

主 编	李连波	王金鹏		
副主编	于夕荣	于凤海	何顺升	刘 兵
编 委	(按姓氏笔画为序)			
	于夕荣	于凤海	于建华	于瑞广
	王金鹏	王福臣	石少杰	刘 兵
	刘 伟	孙秀兰	孙绪利	李明言
	李连波	何顺升	邱玉会	张士成
	张方清	张洪成	陈玉祥	林治宁
	赵艳敏	赵承华	黄会平	韩良兵
主 审	孙积涛			

前 言

放射性同位素与射线装置的广泛应用,为国民经济的发展和公众健康水平的提高起到了重要的促进作用。但因其具有产生电离辐射的特性,易对人类造成放射性危害。减少或避免其危害的根本措施之一,就是做好放射卫生防护。1989年国务院颁发的《放射性同位素与射线装置放射防护条例》为核技术和射线技术的安全应用和放射卫生防护工作的法制化、规范化管理提供了法律依据。

本书以贯彻国务院《放射性同位素与射线装置放射防护条例》为主线,以放射工作人员和放射防护专业人员为对象,侧重介绍了实际工作中的放射损伤、放射防护和防护管理等方面的知识,兼顾介绍了有关基础理论知识和法律常识,力求专业知识与工作实践结合,技术要求与监督管理相融。希望能对放射卫生防护工作提供有益的帮助。

本书共分十三章,其特点有四方面:一是内容较系统、全面,针对性也较强;二是尽量避免理论叙述,注重防护技术,通俗易懂,实用性强;三是注意汲取新技术、新方法,具有一定的新颖性、先进性;四是书后附录列出了我国现行的主要放射卫生防护法规。因此,本书既可作为放射工作人员的培训教材,也可作为放射防护专业技术人员和管理人员的参考书。

由于我们水平有限,加之时间仓促,书中错误、不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1998年5月

目 录

第一章 放射防护基础物理知识

第一节	原子结构	(1)
第二节	放射性物质	(3)
第三节	射线装置	(8)
第四节	射线与物质的相互作用	(10)

第二章 辐射量及其单位

第一节	放射性活度	(14)
第二节	照射量	(16)
第三节	吸收剂量	(17)
第四节	比释动能	(18)
第五节	照射量、吸收剂量和比释动能之间的关系	(18)
第六节	放射防护中使用的当量剂量和有效剂量	(21)
第七节	放射防护中使用的辅助量	(24)
第八节	用于环境和个人监测的 ICRU 量	(25)

第三章 放射损伤

第一节	电离辐射生物效应类型及其特点	(28)
第二节	电离辐射生物效应的基本规律及机理	(34)
第三节	电离辐射对机体的影响	(40)
第四节	外照射急性放射病	(45)
第五节	外照射亚急性放射病	(50)
第六节	外照射慢性放射病	(52)
第七节	内照射放射病	(56)
第八节	放射性皮肤损伤	(58)
第九节	放射性白内障	(62)
第十节	外照射放射性骨损伤	(63)

第十一节	放射性甲状腺疾病	(66)
第四章	放射卫生防护法规与标准	
第一节	放射卫生防护法规	(69)
第二节	放射卫生防护标准	(76)
第五章	放射工作人员健康管理	
第一节	放射工作人员证的管理	(89)
第二节	健康监护与放射性疾病管理	(90)
第三节	放射工作人员个人剂量监测	(97)
第四节	放射工作人员的培训	(101)
第六章	外照射防护概述	
第一节	外照射防护的基本措施	(105)
第二节	外照射的屏蔽防护	(108)
第三节	外照射防护屏蔽材料	(125)
第七章	医用诊断 X 线的防护	
第一节	医用诊断 X 线防护的基本要求	(132)
第二节	放射工作人员的防护	(142)
第三节	受检者的防护	(143)
第四节	医用诊断 X 射线的合理应用	(150)
第五节	医用 X 射线诊断影像质量保证	(159)
第八章	放射治疗工作中的放射卫生防护	
第一节	医用治疗 X 射线的防护	(170)
第二节	医用 γ 射线远距离治疗的防护	(173)
第三节	医用电子加速器的防护	(177)
第四节	后装 γ 源近距离治疗的防护	(184)
第五节	放射治疗质量控制与质量保证的基本要求	(189)
第六节	体外射束放射治疗中患者的防护	(191)
第九章	γ 辐照加工装置的放射卫生防护	
第一节	一般防护要求	(197)
第二节	放射源的倒装	(201)

