

**BAZI DOĞAL ELEMENTLERİN FOTONÖTRON
TESİR KESİTLERİNİN TEORİK
HESAPLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ramazan UYAR

DANIŞMAN

Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL

FİZİK ANABİLİM DALI

OCAK 2011

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BAZI DOĞAL ELEMENTLERİN FOTONÖTRON TESİR KESİTLERİNİN
TEORİK HESAPLANMASI**

Ramazan UYAR

DANIŞMAN

Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL

FİZİK ANABİLİM DALI

OCAK 2011

ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL danışmanlığında, Ramazan UYAR tarafından hazırlanan “Bazı Doğal Elementlerin Foto-Nötron Tesir Kesitlerinin Hesaplanması” başlıklı bu çalışma lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca

21/01/2011

Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Anabilim Dalında
Yüksek lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Unvanı, Adı, SOYADI

İmza

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Abdullah KAPLAN

Üye: Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL

Üye: Yrd. Doç. Dr. Bekir ORUNCAK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

...../...../..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	iv
GRAFİKLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1 GİRİŞ	1
1.1 Nötronlar	2
1.1.1 Nötronların Sınıflandırılması	2
1.1.2 Nötronların Kullanım Alanları	4
1.2 Fotonlar ve Fotonükleer Reaksiyon Özellikleri	5
1.2.1 Fotonlar	5
1.2.1.1 Fotonların Enerjileri	6
1.2.1.2 Fotonların Momentumu	7
1.2.1.3 Fotonükleer Reaksiyonlar ve Verinin Kullanım Alanları	8
1.3 Nükleer Reaksiyon Modelleri	12
1.3.1 Kabuk Modeli	12
1.3.1.1 Harmonik Osilatör Yaklaşımı	14
1.3.1.2 Kare Kuyu Yaklaşımı	14
1.3.2 Born Yaklaşımı (Born Approximation)	15
1.3.3 Bozunmuş Dalga Born Yaklaşımı (Distorted Wave Born Approximation-DWBA)	18
1.3.4 Optik Model	21
1.3.4.1 Optik Potansiyelin Özellikleri	22
1.4 Reaksiyon Mekanizmaları	24
1.4.1 Bileşik Çekirdek Reaksiyonları	27
1.4.2 Yakalama Reaksiyonları	27
1.4.3 Parçalanma Reaksiyonları	28
1.4.4 Filyon Reaksiyonları	28
1.4.5 Füzyon Reaksiyonları	28
1.4.6 Doğrudan (Direkt) Reaksiyonlar	29

1.4.6.1	Esnek Saçılma	29
1.4.6.2	Esnek Olmayan Saçılma	30
1.4.7	Rezonans Reaksiyonları ve Fotoabsorbsiyon Modeli	31
1.4.7.1	Rezonans Reaksiyonları	31
1.4.7.2	Fotoabsorbsiyon Modeli	32
1.5	TESİR KESİTİ	35
1.5.1	Diferansiyel Tesir Kesiti	36
2	TEZ ÇALIŞMASININ AMACI ve LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	39
2.1	Tez Çalışmasının Amacı	39
2.2	Literatür İncelemesi	39
3	MATERYAL - METOT	43
3.1	Hesaplamalar	43
3.2	TALYS 1.2 Kullanılan Kodlar	44
3.3	Örnek Girdi Dosyası	47
3.4	Örnek Çıktı Dosyası	48
3.5	Çalışılan Kısımın Seçimi	51
3.6	Örnek Grafik	51
4	TEORİK HESAPLAMALAR.....	52
4.1	^{Doğal} Ag ((γ ,n)+ (γ ,n+p)) Reaksiyonu	52
4.2	^{Doğal} Ba ((γ ,n)+ (γ ,n+p)) Reaksiyonu	55
4.3	^{Doğal} Cd ((γ ,n)+ (γ ,n+p)) Reaksiyonu	60
4.4	^{Doğal} Ce ((γ ,n)+ (γ ,n+p)) Reaksiyonu	64
4.5	^{Doğal} Cl ((γ ,n)+ (γ ,n+p)) Reaksiyonu	68
4.6	^{Doğal} Cu ((γ ,n)+ (γ ,n+p)) Reaksiyonu	71
4.7	^{Doğal} Er ((γ ,n)+ (γ ,n+p)) Reaksiyonu	74
4.8	^{Doğal} Ga ((γ ,n)+ (γ ,n+p)) Reaksiyonu	77
4.9	^{Doğal} K ((γ ,n)+ (γ ,n+p)) Reaksiyonu	80
4.10	^{Doğal} Nd ((γ ,n)+ (γ ,n+p)) Reaksiyonu	83
4.11	^{Doğal} Pb ((γ ,n)+ (γ ,n+p)) Reaksiyonu	87
4.12	^{Doğal} Rb ((γ ,n)+ (γ ,n+p)) Reaksiyonu	90
4.13	^{Doğal} Sb ((γ ,n)+ (γ ,n+p)) Reaksiyonu	93
4.14	^{Doğal} Si ((γ ,n)+ (γ ,n+p)) Reaksiyonu	96
4.15	^{Doğal} Sm ((γ ,n)+ (γ ,n+p)) Reaksiyonu	99

4.16	$^{90}\text{Sr} ((\gamma,n)+ (\gamma,n+p))$ Reaksiyonu	103
4.17	$^{130}\text{Te} ((\gamma,n)+ (\gamma,n+p))$ Reaksiyonu	106
4.18	$^{90}\text{Zr} ((\gamma,n)+ (\gamma,n+p))$ Reaksiyonu	110
5	TARTIŞMA ve SONUÇ.....	113
6	KAYNAKLAR.....	115
6.1	Internet Kaynakları	119
EK - 1	Reaksiyon Mekanizmaları ve Nükleer Modeller.....	120
EK - 2	Gama Reaksiyonlarında GDR Parametreleri	121
EK - 3	Elementlerin Bolluk Oranları	126
EK-4	Örnek Enerji Dosyası.....	127
EK-5	ÖZGEÇMİŞ	128

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Bazı Doğal Elementlerin Fotonötron Tesir Kesitlerinin Teorik Hesaplanması

Ramazan UYAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL

Gama reaksiyonlarında, Büyük Dipol Rezonans (GDR) bölgesinde bazı doğal elementler için nötron ve nötron-proton (quasi-deuteron), gama absorpsiyon, toplam nötron oluşum ve izotop oluşum tesir kesitleri hesaplamaları nükleer reaksiyon modelleri kullanılarak yapılmıştır. Bu hesaplama sonuçları, Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu'nun EXFOR veri kütüphanesinden alınan deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Hesaplamalarda, doğrudan reaksiyon GDR değişkenleri ve fotoabsorpsiyon modeli kullanılmıştır. Bu modellere bağlı olarak kullanılan değişkenlerle yapılan hesaplamalarda TALYS 1.2 nükleer reaksiyon bilgisayar kod programı kullanılmıştır.

Çalışmada, 4 – 35 MeV gelme enerjili fotonlarla (GDR Bölgesi) ^{0}Ag , ^{0}Ba , ^{0}Cd , ^{0}Ce , ^{0}Cl , ^{0}Cu , ^{0}Er , ^{0}Ga , ^{0}K , ^{0}Nd , ^{0}Pb , ^{0}Rb , ^{0}Sb , ^{0}Si , ^{0}Sm , ^{0}Sr , ^{0}Te , ^{0}Zr çekirdekleri için (g,n)+(g,n+p) reaksiyonlarının reaksiyon tesir kesitlerini teorik olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan tesir kesitleri ile mevcut deneysel tesir kesitleri karşılaştırılmış ve birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

2011, 130 sayfa

Anahtar Kelimeler: Tesir Kesiti, GDR Bölgesi, (g,n) Reaksiyonları, TALYS 1.2 Nükleer Reaksiyon Kod Programı.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

Cross Sections Theoretical Calculation For Some Natural Elements

Ramazan UYAR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Rıdvan ÜNAL

The neutron, quasi-deuteron, gamma absorption, total neutron production and isotope production, cross section calculation in gamma reactions were made for some natural elements in Giant Dipole Resonance (GDR). These calculation results, were compared with the experimental data in International Atomic Energy Agency (IAEA) data library EXFOR.

The direct reactions GDR parameters and the photo-absorption model were used in calculations, which were made by using the parameters related to these models. These calculations were made by using TALYS 1.2 nuclear reaction computer code program.

In the study cross sections of (g,n)+(g,n +p) reactions for ^{0}Ag , ^{0}Ba , ^{0}Cd , ^{0}Ce , ^{0}Cl , ^{0}Cu , ^{0}Er , ^{0}Ga , ^{0}K , ^{0}Nd , ^{0}Pb , ^{0}Rb , ^{0}Sb , ^{0}Si , ^{0}Sm , ^{0}Sr , ^{0}Te , ^{0}Zr with 4 -35 MeV incident energy photons (in GDR Region) were calculated. Calculated cross sections and the available cross sections were compared and found to be in good agreement.

2011, 130 Pages

Keywords: Cross Section, GDR Region, (g,n) Reactions, TALYS 1.2 Nuclear Reaction Computer Code Program

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince her konuda bana yardımcı olan değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL'a, ders aşamamda bilgilerini ve deneyimlerini benden esirgeyemeyen değerli hocalarım Doç. Dr. H. Ali YALIM, Yrd. Doç. Dr. Bekir ORUNCAK ve Yrd. Doç. Dr. İ. Hakkı SARPÜN' e ve ayrıca tez savunma jürisi başkanı değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Abdullah KAPLAN'a en içten teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmamın her aşamasında yanımda olan değerli arkadaşım Şevki KİREMİTÇİOĞLU'na da en samimi teşekkürlerimi sunarım.

Ramazan UYAR

AFYONKARAHİSAR 2011

GRAFİKLER DİZİNİ

Grafik 3.1 Örnek girdi dosyasına ait olarak elde edilen örnek reaksiyon grafiği.	51
Grafik 4.1 Doğal Gümüş çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	53
Grafik 4.2 Doğal Gümüş çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	55
Grafik 4.3 Doğal Baryum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	57
Grafik 4.4 Doğal Baryum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	59
Grafik 4.5 Doğal Kadmiyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	61
Grafik 4.6 Doğal Kadmiyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	63
Grafik 4.7 Doğal Seryum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	65
Grafik 4.8 Doğal Kadmiyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	67
Grafik 4.9 Doğal Klor çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	69
Grafik 4.10 Doğal Klor çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	70
Grafik 4.11 Doğal Bakır çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	72
Grafik 4.12 Doğal Bakır çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	73
Grafik 4.13 Doğal Erbiyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	75
Grafik 4.14 Doğal Erbiyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	76
Grafik 4.15 Doğal Galyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	78
Grafik 4.16 Doğal Galyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	79
Grafik 4.17 Doğal Potasyumyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	81
Grafik 4.18 Doğal Potasyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	82
Grafik 4.19 Doğal Neodmiyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	84

Grafik 4.20 Doğal Neodmiyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	86
Grafik 4.21 Doğal Kurşun çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	88
Grafik 4.22 Doğal Kurşun çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	89
Grafik 4.23 Doğal Rubidyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	91
Grafik 4.24 Doğal Rubidyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	92
Grafik 4.25 Doğal Antimon çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	94
Grafik 4.26 Doğal Antimon çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	95
Grafik 4.27 Doğal Silisyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	97
Grafik 4.28 Doğal Silisyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	98
Grafik 4.29 Doğal Samaryum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	100
Grafik 4.30 Doğal Samaryum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	102
Grafik 4.31 Doğal Stronsiyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	104
Grafik 4.32 Doğal Stronsiyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	105
Grafik 4.33 Doğal Tellür çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	107
Grafik 4.34 Doğal Tellür çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	109
Grafik 4.35 Doğal Zirkonyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi.	111
Grafik 4.36 Doğal Zirkonyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması.	112

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Compton saçılmasının gösterimi.	8
Şekil 1.2 Woods-Saxon potansiyeli.	14
Şekil 1.3 Nükleer Reaksiyon ve parçacık spektrumu içinde bileşik, denge öncesi ve doğrudan reaksiyonların mekanizma kuralı.	25
Şekil 1.4 Enerji bölgelerinde çıkan parçacık spektrumuna mekanizmaların katkıları.	26
Şekil 1.5 Esnek saçılma.	30
Şekil 1.6 Esnek olmayan saçılma.	31
Şekil 1.7 Nükleer fotoabsorpsiyon tesir kesitinin örnek çizimi.	33
Şekil 1.8 İnce bir hedefin I şiddetli bir demet ile bombardıman edilmesi.	35
Şekil 1.9 Saçılma odası şematik gösterimi.	37
Şekil 1.10 $d\Omega$ katı açısının gösterimi.	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Nötronun Genel Özellikleri.	3
Çizelge 1.2 Nötronların Sınıflandırılması	3
Çizelge 1.3 Elektromagnetik spektrumdaki değişik bölgelere ait fotonların dalgaboyu, frekans ve enerji kıyaslamaları (İnt. Kayn. 1).	6

1 GİRİŞ

Nükleer fizik, teknolojik yeniliklerin ortaya çıkması ya da çıkarılması anlamında önemli bilim alanıdır ve geniş uygulama alanına sahiptir.

Bu alanlardan biri olan nükleer tıp, hem teşhis hem de tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Nükleer fizik sayesinde yapılan hızlandırıcılarla, vücuttaki dokular, kemikler ve organlar test edilmekte ve teşhislerde yardımcı olmaktadır.

Nükleer fiziğin bir diğer uygulama alanı ise endüstridir. Özellikle; basınç boruları, kaynatıcılar ve diğer büyük metal dökme kalıpların içindeki çatlak ve yarıkların araştırılması yoluyla sistem kontrolü alanında kullanılmaktadır.

Diğer bir kullanım alanı da temel bilimler içindedir. Fizikte; katıların elektron yapısı, yüzeylerin ve ara yüzeylerin incelenmesi amacıyla nükleer fizikten yararlanılır. Kimyada; polimerik yapıların incelenmesi, iz elementi analizi alanlarında ve biyolojide ise; radyografi, akışkan yüzeylerde kompleks biyomoleküllerin yapısının incelenmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır (Bayrak 2009). Dünyada nükleer enerji için yapılmış ve yapılmakta olan nükleer güç santralleri de nükleer fiziğin yararlı alanlarından bir diğeridir.

Bu güç santrallerinde gama parçacığı kullanılarak yapılan reaksiyonlar, santrallerin güvenliği, malzemelerin radyasyondan kaynaklanan yapısal bozulmalarının ölçülmesi gibi noktalarda uygulanmaktadır.

Nötron üretimi için kullanılan pek çok nükleer reaksiyon türü mevcuttur. Ancak, nötronların üretiminde protonların kullanımı, nötron üretimi açısından en uygun yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Genel olarak durumun bu olmasına rağmen, fotonötronlar ile uyarılan çekirdek reaksiyonları, fisyon ve füzyon enerji reaktörlerinin tasarımında ve güvenlik testlerinde önemli yer tutar. Bu tür reaksiyonların oluşturulması sırasında, kullanılan malzemelerin yapısal dayanıklılığını etkileyecek değişimler oluşabilmektedir. Bu problemlerin öneminin anlaşılabilmesi ve sorunların giderilebilmesi için tesir kesitlerinin ve yayınlanma spektrumlarının deneysel olarak ölçülmesi ve önceden oluşabilecek durumların belirlenebilmesi için de teorik hesaplamaların yapılabilmesi gerekmektedir.

Bu bölümde genel olarak nötronların ve fotonötron reaksiyonlarının genel özellikleri ile birlikte kullanım alanları üzerinde durulacaktır.

1.1 Nötronlar

Nötronlar yüksüz parçacıklardır. Nötronlar, 3 kuarktan (u,d,d) oluşurlar ve “n” ile sembolize edilirler. Doğada bilinen atomların kütlerinin büyük bir kısmını nötronlar oluşturmaktadır. Bu yüzden, bir nötron söz konusu iki taneciğe ayrılırsa, enerji açığa çıkaran bir reaksiyon oluşur. Yalnız başına bırakılmış nötron kararsızdır ve bir radyoaktif tanecik gibi davranarak, 0,786 MeV'lik enerji salarak, bir proton bir elektron ile bir nötrino'ya dönüşür. Nötronlar, madde ile ısı dengede bulunabilirler. Nötronun spini 1/2'dir; magnetik momenti 1,9135'tir ve bu da çekirdek magnetonuna eşittir (Yaramış 1974). Nötronun yükü olmadığından öteki taneciklere oranla, çekirdeklere daha rahat yaklaşır ve daha rahat etkileşir. Bu nedenle nötronlar, çekirdek reaksiyonlarını oluşturmak için çok elverişlidir. Nötronlara, çekirdekten kısa bir uzaklıktaki nükleer kuvvetlerden başka kuvvet etkimez. Nötronlar hızlandırılamazlar ama çekirdeklerle çarpışmaları sonucu yavaşlatılabilirler; her çarpışma sonucunda biraz enerji yitirirler (Beiser 1987). Nötronla ilgili bazı temel bilgiler Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Nötronlarla ilgili temel araştırmalar, hemen hemen nükleer fiziğin ilk günlerine kadar dayanan bir geçmişe sahiptir. Günümüzde de hala anlamlı ve heyecan verici bir araştırma alanı olmaya devam etmektedir. Örneğin, kuantum mekaniğinin bazı temel yapı yönlerinin ilk defa deneysel olarak gösterilmesine nötron demetlerinin girişim etkileri imkân vermiştir (Krane 2002a). Bu yüzden nötron, bilimin gelişiminde önemli bir parçacıktır.

1.1.1 Nötronların Sınıflandırılması

Çeşitli nükleer reaksiyon türleri ile nötron demetleri elde etmek mümkündür, ancak, unutulmamalıdır ki yüklü parçacıklar gibi hızlandırılamazlar. Yine de yüksek enerjili nötronların enerjileri, farklı maddelerin atomlarıyla yaptıkları çarpışmalar sonucunda azaltılabilir. Buna "yavaşlatma" işlemi denir (Krane 2002b). Nötronlar genellikle

sahip oldukları kinetik enerjilerine göre sınıflandırılır (L'annunziata 1998). Bu sınıflandırma Çizelge 1.2'de verildi.

Çizelge 1.1 Nötronun Genel Özellikleri.

Sınıfı	Baryon
Bileşimi	Bir yukarı, iki aşağı
Ailesi	Fermiyon
Grup	Kuark
Etkileşim	Yerçekimsel, Elektromagnetik, Güçlü, Güçsüz
Anti-parçacığı	Anti-nötron
Keşfi	James Chadwick -1932
Sembol	N, n ⁰
Kütle	1.67492729×10 ⁻²⁷ kg.
Ortalama Yarı Ömür	885.7 s. (serbest)
Elektrik Yüğü	0 Coulomb
Elektrik Dipol Moment	< 6.3×10 ⁻²⁴ e cm.
Elektrik Polarizesi	1.16 ×10 ⁻³ fm ³
Magnetik Moment	-1.9130427 μn
Magnetik Polarizesi	3.70 ×10 ⁻⁴ fm ³
Spin	½
Izo-spin	½
Parite	+1
Yoğunluk	I(J ^p) = ½ (1/2 ⁺)

Çizelge 1.2 Nötronların Sınıflandırılması

Yavaş (epitermal) nötronlar	0.4 – 100 KeV
Orta nötronlar	100eV – 200 KeV
Hızlı nötronlar	200 KeV – 10 MeV
Yüksek Enerjili nötronlar (Rölativistik)	>10 MeV
Soğuk nötronlar	>0.003 MeV
Termal nötronlar	>0.003 MeV – 0.4 MeV

1.1.2 Nötronların Kullanım Alanları

Deneysel teknikler ile elde edilen nötronların, günümüzdeki kullanım alanları:

- Yer bilimleri
- Sıvı ve amorf sistemler
- Polimer bilimi
- Mühendislik uygulamaları
- Materyal bilimi araştırmaları
- Spallasyon nötronlar: nötron saçılması kullanılarak yoğun madde çalışmaları
- Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler (ADS)
- Enerji Yükselteci
- Kimya
- Kristalize malzemeler
- Düzensiz malzemeler
- Manyetizma ve süper iletkenlik
- Transuranic (uranyum içeren) elementleri belirlemek
- Tritiyum Üretimi
- Toryumla birleşerek nükleer enerji üretiminde, radyoaktif kalıntıların yok edilmesi,
- Patlayıcı ve zararlı maddelerin belirlenmesi
- Medikal izotop üretimi
- Nötron aktivasyon analizi

- Kanser tedavisi
- Uzun ömürlü fisyon ürünlerini yok etmek
- Yapısal Biyoloji
- Nötron Radyografi
- Nükleer tıp
- Nükleer deneyler

olarak gösterilebilir .

