

同位素在医学上的应用

(日)山下久雄著

上海卫生出版社

同位素在医学上的应用

山下久雄 著

張玉閣 譯

上海衛生出版社

一九五八年

內 容 提 要

本書敘述了有关同位素的一般知識、原子物理、放射綫的單位、同位素的測定法、試料的制备、同位素的示踪試驗，更主要地論述了在医学方面临床診斷和治疗上的应用，以及体内攝取同位素放射綫量的測量和預防同位素的損傷，此外还提到了實驗設計和操作方法。插图百余幅，表解二十余。本書适用于放射性同位素的研究、操作和教学或学习上的参考。

アイソトープの医学的应用 (Medical Use of Radioactive Isotopes)

日本 庆应大学医学部副教授

山下久雄 著

1954年4月

日本东京 医学書院

同位素在医学上的应用

張玉閣 譯

*

上海衛生出版社出版

(上海南京西路2004号)

上海市書刊出版业營業許可証出080号

上海新华印刷厂印刷 新华書店上海發行所總經售

*

开本 787×1092 耗 1/27 印張 6 8/27 字數 143,000

1958年4月第1版 1958年4月第1次印刷

印數 1—2,000

統一書号 14120·312

定价(9) 0.75 元

目次

第一章 緒論..... 1

第二章 原子的物理..... 3

第1节 原子构造..... 3

第2节 原子量..... 4

第3节 质量单位..... 4

第4节 原子序数..... 5

第5节 放射能..... 5

1. α 射綫 2. β 射綫

3. γ 射綫

第6节 人工放射性物質的 发现.....11

第三章 放射綫的单位.....15

第1节 电子伏特(ev)15

第2节 倫琴(r)15

第3节 居里单位(c, mc)16

第4节 卢(rd)17

第5节 物理倫琴当量 (rep)17

第6节 人体倫琴当量 (rem)18

第7节 放射綫的强度.....19

第8节 一米倫琴小时 (rhms).....19

第四章 同位素的測定法.....21

第1节 劳里岑驗电器.....21

第2节 盖革-弥勒計数器22

第3节 振簧驗电器.....25

第4节 閃爍計数器.....26

第5节 射綫自动摄影术.....27

第6节 測量值的校正.....29

1. 自然底数 2. 放射能蜕变

的几率 3. 自吸收 4. 同时
记录的校正 5. 器械记录誤
差

第五章 試料的制备.....38

第1节 碳 C^{14} 試料的制备...38

1. 氧中燃燒法 2. Van
Slyke-Folch 湿性氧化法
3. 高硫酸盐氧化法 4. 过氧
化鈉熔法

第2节 鈣 Ca^{45} 試料的制备...40

第3节 硫 S^{35} 試料的制备 ...41

第4节 磷 P^{32} 試料的制备 ...43

第5节 鍍金法.....43

第6节 氘(超重氢 H^3) 試 料的制备.....44

第7节 固体試料的处理.....44

第8节 液体試料的处理.....45

第9节 气体試料的处理.....46

第10节 試料的攤开.....46

1. 用离子交换树脂法分离

2. 应用紙上层析法

第六章 用同位素进行示踪

实验.....50

第1节 同位素的吸收.....50

第2节 体内的分布及蓄积...51

第3节 同位素的排泄.....52

第4节 光合作用.....53

第5节 磷的代謝.....54

a. 酸溶性无机磷 b. 总磷

c. 酸溶性总磷 d. 类脂磷

e. 残余磷(蛋白質及其他)

f. 核酸磷

第6节	碘的代謝	61
第7节	鈣的代謝	63
第8节	鈉的代謝	64
第9节	鉀的代謝	64
第10节	氯的代謝	66
第11节	鐵的代謝	67
第12节	碳的代謝	70
第13节	氮及氧的代謝	73
第14节	氫的代謝	73
第15节	硫的代謝	73
	1. 硫氨基酸的代謝 2. 胱氨酸的代謝 3. 蛋氨酸的中間代謝 4. 血漿蛋白的代謝	
第16节	稀有元素的代謝	80
第七章	診斷上的应用	81
第1节	循环血漿量和血球量的測量	81
	1. 用磷 P^{32} 測量 2. 用鉻 Cr^{51} 測量 3. 用鐵 Fe^{59} 与 碘 I^{131} 进行循环血漿測量法	
第2节	循环時間的測量	84
第3节	消化管的吸收及排泄	87
	1. 碘 2. 鈉 3. 氯 4. 鉀	
第4节	細胞外液量的測量	89
第5节	甲状腺机能檢查	90
第6节	貧血的診斷	91
第7节	經皮肤及粘膜的吸收和排泄	92
第8节	脊髓液的檢查	93
第9节	肿瘤的診斷	93
第10节	藥物的作用	99
第八章	治疗上的应用	100
第1节	同位素的注射疗法	100

