

原子能及其和平利用

原子能及其和平利用

江苏人民出版社

內 容 提 要

本书通俗地讲述原子核物理学基本知识，原子核反应堆和粒子加速器的构造和原理，原子能在动力方面的利用，以及放射性同位素在工农业生产、医学卫生和科学研究等各方面的应用，可供初中文化程度的读者阅读。

原子能及其和平利用

方 杰 編

江苏省书刊出版营业许可证出〇〇一号

江 苏 人 民 出 版 社 出 版

南 京 湖 南 路 十 一 号

江苏省新华书店发行 江苏新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 5 13/16 字数 88,000

一九六〇年二月第一版

一九六〇年二月南京第一次印刷

印数 1—3,100

責任編輯 夏 萊 蒂
責任校對

封面設計 瞿世云

前 言

原子能科学是现代的尖端科学之一。它的发展和应用还不过是最近二十年来的事情。原子能的实际应用，标志着人类在改造自然方面跨入了一个崭新的时代——原子能时代。可恨的是，美帝国主义滥用科学研究成果，制造原子武器，屠杀和平居民，在人类历史上写下了可耻的一页。1954年6月27日苏联第一个也是全世界第一个原子能发电站开始供电，树立了和平利用原子能的光辉榜样，使原子能为人类的和平建设服务。目前，原子能的和平利用正在日益扩展，不仅已用于动力方面，制造原子能发动机，而且原子核反应堆生产大量的放射性同位素，也已经广泛地应用于科学、技术、工业、农业和医学等方面，成为和平利用原子能的一个重要项目。无疑地在将来星际航行上，原子能也将起主导作用。当人们刚掌握和控制了重原子核（如铀）裂变而释放出巨大的能量时，又提出了新的课题，掌握和控制轻原子核的聚变来取得更大的能量，即实现掌握和控制热核反应。现在最先进的苏联科学家，对这方面的研究也已取得了卓越的成就。

1958年，在苏联无私的援助下，我国建成了第一座重水型实验性原子核反应堆和第一架回旋加速器，我国科学技术工作者建成了高气压静电加速器。这些出色的成就，标志着我们的祖国已经打开了这尖端科学的大门，跨进了原子能时代。

由于这样，原子能的和平利用已引起各方面的重视，并且

有許多人迫切地希望懂得一些关于原子能的科学知識。为了供給初中文化程度的讀者閱讀，編写了这本通俗小冊子。其中有不少的資料和插图，系来自赵忠尧先生等編著的“原子能的原理和应用”、程致中先生編著的“原子核能”和上海科技出版社出版的“原子能知識丛书”，以及其他报刊。事前未經一一征得同意，特此表示歉意。如果这本小冊子对于讀者有一些助益，应当归功于上述这些书刊的編著者。至于这本小冊子中可能存在的缺点或錯誤，則应当由我負責，希望讀者指正。

方 杰

目 录

一、原子核物理学基本知识	1
1. 原子和原子核的构造	1
2. 天然和人工放射性	5
3. 放射性的种类及其规律	14
4. 原子核能	19
5. 原子核的分裂	23
6. 原子核分裂的链式反应	30
7. 热核反应	33
二、原子核反应堆和粒子加速器	38
1. 原子核反应堆的构造	38
2. 怎样开动和控制反应堆	43
3. 反应堆有哪些类型和用途	44
4. 我国建造的第一座反应堆	50
5. 粒子加速器	57
三、原子能在动力方面的应用	64
1. 原子能发电站	66
2. 原子能与未来的交通运输	75
3. 原子能用于改造自然	88
4. 热核能发电站	91

四、放射性同位素在工农业生产、医学卫生、 科学研究等各方面的应用	95
1. 放射性同位素在机械工业中的应用.....	104
2. 放射性同位素在冶金工业中的应用.....	119
3. 放射性同位素在探矿工业中的应用.....	123
4. 放射性同位素在其他工业中的应用.....	134
5. 放射性同位素在农业中的应用.....	147
6. 放射性同位素在生物化学上的应用.....	160
7. 放射性同位素在医学上的应用.....	164
8. 放射性同位素在科学研究方面的应用.....	175
结 语	179

