

**YENİ GELİŞTİRİLMİŞ DENEYSEL FORMÜLLER KULLANILARAK
14-15 MeV'LİK NÖTRON REAKSİYONLARINDA ÇİFTLENİM ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Ahmet Fevzi ÜNLÜTÜRK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2006
ANKARA**

Ahmet Fevzi ÜNLÜTÜRK tarafından hazırlanan YENİ GELİŞTİRİLMİŞ
DENEYSEL FORMÜLLER KULLANILARAK 14-15 MeV'LİK NÖTRON
REAKSİYONLARINDA ÇİFTLENİM ETKİSİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin
Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç. Dr. Eyyüp TEL
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak
kabul edilmiştir.

Başkan : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ahmet Fevzi ÜNLÜTÜRK

**YENİ GELİŞTİRİLMİŞ DENEYSEL FORMÜLLER KULLANILARAK
14-15 MeV'LİK NÖTRON REAKSİYONLARINDA ÇİFTLENİM ETKİSİNİN
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Ahmet Fevzi ÜNLÜTÜRK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2006**

ÖZET

Son yıllarda özellikle nötronlarla oluşturulan reaksiyonlar için eşik enerjisi civarında daha hassas ve daha fazla sayıda yeni deneysel tesir kesiti ölçümleri yapılmaktadır. 14–15 MeV'lik nötronlarla oluşturulan bu çekirdek reaksiyon tesir kesitleri ve parçacık yayınlanma spektrum ölçümleri nükleer kuvvetler ile nükleer yapının anlaşılması ve nükleer modellerin yeniden geliştirilmesi bakımından önemlidir. Bu yeni deneysel değerler kullanılarak Tel ve arkadaşları tarafından çekirdek kabuk modeli ve asimetri parametresi $s = (N - Z) / A$ 'de göz önüne alınarak, yeni bir deneysel (n,p) reaksiyon tesir kesiti formülü geliştirilmiştir. Betak ve arkadaşları, $^{112-124}\text{Sn}$ ince hedef için yapmış oldukları en son deneylerinde bu formülün tek-A'lı tesir kesitlerini hesaplamalarda uyumlu olduğunu gözlemişlerdir. Çiftlenim etkisini de göz önüne alan bu yeni deneysel formül $(n,2n)$ ve (n,α) reaksiyonlarına modifiye edilerek Tel ve ark. tarafından literatüre uygun yeni katsayılı formüller elde edilmiştir.

Bu çalışmada, Tel ve arkadaşlarının geliştirmiş olduğu tesir kesiti için bu yeni deneysel (n,p) , $(n,2n)$, (n,α) ve (n,t) formüller ve yeni deneysel sonuçlar göz önüne alınarak, çekirdek kabuk modelinin tek–çift etkisi ve temel nükleon–nükleon etkileşmesi tartışılmıştır.

Bilim Kodu : 202.1.108
Anahtar Kelimeler : Asimetri parametresi, reaksiyon tesir kesiti, yarı-deneysel formül
Sayfa Adedi : 38
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Eyyüp TEL

**INVESTIGATION OF PAIRING EFFECT BY USING THE NEW
EVALUATED EMPIRICAL SYSTEMATIC FOR 14-15 MeV NEUTRON
REACTIONS
(M.Sc. Thesis)**

Ahmet Fevzi ÜNLÜTÜRK

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2006**

ABSTRACT

Recently, especially having around threshold energy more new and sensitive cross section experimental measurements for neutron induced have been made. Precise cross section data measurement of neutron around 14-15 MeV energy and particle emission spectra are very important for understanding the nuclear force, nuclear structure and refinement nuclear models. Tel et al. have suggested using these new experimental data to reproduce a new empirical formula of the cross-sections of the (n,p) reactions with dependent on asymmetry parameter $s = N-Z/A$ and nuclear shell model. Betak et al. have found agreement with odd-A nucleus in latest experiment for $^{112-124}\text{Sn}$ thin target. Tel et al have obtained new appropriate coefficient by modifying the with depend on the pairing effect formula for (n,2n) and (n, α) reactions.

In this study, we discussed odd-even effect and basic nucleon-nucleon effect with the nuclear shell model considering new experimental data results and new cross sections formulas (n,p), (n,2n), (n, α) and (n,t) reactions developed by Tel et al.

Science Code : 202.1.108

KeyWords : Asymmetry parameter, reaction cross-section, semi empirical formula.

Page Number : 38

Advisers : Assoc. Prof. Dr. Eyyüp TEL

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada beni engin bilgileriyle yönlendiren ve çalışmamın her safhasında desteklerini esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Eyyüp TEL ve Prof. Dr. Güneş TANIR'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamda yardımlarını ve imkanlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ali ARASOĞLU, Araş. Gör. M. Hicabi BÖLÜKDEMİR ve Araş. Gör. Nisa Nur AKTI'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER**Sayfa**

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1.GİRİŞ.....	1
2. TEORİ.....	4
2.1. Tesir Kesiti.....	4
2.2. Ortalama Serbest Yol.....	10
2.3. Reaksiyon Hızı.....	11
2.4. Diferansiyel Tesir Kesiti.....	12
3. (n,α) , (n,p) , $(n,2n)$ ve (n,t) REAKSİYONLARININ TESİR KESİTLERİ İÇİN DENEYSEL FORMÜLLER.....	16
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	32
KAYNAKLAR.....	34
ÖZGEÇMİŞ.....	37

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. 14-15 MeV enerjili (n,p) reaksiyonu için tesir kesiti (mb) sistematiklerinin karşılaştırılması.....	18
Çizelge 3.2. 14-15 MeV enerjili (n,α) reaksiyonu için tesir kesiti (mb) sistematiklerinin karşılaştırılması.....	21
Çizelge 3.3. 14- 15 MeV enerjili (n,2n) reaksiyonu için tesir kesiti (mb) sistematiklerinin karşılaştırılması.....	24
Çizelge 3.4. 14-15 MeV enerjili (n,t) reaksiyonu için tesir kesiti (mb) sistematiklerinin karşılaştırılması	27

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Tesir kesiti kavramının geometrik bir yorumu.....	5
Şekil 2.2. Tesir kesiti ve huzme şiddeti arasındaki bağıntı.....	5
Şekil 2.3. $^{113}\text{Cd} (n,\gamma) ^{114}\text{Cd}$ tepkimesinin tesir kesiti.....	8
Şekil 2.4. $d\Omega$ katı açısının hesap elemanları.....	14
Şekil 2.5. Atom ağırlığı ve saçılma açısının kosinüsünün bir fonksiyonu olarak, 1 MeV'lik nötronların elastik saçılmalarına ait diferansiyel tesir kesiti.....	15
Şekil 3.1. 14-15 MeV enerjili (n,p) reaksiyonu için tesir kesiti sistemiği. Deneysel değerler $\sigma_{n,p} = 46,678(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33,4s]$ denklemine fit edilmiştir.....	19
Şekil 3.2. 14-15 MeV enerjili (n,p) reaksiyonu için tesir kesiti sistemiği. Deneysel değerler $\sigma_{n,p} = 52,187(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-34,37s]$ denklemine fit edilmiştir.....	19
Şekil 3.3. 14-15 MeV enerjili (n,p) reaksiyonu için tesir kesiti sistemiği. Deneysel değerler $\sigma_{n,p} = 51,659(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33,347s]$ denklemine fit edilmiştir.....	20
Şekil 3.4. 14-15 MeV enerjili (n,p) reaksiyonu için tesir kesiti sistemiği. Deneysel değerler $\sigma_{n,p} = 29,825(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-30,554s]$ denklemine fit edilmiştir.....	20
Şekil 3.5. 14-15 MeV enerjili (n, α) reaksiyonu için tesir kesiti sistemiği. Deneysel değerler $\sigma_{n,\alpha} = 20,212(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-34,732s]$ denklemine fit ed.....	22
Şekil 3.6. 14-15 MeV enerjili (n, α) reaksiyonu için tesir kesiti sistemiği. Deneysel değerler $\sigma_{n,\alpha} = 20,212(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-34,732s]$ denklemine fit edilmiştir.....	22

Şekil	Sayfa
Şekil 3.7. 14-15 MeV enerjili (n,α) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı. Deneyssel değerler $\sigma_{n,\alpha} = 61,358(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-43,496s]$ denklemine fit edilmiştir.....	23
Şekil 3.8. 14-15 MeV enerjili (n,α) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı. Deneyssel değerler $\sigma_{n,\alpha} = 20,418(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-34,201s]$ denklemine fit edilmiştir.....	23
Şekil 3.9. 14-15 MeV enerjili (n,2n) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı.....	25
Şekil 3.10. 14-15 MeV enerjili çift-A (n,2n) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı.....	25
Şekil 3.11. 14-15 MeV enerjili tek-A (n,2n) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı.....	26
Şekil 3.12. Betak ve arkadaşlarının [23] (n,p) reaksiyonunda $^{112-122}\text{Sn}$ izotopları için yaptıkları çalışma ile teorik çalışmanın karşılaştırılması.....	26
Şekil 3.13. 14-15 MeV enerjili (n,t) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı.....	28
Şekil 3.14. 14-15 MeV enerjili (n,t) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı. Deneyssel değerler $\sigma_{n,t} = 6,9411(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-13,412s]$ denklemine fit edilmiştir.....	28
Şekil 3.15. 14-15 MeV enerjili (n,t) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı Deneyssel değerler $\sigma_{n,t} = 121,21(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-20,543s]$ denklemine fit edilmiştir.....	29
Şekil 3.16. 14-15 MeV nötronların tek Z-çift N (içi boş daire), çift Z-çift N (içi dolu daire), çift Z-tek N (içi boş kare) çekirdekler için (n,p) reaksiyon tesir kesitlerinin sistematığı.....	29
Şekil 3.17. 14-15 MeV nötronların tek Z-çift N (içi doludaire), çift Z-çift N (içi boş kare), çift Z-tek N (içi boş üçgen) çekirdekler için (n,α) reaksiyon tesir kesitlerinin sistematığı.....	30
Şekil 3.18. 14-15 MeV enerjili nötronların çift Z-çift N(içi dolu üçgen) ve tek Z-çift N (içi boş daire) çekirdeklerde (n,t) reaksiyon tesir kesitlerinin sistematığı.....	30

Şekil	Sayfa
Şekil 3.19. 14-15 MeV enerjili nötronların çift A (içi dolu üçgen) ve tek A çekirdeklerde (n,2n) (içi boş kare) reaksiyon tesir kesitlerinin sistematığı.....	31

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simge ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
σ_n	Mikroskobik tesir kesiti
n	Birim hacimdeki atom sayısı (atom/m ³)
$\sigma(\theta)$	Diferansiyel tesir kesiti
Σ	Makroskobik tesir kesiti
A	Çekirdek kütle numarası
P	Çekirdekteki proton sayısı
N	Çekirdekteki nötron sayısı
s	Asimetri parametresi
f	Tesir kesiti alanı
a	Soğurma katsayısı
x	Ortalama serbest yol
Φ	Nötron akısı
$d\Omega$	Katı açısı

