

从化学家观点谈原子能

侯 德 榜



化学工业出版社

目 录

前 言

(一)何謂原子能? 原子能与化学能的区别	3
(二)几个名称和原子核反应方程式	3
(三)原子的結構理論	5
(四)化学反应是原子的外圍电子相結合的一些証据	8
(五)化学元素原子重是否应为整数	10
(六)用半衰期計算放射物的寿命的理由	11
(七)中子的減速	13
(八)中子密度的控制	14
(九)中子产生比率 K 的計算。金屬鈾 (或氧化鈾)	
临界数量的計算	17
(十)分裂 (裂变) 式与綜合 (聚变) 式的核子反应	20
(十一)裂变式原子能材料	22
(十二)原子堆的結構	24
(十三)原子能的和平利用(I)——原子能發電站	28
(甲)英美兩国的原子能發電站	28
(乙)已投入生产的苏联原子能發電站	28
(十四)原子能的和平利用(II)——同位素的制备及其应用	35
(十五)原子彈的構造	38
(十六)原子能的和平利用(III)——原子爆炸在工業、农業	
和交通运输業上的应用	39
(十七)氫彈的原理及其構造	41
(十八)原子能和平利用(IV)——氫聚变反应的和平利用	47
(十九)对原子彈与热核子彈的适当估計	48
(二十)裂变式反应的原子彈与聚变式反应的氫彈基本的区别	52
(二十一)原子彈的类型	52
(二十二)原子彈和热核子彈爆炸試驗的探測方法	54
(二十三)原子彈和热核子彈的爆炸試驗須受控制并归由国	
际共管	55
(二十四)結束語	56
附 录	57

前 言

本書是作者从化学与化工观点来談原子能。可能由物理学家看来，在內容、符号、公式或有未俾符合其習慣之处。但原子能之为科学，它的历史还是很短的。其中一些名称及写法的習慣，在各国物理学家中有好多未統一之处。

原子能科学是核子物理的發展。其中涉及物理学的理論頗多。由于一般技术人員，尤其是化学工作者們，未曾深入研究或無机会深入研究核子物理深邃的理論，他們自然对原子堆、原子彈及氫彈的基础理論有难以理解之处，尤其是对于核子物理理論、量子論、統計力学等等的高等数学的推算更难掌握。作者希望通过本書對他們这方面知識的了解，能有所帮助。但本書的重点是在綜合地闡釋全面論述，未涉及某些新的論据。

至于原子能和平利用一方面，作者完全拥护和同意苏联原子能研究的發展方向。这原子核內大量的能源，是用于制造大量毁灭人类的武器呢？或是为全国人民实现美好的幸福生活服务呢？凡非丧心病狂之人，都能作出正确的答案。

放射性同位素在工、农、医和科学研究工作等等的應用，是原子能和平利用最广的一部門。本書对于原子能和平利用这一方面也有所討論。但因为篇幅所限，对同位素的應用方面，沒有能够更多地闡述，是一遺憾的事。

最后因作者的學識淺陋，而有关原子堆、原子彈、热核子彈、氫彈的研究工作，又是資本主义国家的絕密資料。本書的掛漏之处在所难免。作者本意为用非数学的方法，闡述原子能基础的原理，以帮助非物理学者掌握这方面的知識，但能否达到这目的，仍是难以有把握的。作者以为原子能的知識应为中国人民的常識，故冒昧写成此書。本書所有掛漏或訛謬，希讀者随时加以指正。

侯 德 榜 1957年7月于北京

(一)何謂原子能？ 原子能与化学能的区别

“原子能”是由原子核反应發生出来的能。原子能与化学反应所产生的能是有根本的区别。化学反应的能比原子能要少得多。化学反应只限于原子外圍的电子运动的变化，与原子中心的核不發生关系。化学反应如：①中和反应（如 NaOH 与 HCl 中和）所产生的热： $\text{NaOH (水液)} + \text{HCl (水液)} \rightarrow \text{NaCl (水液)} + \text{H}_2\text{O (液态)} + 13,598 \text{ 卡}$ ，即每克分子量的 NaOH 或 HCl 中和仅放出 13.6