一 原子核物理学基本知识

1. 原子和原子核的构造

世界上各种物质,都是由现在已知的102种基本物质叫做元素所组成。这102种元素中,有92种是天然存在的,其余10种不是天然存在的,而是人工制得的。每种元素的最小单位叫做原子。原子是极微小的,如果把原子一个挨着一个排列起来,那么,一万万个原子也只排列成1厘米那么长(图1)。如果把1克铁原子均匀地分布在地球的表面上,那么,在每平方厘米的面积上差不多有2,000个原子。

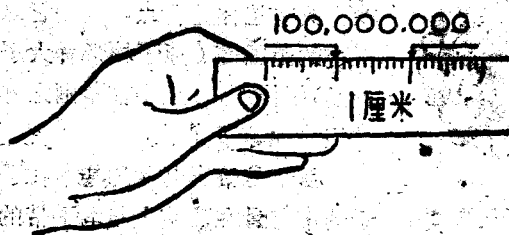


图1

原子虽然这样小,但是它的结构却不简单。在原子的中央有一个带正电荷的原子核,围绕原子核有带负电荷的粒子在旋转,这些带负电荷的粒子叫做电子(图2)。

苏联物理学家伊万宁柯首先指出原子核的构造也是不简

10^{-10} 静电单位。它的质量是

0.000000000000000000000000009106 克。

原子是很小的，它的直径是 10^{-8} 厘米。原子核的直径只是原子直径的一万分之一（即 10^{-13} 厘米），如果把原子核放大到一颗樱桃那样大小，那么，原子的大小就相当于一座 200 米高的大厦那样大。

由于每个质子或中子都比电子质量大 1,840 倍，所以整个原子质量的 99.9% 是集中在原子核。质子带着同电子电荷大小相等的正电，中子不带电。在每个原子中，原子核内所含有的质子数和原子核外旋转的电子数相等；因此原子核所带的电荷在数量上等于它周围电子所带电荷的总和，只是正负相反，从而整个原子是中性的。例如氢原子核内只有 1 个质子，核外有 1 个电子；氦原子核内有 2 个质子，核外有 2 个电子；铀原子核内有 92 个质子，核外有 92 个电子；所以这些原子都是中性的。

在原子物理学中，通常不是用克来表示原子、核子、电子等的质量，而是以氧原子质量的 $1/16$ 作为质量单位，称为原子质量单位。采用这个单位，那么，质子的质量为 1.00759 原子质量单位，中子的质量为 1.00898 原子质量单位，电子的质量为 0.000549 原子质量单位，氢的原子质量为 1.008 原子质量单位。

俄国伟大的化学家门捷列夫发现了物质的元素的规律性，制定了周期表。在周期表里，所有的元素都按照严格的次序排列，每一种元素按照原子序数占据着一定的位置，好象对号入座的戏票，有一个号码就有一个位置。

原子序数就是原子核内的质子数，也就是原子核外的电子数，也就是周期表中第几号位置的号码。

上面說過，整個原子的質量幾乎99.9%集中在原子核，可見原子的質量是由原子核內的質子和中子的總數來決定的。這個總數稱為原子核的質量數（簡稱質量數），也就是原子量的整數部分。質量數=質子數+中子數。例如氫元素，它的原子量為1.008，它的質量數就是1，原子核內有一個正電荷（即質子帶的電荷），原子核外旋轉着的電子也只有一个，它占據着周期表上第一號位置。又如鈾元素，它的原子量為235，它的質量數就是235，原子核內有92個正電荷，即有92個質子，所以有 $235-92=143$ 個中子；由於它有92個質子，它就占據着周期表上第92號位置。通常把質量數寫在元素名字的右上角，把原子序數，就是周期表上的位置號碼，也就是原子核內的質子數，也就是原子核外的電子數，寫在元素名字的左下角，如 ${}_1^1\text{H}$ ， ${}_{92}^{235}\text{U}$ 等，右上角的數字減去左下角的數字，就是原子核內的中子數。