Kısaltmalar	Açıklamalar
b	Barn
Cd	Kadmiyum
MeV	Milyon elektron volt

1. GİRİŞ

Hızlı nötronlu (n,p), (n, α) ve (n,2n) reaksiyonlarında tesir kesitlerinin sistematığı ve reaksiyon mekanizması nötron fiziğinin önemli konulardandır. $\sigma(n,p)$, $\sigma(n,t)$, $\sigma(n,\tau)$ ve $\sigma(n,\alpha)$ gibi 14-15 MeV enerjili nötronlarla oluşturulan yüklü parçacık reaksiyon tesir kesitlerinin deneysel çalışması çok sayıda çekirdek için sistematik bir şekilde yürütülmektedir. Farklı nötron enerjileri ve (n,p), (n, α) ve (n,2n) reaksiyonları için tesir kesiti hesaplamaları farklı parametrelili çok sayıda deneysel ve yarı deneysel formüller bir çok araştırmacı tarafından önerilmiştir [1-9]. Tel ve arkadaşları tarafından, çekirdek kabuk modeli ve asimetri parametresi $s = (N - Z) / A$ göz önüne alınarak yeni bir deneysel (n,p) reaksiyon tesir kesiti formülü geliştirildi [10-13]. Aynı zamanda, Belgaid ve Asghar [4] beş parametrelili yarı-deneysel bir formül elde edip, (n,p), (n, α)'nın $(N-Z+1)/A$ parametresine bağımlılığını ilk kez gösterdi. Ait-Tahar [5] (n, α) tesir kesitinin $(N-Z+1)/A$ parametresine bağımlılığını geliştirdi. Deneysel formüller birleşik çekirdek reaksiyon teorisinden türetilebilir ve izotopik eğilimde (çok küçük çekirdekler için) öncelikli olarak bir reaksiyon Q-değer etkisi vardır. Ancak (n,2n) reaksiyonunun tesir kesitleri ve uyarılma fonksiyonu hesaplamaları için bazı problemler vardır. Özellikle, denge öncesi eksiton model ve yarı-deneysel formüllerin teorik hesaplamaları, kütle numarası $150 < A < 190$ ve $A > 220$ olan bölgelerde (sırasıyla nadir toprak ve aktinit elementler) nükleer deformasyonun karakterlerini tanımlamada yetersiz kalmaktadır. Bu bölgelerde ilk uyarılmış durumun enerjileri diğer çekirdeklerden daha küçüktür ve böyle çekirdeklerin kabuk konfigürasyonundan uzaklaştıkça kuadropol momentleri büyük değerlere sahip olur [14]. Yaklaşık 14-15 MeV gelme enerjili nötronların tesir kesitinin tam olarak ölçülmesi, füzyon reaktörlerinin yapı materyalleri ve nötron dozimetresi gibi bazı uygulamalar için çok önemlidir. Aynı zamanda hızlı nötron tesir kesitleri nükleer teoriyi geliştirmek için de gereklidir. Nükleer reaksiyonlarda, hızlı nötron reaksiyon tesir kesiti ölçümleri nükleer modelleri geliştirmek, nükleer kabuk (shell) modelini anlamak ve desteklemek için gereklidir. Son zamanlarda Dünya'da hızlı nötron nükleer reaksiyon tesir kesiti verilerinin kullanımı özellikle bazı uygulama alanlarında tercih edilmektedir. Bunları şöyle sıralayabiliriz;

radyoizotop üretimi ve kanser terapi gibi biyomedikal uygulamalar, yüksek enerjili ikincil parçacık nötronları yoluyla uzun ömürlü radyoaktif nükleer kabuk atıkları kısa ömürlü veya kararlı izotoplara dönüştürmek, parçacık hızlandırıcı için zırh (kalkan), füzyon reaktör teknolojisinin araştırılması ve geliştirilmesi ile ilgili radyasyon deneyleri ve uzay araştırma alanları. Tesir kesiti bilgisi, deforme ve/veya kararlı haldeki çekirdekte $(n,2n)$ reaksiyonlarını tanımlayan istatistik modelin doğruluğunu çalışmak için de kullanılabilir. Bütün materyallerde $(n,2n)$ reaksiyon eşik değerini aşan fisyon nötronlarının $(n,2n)$ tesir kesitini anlamak reaktör uygulamalarında önemlidir. Fisyon nötron spektrumunun önemli bir parçası reaktör materyallerinin çoğunda $(n,2n)$ reaksiyon eşik değeri üzerinde yattığı için, $(n,2n)$ ve $(n,3n)$ tesir kesitlerinin bilinmesi reaktör teknolojisinde oldukça gereklidir. Ayrıca reaktörde üretilen geçici çekirdekler genellikle kısa yarı ömürlüdür. Bu yüzden çekirdeklerin tesir kesitlerinin doğrudan ölçülmesi mümkün olmadığından bu tesir kesitlerini tahmin etmek için deneysel ve yarı deneysel reaksiyon tesir kesiti formülleri geliştirilmiştir. Ağır çekirdekler için nükleer reaksiyonların hesaplanmasında kullanılan termodinamik metotlar ve istatistiksel uygulamalar enerjiyi de dahil etmek şartıyla Weisskopf [15]'un temel çalışmasına dayanır. Weisskopf, ağır çekirdekle hızlı nötronların çarpışmasının bağıl kararlılıkla karakterize edilen birleşik sistem oluşumuna ve daha nicel bir yolla istatistiksel metotları kullanarak nükleer durumların hesaplanabileceğini ileri sürdü. Bu metotlar daha çok nükleer fiziğin farklı dallarına göre şekillenir. Trofimov [16] (n,p) reaksiyon tesir kesitlerine ait uyarılma fonksiyonlarının maksimum bölgelerinde nötron gelme enerjisine bağlı yarı deneysel formüller önerdi. H.Vonach [17] $(n,2n)$ reaksiyonu için önemli sonuçlar elde etti. Manokhin et al. [18,19] $(n,2n)$, (n,np) reaksiyon uyarılma fonksiyonlarının maksimumunda tesir kesitlerini belirlemek için bazı deneysel formüller geliştirdi. Mutlak tesir kesite ilave olarak farklı izotoplar için, (n,p) tesir kesitleri arasındaki oranlar bu formüller kullanılarak hesaplandı. Bu formüller daha büyük çekirdeklerin mutlak tesir kesitini tahmin etmede ve bir elementin izotopunun artan kütle numarası ile azalmakta olan (n,p) ve (n,α) tesir kesitlerindeki deneysel sonuçları tanımlama da başarılı oldu. Bu çalışmada 14-15 MeV enerjili gelen nötronun (n,p) , (n,α) ve $(n,2n)$ reaksiyonları için tesir kesitleri hesaplamaları yedi parametrelili Levkovskii'nin

formülünü modifiye ederek (n,t) reaksiyonu için deneysel formüller geliştirildi. Hesaplanan (n, α) reaksiyon tesir kesitleri ve fit parametrelerinin sonuçları Levkovskii, Habbani ve Osman, Kasugai et al. [6], Konno et al. [7] ve Bychkov et al.[20] tarafından önerilen reaksiyonlar kullanılarak elde edilen değerlerle karşılaştırıldı. Ayrıca asimetri parametresine bağıllığı ile (n, α) reaksiyon tesir kesitleri için kabuk yapısı ve çiftlenim etkileri incelendi. 14-15 MeV enerjide (n,p), (n,2n), (n, α) ve (n,t) reaksiyon tesir kesitleri için çekirdekler çift-çift, çift-tek ve tek-tek olarak sınıflandırılarak farklı parametre grupları belirlendi. Burada kabuk modelinde çiftlenim etkisi hesaba katılarak elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırıldı.

2. TEORİ

2.1. Tesir Kesiti

Tesir kesiti (σ), reaksiyonun oluşma ihtimaliyetinin bir ölçüsüdür [21]. Alan boyutundadır. Bu alan ne kadar büyükse reaksiyon olma ihtimaliyeti o kadar büyüktür. A yüzeyine ve dx kalınlığına sahip ince bir levha üzerine I şiddetiyle gelmekte olan bir parçacıklar demeti düşünelim. Bir parçacık ince levhadan geçerken bir çekirdeğe çok yaklaşmışsa, çekirdek tarafından bu parçacığın bir miktar yutulma (soğurulma) veya saçılma şansı vardır. Farz edelim ki, σ bir atomu kuşatan etkin alandır; şayet gelen parçacık bu alana düşerse bir nükleer reaksiyon meydana gelecektir. Eğer, levhanın birim hacmi başına n tane hedef çekirdeği olduğu kabul edilirse, hiçbir çekirdek diğer bir çekirdek üzerine binmesin ve böylece her birinin gelen parçacıklarla nükleer reaksiyona aynı ölçüde sebep olmaları mümkün olsun. Bu kabullenişlerden sonra:

$$ndx = \text{Birim yüzey başına düşen çekirdek sayısı} \quad (2.1)$$

$$Andx = A \text{ alanındaki toplam çekirdek sayısı} \quad (2.2)$$

olacaktır. Her bir çekirdek σ tesir kesiti alanı iştirak ettiğinden, bir nükleer reaksiyon için mümkün olan toplam hassas veya tesir kesiti alanı:

$$An\sigma dx = \text{Toplam tesir kesiti alanı} \quad (2.3)$$

olacaktır. Tesir kesiti alanı (f) ise

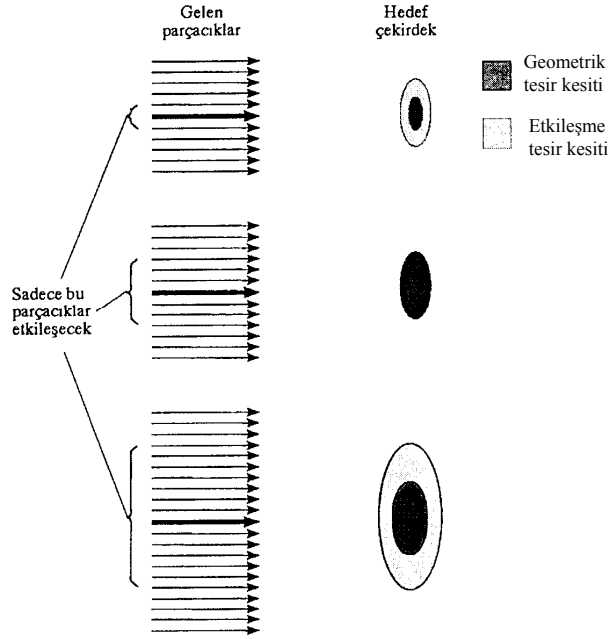
$$f = \text{Toplam tesir kesiti alanı} / \text{toplam yüzey alan}$$

$$= \sigma Andx / A$$

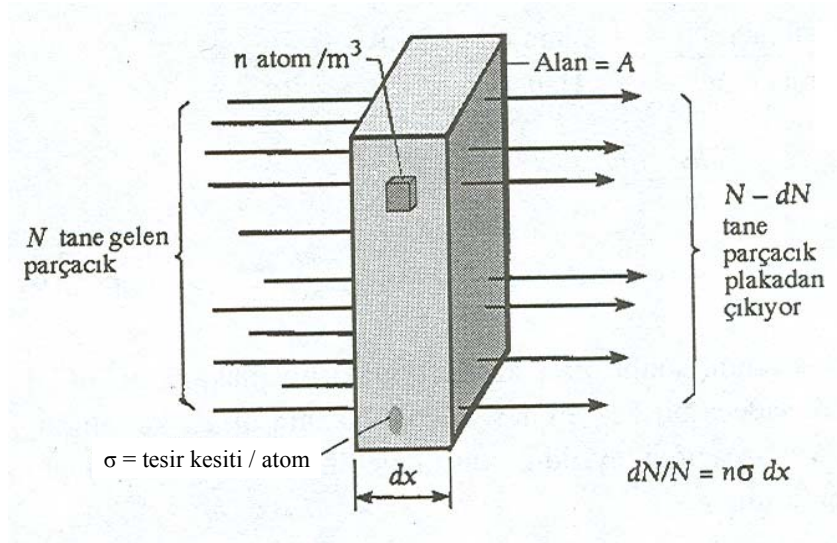
$$= n\sigma dx$$

(2.4)

ifadesiyle verilir.



Şekil 2.1. Tesir kesiti kavramının geometrik bir yorumu



Şekil 2.2. Tesir kesiti ve hüzme şiddeti arasındaki bağlantı [22]

Bu tesir kesiti alanı, parçacıklar demetinin ince levhadan geçerken I şiddetinde meydana gelen değişiklik kesitini temsil eder. Böylece şiddetteki dI değişimi:

$$dI = -fI \quad (2.5)$$

ile verilir. İhtimaliyetten bahsettiğimize göre f 'nin ve σ 'nın atomun geometrik büyüklüğüyle pek ilgisi yoktur. Gerçekten de σ , bir nükleer reaksiyonun meydana gelme ihtimaliyetiyle orantılıdır. Bağlantılar birleştirilirse:

$$-dI/I = n\sigma dx \quad (2.6)$$

elde edilir. Buradaki negatif işaret x kalınlığı arttıkça I şiddetinin azalacağı anlamına gelir. $x=0$ anında $I = I_0$ olduğunu kabul ederek yukarıdaki bağıntının integrali alınır:

$$I = I_0 e^{-n\sigma x} \quad (2.7)$$

elde edilir. Parçacıklar demetindeki N parçacık sayısı ,parçacıklar demetinin şiddetiyle orantılı olduğundan bağıntı parçacık sayısı cinsinden:

$$N = N_0 e^{-n\sigma x} \quad (2.8)$$

olarak yazılabilir. Burada N_0 ince levhaya gelen parçacıkların sayısı ve N 'de levhanın x kalınlığını geçen parçacıkların sayısıdır. Tesir kesiti genellikle σ ile gösterilir. Tesir kesitinin birimi barn'dır ve b ile gösterilir:

$$1b = 10^{-24} \text{ cm}^2 \quad (2.9)$$

olup daha küçük birimi milibarn'dır.

$$1mb = 10^{-3} b \quad (2.10)$$

n ile σ 'nın çarpımına makroskobik tesir kesiti (Σ) denir.

