



# 原子核能

程致中編著

上海科学技术出版社

# 原 子 · 核 能

程致中編著

科技卫生出版社

## 內 容 提 要

本書全面介紹原子核能的知識，從物質結構開始，依次說到能量、放射現象、一般的原子核反應、裂變和聚變。介紹能量時，注意核能以及核能與化學能的比較。論放射現象時，先說明天然放射性的規律，次及人為放射，着重敘述放射綫的傷害及防護；並應在應用中把示蹤原子和標記原子略加區別。談到一般核反應時，特別和放射性作比較，使讀者對於兩種核變化的某些現象不致混淆。裂變是目前提供可作實用的巨大的原子核能的基本手段；對於怎樣取得鏈式反應與各種反應堆的分類、構造及應用，均加以簡明的敘述。最後有關於聚變的應用原理及熱核反應的未來發展亦作應有的估計。本書可供一般愛好科學知識者閱覽；高中學生及一般科學工作者亦可一讀。

## 原 子 核 能

編 著 者 程 致 中

\*

上海科學技術出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可証出093號

上海大東集成聯合廠印刷 新華書店上海發行所總經售

\*

開本 787×1092 耗 1/32 • 印張 8 7/16 • 頁數 175,000

(原科技版印 2,700 冊)

1959年3月新1版 1959年3月第1次印刷

印數 1—11,000

統一書號：13119·114

定 價：(十二)1.00元

## 序 言

原子能(正确地說,应当叫原子核能或核子能),在当前的科学技术上具有特別重要的意义。如所週知,原子核能的利用与研究,对科学技术的許多部門已經发生了重要的影响;而且很清楚,这种影响在今后將更趋深刻。由于这样,原子核能乃得到了广大科学技术人員与人民群众的注意。为了滿足不同程度的讀者的日益增長着的需要,显然有必要就这一主题出版各种不同的書籍。作者有鉴于此,特写成了这本题名为“原子核能”的書。

对基础科学(如物理学)說来,原子核能科学是一种更專門的科学;但对原子核能科学本身來說,又包含着更專門的分支。所以,原子核能科学,从其專門性来看,是一种深奥的專門科学;从其本身所包含的分支来看,又是一种范围和內容相当广闊的科学。由于这样,在写作一本关于原子核能的一般性著作中,在对專門知識的通俗解釋与分析上,在取材及結構上,都有着丰富的創造泉源。不同的作者可以通过不同的角度、不同的方法来完成这样的著作。

这本书主要用来闡述原子核能的基本原理。在原子核能的应用方面,也着重于討論应用的原理,而不求其应用实例的丰富。对原理的了解,有助于讀者在不同場合下了解原子核能及其应用,而且或許可以帮助克服可能出現的关于原子核能的任何神祕性的想法。

本書的內容，是以尽可能通俗的方式来表达的。作者打算讓具有中学程度的讀者，就可以不困难地讀懂本書。但是，由于对通俗性的考虑，在取材及叙述上当然不能不受到限制；而且也有必要在某些部分使用比喻，比喻終是比喻，它是不一定完全和所討論的內容十分恰合的，这应当在这里說明一下。

为了使讀者能清楚地了解原子核能的基本原理，本書采取了现在的安排方法。在这种安排中，在介紹了作为初步的物質結構的知識之后，接着就一般地討論原子核能及其取得方法，以后就圍繞着这种討論而較深入地闡述各个方面。

在取材方面，由于着重原理及通俗性的考虑，本書首先考虑的是材料的典型性和基本性以及能否通俗的問題，其次才考虑到材料的新旧問題。由于这样，对于若干新材料就不得不予以割愛。

在完成本書时，曾得到我所属的組織上，某些單位(如圖書館)及其它同志在資料及制图謄写上对我的帮助，在这里謹向他們致謝。我还应当感激那些曾真誠地鼓励我的長輩們。

本書的写作，也曾先后参考了为数众多的参考書籍及报刊什志；从其中采用了材料、数据和图表等，这些在書內均未注明。所以特將主要参考書列于此处：

1. 赵忠堯、何澤慧、楊承宗主編：

原子能的原理和应用。

2. J. M. A. Lenihan著：

Atomic Energy And Its Applications

3. Selig Hecht著：

Explaining The Atom.

