

放射性同位素手册

FANGSHEXING TONGWEISU SHOUCHE

马崇智 等 编著

科学出版社

放射性同位素手册

马崇智等 编著

科学出版社

1979

内 容 简 介

本书系工具性手册。全书分五部分,共十三章。第一部分为放射性同位素,介绍放射性衰变的主要公式、衰变系列、衰变表,反应堆、加速器生产放射性同位素的产额计算,主要堆照同位素的产额表和裂变产额的图表等。第二部分为放射源,主要介绍 α 、 β 、 γ 放射源, X 射线源,中子源和放射性同位素能源的主要特性及有关数据、图表以及放射源的安全检验。第三部分为放射性同位素的应用,介绍放射性同位素在工、农、医等方面应用的概况。第四部分为辐射防护,介绍辐射防护的一些基本概念、常用公式、内外照射防护、常用图表和“三废”处理的一般原则。第五部分为同位素表和衰变纲图,列出了约 2000 种同位素的常用数据和主要核素的衰变纲图。另外,附录部分收集了一些基本物理常数和技术术语,常用单位换算和若干常用缩写略语。

本手册可供研究、生产和应用放射性同位素的工作者使用和参考。

放射性同位素手册

马崇智等 编著

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1979 年 12 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1979 年 12 月第一次印刷 印张: 59 插页: 2

印数: 0001—10,170 字数: 1,446,000

统一书号: 13031·995

本社书号: 1404·13—3

定价: 7.90 元

前 言

放射性同位素及其射线的应用已深入到人类生活的各个领域,广泛应用于国防、工业、农业、医学和科学技术的各个方面。

建国以来,在毛主席关于“独立自主、自力更生”方针指引下,我国放射性同位素事业不断发展,在国民经济各部门的应用日益广泛和普遍。但目前国内有关放射性同位素生产、应用方面的工具性手册却甚缺乏。为此,我们把国外发表的有关放射性同位素方面的一些数据、图表以及我们自己收集整理、计算的一些数据、资料,编写成《放射性同位素手册》,以供应用放射性同位素的广大读者和研究、生产放射性同位素的科技工作者使用和参考。

本手册主要介绍放射性同位素生产和应用方面的常用数据、图表、基本知识及辐射防护。

本手册由马崇智、卢玉楷、贾璋、蒲以同、钱桐焘、祝疆、尹远淑、刁国平、郭景儒、熊熏熹、陈庆望同志编著,并经吴征铠、肖仑等同志审阅,对此表示感谢。

原稿虽经有关方面同志审阅,但由于编者水平有限,经验不足,加之时间仓促,缺点和错误在所难免,希望读者批评、指正。

目 录

前言	xiii
----------	------

第一部分 放射性同位素

第一章 放射性同位素	1
1-1 放射性同位素的来源	1
1-2 放射性衰变规律	1
1. 放射性衰变的重要公式	2
2. 放射性衰变计算表说明	2
表 1-1 放射性衰变计算表	3
3. 常用放射性同位素衰变表说明	3
表 1-2 常用放射性同位素衰变表	4
1-3 放射性衰变系列(放射系)	52
图 1-1 铀-钍 ($4n$) 系衰变历程	54
表 1-3 铀-钍 ($4n$) 系主要核数据	52
表 1-4 铀-钍 ($4n$) 系衰变表	55
图 1-2 镭-锕 ($4n + 1$) 系衰变历程	58
表 1-5 镭-锕 ($4n + 1$) 系主要核数据	59
表 1-6 镭-锕 ($4n + 1$) 系衰变表	60
图 1-3 铀-镭 ($4n + 2$) 系衰变历程	63
表 1-7 铀-镭 ($4n + 2$) 系主要核数据	64
表 1-8 铀-镭 ($4n + 2$) 系衰变表	65
图 1-4 铀-锕 ($4n + 3$) 系衰变历程	68
表 1-9 铀-锕 ($4n + 3$) 系主要核数据	69
表 1-10 铀-锕 ($4n + 3$) 系衰变表	70
1-4 α 衰变	72
表 1-11 按 α 粒子能量增加顺序排列的放射性同位素表	73
1-5 β 衰变	74
表 1-12 放射性同位素的 β 粒子平均能量和最大能量	75
1-6 按 γ 射线能量增加顺序排列的放射性同位素生成截面或 ^{235}U 裂变谱中子裂变累积产额表说明	78
表 1-13 按 γ 射线能量增加顺序排列的放射性同位素生成截面或 ^{235}U 裂变谱中子裂变累积产额表	78
1-7 能量-半衰期表	83
表 1-14 α 放射体的能量-半衰期表	84
表 1-15 β 放射体的能量-半衰期表	86
表 1-16 γ 放射体的能量-半衰期表	93