$$\Sigma = n\sigma \quad (2.11)$$

şayet sadece soğurma ile ilgileniyorsak o zaman Σ 'nin yerine soğurma katsayısı (a) terimini de kullanabiliriz:

$$a = n\sigma \quad (2.12)$$

Şimdi, Eş. 2.8'de :

$$N = N_0 e^{-\Sigma x} = N_0 e^{-ax} \quad (2.13)$$

şeklinde yazılabilir. İnce levhanın anlamı şimdi açıklığa kavuşabilecektir. Şayet $ax \ll 1$ ise, levha incedir; ki bu, hem levhanın geometrik olarak ince olması halinde hem de tesir kesitinin yeterince küçük olması halinde doğrudur. Bu durumda:

$$e^{-ax} \cong 1 - ax \quad (2.14)$$

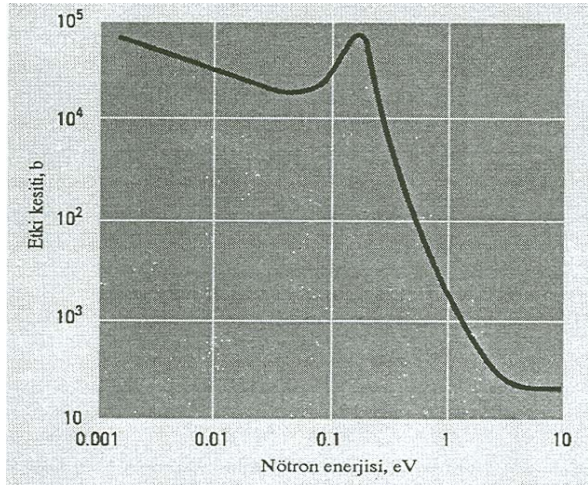
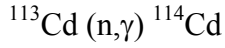
$$N \cong N_0 (1 - ax) \quad (2.15)$$

olur. Böylece x kalınlığını geçerken soğurulan parçacıkların sayısı:

$$dN = N_0 - N_0 (1 - ax) = N_0 ax = N_0 n \sigma x \quad (2.16)$$

ifadesiyle verilir. Bunun, tesir kesiti alanın tarifiyle ($f = n\sigma dx$) tam bir uyum içinde olduğuna dikkat ediniz. Hüzmede kalan parçacıkların sayısı N , plakanın x kalınlığı arttıkça üstel olarak azalır. Bir SI birimi olmamakla birlikte barn kullanışlıdır, çünkü, bir çekirdeğin geometrik kesitinin yüzölçümüyle aynı mertebededir. Adı, daha çok bilinen bir hedefin kesit alanından, samanlık (barn = samanlık) duvarından gelir. Pek çok çekirdek tepkimesinin tesir kesiti gelen parçacığın enerjisine bağlıdır. Şekil 2.3

Cd'ün nötron yakalama tesir kesitinin nötron enerjisiyle nasıl değiştiğini göstermektedir. Bir nötronun soğurulmasını bir gamma ışını yayımlanmasının izlediği bu tepkime genellikle kısaltılmış olarak şöyle gösterilir:



Şekil 2.3. $^{113}\text{Cd} (n, \gamma) ^{114}\text{Cd}$ tepkimesinin tesir kesiti

Tesir kesiti nötron enerjisine kuvvetli bir biçimde bağlıdır. Bu tepkimede bir nötron soğurulur ve bir gamma ışını yayımlanır. 0,176 eV'taki dar tepe, ^{114}Cd çekirdeğinin bir uyarılmış durumuyla ilgili bir rezonans olayıdır. ^{113}Cd izotopu, doğal kadmiyumun sadece yüzde 12'sini oluşturmaktadır. Bu izotopun, yavaş nötronları yakalama tesir kesiti o kadar büyüktür ki kadmiyum, çekirdek reaktörlerinin kontrol çubuklarında yaygın olarak kullanılır. Madde içinden geçen ve bir çekirdek tepkimesinde soğurulmayan bir nötron, yolu üzerindeki çekirdeklerle sık sık esnek çarpışmalara girer ve kinetik enerjisinin bir kısmını onlara verir. Kısa bir süre içinde nötron ısıl dengeye erişir. Bunun anlamı, bundan sonraki çarpışmalarda enerji kazanma ve kaybetme olasılıklarının aynı olmasıdır. Oda sıcaklığında, böyle bir ısıl nötronun ortalama enerjisi $kT = 0,04$ eV ve en yüksek olasılıklı enerjisi $kT = 0,025$ eV'tur; böyle nötronların enerjisi olarak genellikle bu son sayı verilir. ^{113}Cd 'ün ısıl nötronları yakalama tesir kesiti 2×10^4 b, doğal kadmiyumun ortalama atom kütlesi 112 akb ve yoğunluğu $64 \text{ g/cm}^3 = 8,64 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Örnek olarak 0,1 mm

kalınlığında bir kadmiyum yaprağı, bir ısıt nötron hüzmcsinin hangi kesitini soğurduğunu, gelen bir ısıt nötron hüzmcsinin yüzde 99'unu soğurmak için hangi kalınlıkta kadmiyuma gerek olduğunu bulmak istediğimizde, ^{113}Cd doğal kadmiyumun yüzde 12'sini oluşturduğundan, metre küp başına düşen ^{113}Cd atomu sayısı şöyle bulunur:

$$n = (0,12) \left[\frac{8,64 \times 10^3 \text{ kg} / \text{m}^3}{(112 \text{ akb} / \text{atom})(1,66 \times 10^{-27} \text{ kg} / \text{akb})} \right]$$

$$= 5,58 \times 10^{27} \text{ atom/m}^3$$

yakalama tesir kesiti :

$$\sigma = 2 \times 10^4 \text{ b} = 2 \times 10^{-24} \text{ m}^2 \text{ olduğundan}$$

$$n \sigma = (5,58 \times 10^{27} \text{ m}^{-3})(2 \times 10^{-24} \text{ m}^2) = 1,12 \times 10^4 \text{ m}^{-1}$$

bulunur. Eş. 2.8 'den $N = N_0 e^{-n\sigma x}$ olup, gelen nötronların soğurulan kesiti şöyledir:

$$\frac{N_0 - N}{N_0} = \frac{N_0 - N_0 e^{-n\sigma x}}{N_0} = 1 - e^{-n\sigma x} \quad (2.17)$$

burada $x = 0.1 \text{ mm} = 10^{-4} \text{ m}$ olduğundan

$$\frac{N_0 - N}{N_0} = 1 - e^{(-1,12 \times 10^4 \text{ m}^{-1})(10^{-4} \text{ m})} = 0,67$$

bulunur, yani, gelen nötronların üçte ikisi soğurulur. Gelen nötronların yüzde 1'inin kadmiyum yapraktan geçtiğı verildiğine göre,

$$N = 0,01 N_0 \text{ dır.}$$

$$\frac{N}{N_0} = 0,01 = e^{-n\sigma x}$$

$$\ln 0,01 = -n\sigma x$$

$$x = \frac{-\ln 0,01}{n\sigma} = \frac{-\ln 0,01}{1.12 \times 10^4 \text{ m}^{-1}} = 4,1 \times 10^{-4} \text{ m} = 0,41 \text{ mm}$$

Görülüyor ki, kadmiyum tesir kesiti bir ısı nötron soğurucusudur.

2.2. Ortalama Serbest Yol

Şimdi bir parçacığın, soğurulmaya veya saçılmaya uğramadan önce alabileceği ortalama x mesafesi (*ortalama serbest yol*) için bir ifade çıkarmak mümkündür. Bu, ortalama ömür hesaplanmasında kullanılan yola benzer bir yolla hesaplanabilir. x mesafesi x 'te bulunan bir dx mesafesinde soğurulan parçacıkların sayısı (dN) ile çarpılıp x 'in tamamı üzerinde integral alındıktan sonra toplam parçacık sayısına bölünür. Böylece, *ortalama serbest yol*

$$\frac{\int_0^{N_0} x dN}{\int_0^{N_0} dN} = \int_0^{N_0} x dN / N \quad (2.18)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eş. 2.8'deki N ifadesinden:

$$dN = -n\sigma N_0 e^{-n\sigma x} dx \quad (2.19)$$

olarak elde edilir. dN 'nin bu değeri Eş.2.19'da yerine konulursa

$$\begin{aligned}
\bar{x} &= \int_0^x xn\sigma N e^{ax} dx / N_0 = \int_0^x xn\sigma N_0 e^{-nax} dx \\
&= \frac{I}{n\sigma} \int_0^x xn\sigma N_0 e^{-nax} d(n\sigma x) \\
&= \frac{I}{n\sigma} \int_0^x ye^{-y} dy \quad \text{burada } y = n\sigma x \text{ tir} \\
&= \frac{I}{n\sigma} = \frac{I}{\Sigma} \tag{2.20}
\end{aligned}$$

olur. Dolayısıyla :

$$\bar{x} = \frac{1}{n\sigma} = \frac{1}{\Sigma} \tag{2.21}$$

olur. Görüldüğü gibi ortalama serbest yol makroskopik tesir kesitinin tersidir.

Soğurma ortalama serbest yolu:

$$\bar{x} = \frac{1}{\sum_a} = \frac{1}{a} \tag{2.22}$$

ile verilir. Burada Σ_a makroskopik soğurma tesir kesitidir.

2.3.Reaksiyon Hızı

Birçok durumlarda belli bir materyal üzerine gelen parçacık demetlerinin meydana getirdiği reaksiyon hızını, yani birim zamanda meydana gelen nükleer reaksiyonların sayısını bilmek gerekir. Diyelim ki, cm^3 başına q sayıda parçacık ihtiva eden bir parçacık demetindeki parçacıkların hızı v olsun. Bu parçacıklar demeti, birim hacim başına n sayıda atomu bulunan A yüzey alanlı ve x kalınlıklı bir levha üzerine gelsin.

Levha materyali σ mikroskopik tesir kesitine sahip olsun. Daha önceki tesir kesiti alanı tarifinden *reaksiyon hızı*

$$\text{reaksiyon hızı } (R.R.) = qv(n\sigma t)A \quad (1/s) \quad (2.23)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadede her ne kadar x ve A işe karışmışsa da göreceğimiz gibi nihai ifade, levha ince kabul edilince, materyalin biçimine bağlı olmayıp sadece materyaldeki çekirdeklerin toplam sayısına bağlı olacaktır. Φ akısı (flux), birim zamanda bir birim alandan geçen parçacık sayısı olarak tarif edilir. Bu durumda $\Phi = qv$ 'dir. Materyalin hacmi $V = x A$ 'dır. Buradan

$$R.R. = \Phi n \sigma V \quad (2.24)$$

olur. $nV = N$ toplam çekirdek sayısı olduğundan reaksiyon hızı için

$$R.R. = \Phi n N \quad (2.25)$$

gibi yazılabilir. Bu ifade saniyedeki tepkime veya reaksiyon sayısını gösterir. Aynı zamanda $n\sigma = \Sigma$ olduğundan, Eş.2.25 bağıntısı:

$$R.R. = \Phi \Sigma V \quad (2.26)$$

gibi tekrar yazılabilir.

