



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜLERİ
ORTAK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mesut DEPEDELEN

HALO ÇEKİRDEKLERİN
YENİ GELİŞTİRİLEN YARI-
AMPİRİK NÜKLEER REAKSİYON
TESİR KESİTİ FORMÜLLERİ
KULLANILARAK İNCELENMESİ

FİZİK ANABİLİM DALI

OSMANİYE – 2015

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORTAK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**HALO ÇEKİRDEKLERİN YENİ GELİŞTİRİLEN YARI-
AMPİRİK NÜKLEER REAKSİYON TESİR KESİTİ
FORMÜLLERİ KULLANILARAK İNCELENMESİ**

Mesut DEPEDELEN

**FİZİK
ANABİLİM DALI**

**OSMANİYE
EYLÜL-2015**

TEZ ONAYI

HALO ÇEKİRDEKLERİN YENİ GELİŞTİRİLEN YARI-AMPIRİK NÜKLEER REAKSİYON TESİR KESİTİ FORMÜLLERİ KULLANILARAK İNCELENMESİ

Mesut DEPEDELEN tarafından Prof. Dr. Eyyup TEL danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Eyyup TEL
Fizik Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Prof. Dr. İsmail Hakkı KARAHAN
Fizik Anabilim Dalı, MKÜ

Üye: Doç. Dr. Abdullah KAPLAN
Fizik Anabilim Dalı, SDÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. A. Ali GÜRTEN
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu Çalışma OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: OKÜBAP-2014-PT3-026

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Mesut DEPEDELEN

ÖZET

HALO ÇEKİRDEKLERİN YENİ GELİŞTİRİLEN YARI-AMPİRİK NÜKLEER REAKSİYON TESİR KESİTİ FORMÜLLERİ KULLANILARAK İNCELENMESİ

Mesut DEPEDELEN
Yüksek Lisans, Fizik Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Eyyup TEL

Eylül 2015, 49 sayfa

Sıvı damlası modeli iyi tanımlanmış bir yüzeye sahip olmasına rağmen deneysel çalışmalar, belirli çekirdeklerde nötron veya protonların bazılarının bu damla yüzeyinin dışına çıktığını göstermektedir. Yüzeiden sızan nükleonların, çekirdekten belli uzaklıkta yoğunlaşmış halde bir sis bulutu oluşturdukları bu durum halo olarak adlandırılmaktadır. Taşma sınırı yanındaki çekirdeklerin, belli şartlar altında, kütle dağılımları nükleer korun dışına uzaklaşacak şekilde genişleyen nötron veya proton haloları oluşturmaktadır. Bu çekirdeklerde son nüklonların ayrılma enerjileri çok küçük olduğundan, kor dışında geniş bir alana uzanan haloların ortalama yarıçap (rms) değerleri kor ve kütle yarıçapından daha büyük olmaktadır. Bu halo etkisi, halo çekirdeklerin β^- bozunum ihtimallerinin artmasında ve logft değerlerinin küçülmesinde önemli bir rol oynamaktadır. 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. Tel ve arkadaşları geliştirdikleri bu formülü $(n, 2n)$, (n, α) , (n, d) ve (n, t) reaksiyonları içinde uygulamayı başarmışlardır. Bu proje kapsamında, Tel ve arkadaşları tarafından geliştirilen bu reaksiyon tesir kesiti formülleri ${}^7\text{Li}$, ${}^{11}\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$ ve ${}^{14}\text{Be}$ halo hedef çekirdeklere uygulanarak deneylerle karşılaştırılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Halo Çekirdek, Nötron Halo, Proton Halo, Taşma Sınırı, Tel ve Ark. Formül

ABSTRACT

INVESTIGATION OF REACTIONS CROSS-SECTIONS FOR TARGETED HALO NUCLEI USING NEW EVALUATED SEMI-EMPIRICAL FORMULA

Mesut DEPEDELEN
M.Sc., Department of Physics
Supervisor: Prof. Dr. Eyyup TEL

September 2015, 49 pages

Liquid drop model although a well-defined surface, experimental research, Some of the neutrons or protons in the nucleus of certain illustrates goes outside of the drop surface. Leaky surface nucleons, condensed certain distance from the core is called in this case they form a halo of mist. The nuclei near the dripline, under certain circumstances, have been found to form a neutron or proton halo with a mass distribution that extends far outside the nuclear core. In this nuclei, since the seperation energy of the last nucleons becomes extremely small, the root mean square (rms) values of halos that extends far outside the core have been larger than core and matter radius of nuclei. This effect of the halo could have an important influence in that the increasing of the β^- decay probability and the reducing of the logft values for halo nuclei. Tel et al. have suggested using the 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. Tel *et al.* also obtained a new appropriate coefficient by using this formula for (n, 2n), (n, α), (n,d) and (n,t) reactions and Tel et al have succesfully applied the nuclear reactions. In this project, the obtained formulas by Tel *et al.* have been applied the some ^7Li , ^{11}Li , ^9Be and ^{14}Be target halo nuclei for understanding the nuclear reactions and compaired with the experimental data.

Key Words: Halo Nuclei, Neutron Halo, Proton Halo, Overflow Limit, Tel et al. Formula

Çok kıymetli anneme ve babama...

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimimin ve tezimin her aşamasında değerli görüş ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Eyyup TEL'e en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim içerisinde yardım ve desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen Doç. Dr. Muhittin ŞAHAN, Yrd. Doç. Dr. F.Aysun UĞUR ve Yrd. Doç. Dr. Halide ŞAHAN hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında göstermiş oldukları anlayış ve sonsuz destekleri için sevgili annem Meryem DEPEDELEN, babam Mehmet DEPEDELEN kardeşlerim Tuğba DEPEDELEN, Zehra DEPEDELEN ve Furkan Can DEPEDELEN'e yürekten teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İTHAF SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
2.1. Halo Çekirdekler.....	5
2.1.1. Nötron Halosu.....	9
2.1.2. Proton Halosu.....	11
2.1.3. Halo Çekirdeklerde Yarıçap.....	13
2.2. Nükleer Reaksiyon Tesir Kesitleri.....	16
2.2.1. Tesir kesiti.....	16
2.2.2. Diferansiyel tesir kesiti.....	18
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	20
3.1. Tesir Kesiti Reaksiyonları İçin Genelleştirilmiş Deneysel Formüller İle Hesaplamalar	20
4.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	44
KAYNAKLAR.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Halo adayı bazı çekirdekler ve özellikleri.....	7
Çizelge 2.1. (R_{mermi}) hedef çekirdekle (R_{hedef}) etkileşme tesir kesiti.....	23
Çizelge 2.2. 14-15 MeV enerjili (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) sistematikleri.....	24
Çizelge 2.3.14-15 MeV enerjili (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) deneysel ve teorik sonuçlarının karşılaştırılması.....	27
Çizelge 2.4. 14-15 MeV enerjili (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) sistematikleri.....	28
Çizelge 2.5. 14-15 MeV enerjili (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) deneysel ve teorik sonuçlarının karşılaştırılması.....	35
Çizelge 2.6. 14-15 MeV enerjili (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) sistematikleri....	36
Çizelge 2.7.14-15 MeV enerjili (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) sistematiklerinin karşılaştırılması.....	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Taşma sınırı yanındaki halo çekirdeklerin genel özellikleri.....	8
Şekil 2.2. Çift ve tek nötron halo çekirdekleri ile proton halo çekirdekleri.....	10
Şekil 2.3. Proton ve nötronun yoğunluk dağılımının değişimi.....	12
Şekil 2.4. Proton Halo.....	13
Şekil 2.5. ^{11}Li çekirdeğinin büyüklüğü ile ^{208}Pb çekirdeğinin büyüklüğünün Kıyaslanması.....	14
Şekil 2.6. Taşma sınırı yanındaki çekirdeklerin yarıçaplarındaki ani değişim.....	15
Şekil 2.7. Tesir kesiti kavramının geometrik bir gösterimi.....	16
Şekil 2.8. $d\Omega$ katı açısının hesap elemanları.....	19

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmamızda kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmaları açıklamaları ile beraber aşağıdadır.

Simgeler	Açıklama
A	Kütle Numarası
fm	Fermi
<i>J</i>n	Nükleonların toplam açısal momentumu
<i>l</i>	Yörünge Kuantum sayısı
N	Çekirdekdeki nötron sayısı
P	Momentum
Q	Bir çekirdeğin bozunma enerjisi
R	Yarıçap
R_{mermi}	Mermi çekirdeğin yarıçapı
R_{hedef}	Hedef çekirdeğin yarıçapı
S	Asimetri parametresi
σ etkileşim	Etkileşme tesir kesiti
π	Pi sayısı
Z	Çekirdekdeki proton sayısı

Kısaltmalar	Açıklama
b	Barn
Bkz.	Bakınız
n	nötron
(n+k)	nötron+kor
(n+n+k)	nötron+nötron+kor
p	proton
rms	Ortalama karekök değeri

1. GİRİŞ

Atom çekirdeği üzerinde yapılan çalışmalarda, son yıllarda, nötronların ve protonların çekirdekte oluşturacakları mümkün olan kombinasyonları için önemli bir uğraşı haline gelmiştir. Halo çekirdeklerin keşfi olağanüstü şaşırtıcı ve ilginç olmuştur. Bu kesif Tanihata ve arkadaşlarının öncülüğünde bin dokuz yüz seksenli yılların ortalarında başlamıştır [Tanihata ve arkadaşları., 1985].

Sonra ki zamanlarda özellikle de sıvı damlası modelinin merkez alındığı araştırmalar yoğunlaşmıştır. Sıvı damlası modeli iyi tanımlanmış bir yüzeye sahip olmasına rağmen deneysel çalışmalarda, belirli bazı çekirdeklerde nötron veya protonlardan bazılarının bu damla yüzeyinin dışına çıktığı gözlenmiştir. Yüzeyden sızan nükleonların, çekirdekten belli uzaklıkta yoğunlaşmış hale şeklinde bir sis bulutu oluşturdukları bu durumu halo olarak adlandırılmaktadır [Jonson, 1994, 1995; Sagawa, 1992; Baye ve ark., 1994]. Bilindiği gibi, benzer şekilde, elektronlar da çekirdek etrafında bir bulut oluşturarak atomları meydana getirmişlerdir. Halo'nun çok net bir tanımı yoktur, ancak nötron veya proton fazlası olan çekirdeklerde yani kararsız çekirdekler de görülebilmektedir. Halo özelliği gösteren çekirdekler diğer çekirdeklerden boyutları, uyarılmaları ve etkileşimleri gibi özellikleriyle farklılık gösterirler [Hoshino ve ark., 1990; Bertsch ve ark., 1991; Poppelier ve ark., 1985 Sagawa ve ark., 1992].

Halo özelliği olan pek çok çekirdek son yıllarda incelenmektedir. ^{11}Li çekirdeği bunlardan ilk incelenendir. ^{11}Li ile ilgili pek çok çalışmalar yapılmıştır. [Ikeda, 1992; Tanihata, 1996; Suzuki ve ark., 1994; Koboyashi, 1993]. ^6He , ^8He , ^{14}Be , ^{11}Li , ^{17}B gibi çekirdekler, üzerlerinde fazla incelemeler yapılan halo çekirdeklerdendir. Haloya aday bir çok çekirdekler de çalışma aşamasındadır (Çizelge 1.1). Nötron veya proton fazlalığı olan çekirdekler de yapılan bu çalışmalar sonucunda, nötron ve proton halosunun varlığı ortaya çıkarılmıştır [Hansen, 1993, Mueller ve ark., 1993; Tanihata ve ark., 1985; Sherr, 1996; Federov ve ark., 1994]. Nötron fazlası olan çekirdeklere ise nötron halosu, ^6He , ^8He , ^{14}Be , ^{11}Li , ^{11}Be gibi; proton fazlası olan çekirdeklere de proton halosu, ^8B , ^9C , ^{17}F , ^{17}Ne , ^{12}N gibi, denir.

Ancak nötron halosu üzerinde yapılan çalışmalar proton halosu üzerinde yapılan çalışmalardan çok daha fazladır. Halo çekirdeklerde kor dışında ki nükleon sayısı, o çekirdeğin kaç halolu olduğunu gösterir. Mesela, ^{11}Li izotopu, ^9Li kor olarak alındığında çift nötron halolu; ^{11}Be ise, ^{10}Be kor olarak alındığında tek nötron haloludur. ^6He , ^8He , ^{14}Be , ^{17}B gibi çekirdekler de son orbitallerinde çift nötrona sahip oldukları için çift nötron halolu çekirdeklerdendir. Bu çekirdekler üç-cisim konfigürasyonuna sahiptir (n+n+kor) [Vinh Mau ve ark., 1996; Ren ve ark., 1996; Bertsch ve ark., 1991; Sakuragi ve ark., 1995]. Tek halolu çekirdeklerde ise iki-cisim (n+kor) sistemi ile açıklanabilir [Riisager ve ark., 1992; Nunes ve ark., 1996; Vinh Mau ve ark., 1995]. Halo çekirdeklerde, kor dışında kalan son nükleon veya nükleonların ayrılma enerjileri oldukça küçüktür. Kararlı çekirdeklerde ki nükleon başına düşen 6-8 MeV'lik bağlanma enerjisi ile kıyaslanıldığında, bu çekirdeklerin bağlanma enerjileri ~ 1 MeV den daha küçüktür (Çizelge 1.1). Ayrılma enerjilerinin küçük olduğu böyle çekirdeklerde nötron yoğunluğunun dağılımı, geniş alanda uzun bir kuyruk halinde gözlenmektedir. Bu durum çekirdekte yeni ve farklı özelliklerin nedenidir. Son nükleonların ayrılma enerjilerinin küçük olması çekirdeğin yarıçap değerlerinin büyük olmasına sebep olmaktadır [Tanihata, 1985, 1988; Sato ve ark., 1985]. Örneğin, ^{11}Li çekirdeğinin 1p orbitalinde ki yarıçap değeri (Rms) $3,12\pm 0,3$ fm iken 2s orbitalindeki yarıçap değeri ise $3,05\pm 0,3$ fm dir. ^{11}Li in kor yarıçapı, (^9Li kor) $2,61\pm 0,1$ veya $2,5\pm 0,1$ fm iken nötron halosunun yarıçapı $4,8\pm 0,5$ fm olduğu Tanihata[1985] tarafından yapılan çalışmalarda gösterilmiştir ve kor yarıçapının yaklaşık iki katıdır.