大卡的热；②氢与氧化合成为水： $\text{H}_2 \text{ (气态)} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \text{ (气态)} \rightarrow \text{H}_2\text{O (液态)} + 68,317 \text{ 卡}$ 。每克分子量的氢氧化为水时所發生的热为 68.3 大卡；③碳的燃燒反应： $\text{C (固态)} + \text{O}_2 \text{ (气态)} \rightarrow \text{CO}_2 \text{ (气态)} + 94,052 \text{ 卡}$ 。每克分子量碳燃燒所产生的热为 94 大卡。燃燒反应为化学反应中發生热能較大的一类，但每克分子量的碳燃燒所生的热量亦不过在 100 大卡以內。若是原子核反应的能，那就比化学反应發生的能多得多了。

如以鈾(235)的裂变为例，則每克分子量的鈾(235)能产生 2 亿电子伏(202 Mev)的能，即每克原子量的鈾，产生 1.94×10^{20} 尔格 (ergs)，等于 4.63×10^9 大卡。若以單位的質量的物質在反应时所产生的热量 来比較，則鈾(235)核分裂反应的热能比碳 ^{12}C 燃燒反应的热能要大 250 万倍 $\left(\frac{4.63 \times 10^9}{94} \times \frac{12}{235} = 2.53 \times 10^6 \right)$ 。

(二)几个名称和原子核反应方程式

原子符号用国际字母表之，將原子量写在其符号的右上角，原

子序写在符号的左下角,如鈾(235)写作 ${}_{92}\text{U}^{235}$,碳(12)写作 ${}_6\text{C}^{12}$ 等等^①。原子反应,如由硼原子用 α -質点打击,得氮核子及中子,則写成 ${}_5\text{B}^{11} + \alpha({}_2\text{He}^4) \rightarrow {}_7\text{N}^{14} + {}_0\text{n}^1$,或簡写为 $\text{B}^{11}(\alpha, \text{n})\text{N}^{14}$ 。又如以質子打鋰核子而得两个氦核子,則写成 ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{p}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4$,或簡写为 $\text{Li}^7(\text{p}, \alpha)\text{He}^4$ 。

名 称	外 文	靜 止 質 量	电 荷	符 号
1. 电子	Electron	1/1,838	-1	$-e^0$ (或 β^-)
2. 正电子	Positron	1/1,838	+1	e^0 (或 β^+)
3. 質子	Proton	1	+1	${}_1\text{p}^1$ (或 ${}_1\text{H}^1$)
4. 中子	Neutron	1	無	${}_0\text{n}^1$
5. 介子	Meson	209~900电子	可+可-	π, π, μ, k
6. 微中子	Neutrino	几無(比电子还小)	無	ν^0
7. 氦核子	α -質点	4	+2	α (或 ${}_2\text{He}^4$)
8. 光子	Photon	無	無	--
9. 伽瑪射綫	Gamma	無	無	γ

同位素(Isotope)与同量異位素(Isobar):

質子数目决定原子序数而电子数目恰等于質子数目。故电子数目也是等于序数。原子核是由于一定数目的質子和一定数目的中子所構成的。中子数目有时略有变更,不影响序数。所以同位素即是原子序相同而中子数目不同的元素。如 ${}_6\text{C}^{11}$, ${}_6\text{C}^{12}$, ${}_6\text{C}^{14}$; ${}_{17}\text{Cl}^{35}$, ${}_{17}\text{Cl}^{37}$; ${}_{16}\text{S}^{32}$, ${}_{16}\text{S}^{33}$, ${}_{16}\text{S}^{34}$; ${}_{92}\text{U}^{233}$, ${}_{92}\text{U}^{234}$, ${}_{92}\text{U}^{235}$, ${}_{92}\text{U}^{238}$, 等等。

同量異位素則为原子量相同而原子序不同的元素,如: ${}_{18}\text{A}^{40}$, ${}_{19}\text{K}^{40}$, ${}_{20}\text{Ca}^{40}$; ${}_{92}\text{U}^{239}$, ${}_{93}\text{Np}^{239}$, ${}_{94}\text{Pu}^{239}$, 等等。

① 各国写法習慣尚不統一。

(三)原子的結構理論

古代希腊哲学家德漠克利特斯(Democritus, 400 B.C.)在紀元前就講了物体可分，越分越小，小到不可再分的时候，即得到最小的部分，單一而不可再破裂了，因叫做原子。据当时想象原子是不变的。到十九世紀末叶，發現重元素如鐳、鈾等原子会自由放射，放射出的有氦核子，氫核子，电子， γ -射綫等等。这个現象推翻了物質不变，原子不破的学說。