2.4. Diferansiyel Tesir Kesiti

Gelen parçacıklar hedef çekirdeklerle tesirleştiklerinde, her zaman sadece bir tür nükleer reaksiyon meydana getirmeleri gerekmez. Şayet birden fazla türde reaksiyon meydana gelmişse her bir tür için tesir kesiti genellikle farklı olacaktır. Bu özel tesir kesitlerine kısmi tesir kesitleri denir ve toplam tesir kesiti bunların toplamına eşit olacaktır. Nükleer reaksiyon veya saçılma meydana geldikten sonra dışarı gönderilen

parçacıklar çoğu kez anizotropik dağılım gösterirler ve farklı açılarda farklı enerjilere sahip olurlar. Geliş istikametiyle θ açısı yaparak saniyede $d\Omega$ katı açısı içinde giden parçacıkların sayısının bilinmesi önemlidir. Bunun hesabının yapılması için, açıya bağımlı başka bir tesir kesiti adı verilir ve birim katı açı başına düşen tesir-kesiti olarak tarif edilir. Bunu, $\sigma(\theta, \phi)$ ile göstereceğiz:

$$\sigma(\theta, \phi) = \frac{d\sigma}{d\Omega} \quad (\text{tesir kesiti/steradyan}) \quad (2.27)$$

Böylece toplam tesir-kesiti

$$\sigma_T = \int_{\Omega} \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega \quad (2.28)$$

olacaktır. $d\Omega$ katı açısının değeri

$$d\Omega = \frac{\text{alan}}{(\text{mesafe})^2} = \frac{dA}{r^2} = \frac{(rd\theta)(r \sin \theta d\phi)}{r^2} = \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.29)$$

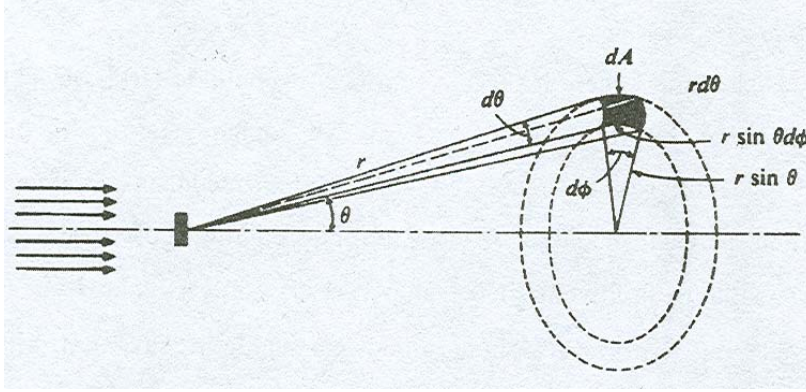
ifadesiyle verilir. Toplam katı açı

$$\Omega = \int_{\Omega} d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \sin \theta d\theta d\phi = 4\pi \quad (2.30)$$

olup katı açı kesiti ise

$$\frac{d\Omega}{\Omega} = \frac{A}{r^2} \frac{1}{4\pi} = \frac{A}{4\pi r^2} \quad (2.31)$$

dir. Toplam tesir kesiti σ_T , iki bağıntı birleştirilerek bulunabilir.



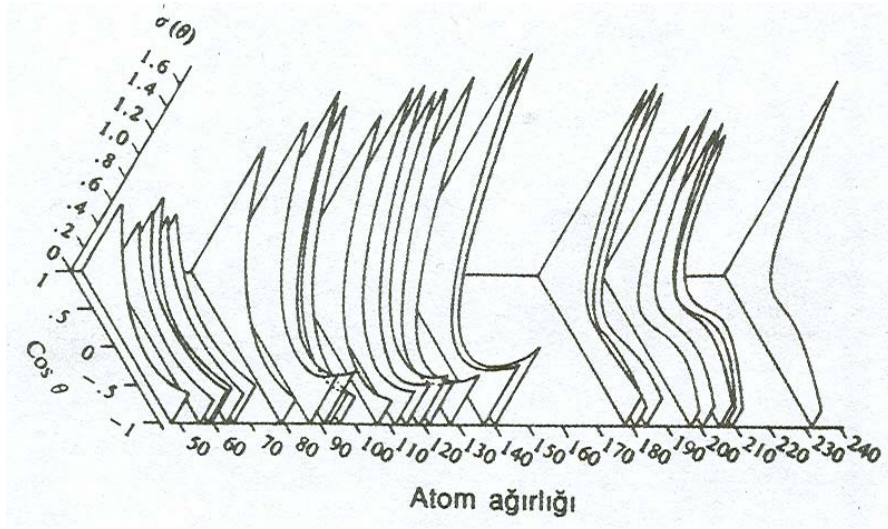
Şekil 2.4. $d\Omega$ katı açısının hesap elemanları [23]

$$\sigma_T = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.32)$$

Eğer diferansiyel tesir kesiti ϕ den bağımsız ise tesir kesiti (ϕ üzerinden integral alındıktan sonra)

$$\sigma_T = 2\pi \int \frac{d\sigma}{d\Omega} \sin \theta d\theta \quad (2.33)$$

olacaktır. Burada $d\sigma/d\Omega = \sigma(\theta)$ diferansiyel tesir kesitidir. Diferansiyel tesir kesiti ölçümünün faydası, sadece enerjiye bağımlı olmayıp, aynı zamanda tesir kesitinin yöne bağımlılığının nükleer reaksiyonun cinsine göre olduğu gerçeğinin bulunmasında da vardır. Bir nükleer kuvvet tipi kabullenerek, farklı nükleer reaksiyonların açısal dağılımını ifade etmek mümkündür. Teoriyle deney arasındaki uygunluk, farzedilen nükleer kuvvet şeklinin doğruluk derecesini verecektir.



Şekil 2.5. Atom ağırlığı ve saçılma açısının kosünüsünün bir fonksiyonu olarak, 1 MeV'lik nötronların elastik saçılmalarına ait diferansiyel tesir kesiti

3. (n, α), (n,p), (n,2n) ve (n,t) REAKSİYONLARININ TESİR KESİTLERİ İÇİN DENEYSEL FORMÜLLER

Nükleer modeller ya yeterli olmadıklarından veya yapılması çok zor olan ölçümlerde genellikle nötronlu reaksiyonlarının tesir kesitlerinin tahminine ihtiyaç duyar. Ancak, bu hesaplamalar deneysel verilerin yeterince uyumlu olmadığı parametreler kullanarak yürütüldüğü zaman elde edilen sayısal sonuçlar fazla güvenilir olmayabilir. 14-15 MeV enerjili nötronlar sayesinde elde edilen (n, yüklü parçacık) ve (n, 2n) reaksiyon tesir kesitlerinin çok sayıda deneysel verisi yayımlanmıştır (the Computer Index of Neutron Data bibliographic catalogues) [24]. Pek çok çekirdeğin tesir kesitlerinin hedef çekirdeğin kütle numarası A, nötron sayısı N ve proton sayısı Z ile orantılı bir şekilde değiştiği uzun zamandır bilinmektedir. Bu tesirler verilerde gözlenmekte olan izotopik, izotonik ve çekirdeğin tek-çift özelliklerinin yanı sıra $s=(N-Z)/A$ asimetri parametreleri ile de ifade edilir. Hızlı nötronlar sayesinde oluşan reaksiyonların deneysel tesir kesitleri yaklaşık olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$\sigma(n, x) = C \sigma_{ne} \exp[as] \quad (3.1)$$

Burada σ_{ne} , nötronun elastik olmayan tesir kesiti ve C ve a katsayıları farklı reaksiyonlar için fit parametreleridir. Elastik olmayan tesir kesitleri, atomik kütle değişimlerinin tesbitine imkan sağlayan MeV aralığındaki pek çok çekirdek için yoğun bir şekilde ölçülmektedir. Elastik olmayan tesir kesiti πR^2 ile verilir, burada R nükleer çaptır. Eş.3.1, nükleer reaksiyonun aşamalarını anlatır, üstel terim bileşik çekirdekten reaksiyon ürününün kaçışını temsil eder. Eş.3.1'deki kuvvetli s (asimetri parametresi) bağıllığı özellikle, gelen nötron sonucunda elde edilen reaksiyon tesir kesitleri için pek çok araştırmacı tarafından gösterilmektedir. Levskovskii'nin formülüne göre proton ve alfa yayınlanma olasılığı, artan proton sayısı ile gittikçe artmaktadır. Aynı ilişkinin d, t, τ , α ve nötron emisyonu içinde elde edileceği tahmin edilir. 14 MeV enerjili (n, α) reaksiyon tesir kesitleri için Levskovski formülü aşağıdaki gibidir:

$$\sigma_{n,\alpha}(mb) = 18,1(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33(N - Z)/A] \quad (3.2)$$

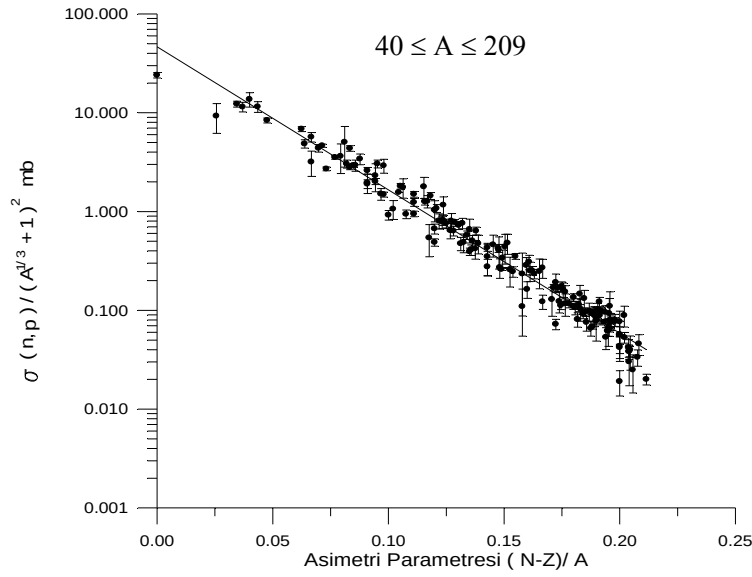
Eş.3.1'deki C ve a katsayıları en küçük kareler yöntemi ile belirlenir. Aşağıdaki tanımlamanın en küçük değerini sağlamak şartı ile yeni serbest parametrelerle elde edilir.

$$\chi^2 = \frac{1}{N} \sum_i^N \left(\frac{\sigma_{deney}^i - \sigma_{hesap}^i}{\Delta\sigma_{deney}^i} \right)^2 \quad (3.3)$$

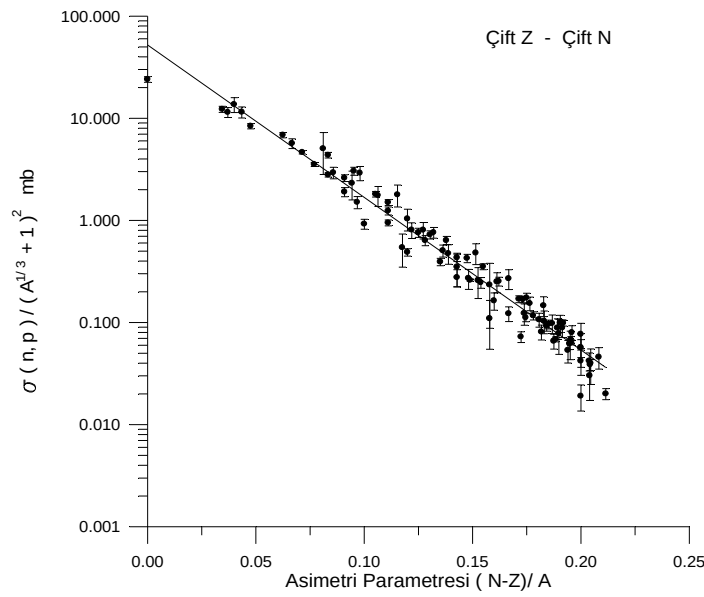
Burada σ_{deney}^i ve σ_{hesap}^i sırasıyla deneysel ve hesaplanmış tesir kesitleri ve $\Delta\sigma_{deney}^i$, σ_{deney}^i ile ilişkili hatadır. Deneysel verilerin çoğu nötron enerjisi 14 MeV'e yakın enerjilerde alınır. 14-15 MeV enerjili nötronlarda farklı reaksiyonlar için tesir kesitinin izotopik bağımlılığını tanımlayan birkaç formül vardır. Ölçülen tesir kesitleri, küçük kütlelerde ($Z \leq 30$) artan asimetri parametresi ile büyük değişim sergiler ve daha sonra orta ve ağır çekirdekler ($A \leq 100$ 'den başlayan) için hemen hemen sabit birdeğere yaklaşılır. Bir çok araştırmacı tarafından (n,p), (n, α) ve (n,2n) tesir kesitlerinin $s = (N - Z)/A$ asimetri parametresi ile ilişkisi tanımlanmaya çalışıldı. Literatürdeki (n,p), (n, α), (n,2n) ve (n,t) reaksiyonları için formüller ve bu çalışmadaki en küçük kareler yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar, χ^2 değerleri Çizelge 3.1-Çizelge 3.4'de verildi.

