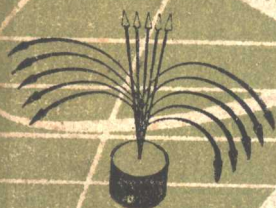


原子能知識小丛书

上海市科学技术协会主編



放射性同位素及其生产

上海科学技术出版社

放射性同位素及其生产

廖庚元 编写

上海科学技术出版社出版

(上海南京西路2004号)

上海市书刊出版业营业许可证出093号

上海市印刷五厂印刷 新华书店上海发行所总经售

开本787×1092 1/42 印张1 字数23,000

1959年3月第1版 1959年3月第1次印刷

印数1—20,000

统一书号: T. 13119·270

定价: (七) 0.09元

目 录

一、什么是放射性同位素·····	2
二、天然放射现象的发现·····	10
三、放射性射线·····	12
四、天然放射系与位移规律·····	18
五、放射性物质的半衰期·····	21
六、人工放射性的发现·····	23
七、放射性同位素的生产·····	26
八、利用原子反应堆生产放射性同位素·····	30
九、利用迴旋加速器生产放射性同位素·····	34
十、放射性同位素的应用·····	37
十一、放射性同位素的选择·····	40

一、什么是放射性同位素

我們知道，地球上的物質都是由各种元素构成的，到目前为止，已經知道的元素有102种，如氫、氧、金、銀、銅、……等。构成某一种元素的基本单元就称为該元素的原子。原子簡直小得不可想象，一个氫原子的質量是0.000,000,000,000,000,000,000,001,673 克，也可以写成 1.673×10^{-24} 克，一个氧原子的質量是 2.6563×10^{-23} 克，原子不但很輕，原子的体积也是很小的，它的直徑只有一亿分

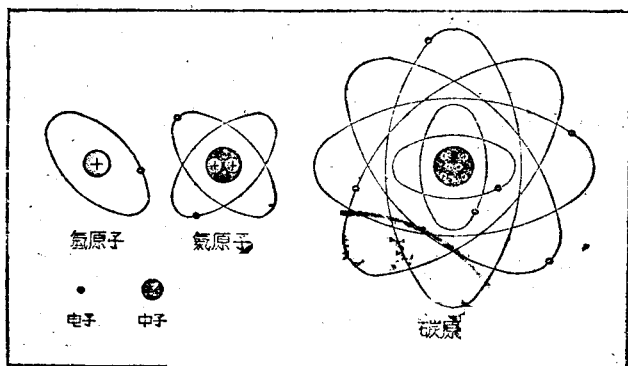


图1 构成元素的基本单元——原子的结构

之一公分左右，也就是說要一亿个原子才能排成一公分長。我們如果把1立方公分鉄块里面的鉄分子挨个儿紧密地排成一条綫，这根綫就長达120亿公里左右，可以在地球和太阳之間来回繞40次。我們如果把一滴雨放大成地球那样大，水分子也不过象一个籃球那样大！