4. U. S. Atomic Energy Commission:  
Eight-year Isotop Summary
5. U. S. Atomic Energy Commission:  
Reactor Handbook II: Engineering
6. S. Glasstone 著:  
Sourcebook On Atomic Energy
7. 福里斯·季莫列娃合著, 梁宝洪譯:  
普通物理学(第三卷第二分冊)。

最后, 应予說明的是, 要写好一本有关原子核能的这种書籍, 是有不少困难的, 在客觀方面, 其主要者有三: 一为深, 即原子核能科学牽涉較深, 本書虽为通俗著作, 当仍不能不受其左右与約束; 二为广, 即牽涉面很广, 諸如物理、化学、工程、农业等等, 莫不涉及; 三为新, 即原子核能科学发展甚快, 日新月异, 材料多所变迁。在主觀方面, 其困难主要来自作者本人的学識淺陋。由于这两方面的原因, 本書的写作虽曾謹慎从事, 并一再修改, 作者絕不敢自負, 恐錯誤及缺点仍然不少, 万望海內專家及讀者多予賜教是幸。

作者 1957、秋。



# 目次

## 序言

|                        |            |                 |    |
|------------------------|------------|-----------------|----|
| <b>一、物質的結構</b> .....   | <b>1</b>   |                 |    |
| 元素.....                | 1          | 原子核及其結構.....    | 14 |
| 分子和原子.....             | 2          | 核子力.....        | 17 |
| 原子的質量和大小.....          | 5          | 同位素.....        | 20 |
| 元素周期律.....             | 6          | 基本質点.....       | 23 |
| 原子的結構.....             | 8          |                 |    |
| <b>二、能量及原子核能</b> ..... | <b>26</b>  |                 |    |
| 能量.....                | 26         | 取得能量的一般原理.....  | 42 |
| 能量和質量的关系.....          | 31         | 原子核变化——取得原子核    |    |
| 結合能.....               | 34         | 能的可能来源.....     | 45 |
| 原子核能和化学能的比較.....       | 39         | 如何利用原子核能.....   | 50 |
| <b>三、放射現象</b> .....    | <b>52</b>  |                 |    |
| 天然放射性的发现及放射性的          |            | 放射性的說明.....     | 70 |
| 本質.....                | 52         | 放射現象中核能的釋放..... | 74 |
| 人为放射性的发现.....          | 57         | 放射綫对物質的作用.....  | 77 |
| 放射性的种类及其規律.....        | 60         | 放射綫的探測器.....    | 80 |
| 天然放射性同位素与人为放           |            | 放射綫伤害及其防护.....  | 89 |
| 射性同位素的比較.....          | 65         | 放射現象的利用.....    | 95 |
| <b>一般的原子核反应</b> .....  | <b>121</b> |                 |    |

|                 |     |                 |     |
|-----------------|-----|-----------------|-----|
| 原子核反应的首次实现····· | 121 | 加速器·····        | 136 |
| 一般原子核反应的种类····· | 123 | 核反应中核能的释放·····  | 149 |
| 核反应的一般说明·····   | 127 | 一般原子核反应的用途····· | 152 |
| 核弹·····         | 133 |                 |     |

## 五、裂变····· 162

|            |     |                  |     |
|------------|-----|------------------|-----|
| 裂变的发现····· | 162 | 如何取得链式反应·····    | 175 |
| 裂变的说明····· | 167 | 原子核反应堆·····      | 179 |
| 裂变的特点····· | 170 | 裂变及其链式反应的应用····· | 205 |

## 六、聚变····· 235

|               |     |                 |     |
|---------------|-----|-----------------|-----|
| 聚变的发生和说明····· | 235 | 聚变及热核反应的应用····· | 244 |
| 聚变的特点·····    | 241 | 太阳能的来源·····     | 253 |

