

原子能的 原理和应用

(修訂本)

赵忠尧 何泽慧 楊承宗
主編

科学出版社

原子能的原理和应用

(修訂本)

赵 忠 尧

何 泽 慧 主 編

楊 承 宗

科 学 出 版 社

1 9 6 5

内 容 简 介

这是一本介绍原子能的原理和应用的中级科学读物。首先从物质结构讲到原子核的结构，然后从原子核的相互作用讲到人为放射性和原子能的释放，使具有相当于高中文化程度的读者可以在这基础上了解原子能应用的一般知识。书中对原子堆的原理、热核反应、原子能在动力上的应用，同位素和射线在工业、农业、医业、物理、化学、生物等方面的应用，都有概括的介绍；关于原子武器的常识也作了简明的介绍。本书还系统而简明地介绍了探测器和加速器；关于射线对人体的有害作用的防护问题也作了介绍。

本书适合于具有高中文化程度的一般读者。对于大学学生、机关干部和一般科学工作者也有参阅的价值。

本书第一版在 1956 年出版，在修订本中，作者作了不少修改和补充。关于原子能在动力方面的应用、热核反应、对射线的有害作用的防护等章节，已全部重新写过；加速器、同位素和射线的应用等章节作了相当多的修改和补充，其余各章节也都作了一定的修改。

原子能的原理和应用

赵忠尧 何泽慧 杨承宗 主编

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 117 号

北京市书刊出版业营业登记证出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1965 年 7 月第 二 版 开本：850×1168 1/32

1965 年 7 月第一次印刷 印张：10 7/16 插页：3

印数：37,193—41,192 字数：265,000

统一书号：13031·2141

本社书号：3266·13—3

定价：[科四] 1.40 元

修訂本序言

原子核裂變現象發現以來，僅僅二十多年的時間，原子能科學技術和它在各方面的應用發展十分迅速。現在，原子能在發電、交通運輸等動力方面的應用上，在放射性同位素和射綫的各種應用上，均已取得很大的進展。

我國原子能事業，解放以後，在黨的領導下，循着自力更生的方針，取得了重大的成就。1958年我國自制質子靜電加速器的建成，試驗性重水反應堆和迴旋加速器的投入運行，標志着我國原子能事業進入了一個新的階段。一九六四年十月十六日，我國爆炸了一顆原子彈，成功地進行了第一次核試驗。這是我國人民加強國防、保衛祖國的重大成就，也是我國人民對於保衛世界和平事業的重大貢獻。這一成就，是我國人民高舉毛澤東思想紅旗，貫徹執行黨的建設社會主義的總路綫和堅持四個第一，發揚自力更生、發奮圖強的革命精神的結果。

我國一貫主張原子能應該用於和平，但是美帝國主義首先制成核武器，殘殺和平居民，並且蠻橫地執行着核訛詐和核威脅的政策。我國發展核武器，正是為了反對美帝國主義的核訛詐和核威脅的戰爭和侵略政策。正如我國政府聲明中所指出：“中國政府一貫主張全面禁止和徹底銷毀核武器。如果這個主張能夠實現，中國本來用不着發展核武器。但是，我們的這個主張遭到美帝國主義的頑強抵抗。……

“……中國發展核武器，不是由於中國相信核武器的萬能，要使用核武器。恰恰相反，中國發展核武器，正是為了打破核大國的核壟斷，要消滅核武器。

“……中國掌握了核武器，對於鬥爭中的各國革命人民，是一個巨大的鼓舞，對於保衛世界和平事業，是一個巨大的貢

献。……

“中国政府将一如既往，尽一切努力，争取通过国际协商，促进全面禁止和彻底销毁核武器的崇高目标的实现。……”

我国对于原子能的和平利用也已取得不少成就，它在生产、医药以及科学研究上的很多应用，正待进一步开展。就将来的发展说，人类今后在生产斗争中所需的大部分动力，将逐步转移到应用原子能的基础上。为要以后能够很好地利用它，我们现在必须有充分而及时的准备。

本书的目的是帮助大家了解有关原子能的一些基础知识。书中简单地介绍了原子核物理的基础知识，原子能在动力上、科学上、工业上、农业上和医学上的应用，关于原子武器的常识，以及射线对于人体的有害影响。