1895年德国科学家倫琴(Roetgen)由負电子打击金屬所發生的电磁波，發現了X光。电磁波的速度是非常大的，并且具有穿透物体的强大能力。这种打击金屬放出X光的負电子，是由原子内部产出来的，故原子是可破了。

1896年法国物理学家貝克勒耳(Becquerel)發現了鈾原素的自由放射。射出的有：帶正电的 α -質点(氦核心)、負电子 β^- 、 γ 射綫。这 β^- 射綫即是电子流； γ 射綫即是光子流，是X光类型的电波，但比X光更强，且穿透物体的能力更大。彼时居里夫妇又从鈾中發現了鐳。他們从很多吨的鈾矿砂中找到了总量不到1克重的鐳，但足够檢定其原子重为226。惟其放射性更强。从此更証实了鐳原子可“分化”而蛻变为其他物質，如氡Rn和氦He。古代原子不变的学說，就被徹底地推翻了。由此可以相信古代煉丹术所謂由汞可以鍊金的說法，究竟是可能的。但放射时除物質射出外，还發出許多的能，如金屬鐳經常維持其温度比环境的温度高数度。

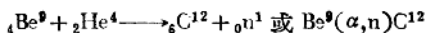
1905年德国科学家A. 爱因斯坦(A. Einstein)創立了物質与能力可以互換的学說。謂物質可变为能力，物質与能力間的关系为：

$$E = C^2 m, \text{ 其中 } E \text{ 为能力, 以尔格(ergs)計; } C \text{ 为光之速度,}$$

以厘米/秒計； m 为質量，以克計。当时有許多科学家怀疑这一学說。后由原子核反应所得的能量，計算其物質消灭之微，这关系始漸証实。

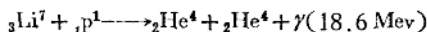
1919 年英国物理学家 E. 盧瑟福 (E. Rutherford) 用人工突破原子。如由氮原子 ${}^7\text{N}^{14}$ 用 α -質点打击而得氧的同位素 ${}^8\text{O}^{17}$ ，并得質子 ${}_1\text{p}^1$ ： ${}^7\text{N}^{14} + \alpha ({}_2\text{He}^4) \longrightarrow {}^8\text{O}^{17} + {}_1\text{p}^1$ 或 ${}^7\text{N}^{14} (\alpha, \text{p}) {}^8\text{O}^{17}$ 。这 ${}_1\text{p}^1$ 即是氦的核子。

1932 年英国察維克 (Chadwick) 也用 α -質点打击铍原子而得碳核子及中子：



1934 年法国物理学家約里奧-居里 (Joliot-Curie) 也發現以氦核子打鋁得磷核子，并發現一种人造放射性产物(磷等)：

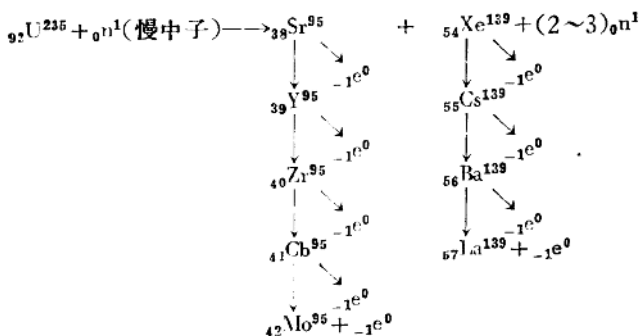
${}_{13}\text{Al}^{27} + {}_2\text{He}^4 \longrightarrow {}_{15}\text{P}^{30} + {}_0\text{n}^1$ ， ${}_{15}\text{P}^{30} \longrightarrow {}_{14}\text{Si}^{30} + {}_1\text{e}^0 (\beta^+)$ (注意： ${}_1\text{e}^0$ 是正电子 β^+)。同时英国考克拉夫特 (Cockcroft) 及窩頓 (Walton) 二人則用質子 ${}_1\text{p}^1$ 突破鋰核子得氦 ${}_2\text{He}^4$ 核子：