Çizelge 3.1. 14-15 MeV enerjili (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) sistematiklerinin karşılaştırılması

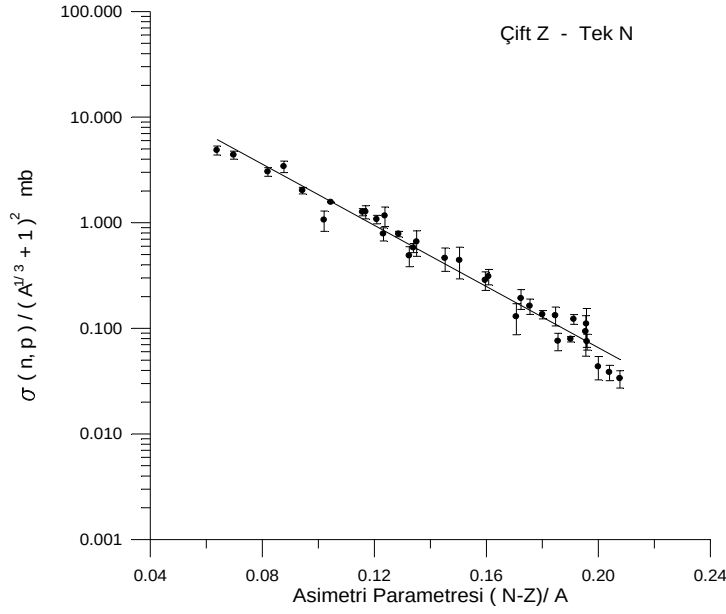
Yazar	Enerji MeV	Kütle Numarası	σ (n,p) Formülü	χ^2
Levkovskii	14,0	$40 \leq A \leq 202$	$45,2(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33(N - Z)/A]$	1,42
Konno ve ark .	14,9		$31,42(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-29,07s]$	0,966
Çalışma 1.a	14 -15	$40 \leq A \leq 209$	$46,678(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33,400s]$	0,966
Çalışma 1.b	14 -15	çift-Z, çift-N	$52,187(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-34,37s]$	0,969
	14 -15	çift Z, tek-N	$51,659(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33,347s]$	0,971
	14 -15	tek-Z, çift-N	$29,825(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-30,554s]$	0,971



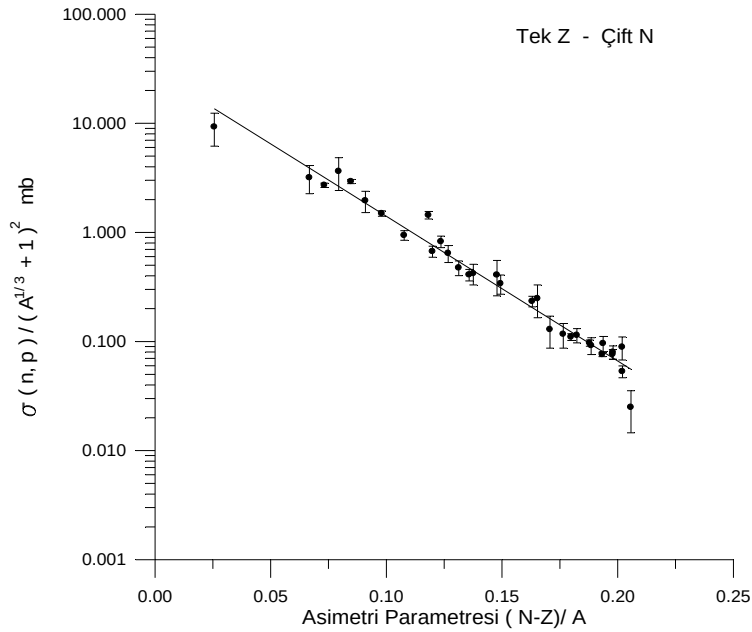
Şekil 3.1. 14-15 MeV enerjili (n,p) reaksiyonu için tesir kesiti sistematiği.
 Deneysel değerler $\sigma_{n,p} = 46,678(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33,4s]$ denklemine
 fit edilmiştir. (Çalışma 1.a)



Şekil 3.2. 14-15 MeV enerjili (n,p) reaksiyonu için tesir kesiti sistematiği.
 Deneysel değerler $52,187(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-34,37s]$ denklemine
 fit edilmiştir. (Çalışma 1.b)



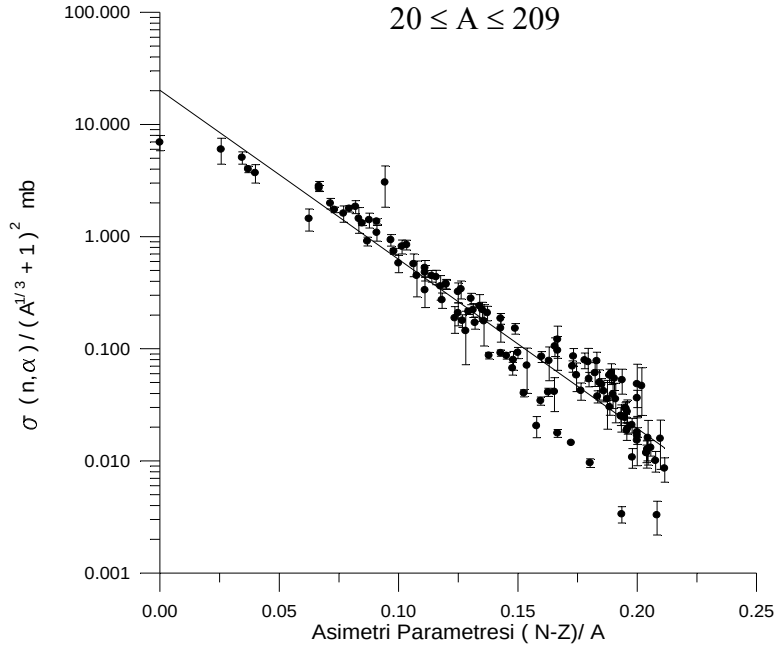
Şekil 3.3. 14-15 MeV enerjili (n,p) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı.
Deneysel değerler $51,659(A^{1/3}+1)^2 \exp[-33,347s]$ denkleminde fit edilmiştir.(Çalışma 1.b)



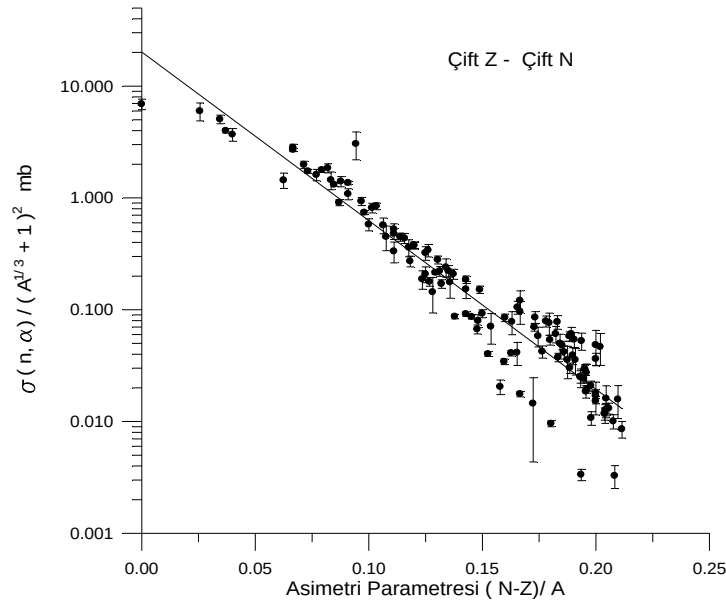
Şekil 3.4. 14-15 MeV enerjili (n,p) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı.
Deneysel değerler $\sigma_{n,p} = 29,825(A^{1/3}+1)^2 \exp[-30,554s]$ denkleminde fit edilmiştir.(Çalışma 1.b)

Çizelge 3.2. 14-15 MeV enerjili (n,α) reaksiyon tesir kesiti (mb) sistematiplerinin karşılaştırılması

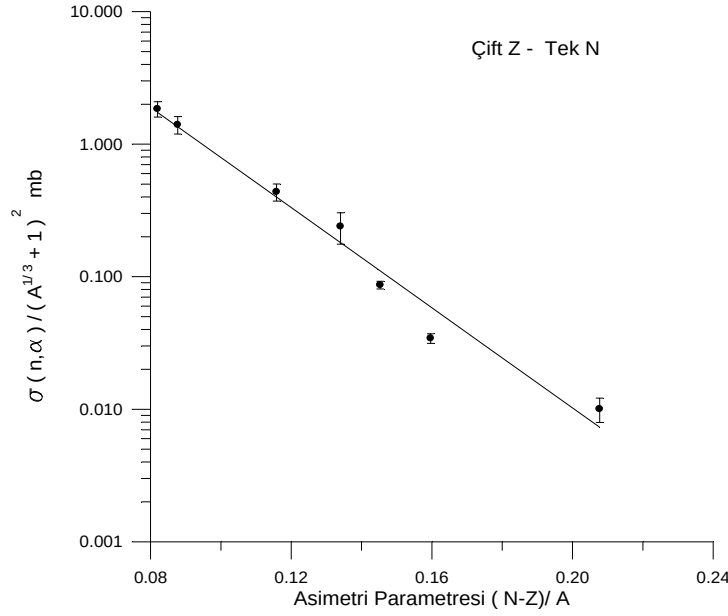
Yazar	Kütle numarası	$\sigma(n,\alpha)$ Formülü	χ^2
Levkovskii	$30 \leq A \leq 150$	$\sigma_{n,\alpha} = 18,1(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33(N-Z)/A]$	0,729
Kasugai	$19 \leq A \leq 187$	$\sigma_{n,\alpha} = 227,86 \exp[-24,66(N-Z)/A]$	0,647
Ait-Tahar	$40 \leq A \leq 188$	$\sigma_{n,\alpha} = 31,66(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-32,75(N-Z+1)/A]$	0,758
Habbani ve Osman	$26 \leq A \leq 238$ (çift- A)	$\sigma_{n,\alpha} = 3,6(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-25(N-Z-3)/A]$	0,728
	$27 \leq A \leq 209$ (tek- A)	$\sigma_{n,\alpha} = 35(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-37,714(N-Z)/A]$	0,719
Çalışma 2.a	$20 \leq A \leq 209$	$\sigma_{n,\alpha} = 20,212(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-34,732s]$	0,911
Çalışma 2.b	çift-Z, çift-N	$\sigma_{n,\alpha} = 20,212(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-34,732s]$	0,911
	Tek - Z, çift-N	$\sigma_{n,\alpha} = 61,358(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-43,496s]$	0,975
	çift-Z, tek-N	$\sigma_{n,\alpha} = 20,418(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-34,201s]$	0,957



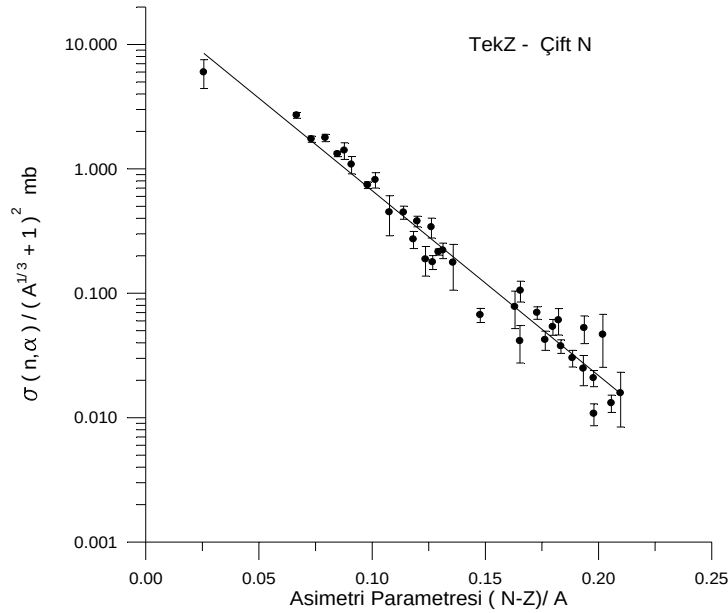
Şekil 3.5. 14-15 MeV enerjili (n,α) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı.
 Deneysel değerler $\sigma_{n,\alpha} = 20,212(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-34,732s]$ denklemine fit edilmiştir.(Çalışma 2.a)



Şekil 3.6. 14-15 MeV enerjili (n,α) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı.
 Deneysel değerler $\sigma_{n,\alpha} = 20,212(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-34,732s]$ denklemine fit edilmiştir.(Çalışma 2.b)



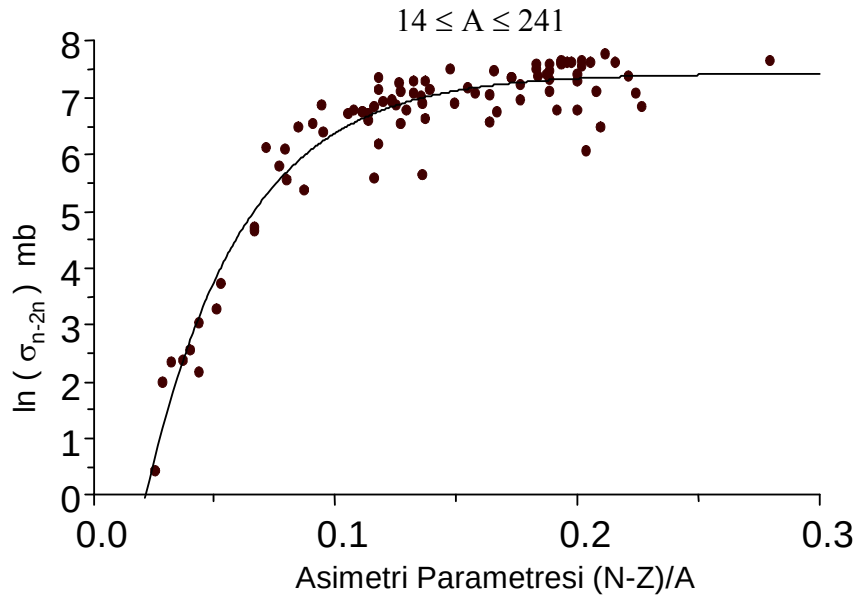
Şekil 3.7. 14-15 MeV enerjili (n,α) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı.
 Deneysel değerler $\sigma_{n,\alpha} = 61,358(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-43,496s]$ denklemine fit edilmiştir.(Çalışma 2.b)