## 結束語····· 257

## 附录：从原子臆测到原子能时代····· 260



## 一、物質的結構

對物質的認識是多方面的。可以說，自然科學的任務就是通過各方面來認識物質。我們這裡只介紹物質結構的基本知識，這對於了解原子能有重大的關係。

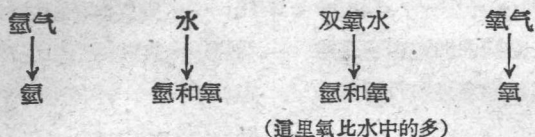
### 元 素

對物質結構有兩個最基本的問題。第一個是：世界上無數的物體，是不是每種物體都是各由一種物質組成的？或者是都由少數基本物質組成的？

古代就有人對這個問題寫下了答案。在公元前一千二百年左右，從我國古代學者手抄的書經中，就提到了“五行”的學說，認為自然界的物質都是由金、木、水、火、土這五種物質組成的。以後，希臘的恩披多克里斯認為世界是由土、空氣、水和火這四種物質組成的，這四種物質被叫做元素。

這些看法都是朴素的直覺，只有在科學發達以後，才能加以証實。為了這樣做，可以用化學分析的方法來分析物質，因為化學方法可以改變物質的成分，因此就能知道一種物質是不是由另一種物質組成的。

我們來看看這樣分析中的幾個結果。這裡有四種物質：氫氣、水、雙氧水和氧氣，它的分析結果寫在各該物質的下面：



从这里可以明白：四种物质都来源于两种基本物质——氢和氧。换句话说，这两种物质单独地或相互地作用在一起，就成了四种物质。而氢和氧再分析下去，仍旧是氢和氧，它们不是别的物质组成的，可见这就是基本物质。

对于其它许多物质分析的结果，也能证明它们都是由少数基本物质组成的。这些基本物质就叫元素。例如人的身体大约由二十种左右的元素组成，而整个自然界都不外是由九十二种元素组成的。

为了明白这一点，可以打个比喻：世界上当然有很多很多的曲调，但是组成这许多曲调的，只不过是八个音阶和不多的一些音符。和这相似，不多的元素，单独地或相互结合地就组成了世界上数不清的物质。

元素到底有多少呢？现在知道的连人造的元素在内一共只有102种。这102种元素的性质各不相同。为什么会有不同呢？这要由元素的内部结构不同来回答。

### 分子和原子

这就要提到对物质结构的第二个基本问题：物质内部是连续的还是由间断的粒子组成的呢？

古代学者也对这个问题作了回答。例如希腊学者琉西巴斯和特莫克利特就曾经认为物质是由一粒粒的小粒子组成的。这

些小粒子不能再分开，被叫做原子。

这只是一个天才的直觉。但以实验为根据，并且是较完整的学说，是在十八世纪中叶，由天才的俄罗斯科学家罗蒙诺索夫提出来的。他建立了物质结构的原子-分子学说的基础。

近代的原子-分子学说的要点如下：

1、物质是由一粒粒的分子组成的，分子是具有各该物质的性质的最小粒子；

2、分子是由原子组成的，原子是元素的最小粒子；

3、分子和原子都是不断运动的。

举例来说，根据这个理论，水被认为是由一粒粒水分子组成的，每粒水分子都有水的性质；而水分子则由更小的原子——元素的最小粒子，即氢原子和氧原子组成的(图2)。

这就是说，当氢和氧两种元素组成水时，就是由氢原子和氧原子组成水分子。

推而广之，各种元素都有它的最小粒子——原子。元素的原子在单独或互相结合时，就形成了各种物质的分子。

这种情况可以表示如下：



图1 罗蒙诺索夫

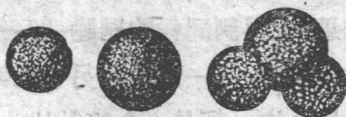
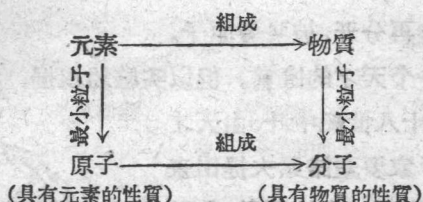