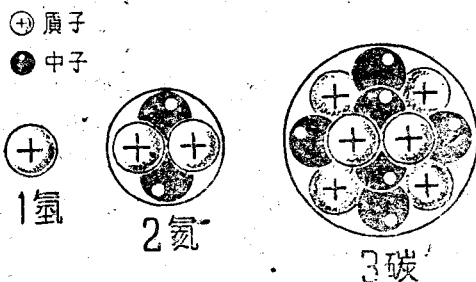


图2 原子核是由质子和中子构成的，原子的质量几乎全部集中在核上。

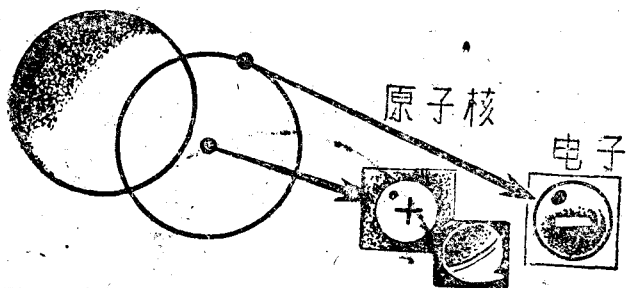


图3 原子核内很空虚，原子核比整个原子小得多，假使原子核象太阳，电子就好比是行星。

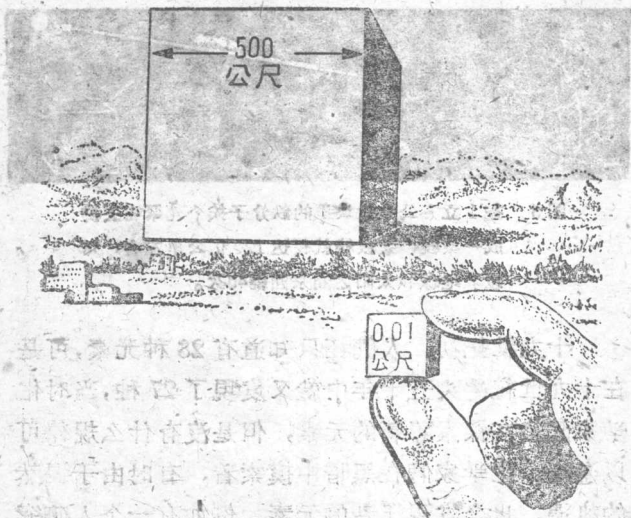


图4 原子核的密度比水的密度大 116 万亿倍，同样重量的水与同样重量的原子核体积的比较，假定水的每边长 500 公尺，原子核每边只长 1 公分左右。

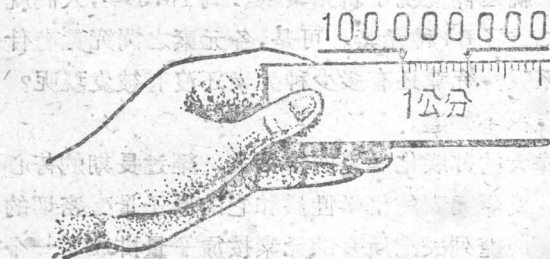


图5 原子很小，1 公分可以排到 1 亿个原子。

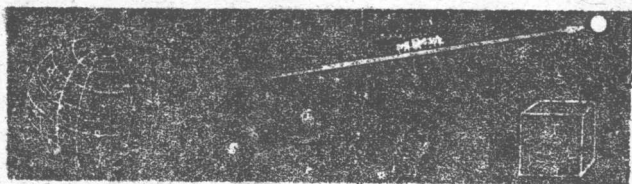


图6 把1立方公分鉄块里的鉄分子挨个儿紧密去排成一条綫，这根綫就长达120亿公里左右，可以在地球和太阳之間来回繞40次。

十九世紀初，人們还只知道有28种元素，可是在十九世紀的头五十年中就又发现了27种，当时化学家們虽在探索着新的元素，但是没有什么規律可以遵循。化学家們在黑暗中摸索着，有时由于偶然的机遇，也会发现了新的元素。例如有一人研究海草的灰，他用硝酸和海草的灰起作用，有一次他把硝酸加得太多了，突然在杯子中出現了紫色的蒸汽，将蒸汽冷却后便凝結成为黑色的带金屬光泽的晶体，就这样发现了新元素碘。到1870年，人們就已經知道了63种元素。可是，各元素之間究竟有什么关系呢？究竟还有多少种元素还没有被发现呢？却一点都不知道。

偉大的苏联化学家門捷列夫，經過長期的苦心钻研，发现元素的化学性質和它的原子量有密切的关系。門捷列夫把所有的元素按原子量排成了一个元素周期表，他发现每經過一定的間隔就有化学性

質相似的元素出現。在他的周期表上留下了不少空位，他預言在空位上應該有新元素補充進去，而且令人欽佩的是：他還正確地預言了它們的性質，他的預言後來都被新發現的元素所証實。

在周期表中的元素，有的元素如氦、鋁、磷、金、……等，它們的每一個組成原子的質量都是相等的，但也有的元素它的組成原子的質量並不相同，這是因為它們核中的質子和核外的電子數目相同而其中的中子數目有所不同的緣故。我們把這種重量不同的元素稱為同位素。例如氫原子除常見的以外，還有重氫（也稱為氘）和超重氫（也稱為氚）