第三节	辐射应急·····	(202)
第十章	工业用射线装置及小型密封放射源的放射卫生防护	
第一节	工业射线探伤的防护·····	(204)
第二节	粒子加速器的防护·····	(207)
第三节	X 射线衍射仪和荧光分析仪的防护·····	(210)
第四节	小型密封放射源的防护·····	(215)
第五节	含密封源仪表的防护·····	(221)
第六节	射线测井的防护·····	(228)
第十一章	含放射性物质消费品的放射卫生防护	
第一节	含放射性物质消费品的防护要求·····	(232)
第二节	离子感烟火灾探测器的卫生防护·····	(237)
第十二章	非密封型放射源的放射卫生防护	
第一节	非密封型放射工作单位的卫生防护设计·····	(242)
第二节	非密封型放射工作的设备·····	(246)
第三节	个人防护和安全操作·····	(249)
第四节	放射性表面污染的去除·····	(252)
第五节	放射性废物的治理·····	(256)
第六节	辐射监测·····	(260)
第七节	临床核医学放射卫生防护·····	(262)
第八节	临床核医学中患者的放射卫生防护·····	(270)
第九节	β 粒子敷贴治疗的放射卫生防护·····	(282)
第十节	放射性发光涂料的放射卫生防护·····	(284)
第十一节	汽灯纱罩生产的放射卫生防护·····	(291)
第十三章	放射卫生防护管理与监督	
第一节	放射卫生防护管理·····	(299)
第二节	放射卫生监督·····	(306)
第三节	预防性和经常性放射卫生监督·····	(309)
第四节	放射工作的许可登记·····	(317)
第五节	行政违法与行政处罚·····	(325)

第六节	放射事故监督管理.....	(338)
-----	---------------	-------

附 录

附录 1	放射性同位素与射线装置放射防护条例	(347)
附录 2	γ 辐照加工装置卫生防护管理规定	(354)
附录 3	医用 X 射线诊断放射卫生防护及影像质量 保证管理规定	(359)
附录 4	放射治疗卫生防护与质量保证管理规定	(365)
附录 5	放射工作人员健康管理规定	(370)
附录 6	放射事故管理规定	(377)
附录 7	非医用加速器放射卫生管理办法	(389)
附录 8	辐照食品卫生管理办法	(394)
附录 9	国际单位制词冠	(399)
附录 10	主要放射性核素的某些物理学参数表	(400)

第一章 放射防护基础物理知识

第一节 原子结构

一、原子结构

原子是构成物质的基础，是用任何化学方法都不能再分的最小单元。自然界中一切物质都是由各种元素的原子组成。19 世纪中期，人们还将原子看成是物质的最终不能再分的最小单位。到了 19 世纪末期，由于 X 射线、放射性和电子这三大发现，才否定了以前对原子的错误看法，认识到原子有一个复杂的结构。1911 年，英国物理学家卢瑟福提出了原子壳层模型，认为原子质量绝大部分集中在一个带有正电荷而直径仅为 $10^{-15} \sim 10^{-14} \text{m}$ 的原子核中。另外，有与核内正电荷数相同的电子，在离原子核 $10^{-14} \sim 10^{-10} \text{m}$ 的区域内，按一定规律排列，并在轨道上运动。整个原子呈电中性。原子的直径为 10^{-10}m 数量级，原子核的直径约为 10^{-15}m 数量级，它只占原子体积的几千亿分之一，可它的质量占整个原子质量的 99.9% 以上。

原子中的每个电子都有它自己的固定轨道，若干个轨道组成一个壳层。最靠近核的壳层称为 K 壳层，向外依次为 L、M、N、O、P、Q 壳层。每一壳层中可容纳的电子数目是有限的。不同壳层上的电子所具有的能量是不同的。处于 K 壳层上的电子能量最低，越往外面的壳层，其电子的能量越高。在正常情况下，原子中的电子总是先占据能量较低的轨道。当然，这种轨道只是一种形象的名称，实际上电子的运动很复杂，与宏观的轨道不同。在没有外来能量干扰的正常情况下，这些电子在轨道上运动时，既不吸收也不放出能量，此时原子处于稳定的基态。