1.2 Fotonlar ve Fotonükleer Reaksiyon Özellikleri

1.2.1 Fotonlar

Foton, elektromagnetik alanın kuantumu, ışığın temel "birimi" ve tüm elektromagnetik ışınların kalıbı olan temel parçacıktır. Foton ayrıca, elektromagnetik kuvvet'in kuvvet taşıyıcısıdır. Bu kuvvetin etkileri hem mikroskobik ölçülerde, hem de makroskobik ölçülerde çok rahat bir şekilde gözlemlenebilir. Çünkü foton, herhangi bir durağan kütleye sahip değildir ve bu durum uzak mesafelerde etkileşimlere izin vermektedir. Foton, kuantum mekaniği ile tanımlanır ve açıklanır. Dalga parçacık ikiliği gösterir. Bu durum fotonun hem dalga hem de parçacık özelliği gösterdiğini gösterir. Örnek olarak, herhangi bir foton bir mercek tarafından kırılıma uğrayabilir veya dalga girişimi özelliği gösterebilirken ayrıca sayısal kütlesi ölçüğünde parçacık gibi davranabilir.

Fotonun modern kuramı Albert Einstein tarafından açıklanmıştır. Einstein'ın buna ihtiyaç duyma nedeni, yaptığı gözlemlerin klasik ışığın dalga modeli ile tam olarak açıklanamamasıdır.

1.2.1.1 Fotonların Enerjileri

1900 yılında Max Planck'ın siyah cisim ışıması üzerindeki çalışmaları ile ilk adımları atılan Kuantum Fiziğinde, bu çalışmaların sonucunda Planck bir sabit sayı keşfetti. Bu sayı 'Planck Sabiti (h)' olarak isimlendirildi. Bunun ardından birçok yeni fikirler üreilmeye başlandı. Planck, ışığı enerji paketçikleri olarak tanımladı ve bu paketçiklerin her birinin enerjisini şu şekilde tanımladı:

$$E = h \cdot \nu \quad (1.1)$$

Burada, ν ışığın frekansı ve 'h' ise Planck sabitidir. Planck sabitinin değerleri aşağıda belirtildiği gibidir. Bunların hepsi birbirinin aynısıdır, aralarındaki tek fark birimlerdir:

$$\begin{aligned} h &= 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s (Joule x Saniye)} \\ &= 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV.s (Elektronvolt x Saniye)} \\ &= 1,58 \times 10^{-34} \text{ cal.s (Kalori x Saniye)} \end{aligned}$$

Elektromagnetik spektrumdaki değişik bölgelere ait fotonların dalgaboyu, frekans ve enerji kıyaslamaları Çizelge 1.3'te yapılmıştır.

Çizelge 1.3 Elektromagnetik spektrumdaki değişik bölgelere ait fotonların dalgaboyu, frekans ve enerji kıyaslamaları (İnt. Kayn. 1).

Fotonun Bölgesi	Dalgaboyu	Frekans (Hz.)	Enerjisi
Radyo Dalgası	1 km.	3×10^5	1 neV
Mikrodalga	1cm.	3×10^{10}	120 meV
Kızılötesi	10 mm.	3×10^{13}	120 meV
Görünür	550 nm.	5×10^{14}	2 eV
Ultraviyole	100 nm.	3×10^{15}	12 eV
X-ışını	0.05 nm.	6×10^{18}	25 keV
Gama ışını	0.00005 nm	6×10^{21}	25 MeV

1.2.1.2 Fotonların Momentumu

Bir fotonun durgun kütlesi yoktur. Bu demektir ki; fotonların bütün enerjisi kinetik enerjiden kaynaklanmaktadır. Relativite teorisine göre, bir parçacığın ışık hızında (c) seyir edebilmesi için, kütesinin sıfır olması gerekiyor. Bilindiği gibi, bir taneciğin (veya cismin) momentumu hesaplanırken kullanılan formül,

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (1.2)$$

Burada ' $\vec{p}$ ' momentum, ' m ' kütle ve ' $\vec{v}$ ' ise hızdır. Relativite Teorisine göre, herhangi bir taneciğin momentumu,

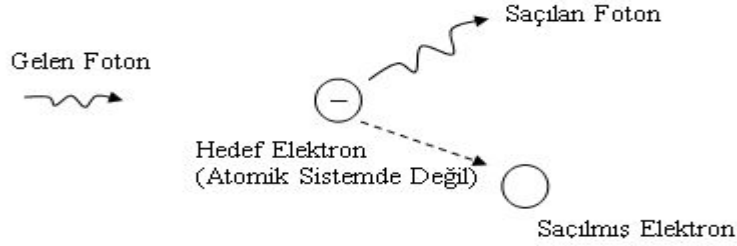
$$p = \vec{v} \cdot E/c^2 \quad (1.3)$$

olarak belirtiriz. Burada 'E' toplam enerji (durgun kütle enerjisi (mc^2) + kinetik enerji). Yani, sonuç olarak bir momentumları vardır. Fotonlar ışık hızı ile hareket ettiklerinden ' $\vec{v}$.' yerine ' c ' yerleştirebiliriz. Böylece formülümüz $p=E/c$ olur. En son olarak da E ve bir fotonun enerjisi olan $h \cdot \nu$ arasında bir değiştirme yaparsak fotonların momentumu aşağıdaki gibi olur.

$$p = h/\lambda \quad (1.4)$$

Fotonların momentumlarına bir ispat olarak, Compton Saçılmasını gösterebiliriz. Compton, bir foton ve bir de elektron ile bilardo toplarının çarpışmasına benzer bir deney gerçekleştirdi. Compton'un kullandığı foton; bir x-ışını fotonu idi. Bu fotonu, bir karbon grafitindeki atomların aralarında neredeyse serbest olarak duran bir elektronun üzerine gönderdi. Elektronun hareketsiz olduğu varsayımı ile hareket edelim. Bu durumda, atomik sistemden yalıtılmış ve hareketsiz düşündüğümüz elektronun momentumu sıfırdır. Burada, gönderilen fotonun momentumu ' p ' olsun. Şekil 1.1'de gösterildiği üzere, düşey yönde hiçbir hareket yok. Foton, elektrona çarptıktan sonra elektron hareket eder. Bu demektir ki, foton momentumunun bir kısmını elektrona aktardı; çarpışma sonrası fotonun dalga boyu arttı, yani foton kendi enerjisinden bir kısmını yitirdi. Momentum korunuyor ve sonda da, başta olduğu gibi sistemin düşey

doğrultuda toplam momentumu yine sıfır olacaktır (elektronunki aşağıya, fotonunki yukarıya ve ikisi de eşit miktarda).



Şekil 1.1 Compton Saçılmasının Gösterimi.

1.2.1.3 Fotonükleer Reaksiyonlar ve Verinin Kullanım Alanları

Fotonlar, genellikle hızlandırılmış elektronların frenleme radyasyonu metodu (bremsstrahlung) ile üretilirler. Bu mekanizmalarda, genel olarak doğrusal hızlandırıcılar kullanılır. Frenleme radyasyonu ile ilgili olarak iki ana problem vardır:

İlki, tüm elektron enerjileri için frenleme radyasyonu spektrumunun (Bremsstrahlung) yeterince doğru birikmiş veri ile ilişkilidir .

İkinci problem ise, deneysel metota özgüdür. Küçük enerji adımlarında kesin bir verim eğrisi ölçümleme, büyük sayma istatistikleri ve hızlandırıcı değişkenlerinde büyük kararlılık gerektirir. Verim eğrisi farklılaşma süreci, ters evrimli tesir kesiti ve deneysel noktalar arasında sunulan ilişkiler nedeniyle dalgalanmalar gösterebilir. Bu dalgalanmaların fiziksel bir anlamı yoktur (Dietrich ve Berman 1993). Problemin bu ciddi türüne, büyük dipol rezonansın tepe noktası üzerindeki enerjilerde ulaşılır. Çünkü, sonuçlar ve çok daha yavaş olan verim artışları, iki büyük sayı arasındaki küçük farklılıklardan elde edilmiştir (IAEA 2000).

Dünya genelinde bazı laboratuvarlar (çoğunlukla Rusya, Kanada ve Avustralya'da olanlar), büyük veri dizini elde etmek için bu tekniği kullanmıştır. Farklı laboratuvarlardan olan sonuçlar arasındaki tutarsızlıklar, muhtemelen, ters evrisim metotları içindeki farklılıklar ve/veya farklı frenleme radyasyonu spektrumunun kullanımı nedeniyledir. En önemli ve yaygın olarak kullanılan ters evrisim metotlarından bazıları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

1. Foton Fark Metodu (Bogdankevich ve Nikolaev 1966), çok az farklı son nokta enerjilerine sahip iki frenleme radyasyonu spektrumunun farkı olgusunu kullanır ki, bu da hemen hemen tek enerjili spektrum gibi yorumlanabilir. Bu yöntem üç noktanın doğrusal kombinasyonu gibi düzenlemeler geliştirilmiştir (Van Camp v.d 1981).

2. Penfold-Leiss Metodunda (Penfold ve Leiss 1959), $Y(E_0) = N_R \int_{E_{şık Enerjisi}}^{E_0} \sigma(E_\gamma) K(E_0, E_\gamma) \frac{dE_\gamma}{E_\gamma}$ integral ifadesi, analizin verilen bölmesi için doğrusal denklemlerin dizisi yerine geçer. Penfold-Leiss Metodunun düzeltmesi (Bramanis v.d 1972), verimin doğruluğu üzerinde bağlı değişken olarak analizin bölmesini kullanır.

Düzenleme metotlarının birkaç türü, yaygın olarak kullanılır. Bu metotlar içinde tesir kesiti ve tahmincisi arasında ortalama kare farkı, tesir kesiti düzgünlüğünün varsayımı altında en aza indirilmiştir. Mevcut düzenleme metotları içindeki farklılıklar, düzenleyici seçeneğini üretir. Bu seçeneklerin bazıları: Tikhonov Metodu (Varlamov v.d 1999), Cook Asgari Yapı Metodu (Cook 1963), İkinci Fark Metodu (Geller ve Muirhead 1963) ve İstatistiksel Düzenleme Metodu (Turchin v.d 1970)'dur (IAEA 2000).

Tüm metotlar, mümkün olan en düzgün tesir kesitini bulmak üzerinedir. Demetin büyük radyasyon yoğunluğu, frenleme radyasyonu kullanmanın avantajıdır. Bu sonuçlar, nispeten küçük tesir kesitleri için makul istatistikler içindedir.

Fotonükleer reaksiyonların deneysel çalışmaları için ise; iki ana metot vardır: bunlardan birincisi, sonuncu çekirdeğin arta kalan aktivitesinin ölçümü, ikincisi ise; eğer radyoaktif çekirdekse, çıkan parçacık ya da parçacıkların doğrudan dedekte edilmesidir.

Belirli durumlarda tüm reaksiyon ürünlerinin (hafif parçacıklar ve ağır ürün çekirdek) detaylarının kesinlikle belirlenmesini sağlayan reaksiyon tesir kesitine *ayrıcalıklı* (reaksiyona özgü) *reaksiyon tesir kesiti* denir. Örnek olarak, $^{63}\text{Cu}(\gamma, n)^{62}\text{Cu}$ reaksiyon çalışması, ^{62}Cu ($T_{1/2} = 9,74$ dk.) izotopunun aktivitesinin ölçümüdür. Çok yüksek enerjilerde, çoklu-parçacık emisyon süreçleri enerjik olarak mümkün hale gelir. Aynı radyoaktif ürün çekirdekle birden fazla hafif parçacık kombinasyonuna sebep olabileceği durumlarda bu metot kullanılamaz (Dietrich ve Berman 1993). Bunu örneklendirecek olursak, $^{63}\text{Cu}(\gamma, 2n)$ ve $^{63}\text{Cu}(\gamma, 2p)$ reaksiyonları durumunda ^{61}Cu ve ^{61}Co ürünleri oluşur. Sırasıyla, bunların her ikisi de aynı son çekirdek ^{61}Ni 'ye parçalanır.

İkinci metodu basit şekilde tanımlayacak olursak, ayrıcalıklı reaksiyon kanallarının genel sayısından ölçülen kapsamlı reaksiyon tesir kesitlerinin ölçümü yapılmak istenen reaksiyondan çıkan parçacığın üretimine katkıda bulunabilir. Bu metotta belirli tanımlamaların yapılması gereklidir. Bu tanımlamalar aşağıda sunulmuştur.

Ayrıcalıklı reaksiyon olarak (γ, n) , (γ, np) , $(\gamma, 2n)$, $(\gamma, 2np)$, $(\gamma, n\alpha)$ v.s. olarak örneklendirilebilir.

Ayrıcalıklı tesir kesiti terimi, spesifikin özgün nükleer reaksiyonuna (eşsiz tip) işaret etmek için kullanılır. $(\gamma, 2n)$, (γ, np) ve $(\gamma, n\alpha)$ reaksiyonlarından her biri özgün ayrıcalıklı reaksiyonları belirtir. Burada, tüm ikincil parçacıklar (kalan çekirdeğin de dâhil olduğu) bilinir.

Benzer olarak; *kapsamlı tesir kesiti* terimi, belirli bir süreci tanımlamak için kullanılır. Bu süreç, özgün olan emisyon ürün üretimine yol gösteren tüm nükleer reaksiyonları içerir. Nötron, proton, gama ışıması ya da bazı farklı ayrıcalıklı reaksiyonlarda, özgün olarak arta kalan çekirdeklere şekil verilmesi gibi emisyon ürünleri olabilir. Kapsamlı fotonötron ürün tesir kesiti (γ, xn) şeklinde yazılır ve buradaki x , çıkan parçacıkların herhangi bir kombinasyonunu kapsar. (γ, n) , (γ, np) , $(\gamma, n\alpha)$, $2(\gamma, 2n)$ buna örnek teşkil eder ve bu reaksiyonların toplamı nötronun emisyonu (γ, xn) reaksiyonuna yol gösterir (IAEA 2000, Dietrich ve Berman 1993). Burada elde edilen sonuç, çalışılan tüm kanallarda, nötron oluşumuna etki eden her parçacığın hesaba katılmasıdır.

Tüm bunlarla birlikte, fotonükleer tesir kesitlerini değerlendirecek olursak, uyarılmış fotonükleer reaksiyon tesir kesiti verisi, meydana çıkan uygulamalar ya da çeşitli nedenlerden dolayı bugün önemlidir. Bunlar arasında:

- Radyasyon taşıma analizleri ve radyasyon perdeleme modeli (nötron ayrışma enerjisi üzerindeki enerjiler ile birlikte fotonlar vasıtasıyla ilgilenilen duruma özgü fotonötronlar üretilir.- tipik olarak yaklaşık 8MeV üzeri),
- Radyoterapi süresince insan vücudunda absorbe edilmiş dozun hesaplamaları,
- Filyon reaktörleri teknoloji ve fiziki (nötron dengesi üzerinde fotoreaksiyonların etkisi),
- Füzyon reaktörleri teknoloji ve fiziki (plazma tanısı ve perdeleme),
- Aktivasyon analizleri, güvenli koruma ve teknoloji teftişı (taşınabilir frenleme ışınımı cihazları kullanarak fotonükleer reaksiyonlar ile uyarılmış radyasyon vasıtasıyla malzemelerin tanımlanması),
- Nükleer kayıp dönüşümü ve,
- Astrofiziksel nükleosentez

sayılabilir.

Diğer alanlarda tam bir fotonükleer veri, reaktör çekirdeğinde doz ölçümünde zorunludur. Ayrıca, reaktörün yapısal malzemeleri içinde radyasyon hasarı tahmini (kayıp dönüşümü ve yer değişimi hesaplamaları), güvenli koruma (açıklama içinde hafif çekirdek üzerinde fotonla uyarılmış nötron üretimini alır) ve hızlı reaktör hesaplamaları (uranyum-toryum çemberi üzerinde etkisi) noktalarında bu nükleer veri önemlidir. Bununla birlikte, taşıma hesaplamaları için emisyon spektrumu ve hesaplanmış tesir kesiti açıklamaları zorunludur. Genel olarak yapı için veri, perdeleme ve hedef malzemeler için de frenleme radyasyonu değiştirilmelidir (Dietrich ve Berman 1993).

Fotonükleer veri için en önemli malzemelerin (43 element) listesi, aşağıda özetlenmiştir.

- Yapısal, perdeleme, ve hedef malzeme frenleme radyasyonu (Be, Al, Si, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Mo, Sn, Ta, W, Pb) .
- Biyolojik malzemeler (C, N, O, Na, S, P, Cl, Ca).
- Bölünebilir malzemeler (Th, U, Np, Pu).
- Diğer malzemeler (H, K, Ge, Sr, Nb, Pd, Ag, Cd, Sb, Te, I, Cs, Sm, Tb).

1.3 Nükleer Reaksiyon Modelleri

1.3.1 Kabuk Modeli

Kabuk modeline göre; her bir nükleon, kendisi dışındaki bütün nükleonların birbirleriyle etkileşmesinden oluşan ortalama bir alan içinde, tek-parçacık yörüngelerinde bağımsız olarak hareket eder. Bunun başlıca nedeni, Pauli Dışarlama İlkesince çarpışmaların yasaklanması ve Heisenberg Belirsizlik İlkesidir. Aslında atom çekirdeğinin kütleli yoğunluğu çok büyük olmasına rağmen, parçacık sayısı bakımından bakıldığında çok yoğun bir sistem oluşturmaz. Sonsuz itici sert küre yarıçapı $2r_n \cong 0.4\text{fm}$, civarında iken çekirdek yarıçapı $r = r_0 A^{1/3}$ civarındadır. Bu durumda, nükleonların sert birer küre olduğunu düşündüğümüzde, nükleonların toplam hacminin çekirdeğin hacmine oranı

$$\frac{V_n}{V_\chi} = \left(\frac{\frac{4}{3}\pi r_n^3 A}{\frac{4}{3}\pi r_\chi^3 A} \right) = \frac{0.4^3}{2 \times 1.2^3} \approx \frac{1}{216} \quad (1.5)$$

olarak bulunur.

Buna göre çekirdekte nükleonlar arası mesafe bir hayli fazladır. Bu yüzden nükleon, kısa mesafeli ve çok kuvvetli etkileşimlerden ziyade, uzun menzilli çekici etkileşimlerin etkisi altında kalır. Bir nükleonun çekirdek içindeki ortalama serbest yolu, saçılma deneylerine göre, çekirdek boyutlarında olduğunu gösteriyor. Bu da, çekirdek içinde nükleonların bağımsız parçacık hareketi yaptığının ilk delillerinden birtanesidir. Bir başka deneysel kanıt ise, sihirli sayılara (2, 8, 20, 28, 50, 82, 126) sahip çekirdeklerin daha kararlı olduğunu gösterir. Bağlanma enerjilerinin daha yüksek oluşu, atomlarda soygazlara benzer kapalı kabuk oluşturdıklarını ve iyonlaşma enerjilerinin yüksek olduğunu çağırıştır. Nükleon gruplarından birisi bu sayılara sahip olan çekirdek sihirli çekirdek, her iki nükleon grubu da bu sayılara sahip çekirdeklere de çift katlı sihirli çekirdek denir. Bu tip çekirdekler, tek sihirli sayı barındıran çekirdeklere göre iki kat daha kararlıdır.

Çekirdekdeki merkezci Coulomb potansiyeli atomun küresel şekle gelmesini sağlar. Bu durum, elektron kabukları arasında büyük enerji farklılığına sahip dejenere gruplar oluşmasına neden olur. Çekirdekdeki nükleonlar için böyle bir merkezci alan yoktur. Yine de, böyle bir potansiyel tüm nükleonların etkileşmesi sonucu elde edilebilir. Böyle bir potansiyel, atomlarda da elektronları etkileşmesi sonucu oluşur. Bu potansiyel, çekirdeğin Coulomb potansiyeline eklenmelidir. Bu ortalama potansiyel Hartree-Fock metodu ile belirlenir. Bu metotta nükleonlar tek-parçacık yörüngelerinde ortalama bir alan içinde hareket ederlerken, bazı durumlarda, ikili çarpışmalar yapabilirler ve bu tür çarpışmalara artık-etkileşmeler (residual interactions) denir. Bu durumda,

$$V(i) = \sum_{i=1}^A V(i) = \sum_{i < j=1}^A V_{ij} \quad (1.6)$$

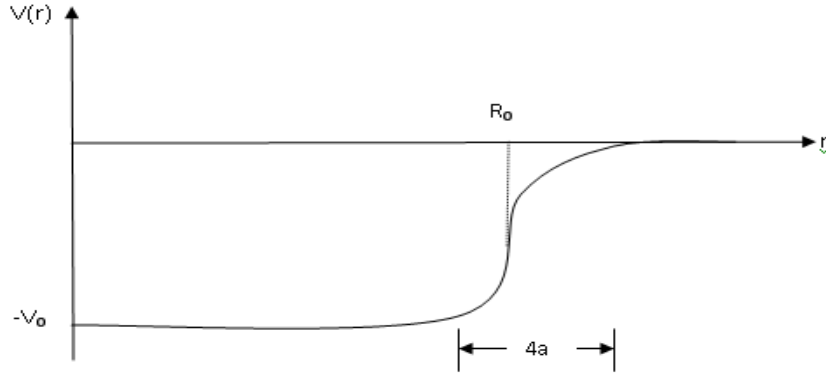
şeklinde ifade edebileceğimiz ortalama $V(i)$ potansiyeline, bu artık etkileşme V_{ij} de eklenir. Bu artık etkileşme potansiyeli i ve j nükleonlarının yer, spin ve izospin gibi koordinatlarına bağlıdır. Bu tür hesaplamalarda, çok-parçacık dalga fonksiyonları, tek-parçacık veya iki-parçacık matris elemanları cinsinden ifade edilirler. İki- parçacık matris elemanları da açısal ve radyal matris elemanlarına ayrılarak hesaplanırlar (Oğul ve Eren 2007).

