

原子、化学、生物武器
防 护 医 学
教 学 参 考 资 料

(内部发行 注意保存)

刘 贵 强 主 编

人 民 卫 生 出 版 社

原子、化学、生物武器
防 护 医 学
教 学 参 考 资 料
(内部发行 注意保存)

刘 贵 强 主 编

人 民 卫 生 出 版 社

一九六五年·北京

内 容 提 要

本书主要包括：原子武器及化学武器损伤的诊断、治疗及预防，生物战的防护，三种武器的特点、战斗性能、作用因素及其防御措施。可供医药院校教学参考，也可供卫生人员学习原子、化学、细菌武器防护知识的参考。

原子、化学、生物武器防护医学教学参考资料

开本：787×1092/16 印张：13 字数：304千字

刘 贵 强 主 编

人 民 卫 生 出 版 社 出 版

(北京书刊出版业营业许可证出字第〇四六号)

• 北京崇文区茨子胡同三十六号 •

人 民 卫 生 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

新 华 书 店 内 部 发 行

统一书号：14048·2699

定价：(科五) 1.20 元

1963年5月第1版—第1次印刷

1965年5月第1版—第2次印刷

印数：2,634—4,633

重 印 說 明

本書原于一九六三年五月出版。現在，为了供应各地急需，除对其中某些明顯錯誤作了修改外，对全書整个內容，未及細致修改和补充；在观点上、理論技术上，以及文字上，都可能存在錯誤和問題。因此，本書仅供各地教学参考。

我們热切希望各地在教学过程中，把切合实际的經驗、材料介紹給我們，以便再版时对本書加以补充、修訂。

人民卫生出版社

一九六五年五月

目 錄

第一篇 原子武器损伤	4
第一章 原子武器的物理基础	4
第一节 原子核的结构	4
第二节 放射性	6
第三节 放射性辐射的度量单位	10
第四节 原子核能	11
第二章 原子武器的战斗性能	15
第一节 原子武器的一般特征和使用方法	15
第二节 原子武器的杀伤因素	19
第三章 急性放射病	27
第一节 概說	27
第二节 发病学	28
第三节 病理生理学	31
第四节 病理形态学	36
第五节 临床表现	39
第六节 诊断及鉴别诊断	41
第七节 后遗症	42
第八节 治疗	43
第九节 急性放射病的药物预防	45
第四章 内照射损伤	46
第一节 放射性物质的来源、理化特性与侵入途径	47
第二节 放射性物质在体内的分布与排出	48
第三节 放射性物质的损伤作用	50
第四节 内照射损伤的临床	51
第五节 内照射损伤的治疗	53
第五章 慢性放射病	55
第一节 临床经过	55
第二节 诊断与鉴别诊断	56
第三节 慢性放射病的治疗及预防	57
第六章 皮肤放射损伤	58
第一节 临床经过	58
第二节 治疗	59
第七章 放射性复合伤	60
第一节 放射性复合伤的一般特征	61
第二节 几种放射性复合伤的临床经过特点	63
第三节 放射性复合伤的诊断	66

第四节	放射性复合伤的治疗·····	66
第五节	原子爆炸时视觉器官的损伤·····	71
第二篇	化学武器损伤 ·····	73
第八章	化学武器战斗性能 ·····	73
第一节	化学武器的概念·····	73
第二节	化学武器的特点及使用方法·····	74
第三节	影响军用毒剂作用的因素·····	76
第九章	神经性毒剂损伤·····	79
第一节	主要理化性质·····	79
第二节	毒性及中毒途径·····	80
第三节	中毒机制·····	81
第四节	病理生理学·····	82
第五节	病理形态学·····	83
第六节	中毒症状·····	84
第七节	诊断及鉴别诊断·····	86
第八节	预防·····	87
第九节	急救及治疗·····	87
第十章	糜烂性毒剂损伤·····	89
第一节	糜烂性毒剂的主要理化性质·····	89
第二节	中毒途径及毒性·····	90
第三节	芥子气(硫芥)·····	91
第四节	氮芥气·····	96
第五节	路易氏气·····	96
第六节	诊断及鉴别诊断·····	97
第七节	预防、急救及治疗·····	98
第十一章	窒息性毒剂损伤·····	101
第一节	主要理化性质、中毒途径及毒性·····	101
第二节	中毒机制·····	102
第三节	病理学·····	103
第四节	光气和双光气中毒的临床·····	105
第五节	氯化苦中毒的特点·····	107
第六节	氮氧化物(硝烟)中毒·····	108
第七节	窒息性毒剂中毒的急救与治疗·····	108
第十二章	全身中毒性毒剂损伤 ·····	110
第一节	一氧化碳·····	110
第二节	火药病·····	115
第三节	氢氟酸·····	116
第十三章	刺激性毒剂损伤 ·····	120
第一节	催泪性毒剂·····	120
第二节	喷嚏性毒剂·····	123
第十四章	化学性复合伤 ·····	125
第一节	各种军用毒剂染毒伤口的临床经过特点·····	125