Halo çekirdeklerde rms yarıçaplarının büyüklüğü, bu çekirdeklerin β -bozunma hızlarının da daha büyük olması gerektiği sonucuna ulaşmamız demektir. β -bozunma ihtimalinin artması kıyaslanabilir yarı ömürlerinin (logft değerlerinin) azalmasıdır. Fakat halo çekirdeklerinin logft değerlerinin bulunması ile ilgili yapılan deneysel ve teorik çalışmalar arasında farklılıklar görülmektedir. Örneğin, ^{11}Li nötron halosu çekirdeği için gözlenen logft değeri 4,9-5,16 [Chou ve ark., 1993]'dir. Oysa Nyman'ın ^{11}Li çekirdeği için hesapladığı logft değeri 5,59 [Nyman ve ark., 1990] civarındadır. Yine, proton halosu olan ^8B çekirdeği için gözlenen logft değeri 5,657 [Timofeyuk ve ark., 1996] iken hesaplanan değeri 6,23 'tür.

Bahsedildiği gibi nötron halosu ile ilgili çalışmaların çoğunluğu, üretmek ve izole etmek daha kolay olduğu için ^{11}Li ve ^{11}Be izotopu üzerinde yoğunlaşmıştır [Gibbs ve ark., 1991; Zhukov ve ark.,1995; Hussein ve ark., 1995].

^{11}Li 8 nötronu ve 3 protonu vardır. Nötron halosunun var olduğu bu çekirdeğin incelenmesiyle birlikte ortaya çıkmıştır. ^{11}Li çekirdeği ile ilgili yapılan ilk çalışmalar 1966 yılında Lawrence Berkeley laboratuvarında yapılmıştır fakat çalışmalar sonunda gerekli sonuçlar tam olarak alınamamıştır. Daha sonra [Tanihata ve ark., 1985], ^{11}Li çekirdeğinin büyüklüğünü ölçmek için çeşitli deneyler yapmışlar, ^{11}Li çekirdeğinin özellikle tesir kesitinin büyük ve son iki nötronun çok zayıf bir bağa sahip olduğunu, dolayısıyla nükleonların kor dışında geniş bir alana yayılabileceğini ileri sürmüşlerdir. Bulunan bu sonuç çok şaşırtıcıdır. Klasik fiziğin kanunlarına göre, bağlı bir parçacık kor kuvvetlerinin menzili dahilinde kalmalıdır. Fakat kuantum mekaniğine göre haloların kor dışında bulunmalarına yol açan tünel olayı vardır. Son iki nükleonu çekirdekten koparmak için çok az bir enerjiye ihtiyaç vardır. Bu nükleonlar çok geniş bir alana yayılarak uzun süre orada kalır ve ince uzun bir halo oluştururlar. ^{11}Li halosunun ortalama merkezden uzaklığı, bir çekirdek için normal uzaklıktan iki kat daha fazla (yaklaşık 5 fm) olduğu görülmüştür [Austin ve ark., 1995]. Ayrıca ^{11}Li çekirdeği üzerinde yapılan başka çalışmalar da vardır, ^9Li çekirdeği ile iki nötron arasındaki etkileşimleri incelenmiş, özellikle halonun kor üzerinde bir etkisinin olup olmadığına bakılmıştır. İzotopun manyetik ve elektriksel özellikleride ölçülmüş ve ^9Li çekirdeğinin özellikleri ile kıyaslanmıştır. Halo nötronları yük taşımadıkları için çiftlenim olarak spin ve magnetik momente sahip değildirler. Bu sonuç, ^9Li çekirdeğinin ve iki nötron halosunun yaklaşık olarak birbirinden bağımsız nesnelere olduğunu göstermiştir. Başka bir çalışmada, ^{11}Li çekirdeğinin her bir nükleonunun nasıl yerleştiğini bulmak için, açısal momentumun dağılımı test edilmiştir. Sonuç olarak kuantum mekaniksel olarak nükleonların hareketi, Heisenberg Belirsizlik ilkesi'nin özelliği ile açıklandı. Bu ilke, parçacıkların momentumlarının ve yer değiştirmelerinin aynı anda tam olarak ölçülemeyeceğini söylemektedir. Nötron halosunun yanı sıra, zayıf bağlı protonlar da nükleer haloları oluşturabilirler. Buna en güzel örnek ^8B izotopudur. ^8B çekirdeği bir tane çok zayıf bağlı proton içerir. Bu proton ^{11}Li çekirdeğindeki nötronlardan daha küçük bağ ile bağlı ve onun halosu daha da küreseldir.

^8B çekirdeği ile özellikle astrofizikçiler ilgilenmektedir. Çünkü güneşte, ^8B çekirdeği kolayca dedeksiyonu yapılabilen nötrinoları oluşturur. Fakat yine de ^8B in bozunumundan oluşan nötrinoların sayısı beklenenden çok daha küçüktür. Bu çekirdeğin yapısı tam olarak anlaşıldığında bu problemin çözümü için de bir ipucu elde edilmiş olur.

Bu çalışmada; ^7Li , ^{11}Li , ^9Be ve ^{14}Be halo çekirdeklerinin tesir kesitleri için geliştirilmiş deneysel formüller ile yapılan hesaplamaların sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Halo Çekirdekler

Nükleer fizikçiler son yıllarda protonlardan ve nötronlardan oluşan atom çekirdeğini sıvı damlası modeli olarak tanımlasalar da bir kısım laboratuvar araştırmaları ile bunun böyle olmadığını ve tamamen yeni bir yapının olduğuna tanık olunmuştur.

Bazı çekirdeklerde nötron veya protonlar damla yüzeyinin ötesinde sis bulutu yada hale halinde çekirdeğin sınırları dışına çıkarak taşarlar. Bu genişletilmiş çekirdekler diğer sıradan çekirdeklerden çok daha farklıdır. Normal sıradan çekirdekleri uymak veya parçalamak oldukça zordur. Fakat halo çekirdekler kırılğan nesnelere gibi hemen parçalanabilirler. Normal çekirdeklerle çok kolay etkileşen halo çekirdekler klasik fizik yasalarına uymayan bir kuantum fenomenidirler.

Çekirdekdeki nötron ve proton sayıları birbirine ne kadar yakın olur ise ($N \sim Z$) çekirdek de o kadar kararlı olur. Yani eşitlik bozulduğu durumlarda çekirdek kararsızdır ve β^- bozunumu yaparak daha kararlı bir başka çekirdeğe dönüşür. Beta bozunumu ile proton nötrona yada tam tersi nötron protona dönüştürerek daha kararlı hale dönüşebilir. Bu geçişlerin bazıları sadece milisaniyede ve bazıları milyonlarca yıl sonra olabilir. Nitekim fizikçilerin bir çekirdek olarak birlikte kalacak olan nötron ve protonların yada nükleonların olası kombinasyonları üzerinde şaşkınlıkları vardır. Nötronlar ve protonların aralarında ki kuvveti etkileyen oldukça ince bir dengeye bağlıdır. Tüm nükleonlar birbirlerini çekerler ama nötronlar ve protonlar döteron denilen çiftler halinde diğerlerine bağlanabilirler ve sonuçta nötronları ve protonları eşit sayıda olan kararlı çekirdekler yeryüzünde doğal olarak bulunur. Nötron ve protonları eşit sayıda olmayan çekirdeklerin ömürleri oldukça sınırlıdır. Bu kararsız çekirdekler ise bağlı olmalarına rağmen sabit değiller ve nükleonların birini vermek için enerji alırlar.

Ancak genel olarak çekirdekte ki nötron ve proton sayısı X-ekseni ve Y-ekseni boyunca yerleştirilen bir grafik çizilirse kararlı çekirdekler köşegen boyunca elde edilen doğru içerisinde ve kararsız çekirdekler ise bu köşegen boyunca uzanan doğrudan uzakta kalır. Bu çekirdeklerin yarı ömürleri daha düşük olduğu için köşegenin altında ve üstünde belli bir uzaklıkta kalırlar ve hızlı bozunmaya uğrarlar. Kararlı çekirdekler bu sınırı geçemezler. Taşma sınırı halo çekirdeklerin bulunduğu bu bölgenin en dış sınırına denir. Astrofizikçiler, daha küçük taşma sınırı boyunca yerleşen çekirdeklerin, nötron yıldızlarının kabuğu içinde bulunduğunu söylemişlerdir [Austin ve ark., 1995].

Taşma sınırında ki halo çekirdeklerin kor dışında kalan nükleon veya nükleonlarının ayrılma enerjileri kararlı çekirdeklerin ayrılma enerjilerine göre oldukça küçüktür. Kararlı çekirdekteki nükleon başına düşen 6-8 MeV'lik bağlanma enerjisi ile kıyaslandığında, 1 MeV' den daha düşük enerjiye sahip halo olan çekirdeklerin nükleonlarının bağlanma enerjisi oldukça küçüktür. Zayıf bağlı bunun gibi çekirdeklerde, yoğunluk dağılımı geniş alanda uzun kuyruk şeklinde görülür ve etkileşimleri de kararlı çekirdeklerden daha kolaydır.

Son yıllarda ki çalışmalar daha çok β kararlılık vadisinin uzağında yapılmaktadır. Yapılan bu deneyler de toplam etkileşme tesir kesiti $\sigma_{\text{etkileşim}}$, hafif nötron zengini, değişik hedef çekirdek izotoplarının etkileşmeleri ölçülerek belirlenmiştir. $\sigma_{\text{etkileşim}}$, egzotik çekirdek demetlerinin yoğunluğunun, hedef çekirdeğe vurduktan sonra ve vurmadan önceki şiddetinin değişmesinden belirlenmektedir. Mermi çekirdeğin (R_{mermi}) hedef çekirdekle (R_{hedef}) etkileşme tesir kesiti

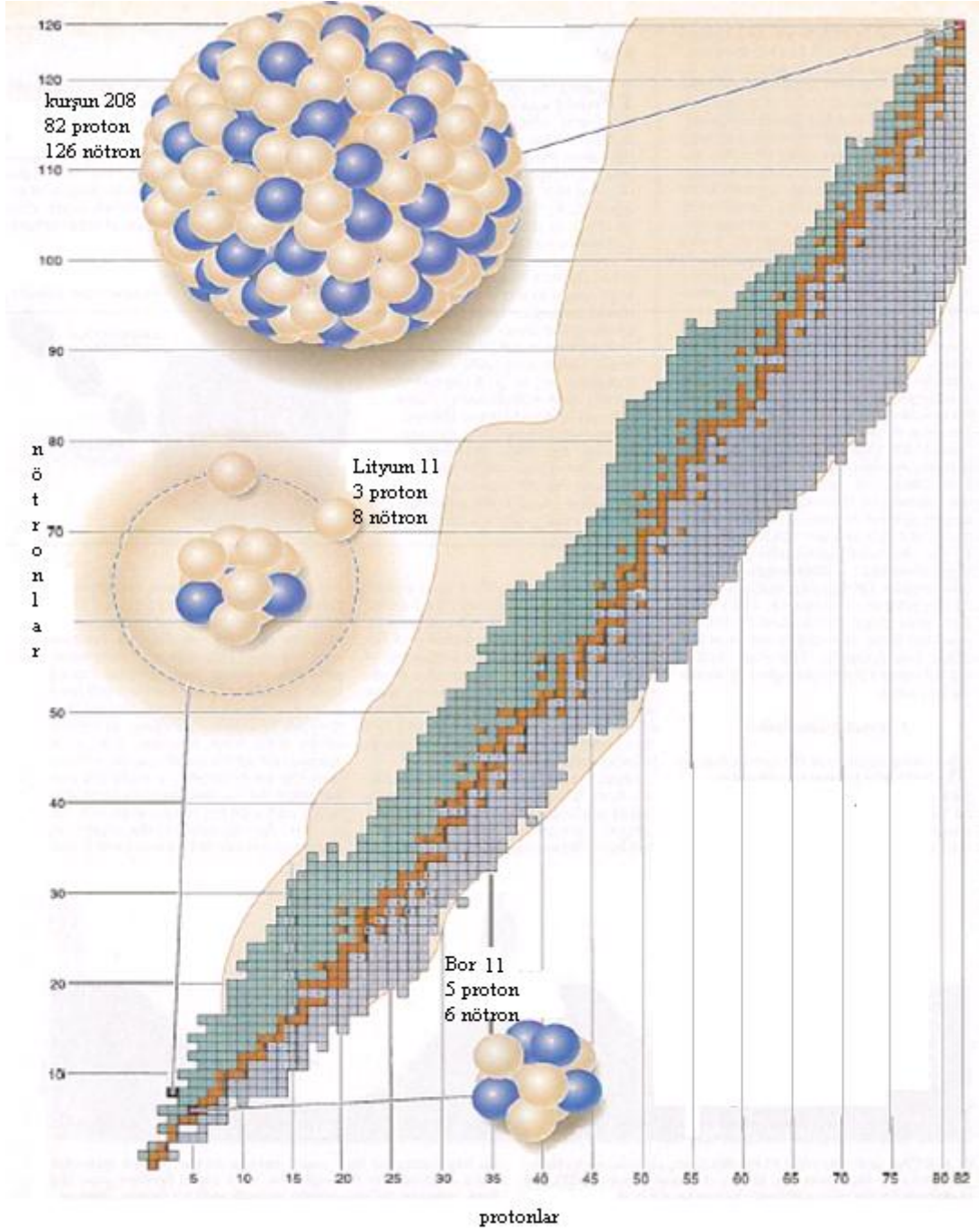
$$\sigma_{\text{etkileşim}} = \pi [R_{\text{mermi}} + (R_{\text{hedef}})]^2 ,$$

eşitliği kullanılarak basit geometrik tesir kesiti ile hesaplanabilir.