Deneysel sonuçlar ve doyma özelliği, nükleon-nükleon potansiyellerinin kısa menzilli ve çekici olduğunu gösteriyor. Kabuk modeline göre potansiyel incelemesine bakacak olursak, üç model yada metot olduğunu görürüz.

Bunlar:

- Woods-Saxon Metodu
- Harmonik Osilatör Yaklaşımı
- Kare Kuyu Yaklaşımı

Bunlar arasından Woods-Saxon Metotunda potansiyelin $r = 0$ 'da sonlu fakat ihmal edilebilir bir eğimi vardır. (Şekil 1.2). Bu potansiyel için öz fonksiyonlar kapalı bir şekilde verilmediğinden, hesaplamalarda daha çok Harmonik Osilatör Yaklaşımı ve Kare Kuyu Yaklaşımı kullanılır.



Şekil 1.2 Woods-Saxon potansiyeli.

1.3.1.1 Harmonik Osilatör Yaklaşımı

Harmonik osilatör yaklaşımı;

$$V(r) = -V_0 \left[1 - \left(\frac{r}{R_0} \right)^2 \right] = \frac{m}{2} \omega_0^2 (r^2 - R_0^2) = -V_0 + \frac{1}{2} m \omega_0^2 r^2 \quad (1.7)$$

eşitliği ile verilir. Bu eşitlikte $\frac{V_0}{R^2} = \frac{1}{2} m \omega_0^2$ bağıntısı kullanıldı.

1.3.1.2 Kare Kuyu Yaklaşımı

$$V(r) = \begin{cases} -V_0, & r \leq R \\ \infty, & r > R \end{cases} \quad (1.8)$$

Yukarıdaki eşitliklerde gösterilen üç potansiyel de küresel simetriye sahiptir.

Ayrıca (1.7) ve (1.8) ifadeleri, sonsuz terimleri içerdiği için fiziksel bir ifade gibi görünmeseler de, ancak tek-bağlı durumları ile ilgilenildiği zaman, sadece dalga fonsiyonunun üstel kuyrukları etkileneceğinden, bu durum o kadar da önem arz etmez. Schrödinger dalga denklemi,

$$\left\{ -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(r) \right\} \Psi(r) = E_i \Phi_i(r) \quad (1.9)$$

olarak bilinmektedir.

Bu denklem, (1.7) ve (1.8) potansiyelleri için çözülürse, Harmonik Osilatör için enerji seviyeleri,

$$E_N = -V_0 + \left(N + \frac{3}{2} \right) \hbar \omega_0 \quad (1.10)$$

şeklinde bulunur ve burada $N = 2(n-1) + 1$, $n = 1, 2, \dots$, $N = 1, 2, 3, \dots$ ve $l = 0, 1, 2, \dots$ şeklindedir. n radyal kuantum sayısı, l açısal momentum kuantum sayısı, N baş kuantum sayısı ve ω_0 ise salınım açısal frekansdır.

1.3.2 Born Yaklaşımı (Born Approximation)

Born Yaklaşımında, m kütleli bir parçacığın sabit $V(\vec{r})$ potansiyelinden saçılmasını hesaplamak için Schrödinger Denkleminde bir çözüm bulunmalıdır. Bilindiği gibi zamandan bağımsız Schrödinger Denklemi,

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(\vec{r}) \right] \chi(\vec{r}) = E \chi(\vec{r}) \quad (1.11)$$

ile verilir. Buradaki E parçacığın kinetik enerjisi ve $\hat{H}$ enerji operatörü olan hamiltoniyeni belirtmek üzere özdeğer denklemi,

$$\hat{H} \chi(\vec{r}) = E \chi(\vec{r}) \quad (1.12)$$

şeklindedir. (1.12) iadesi için, $k = \left(\frac{2mE}{\hbar^2} \right)^{1/2}$ ve $U = \frac{2mV}{\hbar^2}$ dönüşümleri yapıldığında,

$$[\nabla^2 - U(\vec{r}) + k^2] \chi(\vec{r}) = 0 \quad (1.13)$$

haline gelir. $V = 0$ olduğunda potansiyel enerji de sıfır olacağından denklemin çözümü bir düzlem dalgayı gerektiren $\mathcal{X}(\vec{r}) = e^{-i\vec{k}\cdot\vec{r}}$ çözümüne ulaşılır. Bu ise, dağılmamış bir demeti tanımlar. Merkezi bir kuvvet tarafından saçılan bir parçacığın saçılma denklemini yazacak olursak,

$$(\nabla^2 + k^2) \mathcal{X}(\vec{r}) = U(\vec{r})\mathcal{X}(\vec{r}) = F(\vec{r}) \quad (1.14)$$

$V = 0$ iken serbest parçacığın E enerjisi için denklem,

$$(\nabla^2 + k^2) \mathcal{X}_0(\vec{r}) = 0 \quad (1.15)$$

halini alacaktır. Bu denklemin çözümü $\mathcal{X}_0(\vec{r}) = e^{-i\vec{k}\cdot\vec{r}}$ olan düzlem dalgaya sahip olacaktır. Ancak burada bulunan V potansiyelinin varlığı gelen düzlem dalgaya ek olarak saçılan bir dalga ortaya koyar. Denklem (1.14)'ün sağ kısmında bulunan $U(\vec{r})\mathcal{X}(\vec{r}) = F(\vec{r})$ teriminin bu saçılmış dalgaları meydana getirdiği düşünülebilir (Satchler 1983, Glendenning 2004).

Gelen dalga ile saçılan dalganın birlikte oluşturduğu dalga fonksiyonu,

$$\mathcal{X}(\vec{k}, \vec{r}) = e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}} - \frac{e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}}}{4\pi r} \int \frac{e^{-i\vec{k}\cdot|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|} U(\vec{r}') \mathcal{X}(\vec{k}, \vec{r}') = d(\vec{r}') \quad (1.16)$$

biçiminde olacaktır. Elde edilen son ifade, denklem (1.14) Schrödinger diferansiyel denkleminde eşdeğerdir. Ancak gerekli olan sınır koşullarını kapsadığından dolayı düzlem dalgaya ilaveten çıkan küresel dalga gibi, daha fazla bilgi içerir. Saçılma genliğini elde etmek için büyük r değerlerindeki $\mathcal{X}(\vec{r})$ ifadesine ihtiyaç vardır. $V(\vec{r}')$ büyük r' için ortadan kalkar. Bu yüzden, denklem (1.22) ifadesinde $r' \ll r$ durumunda katkıda bulunur. Büyük r için $1/|\vec{r}-\vec{r}'| \approx 1/r$ ve $\vec{k}'$ de $\vec{r}'$ 'nin yönelimine bağlı olan k' 'nin büyüklüğü ile ilgili vektörü olup, $k|\vec{r}-\vec{r}'| \approx kr - k'\vec{r}'$ ile gösterilir.

Bu ifadeler denklem (1.16)'da yerine yazılacak olursa,

$$\mathcal{X}(\vec{k}, \vec{r}) \xrightarrow{\text{büyük } r} e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}} - \frac{e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}}}{4\pi r} \int e^{-i\vec{k}\cdot\vec{r}} U(\vec{r}') \mathcal{X}(\vec{k}, \vec{r}') = d(\vec{r}') \quad (1.17)$$

ifadesi elde edilir. Buradan da saçılma genliği,

$$f(\theta, \varphi) = \frac{1}{4\pi} \int e^{-i\vec{k} \cdot \vec{r}} U(\vec{r}') \mathcal{X}(\vec{k}, \vec{r}') d(\vec{r}') = d(\vec{r}') \quad (1.18)$$

olarak elde edilir. Ancak bu denklem, saçılma probleminin biçimsel çözümünden daha fazlasını ortaya koymaz; çünkü integrant halen $\mathcal{X}(\vec{r}')$ bilinmeyen dalga fonksiyonunu içermektedir (Satchler 1983, Glendenning 2004). Ancak bu yine de, yaklaşımlar için uygun bir başlangıç noktasıdır. Örneğin, V potansiyeli zayıfsa, saçılan dalga küçük bir genliğe sahiptir ve denklem (1.16)'nın ilk terimi tarafından denklem (1.18)'de $\mathcal{X}(\vec{r}')$ ye yaklaştırılabilir. Böyle bir durumda düzlem dalganın kendisi,

$$f_{BA}(\theta, \varphi) = \frac{1}{4\pi} \int e^{-i\vec{k} \cdot \vec{r}} U(\vec{r}') e^{-i\vec{k} \cdot \vec{r}} d(\vec{r}') \quad (1.19)$$

olacaktır. Bu ifade Born Yaklaşımı olarak bilinir (Satchler 1983, Glendenning 2004).

$\vec{q} = |\vec{k} - \vec{k}'|$ hesaplanan potansiyelin fourier transformudur. $\vec{q}$ burada, saçılan parçacığın momentumundaki değişikliktir. Bu $\vec{q}$ momentumu hedefe iletilir. Böylelikle hedefin geri tepmesi olarak tekrar ortaya çıkar. f_{BA} genliği, θ 'ya bağlı fakat φ 'den bağımsızdır. Çünkü, $q^2 = k^2 + k'^2 - 2kk'\cos\theta$ şeklindedir. Eğer $U(\vec{r})$ potansiyeli küresel simetrikse, bu ifade $\vec{r}'$ 'nin büyüklüğüne bağlı, yöneliminden bağımsızdır. r' ifadesini kutupsal koordinatlarında yazarsak, (r, α, β) ile ifade edilir. $d\vec{r}'$ hacim elemanıdır. $d\vec{r}' = d^3r' = r'^2 dr' \sin\alpha d\alpha d\beta$ ve $\vec{q} \cdot \vec{r} = qr \cos\alpha$ şeklinde dönüşümlerle denklem (1.19) eşitliği,

$$f_{BA}(\theta, \varphi) = -\frac{1}{4\pi} \int e^{i\vec{q} \cdot \vec{r}} U(\vec{r}') d(\vec{r}') \quad (1.20)$$

$$f_{BA}(\theta, \varphi) = -\frac{1}{4\pi} \int \int \int r'^2 dr' \sin\alpha d\alpha d\beta e^{iqr' \cos\alpha} U(r') \quad (1.21)$$

$$f_{BA}(\theta, \varphi) = -\frac{1}{q} \int \int \sin(qr') U(r') r' dr' \quad (1.22)$$

ifadesine indirgenir.

Born yaklaşımının geçerli olabilmesi için, etkileşim potansiyelinin hedef çekirdek üzerine yollanan parçacığın enerjisine oranla daha zayıf ve kısa menzilli olması ve θ saçılma açısının küçük olması da gerekmektedir.

1.3.3 Bozunmuş Dalga Born Yaklaşımı (Distorted Wave Born Approximation-DWBA)

Born yaklaşımı biraz daha ilerletildiğinde, gelen ve saçılan dalgaların çekirdek tarafından bozunduğu gerçeğini hesaba katan optik model kullanılır (Krane 2002). Bozunmuş Dalga Born Yaklaşımı (Distorted Wave Born Approximation-DWBA), transfer reaksiyonlarında etkili bir modeldir, bu yüzden sökme (stripping) reaksiyonları ve diğer doğrudan (direct) reaksiyonların süreçlerinin yorulanması ve analizinde yaygın olarak kullanılır (Kansu 2010).

Bu yaklaşımın daha büyük karmaşık versiyonu en geniş biçimde kullanılan DWBA'dır. U potansiyelinin $U = U_1 + U_2$ iki terimin toplamı olarak yazıldığı düşünülürse ve U_2 potansiyeli U_1 potansiyeline göre zayıfsa saçılmanın çözümü için özdeğer denklemi kolayca,

$$[\nabla^2 + k^2 - U_1(\vec{r}) +]\mathcal{X}_1(\vec{k}, \vec{r}) = 0 \quad (1.23)$$

olarak elde edilebilir.

$\mathcal{X}_1$ çözümünün iki şekli vardır. Birisi bir düzlem dalgaının (+) kısmından oluşmuş ve $\mathcal{X}_1^{(+)}(\vec{k}, \vec{r})$ şeklinde belirtilen çıkan saçılmış dalga ve diğeri ise bir düzlem dalgaının (-) 'sinden oluşmuş $\mathcal{X}_1^{(-)}(\vec{k}, \vec{r})$ ile gösterilen gelen saçılmış dalgadır (Bayrak 2009, Glendenning 2004). Bunlar birbirlerinin tersi olup, $\mathcal{X}_1^{(-)}(\vec{k}, \vec{r}) = \mathcal{X}_1^{(+)}(\vec{k}, \vec{r})^*$ şeklinde bağlantılıdır. Denklem (1.23)'e yol açan türevin genellemesi sonradan bu $\mathcal{X}_1^{\pm}$ terimlerinde tüm problem için çözümleri verir.

$$\mathcal{X}(\vec{k}, \vec{r}) \overline{\text{büyük } r} \mathcal{X}_1^{(+)}(\vec{k}, \vec{r}) e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}} / 4\pi r \int \mathcal{X}_1^{(-)}(\vec{k}', \vec{r}')^* \cdot U_2(\vec{r}') \mathcal{X}(\vec{k}, \vec{r}') d(\vec{r}') \quad (1.24)$$

Sonuç olarak tüm saçılma genliği, $\mathcal{X}_1$ tarafından (U_1 potansiyelinden) ve denklem (1.24)'un ikinci terimi olan U_2 potansiyelinden katkıların toplamı olacaktır.

$$f(\theta, \varphi) = f_1(\theta, \varphi) - 1/4\pi \int \mathcal{X}_1^{(-)}(\vec{k}', \vec{r}') \cdot U_2(\vec{r}') \mathcal{X}(\vec{k}, \vec{r}') d(\vec{r}') \quad (1.25)$$

Bu genlik, $U = U_1 + U_2$ 'yi sağlayan denklem (1.24) ifadesiyle özdeştir. Denklem (1.24) yine de doğrudur. Fakat denklem, $\mathcal{X}$ 'nin tam çözümünü içermemesinden dolayı yararlı olmamaktadır. Bununla birlikte, Born yaklaşımındaki benzerlikle denklem (1.17)'nin ilk terimindeki gibi U_1 potansiyeli için $\mathcal{X}_1$ çözümü elde edilebilir. Eğer U_2 , U_1 'e göre zayıfsa, bu iyi bir yaklaşım olacaktır (Satchler 1983, Glendenning 2004). Bu ifade, Bozunmuş Dalga Born Yaklaşımı (DWBA) olarak adlandırılır. Born yaklaşımı olmasının nedeni, U_2 potansiyelinde ilk sıranın olmasından dolayıdır. Ancak buradaki ifade denklem (1.24)'deki düzlem dalga değil bozunmuş dalgadır. Tam bir çözüme daha iyi yaklaşım olması için gerekli bozunmuş $\mathcal{X}_1$ dalgaları kullanılır. Çünkü, zayıf U_2 potansiyelinin yol açtığı saçılan dalgaların genliğindeki değişme küçük olacaktır ve $U_1 + U_2$ potansiyelinden saçılan dalgaları temsil eden $\mathcal{X}(\vec{k}, \vec{r}')$ yerine, U_1 'den saçılan dalgalar $\mathcal{X}(\vec{k}, \vec{r}')$ bozunmuş dalgalar kullanılabilir (Satchler 1983, Glendenning 2004).

Genlikle ilgili ifade,

$$f_{\text{DWBA}}(\theta, \varphi) = f_1(\theta, \varphi) - \frac{1}{4\pi} \int \mathcal{X}_1^{(-)}(\vec{k}, \vec{r}')^* \cdot U_2(\vec{r}') \mathcal{X}(\vec{k}, \vec{r}') (d\vec{r}') \quad (1.26)$$

denklemdir. DWBA yaklaşımı, inelastik çarpışmalar ve yeniden düzenlenen çarpışmalar için genellenebilir. Bu durumlarda, U_2 elastik olmayan geçişi kapsayan etkileşimdeyken, U_1 (bu yüzden de f_1) elastik saçılmayı tanımlamak için seçilir. Sonra DWBA geçerliliği iki çekirdek çarpıştığında oluşan en önemli olay olan elastik saçılmaya bağlıdır; bu yüzden diğer olaylar pertürbasyonlar şeklinde davranabilir

(Satchler 1983, Glendenning 2004). Burada, türevi detaylı biçimde ele almayıp, saçılma genliğine uyan bir $A(a,b)B$ reaksiyonu için denklem (1.27) şekline sahip reaksiyonu üzerinde durulacaktır.

$$f_{DWBA}(\theta, \phi) = -\frac{1}{4\pi} \int X_{\beta}^{(-)}(k_{\beta}, r_{\beta})^* \langle b, B | U_2 | a, A \rangle X_{\alpha}^{(+)}(k_{\alpha}, r_{\alpha}) dr_{\alpha} dr_{\beta} \quad (1.27)$$

Burada X_1 , X_{α} ve X_{β} ' ya genelleştirilmiştir. X_{β} fonksiyonu $\beta=b+B$ çıkış kanalında optik bir U_{β} potansiyelinden meydana gelen elastik saçılmayı tanımlarken; X_{α} , $\alpha=a+A$ giriş kanalında U_{α} optik potansiyelinden ortaya çıkan elastik saçılmayı tanımlar. Elastik olmayan geçişe sebep olan U_2 potansiyeli, reaksiyonun tipine ve onu tanımlamak için seçilen modele bağlıdır.

Diferansiyel tesir kesiti ile saçılma genliği arasındaki ifade,

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left| f_{DWBA}(\theta, \phi) \right|^2 \quad (1.28)$$

Schrödinger denklemi çözümünden yola çıkılarak elde edilen saçılma genliği ifadesi ile diferansiyel tesir kesitine geçiş yapılabilir. Denklem (1.28)' den de görüleceği gibi mutlak saçılma genliğinin karesi diferansiyel tesir kesitini vermektedir. DWBA ile bu ifade,

$$\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} = \left(\frac{\mu_b}{2\pi\hbar^2} \right)^2 \frac{v_b}{v_a} \frac{1}{(2J_A+1)(2S_A-1)} \sum_{M_A M_B m_a m_b} |T_{DWBA} M_A M_B; m_a m_b|^2 \quad (1.29)$$

ile verilir. Buradaki açısal momentumun ifadeleri, $\vec{J} = \vec{J}_B - \vec{J}_A$, $s = s_a - s_b$ ve $\vec{I} = \vec{J} - \vec{s}$, T ise saçılma genliği şeklindedir.

Özetlenecek olursa, bu bozunmuş $\mathcal{X}$ dalgaları genellikle, elastik saçılma tesir kesitlerine karşılık gelen fit ölçümleriyle elde edilmiş bir optik potansiyelle Schrödinger Denklemi çözümünün sonucunu oluşturur. Ardından;

$$T^{(DWBA)} = \iint x^{(-)}(k_{\beta}, r_{\beta}) \langle b, B | V | a, A \rangle x^{(+)}(k_{\alpha}, r_{\alpha}) dr_{\alpha} dr_{\beta}$$

saçılma genliği elde edilir. Bu ifade denklem (1.26) ile özdeştir. Genelde, nükleer matris elemanı $\langle b, B | V | a, A \rangle$ $\vec{r}_\alpha$ ve $\vec{r}_\beta$ değerine bağlı bir fonksiyondur; nitekim $\vec{r}_\alpha \approx \vec{r}_\beta = \vec{r}$ yaklaşımı yapıldırsa $F(\vec{r})$ ifadesi yazılabilir.

$$T^{(DWBA)} = \int x^{(-)}(\vec{k}_\beta, \vec{r}) F(\vec{r}) x^{(+)}(\vec{k}_\alpha, \vec{r}) d\vec{r} \quad (1.30)$$

oluşturulur. Pratik olarak her bir bozunmuş dalga genelde kısmi dalgalara genişletilebilir ve benzer çoklu genişleme $F(\vec{r})$ form faktörü sağlanır (Satchler 1983, Glendenning 2004). $\vec{r}$ yönelimi üzerindeki integrasyon sonradan analitik olarak (kısmi dalga radyal integralleri toplamalarının ayrılmasıyla) yapılabilir. Ne var ki, sadelik olarak neyin kaybolduğu, reaksiyonun tanımlanabilmesiyle doğru biçimde yenilenir. Basit düzlem dalgaların daha komplike bozunmuş dalgalarla yerine konulmasına rağmen, bunlar pratikte elastik saçılma tesir kesitlerine uyan ölçümlerle belirlenebilir. Sonra, nükleer yapının çeşitli modelleri $F(\vec{r})$ form faktörüne uyan yapımı (ki bu teoride tüm yapı etkilerini kapsar) ve diğerlerinin ölçülmüş elastik olmayan uyumlu tesir kesitleri karşılaştırmasıyla test edilebilir.

