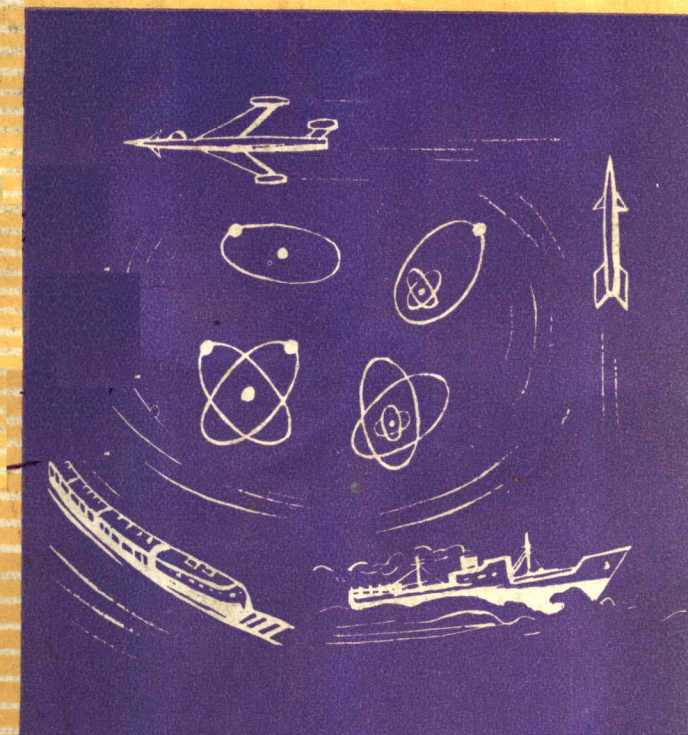


科学普及读物

谈谈原子能和核爆炸



江苏人民出版社

谈谈原子能和核爆炸

施 士 元

江苏人民出版社

谈谈原子能和核爆炸

*

江苏人民出版社出版
江苏省新华书店发行
南通市东方红印刷厂印刷

*

1955年6月第1版
1974年6月第2版
1974年6月第2次印刷
印数: 1—26,000
书号 13100·003 每册 0.19元

毛主席语录

自然科学是人们争取自由的一种武装。

人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

出版说明

《谈谈原子能和核爆炸》这本书，原名叫《谈谈原子能》，曾于1955年由本社出版。近二十年来，原子能科学有了新的发展。为了帮助广大读者进一步了解原子能方面的知识，努力为社会主义革命和社会主义建设服务，同时做好战备工作。我们特请作者对原书作了较大修改，删去了一些不合适的内容，增加了一些新的知识，并改名为《谈谈原子能和核爆炸》。现重新出版，供广大工农兵、学校师生、知识青年、科技人员阅读参考。

1974年3月

目 录

1. 能源问题·····	(1)
2. 什么是原子核? ·····	(2)
3. 什么叫做原子能? ·····	(7)
4. 发出大量原子能的条件·····	(14)
5. 裂变反应堆·····	(17)
6. 有哪些反应堆? ·····	(19)
7. 热核反应·····	(30)
8. 怎样限制等离子体? ·····	(32)
9. 磁瓶·····	(33)
10. 关于建立原子能电站的看法·····	(39)
11. 核爆炸的和平利用·····	(44)
12. 放射性同位素的应用·····	(50)
13. 示踪原子·····	(53)
14. 辐射效应·····	(54)
15. 中子激活分析法·····	(56)
16. 用放射性同位素定年代·····	(58)
17. 核武器——原子弹和氢弹·····	(60)
18. 核弹的破坏力·····	(66)
19. 对核爆炸的防护·····	(68)
20. 结束语·····	(73)

1. 能源问题

什么叫能源？能源就是能量的来源。人们生活要用煤、煤气、木柴等燃料，开动机器要用柴油、汽油或其他燃料。轮船航行，汽车行驶，飞机飞行，火力发电都需要适当的燃料。燃料就是一种能源。水力可以发电，水力也是一种能源。太阳的光和热是太阳能。太阳是太阳能的能源。