二、原子核的组成

原子核由质子和中子组成，通常把质子和中子统称为核子。质子质量相当于氢原子核，静止质量为 $1.007825048u$ (u 是原子质量单位的符号， $1u=1.6605402\times 10^{-27}kg$)，它带有一个单位的正电荷 ($1.60217733\times 10^{-19}C$)。中子是不带电的中性粒子，其质量与质子近似相等，它的静止质量为 $1.008664904u$ 。根据原子核所带正电荷的电量，可以确定核内的质子数，核内质子数用符号 Z 表示，称为核电荷数，亦即元素在周期表中的原子序数。各种元素的原子中，正常情况下，核内质子数和核外电子数相等，故整个原子呈电中性。根据原子序数和原子量，我们可以知道原子的构成。例如原子量为 31 的 15 号核素 P，其核内有 15 个质子，有 16 个 ($31-15$) 中子，核外有 15 个电子。

三、核素、同位素

(1) 核素：凡核内质子数、中子数和能量状态完全相同的原子的集合都称为核素。

(2) 同位素：凡核内质子数（核电荷数和原子序数）相同而中子数（原子量）不同的核素，它们彼此称为同位素。例如 ^{125}I 和 ^{131}I 核内都含有 53 个质子，同属 53 号元素，在元素周期表中占据相同的位置，只是它们的核内分别含有 72 个和 78 个中子，故原子量不同，它们是碘 (I) 元素的两种同位素。由于同位素具有相同的核外电子结构，所以它们具有相同的化学性质。

(3) 同质异能素（或称同核异能素）：

凡核内质子数和中子数都相同而原子核处于不同能量状态的核素，彼此称同质异能素。例如 ^{99m}Tc 和 ^{99}Tc ，前者左上角加注的 m 表示它比后者处于较高的能量状态。

四、放射性同位素

同位素可以分成两大类：一类同位素的原子核不会自发地衰变，能够稳定地存在，这类同位素称为稳定性同位素；另一类同位素的原子核能自发地衰变而转变为另一种元素的原子核，同时放射出射线，这类同位素称为放射性同位素。放射性同位素又可分为两类：一类是天然存在的，称为天然放射性同位素，例如原子序数在 84 以后的自然界存在的各种元素都是放射性核素；另一类是用人工方法（例如反应堆、加速器）制备的，称为人工放射性同位素。临床医学上常用的放射性同位素几乎都是人工放射性同位素，例如 ^{32}P 、 ^{131}I 、 ^{198}Au 、 ^{60}Co 等。

思考题：

1. 物质的构成是怎样的？
2. 如何认识构成物质的最小单位？

第二节 放射性物质

一、放射性的一般现象

1896 年，贝可勒尔（H. Becquerel）在研究铀矿的荧光现象时，发现铀矿物能发射出穿透力很强并能使照相底片感光的不可见射线。在磁场中研究这种射线的性质时，证明它是由三种成份组成的：其中一种成份在磁场中的偏转方向与带正电的离子流的偏转方向相同；另一种成份的偏转方向与带负电的离子流的偏转方向相同；第三种成份则不发生任何偏转。这三种成份的射线分别叫做 α 、 β 和 γ 射线。它们的贯穿本领和本性如下：

1. α 射线是由高速运动的氦原子核（又称 α 粒子）组成的。所以，它在磁场中的偏转方向与正离子流的偏转方向相同。它的电离作用

大，贯穿本领小。

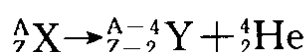
2. β 射线是高速运动的电子流。它的电离作用较小，贯穿本领较大。

3. γ 射线是波长很短的电磁波。它的电离作用小，贯穿本领大。

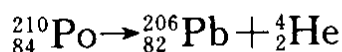
现在知道，有许多天然的和人工生产的核素都能自发地发射各种射线。有的发射 α 射线，有的发射 β 射线，有的发射 α 或 β 射线的同时也发射 γ 射线，有的三种射线均有。此外还有发射正电子、质子、中子等其它粒子的。原子核自发地放射各种射线的现象称为放射性。能自发地放射各种射线的核素称为放射性核素，也叫不稳定核素。实验表明，对放射性核素加温、加压或加磁场都不能抑制或显著地改变射线的发射。原来，放射性现象是由原子核的变化引起的，与核外电子状态的改变关系很小。