Li izotoplarının zincirindeki ^{11}Li için $\sigma_{\text{etkileşim}}$, şaşırtıcı bir biçimde artmaktadır. He izotoplarında, maddenin yarıçapında ki bu artış ^6He ve ^8He 'de görülmektedir. Halo çekirdeklerin elektrik ve magnetik momentlerinin ölçümleri CERN' de, ISOLDE deneyi adı ile çalışılmaktadır.

Çizelge 1.1. Halo adayı bazı çekirdeklerin yapısal özellikleri [Chou ve ark., 1993; Tanihata, 1996]

Çekirdekler	S_n veya S_p	S_{2n} veya S_{2p} (MeV)	Orbital	Q (MeV)	$t_{1/2}$ san.
${}^6\text{He}$	-	0,97	$(1P_{3/2})^2$	3,507	0,8067
${}^{11}\text{Li}$	1,051	0,247	$(1P_{1/2}-2S_{1/2})^2$	20,675	0,0085
${}^{11}\text{Be}$	0,503	-	$2S_{1/2}$	11,5061	13,81
${}^{14}\text{Be}$	-	1,28	$(1P_{1/2}-2S_{1/2})^2$	16,22	0,00435
${}^8\text{B}$	0,14	-	$1P_{3/2}$	17,978	0,770
${}^{17}\text{B}$	-	2,45	$(1d_{5/2})^2$	-	-
${}^{19}\text{B}$	-	0,87	$(1d_{5/2})^2$	-	-
${}^9\text{C}$	-	1,299	$(1P_{3/2})^2$	16,497	0,1265
${}^{12}\text{N}$	0,601	-	$1P_{1/2}$	17,338	0,011
${}^{17}\text{Ne}$	0,96	1,50	$(1d_{5/2}-S_{1/2})^2$	14,536	0,1093



Şekil 2.1. Taşma sınırı yanındaki halo çekirdeklerin genel özellikleri. Bu şekilde çekirdekler küçük kareler halinde gösterilmiştir. Çekirdekler sahip oldukları proton sayılarına göre yatay da ve nötron sayılarına göre de dikey de konumlandırılmışlardır. Kararlı çekirdekler turuncu renkli kareler ile gösterilirken bağlı fakat nötron fazlalığı olan kararsız çekirdekleri ise yeşil kareler ile gösterilmiştir. Mavi renkli kareler de proton zengini olan çekirdeklerdir. Bu bölgelerin en dış sınırları taşma sınırı olarak adlandırılır. Taşma sınırı boyunca büyük halo çekirdekler bulunur. (Austin et al, 1995)

2.1.1. Nötron Halosu

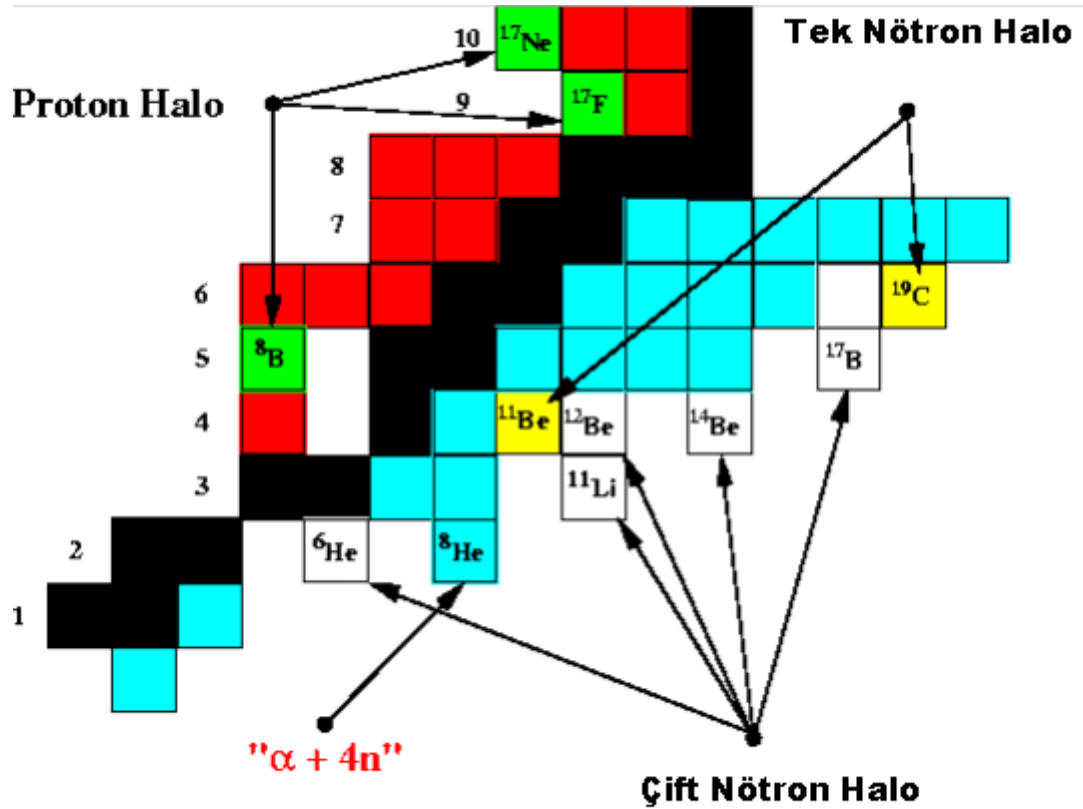
Halo çekirdeklerle alakalı çalışmaların çoğunluğu nötron halosu üzerine yapılmıştır. Nötron halosu çekirdekler taşma sınırı bölgesinde ki yer alan, hafif, kararsız ve nötron fazlalığı olan çekirdeklere denilmektedir. Nötron halosu durumunda olan birçok çekirdek vardır fakat bahsedildiği üzere üzerinde en çok çalışılan ^{11}Li çekirdeğidir. Taşma sınırına yakın nötronu fazla olan çekirdekler için, halo yapısının ilk belirtisi 1985 yılında Tanihata tarafından ^{11}Li izotopu üzerinde yapılan çalışma ile anlaşılmıştır. Kütle numarası ^6He , ^{11}Be , ^{14}Be , ^8He gibi çekirdekler de, üzerinde çalışılan önemli nötron halosu olan çekirdeklerdendir. Ayrıca, taşma sınırı bölgesinde nötron halosu olmaya yakın birçok çekirdek de bulunmaktadır (Bkz.Çizelge1.1.).

Halo çekirdekler, son yörüngesinde bulunan nükleon sayısına göre çift veya tek nötron halolu çekirdekler olarak ikiye ayrılırlar. Mesela, ^{11}Li izotopu ile ^9Li kor olarak alınırsa çift nötron halosu ; ^{11}Be ile, ^{10}Be kor olarak alınırsa tek nötron halosu çekirdek olur. ^6He , ^8He , ^{14}Be , ^{17}B , gibi nötron fazlalığı olan çekirdekler de son orbitaller de çift nötrona sahip olduklarından, çift nötron halosu çekirdeklerindendir.

Bu çekirdekler nötron-nötron-kor (n+n+k) olmak üzere üç cisim konfigürasyonuna sahiptir. Tek nötron halosu çekirdekler de iki cisim konfigürasyonuna nötron-kor (n+k) sahiptir. Şekil 2.2.' da görüldüğü gibi, tek nötron halolu çekirdekler (^{11}Be , ^{19}C) ve çift nötron halolu çekirdekler (^6He , ^8He , ^{11}Li , ^{14}Be , ^{17}B) küçük kareler ile gösterilmiştir. Bir proton ile nötron arasındaki en belirgin fark coulomb etkileşmesidir. Proton yüklü olduğu için, çekirdeğin yüzeyinde coulomb engeli meydana gelerek nükleonların dalga fonksiyonlarının genliğini azaltır. Dalga fonksiyonunu etkileyen etkenlerden biri de potansiyel ile oluşan merkezi engeldir. Merkezi potansiyel $l(l+1) / r^2$ ile orantılı olarak, halo nötronun yörüngesel açısal momentumuna bağlıdır.

Farklı l değerleri için, nötron yoğunluk kuyruğunun (density tail) uzunluğu kıyaslanırsa, nükleonun bulunduğu büyük l orbitalleri için yoğunluk kuyruğu daha kısa olur.

Tek nötron halosu olan ^{11}Be in tek nükleonu $2s\ 1/2$ orbitalinde olduğundan, merkezi potansiyel engelinin etkisi yoktur ve nükleonun dalga fonksiyonu geniş bir alanda uzun kuyruğu oluşur. Diğer yandan, ^{17}C çekirdeği de tek nötron haloya ve küçük ayrılma enerjisine sahip ($0,729\ \text{MeV}$) olmasına rağmen, büyük bir nötron halosu değildir. Çünkü, son nötronunun tek parçacık orbitali $1d\ 5/2$ ($l=2$) olduğundan büyük bir merkezi engel meydana gelir. Karbon atomu ile çarpışma reaksiyonundaki tesir kesitinin de küçük olarak gözlenmesi, merkezi engelin büyüklüğü ile de orantılı olduğunu gösterir. Diğer iki nötron halolu çekirdekler (^6He , ^8He , ^{11}Li , ^{14}Be vs.) son nükleonların toplam açısall momentumları $J_n=0$ olacak şekilde eşlenirler ve nükleonların $l=0$, 1 veya 2 orbitallerinde bulunmasına rağmen, merkezi engelin büyüklüğü bu iki nötronun oluşum konfigürasyonuna kuvvetli bir şekilde bağlıdır.



Şekil 2.2. Çift ve tek nötron halo çekirdekleri ile proton halo çekirdekleri [I.Thompson, A.Richter, B.Jonson, 2001]

2.1.2. Proton Halosu

Taşma sınırı bölgedeki yer alan zayıf bağlı protonlar da nükleer haloları oluşturabilir. Taşma sınırı bölgedeki bulunan, kararsız ve proton fazlalığı olan çekirdeklere de proton halosu çekirdekleri denir. Proton zengini olan ${}^9\text{C}$, ${}^{12}\text{N}$, ${}^{17}\text{F}$, ${}^{17}\text{Ne}$, ${}^8\text{B}$ gibi çekirdekler proton halosu olmaya aday çekirdeklerdendir (Bkz. Çizelge 1.1).

