

核反应堆实验

〔美〕J. B. 霍格 編著 童林夙等譯

上海科学技术出版社

核反应堆实验

童林夙 姚瑾华 卢其庆 方可人 译

童林夙 校

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书由美国阿貢国立實驗室有关人員編写而成,专述原子核科学和工程領域內的实验工作。全书包括各种各样的实验約数十个,除开始一章介紹核反应堆理論的一些基本知識外,其他各章分別詳細地敘述了核輻射探测、减速剂装置、次临界装置、截面的測量、用一个运转着的反应堆进行的实验、运转着的反应堆的某些特性、反应堆的热轉移、非均匀反应堆的燃料制备、腐蝕与輻照效应、冶金“热”室以及分离过程等方面的实验。

本书可供反应堆研究和工程人員以及高等学校核工程专业师生参考之用。

NUCLEAR REACTOR EXPERIMENTS

J. B. Hoag

D. Van Nostrand Co., Inc. 1958

核 反 应 堆 实 驗

童林凤 姚瑾华 卢其庆 方可人 譯 童林凤 校

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出093号

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 787×1092 1/23 印張 21 13/23 插頁 4 排版字数 469,000

1964年9月第1版 1964年9月第1次印刷 印数 1—2,400

統一书号 13119·575 定价(科六) 3.20 元

序 言

这是在原子核科学和工程领域内讲授实验室工作的一本书。

核反应堆理论是从基本粒子(例如中子)和 γ 射线的产生和性质以及它们与各种不同结构和不同稳定性的原子核的相互作用开始的。接着是由裂变所引起的能量释放以及把裂变能量倍增到有很大实用价值的链式反应。这一理论叙述了中子从“诞生”时的快速裂变能量减速到一般温度或室温数值的过程,在固体、液体和气体原子中的扩散,从各种不同材料的反射以及通过物质时的吸收、散射和透射等现象。同时还必须“记录”中子从裂变时诞生到最后被吸收过程中的数目。

从这些理论中得出了一系列方程式用来求得裂变铀和组成临界反应堆活性区的减速或慢化材料的尺寸和质量;此时所产生的热量;极为重要的控制功率增长的方法;控制温度或压力改变时功率随时间的变化;以及因反应堆的连续使用在其内部所产生的“中毒”效应等。

有些核反应堆常数及参数除了可以根据理论计算得出外——也可以用本书所叙述的方法来测量。在这门新的科学和技术的成长过程中,理论与实验之间是不断地相互影响着的。其中所必须考虑的一些量是:中子与物质相互作用的截面,热中子扩散长度,慢化长度,平均自由程,每次裂变的中子数,快中子裂变因数,共振逃脱几率,热利用因数以及泄漏和不利因数。

此外,还可以包括:反射层节省,减速比,慢化和扩散时间,缓发中子时间以及中子发生时间。对反应堆本身来说,则包括通量分布与曲率,外推距离,反应性,周期,温度系数,燃耗,转换因数,增殖比,功率输出,活性区和屏蔽层内的功率分布等。

一个运转着的反应堆所包括的问题则更多,例如热的交换与转移,液体的流动,大块屏蔽,控制和安全仪器的使用,外壳建筑以及可以或

DA686/02

多或少地采用常规设计的涡轮发电机。特别重要的是包括了对各种辐射的人身防护。

但以上所述的却并不是在本书中所包括的全部内容。要获得“燃料”就必须从采矿开始。而矿石则必须经过提炼才能变成金属。这里涉及到各种同位素分离法；铀的生产与净化，操作以及燃料的热处理和机械处理；燃料的物理冶金学，合金技术，在强烈的中子和 γ 射线轰击下的变化，裂变碎片反冲，非均匀反应堆燃料板的制造和包复以及均匀反应堆燃料的水溶液与金属溶液及其腐蚀和分解效应等。

当反应堆内的燃料“燃耗”之后，需要从增殖出来的新燃料以及“废料”或裂变产物中分离出未裂变的物质。这里包括：分解，溶剂萃取，共同沉淀，离子交换，分馏，脉冲柱等，所有这些都带有大量危险的放射性物质，引起了最终利用或处理放射性“废料”的问题。最后，把未裂变的燃料再加工成适宜的形式，以便重新加入反应堆内。