每種元素的原子核的電荷數是相同的，就是原子核內質子數是相同的，但是它們的質量數並非完全相同，而是有兩種或更多種不同的質量數，這是由於原子核內含有中子數不同的緣故。原子核內含有的質子數相同而中子數不同的元素稱為同位素。由於同位素的原子核內有相同的質子數，這就表示它們的原子序數相同，所以同位素在周期表上處於同一個位置。例如自然界存在的氫元素，絕大多數氫原子的原子核內只有1個質子，原子核外只有1個電子在旋轉（圖4）。除了這種氫原子以外，還有一種氫原子，原子核內含有1個質子和1個中子，原子核外有1個電子在旋轉，這種氫原子比上面講的一種氫原子重兩倍，叫做重氫，寫作“氘”。在普通氫氣里，大約是6,000個氫原子中有一個氘原子。此外，還有人工制得的一種氫原子，原子核內含有1個質子和2個中子，這種氫原子比

上面讲的一种氢原子重三倍，叫做超重氢，写作“氦”（图4）。氢、氘和氦，它们的原子核内含有的中子数不同，但是含有的质子数相同，就是原子序数相同，所以它们是同位素。又如

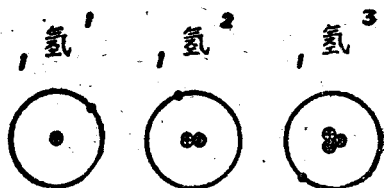


图4 氢的同位素

天然铀有三种同位素，就是铀 234、铀 235 和铀 238，它们的原子核内含有的质子都是 92 个，但是含有中子数不同，铀 234 的原子核内含有 142 个中子，铀 235 的原子核内含有 143 个中子，铀 238 的原子核内含有 146 个中子。在天然铀中绝大多数是铀 238，铀 235 只占 $\frac{1}{140}$ ，铀 234 只占 $\frac{1}{20000}$ 。

2、天然和人工放射性

原子不是固定不变的东西，它们有两种变化：一种变化是围绕原子核外面的电子的重行排列，这就是化学变化；另一种变化是发生在原子核的内部。化学变化时发出的能量叫做化学能。例如煤里含有大量的碳原子，在煤燃烧时，每一个碳原子和空气中的二个氧原子结合，组成二氧化碳的分子；在结合的过程中发出来的热量，就叫做化学能。在煤燃烧时，碳原子核和氧原子核都没有破裂，也没有融合在一起，仅仅是原子核外的电子的轨道有了一些变化，使三个原子结合在一起。

为什么这样的结合会有能量释放出来呢？

由于有这样一条自然规律：不论在什么物体上作用着吸

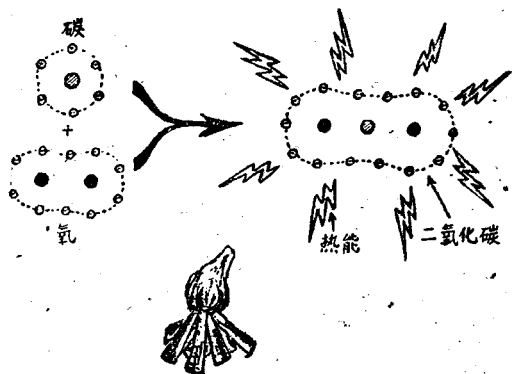


图5 燃烧(化学变化)

引力或排斥力而使物体发生运动的时候，不论这种力是什么力，都可以观察到这种现象，当相互吸引的物体靠近时总是伴随着放出能量，而在分开时总是伴随着消耗能量；当相互排斥的物体靠近时总是伴随着消耗能量，而在分开时总是伴随着放出能量。碳原子和氧原子在化学上的吸引力作用下使它们结合成二氧化碳的分子，也就是靠着这种力使得这二种原子保持结合在一起。因此在结合成二氧化碳的分子时就伴随着放出能量来。

