第一部分：基本概念和简单计算题（６０分）

１．核反应率密度的计算公式是 R＝________________________________。(1 分)

答案：ΣΦ。

２．计算某能量范围内的中子核反应平均截面时，计算公式是：$\bar{\Sigma}$＝______________，即用______________作为权重函数，目的是使_________等效。（３分）

答案：$\bar{\Sigma}=\dfrac{\int_{\Delta E}\Sigma(E)\Phi(E)dE}{\int_{\Delta E}\Phi(E)dE}$；中子通量密度（或中子能谱）；反应率。

３．热中子反应堆内的中子能谱大致可以分为三段，高能段可以用________谱来近似；低能段可以用_________谱来近似；中能段大致上是_______谱，但在_________处会有所偏离。（４分）

答案：裂变；麦克斯韦；费米（或１／Ｅ）；共振能量。

４．当温度升高时共振峰展宽、变矮的现象称为__________效应。 （1 分）

答案：多普勒。

５．有效共振积分采用的 2 种近似为：________近似和________ 近似。(2 分）

答案：宽共振（或ＩＭＮＲ）；窄共振（或ＮＲ）。

６．描述慢化剂性能的两个常用参数是慢化能力和慢化比。慢化能力的定义是_________，慢化比的定义是_________,。常用的三种慢化剂（轻水，重水，石墨）中，______的慢化能力最强，______的慢化比最大。 （４分）

答案：$\xi\Sigma_s$；$\xi\Sigma_s/\Sigma_a$；轻水；重水。

７．反应堆的临界条件是___________．热中子反应堆的六因子公式是_________。(2 分)

答案：$k_{eff}=1$；$k_{eff}=\varepsilon pf\eta\Lambda_s\Lambda_d$。

８．菲克定律在下列哪些情况下一定不适用？____________ （３分）

（1）强吸收介质中（２）靠近自由表面处（３）两种不同介质的交界面上

答案：(1) (2) 这一条不要

８．菲克定律在下列哪些情况下一定不适用？____________ （３分）

（1）强吸收介质中（２）靠近自由表面处（３）两种不同介质的交界面上

答案：(1) (2) 这一条不要

９．天然铀中 99%以上是铀 238，那么用纯铀 238 可以做成临界反应堆（热堆或快堆）吗？为什么？（8 分）

答案：纯铀 238 不可以做成热堆，因为铀 238 的裂变阈能远高于热中子能量；纯铀 238 也不可以做成快堆，因为铀２３８对快中子的非弹性散射截面远大于裂变截面，快中子易被慢化到裂变阈能以下。

１０．一公斤铀 238 在宇宙射线中子作用下每秒可以发生约 6.3 次裂变，试估计宇宙射线中的中子通量密度水平(宇宙射线中子的能量大约是 5 Mev，铀 238 对 5Mev 中子的裂变截面约为 0.5 b .)（8 分）

答案：裂变率 $R_f=\Sigma_f\Phi V=N\sigma_f\Phi V=N_{总}\sigma_f\Phi=\dfrac{m}{A_8}N_A\sigma_f\Phi$，则通量为

$$\Phi=\frac{R_f A_1}{mN_A\sigma_f}=\frac{6.3\times 238}{1000\times 6.022\times 10^{23}\times 0.5\times 10^{-28}}=4.98\times 10^4 m^{-2}s^{-1}。$$

１１．我国最近在新疆发现了储量为数万吨的特大铀矿（假设为 5 万吨）。根据国家规划，到 2020 年时，我国核发电能力将达到 4 千万 KWe, 假设这些核电机组的热电转换效率都是 33.3%,每年发电 300 天。试估计每年需要多少天然铀？上述大铀矿能为这些核电机组供应燃料多少年？（为简单起见,不考虑各种工艺过程中铀 235 的损失,也不考虑铀 238 转化成的钚 239 对发电的贡献)。已知铀 235 的俘获-裂变比为 0.17，1.05 克 U235 核完全裂变可释放 1 兆瓦日的能量。 （8 分）

答案：每年需要 U235 为

$$\frac{4\times 10^4 MW}{33.3\%}\times 300d\times 1.05g/MWd\times(1+0.17)=4.427\times 10^7 g=44.27t,$$

故每年需天然铀为 $\frac{44.27}{0.714\%}=6200t$,

新发现的大铀矿可供应燃料时间为 $\frac{5\times 10^4}{6200}=8.06year$。

１２．A neutron of energy 50kev collides with an atom of C-12, which is at rest. Calculate:

(a) The minimum neutron energy after impact.