	1. 注射同位素时的注意事項 2. 放射性碘 (I^{130} , I^{131}) 3. 放射性磷 (P^{32}) 4. 放射性金 (Au^{198} , Au^{199}) 5. 放射性銻 (Ga^{72}) 6. 放射性鈉 (Na^{24})	
第2节	鐳的代用疗法	114
	1. 可以代替鐳的同位素 2. 鈷針和鈷管 3. 鈷綫和鈷囊 4. 鈾綫 5. 放射性金粒子 6. 用 β 射綫由外照射法	
第3节	用大量同位素作深部治疗	121
	1. 大量同位素的生产 2. 大量的鈷 CO^{60} 远距离治疗法 3. 大量銻的治疗法 4. 銻与鉍	
第九章	体内摄取的同位素放射綫量的測量	127
第1节	β 綫量的測量	127
第2节	γ 綫量的測量	128
第3节	安全示踪原子的濃度	132
第十章	預防同位素的損伤	134
第十一章	同位素研究室的設計和同位素的操作方法	150
第1节	实验室的設計	150
第2节	試驗的装置和器具	156
	1. 远距离操作器具 2. 防御壁 3. 台布和胶皮手套 4. 天平 5. 干燥器 6. 測量用的皿 7. 超高速离心沉淀器 8. 探测器和測量計 9. 照相底片和袖珍电离室	
附录 1~3		161

第一章 緒 論

Isotope 譯作同位体或者同位素。同一的元素而原子的重量有所不同者,彼此之間互称为同位素。在天然存在的稳定元素中,或者天然的放射性元素里,都各有其同位素存在。例如普通的水和重水(Heavy water),虽然都具有相同的水的性質,然而其輕重則不同,所以这就叫同位素。在氧里有 ${}_8\text{O}^{16}$, ${}_8\text{O}^{17}$, ${}_8\text{O}^{18}$ 三种同位素,氫里有 ${}_1\text{H}^1$, ${}_1\text{H}^2$ 二种同位素,在重量上 1 和 2 相差 1 倍,所以其差异是很显著的。将水蒸馏后在剩余的部分里含重水較多。所以仅仅反复的蒸馏即可在某种程度上分离出来,到現在象质量分析器那样有效的分离法已有很多,仅在原子重量上有所不同的同位素的研究也盛行起来了。

天然的放射性元素里也各有其同位素。例如在鈾(Uranium)里有 U^{238} , U^{235} , U^{234} 三种,其中 U^{238} 是最普通的,叫作 UI; U^{235} 叫作鈾 (Actino-Uran),只含有 $1/400$ 。 U^{235} 与别的鈾分离时,因其原子重量之差很小,所以特別困难。但是由于劳倫斯(Lawrence)及烏瑞(Urey)二氏用別的方法分离成功,因而才使原子彈得以完成。

在約里奧-居里夫妇发现了人工放射性同位素(Artificial radioactive isotopes)之后,知道了用中子冲击法可产生各种各样的同位素。后来又能够用回旋加速器(Cyclotron)等高电压装备生产同位素,一直到原子反应堆出現之后,由于它的反应力可以很容易地得到大量的便宜的各种同位素。例如为了得到碳 C^{14} 用五台大型的回旋加速器无停止地运轉,在一年里也不过只得到 1 毫居里(mc)左右,其費用需要 100 万美元。如果用一台的原子反应堆,在一年里即可生产数百毫居里,最近 1 毫居里便宜到只需 32 美元就够了。用 1 毫居里的 C^{14} 可以合成半磅的砂糖,用它可以作很多的实验。