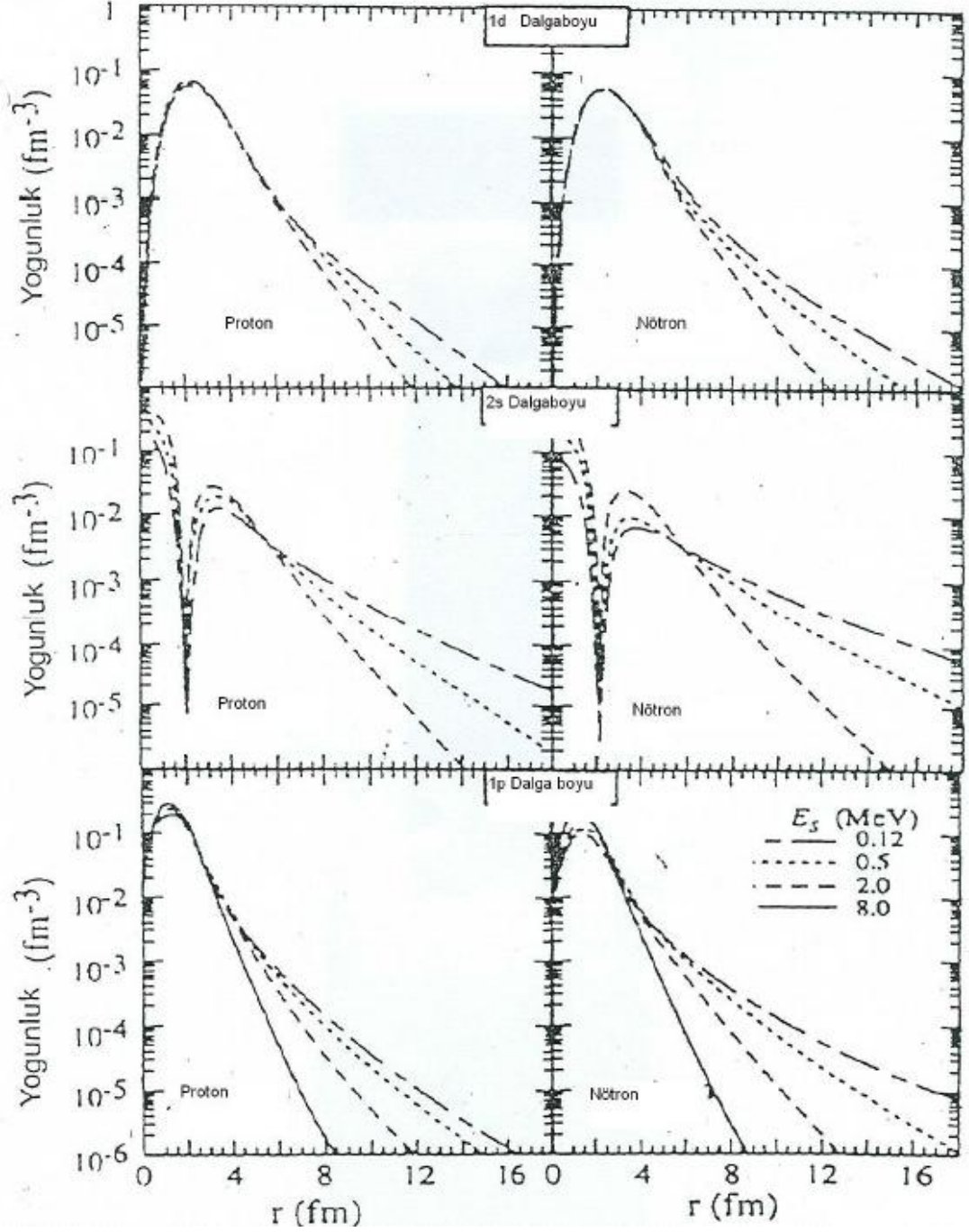
Nötron halosunda tanımlanan dalga fonksiyonunu etkileyen engel durumu, proton halosuna aday çekirdekler için farklıdır. Şekil 2.3.'de, zayıf bağlı olan bir proton ve nötronun farklı orbitallerde ki, 2s, 1p, 1d yoğunluk dağılımının değişimi, coulomb etkileşmesinin ve merkezi potansiyelin etkisi açıkça görülmektedir. Örneğin 2s orbitalinde merkezi potansiyel olmadığı için yoğunluk dağılımı en fazla olmuş ama coulomb etkisinden dolayı, proton halosunun yoğunluk dağılımı nötronun ki kadar büyük değildir.

${}^{12}\text{N}$, ${}^{17}\text{F}$, ${}^8\text{B}$ gibi proton halosu olan bu çekirdeklerin son yörüngelerinde zayıf bağlı bir tane protonu vardır. Bu sebepten dolayı coulomb engeli ve merkezi engelin ikisi de proton halosunu etkileyecektir. Bu nedenle Şekil 2.3.'de görüldüğü üzere, nükleon yoğunluk dağılımının kuyruğunun büyük olması beklenemez. Dolayısıyla bu da proton halosunun yüksek enerjide tesir kesit reaksiyonunun etkisiz veya çok küçük olduğunu göstermektedir.

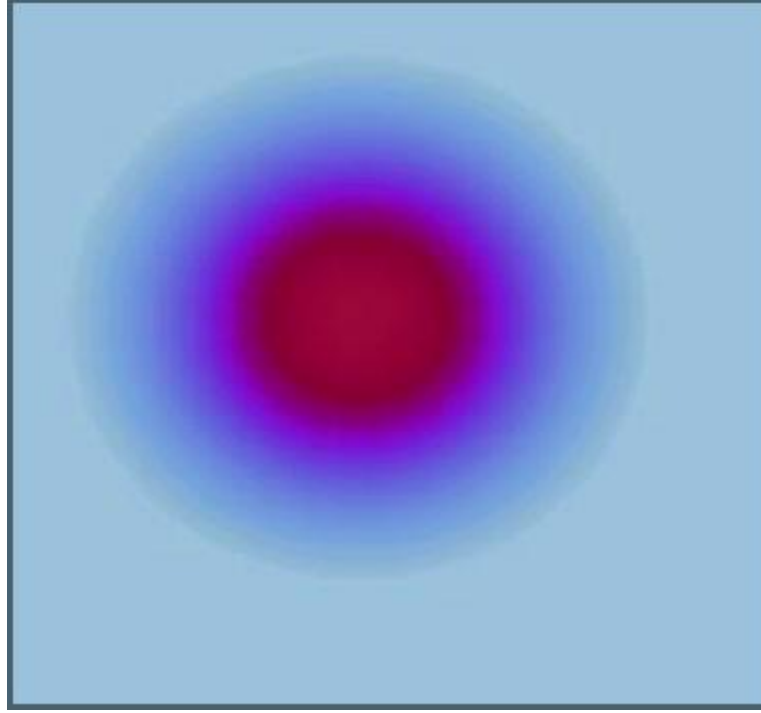
${}^{17}\text{Ne}$ çekirdeği ise, 1d5/2 veya 2s1/2 son orbitalinde iki proton bulundurur. Bu çekirdekteki merkezi engelin çok küçük ve ${}^{17}\text{Ne}+\text{C}$ çarpışmasındaki tesir kesitinin büyük olması sebebi ile proton halosu olmaya aday önemli bir çekirdek olarak incelenmektedir [Towner ve ark., 1972; Borge ve ark., 1988].

Genel olarak, bütün haloya aday çekirdeklerin büyüklükleri engel etkilerine bağlı olduğu söylenebilir ve engel yüksekliği çekirdeğin yüzey bölgesindeki yoğunluk dağılımına bağlıdır. Sonuçta dalga fonksiyonunun kuyruğu ne kadar uzun ise, engel yüksekliği de o kadar küçük olur.

Şekil 2.3.'de de görüldüğü üzere, 2s orbitali için merkezi potansiyel ve coulomb etkisinin engel yükseklikleri daha küçük olduğundan, dalga fonksiyonları da diğer 1p ve 1d orbitallerine göre daha uzun bir bölgeye yayılmıştır.



Şekil 2.3. Proton ve nötronun yoğunluk dağılımının değişimi. Halo nükleonları için Coulomb etkileşmesinin ve merkezi potansiyelin etkisi açık şekilde görülmektedir [Tanihata, 1996].



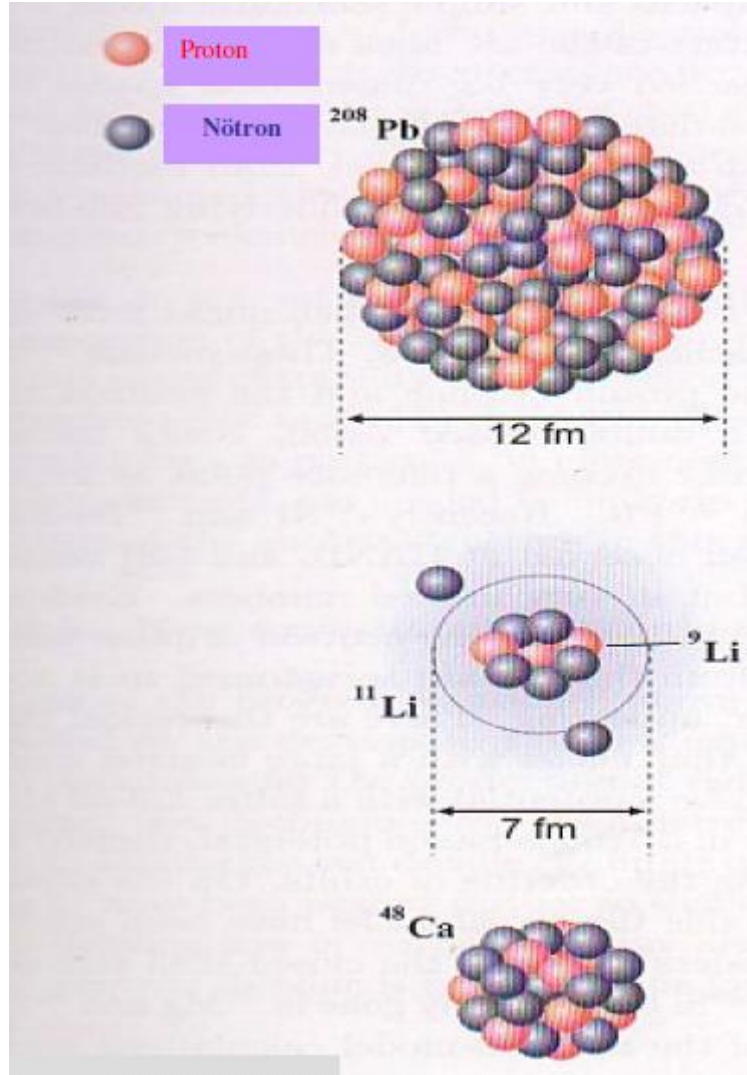
Şekil 2.4. Proton Halo [W. Schwab et al., 1995]

2.1.3. Halo Çekirdeklerde Yarıçap

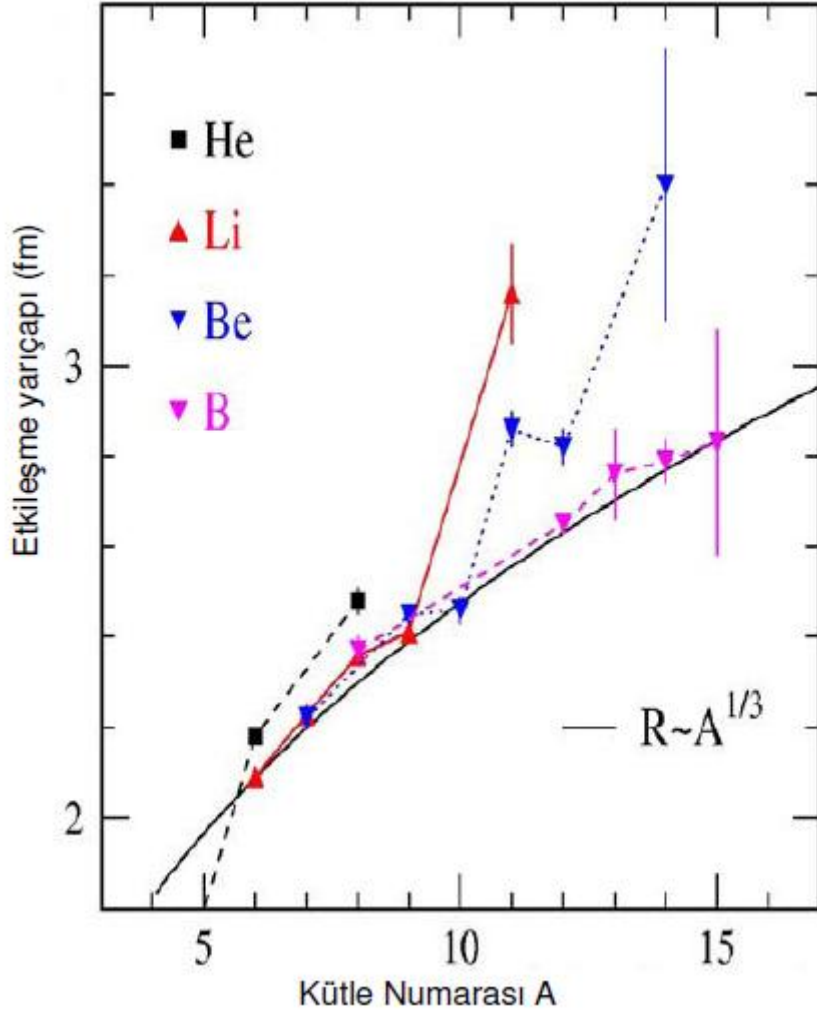
Taşma sınırı bölgesinde ki bazı çekirdekler, belirli şartlar altında kütle dağılımları nükleer korun dışına olacak şekilde genişleyen nötron veya proton halolarını oluştururlar. Bu durumda kor dışında geniş bir alana yayılan haloların ortalama yarıçap değerleri (rms) de, çekirdeklerin kor ve kütle yarıçapından daha büyük olur.

Böylece halo çekirdeklerde son yörüngede ki nükleonların ayrılma enerjileri küçük olduğu için, rms yarıçap değerleri de diğer kararlı çekirdeklere göre daha büyük olması gerekmektedir. Örneğin ^{11}Li çekirdeğinin 1p orbitali için yarıçapı, $\text{rms}=3,12\pm 0,30$ fm ve 2s orbitali için de $\text{rms}=3,05\pm 0,30$ fm; ^9Li korunun $\text{rms}=2,61\pm 0,10$ fm ve $2,5\pm 0,10$ fm iken, halo rms yarıçapı da $\text{rms}=4,8\pm 0,5$ fm olarak ölçülmüştür[Tanihata, 1996]. Görüldüğü gibi, halo nötron dağılımının rms yarıçap değeri, kor yarıçap değerinden yaklaşık iki kat daha fazladır. Şekil 2.1.den de görüleceği gibi, ^{11}Li çekirdeği, kor dışındaki iki nötron halosu yüzünden, aynı sayıda nükleona sahip kararlı bir çekirdek olan ^{11}B çekirdeğinden yaklaşık olarak iki kat daha fazladır.

Bunun yanı sıra; ^{11}Li çekirdeğinin büyüklüğü de 197 tane daha fazla parçacığa sahip kursun (^{208}Pb) çekirdeğinin büyüklüğünün üçte-ikisine eşittir (Şekil 2.5.). Ayrıca, Şekil 2.6.'da da görüldüğü gibi, taşma sınırı yanındaki halo çekirdeklerin yarıçap değerleri de, diğer kararlı çekirdeklere göre ani ve keskin bir değişim göstermektedir.



