

(n, n₁) TEPKİMELERİNDE DENGE ÖNCESİ ETKİNİN İNCELENMESİ

Celâl Bayrak*

ÖZET: Bu çalışma ile (n,n₁) tepkimelerinde denge öncesi (precompound, preequilibrium) exciton modeli incelendi. Bu model E_n= 1-14 MeV enerji aralığında A≥ 55-209'da (⁵⁵Mn, ⁵⁶Fe, ⁹³Nb, ¹⁸¹Ta, ¹⁹⁷Au, ²⁰⁹Bi) 6 çekirdeğe uygulandı. Elde edilen sonuçlar deneysel verilerle uygunluk göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: (n, n₁) reaksiyonları, denge öncesi, exciton model.

ABSTRACT: This paper presents the results of investigations of the precompound exciton model in the (n,n₁) reactions. This model have been applied us six nucleus in the atomic number range A≥ 55-209 and energy region E_n= 1-14 MeV. The calculated results have been found to be consistent with experimentally observed data.

KEY WORDS: (n, n₁) reactions, precompound (preequilibrium), exciton model.

1. GİRİŞ

Nötronlarla oluşturulan reaksiyonlarla ilgili çalışmaların ilk yıllarında birleşik çekirdek reaksiyonları ve doğrudan etkileşmelerden başka (Precompound) denge öncesi mekanizmasının varlığı gözlemlendi [1]. Denge öncesi mekanizması, hedef çekirdeklerinin kütesine ve birleşik sistemin uyarılma enerjisine bağlı olarak birincil nötron, proton, ve alfa parçacıklarının yayınlanmasında diğer reaksiyon türlerine göre daha önemli rol oynamaktadır.[2]

Denge öncesi ve denge öncesi-birleşik çekirdek modelleri kullanılarak nötron ile oluşturulan reaksiyonlarda uyarılma forksiyonlarına ilişkin çok sayıda araştırma yapılmıştır [1, 2, 3, 4].

Bu çalışmada G.M. Braga ve arkadaşlarının [5] Williams'ın [6] önerdiği precompound exciton model bağıntıları kullanılarak A (Kütle Numarası) 55 ile 209 arasında bulunan 6 çekirdeğe, 1 ile 14 MeV'lik gelme enerji aralığında (n,n₁) spektrumları hesaplandı. Elde edilen sonuçlar daha önceki verilerle karşılaştırıldı.

2. DENGE ÖNCESİ REAKSIYONLAR

Deneyler doğrudan ve birleşik çekirdek re-

aksiyonlarından başka üçüncü bir reaksiyonun varlığını göstermektedir. Buna denge öncesi (Precompound, preequilibrium) reaksiyon denir.

Bu reaksiyonda parçacıklar iki nükleer sistemin çarpışarak bir birleşik sistem oluşturmasıyla, birleşik sistemin tam bir termal veya istatistik dengeye ulaşması arasında geçen süre içerisinde yayınlanırlar.

Bu, özellikle yayınlanan parçacık spektrumunun yüksek enerji kısmında çok önemlidir.

Denge öncesi reaksiyonları inceleyen başlıca modeller:

1- Çağlayan(Cascade)-Buharlaşıma (Evaporation) Modeli:

2- Fermi-Gaz-Denge (Fermi-Gas-Equilibration) Modeli.

3- Hibrit (Hybrid) Modeli

4- Griffin veya Exciton Modeli.

Modellerin hepsinde istatistiksel yöntemler kullanılır ve hesaplamalarda çekirdeğin yapısı ve açısal momentum etkisi hesaba katılmaz[7].

3. DENGE ÖNCESİ TESİR KESİTİ HESAPLARI:

Denge öncesi açı integralli tesir-kesiti hesaplamalarında şu yaklaşımlar dikkate alındı.

(a) Residual iki-cisim exciton-exciton etkileşmelerinde yalnız Δn=+2 değişimi göz önüne alındı ve Δn=0,-2 değişimleri ihmal edildi. (b) Bir excitonun, diğer excitonlardan bağımsız davrandığı. (c) Düzey yoğunluklarının hesaplanmasında Fermi gaz modeli kullanıldı. (d) Enerji ve yük korunumundan yararlandı. (e) Ayrıntılı denge ilkesi kullanıldı.

