

原子能译丛

核反应堆的数值計算法

馬尔丘克著

5

“原子能”編譯委員会編
科学出版社

核反应堆的数值计算法

(原子能译丛5)

Г.И. 馬尔丘克著

飞 跃 译

“原子能”編譯委员会編

科 学 出 版 社

1959

2P87/8

Г. И. МАРЧУК

ДОКТОР ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

РАСЧЕТА

ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

(Приложение № 3—4 к журналу «Атомная

Энергия» за 1958 год)

Атомиздат, Москва—1958

内 容 簡 介

本丛刊由“原子能”編譯委员会編譯,以苏联“原子能”副刊为主要选譯对象;其目的为集中介绍原子能科学技术方面有关某一专题的文章。

本期譯自苏联“原子能”副刊3—4号;內容闡述有关核反应堆数值計算方法的基本問題,书后并附有各种有实际价值的附录。讀者在閱讀本书之前,需要先具备有关核反应堆的一般基础理論知識,諸如 S. 格拉斯頓 (S. Glasstone) 和 M. 爱德瑞 (M. Edlund) 著:“原子核反应堆理論綱要”及本丛刊第4号: A. Д. 加拉宁 (A. Д. Галанин) 著“热中子核反应堆理論”等书所提供者。

本书适于高等学校物理系学生,研究生,工程师以及专门从事于核反应堆設計計算工作的人員作参考之用。

核反应堆的数值計算法

編譯者 “原子能”編譯委员会

出版者 科 学 出 版 社

北京朝陽門大街 117 号

北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

印刷者 北 京 新 华 印 刷 厂

总經售 新 华 书 店

1959年9月第一版

1959年9月第一次印刷

(京 0001—5,000)

书号: 896 字数: 313,000

开本: 787×1092 1/25

印张: 14 5/25

定价: 1.90 元

序

本书试图較有系統地叙述热中子、中能中子和快中子核反应堆的数值計算法。在书中特別注意到临界質量、中子通量的空間和能量分布以及中子价值問題。本书給出了把反应堆的基本和共軛方程归結到多組扩散方程組的有效方法，然后这些方程可以用差分因子分解法順利地解出。对微小效应的計算应用了微扰理論。在书中对于采用有效的均匀化方法来計算非均匀堆給予了很大注意。在討論快中子堆时特別注意到迁移方程的数值解法。

本书仅反映了数学性質的問題，至于有关核反应堆一般理論及所得結果的物理意义則未作詳細闡明。

由于专题論文中所討論的大部分結論还是第一次以全面的形式公布，因此书中难免有一些缺点。

反应堆的数值計算法是在 1953—1956 年由作者和他所領導的科学工作者們所完成的；这些科学工作者是：帕古达利娜 (Е. И. Погудалина)，馬克西莫娃 (Э. С. Максимова)，斯麦洛夫 (В. В. Смелов)，伊利亚索娃 (Г. А. Илясова)，馬尔凱洛夫 (И. П. Маркелов)，丘捷列夫 (И. П. Тютерев) 等等。所有这些方法都事先在很多計算中和試驗中驗證过，以后并已在实际工作中加以采用。

在烏克蘭苏联科学院兰普斯基 (А. И. Лейпунский) 院士領導下的理論和實驗物理工作者們的集体工作对反应堆数值計算法的发展和完善具有直接的影响。

烏薩乔夫 (Л. Н. Усачев) 和罗麦諾維奇 (А. С. Романович) 在共軛方程和微扰理論方面的工作对于核反应堆数值計算法也有很大的影响。

在拟制核反应堆計算法时作者和广大的科学工作者保持了經常的联系，他們之中有数学工作者、理論物理工作者和實驗工作者。在对实际上很重要的問題的創造性討論过程中，产生了新的数学問題，并拟