在以后的章节里将詳細地叙述,象鐳那样的重元素,1 毫居里

才大約等于1毫克。所以在純度高的時候，1毫居里通常比1毫克還少得多。

1毫居里的同位素每秒有 3.7×10^7 個放射綫放出，而用蓋革-彌勒計數器計數時，每分鐘能測量出數十個放射綫，所以可測到0.00000001毫克(mg)即萬分之一微克(μg)，由此可見能夠測出怎樣微量的同位素。利用這種性質，同位素在各方面廣泛被應用。

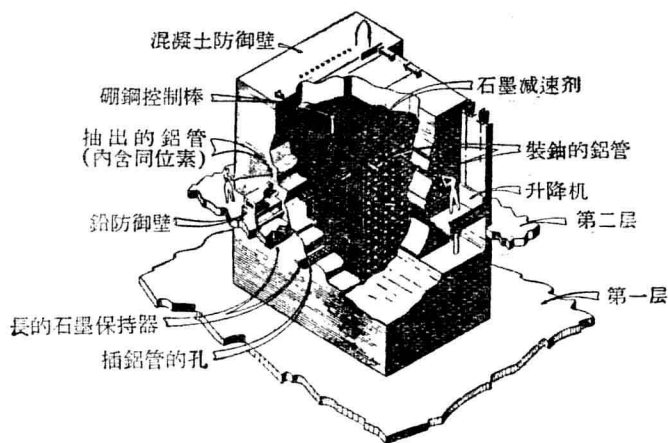


图1 原子反应堆略图(Nuclear reactor)
(根据 U. S. A. E. C.)

第二章 原子的物理

第1节 原子构造

物质的化学单位为原子。关于它的构造曾经进行过数学和实验的研究，但以卢瑟福 E. Rutherford (1911) 和鲍尔 N. Bohr (1913) 二氏的研究得到了光辉的成就。其后又有了各种新的发现，观点亦有各种变化。兹扼要地叙述如下。

原子的重量有 99.98% 在原子核(Nucleus)里，原子核带正电荷，在其周围有带负电荷的粒子(Shell)围绕之，此即电子。

电子(Electrons)是 J. Stoney (1874) 及 R. Thompson (1898) 二氏所发现，它是围绕原子核周围飞行的粒子，也可以使它飞离原子核。电子的质量 $M_e = 9.106 \times 10^{-28}$ 克。设氧原子核的重量 $A = 16$ ，则 $Ae = 0.000548$ ，带有负电荷，它有 $e = -4.80 \times 10^{-10}$ 静电单位的电量。

原子核是由质子(Protons)及中子(Neutrons)而成。

质子(Protons)是由卢瑟福及娄吉 O. Lodge (1920) 二氏所发现的，它是氢的原子核，其质量 $M_p = 1.65 \times 10^{-24}$ 克，原子量 $A_p = 1.00761$ ，带正电荷，其电量 $e = +4.80 \times 10^{-10}$ 静电单位。

中子(Neutrons)是由卡德维克(Chadwick)氏(1932)发现的，因其在电性上是中性故命此名。其质量 $M_n = 1.6622 \times 10^{-24}$ 克，原子量 $A_n = 1.00893$ 。

质子和中子的重量约为电子之 1830 倍，由此三要素而构成原子。原子的大小直径为 10^{-8} 厘米(即一厘米的一亿分之一)。它的容积与原子量成正比，质子和中子的大小直径为 2×10^{-16} 厘米。电子的直径为 3.2×10^{-18} 厘米。

根据鲍尔氏的原子模型，核周围的电子在索末菲(Sommerfeld)椭圆形的一定轨道上旋转。其轨道根据能量的强度分为 K, L, M, N, O, P, Q 七层，根据鲍尔氏的原理定为 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 的量子序数(Quantum number)。在最小的氢原子中，

在K层軌道上最少的是 $n=1$ ，軌道的直徑是 1.04×10^{-8} 厘米。其他軌道直徑可有它的 4, 9, 16, 到 25 倍的。

第 2 节 原子量 (Atomic weight)

在分子之間的化学反应中，当电子交換时，每一克分子 (mole) 即分子量的克数能放出 1000~100000 克卡 (gram calorie) 的能量，它相当于数 10 ev (十电子伏特)。1 兆电子伏特的能是 0.0011 質量单位 (mass unit)。一个質量单位是氧原子的 $1/16$ ，所以相当于 $1/16 \times 16 \times 1.66 \times 10^{-24}$ 克