DWBA, doğrudan nükleer reaksiyonların analizleri için en güçlü modellerden biri olarak denenmiştir.

1.3.4 Optik Model

Nükleer reaksiyonları açıklamak için geliştirilen başarılı modellerden birisi de optik modeldir. Yarı saydam bir küre üzerine gelen ışığa benzemesinden dolayı bu şekilde adlandırılan optik model, saçılma deney verilerine uygun bir fit etme ve elastik saçılma tesir kesitleri ile kutuplanmalarda kullanılır. Gelen mermi parçacığın kompleks hedefle etkileşmesi sırasında gelen akının (J_g) bir kısmı hedefin uyarılmasından dolayı inelastik kanallara gider (Bayrak 2009). Son durumda ise, çıkan akı gelen akıdan uyarılmanın şiddetiyle orantılı olarak azalmış olur. Böyle bir gerçeği modellemek için reel etkileşim potansiyelin yeterli olmamasından dolayı optik model geliştirilmiştir. Optik model,

uyarılmış kanallara etkileşimi temsil eden sanal potansiyel kullanmaktadır. Bu modele göre toplam etkileşim potansiyeli komplekstir ve

$$V_{op}(r) = V(r) + iW(r) \quad (1.31)$$

biçiminde temsil edilir. Buradaki V ile W fonksiyonları, uygun radyal bağımlılığı verecek biçimde seçilir (Krane 2002c). $V(r)$ hedefe yollanan mermi parçacık ile hedef çekirdek arasındaki çekirdek etkileşimini tanımlayan elastik saçılma sorumlu gerçel kısmı, $W(r)$ ise soğurmayı tanımlayan sanal kısmı ifade etmektedir. Optik model soğurulan akının hangi kanallara ve ne kadar gittiği ile ilgilenmeyip, sadece uyarılmış kanallara giden net akı hakkında bilgi vermektedir. Bu modelin tek ve önemli farkının nükleer potansiyeli kompleks alması söylenebilir. Elastik saçılma için Radyal Schrödinger denklemi,

$$\frac{d^2 U_l}{dr^2} + \left[\frac{2m}{\hbar^2} \left(E - V_{op}(r) - \frac{l(l+1)}{r^2} \right) \right] U_l = 0 \quad (1.32)$$

biçiminde verilebilir. Bu noktada amaç; bu denklemi çözerek saçılma matris elemanı elde edip, buradan diferansiyel tesir kesitine ulaşmaktır. (1.32) eşitliğinde, saçılma merkezi yakınlarında ($r < R$) potansiyel setinin değişkenleri çok önemliyken, saçılma merkezinin dışında ($r > R$) ihmal edilebilir. Çünkü, burada Coulomb alanının olmadığını düşünülür. Bu denklemi analitik yolla çözmek zor olduğu için nümerik yöntemler kullanılır.

1.3.4.1 Optik Potansiyelin Özellikleri

Nükleer reaksiyon modelleri incelendiğinde, temel problemin deneysel verileri en iyi şekilde fit edecek potansiyel setini bulmak olduğu görülür. Potansiyeller dikkate alındığında, nükleer potansiyelin şekli ve parametreleri, Coulomb potansiyeli (V_c) ve merkezci potansiyelin (V_l) özelliklerine göre iyi bilinmemektedir. Buradaki temel

problem, bu potansiyelin belirlenmesidir. Hedef çekirdek ile mermi parçacık arasında birçok etkileşimin karmaşıklığının tek bir potansiyelle temsil etmenin iyi bir yaklaşım olmaması, bundan dolayı çekirdek etkileşmelerinin anlaşılmasını sağlayan elastik ve inelastik saçılmanın açıklanmasında optik modelin başarısı söz konusu olması sonucunu vermiştir.

Nükleer potansiyel kompleks olmalıdır, başka bir ifadeyle sanal bir potansiyel içermemelidir. $|S| = 1$ için soğurma olmadığı için S matrisinin her zaman $|S| \leq 1$ olması gerekir. $W(r)$ sanal potansiyeli her yerde negatif olmakla birlikte yalnız saçılma dalgasıyla her J değeri için integrali negatiftir (Satchler 1983, Glendenning 2004),

$$\int |x^j(r)|^2 W(r) dr \leq 0 \quad (1.33)$$

olmalıdır. Buradaki $x^j(r)$ uygun saçılma dalga fonksiyonunun radyal kısmını ifade eder. Soğurma potansiyeli birçok durumda yüzey yakınında pik yapar ve dolayısıyla etkileşmenin yüzeyde olduğu düşünülür. Çekirdek içerisindeki nükleonlar etkileşime katılmazken, sadece değerleşik nükleonları etkileşime katılırlar. Fakat gelen parçacık enerjisi çok yüksekse, sanal potansiyel reel potansiyel formuna yakın bir davranış gösterir.

Nükleer potansiyeller enerjiye bağlı olarak değişirler. Gelen parçacığın enerjisi arttıkça uyarılmış kanalların sayısı artmakta, dolayısıyla bu etkileşimi tanımlayan sanal potansiyelin şiddeti de artmaktadır (Bayrak 2009). Reel potansiyeldeki değişime özellikle Coulomb bariyeri civarında anormal derecede gözlenir. Optik potansiyelin diğer bir özelliği prensipte yerel olmakla birlikte, genelde yerel formda kabul edilmesidir. Mermi ve hedef çekirdek arasındaki anti-simetriklik yerel olmamanın önemli bir kaynağını belirtmektedir. Nükleon-çekirdek sistemleri için Hartree-Fock potansiyeli buna açık bir örnektir (Satchler 1983, Glendenning 2004). Yerel olmama durumu etkileşimin sadece r' ye bağlı olmayıp, bir r^l parametresine bağlı olması şeklinde düşünülebilir. Dolayısıyla taban durumla uyarılmış durumlar arasında bir etkileşim varsa veya uyarılmış durumlar arasında bir etkileşim varsa bunları temsil eden potansiyelin yerel olmaması gerektiği akla gelebilir. Bu modelde, hedefe yollanan parçacık (mermi) veya hedef çekirdeğin spine sahip olma durumunda, aralarında bir

spin yörünge etkileşim kuvveti ve dolayısıyla bunu temsil eden bir potansiyel olduğu açığa çıkar. Eğer mermi ve hedef çekirdeğin her ikisi de spine sahipse, spin-spin etkileşim potansiyeli olacaktır. Bir çekirdeğin spinini değerlik nükleonları belirlediğinden ötürü, etkileşimin bu değerlik nükleonları arasında olacağı düşünülür. Sonuç olarak da spin-yörünge etkileşimini ifade eden V_{ls} potansiyeli sanal potansiyele benzer olarak yüzey bölgesinde pik yapar.

1.4 Reaksiyon Mekanizmaları

Nükleer reaksiyonların modellenmesi birçok şekilde verilebilmektedir. Genel sınıflandırma, zaman ölçeklerine dayanarak yapılır:

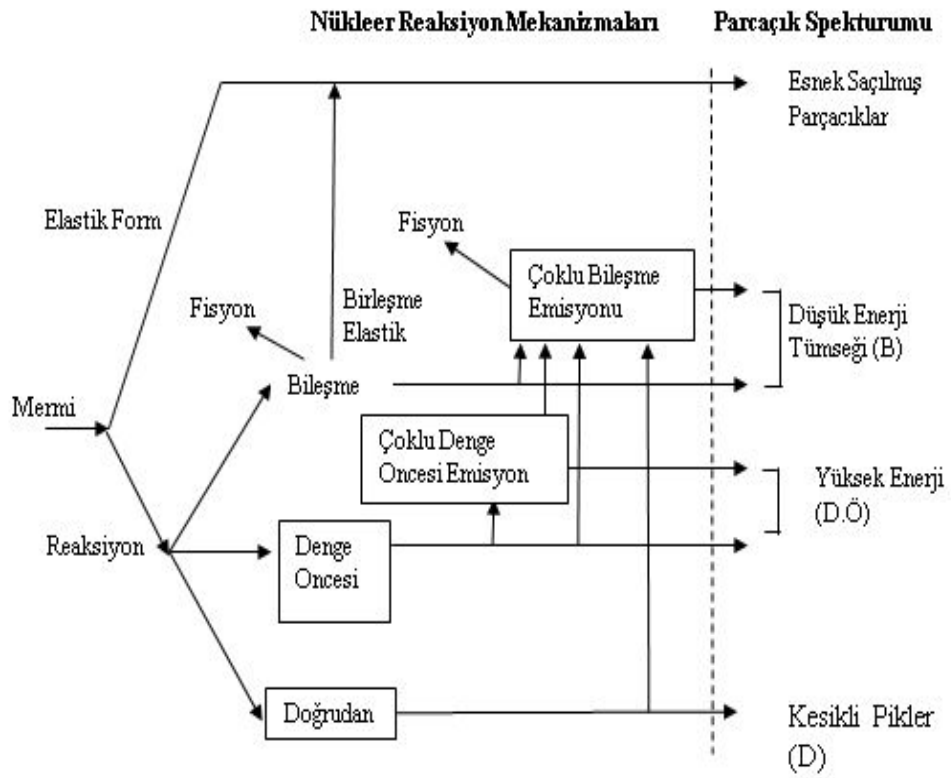
- Kısa reaksiyon süreleri, doğrudan (Direct) reaksiyon süreçleri,
- Uzun reaksiyon süreleri, bileşik çekirdek (Compound) süreçleri,
- Ara zaman ölçekleri ise, denge öncesi (Pre-equilibrium) süreçler,

ile ilişkilidir. Doğrudan reaksiyonlar $\cong 10^{-19}s.$, bileşik reaksiyonlar ise $\cong 10^{-14}s.$ zamanlarında gerçekleşir(Choppin v.d 2002). Denge öncesi olarak bilinen ara süreçler de $\cong 10^{-14}s.$ - $\cong 10^{-19}s.$ Zaman aralığında gerçekleşmektedir. Alternatif olarak ise; eşdeğer sayılabilecek sınıflandırma da, çekirdek içi çarpışmaların sayısı ile verilebilir. Şekil 1.3 reaksiyon mekanizmasını açıklamakta kullanılırken ve Şekil 1.4’de, ele alınan bir nükleona bağlı olarak, nükleer reaksiyon mekanizmalarının rolünü açıklamaktadır.

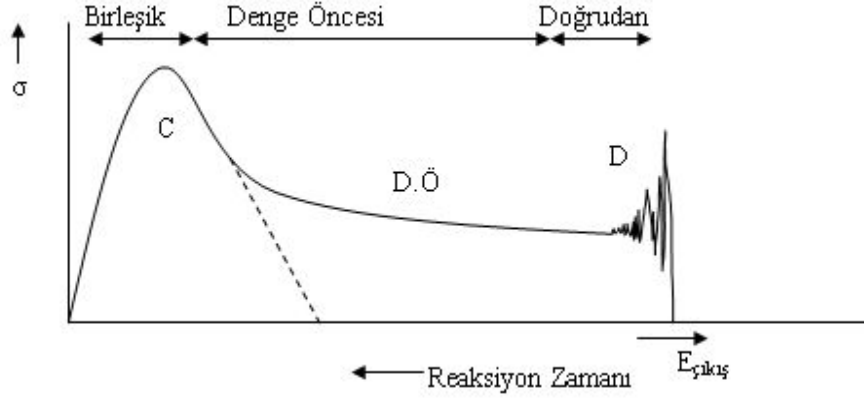
Nükleer reaksiyon mekanizmaları arasındaki bu ayrımın sebebi, nükleer dalga fonksiyonlarının açık ve kapalı yapılandırmalara düzgün bir şekilde bölünmesiyle daha biçimsel olarak elde ediliyor olmasıdır. Bir nükleer reaksiyonun gerçekleşmesi durumu, hedefe yollanan enerji yüklü parçacığın Coulomb bariyerini aşıp-aşmaması ile ilgilidir (Choppin 1980).

İkili reaksiyonların son ürünlerinde yayımlanmış parçacık ve reaksiyonla ilgili olarak geri tepmenin artık çekirdekleri vardır. Genel olarak bu durum, reaksiyon sürecinin sonu değildir. Toplam nükleer reaksiyon kalan çekirdek dizisi, özellikle birden fazla parçacık emisyonundan dolayı yüksek enerjilerde bir bütün içerebilir. Bütün bu artık

çekirdeklerin kendi ayrılma enerjileri vardır. Bu enerjiler değerlendirilirken optik model değişkenleri, seviye yoğunlukları, fisyon bariyerleri, gama kuvveti fonksiyonları, v.b., durumlar düzgün reaksiyon zinciri boyunca dikkate alınmalıdır. Her çekirdek, reaksiyon mekanizmalarına bağlıdır. Örneğin; doğrudan reaksiyonlar, denge öncesi, bileşik ve fisyon reaksiyonları hedefe yollanan parçacık için düşük olan enerjilerde bağlıdır. Ayrıca, birkaç MeV altında gelen enerjilerde, sadece ikili reaksiyonlar (n,p; n,d;γ,n v.b) yer alır.



Şekil 1.3 Nükleer Reaksiyon ve parçacık spektrumu içinde bileşik, denge öncesi ve doğrudan reaksiyonların mekanizma kuralı. D; Doğrudan, B; Bileşik, D.Ö; Denge Öncesi (Koning v.d 2009, İnt.Kayn. 2).



Şekil 1.4 Enerji bölgelerinde çıkan parçacık spektrumuna mekanizmaların katkıları. D; Doğrudan, B; Bileşik, D.Ö; Denge Öncesi olarak gösterilmiştir. Kesikli eğri, geçiş enerji aralığında geri kalan kısımdan bileşik katkısı ayırır. Burada σ reaksiyon tesir kesitidir (Koning v.d 2009).

Tarihsel olarak, reaksiyon mekanizmalarına yönelik teorik yöntemlerin çoğu ikili reaksiyonlar için geliştirilmiş ve araştırmalar ile bu reaksiyon mekanizma sonuçları daha da temzilenmiştir. Geçerlilik ve nükleer yapı ile olan ilişkisi, en iyi özel ölçümler ile test edilebilir olması ikili reaksiyonların bu kadar çalışılmasına sebeptir.

Nükleer reaksiyonların gerçekleşmesi, hedefe yollanan enerji yüklü parçacığın (mermi/projectile) Coulomb bariyerini aşması ile ilgilidir (Choppin 1980).

Bir nükleer reaksiyon genel hali ile,



ile ifade edilir ve kısaca A (a,b) B ile gösterilir. Buradaki a hedefe yollanan enerji yüklü parçacık (mermi), b reaksiyon sonucu tespit edilen ve sayılabilen ürün parçacıktır. A hedef çekirdek ve B ise reaksiyondaki ürün çekirdektir. Q ise, reaksiyon sonucu açığa çıkan enerjidir. Q ifadesi,

$$Q = E_{ilk} - E_{son} = [(m_A + m_b) - (m_B + m_b)]c^2 \quad (1.35)$$

Burada m alt indisler ile gösterilenler parçacıklar ve çekirdeklerin kütleleri, c^2 ise enerji ve bağıl atomik kütle birimim türünden ifadesi ile 931.5 MeV/u'dur. $1u$, bağıl atomik kütle birimidir ($1 u \sim 1,660 \times 10^{-27}$ kg.).

1.4.1 Bileşik Çekirdek Reaksiyonları

Bileşik reaksiyonlar,



Denklem (1.36)'da görüldüğü gibi, bir ara C^* çekirdeğinin oluştuğu reaksiyon türüdür. Bileşik çekirdek reaksiyonları, hedefe gelen parçacığın kaçma şansının az olduğu 10 – 20 MeV enerji bölgesinde, orta-ağır ve ağır çekirdeklerde iyi sonuçlar verir (Krane 2002d).

Bileşik çekirdek modelinde, bileşik çekirdeğin reaksiyonda son ürün kümesine bozunması için bağıl olasılığı, kendisinin oluşma şeklinden bağımsızdır. Bu bozunma olasılığı, sisteme verilen enerjiye bağlıdır ve istatistiksel kurallara göre bozunur (Krane 2002e).

1.4.2 Yakalama Reaksiyonları

Yakalama reaksiyonları, mermi çekirdeğin hedefle birleşerek uyarılmış yeni bir çekirdek oluşturmasıdır. Oluşan uyarılmış çekirdek, kararlı durumuna geri dönmek ister ve fazla enerjisini γ -ışını şeklinde dışarı atar.



(1.37) ifadesi, yakalama reaksiyonlarına örnek olarak verilebilir. Ayrıca hedef çekirdek ve mermi birleşerek ikiden fazla ürün çekirdek de oluşturabilir.

1.4.3 Parçalanma Reaksiyonları

Reaksiyon oluşumunda gelen parçacık ile hedef çekirdeğin etkileşimi sonucunda ikiden fazla parçacığın oluşmasını sağlayan reaksiyonlardır. $A(a,xy)A$ veya merminin hedef çekirdeği uyarması $A(a,xy)A^*$ şeklinde ifade edilir. Burada mermi çekirdek, $a = x+y$ şeklinde iki parçaya ayrılmıştır (Satchler 1983, Glendenning 2004).

1.4.4 Filyon Reaksiyonları

Kararsız bir çekirdeğe (radyoaktif) gelen nötron, proton gibi parçacıkların bu çekirdeği parçalayarak büyük bir enerji açığa çıkardığı reaksiyonlardır. Açıkça anlaşılacağı gibi, filyon reaksiyonları bir çekirdeğin parçalanmasını ifade eder. Çekirdek, iki veya nadir olarak üç parçaya ayrılırlar. Bu parçalar filyon ürünleri olarak bilinir ve bununla beraber birkaç nötron da açığa çıkar. Nötronlar diğer ürün çekirdeklerle etkileşebilir ve farklı ürün çekirdekler oluşabilir, bu durum kararlı çekirdek oluşana kadar devam eder. Filyon, $90 < \text{atom numarası}$ durumuna sahip çekirdeklerde meydana gelir. Hedefe yollanan parçacığın cinsine bağlı olarak nötron filyonu, proton filyonu v.b isimler alırlar. Örnek olarak,



reaksiyonu, Uranyum çekirdeğinin nötron demeti ile bombardıman edilmesi sonucu üç parçaya ayrıldığı nötron filyonu reaksiyonudur.

1.4.5 Füzyon Reaksiyonları

Füzyon reaksiyonları genel olarak, kararsız iki çekirdeğin birleşerek, daha ağır ve kararlı bir çekirdek oluşturmastır. Füzyon reaksiyonları, çekirdekten enerji elde etmenin bir diğer yoludur. İki hafif çekirdek, kütle numarası < 56 olacak şekilde bir kararlı çekirdek oluşturacak biçimde birleştğinde enerji açığa çıkar.



Hafif çekirdeklerin bol miktarda olmaları, kolay elde edilebilir olmaları ve radyoaktif çekirdeklerden daha kararlı olmaları füzyon reaksiyonlarının fisyon reaksiyonlarına göre avantajlı kısmıdır. Bunun yanında, hafif çekirdeklerin birleşmeden önce Coulomb bariyerini aşmak zorunda olmaları ise dezavantaj noktasıdır.

1.4.6 Doğrudan (Direkt) Reaksiyonlar

Doğrudan reaksiyonlar, yüksek enerjilerde meydana gelirler ve daha önce belirtildiği üzere, oluşma süresi bakımından kısa süreli reaksiyonlardır. Reaksiyon oluşumu sırasında, hedef çekirdek ile mermi arasındaki etkileşim sırasında güçlü bir soğurma söz konusu olur. Bu etkileşim genellikle, yüzey nükleonları arasında olur. Daha önce belirtildiği gibi hangi reaksiyonun gerçekleşeceği hedefe yollanan parçacığın enerjisine bağlıdır. Örneğin, 1 MeV enerjili gelen nükleonun De Broglie dalga boyu 4 fm.'dir ve bu sebeple tek nükleonları göremez. Bu durumda, reaksiyonda bileşik çekirdek oluşma olasılığı daha yüksekken 20 MeV enerji ile gelen nükleon için De Broglie dalga boyu 1 fm. civarında olup, doğrudan reaksiyonların meydana gelmesi daha olasıdır (Krane 2002e).

1.4.6.1 Esnek Saçılma

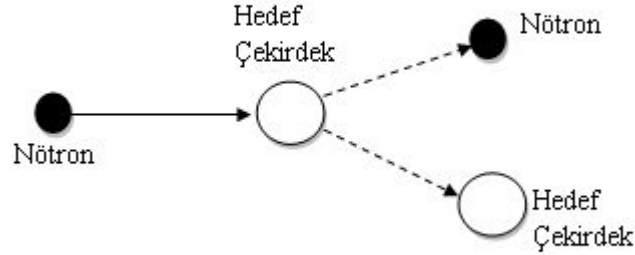
Esnek saçılmalar, Şekil 1.5'de gösterildiği gibi, reaksiyon giriş ve çıkış kanallarındaki bileşenlerin birbirine eşit olmasını gerektirir. Bu tip reaksiyonlarda çekirdeklerin iç dinamiklerinde bir değişim olmaz. Bu reaksiyon tipi,



şeklinde ifade edilir. Burada $A=B$ (taban durumunda olma halleri), $a=b$ ve $Q = 0$ 'dır.

$$p + {}^{190}_{76}\text{Os} \rightarrow p + {}^{190}_{76}\text{Os} \quad (1.41)$$

(1.41) ile gösterilmiş olan reaksiyon, elastik saçılmaya bir örnektir.