Bu yaklaşımlar çerçevesinde denge öncesi açı integralli tesir kesiti için:

$$\frac{d\sigma_{pc}}{d\epsilon} = \sigma_c \frac{dW_{ph}}{d\epsilon} \frac{1}{\lambda_n^+(E)} \quad (3.1)$$

ifadesi elde edilir. Burada, $dW_{ph}/d\epsilon$; "birleşik sistemin" n-exciton durumunda ϵ enerjili bir parçacık yayınlanma hızı olup,

* Arş. Görevlisi Celâl Bayrak, Hacettepe Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Fizik Eğitimi Anabilim Dalı.

$$\frac{dW_{ph}}{d\epsilon} = \frac{m\epsilon \sigma_{inv} \epsilon (2s+1) \rho_{p-1, h}(U)}{\pi^2 \hbar^3 \rho_{p, h}(E)} \frac{2}{3} \quad (3.2)$$

yazılabilir. $\rho_{p-1, h}(U)$ kalan çekirdeğin; $\rho_{p, h}(E)$ ise birleşik sistemin durum yoğunluğudur. Durum yoğunluğu,

$$\rho_{p, h}(E) = \frac{g (gE)^{p+h-1}}{p! h! (p+h-1)!} \quad (3.3)$$

ile verilir. $\lambda_n^+(E)$, $n \rightarrow n+2$ etikleşmesi için geçiş hızı olup,

$$\lambda_n^+ = \frac{2\pi}{\hbar} \frac{|\overline{MI}^2|}{p+h-1} \frac{g^3 E^2}{p+h-1} \quad (3.4)$$

şeklinde yazılır. Durum yoğunluklarının hesaplanmasında, Pauli ve sonlu potansiyel kuyusu etkileri hesaba katılmamıştır.

(3, 2), (3, 3), (3, 4) bağıntıları eşitlik (3, 1)'de yerine yazılırsa,

$$\frac{d\sigma_{pc}}{d\epsilon} = \frac{2}{3} (2s+1) \sigma_c \frac{m\epsilon \sigma_{inv}(\epsilon)}{n^2 \hbar^3} \frac{\hbar}{4\pi} \frac{1}{|\overline{MI}^2|} \frac{1}{g^4 E^3} \quad (3.5)$$

$$\times \sum_{n=3}^{\Delta n} (U/E)^{n-2} (n+1)^2 (n-1)$$

$$n=3$$

$$(\Delta n=2)$$

denge öncesi açı integrallli tesir kesitini veren (3.5) eşitliği elde edilir. Burada σ , yayımlanan parçacığın spini (nötron için değeri 1/2) σ_c , E_i enerjili parçacığın birleşik sistem (composite system) oluşturma tesir kesitidir. ϵ yayımlanan parçacık için ters (inverse) reaksiyon tesir kesiti. E , birleşik sistemin, U : kalan çekirdeğin uyarılma enerjisidir. g : birleşik ve kalan çekirdek için, tek-parçacık düzey yoğunluğu. n : birleşik sistemdeki exciton sayısı parçacık ve deşik ($n=p+h$) toplamıdır. m : Gelen parçacığın kütlesi, $|\overline{MI}^2|$

Kalbach- Cline [8] tarafından tanımlandığı gibi residual, iki-cisim etkileşmeleri için matris elemanın mutlak değeri karesinin ortalamasıdır.

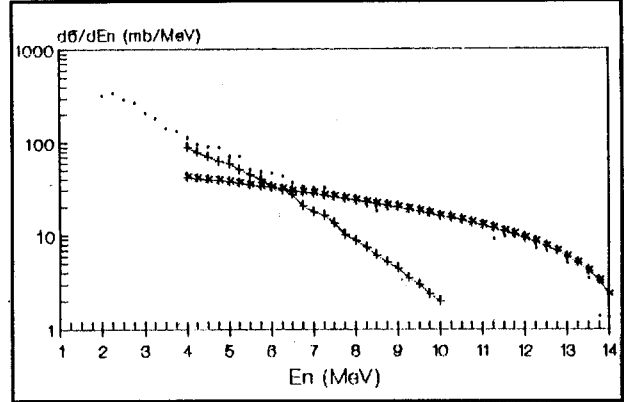
$$|\overline{MI}^2| = K.A^{-3} E^{-1} \quad (3.6)$$

şeklinde verilir. K serbest bir parametredir. Bir residual iki cisim exciton-exciton etkileşmesinde exciton sayısı $\Delta n=0$ veya ± 2 şeklinde değişebilir.