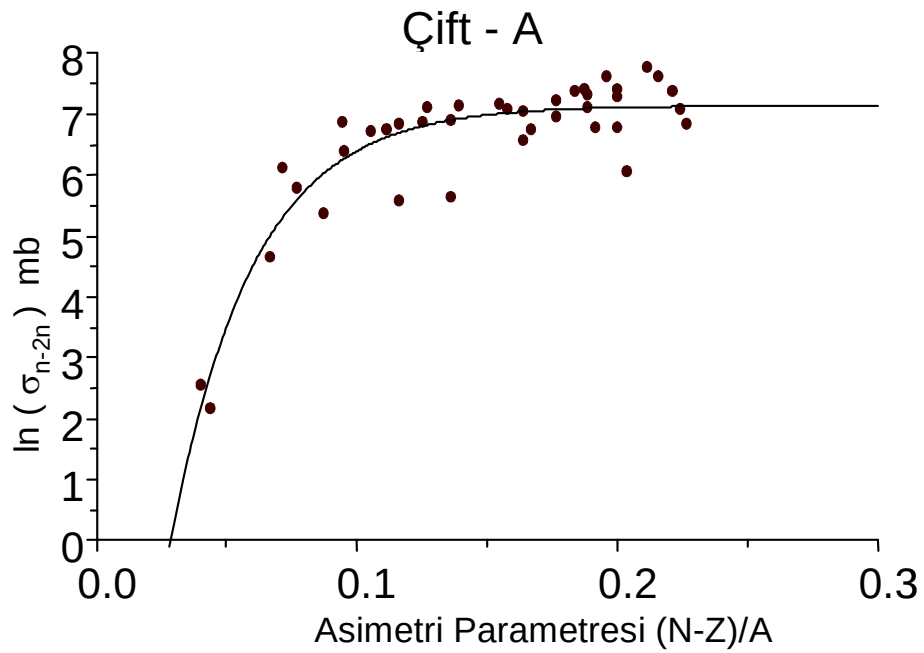
Şekil 3.8. 14-15 MeV enerjili (n,α) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı.
 Deneysel değerler $\sigma_{n,\alpha} = 20,418(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-34,201s]$ denklemine fit edilmiştir. (Çalışma 2.b)

Çizelge 3.3. 14-15 MeV enerjili (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) sistematiğlerinin karşılaştırılması

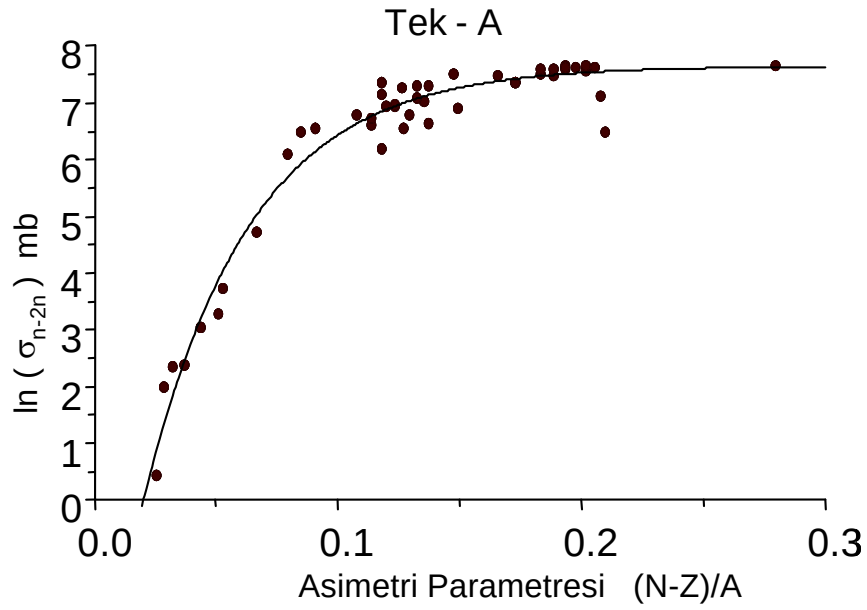
Yazar	Kütle numarası	$\sigma(n,2n)$ Formülü	χ^2
Adam ve Jeki	$28 \leq A \leq 50$	$\sigma_{n,2n} = 20,50 \left[1 - 0,061(A^{1/3} + 1)^2 \exp(-8,6s) \right]$	0,092
Konno ve ark.		$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7,434 \left[1 - 1,484 \exp(-27,37s) \right]$	
Bychkov ve ark.	$45 \leq A \leq 238$	$\sigma_{n,2n} = \begin{cases} 1000 + 7,5A(7,8 - 0,234s) & \text{ için } s \leq 0,13 \\ 1000 + 7,5A(0,65 + s) & \text{ için } s > 0,13 \end{cases}$	0,145
Habbani ve Osman	çift-A	$\sigma_{n,2n} = 208A^{1/3} + 1)^2 \exp[3,76(N-Z+1)/A]$	0,130
	tek-A	$\sigma_{n,2n} = 23,53(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-3,5(N-Z)/A]$	0,102
Çalışma 3.a	$14 \leq A \leq 241$	$\sigma_{n,2n} = 7,43 \left[1 - 1,711(A^{1/3} + 1)^2 \exp(-24,99s) \right]$	0,959
Çalışma 3.b	çift-A	$\sigma_{n,2n} = 7,15 \left[1 - 2,45(A^{1/3} + 1)^2 \exp(-31,62s) \right]$	0,921
	tek-A	$\sigma_{n,2n} = 7,65 \left[1 - 1,59(A^{1/3} + 1)^2 \exp(-23,06s) \right]$	0,981



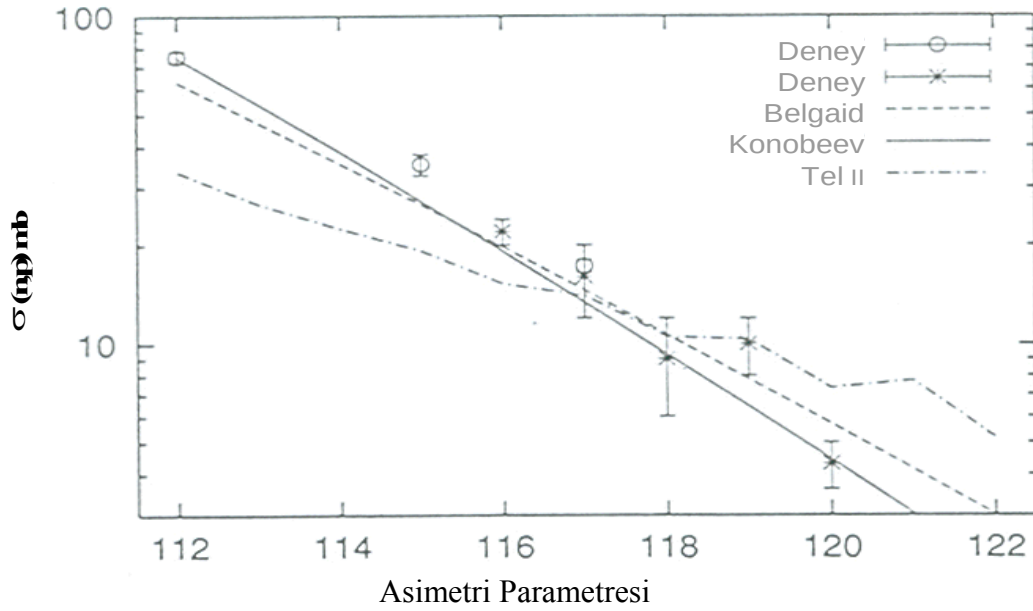
Şekil 3.9. 14-15 MeV enerjili (n, 2n) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı (Çalışma 3.a)



Şekil 3.10. 14-15 MeV enerjili çift -A (n, 2n) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı (Çalışma 3.b)



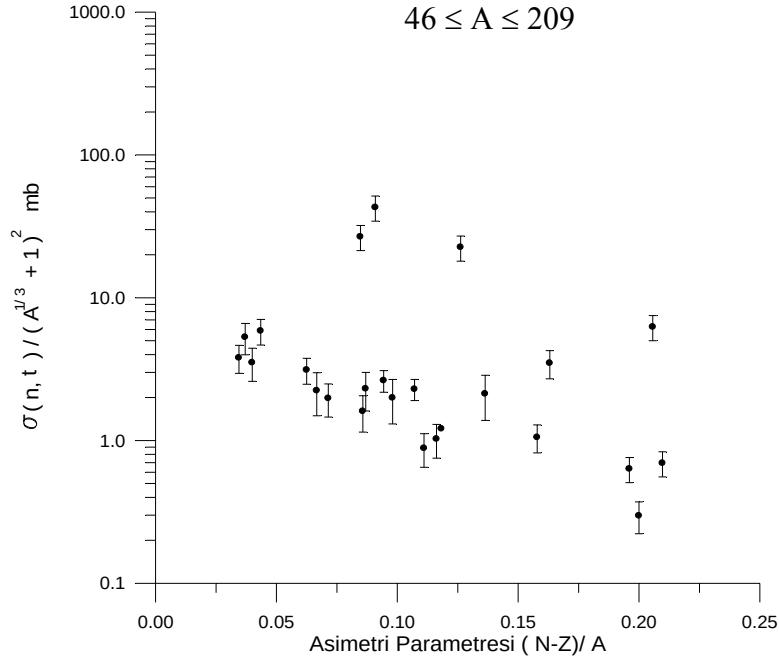
Şekil 3.11. 14-15 MeV enerjili tek -A (n, 2n) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı (Çalışma 3.b)



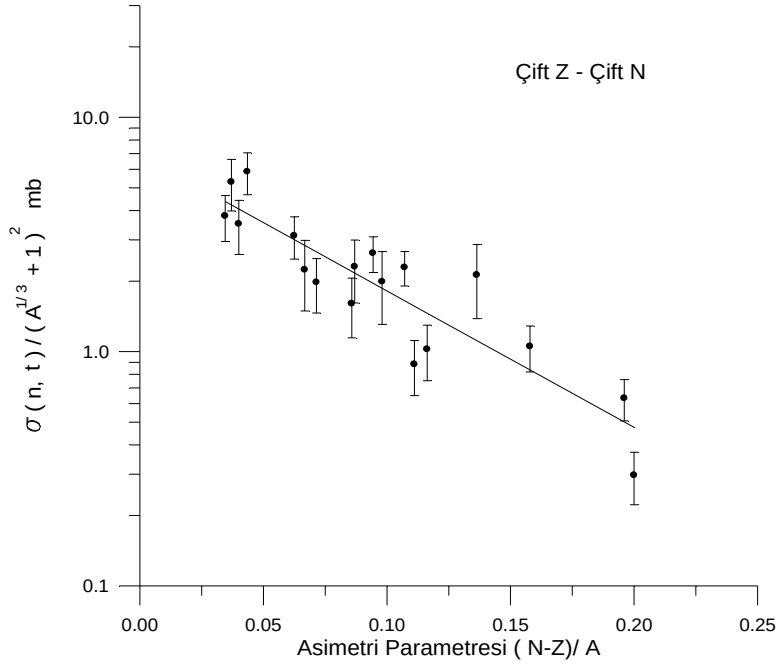
Şekil 3.12. Betak ve arkadaşlarının (n,p) reaksiyonunda $^{112-122}\text{Sn}$ izotopları için yaptıkları deneysel çalışmalar ile teorik çalışmaların (Belgaid, Konobeev, Tel II) karşılaştırılması [25]

Çizelge 3.4. 14-15 MeV enerjili (n,t) reaksiyon tesir kesiti (mb) sistematiiklerinin karşılaştırılması