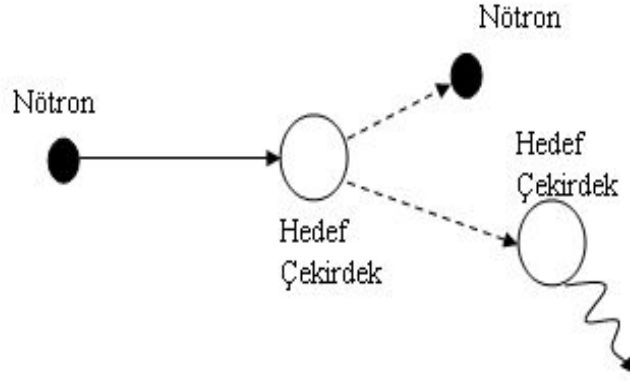
Şekil 1.5 Esnek Saçılma.

1.4.6.2 Esnek Olmayan Saçılma

Esnek olmayan saçılmalar; hedefe yollanan enerji yüklü a parçacığının enerjisinin Coulomb bariyerini aşacak kadar yüksek olması durumunda, hedef çekirdeği uyarması ya da hem hedef çekirdeği uyarması hem de kendisinin uyarılması durumudur (Şekil 1.6). $A(a, a)A^*$ veya $A(a, a^*)A^*$ şeklinde gösterilebilir. Doğal olarak burada a 'nın kompleks bir çekirdek olduğu düşünülür. İnelastik saçılmada gelen parçacığın enerjisinin bir kısmı hedef çekirdeğin uyarılmış durumuna gider, yani, $Q = -E_x$ biçiminde sıfırdan farklı bir değerdir. Esnek olmayan saçılma reaksiyonlarına örnek olarak,



reaksiyonları verilebilir (Satchler 1983, Glendenning 2004).



Şekil 1.6 Esnek olmayan saçılma.

1.4.7 Rezonans Reaksiyonları ve Fotoabsorbsiyon Modeli

1.4.7.1 Rezonans Reaksiyonları

Rezonans reaksiyonları, bileşik çekirdek reaksiyonları ile doğrudan çekirdek reaksiyonları arasında yer alır. Rezonans durumu her enerjide olmayıp, belli enerji durumlarında mümkündür. Rezonans durumlarında etkileşim potansiyelinin oluşturduğu dalgaların fazı ve genliği, bariyer içinde ve bariyer dışında yaklaşık olarak eşittir (Bayrak 2009).

Devamlı spektrumların yüksek enerji parçası, genel olarak denge öncesi modeller ile tanımlanır. Bu modeller, esasen tek parçacık doğasıdır. Devamlı spektrumun tetkiki sonucunda gözlenmiştir ve tek parçacık denge öncesi modelin geçmiş deneyimleri ile izah edilemez. Örnek olarak, 14 MeV'deki esnek olmayan nötron spektrumunun çoğu 6-10 MeV uyarılma enerjisi civarında küçük kambur gösterir. Bu yapı, çekirdeklerin ortaklaşa uyarılmaları sebebiyle iri rezonanslar (GR) olarak bilinir (Speth ve van der Woude 1991, Kalbach 2000).

Rezonans reaksiyonları çoğunlukla Büyük Dipol Rezonansı (GDR) absorpsiyonu kısmında incelenir. Büyük Dipol Rezonansı, çekirdekler açısından elektriksel dipol radyasyonunun absorpsiyonu için temel durum frekansına karşılık gelir (IAEA 2000). Bu bölge, GDR rejiminde fotonükleer reaksiyonlarda yayımlanan ikincil parçacığın açısal dağılım tanımlamasında nükleer veri değerlendiriciler için genel olmayan bir yönerge mevcuttur. Kolektif uyarılmalardan yayımlanan çekirdekler için deneysel açısal dağılımlar sık sık dipol biçimi gösterir (90 derecede pikleşme) ama nükleer yapı etkileri, ayrıntılı açısal dağılımlar belirlemede önemlidir. GDR enerji bölgesinde (E_γ , yaklaşık 8 – 30 MeV) ağır çekirdeklerin fotoabsorpsiyon sürecinden elde edilen en olası sonuç, bir veya daha fazla nötron emisyonu olduğu göz önünde bulundurulmalıdır (IAEA 2000).

Döteron benzeri (quasi-deuteron (QD)) rejim içinde fotonükleer reaksiyonlarda yayımlanmış ikincil parçacığın açısal dağılım hesabı yaklaşımı sunulmuştur (Chadwick v.d 1995). Yaklaşım, aslında çekirdek için geliştirilmiş Kalbach sistemi içindeki ileri-pik değişkeni a için kuramsal temelleri kullanmıştır. Böylelikle, hedefe yollanan merminin momentum bağıllığı bulunmuştur. Fotonların düşük momentumu, aynı enerjinin nükleonlarıyla karşılaştırıldığında açısal dağılımlarda nükleonlardan çok daha az ileri-zirveli olduğu sonucu görülmüştür (Paiva v.d 2001, Chadwick v.d 1995).

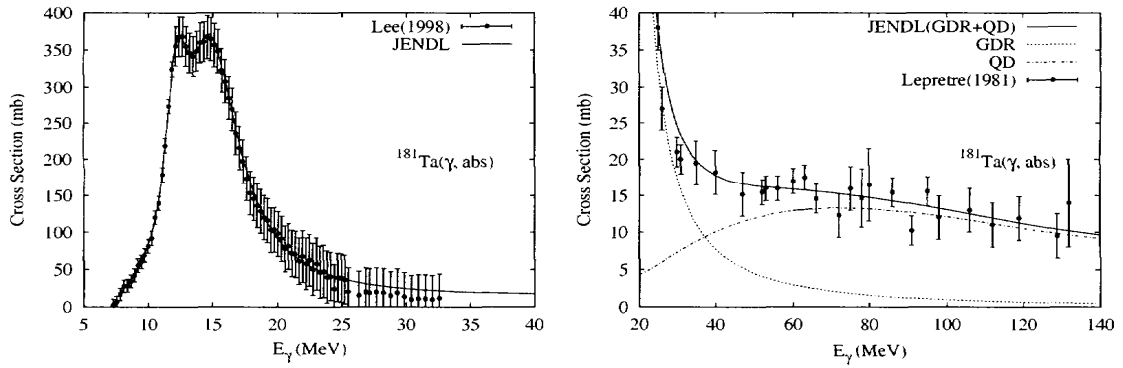
Bu bölümdeki GDR ve QD' ye ait hesaplamalar, fotoabsorpsiyon modeli içinde sunulmuştur.

1.4.7.2 Fotoabsorpsiyon Modeli

Fotonlar, genellikle hızlandırılmış elektronların frenleme radyasyonu metodu (bremsstrahlung) ile üretilirler (Dietrich ve Berman 1993). Parçacık ve gama ışınımı emisyonu tarafından uyarılmış çekirdeğin sonraki bozunması ve başlangıç nükleer uyarma sürecinde yer alan farklı reaksiyon mekanizmaları için hesaplanması gereken fotonükleer reaksiyonların modelidir. Düşük enerjilerde (yaklaşık 30 MeV altındaki enerji bölgesi), GDR, uyarma mekanizmasında baskındır. Bu durumda, protonlara karşı nötronların büyük bölümünde ortaklaşa bir salınım oluşur. Yüksek enerjilerde (yaklaşık 150 MeV'e kadar), fotonun dalga boyu azalır. Büyük dipol momenti, nötron-proton

(döterona benzer, quasi-deuteron, QD) üzerinde fotoabsorpsiyon fenomenolojik modelde önem kazanır. Farklı fotoabsorpsiyon mekanizmalarının çizimleri, Şekil 1.7’de gösterildi. Fotonükleer reaksiyonların modelleri, fotoabsorpsiyon tesir kesitinin belirlenmesi ile birlikte başlar ve bu, iki yoldan biriyle yapılabilir:

- Veri mevcutsa, deneysel veriye dayalı bir değerlendirme,
- Fotoabsorpsiyonun model hesaplaması.



Şekil 1.7 Nükleer fotoabsorpsiyon tesir kesitinin örnek çizimi. Solda gösterilen, GDR bileşenidir. Sağda gösterilen ise, döterona benzer(nötron-proton)bileşen ile GDR izi ve bunların toplamıdır (IAEA 2000, Lee v.d 1998).

Bu modeller, daha detaylı biçimde aşağıda ele alındı. Toplam fotoabsorpsiyon tesir kesiti için deneysel veri mevcutsa, takip eden parçacık emisyonu reaksiyonları modeli girdi olarak kullanılabilir. Burada deneysel verinin çoğu yararlı türü, foton absorpsiyon deneylerinden ölçülen toplam fotoabsorpsiyon tesir kesitindendir. Ağır çekirdekler için, fotonötron toplam tesir kesitinin derlemeleri, fotoabsorpsiyon tesir kesitleri yaklaşımında kullanılabilir, fakat fotoproton katkılarından dolayı Coulomb bariyeri tarafından bastırılırlar. Bununla birlikte, fotoproton tesir kesitinden daha küçük olduğundan ve bu yaklaşımın bazı tesir kesitleri fotonötron tesir kesitini aştığı için hafif çekirdeklerde bu yaklaşım kullanılmaz. (IAEA 2000). Bu çalışmada kullanılan, fotoabsorpsiyon tesir kesiti elde etmek için, teorik olarak iki bileşenin toplamı (Chadwick v.d 1991, Koning v.d 2009, Dietrich ve Berman 1993),

$$\sigma_{abs}(E_\gamma) = \sigma_{GDR}(E_\gamma) + \sigma_{QD}(E_\gamma) \quad (1.43)$$

$\sigma_{GDR}(E_\gamma)$, GDR bileşenidir ve GDR'nin toplam absorpsiyon açıklama değişkenleri ile birlikte olarak Lorentz formunda verilir (Chadwick v.d 1991, Koning v.d 2009).

$$\sigma_{GDR}(E_\gamma) = \sum_i \sigma_i \frac{(E_\gamma \Gamma_i)^2}{(E_\gamma^2 - \Gamma_i^2)^2 + (E_\gamma^2 + \Gamma_i^2)^2} \quad (1.44)$$

σ_i , E_i ve Γ_i , sırasıyla, GDR tesir kesiti tepe noktası, enerjisi ve genişliğidir. Küresel çekirdekler için toplam $i = 1$ ile sınırlıdır. Deforme çekirdekler rezonansı için $i = 1, 2$ 'ye ayrılmış ve biri kullanılmıştır. Kural olarak, parametreler, deneysel veriye fit değerlerden ya da sistematikler elde edilir (Kishida 1993). $\sigma_{QD}(E_\gamma)$, QD bileşenidir ve Levinger-tip teorisi kullanılan modelden alındı (Chadwick v.d 1991). Bu teoride, nükleer fotoabsorpsiyon tesir kesiti döteron fotoparçalanma tesir kesiti $\sigma_d(E_\gamma)$ ile ilişkilidir,

$$\sigma_{QD}(E_\gamma) = L \frac{NZ}{A} \sigma_d(E_\gamma) f(E_\gamma) \quad (1.45)$$

Burada Levinger parametresi $L = 6.5$ (IAEA 2000, Chadwick v.d 1993) olarak elde edildi ve $f(E_\gamma)$, Pauli engelleme fonksiyonudur ve nükleer orta durumda uyarılmış nötron ve protonun Pauli-engelleme için hesabından $\sigma_d(E_\gamma)$ serbest döteron tesir kesitini eksiltir. Deneysel döteron fotoparçalanma tesir kesitini değişkenlerle ifade edecek olursak,

$$\sigma_d(E_\gamma) = 61.2 \frac{(E_\gamma - 2.224)^{3/2}}{E_\gamma^3}, \quad (1.46)$$

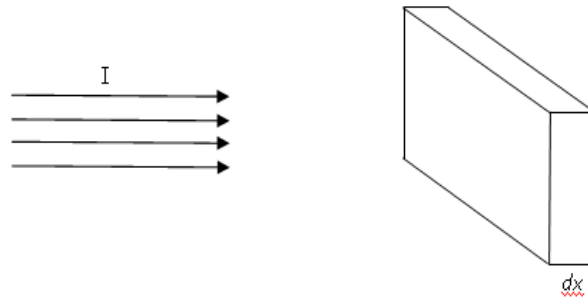
E_γ , MeV ve σ_d ise mb cinsindendir. Pauli engelleme çok boyutlu integrali 20-140 MeV enerji bölgesinde Chadwick v.d. tarafından elde edildi. Bu polinom ifadenin yaklaşık çözümü ,

$$f(E_\gamma) = 8.3714 \times 10^{-2} - 9.8343 \times 10^{-3} E_\gamma + 4.1222 \times 10^{-4} E_\gamma^2,$$

Pauli engelleme fonksiyonu, 20 MeV'in altında değişkenlerle ifade edilmez ve sıfır eğilimindedir. 140 MeV üzerinde ise, teklik eğilimindedir. Yine de katkı, dikkate alınmış tüm enerjilerde tanımlanmış olmalıdır. $E_\gamma < 20$ MeV enerjilerde $D = -73.3$ ve $E_\gamma > 140$ MeV enerji bölgesinde $D = 24.2$ ile birlikte $f(E_\gamma) = \exp(-D / E_\gamma)$ eksponansiyel form ile kullanılmıştır. Yukarıda kullanılan model üzerine kullanılan fotoabsorpsiyon hesaplamaları ortaktır (IAEA 2000, Kishida 1993, Chadwick v.d 1995, Fasso v.d 1994, Lee v.d 1998).

1.5 TESİR KESİTİ

Çekirdek bombardıman edildiğinde, her zaman çekirdek reaksiyonu olmayabilir. Gelen parçacık ile hedef çekirdeğin etkileşmesi sonucu çekirdek reaksiyonu verme olasılığına, o reaksiyonun tesir kesiti denir ve σ ile gösterilir. σ için bir ifade türetmek gerekirse, dx kalınlığında ince bir hedefi I şiddetinde bir parçacık demeti ile bombardıman edelim. Hedefin birim hacimdeki çekirdek sayısı n olduğunda, birim hacimdeki çekirdek sayısı da $nA dx$ olacaktır. Hedefe yollanan demetle bombardıman edilişi şekil 1.8'de gösterildi.



şekil 1.8 İnce bir hedefin I şiddetli bir demet ile bombardıman edilmesi.

Reaksiyonda her bir çekirdek, σ etki alanına sahip olacağı için, çekirdek reaksiyonunun olabilme toplam etkin alanı $An\sigma dx$ olur. gelen demetteki şiddet azalması,

$$-\frac{dI}{I} = \frac{\text{Toplam Etkin Alan}}{\text{Toplam Alan}} = \frac{\sigma A n dx}{A} = n \sigma dx \quad (1.47)$$

ile ifade edilir. Eşitliğin en solunda bulunan (-) işareti, şiddetin azaldığını gösterir. $x = 0$ için, $I = I_0$ alındığında, denklem (1.47) eşitliği,

$$I = I_0 e^{-n \sigma dx} \quad (1.48)$$

olarak elde edilir.

Hedefe gelen demette bulunan parçacık sayısı N , demetin şiddeti ile orantılıdır. Bu durumda, denklem (1.48) ifadesi parçacık sayısı cinsinden,

$$N = N_0 e^{-n \sigma dx} \quad (1.49)$$

olarak da yazılabilir. Burada, N_0 terimi hedefe gelen, N terimi ise x kalınlığındaki hedefi geçerek hedeften ayrılan parçacıkların sayısını ifade etmektedir. Mikroskopik yada sadece tesir kesiti olarak σ ile gösterilir ve birimi BARN'dır.

$$1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ m}^2 \quad (1.50)$$

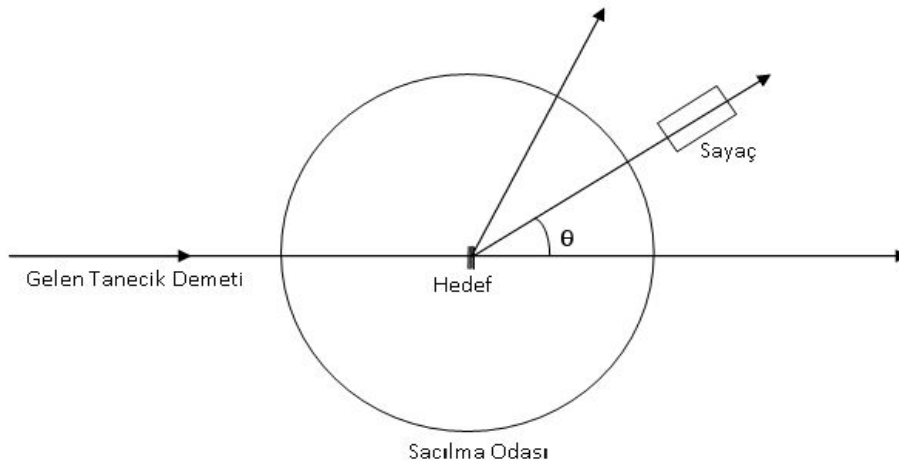
Birim hacimdeki parçacık sayısı n ile σ 'nın çarpımı da makroskopik tesir kesiti olarak adlandırılır ve Σ ile gösterilir:

$$\Sigma = n \sigma \quad (1.51)$$

1.5.1 Diferansiyel Tesir Kesiti

Hedefe gelen parçacıklar, hedef çekirdek ile birden farklı türde çekirdek reaksiyonu oluşturabilir. Bu durumda da her bir reaksiyonun tesir kesiti farklı olacaktır. Bu tesir kesitlerinin her biri kısmi tesir kesiti olarak tanımlanır ve bu tesir kesitlerinin toplanması ile toplam tesir kesiti elde edilir. Saçılma deneyleri genel olarak, saçılma

odası adı verilen dairesel kesitli bir kutu içine yerleştirilmiş hedef üzerine yollanan hızlandırılmış tanecik demetleri ile yapılır. Reaksiyondan oluşan parçacıklar farklı açılarda ve enerjilerde saçılabilirler. Geliş doğrultusu ile θ açısı yapan ve $d\Omega$ katı açısına saniyede saçılan parçacıkların sayısı hesaplanmak istendiğinde ise, açığa bağlı tesir kesiti tanımlanmış olur. Şekil 1.9’da gösterildiği gibi, bu θ açısı ile saçılmaya uğrayan taneciklerin sayısı sayaç yardımı ile ölçülür ve θ ’nın fonksiyonu olarak nasıl değiştiği incelenir. Birim katı açı başına tesir kesiti olarak tanımlanan bu $d\sigma / d\Omega$ ifadesine de diferansiyel tesir kesiti denir. Şekil 1.9’u biraz büyütecek olursak, reaksiyon $d\Omega$ katı açısı görülecektir. Şekil 1.10’da bu durum gösterilmiştir.



Şekil 1.9 Saçılma Odası şematik gösterimi.

Buna göre, diferansiyel tesir kesiti,

$$\sigma(\theta, \phi) = \frac{d\sigma}{d\Omega} \quad (\text{barn/steradyan}) \quad (1.52)$$

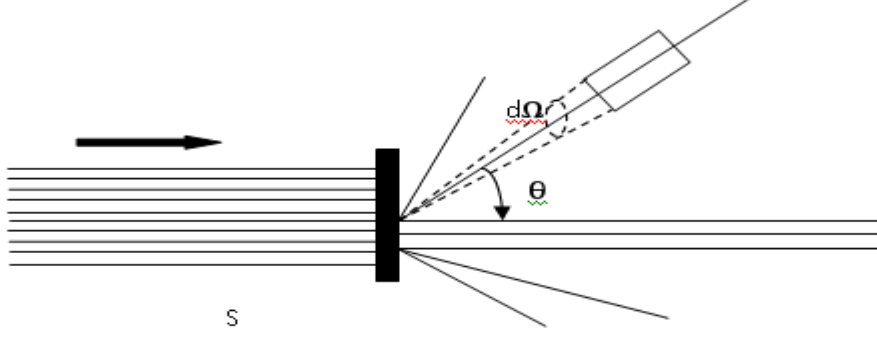
ve toplam tesir kesiti,

$$\sigma_T = \int_{\Omega} \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega \quad (1.53)$$

olarak elde edilir. $d\Omega$ katı açısı da Şekil 1.10’da gösterildiği üzere

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \frac{(rd\theta)r\sin\theta d\theta}{r^2} = r\sin\theta d\theta d\phi \quad (1.54)$$

olarak bulunur.



Şekil 1.10 $d\Omega$ katı açısının gösterimi.

