Questions à réviser
Le neutron, interactions et la fission

1. Caractéristiques du neutron.

Le neutron est une particule neutre, de masse très proche de celle du proton. Etant neutre, il ne subit aucune interaction (autre que celle très très faible de la gravité).

Il est caractérisé uniquement par sa vitesse, donc son énergie cinétique.

2. Stabilité radioactive du neutron.

Le neutron libre est instable, et disparaît par radioactivité béta moins...
avec une période de 12 minutes !

Ce qui est largement trop par rapport à la durée de vie d'un neutron dans un combustible nucléaire 0,0001 seconde (10-4 s).

3. Définissez les domaines d'énergie du neutron.

Le neutron naît "rapide" des fissions, soit autour de 20 000 km/s c'est à dire 2 MeV.

Par les diffusions, il perd de sa vitesse, de son néergie cinétique.
Entre 1 eV et 1 MeV il est appelé "épithermique" (en cours de ralentissement).

Une fois arrivé autour de quelques fractions d'eV, il se "thermalise" et son énergie se distribue autour de l'énergie de vibration thermique des noyaux qu'il rencontre dans les diffusions. Il est alors dit "thermique" autour de 0,025 eV (à 20°C) ou 0,086 eV (à 600°C).

4. Energie moyenne d'un neutron issu de la fission, et sa vitesse.

Un neutron "prompt" issu d'une fission est aux environs de 20 000 km/s soit 2 MeV. Un neutron "retardé" est autour de 400-800 keV soit 10 à 12 000 km/s.

5. Energie moyenne d'un neutron thermalisé (t = 20°C).

Un neutron thermalisé autour de 20 °C possède une énergie cinétique autour de 0,025 eV. Sa vitesse est d'environ 2200 m/s.

6. Pour Sr (38, 94) déterminer pour ce noyau

Nombre de protons Z = 38 de nucléons : A = 94 de neutrons : 94-38 = 56

7. Définition de la densité nucléaire.

La densité nucléaire mesure le nombre de noyaux par centimètre cube. Il caractérise le nombre de "cibles" que le neutron risque de rencontrer dans la matière qu'il traverse en ligne droite (avant une interaction avec un noyau sur son trajet).

8. Démontrer la formule de calcul.

Il faut relier nombre de molécules ou d'atomes au volume... On prend donc un cm3, qui pèse la masse volumique. Dans cette masse, il y a une certaine quantité de matière (en mole) par rapport à la masse moléculaire (ou atomique si le corps est pur). De ce nombre de mole on en déduit les molécules (ou les atomes) en multipliant par le nombre d'Avogadro.

9. Enrichissement. Formule en noyaux et en masse.

Retrouver dans le document les formules.

10. Ordre de grandeur.

L'enrichissement naturel est de 0,7% dans toutes les mines du monde (sauf Oklo au Gabon...). Dans les réacteurs à eau pressurisé il est de 3 à 5 % (enrichissement commercial). Il est de 5 à 20 % dans les réacteurs de recherche, et beaucoup plus dans les armes.

11. Liste et description de toutes les interactions neutrons-matière

Deux grands types d'interaction : (1) le neutron est conservé (diffusion inélastique ou élastique), ou (2) le neutron est absorbé (absorption).

De cette absorption, après formation d'une noyau composé excité, deux voies de sorties principales existent (a) la capture le plus souvent radiative et (b) la fission par scission de la "goutte" de nucléon excitée.

12. Section efficace microscopique et section efficace macroscopique

On appelle section efficace microscopique, notée _, la section apparente sous laquelle le neutron aperçoit le noyau cible sur son trajet. C'est aussi la probabilité pour un neutron de rencontré un (et un seul) noyau. On la mesure en barn (10-24 cm2).

On appelle section efficace macroscopique la probabilité pour un neutron d'avoir des interactions avec N noyaux par centimètre cube. Elle est notée _ et mesurée en interaction par centimètre.

13. Définition du libre parcours moyen. Formule de calcul.

C'est la distance moyenne parcourue par un neutron entre deux interactions (à une vitesse donnée). On démontre que c'est l'inverse de la section efficace macroscopique concernée (libre parcours moyen de fission, de diffusion, d'absorption, totale etc.)

14. Différences entre noyaux fissiles et fissibles. Exemples.

On ne peut faire de fission avec des neutrons que pour des éléments dont le Z est supérieur à 90 : Thorium, Uranium et Plutonium principalement.

Un noyau fissile est un noyau qui peut être fissionné même par un neutron de faible énergie. La seule énergie de liaison neutron-moyau suffit à exciter le noyau composé pour qu'il puisse fissionner. On y trouve les isotopes pair (Z) impair en neutron comme l'U235 ou le Pu 239.