因此，这里就必须对那些只受过一门专业训练——力学，电学，化学或物理——的科学家或工程师提出一项最迫切的要求，即开拓他们的眼界和知识范围。过去几年的许多经验证明上述人员在作为核反应堆工程部门中的一员能与其他专家有效地进行工作以前，必须至少对整个领域具有粗略的知识。

由于这个经验所产生的结果，本书中包括了很多各种各样的实验。编者组织了这些实验主要是着重于突出某些观念或概念，而不是按一般惯用的方法那样来分门别类的。

整个这本书是阿贡国立实验室的产物，这是由于它的前身——冶金实验室的工作人员在芝加哥大学最先完成了核链式反应以及这个实验室是最先利用“原子能”发电，制造了一座重水反应堆和一座沸水反应堆，并且证明了燃料的增殖可以超过它的消耗。在这里应该提到的是 Walter H. Zinn 博士以及 Norman Hilberry 博士对这些发展提供了巨大的贡献。

本书中的大部分实验是由阿貢国立实验室的那些建立或者帮助建立起这些实验的工作人员写成的。编者(他在核反应堆领域内开始工作是在1919年从鉀鈾鈷矿中分离出氘,并且测量其半衰期)只是把各种实验加以统一,删去部分重复的讨论,并且在某些地方增加了一些章节以有利于初学者。当然,在这样一门迅速成长的科学技术中必然不可能达到全面叙述的要求。

1955年,在阿貢国立实验室成立了核科学与工程国际学校。当时编者作为副主任协助创办了这所学校。编者相信本书有助于核反应堆实验工作的开展。

J. B. 霍 格

1958年1月

目 录

序 言

1. 一些基本知识	1
鈾的輻照 (C. H. Youngquist)	17
2. 核輻射的探測	21
实验 2-1 盖革-穆勒计数器的研究 (J. B. Hoag)	26
实验 2-2 核辐射计数器和线路的示例 (G. S. Pawlicki)	34
实验 2-3 微量移液法与相对 α 粒子计数 (R. F. Firestone)	39
实验 2-4 β 和 γ 测量 (G. W. Reed)	50
3. 减速剂装置	65
实验 3-1 绝对中子通量的测量 (W. H. McCorkle)	65
实验 3-2 热中子扩散长度 (J. B. Hoag)	75
实验 3-3 费米年龄和慢化长度 (J. B. Hoag)	80
4. 次临界装置	83
指数装置 (A. B. Smith, E. W. Rylander 和 V. H. Shoemaker)	86
实验 4-1 在石墨指数装置内的通量分布和曲率 (A. B. Smith, E. W. Rylander 和 V. H. Shoemaker)	95
实验 4-2 用石墨指数装置进行反射层研究 (A. B. Smith, E. W. Rylander 和 V. H. Shoemaker)	98
实验 4-3 用石墨指数装置进行控制棒研究 (A. B. Smith, E. W. Rylander 和 V. H. Shoemaker)	98
实验 4-4 用石墨指数装置测量吸收截面 (A. B. Smith, E. W. Rylander 和 V. H. Shoemaker)	99
实验 4-5 在重水指数装置中的通量分布和曲率 (A. B. Smith, E. W. Rylander 和 V. H. Shoemaker)	107
实验 4-6 用天然水指数装置进行的实验 (J. B. Hoag)	108
实验 4-7 阿贡次临界倍增装置和控制棒价值 (D. H. Lennox 和 H. Bryant)	109