(b) The average neutron energy after impact.（8 分）

答案：(a) $E_{\min}=\alpha E=\left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2 E=\frac{11^2}{13^2}\times 50=35.80keV$;

(b) $\overline{E}=\frac{1+\alpha}{2}E=\frac{A^2+1}{(A+1)^2}E=\frac{12^2+1}{13^2}\times 50=42.90keV$.（因为散射后中子能量在 E 到 αE 之间均匀分布，故平均值是最大值与最小值之和的一半）

１3．某平板介质的厚度 a=200cm （含外推距离），平板内的中子通量分布为 $\phi(x)=\phi_0\cos(\frac{\pi x}{a})$，坐标原点在平板中央。其中 $\phi_0=10^4 n/cm^2\cdot s$ ， $D=0.8cm$，在 x＝－７５ｃｍ处，

$\phi=$________, $J^+=$________, $J^-=$________, $J=$________. （8 分）

答案：$\phi=3.827\times 10^3 n/(cm^2\cdot s)$，$J^+=898.66n/(cm^2\cdot s)$，$J^-=1014.76n/(cm^2\cdot s)$，

$J=-116.10n/(cm^2\cdot s)$。

第二部分：计算分析证明题（40 分）

（第 1,2 题中任选一题，第 3 题必做。每题 20 分）

１． Neutron sources are distributed in a infinite slab of extrapolated thickness a, according to the relation $s(x)=S(x+\frac{a}{2})$, where S is a constant and x is measured from the center of the slab. Show that the flux within the slab is given by

$$\phi(x)=\frac{S\,a}{\Sigma_a}\left[\frac{x}{a}+\frac{1}{2}-\frac{sh\left(\frac{x+a/2}{L}\right)}{sh\left(\frac{a}{L}\right)}\right]$$

证明：平板中的中子扩散方程为 $\frac{d^2\phi(x)}{dx^2}-\frac{\phi(x)}{L^2}+\frac{s(x)}{D}=0$，

边界条件为：(i) $\phi(a/2)=0$ ；(ii) $\phi(-a/2)=0$.

扩散方程的解可分为特解和齐次方程的解两部分，
由于源为线性分布，所产生的特解应是简单函数，其二阶导数为零，故可定出

特解为：$\phi(x)=\frac{s(x)L^2}{D}=\frac{s(x)}{\Sigma_a}=\frac{S}{\Sigma_a}(x+a/2)$，

齐次方程解为：$\phi(x)=Ae^{-x/L}+Ce^{x/L}$，

齐次方程解为：$\phi(x)=Ae^{-x/L}+Ce^{x/L}$，

故原扩散方程的解为：$\phi(x)=Ae^{-x/L}+Ce^{x/L}+\frac{S}{\Sigma_a}(x+a/2)$，

根据边界条件得 $\begin{cases}Ae^{-a/2L}+Ce^{a/2L}+\frac{Sa}{\Sigma_a}=0\\ Ae^{a/2L}+Ce^{-a/2L}=0\end{cases}$，解得 $\begin{cases}A=\frac{Sa}{\Sigma_a}\frac{e^{-a/2L}}{e^{a/L}-e^{-a/L}}\\ C=-\frac{Sa}{\Sigma_a}\frac{e^{a/2L}}{e^{a/L}-e^{-a/L}}\end{cases}$，

则 $\phi(x)=\frac{Sa}{\Sigma_a}\left[\frac{x}{a}+\frac{1}{2}-\frac{e^{(a/2+x)/L}-e^{(-a/2-x)/L}}{e^{a/L}-e^{-a/L}}\right]=\frac{Sa}{\Sigma_a}\left[\frac{x}{a}+\frac{1}{2}-\frac{sh(\frac{x+a/2}{L})}{sh(\frac{a}{L})}\right]$。