能源存在着什么问题呢？我们知道，煤、石油、天然气都是化工原料，蕴藏量是有限的，估计再过几百年就会用完，而人们对燃料的需要却越来越大，单拿发电来说，我们从下图的曲线就可以看到这一情况。

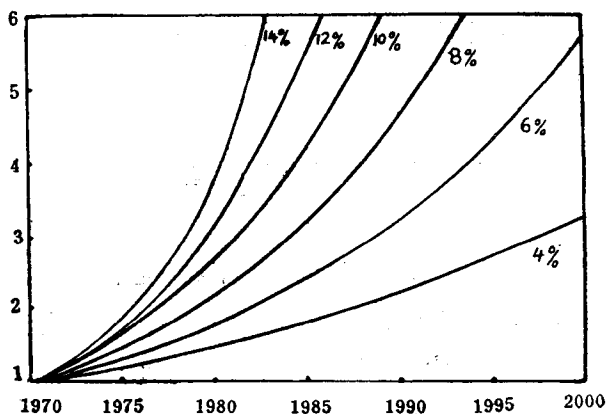


图1 随着工农业总产值逐年增长所需发电量增长倍数的估计。横坐标代表年，纵坐标代表增长的倍数（以1970年的发电量为1计）。

这图上的曲线表明,从1970年开始,如果用电量逐年增长4%,到2000年用电量就要比1970年增长3倍。如果用电量逐年增长6%,到2000年用电量就要比1970年增长5.7倍(如果用电量逐年增长更快,则增长倍数更大)。短短30年,用电量就要增长3倍到6倍或更多。这就是说,单是发电所需的燃料,30年内就要增加3倍到6倍或更多倍。

除电力外,拖拉机、汽车、轮船、飞机、火车和工厂中内燃机用的燃料,以及民用的燃料需要量也都不断上升。这就给我们提出一个十分值得注意的实际问题,即如何寻找和利用新的能源。原子能今天已经是技术上成熟的一种新能源。现在世界上已有几百座原子能发电站,估计到了2000年,原子能发的电将占总发电量的一半左右,机器动力来源,一部分将利用原子能。要问什么是原子能?在谈这个问题之前,先谈谈什么是原子核?

2. 什么是原子核?

在我们周围,一切物质都是由一百多种元素构成的。例如氢、碳、氧、氮、金、银、铜、铁、锡都是元素。人们按照各种元素的化学性质排列成为化学元素周期表。见图2。

在周期表上从最轻的元素氢、氦、锂、铍、硼、碳、氮、氧起到铀,而后一直到第104号和105号元素。目前人们所发现的最重的元素是105号元素;106号还没有被发现。铀是第92号元

素,铀以后的元素称为超铀元素。在铀以前,原子序数 Z 从1到92,除原子序数 $Z = 43$ 的锝(Tc)和原子序数 $Z = 61$ 的钷(Pm)是人工合成的外,都是天然存在的。超铀元素中,只有一种钷是天然存在的,其余都是人工制造出来的。

有人问:周期表上的元素是不是到105号就为止了?现在看来,决不是到此为止的。从理论上推算,114号附近还可能有些很重的元素存在,而在126号附近也许还有些更重的元素存在。这些元素称为超重元素,人们正在自然界中寻找,但还没有找到。人们也在实验室中,设法制造这些超重元素,但到目前为止,也还没有能制造出来。

每种元素都是由一种原子构成的。每一个原子有一原子核。核外有电子。核外的电子数就等于那个原子的原子序数。例如氢的原子序数 $Z = 1$,氢核外只有一个电子。氦的原子序数为2,核外有两个电子。铀的原子序数为92,核外有92个电子。电子带负电、原子核带正电,在正常情况下,一个原子中原子核上的正电正好等于核外电子上的负电的总和。所以原子是中性的。