本书的对象是具有高中以上文化程度的读者。但是，为了便利没有专门学过物理及化学课程的热心自学的读者，书中对一些物理的和化学的概念也做了一些解释。热核反应方面的有些部分，内容比较专门一些，倘使读者把它们省略，并不影响对其他部分的理解。

这本书只包括对于原子能的原理和应用的最简单的叙述。如果读者要在原子能的应用上做实际工作，无疑地还须掌握更多的和更专门的知识。

本书初版发行以来，已将近十年。这近十年来，原子能的应用又有了广泛的发展。本书初版发行后曾得到广大读者的关怀，我们深为感谢。在这样长的时间里本书未能及早修订，编者对此表示很大歉意。

这次再版，主要的修改和补充部分是原子能在动力方面的应用、热核反应和射线对人体的有害的影响等章。在同位素和射线的应用方面也作了不少的修改和补充。在加速器和探测器方面，也有所修改。

本书初版是由好多位同志集体编写的，修订工作也是由几位

同志負担的。另外，还得到几位同志的热心帮助。謹在这里向他們致謝。沒有他們的辛勤工作，本书是难以完成的。由于本书所涉及的范围比較广，难免有錯誤的地方，希望专家和讀者随时給予指正。

編 者

1964年10月

统一书号：13031·2141

定价：[科四] 1.40 元

本社书号：3266·13-5

目 录

修訂本序言	iii
第一章 物質的結構	1
原子和分子	1
§ 1.1 原子-分子学说	1
§ 1.2 原子、分子的质量和大小	2
§ 1.3 元素周期律的发现	4
原子的結構	5
§ 1.4 电子	5
§ 1.5 原子核	8
§ 1.6 原子模型	9
能的解說	11
§ 1.7 机械能	11
§ 1.8 热能及其本质	14
§ 1.9 化学能及其本质	15
§ 1.10 能量的转变和守恒定律	17
第二章 原子核的結構	19
天然放射現象	19
§ 2.1 放射现象的发现	19
§ 2.2 射线的性质	20
§ 2.3 放射过程的规律	25
原子核的組成	28
§ 2.4 同位素	28
§ 2.5 质谱仪	30
§ 2.6 原子核的成分	32
§ 2.7 核力	35
§ 2.8 质量和能量,结合能	36
§ 2.9 原子核的稳定性	39
第三章 核反应和人为放射性	44
核反应	44
§ 3.1 天然放射物的 α 粒子所产生的核反应	44

§ 3.2 人工加速的粒子所产生的核反应	48
人为放射性	50
§ 3.3 人为放射性	50
第四章 加速器和探测器	52
加速器	52
§ 4.1 引言	52
§ 4.2 倍压加速器	53
§ 4.3 静电加速器	56
§ 4.4 回旋加速器	60
§ 4.5 电子感应加速器	65
§ 4.6 同步加速器	67
§ 4.7 直线加速器	72
§ 4.8 中子的产生	74
探测器	76
§ 4.9 引言	76
§ 4.10 云室	77
§ 4.11 照相底片和原子核乳胶	78
§ 4.12 荧光屏和闪烁计数器	79
§ 4.13 电离室	81
§ 4.14 正比计数管和盖缪计数管	82
§ 4.15 几种新探测器	84
§ 4.16 γ 射线的探测	86
§ 4.17 中子的探测	86
§ 4.18 附属的电子学设备	87
§ 4.19 放射性强度的测量	91
§ 4.20 总的比较	92
第五章 原子能的释放	93
原子能	93
§ 5.1 获得原子能的可能性	93
核裂变	94
§ 5.2 核裂变现象	94
§ 5.3 核裂变现象的解释	98
核裂变的链式反应	100
§ 5.4 中子在铀堆中的遭遇	100
§ 5.5 链式反应进行的条件	101