Toplam katı açının bulunabilmesi için, $d\Omega$ bütün uzay boyunca integre edilmedir.

$$\Omega = \int d\Omega = \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^\pi \sin\theta d\theta = 4\pi \quad (1.55)$$

elde edilir. (1.53) ve (1.54) eşitlikleri kullanılarak toplam tesir kesiti,

$$\sigma_T = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} \sin\theta d\theta d\phi \quad (1.56)$$

olarak elde edilir. Fakat, tesir kesiti ϕ 'den bağımsız ise,

$$\sigma_T = 2\pi \int \frac{d\sigma}{d\Omega} \sin\theta d\theta \quad (1.57)$$

elde edilir.

2 TEZ ÇALIŞMASININ AMACI ve LİTERATÜR İNCELEMESİ

2.1 Tez Çalışmasının Amacı

Çalışmada, bazı doğal elementlerin (g,n) reaksiyonu absorpsiyon, toplam nötron oluşum tesir kesitleri ile toplam ve kısmi nötron ve nötron-proton tesir kesitlerinin GDR ve QD bölgelerinde hesaplamaları yapılmıştır. Reaksiyonlarda GDR mekanizmasının doğal çekirdeklerdeki katkısı incelenerek, 0-35MeV aralığında program kodları ile hesaplanan sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılarak uyumunun araştırılması ve teorik sonuçlar ile deneysel veriler arasındaki uyumun gösterilmesi amaçlanmıştır.

2.2 Literatür İncelemesi

Kesin nükleer veri özellikle reaktör çekirdeğinde doz ölçümleri için zorunludur. Reaktörlerin yapısal malzemesi içindeki radyasyon hasarı ve reaktörlerin güvenliği konularında bu nükleer verilerden faydalanılmaktadır. Tam bir nükleer veri için geçmişte çok çalışma yapılmıştır. Bunların en önemlilerinden biri 1955-1982 periyodunda A.B.D Ulusal Standartlar Şubesi Fotonükleer Veri Merkezinin projesidir (Fuller ve Gerstenberg 1983, 1986). Bu konuda bir diğer öncü çalışma da “Atlas of Photoneutron Cross-Section Obtained by Monoenergetic Photons” adlı çalışmadır (Berman 1976). Bu çalışma daha revize edilerek güncellenmiştir (Berman ve Dietrich 1988). Bunlar dışında, deneysel veriye fit edilmiş Lorentz eğri değişkenleri, momentler ve GDR entegre edilmiş tesir kesitlerinin de eklendiği tek enerjiliye benzer (quasi-monoenergetic) fotonötron fotofisyon ve foto proton verilerini içeren atlaslar da mevcuttur.

Bu önemli çalışmalara rağmen, hesaplanmış fotonükleer verinin değerlendirilmesi noktasında eksiklikler mevcuttur (Dietrich ve Berman 1993).

Nükleer reaksiyon veri değerlendirmesi, bazı sistematik adımlarından meydana gelmektedir. Bunlar, bibliyografik derleme ve deneysel veri derlemeleri aşamalarıdır.

Kullanılan ölçüm tekniklerinin kritik analizleri, teorik nükleer modelleme tabanı üzerinde değerlendirme ile beraber takip edilir. Fotonükleer veri derleme ve değerlendirmelerinin sunulan durumu aşağıda tanımlanmıştır.

Bunların başlıca olanları, LLNL Livermore (USA), CEN Saclay (Fransa) ve MSU Moscow (Rusya) laboratuvarlarıdır. Bu veriler, uluslar arası olarak bilgisayarla işlenmiş mevcut EXFOR kütüphanesine kısmen derlenmiştir. Bu büyük çaba gerektiren çalışma, henüz bitmemiştir ve yapılan çalışmalara ışığında derlemeler devam etmektedir.

EXFOR (McLane 1997), dünya çapındaki Nükleer Reaksiyon Veri Merkezleri tarafından sürdürülen deneysel nükleer reaksiyon verisinin bilgisayarla işlenmiş kütüphanesidir. Nükleer Reaksiyon Veri Merkezlerinden kullanıcılara kadar, ağ üyeleri arasında genel olarak okunabilir bilgisayar formatında aktarıma imkan verir. Kaynakçalı bilgi ve açıklamalar ile birlikte, nükleer reaksiyon veri tablolarında sayısal büyük bir çeşitlilik için tasarlanmıştır. ^2H 'den ^{237}Np 'ye kütle numarası bölgesindeki çekirdeklerde bazı fotonükleer reaksiyon tesir kesitleri için 1500'e yakın veri dizisi mevcuttur (IAEA 2000). Bu derleme parçaları, CDFE Moskova grubu tarafından EXFOR L ya da M-serisi içine dahil edilmiştir (IAEA 2000). Ayrıca, fotonükleer reaksiyon tesir kesitlerinin grafikleri ve GDR atlasından değişkenlerinin bilgileri CDFE (Moskova) tarafından işletilen web sitesinden elde edilebilir (İnt. Kayn. 3).

Tek başına ölçülmüş tesir kesitinin temeli üzerine eksiksiz fotonükleer veri dosyası geliştirmek zordur. Bu yüzden, geçen zaman içinde fotonükleer veri değerlendirme metodları için belirli gereksinimler ortaya çıkmıştır. Bu veriler sık sık, anlamlı sistematik uyumsuzluklarına sebep olan farklı foton kaynaklarından elde edildi. Bu durum, mümkün durumların sayısı içinde var olan verilerin eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Yine de son zamanlarda, hesaplanmış fotonükleer verinin oluşumu içinde, nükleer reaksiyon teorisi ve metodlar içinde deneysel tutarsızlığı çözmeye yönelik çalışmalar mevcuttur.

1990lar süresince bazı laboratuvarlar, fotonükleer verinin büyük ölçekli hesaplamalarıyla meşgul olmaya başladı. Örneğin, Japonya'da JAERI (Tokai) 140 MeV'e kadar fotonükleer dosyası geliştirmektedir. Rusya'da, fotonükleer deney verisi için

hesaplamaların dizisi (MSU Moskova) merkezde gerçekleştirildi ve IPPE Obninsk'te 20 MeV'e kadar fotonükleer BOFOD kütüphanesi üzerinde çalışmalarına devam etmektedir. Çin'de ise, CNDC (Beijing) fotonükleer reaksiyonlar hesaplamalarına metotlar geliştirmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde ise, LANL (Los Alamos) fotonükleer reaksiyonlardan açısal dağılımlar ve emisyon spektrumları için teorik modeller ve (nükleon-uyarma) hızlandırıcı-sürükleyici teknolojilerin simülasyonları için veri tabanları üzerinde çalışmaktadır. Bunlar dışında, Sao Paulo Üniversitesi, Fizik Enstitüsü, Doğrusal Hızlandırıcı Laboratuvarı (Brazilya) ve Kore Atomik Enerji Araştırma Enstitüsü (KAERI) de fotonükleer reaksiyon verisi çalışmalarını sürdürmektedir.

Yukarıdaki araştırmalar dikkate alındığında, teorik ve deneysel çalışmaların her ikisinin de kökeninde değerlendirme metotlarında yapılan çalışmalar anlamında son zamanlarda umut veren gelişmeler söz konusudur. Buna rağmen, değerlendirilmiş veri için araştırma gereksinimleri devam etmektedir. Uluslararası Nükleer Veri Komisyonu Koordineli Araştırma projesi (INDC-CRP) gibi, uluslararası olarak uzlaşılmış değerlendirilmiş fotonükleer veri dosyası geliştirmek için koordineli çabalar önayak olmuştur (IAEA 2000). Uluslararası Nükleer Veri Komitesi ile 1993 ve 1995 yılları Viyana oturumlarında bu dosyalar uygun görülmüş ve 1996 yılında yine IAEA öncülüğünde "Compilation and Evaluation of Photonuclear Data for Applications" ismi altında onaylanmıştır. CRP'nin son hedefi, taşıma simülasyon kodları içinde kullanılmak üzere, değerlendirilmiş fotonükleer reaksiyon tesir kesitinin uluslararası olarak geçerli veri dosyalarını geliştirmeye yöneliktir. Foton terapisinde absorbe edilen dozun hesaplamaları son günlerde kullanılan ve proje kapsamında elde edilen verilere bir örnektir. Ek olarak, gama reaksiyonları noktasında pek çok deneysel ve teorik çalışma mevcuttur. Uyarılmış nükleon (exciton) modeli (Wu ve Chang 1977), çok adımlı denge öncesi quantum teorisi, doğrudan ve çok adımlı birleşme reaksiyonları (Feshbach v.d 1980), hibrid model çalışması (Blann v.d 1983), çok adımlı denge öncesi emisyon süreçlerinde (Chadwick v.d 1994), döterona benzer (quasideuteron) rejiminde açısal dağılım sistematiği (Chadwick v.d 1995), yüksek enerjilerde reaksiyon sistematiği (Kalbach 1988) ve evaporasyon teorisi (Weisskopf 1937) gibi pek çok çalışma mevcuttur.

Yapılan deneysel çalışmalar noktasında ise, doğal çekirdekler ve diğer çekirdekler için yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Bu deneysel çalışmalar, deneysel nükleer reaksiyon veri kütüphanesinde (EXFOR) sürekli güncellenen hali ile mevcuttur. Bunlardan bazıları; $A = 90$ kütleinde büyük rezonans bölgesi çalışmaları (Lepretre v.d 1971), bazı çekirdekler için tam fotonötron tesir kesitleri (Berman v.d 1987), büyük dipol rezonans (GDR) fotonötron tesir kesiti katkıları çalışması (Carlos v.d 1976), doğal Bakır ve izotopları için fotonötron tesir kesitleri (Fultz v.d 1964), kabuk modeli dahilinde s-d kabuğunda çekirdeklerde GDR'ye fotonötron katkısı (Veyssi re v.d 1974) çalışmalarıdır.

Teorik çalışmalar noktasında ise, Fluka kodları ile yapılan çalışmalarda (Fasso v.d 1994), (Fasso v.d 1998)  rnek gösterilebilir. JENDL'da kullanılan hesaplama metodlarında (Kishida 1993), GNASH kodları ile yapılan çalışmalarda (Young v.d 1992), (Young v.d 1998), XGFISS kodu kullanılarak hesaplanan tesir kesitleri için (Blokhin 1999)  rnek gösterilebilir. Teorik olarak hesaplanmış veriler, Değerlendirilmiş Nükleer Veri Dosyası (ENDF)'de derlenmiştir.

Ayrıca belirtmelidir ki, Saclay (Fransa) ve Livermore (A.B.D) laboratuvarlarında elde edilen (γ, n) ve $(\gamma, 2n)$ reaksiyonları fotonötron tesir kesitleri arasında farklılıklar mevcuttur. Bu farklılıkların çoklu nötron sıralaması ve sistematiklerden kaynaklanmaktadır. Livemore büyük rezonansın parçalanması verisi E1, baskın istatistiksel destek verirken, Saclay verisine ağır çekirdekler için bakılırsa reaksiyon mekanizmasında doğrudan katkının %15-20'si kadardır.

Buna rağmen, E1'in bir çok önemli özelliği bu laboratuvarlarda yapılan çalışmaların detaylarından elde edildi (Wolynec ve Martins 1987). Ayrıca bu sonuçlar, düzenlemeleri ile yayınlanmış sürümleri mevcuttur (Berman 1975, Dietrich ve Berman 1986, Dietrich ve Berman 1988).

3 MATERYAL - METOT

Rezonans reaksiyonlarında en önemli uyarma enerji bölgesi, 25 MeV'e kadar olan bölgedir. Özellikle 10-30 MeV arasındaki enerji bölgesinde absorpsiyon süreci baskındır. Bu bölgede fotonötron tesir kesiti ölçümleri çoğu zaman tek enerjili foton demetleri kullanılarak yapılmıştır. Bu tek enerjili foton kullanımının sebebi, yüksek çözünürlük ile beraber tesir kesiti ölçümlerine ve özellikle büyük rezonansın zirvesi üzerindeki tesir kesitlerinin düzeltilmesine yüksek olanak sağlamasıdır (Wolynec ve Martins 1987). Elektron hızlandırıcıların çoğunun üst enerjisi de öncelikle Büyük Dipol Rezonans (GDR) yolu ile fotoabsorpsiyonun enerji bölgesine karşılık gelir (Dietrich ve Berman 1993).

Bu bölümde, rezonans reaksiyonlarında GDR ve QD hesaplamaları, Fotonükleer Model ve reaksiyon model şemasına (EK-1) uygun olarak TALYS 1.2 kodlarında kullanılan hesaplamalar ile bu kodların açıklamaları yapılacaktır. Ayrıca, örnek olarak bir girdi dosyası ve bu dosyaya ait çıktı dosyası ile grafiği de sunulacaktır.

3.1 Hesaplamalar

Çalışmada kullanılan TALYS 1.2 program kodları dahilinde (Koning v.d 2009), reaksiyonların $\sigma(\gamma, xn)$, $\sigma(\gamma, sn)$ ve $\sigma(\gamma, abs)$ hesaplamalarında kullanılan eşitlikler aşağıda sunuldu.

Fotoabsorpsiyon Modeli kapsamında verilen hesaplamalara ilave olarak, nötronlarda kapsamlı emisyon ölçümleri içinde, ölçülmüş tesir kesiti, herhangi bir reaksiyon olayında yayımlanan nötronların türlerini içeren kapsamlı fotonötron ürün tesir kesiti,

$$\begin{aligned} \sigma(\gamma, xn) = & \sigma(\gamma, n) + \sigma(\gamma, np) + \sigma(\gamma, n2p) + 2\sigma(\gamma, 2n) + 2\sigma(\gamma, 2np) + \\ & + 3\sigma(\gamma, 3n) + \dots + \bar{\nu}(\gamma, F) \end{aligned} \quad (3.1)$$

Burada $\bar{\nu}$, fotofisyon nötron türlerinin ortalamasıdır.

Bazı durumlarda, çalışmayı yapan kişi sonucu çıkarmak için çeşitli fotonötronlar anlamına gelen özel metotlar (“ring-ratio” metotları, istatistiksel metotlar, teori hesaplamaları v.b.) kullanır. Toplam fotonötron tesir kesiti,

$$\begin{aligned}\sigma(\gamma, sn) = & \sigma(\gamma, n) + \sigma(\gamma, np) + \sigma(\gamma, n2p) + \sigma(\gamma, 2n) + \sigma(\gamma, 2np) \\ & + \sigma(\gamma, 3n) + \dots + \bar{\nu}(\gamma, F)\end{aligned}\quad (3.2)$$

dir.

Yukarıda tanımladığımız bu reaksiyon ile birlikte fotoyüklü parçacık reaksiyon tesir kesiti toplamı, toplam fotoabsorbsiyon reaksiyon tesir kesitini verir.

$$\begin{aligned}\sigma(\gamma, abs) = & \sigma(\gamma, sn) + \sigma(\gamma, p) + \sigma(\gamma, 2p) + \dots + \sigma(\gamma, d) + \sigma(\gamma, dp) + \dots + \\ & + \sigma(\gamma, \alpha) + \dots\end{aligned}\quad (3.3)$$

Ağır çekirdek fotoabsorbsiyon tesir kesiti için yukarıdaki eşitliklerin birinci terimleri yaklaşık olarak birbirine eşittir.

$$\sigma(\gamma, abs) \cong \sigma(\gamma, sn) \quad (3.4)$$

Yukarıdaki (3.4) ifadesi, genellikle ağır çekirdekler için geçerlidir (Dietrich ve Berman 1993).

3.2 TALYS 1.2 Kullanılan Kodlar

TALYS, nükleer reaksiyonların öngörüsü ve analizi için geliştirilen bilgisayar kod sistemidir. Kütlesi 12 a.k.b ve daha ağır çekirdekler için $1\text{KeV} < E < 250\text{ MeV}$ bölgesinde nötron, proton, döteron, triton, He-3, alfa parçacıklarını ve fotonu kapsayan hesaplamalar yapan nükleer reaksiyonların bir simulasyonudur. Kararsız rezonans

bölgesinden orta enerji bölgesine kadar varan enerji bölgesinde spektrum, açısal dağılımlar, geri tepmeler, toplam – kısmi tesir kesitleri, çift katlı diferansiyel spektrum, foton üretim veya absorpsiyon tesir kesitleri gibi nicelikleriyle nükleer reaksiyonları değerlendirmemizi sağlar.

Bu çalışmada, temel 4 değişken ile birlikte TALYS 1.2'nin reaksiyonlara göre özelleştirilebilen girdi dosyasında ilgili parametreler kullanılarak, Şekil 1.2 ve EK – 1'de verilen reaksiyon mekanizmaları ve nükleer modeller tabanında, bazı doğal elementlerin nötron yayımlama, toplam fotonötron ürün, fotonötron absorpsiyon, toplam nötron oluşum, tesir kesitleri GDR bölgesinde, bölgeye özgü parametreler kullanılarak hesaplanmıştır. GDR hesaplamalarına ait olarak değişkenlerin çizelgesi EK-2'de sunulmuştur (Dietrich ve Berman 1993).

Hesaplamalarda kullanılan TALYS 1.2 kodları:

projectile: hedef çekirdeğe yollanan parçacık (mermi). Nötron, proton, döteron, triton, He-3, alfa ve gama parçacıkları olabilir ve sırasıyla n, p, d, t, h, a ve g ile sembolize edilirler.

element: reaksiyondaki hedef çekirdeği belirten değişkendir. $Li(3) < element < Ds(110)$ ile sınırlandırılmıştır, elementin simgesi küçük harf karakteri ile ya da atom numarası girilerek tanımlanır.

mass: hedef çekirdeğin kütle numarasını temsil eden değişkendir. $5 < mass < 239$ şartı ile sınırlıdır. Opsiyonel olarak, doğal çekirdeklerin hedef olması durumunda girdi satırında mass 0 girilir.

energy: gelen parçacığın enerjisini MeV cinsinden temsil eder. Tek bir değer girilebileceği gibi (spektrum), özelleştirilmiş bir enerji dosyası yaratılarak programın bu dosyayı kullanması istenebilir. Kullanıcılar bu dosyaya herhangi bir isim verebilirler (Şart: küçük harf karakterli olmalıdır). Benzer bir dosya, EKLER kısmında EK-3 olarak verilmiştir.

channels: reaksiyon kanallarının açık olup/olmamasının belirlendiği değişkendir. Birden fazla ürün parçacık için y ile reaksiyon kanalları açılır.

maxchannel: reaksiyonun ürünler kısmında kaç parçacık oluşması ya da hesaplamının en fazla kaç parçacık üzerinde yapılacağı belirlendiği değişkendir. Örneğin girdi satırında maxchannel 3 girildiğinde, bu 3 reaksiyon kanalını açar ve (x,3n), (x,2np), (x,npd)...gibi ürün parçacık hesaplamasının 3 ile kısıtlanmasını sağlar. Burada x, hedefe yollanan parçacığı temsilen keyfi olarak seçildi.

abundance: hedef çekirdeğin doğal bir çekirdek (mass 0) seçilmesi durumunda geçerlidir. “element” değişkeninde girilmiş olan hedef çekirdeğin izotoplarının bolluk oranlarının belirtildiği değişkendir. reaksiyonda kullanılan malzemenin bolluk oranlarına bağlı olarak elle girilebilir. Bu durumda dosya adı belirtilmelidir ve dosya adı keyfi bir isim alabilir (Şart: küçük harf karakterli olmalıdır). mass 0 durumunda girilmediğinde mevcut izotoplar için değerler otomatik olarak *talys/structure/abundance* klasöründen alınır. Elementlere ait bolluk oranlarına çizelge EK – 4 olarak sunulmuştur.

egr: GDR’nin MeV cinsinden enerjisidir. Örnek yazım şekli; egr, çekirdeğin Z değeri, çekirdeğin A değeri, rezonans enerji değeri ve radyasyonun tipi (E1, E2, M1, M2). E1, E2, M1, M2 ifadelerinin açıklamaları EK-1’de sunuldu. Rezonansın opsiyonel sayısı 1 veya 2 olabilir.

Seçim Aralığı : $1. \leq egr \leq 100$.

Örnek : egr 58 140 15.04 E1

sgr: GDR’nin milibarn cinsinden kuvvetidir. Örnek yazım şekli; sgr, çekirdeğin Z değeri, çekirdeğin A değeri, rezonans enerji değeri ve radyasyonun tipi (E1, E2, M1, M2). E1, E2, M1, M2 ifadelerinin açıklamaları EK-1’de sunulmuştur. Rezonansın opsiyonel sayısı 1 veya 2 olabilir.

Seçim Aralığı : $0. \leq sgr \leq 10000$.

Örnek : sgr 58 140 338 E1

ggr: GDR'nin MeV cinsinden genişliğidir. Örnek yazım şekli; ggr, çekirdeğin Z değeri, çekirdeğin A değeri, rezonans enerji değeri ve radyasyonun tipi (E1, E2, M1, M2). E1, E2, M1, M2 ifadelerinin açıklamaları EK-1'de sunuldu. Rezonansın opsiyonel sayısı 1 veya 2 olabilir.

Seçim aralığı : $1. \leq ggr \leq 100$.