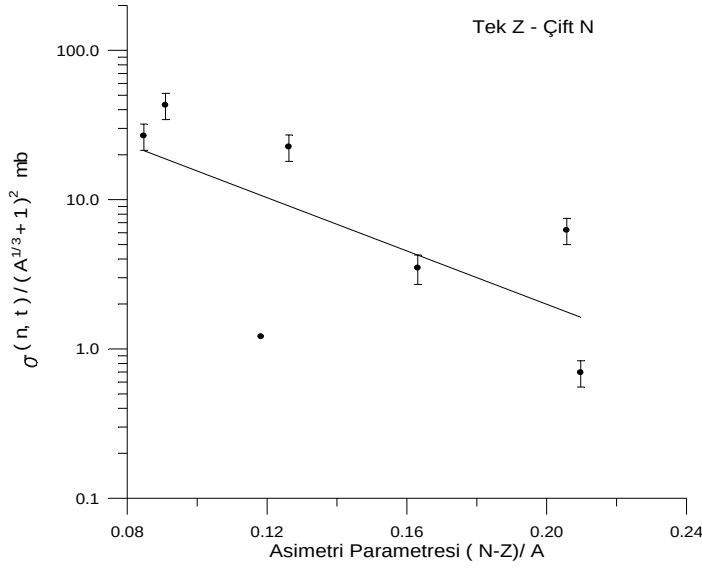
Yazar	Enerji MeV	Kütle Numarası	σ (n,t) Formülü	χ^2
Belgaid ve ark.	14,5	$40 \leq A \leq 209$ tek-A	$(A^{1/3} + 1)^2$	1,50
		$40 \leq A \leq 209$ çift-A	$\exp[-2,1737 + 0,9265(2z - 1)/A^{1/3} + 23,215(2z - 1)/A^{1/2}]$ $(A^{1/3} + 1)^2 \exp[4,123 - 101,36s]$	5,97
Fonnest	14,5	$40 \leq A \leq 209$ tek-A	$(A^{1/3} + 1)^2 \exp[1,445 - 17,658s + 0,886A^{1/2}]$	1,71
		$40 \leq A \leq 209$ çift-A	$\exp[8,64 - 23,42s]$	6,49
Qaim	14,5	$40 \leq A \leq 209$ tek-A	$132 \exp[-10,35s]$	2,49
		$40 \leq A \leq 209$ çift-A	$56,53 \exp[-23,42s]$	6,49
Çalışma 4.a	14-15	$46 \leq A \leq 209$	$14,56(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-26,58s]$	
Çalışma 4.b	14-15	çift-Z, çift-N	$6,941(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-13,412s]$	0,80
	14-15	tek-Z, çift-N	$121,21(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-20,543s]$	0,43



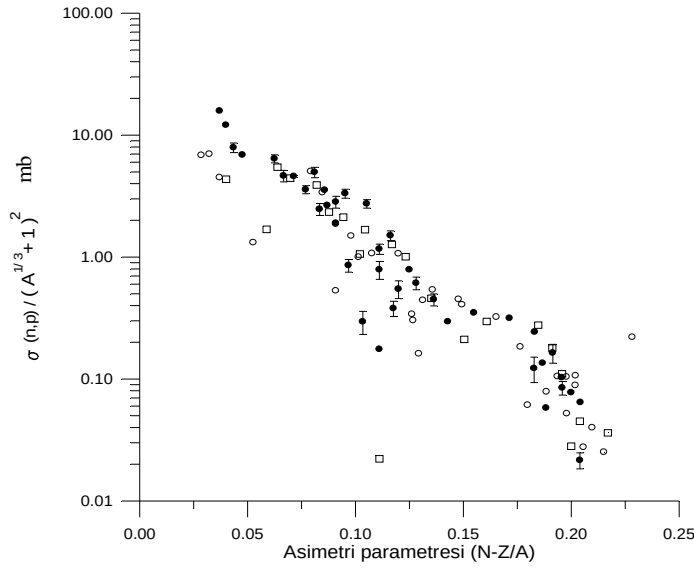
Şekil 3.13. 14-15 MeV enerjili (n,t) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı.
(Çalışma 4.a)



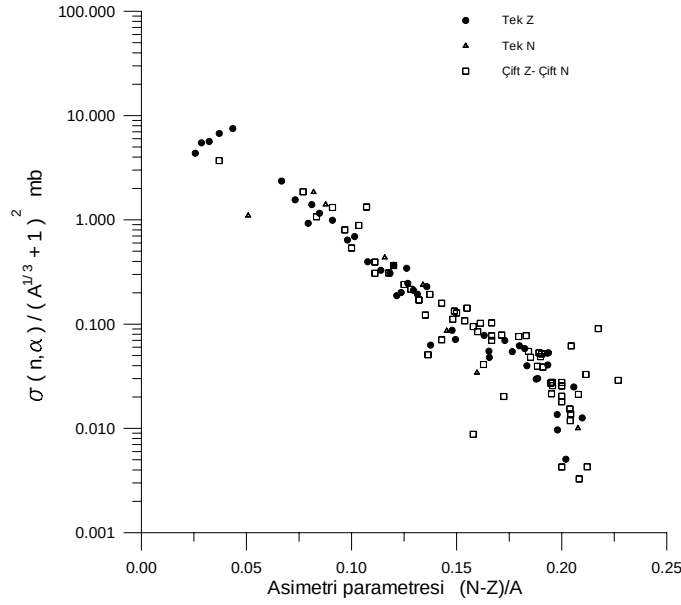
Şekil 3.14. 14-15 MeV enerjili (n,t) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı.
Deneyisel değerler $\sigma_{n,t} = 6,9411(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-13,412s]$ denkleminde fit edilmiştir.(Çalışma 4.b)



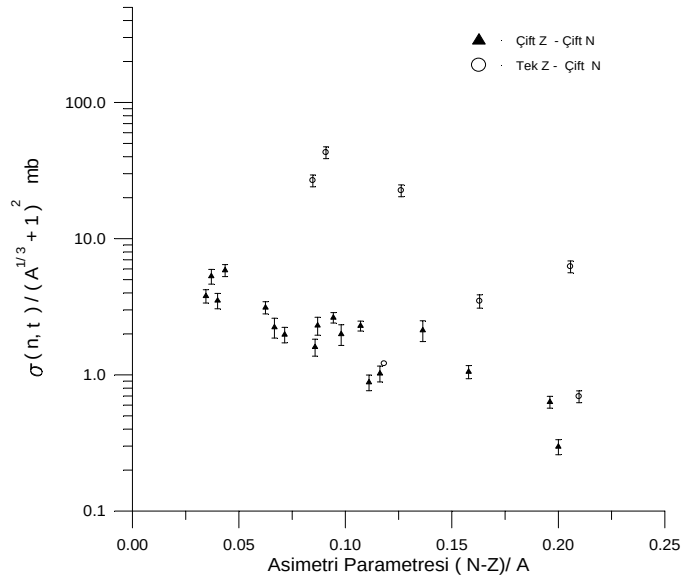
Şekil 3.15. 14-15 MeV enerjili (n,t) reaksiyonu için tesir kesiti sistematığı.
Deneysel değerler $\sigma_{n,t} = 121,21(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-20,543s]$ denklemine fit edilmiştir. (Çalışma 4.b)



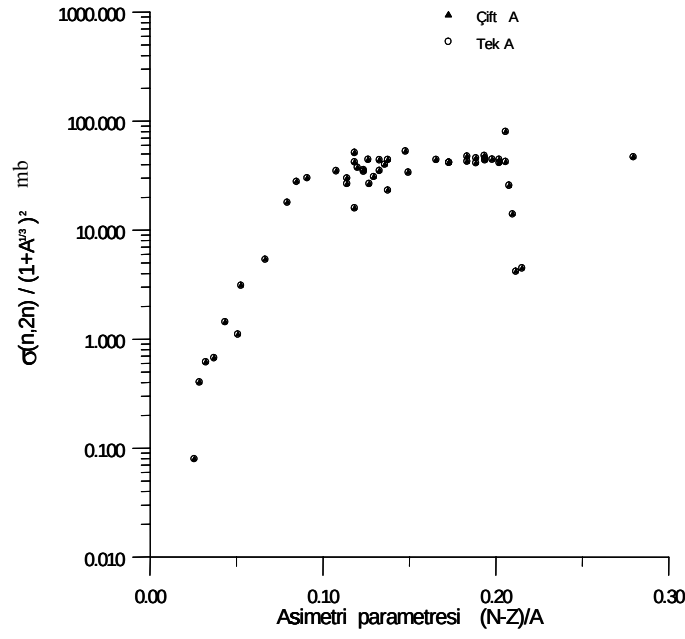
Şekil 3.16. 14-15 MeV nötronların tek Z-çift N (içi boş daire), çift Z-çift N (içi dolu daire), çift Z-tek N (içi boş kare) çekirdekler için (n,p) reaksiyon tesir kesitlerinin sistematığı



Şekil 3.17. 14-15 MeV nötronların tek Z-çift N (içi dolu daire), çift Z-çift N (içi boş kare), çift Z-tek N(içi dolu üçgen) çekirdekler için (n,α) reaksiyon tesir kesitlerinin sistematığı



Şekil 3.18. 14-15 MeV enerjili nötronların çift Z -çift N (içi dolu üçgen) ve tek Z- çift N (içi boş daire) çekirdeklerde (n,t) reaksiyon tesir kesitlerinin sistematığı



Şekil 3.19. 14-15 MeV enerjili nötronların çift A (içi dolu üçgen) ve tek A (içi boş daire) çekirdeklerde (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinin sistematığı

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Şekil 3.1’de orijinal Levskovskii (n,p) reaksiyon tesir kesiti formülü $20 \leq A \leq 239$ aralığı için genişletilerek yeni katsayılar elde edildi. Şekil 3.2-Şekil 3.4’de ise çekirdekleri çift-çift, çift-tek ve tek-tek sınıflayarak farklı parametre grupları belirlendi. Tel ve arkadaşları [10-13] tarafından çekirdek kabuk modeli göz önüne alınarak elde edilen asimetri bağımlı (n,p) reaksiyon tesir kesiti formülü χ^2 değerleriyle birlikte Çizelge-3.1’de verildi ve Şekil 3.1-Şekil 3.4 arasında gösterildi. Çiftlenim etkisini de göz önüne alan bu yeni deneysel formül; ($n,2n$) ve (n,α) reaksiyonlarına Şekil 3.5-Şekil 3.11’de modifiye edildi [13] ve literatüre uygun yeni katsayılı formüller Çizelge 3.2-Çizelge 3.3’de verildi. Betak ve arkadaşları, $^{112-124}\text{Sn}$ ince hedef için yapmış oldukları en son deneylerinde bu formülün tesir kesitlerindeki ani yükselip alçalmalara ait dalgalanmaları (tek-A’lı ^{117}Sn ve ^{119}Sn izotopları için) hesaplamakta uyumlu olduğunu Şekil 3.12’de gösterildiği gibi gözlemlemiştir. Ancak ^{112}Sn , ^{118}Sn ve ^{124}Sn gibi çift - A’lı Sn izotopları için Tel-II formülü başarısızdır. Kütle numarası büyük çekirdeklerde deneysel veriler ile hesaplanan veriler arasında iyi bir uyum yoktur, çünkü kabuk tesirli ağır çekirdeklerde zayıftır. Bu bölgelerde ise, Belgaid ve Konoboev’in formülleri deneysel değerleri hesaplamakta oldukça başarılıdır. Tel-II formülü, deneysel ve sadece iki parametreye dayanarak basitçe hesaplanabilir. Bu yüzden ağır ve karmaşık sistemlerde iyi sonuçlar elde edilememektedir. Belgaid [4] ve Konobeyev’in [3] formülleri ise yarı-deneysel ve pek çok parametreye dayanarak daha zor hesaplanabilmektedir. Ancak bu formüllerle ağır ve karmaşık sistemlerde daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Şekil 3.1-Şekil 19’da, 14-15 MeV enerjide (n,p), ($n,2n$), (n,α) ve (n,t) reaksiyonlarının tesir kesiti için çekirdekleri çift-çift, çift-tek ve tek-tek olarak sınıflandırarak farklı parametre grupları belirlendi. Burada kabuk modelinin çiftlenim etkisini hesaba katarak elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında uyumluluk gözlenmiştir. Önemli olarak elde edilen bir sonuç Şekil 3.16-Şekil 3.18’de, (n ,yükli parçacık) reaksiyon tesir kesitinde tek-çift etkisinin varolmasına rağmen Şekil 3.19’da, ($n,2n$) tesir kesitinde tek-çift etkisi yoktur. Şekil 3.16-Şekil 3.18’de asimetri parametresi göz önüne alındığında nötron sayısı arttıkça yükli parçacık çıkarma

