

中山大学

2018 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

科目代码: 893

科目名称: 反应堆物理

考试时间: 2017 年 12 月 24 日 下午

考生须知

全部答案一律写在答题纸上, 答在试题纸上的不计分! 答题要写清题号, 不必抄题。

(共 44 题, 总分 150 分)

一、填空题 (10 题, 每题 2 分, 共 20 分)

1. 平均自由程的定义为_____。
2. 燃料核每吸收一个中子后平均放出的中子数称为有效裂变中子数 η , 其与俘获裂变比 α , 以及燃料核每次裂变的中子产额 ν 之间有_____关系, 对 ^{235}U , 当入射中子能量为 100eV 时, $\alpha=0.52$, 计算此时的 η =_____。
3. 中子和原子核相互作用时, 由于靶核的热运动随温度的增加而增强, 所有共振峰的宽度将随着温度的上升而增加, 同时峰值截面也逐渐减小, 这一现象称为_____。
4. 反应堆物理分析中, 通常把某个分界能量 E_c 以下的中子称为热中子, 对于压水堆, 通常取_____, 且由于热中子能谱的_____, 热中子的平均能量和最概然能量都比介质原子核的平均能量和最概然能量高。
5. 裸堆单群近似的“临界条件”为_____。
6. 对于大多数反应堆, 在高中子区域 (如 $E>1\text{MeV}$ 以上), 其中子能谱的分布_____, 在中能区域_____, 在热中子区域_____。
7. 平衡氙浓度引起的反应性变化值称为平衡氙中毒, 在低功率或低的热中子通量密度下, 平衡氙中毒_____, 在高的热中子通量密度下运行的反应堆中, 可认为平衡氙中毒只与_____有关。
8. 反应堆两次停堆换料之间的时间间隔称为一个换料周期, 目前世界上大多数压水堆核电厂都取_____为一个换料周期, 有的采用 2 个月或更长换料周期。
9. 在典型的热中子堆中, 堆芯内快中子通量密度要比热中子通量密度大得多, 前者一般是后者的_____倍。
10. 堆内中子通量密度增长一倍所需的时间, 称为“倍增周期”, 启堆时须严格限制棒的提升速度和总量, 以保证不致周期过小, 一般都将倍增周期限制在_____以上。

二、选择题 (10 题, 每题 2 分, 共 20 分)

11. 在反应堆内, 中子与原子核的相互作用方式主要有: 势散射、直接相互作用和复合核的形成, 其中_____是中子与原子核相互作用的最重要方式。
A. 势散射 B. 直接相互作用 C. 复合核的形成
12. 复合核可以通过分裂成两个较轻的核的方式而衰变, 这一过程称为核裂变, 简称_____反应。
A. (n,p) B. (n,α) C. (n,γ) D. (n,f)
13. 反应一个中子与单位体积内所有原子核发生核反应的平均概率大小的物理量为_____。

考试完毕, 试题随答题纸一起交回。

A. 宏观截面 B. 微观截面 C. 俘获概率 D. 平均自由程

14. 中子通量密度的大小反映堆芯内核反应率的大小, 因此也反映出堆的功率水平, 在热中子动力堆内, 热中子通量密度的数量级一般约为_____中子/(cm²·s)。

A. $10^{11} \sim 10^{13}$ B. $10^{13} \sim 10^{15}$ C. $10^7 \sim 10^{10}$ D. $10^{15} \sim 10^{17}$

15. 反应堆的临界大小取决于反应堆的材料组成与几何形状, 在体积形同的所有几何形状中, _____形状反应堆的中子泄漏最小。

A. 方形 B. 圆柱形 C. 球形 D. 板状

16. 为提高反应堆总的功率输出, 要采取措施将堆内功率分布展平, 其中一个重要措施是芯部分区布置, 将高富集度的燃料装在_____。

A. 外区 B. 中间区 C. 中心区 D. 上下端部

17. 在反应堆的运行型, 核燃料中易裂变同位素不断被消耗, 根据粗略估计, 一个电功率为 1000MW 的核电厂每天大约要消耗_____左右的 ²³⁵U。

A. 1kg B. 2kg C. 3kg D. 4kg

18. 在反应堆中, ¹³⁵Xe 是所有裂变产物中最重要的一种同位素, 在_____中, 必须认真考虑 ¹³⁵Xe 中毒所带来的影响。

A. 快中子堆 B. 热中子堆 C. 中能中子堆 D. 各种反应堆

19. 在核燃料转换过程中常使用转换比 CR 的概念, 对于增殖堆, CR_____1?