Örnek : ggr 58 140 4.41 E1

3.3 Örnek Girdi Dosyası

Temel değişkenleri ile bir girdi dosyası 4 satırdan oluşur :

projectile n

element fe

mass 56

energy 14.

şeklindedir (Koning v.d 2009)

Bu temel değişkenlere, çalışılacak kısım, reaksiyon ya da özel durumlar göz önünde bulundurularak yeni değişkenler ilave edilebilir.

Bu bölümde; örnek olarak doğal Ce çekirdeği üzerine yollanan bir gama mermisi ile gerçekleştirilen (g,n)+(g,n+p) reaksiyonunun GDR parametreleri kullanılarak TALYS 1.2 programına ait girdi dosyası aşağıda verildi.

projectile g
element ce
mass 0
energy energies
channels y
maxchannel 3
abundance z058
egr 58 140 15.04 E1
sgr 58 140 383 E1
ggr 58 140 4.41 E1

3.4 Örnek Çıktı Dosyası

TALYS 1.2 kod programı, çok geniş kapsamlı çıktı dosyası vermektedir. Ayrıca, parçacıkların oluşum tesir kesitleri, ürün çekirdeklerin oluşum tesir kesitleri, çoklu kanalların tesir kesitleri, reaksiyon türlerine ait tesir kesitleri v.b. pek çok farklı hesaplamayı farklı dosya isimleri ve dosya uzantıları ile verir. Örneğin, reaksiyon sonucunda oluşan 58-Ce-137 ise, kullanılması gereken dosya *rp.058136.tot* dosyasıdır. Parçacıklar için ise *xs.010000.tot* türündeki dosyalar seçilir.

Örnek teşkil eden bu dosya proton oluşma yani (g,p) reaksiyonu tesir kesitini işaret eder. Bölüm 3.3’de girdi dosyası verilen reaksiyona ait (g,n) reaksiyonuna ait TALYS 1.2 çıktı dosyası (*xs.100000.tot*), örnek teşkil etmesi adına dosyası aşağıda sunuldu. Çıktı dosyasında tesir kesiti, “xs” olarak gösterilmiştir.

```

xs.100000.tot
# g + nat-Ce
#
#
# # energies = 64
#      E          xs
6.000E+00  0.00000E+00
7.000E+00  0.00000E+00
7.500E+00  1.72973E+00
8.080E+00  2.76542E+00
8.350E+00  3.05462E+00
8.620E+00  3.36333E+00
8.890E+00  3.70474E+00
9.160E+00  4.09623E+00
9.440E+00  3.08246E+01
9.710E+00  3.66940E+01
9.980E+00  4.13461E+01
1.025E+01  4.61738E+01
1.052E+01  5.13545E+01
1.080E+01  5.74843E+01
1.107E+01  6.55291E+01
1.134E+01  7.64769E+01
1.161E+01  8.87281E+01
1.216E+01  1.19722E+02
1.243E+01  1.38667E+02
1.270E+01  1.60025E+02
1.297E+01  1.82801E+02
1.322E+01  2.06090E+02
1.352E+01  2.36061E+02
1.379E+01  2.63951E+02
1.406E+01  2.90868E+02
1.433E+01  3.15245E+02
1.460E+01  3.33511E+02
1.488E+01  3.43915E+02
1.515E+01  3.44062E+02
1.542E+01  3.34774E+02
1.569E+01  3.17806E+02
1.596E+01  2.95765E+02
1.624E+01  2.70292E+02
1.651E+01  2.45257E+02
1.678E+01  2.17237E+02
1.705E+01  1.82814E+02

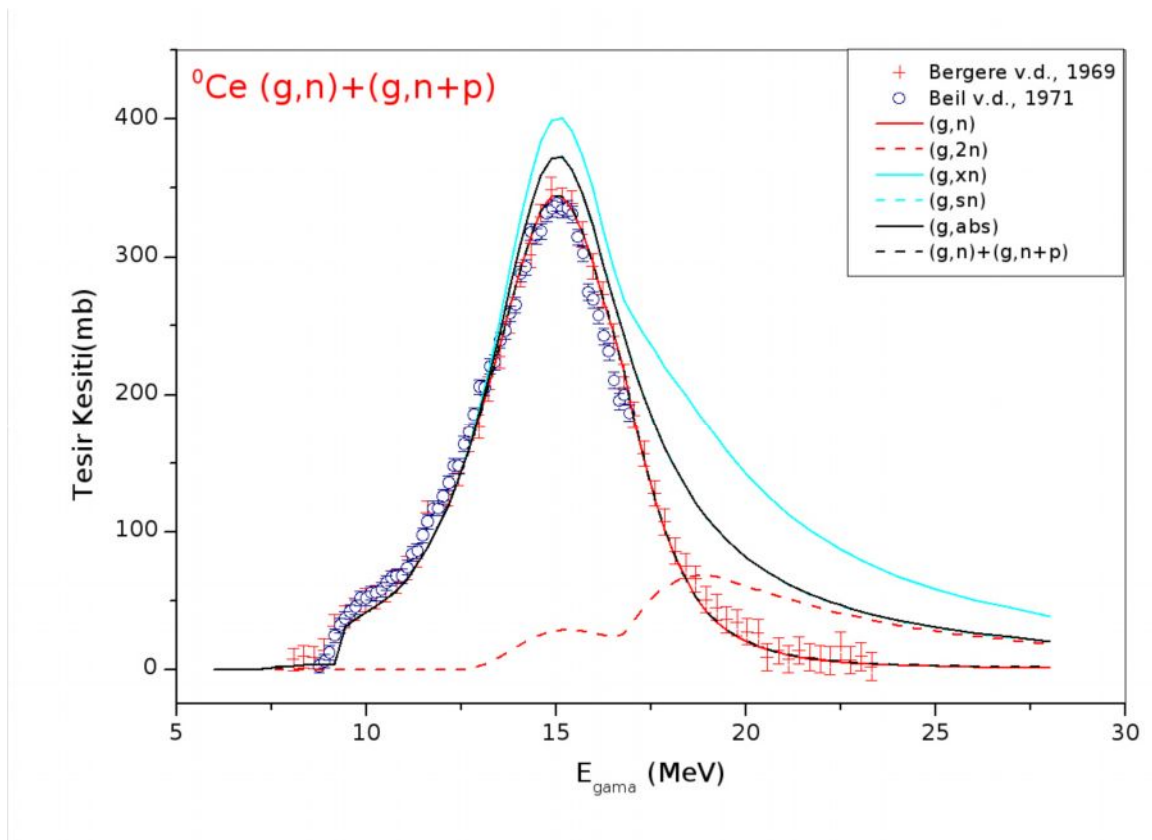
```

#	E	xs
1.732E+01	1.51824E+02	
1.760E+01	1.23412E+02	
1.787E+01	1.01166E+02	
1.814E+01	8.16763E+01	
1.841E+01	6.56194E+01	
1.868E+01	5.26600E+01	
1.896E+01	4.22520E+01	
1.923E+01	3.45880E+01	
1.950E+01	2.87269E+01	
1.977E+01	2.41210E+01	
2.004E+01	2.04050E+01	
2.032E+01	1.71591E+01	
2.056E+01	1.48381E+01	
2.086E+01	1.24621E+01	
2.113E+01	1.06935E+01	
2.140E+01	9.23135E+00	
2.168E+01	7.99253E+00	
2.195E+01	6.98487E+00	
2.222E+01	6.19422E+00	
2.249E+01	5.49172E+00	
2.276E+01	4.93239E+00	
2.304E+01	4.43729E+00	
2.331E+01	4.04480E+00	
2.400E+01	3.27518E+00	
2.500E+01	2.55207E+00	
2.600E+01	2.08367E+00	
2.700E+01	1.74786E+00	
2.800E+01	1.49783E+00	

3.5 Çalışılan Kısımın Seçimi

3.6 Örnek Grafik

Örnek olarak Bölüm 3.2’de gösterilen ve Bölüm 3.3’te elde edilen çıktısından bir parça olarak *xs.100000.tot* dosyası sunulan Ce elementine ait (g,n)+(g,n+p)reaksiyonunun mevcut deneysel verilerin de eklendiği reaksiyon grafiği aşağıda sunuldu.



Grafik 3.1 Örnek girdi dosyasına ait olarak elde edilen örnek reaksiyon grafiği.

4 TEORİK HESAPLAMALAR

Bu bölümde, doğal Ag, Ba, Cd, Ce, Cl, Cu, Er, Ga, K, Nd, Pb, Rb, Sb, Si, Sm, Sr, Te, Zr çekirdeklerinde GDR bölgesinde $[(\gamma + n) + (\gamma, n + p)]$ reaksiyonu TALYS 1.2 program kodları ile yapılan hesaplamalardan elde edilen tesir kesiti sonuçları ile mevcut deneysel veriler (EXFOR) birleştirilerek elde edilen reaksiyon tesir kesitlerinin grafikleri sunulmuştur. Ayrıca, yukarıda bahsedilen doğal çekirdekler için reaksiyonda oluşan izotop tesir kesitleri ve deneysel verilerin grafikleri sunuldu. Her element için, EK-4'te gösterilen bolluk oranları elementlere göre belirtilmiştir.

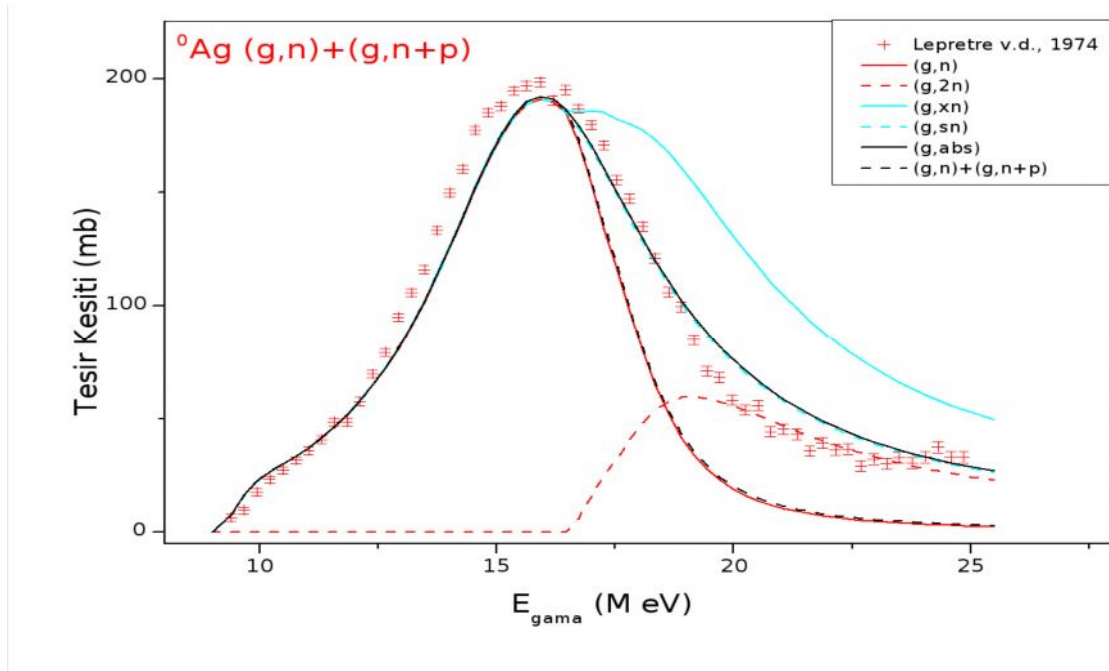
4.1 Doğal Ag ((γ, n)+ ($\gamma, n+p$)) Reaksiyonu

Ayrışma Enerjileri (MeV)										
İzotop	Bolluk (%)	γ, n	γ, p	γ, d	γ, t	$\gamma, {}^3\text{He}$	γ, α	$\gamma, 2n$	γ, np	$\gamma, 2p$
Ag-107	51.840	9.63	5.79	13.12	13.96	---	2.80	17.48	15.35	15.13
Ag-109	48.160	9.27	6.49	13.49	13.77	---	3.30	16.46	15.71	16.44

Grafik 4.1' de hedef doğal Ag çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 9 - 25.5 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak hesaplanan (g,n), (g,2n), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+(g,n+p) reaksiyonları tesir kesiti ve mevcut deneysel veri (Lepretre v.d 1974) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

Grafikten de açıkça görüldüğü gibi, (g,2n) reaksiyonu oluşmaya başlayana kadar (16.46 MeV) diğer reaksiyon tesir kesiti ölçümlerine ait eğriler üst üste görünmektedir. 16.46 MeV değerinden sonra (g,n) ve (g,n)+(g,n+p) reaksiyon tesir kesitleri deneysel verilere ve diğer reaksiyon tesir kesitlerine göre azalma gösterirken, bu değerden 25.5 MeV değerine kadar olan bölgede eğrisel bir uyum görülmektedir. (g,2n) hariç tüm hesaplamaların sonuçlarına ait eğriler 15,97 MeV değerinde mevcut deneysel verilerle uyumlu olarak maksimum tesir kesitine ulaşmaktadır. (g,xn) hesaplamasına ait eğri, başlıca sebep olarak 2n çıkışının gözlemlendiği 16.46 MeV değerinden sonra ani bir artış

göstermektedir. (g,2n) reaksiyonu hariç, ölçülen tüm reaksiyon türlerine ait tesir kesitleri 12.52 MeV değerine kadar deneysel veriler ile çok iyi uyum gösterirken 2n çıkışının görüldüğü 16.46 MeV enerji değerine kadar olan bölgede de deneysel veriler ile uyumludur. (g,sn) ve (g,abs) tesir kesitleri hesaplama sistematüğinden dolayı, yaklaşık olarak eşittirler. Her iki ölçüm de 9 - 19.01 MeV enerji bölgesinde deneysel veriler ile iyi uyum göstermektedir ve 25.5 MeV değerine kadar da eğrisel uyum mevcuttur. (g,2n) reaksiyonu tesir kesiti incelendiğinde, 19.01 MeV değerinde maksimum tesir kesiti verdiği ve 19.83 MeV - 24.1 MeV aralığında da deneysel verilerle çok iyi uyum gösterdiği görülmektedir.



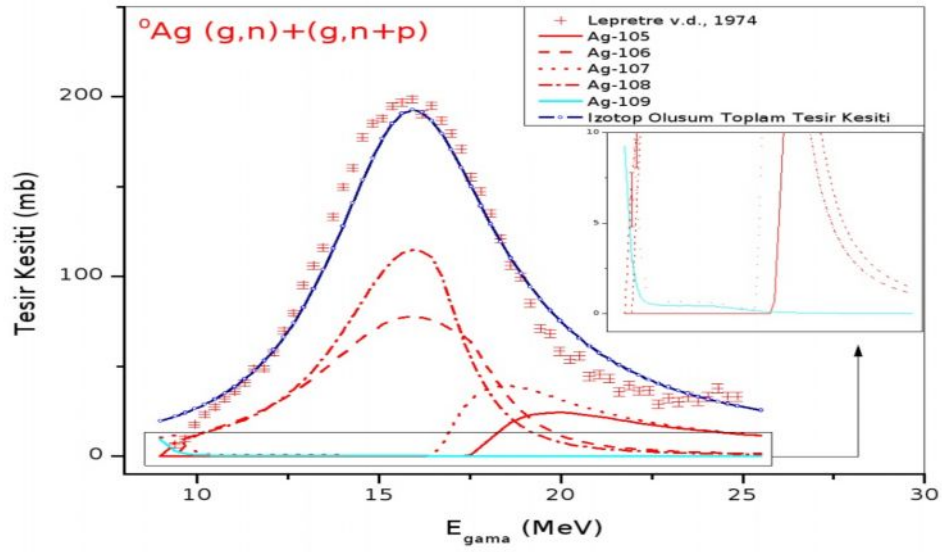
Grafik 4.1 Doğal Gümüş çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneysel veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; (g,2n) kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; (g,n)+(g,n+p) siyah kesikli çizgi ile grafikte gösterilmiştir.

Grafik 4.2’de hedef doğal Ag çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 9.0 - 25.5 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n)+(g,n+p) reaksiyonunda Ag-105, Ag-106, Ag-107, Ag-108, Ag-109 izotoplarının hesaplanan oluşum tesir kesitleri ile

(g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitinin mevcut deneysel veri (Lepretre v.d 1974) ile uyumu incelendi. Tesir kesitindeki büyük farklılıklardan ötürü, çizimi detaylandırmak amacı ile belirli bir bölgeye odaklanıldı. Bu bölge grafik içinde ok ile gösterilen kare bölgedir. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4)

Grafik 4.2’den de görüldüğü üzere; mevcut deneysel verinin başlangıç enerji değerinde, kodlar kullanılarak yapılan hesaplamaların sonuçları uyumludur. Ag-105 izotopu 17.54 MeV değerinde ilk tesir kesitini değerlerini vermektedir. 19.98 MeV enerjisinde de maksimum tesir kesitine ulaşmaktadır. Ag-105 hesaplaması ile uyumlu olarak Ag-107 izotopu benzer bir eğri vermektedir. 9.0 MeV’de başlayan tesir kesiti değeriyle birlikte 10.22 - 16.73 MeV bölgesinde 10^{-1} mb. mertebesinde tesir kesitine düştükten sonra 18.35 MeV enerji değerinde maksimuma ulaştığı Grafik 4.2’ de görülmektedir. Ag-106 ve Ag-108 izotopları ilk tesir kesitleri, sırasıyla, 9.68 ve 9.41 MeV değerlerinde görülmektedir. Her iki hesaplama sonucu da deneysel verinin maksimum tesir kesitine ulaştığı 15.92 MeV’ de maksimum tesir kesitine ulaşmakta olduğu Grafik 2’ de görülmektedir. Ag-109 hesaplama sonuçları neticesinde 9.4 MeV de alınan ilk tesir kesitinin 9.95-17.27 MeV bölgesinde 10^{-1} mb. mertebesinde düştüğü görülmüştür.. Bu bölgeden sonra ise 10^{-2} mb. mertebesine düşmektedir.

Tüm izotopların oluşum tesir kesitlerinin toplamından elde edilen izotop oluşum toplam tesir kesiti incelendiğinde, deneysel verinin de mevcut olduğu 9-25.5 MeV bölgesinde çok iyi uyumlu olduğu Grafik 4.2’de görülmektedir.



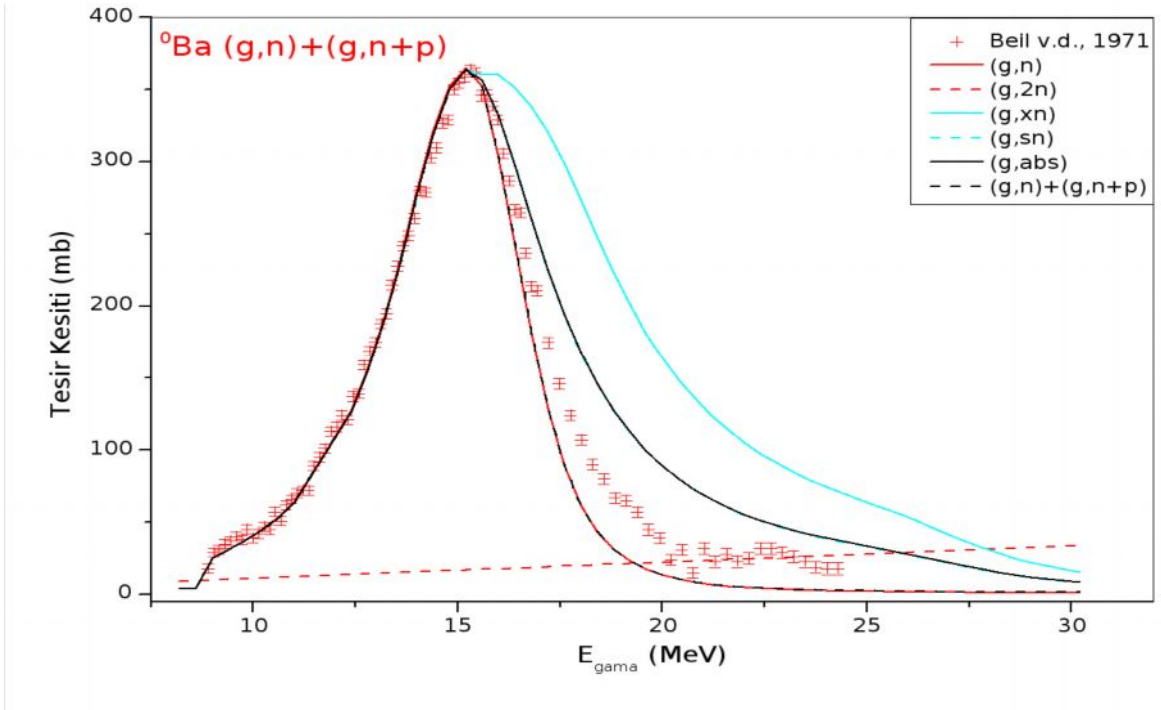
Grafik 4.2 Doğal Gümüş çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesis kesitlerinin karşılaştırılması. Grafikte deneysel veri kırmızı + işareti; (Ag-105) kırmızı katı çizgi; (Ag-106) kırmızı kesikli çizgi; (Ag-107) kırmızı noktalı çizgi; (Ag-108) kırmızı kesik noktalı çizgi; (Ag-109) açık mavi katı çizgi; (İzotop Oluşum Toplam Tesis Kesiti) koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

4.2 Doğal Ba ((γ ,n)+ (γ ,n+p)) Reaksiyonu

Ayrışma Enerjileri (MeV)										
İzotop	Bolluk (%)	γ ,n	γ ,p	γ ,d	γ ,t	γ , ^3He	γ , α	γ ,2n	γ ,np	γ ,2p
Ba-130	0.106	10.28	7.50	14.47	15.97	---	0.05	18.00	16.69	11.98
Ba-132	0.101	9.93	7.66	14.67	15.88	---	0.10	17.32	16.89	13.13
Ba-134	2.417	9.48	8.17	14.93	15.84	---	1.49	16.66	17.15	14.25
Ba-135	6.592	7.57	8.25	12.92	15.64	---	1.86	16.44	15.14	14.78
Ba-136	7.840	9.33	8.59	15.13	15.77	---	2.03	16.08	17.36	15.34
Ba-137	11.232	7.72	8.67	13.27	15.78	---	2.50	16.01	15.50	15.88
Ba-138	71.698	8.90	9.00	15.05	15.62	---	2.56	15.52	17.28	16.41

Grafik 4.3' de hedef doğal Ba çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 8.2 - 30.2 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), (g,2n), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Beil v.d 1971) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

Grafikten de açıkça görüldüğü gibi, (15.49 MeV) değerine kadar tüm tesir kesiti ölçümleri üst üste görünmekte ve deneysel verilerle çok iyi uyum göstermektedir. (g,n) ve (g,n)+(g,n+p) reaksiyon tesir kesitleri deneysel verilerle 8.9 MeV den 16.66 MeV' e kadar olan bölgede deneysel verilerle çok iyi uyum göstermektedir. Bu 16.66 - 30.2 MeV' e kadar da deneysel verilerle eğrisel bir uyum içindedir. (g,xn) hesaplamasına ait eğri, 15.60 MeV değerinde diğer eğrilerden ayrılmaktadır. Deneysel verilerle ilgili olarak 15.39 - 30.2 MeV aralığında eğrisel uyum mevcuttur. Grafikte çakışık halde görülen (g,sn) ve (g,abs) eğrileri 8.02 - 16.17 MeV bölgesinde çok iyi uyum göstermektedir. 16.17 - 30.2 MeV bölgesinde diğer hesaplama eğrilerinde görülen eğrisel uyum söz konusudur. (g,2n) 15.60 MeV' de tesir kesiti vermektedir. (g,2n) hariç tüm eğriler 15.24 MeV, (g,2n) hesaplaması 17.93 MeV' de maksimum tesir kesiti vermektedir.