1-8 放射性同位素的重量(克)与放射性强度(居里)的关系	99
表 1-17 常用放射性同位素的重量(克)与强度(居里)的关系表	99
1-9 Γ 常数及 γ 当量	101
1. Γ 常数	101
2. γ 当量 Q	102
3. 未经初始过滤的 Γ 常数及 γ 当量表说明	102
图 1-5 未经初始过滤的 Γ 常数曲线	103
表 1-18 未经初始过滤的 Γ 常数及 γ 当量表	103
参考文献	107
第二章 反应堆生产放射性同位素	108
2-1 核反应类型	108
2-2 靶子材料选择的原则	108
2-3 利用不同核反应生产放射性同位素时的产额计算公式	109
2-4 不同中子通量和不同照射时间条件下,反应堆生产放射性同位素的产额表	110
1. 产额表的说明	110
2. 以质量数排列的 110 种常用放射性同位素的堆照产额表	111
参考文献	181
第三章 加速器生产放射性同位素	182
3-1 加速器生产放射性同位素概况、特点	182
1. 概况	182
表 3-1 一些工业生产用回旋加速器的技术指标	182
2. 加速器生产放射性同位素的特点	182
3. 生产放射性同位素用加速器的特点	183
表 3-2 适用于核医学的回旋加速器	184
3-2 加速器生产放射性同位素的几个问题	185
1. 加速器生产放射性同位素简表	185
表 3-3 加速器生产放射性同位素	186
表 3-4 常用回旋加速器生产的放射性同位素	187
表 3-5 定位法研究用的放射性同位素	187
表 3-6 体腔估测用的放射性同位素	187
表 3-7 血流测量用的放射性同位素	188
表 3-8 器官功能研究用的放射性同位素	188
表 3-9 直线加速器可能生产的同位素	188
2. 基本概念	190
3. 激发曲线、产率和厚靶产额	190
表 3-10 加速器生产放射性同位素产额举例	191
4. 加速器生产放射性同位素的计算方法	192
5. 加速器生产放射性同位素的数据图表资料	195
表 3-11 带电粒子核反应激发曲线图表(举例)	196
图 3-1 $^{11}\text{B}(\text{p}, \text{n})^{11}\text{C}$ 反应激发曲线	198
图 3-2 $^{14}\text{N}(\text{p}, \alpha)^{11}\text{C}$, $^{16}\text{O}(\text{p}, \alpha)^{13}\text{N}$ 反应激发曲线	198

