

# 辐射防护 基础知识



〔英〕A.马 丁 S.A.哈比森

计 量 出 版 社

# 辐射防护基础知识

[英] A. 马 丁 S. A. 哈比森 著

陈丽妹 廖湘珍 余耀仙 译

张永兴 校

计量出版社

1983 北京

## 内 容 提 要

本书全面地叙述了辐射防护的基础知识,从实验室一般防护问题到大型核企业的辐射防护,都作了原则性的介绍,是一本通俗易懂的普及性读物。本书前半部分主要讲述基本原理和基础知识,没有使用高深的数学计算;后半部分则对一些专题做了原则性的讨论,各章末有小结和复习题,书后附有答案,便于自学。本书可使读者对辐射防护技术有一个全面的基本了解,从而能够解决常见的防护问题。本书的内容采用了国际放射防护委员会的最新建议,如第26号和第30号出版物,并以新的辐射单位代替了老的辐射单位。

本书适合辐射防护人员、防护管理人员、放射医疗工作者和大专院校有关专业师生等参考。

A. Martin S. A. Harbison

## AN INTRODUCTION TO RADIATION PROTECTION

Second Edition

Chapman and Hall, 1979

### 辐射防护基础知识

[英] A. 马 丁 S. A. 哈比森

陈丽姝 廖湘珍 余耀仙 译

张永兴 校

\*

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

中图公司上海印刷厂排版

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/32 印张 7 3/4

字数 170 千字 印数 1—15,000

1983年2月第一版 1983年2月第一次印刷

统一书号 15210·216

定价 1.05 元

## 第 一 版 序

辐射防护基础知识全面地介绍了辐射的危害及其控制。本书的对象是以前没有这方面知识的读者。讲述的方法是作者在多年讲授辐射防护课的过程中，认为对于所有各个年级的学生都最易于理解的方法。作者希望本书能够满足那些直接或间接与电离辐射有关的广大读者、包括医生、牙科医师、科研工作者、核工厂设计和操作等人员的需要。特别是，我们相信本书对于在核电站、研究所、医院和工业部门中那些天天与控制辐射危害有关的保健物理监测员和技术员来说是很实用的。在这方面，普遍采用的培训标准是伦敦科技协会规定的“辐射安全实践教程”，这些教程对英国各个中心都适用。按照这个标准，本书有几章介绍了保健物理的概貌，后面几章较详细地介绍了这个领域中的一些特殊问题，以便核电站的保健物理监测员或医院中的技术员等有关的专门人员能对他自己工作范围中所遇到的问题有更深入的了解。

作者力图避免详细的数学推导，但在某些方面仍需要用到一些简单的数学运算，包括平方、开根、指数与对数运算以及在对数纸上绘曲线等。在用到数学推导的地方，我们力求用这种方法来表述，即使对该数学推导不完全懂也并不妨碍对该章一般内容的理解。

我们竭力使每一章都自成体系，以便读者不必深入阅读其他章节就能找到他所关心的某个专门问题的所有资料。前面几章介绍了物理学的基本原理，电离辐射与生物系统发生相互作用产生危害的特点以及被认为是可以接受的辐射水平

等。后面几章介绍了用于达到这种水平的控制方法和测量方法。本书的后半部分另外单有几章讲到了核反应堆保健物理的一些更专门的课题、与X射线和射线照相有关的一些问题，放射性废物的处置以及放射学应急措施等。还有几章讲到了立法问题和保健物理的组织机构。每一章的末尾有一个提纲式的小结，重述该章的要点。此外，对于大多数章节都给出了一些复习题，包括叙述题和数字计算题。(略)

A. 马丁, S. A. 哈比森

1972年2月于伦敦

## 第 二 版 序

本书第一版问世后，在辐射防护的某些方面发生了若干根本性的变化。两个最重要的变化是辐射防护中采用国际单位制(SI)和国际放射防护委员会(ICRP)在其第26号出版物中推荐的剂量限制的制度。一般情况下，新的SI单位完全替换现有的单位需要有几年的时间。在这个交替期间内，我们觉得有必要在本书的前面几章中定义和讨论这两套单位。因此在此后的几章中，这样做是有益的，故采用了两套单位，在新的SI单位之后用括号给出了老单位。我们想这样做将会有助于读者逐步习惯于应用SI单位。

