Distribution isotopique des fragments de fission de l'uranium au californium

Olivier DELAUNE GANIL (DSM/CEA – IN2P3/CNRS)

sous la direction de Fanny Rejmund

Rencontre Jeunes Chercheurs 2010, Annecy



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUF ET DE LA RECHERCHE





Plan

- Qu'est ce que la fission ?
- Pourquoi étudier la fission ?
- Présentation de l'expérience
- Normalisation
- Résultats préliminaires
- Conclusion

 Processus nucléaire qui peut se produire dans tous les noyaux

- Processus nucléaire qui peut se produire dans tous les noyaux
- Désintégration d'un noyau lourd en deux fragments
 plus légers

- Processus nucléaire qui peut se produire dans tous les noyaux
- Désintégration d'un noyau lourd en deux fragments
 plus légers
- En particulier, les actinides (Z>90) fissionnent à basse énergie

- Processus nucléaire qui peut se produire dans tous les noyaux
- Désintégration d'un noyau lourd en deux fragments
 plus légers
- En particulier, les actinides (Z>90) fissionnent à basse énergie
- Deux types de fission :
 - spontanée



- Processus nucléaire qui peut se produire dans tous les noyaux
- Désintégration d'un noyau lourd en deux fragments plus légers
- En particulier, les actinides (Z>90) fissionnent à basse énergie
- Deux types de fission :
 - induite



- phénomène nucléaire collectif
- relative bonne description par le modèle de la goutte liquide









SPIRAL 2 : produire des faisceaux d'ions radioactifs de haute intensité (≈10¹³ fissions/s)



Accélération d'un faisceau de deutons (40 MeV)

SPIRAL 2 : produire des faisceaux d'ions radioactifs de haute intensité (≈10¹³ fissions/s)



Accélération d'un faisceau de deutons (40 MeV) Conversion des deutons en neutrons

SPIRAL 2 : produire des faisceaux d'ions radioactifs de haute intensité (≈10¹³ fissions/s)



Accélération d'un faisceau de deutons (40 MeV)

Conversion des deutons en neutrons Fission de l'uranium

SPIRAL 2 : produire des faisceaux d'ions radioactifs de haute intensité (≈10¹³ fissions/s)



Accélération d'un faisceau de deutons (40 MeV)

Conversion des deutons en neutrons

Fission de l'uranium

Ionisation et sélection des fragments de fission

SPIRAL 2 : produire des faisceaux d'ions radioactifs de haute intensité (≈10¹³ fissions/s)



Accélération d'un faisceau de deutons (40 MeV)

Conversion des deutons en neutrons

Fission de l'uranium

Ionisation et sélection des fragments de fission Accélération des fragments de fission

- Actuellement, les intensités des faisceaux radioactifs sont estimées à l'aide des modèles théoriques
 Nécessité d'avoir de nouvelles données sur les
 - sections efficaces pour contraindre ces modèles.











Distribution isotopique

- Distribution isotopique : rendement de production d'un isotope particulier
- On avait accès qu'à la distribution isotopique des fragments légers et uniquement à la masse pour les fragments lourds.
- Intérêt de la distribution isotopique des fragments lourds? C'est dans cette région que les effets de couches entre en jeu et les informations sur la masse ne sont pas suffisantes.

Jusqu'à il y a peu :

- accès uniquement à la masse des fragments légers
- la fermeture de couches en neutrons jouent en rôle dans la distribution de fragments

Benlliure et al., EPJ A13 (2002) 93

Jusqu'à il y a peu :

- accès uniquement à la masse des fra
- la fermeture de couches en neutrons dans la distribution de fragments
 Mais récemment :



- mesure de la charge Z de tous les fragments de fission pour une vingtaine d'actinides
- la charge moyenne des fragments lourds est centrée sur 54 (fermeture de couches proton)

Rôle prédominant des protons ou des neutrons ?