图 3-3	$^{12}\text{C}(\text{d}, \text{n})^{13}\text{N}$ 反应激发曲线	198
图 3-4	$^{14}\text{N}(\text{d}, \text{n})^{15}\text{O}$ 反应激发曲线	198
图 3-5	$^{19}\text{F}(\text{p}, \text{pn})^{18}\text{F}$ 反应激发曲线	199
图 3-6	$^{16}\text{O}(\text{He}, \text{p})^{18}\text{F}$ 反应激发曲线	199
图 3-7	$^{24}\text{Mg}(\text{d}, \alpha)^{22}\text{Na}$ 反应激发曲线	199
图 3-8	$^{26}\text{Mg}(\alpha, 2\text{p})^{28}\text{Mg}$ 反应激发曲线	199
图 3-9	$^{40}\text{Ar}(\alpha, \text{p})^{43}\text{K}$ 反应激发曲线	199
图 3-10	$^{58}\text{Ni}(\text{p}, 2\text{p})^{57}\text{Co}$ 反应激发曲线	199
图 3-11	$^{59}\text{Co}(\alpha, 2\text{n})^{61}\text{Cu}$ 反应激发曲线	200
图 3-12	$^{67}\text{Zn}(\text{p}, \text{n})^{67}\text{Ga}$ 反应激发曲线	200
图 3-13	$^{66}\text{Zn}(\text{d}, \text{n})^{67}\text{Ga}$ 反应激发曲线	200
图 3-14	$^{65}\text{Cu}(\alpha, 2\text{n})^{67}\text{Ga}$ 反应激发曲线	200
图 3-15	$^{112}\text{Cd}(\text{p}, 2\text{n})^{111}\text{In}$ 反应激发曲线	200
图 3-16	$^{109}\text{Ag}(\alpha, 2\text{n})^{111}\text{In}$ 反应激发曲线	200
6.	核反应的选择	201
7.	制靶和一次放射性同位素产品的生产	202
8.	标记化合物生产和产品质量控制	202
3-3	加速器生产放射性同位素举例	203
1.	^{11}C , ^{13}N , ^{15}O	203
2.	$^{81\text{m}}\text{Kr}$, $^{81\text{m}}\text{Kr}$, ^{127}Xe	204
3.	^{43}K , ^{81}Rb , ^{83}Rb , ^{129}Cs , ^{67}Cu	204
4.	^{28}Mg , ^{85}Sr , ^{128}Ba , ^{62}Zn , $^{197\text{m}}\text{Hg}$, ^{197}Hg	204
5.	^{87}Y , ^{157}Dy , ^{167}Tm , ^{67}Ga , ^{111}In	205
6.	$^{117\text{m}}\text{Sn}$, ^{203}Pb	205
7.	^{117}Sb , ^{204}Bi	206
8.	^{99}Mo	206
9.	$^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{18}F , ^{77}Br , ^{123}I	206
10.	^{52}Fe , ^{57}Co	208
11.	^{237}Pu	208
	参考文献	209
第四章	裂变和裂变产物	211
4-1	裂变反应和裂变物质	211
1.	裂变反应	211
2.	裂变物质(核燃料)	211
4-2	裂变能	211
4-3	裂变产物衰变链	212
	表 4-1 裂变产物衰变链	213
4-4	裂变产额	223
	表 4-2 ^{235}U 热中子裂变链产额	224
	表 4-3 ^{233}U 热中子裂变链产额	226
	表 4-4 ^{239}Pu 热中子裂变链产额	228
	表 4-5 ^{241}Pu 热中子裂变链产额	230