考虑到ICRP的最新建议，我们重写了第六章，并对第九章也作了重大的改动。我们还发现需要对第十四章的许多内容进行改写，以反映出最近几年来辐射防护方面的立法和管理制度上发生的变革。本书详细地介绍了英国的法律状况，用以说明大多数国家的管理体制中的共同原则，我们还概略地讨论了其他四个核国家的状况以及国际性组织在制定辐射防护标准中的作用。

本版对第三、四、十和十一章作了重大修改，以反映出在此6—7年期间有关的工艺技术方面的进展概况。对第十二章和第十三章的某几节也作了改写，以反映出在这些领域中的进展。其他几章也作了若干新的修改和编排上的改动。

我们还在各章后面补充了一些习题，并选用了新近的文獻目录。最后还列出了一个附录，详细地给出了SI单位与老

单位的换算系数。

A. 马丁, S. A. 哈比森  
1979年3月于伦敦

---

作者注:

表 9.1 中所列的值代表的是 ICRP 第 2 号出版物采用的参考人的特征, 而不是 ICRP 第 23 号出版物中的值, 这在该表的附注中已有说明. 第 23 号出版物中参考人的特征与第 2 号出版物中所列的特征有一些差别, 关于最新的数值读者应该参阅该书. 对于本书的目的来说, 由于计算中采用的数值都是经过四舍五入的, 所以上述这些变动没有多大影响。

# 目 录

第一版序	(vii)
第二版序	(ix)
第一章 物质结构	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 原子	(1)
1.3 原子结构	(2)
1.4 质量数	(4)
1.5 原子序数	(4)
1.6 同位素	(5)
1.7 古代学说与现代学说	(6)
第二章 放射性与辐射	(8)
2.1 引言	(8)
2.2 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\gamma$ 辐射	(8)
2.3 电子伏	(9)
2.4 放射性衰变的机制	(10)
2.5 天然放射性系	(12)
2.6 感生放射性	(13)
2.7 放射性的单位	(13)
2.8 核素图	(16)
2.9 辐射与物质的相互作用	(18)
2.10 核辐射的穿透能力	(19)
第三章 辐射单位	(23)
3.1 能量的吸收	(23)
3.2 电离	(23)
3.3 照射量及其单位伦琴	(25)



3.4	辐射的吸收剂量	(26)
3.5	剂量当量	(27)
3.6	分倍数	(28)
3.7	剂量率	(29)
3.8	通量密度	(30)
3.9	各单位之间的关系	(31)
<b>第四章</b>	<b>辐射的生物效应</b>	<b>(34)</b>
4.1	引言	(34)
4.2	人体生理学基础	(34)
4.3	细胞生物学	(36)
4.4	辐射与细胞的相互作用	(38)
4.5	辐射的躯体效应	(39)
4.6	辐射的遗传效应	(43)
4.7	讨论	(45)
<b>第五章</b>	<b>天然和人工放射性辐射</b>	<b>(47)</b>
5.1	引言	(47)
5.2	宇宙辐射	(47)
5.3	陆地上的辐射源	(48)
5.4	体内放射性	(48)
5.5	天然放射性产生的剂量概述	(49)
5.6	人工辐射源	(49)
5.7	当前的一些人工辐射源	(51)
5.8	现有的辐射源概述	(52)
<b>第六章</b>	<b>最大容许剂量</b>	<b>(54)</b>
6.1	国际放射防护委员会的任务	(54)
6.2	国际放射防护委员会的建议(第26号出版物,1977年)	(56)
6.3	对职业性工作人员推荐的剂量当量限值	(57)
6.4	关于职业性工作人员剂量当量限值的说明	(59)
6.5	对公众中的个人建议的剂量当量限值	(60)
6.6	事先计划的特殊照射	(61)