不难理解，当碳原子和氧原子结合成二氧化碳的分子之后，再要把二氧化碳的分子分解为碳原子和氧原子，无疑地就要还给它们在结合时所放出的同样多的能量。

1个碳原子和2个氧原子化合成1个二氧化碳分子时能够放出多少能量呢？

1克分子的碳(约12克)燃烧时可以放出94千卡的能量(1卡= 4.18×10^7 尔格)，1克分子的碳有 6.023×10^{23} 个碳原子(阿佛加得罗常数)，所以1个碳原子和2个氧原子化合

时放出的能量是

$$\begin{aligned} & 94 \times 1000 \times 10^7 \times 4.18 (\text{尔格}) \div 6.023 \times 10^{23} \\ & = 6.5 \times 10^{-12} (\text{尔格}) \end{aligned}$$

在原子物理学中,通常采用**电子伏特**作为能量的单位。一个电子伏特就是一个电子在通过电位差为1伏特的电场时所得到的动能,就是 1.6×10^{-12} 尔格。在原子核反应中,常用一百万电子伏特作为单位,叫做**百万电子伏特**。

用电子伏特作单位,1个碳原子和2个氧原子化合成二氧化碳分子时所放出的能量为

$$6.5 \times 10^{-12} (\text{尔格}) \div 1.6 \times 10^{-12} = 4.1 (\text{电子伏特})$$

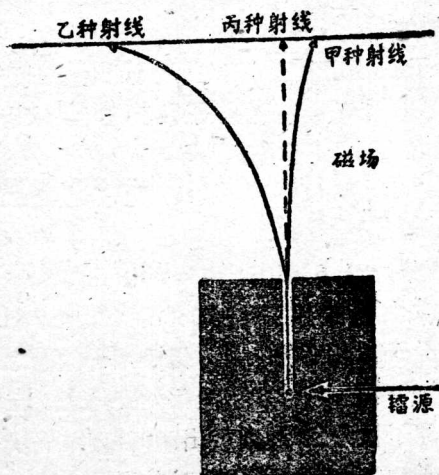
过去和现在,人类在生活上和生产上都利用了碳原子和氧原子化合成二氧化碳分子时放出的能量。但是原子的第二种变化,就是原子核内部的变化,能够放出比化学变化更加巨大的能量。例如1个铀原子核分裂时,会放出200百万电子伏特能量,这比1个碳原子和2个氧原子化合时放出的4.1电子伏特能量要大几百万倍。

1896年,法国物理学家柏克勒尔注意到铀元素会放出一些看不见的射线,能够透过保护照相底片的黑纸,在照相底片上留下十分清晰的痕迹。这种放出射线的现象叫做**放射现象**。具有放射性的物质叫做**放射性物质**。由于柏克勒尔发现的具有放射性的铀是天然存在的一种物质,因此这种放射性物质叫做**天然放射性物质**。

后来,波兰女科学家玛丽·居里和她的丈夫法国科学家皮耶·居里发现了钍、钋和镭都是天然放射性物质。

放射线到底是什么呢?这是当放射现象发现之后引起许多科学家注意的问题。研究的结果,查明天然放射性物质放射出来的射线包括着三种不同的射线。

如果用一小块放射性物质放在铅盒子里，再把这铅盒子放在强的磁场中(图6)，就会发现这一小块放射性物质所放



射出来的射线，经过狭小的缝射出来，在磁场中分成三束独立的射线束，就是：甲种射线，又叫做 α （阿尔发）射线；乙种射线，又叫做 β （培他）射线；丙种射线，又叫做 γ （伽玛）射线。甲种射线带正电荷，速率约每秒2万公里。组成甲种射线的粒子是氦的原子核，所以甲种射线就是氦粒子束。