表 4-6	^{235}U 裂变谱中子裂变累积产额	232
表 4-7	^{235}U 14.8兆电子伏中子裂变累积产额	233
表 4-8	^{238}U 裂变谱中子裂变累积产额	234
表 4-9	^{238}U 14.8兆电子伏中子裂变累积产额	235
表 4-10	^{239}Pu 裂变谱中子裂变累积产额	236
表 4-11	^{239}Pu 14.8兆电子伏中子裂变累积产额	237
4-5	裂变产物组成	238
表 4-12	^{235}U 裂变产物的比放射性 $Q(T, t)$ (居里/瓩) 堆照时间 $T = 3$ 年 冷却时间 $t = 0-12$ 小时	238
表 4-13	^{235}U 裂变产物的比放射性 $Q(T, t)$ (居里/瓩) 堆照时间 $T = 3$ 年 冷却时间 $t = 1-90$ 天	243
表 4-14	^{235}U 裂变产物的比放射性 $Q(T, t)$ (居里/瓩) 堆照时间 $T = 3$ 年 冷却时间 $t = 120$ 天—10 年	245
表 4-15	^{235}U 裂变产物的比放射性 $Q(T, t)$ (居里/瓩) 堆照时间 $T = 1$ 年 冷却时间 $t = 0-90$ 天	246
表 4-16	^{235}U 裂变产物的比放射性 $Q(T, t)$ (居里/瓩) 堆照时间 $T = 1$ 年 冷却时间 $t = 120$ 天—10 年	247
表 4-17	^{235}U 裂变产物的比放射性 $Q(T, t)$ (居里/瓩) 堆照时间 $T = 120$ 天 冷却时间 $t = 0-90$ 天	248
表 4-18	^{235}U 裂变产物的比放射性 $Q(T, t)$ (居里/瓩) 堆照时间 $T = 120$ 天 冷却时间 $t = 120$ 天—10 年	249
表 4-19	^{235}U 裂变产物的比放射性 $Q(T, t)$ (居里/瓩) 堆照时间 $T = 0.01$ 天 冷却时间 $t = 0-12$ 小时	250
表 4-20	裂变谱中子引起 ^{235}U 瞬发裂变产物放射性 $Q(t)$, (居里/千吨裂变当量) 冷却时间 $t = 0-12$ 小时	254
表 4-21	裂变谱中子引起 ^{235}U 瞬发裂变产物放射性 $Q(t)$, (居里/千吨裂变当量) 冷却时间 $t = 1-365$ 天	260
表 4-22	裂变谱中子引起 ^{239}Pu 瞬发裂变产物放射性 $Q(t)$, (居里/千吨裂变当量) 冷却时间 $t = 0-12$ 小时	263
表 4-23	裂变谱中子引起 ^{239}Pu 瞬发裂变产物放射性 $Q(t)$, (居里/千吨裂变当量) 冷却时间 $t = 1-365$ 天	269
表 4-24	堆照 ^{235}U 裂变产物混合物总的放射性 $Q(T, t)$ (居里/瓩)	272
表 4-25	堆照 ^{235}U 裂变产物混合物总的 γ 当量 $M(T, t)$ (克镭当量/瓩)	272
	参考文献	273

第二部分 放 射 源

第五章 放射源	274
5-1 放射源设计上的要求	274
5-2 放射源的制备	274
5-3 放射源的包壳及安全检验	275
表 5-1 典型使用对密封源的要求	276
表 5-2 密封源各等级的质量标准	276
5-4 α 放射源	277
表 5-3 某些 α 放射性同位素的主要特性	278
5-5 β 放射源	278
表 5-4 β^+ 同位素能量表	279
表 5-5 各种 β 放射源特性	279
表 5-6 几种主要 β 射线厚度计特性	279
表 5-7 常用氚靶的特性	280
5-6 γ 和其他光子源	280
表 5-8 各种用途的 γ 放射源	280
表 5-9 低能光子源特性	281
表 5-10 韧致辐射源	282
5-7 低能 γ 和 X 射线的能谱	282
图 5-1 ^{241}Am 陶瓷 γ 源	282
图 5-2 ^{241}Am 陶瓷 γ 源(发射 LX 射线)	282
图 5-3 ^{109}Cd γ 源	283
图 5-4 ^{109}Cd X 射线源	283
图 5-5 ^{57}Co γ 射线源	283
图 5-6 ^{244}Cm X 射线源(发射 Pu-LX 射线)	283
图 5-7 ^{153}Gd γ 源	283
图 5-8 ^{125}I X 射线源	283
图 5-9 ^{55}Fe X 射线源	284
图 5-10 ^{210}Pb γ 源(发射 LX 射线)	284
图 5-11 ^{238}Pu X 射线源(发射 U-LX 射线)	284
图 5-12 $^{125\text{m}}\text{Te}$ γ 源	284
图 5-13 ^{170}Tm γ 源(发射 X 射线)	284
图 5-14 $^3\text{H}/\text{Ti}$ β 激发 X 射线源	284
图 5-15 $^3\text{H}/\text{Zr}$ β 激发 X 射线源	285
参考文献	285
第六章 放射性同位素中子源	286
6-1 产生中子的方法	286
6-2 自发裂变中子源	286
表 6-1 自发裂变同位素的某些特性	287
6-3 (α, n) 反应中子源	286