Şekil 2.5. ^{11}Li çekirdeğinin büyüklüğü ile ^{208}Pb çekirdeğinin büyüklüğünün kıyaslanması

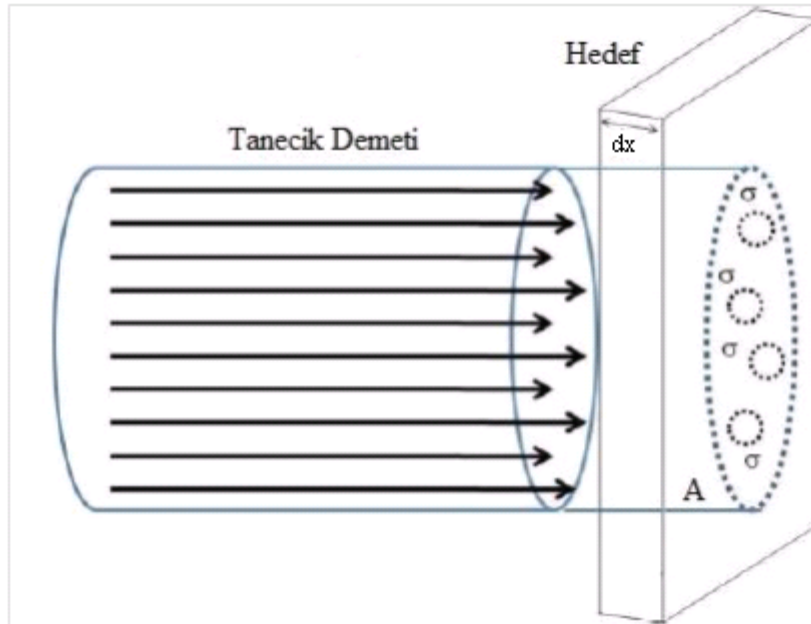


Şekil 2.6. Taşma sınırı yanındaki çekirdeklerin yarıçaplarındaki ani değişim. [Blank ve ark., Z. Phys. A 343 (1992) 375]

2.2. Nükleer Reaksiyon Tesir Kesitleri

2.2.1. Tesir kesiti

Tesir kesiti (σ) kavramını hedef üzerine gelen mermi parçacık demetinin hedefle etkileşmeye girme ihtimaline, tesir kesiti denir. Yani bir başka ifade ile reaksiyonun meydana gelme olasılığını belirleyen ve ölçülebilen niceliğe tesir kesiti denir. Tesir kesiti için kullanılan birim barn' dır. $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$ dir. Tesir kesiti hedefin türüne, reaksiyonun türüne, gelen parçacığın türüne ve enerjisine bağlıdır. Tesir kesiti, reaksiyon oluşumunun bağıl olasılığının bir ölçüsüdür. A yüzeyine ve dx kalınlığına sahip ince bir levha üzerine I şiddetiyle gelmekte olan bir parçacıklar demeti düşündüğümüz zaman bir parçacık ince levhadan geçerken bir çekirdeğe çok yaklaşırsa , çekirdek tarafından bu parçacığın bir miktar 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 edersek yine levha o kadar ince olsun ki hiçbir çekirdek diğer bir çekirdek üzerine binmesin ve böylece her birinin gelen parçacıklarla nükleer reaksiyona aynı ölçüde sebep olmaları mümkün olsun.



Şekil 2.7. Tesir kesiti kavramının geometrik bir gösterimi.

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

$$A_{n_{dx}} = A \text{ alanındaki toplam çekirdek sayısı} \quad (2.2)$$

olacaktır. Her bir çekirdek için etkin alan σ olmak üzere, bir nükleer reaksiyon için mümkün olan toplam etkin alan

$$A_{n_{dx}} \sigma = \text{Toplam etkin alan} \quad (2.3)$$

olacaktır. Etkin alan kesri (f) ise,

$$f = \text{Toplam etkin alan} / \text{toplam yüzey alan}$$

$$= \sigma A_{n_{dx}} / A$$

$$= n_{dx} \sigma \quad (2.4)$$

ifadesiyle verilir.

Bu etkin alan kesri, tanecik demetinin ince levhadan geçerken I şiddetinde meydana gelen değişiklik kesrini temsil eder. Böylece şiddetteki dI değişimi:

$$dI = -f I \quad (2.5)$$

ile verilir. Olasılıklardan 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:

$$-dI/I = n_{dx} \sigma \quad (2.6)$$

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

$$I = I_0 e^{-n_{dx} \sigma t} \quad (2.7)$$

elde edilir.

Tanecik demetindeki N parçacık sayısı tanecik demetinin şiddetiyle orantılı olduğundan bağıntı parçacık sayısı cinsinden:

$$N = N_0 e^{-n_{dx} \sigma t} \quad (2.8)$$

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 [Deconinck, 1978].

2.2.2. Diferansiyel tesir kesiti

Gelen parçacıklar hedef çekirdeklerle etkileştiklerinde, her zaman bir türde nükleer reaksiyon meydana getirmeyebilirler. Şayet birden fazla türde reaksiyon meydana gelmişse eğer her bir tür için tesir kesiti genellikle farklı olacaktır. Bu özel tesir kesitlerine kısmi-tesir kesitleri denir ve toplam tesir-kesitide bunların toplamına eşit olacaktır. Nükleer reaksiyon veya saçılma meydana geldikten sonra dışarı gönderilen parçacıklar çoğu kez anizotropik dağılım gösterirler ve aynı zamanda farklı açılarda farklı enerjilere sahip olurlar. Geliş doğrultusuyla θ açısı yaparak saniyede $d\Omega$ katı açısı içinde giden parçacıkların sayısının bilinmesi önemlidir. Bunun hesabının yapılması için, açığa bağımlı başka bir tesir-kesiti adı verilir ve birim katı açı başına düşen tesir-kesiti olarak tarif edilir. Bunu, $\sigma(\theta, \phi)$ ile gösterilecek:

$$\sigma(\theta, \phi) = \frac{d\sigma}{d\Omega} \quad (\text{tesir-kesiti/steradyan}) \quad (2.9)$$

Böylece toplam tesir-kesiti

$$\sigma_T = \int_{\Omega} \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega \quad (2.10)$$

olacaktır. $d\Omega$ katı açısının değeri

$$d\Omega = \frac{\text{alan}}{(\text{mesafe})^2} = \frac{dA}{r^2} = \frac{(rd\theta)(r \sin \theta d\phi)}{r^2} = \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.11)$$

ifadesiyle verilir.

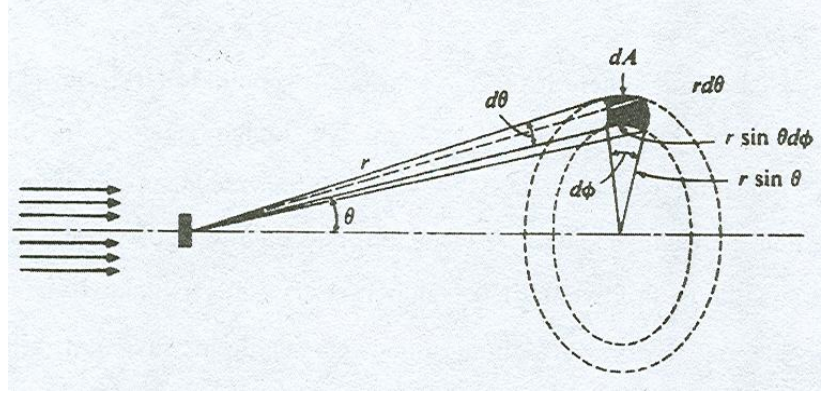
Toplam katı açı,

$$\Omega = \int_{\Omega} d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \sin \theta d\theta d\phi = 4\pi \quad (2.12)$$

olup katı açı kesri ise

$$\frac{d\Omega}{\Omega} = \frac{A}{r^2} \frac{1}{4\pi} = \frac{A}{4\pi r^2} \quad (2.13)$$

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



Şekil 2.8.dΩ katı açısının hesap elemanları

$$\sigma_T = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.14)$$

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

$$\sigma_T = 2\pi \int \frac{d\sigma}{d\Omega} \sin \theta d\theta \quad (2.15)$$

olacaktır. Burada $d\sigma/d\Omega = \sigma(\theta)$ diferansiyel-tesir-kesitidir.

Diferansiyel-tesir-kesiti, 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 [Deconinck, 1978].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Tesir Kesiti Reaksiyonları İçin Genelleştirilmiş Deneysel Formüller İle Hesaplamalar

Nükleer modeller genellikle ya yeterli olmadıkları için yada yapmanın çok zor olduğu ölçümlerden dolayı çoğu kez nötron içeren reaksiyon tesir kesitlerinin tahminine ihtiyaç duyulur. Ancak, bu hesaplamalar deneysel verilerin yeterince uygun olmadığı parametreler ile yürütüldüğünde elde edilen sayısal sonuçlar fazla güvenilir olmayabilir.

14-15 MeV'lik enerjili nötronlar sayesinde elde edilen (n,yüklü parçacık) ve (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinin çok sayıda deneysel verisi yayımlanmaktadır [Neutron Cross Section, 1976]. 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 etkiler 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;

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

Burda ki σ_{ne} nötronun elastik olmayan tesir kesiti ve C ile a katsayıları farklı reaksiyonlar için fit parametreleridir. Elastik olmayan tesir kesitleri atomik kütle değişimlerini ortaya çıkarmak için 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 birleşik çekirdekten reaksiyon ürününün kaçmasını temsil eder. Eş.3.1'deki kuvvetli s (asimetri parametresi) bağılılığı özellikle gelen nötron sonucunda elde edilen reaksiyon tesir kesitleri için pek çok araştırmacı tarafından gösterilmektedir.

Eş.3.1'deki C ve a katsayıları en küçük kareler fiti ile belirlenir. En iyi fit aşağıdaki tanımlamanın en küçük değerini sağlamak şartı ile yeni serbest parametrelerle elde edilir.

$$\chi^2 = \frac{1}{N} \sum_i^N \left(\frac{\sigma_{deney}^i - \sigma_{hesap}^i}{\Delta\sigma_{deney}^i} \right)^2 \quad (3.2)$$

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 iken 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 sabitlenir. Daha önce yapılan çalışmalarda (n,p), (n, α) ve (n,2n) tesir kesitlerinin $s=(N-Z)/A$ asimetri parametresi ile ilişkili olan deneysel değerler tanımlanmaya çalışıldı. Literatürdeki (n,p), (n, α) ve (n,2n) için formüller ve bu çalışmadaki en iyi fit parametrelili sonuçları ile elde edilen R^2 değerleri Çizelge-2.2, 2.4 , 2.6'de verildi.

Hedef çekirdek ${}^7\text{Li}$

$$R_{\text{hedef}} = r_0 \times A^{\frac{1}{3}}$$

$$R_{\text{hedef}} = 1.2 \times 7^{\frac{1}{3}}$$

$$R_{\text{hedef}} = 1.2 \times (1.912931183)$$

$$R_{\text{hedef}} = 2.295517419 \text{ fm}$$

$$R_{\text{mermi}} = r_0 \times A^{\frac{1}{3}}$$

$$R_{\text{mermi}} = 1.2 \times 1^{\frac{1}{3}} = 1.2 \text{ fm}$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = \pi [R_{\text{mermi}} + (R_{\text{hedef}})]^2$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = 3 \times [(2.295517419) + (1.2)]^2$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = 3 \times (3.495517419)^2$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = 36.656 \text{ (fm)}^2$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = 36.656 \text{ barn}$$

Hedef çekirdek ^{11}Li

$$R_{\text{hedef}} = r_0 \times A^{\frac{1}{3}}$$

$$R_{\text{hedef}} = 1.2 \times 11^{\frac{1}{3}}$$

$$R_{\text{hedef}} = 1.2 \times (2.224)$$

$$R_{\text{hedef}} = 2.6688 \text{ fm}$$

$$R_{\text{mermi}} = r_0 \times A^{\frac{1}{3}}$$

$$R_{\text{mermi}} = 1.2 \times 1^{\frac{1}{3}} = 1.2 \text{ fm}$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = \pi [R_{\text{mermi}} + (R_{\text{hedef}})]^2$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = 3 \times [(2.6688) + (1.2)]^2$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = 3 \times (3.8688)^2$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = 45 \text{ (fm)}^2$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = 45 \text{ barn}$$

Hedef çekirdek ^9Be

$$R_{\text{hedef}} = r_0 \times A^{\frac{1}{3}}$$

$$R_{\text{hedef}} = 1.2 \times 9^{\frac{1}{3}}$$

$$R_{\text{hedef}} = 1.2 \times (2.08)$$

$$R_{\text{hedef}} = 2.5 \text{ fm}$$

$$R_{\text{mermi}} = r_0 \times A^{\frac{1}{3}}$$

$$R_{\text{mermi}} = 1.2 \times 1^{\frac{1}{3}} = 1.2 \text{ fm}$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = \pi [R_{\text{mermi}} + (R_{\text{hedef}})]^2$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = 3 \times [(2.5) + (1.2)]^2$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = 3 \times (3.7)^2$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = 41.07 \text{ (fm)}^2$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = 41.07 \text{ barn}$$

Hedef çekirdek ^{14}Be

$$R_{\text{hedef}} = r_0 \times A^{\frac{1}{3}}$$

$$R_{\text{hedef}} = 1.2 \times 14^{\frac{1}{3}}$$

$$R_{\text{hedef}} = 1.2 \times (2.41)$$

$$R_{\text{hedef}} = 2.9 \text{ fm}$$

$$R_{\text{mermi}} = r_0 \times A^{\frac{1}{3}}$$

$$R_{\text{mermi}} = 1.2 \times 1^{\frac{1}{3}} = 1.2 \text{ fm}$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = \pi [R_{\text{mermi}} + (R_{\text{hedef}})]^2$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = 3 \times [(2.9) + (1.2)]^2$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = 3 \times (4.1)^2$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = 50.4 \text{ (fm)}^2$$

$$\sigma_{\text{etkileşim}} = 50.4 \text{ barn}$$

Çizelge 2.1. (R_{mermi}) hedef çekirdekle (R_{hedef}) etkileşme tesir kesiti

$\sigma_{\text{etkileşim}} = \pi [R_{\text{mermi}} + (R_{\text{hedef}})]^2$, eşitliği kullanılarak basit geometrik tesir kesiti ile hesaplanması.