門 德 列 夫 元 素 週 期 表

週期	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	0
1	1 氦								2 氦
2	3 鋰	4 鈉							10 氖
3	5 鈉	6 鎂	7 鋁	8 矽	9 磷	10 硫	11 氯	12 氬	18 氬
4	19 鉀	20 鈣	21 鈉	22 鎂	23 鋁	24 矽	25 磷	26 硫	27 氯
5	37 鉀	38 鈣	39 鈉	40 鎂	41 鋁	42 矽	43 磷	44 硫	45 氯
6	55 鉀	56 鈣	57 鈉	58 鎂	59 鋁	60 矽	61 磷	62 硫	63 氯
7	87 鉀	88 鈣	89 鈉	90 鎂	91 鋁	92 矽	93 磷	94 硫	95 氯
鈉土元素：21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 鈉土元素：37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52									

圖 7 元素的周期表。元素上面的數字表示元素的原子序數（即核外的電數）；下面的數字表示原子量（即原子的重量）。例如鋁的原子序數是13，原子量是26.98。

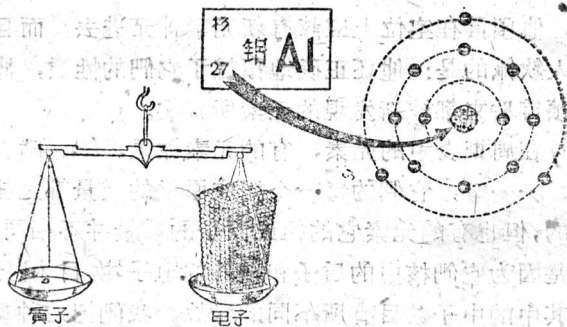


图8 质量数就是和原子量最相接近的整数，例如铝的原子量是26.98，它的质量数是27。电子的质量只有质子的1840分之一，原子的质量大部集中在核上，因此原子量几乎是原子核的重量决定的。质子、中子的重量近似于1，因此，质量数就等于原子核内质子和中子数的和。

两种。天然的氧元素有三种质量不同的原子，它们的原子质量数分别是16、17和18（质量数就是和原子量最相接近的整数，例如铝元素的原子量是26.98，它的质量数是27）。天然的氯元素则有两种质量不同的原子，它们的原子质量数分别是35和37。象这样，原子量为16的氧、原子量为17的氧和原子量为18的氧即称为氧的同位素，通常简称为氧16、氧17和氧18。同样的道理，我们称氯35和氯37是氯的同位素。有的元素具有许多种同位素，如

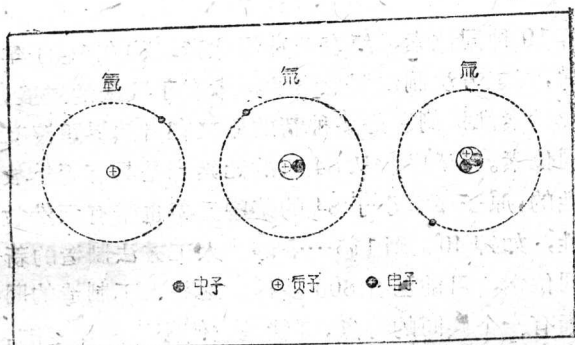


图9 氦的同位素

8 中子
8 质子



9 中子
8 质子



10 中子
8 质子



● 中子

⊕ 质子

图10 氧的同位素

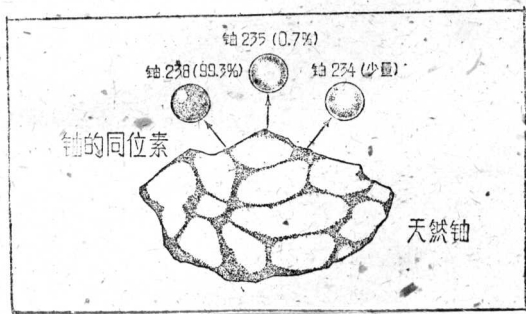


图11 铀的同位素

錫有 10 种同位素，鎢有 8 种同位素。約在 1934 年以后，人工方法制造同位素的技术有了飞跃的进展，各种元素都找到了好多种新的原来在自然界里沒有的同位素。原子序数从 84 起的元素都是具有天然放射性的，原子序数小于 84 的某些元素也帶有天然放射性，如鉀 40、鎢 115……等。人工方法制造的新的同位素，目前已有 800 多种，这些人工制造的同位素有一个共同的特点，那就是它們都不是稳定的，而是具有放射性的。因此人們又把不稳定同位素叫做放射性同位素。

