

〔美〕H. J. 莫 等编

辐射安全教程

原子能出版社



辐 射 安 全 教 程

[美] H.J. 莫等 编
702 翻 译 组 译

原子能出版社

内 容 简 介

本书是美国国立阿贡实验所辐射安全技术员训练班的教材,原书名《Radiation Safety Technician Training Course》,编者为 H. J. Moe, S. R. Lasuk, M. C. Schumacher 和 H. M. Hunt。

全书共分十七章,比较系统地介绍了辐射物理、辐射单位、辐射的生物效应、本底辐射、防护标准、内照射剂量的计算、辐射探测器、监测仪表、空气取样等方面的基本知识。此外,对反应堆、热室和加速器的一般知识也作了介绍。

本书涉及的内容比较广泛,可供从事辐射防护工作的技术人员参考。

辐射安全教程

[美]H. J. 莫等 编

702 翻译组 译

原子能出版社出版

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售



开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $13^{3/8}$ · 字数 358 千字

1979 年 9 月北京第二版 · 1979 年 9 月北京第一次印刷

印数 5001—8300 · 定价: 1.35 元

统一书号: 15175·056

目 录

第一章 基本概念	1
一、原子的结构	1
二、电离	2
三、同位素	3
四、粒子动力学	4
五、功和能	4
六、带电粒子	5
七、相对论性修正	7
八、在磁场中的带电粒子	8
参考文献	12
第二章 天然放射性	13
一、早期的历史	13
二、放射性衰变	13
三、半衰期	16
四、居里	17
五、比放射性	18
六、衰变链	19
七、混合物的衰变曲线	20
参考文献	27
第三章 α, β, γ, X 射线和中子的性质	28
一、 α 粒子	28
1. 比电离	29
2. 阻止本领	31
3. 射程	31
4. 相对危害性	33
二、 β 粒子	33
1. 比电离	34
2. 阻止本领	35
3. 韧致辐射	35

4. 射程	37
5. 指数式的 β 粒子吸收	38
6. 相对危害性	38
三、波的性质	39
四、电磁波	39
五、 X 和 γ 辐射	41
1. 与物质的相互作用	43
2. 光电效应	44
3. 康普顿效应	45
4. 电子对的产生	46
5. X 和 γ 射线的吸收	48
6. 半值层	50
7. 平均自由程	50
8. 质量能量吸收系数 μ_{en}/ρ	50
9. 积累因子	51
10. 相对危害性	52
六、中子	52
1. 中子源	53
2. 中子的能量	55
3. 和物质的相互作用	55
4. 截面	58
5. 中子的吸收	59
6. 引出截面 Σ_R	60
7. 中子的激活	61
8. 相对危害性	63
参考文献	71
第四章 辐射单位的概念和剂量的确定	74
一、术语的定义	74
二、品质因数	75
三、照射量	76
四、照射量率·各向同性点源	77
五、照射量率·通量密度	80
六、吸收剂量	80

七、吸收剂量率·各向同性点光子源·····	81
八、吸收剂量率·光子的通量密度·····	82
九、吸收剂量率·各向同性点源· α 和 β 辐射·····	82
十、质量阻止本领·····	82
十一、吸收剂量率·粒子的通量密度·····	84
十二、中子的吸收剂量·····	85
参考文献·····	89
第五章 屏蔽 ·····	92
一、辐射场内影响照射的因素·····	92
二、 α 辐射·····	94
三、 β 辐射·····	94
四、 γ 辐射·····	95
1. 屏蔽厚度计算·····	95
2. 积累因子·····	98
3. 有效原子序数·····	100
五、中子·····	102
六、屏蔽材料·····	104
参考文献·····	108
第六章 辐射的生物学效应 ·····	110
一、细胞——结构的基本单元·····	110
二、辐射敏感性·····	112
三、辐射损伤·····	113
四、躯体效应·····	113
1. 血液和骨髓·····	116
2. 淋巴系统·····	116
3. 消化道·····	117
4. 生殖器官·····	117
5. 神经系统·····	117
6. 甲状腺·····	118
7. 眼·····	118
8. 肺·····	118
9. 肝和胆囊·····	119
10. 肾·····	119