原子核由质子和中子组成,质子带正电,中子不带电,质子、中子统称为核子。原子序数为 Z 的原子的原子核中含有 Z 个质子,原子核内核子总数用 A 来表示,中子数用 N 来表示。 $A = Z + N$ 。 A 称为原子核的质量数。

原子核的质量数,就是指的原子量最接近的那个整数。例如氢的原子量是1.008(更精确地讲是1.00797),它接近的整

化学元素周期表

(A—主族 B—副族)

化学元素周期表

原子序数 元素符号 元素名称 原子量

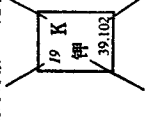
19 K 钾 39.102

(A—主族 B—副族)

周期	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIA	VIII	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0		
1	1 H 氢 1.0080															2 He 氦 4.00260		
2	3 Li 锂 6.941	4 Be 铍 9.01218									5 B 硼 10.81	6 C 碳 12.011	7 N 氮 14.0067	8 O 氧 15.9994	9 F 氟 18.9984	10 Ne 氖 20.179		
3	11 Na 钠 22.98976	12 Mg 镁 24.305									13 Al 铝 26.9815	14 Si 硅 28.086	15 P 磷 30.9738	16 S 硫 32.06	17 Cl 氯 35.453	18 Ar 氩 39.948		
4	19 K 钾 39.102	20 Ca 钙 40.08	21 Sc 钪 44.9559	22 Ti 钛 47.90	23 V 钒 50.9414	24 Cr 铬 51.996	25 Mn 锰 54.9380	26 Fe 铁 55.847	27 Co 钴 58.9332	28 Ni 镍 58.71	29 Cu 铜 63.546	30 Zn 锌 65.37	31 Ga 镓 69.72	32 Ge 锗 72.59	33 As 砷 74.9216	34 Se 硒 78.96	35 Br 溴 79.904	36 Kr 氪 83.80
5	37 Rb 铷 85.4678	38 Sr 锶 87.62	39 Y 钇 88.9059	40 Zr 锆 91.22	41 Nb 铌 92.9064	42 Mo 钼 95.94	43 Tc 锝 98.9062	44 Ru 钌 101.07	45 Rh 铑 102.9055	46 Pd 钯 106.4	47 Ag 银 107.868	48 Cd 镉 112.40	49 In 铟 114.82	50 Sn 锡 118.69	51 Sb 锑 121.75	52 Te 碲 127.60	53 I 碘 126.9045	54 Xe 氙 131.30
6	55 Cs 铯 132.9055	56 Ba 钡 137.34	57-71 镧系元素 178.49	72 Hf 铪 178.49	73 Ta 钽 180.9479	74 W 钨 183.85	75 Re 铼 186.2	76 Os 锇 190.2	77 Ir 铱 192.22	78 Pt 铂 195.09	79 Au 金 196.9665	80 Hg 汞 200.59	81 Tl 铊 204.37	82 Pb 铅 207.2	83 Bi 铋 208.9806	84 Po 钋 (209)	85 At 砹 (210)	86 Rn 氡 (222)
7	87 Fr 钫 (223)	88 Ra 镭 226.0254	89-103 锕系元素 (257)	104 镅 (261)														

附注：1. 表内所列原子量是采用 1989 年国际原子量，以碳 12 等于 12 为基准。加括号的数字是寿命最长的放射性同位素的质量数。

原子序数 元素符号 原子量



附注: 1. 表内所列原子量采用 1969 年国际原子量, 以¹²C 等于 12 为基准。加括号的数字是寿命最长的放射性同位素的质量数。
2. 名称后注·的是人造元素。

