

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、請繪出下列衰變程序或核反應釋出粒子典型能譜：（每小題 3 分，共 15 分）

(一) Alpha-Decay

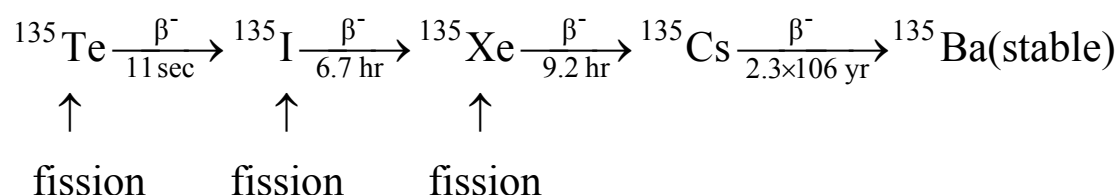
(二) Beta-Decay

(三) Prompts Fission Neutrons

(四) K-Capture

(五) Delayed Fission Neutrons

二、部分核分裂產物會強烈吸收中子，被稱為中子毒物，其中最重要的是Xe-135，其中子吸收截面高達  $2.65 \times 10^6$  barn。Xe-135 同位素本身為分裂產物，同時亦會因I-135 的貝他衰變而產生；其相關衰變過程如下所示：



請寫出(一)I-135 與 Xe-135 的平衡微分方程式。（6 分）(二)反應器正常運轉時 I-135 與 Xe-135 的平衡濃度。（4 分）(三)當反應器功率於瞬間增加與降低時，Xe-135 濃度的暫態反應（定性趨勢即可）。（5 分）

三、請寫出 2 群中子擴散微分方程式（2 Group Diffusion Equations），推導 2 群臨界方程式（2 Group Criticality Equation），並於前述臨界方程式中列出中子於減速過程中之非逃逸機率（Non-leakage Probability）。（請詳述推導過程及清楚定義方程式中的符號。）（20 分）

四、請用下表所列之數據說明 U-233、U-235 與 U-238 是 fissile，還是 fissionable nuclide？如果是 fissionable nuclide，請計算中子會引發核分裂反應的低限值。（中子質量為 1.008665 amu，1 amu 相當於 931 MeV 的能量。）（15 分）

| 核種    | 質量(amu)    | 臨界能量     |
|-------|------------|----------|
| U-233 | 233.039628 | 5.50 MeV |
| U-234 | 234.040945 | 4.60 MeV |
| U-235 | 235.043923 | 5.75 MeV |
| U-236 | 236.045562 | 5.3 MeV  |
| U-238 | 238.050782 | 5.85 MeV |
| U-239 | 239.054288 | 5.50MeV  |

（請接第二頁）

類 科：核子工程  
科 目：核工原理

## 五、簡答題：

- (一)何謂滋生 (breeding)？滋生反應器最主要的特質為何？其與一般的反應器最顯著的差別為何？(5 分)  
(二)何謂延遲中子 (delayed neutron)？其存在對電廠穩定運轉的重要性為何？(5 分)

- 六、一個裸露之正方體熱中子反應器 (bare thermal reactor)，爐心為均勻混合的U-235 與石墨，兩種材料的原子密度比 (ratio of atom densities) 為 $N_F/N_M=2.0 \times 10^{-5}$ ，燃料溫度為 $20^\circ\text{C}$ 。請利用modified one-group theory計算：(一)臨界尺寸 (the critical dimension)；(7 分)(二)臨界所需之U-235 質量；(3 分)(三)當反應器功率為 1 MW時，最大熱中子通率；(5 分)(四)爐心內產生中子的洩漏機率；(5 分)(五)如果將該反應器浸入大型的水槽中，請重新計算臨界尺寸。(5 分)(U-235 的原子量為 235.043923 g/g-mole。)