氢的原子量是 1.0081，在一克里的原子数是 6.061×10^{23} ，此乃阿伏伽德罗 (Avogadro) 常数，于是单一氢原子的重量是：

$$\frac{1}{6.06 \times 10^{23}} = 1.66 \times 10^{-24} (\text{克})$$

$$\text{所以 } \text{Al}^{27} \dots 27 \times 1.66 \times 10^{-24} = 4.50 \times 10^{-23} (\text{克})$$

$$\text{P}^{31} \dots 31 \times 1.66 \times 10^{-24} = 5.14 \times 10^{-23} (\text{克})$$

$$\text{P}^{32} \dots 32 \times 1.66 \times 10^{-24} = 5.31 \times 10^{-23} (\text{克})$$

$$\text{Ra}^{226} \dots 226 \times 1.66 \times 10^{-24} = 3.76 \times 10^{-22} (\text{克})$$

$$\text{U}^{238} \dots 238 \times 1.66 \times 10^{-24} = 3.96 \times 10^{-22} (\text{克})$$

第 3 节 質量单位 (Mass unit)

1 質量单位 (m.u.) 是氧原子核的 $1/16$ ，即 $1 \text{ m.u.} = 1/16 \times 16 \times 1.66 \times 10^{-24} = 1.66 \times 10^{-24} (\text{克})$ 。

因为 $0.0011 \text{ m.u.} = 1 \text{ Mev}$ (兆电子伏特)，所以 1 質量单位 (m.u.) 相当于 932 兆电子伏特 (Mev)，因为質量是質子和中子之和，例如在氧原子核里質子和中子各有 8 个，所以氧原子的質量應該是：

$$8 \text{ 質子} = 8 \times 1.0076 = 8.0608$$

$$8 \text{ 中子} = 8 \times 1.0089 = 8.0712$$

$$\text{总计} = 16.1320$$

但是氧的原子量恰好为 16.0000，剩余的質量 $\Delta m = 0.1320$ (m.u.) 在氧原子形成的时候就消灭了。它的能量是 $E = mc^2$ ，則 $0.1320 \div 0.0011 \div 120$ ，所以它相当于 120 兆电子伏特。

氦原子核是 4.003 即：

$$2 \text{ 个质子 } 2 \times 1.0076 = 2.0152$$

$$2 \text{ 个中子 } 2 \times 1.0089 = 2.0178$$

$$\text{总 計 } 4.0330$$

所以 $\Delta m = 0.033$ ，相当于 29.5 兆电子伏特。

Δm 换言之就是原子的结合能，由于它才产生核力。

第 4 节 原子序数 (Atomic number)

原子序数就是原子核的电荷，由于质子的数目而定；或者是核外的电子数，由此而决定原子的化学性质。同一原子序数 (Z) 的原子，其化学性质相同。其电量是 $4.80 \times 10^{-10} \times Z$ 。

第 5 节 放射能 (Radioactivity)

由天然的元素里放出放射线的现象是 1896 年贝克勒尔 (Bequerel) 氏从铀里发现的。在铀盐里有很多能放出更强的放射线被连续的发现了。但是以 1898 年由居里夫妇所发现的镭乃是其中代表之一。卢瑟福氏在磁场里观察到放射线里有带正电荷、穿透力小的 α 射线和带负电荷、穿透力大的 β 射线。其后不久，维拉 (Villard) 氏发现了在磁场内有不受影响的穿透力大的与 X 射线相似的一种放射线，取名为 γ 射线。也就是由天然的放射性物质里有 α 、 β 及 γ 三种射线放出，经以后研究的结果，有如图 2 到图 4 所示的三个系统 45 种放射性元素，此外还有 $_{19}\text{K}^{40}$ ， $_{37}\text{Rb}^{87}$ ， $_{62}\text{Sm}^{148}$ ， $_{71}\text{Lu}^{176}$ 四种放射性的元素 (参照表 1)。

1. α 射线 (Alpha beams)