11. 循环系统.....	119
12. 皮肤.....	119
13. 毛发.....	119
14. 骨.....	119
五、远期效应.....	120
1. 肿瘤.....	120
2. 组织效应.....	120
3. 寿命.....	120
4. 生长和发育.....	120
六、遗传效应.....	121
参考文献.....	123
第七章 本底辐射.....	125
一、宇宙辐射.....	125
二、地球的放射性.....	128
三、空气的放射性.....	128
四、水的放射性.....	129
五、人体内的放射性.....	129
六、沉降物.....	131
七、全球性沉降物的影响.....	132
参考文献.....	134
第八章 辐射防护标准.....	136
一、防护标准的历史.....	136
1. 红斑剂量.....	136
2. 耐受剂量.....	137
3. 国际辐射单位和测量委员会(ICRU); 国际放射防护委员会(ICRP).....	137
4. 容许剂量.....	138
5. 总累积剂量.....	138
6. 辐射防护指导基准.....	139
参考文献.....	141
第九章 内照射剂量的计算.....	143
一、影响剂量计算的主要因素.....	143

二、标准人	146
三、关键器官	147
四、每次蜕变所给出的有效能量	147
1. 每次蜕变中被吸收的能量 E	148
2. 放射性衰变链因子 F	150
3. 相对生物效应系数 RBE	150
4. 相对危害因数 n	151
五、其他因数	152
六、最大容许体内负荷	153
七、以镭为根据的体内容许负荷	154
八、以剂量当量率为根据的体内容许负荷	154
九、水和空气中的最大容许浓度(MPC)	
——对于单一的放射性核素	155
十、放射系的最大容许浓度 MPC 公式	157
十一、惰性气体的最大容许浓度(MPC)	
——沉浸照射	158
十二、混合放射性核素的最大容许浓度 (MPC) 值	160
十三、单次摄入所给出的剂量当量	160
十四、(MPC) _{空气} 和(MPC) _水 的示范计算	162
参考文献	172
第十章 辐射探测原理	174
一、引言	174
二、电离法	175
1. 充气电离室	175
2. 半导体探测器	180
三、闪烁装置	185
1. 闪烁体	185
2. 闪烁体的种类和性质	186
3. 脉冲的探测	187
4. 光电倍增管的作用	187
5. 闪烁计数器	188
6. 光学耦合	188
四、化学剂量计	189

五、固体器件	190
1. 光学性质	190
2. 陷阱深度	191
3. 光学效应	191
六、中子活化探测器	193
参考文献	198
第十一章 仪器的工作特性和计数统计学	202
一、平均水平系统	202
二、脉冲型系统	203
1. 概述	203
2. 脉冲计数器	203
三、计数率计	203
四、计数管坪	205
五、脉冲幅度分析	207
1. 脉冲幅度	207
2. 脉冲幅度分析器	208
六、分辨时间	210
1. 分辨时间的修正	210
2. 分辨时间的测定	211
3. 盖革-弥勒计数器的死时间	212
七、猝灭	213
八、灵敏度	214
1. 固有效率	215
2. 本底计数率	215
3. 吸收系数	216
4. 几何因子	216
5. 绝对灵敏度	217
6. 产额	218
九、测量统计学	218
1. 泊松分布和高斯误差曲线	219
2. 计数的标准差	220
3. 误差的表示法	220
4. 计数率的标准差	221

5. 本底对标准误差的影响	222
6. 相对标准误差	222
十、计数器的可靠性	225
参考文献	229
第十二章 保健物理仪器	231
一、辐射剂量学	231
1. 电离法	231
2. 其他剂量测量方法	236
3. 现代剂量测量技术	236
二、巡测仪器	238
1. 电离室剂量计	239
2. 电离室巡测计	242
3. 盖革-弥勒巡测计	245
4. 正比计数管巡测计	247
5. 闪烁巡测计	252
6. 活化装置巡测计	254
三、特殊用途的仪器	257
1. 外推电离室	257
2. 能谱测量装置	258
参考文献	269
第十三章 个人监测仪器	274
一、绪言	274
二、照相胶片剂量学	274
1. 乳胶性质	275
2. 照相效应	276
3. 胶片响应的特性	277
4. 胶片的处理	281
5. 读数与评价	281
6. 胶片盒	284
7. 胶片包装	284
8. 电子平衡	285
9. 中子剂量学	285
三、袖珍剂量计	288