第二节 急救处理的一般原则·····	126
第三篇 原子、化学武器的防护 ·····	128
第十五章 原子、化学武器的防护原则·····	128
第一节 原子、化学武器防护的基本任务·····	128
第二节 原子、化学武器防护的主要措施·····	128
第三节 人员在原子、化学攻击下的行动·····	130
第十六章 个人和集体防护器材·····	131
第一节 滤过式防毒面具·····	131
第二节 隔绝式防毒面具·····	142
第三节 皮肤防护器材·····	144
第四节 集体防护设施·····	149
第十七章 辐射侦察和化学侦察·····	152
第一节 辐射、化学侦察的目的与任务·····	152
第二节 辐射侦察及剂量探测仪器·····	152
第三节 化学侦察及侦毒器材·····	168
第四节 辐射、化学侦察中的防护措施·····	177
第十八章 消除沾染和消毒·····	177
第一节 消除沾染和消毒的目的与任务·····	177
第二节 消除沾染和消毒的基本方法·····	178
第三节 洗消器材、消除沾染剂和消毒剂·····	179
第四节 对人员、水、食物、医疗器材、服装、武器、地面消除沾染和消毒的方法·····	182
第四篇 生物武器的战斗性能及其防护 ·····	191
第十九章 生物武器的基本特点·····	191
第一节 发展概况·····	191
第二节 生物战剂的种类·····	191
第三节 敌人选择生物战剂的条件·····	192
第四节 生物武器施放的器材和容器·····	193
第五节 生物武器的战斗性能·····	195
第六节 生物战剂的战斗状态·····	195
第七节 自然因素对生物战剂的影响·····	198
第八节 敌人对生物武器的使用·····	198
第二十章 生物战的防护·····	200
结语·····	204
附录：毒剂检定用试剂的配制 ·····	205

第一篇 原子武器损伤

第一章 原子武器的物理基础

第一节 原子核的结构

根据近代科学的概念,原子是组成物质的基本单位。原子的体积极小,它的半径约等于 10^{-8} 厘米。在1912年,英国物理学家卢瑟福(Rutherford)的实验证明,原子就象太阳系似的,中心有一个小而重的(其质量几乎等于整个原子的重量)、带正电荷的原子核,周围有若干个小而轻的、带负电荷的电子,绕核作高速度的运动。上述的这些电子,通常称为原子壳层或电子层。因而原子是由原子壳层和原子核组成的。

原子核更小,它的半径约有 10^{-13} 厘米左右,它的大小仅占整个原子半径的万分之一。虽然原子核特别微小,但它的结构要比原子壳层复杂得多。因此,研究原子核的科学工作比研究原子壳层更为艰巨。近几十年来,在核物理的研究方面,发展是很迅速的,累积的知识也是很丰富的;但有许多问题还未彻底清楚,尚待今后继续研究。

原子核是由质子和中子组成的,质子和中子可统称为核子。

质子是一种带有正电荷的基本粒子,一个质子所带的电量和一个电子所带的电量相等,也是 4.8028×10^{-10} 静电单位(e.s.u.);但它们二者的符号相反。原子核内的质子数和原子壳层的电子数相等,因此原子是呈中性的。每个质子的质量为1.00759原子质量单位(a.m.u.),相当于 1.673×10^{-24} 克。原子核内的正电荷决定于质子数,质子数恰好表示元素的原子序数 Z 。

中子是不带电的粒子,它的质量几乎与质子相等,为1.00898原子质量单位,相当于 1.674×10^{-24} 克。

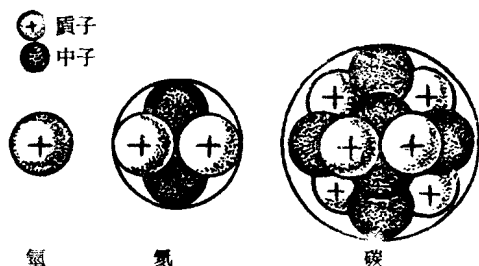


图1 原子核结构示意图

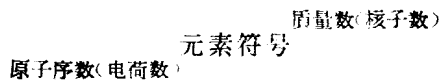
不同元素的原子核具有不同数量的质子和中子。例如最简单的化学元素氢的原子核就是一个质子,氦原子核是由2个质子和2个中子组成,碳原子核是由6个质子和6个中子组成(图1),而恰恰这些元素的原子质量数 A 是1,4,12;由此可知,原子的质量数,就是该元素原子核内质子与中子数的总和,即:

$$A = N + Z$$

式中, N 表示中子数,其他如上述。从这一点可以解释原子核为甚么几乎占有整个原子的质量。

在原子物理中,知道元素的性质决定于它的电荷数 Z 和质量数 A 。电荷数和质量数是原子核的基本特征。平时在元素符号的右上角标出它的质量数,左下角标出它的电荷

数,即:



也可以 ${}_Z X^A$ 或 ${}_Z Y^A$ 的符号表示。例如原子量 16 的氧以 ${}_8^{16}\text{O}$ 表示, 原子量 1 的氢以 ${}_1^1\text{H}$ 表示。

