

第五次作业参考答案

1、两个体积、功率密度相同的超热堆 ($\Phi_{\text{超热}} = 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; $\sigma_{Xe}^{\text{超}} = 10 \text{ b}$) 和热中子反应堆 ($\Phi = 5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; $\sigma_{Xe}^{\text{热}} = 3 \times 10^5 \text{ b}$) 中平衡氙浓度之比值?

解: 由体积与功率密度相同, 可得 $\Sigma_f^{\text{超热}} \Phi_{\text{超热}} = \Sigma_f^{\text{热}} \Phi_{\text{热}}$, 忽略能谱对裂变产额的影响, 则两堆的 γ 相同, 因此:

$$\frac{N_{Xe}^{\text{超热}}(\infty)}{N_{Xe}^{\text{热}}(\infty)} = \frac{\gamma \Sigma_f^{\text{超热}} \Phi_{\text{超热}} / (\lambda_{Xe} + \sigma_{Xe}^{\text{超热}} \Phi_{\text{超热}})}{\gamma \Sigma_f^{\text{热}} \Phi_{\text{热}} / (\lambda_{Xe} + \sigma_{Xe}^{\text{热}} \Phi_{\text{热}})} = \frac{\lambda_{Xe} + \sigma_{Xe}^{\text{热}} \Phi_{\text{热}}}{\lambda_{Xe} + \sigma_{Xe}^{\text{超热}} \Phi_{\text{超热}}}$$

$$= \frac{2.09 \times 10^{-5} + 3 \times 10^{-23} \times 5 \times 10^{17}}{2.09 \times 10^{-5} + 1 \times 10^{-27} \times 1 \times 10^{19}} = \frac{2.09 + 1.5}{2.09 + 1 \times 10^{-3}} = 1.7169$$

修正: $\sigma_a^{\text{热}} = 3 \times 10^6 \text{ b}$

$$\text{则: } \frac{N_{Xe}^{\text{超热}}(\infty)}{N_{Xe}^{\text{热}}(\infty)} = \frac{2.09 + 15}{2.09 + 1 \times 10^{-3}} = 8.17$$

2、试求: 当反应堆的功率增加时, 碘和氙的平衡浓度之间关系如何变化?

解: 反应堆功率的增加可以等价于中子通量的增加。

假设中子通量由 ϕ_1 增加为 ϕ_2 , 则, 变化前后碘和氙的平衡浓度分别为:

$$\text{变化前: } N_I(\infty) = \frac{\gamma_I \Sigma_f \phi_1}{\lambda_I} \quad N_{Xe}(\infty) = \frac{(\gamma_I + \gamma_{Xe}) \Sigma_f \phi_1}{\lambda_{Xe} + \sigma_a^{Xe} \phi_1}$$

$$\text{变化后: } N_I(\infty) = \frac{\gamma_I \Sigma_f \phi_2}{\lambda_I} \quad N_{Xe}(\infty) = \frac{(\gamma_I + \gamma_{Xe}) \Sigma_f \phi_2}{\lambda_{Xe} + \sigma_a^{Xe} \phi_2}$$

两者之间的比值为:

$$\frac{N_I(\infty)}{N_{Xe}(\infty)} = \frac{\gamma_I \Sigma_f \phi_2}{\lambda_I} \cdot \frac{\lambda_{Xe} + \sigma_a^{Xe} \phi_2}{(\gamma_I + \gamma_{Xe}) \Sigma_f \phi_2} = \frac{\gamma_I (\lambda_{Xe} + \sigma_a^{Xe} \phi_2)}{\lambda_I (\gamma_I + \gamma_{Xe})}$$

即两者之间的比值会增加。

4、设在某动力反应堆中, 已知平均热中子通量密度为 $2.93 \times 10^{17} \text{ 中子}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 燃料的宏观裂变截面 $\Sigma_f^{UO_2} = 6.6 \text{ m}^{-1}$, 栅元中宏观吸收截面 $\Sigma_a^{\text{栅}} = 8.295 \text{ m}^{-1}$, 燃料与栅元的体积比 $V_{UO_2}/V_{\text{栅}} = 0.3155$, 试求碘-135, 氙-135, 钷-149 和钐-149 的平衡浓度和平衡氙中毒。

$$\gamma_I = 0.06386, \gamma_{Xe} = 0.00228, \gamma_{\text{Pm}} = 0.0113$$

解: 根据课本有: $\lambda_I = 2.87 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}, \lambda_{Xe} = 2.09 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}, \lambda_{\text{Pm}} = 3.58 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

$$\sigma_a^{Xe} = 3.0 \times 10^{-22} \text{ m}^2, \sigma_a^{Sm} = 4.08 \times 10^{-24} \text{ m}^2$$

$$\Sigma_f = \Sigma_f^{UO_2} \times V_{UO_2}/V_{\text{栅}} = 6.6 \times 0.3155 = 2.0823 \text{ m}^{-1}$$