§ 5.6 控制链式反应的原理	106
反应堆的构造和用途	106
§ 5.7 反应堆的构造、运用和控制	106
§ 5.8 反应堆的用途	110
热核反应	111
§ 5.9 什么是热核反应	111
§ 5.10 星球中所进行的热核反应	115
§ 5.11 实现受控热核反应必需的条件	116
§ 5.12 等离子体的一些性质	119
§ 5.13 受控热核反应研究的一些途径和目前情况	125
第六章 原子能在动力方面的应用	133
原子能动力应用的概况	133
§ 6.1 为什么要发展原子能动力	133
§ 6.2 怎样利用原子能获得动力	134
§ 6.3 发电成本估计	137
§ 6.4 核燃料的再生	138
§ 6.5 各国动力堆发展概况	139
原子能动力应用的技术问题	141
§ 6.6 结构材料	141
§ 6.7 载热剂的选择	142
§ 6.8 辐射的防护	145
§ 6.9 自动控制	146
原子能发电站	148
§ 6.10 原子能动力装置的类型	148
§ 6.11 苏联第一个原子能发电站	152
§ 6.12 加压水反应堆发电站	155
§ 6.13 沸水反应堆发电站	158
§ 6.14 气冷反应堆发电站	160
§ 6.15 石墨-水过热反应堆发电站	161
原子能船	163
§ 6.16 船用原子能动力装置的优点	163
§ 6.17 船用原子能动力装置的类型	164
§ 6.18 列宁号原子能破冰船	165
§ 6.19 原子能潜水船舶	167
原子能在航空及其他方面的应用	169

§ 6.20 原子能飞机	169
§ 6.21 原子能和星际航行	173
§ 6.22 利用原子能改造自然——原子能在爆炸方面的和平利用	178
第七章 同位素和射线的应用(上)	180
同位素和射线的应用原理和方法	181
§ 7.1 应用的原理	181
§ 7.2 应用的方法	184
同位素和射线在工业上的应用	189
§ 7.3 检查物体内部缺陷的 γ 射线探伤法	189
§ 7.4 量度和控制用的新型放射性仪表	194
§ 7.5 中子测井法和土壤湿度计	200
§ 7.6 静电消除和原子能电池	203
§ 7.7 强射线源和加速器的应用	206
§ 7.8 标记原子法在冶金等工业中的应用	209
§ 7.9 机械磨损的测定	214
§ 7.10 放射性指示剂的应用	216
同位素在物理、化学等科学上的应用	220
§ 7.11 物质的自扩散	220
§ 7.12 同位素在分析化学上的应用	221
§ 7.13 化学反应和催化作用的历程问题	223
§ 7.14 地质学与考古学的“时钟”	226
第八章 同位素和射线的应用(下)	229
同位素和射线在农业上的应用	229
§ 8.1 射线照射对农作物产量的影响	229
§ 8.2 用射线防治虫害和保藏农产品	232
§ 8.3 用标记原子研究农作物施肥问题	235
§ 8.4 用标记原子研究农作物的营养活动	240
§ 8.5 标记原子在研究农药等方面的应用	243
§ 8.6 标记原子在畜牧、渔业和林业中的应用	246
同位素和射线在医学和生理学上的应用	249
§ 8.7 用射线治疗癌症	249
§ 8.8 放射性碘在甲状腺机能等的研究和临床上的应用	252
§ 8.9 有机体内磷的代谢过程及放射性磷在临床上的应用	255
§ 8.10 用放射性钠等研究血液的循环和人体含水量	257
§ 8.11 其他同位素在医学上的应用	259

同位素在生物化学中的应用	261
§ 8.12 植物的光合作用	261
§ 8.13 蛋白质在动物体内的合成	263
§ 8.14 脑的新陈代谢作用的研究	265
第九章 核武器及其防御	267
核武器的构造原理	267
§ 9.1 原子弹	267
§ 9.2 热核武器	269
核武器的杀伤因素和破坏因素	275
§ 9.3 冲击波	276
§ 9.4 光辐射和热辐射	280
§ 9.5 贯穿辐射	282
§ 9.6 放射性沾染	285
§ 9.7 热核武器的杀伤和破坏因素	287
§ 9.8 放射战剂	288
核武器的防御原则	288
§ 9.9 对冲击波的防御	289
§ 9.10 对光热辐射的防御	290
§ 9.11 对贯穿辐射的防御	290
§ 9.12 对放射性沾染的防御	291
第十章 对射线的有害作用的防护	294
射线对人体的作用	294
§ 10.1 射线损伤	294
§ 10.2 剂量的表示方法及其单位	297
§ 10.3 人体受到射线作用的不同方式和最大容许剂量	298
射线的防护	301
§ 10.4 减少人体所受到的剂量	302
§ 10.5 避免放射性物质进入体内	306
§ 10.6 及时发现超过剂量的事件	310
防护中的射线监测和监测仪器	311
§ 10.7 电离室剂量仪与剂量率仪	313
§ 10.8 计数器辐射仪	316
§ 10.9 照相底片	317
附录 1 元素周期表	(318后)