定了解决它们的方法；特别积极参加这些讨论的有烏薩乔夫，普勃克 (В. Я. Пупко)，庫茲涅佐夫 (В. А. Кузнецов)，格罗莫夫 (Б. Ф. Громов)，道辛斯基 (Г. И. Тошинский)，布列也夫 (Н. И. Булеев)，希霍夫 (С. Б. Шихов)，奥尔洛夫 (В. В. Орлов)，謝杰利尼科夫 (Т. Х. Седельников) 等等，作者对这些同志表示感谢。

作者对兰普斯基多次的参加核反应堆计算方法和理论问题的讨论以及在解决整个问题的工作期间中所给予的宝贵意见表示深深的感谢。

作者并对布洛欣采夫 (Д. И. Блохинцев) 和庫茲涅佐夫参加对反应堆计算方法和理论问题上的许多不同方面 (这些问题是在数值计算方法拟定的一些阶段中发生的) 的讨论表示感谢。

在出版本书的准备工作中，科学工作中的同事別利斯卡娅 (Ж. Н. Бельская)，科楚别依 (Н. П. Кочубей) 和瓦斯金 (А. И. Васкин) 给作者以很大的帮助，对于这些同志作者同样表示深切的感谢。

馬尔丘克 (Г. Марчук)

符 号

D —扩散系数 $= \frac{1}{3\Sigma_{tr}}$.

f —矢量函数.

$f(\mu_0, u-u')$ —在勒 u' 和方向 $\vec{\Omega}'$ 上的中子在撞碰后相应地改变为 u 和 $\vec{\Omega}$ 的几率密度.

G —反应堆所占的空间.

I —共振积分.

$I_0\Phi\phi$ —有效共振积分.

L —算符.

l —中子在块中的光程(也被用作註标).

$l' = \frac{l}{d}$, 这里 d 是块厚.

M —核的质量.

n —中子密度.

$n\nu$ —中子通量(也用 φ 来表示).

P_l — l 阶勒上特多项式.

q —慢化密度.

$Q(\vec{r})$ —在每次有裂变俘获后产生的次级中子数

$Q^*(\vec{r})$ —裂变中子的价值.

r —最大对数能量损失即 $\max(u-u')$.

$S(\vec{r}, \vec{\Omega}, u)$ —堆中的中子源.

S —堆的外表面.

S_0 —堆的外推表面.

T —表示热能组相应值的註标.

u —对数能量(勒), 等于 $\ln \frac{E_0}{E}$,

其中 E 是中子的能量, E_0 是恒定的能量.

$\vec{v}$ —中子的速度矢量(也用 $\vec{\Omega}v$ 来表示).

v —中子速度 $= |\vec{v}|$.

V —吸收块的体积.

V_0 —栅格单元中慢化剂的体积.

$V_{\text{格}}=V_{\text{魏格勒-謝茲单元格子体积}}.$

$\mathcal{W}(\Omega, \Omega'; u, u')$ —中子束由 (Ω', u') 到 (Ω, u) 的非弹性跃迁几率密度.

Y_{lm} —球函数.

γ —参量 $\frac{\xi^2}{2\xi}$.

Γ_j —能量为 E_j 的共振宽度.

ϵ —参量 $\frac{\xi^2}{2\xi}$.

λ —自由程长度 $= \frac{1}{\Sigma}$.

μ —中子速度方向和 z 轴方向夹角的余弦.

μ_0 —实验室座标系统内散射角余弦.

ν_f —裂变时中子的有效产额.

ξ —弹性散射时平均对数能量损失.

ξ^2 —碰撞时对数能量损失的方均值.

ρ_k —在 1 厘米³慢化剂中原子序数为 k 的物质的核数.

ρ^U —在 1 厘米³混合物中 U^{238} 的核数.

ρ_0^U —在 1 厘米³金属 U^{238} 中的核数.

ρ_g^U —非均匀堆栅格单元中 1 厘米³均匀混合物的 U^{238} 核数.

Σ_s —宏观散射截面.