自 1932 年后开始用中子打击原子，引起原子分裂。这是一个偉大的發明。因中子不象 α -質点或質子，不帶电性，不受核心电性影响之故。

这里所述的原子蜕变仅是由一元素变为鄰近相距不远的另一元素。

1938 年德国 O. 韓及 F. 斯托拉斯曼 (O. Hahn & F. Strassmann) 二人用中子打击了 ${}_{92}\text{U}^{235}$ ，竟把鈾(235)几乎破成兩半而得錒 ${}_{38}\text{Sr}^{90}$ ，或鋇 ${}_{56}\text{Ba}^{139}$ ，及氙 ${}_{54}\text{Xe}^{134}$ ，或氪 ${}_{36}\text{Kr}^{88}$ 等等。另有鐳 ${}_{57}\text{La}^{139}$ ，鉬 ${}_{42}\text{Mo}^{95}$ ，銻 ${}_{55}\text{Cs}^{137}$ 等等，一共产生了数十个不同的元素(“碎片”)。这碎片大都有兩種，一有原子重 140 左右，一有原子重 90 左右。另有二、三个中子(有时更多)，其反应如下：



这里仅举其一二例。

1939 年約里奧-居里又証明：这些中子可以用来再打击其他鈾原子核，于是指出了鏈式反应之可能。

物理学家及物理化学家据此想像：原子的構造与宇宙的太陽系相似。原子核心有如太陽，居于中心，圍繞着中心有若干負电子，各繞一定的軌道不停地運轉。原子核心为若干質子与若干中子所組成。質子之数决定元素之物質。中子之数乃配合質子共組成原子的質量，且为其粘結媒介。原子之重量几乎集中在核子內。外圍是負电子，負电子之数恰等于質子，因質子帶正电所以整个原子得以中和，而不帶电性。負电子各以橢圓軌道圍繞着核子环行，象行星之圍繞太陽似的。負电子又分若干層（壳）（为 K, L, M, N, O, P, Q 等層）。其能量按級分佈，其最后一層（也就是最外一層）所得之电子数目，即决定其化学的性能（决定原子价，原子当量，化学反应等等）。核心之直徑約为 10^{-12} 厘米，而整个原子之直徑（包括外層电子軌道在內）約为 $1 \sim 5 \times 10^{-8}$ 厘米。由此可知，原子直徑比核心直徑約大 1 万至 5 万倍。以橫切面計，則核心橫切面仅合原子橫切面一万万分之一左右。若以体积

計，則核子之体积为 $\frac{4}{3}\pi\left(\frac{10^{-12}}{2}\right)^3$ ，而整个原子之体积为 $\frac{4}{3}\pi$

$\left[\frac{(1\sim 5)10^{-8}}{2}\right]^3$ ，亦即核子之体积仅占原子之体积 $\frac{10^{-36}}{(1\sim 125)10^{-24}}$

$=\frac{1}{(1\sim 125)}\times 10^{-12}$ 。换言之，核心在原子内占的地位还不及一万

亿分之一。而整个原子重量几乎集中在核心（核子）。故知原子除核心外，仅有电子圍繞外圈。其間距离超出核心直徑一万倍以上。因为原子核体积微小，重量集中，其密度之大可想而知。原子核之比重估計有 10^{11} 克/厘米³，即每立方厘米有重量十一万余吨，其重量（比重）約 116,000,000,000 倍于水。查每一个电子重量極微，仅合氦核心的質子重的 $\frac{1}{1837.5}$ 。其直徑約合 0.4×10^{-12}

厘米。故知原子内部是一个空虛的結構，由外界来的中子常得自由通过原子，而不易碰到其核心。中子因無电性故不受帶正电的核心影响，只有偶然碰到核心时，其进行方向始迴折。据估計，其碰到的机会一千次中約合一次。

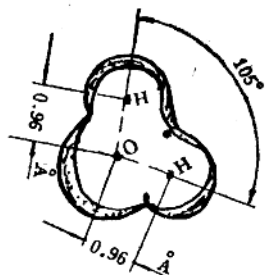
化学反应只关系到原子外圈电子能量的級和电子运动軌道的变更。故所發生的能不大，而原子核心根本不受影响。所以这样产生的能是不会很多的。如果我們能够达到原子核心，使核心發生变化，那就能放出大量的能。

（四）化学反应是原子的外圈电子相結合的一些証据

从物理化学方面可以察知，化学反应是仅限于原子与原子間外圈电子的結合或变换。不涉及原子核心。这也可于分子内原子鍵半徑的計算得知。例如水（ H_2O ），由两个氫原子与一个氧原子