α 粒子是氦的原子核 ($_{2}\text{He}^4$)，由 2 个质子与 2 个中子而成，有光速的 $1/10$ 左右的速度，具有在空气中飞射 3~8 厘米的能。所以在水里或机体里仅能射到 60~100 微米 (μm)。放出 α 射线后，原子序数就减少 2，质量数减少 4。例如镭的反应如下：

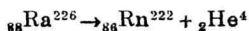


表1 天然的放射性同位素(1)

元素和原子序数	天然放射性同位素	符 号	原子量	半 衰 期	放 射 线
19 POTASSIUM		K	40	$4 \cdot 10^8$ 年	β
37 RUBIDIUM		Rb	87	$6 \cdot 10^{10}$ 年	β
62 SAMARIUM		Sm	148	$1.4 \cdot 10^{11}$ 年	α
71 LUTECIUM		Lu	176	$7.3 \cdot 10^{10}$ 年	β
76 OSMIUM		Os	187	$3 \cdot 10^8$ 年	
81 THALLIUM	Actinium C''	Ac C''	207	4.76分	β
	Thorium C''	Th C''	208	3.1分	β
	Radium C''	Ra C''	210	1.32分	β
82 LEAD	Radium G	Ra G	206	稳定	
	Actinium D	Ac D	207	稳定	
	Thorium D	Th D	208	稳定	
	Radium D	Ra D	210	22年	β
	Actinium B	Ac B	211	36.1分	β
	Thorium B	Th B	212	10.6小时	β
	Radium B	Ra B	214	26.8分	β
83 BISMUTH	Radium E	Ra E	210	5.0日	$\beta\alpha$
	Actinium C	Ac C	211	2.16分	$\alpha\beta$
	Thorium C	Th C	212	60.5分	$\beta\alpha$
	Radium C	Ra C	214	19.7分	$\beta\alpha$
84 POLONIUM	Polonium	Po	210	138日	α
	Actinium C'	Ac C'	211	$5 \cdot 10^{-3}$ 秒	α
	Thorium C'	Th C'	212	$3 \cdot 10^{-7}$ 秒	α
	Radium C'	Ra C'	214	$5 \cdot 10^{-4}$ 秒	α
	Actinium A	Ac A	215	$1.83 \cdot 10^{-3}$ 秒	$\alpha\beta$
	Thorium A	Th A	216	0.158秒	$\alpha\beta$
	Radium A	Ra A	218	3.05分	$\alpha\beta$

表1 天然的放射性同位素(2)

元素和原子序数	天然放射性同位素	符 号	原子量	半 衰 期	放射綫
85 ASTATINE	Astatine	At	215	短	α
	Astatine	At	216	短	α
	Astatine	At	218	短	α
86 RADON	Actinon	An	219	3.92秒	α
	Thoron	Thn	220	54.5秒	α
	Radon	Rn	222	3.825日	α
87 FRANCIUM	Francium	Fa	223	21分	β
88 RADIUM	Actinium X	Ac X	223	11.2日	α
	Thorium X	Th X	224	3.64日	α
	Radium	Ra	226	1590年	α
	Mesothorium 1	Ms Th 1	228	6.7年	β
89 ACTINIUM	Actinium	Ac	227	13.5年	$\beta\alpha$
	Mesothorium 2	Ms Th 2	228	6.13小时	β
90 THORIUM	Radioactinium	Rd Ac	227	18.9日	α
	Radiothorium	Rd Th	228	1.90年	α
	Ionium	Io	230	$83 \cdot 10^4$ 年	α
	Uranium Y	UY	231	24.6小时	β
	Thorium	Th	232	$1.39 \cdot 10^{10}$ 年	α
	Uranium X ₁	UX ₁	234	24.5日	β
91 PROTACTINIUM	Protactinium	Pa	231	$3.2 \cdot 10^4$ 年	α
	Uranium Z	UZ	234	6.7小时	β
	Uranium X ₂	UX ₂	234	1.14分	α
92 URANIUM	Uranium II	U II	234	$2.33 \cdot 10^5$ 年	α
	Actino-Urani	AcU	235	$7.07 \cdot 10^8$ 年	α
	Uranium I	U I	238	$4.51 \cdot 10^9$ 年	α