5. 截 面	121
实验 5-1 用环状散射计数器测量截面 (C. T. Hibdon)	125
实验 5-2 用晶体单色谱仪测量截面 (S. Raboy, G. R. Ringo 和 C. C. Trail)	137
利用斩波器的截面测量 (J. B. Hoag)	147
实验 5-3 在测量总截面中低速中子斩波器的利用 (W. H. McCorkle)	151
6. 用一个运转着的反应堆进行的实验	156
实验 6-1 模拟燃料装置的不利因数 (H. Bryant)	156
实验 6-2 屏蔽实验 (M. Grotenhuis)	169
实验 6-3 通过阶梯屏蔽插塞的辐射泄漏 (H. C. Stevens)	184
7. 运转着的反应堆的某些特性	193
中子通量分布 (W. H. McCorkle)	193
实验 7-1 绝对与相对通量的测量方法 (W. H. McCorkle)	195
实验 7-2 反应堆功率的测量 (W. H. McCorkle)	198
反应性、周期和倒时数 (J. B. Hoag)	200
实验 7-3 反应堆的启动, 控制棒的校准和反应堆的停闭 (W. H. McCorkle)	203
实验 7-4 反应性温度系数的测量 (W. H. McCorkle)	209
实验 7-5 在受辐照的铀中放热量的确定 (D. R. Patterson 和 R. J. Schiltz)	212
阿貢反应堆及其应用 (B. I. Spinrad, D. H. Lennox, R. H. Armstrong 和 C. N. Kelber)	232
用阿貢反应堆进行的实验 (7-6)	238
8. 反应堆的热转移	241
实验 8-1 在决定单相流动和双相流动的水薄膜系数实验中所使用的方法和設備 (R. R. Rhode)	247
直流电磁泵 (A. H. Barnes)	271
实验 8-2 在决定液态金属薄膜系数的实验中所使用的方法和設備 (K. D. Kuezen)	278

9. 非均匀反应堆的燃料制备 (下列实验是由 J. E. Baird, R. J. Friddle 和 T. H. Chiesna 提供的)	292
实验 9-1 非合金化铀的热处理和金相学	293
实验 9-2 从 UF_4 生产金属铀	303
实验 9-3 非合金化铀的真空熔化和铸造	308
实验 9-4 铀-铝合金的制造	315
实验 9-5 軋軋与压鑄用鋁包复的铀-鋁合金燃料元件	317
实验 9-6 燃料元件的檢驗	319
附加的实验	323
10. 腐蝕与輻照效应	324
实验 10-1 高温腐蝕試驗 (J. E. Draley)	324
实验 10-2 燃料元件的腐蝕 (J. Baird)	331
实验 10-3 輻照过的碳鋼冲击試驗 (W. F. Murphy)	336
实验 10-4 輻照过的碳鋼强度和延性 (W. F. Murphy)	339
实验 10-5 被 CP-5 內的中子和 γ 射綫照射的水溶液的气体釋放 (E. J. Hart 和 S. Gordon)	342
11. 冶金热室 (W. F. Murphy)	353
12. 分离过程 (下列实验是由 K. A. Varteressian, M. Ader, W. J. Mayer, D. M. Macdonnell, J. V. Natale, D. P. Krause, R. P. Larsen, L. E. Röss 和 F. B. Gast 提供的)	368
实验 12-1 铀的溶解	371
实验 12-2 在铀 (VI) 溶液中酸的測定	374
实验 12-3 液体-液体分隔	377
实验 12-4 分析步驟: A. 用硫氰酸盐-丙酮測定铀	380
实验 12-5 分析步驟: B. 用氟化鑷法測定铀	388
实验 12-6 分析步驟: C. 总 γ 放射性的測定	390
实验 12-7 逐段逆流溶剂萃取	395
实验 12-8 在脉冲柱內連續逆流溶剂萃取	406
实验 12-9 用与不用精餾的分批蒸餾	410
实验 12-10 离子交換	419

附 录	425
1. 文献縮写.....	425
2. 能量单位的轉換.....	429
3. 銾的衰減和照射因數.....	430
4. 金的衰減和照射因數.....	432
5. 輕水和重水的物理學和熱力學性質.....	435
6. 鈉鉀合金 (NaK) 的遷移性質	445
7. 熱電偶校準數據.....	445
索 引	450

一些基本知識

引 言

J. B. Hoag, 阿貢国立實驗室, 核科学与工程国际学校*

本書內容的安排是首先考慮到較為簡單, 放射性少, 以及費用經濟的實驗。第一章簡單地介紹了作為本書其餘部分基礎的一些基本或初步的知識。第二章論述了基本輻射的探測和測量。以後幾章首先是用減速劑裝置, 其次用次臨界裝置, 最後用臨界或運轉着的反應堆來詳細地測量核反應堆設計中的物理常數和參數。接下去的一些實驗是測量一個運轉着的反應堆的靜態和動態特性; 再下面是研究從反應堆中轉移熱量的熱交換回路。本書的其他部分論述了燃料元件的冶金製備, 反應堆內的腐蝕和輻射損傷以及在“熱”室內操作放射性物質; 最後是分離出“燃燒”和“未燃燒”的燃料以及在反應堆運轉期間所產生的鈾。