反应而成。

(1) H_2O : $\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{O}-\text{H} \end{array}$ 或 $\begin{array}{c} \text{H} \\ \vdots \\ :\text{O}:\text{H} \\ \vdots \end{array}$ 。其情形如下 (見第一圖) :



第一圖

氫H鍵半徑 = 0.30 Å [Å (即埃)
= 10^{-8} 厘米]

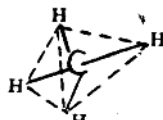
氧O鍵半徑 = 0.66 Å

故 $\text{H}-\text{O}$ 距離 = 0.96 Å

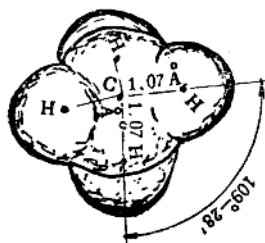
即在水的分子內，氫與氧原子的核子相距有 0.96 埃。

而兩 $\text{H}-\text{O}$ 鍵之間成 105° 角。

又如甲烷 (CH_4)，由一個碳原子與四個氫原子化合而成。

(2) CH_4 :  或 $\begin{array}{c} \text{H} \\ \vdots \\ \text{H}:\text{C}:\text{H} \\ \vdots \\ \text{H} \end{array}$ 。其情形如下 (見

第二圖) :



第二圖

碳C鍵半徑 = 0.77 Å

氫H鍵半徑 = 0.30 Å

故 $\text{C}-\text{H}$ 距離 = 1.07 Å

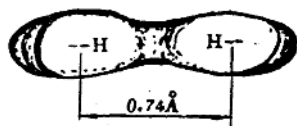
即在甲烷內，碳與氫原子的核子相距有 1.07 埃。而每兩 $\text{C}-\text{H}$ 鍵之間成 $109^\circ 28'$ 角。

再如氫氣分子 (H_2)，由兩個氫原子反應結合成為一個氫分子。

(3) H_2 : $\text{H}-\text{H}$ 或 $\text{H}:\text{H}$ 。其情形如下 (見第三圖) :

即在 H_2 分子內，兩個氫原子的核子距離平均有 0.74 埃。

兩氫原子經常在振動中。這是兩核子間的平均距離。由上可見，在一個分子內，根據物理化學家的



第三圖

測定，兩相互結合的原子，其核子間尚有 1 埃左右或更多的距離。因此，任何兩個原子相結合，其核子與核子之間並未接觸，不過其外圍的电子相互結合或作內部調換而已。這也可以用共價理論(Co-valence Theory)釋明之。是知化學反應僅僅涉及原子最外層的电子，不涉及原子內心的核子。惟有原子反應始涉及原子的核心(核子)。

(五) 化學元素原子重是否應為整數

依據原子結構理論，每一個原子可分為核心及外圍电子兩部分：核心由質子與中子構成，基本上代表整個原子重量。外圍电子不過配合質子之正電，使電性中和，基本上不占其重量。核心內每個質子與每個中子之重量幾乎相等，且與氫之原子重量基本相等。若以氫原子重為一個單位，則每種元素的原子重比氫之原子重應為整數的倍數。例如，若氫 H 之重為 1，則氦 He 之重應為 4，鋰 Li 應為 7，鈹 Be 應為 9，硼 B 應為 11，碳 C 應為 12，依此類推，都為整數。但實際上有零數，如氖 Ne 為 20.18，氯 Cl 為 35.457，鎂 Mg 為 24.32 等等，而非整數。考其原因有三：(一)元素有其同位素，其原子量即為所組成的各同位素平均之重。因各同位素之間成分(百分率)不一致，故其平均形成分數，不成整數。例如氯原子有 Cl^{35} 與 Cl^{37} 兩同位素，而 Cl^{35} 約占 75%， Cl^{37} 僅占 25%。故其平均不是 36，而是 35.457。又有些元素有兩個以上的同位素，則更難有平均成分。(二)氧有三個同位素