Mermi	Hedef çekirdek	r_0 (fm)	R_{hedef}	R_{mermi}	$\sigma_{\text{etkileşim}}$ (barn)
Nötron	^7Li	1.2	2.2	1.2	36.6
Nötron	^{11}Li	1.2	2.6	1.2	45.0
Nötron	^9Be	1.2	2.5	1.2	41.0
Nötron	^{14}Be	1.2	2.9	1.2	50.4

Çizelge 2.2. 14-15 MeV enerjili (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) sistematiikleri

Yazar	Enerji (MeV)	Kütle numarası	σ (n,p) Formülü	R^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		$31.42(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-29.07s]$	
Tel ve ark. I	14 -15	$17 \leq A \leq 239$	$14.56 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-26.58s]$	0.807
Tel ve ark. II	14-15	Çift-Z, Çift-N	$16.33 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-26.17s]$	0.863
	14-15	Çift-Z, Tek-N	$9.71 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-21.87s]$	0.835
	14-15	Tek-Z, Çift-N	$7.31 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-20.21s]$	0.788

14-15 MeV enerjili (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları

Levkovskii (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ^7Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{4-3}{7} = \frac{1}{7} = 0.143$$

$$\sigma_{(n,p)} = 45.2(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33(N - Z)/A]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 45.2 (2.9)^2 \exp [-33x(0.143)]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 45.2 (8.41) \exp (-4.72)$$

$$\sigma_{(n,p)} = 45.2 (8.41) (8.91 \times 10^{-3})$$

$$\sigma_{(n,p)} = 3.3889 \text{ mb}$$

Levkovskii (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ^{11}Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{8-3}{11} = \frac{5}{11} = 0.454$$

$$\sigma_{(n,p)} = 45.2(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33(N - Z)/A]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 45.2 (10.4) \exp [-14.98]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 45.2 (10.4) (3.55 \times 10^{-7})$$

$$\sigma_{(n,p)} = 167 \times 10^{-6} \text{ mb}$$

Levkovskii (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁹Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{5-4}{9} = \frac{1}{9} = 0.111$$

$$\sigma_{(n,p)} = 45.2(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33(N-Z)/A]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 45.2 (9.48) \exp [-3.66]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 45.2 (9.48) (0.0257)$$

$$\sigma_{(n,p)} = 11 \text{ mb}$$

Levkovskii (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹⁴Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{10-4}{14} = \frac{6}{14} = 0.428$$

$$\sigma_{(n,p)} = 45.2(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33(N-Z)/A]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 45.2 (11.62) \exp [-14.124]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 45.2 (11.62) (7.345 \times 10^{-7})$$

$$\sigma_{(n,p)} = 385 \times 10^{-6} \text{ mb}$$

Konno ve ark. (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁷Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{4-3}{7} = \frac{1}{7} = 0.143$$

$$\sigma_{(n,p)} = 31.42(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-29.07s]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 31.42 (2.9)^2 \exp (-4.15701)$$

$$\sigma_{(n,p)} = 31.42 (8.41) (0.0156543)$$

$$\sigma_{(n,p)} = 4.13 \text{ mb}$$

Konno ve ark. (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹¹Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{8-3}{11} = \frac{5}{11} = 0.454$$

$$\sigma_{(n,p)} = 31.42(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-29.07s]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 31.42 (10.4) \exp (-13.19778)$$

$$\sigma_{(n,p)} = 31.42 (10.4) (1.8547 \times 10^{-6})$$

$$\sigma_{(n,p)} = 606 \times 10^{-6} \text{ mb}$$

Konno ve ark. (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁹Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{5-4}{9} = \frac{1}{9} = 0.111$$

$$\sigma_{(n,p)} = 31.42(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-29.07s]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 31.42 (9.48) \exp(-3.22677)$$

$$\sigma_{(n,p)} = 31.42 (9.48) (0.039685)$$

$$\sigma_{(n,p)} = 11.8 \text{ mb}$$

Konno ve ark. (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹⁴Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{10-4}{14} = \frac{6}{14} = 0.428$$

$$\sigma_{(n,p)} = 31.42(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-29.07s]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 31.42 (11.62) \exp(-12.44196)$$

$$\sigma_{(n,p)} = 31.42 (11.62) (3.949 \times 10^{-6})$$

$$\sigma_{(n,p)} = 144 \times 10^{-5} \text{ mb}$$

Tel ve ark. (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁷Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{4-3}{7} = \frac{1}{7} = 0.143 \quad \text{Tek-Z, Çift-N}$$

$$\sigma_{(n,p)} = 7.31 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-20.21s]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 7.31 (7^{1/3} + 1)^2 \exp[-20.21 (0.143)]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 7.31 (2.9)^2 \exp(-2.89)$$

$$\sigma_{(n,p)} = 7.31 (8.41) (0.0555)$$

$$\sigma_{(n,p)} = 3.41 \text{ mb}$$

Tel ve ark. (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹¹Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{8-3}{11} = \frac{5}{11} = 0.454 \quad \text{Tek-Z, Çift-N}$$

$$\sigma_{(n,p)} = 7.31 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-20.21s]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 7.31 (11^{1/3} + 1)^2 \exp[-20.21 (0.454)]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 7.31 (10.4) \exp(-9.17534)$$

$$\sigma_{(n,p)} = 7.31 (10.4) (1.0356 \times 10^{-4})$$

$$\sigma_{(n,p)} = 787 \times 10^{-5} \text{ mb}$$

Tel ve ark. (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁹Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{5-4}{9} = \frac{1}{9} = 0.111 \quad \text{Çift-Z, Tek-N}$$

$$\sigma_{(n,p)} = 9.71 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-21.87s]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 9.71 (9^{1/3} + 1)^2 \exp[-21.87(0.111)]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 9.71 (9.48) \exp(-2.42757)$$

$$\sigma_{(n,p)} = 9.71 (9.48) (0.08825)$$

$$\sigma_{(n,p)} = 8.123 \text{ mb}$$

Tel ve ark. (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹⁴Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{10-4}{14} = \frac{6}{14} = 0.428 \quad \text{Çift-Z, Çift-N}$$

$$\sigma_{(n,p)} = 16.33 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-26.17s]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 16.33 (14^{1/3} + 1)^2 \exp[-26.17(0.428)]$$

$$\sigma_{(n,p)} = 16.33 (11.62) \exp(-11.20076)$$

$$\sigma_{(n,p)} = 16.33 (11.62) (1.366 \times 10^{-5})$$

$$\sigma_{(n,p)} = 259 \times 10^{-5} \text{ mb}$$

Çizelge 2.3. 14-15 MeV enerjili (n,p) reaksiyon tesir kesiti (mb) deneysel ve teorik sonuçlarının karşılaştırılması

Hedef çekirdek	Gelme enerjisi (MeV)	N	Z	S	$\sigma_{\text{Levkovskii}}$	$\sigma_{\text{Konno ve ark.}}$	$\sigma_{\text{Tel ve ark.}}$	σ_{Deneysel}
⁷ Li	14-15	Çift	Tek	0.143	3.38	4.13	3.41	
¹¹ Li	14-15	Çift	Tek	0.454	167×10^{-6}	606×10^{-6}	787×10^{-5}	
⁹ Be	14-15	Tek	Çift	0.111	11	11.8	8.12	10.4 ± 1.5 (EXFOR, K.C.Garg 1979)
¹⁴ Be	14-15	Çift	Çift	0.428	385×10^{-6}	144×10^{-5}	259×10^{-5}	

Çizelge 2.4. 14-15 MeV enerjili (n,α) reaksiyon tesir kesiti (mb) sistematiikleri

Yazar	Kütle numarası	$\sigma_{n,\alpha}$ Formülü	R^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	$26 \leq A \leq 238$ (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 1.a	$20 \leq A \leq 209$	$\sigma_{n,\alpha} = 16.15(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33.01 s]$	0.884
Çalışma 1.b	çift-Z, çift-N	$\sigma_{n,\alpha} = 14.43(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-32.17 s]$	0.795
	tek-Z, çift-N	$\sigma_{n,\alpha} = 17.93(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-34.04 s]$	0.951
	çift-Z, tek-N	$\sigma_{n,\alpha} = 19.41(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-35.97 s]$	0.902

14-15 MeV enerjili (n,α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları

Levkovskii (n,α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ${}^7\text{Li}$ için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{4-3}{7} = \frac{1}{7} = 0.143$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 18.1 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33 s]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 18.1 (7^{1/3} + 1)^2 \exp[-33 (0.143)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 18.1 (2.9)^2 \exp(-4.719)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 18.1 (8.41) (8.9241 \times 10^{-3})$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 1.3584 \text{ mb}$$

Levkovskii (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹¹Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{8-3}{7} = \frac{5}{11} = 0.454$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 18.1 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33 s]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 18.1 (11^{1/3} + 1)^2 \exp[-33 (0.454)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 18.1 (10.4) \exp(-14.982)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 18.1 (10.4) (3.114584 \times 10^{-7})$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 5.8629 \times 10^{-5} \text{mb}$$

Levkovskii (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁹Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{5-4}{9} = \frac{1}{9} = 0.111$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 18.1 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33 s]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 18.1 (9^{1/3} + 1)^2 \exp[-33 (0.111)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 18.1 (9.48) \exp(-3.663)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 18.1 (9.48) (0.025655)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 4.4021 \text{mb}$$

Levkovskii (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹⁴Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{10-4}{14} = \frac{6}{14} = 0.428$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 18.1 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-33 s]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 18.1 (14^{1/3} + 1)^2 \exp[-33 (0.428)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 18.1 (11.62) \exp(-14.124)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 18.1 (11.62) (7.34555 \times 10^{-7})$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 1.545 \times 10^{-4} \text{mb}$$

Kasugai (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁷Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{4-3}{7} = \frac{1}{7} = 0.143$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 227.86 \exp[-24.66 s]$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 227.86 \exp[-24.66 (0.143)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 227.86 \exp(-3.52638)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 227.86 (0.029411)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 6.701 \text{ mb}$$

Kasugai (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹¹Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{8-3}{11} = \frac{5}{11} = 0.454$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 227.86 \exp[-24.66 s]$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 227.86 \exp[-24.66 (0.454)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 227.86 \exp(-11.19564)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 227.86 (1.3734 \times 10^{-5})$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 3.1294 \times 10^{-3} \text{ mb}$$

Kasugai (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁹Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{5-4}{9} = \frac{1}{9} = 0.111$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 227.86 \exp[-24.66 s]$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 227.86 \exp[-24.66 (0.111)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 227.86 \exp(-2.73726)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 227.86 (0.06474)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 14.7516 \text{ mb}$$

Kasugai (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ^{14}Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{10-4}{14} = \frac{6}{14} = 0.428$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 227.86 \exp[-24.66 s]$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 227.86 \exp[-24.66 (0.428)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 227.86 \exp(-10.55448)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 227.86 (2.60764 \times 10^{-5})$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 5.94176 \times 10^{-3} \text{ mb}$$

Ait-Tahar (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ^7Li için,

$$\frac{N-Z+1}{A} = \frac{4-3+1}{7} = \frac{2}{7} = 0.2857$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 31.66 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-32.75 (N - Z + 1)/A]$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 31.66 (7^{1/3} + 1)^2 \exp[-32.75 (0.2857)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 31.66 (2.9)^2 \exp(-9.3566)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 31.66 (8.41) (8.639 \times 10^{-5})$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 0.023 \text{ mb}$$

Ait-Tahar (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ^{11}Li için,

$$\frac{N-Z+1}{A} = \frac{8-3+1}{11} = \frac{6}{11} = 0.545$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 31.66 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-32.75 (N - Z + 1)/A]$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 31.66 (11^{1/3} + 1)^2 \exp[-32.75 (0.545)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 31.66 (10.4) \exp(-17.84875)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 31.66 (10.4) (1.7717 \times 10^{-8})$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 5.8335 \times 10^{-6} \text{ mb}$$

Ait-Tahar (n,α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁹Be için,

$$\frac{N-Z+1}{A} = \frac{5-4+1}{9} = \frac{2}{9} = 0.2222$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 31.66 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-32.75 (N - Z + 1)/A]$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 31.66 (9^{1/3} + 1)^2 \exp[-32.75 (0.2222)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 31.66 (9.48) \exp(-7.27705)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 31.66 (9.48) (6.9122 \times 10^{-4})$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 0.207 \text{ mb}$$

Ait-Tahar (n,α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹⁴Be için,

$$\frac{N-Z+1}{A} = \frac{10-4+1}{14} = \frac{7}{14} = 0.5$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 31.66 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-32.75 (N - Z + 1)/A]$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 31.66 (14^{1/3} + 1)^2 \exp[-32.75 (0.5)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 31.66 (11.62) \exp(-16.375)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 31.66 (11.62) (7.7344 \times 10^{-8})$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 2.8451 \times 10^{-5} \text{ mb}$$