表 6-2 (α, n) 中子源及其特性	288
6-4 (γ, n) 反应中子源	289
表 6-3 (γ, n) 中子标准产额	289
6-5 中子源能谱	290
图 6-1 ^{210}Po -Be 中子谱	291
图 6-2 ^{226}Ra -Be 中子谱	291
图 6-3 ^{227}Ac -Be 中子谱	291
图 6-4 ^{228}Th -Be 中子谱	291
图 6-5 ^{238}Pu -Be 中子谱	291
图 6-6 ^{239}Pu -Be 中子谱	291
图 6-7 ^{241}Am -Be 中子谱	292
图 6-8 ^{242}Cm -Be 中子谱	292
图 6-9 ^{241}Am - ^{242}Cm -Be 中子谱	292
图 6-10 ^{210}Po -B 中子谱	292
图 6-11 ^{210}Po -F 中子谱	292
图 6-12 ^{210}Po -Li 中子谱	292
图 6-13 ^{241}Am -B 中子谱	293
图 6-14 ^{241}Am -F 中子谱	293
图 6-15 ^{241}Am -Li 中子谱	293
图 6-16 模拟裂变中子谱	293
图 6-17 ^{124}Sb -Be 中子谱	293
图 6-18 ^{72}Ga - D_2O 中子谱	293
图 6-19 ^{24}Na - D_2O 中子谱	293
图 6-20 ^{116}In -Be 中子谱	294
图 6-21 ^{140}La -Be 中子谱	294
图 6-22 ^{24}Na -Be 中子谱	294
6-6 中子源使用的几点注意事项	290
表 6-4 常用中子源的 r 剂量	294
参考文献	295
第七章 放射性同位素能源	296
7-1 α 放射体能源燃料	296
表 7-1 ^{210}Po (金属钋) 能源燃料主要特性数据表	296
表 7-2 ^{210}Po (钋化钷) 能源燃料主要特性数据表	299
表 7-3 ^{238}Pu (金属钷) 能源燃料主要特性数据表	301
表 7-4 ^{238}Pu (二氧化钷) 能源燃料主要特性数据表	306
表 7-5 ^{238}Pu (钷-钼陶瓷) 能源燃料主要特性数据表	309
表 7-6 钷-238 中各轻元素杂质的特定中子产额	314
表 7-7 ^{242}Cm (氧化钷) 能源燃料主要特性数据表	314
表 7-8 ^{244}Cm (氧化钷) 能源燃料主要特性数据表	316
7-2 β 和 β, γ 放射体能源燃料	321
表 7-9 ^{90}Sr (SrTiO_3) 能源燃料主要特性数据表	322
表 7-10 ^{137}Cs (CsCl) 能源燃料主要特性数据表	323

表 7-11	^{137}Cs (铯玻璃) 能源燃料主要特性数据表	324
表 7-12	$^{144}\text{Ce}(\text{CeO}_2)$ 能源燃料主要特性数据表	325
表 7-13	$^{147}\text{Pm}(\text{Pm}_2\text{O}_3)$ 能源燃料主要特性数据表	326
7-3	γ 放射体能源燃料	327
表 7-14	^{60}Co (金属钴) 能源燃料主要特性数据表	327
参考文献		328

第三部分 放射性同位素的应用

第八章	放射性同位素在工业上的应用	329
8-1	射线的应用	329
1.	同位素电池	329
2.	辐射化学	330
表 8-1	辐射化学应用概况	330
3.	活化分析	331
4.	放射性测井	332
表 8-2	岩层中主要岩石密度	332
5.	放射性检测和控制仪表	333
图 8-1	放射性同位素测厚仪示意图	333
表 8-3	放射性同位素测厚仪性能	333
表 8-4	厚度仪测定范围和使用的放射源	334
图 8-2	放射性同位素物位计示意图	334
表 8-5	放射性同位素物位计性能	334
图 8-3	放射性同位素密度计示意图	335
图 8-4	核子称示意图	335
表 8-6	常用的低能 γ 和 X 射线源	336
8-2	示踪原子的应用	337
1.	冶炼过程的研究	337
2.	机械磨损检查	337
3.	在化工生产过程中的应用	338
4.	催化作用的研究	339
第九章	放射性同位素在农业上的应用	340
表 9-1	农业上常用的放射性同位素	340
9-1	辐射育种	340
表 9-2	几种农作物常用辐射剂量	340
9-2	在昆虫学中的应用	341
1.	防治害虫	341
表 9-3	利用雄虫不育技术能够控制或消灭的害虫名称	342
2.	研究杀虫剂的毒理作用	341
9-3	食品的保藏	342
表 9-4	辐射保藏食品常用剂量	343
表 9-5	辐射保藏食品的效果	343