主要的粒子

在核反應堆工作中, 較為重要的粒子主要是:

(1) α 粒子, α 或 ${}_2\text{He}^4$, 是氦核。它們的質量近似地為 4 個原子質量單位 (O^{16} 是 16. ...), 電荷是正的, 等於二個電子單位, 並且很容易被數厘米厚的標準空氣、厚紙片或薄鋁片吸收。當它們通過氣體時, 在每厘米的路程上產生大量的離子, 也就是說 α 粒子是一種很好的電離體。 α 粒子沿著直線行進, 直到接近於射程的末端為止。

(2) β 粒子, β^- 或 $-\beta^0$, 是從一個原子核中發射出來的電子。它

* 在本書中, 某一作者的工作一直繼續到下一個作者的名字出現時為止。

們的质量是最輕原子氫的 $1/1838$ 倍, 电荷是負的, 等于一个电子单位 (1.60×10^{-19} 庫倫), 并且比較容易被数毫米的鉛吸收。β 粒子以常有的較小的偏轉沿着曲折路程通过气体, 产生中等程度的电离量。有些用人工产生的放射性物质发射出“正子”, β^+ 或 $+\beta^0$ 。它們与普通的电子相同, 但却带正电荷, 因而有时称为正电子。

(3) γ 射綫, 是波长非常短的电磁輻射, 和 X 射綫一样以光速行进。γ 射綫的电离很小, 并且是一个間接的过程, 在其中它們把能量傳遞給电子, 电子再轉而引起电离。γ 射綫的貫穿能力很大, 如果要吸收它們, 需要用 1 呎厚的鉄。物质愈重, 就愈容易吸收 γ 射綫。

(4) 中子, n 或 ${}_0^1n$, 是质量接近于质子或氫核的不带电粒子。由于它們是电中性的, 与原子的带电部分不发生电力的相互作用, 因而基本上不引起电离, 并且貫穿能力非常大。但是与原子核, 特別是較輕的原子发生碰撞时会损失掉較大的动能, 并且被减速。当减速到热能为 0.025 电子伏左右时, 中子很容易被鎢或硼吸收。热中子具有很高的引起 U^{235} 原子裂变的几率。

二象性 根据量子理論, γ 射綫不仅具有电磁波特性和还具有不連續的粒子作用, 因而可以被认为是一个波包。这些“量子”称为光子, 并且每个量子具有能量 $E = h\nu$ 和动量 $p = h\nu/c = h/\lambda$ 。E 以尔格为单位, h 是普朗克常数 (6.55×10^{-27} 尔格·秒), ν 是每秒的振动頻率 ($=c/\lambda$, λ 是以厘米为单位的波长), p 以克·厘米/秒为单位, c 是光速 (3×10^{10} 厘米/秒)。反之, 在一定的条件下, 每个粒子所起的作用, 不具有粒子性而具有波动性, 波长是从德布洛依方程 $\lambda = h/mv = h/p$ 得到的, 其中 m 是以克为单位的粒子质量, v 是以厘米/秒为单位的粒子速度。

簡單的衰減定律

令 n 为時間 t 时的母放射性物质的原子数。在很短的時間間隔 Δt 內, 有 Δn 个原子蜕变, 并且发射出輻射 (α , β 或 γ) 成为“女儿”原子。于是蜕变几率为 $-\frac{\Delta n}{n}$, 負号表示母原子数的减少。

衰变常数或者轉換常数 λ 的定义为每秒蜕变原子的分数, 并且正

如卢瑟福和索提所証明的那样, 对于一个給定的放射性物质來說, λ 是一个常数。于是 $\lambda \Delta t$ 是在 Δt 時間內蜕变原子的分数, 并且为蜕变几率。因此在极限 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,

$$\frac{dn}{n} = -\lambda dt. \quad (1-1)$$

例如: 假設开始时 $n=10,000$ 个原子在第一秒內蜕变了 200 个 (2%), 剩下 9800 个母原子 ($\lambda=0.02$); 在第二秒期間, 9800 个原子蜕变了 2% 或者是 196 个, 剩下 9604 个母原子等等。这里必須注意在每一单位時間內蜕变了相同的原子分数, 即 λ 是常数。