在原子核内,除了质子之间的库仑力外(静电斥力),还有一种很强的作用力,就是核内的任意二个核子间(中子与质子,中子与中子等)互相吸引的力,这叫做核力。核力只有在极小的距离内出现,必须在核子间的距离小于数量级 10^{-13} 厘米才有作用。如果距离大于数量级 10^{-13} 厘米时,核力就很快减少到接近于零。在大多数的情况下,原子核的核力大于库仑力,所以能保持核的稳定性。通常原子核内质子和中子数目是成一定比例的,一般在轻元素原子核内质子和中子的比例是 1:1,重元素者约为 1:1.4。如果核内质子和中子的比例过大或过小时,则呈现核的不稳定状态,这正是物质产生放射现象的原因(图 2)。

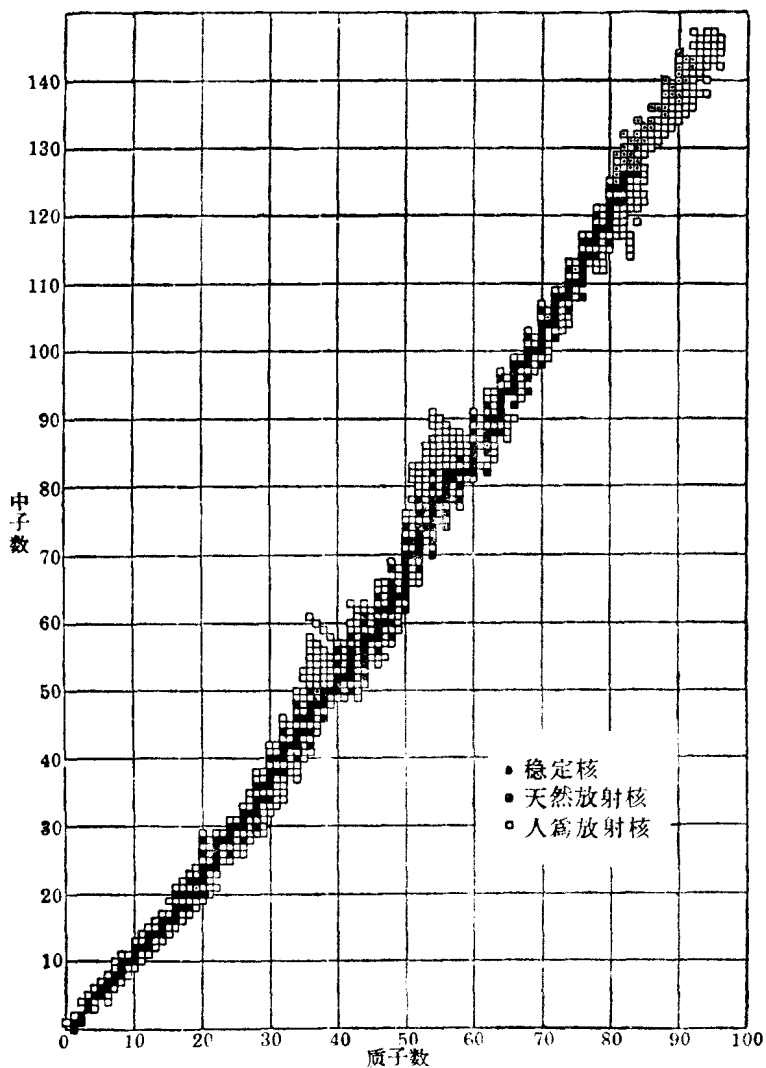


图 2 稳定同位素与放射性同位素核子分配情况

同位素：凡是质子数相同而中子数不同的原子，叫做同位素。例如氢的同位素 ${}^1_1\text{H}^1$ 、 ${}^2_1\text{H}^2$ 、 ${}^3_1\text{H}^3$ （前二者是自然界存在的，后者是人工获得的）， ${}^1_1\text{H}^1$ 只有一个质子组成， ${}^2_1\text{H}^2$ 由一个质子和一个中子组成，而 ${}^3_1\text{H}^3$ 是由一个质子和两个中子组成的。同种物质的同位素在化学性质上是相同的，但是在物理性质上却有差异，例如磷的同位素 ${}^{31}_{15}\text{P}^{31}$ 和 ${}^{32}_{15}\text{P}^{32}$ ，它们的化学性质是完全一样的，但 ${}^{32}_{15}\text{P}^{32}$ 的原子量比 ${}^{31}_{15}\text{P}^{31}$ 大， ${}^{31}_{15}\text{P}^{31}$ 没有放射性而 ${}^{32}_{15}\text{P}^{32}$ 有放射性。正