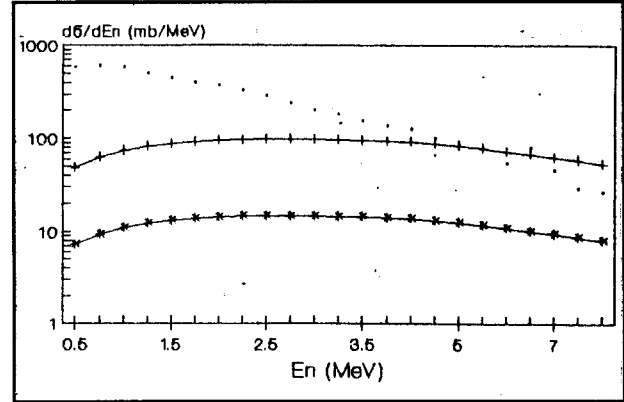
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR:

(n, n_1) spektrumlarında diferansiyel tesir-kesitleri hesap edildikten sonra, her çekirdek için daha önce çeşitli araştırmacı gruplar [9, 10, 12, 13, 15] tarafından bulunmuş deneysel sonuçlar ile karşılaştırıldı. Şekil 1 de $^{55}\text{Mn}+n$ için Holub ve arkadaşlarının [1] yapmış olduğu buharlaşma (evaporation) etkisi ile denge öncesi model karşılaştırıldı. $^{56}\text{Fe}+n$ (14, 4 MeV) için elde edilen spektrum (şekil 2) M. Avrigeanu ve arkadaşlarının [11] çalışmalarında olduğu gibi $E_n=4$ MeV den sonrası denge öncesi mekanizması ile

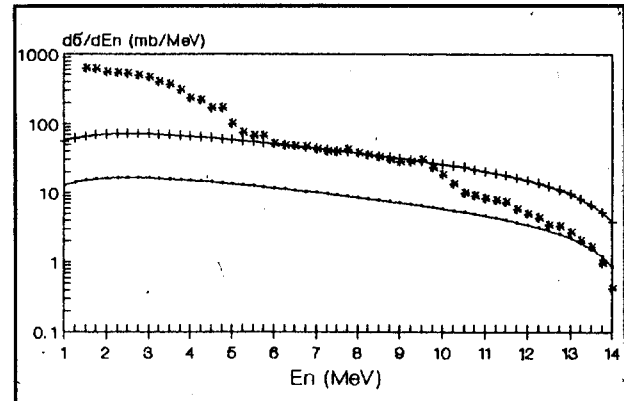
uyum içerisindedir. $^{93}\text{Nb}+n$ (14, 6 MeV) için bulunan (n, n_1) spektrum sonuçları (Şekil 3) H. Bleann ve J. Bisplinghoff [4] çalışması ile uygunluk gösterdi.



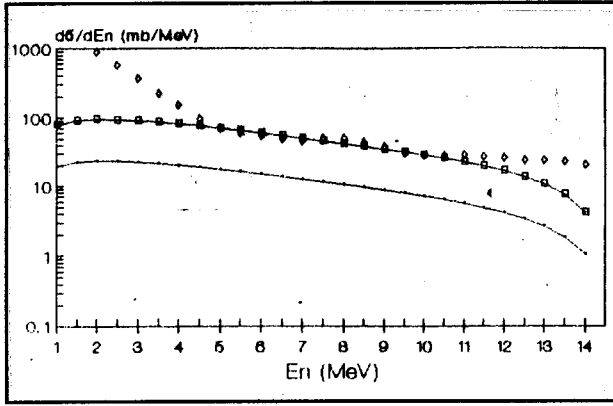
Şekil 1. Denge öncesi + Buharlaşmanın 14.6 MeV'lik nötronlar + ^{55}Mn 'den açı-integrallli nötron spektrumuna uyumu. Eğriler sırasıyla, buharlaşma modeli (+); $K=262$ MeV exciton modeli (***), deneysel sonuçlar (...) [9].



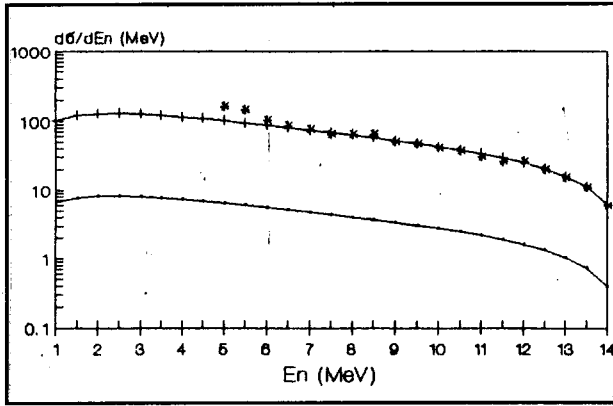
Şekil 2. 14.4. MeV'lik nötronlar + ^{56}Fe için denge öncesi exciton modelinin K serbest parametresi. Eğriler sırasıyla $K=700$ MeV³ için exciton modeli (***), $K=110$ MeV³ için exciton modeli (+), deneysel sonuçlar (••) [10]