图2 原子和分子



曾經有人不相信真的有原子和分子。因为在实际上，我們并不能直接用肉眼去看見它們，也並沒有在實驗中真正得到一個單個的原子或分子；但是許多事實和實驗使我們相信它們是真實地存在的。

例如在一杯水中放一塊糖，馬上一杯水就甜了。我們試想：如果水和糖的結構是連續的或緊密的，那麼糖就不會滲到全部水中去，而使水有甜味。只有當水和糖都是由粒子組成時，而又由於它們的運動，所以糖分子跑到由水分子組成的水的空隙中去，全杯水才能有甜味了。

原子的真實性可以用下列的事實證明：我們知道水和雙氧水都是由氫和氧這兩種元素組成的。而人們又發現，在水中的氧和在雙氧水中的氧的重量成 1:2 的比。對另一些物質的分析結果，也得到同樣的結論，即一元素和另一元素化合成兩種以上的物質時，對一定量的另一元素來說，這元素在形成的物質中的重量之比，都是一個整數比。如果物質不是由原子組成的，這也不可能。

科學上還有許多實驗，足以證明這個並不為肉眼直接看見的原子，是真實地存在的。最近由於显微技術的進步，在一種能放大幾百萬倍的電子显微儀前面，已經使人直接看見了原子。因而我們不必懷疑原子的真實性了。

这种到处存在的原子之所以不能为我们直接发觉，是因为它太小了。关于它的质量和大小，下面将予以介绍。

### 原子的质量和大小

对原子学说作过重大贡献的英国科学家道尔顿，曾经提出决定原子质量的方法。他知道原子的质量很小，当时不能直接测定，所以建议用原子和原子比较的方法来决定原子的相对质量，这样得出的结果，就叫原子量。

近代科学上采用氧单位来表示原子量。所谓氧单位，就是把氧的原子量作为 16，氧原子量的  $1/16$  就是 1 个氧单位。采用这样的单位时，许多元素的原子量都大约接近于整数。同时由于氧的化合物较多，也便于比较出原子量。

在以其他元素直接或间接地和氧比较以后，就可以知道它的原子有几个氧单位的原子量。例如氢大约比氧轻 16 倍，它的原子量大约只有一个氧单位(1.008)。

如果元素的原子量以克来表示，叫 1 克原子。例如氧(原子量 16)的 1 克原子是 16 克，氢(原子量 1.008) 1 克原子是 1.008 克。1 克原子的数目并不就是原子的质量，它只是表示有着和原子量数目相同的克数的元素。

科学上曾用各种方法测出元素 1 克原子内的原子数目。不论用什么方法，都得到这样的结果：任何元素，其 1 克原子中含有  $6.02 \times 10^{23}$  个原子<sup>①</sup>。这就是说，各种元素在相当于原子量的质量中，所含原子数目都相同。16 克氧中有  $6.02 \times 10^{23}$  个氧

<sup>①</sup>  $10^{23}$  表示 1 以后有 23 个 0， $6.02 \times 10^{23}$  表示 602 后有 21 个 0 (因为有二位小数)即 602,000,000,000,000,000,000。



原子, 1.008 克氫中也有这么多氫原子。这个事实充分証明了原子的真实性。因为如果真的有原子存在, 而氧原子和氫原子的質量之比是 16:1.008, 那么, 16 克氧中和 1.008 克氫中的原子数目就应当相同, 而事实正是这样。