普通氢原子

氘原子

氚原子

图3 氢的同位素示意图

由于它们的化学性质相同，而原子序数也同，故它们在门捷列夫周期表上是处于同一格内——同一个位置。同位素这个名词就是由此而来的（图3）。

由于原子核科学的迅速发展，可以用人工的方法来制造某种元素的同位素。例如以中子轰击钴—— ${}^{59}_{27}\text{Co}^{59}$ ，则可获得放射性钴—— ${}^{60}_{27}\text{Co}^{60}$ ，它就是人工制造的钴同位素。到目前为止，在世界上已知的元素只有102种，然而在地球上天然存在的或人工制造的同位素已经超过1,000多种了。

第二节 放 射 性

1896年法国物理学家贝克勒尔（A. H. Becquerel）发现了铀和钍的化合物能够释放出一种穿透力很强的、但又看不见的射线，这与伦琴（W. C. Roentgen）所发现的X线相似，可以透过黑纸使胶片感光。以后居里夫妇发现钋—— ${}^{210}_{84}\text{Po}^{210}$ ，也可自行放出不可见的射线，并且也能使胶片感光。到1898年居里夫妇又发现钋—— ${}^{210}_{84}\text{Po}^{210}$ ，以及放射性比钋强几百万倍的镭—— ${}^{226}_{88}\text{Ra}^{226}$ 。

实验证明，这种不可见的射线完全是由钋、镭、钍和铀的原子核内部释放出来的，并且具有很强的穿透性能。上述这种释放射线的现象，称为放射性。具有这种性质的元素，称为放射性元素（或称放射性同位素）。

放射性同位素有两种：在自然界存在的，象镭、钍、铀等物质，称为天然放射性同位素；此外，放射性同位素还可用人造的方法制成，故称为人工放射性同位素。

一、天然放射性同位素 在天然的矿藏中存在着许多象镭、钍、铀等重金属元素，它们会自行释放出射线来，并且证明不是单质的。将镭放在带有小孔的铅盒内，再把铅盒安置在正负两片极板之间，此时由小孔放出的射线可分成三束：向阴极偏转的为甲种射线（ α 粒子），向阳极偏转的为乙种射线（ β 粒子），不受电场影响者为丙种射线（ γ 射线）（图4）。但这里必须指出，并不是所有的放射性同位素都具有释放甲、乙、丙三种射线的性能，例如人工放射性同位素只是放出一种或两种射线。

现在已经知道，凡是原子序数在83以上的重元素，都有天然放射性。由于这些重元素原子核内质子和中子的比值大于1.4，于是它们的原子核就呈现不稳定的状态，以甲、乙、丙射线的形态释

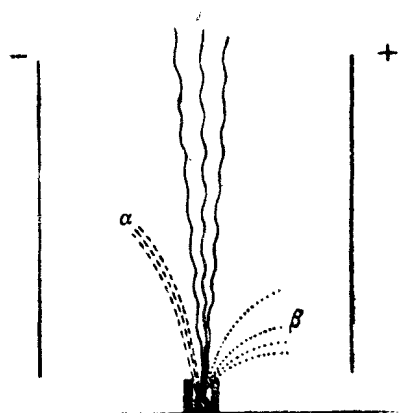


图4 甲、乙、丙种射线在电场中的分离

The graph illustrates the relationship between atomic mass (M) and atomic number (Z) for various isotopes. The y-axis represents atomic mass (M) from 205 to 245. The x-axis represents atomic number (Z) from 81 to 95. The graph shows several decay chains: RaB, RaC, RaC', RaE, RaD, Po, Pb, Rn, Ra, Th, U, and Ux1. Each point is labeled with its chemical symbol and the type of decay (alpha or beta).

M . 原子量; Z . 原子序数.

M. 原子量; Z. 原子序数。

$${}_7\text{N}^{14} + {}_2\text{He}^4 \longrightarrow {}_8\text{O}^{17} + {}_1\text{H}^1$$
$${}_{13}\text{Al}^{27} + {}_2\text{He}^4 \longrightarrow {}_{15}\text{P}^{30} + 0n^1,$$

$${}_{15}\text{P}^{30} \longrightarrow {}_{14}\text{Si}^{30} + 1e^0.$$
$${}_{27}\text{Co}^{59} + {}_0\text{H}^1 \longrightarrow {}_{27}\text{Co}^{60} + \gamma,$$

$${}_{27}\text{Co}^{60} \longrightarrow {}_{28}\text{Ni}^{60} + {}_{-1}\text{e}^0 + \gamma.$$

三、放射性同位素的蜕变规律 放射性同位素与普通化学元素比较,除有释放各种射线的特性外,其他都相同。释放射线的过程,就是原子核由不稳定状态转向稳定状态的蜕变过程,它具有一定的规律性。

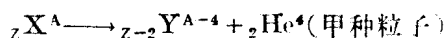
- 7 -

1. 蜕变方式: 任何一种放射性元素, 在释放甲种或乙种射线以后, 它本身就变成另一种新的元素。凡是能释放甲种射线者, 就叫甲种蜕变(α 蜕变); 能释放乙种射线者, 就叫乙种蜕变(β 蜕变)。假若在甲种蜕变或乙种蜕变后, 此放射性元素的原子核内还有多余的能量, 则往往以丙种射线的形式释放出来, 直到形成稳定的原子核为止。上述情况, 在乙种蜕变时最为多见, 也就是说, 在乙种蜕变时常伴随有丙种射线的产生。