根据各种核素的平衡浓度公式:

$$N_I(\infty) = \frac{\gamma_I \Sigma_f \phi}{\lambda_I} = \frac{0.06386 \times 2.082 \times 2.93 \times 10^{17}}{2.87 \times 10^{-5}} = 1.357 \times 10^{21} m^{-3}$$

$$N_{Xe}(\infty) = \frac{(\gamma_I + \gamma_{Xe}) \Sigma_f \phi}{\lambda_{Xe} + \sigma_a^{Xe} \phi} = \frac{(0.06386 + 0.00228) \times 2.082 \times 2.93 \times 10^{17}}{2.09 \times 10^{-5} + 3 \times 10^{-22} \times 2.93 \times 10^{17}} = 3.70 \times 10^{20} m^{-3}$$

$$N_{Pm}(\infty) = \frac{\gamma_{Pm} \Sigma_f \phi}{\lambda_{Pm}} = \frac{0.0113 \times 2.082 \times 2.93 \times 10^{17}}{3.58 \times 10^{-6}} = 1.93 \times 10^{21} m^{-3}$$

$$N_{Sm}(\infty) = \frac{\gamma_{Sm} \Sigma_f}{\sigma_a^{Sm}} = \frac{0.0113 \times 2.082}{4.080 \times 10^{-24}} = 5.77 \times 10^{21} m^{-3}$$

平衡氙中毒：

$$\begin{aligned} \Delta \rho_{Xe}(\infty) &= - \frac{(\gamma_I + \gamma_{Xe}) \Sigma_f}{\Sigma_a} \frac{\phi}{\lambda_{Xe} / \sigma_a^{Xe} + \phi} \\ &= - \frac{(0.06386 + 0.00228) \times 2.082}{8.295} \frac{2.93 \times 10^{17}}{0.697 \times 10^{17} + 2.93 \times 10^{17}} = -0.0134 \end{aligned}$$

7、设反应堆在平均热中子通量密度分别为 $1 \times 10^{15}, 1 \times 10^{14}, 1 \times 10^{13}, 1 \times 10^{12} cm^{-2} \cdot s^{-1}$ 下运行了足够长时间，并建立平衡氙中毒后突然停堆，设反应堆启动前的初始剩余反应性均为 6%，试画出四种情况下的碘坑曲线以及允许停堆时间，强迫停堆时间和碘坑时间。

解：假设 $\Sigma_f / \Sigma_a = 0.6$ ，并令停堆时刻 $t=0$ 。

停堆后，氙浓度的表达式为：

$$N_{Xe}(t) = \frac{\gamma \Sigma_f \Phi_0}{\sigma_a^{Xe} \Phi_0 + \lambda_{Xe}} e^{-\lambda_{Xe} t} + \frac{\gamma_I \Sigma_f \Phi_0}{\lambda_I - \lambda_{Xe}} [e^{-\lambda_{Xe} t} - e^{-\lambda_I t}]$$

$$\begin{aligned} \rho_{ex}(t) &= \rho_0 + \Delta \rho_{Xe}(t) \\ &= \rho_0 - \frac{\sigma_a^{Xe}}{\Sigma_a} \left[\frac{\gamma \Sigma_f \Phi_0}{\sigma_a^{Xe} \Phi_0 + \lambda_{Xe}} e^{-\lambda_{Xe} t} + \frac{\gamma_I \Sigma_f \Phi_0}{\lambda_I - \lambda_{Xe}} (e^{-\lambda_{Xe} t} - e^{-\lambda_I t}) \right], \text{ 其中 } \rho_0 = 0.06 \end{aligned}$$

$$\text{则 } \rho_{ex}(0) = \rho_0 + \Delta \rho_{Xe}(0) = \rho_0 + \Delta \rho_{Xe}(\infty) = \rho_0 - \frac{\gamma \Sigma_f}{\Sigma_a} \frac{\Phi_0}{\Phi_0 + \frac{\lambda_{Xe}}{\sigma_a^{Xe}}}$$

$$\text{取 } \gamma_I = 0.06386, \gamma_{Xe} = 0.00228, \lambda_{Xe} = 2.09 \times 10^{-5} s^{-1}, \sigma_a^{Xe} = 2.7 \times 10^{-22} m^2$$