6.7	应急或事故中的异常照射.....	( 62 )
第七章	辐射探测和测量 .....	( 66 )
7.1	一般原理.....	( 66 )
7.2	气体的电离.....	( 66 )
7.3	固体探测器.....	( 69 )
7.4	照相效应.....	( 71 )
7.5	活化效应.....	( 72 )
7.6	电子学电路.....	( 73 )
第八章	外照射危害.....	( 80 )
8.1	危害的来源.....	( 80 )
8.2	时间.....	( 80 )
8.3	距离.....	( 83 )
8.4	屏蔽.....	( 84 )
8.5	中子源.....	( 88 )
8.6	个人剂量的控制.....	( 90 )
8.7	辐射调查监测.....	( 92 )
8.8	个人监测设备.....	( 94 )
8.9	辐射的记录.....	( 99 )
第九章	内照射危害 .....	( 102 )
9.1	开放性放射性.....	( 102 )
9.2	进入人体的途径.....	( 102 )
9.3	年摄入量限值.....	( 106 )
9.4	污染危害的控制.....	( 109 )
9.5	污染的常规控制.....	( 110 )
9.6	放射性毒性和实验室分类.....	( 115 )
9.7	放射性工作区域的设计.....	( 116 )
9.8	被污染人员的处理.....	( 119 )
9.9	污染的监测.....	( 121 )
第十章	核反应堆保健物理 .....	( 127 )
10.1	引言.....	( 127 )

10.2	裂变.....	(127)
10.3	反应堆系统.....	(132)
10.4	反应堆的换料.....	(136)
10.5	反应堆的辐射危险.....	(137)
10.6	研究用反应堆.....	(143)
10.7	燃料贮存池.....	(143)
10.8	燃料后处理.....	(146)
第十一章 放射性废物 .....		(148)
11.1	引言.....	(148)
11.2	放射性释放的后果.....	(149)
11.3	放射性废物的贮存.....	(151)
11.4	固体废物.....	(152)
11.5	液体废物.....	(153)
11.6	释放到大气中.....	(154)
11.7	规章制度.....	(155)
第十二章 X射线和射线照相 .....		(158)
12.1	引言.....	(158)
12.2	X射线设备.....	(159)
12.3	X射线的品质和强度.....	(162)
12.4	X射线的防护.....	(164)
12.5	X射线设备的监测.....	(166)
第十三章 医学中的辐射防护 .....		(170)
13.1	应用.....	(170)
13.2	一般原则和组织机构.....	(171)
13.3	对密封源的防护.....	(172)
13.4	对非密封源的防护.....	(177)
13.5	放射性物质的控制和排放.....	(179)
第十四章 与放射防护有关的法律和其他规章 .....		(182)
14.1	引言.....	(182)
14.2	普通法.....	(182)

14.3	法律的沿革	(183)
14.4	按照劳动保健和安全条例建议的管理体制	(187)
14.5	英国规章的汇总	(191)
14.6	国际性指导和其他国家的规章简介	(192)
第十五章	保健物理实验室技术	(195)
15.1	基本技术	(195)
15.2	放射性分析	(195)
15.3	辐射监测仪的刻度	(205)
第十六章	放射紧急事故	(211)
16.1	引言	(211)
16.2	失去屏蔽	(212)
16.3	失去包容	(213)
16.4	非受控临界	(216)
16.5	紧急事故的预规划	(219)
第十七章	保健物理学服务的组织和管理	(221)
17.1	概况	(221)
17.2	标准、规章和制度	(221)
17.3	设计和运行	(222)
17.4	保健物理学的组织机构	(223)
17.5	文件和报告	(224)
17.6	训练	(225)
附录1	单位之间的关系	(227)
	复习题答案	(228)
	参考书目简介	(229)

# 第一章 物质结构

## 1.1 引言

物质是给那些组成宇宙的材料起的名称。物质以三种物理状态存在：固体、液体和气体。一切物质都是由若干种被称为元素的简单物质组成。

一种元素是一种物质，用普通的化学方法不能将它分解成更简单的一些物质。一共有 92 种天然元素，例如氧。另外大约有 12 种元素是近年来由人工生产的，例如钷。自然界中的元素通常都是与其他元素化学结合成化合物的形态。