Habbani (n,α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁷Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{4-3}{7} = \frac{1}{7} = 0.143 \quad (\text{tek- A})$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 35 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-37.714 s]$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 35 (7^{1/3} + 1)^2 \exp[-37.714 (0.143)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 35 (8.41) \exp(-5.3931)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 35 (8.41) (4.5478 \times 10^{-3})$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 1.3386 \text{ mb}$$

Habbani (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ^{11}Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{8-3}{11} = \frac{5}{11} = 0.454 \quad (\text{tek- A})$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 35 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-37.714 s]$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 35 (11^{1/3} + 1)^2 \exp[-37.714 (0.454)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 35 (10.4) \exp (-17.122156)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 35 (10.4) (3.6638 \times 10^{-8})$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 1.3336 \times 10^{-5} \text{mb}$$

Habbani (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ^9Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{5-4}{9} = \frac{1}{9} = 0.111 \quad (\text{tek- A})$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 35 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-37.714 s]$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 35 (9^{1/3} + 1)^2 \exp[-37.714 (0.111)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 35 (9.48) \exp (-4.186254)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 35 (9.48) (0.0152)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 5.044 \text{ mb}$$

Habbani (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ^{14}Be için,

$$\frac{N-Z-3}{A} = \frac{10-4-3}{14} = \frac{3}{14} = 0.2142 \quad (\text{\c{c}ift- A})$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 3.6 (A^{1/3} + 1)^2 \exp[-25 (N - Z - 3)/A]$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 3.6 (14^{1/3} + 1)^2 \exp[-25 (0.2142)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 3.6 (11.62) \exp (-5.3571)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 3.6 (11.62) (4.714 \times 10^{-3})$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 0.1972 \text{ mb}$$

Tel ve ark. (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁷Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{4-3}{7} = \frac{1}{7} = 0.143 \quad \text{tek-Z, çift-N}$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 17.93(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-34.04 s]$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 17.93(7^{1/3} + 1)^2 \exp[-34.04 (0.143)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 17.93 (8.41) \exp (-4.86772)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 17.93 (8.41) (7.690 \times 10^{-3})$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 1.1595 \text{ mb}$$

Tel ve ark. (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹¹Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{8-3}{11} = \frac{5}{11} = 0.454 \quad \text{tek-Z, çift-N}$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 17.93(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-34.04 s]$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 17.93(11^{1/3} + 1)^2 \exp[-34.04 (0.454)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 17.93 (10.4) \exp (-15.45416)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 17.93 (10.4) (1.942 \times 10^{-7})$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 3.622 \times 10^{-5} \text{ mb}$$

Tel ve ark. (n, α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁹Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{5-4}{9} = \frac{1}{9} = 0.111 \quad \text{tek-N, çift-Z}$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 19.41(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-35.97 s]$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 19.41(9^{1/3} + 1)^2 \exp[-35.97 (0.111)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 19.41 (9.48) \exp (-3.99267)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 19.41 (9.48) (0.01845)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 3.3949 \text{ mb}$$

Tel ve ark. (n,α) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹⁴Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{10-4}{14} = \frac{6}{14} = 0.428 \quad \text{çift-Z, çift-N}$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 14.43(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-32.17 s]$$

$$\sigma_{n,\alpha} = 14.43(14^{1/3} + 1)^2 \exp[-32.17 (0.428)]$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 14.43 (11.62) \exp(-13.76876)$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 14.43 (11.62) (1.0478 \times 10^{-6})$$

$$\sigma_{(n,\alpha)} = 1.7570 \times 10^{-4} \text{ mb}$$

Çizelge 2.5. 14-15 MeV enerjili (n,α) reaksiyon tesir kesiti (mb) deneysel ve teorik sonuçlarının karşılaştırılması

Hedef çekirdek	Gelme enerjisi (MeV)	N	Z	S	σ _{Levkovskii}	σ _{Kasugai}	σ _{Ait-Tahar}	σ _{Habbani}	σ _{Tel ve ark.}	σ _{Deneysel}
⁷ Li	14-15	Çift	Tek	0.143	1.3584	6.701	0.023	1.3386	1.1595	
¹¹ Li	14-15	Çift	Tek	0.454	5.8629 x 10 ⁻⁵	3.1294 x 10 ⁻³	5.8335 x 10 ⁻⁶	1.3336 x 10 ⁻⁵	3.622 x 10 ⁻⁵	
⁹ Be	14-15	Tek	Çift	0.111	4.4021	14.7516	0.2070	5.0440	3.3949	11±4 (EXFOR, S.A. Myachova 1961)
¹⁴ Be	14-15	Çift	Çift	0.428	1.545 x 10 ⁻⁴	5.941 x 10 ⁻³	2.845 x 10 ⁻⁵	0.1972	1.7570 x 10 ⁻⁴	

Çizelge 2.6.14-15 MeV enerjili (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) sistematiikleri

Yazar	Kütle numarası	σ (n,2n) Formülü	R^2
Adam ve Jeki	$28 \leq A \leq 50$	$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061 (A^{1/3} + 1)^2 \exp(-8.6 s)]$	0.092
Konno ve ark		$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 \exp(-27.37 s)]$	
Bychkov ve ark	$45 \leq A \leq 238$	$\sigma_{n,2n} = \begin{cases} 1000 + 7.5A(7.8 s - 0.234) & \text{ için } s \leq 0.13 \\ 1000 + 7.5A(0.65 + s) & \text{ için } s > 0.13 \end{cases}$	0.145
Habbani ve Osman	çift- A	$\sigma_{n,2n} = 20.82(A^{1/3} + 1)^2 \exp[3.76(N - Z + 1)/A]$	0.130
	tek- A	$\sigma_{n,2n} = 23.53(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-3.5(N - Z)/A]$	0.102
Çalışma 2.a	$14 \leq A \leq 241$	$\ln \sigma_{n,2n} = 7.43 [1 - 1.71 \exp(-24.99 s)]$	0.959
Çalışma 2.b	çift-A	$\ln \sigma_{n,2n} = 7.15 [1 - 2.45 \exp(-31.62 s)]$	0.921
	tek-A	$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 1.59 \exp(-23.06 s)]$	0.981

14-15 MeV enerjili (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları

Adam ve Jeki (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ${}^7\text{Li}$ için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{4-3}{7} = \frac{1}{7} = 0.143$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061 (A^{1/3} + 1)^2 \exp(-8.6 s)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061(7^{1/3} + 1)^2 \exp(-8.6 (0.143))]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061 (8.41) \exp(-1.2298)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061 (8.41) (0.292351)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - (0.149979)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 (0.85)$$

$$\sigma_{n,2n} = 1742.54 \text{ mb}$$

Adam ve Jeki (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹¹Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{8-3}{11} = \frac{5}{11} = 0.454$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061 (A^{1/3} + 1)^2 \exp(-8.6 s)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061(11^{1/3} + 1)^2 \exp(-8.6 (0.454))]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061 (10.4) \exp(-3.9044)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061 (10.4) (0.020153)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - (0.0127851)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 (0.9872)$$

$$\sigma_{n,2n} = 2023.79 \text{ mb}$$

Adam ve Jeki (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁹Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{5-4}{9} = \frac{1}{9} = 0.111$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061 (A^{1/3} + 1)^2 \exp(-8.6 s)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061(9^{1/3} + 1)^2 \exp(-8.6 (0.111))]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061 (9.48) \exp(-0.9546)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061 (9.48) (0.384966)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - (0.22261)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 (0.77739)$$

$$\sigma_{n,2n} = 1593.64 \text{ mb}$$

Adam ve Jeki (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹⁴Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{10-4}{14} = \frac{6}{14} = 0.428$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061 (A^{1/3} + 1)^2 \exp(-8.6 s)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061(14^{1/3} + 1)^2 \exp(-8.6 (0.428))]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061 (11.62) \exp(-3.6808)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - 0.061 (11.62) (0.0252)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 [1 - (0.01786)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 2050 (0.98214)$$

$$\sigma_{n,2n} = 2013.38 \text{ mb}$$

Konno ve ark (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁷Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{4-3}{7} = \frac{1}{7} = 0.143$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 \exp(-27.37 s)]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 \exp(-27.37 (0.143))]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 \exp(-3.913)]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 (0.01998)]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - (0.02965)]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 (0.97035)$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.213582$$

$$\sigma_{n,2n} = \exp(7.213582)$$

$$\sigma_{n,2n} = 1357.74 \text{ mb}$$

Konno ve ark (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹¹Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{8-3}{11} = \frac{5}{11} = 0.454$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 \exp(-27.37 s)]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 \exp(-27.37 (0.454))]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 \exp(-12.426)]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 (4.0128 \times 10^{-6})]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - (5.955 \times 10^{-6})]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 (0.999)$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.426566$$

$$\sigma_{n,2n} = \exp(7.426566)$$

$$\sigma_{n,2n} = 1680.02 \text{ mb}$$

Konno ve ark (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁹Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{5-4}{9} = \frac{1}{9} = 0.111$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 \exp(-27.37 s)]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 \exp(-27.37 (0.111))]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 \exp(-3.038)]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 (0.0479)]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - (0.071)]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 (0.929)$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 6.9061$$

$$\sigma_{n,2n} = \exp(6.9061)$$

$$\sigma_{n,2n} = 998.34 \text{ mb}$$

Konno ve ark (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹⁴Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{10-4}{14} = \frac{6}{14} = 0.428$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 \exp(-27.37 s)]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 \exp(-27.37 (0.428))]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 \exp(-11.71436)]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - 1.484 (8.1755 \times 10^{-6})]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 [1 - (1.2132 \times 10^{-5})]$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.434 (0.999)$$

$$\ln(\sigma_{n,2n}) = 7.426566$$

$$\sigma_{n,2n} = \exp(7.426566)$$

$$\sigma_{n,2n} = 1680.02 \text{ mb}$$

Habbani ve Osman (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁷Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{4-3}{7} = \frac{1}{7} = 0.143 \quad \text{tek A}$$

$$\sigma_{n,2n} = 23.53(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-3.5 (N - Z)/A]$$

$$\sigma_{n,2n} = 23.53(7^{1/3} + 1)^2 \exp[-3.5 (0.143)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 23.53 (8.41) \exp (-0.5005)$$

$$\sigma_{n,2n} = 23.53 (8.41) (0.60622)$$

$$\sigma_{n,2n} = 119.96 \text{ mb}$$

Habbani ve Osman (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹¹Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{8-3}{11} = \frac{5}{11} = 0.454 \quad \text{tek A}$$

$$\sigma_{n,2n} = 23.53(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-3.5 (N - Z)/A]$$

$$\sigma_{n,2n} = 23.53(11^{1/3} + 1)^2 \exp[-3.5 (0.454)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 23.53 (10.4) \exp (-1.589)$$

$$\sigma_{n,2n} = 23.53 (10.4) (0.20413)$$

$$\sigma_{n,2n} = 49.953 \text{ mb}$$

Habbani ve Osman (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁹Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{5-4}{9} = \frac{1}{9} = 0.111 \quad \text{tek A}$$

$$\sigma_{n,2n} = 23.53(A^{1/3} + 1)^2 \exp[-3.5 (N - Z)/A]$$

$$\sigma_{n,2n} = 23.53(9^{1/3} + 1)^2 \exp[-3.5 (0.111)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 23.53 (9.48) \exp (-0.3885)$$

$$\sigma_{n,2n} = 23.53 (9.48) (0.67807)$$

$$\sigma_{n,2n} = 151.25 \text{ mb}$$

Habbani ve Osman (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹⁴Be için,

$$\frac{N-Z+1}{A} = \frac{10-4+1}{14} = \frac{7}{14} = 0.5 \quad \text{çift A}$$

$$\sigma_{n,2n} = 20.82(A^{1/3} + 1)^2 \exp[3.76 (N - Z + 1)/A]$$

$$\sigma_{n,2n} = 20.82(14^{1/3} + 1)^2 \exp[3.76 (0.5)]$$

$$\sigma_{n,2n} = 20.82 (11.62) \exp (1.88)$$

$$\sigma_{n,2n} = 20.82 (11.62) (6.5535)$$

$$\sigma_{n,2n} = 1585.47 \text{ mb}$$

Tel ve ark. (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁷Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{4-3}{7} = \frac{1}{7} = 0.143 \quad \text{tek A}$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 1.59 \exp(-23.06 s)]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 1.59 \exp(-23.06 (0.143))]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 1.59 \exp(-3.29758)]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 1.59 (0.0369)]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 0.058671]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 (0.941329)$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.2011$$

$$\sigma_{n,2n} = \exp (7.2011)$$

$$\sigma_{n,2n} = 1340.90 \text{ mb}$$

Tel ve ark. (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹¹Li için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{8-3}{11} = \frac{5}{11} = 0.454 \quad \text{tek A}$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 1.59 \exp(-23.06 s)]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 1.59 \exp(-23.06 (0.454))]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 1.59 \exp(-10.47)]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 1.59 (2.8375 \times 10^{-5})]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 4.5116 \times 10^{-5}]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 (0.999)$$

$$\sigma_{n,2n} = \exp (7.64235)$$

$$\sigma_{n,2n} = 2084.63 \text{ mb}$$

Tel ve ark. (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ⁹Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{5-4}{9} = \frac{1}{9} = 0.111 \quad \text{tek A}$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 1.59 \exp(-23.06 s)]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 1.59 \exp(-23.06 (0.111))]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 1.59 \exp(-2.559)]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 1.59 (0.0773)]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 [1 - 0.1229]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.65 (0.8771)$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 6.71$$

$$\sigma_{n,2n} = \exp(6.71)$$

$$\sigma_{n,2n} = 820.57 \text{ mb}$$

Tel ve ark. (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) hesaplamaları ¹⁴Be için,

$$s = \frac{N-Z}{A} = \frac{10-4}{14} = \frac{6}{14} = 0.428 \quad \text{çift-A}$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.15 [1 - 2.45 \exp(-31.62 s)]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.15 [1 - 2.45 \exp(-31.62 (0.428))]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.15 [1 - 2.45 \exp(-13.53336)]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.15 [1 - 2.45 (1.3259 \times 10^{-6})]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.15 [1 - (3.2484 \times 10^{-6})]$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.15 (0.9999)$$

$$\ln \sigma_{n,2n} = 7.149$$

$$\sigma_{n,2n} = \exp(7.149)$$

$$\sigma_{n,2n} = 1272.83 \text{ mb}$$

Çizelge 2.7. 14-15 MeV enerjili (n,2n) reaksiyon tesir kesiti (mb) sistematiklerinin karşılaştırılması