则 $\lambda_{Xe} / \sigma_a^{Xe} = 0.756 \times 10^{-13} m^2$, $\gamma = \gamma_I + \gamma_{Xe} = 0.06614$ ，可以计算平衡氙中毒 $\Delta \rho_{Xe}(\infty)$ 分别为 0.0394、0.0369、0.0226 和 0.0046，则停堆时刻 $t=0$ 过剩剩余反应性为 $\rho_{ex}(0)$ 分别为 0.0206、0.0231、0.0374 和 0.0554。画图的时候应该体现这一点。

碘坑曲线见附录。

13、试比较在以铀-233、铀-235、钚-239 作为燃料的热中子反应堆中的平衡氙-135 和钐-149 的浓度(假设其它条件都相同)。

解：由书上表 7-2 可得：

$$U-233: \gamma_I=0.04884, \gamma_{Xe}=0.01363, \gamma=0.06247, \gamma_{Pm}=0.0066$$

$$U-235: \gamma_I=0.06386, \gamma_{Xe}=0.00228, \gamma=0.06614, \gamma_{Pm}=0.0113$$

$$Pu-239: \gamma_I=0.06100, \gamma_{Xe}=0.01087, \gamma=0.07187, \gamma_{Pm}=0.0119$$

在其他条件都相同的情况下(此处认为 Σ_f, ϕ 相同):

$$\text{由 } N_{Xe}(\infty) = (\gamma_I + \gamma_{Xe}) \Sigma_f \phi / (\lambda_{Xe} + \sigma_a^{Xe} \cdot \phi) \text{ 得: } N_{Xe, U-233}(\infty) < N_{Xe, U-235}(\infty) < N_{Xe, Pu-239}(\infty)$$

$$\text{由 } N_{Sm}(\infty) = \gamma_{Pm} \Sigma_f / \sigma_a^{Sm} \text{ 得: } N_{Sm, U-233}(\infty) < N_{Sm, U-235}(\infty) < N_{Sm, Pu-239}(\infty)$$