第十章 放射性同位素在医学上的应用345

10-1 在临床诊断上的应用345

1. 脏器功能的测定 345

表 10-1 常用各种放射性同位素检查功能状态的方法 346

2. 某些脏器的闪烁扫描和照相 345

表 10-2 放射性同位素闪烁扫描术在临床上的应用 346

3. 血液系统的检查 351

表 10-3 放射性同位素测定红血细胞、白血细胞及血小板寿命期的数值 352

表 10-4 诊断恶性贫血常用方法 353

4. 同位素体外试验 353

5. ^{32}P 在肿瘤诊断上的应用 355

表 10-5 ^{32}P 在肿瘤诊断上的应用 355

10-2 在临床治疗上的应用356

1. 放射性 ^{131}I 在治疗上的应用 356

2. 放射性 ^{32}P 在治疗上的应用 357

表 10-6 ^{32}P 在治疗上的应用 358

3. β 射线敷贴疗法 358

表 10-7 β 射线敷贴治疗皮肤病常用剂量 359

表 10-8 β 射线敷贴治疗眼科疾病常用剂量 360

4. 放射性胶体在治疗上的应用 359

表 10-9 放射性胶体在临床上的应用 360

5. 辐射治疗 361

10-3 放射性同位素在医学研究上的应用361

1. 在药物研究上的应用 361

2. 中子活化分析 362

3. 放射自显影术的应用 362

4. 中草药及国内有关药物上的应用 363

5. 微生物的快速测定 363

10-4 关于体内用放射性药物的剂量问题363

表 10-10 体内用放射性药物的剂量 363

表 10-10(1) 脑 363

表 10-10(2) 脑脊髓腔 364

表 10-10(3) 甲状腺 364

表 10-10(4) 心肌 365

表 10-10(5) 肝、胆囊 365

表 10-10(6) 脾脏 365

表 10-10(7) 肺 365

表 10-10(8) 肾 366

表 10-10(9) 骨 366

表 10-10(10) 骨髓 368

表 10-10(11) 胎盘 368

表 10-10(12) 胰腺 368

表 10-10(13) 血液系统	368
表 10-10(14) 肿瘤定位(1)	369
表 10-10(14) 肿瘤定位(2)	369
表 10-10(15) 前列腺	369
参考文献	369

第四部分 辐射防护

第十一章 辐射防护	371
11-1 基本概念和常用公式	371
1. 基本概念	371
表 11-1 电离辐射的最大容许剂量当量和限制剂量当量	372
表 11-2 人体接受 β 粒子或中子照射时,相当于每小时 2.5 毫雷姆的 通量密度及 0.1 雷姆的积分通量	373
表 11-3 放射性物质的最大容许浓度和限制浓度	374
表 11-4 比值控制	376
表 11-5 职业性照射的最大容许人体负荷量	377
表 11-6 放射性同位素毒性分组	387
表 11-7 在“正常地区”由天然辐射源的外部 and 内部辐照造成的 机体组织剂量率	388
表 11-8 人们日常生活所受其他照射量的估计	388
表 11-9 “标准人”的器官	389
表 11-10 “标准人”全身中的元素分布	390
表 11-11 “标准人”的摄入量和排泄量	390
表 11-12 “标准人”呼吸道中滞留的微粒	391
表 11-13 “标准人”的胃肠道	391
2. 常用公式	391
表 11-14 几种材料的分出截面	393
表 11-15 线质系数(Q)与线能量转移(LET)的关系	394
表 11-16 射线种类与线质系数(Q)的关系	394
11-2 辐射防护	395
表 11-17 照射 400—600 雷姆剂量后各个时期出现的症状	395
1. 内照射防护	395
表 11-18 放射性物质污染表面的控制水平	398
表 11-19 计算 r 内照射吸收剂量时的 g 因子	398
表 11-20 生物常数和有关的物理常数	399
表 11-21 长寿命亲骨性同位素在体内的最大容许积存量(q_m)	445
2. 外照射的防护	445
图 11-1 β 粒子最大射程与能量的关系	446
图 11-2 将最大能量为 E 的 β 粒子全部吸收所需的厚度	446
表 11-22 α 粒子在空气,生物组织及铝中的射程	446
表 11-23 β 粒子的最大射程 R_β	446
表 11-24 β 粒子在铝中的半价层 $\Delta_{1/2}$	447
表 11-25 样品中 β 粒子自吸收因子 P	448