Hedef çekirdek	Gelme enerjisi (MeV)	N	Z	S	$\sigma_{\text{Adam ve Jeki}}$	$\sigma_{\text{Konno ve ark}}$	σ_{Habbani}	$\sigma_{\text{Tel ve ark.}}$	σ_{Deneysel}
${}^7\text{Li}$	14-15	Çift	Tek	0.143	1742.54	1357.74	119.96	1340.90	130±30 (EXFOR, M.H.Mc Taggart 1961)
${}^{11}\text{Li}$	14-15	Çift	Tek	0.454	2023.79	1680.02	49.953	2084.63	
${}^9\text{Be}$	14-15	Tek	Çift	0.111	1593.64	998.34	151.25	820.57	566±84 (EXFOR, D.M. Drake 1977)
${}^{14}\text{Be}$	14-15	Çift	Çift	0.428	2013.38	1680.02	1585.47	1272.83	

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Taşma sınırı bölgesinde ki nükleon fazlalığı bulunan kararsız çekirdekler de, belli şartlar altında, nükleer korun dışına uzanacak şekilde genişleyen nötron ve proton haloları oluşturmaktadırlar. Halo özelliğini gösteren çekirdekler de ise son nükleonların merkezden çok uzakta kalmaları, bağlanma enerjilerinin ve yarı ömürlerinin çok küçük ve rms yarıçaplarının büyük olmasını, beta bozunum ihtimallerini arttırır ve yarı ömürlerini azaltır. Taşma sınırına kararsız çekirdeklerin halo yapısının anlaşılması ve daha fazla tanınması için, daha fazla deneysel ve teorik çalışmaların yapılması gereklidir. Halo çekirdeklerin daha iyi anlaşılması ile birlikte ileri ki dönemler için nükleer fizik ile ilgili daha sürpriz durumların ortaya çıkmasına yol açabilir. Bu çalışmamız da ${}^7\text{Li}$, ${}^{11}\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$ ve ${}^{14}\text{Be}$ halo çekirdeklerinin tesir kesitleri için geliştirilmiş deneysel formüller ile hesaplanmıştır.

14-15 MeV enerjili (n,p) reaksiyon tesir kesiti bakıldığında deneysel değeri ${}^9\text{Be}$ tek nötron, çift protonlu halo çekirdeği için K. C. Garg tarafından 10.4 ± 1.5 mb olarak ölçülmüştür. Bu deneysel değere Levkovskii, Konno ve ark. ile Tel ve ark.'nın yeni geliştirilmiş tesir kesiti formülleri ile yapılan hesaplamalar en yakın ve uyumlu sonuçlar alınmıştır. Buna göre, ${}^9\text{Be}$ halo hedef çekirdeği ile oluşan reaksiyon tesir kesitlerinde, tek-çift etkisini içeren hesaplamaların daha uyumlu sonuçlar verdiğini ve asimetri parametresine güçlü olarak bağımlı olduğunu söyleyebiliriz.

14-15 MeV enerjili (n, α) reaksiyon tesir kesiti bakıldığında deneysel değeri ${}^9\text{Be}$ tek nötron, çift protonlu halo çekirdeği için S.A. Myachkova tarafından 11 ± 4 mb olarak ölçülmüştür. Bu deneysel değere Kasugai'nin tesir kesiti formülü ile yapılan hesaplama en yakın ve uyumlu sonucu vermiştir. ${}^9\text{Be}$ halo hedef çekirdeğinin tesir kesiti hesaplamalarında asimetri parametresine güçlü olarak bağımlı olduğunu söyleyebiliriz.

14-15 MeV enerjili (n,2n) reaksiyon tesir kesiti bakıldığında deneysel değeri ${}^7\text{Li}$ tek proton, çift nötronlu halo çekirdeği için M. H. McTaggart tarafından 130 ± 30 mb olarak ölçülmüştür.

Bu deneysel değere Habbani ve Osman'ın tesir kesiti formülü ile yapılan hesaplama en yakın ve uyumlu sonucu vermiştir. ${}^7\text{Li}$ halo hedef çekirdeğinin tesir kesiti hesaplamalarında asimetri parametresine güçlü olarak bağımlılığının yanı sıra tek çift etkisinin (pairing etkisini) dahil edilmesinin uygun olacağı gözlenmiştir.

14-15 MeV enerjili (n,2n) reaksiyon tesir kesiti bakıldığında, deneysel değeri ${}^9\text{Be}$ tek nötron, çift protonlu halo çekirdeği için D.M. Drake tarafından 566 ± 84 mb olarak ölçülmüştür. Bu deneysel değere Tel ve ark.'nın yeni geliştirilmiş tesir kesiti formülleri ile yapılan hesaplamalar en yakın ve uyumlu sonucu hesaplanmıştır. ${}^9\text{Be}$ halo hedef çekirdeğinin tesir kesiti hesaplamalarında asimetri parametresine güçlü olarak bağımlılığının yanı sıra tek çift etkisinin (pairing etkisini) dahil edilmesinin uygun olacağı söylenebilir.

KAYNAKLAR

Austin, S.M. and Bertsch, G.F., "Halo Nuclei", Scientific American, 90-95(1995).

Baye, D., Suzuki, Y. and Descouvemont, D., "Evidence for halo in Quenching of ${}^6\text{He}$ β Decay into α and Deuteron", Prog of Theor. Phys., 91, 271-286(1994).

Bertsch, G.F. and Esbensen, H., "Pair Correlations near the Neutron Drip Line", Annals of Phys., 209, 327-363 (1991).

Chou, W.T., Warburton, E.K. and Brown, B.A., "Gamow-Teller beta decay rates for $A \leq 18$ nuclei", Phys. Rev., C47, 163 (1993).

Deconinck, G. (1978). Nuclear Methods Monographs No.1, Introduction to Radioanalytical Physics, Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam.

Experimental Nuclear Reaction Data, National Nuclear Data Center (NNDC) (CSISRS alias EXFOR); <http://www.nndc.bnl.gov/exfor/exfor00.htm>

Fedorov, D.V., Jensen, A.S., Riisager, K., "Efimov States in Halo Nuclei", Phys. Rev., Lett., 73, 2817-2820 (1994).

Gibbs, W.R. and Hayes, A.C., "Determination Of the Radius of the ${}^{11}\text{Li}$ Neutron Halo from Pion Double Charge Exchange", Phys. Rev. Lett., 67, 1395-1398. (1991).

Hansen, P.G., "Nuclear structure at the drip lines", Nucl. Phys., A553, 89c (1993).

Hoshino, T., Sagawa, H. And Arima, A., "Shell-model Study of Light Neutron-rich Nuclei", Nucl Phys., A 506, 271-292 (1990).

Hussein, M.S., Bertulani, C.A. ve ark., "Fussion of Halo Nuclei", Nucl. Phys., A 588, 85c-90c (1995).

Ikeda, K., "Structure of Neutron Rich Nuclei", Nucl. Phys., A 538, 335c-366c (1992).

Jonson, B., "Halo Nuclei", Nucl. Phys., A574, 151c-166c (1994).

Jonson, B., "Halo Nuclei and Other Exotics", Nucl. Phys., A583, 733-746 (1995).

Kobayashi, T., "Nuclear Structure Experiments on ${}^{11}\text{Li}$ ", Nucl. Phys., A 553, 465c-472c (1993).

Mau, N.V., "Particle-vibration coupling in one neutron halo nuclei", Nucl. Phys., A 592, 33-44 (1995).

Mau, N.V., Pacheco, J.C., "Structure of the ${}^{11}\text{Li}$ nucleus", Nucl. Phys., A 607, 163-177 (1996).

Mueller, A.C., And Sherill, B.M., “Two-body halos”, *Annu. Rev. Nucl. Part. Sc.*, 43, 529 (1993).

Neutron Cross Section, BNL 325, 3rd ed., Vol. II, Brookhaven National Laboratory (1976)

Nunes, F.M., Thompson, I.J. ve Jognson, R.C., “Core excitation in one neutron halo system”, *Nucl. Phys.*, A 596, 171-186 (1996).

Nyman, G., ve ark., “Beta Decay of ^9Li to Leves in ^9Be ”, *Nucl.Phys.*, A 510, 189. (1990).

Okuducu, S., “Halo çekirdeklerin nükleer yarıçapa duyarlılığı ve halo çekirdeklerin dış bremsstrahlung spektrumunun incelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-5, 7, 12-22, 58-63.,(1999).

Poppelier, N.A.F.M., Wood, L.D. and Glaudemans, P.W.M., “Properties of Exotic p-Shell Nuclei”, *Phys. Lett.*, B 157, 120-122 (1985).

Riisager, K., Jensen, A.S. and Moller, P., “Two-body halos”, *Nucl.Phys.*, A 548, 393-413 (1992).

Sagawa, H., “Density distribution of halo nuclei”, *Phys.Lett.*, B 286, 7-12 (1992).

Sagawa, H., “Density distribution of halo nuclei”, *Phys.Lett.*, B 286, 7-12 (1992).

Sato, H. and Okuhara, Y., “High-energy Nucleus-nucleus Scattering and the Matter Radius of the Unstable Nucleus”, *Phys.Lett.*, B 162, 217 (1985).

Sakuragi, Y., Funada, S. and Hirabayashi, Y., “Coulomb Dissociation of ^6He and ^{11}Li and its effect on the elastic scattering”, *Nucl.Phys.*, A 588, 65c-70c (1995).

Suzuki, T., and Otsuka, T., “Configuration of the two-neutron halo of ^{11}Li and Gamow-Teller transition”, *Phys.Rev.*, C 50, R 555 (1994).

Tanihata, I., “Neutron halo nuclei”, *J. Phys. G. Nucl. Part. Phys.*, 22, 157- 198 (1996).

Tanihata, I., Hamagaki, H. ve ark., “Measurements of Interaction Cross Sections and Nuclear Radii in the Light p-Shell Region”, *Phys. Rev. Lett.*, 55, 2676 (1985).

Tanihata, I., Hamagaki, H., Hasmmimoto, O. ve ark., “Measurements of Interaction Cross Sections and Radii of He Isotopes”, *Phys. Lett.*, B 160, 380- 384 (1985).

Tanihata, I., Hamagaki, H., Hasmmimoto, O. ve ark., “Measurements of Interaction Cross Sections and Nuclear Radii in the Light p-Shell Region”, *Phys. Rev. Lett.*, 55, 2676- 2679 (1985).

Tanihata, I., “Nuclear Structure Studies Using High- Energy Radioactive Nuclear Beams”, Nucl. Phys., A 478, 795 c (1988).

Tanihata, I., “Nuclear Structure Studies Using High- energy Radioactive Nuclear beams”, Nucl. Phys., A 478, 795c- 804c (1988).

Tanihata, I., ve ark., “Measuring of Interaction Cross Sections Using Isotope Beams of Be and B and Isospin Dependence of the Nuclear Radii”, Pyys. Lett., B 206, 592 (1988).

Tel, E., Şarer, B., Okuducu, Ş, Aydın. A. and Tanır, G., (2003). A new empirical formula for 14-15 Mev neutron-induced (n,p) reaction cross sections. Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics 29, 2169-2177 .

Tel, E., Okuducu, Ş, Aydın. A., Şarer, B., and Tanır, G., (2004a). The Study of the (n, 2n) Reaction Cross-Sections for Neighbouring Deformed Nuclei in the Region of Rare-Earth Elements. Acta Physica Slovaca 54, 191-204.

Tel, E., Aydın. A., Übeyli, M. and Demirkol, İ. (2004b). Indian Journal of Physics 78(11), 1229-1237.

Timofeyuk, N. K. And Descouvemont, P., “ β - decay of the halo nucleus ^{14}Be ”, Phys. G. Nucl. Part. Phys., 22, L99- L104. (1996).

Zhukov, M.V., Danilin, B.V. ve ark., “ β decay of ^{11}Li to the deuteron channel and halo analog states in ^{11}Be ”, Phys.Rev., C52, 2461 (1995).

ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Mesut DEPEDELEN

2. Doğum Tarihi : 01.06.1983

3. Ünvanı :

4. Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Ön Lisans	Laborant ve Veteriner Sağlık	Anadolu üniversitesi	2012
Lisans	Fizik	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2013

Bildiriler

Poster Sunumu - TESNAT 2015 International Workshop on Theoretical and
Experimental Studies in Nuclear Applications and Technology