Σ_c —宏观俘获截面.

$\Sigma = \Sigma_s + \Sigma_c$ —宏观总截面.

Σ_{tr} —迁移截面.

τ —中子年龄.

(φ) —逃脱共振吸收几率.

φ —中子通量(也用 $n\nu$ 表示).

φ^* —慢化中子的价值.

Φ —热中子通量(也表示某些特殊函数).

Φ^* —热中子价值.

$\chi(U)$ —勒为 u 的中子产生密度.

$\chi(E)$ —能量为 E 的中子产生密度.

目 录

序.....	i
符号.....	vii
緒論.....	1
第一章 基本方程.....	6
§ 1. 問題的提出.....	6
§ 2. 中子在物質內的彈性慢化.....	8
§ 3. 中子慢化的迁移方程.....	11
§ 4. 热能組中子的迁移方程.....	19
§ 5. 反应堆的基本方程.....	24
§ 6. 反应堆的共軛方程.....	26
§ 7. 逐次逼近法的确定.....	36
第二章 扩散近似.....	40
§ 8. 扩散近似. 反应堆的基本方程組.....	40
§ 9. 扩散近似. 反应堆的共軛方程組.....	45
§ 10. 边界条件.....	47
§ 11. 解的确定范围.....	48
第三章 扩散-年龄近似.....	50
§ 12. 反应堆基本方程組的扩散-年龄近似.....	50
§ 13. 扩散-年龄近似. 共軛方程組.....	54
§ 14. 反应堆的外推边界.....	58
§ 15. 在扩散-年龄近似中解的确定范围.....	59
§ 16. 逐次逼近法.....	60
第四章 扩散-年龄理論的精确化.....	62
§ 17. 在无限均匀介質內中子的慢化.....	62
§ 18. 在共振吸收情况下年龄理論的精确化, 有效共振积分.....	65
§ 19. 在非均匀介質內中子的慢化.....	69
第五章 无反射层的均匀反应堆.....	72
§ 20. 无反射层反应堆中的中子密度譜.....	72

§ 21. 无反射层反应堆中的中子价值谱	75
§ 22. 无反射层均匀反应堆计算的精确化	76
§ 23. 论证逐步逼近法的收敛性	78
第六章 分组法. 慢化中子的弱吸收	82
§ 24. 反应堆的基本方程组	82
§ 25. 反应堆的共轭方程组	88
§ 26. 依靠二級能量矩的多组计算精确化	93
第七章 分组法. 慢化中子的强吸收	99
§ 27. 反应堆的基本方程组	99
§ 28. 反应堆的共轭方程组	107
§ 29. 考虑了二級能量矩的反应堆的多组方程组	112
第八章 有限差分扩散方程	119
§ 30. 建立一維区域的有限差分扩散方程的普遍方法	119
§ 31. 最简单的有限差分扩散方程	121
§ 32. 改良的有限差分扩散方程	126
§ 33. 二維区域的有限差分扩散方程	133
§ 34. 条件分离变数法	139
第九章 有限差分扩散方程的解	142
§ 35. 有限差分扩散方程在一維区域内的解	142
§ 36. 有限差分扩散方程在二維区域内的解	147
§ 37. 有限差分平衡方程	157
§ 38. 精确的平衡方程	159
第十章 网络法	161
§ 39. 方法的定义. 反应堆的基本方程	161
§ 40. 应用网络法解共轭方程	165
§ 41. 计算有限差分方程组的稳定性	166
§ 42. 有限差分方程组的精确性	169
第十一章 微扰理论	173
§ 43. 基本原理	173
§ 44. 应用微扰理论的最简单例子	175
§ 45. 变分 $\delta K_{\infty} \Phi \Phi$ 的普遍公式的推导	177
§ 46. 扩散近似中的变分 $\delta K_{\infty} \Phi \Phi$	182