表 11-26	不同减弱倍数 K , 电子加速器轭致辐射所需的混凝土防护厚度(厘米)	448
图 11-3	对 X 射线的屏蔽所需的铅当量	449
表 11-27	几种材料的 γ 射线线性吸收系数 μ	451
表 11-28	各向同性点源的剂量积累因子 (B)	452
表 11-29	单向平面源剂量积累因子 (B)	453
表 11-30	γ 射线的半厚度值(厘米)	453
图 11-4	不同减弱系数 η 所需水的厚度 (^{137}Cs , ^{24}Na , ^{198}Au , ^{59}Fe)	454
图 11-5	不同减弱系数 η 所需水的厚度 (^{210}Po , ^{51}Cr , ^{131}I , ^{60}Co)	454
图 11-6	不同减弱系数 η 所需混凝土厚度 (^{226}Ra , ^{137}Cs , ^{59}Fe , ^{198}Au)	455
图 11-7	不同减弱系数 η 所需混凝土厚度 (^{210}Po , ^{24}Na , ^{51}Cr , ^{131}I , ^{60}Co)	455
图 11-8	不同减弱系数 η 所需铁厚度 (^{24}Na , ^{198}Au , ^{137}Cs , ^{59}Fe)	455
图 11-9	不同减弱系数 η 所需铁厚度 (^{51}Cr , ^{131}I , ^{210}Po , ^{60}Co)	455
图 11-10	不同减弱系数 η 所需铅厚度 (^{60}Co , ^{51}Cr , ^{131}I , ^{210}Po , ^{226}Ra)	456
图 11-11	不同减弱系数 η 所需铅厚度 (^{24}Na , ^{198}Au , ^{137}Cs , ^{59}Fe)	456
表 11-31	对不同能量 γ 射线(宽射束)减弱倍数 k 所需水防护层厚度表	457
表 11-32	对不同能量 γ 射线(宽射束)减弱倍数 k 所需混凝土防护层厚度表	458
表 11-33	对不同能量 γ 射线(宽射束)减弱倍数 k 所需铁防护层厚度表	459
表 11-34	对不同能量 γ 射线(宽射束)减弱倍数 k 所需铅防护层厚度表	460
表 11-35	各种中子屏蔽材料的半厚度	462
11-3	放射性的监测方法	462
1. 监测项目		462
2. 监测方法		463
11-4	放射性的常用监测仪表	471
表 11-36	各类型号的监测仪表	467
表 11-37	辐射防护用滤布	471
表 11-38	其他防护用品	472
第十二章	放射性污染的去除和“三废”处理	473
12-1	放射性污染的去污方法	473
表 12-1	清除表面污染参考表	473
12-2	放射性“三废”处理	475
参考文献		477

第五部分 同位素表及衰变纲图

第十三章	同位素表及衰变纲图	478
13-1	同位素表	478
13-2	衰变纲图	853
参考文献		883
附录		890
一、物理常数		890
二、原子质量和结合能		891
三、空气中的真吸收系数(R)		902

四、一些单位的换算系数	902
五、常用单位的换算	907
六、元素的密度	910
七、常用技术术语	912
八、同位素常用缩写略语	918

第一部分 放射性同位素

第一章 放射性同位素

1-1 放射性同位素的来源

放射性同位素可分成两大类：天然放射性同位素和人工放射性同位素。

天然放射性同位素来源于：直接由矿石中提取，如 ^{226}Ra 、 ^{238}U 等；或由长寿命母体中分离得到，如 ^{234}Th 、 ^{210}Po 等。