二、天然放射現象的發現

1896年法國物理學家貝克勒爾發現鈾的化合物能使附近的包在黑紙里面的照相底片感光，由這種奇怪的現象，他斷定這是由於鈾不斷地自動放射出某種看不見的、穿透本領相當強的射綫的緣故，這種射綫能使那受不到普通光綫影響的底片感光。這種現象叫做天然放射現象，物質的這種性質就叫做天然放射性。

神秘的鈾的射綫引起了當時在巴黎貝克勒爾實驗室工作的波蘭化學家瑪麗亞·居里的注意，她決心要對這個問題作深入的研究工作，來證明是不是其他物質的原子也具有與鈾原子這樣的放射現象。她後來對一百多種不同物質進行了研究，確定了除鈾以外還有金屬釷和它的一切化合物，也具有象鈾一樣的看不見的射綫。

不久，瑪麗亞·居里又發現了一個驚人的事實：那就是有兩種天然的含鈾礦物，瀝青鈾礦與綠鈾銅礦所具有的放射性比金屬鈾的放射性還強。她假定引起礦物的更強有力的放射性可能由於某種新的放射性元素的存在。為了証實這種看法，瑪麗亞·居里和她的丈夫物理學家皮耶·居里便一同開始了探索

这一新元素的工作。

居里夫妇克服了一切困难，终于获得了成功，1898年4月，他们预先作了一个报导：即在铀矿中确含有着新的元素。同年7月，他们从铀矿中分析出了一种放射性极强的铋化物。玛丽亚·居里认为正是在这种由矿物中分析出来的铋化物中，含有一种新的放射性元素，并把这种新的放射性元素定名为钋。除了铋化物以外，玛丽亚·居里又分离出也具有强烈放射性的钋化物。这就使人想到在从矿物中分离出来的钋化物中还有第二种未知的新的放射性的元素，这一元素她命名为镭。1898年12月居里夫人宣布了镭的发现。镭的射线与铀相似，但它所发射出的能量却比铀大得多。

为了证明镭的存在，必须把它分离出相当足够的数量，但是从矿物中分离出可感触到的数量的纯镭来，真是一件非常困难的事。在提制不含钋的镭盐时，居里夫人化了3年9个月的时间。终于从30吨的沥青铀矿中分离出将近2毫克的氯化镭盐，它的外表有些象食盐。镭盐的放射性要比铀强几百万倍。接着从氯化镭盐中居里夫人又获得了金属的镭，镭是一种遇到空气就很快失掉光泽的银白色软金属。由于在矿物中含镭的量太微小，提取镭的工作不但要化很多的时间和资金，而且工作极其艰巨和繁重，所以镭的价格是非常昂贵的，是一种最贵的贵金属。

三. 放射性射綫

放射性射綫究竟是什么呢？由居里夫人的实验指明，放射性射綫的来源是鈾、鐳、釷等放射性元素的原子。我們知道这些具有强大能量的射綫，是由原子核的内部发射出来的。为了进一步研究放射性射綫的性质，皮耶、居里和以后的卢瑟福都对鐳的射綫在磁场和电场中进行研究，我們知道，如果鐳的射綫中带有电荷，射綫便会弯曲，而弯曲的方向与磁场或电场的方向以及射綫中的电荷符号有关。如果射綫中不带电荷，則电场或磁场不会改变射綫的方向。研究結果指出了鐳的天然放射性射綫中包含了三种不同的射綫。在磁场的作用下，放射綫就会清楚地分成三束。向阴极偏轉的射綫称为 α 射綫（又叫甲种射綫），向阳极偏轉的称为 β 射綫（乙种射綫），不受磁场影响的称为 γ 射綫（丙种射綫）见图12。

在作进一步研究后，我們发现这三种射綫都可以被物质吸收。如果我們用紙遮住放有鐳的鉛管，那么，在放射出来的射綫中，就没有了 α 射綫。因为 α 射綫已被紙片所吸收。假如我們盖上很多层的