$6.02 \times 10^{23}$  这个数叫阿伏伽德罗常数。根据它就可以大約地算出原子的絕對質量。例如鉄的原子量是 55.85, 那么 55.85 克的鉄中含有  $6.02 \times 10^{23}$  个鉄原子, 每个鉄原子的質量就是:

$$55.85 / 6.02 \times 10^{23} = 9.27 \times 10^{-23} \text{ 克} \textcircled{1}$$

可見鉄原子很輕, 大約  $10^{23}$  个鉄原子合在一起, 才有 9 克左右的質量。各种原子的質量并不一样, 氫原子比鉄原子还要輕 50 多倍。

再来看看原子的大小。我們知道鉄的密度是 7.86 克/立方厘米, 也就是每立方厘米的鉄的質量是 7.86 克。而現在每个鉄原子的質量是  $9.27 \times 10^{-23}$  克, 那么, 如果鉄中的原子是排列得很緊密的話, 利用“体积 = 質量/密度”的公式, 就可算出鉄原子的大小:

$$9.27 \times 10^{-23} / 7.86 = 1.2 \times 10^{-23} \text{ 厘米}^3$$

如果把原子当作球形, 鉄原子的半徑大約是  $1.26 \times 10^{-8}$  厘米。其他原子的大小和这也差不多。可見原子很小, 大約 2 厘米寬的地方, 就可以并排地排下近 1 亿个原子。

## 元素周期律

各元素的原子量是不相同的, 其化学性質也不一样。例如,

①  $10^{-23}$  表示小数点后有 22 个 0,  $9.27 \times 10^{-23}$  即 0.0000000000000000000000000927。



鈉元素就非常容易和別的元素或物質發生化學變化，因此人們叫它“活潑”的元素。但是有的元素的化學性質是非常不活潑的，例如氦、氫等元素，就簡直不和別的元素或物質起化學作用。

偉大的俄羅斯科學家門捷列夫，在上世紀發現了一個重要的現象：元素的化學性質和元素的原子量有密切關係。這個關係表現在元素週期律中。元素週期律給我們顯示出原子世界的一個重要的規律。



圖3 門捷列夫

讓我們將元素按照原子量的大小排起隊來。原子量小的在前，較大的在後。並將這個元素“隊伍”中的“士兵”們編上號，原子量最小的氦是第一號，其次的氦是第二號，接着的幾個元素是：

3 鋰   4 鈹   5 硼   6 碳   7 氮   8 氧   9 氟   10 氖  
11 鈉   12 鎂   13 鋁   14 矽   15 磷   16 硫   17 氯   18 氬

這上面的幾個元素都是按原子量由小而大的次序排列的，它的編號叫原子序數。

從這裡可以看到一個極有意義的現象：<sup>3</sup>鋰是一個活潑的元素，其次的<sup>4</sup>鈹的活潑性比鋰差一些，再次的<sup>5</sup>硼的活潑性更差一些。<sup>6</sup>碳則有一種介於金屬與非金屬之間的過渡性質。<sup>7</sup>氮以後，元素的活潑性又漸漸增強，直到<sup>9</sup>氟就更強。但<sup>10</sup>氖突然成為一個最不活潑的元素。由此可以看出：元素的化學性質隨原子量的增加，而表現出一定的規律。

但這還不算。再看<sup>11</sup>鈉和它以後的各元素。這些元素和

上面說的一樣，其化學性質也是由很活潑漸漸減低到不活潑，然後活潑性又慢慢增強，一直到最活潑的氯，但最後也是一個最不活潑的元素——氫。

這樣，上面兩行里的上下相對的兩個元素，性質上剛好是對應地相似的。例如  $^3\text{Li}$  和  $^{11}\text{Na}$  都很活潑，而  $^{10}\text{Ne}$  和  $^{18}\text{Ar}$  都很不活潑。所謂元素周期律，就是元素的性質跟着原子量的增加而作周期性的變化的規律。

門捷列夫根據周期律就列出一張表，這就是元素周期表。周期表是一張有規律的元素清單，它把按原子序數由小而大的次序排好的各個元素，安放到一個個的小格子裡。每一橫列的元素叫一周期；這裡元素的性質按一定規律變化着。表中每一縱行里的元素叫一族，每族中的元素性質都相似。