放射性与原子核衰变密切相关。所谓原子核衰变是指原子核自发地放射出 α 或 β 等粒子而发生的转变。

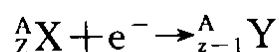
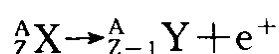
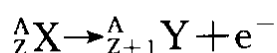
α 放射性与 α 衰变相联系。原子核自发地放射出 α 粒子而发生的转变，叫做 α 衰变。在 α 衰变中，衰变后的剩余核（通常叫子核）与衰变前的原子核（通常叫母核）相比，电荷数减少 2，质量数减少 4。可以用下列式子表示 α 衰变：



式中 X 表示母核，Y 表示子核。例如 ${}_{84}^{210}\text{Po}$ 的 α 衰变可以写为：



β 放射性与 β 衰变相联系。原子核自发地放射出电子或正电子或俘获一个轨道电子而发生的转变，统称为 β 衰变。细分之，放出电子的称为 β^- 衰变；放出正电子的称为 β^+ 衰变；俘获轨道电子的称为轨道电子俘获。与 α 衰变类似， β 衰变的三种类型可分别用下式表示：



其中 e^- 、 e^+ 分别代表电子和正电子。由上式可见，在 β 衰变中，子核与母核的质量数相同，只是电荷数相差 1。 β^- 衰变相当于原子核中的一个中子变成了质子； β^+ 衰变和轨道电子俘获相当于原子核的一个质子变成了中子。显然，子核和母核是相邻的同量异位素。例如 $^{32}_{15}\text{P}$ 的 β 衰变： $^{32}_{15}\text{P} \rightarrow ^{32}_{16}\text{S} + e^-$ ， $^{32}_{15}\text{P}$ 和 $^{32}_{16}\text{S}$ 是相邻同量异位素。

γ 放射性既与 γ 跃迁相联系，也与 α 衰变或 β 衰变相联系。 α 和 β 衰变的子核往往处于激发态。处于激发态的原子核要向基态跃迁，这种跃迁称为 γ 跃迁。在 γ 跃迁中通常要放出 γ 射线。因此， γ 射线的自发放射一般是伴随 α 或 β 射线产生的。例如，放射源 ^{60}Co 既具有 β 放射性，也具有 γ 放射性。这是由于放射性原子核 ^{60}Co 首先要 β 衰变至 ^{60}Ni 的激发态，然后当激发态跃迁到基态时会放射出 γ 射线来。 γ 跃迁与 α 或 β 衰变不同，不会导致核素的变化，而只改变原子核的内部状态。因此 γ 跃迁的子核和母核，其电荷数和质量数均相同，只是内部状态不同而已。

放射性有天然放射性和人工放射性之分。天然放射性是指天然存在的放射性核素所具有的放射性。它们大多属于由重元素组成的三个放射系（即钍系、铀系和锕系）。此外，还存在一些非系列的天然放射性核素，例如 ^3_1H 、 $^{14}_6\text{C}$ 、 $^{40}_{19}\text{K}$ 等。人们可以用人工办法（例如反应堆和加速器）来生产放射性，这叫人工放射性。目前人工放射性核素远比天然放射性核素要多，在科学研究和生产应用中有更为重要的作用。

二、核衰变的基本规律

一种放射性原子核经 α 或 β 衰变成为另一种原子核。实践表明，这种变化即使对于同一核素的许多原子核来说，也不是同时发生的，而是有先有后。因此对于任何放射性物质，其原有的放射性原子核的数量将随着时间的推移变得越来越少。这种放射性衰变是有规律的。