1. 工作原理	289
2. 照射量测量法	289
3. 特性	290
4. 能量依赖性	291
四、固体剂量计	291
1. 热释光	292
2. 红外线激发	295
3. 辐射光致发光(R.P.L.)	295
4. 电导法	296
参考文献	299
第十四章 空气取样	304
一、引言	304
二、污染物质的性质	304
三、空气中悬浮的天然放射性	305
四、代表性样品的获得;取样器位置的选择	306
五、取样器的选择	308
六、取样方法和装置	308
1. 滤纸取样器	308
2. 静电沉淀器	310
3. 突吸式取样器	311
4. 碰撞取样器	312
5. 冷凝装置	314
6. 吸附剂	314
7. 连续空气监测器	314
七、滤纸	315
八、滤纸样品的分析	317
1. 概述	317
2. 第一次计数因子	319
3. 长寿命污染物质的浓度	324
4. 短寿命辐射源的浓度	327
九、烟囱取样	327
参考文献	331

第十五章 反应堆	335
一、发展史	335
二、裂变	336
1. 裂变类型	338
2. 裂变产额	339
3. 裂变率	340
三、反应堆	340
1. 反应堆的构成部分	341
2. 临界大小	341
3. 四因子公式	343
4. 有效增殖系数	344
5. 反应堆的控制	345
6. 反应堆的材料	348
7. 功率水准	349
8. 反应堆的类型	349
四、反应堆的辐射	350
1. 泄漏辐射	350
2. 包封在系统中的放射源	351
3. 气载放射源	352
4. 污染源	354
五、辐射测量	355
六、反应堆巡测仪器	356
七、固定监测仪	357
八、核事故监测仪	357
参考文献	361
第十六章 热室	364
一、屏蔽	364
二、热室壁的衬层	366
三、水电供给设备	367
四、通风	367
五、排水	368
六、观察设备	368

1. 观察窗	368
2. 潜望镜	369
3. 反射镜和电视	370
七、遥控操作装置	370
八、监测热室操作	371
1. 热室输送物品	371
2. 去污	372
3. 更换滤纸	373
九、个人监测仪	373
参考文献	374
第十七章 粒子加速器	377
一、加速器	377
1. 考克饶夫特-瓦尔顿加速器	377
2. 范德格喇夫静电加速器	379
3. 直线加速器	381
4. 回旋加速器	384
5. 电子感应加速器	385
6. 同步回旋加速器	386
二、基本粒子	388
1. 总论	388
2. 高能核作用	389
三、辐射源	391
1. 射线束相互作用	391
2. 感生放射性	392
3. 天空散射	393
4. 速调管	393
5. 放射性气体和有毒气体	393
四、辐射防护测量	394
五、辐射巡测仪表	396
参考文献	399
附录一 希腊字母读音表	402
附录二 基本常数	403

附录三	单位的换算	404
	十进倍数或分数的前缀	405
附录四	质量能量吸收系数(μ_{en}/ρ)	406
附录五	常用对数表(以10为底)	408
	指数表(以e为底)	410
	自然对数表	413

第一章 基本概念

一、原子的结构

原子是元素的最小单元。元素周期表给出了各种不同的元素。有 92 种天然元素。除此之外,现代科学还利用人工制造元素的方法,使元素的数目增加到 100 种以上。

元素通常是以周期表中的化学符号表示。例如,氢用符号 H 表示,氧用符号 O 表示,等等。

原子由原子核和围绕原子核的电子组成,电子的数目恰好使原子成为中性。原子核是原子中最重的部分,是原子的中心,并带正电荷。原子核由中子和质子组成。中子和质子的质量大致相同,但是质子带一个正电荷,而中子是中性的。通常用 ${}_Z^AX^A$ 表示原子的结构,其中 X 代表元素的符号; A 为质量数,等于在原子核中的质子和中子的总数; Z 为元素的原子序数,等于在原子核中的质子数(或正电荷的数目),亦即是绕行的电子数。在原子核里,中子的数目由 $A-Z$ 给出。若采用原子质量单位,质子和中子各自近似地具有单位质量,因此,质量数也是最接近于原子量的整数。

下面公式近似地给出了原子核的半径:

$$r \text{ (厘米)} = 1.5 \times 10^{-13} A^{1/3}$$

原子核的直径还不到原子本身直径的 1/10000。但几乎所有的原子质量都集中在原子核。所以原子核的密度很大,大约是 10^{14} 克/厘米³。

元素的原子质量可以用原子质量单位(amu)表示。若以物理学上所采用的量度单位来表示,原子质量单位等于碳¹²原子质量的 1/12。任何原子的质量若以克为单位,则等于它的原子量除以阿伏伽德罗常数 $N_A (=6.025 \times 10^{23} \text{ 原子/克 原子})$ 。阿伏伽德罗常数的倒数等于以克为单位的 1 原子质量单位的质量即 $1 \text{ amu} =$