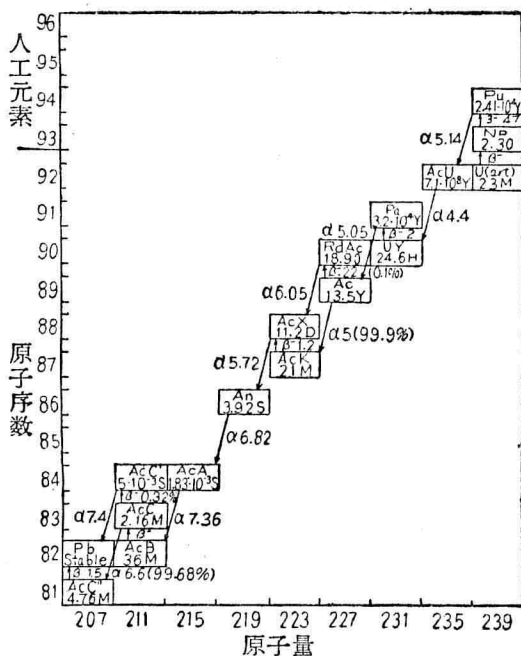


图3 錒系元素

变动。其最多的是在 0.7 兆电子伏特的地方。β 射线的射程依其能量和物质的密度而异，在空气中可达数百厘米，但是在铝里则不过数毫米而已。根据费赛(N. Feather)氏之研究，在铝里的最大射程和能量的关系有如下式：

$$R \left(\frac{g}{cm^2} \right) = 0.543 E_{max} (MeV) - 0.165$$

$$E (MeV) = \frac{R}{543} + 0.294$$

上列公式适合于 0.6 兆电子伏特以上的。根据 Glendenin 及 Coryell 二氏的研究，在 0.5 兆电子伏特以下者：

$$R = 0.407 E_{max}$$

0.8 兆电子伏特以上者，则

$$R = 0.542 E_{max} - 0.133$$

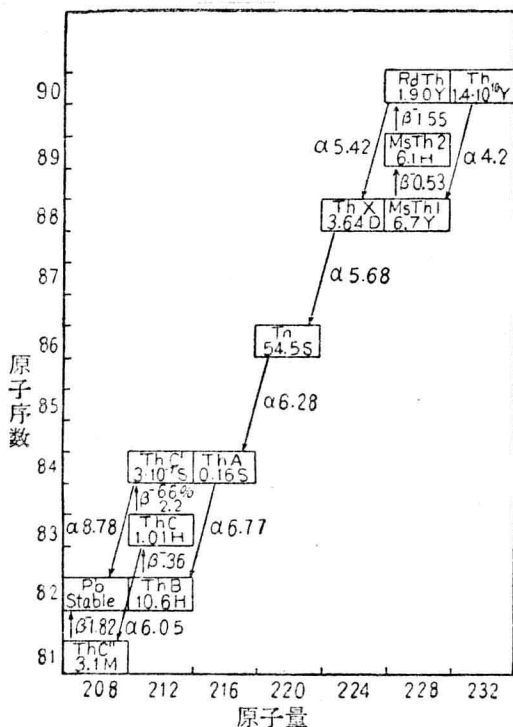


图4 钍系元素

3. γ 射线 (Gamma rays)

放射性元素的根本蜕变是 α 蜕变或者是 β 蜕变，尤其在 β 蜕变时可产生很强的量子能，那就是具有电磁波性质的 γ 射线。 γ 射线的本质与X射线相同，穿透力很强而不受磁场的影响。X射线是由原子壳层(Atomic shell)射出， γ 射线则由原子核(Nuclei of atoms)发生。它的放射期间约为 $10^{-8} \sim 10^{-11}$ 秒左右。

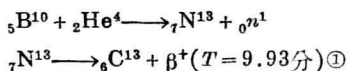
γ 射线的波长和能量根据放射性元素之种类而定。例如由铀里放射出之 γ 射线有很多种，如0.2, 0.3, 0.6, 0.75, 0.93, 1.1, 1.3, 1.4, 1.75, 2.2 等等。其放出最多者为从镭 C (RaC)里放出的0.6 兆电子伏特的一种。从 Co^{60} 里有很强的 1.33 及 1.17 兆电子伏特的二种 γ 射线发出，关于量的关系用 rhm (Roentgen hour at