以 $^{222}_{86}\text{Rn}$ 的 α 衰变为例，把一定量的氡单独存放，实验发现在约

四天之后氡的数量减少了一半,经过八天减少到原来的四分之一,经过十二天减到八分之一,一个月后就不到原来的百分之一了。这一衰变情况如图 1—1

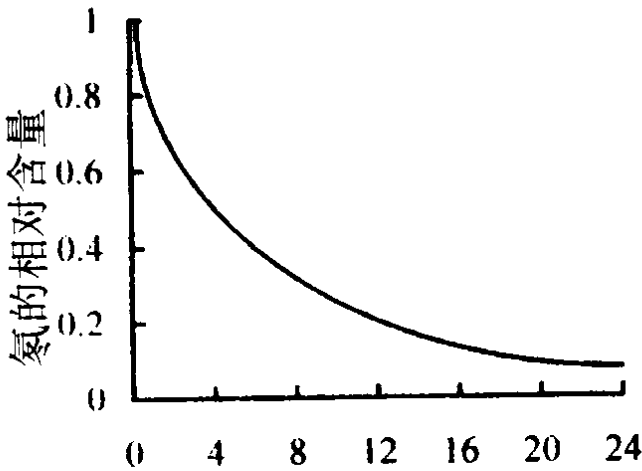


图 1—1 放射性核素氡的衰变曲线

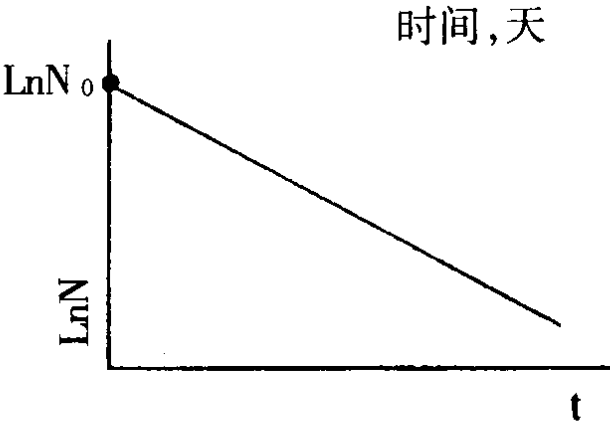


图 1—2 用半对数坐标表示的氡的衰变曲线

如果以氡的数量的自然对数为纵坐标,以时间为横坐标作图,则图 (1—1) 的曲线变成了图 (1—2) 的直线,这一直线的方程为

$$\ln N = \ln N_0 - \lambda t \qquad (1-1)$$

N_0 是时间 $t=0$ 时氡的量, N 是 t 时刻的氡的量, $-\lambda$ 是直线的斜率。将上式化为指数形式则为 $N = N_0 e^{-\lambda t}$ (1-2)

可见氡的衰变服从指数衰减规律。实验表明,任何放射性物质在单独存在时都服从这样的规律。(1-1) 式中的 λ 是一个常数,称

为衰变常数。它的量纲是时间的倒数。显然， λ 的大小决定了衰变的快慢。它只与放射性核素的种类有关。因此，它是放射性原子核的特征量。下面分析一下衰变常数 λ 对于个别放射性原子核而言有何物理意义。

对 (1-2) 式微分得

$$-dN = \lambda N dt \quad (1-3)$$

$-dN$ 是原子核在 $t+dt$ 时间间隔内的衰变数。由式可见，此衰变数正比于时间间隔 dt 和时刻 t 的原子核数 N ，其比例系数正好是衰变常 λ 。因此 λ 可以写为

$$\lambda = (-dN/N) / dt \quad (1-4)$$

显然，分子 $-dN/N$ 表示每个原子核的衰变几率。(1-4) 式表明，衰变常数 λ 是在单位时间内每个原子核的衰变几率，这就是衰变常数的物理意义。因为 λ 是常数，所以每个原子核不论何时衰变，其几率均相同。这意味着，各个原子核的衰变是独立无关的。我们不能说哪一个核应该先衰变，哪一个核应该后衰变。每一个核到底何时衰变，完全是偶然性事件。但是偶然性中具有必然性。就大量原子核作为整体来说，其衰变则表现为 (1-2) 式的必然性规律。所以通常把指数衰减律 (1-2) 式也叫作放射性衰变的统计规律。它只适用于大量原子核的衰变，对少数原子核的衰变行为只能给出几率描写。其实在实际应用中，我们所遇到的往往都是大数量的原子核。