说明: 若是假定核子密度相同, 结果有所变化。

附录 1:第 7 题的碘坑曲线

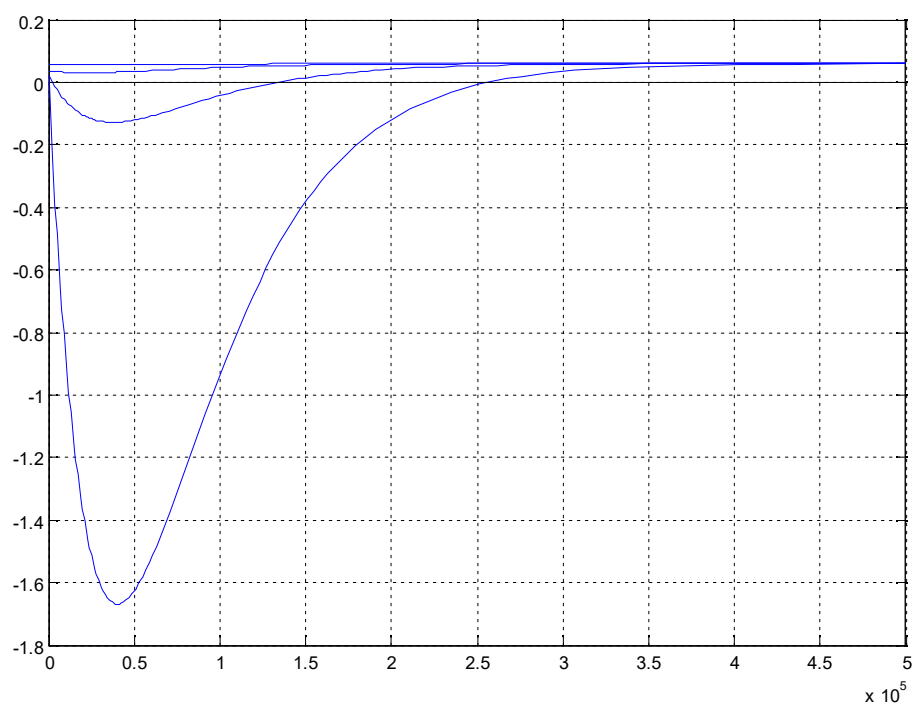


图 1 四种情况下的碘坑曲线

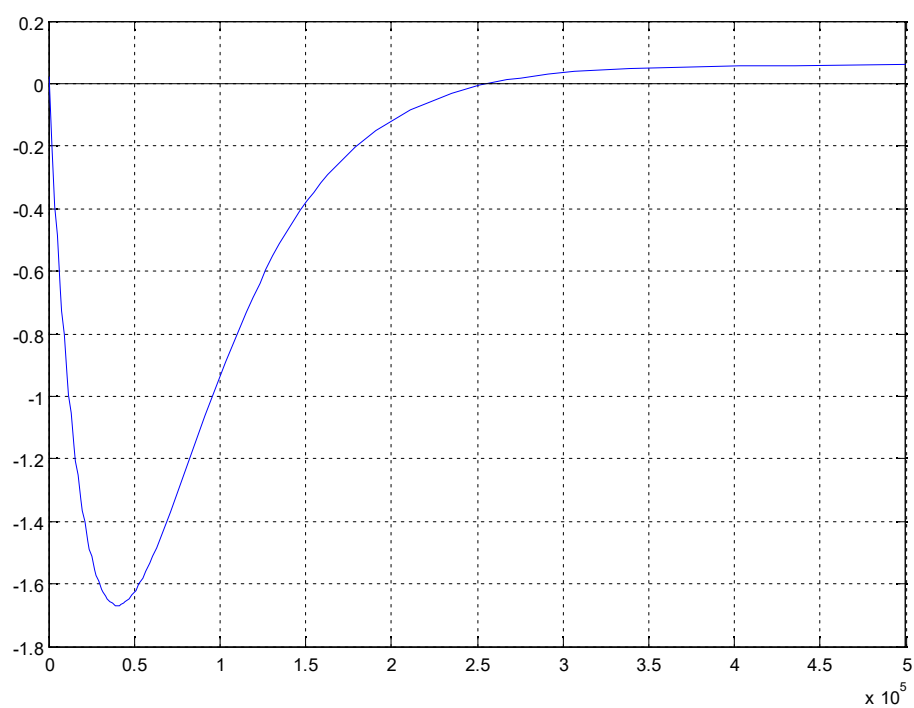


图 2 $\Phi = 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时的碘坑曲线

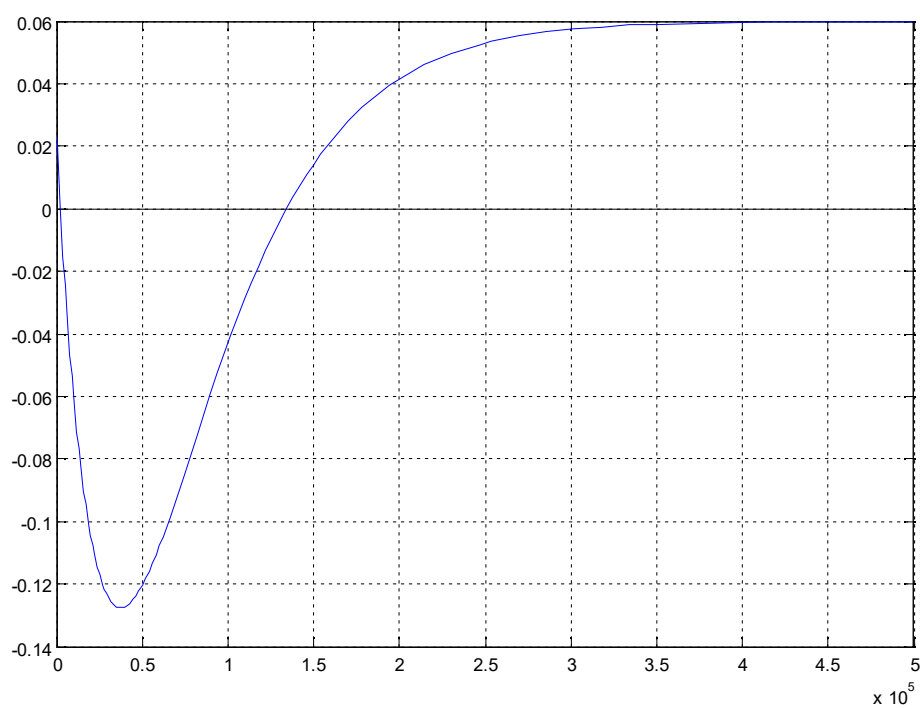