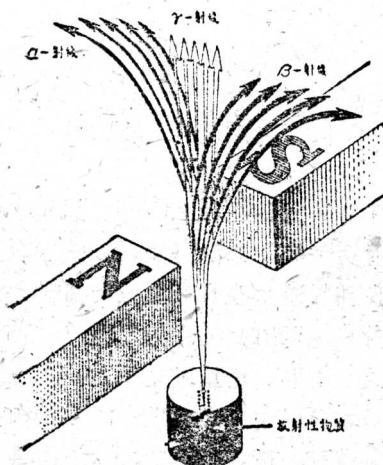


图 12 放射性物质放出来的射线，在强有力的磁极之间，被分裂成为向左、向前和向右的三种射线，这就是 α 射线(又叫甲种射线)、 β 射线(又叫乙种射线)和 γ 射线(又叫丙种射线)。

纸片，或几个毫米厚的薄铅板， β 射线就也能被吸收掉，这时就只有 γ 射线可以透过了。 γ 射线的穿透本领很强，如果要吸收 γ 射线，那须要更厚的铅板。通常 α 射线只能贯穿空气约 2—12 公分， β 射线能贯穿空气达 20 公尺左右，而 γ 射线能贯穿空气达数百公尺。为了更好地说明这三种射线的性质，我们在下面较详细地分别叙述。

1. γ 射线 γ 射线是一种电磁辐射，是光子流，

它不带电，所以它在磁场中是不偏转的。它以每秒 300,000 公里的光速在空间传播着；它的性质和 X 射线很相似，穿透能力要比 X 射线强得多。光子通过物质时，只是它的数目逐渐减少，而剩余的光子速度不变。 γ 射线的穿透能力非常强，任何厚度的物质只能将其强度减弱，而不能将其全部吸收，也就是说， γ 射线没有最大的射程，所以要完全吸收 γ 射线是很难的。要把 γ 射线减弱为十分之一，阻隔它的铅板厚度须达 5 公分，混凝土层为 20—30 公分，泥土层为 50—60 公分。 γ 射线能摧毁人体细

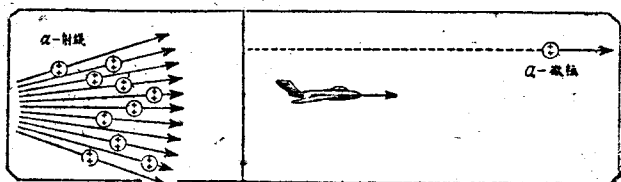


图 13 α 射线是由运动极为迅速的带正电荷的质点组成，它的速度每秒达 20,000 公里，比现代喷气机快 7 万多倍。

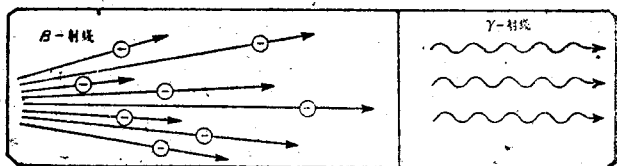


图 14 β 射线是带负电的电子流，速度每秒达 200,000 公里。 γ 射线是一种很短的电磁波，每秒达的速度和光速相同（300,000 公里）。

胞，对有机体是有伤害的，所以通常 γ 射线源（如镭）必须放在特制的铅罐中，使得工作人员不受到 γ 射线的伤害。 γ 射线通常是伴随着 α 射线或 β 射线一起产生的。当然，放射 α 射线或 β 射线的同位素并不一定要放射 γ 射线，但是单放射 γ 射线的放射性同位是很少的。

2. α 射线 α 射线是一种带有正电荷、而质量和氦4的原子核相等的粒子。 α 射线在磁场中的弯曲比 β 射线要小得多，这是因为它的速度比 β 射线小得多，而质量却比 β 射线重得多的缘故。这种粒子约比电子重7000倍，比最轻的氢原子也重4倍。 α 粒子 also 具有很高的速度，通常达每秒2万公里左右，比现代喷气式飞机快7万多倍。按这样快的速度， α 粒子可以在20秒内从地球飞到月球。但实际上，在空中运动的 α 粒子，会与空气中的分子相碰撞而损失能量，因此它在空气中的射程，一般不过是2—12公分。在固体的物质中，如在纸片或金属薄片， α 粒子的射程就比在空气中更短，因此纸片就能阻挡住 α 射线的进行。一般 α 射线在天然放射现象中最为常见，而在人工放射现象中比较少见。

3. β 射线 β 射线是带负电的电子流，在磁场中受到磁场的影响会剧烈的偏转，具有很快的速度，通常达每秒20多万公里。在有些情况下，它的速度几乎接近光速（每秒30万公里）。速度愈高，则它的