2. 位移定则: 放射性元素由于释放出甲种或乙种粒子, 引起在元素周期表中的位置移动, 叫做位移定则。

大家知道, 放射性蜕变是原子核的变化过程。和其他任何变化一样, 原子核的变化也符合电荷守恒、能量守恒、质量守恒的普遍定律。所以放射性元素在蜕变后产生的各种粒子的总电荷数和总质量数, 分别等于蜕变前的原子核的电荷数和质量数。

在放射性元素发生甲种蜕变时, 当核内发射出一个甲种粒子——氦的原子核 ${}_2\text{He}^4$ 后, 即形成一个新的元素。该原子核的质量比蜕变前原子核的质量数少4, 电荷数少2。如果以X和Y分别表示蜕变前后两种元素的符号, 则甲种蜕变可用下列反应式表示:

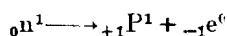


因为原子核的电荷数同于该元素在周期表中的位置序数, 所以上式指出: 由甲种蜕变所产生的新元素, 在周期表中的位置比原来元素移前两个位置。例如电荷数为88的镭元素, 在发射出一个甲种粒子后, 就变为电荷数86的新元素氡, 其核反应式如下:

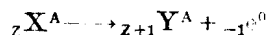


事实也是这样, 在周期表中氡比镭前两个位置。

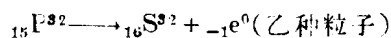
放射性元素在产生乙种蜕变时, 所形成的新元素的原子核质量数与蜕变前相等, 而电荷数则比原先的元素增加1。因为当发射乙种粒子时, 原子核内的一个中子转变为质子, 即:



所以, 经乙种蜕变后产生的新元素, 在周期表中的位置比原来的元素后移一位。其核反应式如下:



式中 ${}_{-1}\text{e}^0$ 代表电子例如:



在周期表中, ${}_{16}\text{S}^{32}$ 恰在磷后一个位置。

当某一原子核释放出丙种射线后, 由于丙种射线是不带电的, 该元素就没有质量数和电荷数的改变, 故不产生移位变化。原子核也不因释放丙种射线而改变, 它仍是原先的同种原子核。

(二) 半衰期与蜕变规律:

1. 半衰期: 任何一种放射性元素, 经过蜕变后, 它的数量必然会逐渐减少, 但是各种放射性元素的原子核的稳定程度是各不相同的。例如一个铀原子核, 在一年中蜕变的可能性为0.000000015%, 在同一时间内, 镭核的蜕变可能性为0.044%, 而钋核则为84%。

按这样计算,某一定数量的铀要经过 45 亿年才会蜕变掉一半,镭则要经过 1590 年,而钋只要经过 140 天就可有一半发生蜕变。象这样蜕变一半所需要的时间,称为放射性同位素的半衰期。每种放射性同位素都有它固定不变的半衰期,不受任何外界条件的影响,理化的方法也不能使之改变。这是放射性同位素的特征之一。

2. 蜕变规律: 放射性元素的特点就是它本身不断地进行蜕变。但不是所有的原子核一下子都完全蜕变掉。它们的数量是逐渐减少的。假使现在某一种放射性元素的原子有 N_0 个,那么经过一定时间 t 以后,由于蜕变的结果,它就剩下 N 个了,科学家们发现 N 与 N_0 之间有如下的关系:

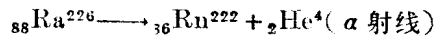
$$N = N_0 e^{-\frac{0.693 \cdot t}{T}}$$

式中, e 是一个常数,等于 2.718; T 是该放射性同位素的半衰期,单位和 t 相同。这就是所谓蜕变定律。

四、射线的性质及其与物质的作用

(一) 射线的基本性质: 各种放射线的性质有许多相似之点,它们都具有: (1) 电离作用; (2) 感光作用; (3) 穿透能力; (4) 破坏生物机体的组织细胞(超过容许剂量时)等共同性质。但由于它们本质的不同,因而必然各有其特征。

1. 甲种射线(α 射线): 一般只有原子序数在 83 以上的重元素,如氢、铀、钍、镭等原子核,才能释放出此种射线。经过实验证明,甲种射线的质量为氢原子的 4 倍,并带有两个单位的正电荷,所以推知甲种射线是由两个质子和两个中子组成的,它们等于氦的原子核。

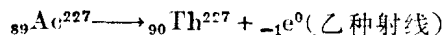


甲种射线的初速为每秒 10,000~20,000 公里,相当于 4~10 百万电子伏特(Mev.)的动能。因此,甲种射线可作为“核弹”,用来轰击其他原子核以制造同位素。

甲种射线通过某些物质时,与物质的原子相碰撞,使其发生电离。与此同时甲种射线的能量亦转给被轰击物质的原子,因而甲种射线的能量就逐渐减少,运动速度也随之变慢。当甲种射线完全失去能量时,即与外界环境中的电子相结合变成氦原子。

