Mécanismes de réaction : la fusion-fission et la quasi-fission







Une vision imagée de la fusion (from N. Amar)





















































Le paramètre d'impact



4

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG









Estimation de la barrière de BASS (1)





Estimation de la barrière de BASS (2)



Exemple de ${}^{40}\text{Ar}+{}^{208}\text{Pb} --> {}^{246}\text{Fm} + 2n$: x=0,67, d_{fus} = 0,89, B_{int} =**171,1** MeV





Les distributions de barrière



N. Rowley, G.R. Satchler and P.H. Stelson, Phys. Lett. B254 (1991) 25







Hubert CURIEN

Les distributions de barrière vs effet de la voie d'entrée

La répulsion coulombienne dépend de l'orientation respective cible/projectile







Hubert CURIEN

Les distributions de barrière vs effet de la voie d'entrée





et alors... que peut-on apprendre ?







et alors... que peut-on apprendre ?









et alors... que peut-on apprendre ?









Institut Pluridisciplinaire Hubert CURIEN STRASBOURG

D'un point de vue expérimental ...quelles informations ?







D'un point de vue expérimental ...distribution d'entrée (E*,I)

La barrière de fission peut être estimée à partir des distributions d'entrée (E*,I)



Hubert CURIEN

D'un point de vue expérimental ...distribution d'entrée (E*,I)

La barrière de fission peut être estimée à partir des distributions d'entrée (E*,I)

De quoi a-t-on besoin ?

• identification du noyau d'intérêt (VAMOS/S3)

- •Un spectromètre gamma efficace (AGATA/GAMMASPHERE/ PARIS)
- mais méthode modèle dépendant

Hubert CURIEN

D'un point de vue expérimental ...distribution d'entrée (E*,I)

La barrière de fission peut être estimée à partir des distributions d'entrée (E*,I)

De quoi a-t-on besoin ?

• identification du noyau d'intérêt (VAMOS/S3)

•Un spectromètre gamma efficace (AGATA/GAMMASPHERE/ PARIS)

• mais méthode modèle dépendant

D'un point de vue expérimental ... distribution d'entrée (E*,I)

La barrière de fission peut être estimée à partir des distributions d'entrée (E*,I)

De quoi a-t-on besoin ?

• identification du noyau d'intérêt (VAMOS/S3)

•Un spectromètre gamma efficace (AGATA/GAMMASPHERE/ PARIS)

⁴⁸Ca(²⁰⁸Pb, 2n)²⁵⁴No B_{fission} = 6,6 MeV

Persistance des effets de couches à haut spin

UNIVERSITÉ

D'un point de vue expérimental ... quelles informations ?

Soit la réaction nucléaire binaire

Convention :

•

- X : symbole du noyau
- A : nombre de nucléons
- Z : nombre de protons
- N : nombre de neutrons
- M : masse nucléaire
- m : Mc² en MeV
- T : énergie cinétique

On reste dans le cas classique, à basse énergie < 100 MeV

Bilan énergétique - Chaleur de réaction Q

$$Q = \sum M_{initiales} c^{2} - \sum M_{finales} c^{2} = M_{1} c^{2} + M_{2} c^{2} - M_{3} c^{2} - M_{4} c^{2} = T_{3} + T_{4} - T_{1}$$
Conservation de l'énergie totale avec T₂ = 0

D'un point de vue expérimental ...quelles informations ?

À partir de la conservation de l'impulsion et de l'énergie totale, on obtient **l'équation des bilans** :

$$(m_3 + m_4)T_3 - 2\sqrt{m_1m_3T_1} .\cos\theta_3 .\sqrt{T_3} + (m_1 - m_4)T_1 - m_4Q = 0$$

IPHC Institut Pluridisciplinaire Hubert Currito STRASBOURG

D'un point de vue expérimental ...