元素周期律表示各種原子性質雖然不同，但顯然有某些共同的地方，才会有這種規律。但到底是不是這樣呢？那就要看看原子內部的結構了。

## 原子的結構

從古代直到十九世紀的時代里，原子都被當作不可再分割的最小粒子。這主要有兩個原因：第一、在一般化學變化中，原子確是很穩定的，例如當煤燃燒時，看來煤是變了，但是參加變化的原子——煤中的碳和空中的氧並未變成另一種東西，只是結合的方式改變了——成了二氧化碳而飛走了。第二、也因為原子實在太小，因此很難覺察到它的結構。

直到十九世紀末葉，原子不變的觀念才被打破了。以後大約經過二、三十年的努力，才逐漸明白了原子的結構。

| 元素各族 |               |               |                  |               |               |                 |              |               |               |
|------|---------------|---------------|------------------|---------------|---------------|-----------------|--------------|---------------|---------------|
| 周期   | I             | II            | III              | IV            | V             | VI              | VII          | VIII          | 0             |
| 1    | 氢 1<br>1.008  |               |                  |               |               |                 |              |               | 氦 2<br>4      |
| 2    | 锂 3<br>6.9    | 铍 4<br>9      | 硼 10.8<br>5      | 碳 12<br>12    | 氮 14<br>14    | 氧 16<br>16      | 氟 19<br>19   |               | 氖 10<br>20.2  |
| 3    | 钠 11<br>23    | 镁 12<br>24.3  | 铝 27<br>13       | 硅 28<br>14    | 磷 31<br>15    | 硫 32.1<br>16    | 氯 35.5<br>17 |               | 氩 18<br>39.9  |
| 4    | 钾 19<br>39.1  | 钙 20<br>40.1  | 钪 21<br>45.1     | 钛 22<br>47.9  | 钒 23<br>51    | 铬 24<br>52      | 锰 25<br>54.9 | 铁 26<br>55.9  | 镍 28<br>58.7  |
| 5    | 铜 29<br>63.6  | 锌 30<br>65.4  | 镓 31<br>69.7     | 锗 32<br>72.6  | 砷 33<br>74.9  | 硒 34<br>79      | 溴 35<br>79.9 |               | 氪 36<br>83.7  |
| 6    | 铷 37<br>85.5  | 锶 38<br>87.6  | 钇 39<br>88.9     | 锆 40<br>91.2  | 铌 41<br>92.9  | 钼 42<br>96      | 镉 43<br>[99] | 铟 44<br>101.7 | 钡 45<br>106.7 |
| 7    | 银 47<br>107.9 | 镉 48<br>112.4 | 锡 114.8<br>118.7 | 锑 50<br>121.8 | 碲 51<br>127.6 | 碘 52<br>126.9   |              |               | 氙 54<br>131.3 |
| 8    | 铊 81<br>204.4 | 铅 82<br>207.2 | 铋 83<br>208.98   | 钋 84<br>209   | 铀 85<br>238   | 镭 86<br>226     | 锕 87<br>227  | 钍 88<br>232   | 镤 89<br>231   |
| 9    | 钷 87<br>[223] | 铈 88<br>226   | 镨 89<br>227      | 钆 90<br>232.1 | 铽 91<br>231   | 镱 92**<br>238.1 |              |               |               |

註: 各元素上面一行是原子序数, 下面一行是原子量

元素

| * 稀土元素        |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 銻 58<br>140.1 | 銻 59<br>140.9 | 銻 60<br>144.3 | 銻 61<br>150.4 |
| 銻 65<br>159.2 | 銻 66<br>162.5 | 銻 67<br>164.9 | 銻 68<br>167.2 |

\*\* 超鈾元素

|               |               |               |               |               |               |               |                |              |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------|
| 銻 93<br>[237] | 銻 94<br>[242] | 銻 95<br>[243] | 銻 96<br>[245] | 銻 97<br>[245] | 銻 98<br>[248] | 銻 99<br>[247] | 銻 100<br>[248] | 銻 101<br>[?] |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------|