(1-2) 式所描述的是放射性核的数目随时间的衰减。由于测量放射性核的数目很不方便，而且往往没有必要，我们所感兴趣而又便于测量的是：在单位时间内有多少核发生衰变，亦即放射性核素的衰变率 $-dN/dt$ ，或者叫放射性活度 A 。这个量可以通过测量射线的数目来确定。

由 (1-3) 式得

$$A = -dN/dt = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1-5)$$

式中 $A_0 = \lambda N_0$ 是 $t=0$ 时的放射性活度。可见放射性活度和放射性核数具有同样的指数衰减规律。

描述衰变的快慢,除了用衰变常数 λ 以外,通常还用下面两个量——半衰期 $T_{1/2}$ 和平均寿命。

半衰期 $T_{1/2}$ 是放射性原子核衰减到原来数目的一半所需的时间。它与 λ 的关系容易推得。按 $T_{1/2}$ 的定义当 $t=T_{1/2}$ 时,

$$N=N_0 \cdot 1/2=N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

所以 $T_{1/2}=\ln 2/\lambda=0.693/\lambda$ (1-6)

可见 $T_{1/2}$ 与 λ 成反比。这是自然的,因为 λ 越大,表示放射性衰变得越快,自然它衰减到一半所需的时间就越短。

平均寿命 是指放射性原子核平均生存的时间。对于大量放射性原子核而言,有的核先衰变,有的核后衰变,各个核的寿命长短不一,从 $t=0$ 到 $t=\infty$ 都有可能。但对某一核素而言,平均寿命只有一个。可以推算出

$$\tau=1/N_0 \int_0^{\infty} \lambda N dt = \int_0^{\infty} \lambda e^{-\lambda t} dt = 1/\lambda$$

即平均寿命和衰变常数互为倒数。

思考题:

1. 放射性衰变有什么规律?
2. 如何计算放射性活度?

第三节 射线装置

所谓射线装置是指 X 射线机、加速器和中子发生器等。这种装置的特点是:当装置运行时就有射线产生,装置停止运行后就不存在辐射现象。

一、X 射线机: X 射线机是指能产生 X 射线并用其实现某种目的的一种装置。它由 X 射线管、高压发生器、控制台及其它附属设备几部分组成。X 射线管是 X 射线的发源地,当 X 射线管的阴极灯丝被通电加热时,就产生了电子,这些电子经高压加速后,打击阳

极靶面，产生了 X 射线。

X 射线的发射量取决于管电流的大小和曝光时间的长短。管电流越大，曝光时间越长，产生的 X 射线量就越大。因此，实际工作中，常以管电流 (mA) 与曝光时间 (S) 的乘积 (mAS) 来描述 X 射线量。X 射线的穿透能力 (即硬度)，则与管电压和滤过板的性质和厚度有关。管电压越高，滤过板越厚，则产生的 X 射线穿透力就越强。

二、加速器：加速器是用人工方法产生带电粒子并使其加速到具有较高能量的装置。它的加速原理是基于电磁场与带电粒子的相互作用。利用这种加速装置可以产生各种能量的电子、质子、氘核、 α 粒子及其它重离子。还可以利用这些直接加速出来的带电粒子与物质相互作用，产生各种带电和不带电的次级粒子。像 X 射线、 γ 粒子、中子等。加速器可分为：高压加速器、回旋加速器和直线加速器。加速器的主要部分是：产生带电粒子的电子枪和离子源，保证带电粒子顺利地加速到预定能量的加速器主体及粒子引出装置等。

加速器的发展是从 30 年代开始的，30 年代高压倍加器、静电加速器、回旋加速器相继问世，40 年代建成了电子感应加速器，认识了谐振加速器中的粒子具有自动稳定现象，使加速器的能量突破 100MeV；50 年代，能量为数千 MeV 至 10 千 MeV 的质子同步加速器建成；60 年代建成了 2.2 万 MeV 的电子直线加速器；70 年代能量为 50 万 MeV 的强聚焦同步加速器建成，而且出现了超导加速器。目前加速器种类已超过 20 余种，并且大约每隔 6~10 年，粒子加速器的最高能量就提高近 10 倍。