利用中子、带电粒子和光子轰击各种靶材料，可以得到人工放射性同位素，反应堆和回旋加速器是制备放射性同位素的主要设备，而利用各种中子源（除反应堆外）和其它加速器等也能制备，但数量较少。

另外，从辐照过的铀棒的后处理中，可以得到各种裂变产物，如 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 等，这亦是人工放射性同位素的一个重要来源。

1-2 放射性衰变规律

放射性同位素的核不受外界因素（如温度、压力等）影响自发地放射出一种或几种粒子（如 α 、 β ）和 γ 射线（K 捕获除外）而转变成另一元素或过渡到另一状态，这种现象称为核衰变。衰变前的核称为母体，衰变后的核称为子体，若子体仍不稳定还会继续衰变到第二代子体（子子体）以至发生几代的衰变，产生更多代子体，形成一个放射系 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \cdots$ 。对第二代子体而言，第一代子体就成了第二代母体，起始衰变核则称为母母体（祖体），以此类推。

放射性同位素每个核的衰变并不是同时发生的，而是有先后，实验证明，在一定时间 Δt 内衰变的核数 ΔN 与核的总量 N 成正比，即

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N,$$

其中 λ 是个比例常数，称为衰变常数，可以写成

$$\lambda = -\frac{1}{N} \frac{dN}{dt},$$

其物理意义是单位时间内每一个核的衰变几率。核衰变速度是表征放射性同位素的重要特征之一。放射性物质的原子数因衰变而减少到原来的一半时所需要的时间，称为该同位素的半衰期，用 $T_{1/2}$ 表示。

$$\text{当 } t = T_{1/2} \text{ 时, } N = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t}.$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}},$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

1. 放射性衰变的重要公式

$$(1) N = N_0 e^{-\lambda t} \text{ 或 } N = N_0 e^{-0.693t/T_{1/2}}$$

$$(2) A = A_0 e^{-\lambda t} \text{ 或 } A = A_0 e^{-0.693t/T_{1/2}}$$

$$(3) I = I_0 e^{-\lambda t} \text{ 或 } I = I_0 e^{-0.693t/T_{1/2}}$$

$$(4) N = N_0 e^{-n} \text{ 或 } N/N_0 = 1/2^n$$

$$(5) \text{ 裂变产物衰变: } I_1 t_1^{-1.2} = I_2 t_2^{-1.2}$$

上列各式中

N_0 : 初始时 ($t = 0$) 的原子核数

N : 时间 t 时尚未衰变的原子核数

I_0 : 初始时 ($t = 0$) 的辐射强度

I : 时间 t 时的辐射强度

A_0 : 初始时的放射性

A : 时间 t 时的放射性

λ : 衰变常数

e : 自然对数的底(2.718)

$T_{1/2}$: 半衰期

$$n = t/T_{1/2}$$

t : 时间

I_1 : 裂变后在时间 t_1 (>4 小时)时的辐射强度

I_2 : 裂变后在时间 t_2 (<200 天)时的辐射强度

2. 放射性衰变计算表说明

由公式: $A = A_0 e^{-\lambda t}$, $A/A_0 = e^{-\lambda t}$,

已知 A_0 、 $T_{1/2}$, 经过时间 t 后求 A , 可先计算出 $t/T_{1/2}$ 的比值(t 与 $T_{1/2}$ 单位须一致). 根据算出的 $t/T_{1/2}$ 值从表 1-1 查出未衰变核的分数值 ($e^{-\lambda t}$), 与 A_0 相乘, 即可求得 A .

例: 5 毫居里 ^{129}I 经过 30 天后还有多少?

已知: $A_0 = 5$ 毫居里

$$T_{1/2} = 60 \text{ 天}$$

$$t = 30 \text{ 天}$$

$$t/T_{1/2} = 30/60 = 0.5$$

查表 1-1, $e^{-\lambda t} = 0.7071$

所以, $A = A_0 e^{-\lambda t} = 5 \times 0.7071 = 3.535$ 毫居里.

即 5 毫居里 ^{129}I 经过 30 天后还剩 3.535 毫居里.