A. $\geq$ B. $\leq$ C. $>$ D. $<$ E. $=$

20. 硼浓度对堆芯反应性的补偿效率的度量用硼微分价值表示, 硼微分价值总是_____, 其大小(绝对值)一般随着硼浓度的增加, 冷却剂温度的升高和燃料的增加而_____。

A. 正值, 增大 B. 正值, 减少 C. 负值, 增大 D. 负值, 减小

三、判断题(10 题, 每题 2 分, 共 20 分)

21. 一些核素在各种能量的中子作用下均能发生裂变, 并且在低能中子作用下发生裂变的可能性大, 通常把它们称为易裂变同位素, 如: ²³⁵U, ²³⁹Pu, ²³²Th 和 ²⁴⁰Pu。

22. 燃料核的辐射俘获截面随中子能量变化曲线上有共振现象, 通常把高能区的共振称为可分辨共振, 而将中低能区称为不可分辨共振区。

23. 裂变反应时, 约 90%的中子是在裂变的瞬间(约 10^{-14} s)发射出来的, 把这些中子叫做瞬发中子, 还有约 10%的中子是在裂变碎片衰变过程中发射出来的, 把这些中子叫缓发中子。

24. 裂变中子具有相当高的能量, 在系统中与原子核发生连续的弹性和非弹性碰撞, 使其能量逐渐降低到引起下一次裂变的平均能量。通常把中子由于散射碰撞而降低速度的过程称为慢化过程。

25. 由于空间自屏效应, 在燃料和慢化剂核子数比值相同的条件下, 均匀结构使得燃料吸收热中子的能力下降, 即使热中子利用系数减小, 这是均匀堆的主要缺点。

26. 堆芯燃料温度升高时, 其有效增殖系数和反应性变小, 即反应性效应总是负的。

27. 负温度系数对反应堆的调节和运行安全具有重要意义, 其中燃料温度系数属于瞬发温度系数, 慢化剂温度系数属于缓发温度系数, 它们都是负温度系数。

28. 考虑到控制棒的相互干涉效应, 通常在设计堆芯时, 应使控制棒的间距小于热中子扩散长度。

29. 可燃毒物在堆芯中可以采用均匀或非均匀布置, 出于对整个堆芯寿期内的有效增殖系数 κ 的影响而言, 可燃毒物非均匀布置是更为有利的。

30. 反应堆周期是指中子密度按照指数规律变化 e 倍所需的时间, 其数值恒为正值。

四、简答题(6 题, 每题 5 分, 共 30 分)

31. 在反应堆临界理论中, 要求研究哪些问题?
32. 包围在反应堆芯部外面的反射层有什么作用?
33. 从反应堆卸下一批燃料中, 每个燃料组件燃烧深度的平均值称为平均卸料燃耗深度, 是动力反应堆设计的重要经济性指标。请指出提高平均卸料燃耗深度有哪些措施?
34. 列举目前反应堆常用的反应性控制方式及主要控制目的。
35. 简述点堆模型的概念及其适用范围。
36. 列出现在压水堆常用的四种非均匀分区换料方案并简述燃料组件排列方式。

五、画图解答 (4 题, 每题 5 分, 共 20 分)

37. 画出压水反应堆铀水栅格增殖因数与 V_{H_2O}/V_{UO_2} 的关系曲线, 给出 $T=293$ 和 $T=573K$ 的曲线, 并结合曲线说明从安全角度考虑, 实际压水反应堆设计和运行时, 栅格的 V_{H_2O}/V_{UO_2} 值应如何选取。
38. 某天然铀反应堆的热中子寿命为 $10^{-3}s$, 假定突然引入的正反应性等于 0.0025, 试绘出单组缓发中子情况下中子密度随时间的变化曲线。
39. 画图说明典型控制棒的积分价值曲线和微分价值曲线随控制棒组高度的变化。
40. 以停堆前后, ^{135}Xe 浓度和剩余反应性随时间的变化曲线说明“碘坑”现象和碘坑时间 t_I 。

六、计算题 (4 题, 每题 10 分, 共 40 分)

41. 某压水堆采用 UO_2 作燃料, 其富集度为 2.43% (质量), 密度为 $10000kg/m^3$ 。试计算: 当中子能量为 0.0253eV 时, UO_2 的宏观吸收截面和宏观裂变截面。
- 已知: 0.0253eV 时: $\sigma_a(U5) = 680.9b, \sigma_f(U5) = 583.5b, \sigma_a(U8) = 2.7b$; 且 0.0253eV 时: $\sigma_a(O) = 0.00027b$
42. H 和 O 在 1000eV 到 1eV 能量范围内的散射截面近似为常数, 分别为 20b 和 38b。计算 H_2O 的 ξ 以及在 H_2O 中中子从 1000eV 慢化到 1eV 所需的平均碰撞次数。已知平均对数能降: $\xi_H=1.000, \xi_O=0.120$
43. 设一立方体反应堆, 边长 $a = 9m$ 。中子通量密度分布为

$$\phi(x, y, z) = 3 \times 10^{13} \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{\pi y}{a}\right) \cos\left(\frac{\pi z}{a}\right) \quad (cm^{-2} \cdot s^{-1})$$

已知 $D = 0.84 \times 10^{-2}m$, $L = 0.175m$ 。试求:

- (1) $J(\vec{r})$ 表达式;
- (2) 从两端及侧面每秒泄漏的中子数;
- (3) 每秒被吸收的中子数 (设外推距离很小可略去)。

$$\text{设 } \phi_0 = 3 \times 10^{13} cm^{-2} \cdot s^{-1}$$

44. 设一重水-铀反应堆堆芯的 $k_\infty = 1.28$, $L^2 = 1.8 \times 10^{-2} m^2$, $\tau = 1.20 \times 10^{-2} m^2$ 。试按单群理论, 修正单群理论的临界方程分别求出该芯部材料曲率和达到临界时总的中子不泄漏概率。