附录 2 常用放射性同位素表	319
人名对照表	321
名词索引	322

第一章 物質的結構

原子和分子

§ 1.1 原子-分子學說

世界上充滿着形形色色的各種物質，所有的物質都在不斷地運動、變化。有一類變化，象米釀成酒、鐵生鏽、木柴燒掉而留下灰燼等等，是一種物質變成了另一種物質，這種變化叫做“化學變化”。物質在化學變化中所表現出來的性質，就叫做該物質的化學性質。

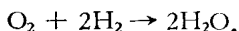
世界上的千千萬萬種物質，有些是由幾種不同的物質混合起來的，例如空氣就是由氧氣、氮氣等混合起來的；有些是單純的一種物質，例如水就是一種物質。混合的物質可以分成單純的物質。如果我們把單純的物質再細分下去，最後會變成什麼樣子呢？它們的結構是怎樣的呢？

科學家經過長期的研究，確立了原子-分子學說。他們證明：世界上的任何單純的物質都是由很多很多的同樣的分子構成的。分子是很小、很輕的個體。某物質的分子就是保持該物質的基本化學性質的最小個體。我們把一杯水分成千萬滴水滴，每一滴水還不是水的分子，因為它還可以再分成更小的水滴。一直分到最後才是水的分子。水分子仍舊保持水的基本化學性質。這時候如果我們再把它分開，那就只能得到氫粒子和氧粒子了。分子的種類是無窮無盡的，有多少種單純的物質就有多少種分子。但是千萬種分子都只是由有限的若干種原子組成的。原子是用任何化學方法（即在任何化學反應中）都不能分解的最小粒子。各種原子的不同結合就形成千萬種分子。有的分子是由同一種原子構成的，例如氧分子就是由相同的原子構成的。有的分子則是由若干種不

同的原子構成的,例如水分子是由兩種原子構成的。

如果某種物質只是由一種原子組成的,那末我們就把這類原子叫做某一種化學元素。例如氧是由同一種原子構成的,我們就把這類原子叫做氧元素。到今天為止,已經知道的元素有103種。

在化學上,為了方便起見,用一套拉丁字母來代表元素的原子。如H(氫)、O(氧)、C(碳)、U(鈾)等等。一個水分子是由二個氫原子和一個氧原子所構成的,所以水分子就用 H_2O 來代表,這叫作水的分子式。氫氣和氧氣化合成水的化學反應用下列化學方程來表示:



§ 1.2 原子、分子的質量和大小

原子、分子究竟有多少質量、有多大呢?

雖然誰也沒有看到過單獨的原子和分子,只有特別巨大的蛋白質分子,也直到最近發明了可以放大幾十萬倍的電子顯微鏡以後才看得見,但是人們却早已有了量度原子、分子的質量和大小的辦法。具體辦法我們不介紹了,只看看科學家們測定的結果吧。

一個氫原子的質量是 0.000,000,000,000,000,000,001,673 克,也可以寫成 1.673×10^{-24} 克¹⁾。一個氧原子的質量是 0.000,000,000,000,000,000,026,563 克,或寫作 2.6563×10^{-23} 克。這實在太麻煩了,小數點後面有這麼二十幾個零,原子實在太輕,我們的質量單位——克太大了。

單位是人定的,用克作單位既然不合適,科學家就創造了一個稱原子的新單位。

我們是怎樣規定克的單位的呢?這是用了“東西秤東西”的辦

1) 0.000,000,000,000,000,000,001,673 =

$$\frac{1.673}{1,000,000,000,000,000,000,000} = 1.673 \times \frac{1}{10^{24}}, \text{ 簡寫作 } 1.673 \times$$