甲种射线的穿透力很弱。例如铀²³⁸释放的甲种射线,只要 2.7 厘米厚度的空气层就可把它吸收了。其他重元素所释放的甲种射线,在空气中的射程,也不超过几厘米;如果遇到固体或液体物质时,更要大大地缩短,例如一张普通纸就可完全挡住甲种射线。但是,甲种射线的电离本领很强,在 1 厘米空气的射程中能产生 40,000 个离子对(见下面),因此,这类甲种放射性物质进入生物机体后,能引起很大的危害作用。

2. 乙种射线(β 射线): 当原子核内某一个中子转变成质子时,就伴随着电子的产生。这个电子就是乙种射线。实际上乙种射线就是一种高速电子流。乙种射线是带负电荷的。如:



乙种射线的初速为每秒 200,000~300,000 公里,它的能量是连续性的,即每一种同位素放出的乙种粒子具有各种各样能量,由零到该同位素的最大能量。最大能量为 3 百万电子伏特左右的乙种粒子,在空气中的射程为 14.5 米,故乙种射线的穿透力较甲种射线

为强。例如,最大能量为2百万电子伏特的乙种射线,在软组织中的射程为1厘米左右。但它的电离本领却与之相反,在同样1厘米的空气射程中,平均只有50个离子对。

3. 丙种射线(γ 射线): 丙种射线与伦琴射线、可见光、紫外线一样,也是一种电磁辐射;所不同的,它是从原子核内释放出来的,而且它的能量较高,一般多在几十万电子伏特以上,而平常可见光的光子能量只有几个电子伏特。所以,丙种射线是一种高能量的光子流,并且是不带电的。它的初速与光速一样,每秒为300,000公里。

丙种射线在空气中的射程达几百米;它的电离本领比甲种、乙种射线都小;然而它的穿透性能却最强,要比乙种射线大50~100倍,比甲种射线大10,000倍。

(二) 射线与物质的相互作用: 甲种和乙种射线在通过周围介质并与之相互作用时,甲种、乙种射线本身的能量逐渐消失,运动速度也逐渐缓慢,最后全部被介质所吸收。甲种、乙种射线的全部能量,主要消耗在对介质原子或分子的电离和激发过程中,因而使原子或分子形成正、负离子,合称为离子对。射线对介质电离作用的强弱,主要取决于它们的带电量 and 运动速度;因此,甲种射线的电离本领比乙种射线大几百倍。

丙种射线与物质的作用比较复杂,主要有以下三种方式:

1. 光电效应: 丙种光子与物质的原子作用时,就把它的全部能量给予原子上的电子,使电子获得能量,脱离核的束缚,并以一定的速度在物质中运动(丙种射线的能量越大,电子的速度也越大),而光子本身就消失了。

2. 康普顿-吴有训效应: 丙种光子与原子上的电子相撞时,只把它的部分能量给予了电子,使电子也获得了很大的能量,而光子本身并未消失,仅是减低了一部分能量,改变了自己前进的方向。

3. 电子对的产生: 只有当丙种光子的能量大于电子和正电子的静质量相联系的能量之和(1.02百万电子伏特)时,才会产生电子对的现象。此时,高能量的丙种光子在原子核场内,可以转变为一个正电子和一个负电子,它们的静质量大约相同,各为0.51百万电子伏特。它们的动能一般是不相同的。凡是当正电子具有动能时,就可以在物质中产生电离。最后当正电子的动能耗尽,它将和原子的某一个电子结合,转变成两个能量各为0.51百万电子伏特的丙种光子,这种丙种射线按上述1、2作用方式,对物质发生效应。

在上述三种效应中产生能量较大的电子,当与物质作用时,才产生电离作用,故丙种射线与物质相互作用后产生的电离作用,与甲种、乙种射线者不同,后者是直接的电离作用,而前者是次级电离(图6)。

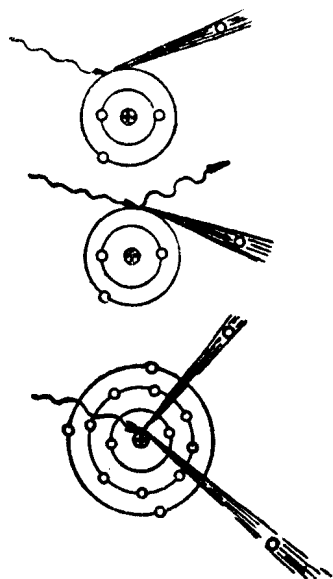


图6 丙种射线与物质的作用示意图

上: 光电效应; 中: 康普顿-吴有训效应; 下: 电子对的产生。

第三节 放射性辐射的度量单位

人们对所接触到的一切物质,一般都有专门的单位名称,以表示它的多少或大小。对于放射性同位素的多少、放射性的强弱、以及物质吸收射线能量的多少,也有专门的衡量

单位。

一、放射性强度的单位 放射性元素在单位时间内发生蜕变的原子数的多少, 与该元素的放射性强弱有关, 故放射性强度可用下列公式表示:

$$A = N \cdot \lambda$$

式中, A = 放射性强度, N = 放射性元素的原子总数, λ = 衰变常数。

从上式可知: 放射性元素的衰变常数愈大和所含的原子核总数愈多, 则放射性也愈强。

放射性强度的实用单位是以居里 (C.—Curie) 表示。1 个居里相当于任何一种放射性元素在每秒有 3.7×10^{10} 个原子核蜕变。1 克镭的放射性即为 1 个居里。