图6 从镭源中放出的三种射线

乙种射线带负电荷，速率约每秒25万公里。组成乙种射线的粒子是各种不同速率运动的电子，所以乙种射线就是高速运动的电子流。丙种射线常常是伴随着甲种射线或乙种射线放射出来的，速率为每秒30万公里（这就是光的速率）。组成丙种射线的粒子是光子。各种电磁波如X射线、无线电波、日光等都是由光子组成的，所以丙种射线就是一种电磁波。

这三种射线从哪里来的呢？

明确的回答，这三种射线都是从原子核中放射出来的。可是上面讲过，在原子核内只有质子和中子，并没有氦核、电子和光子。这究竟是怎么回事呢？原来甲种射线是重元素所具有的，重元素的原子核可以认为由许多氦核所组成的，因此除

非不放射,如果放射,就放射出氦核来。例如镭,这种元素具有甲种射线放射性。镭的质量数是 226,质子数是 88,当镭的原子核放射出 1 个氦核之后,质量数减少 4,就成为 $226 - 4 = 222$,原子序数减少 2,就成为 $88 - 2 = 86$ 。这就是说,当镭放射出甲种射线之后,就变成质量数为 222、原子序数为 86 的一种元素,在周期表上查得这种元素就是氡(图 7)

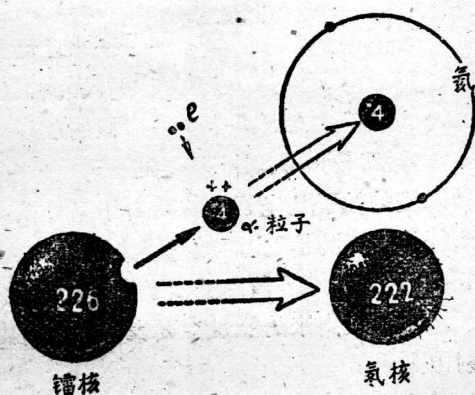


图 7 镭的自发的衰变图



从镭的原子核中放射出来的氦核,叫做 α 粒子。在电离的气体中, α 粒子会俘获 2 个电子而变成氦原子(图 7)。由此可见, α 粒子确实是从镭的原子核内放射出来的氦核。

组成乙种射线的粒子是电子,在放射乙种射线时还伴随着放射出中微子。这是由于原子核内中子过多,在一定条件下,1 个中子变成 1 个质子、1 个电子和 1 个中微子,而原子

核只能关住质子，关不住电子和中微子，因此电子和中微子就从原子核内射出来。放射出乙种射线后，由于放出的电子质量数为0，所以原子的质量数并无变化。但是在原子核内增加了

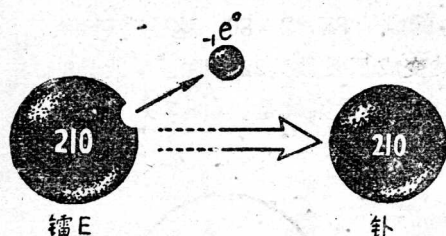
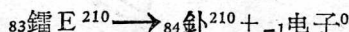


图 8

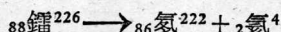
1个质子，原子序数就增加1，这样就变成另一种元素，例如镭E变成钋(图8)时放射出电子来，可证明乙种射线确实是从原子核内放射出来的。



组成丙种射线的粒子是光子。这是由于原子核内的核子从高能级跳到低能级，能量减少而放射出光子来的。

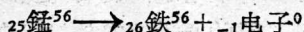
在放射过程中，由于原子核内的核子的运动发生变化，因此可以放出能量来，放出来的能量主要表现在放射出的粒子的动能和辐射能量上。

例如甲种射线



在镭原子核中放出氦核(α 粒子)时，伴随有4.88百万电子伏特能量释放出来。由于 α 粒子获得了这些核能，转变为 α 粒子的动能，所以放射出来时有很高的速度。

例如乙种射线



在锰原子核中放射出电子(乙种射线)时伴随有3.18百万电子伏特能量释放出来。由于放射电子时还有中微子一道放射出来，因此这些核能就分配给电子和中微子二者，中微子携带