化合物都是由二种或二种以上的元素按一定比例化学结合而成，例如，水( $H_2O$ )是由 2 个氢原子和 1 个氧原子组成。

## 1.2 原子

研究一定量的某种元素并把它不断地进行分割。采用普通的光学仪器时，最终总会达到分割的碎片再也看不见的程度，然而，假若有了合适的分割工具和观察仪器，那么原来的这种元素能够无限制地反复分割下去呢？还是分到某程度以后就不能再细分了呢？

二千多年前，希腊哲学家研究了这问题。那时，他们没有任何观察仪器，因此无法观察元素实际上能够分割成的看不见的小碎片。他们只能按逻辑推理方式来考虑这个问题。根据科学上用的逼近法，有些哲学家判定最终必定会达到一个极限，他们把物质的这种不能再分割的单个粒子称为原子。某些哲学家还假设所有物质同样都是由这些原子组成。构成物

质的原子,排列的方式不同就使不同的物质有不同的特性。物质的密度取决于原子填满的紧密程度。

上面谈到的学说都是基于逻辑推理和哲学上的分析。十九世纪初期,出现了一种具有科学依据的原子学说,这种原子学说证实了古代哲学家的一些观点。这就是道耳顿 (Dalton) 的原子学说。道耳顿的原子学说那时能够解释已经建立起的很少有人知道的化学规律。近代的原子学说与道耳顿的学说有些不同,但道耳顿建立了物质是由原子组成的学说,每一种元素都有代表它自己特征的原子。

### 1.3 原子结构

近代研究已经证明,原子不是像希腊哲学家所认为的那样,是坚固的、不可分割的物体,而是由更小的粒子组成。这些基本粒子称为质子、中子和电子。所有的原子都是由这些基本粒子组成的。

质子(p)按核标度带有1个单位的正电荷,它的质量大约是1个原子质量单位(u)。

电子(e<sup>-</sup>)带有和质子的正电荷同样多的负电荷。电子的质量是1/1840原子质量单位,在考虑原子质量时,大多数情况下可以忽略不计。

中子(n)常常被看作是一个质子和一个电子的紧密结合体。中子为电中性的,如若忽略了电子的质量,它的质量就接近于1原子质量单位。按照通常的惯例,在本书中把中子当作一个基本粒子。

一个原子的中子和质子构成了核心,即原子核,电子在不同的轨道上围绕着原子核旋转。人们发现,最靠近原子核的轨道最多只能容纳2个电子,而第二层轨道能达到8个电子。……依次类推直到外层轨道。内层轨道称为K轨道(或K壳层),

第二层轨道为L壳层,第三层轨道为M壳层等等。K、L、M、N壳层最多能够容纳的电子数分别是2、8、18、32。例如,图1.1表示的锌的原子系统有30个电子,排列在4层壳层中。

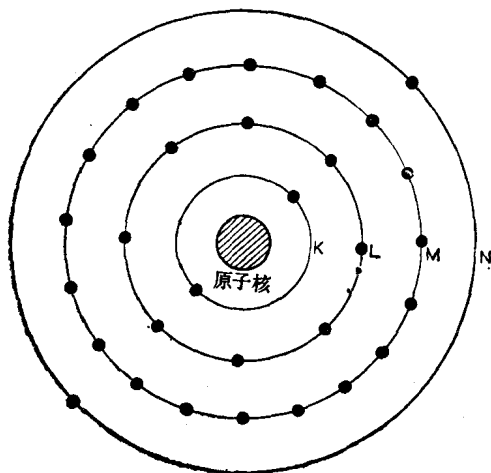


图 1.1 锌的原子系统

每一个原子的质子数通常与电子数相同。这就是说原子核里的正电荷总数等于原子电子负电荷的总数,因而原子通常是电中性的,图 1.2 表示了二种简单的原子。氢原子是所有原子中最简单的原子,而且是一种唯一不包含中子的原子。