2. 在一个中子通量密度 ϕ 为常数的通量场中，放入一块厚度为2d的无限大平板，该板由弱吸收材料组成。求板内的通量密度分布和通量分布不均匀系数（即最大通量与平均通量之比）。

解：扩散方程为 $\frac{d^2\phi(x)}{dx^2}-\frac{\phi(x)}{L^2}=0\quad |x|\le d$，

边界条件为：(i) $J(0)=0$；(ii) $\phi(\pm d)=\phi$，

扩散方程解为 $\phi(x)=Ach(x/L)+Csh(x/L)$，

由边界条件(i)，$C=0$，

由边界条件(ii)，$Ach(d/L)=\phi$，$A=\dfrac{\phi}{ch(d/L)}$，

则板内通量密度分布为$\phi(x)=\dfrac{ch(x/L)}{ch(d/L)}\phi$，

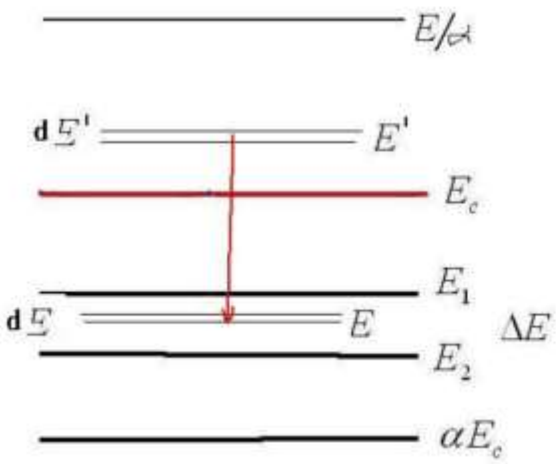
板内平均通量为$\bar{\phi}=\dfrac{1}{d}\int_0^d\phi(x)dx=\dfrac{\phi L}{dch(d/L)}sh(x/L)\Big|_0^d=\dfrac{\phi L}{d}th(d/L)$，最大通量$\phi_{\max}=\phi$，

通量分布不均匀系数为$\dfrac{\phi_{\max}}{\bar{\phi}}=\dfrac{d}{Lth(d/L)}$，

3．设中子在 A>1 的弱吸收介质内慢化时中子慢化能谱为费米谱，　即$\phi(E)=\dfrac{C}{E}$（C 为常数）

试证明：每秒每立方厘米从分界能E_c（分界能以上为费米谱）以上的能区散射到分界能以下某能区ΔE内的中子数，为$\dfrac{C\Sigma_s}{(1-\alpha)}\left(\dfrac{\Delta E}{E_c}-\alpha\ln\dfrac{E_1}{E_2}\right)$

（$\Delta E=E_1-E_2$，$E_c>E_1>E_2>\alpha E_c$）



证明：如图所示，每秒每立方厘米从分界能E_c以上的微能区dE'散射到分界能以下ΔE中的微能区dE内的中子数为

$$\Sigma_s\phi(E')dE'f(E'\to E)dE=\Sigma_s\frac{C}{E'}dE'\frac{dE}{E'(1-\alpha)}$$

每秒每立方厘米从分界能E_c以上的能区散射到ΔE内的中子数为

$$\int_{E_2}^{E_1}dE\int_{E_c}^{E/\alpha}\Sigma_s\frac{C}{E'}\frac{1}{(1-\alpha)E'}dE'=\frac{C\Sigma_s}{1-\alpha}\int_{E_2}^{E_1}dE\int_{E_c}^{E/\alpha}\frac{1}{E'^2}dE'$$

$$=\frac{C\Sigma_s}{1-\alpha}\int_{E_2}^{E_1}(\frac{1}{E_c}-\frac{\alpha}{E})dE=\frac{C\Sigma_s}{1-\alpha}(\frac{\Delta E}{E_c}-\alpha\ln\frac{E_1}{E_2})$$

证毕