从方程 (1-1), 知道蜕变率 r 为

$$\frac{dn}{dt} = -\lambda n = r, \quad (1-2)$$

并且看来是直接正比于存在的原子数的。例如, 在鐳-226 (${}_{82}\text{Ra}^{226}$) 的情形中, $\lambda = 1.39 \times 10^{-11}$ 。在一克中有 $N_0/A = 6.02 \times 10^{23}/226$ 个原子 (N_0 = 阿伏伽德罗常数, A 是克原子量)。于是每克鐳-226 每秒的蜕变数为 $\lambda n = 3.7 \times 10^{10}$ 蜕变数/克·秒。

居里的定义是放射性物质每秒发生 3.7×10^{10} 次蜕变的数量。这不一定是指鐳, 任何放射性物质都可以。也不一定是 1 克, 因为放射性物质可以分散在大量的非放射性物质內; 重要的是每秒衰变的原子数。毫居里 (mc) 和微居里 (μc) 是較小的单位: $1\text{mc} = 10^{-3}\text{c}$, 具有 3×10^7 蜕变/秒; 而 $1\mu\text{c} = 10^{-6}\text{c}$, 具有 3×10^4 蜕变/秒。偶而使用的其他的放射性单位是 1 卢瑟福 = 10^6 蜕变/秒。要决定以居里为单位的物质的放射性可以測量每秒的蜕变数, 并被 3.7×10^{10} 去除。但必須注意, 当发生蜕变时, 輻射的粒子数不一定要等于蜕变数; 因为在某些情形下可能出现好几种輻射。

从方程 (1-1) 的积分中可以得到 $\ln n = -\lambda t + \text{常数}$ 。当 $t=0$ 时, $n=n_0$ = 在开始时存在的原子数, 积分常数是 $\ln n_0$ 。然后取反对数, 在時間 t 的母原子数 n 为

$$n = n_0 e^{-\lambda t}, \quad (1-3)$$

其中 e 是自然对数的底。

如果在这个方程的两边乘以每个原子的克数, 則总质量 M 为

$$M = M_0 e^{-\lambda t}, \quad (1-4)$$

其中 M_0 是当 $t=0$ 时母物质的质量。

如果在方程(1-3)的两边乘以 $-\lambda$, 并且参考方程(1-2), 可以看到蜕变率是用相同形式的方程得到的, 則

$$r = r_0 e^{-\lambda t} \quad (1-5)$$

如果在方程(1-5)的两边乘以每次蜕变发射的粒子数 n' , 則“放射性” $\alpha = n'r$ 为

$$\alpha = \alpha_0 e^{-\lambda t} \quad (1-6)$$

被輻射的粒子可以用在“探测器”内通过气体时所产生的离子来探测。每一个粒子将产生一定数量的离子, 每一个离子带有一定数量的电荷。探测器的电极可以收集一定百分比的离子, 电压可以足够高地把粒子所产生的所有的离子都收集起来(饱和电压)。因而輸出电流可以正比于粒子数。在方程(1-6)两边乘以比例常数, 得到輸出电流的讀数为

$$I = I_0 e^{-\lambda t} \quad (1-7)$$

和方程(1-6)所得出的实际放射性相比較, 这是指测量的放射性而言。发射的粒子还可以用由“計数器管”所产生的脉冲来探测。单位時間內的計数或脉冲数正比于放射性, 因此是同一形式方程的結果。