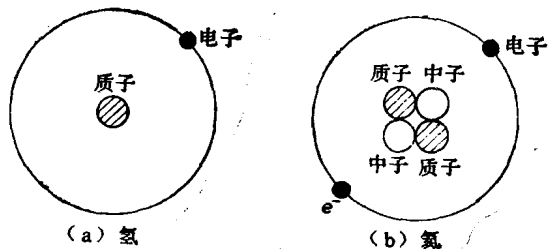


图 1.2 氢和氦的原子系统

## 1.4 质量数

如果原子电子的微小质量可以忽略的话，原子的质量就可以用质子和中子的数目来确定。质子数加上中子数的和称为质量数，并用符号  $A$  表示：

$$\text{质量数}(A) = \text{质子数} + \text{中子数}$$

例如研究图 1.2(b) 中的氦原子

$$2 \text{ 质子} \qquad 2$$

$$2 \text{ 中子} \qquad 2$$

$$2 \text{ 电子(忽略)} \qquad /$$

$$\text{质量数}(A) \qquad = 4$$

就图 1.2(a) 中的氢原子来说

$$1 \text{ 质子} \qquad 1$$

$$0 \text{ 中子} \qquad 0$$

$$1 \text{ 电子(忽略)} \qquad /$$

$$\text{质量数}(A) \qquad = 1$$

## 1.5 原子序数

原子中质子的数目称为原子序数，用符号  $Z$  表示：

$$\text{原子序数}(Z) = \text{质子数}$$

例如：

$$\text{氦有 2 个质子} \qquad Z = 2$$

$$\text{氢有 1 个质子} \qquad Z = 1$$

氦的化学符号是 He，因而上面叙述过的那种类型的氦原子用  ${}^4\text{He}$  表示，氢原子(化学符号 H)用  ${}^1\text{H}$  表示。

质子数也就是原子序数，它确定了原子的化学特性，因而也确定了元素。

因此：



原子序数为 1 的所有原子是氢原子

原子序数为 2 的所有原子是氦原子

原子序数为 3 的所有原子是锂原子

原子序数为 4 的所有原子是铍原子

原子序数为 5 的所有原子是硼原子

原子序数为 6 的所有原子是碳原子……,等等,自然界中存在的元素最重的是铀,铀的原子序数是92。近年来,大约有 12 种那样高原子序数的元素可以由人工生产出来。这些元素都是不稳定的,只能在特殊条件下制备,在地球上,没有发现过天然的这些元素。

## 1.6 同位素

虽然某种特定元素的所有原子都含有相同数目的质子,但是有可能具有不同数目的中子,这意谓着一种元素可以有几种类型的原子。例如,元素磷(P)的原子序数为 15 (也就是每个原子含有 15 个质子),但是它可以具有不同数目的中子:

${}_{15}^{28}\text{P}$  15 个质子 13 个中子 ( $Z = 15, A = 28$ )

${}_{15}^{29}\text{P}$  15 个质子 14 个中子 ( $Z = 15, A = 29$ )

${}_{15}^{30}\text{P}$  15 个质子 15 个中子 ( $Z = 15, A = 30$ )

${}_{15}^{31}\text{P}$  15 个质子 16 个中子 ( $Z = 15, A = 31$ )

${}_{15}^{32}\text{P}$  15 个质子 17 个中子 ( $Z = 15, A = 32$ )

${}_{15}^{33}\text{P}$  15 个质子 18 个中子 ( $Z = 15, A = 33$ )

${}_{15}^{34}\text{P}$  15 个质子 19 个中子 ( $Z = 15, A = 34$ )

这些不同类型的原子称为该元素的同位素。因此,例如  ${}_{2}^{3}\text{He}$  是磷的同位素。图 1.3 中画出了氦( $Z = 2$ )的三种同位素。这三种同位素通常分别称之为氦-3,氦-4和氦-5 ( ${}^3\text{He}$ ,  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^5\text{He}$ )。

因为元素的化学特性取决于这种元素的原子序数,所以