图 2 化学元素周期表

57-71 镧系元素	57 La 镧 138.9055	58 Ce 铈 140.12	59 Pr 镨 140.9077	60 Nd 钕 144.24	61 Pm 钷 (145)	62 Sm 钐 150.4	63 Eu 铕 151.96	64 Gd 钆 157.25	65 Tb 铽 158.9254	66 Dy 镝 162.50	67 Ho 铥 164.9303	68 Er 铒 167.26	69 Tm 铥 168.9342	70 Yb 镱 173.04	71 Lu 镥 174.97
89-103 锕系元素	89 Ac 锕 227.0277	90 Th 钍 232.0381	91 Pa 镤 231.0369	92 U 铀 238.0289	93 Np 镎 237.0482	94 Pu 钚 244	95 Am 镅 (243)	96 Cm 锔 (247)	97 Bk 锫 (247)	98 Cf 锿 (251)	99 Es 镅 (254)	100 Fm 镆 (257)	101 Md 镎 (258)	102 No 镎 (259)	103 Lr 镥 (261)

数就是 1, 它的质量数也就是 $A = 1$ 。氢的原子量为 4.0026, 它的质量数就是 $A = 4$ 。碳的原子量为 12.01115, 它的质量数 $A = 12$ 。氧的原子量为 15.9994。它的质量数 $A = 16$ 。

原子序数就是元素在周期表上排列的次序数目。例如氢的原子序数是 1, 氦的原子序数是 2, 钪的原子序数是 90, 铀的原子序数是 92。原子序数也就是原子核中的质子数, 也就是正常状态原子中原子核外的电子数。

在周期表上占据同一位置的元素的原子可以有不同的质量数, 就是说, 原子核中的质子数相同, 而中子数不相同。原子序数相同而质量数不相同的原子构成一些同位素, 例如氢有三种同位素, 它们的质量数分别为 1、2、3。氢-1 就是普通的氢, 氢-2 称为重氢或称为氘 (读做刀), 氢-3 称为氚 (读做川)。从化学性质来讲, 这三种氢的同位素完全一样, 没有什么区别。但是 氢-1 的原子核里只有一个质子, 没有中子, 而 氢-2 的原子核里则除有一个质子外, 还有一个中子, 氢-3 的原子核里则含有一个质子和两个中子。又如铀, 有三种同位素: 铀-234, 铀-235, 铀-238。铀-234 中核子数为 234 个, 其中有 92 个质子和 142 个中子。铀-235 中有 92 个质子和 143 个中子。铀-238 中则含有 92 个质子和 146 个中子。

天然铀中极大部分是铀-238 那个同位素, 铀-235 只有千分之七左右, 而铀-234 则只有十万分之六, 在实用上这种同位素可以忽略不计。

有时把原子序数、中子数、质量数在化学符号上都明显

地表示出来,例如,铀-235写成为 ${}_{92}^{235}\text{U}_{143}$, U-238写成为 ${}_{92}^{238}\text{U}_{146}$ 。有时只把原子序数、中子数表示出来,或只把原子序数、质量数表示出来。例如, ${}_{92}\text{U}_{143}$ 或 ${}_{92}^{235}\text{U}$,又如 ${}^{12}\text{C}$ 、 ${}^{16}\text{O}$ 或 ${}_6\text{C}$ 、 ${}_8\text{O}$ 等。

原子质量用一个单位称为原子质量单位来表示。规定一个原子质量单位等于 ${}^{12}\text{C}$ 的原子质量的十二分之一。 ${}^{12}\text{C}$ 同位素的原子量恰好为12.000克。这么多的 ${}^{12}\text{C}$ 也称为一个克原子的 ${}^{12}\text{C}$ 。一个克原子中有 $N = 6.022531 \times 10^{23}$ 个原子。 N 就是阿氏数。阿氏数的倒数是用克为单位表示的,一个原子量为1的原子的质量为

$$\frac{1}{N} = 1.660431 \times 10^{-24} \text{克}$$

任何一个原子的质量等于这个数乘上相应的原子量。电子的静止质量是 9.1091×10^{-28} 克,或 5.48597×10^{-4} 原子质量单位。质子的静止质量是 1.67252×10^{-24} 克,或1.007277原子质量单位。中子的静止质量是 1.67482×10^{-24} 克,或1.008665原子质量单位。

铀是原子能的重要元素,其次是钍。钍有两种同位素,即钍-228和钍-232。

天然钍中极大部分是钍-232,钍-228含量很少很少。可以忽略不计。

3. 什么叫做原子能?

