

類 科：核子工程

科 目：核工原理

考試時間：2小時

座號：\_\_\_\_\_

※注意：(一)可以使用電子計算器。

(二)不必抄題，作答時請將試題題號及答案依照順序寫在試卷上，於本試題上作答者，不予計分。

一、一個樣品內最初僅含有活度為 1 Ci (居里) 的放射性元素  $X_1$  ( $t_{1/2} = 13.86$  days)，其並衰變成放射性元素  $X_2$  ( $t_{1/2} = 6.93$  days)。試求需要多少時間，該放射性元素  $X_2$  的活度將達到其最大值，又該最大活度的值 (以 Bq 的單位表示) 為何？(10 分)

二、假設 2 MeV 光子入射於鉛 ( $_{82}\text{Pb}^{208}$ ) 內的成對發生截面 (pair-production cross section  $\sigma_{pp}$ ) 為 1 b。依此，試估算 10 MeV 光子入射於鈾-238 內的成對發生截面值。(5 分)

三、提供數據如下：

cross section (b)	${}_1\text{D}^2$	${}_8\text{O}^{16}$
$\sigma_s$	4.7	4.2
$\sigma_a$	0.0005	0

重水 ( $\text{D}_2\text{O}$ ) 的密度為  $1.1 \text{ g/cm}^3$ ，亞佛加厥常數 (Avogadro number) 為  $0.602217 \times 10^{24} \text{ #/mole}$ ，原子質量單位 (amu) 為  $1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 。

假設在質心系統 (CM system) 中，D 和 O 皆與中子 (質量數為 1) 進行均向彈性散射 (isotropically and elastically scattered)，已知入射能量為  $E_0$  的中子與質量數為 A 的單一原子核 (single nucleus) 進行均向彈性散射的平均能量損失  $\overline{\Delta E}$  為

$$\overline{\Delta E} = \frac{1}{2}(1 - \alpha)E_0,$$

其中  $\alpha$  為碰撞參數 (collision parameter)，其對應的平均對數能減或停頓增值 (lethargy gain) 為

$$\xi = 1 + \frac{\alpha}{1 - \alpha} \ln \alpha.$$

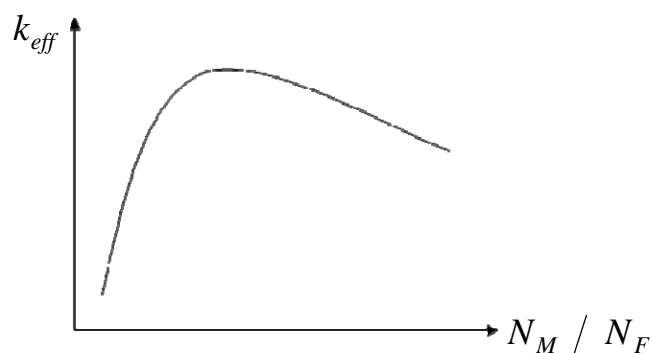
(一)試求  $\text{D}_2\text{O}$  的緩和比 (moderating (effectiveness) ratio) 以及減能本領 (moderation power or slowing down power)。(12 分)

(二)試求在  $\text{D}_2\text{O}$  緩和劑內，具有 2 MeV 的中子平均需要與  $\text{D}_2\text{O}$  要進行幾次的彈性散射才能減能至 0.0253 eV。(8 分)

(請接背面)

類 科：核子工程  
科 目：核工原理

- 四、取決於核反應器的爐心設計，由於緩和劑內任何的變化將導致其反應度 (reactivity coefficient,  $\alpha_T$ ) 可能為正亦可能為負。基本上，核反應器爐心內的有效增殖因數 (effective multiplication factor,  $k_{eff}$ ) 隨緩和劑 (例如  $H_2O$ ) 相對於燃料的原子密度比值 ( $N_M / N_F$ ) 的變化情形如附圖所示。對於一個核子工程師而言，為了安全設計與運轉核反應器，你希望核反應器爐心的  $k_{eff}$  隨  $N_H / N_F$  的變化情形應該落在那一區？並試解釋之。(10分)



- 五、一個強度為  $S_0$  neutrons/sec 的均向點中子源置於一個半徑為  $R$  的球中心，該球的介質為擴散緩和的非增植物質 (diffusing, moderating, non-multiplying medium) 所組成。試證來自中子源的中子在該球內被吸收的機率  $P_a$  為 (10分)

$$P_a = 1 - \frac{(R+d)}{L \sinh\left(\frac{R+d}{L}\right)}$$

其中， $\nabla^2$  對球體座標 (假設與角度無關) 的展開式為

$$\nabla^2 = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial}{\partial r} \right) = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r}$$

- 六、假設某一輕水式核反應器的熱中子利用因數 (thermal utilization,  $f$ ) 為 0.92，爐心初始的有效增殖因數為 1.0621，試問該引入濃度為多少 ppm 的硼，方可當移出所有的控制棒，該核反應器仍維持在臨界狀態 (即  $k_{eff} = 1.0000$ )。(20分)

提供的數據： 硼的原子量  $M_B = 10.8$  g/mole；

水的分子量  $M_{H_2O} = 18$  g/mole；

在熱中子能區， $\bar{\sigma}_a^B = 759$  b， $\bar{\sigma}_a^{H_2O} = 0.66$  b。

- 七、解釋名詞：

(一) Čerenkov radiation (5分)

(二) specific ionization (5分)

(三) thermal disadvantage factor (5分)

(四) common control rod methods and materials used in commercial BWR and PWR (10分)