Un noyau fissible a besoin de plus d'énergie pour que le noyau composé puisse fissionner. L'énergie d'excitation ne suffit pas. Il faut un complément d'excitation apportée par l'énergie cinétique du neutron incident : c'est une réaction à seuil. Exemple l'U 238 ou le Pu 240.

15. Bilan matière et énergie de la fission.

Une fission donne deux produits de fission (répartition inégale en masse et statistique), deux à trois neutrons (ν = 2,42 neutrons par fission pour l'U 235), des gammas et 200 MeV par fission pour une fission contrôlée. L'essentiel de l'énergie produite (80%) résulte du dépôt sous forme de chaleur de l'énergie de recul des deux fragments de fission produits lors de la fission.

Une petite partie (7%) de l'énergie globale provient de l'évolution radiocative des P.F. : c'est la puissance résiduelle.

16. Distinction entre neutrons prompts et neutrons retardés.

L'essentiel des neutrons émis lors d'une fission sortent "promptement" c'est à dire à 10^{-12} seconde après la scission. Quelques P.F. peuvent encore se stabiliser dans les dix secondes en moyenne en émettant encore un seul neutron : ce sont les "précurseurs" et les neutrons retardés, dont la fraction parmi le total des neutrons émis par une fission est notée β et vaut 650 pcm (650 10^{-5}, soit 0,65 % du total des neutrons émis).

17. Différence entre produits de fission et fragments de fission.

La scission de la "goutte" de nucléon produit deux fragments inégalement chargés + qui se repoussent et s'éloignent très vite. Ces deux fragments se stabilisent vite, et une fois bloqués par la matrice de combustible (10^{-12} seconde), récupèrent leurs électrons et deviennent des produits de fission avec leur propre évolution radioactive... jusqu'à des milliers d'années.

18. Différence entre diffusion élastique et diffusion inélastique.

La diffusion élastique donne lieu à la conservation de l'énergie cinétique et de la quantité de mouvement. La diffusion inélastique fait intervenir dans le bilan d'énergie une excitation quantique du noyau cible (d'où une perte plus importante d'énergie cinétique pour le neutron, et une stabilisation sous forme d'émission de photon γ pour le noyau cible excité. C'est une réaction à seuil (0,8 MeV pour l'U238).

19. Critères de choix d'un bon modérateur. Paramètre de choix.

Un bon modérateur est vu facilement : grosse section efficace microscopique de diffusion et densité nucléaire élevée (donc section efficace macroscopique de diffusion élevée). Il donne un ralentissement élevé : masse du noyau cible faible, noyau léger, donc paramètre de ralentissement élevé (ξ). Enfin il absorbe peu en domaine thermique pour éviter de perdre les neutrons qui se thermalise dedans...

L'eau est un bon compromis, mais l'eau lourde ou le graphite est meilleur.

20. Pourquoi doit-on ralentir les neutrons dans un REP ?

La proabilité de fission de l'U235 est beaucoup plus élevée en domaine thermique qu'en domaine rapide. Il faut donc ralentir les neutrons pour être plus sûr de fissionner l'U235.

21. Pourquoi doit-on limiter le nombre de chocs pour que le neutron passe du domaine rapide et thermique ?

Il faut passer le plus vite possible du domaine rapide (naissance des neutrons) au domaine thermique (utilisation pour faire des fissions). Entre les deux, on trouve dans le domaine épithermique (1 eV - 1 MeV) des résonances d'absorption (capture) de l'U238 (95 % du combustible) de forte amplitude et nombreuses. On risque donc de perdre les neutrons entre ces deux domaines.

22. Résonances de l'uranium 238 : origine et conséquences.

L'uranium 238, en absorbant un neutron, peut donner naissance à un noyau composé d'U239 excité. Si l'énergie cinétique apportée par le neutron apporte exactement (à quelques fraction d'eV près) ce qui manque à l'énergie de liaison neutron - noyau d'U238 pour se placer à un niveau d'excitation nucléaire quantique, la probabilité d'absorption augmente très fortement et dépasse très largement les interactions à peu près constantes de diffusion. Le neutron de 6,63 eV (à 100 meV près) subit une section efficace d'absorption de 7000 barns (contre une résonance en diffusion de quelques centaines de barns) lorsqu'il est dans le combustible. A 5 eV il ne subit plus qu'une section de l'ordre de 1 eV en absorption contre une dizaine en diffusion.

23. Captures fertiles et importance du plutonium dans un réacteur.

L'absorption-capture d'un neutron par l'U238 conduit à la formation d'un U239 instable. Celui-ci (période 23 mn) forme du Np239 par évolution β-.

Puis par le même processus β -, donne du Pu239 (période 2,3 jours). Ce noyau étant fissile, la capture d'un neutron par un noyau fissible (comme l'U238) est appelée capture fertile.

Le Pu239 participe alors à la production d'énergie mais aussi à la formation de produits de capture (Pu 240, Pu 241 et Pu 242).