one meter)来表示較好,其主要者如表 2 (見 19 頁)所示那样。

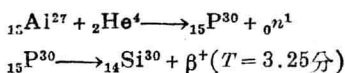
第 6 节 人工放射性物质的发现

人工放射性物质是在 1934 年被伊倫·居里(Irene Curie)及其夫弗列德立克·約里奧-居里(Frederic Joliot Curie)偶然发现的。

${}_5\text{B}^{10}$ (硼)用 α 綫轟击时,可产生 ${}_7\text{N}^{13}$,它不是天然存在的元素,当用盖革-弥勒管测量放射能时,直到 α 轟击停止后也有放射能放出。那就是由于新产生的 ${}_7\text{N}^{13}$ 是一种不稳定的元素,故放出放射綫而蜕变成为稳定的元素,其反应式为:



同样的,用 α 綫轟击鋁时,



如上式所示,产生不稳定的磷,这就是人为放射性同位素发现的由来。

其后逐渐地发现用人工引起核反应的方法可产生不稳定的元素,費尔密氏等发现,用中子轟击是最简单最有效的方法。主要是用高压装置来进行,1932 年 E. O. 劳倫斯氏所制造的回旋加速器(Cyclotron)是划时代的产物,自从这巨大的仪器一个跟一个装設起来之后,就可以得到大量的人工放射性物质了。又进而逐步地創造了电子回旋加速器(Betatron)(Kerst 1942),同步加速器(Synchrotron)(McMillan 1945),同步回旋加速器(Synchrocyclotron)(McMillan 1946)等新的发生装置。并又建立了范德格喇夫氏(Van der Graaff)装置和直綫性加速器(Linear accelerator)那样一些强力的装置。到近来由于鈾原子堆(Uranium pile)出現后,其生产力則更加强大,并且还可得到大量的非常便宜的同位素。

为了得到人工放射性同位素,除了使用 α 射綫及中子以外,使

① T 是半衰期。——譯者注

用正电子及重氦核等也是有效的，在某些情况下用 γ 射线也可以产生，在这些反应式里，其最普通常用者有：

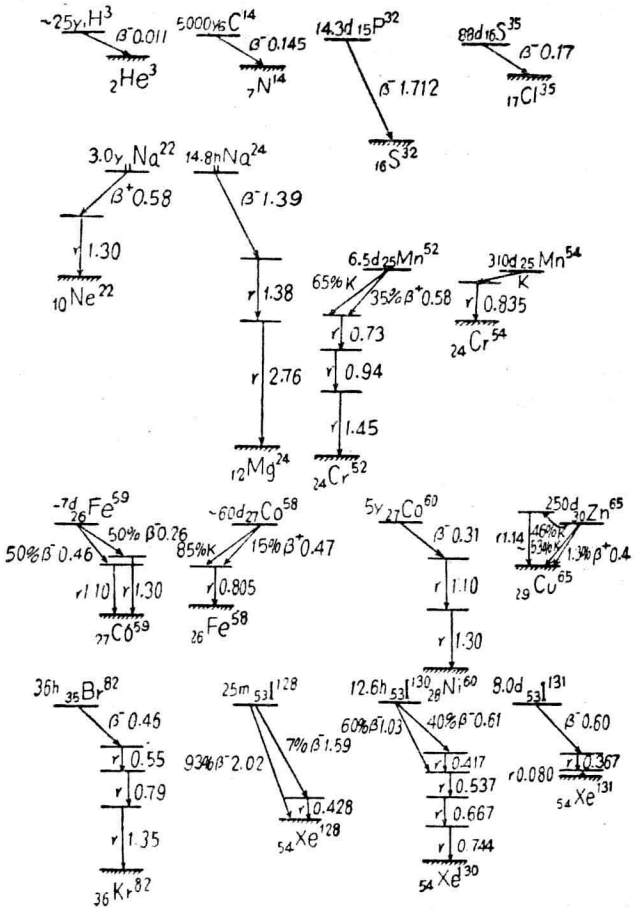
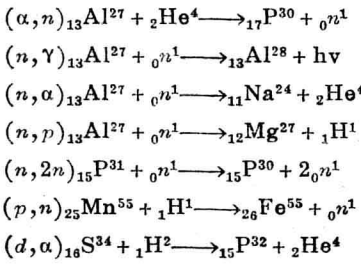


图5 人工放射性同位素的蜕变形式