1.66×10^{-24} 克。

一定质量的某元素的原子数由下面公式给出：

$$N = \frac{m}{A} N_a$$

m 是以克为单位的质量，例如 1 克 U^{238} 的原子数由下面公式算出：

$$N = \frac{m}{A} N_a = \frac{1}{238} (6.025 \times 10^{23}) = 2.53 \times 10^{21} \text{ 个原子}$$

克原子量或克分子量是常用的单位。这些量等于以克为单位的原子量或分子量。1 克原子量的 U^{238} 是 238 克的 U^{238} ；1 克分子量（常叫克分子）的 H_2O 是 18 克。1 克原子量的元素由 6.025×10^{23} 个原子组成；1 克分子的元素由 6.025×10^{23} 个分子组成。

原子可以描绘成电子围绕着原子核运转着的行星系。例如氟

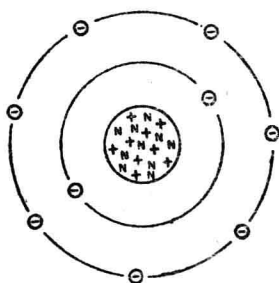


图 1.1 稳定的氟原子 (F^{19})
原子核由 9 个质子和
10 个中子组成

原子的情况，如图 1.1 所示。电子以椭圆和圆形的轨道围绕原子核旋转。这些确定的轨道组成一系列壳层，这一个个壳层叫做能级或量子级。轨道（壳层）的直径比原子核的直径大。壳层或用字母 (K, L, M, N, O, P, Q) 或用量子数 (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) 来表示。在壳层里每个电子的能态用四个独立的量子数 (n, l, m, s) 描述出来。泡里不相容原理告诉我们：在任何一个原子中，不可能有两个状态完全相同的

电子，换言之，不可能有四个量子数 (n, l, m, s) 都相同的两个电子。这个原理决定了每个能级中电子数目的最大限值。这个限值由公式 $N_e = 2n^2$ 给出， n 是壳层的主量子数，对于原子中的各个壳层， n 相应地取整数值 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7。

二、电离

一个电子可以很容易地从一个原子或分子中移走。反之，也

可以有一个或更多的电子附加到这些原子或分子上。质子的数目超过电子的数目时，原子或分子带电(正)。使用离子这个术语来描写带电荷的原子或原子群。每个离子所带的电荷决定于增加或

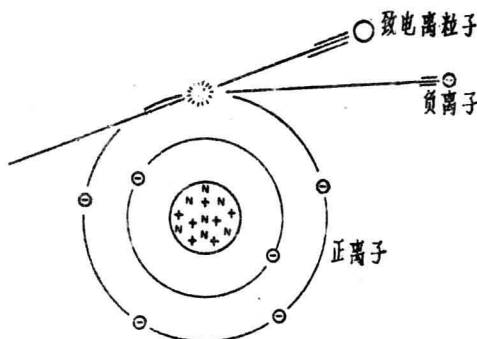


图 1.2 一个原子的电离

移走的电子的数目。电离是电子从中性原子或分子移走，或附加在中性原子或分子上的过程。一个电子从一个原子或分子移走(图 1.2 表示电子从一个原子移走的过程)的结果就形成一个离子对：自由电子和带正电荷的剩余物。

三、同位素

上面已叙述过，人类已经知道了 100 多种元素。每一种元素用它的原子序数描述。然而，一种元素可以具有不同质量的原子。同位素这个术语表示原子序数相同，但原子质量不同的元素。因为原子序数是相同的，所以同位素的原子核里有相同的质子数，而中子数是各异的。一种元素可以有一种或多种同位素。

某些同位素是不稳定的，也就是在称为放射性的衰变或蜕变过程中，以粒子或电磁辐射的形式释放能量。

原子核里，在质子之间存在着一种斥力，这种力叫库仑力，它倾向于使原子核分裂。相对地说这种力是长程力。另外，在中子和质子之间存在着短程作用力，这种力倾向于使原子核结合在一