原子能就是原子核内释放出来的能量。

怎样获得原子能? 一个原子核的质量常比组成它的核子总加起来的质量小。即 ${}_Z^AX$ 核的质量 M' 常比 Z 个质子的质量 $Z M_P$ 和 $A - Z$ 个中子的质量 $(A - Z) M_N$ 的总和还要小。即:

$$M' < Z M_P + (A - Z) M_N$$

其中 M_P 为质子的质量, M_N 为中子的质量。原子核的质量和其中所含的核子质量总数的差, 称为质量亏损。质量亏损依定义为

$$\Delta M = Z M_P + (A - Z) M_N - M'$$

这表示 Z 个质子和 N 个中子结合成为一个 ${}_Z^AX_N$ 原子核时质量减少了 ΔM 。这是因为核子结合成为原子核时常释放出能量。依照相对论, 质量 m 和能量 E 之间存在着等效关系:

$$E = m C^2$$

C 是真空中的光速。

$$C = 2.997925 \times 10^{10} \text{ 厘米/秒}$$

核子结合成为原子核时释放出

$$E = \Delta M C^2$$

的能量, 这个能量称为所论原子核的结合能。原子核的结合能我们用 B 来表示。原子核的结合能就是它的质量亏损所对应

的能量,质量亏损越大,则结合能越大。

在讨论原子能时常不用尔格这个能量单位而用电子伏特作为能量单位。1个电子伏特规定为一个电子经1伏特的电场加速时所获得的能量。于是:

$$1 \text{ 电子伏特} = 1.6021 \times 10^{-12} \text{ 尔格}$$

一百万电子伏特称为兆电子伏特,于是

$$1 \text{ 兆电子伏特} = 1.6021 \times 10^{-6} \text{ 尔格} = 1.6021 \times 10^{-13} \text{ 焦耳}$$

一个原子质量单位等于931.478兆电子伏特。一个质子的静止质量相当于938.26兆电子伏特。一个中子的静止质量相当于939.55兆电子伏特。一个电子的静止质量则相当于0.511兆电子伏特。氦的原子量为2.014102原子质量单位,等于1876.092兆电子伏特。氢原子质量为1.007825原子质量单位,等于938.767兆电子伏特。氦核的结合能B为