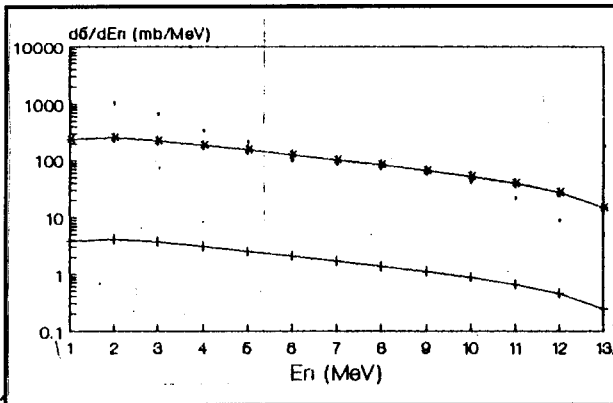
Şekil 3. 14.6. MeV'lik nötronlar + ^{93}Nb için denge öncesi exciton modelinin K serbest parametresi. Eğriler sırasıyla $K=700$ MeV³ için exciton modeli (++++), $K=160$ MeV³ için exciton modeli (+) deneysel sonuçlar (***) [12]



Şekil 4. 14.6. MeV'lik nötronlar +181Ta için denge öncesi exciton modelinin K serbest parametresi. Eğriler sırasıyla K=700 MeV³ için exciton modeli (—●—), K=175 MeV³ için exciton modeli (—□—), deneysel sonuçlar (◇) [13]



Şekil 5. 14.6. MeV'lik nötronlar +197Au için denge öncesi exciton modelinin K serbest parametresi. Eğriler sırasıyla K=1700 MeV³ için exciton modeli (—●—), K=110 MeV³ için exciton modeli (—++—), deneysel sonuçlar (*) [13].



Şekil 6. 14.1 MeV'lik nötronlar +209Bi için denge öncesi exciton modelinin K serbest parametresi. Eğriler sırasıyla K=7000 MeV³ için exciton modeli (—+—), K=110 MeV³ için exciton modeli (—●—), deneysel sonuçlar (●●) [15].

⁵⁵Mn+n, ¹⁸¹Ta+n, ¹⁹⁷Au+n ve ²⁰⁹Bi+n için bulunduğumuz sonuçlar Holub ve arkadaşlarının [1] so-

nuçları ile karşılaştırılarak sonuçların uygunluk gösterdikleri görüldü.

K serbest parametresi, üzerinde çalışılan her çekirdek için farklı değerde bulundu ve bu değerler Tablo (1)'de gösterildi. Ayrıca (n, n_1) spektrumlarında her çekirdek için farklı K değerleri verilerek bir karşılaştırma yapıldı.

Tablo 1 : K değişkeninin en-uygun değerleri.

Reaksiyon	Geliş Enerjisi (MeV)	K (MeV ³)
⁵⁵ Mn(n,n ₁)	14.6	262
⁵⁶ Fe(n,n ₁)	14.4	110
Spektrum ⁹³ Nb(n,n ₁)	14.6	160
¹⁸¹ Ta(n,n ₁)	14.6	175
¹⁹⁷ Au(n,n ₁)	14.6	110
²⁰⁹ Bi(n,n ₁)	14.1	110

(n, n_1) spektrumlarında ele alınan her çekirdek için bulunan K parametresinin değeri, L.R. Veaser ve arkadaşlarının [16] çalışmasında $K=120\pm 30$ MeV³, Milazzo-Colli ve arkadaşlarında [2] ise $K=100 \pm 20$ MeV³, M.Avrigenau ve arkadaşlarında [11] $K=160-180$ MeV³ olarak bulunmuştur.