§ 47. 扩散-年龄近似中的变分 δK_{eff}	185
§ 48. 调节棒表面上的边界条件的微扰	188
§ 49. 微扰理论最主要的应用	191
第十二章 核反应堆的非均匀效应	196
§ 50. 古列维奇-波米兰丘克共振吸收理论	198
§ 51. 魏格纳共振吸收理论	210
§ 52. 共振俘获理论的精确化	214
§ 53. 棒的相互屏蔽的计算	221
§ 54. 非均匀的中能中子反应堆	233
§ 55. “黑”体的有效边界条件	236
§ 56. “灰”体表面上的有效边界条件	244
§ 57. 魏格纳-谢兹方法	252
第十三章 快中子反应堆	255
§ 58. 快中子反应堆的迁移方程	255
§ 59. 反应堆的共轭方程	257
§ 60. 反应堆基本方程的多组系统	257
§ 61. 共轭方程的多组系统	260
§ 62. 组常数的平均值	261
§ 63. 球谐函数法	264
§ 64. 球谐函数方程的矩阵形式	267
§ 65. 球谐函数法的有限差分方程	271
§ 66. 球谐函数法的有限差分方程之解	278
§ 67. 解迁移方程的符拉季米洛夫 (Владимиров) 数值法	279
§ 68. 解迁移方程的卡尔逊 (Карлсон) 数值法	284
§ 69. 在扩散近似中快中子反应堆的方程	288
§ 70. 弹性散射的计算	288
第十四章 具有含氢慢化剂的反应堆	291
§ 71. 反应堆内中子的慢化方程	291
§ 72. 热能中子的扩散方程	295
§ 73. 反应堆的基本方程	298
§ 74. 在各种不同含氢量的介质中的慢化	299
§ 75. 在中子弱吸收时反应堆的多组方程组	300

§ 76. 在慢化中子强吸收时反应堆的多组方程组	304
§ 77. 共轭方程	310
§ 78. 有限差分方程	312
附录	315
A. 中子年龄	315
B. 在单能裂变源情况下的反应堆方程	316
B. 矩阵及其运算	321
Г. 亚临界反应堆的计算	323
Д. 中子的热化	327
E. 特殊函数表	332
参考文献	343

緒 論

临界大小和中子通量的空間和能量分布問題是核反应堆物理計算的基本問題。在大多数的情况下，这些問題可以在慢化年龄理論范围内多少得到滿意的解决，这种理論的一般原則費米曾闡述过^[93,102]。

核反应堆的計算理論由于創造了中子在物質內慢化的迁移理論而得到了論証和进一步的发展，这种理論是由很多学者的努力而建立的，如帕伊尔斯 (R. Peierls)^[61,128]，普拉杰克 (G. Placzek)^[129,130,131]，魏格納 (E. Wigner)^[54,145]，馬尔沙克 (R. E. Marshak)^[118,119,120,121]，博戈留博夫 (Н. Н. Боголюбов)^[101]，波米兰丘克 (И. Я. Померанчук)^[3]，胡尔維茨 (H. Hurwitz)^[103,109,110]，維特 (M. Verde)^[139,142,143]，溫布尔格 (A. Weinberg)^[141] 和其他。这一方向上的研究工作使我們有可能对反应堆內所进行的中子和物質相互作用的过程得到一致的和更普遍的观点。

求迁移方程各种近似解所用的最普遍的和灵活的数学工具是球諧函数法。[昌特拉謝卡尔 (С. Чандрасекар)^[87]，馬尔沙克^[118,121]，王 (M. Wang) 和古特 (E. Guth)^[140]，貝塞 (H. A. Bethe)、頓克斯 (L. Tonks) 和胡尔維茨 (H. Hurwitz)^[94]，霍尔特 (G. Holte)^[107]，烏薩乔夫 (Усачев)^[81] 和其他] 以及由它所引出的“高斯求平面积法”[維特^[142,143]，昌特拉謝卡尔 (С. Чандрасекар)^[87] 和其他]，这方法在以后用于单速問題中得到了更大的发展 [庫茲涅佐夫^[38,39,40,41]，伊馮 (Р. Ивон) 和麦尔頓斯 (R. Mertens)^[124,125,126] 和其他]^[111]。