目前加速器已应用于科学研究、化学、放射生物学、放射医学、农业辐射育种、工业探伤、疾病治疗、辐照加工等方面。我们接触的主要是医用加速器和工业加速器。

思考题：

射线装置有何特点？

第四节 射线与物质的相互作用

射线与物质的相互作用，是探讨电离辐射生物效应、辐射防护及射线探测和剂量测量的理论基础。

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能直接引起物质电离的带电粒子。如电子、 α 粒子和质子等。间接电离粒子是指能够产生出直接电离粒子或引起核变化的非带电粒子。如X、 γ 射线和中子等。辐射粒子的运动空间称为辐射场。如果这个空间充满物质，则辐射粒子就会和物质的原子之间发生相互作用。一个辐射场可包含有用射线和散射线。散射线还可以引起二次散射和多次散射。

一、带电粒子与物质的相互作用

带电粒子穿过物质时，主要靠电离和激发物质中的原子来传递能量。当带电粒子在原子的电子旁通过时，由于静电作用，使轨道电子获得足够的能量而逃离原子壳层，使原子电离。或者带电粒子给予电子的能量较小，虽然不能逃出原子壳层，但可从低能态跃迁到了高能态，使整个原子处于较高能量激发态。带电粒子通过物质时，在单位路程上的电离度与其本身的电荷数和速度有关。这是因为：电荷数越多，静电作用就越强，传递的能量就越多；速度越快，与原子的作用时间就越短，传递的能量也减少。因而在 α 粒子通过的路径上形成浓密的离子柱，而 β 粒子的径迹上离子分布就稀疏得多。

运动着的带电粒子还可以与原子核发生非弹性碰撞。带电粒子在原子核的电场作用下，运动突然受阻，运动方向发生大的偏折，此时带电粒子的一部分动能转变为具有连续能谱的X射线辐射出来，这就是所谓的轫致辐射。

α 粒子的电荷数为 β 粒子的2倍，质量为 β 粒子的7300倍。在能量相等的情况下，其速度较慢。因而在飞行过程中，在通过的轨

迹上产生很强的电离。但其轨迹不会发生偏转，它的径迹近似为一条直线，而射程较短。对于能量小于 10MeV 的 α 粒子来说，在空气中的射程也不超过 10cm。 α 粒子在空气中的射程 R 与能量 E 的关系如下：

$$R=0.56E \quad (E<4\text{MeV})$$

$$R=0.318E^{3/2} \quad (4\text{MeV}<E<7\text{MeV})$$

式中 R 的单位是 cm，E 的单位为 MeV。

β 射线的本质是电子流，其质量很轻，只带一个电荷。这样韧致辐射加剧，原子核的弹性散射增加，使 β 粒子偏离了原飞行轨迹，出现曲折的径迹。物质的原子核电荷数越多，这种散射越厉害。且这种散射可能发生多次，其结果有可能使 β 粒子反射回去。

β 粒子在铝中的射程 R_m 与能量 E 的关系为：

$$R_m=0.407E^{1.38} \quad (0.15\text{MeV}<E<0.8\text{MeV})$$

$$R_m=0.542E-0.133 \quad (E>0.8\text{MeV})$$

式中 R_m 是以质量厚度表示的，其单位为 g/cm^2 ， R_m 等于以 cm 表示的射程 R 与密度 ρ (g/cm^3) 的乘积。即 $R_m=R \cdot \rho$

二、非带电粒子与物质的相互作用

非带电粒子也叫间接电离粒子。它们与物质的相互作用主要是通过碰撞把动能的一部分传递给物质的一个带电粒子。然后这个带电粒子与物质再发生电离、激发等过程。

1. X 和 γ 射线均属电磁波。它们与物质的相互作用主要有光电效应、康普顿效应和电子对效应。

光电效应：光子与物质原子的内层轨道电子发生作用，使光子被吸收打出一个电子，而这个电子的动能近似等于被吸收的光子能量。光电效应强烈地依赖于物质的原子序数和光子的能量。当光子能量低，物质的原子序数高时，产生光电效应的几率就大。光电效应产生的总截面为： $\sigma \approx KZ^4/E^3$ ($\text{cm}^2/\text{原子}$)

式中 K 为常数，Z 为物质的原子序数，E 为光子能量。