${}_8\text{O}^{16}$, ${}_8\text{O}^{17}$ 及 ${}_8\text{O}^{18}$, 平均也不可能成一整数的, 但由化学家规定了氧三个同位素的平均原子重为 16.00000。因此週期表上其余一百个元素的原子重, 都不能成为整数了。今规定氧原子重 16.00000 (整数), 则氢原子重为 1.008142。其他元素的原子重也同样不能成为整数了。(三) 若干质子与若干中子结合成为一个核心, 核心中时常会发生能的调整, 即所谓原子核心的歛集效应 (Packing effect)。所以其核心重量也不就是各质子与中子之重相加之总和, 因为每每有一小部分质量消失, 变为能量放出, 故其质量不等于质子与中子的质量之整数倍数。例如四个氦原子共有八个电子, 八个质子, 八个中子; 一个氧原子同样也有八个电子, 八个质子, 八个中子, 但它们的两者的质量是不相等的: $4_2\text{He}^4 = 4 \times 4.00389 = 16.01556$, ${}_8\text{O}^{16} = 16.00000$ 。换言之, 4_2He^4 的质量比 ${}_8\text{O}^{16}$ 的质量多了 0.01556。所以若将 ${}_8\text{O}^{16}$ 分解为 4_2He^4 , 须动用外界能量 8.04 Mev, 这是可以理解的。又两个中子之质量为 $2 \times 1.008982 = 2.017964$; 两个质子之质量为 $2 \times 1.007593 = 2.015186$ 。加起来其总和为 $2.017964 + 2.015186 = 4.033150$ 。但氦核子 (α -质点) 据实际测验结果, 仅有质量 4.002763。其消失的质量 $4.033150 - 4.002763 = 0.030387$ (质量单位), 即代表歛集效应。依同理, 两个 ${}_8\text{O}^{16}$ 的质量之不等于一个 ${}_{16}\text{S}^{32}$ 的质量。这就是说: 若以氧的质量为 16.00000 (化学家倾向于氧的平均原子重为 16.00000, 而物理学家则专指 ${}_8\text{O}^{16}$ 这一同位素有质量 16.00000), 则其他原素的原子重不能成为氢原子质量的整数的倍数。这是第三种原因。这也就是说: 除了氧规定为 16.00000 外, 其他原子重都不可能恰是整数了。

(六) 用半衰期计算放射物的寿命的理由

物质衰变 (分化) 既有一定的速度, 何以不用全部衰变完成

的時間計算其壽命呢？我們從下面的說明可以知道：元素的衰變的速度（每秒衰變去的量）與當時存在的量成比例。換言之，即每秒衰變之量多少與所存的量多少成比例，用方程式表之：

$$\frac{dx}{dt} \propto (a-x) \text{ 或 } \frac{dx}{dt} = K(a-x)$$

式中， a = 開始的量（以克計）

x = 已衰變的量（以克計）

t = 時間（以秒計）

K = 衰變平衡常數（速度常數）

在化學反應動力學（Chemical Kinetics）上這就是第一級的反應（First-order Reaction）的類型。

將上式積分得：

$$\int \frac{dx}{a-x} = \int K dt, \text{ 即 } Kt = -\log_e(a-x) + c$$

開始時 $t=0$, $x=0$, 則 $c = \log a$

所以, $Kt = \log_e \frac{a}{a-x}$, 即 $t = \frac{1}{K} \log_e \frac{a}{a-x}$ 。

由此可見，若欲求其全衰期（全壽命），即須等到 $x=a$ ，則

$$t = \frac{1}{K} \log_e \frac{a}{0}, \text{ 即 } t = \infty \text{（無窮大）}。$$

可見，無論開始的（或現存的）量多少，待其全部衰變完成則須等到無窮長的時期。顯然，欲求其全壽命是不切合實際的。

但若求其半壽命，即 $x = \frac{a}{2}$ 時，則其半衰期（半壽命），即有一定的時期。

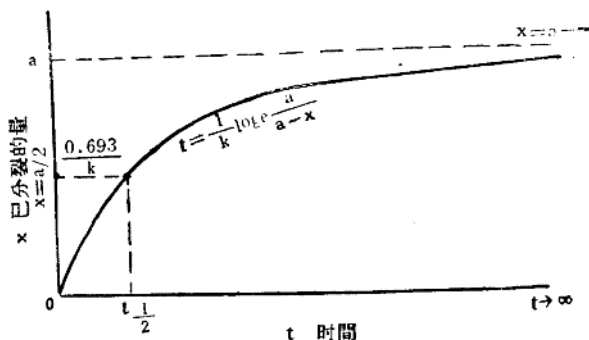
$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{1}{K} \log_e 2 = \frac{2.303}{K} (0.301) = \frac{0.693}{K}。$$