⁶⁴Ni+¹⁸⁶W
$$\rightarrow$$
²⁵⁰No^{*} $E^* \approx 40 M eV$

$$^{64}\text{Ni}+^{186}\text{W} \rightarrow ^{250}\text{No}^* E^* \simeq 40 \, MeV$$

$$^{64}\text{Ni}+^{186}\text{W} \rightarrow ^{250}\text{No}^* E^* \simeq 40 \, MeV$$

La mesure des distributions en masse, charge, TKE (Total Kinetic Energy)

⁶⁴Ni+¹⁸⁶W \rightarrow ²⁵⁰No^{*} $E^* \simeq 40 MeV$

La mesure des distributions en masse, charge, TKE (Total Kinetic Energy) en fonction de la voie d'entrée

E. Kozulin et al., PRC C90, 054608 (2014)

IPHC Institut Pluridisciplinaire Hubert CUREN STRASBOURG

La mesure des distributions en masse, charge, TKE (Total Kinetic Energy) en fonction de la voie d'entrée

La mesure des distributions en masse, charge, TKE (Total Kinetic Energy) en fonction de la voie d'entrée

La mesure des distributions en masse, charge, TKE (Total Kinetic Energy) en fonction de la voie d'entrée

D'un point de vue expérimental ... une mesure du temps de quasi-fission

La mesure des distributions en masse, charge, TKE (Total Kinetic Energy) permettent d'estimer le temps de quasi-fission

FIG. 19. Normalized mass drift $\Delta A / \Delta A_{\text{max}}$ as a function of the reaction time. The solid curve represents the best fit to the data using Eq. (28). The parameters for the curve are given in the text.

$$\frac{\Delta A}{\Delta A_{\max}} = \frac{A_p - \langle A \rangle}{\frac{1}{2} \left(A_t - A_p \right)} = 1 - \exp\left[-(t - t_0)/\tau\right]$$

R. du Rietz at el., PRL 106 (2011) 052701

La mesure des distributions en masse, charge, TKE (Total Kinetic Energy) permettent d'estimer le temps de quasi-fission

(___(A)=p(U(A))·p(A(t))

where p(U(A)) is the probability connected with the driving potential of the system. The term p(A(t)) is the probability to exchange number of nucleons of $\Delta A=A_t-A$ at given fragment mass A and time t in the assumption of the time distribution for QF from PRL 106. We have adjusted the parameters τ_0 and τ_1 (average of the Gaussian and decay time) of the QF time distribution to obtain the best agreement between experimental and calculated mass distributions. This procedure gives the possibility to **extract the QF time scale** from **measured mass**

La mesure des distributions en masse, charge, TKE (Total Kinetic Energy) permettent d'estimer le temps de quasi-fission

$(A) = p(U(A)) \cdot p(A(t))$

where p(U(A)) is the probability connected with the driving potential of the system. The term p(A(t)) is the probability to exchange number of nucleons of $\Delta A = A_t - A$ at given fragment mass A and time t in the assumption of the time distribution for QF from PRL 106. We have adjusted the parameters τ_0 and τ_1 (average of the Gaussian and decay time) of the QF time distribution to obtain the best agreement between experimental and calculated mass distributions. This procedure gives the possibility to extract the QF time scale from measured mass

τ1

100

150

Fragment mass (u)

τ0

50

2

250

La mesure des distributions en masse, charge, TKE (Total Kinetic Energy) permettent d'estimer le temps de quasi-fission : un exemple

TKE analysis: I.M. Itkis et al., PRC 83 (2011)

TKE pour les fragments de fission de masse symétrique et asymétrique comparaison avec la systématique de Viola

3n and 4n channels are from Yu. Ts. Oganessian et al. Phys. Rev. C 70, 064609

O. Dorvaux

courtesy of G. Knyazheva 31

En conclusion ... la (quasi-)fission , un phénomène compliqué

En conclusion ... la (quasi-)fission , un phénomène compliqué

- identification in A, Z and TKE of one fission fragment (FF)

- gamma calorimeter
- neutron detection

mesure of (E^{*},I) entry distribution,

A,Z and TKE distributions, mean gamma energy value, mean total neutron multiplicity event by event Mécanismes de réaction : la fusion-fission et la quasi-fission (Merci à B. Gall et G. Knyazheva)