$$B = 938.767 + 939.55 - 1876.092 = 2.225 \text{ 兆电子伏特。}$$

$$\text{氦核中有两个核子,平均每一个核子的结合能} \frac{B}{A} = 1.11$$

兆电子伏特,A是核子数。

氦的原子核称为 α 粒子(α 读做倭尔法)。 α 粒子的每个核子的平均结合能 $\frac{B}{A} = 7.07$ 兆电子伏。

图3表示各种同位素的每个核子的平均结合能随质量数A变化的情况。

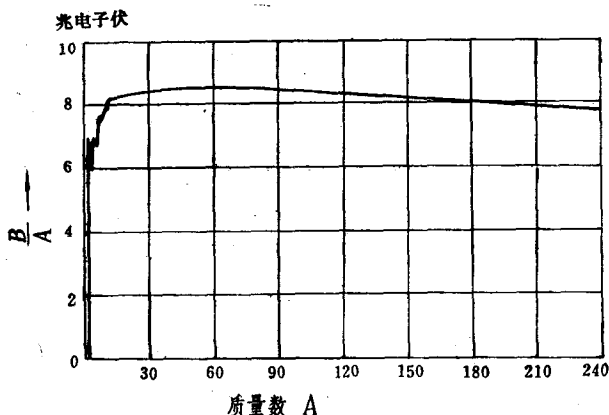


图 8 每一核子平均结合能曲线示意图

从图 3 上的曲线可见,质量数很小时, $\frac{B}{A}$ 比较小。而后随 A 增加, $\frac{B}{A}$ 很快地上升。在 $A = 30$ 到 180 之间很大的范围内平均结合能将近为 8 兆电子伏特。 A 更大, $\frac{B}{A}$ 逐渐下降。在重核区, $\frac{B}{A}$ 下降到 7 兆电子伏特。从这种变化我们可以知道有两种方式可以获得原子能。一种方式是:轻核融合在一起释放出能量,例如两个氘核结合成为 α 粒子可以获得能量,或三个 α 粒子结合成为 ^{12}C ,或四个 α 粒子结合成为 ^{16}O ,它们也都可以获得能量。另一个方式是:让重核分裂成为两个中等重的核,也可以获得原子能,因为重核中,每个核子平均结合能只有 7 兆电子伏特有零,而中等重核则每个核子平均有

8兆电子伏特的结合能。所以象铀-235分裂成为两个中等重的原子核时,可以释放出200兆电子伏特的能量。

重核分裂成为两个中重核的现象称为核分裂。核分裂是1939年发现的,它的发现,使人们有利用原子能的可能性。

原子能的特点是发出来的能量大。煤或石油燃烧时,碳原子和氧原子结合成一氧化碳或二氧化碳分子。原子结合成分子时发出化学能。化学能是核外电子的位置和运动起变化而发生的。单独一次的化学反应中发出的能量只有几个电子伏特。化学能是在电子伏特的数量级。而象铀-235分裂时,每次分裂发出200兆电子伏特左右的能量,这是在百兆电子伏特的数量级。一次原子核的变化发出的能量比一次原子的化学变化所发出的能量大几百万倍,就是说,每次原子核变化所发出的能量比每次化学变化所发出的能量要大得多。这就意味着利用原子能所需的“燃料”比起利用化学能所需的燃料要轻得多。烧掉百万吨的煤炭所产生的能量利用核燃料只需一吨左右。

原子核都是核子结合成的。有人要问,核子怎样会结合在一起呢?这是因为核子间存在着三种相互作用,一种叫做强相互作用,一种叫电磁相互作用,还有一种叫弱相互作用。使核子结合在一起的主要是前两种相互作用。强相互作用表现在核子相接近时互相吸引,质子与质子相吸引,中子与中子相吸引,中子与质子相吸引。这种吸引力只有 10^{-13} 厘米的距离内才起作用。由于这种强相互作用是一种短程力,所以它所引起

的结合能与核子数成正比例。因此,原子核的每个核子的平均结合能,在相当大的范围内差不多是恒定不变的(见图3的曲线的中部)。除了这种短程力外,质子和质子之间还存在着电磁排斥力。

电磁相互作用范围比较广,力程比较长,所以电磁相互作用的能量与 Z^2 成正比。这种作用使平均结合能减少,因此,重核的平均结合能随 Z 的增加有下降的趋势。

弱相互作用对于原子核的稳定性起作用。从周期表上可见,轻核中极大部分的 稳定 同位素的 中子数差不多等于 质子数。如果中子数太多了,核就不稳定,就会进行 β 衰变(β 读做贝他)。 β 衰变时发出 β 粒子。 β 粒子就是高速电子。随着原子序数的增加,稳定同位素的中子数超过质子数越来越多。这表示,中子数多了才稳定。但中子数也不能太多或太少。太多则会进行负 β 衰变,在负 β 衰变中发出负电子,使核内一个中子变为一个质子。太少则会进行正 β 衰变,正 β 衰变发出正电子,使核内一个质子变为中子。

放射性同位素有时并不进行 β 衰变,而进行 α 衰变。进行 α 衰变时发出 α 粒子, α 粒子带有两个正电荷。所以进行 α 衰变时,原子核上的正电荷减少两个单位。因此形成的原子核的同位素在周期表上向左移动两个位置。负 β 衰变时在周期表上向右移动一个位置。

在放射性衰变过程中,形成的核一般都是处在激发状态。处在激发状态的原子核常用发射 γ 光子的方式来消退激发(γ