(n, n_1) reaksiyonlarında rol oynayan denge öncesi mekanizmasının sonuçlarını şu şekilde sıralayabiliriz.

a. Bu reaksiyonlardaki denge öncesi katkı, uyarılma enerjisinin artışı ile doğru orantılıdır.

b. Yayınlanan parçacıkların nötron spektrumlarında ⁵⁵Mn+n'da buharlaşma modeli için Holub ve arkadaşlarının sonuçları gösterildi.

c. Üzerinde çalışılan çekirdeklerin çoğunda exciton modeli K' serbest parametresinin $K=110-262$ MeV³ arasında olduğu görüldü.

d. Denge öncesi exciton modelinde kullanılan $\lambda+$ geçiş oranının yapısal etkiler gösterilmediği ortaya çıktı. $\lambda+$ üzerinde çalıştığımız A= 55-209 kütle aralığında (belli exciton sayısı n ve bileşik çekirdeğin uyarılma enerjisi E için) sabit kalmaktadır.

e. Bu reaksiyonlarda yüksek uyarılma enerjilerinde ise ($E < 20-30$ MeV) denge öncesi mekanizmasının parçacık yayınlanmasında uygulanabilir, ancak burada açılal momentum korunumunu hesaba katılması gerektiği düşünülmelidir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Holub, H., Caplar, E., Cindro, N. (1980). "A Consistent Study of Precompound and Compound-Nucleus Emission Mechanisms in Neutron-Induced Reactions." Z.Phys. A. Atom and Nuclei., 296, 341-357.

- [2] Millazzo-Colli, L., Braga-Marcazzan, G.M (1974). "Pre-formation Probability of α -Clusters in Rare earth Nuclei measured by Means of the (p, α) Reaction." Nucl. Phys. A 218, 274-284.
- [3] Bayhurts, B.P. and Gilmore, J.S. (1975) "Cross Section for (n₁, x n) reactions between 7.5 and 28 MeV." Phys., Rev., C12, 451-467.
- [4] King, C.H., Brown, B.A and Khoo, T.L. (1978) "High-Spin States in ¹⁴⁶Sm." Phys. Rev. C.18, 2128-2137
- [5] Braga-Marcazzan, G.M., Gadioli-Erba, E (1972). "Analysis of the Total (n, p) Cross. Sections Around 14 MeV with the Pre-equilibrium Exciton Model." Pyhs., Rev., C.6, 1389-1407.
- [6] Williams, F.C., (1979). "In termediate State Transition Rates in the Griffin Model." Phys., Lett., 31B, 184-186.
- [7] Kalbach, C. (1975). "Pre-equilibrium Models in General the Griffin Model in Particular." Acta., Phys., No: 2-3, 25-38.
- [8] Kalbach.,C. (1973). " Residual Two-Body Matrix Elements for Preequilibrium Calculations." Nucl., Phys., A 210, 590-604.
- [9] Hermsdolf, D., Sassonoff. S., "Proceedings of the International Conference on Nuclear Physics. Munich." (1973). de Boer, J., Mangs, H.I. (eds). Vol. I.pp. 514-518.
- [10] Stengl, G.,Uhl, M. and Vonach, H. (1977). "Gamma Competition in the decay of Unbovand States in ⁵⁶Fe Produced by the ⁵⁶Fe (n, n') Reaction with 14MeV Neutrons." Nucl., Phys., A290, 109-127.
- [11] Avrigeanu, M., Ivaşcu, M., Arigeanu, V. (1988). " Pre-equilibrium Emission in Neutron Induced Reactions on ^{54,56}Fe." Z. Phys. A-Atoms and Nuclei., 329, 177-187.
- [12] Hermdorf, D., Sassonoff, S., Seeliger, D and Seidel, K. (1973). "Extensions to the Pre-equilibrium Statistical Model and a Sutdy of Complex Partcle Emission." J. Nucl., Energy 27, 747-754.
- [13] Pilz, W., Schmidt, D and Seeliger, D. (1981). "Investigation of the ¹⁰⁹Ag (p,n) ¹⁰⁹Cd reaction at proton energies from 4,5 to 9 MeV." Sov. J. Nucl. Phys., 33(4), 463-466.
- [14] Blan, M., Bisplinghoff, J. (1978). "Numerical Test of Approximations in the Hybrid Precompound Decay Model." Z. Phys., A-Atomic and Nuclei., 326, 429-434.
- [15] Wilde, L., Mennekes, H., Schröder, V., Scobel, W. (1977). "Evidence for pre-equilibrium contributions to the reaction ²⁰⁹Bi (n, 2n) ²⁰⁸Bi." J. Phys. G: Nucl. Phys., Vol 3, No.5, L 99-L103.
- [16] Veesser, L.R., Arthur, E.D., Young. P.G. (1977). "Cross Sections for (n,2n) and (n, 3n) reactions above 14 MeV." Phys., Rev C16, 1792-1802.