由于 1 个居里的放射性太强, 故在实际工作中通常都用较弱的放射性单位——毫居里 (mc.) 和微居里 ($\mu c.$)。1 mc. = 1/1,000 C., 1 $\mu c.$ = 1/1,000,000 C.。

二、辐射的剂量单位 辐射剂量是指某种射线通过一种介质 (如空气、组织等) 时, 被该介质吸收的射线的能量数值。

伦 (或伦琴, Roentgen): 1 伦是指在 0°C、1 个大气压下, 使 1 立方厘米干燥空气 (0.001293 克) 中产生 2.082×10^9 离子对的丙种射线或伦琴射线的剂量。1 伦又相当于在 1 克空气内吸收 85 尔格的辐射能量。伦以 r 表示。

通常使用的还有毫伦 (mr.) 和微伦 ($\mu r.$), 1 mr. = 1/1,000 r., 1 $\mu r.$ = 1/1,000,000 r.。

伦琴单位只适用于丙种射线和伦琴射线, 对甲种、乙种射线和中子流, 可用等能伦或等效能来表示。

等能伦 (伦琴物理当量, Rep.): 1 等能伦是在 1 克物质中所吸收的能量, 等于 1 伦丙种射线或伦琴射线, 在 1 克空气中消耗于电离的能量。

等效能 (伦琴生物当量, Rem.): 1 等效能是在生物机体产生的生物效应, 等于 1 伦丙种射线或伦琴射线所产生的效能。

拉德 (Rad): 任何 1 克物质吸收射线的能量为 100 尔格时的剂量, 叫做 1 Rad。这是 1953 年第七次国际放射学会议上提出的一个新单位, 迄今尚未广泛采用, 1 Rad = 1.19 伦琴物理当量。

剂量率: 是指在单位时间内, 物体所吸收的丙种射线或伦琴射线的剂量 (伦/小时或分)。

第四节 原子核能

从原子核内可以获得巨大的能量, 放射性元素蜕变时, 将核内多余的能量不断以射线形式释放出来。例如 1 克镭, 每小时放出 140 卡热能, 因此镭的温度, 始终比周围环境的温度高。

一、质量亏损与结合能 原子核的质量, 应当是质子质量与中子质量的总和。但经实验证明, 当中子和质子组成原子核时, 原子核的质量总是小于中子和质子质量的和, 这个差额叫做质量亏损 (Δm)。例如, 由中子和质子组成氦原子核时的质量亏损是:

$$\Delta m = 2 \times 1.00759 + 2 \times 1.00898 - 4.00278 = 0.030 \text{ a.m.u.}$$

(氦原子核 ${}^4_2\text{He}$, 质子质量数 = 1.00759, 中子质量数 = 1.00898, 氦原子的质量数 =

4.00278)。

根据爱因斯坦的相对论,知道质量和能量是相互联系着的,并导出质量和能量的关系式如下:

$$E = mc^2$$

式中, E 是能量, c 是光速, m 是质量。

这一关系式的意义是: 物质具有质量 m , 便同时具有能量 $E = mc^2$; 反之, 如果物质具有能量 E , 便同时具有质量 $m = \frac{E}{c^2}$ 。故当任何物质的质量有变化时, 其能量也必相应地有了变化; 反之, 亦然。其相互关系可以下式表示:

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

式中, Δm 表示物质质量的变化, ΔE 表示物质能量的变化。质量和能量的关系式, 是一个质量和能量互相联系的定律。

根据质量变化时能量也相应改变的理论得知, 当中子和质子形成原子核时的质量亏损愈大, 放出的能量也就越大。以氦为例, 中子和质子结合成 1 个氦原子核时的质量亏损是 0.03 a.m.u., 1 克原子量的氦中含有 6.023×10^{23} 个原子, 故形成 1 克原子量氦的质量亏损是:

$$0.03 \times 6.023 \times 10^{23} \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ 克} = 0.031 \text{ 克}$$

故形成 1 克原子量的氦时所放出的能量是:

$$E = 0.03 \times (3 \times 10^{10})^2 = 2.7 \times 10^{19} \text{ 尔格} = 2.7 \times 10^{12} \text{ 焦耳}$$

这样的能量约等于燃烧 100 吨煤时所放出的能量。

不论当重元素的原子核分裂时或轻元素的原子核合成时, 都会有质量的亏损。所以在产生核分裂或核反应时, 都可得到巨大的能量。

结合能: 是指当中子和质子结合成原子核时, 所放出的能量而言。如要使原子核分裂, 就必须给予原子核一定的能量, 而且至少要与结合能相等。原子核愈稳定, 其结合能也愈大。