在极大多数的情况下，反应堆临界大小的計算用扩散近似是足够了。这种近似对于尺寸远大于自由程的反应堆通常能得到很好的驗証。

如果假設在扩散近似中，中子撞碰密度函数相对于对数能量的变化很小，那末借助于把函数展成泰勒級数可以引出大家知道的年龄方程。后者可以滿意地描述中子在核质量远大于中子质量的介質內的慢化过程。

除慢化年龄理论外,还提出了其他更精确的近似方法.这方面可以注意的是波兹曼积分-微分方程的核近似法(“综合核法”),在这种方法内采用了实际应用上形式更简便的某些函数来近似地代替散射函数,所采用函数的“矩”的某些积分特性数值和相应的精确散射函数的特性值相符合[魏格纳,格列林克(Е. Грейлинг)和盖尔采里(Д. Герцель)^[54],希尔科夫(Д. В. Ширков)^[50,91]等].

热中子可以归入一个组内,而将按能谱平均的某些有效截面作为这个组的特性.

当热中子被强烈吸收时,单组模型已经不能满足了.在这种情况下必须更严格地考虑核的热运动[科根(Е. Коген)^[33],胡尔维茨^[101],斯麦洛夫^[73]等].

随着共轭方程特别是扰动理论的发展,反应堆理论和计算方法得到了进一步的进展[魏格纳^[54],罗麦诺维奇,乌萨乔夫^[82],格拉斯登和爱德崙(М. Edlund)^[23],爱尔里契(Erlieh R.)和胡尔维茨^[101],马尔丘克^[50,52,53]等];同时也拟制了对单速迁移方程的微扰理论[特米德列也夫(Н. А. Дмитриев)^[82],富克斯^[105]]以及对一般迁移方程的微扰理论(乌萨乔夫^[82]).

共轭方程的采用在一方面可以更精确地计算反应堆的临界质量、在另一方面也可以拟制微扰理论和求得处理反应堆内实验结果的可靠方法.应当指出,借助于共轭方程理论才能够以普遍形式讨论核反应堆的运动学^[82].

设计更完善型式的反应堆的实际要求,不断地促使核反应堆计算方法向前发展.反应堆设计中同时存在着三个方向:热中子、中能中子和快中子反应堆.

发展最大的是热中子反应堆的理论和计算方法[库尔恰托夫(И. В. Курчатов)^[44,45],阿历克赛德洛夫(А. П. Александров),阿里哈诺夫(А. И. Алиханов)^[11],布洛欣采夫和克拉辛(А. К. Красин)^[6,7,8,36],弗列洛夫(Г. Н. Флёров),富兰克(И. М. Франк),弗尔索夫(В. С. Фурсов)^[16],古列维奇(И. И. Гуревич),波麦兰丘克(И. Я. Поме-ранчук)^[26],芬别尔格(С. М. Фейнберг)^[84,95],加拉宁^[16,17,18,19,20]和其他

人], 外国作者的工作簡述已引在契尔尼克(Д. Черник)的文章中^[32, 88].

中能中子反应堆的理論和計算方法在苏联得到了重大的发展(兰普斯基、庫茲涅佐夫、罗麦諾維奇和烏薩乔夫^[82]、普勃克^[67]、格罗莫夫、道辛斯基、馬尔丘克^[50, 51, 52, 53]和其他人). 在美国中能中子反应堆的計算方法是由爱里里契和胡尔維茨所拟定的^[101, 103].