各類型緩和劑於 $20^\circ\text{C}$ 下之重要物理參數值

| Moderator        | Density<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | $\bar{D}$ , cm | $\bar{\Sigma}_a$ , cm <sup>-1</sup> | $L_T^2$ , cm <sup>2</sup> | $L_T$ , cm |
|------------------|---------------------------------|----------------|-------------------------------------|---------------------------|------------|
| H <sub>2</sub> O | 1.00                            | 0.16           | 0.0197                              | 8.1                       | 2.85       |
| D <sub>2</sub> O | 1.10                            | 0.87           | $9.3 \times 10^{-5}$                | $9.4 \times 10^3$         | 97         |
| Be               | 1.85                            | 0.50           | $1.04 \times 10^{-3}$               | 480                       | 21         |
| Graphite         | 1.60                            | 0.84           | $2.4 \times 10^{-4}$                | 3500                      | 59         |

Fast-Group Constants for Various Moderators

| Moderator        | $D_1$ , cm | $\Sigma_1$ , cm <sup>-1</sup> | $\tau_T$ , cm <sup>2</sup> |
|------------------|------------|-------------------------------|----------------------------|
| H <sub>2</sub> O | 1.13       | 0.0419                        | ~27                        |
| D <sub>2</sub> O | 1.29       | 0.00985                       | 131                        |
| Be               | 0.562      | 0.00551                       | 102                        |
| Graphite         | 1.016      | 0.00276                       | 368                        |

Value of  $\eta_T$  of Various Fissile

| T, C | U-233 | U-235 | Pu-239 |
|------|-------|-------|--------|
| 20   | 2.284 | 2.065 | 2.035  |
| 100  | 2.288 | 2.063 | 1.998  |
| 200  | 2.291 | 2.060 | 1.947  |
| 400  | 2.292 | 2.050 | 1.860  |
| 600  | 2.292 | 2.042 | 1.811  |
| 800  | 2.292 | 2.037 | 1.785  |
| 1000 | 2.292 | 2.033 | 1.770  |

Thermal (0.0253 eV) Data for the Fissile Nuclides

|        | $\sigma_a$ (b) | $\sigma_f$ (b) | $\alpha$ | $\eta$ | $\nu$ |
|--------|----------------|----------------|----------|--------|-------|
| U-233  | 577.8          | 531.1          | 0.0899   | 2.287  | 2.492 |
| U-235  | 680.8          | 582.2          | 0.169    | 2.068  | 2.418 |
| Pu-239 | 1011.3         | 742.5          | 0.362    | 2.108  | 2.871 |
| Pu-241 | 1377.0         | 1009.0         | 0.365    | 2.145  | 2.917 |

(請接第三頁)

類 科：核子工程  
科 目：核工原理

Non-1/ $\nu$  Factors of Various Nuclides

|      | U-233          |                | U-235          |                | U-238          | Pu-239         |                |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| T, C | g <sub>a</sub> | g <sub>f</sub> | g <sub>a</sub> | g <sub>f</sub> | g <sub>a</sub> | g <sub>a</sub> | g <sub>f</sub> |
| 20   | 0.9983         | 1.0003         | 0.9780         | 0.9759         | 1.0017         | 1.0723         | 1.0487         |
| 100  | 0.9972         | 1.0011         | 0.9610         | 0.9581         | 1.0031         | 1.1611         | 1.1150         |
| 200  | 0.9973         | 1.0025         | 0.9457         | 0.9411         | 1.0049         | 1.3388         | 1.2528         |
| 400  | 1.0010         | 1.0068         | 0.9294         | 0.9208         | 1.0085         | 1.8905         | 1.6904         |
| 600  | 1.0072         | 1.0128         | 0.9229         | 0.9108         | 1.0122         | 2.5321         | 2.2037         |
| 800  | 1.0146         | 1.0201         | 0.9182         | 0.9036         | 1.0159         | 3.1006         | 2.6595         |
| 1000 | 1.0226         | 1.0284         | 0.9118         | 0.8956         | 1.0198         | 3.5353         | 3.0079         |