原子核的每个核子的结合能, 叫做平均结合能。以原子核的结合能除以该原子核的核子数即得, 可以下式表示:

$$\text{平均结合能} = \frac{\Delta E}{A} = \frac{\Delta mc^2}{A}$$

(图 7)

从图 7 可以看出, 核子的平均结合能在核子数等于 40~120 时最大, 轻原子核或重原子核的核子平均结合能都比较小。这个规律具有十分重大的意义, 它指出了在重原子核分裂成较轻原子核, 或轻原子

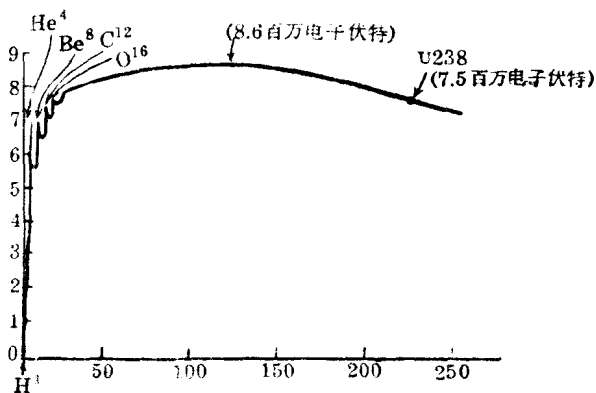


图 7 核子的平均结合能曲线

核结合成较重原子核时,都可以释放出巨大的核能。原子能的利用就是依此原理而得的。

二、核分裂和链式反应 重原子核自发分裂的可能性很小,例如1克铀每小时平均只有20个铀核自发地产生分裂(蜕变),所释放的能量也只有 2×10^{-12} 卡。因此,铀核及其他重元素的自发裂变所释放的能量,不能在实际上应用。但当某些重原子核——铀核受到外界能量作用(主要是中子作用于铀核)时,就极易产生分裂现象。

原子核分裂时有下列特点:

- (一) 每个核分裂时都可释放出巨大的能量,约为150~200百万电子伏特;
- (二) 每次分裂时可放出2~3个中子,可以不断地引起第二次、第三次的核分裂;
- (三) 核分裂后可形成两个具有放射性的碎片,这些碎片包括元素周期表中从原子序数30的锌到63的镅,共34种元素约100多种同位素。
- (四) 每次核分裂时,平均释放出两个丙种光子。

当铀核受到中子作用后,每一个铀核分裂时可放出2~3个中子,这些中子能引起新的铀核分裂,这样又产生了新的中子,再引起新的铀核分裂。如此继续下去,分裂核的数目象雪崩似的增加。由于中子的运动速度很大,所以分裂反应在瞬间(1公斤铀全部分裂只需亿分之二、三秒)就进行完毕。上述的自动连续反应过程,叫做“链式反应”(图8)。

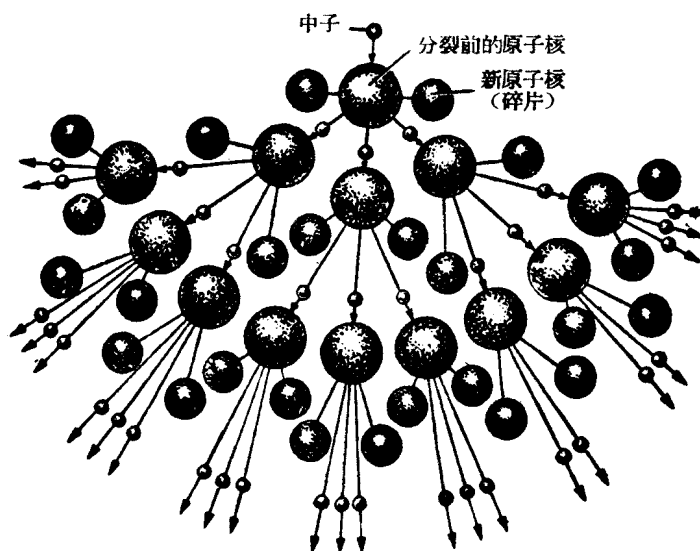


图8 铀²³⁵的链式反应

铀核分裂的链式反应,必须在一定质量和一定体积的铀中进行,以保证每次都有1个以上的中子击中铀核,使核分裂继续进行而不致中断。这种能保持核分裂呈链式反应的最小质量,叫做“临界质量”。临界质量所具有的体积,称为临界体积。

铀核分裂的临界质量主要决定于能保持核分裂连续进行的中子数。临界质量的大小,随下列因素而变。

1. 形状: 分裂物的形状能影响中子的利用率。如球形纯铀²³⁵的临界质量约为52公斤;当形状改变时,临界质量须增到100公斤左右。

2. 纯度: 如果铀块不纯时,其中的杂质能俘获中子而不放出,因而减少了核分裂的机会,使临界质量加大。