在 1949 年兰普斯基已指出利用快中子反应堆有可能一方面获得能量, 同时又大量地生产核燃料(参看[9]). 以后快中子反应堆的理論和計算方法就不断地趋于完善[兰普斯基、布洛欣采夫^[9]、烏薩乔夫^[81]、卡查奇考夫斯基(О. Д. Казачковский)、邦达連柯(И. И. Бондаренко)、希霍夫、符拉季米洛夫(В. С. Владимиров)^[11, 12, 13, 15]、罗麦諾夫和其他人]. 在奥克連特(Д. Окrent)和其他人的文章中对外国作者的工作作了概述^[60].

由于在反应堆建造上存在三个很大程度上独立的工作方向, 出现了众所週知的反应堆計算理論和方法的差别.

中能中子和热中子反应堆計算方法的发展, 主要是沿着多組近似方向, 而后者則基于广泛地利用解扩散型方程的有效数值計算法.

在[7, 17, 20, 23, 25, 135]中闡明的双組方法, 在求解一系列問題时显然远远是不够的.

众所週知, 在双組法中热中子是归結在一組中, 而大于热能的中子在另一組中. 結果反应堆方程組归結成扩散型方程組, 当考虑了已知的在反应堆各区的分界面上和在其外推边界上的边界条件就可以将方程解出.

由于問題的齐次性, 它的非零解只有在一些参数的某种数值組合下才可能成立, 并且这問題的正值解就給出临界反应堆的中子譜.

当反应堆的尺寸远大于慢化长度而且絕大部分裂变发生在热中子扩散范围内时, 双組法可求得堆临界質量問題的滿意解答.

然而, 大家知道, 在很多情况下双組法不能得到所需精确度的結果. 特别是当堆的尺寸比慢化长度大得不多时, 或者堆内存在着对慢化中子有強烈的吸收时. 在这些情况下必須应用多組計算法. 用双組和多組法都可以得到問題的閉合解析形式的解. 但当反应堆区域数很

多或能量组很多时,要求问题的解析形式解就变为非常繁难的工作,并且对实际应用极为不便,所以自然就转而采用其他更有效的反应堆近似计算方法。

湯姆遜 (A. Tompson)^[138] 在解临界質量問題上应用了极有效的逐步逼近法。这方法称为“源迭代法”,它类似克尔洛格 (O. Kellog) 方法^[113]。这方法使本征值問題变为逐次解柯西 (Коши) 問題。

用逐次逼近法求解反应堆的基本方程組可有各种方法,而上述多組方法就是它們之中最简单的一种。

下一个問題就是有效地求出扩散方程組的解。众所周知,用分析方法求解实际应用起来是很不方便的,所以就轉向采用能保証計算应有精确度的各种数值計算法。其中之一是扩散微分方程的因子分解法,系由阿斯 (Э. Айнс) 所提出的^[2],并在湯姆遜^[138]和符拉季米洛夫^[14]的工作中得到了发展。

用差分方程来代替微分方程可以有各种不同的方法,其中最方便和精确的是“連續計算法”。連續計算的概念首先是由吉洪諾夫 (А. Н. Тихонов) 和薩馬爾斯基 (А. А. Самарский)^[79]提出的。

对一維区域的差分方程的有效解可用差分因子分解法求得,这一方法由盖里范德 (И. М. Гельфанд) 和洛庫齐也夫斯基 (О. В. Локуциевский)^[28, 47] 以及克龙洛德 (А. С. Кронрод) (参看[20]) 和施塔尔克 (Штарк) (参看[101]) 各自独立的提出。二維差分扩散方程的解可用已經发展的很完善的綫性代数方法来进行,例如黎布曼 (Liebmann)、贊杰列 (Зейдель) 方法,“弛豫法”和其他方法 (参看[34, 49, 59, 116, 133, 134, 136])。