探测效率 K 是在給定時間內“探测器”所記錄的粒子数与放射性物质发射的粒子数之比; 这是一个从 100% 变化到小至 1% 的量。把方程(1-7)用 K 来表示, 但又必須包括放射性的任何絕對測量, 即

$$I = K\alpha \quad (1-8)$$

图 1-1 (a) 是 I 和 t 的指数衰变曲綫图。如果在方程(1-7) [或由方程(1-3)到(1-6)] 的两边取自然对数, 則得到

$$\ln I = \ln I_0 + (-\lambda)t, \quad (1-9)$$

这可以和直綫方程 $y = b + mx$ 进行比較。因此, 如果按 $\ln I$ 的数值为

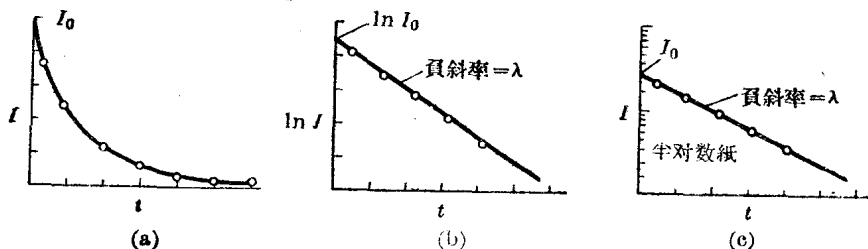


图 1-1 衰变曲綫

纵坐标, t 的数值为横坐标作图, 如图 1-1(b) 所示, 則所获得的结果为一直綫, 其中 y 的截距为 $\ln I_0$, 斜率 (負的) 等于衰变常数 λ . 使用半对数紙就可以不必查 $\ln I$ 表, 如图 1-1(c) 所示, 而在图上的垂直距离虽然是用 I 的数值标出的, 但却正比于 $\ln I$.

因而原子数、质量、蜕变率以及放射性物质的放射性在任意时间 $t=0$ 开始沿衰变曲綫减小至原来数值的一半所经过的周期称之为半衰期 $T_{1/2}$. 于是 $n/n_0 = \frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}$ 或 $(\ln 1 - \ln 2) = -\lambda T_{1/2}$. 但 $\ln 1 = 0$, $\ln 2 = 0.693$, 这样

$$T_{1/2} = 0.693/\lambda \quad (1-10)$$

原子的平均寿命 τ 可以表示为

$$\tau = 1/\lambda, \quad (1-11)$$

这表示原子数衰变到它们的原来数值 $1/e$ 的时间, $e = 2.718\cdots$ 为自然对数的底。

各种不同的放射性物质的半衰期通常变化在一个很广的范围内, 即从 1 秒的几分之几到 10^9 年, 但对于确定型式的衰变則只有一个半衰期值。因而测量 $T_{1/2}$ 或 λ 就可以用来辨别放射性物质, 一般規律是寿命愈短的物质发射出能量愈大的粒子。

我們把 $\lambda = 0.693/T_{1/2}$ 以及 $n =$ 存在的原子数 $=$ (每克的原子数) (克) $=$ (每克分子原子数/克原子量) (克) $= (N_0/A) m$ 代入方程 (1-2) 中。因此衰变率为

$$r = \left(\frac{0.693}{T_{1/2}} \right) \left(\frac{N_0}{A} m \right). \quad (1-12)$$

将上式被每秒蜕变数去除, 就得到居里, $C = (1.13 \times 10^{13}) m / AT_{1/2}$. 因而比放射性 SA 可以被定义为每克的放射性,

$$SA = \frac{1.13 \times 10^{13}}{AT_{1/2}} \text{ 居里/克}. \quad (1-13)$$

当所研究的物质包含着二种放射性物质时, 半对数图就如图 1-2 所示, 其中圆圈表示实验点。这不是一条简单的直綫, 而首先是一条曲綫。长寿命物质的衰变常数是用如上所述的常用方法从图右方的直綫斜率得到的。要得到短寿命物质的衰变常数, 可以把直綫向后外推。在 $t=0$ 处, 从測量的 I 减去外推直綫的 I 的数值 (不是 $\ln I$), 并作图为

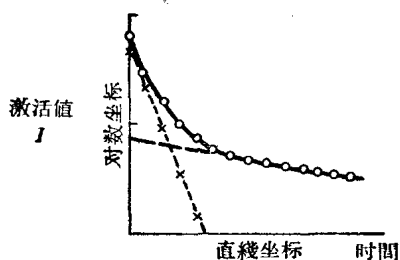
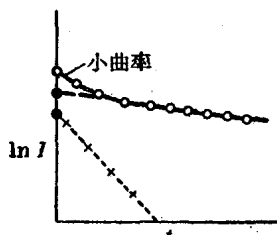