因每一放射物質，有其一定的衰變平衡系數。故可測定其 K 。因而

求 $t_{\frac{1}{2}}$

所以， $t_{\frac{1}{2}}$ 在某一元素中是有一定的数值，此即某放射元素的半衰期，亦借以衡量其寿命。

今再以下的曲綫釋明之（見第四圖）



第四圖 半衰期 $t_{\frac{1}{2}}$ 的圖解

（七）中子的減速

高速中子常被 ${}_{92}\text{U}^{238}$ 吸收不起作用，尤其是中子在 25 电子伏(25ev)左右时，更易被吸收。但 ${}_{92}\text{U}^{235}$ 核子用高速中子不易击中，只有降低中子速度至 1 以下的分数电子伏，乃至常温速度 (Thermal speeds) 时，始易击中，而使分裂；并且在由高速减至低速过程中，经过这 25 电子伏的时候，必须极快地下降，避免在 25ev 时，被铀(238)核子吸收去。

中子之減速方法，是使高速中子与差不多同等質量的其他原子核相撞碰。若中子所碰之核子过大，則其減速效能不大。又因

中子質量与氫原子几相等,故应选择氫或其他輕元素为撞碰对象。即应擇週期表上开头几个元素如: 氫, ${}^1\text{H}^1$, 重氫 ${}^2\text{D}^2$, 氦 ${}^2\text{He}^4$, 鋰 ${}^3\text{Li}^7$, 鈹 ${}^4\text{Be}^9$, 硼 ${}^5\text{B}^{11}$, 碳 ${}^6\text{C}^{12}$, 氮 ${}^7\text{N}^{14}$, 氧 ${}^8\text{O}^{16}$, 氟 ${}^9\text{F}^{19}$, 氖 ${}^{10}\text{Ne}^{20}$ 等为对象。

今就以上所举的几个較輕元素討論之。氫 II 屬气体, 且有吸收中子的傾向 (变为重氫): ${}^1\text{H}^1 + {}^0_0\text{n}^1 \rightarrow {}^2\text{D}^2$, 不甚好用; ${}^3\text{Li}^7$, ${}^5\text{B}^{11}$ 均能吸收中子, ${}^2\text{He}^4$, ${}^7\text{N}^{14}$, ${}^8\text{O}^{16}$, ${}^9\text{F}^{19}$, ${}^{10}\text{Ne}^{20}$ 是气体, 且 ${}^2\text{He}^4$, ${}^{10}\text{Ne}^{20}$ 又是惰性的气体, 也不能用。除此以外剩下者只有重氫 ${}^2\text{D}^2$, 碳 ${}^6\text{C}^{12}$, 与鈹 ${}^4\text{Be}^9$ 三个元素及氫碳化合物石蜡 C_nH_m , 此几个物質可以采用 (且已被采用)。 ${}^6\text{C}^{12}$ 的型式为人工制造的石墨, 可以大量制造, 但需要極純淨的, 如含有一百万分之一以上的硼 ${}^5\text{B}^{11}$, 即不能用, 因硼吸收中子極為厉害。故石墨必須經過最精細的提煉。美英兩國多采用石墨, 因其大量制备較快。但最近也有采用重水的。重水貴, 比鈾还貴三倍。固体氫碳化合物 (如石蜡) 也可用, 但熔点低。重氫 ${}^2\text{D}^2$ (作为重水) 極好用。重水的制备可用部分蒸餾法提煉与輕水分离, 所需的量比石墨可少得多, 但制备需时。重水用电解法制造为最普遍。但所需电力頗大, 因重水在普通水中仅占 0.016%; 普通水也可用, 价極廉, 不过其所含的 H 吸收中子多, 故需要富集的鈾。

鈹 ${}^4\text{Be}^9$ 在英国也曾用过, 頗有效。但鈹在制造过程中有毒害, 制备操作較感困难。鈹桿在原子堆内很好用, 鈹板也可用为反射壁, 惟鈹矿石来源不大。金属鈹来源更少。

(八) 中子密度的控制

鈾的分裂式反应使用中子, 反应时, 又能放出更多的中子。这中子又可再产生反应, 故反映速度的快慢, 可由中子的密度控制之。控制之法, 是用中子吸收剂。物質或多或少都能吸收中