克尔迪斯 (М. В. Келдыш), 盖里范德和洛庫齐也夫斯基曾拟定了了解二維差分扩散方程的新方法,它建立在矩陣因子分解的概念上。这方法曾由巴宾柯 (К. И. Бабенко) 和欽佐夫 (Н. Н. Ченцов) 拟定于流体力学方程組上,他們也研究过这种方法的計算稳定性問題^[47]。这一方法也曾成功地用于解微分方程組的各种边值問題上。

解慢化方程的方法也引起了很大的注意,这就是經典的三角网形式的网络法。大家知道,在这种情况下要求解的全部区域用座标网络

区分为具有节点的单元,而这些节点位于座标綫相交的地方。

三角网对于次一能量間隔各点的未知函数說来可算是已經解出了,由于它特別簡單,所以在实际应用上是很方便的^[22,31,43,66,70,78]。

众所週知,按三角网計算只有当差分网络計算是稳定的条件下才能实现,因为这种条件可以保证从一个間隔到另一間隔計算时的循环誤差不会增长。这种条件給定了能量范围間隔大小与空間間隔大小之間关系的一种限制^[28,34,46,48,59,71,72,75,77,100,103,112,117]。

用差分法来近似解偏微分方程的問題,毫无疑问,会引起計算精确度和近似解向精确解收斂的問題。这些很有趣的重要的理論問題已成为很多作者的研究对象 [科兰特 (Р. Курант)、弗里特里赫斯 (К. Фридрихс) 和列維 (Г. Леви)^[43], 奥勃林 (Г. Обрин)、希曼 (М. Химан) 和卡普兰 (С. Каплан)^[95], 吉里捷布兰德 (Ф. Гильдебранд)^[106], 科尔兰茨 (Л. Коллатц)^[34], 拉迪然斯卡娅 (О. А. Ладыженская)^[46] 和其他人^[55,99,104,111,115,133]]。

快中子反应堆数值計算方法是沿着增加能組数目或拟制迁移方程更有效的解法的两个方向发展的。

在本著作中試图多少有系統的叙述反应堆的主要計算方法,这些方法一方面保证給定的精确度,另一方面,当应用在范围很广的問題中时,这些方法具有足够的灵活性和实用性。

第一章 基本方程

§ 1. 問題的提出

現在研究一个由活性区和反射层組成的核反应堆。

在反应堆活性区内进行着燃料物質的核裂变过程，产生着按某一能譜分布的中子。这些中子在以后叫做慢化中子源。在裂变过程中产生的动能很大的中子被慢化剂核散射。如果散射时中子-核系統的动能和总动能守恒，那末，散射就是弹性的；如果散射时有部分能量用于原子核的激发，那么，散射是非弹性的。

由于每次散射都伴随着中子能量的损失，所以中子在媒質中的运动速度就越来越小，因而中子就慢化了。

慢化过程伴随着中子的空間散射。因此，如果核反应堆具有有限的大小，那末，几次碰撞后，中子可能飞出堆外。

为了减小中子飞出活性区的几率，用反射层把活性区包围起来。这种情况下，由活性区飞出的部分中子碰到反射层，一部分中子重新回到活性区，而剩余的飞出反应堆。

当中子和裂变物質及慢化剂碰撞时，会出现一种中子被吸收的几率。在这种情况下，慢化过程在中子被吸收的能量处中断。

然而，在慢化过程中，大部分中子是可能到达能量 E_{rp} 以下的区域的，这里 E_{rp} 由慢化譜和热中子譜的通量相等的条件求得（較严格的 E_{rp} 定义可以在文献[33,109]及其他文献中找到）。在这区域内減速剂核的热运动是决定性的因素。如众所周知，核按速度的分布遵守麦克斯韦定律。

对热能中子的散射，伴随着吸收和洩漏。如果吸收和洩漏小，那末中子和媒質处于統計的平衡状态，并按麦克斯韦定律分布。这种情况下，低于能量 E_{rp} 以下的中子可以归併为一羣，它們具有按麦克斯韦譜平衡来平均的等效常数。这样的模型在計算中常常应用。