图 3 $\Phi = 1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时的碘坑曲线

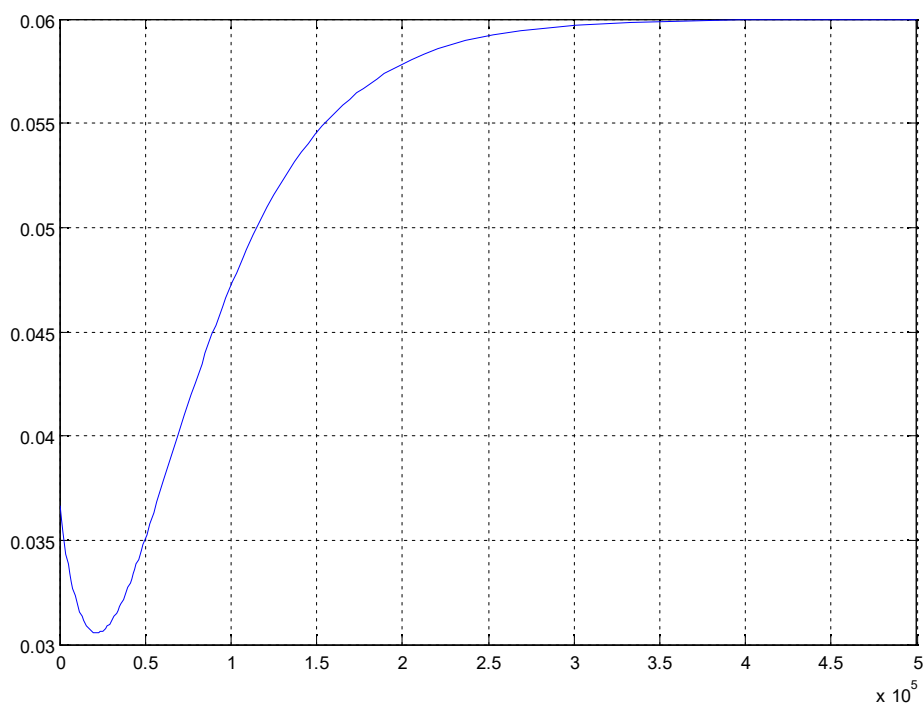


图 4 $\Phi = 1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时的碘坑曲线

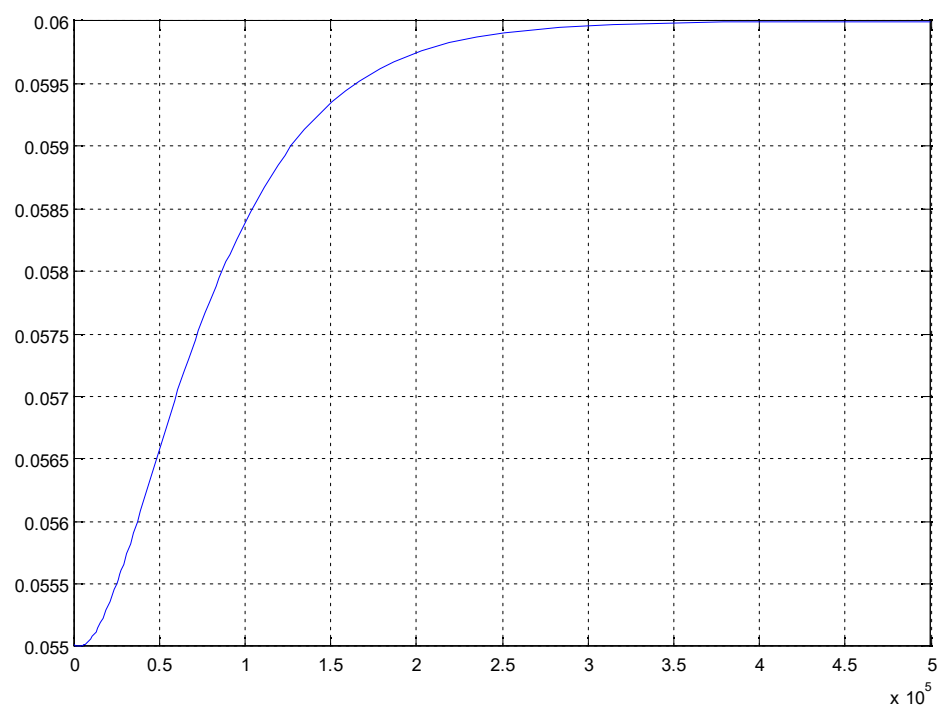


图 5 $\Phi = 1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时的碘坑曲线