Description de l'expérience



- Faisceau : ²³⁸U à 6,1 A MeV (énergie proche de la barrière coulombienne afin de favoriser les réactions de transfert). 10⁹ particules/s
- Cible : ¹²C
- Réactions : collisions élastiques, collisions inélastiques, transfert, fusion
- Actinides produits : de l'uranium (Z=92) au californium (Z=98)
 - => systématique pour déduire des règles générales sur l'effet de couches
- Cinématique inverse

Cinématique inverse



- Focalisation vers l'avant des fragments de fission : augmentation du nombre d'événements collectés
- Énergie cinétique plus importante des fragments de fission : meilleure identification (meilleure résolution)
 - → accès à la masse et la charge des fragments lourds

Dispositif expérimental



Dispositif expérimental



Objectif : obtenir la distribution isotopique pour chaque actinide produit

- Télescope ΔE-E en silicium. Utilisé pour
 - identifier le noyau de recul
 - calculer l'énergie d'excitation du système et donc de l'actinide produit



Thèse soutenue en 2010 par Xavier Derkx



résolution insuffisante pour obtenir une identification isotopique de l'actinide produit, mais ...



résolution insuffisante pour obtenir une identification isotopique de l'actinide produit, mais ... identification de la charge de l'actinide produit



























Identification



¹⁰⁸Ru

Identification



Identification



Olivier DELAUNE, 12-18 décembre 2010, Les Balcons du Lac d'Annecy, RJC 2010

Pour pouvoir comparer convenablement les rendements que l'on extrait, il est nécessaire de les normaliser

 $N_{VAMOS}(Z,A) = Y_{B\rho}(Z,A) N_{beam} N_{target} \Omega_{VAMOS}(B\rho)$

Pour pouvoir comparer convenablement les rendements que l'on extrait, il est nécessaire de les normaliser $N_{VAMOS}(Z,A) = Y_{BO}(Z,A) N_{beam} N_{target} \Omega_{VAMOS}(B\rho)$

Pour pouvoir comparer convenablement les rendements que l'on extrait, il est nécessaire de les normaliser

$$N_{VAMOS}(Z,A) = Y_{B\rho}(Z,A) N_{beam} N_{target} \Omega_{VAMOS}(B\rho)$$

$$N_{SPIDER} = \sigma_{reaction} N_{beam} N_{target} \Omega_{SPIDER}$$

Pour pouvoir comparer convenablement les rendements que l'on extrait, il est nécessaire de les normaliser

$$N_{VAMOS}(Z,A) = Y_{B\rho}(Z,A) N_{beam} N_{target} \Omega_{VAMOS}(B\rho)$$

$$N_{SPIDER} = \sigma_{reaction} N_{beam} N_{target} \Omega_{SPIDER}$$

$$Y_{B\rho}(Z,A) = \frac{N_{VAMOS}(Z,A)}{N_{SPIDER}} \frac{\Omega_{SPIDER}}{\Omega_{VAMOS}(B\rho)} \sigma_{reaction}$$

Pour pouvoir comparer convenablement les rendements que l'on extrait, il est nécessaire de les normaliser $N_{VAMOS}(Z,A) = Y_{BO}(Z,A) N_{beam} N_{target} \Omega_{VAMOS}(B\rho)$ $N_{SPIDER} = \sigma_{reaction} N_{beam} N_{target} \Omega_{SPIDER}$ constant pour $Y_{B\rho}(Z,A) = \frac{N_{VAMOS}(Z,A)}{N_{SPIDER}} \frac{\Omega_{SPIDER}}{\Omega_{VAMOS}(B0)} \frac{\sigma_{reaction}}{\sigma_{reaction}}$

 $\Omega_{\text{SPIDER}}/\Omega_{\text{VAMOS}}$ ne doit pas varier suivant $N_{\text{VAMOS}}/N_{\text{SPIDER}}$



- distribution isotopique complète sur 3 ordres de grandeur (de l'astate au prométhium)
- pour 5 actinides différents (²³⁸U, ²³⁹Np, ²⁴⁰Pu, ²⁴³Am, ²⁵⁰Cf)
- résultats cohérents avec des mesures précédentes





Fusion – fission E* ≈ 45 MeV fission symétrique











Conclusion

- Mesure pour la première fois de l'ensemble de la distribution isotopique (fragments légers et lourds)
- Mesure pour au moins 5 actinides
- Expérience replanifiée en juillet 2011 afin d'obtenir une identification isotopique des actinides produits.
- Cela permettra de contraindre énormément les modèles théoriques qui décrivent la fission.