子，惟有某些物質如鎘、硼、鈳 (Hafnium) 等吸收中子尤為強烈。但鈳是個極稀有的元素，不可多得，故硼（或氧化硼）或鎘常被應用。中子吸收劑為建造原子堆一種重要材料，它控制中子的強度。中子在堆內每平方厘米每秒不到一定強度時，則鏈式反應就不能進行；超過一定的強度時，則反應又過猛，有爆炸的危險。故堆內中子密度的控制是十分重要的。控制中子是以反應溫度為標準。溫度上升過劇，則反應過烈，可能發生危險，急需設法將中子減少。減少的方法用自動化機關將中子吸收劑急速放入，使中子被吸收而減少。若將全部吸收劑棒放入，則堆內反應立即中止。

吸收中子的性能，是以物質的橫截面大小計算的。橫截面以 $\text{Barn} = 10^{-28}$ 厘米為單位。橫截面大的，則吸收中子能力高。現各種物質的橫截面均曾經測驗過，並列為一表。這對於原子堆建造材料之選擇有極大的幫助。普通建築材料（如鋼鐵、某些有色金屬等等）或多或少都能吸收中子，故多半不能採用，或只能用在堆的外部。目前，堆的內部結構常用的材料有鋁、鉛、不銹鋼、鋳鐵；在堆的外面及底座所用的有生鐵及鋼筋水泥或重質水泥（內加鐵砂）；茲將原子堆的設計可能用及的材料橫截面列表如下。表中分兩類：其中一類材料吸收中子的性能較小；另一類材料吸收中子性能較高。

該表只列入主要的元素，因為這些元素可能與原子堆的結構材料的選用有關，或與控制中子的棒製造原料有關。表中各半的第二行數據(A) 與第三行數據(B) 關係如下：

$$A = 0.602 \left(\frac{B}{W} \right).$$

式中， A = 每克重的平方厘米 (厘米²/克)； B = 每個原子的 Barn 數； W = 原子重。

元素吸收热中子的横截面

較小的横截面的主要的元素 (由小到大, 可为原子堆的結構材料用)			較大的横截面的主要的元素 (由大到小, 可为原子堆內控制中子用)		
元 素	每克平方厘 米 (A)	每个原子的 Barn 数 (B)	元 素	每克平方厘 米 (A)	每个原子的 Barn 数 (B)
氧(O)	<0.0000057	<0.0002	钆(Gd)	169	44000±2000
铋(Bi)	0.000092	0.032±0.003	硼(B)	42	750±10
碳(C)	0.00022	0.0045	镉(Cd)	12.9	2400±200
铅(Pb)	0.00056	0.17±0.01	锂(Li)	5.8	67±2
铍(Be)	0.00060	0.0090±0.0005	铱(Ir)	1.37	440±20
氦(He)	0.00102	0.0068	汞(Hg)	1.14	330±20
锆(Zr)	0.00119	0.18±0.02	铟(In)	1.00	190±10
镁(Mg)	0.00146	0.059±0.004	铷(Rb)	0.88	150±7
硅(Si)	0.0028	0.13±0.03	氯(Cl)	0.54	316±1
锡(Sn)	0.0033	0.65±0.05	铪(Hf)	0.39	115±15
铝(Al)	0.0043	0.215±0.008	钴(Co)	0.35	34.8±2.0
钙(Ca)	0.0065	0.43±0.02	银(Ag)	0.34	60±3
锶(Sr)	0.0080	1.16±0.06	金(Au)	0.29	94±1
硫(S)	0.0092	0.49±0.02	氢(H)	0.198	0.330±0.007
氘(A)	0.0094	0.62±0.04	锰(Mn)	0.139	12.6±0.6
铀(U)	0.0098	1.06±0.05	铯(Cs)	0.132	29.0±1.5
钠(Na)	0.0128	0.49±0.02	硒(Se)	0.090	11.8±0.4
钼(Mo)	0.0151	2.4±0.2	氮(N)	0.076	1.78±0.05
铁(Fe)	0.026	2.43±0.03	钛(Ti)	0.070	5.6±0.4
钾(K)	0.030	1.97±0.06	钨(W)	0.063	19.2±1.0
铟(Sb)	0.032	6.4±1.0	钒(V)	0.055	4.7±0.2
铜(Cu)	0.034	3.59±0.12	镍(Ni)	0.046	4.5±0.2