

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

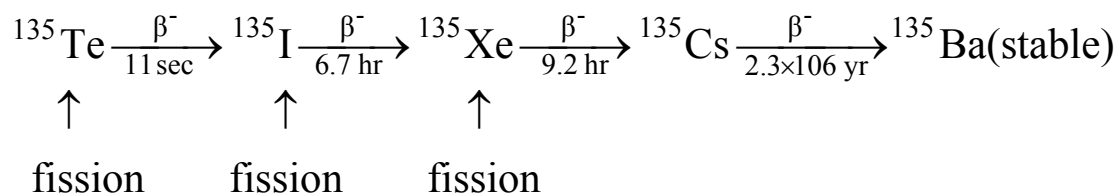
(二) Beta-Decay

(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 (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/ν Factors of Various Nuclides

T, C	U-233		U-235		U-238	Pu-239	
	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

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

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

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

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	Ω
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 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