图 1-2 衰变曲线

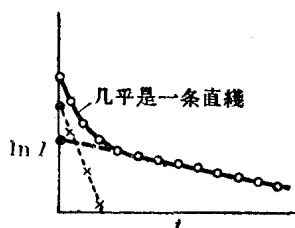
在同一时间内存在的二种放射性物质

α 。重复以后的相继的时间数值，就得到“ $\times \times \times$ ”直线，它的斜率提供了短寿命物质的衰变常数。 y 的截距提供了二个激活物质的相对初始放射性，如图 1-3 所示。然而，并不是常常可以很容易通过右边的实验点来正确地画出直线的，因为实验点的数值有统计起伏。当“ $\times \times \times$ ”点位于直线

时，可以求出一条适当的直线，其误差如图 1-4 所示。



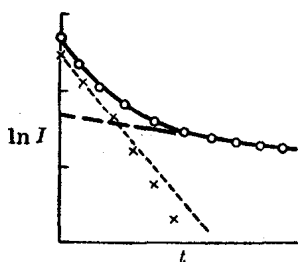
(a)



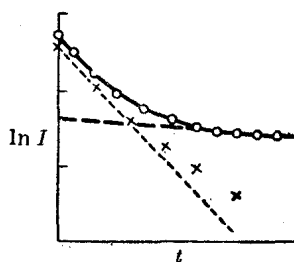
(b)

图 1-3

在(a)中，长寿物质具有较大的初始放射性；在(b)中，短寿命物质在开始时较强



(a)



(b)

图 1-4

在(a)中，长寿曲线(—)的斜率过陡；在(b)中，长寿放射性在过渡区域中强度过低

当存在二个以上的放射性物质时，它们的衰变常数是由相继减去直线的方法决定的，这常常从右边开始。和上述图解法类似，也可以采用分析法来求出。

中子的相互作用

考虑一个以速度 v 厘米/秒由左向右运动的的中子的单位截面的平行束,如图 1-5(a)所示。如果在每立方厘米中有 n 个中子,则在每秒内通过垂直于束的一平方厘米的中子数为 nv 。这称为通量 ϕ 。在一个核反应堆内,中子经过所有的方向。由于在中子和原子核之间的反应与中子击中核的方向无关,因此在反应堆内就可以借用同样的术语,如图 1-5(b)所示。于是通量密度或通量是

$$\phi = nv \quad (1-14)$$

通量的第二个解释是:在每秒内经过一立方厘米的所有中子的路程的总长度。第三个解释是:每秒入射到一平方厘米靶物质截面上的中子数。

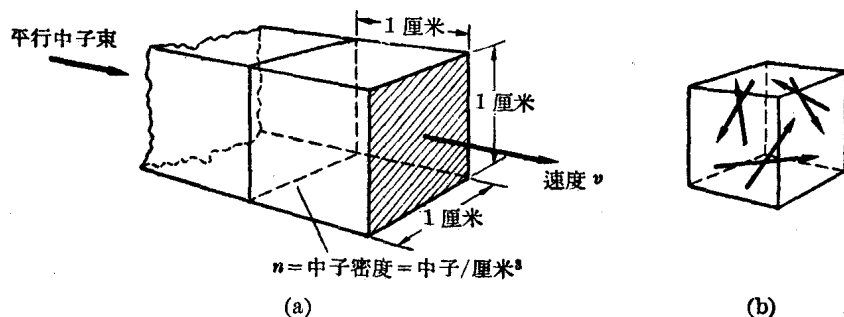


图 1-5

中子通量密度或“通量”是 $\phi = nv$

在一个中子和一个原子核之间发生某种作用(指俘获、散射或裂变)的几率称为微观截面,并用 σ 来表示。这还可以考虑为在某一特定的反应中一个核对一个中子的有效面积(平方厘米)。如果在一立方厘米的“靶”物质中有 N 个核,则 $N\sigma$ 是一个中子对一立方厘米内所有核相互作用的有效面积,并称为宏观截面 Σ 。于是

$$\Sigma = N\sigma \quad (1-15)$$