10^{-24} , 這種表示方法以後時常用到。例如 8×10^{-8} 就是 0.000,000,08。

法，取温度在 4°C 时 1 立方厘米的純水的质量作标准，叫作 1 克。別的东西的质量跟它比一比，是它的几倍就說它的质量是几克。

显然，我們在原子的小世界里面，就該用“原子秤原子”的办法。找一个原子作标准，把別的原子跟它比較就行了。氧的化合物很多，多数元素都可以和氧直接比較，因此化学家就采用氧原子作标准；取氧原子质量的十六分之一作为一个单位，这个单位叫做氧单位¹⁾。某元素的原子的质量是几个氧单位，我們就說它的原子量是几。例如 2.016 克氫和 16 克氧化合成 18.016 克水，已知水的分子是两个氫原子和一个氧原子組成的，氫原子的数目是氧原子的二倍，这样就定出氫的原子量等于 1.008。

分子的輕重和原子差不多，因此也用氧单位来表示。分子量就等于分子中所有原子的原子量的总和。

一个氧单位既然就是氧原子质量的十六分之一，因此它就相当于 $2.6563 \times 10^{-23} \div 16 = 1.6602 \times 10^{-24}$ 克。因此，1 克就相当于 $1 \div (1.6602 \times 10^{-24}) = 6.023 \times 10^{23}$ 个氧单位。这个数字也就是阿伏伽德罗常数。

阿伏伽德罗常数有什么意义呢？我們知道氫的原子量是 1.008（也就是說，一个氫原子的质量是 1.008 个氧单位），由此可以算出，1.008 克氫就刚好等于 6.023×10^{23} 个氫原子的质量。1.008 克氫和 16 克氧有着同样多的原子，根据这种情况，化学家創造了一个新的单位——“克原子”。1“克原子”氫就是指 1.008 克的氫（1.008 就是氫的原子量），1“克原子”氧就是指 16 克的氧。1“克原子”的任何一种元素，就是指和它的原子量的数目字一样的那么多克的該种元素，也就是 6.023×10^{23} 个該元素的原子的质量。

同样，1“克分子”的化合物也就等于該化合物的 6.023×10^{23} 个分子的质量。这种单位在化学工作中用起来是很方便的。

我們知道了阿伏伽德罗常数和原子量，就可以粗略地估計原

1) 关于原子量的最新标准，请参阅 § 2.4。

子的大小了。譬如鐵原子量是 55.85，鐵的比重是 7.86，1 “克原子” 鐵的体积就是 $55.85 \div 7.86 = 7.1$ 立方厘米。假定鐵块中的原子排得很紧密，粗略地計算就可以把这个体积看作 6.023×10^{23} 个鐵原子的总体积。这样每个原子的体积就是 $\frac{7.1}{6.023 \times 10^{23}} \simeq \frac{1}{10^{23}}$ (符号 \simeq 表示近似的意思)，假定原子是个球体，而球体积 = $\frac{4}{3} \pi (\text{半径})^3$ ，因此 $(\text{半径})^3 = \frac{3}{4\pi} \times \text{体积} = \frac{3}{4\pi} \times \frac{1}{10^{23}} \simeq \frac{3}{10^{24}}$ (厘米)³，所以半径 $\simeq \frac{1.4}{10^8} = 1.4 \times 10^{-8}$ 厘米。

由此可見，原子大小不过一亿分之一厘米左右。分子的大小要看它所含原子的多少而定。一般分子和原子差不多大小，特別巨大的分子的大小也不过是十万分之几厘米。

原子、分子簡直小得不可想象。我們如果把 1 立方厘米鐵块里面的鐵分子挨个儿紧密地排成一綫，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。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！

§ 1.3 元素周期律的發現

自然界中究竟有多少种元素呢？十九世紀初年，只知道有 28 种，可是十九世紀的头五十年中就又发现了 27 种。当时化学家們虽在努力寻找着新的元素，但是沒有規律可以遵循。化学家們在黑暗中摸索着，有时只是由于偶然的机遇，才发现了新的元素。例如有个人研究海草的灰，他用硝酸和它起作用，有一次他把硝酸加得太多了，突然在杯子上出現了紫色的蒸汽，冷却后凝結成为黑色的带金属光泽的晶体，就这样发现了新元素碘。到 1869 年，化学上已經知道了 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被發現呢？却一点都不知道。当时，有些人也試着寻找元素間的关系，把某些性質相似的元素分了几类，