olasılığı düşmektedir, ama Şekil 3.19’da $(n,2n)$ reaksiyonunda ise tam tersidir. Bunun sebebi çekirdek içerisinde yüklü parçacıklara etkiyen Coulomb etkisidir. Asimetri parametresi $s=N-Z/A$ ağır çekirdeklere gidildikçe artmaktadır. Yani ağır çekirdeklerin deformasyon özelliği daha fazladır. Ağır çekirdek içerisinde nükleon hareketleri bir sıvı damlasına benzetilir ve birlikte (kollektif) hareket etme eğilimindedir. Bohr ve Wheeler [26], 1939’da çekirdeğin sıvı damlası modeline dayanarak fisyon olayının teorisini yaptılar. Bu teoriye göre, küresel sıvı damlası biçimindeki çekirdekte yüzey gerilimi kuvvetleri ile Coulomb itmesi dengededir. Çekirdek bir yavaş nötron yakalayınca, ortaya çıkan uyarılma enerjisi (yaklaşık 6 MeV), meydana gelen ara çekirdekte titreşimlere sebep olur ve damla küresel şekilden ayrılarak elipsoid biçimini alabilir. Yüzey gerilim kuvvetleri damlayı eski biçimine getirmeye, uyarılma enerjisi ise şekli daha fazla bozmaya çalışır. Uyarılma enerjisi yeter derecede büyük değilse, elipsoid, yüzey gerilimi kuvvetleri ile tekrar küresel biçimine dönerken, uyarılma enerjisi γ fotonları şeklinde yayınlanır. Bu halde, fisyon yerine, ısıyıcı yakalama olayı meydana gelmiş olur. Eğer uyarılma enerjisi yeter büyüklükte ise, damla bir ipek kozasına yakın bir biçim alır ve sonunda ya parçacık (yüklü parçacık) yayınlanması ile Coulomb itme etkisi azaltılır ya da Coulomb itmesi ile kozanın iki yuvarlağı birbirinden ayrılarak fisyon ürünlerini meydana getiren küresel iki parça halinde birbirinden uzaklaşır. Sıvı damlasının içerisindeki nükleonların birlikte hareket etme eğiliminden dolayı uyarılmış ağır çekirdeklerin fisyon yapma olasılığı parçacık yayınlama olasılığından çok fazladır. Ayrıca yüklü parçacıklar çekirdek içerisine girerken ve çekirdekten dışarı çıkarken Coulomb engelini aşmak zorundadır. Bu engel ağır çekirdeklere doğru artmaktadır ve bu da yüklü parçacıkların çekirdekten yayınlanma olasılığını düşürürken ve fisyon yapma olasılığını ise artırmaktadır. Nötronlar için böyle bir Coulomb itme etkisi yoktur. Ancak yinede $(n,2n)$ reaksiyonlardaki parçacık yayınlanmasının tek-çift etkisine bağlı olmaması, temel nükleon-nükleon etkileşmesindeki nötron-nötron ile nötron-proton etkileşmesinin birbirine özdeşliğinin tartışılmasını gerektirir. Deneysel reaksiyon tesir kesitleri daha hassas ve daha fazla sayıda ölçülerek ve elde edilen sonuçlar daha ayrıntılı incelenerek çekirdek yapısı ve çekirdek kuvvetleri hakkında yeni bilgiler elde edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Bychkov, V., M., Manokhin, V., N., Pashchenkov A., B., and Plyaskin, V., I., “Handbook of Cross Sections for Neutron Induced Threshold Reactions”, *Energoizdat*, Moskva, 118-123 (1982).
2. Kasugai, Y., Ikeda, Y., Yamamoto, H., and Kawede, K., “Sistematics of Activation Cross Sections for 13,4-15,0 MeV Neutrons”, *JAERI - Conf.*, 95 (1995).
3. Konno, C., Ikeda, Y., Osihi, K., Kawede, K., Yamomoto, H., and Maekawa, H., JAERI-1329, *Japan Atomic Energy Research Institute*, 242-249 (1993).
4. Habbani, F., I., and Osman, K., T., *Appl. Rad. and Isot.*, 54: 283 (2001).
5. Korovin ,Yu , A., and Konobeyev, Yu, A., *Nucl. Instr. and Meth.*, B :15 103 (1995).
6. Belgaid, M., and Asghar, M., *Appl. Radiat. Isot.*, 49:1497 (1998).
7. Ait-Tahar, S., *Nucl. Phys.*, 13: 121 (1987).
8. Levkovskii, V., N., *J. Phys.*, Sov., 18: 361 (1974).
9. Adam A., and Jeki, L., *Acta Phys. Acad. Sci. Hung.*, 26: 335 (1969).
10. Tel, E., Şarer, B., Okuducu, Ş., Aydın, A., and Tanir, G., *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.*, 29: 2169-2177 (2003)
11. Tel, E., Okuducu, Ş., Aydın, A., Şarer B., and Tanir, G., *Acta Physica Slovaca* 54, 191-204 (2004).
12. Tel, E., Aydın, A., Übeyli, M., and Demirkol, İ., *Indian Journal of Physics*, 78:1229-1237 (2004).
13. Tel, E., Okuducu, Ş., Bölükdemir M.,H., and Tanir, G., *International Journal of Modern Physics E, IJMPE*, 1-8 (2006).
14. Okuducu, Ş., Ahmadow, H., *Phys. Lett.*, B:565,102 (2003).
15. Weisskopf et al., *Phys. Rev.*, 52, 295 (1937).
16. Trofimov, Yu., In , *Neutron Physics* (Proc. of 4th All-Union Conf, on Neutron Physics, Kiev), Moskow, Volum II : 40 (1997).

17. Vonach, H., "In: Proc. The 19th Int. Symp. on Nuclear Physics", **Report Zfk-733**, Gaussig, Germany, 109 (1989).
18. Manokhin, V., N., Odano N., and Hasegawa A., "Consistent Evaluations of (n,2n) and (n,np) Reaction Excitation Functions for Some Even-Even Isotopes Using Empirical Systematics", **JAERI-Research** , 13 (2001).
19. Manokhin, V., N., Pashchenko, A., B., Plyaskin, V., I., Bychkov, V., M., Pronyaev, V., G., "ACTIV87, Fast Neutron Activation Cross Section File" **IAEA-NDS**, 96 (October 1989).
20. Bychkov, V., M., Manokhin, V., N., Pashchenkov A., B., and Plyaskin, V., I., "Handbook of Cross Sections for Neutron Induced Threshold Reactions", **Energoizdat**, Moskva 181 (1982).
21. ŞARER, B., "Reaksiyon Tesir Kesitleri" , Nükleer Fizik, **Palme Yayıncılık**, Ankara, 2 : 392-393 (2001).
22. ÖNENGÜT, G., "Çekirdek Dönüşümleri", Modern Fiziğin Kavramları, **Akademi Yayın Hizmetleri**, İstanbul, 441-445 (1997).
23. ŞAHİN, Y., "Nükleer Reaksiyonlar", Çekirdek Fiziğinin Esasları, **Aktif Yayınevi**, Erzurum, 123-131 (1999).
24. Neutron Cross Section, BNL 325, 3rd ed., **Brookhaven National Laboratory**, Volum II (1976).
25. Betak, E., Mikolajczak, R., Staniszevska, J., Mikolajewski, S., Rurarz., E., **Radiochim., Acta**, 93: 311 (2005).
26. Bohr, N., and Wheeler, J., A., **Phys. Rev.**, 56: 426 (1939).
27. McLane, V., CSISRS Experimental Nuclear Data File, **National Nuclear Data Center Brookhaven National Laboratory**, http: // www.nndc.bnl.gov / tr., (1997).
28. Pai H., L., and Andrews, D., G., Can. **J. Phys.**, 56: 944 (1978).
29. Pearlstein, **Nucl. Sci. and Eng.**, 23:238 (1965).
30. Flerov N., N., and Talyzin, V., M., **J. Nucl. Energy**, 4: 529 (1957).
31. Barr, D., W., Browne, C., I., and Gilmore, J., S., **Phys. Rev.**, 123: 859 (1961).
32. Adam A., and Jeki, L., **Acta Phys., Acad., Sci. Hung.**, 26: 335 (1969).

33. Erba et al., *IL Nuovo Cimento*, 22: 1237 (1961).
34. Betak, E., Droste, S., Mikolajewski, W., Ratynski, E., Rurarz, T., Kempisty and S., Raman, **Nucl. Sci. and Eng.**, 132: 295 (1999).
35. Hoang, H., M., Garuska, U., Marcinkowski, A., and Zwiegliniski, B., Z., Phys A, *Atomic Nuclei*, 334: 285 (1989).
36. Ikeda, Y., Cheng, E., T., Konno C., and Maekawa, H., *Nucl. Sci. and Eng.*, 116: 28 (1994).
37. H., Liskien, R., Wolfle, R., Widera, and S., M., Qaim, *Appl. Radiat. Isot.*, 41: 83 (1990).
38. Habbani and Paic, G., *Appl. Radiat. Isot.*, 39: 1041 (1988).
39. Veaser, L., R., Arthur, E., D., and Young, P., G., *Phys. Rev.*, 16: 1792 (1977).
40. Bayhurst, B., P., Gilmore, J., S., Prestwood, R., J., Wilhelmy, J., B., Jarmie, N., Erkkila, B., H., and Hardekopf, R., A., *Phys. Rev.*, 12: 451 (1975).
41. Holub and E., Cindro, N., *J. Phys. G. Nucl. Phys.*, 2:405 (1976).
42. Jong Do, A., Dresler, J., Garuska, U., Herman M., and Marcinkowski, A., *J. Phys. G. Nucl. Phys.*, 10: 91 (1984).
43. “Handbook for Calculations of Nuclear Reaction Data”, Reference Input Parameter Library, IAEA-TECDOC-1034, Nuclear Data Section, International Atomic Energy Agency (ENSDF)’’ *National Nuclear Data Center*, Brookhaven National Laboratory, 119 (1998).
44. Forrest, R.; A., Systematics of neutron induced threshold reactions with charged products at about 14.5 MeV, **Rep. AERE-R 12419**, Hherwell Laboratory, 58 (1986).
45. Qaim, S., M., *Nucl. Phys. A*, 384: 438 (1984).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÜNLÜTÜRK, A,Fevzi
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 25.03.1969 Gümüşhane
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 2607121
 Faks : 0 (312) 4974099
 e-mail : afunluturk@meb.gov.tr
 : afunluturk@hotmail.com

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Fırat Üniversitesi/ Fizik Bölümü	1994
Lise	Kayseri Lisesi	1988
İş Deneyimi		
Yıl	Yer	Görev
1994-2000	ANKARA	Lise Öğretmenliği
2000-2006	M.E.B.	E.Ğ.İ.T.E.K. Sınavlar Dairesi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Tel, E., Ünlütürk, A., F., Arasoğlu, A., Bölükdemir, M., H., Tanır, G., “ Yeni Geliştirilmiş Deneysel Formüller Kullanılarak 14-15 MeV’lik Nötronların Çekirdek Reaksiyonları İçin Çiftlenim Etkisinin İncelenmesi ”, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Eskişehir, (Haziran -2006), (Basımda).
2. Tel, E., Ünlütürk, A., F., Arasoğlu, A., Bölükdemir, M., H., Tanır, G., “ Yeni Geliştirilmiş Deneysel Formüller Kullanılarak 14-15 MeV’lik Nötronların Çekirdek Reaksiyonları İçin Çiftlenim Etkisinin İncelenmesi ”, *II . Nükleer Yapı Özellikleri Çalıştayı*, Eskişehir, (9- Kasım 2005).

3. Tel, E., Ünlütürk, A., F., Arasoğlu, A., “Feshbach-Kerman-Koonin Teorisi ile $^{55}\text{Mn}(\alpha, xn)$, $^{92}\text{Mo}(n, p)^{92\text{m}}\text{Nb}$ Ve $^{92}\text{Mo}(n, np)^{91\text{m}}\text{Nb}$ Reaksiyonlarının Uyarılma Fonksiyonlarının Hesaplanması ”, *IX. Ulusal Nükleer Bilimler Teknolojileri Sempozyumu*, İzmir, (14-16 Eylül 2005).
4. Tel, E., Ünlütürk, A., F., Aydın, A., Bölükdemir, M., H., Aktı, N., N., “Investigation Of Empirical Systematic (n,t) For 14-15 MeV Neutron Reaction Cross Sections ”*BPU-6 6th International Conference of the Balkan Physical Union*, İstanbul , (Ağustos 22-26 -2006), (Poster-Basımda).

Hobiler

Masa Tenisi, Satranç, Bilgisayar Teknolojileri