Useful Equations

$$D = \frac{\lambda_{tr}}{3}, \quad \lambda_{tr} = \frac{1}{\Sigma_{tr}} = \frac{1}{\Sigma_s(1-\bar{\mu})}, \quad \bar{\mu} = \frac{2}{3A}$$

$$L^2 = \frac{D}{\Sigma}, \quad L_T^2 = \frac{\bar{D}}{\bar{\Sigma}}, \quad \tau_T = \frac{D_1}{\Sigma_1}, \quad M_T^2 = (L_T^2 + \tau_T)$$

$$Z = \frac{\bar{\Sigma}_{aF}}{\bar{\Sigma}_{aM}} = \frac{N_F \bar{\sigma}_{aF}}{N_M \bar{\sigma}_{aM}}, \quad L_T^2 = (1-f)L_{TM}^2$$

Extrapolation Distance:  $d = 0.71 \lambda_{tr}$

$$\frac{\phi_o}{\phi_T} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \left( \frac{T_o}{T} \right)^{1/2}, \quad T_o = 293.61^\circ K$$

$$\bar{\Sigma}_a = \frac{\sqrt{\pi}}{2} g_a(T) \Sigma_a(E_o) \left( \frac{T_o}{T} \right)^{1/2}, \quad T_o = 293.61^\circ K$$

$$\delta = 7.2 + 0.10(M_T^2 - 40.0), \text{ for water}$$

Reflector Saving:  $\delta \cong \frac{\bar{D}_c}{D_r} L_{Tr}, \text{ for reflector other than water}$

Important Constant:  $E_R = 200 \text{ MeV}$   
 $1 \text{ MeV} = 1.602 \times 10^{-13} \text{ Joule}$

Bucklings and Fluxes for Critical Bare Reactors

| Geometry          | Dimensions            | Buckling                                                                                                                   | Flux                                                                                                                                    | A                         | $\Omega$ |
|-------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------|
| Infinite Slab     | Thickness, a          | $\left( \frac{\pi}{\tilde{a}} \right)^2$                                                                                   | $A \cos \left( \frac{\pi x}{\tilde{a}} \right)$                                                                                         | $1.57P/aE_R \Sigma_f$     | 1.57     |
| Rectangular       | $a \times b \times c$ | $\left( \frac{\pi}{\tilde{a}} \right)^2 + \left( \frac{\pi}{\tilde{b}} \right)^2 + \left( \frac{\pi}{\tilde{c}} \right)^2$ | $A \cos \left( \frac{\pi x}{\tilde{a}} \right) \cos \left( \frac{\pi y}{\tilde{b}} \right) \cos \left( \frac{\pi z}{\tilde{c}} \right)$ | $3.87P/VE_R \Sigma_f$     | 3.87     |
| Infinite Cylinder | Radius R              | $\left( \frac{2.405}{\tilde{R}} \right)^2$                                                                                 | $A J_0 \left( \frac{2.405r}{\tilde{R}} \right)$                                                                                         | $0.738P/R^2 E_R \Sigma_f$ | 2.32     |
| Finite Cylinder   | Radius R<br>Height H  | $\left( \frac{2.405}{\tilde{R}} \right)^2 + \left( \frac{\pi}{\tilde{H}} \right)^2$                                        | $A J_0 \left( \frac{2.405r}{\tilde{R}} \right) \cos \left( \frac{\pi z}{\tilde{H}} \right)$                                             | $3.63P/VE_R \Sigma_f$     | 3.63     |
| Sphere            | Radius R              | $\left( \frac{\pi}{\tilde{R}} \right)^2$                                                                                   | $A \frac{1}{r} \sin \left( \frac{\pi r}{\tilde{R}} \right)$                                                                             | $0.25P/R^2 E_R \Sigma_f$  | 3.29     |