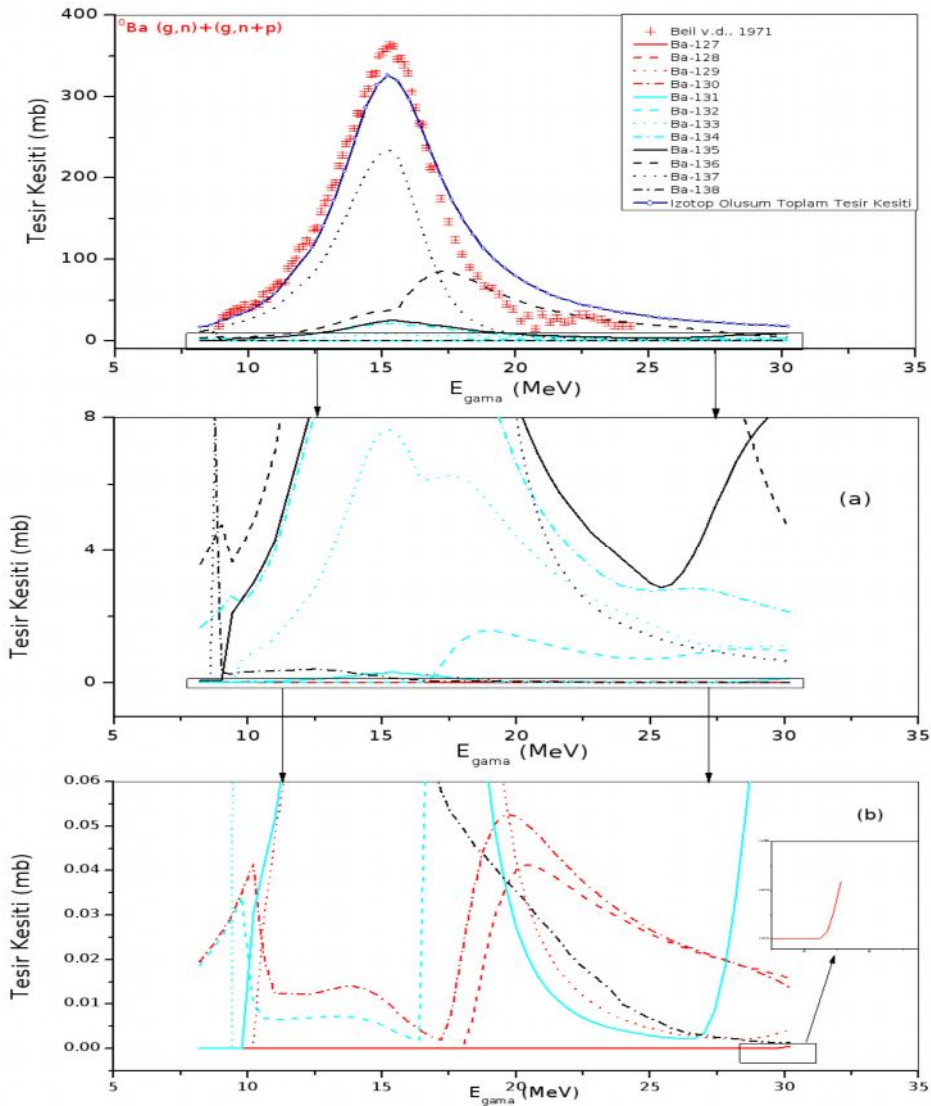
Grafik 4.3 Doğal Baryum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneyel veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; (g,2n) kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; (g,n)+(g,n+p) siyah kesikli çizgi ile grafikte gösterilmiştir.

Grafik 4.4' de hedef doğal Ba çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 8.2 - 30.2 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n)+(g,n+p) reaksiyonunda Ba-128, Ba-129, Ba-130, Ba-131, Ba-132, Ba-133, Ba-134, Ba-135, Ba-136, Ba-137, Ba-138 ve izotop oluşum toplam tesir kesitleri ile (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitinin mevcut deneyel veri (Beil v.d 1971) ile uyumu incelendi. Ayrıca, tesir kesitleri çok daha küçük olan izotoplar için ana grafikten başlayarak belirli bölgeler odaklandı ve bu bölgeler grafiklerde siyah çerçeveli kutucuklar içinde gösterildi.

Grafik 4.4, reaksiyon tesir kesitlerinin genel olarak gösterildiği grafikdir. Bu kısımda Ba-134, Ba-135, Ba-136, Ba-137 izotoplarına ait eğriler açıkça görülmektedir. Bu eğriler incelendiğinde, Ba-137 eğrisinin Ba-136 izotopunun maksimum tesir kesiti değerine ulaştığı 17.14 MeV değerine kadar en yüksek tesir kesitlerine sahip olduğu

görülmektedir. Grafikte gösterilen izotoplardan Ba-136 hariç, diğerlerinin deneysel veri ile yaklaşık olarak aynı enerji değerinde maksimum tesir kesiti değerine ulaştığı Grafik 4.4' de görülmektedir. Özellikle Ba-137 eğrisi deneysel veri ile eğrisel bir uyum göstermektedir. Ba-136 tesir kesiti eğrisi 14.52 MeV' de ve 17.14 MeV' de olmak üzere çift pik vermektedir. 18.40 – 25 MeV bölgesinde deneysel veri ile uyumlu olduğu görülmektedir. 0 – 5 mb. Mertebesinde odaklanılan Grafik 4.4a parçasında Ba-132, Ba-133 ve yukarıda bahsedilen izotopların oluşum tesir kesitleri değişimi belirgin olarak görülmektedir. Ba-133 izotopu, deneysel verinin maksimum tesir kesitine ulaştığı 15.32 MeV ve ayrıca 17.77 MeV değerinde olmak üzere iki pik verdiği Grafik 4.4a' da görülmektedir. Ba-132 izotopu, 8.2-18 MeV aralığında 10^{-1} mb. – 10^{-3} mb. mertebesinde tesir kesitine sahiptir. 18.6 MeV' de maksimum tesir kesitine ulaşır. Ba-138 ise 8.6 MeV' deki maksimum değerinden sonra ani bir düşüş ile 8.6-30.2 MeV aralığında 10^{-1} – 10^{-3} mertebesinde tesir kesitinin sahip olduğu Grafik 4.4a, Grafik 4.4b'de görülmektedir. Grafik 4.4a içinden alınmış olan 10^{-2} mb. mertebeli Grafik 4.4b parçası incelendiğinde Ba-130, Ba-132 nin 8.2-16.41 MeV ve Ba-132, Ba-128 izotoplarının 16.41-30.2 MeV aralıklarında birbirleriyle çok benzer eğriye sahip oldukları görülmektedir.

Bu parça içinde ayrıca odaklanılan pik ve Grafik 4.4b içinde verilen kutucukta 29-30.2 MeV aralığında 10^{-5} mb. mertebeli Ba-127 nin tesir kesiti değişimi gösterilmiştir. Sonuç olarak; tüm bu izotopların oluşum tesir kesitlerinin toplamından elde edilen izotop oluşum toplam tesir kesitleri eğrisinin deneysel veri ile birebir uyumlu olarak 15.32 MeV de maksimum tesir kesitine sahip olduğu görülür. 8-17.21 MeV bölgesinde deneysel veri ile çok iyi uyumludur. Bu değerden sonrada eğimsel bir uyuma sahip oldukları Grafik 4.4' ün ilk kısmında görülmektedir.



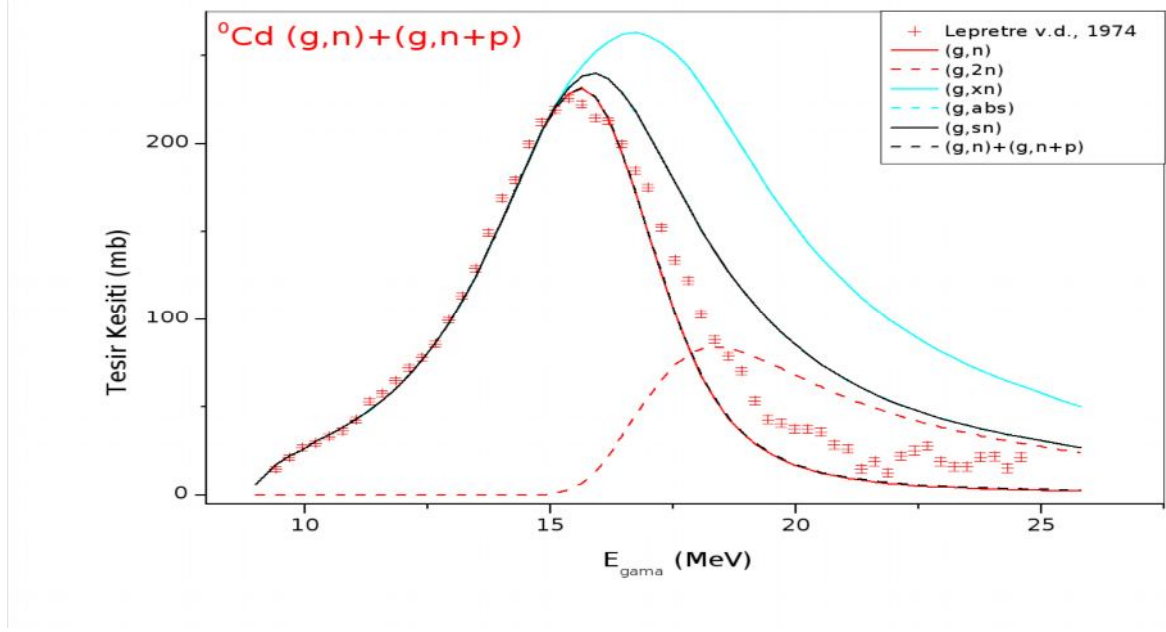
Grafik 4.4 Doğal Baryum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Farklı tesir kesiti mertebelerinde oluşan izotoplar grafiğin (a) ve (b) parçalarında gösterilmiştir. Ba-127 izotopu 10^{-4} mb. mertebesinde tesir kesitine sahip olduğundan, grafikte (b) parçası içinde ayrıca gösterilmiştir. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (Ba-127) kırmızı katı çizgi; (Ba-128) kırmızı kesikli çizgi; (Ba-129) kırmızı noktalı çizgi; (Ba-130) kırmızı kesik noktalı çizgi; (Ba-131) açık mavi katı çizgi; (Ba-132) açık mavi kesikli çizgi; (Ba-133) açık mavi noktalı çizgi; (Ba-134) açık mavi kesik noktalı çizgi; (Ba-135) siyah katı çizgi; (Ba-136) siyah kesikli çizgi; (Ba-137) siyah noktalı çizgi; (Ba-138) siyah kesik noktalı çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

4.3 Doğal Cd ((γ,n)+($\gamma,n+p$)) Reaksiyonu

İzotop	Bolluk (%)	Ayrışma Enerjileri (MeV)								
		γ,n	γ,p	γ,d	γ,t	$\gamma,^3\text{He}$	γ,α	$\gamma,2n$	γ,np	$\gamma,2p$
Cd-106	1.250	11.00	7.35	15.16	17.30	---	1.63	19.30	17.37	12.32
Cd-108	0.890	10.54	8.14	15.45	17.13	---	2.28	18.26	17.68	13.92
Cd-110	12.490	9.76	8.92	15.89	16.90	---	2.88	17.24	18.11	15.40
Cd-111	12.800	7.63	9.09	13.67	16.60	---	3.31	16.90	15.90	16.23
Cd-112	24.130	9.64	9.65	16.30	16.81	---	3.48	16.37	18.48	16.81
Cd-113	12.220	7.16	9.71	13.96	---	---	3.86	15.93	16.19	---
Cd-114	28.730	9.30	10.28	16.53	16.80	---	4.10	15.58	18.76	---
Cd-116	7.490	8.88	11.02	16.90	---	---	4.80	14.84	19.13	---

Grafik 4.5' de hedef doğal Cd çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 9 - 25.8 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), ($g,2n$), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+($g,n+p$) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Lepretre v.d 1974) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

TALYS 1.2 kodları kullanılarak hesaplanan eğriler 15.2 MeV değerine kadar deneysel verilerle çok iyi uyum göstermektedir. Bu değerde, eğriler birbirinden ayrılmaktadır. (g,n), ($g,n+p$) eğrisi 16.62 MeV' e kadar deneysel veriler ile çok iyi uyum göstermektedir. Bu hesaplama sonucu 15.64 MeV değerinde deneysel veriyle uyumlu olarak maksimum tesir kesiti değerini vermektedir. (g,xn), (g,sn), (g,abs) sonuçları eğrisel ayrışmanın olduğu 15.2 MeV' den sonra, deneysel verilere göre artış göstermektedir. Fakat 25.5 MeV değerine kadar eğrisel uyumları mevcuttur. Bu üç eğriden çakışık halde görülen (g,sn) ve (g,abs) 15.89 MeV (g,xn) ise 16.71 MeV maksimum tesir değerlerine ulaşırlar. ($g,2n$) hesaplaması 15.1 MeV enerji değerinde ilk tesir kesiti değerini vermektedir ve 18.38 MeV' deki maksimum tesir kesitinden sonra azalma göstermektedir.



Grafik 4.5 Doğal Kadmiyum çekirdeğinden $(g,n)+(g,n+p)$ reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneysel veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; $(g,2n)$ kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; $(g,n)+(g,n+p)$ siyah kesikli çizgi ile grafikte gösterilmiştir.

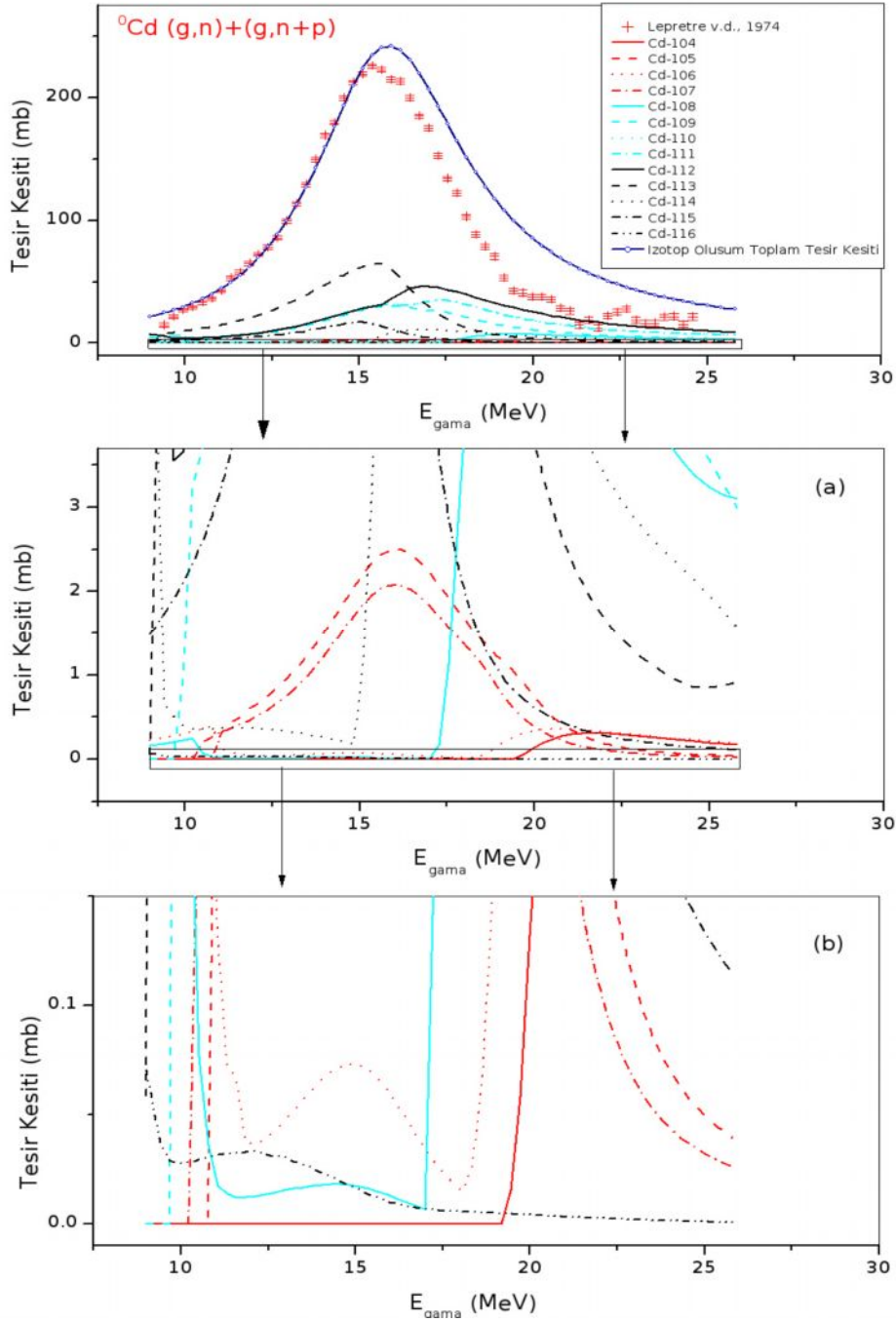
Grafik 4.6'da hedef doğal Cd çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 9 - 25.8 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak $(g,n)+(g,n+p)$ reaksiyonunda Cd-104, Cd-105, Cd-106, Cd-107, Cd-108, Cd-109, Cd-110, Cd-111, Cd-112, Cd-113, Cd-114, Cd-115, Cd-116 ve izotop oluşum toplam tesir kesitleri ile $(g,n)+(g,n+p)$ reaksiyonu tesir kesitinin mevcut deneysel veri (Lepretre v.d 1974) ile uyumu incelendi. Ayrıca, tesir kesitleri çok daha küçük olan izotoplar için ana grafikten başlayarak belirli bölgeler odaklandı ve bu bölgeler grafiklerde siyah çerçeveli kutucuklar içine alındı.

Grafik 4.6' da Cd-113' ün en yüksek tesir kesitine sahip olduğu ve deneysel veri ile uyumlu olarak aynı enerji değerinde maksimum tesir kesitine ulaştığı görülmektedir.

Cd-109, Cd-110, Cd-111, Cd-112 izotoplarına ait eğrileri yaklaşık olarak eşit tesir kesitlerine sahip olarak 15.45 MeV' de birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Grafik 4.6a incelendiğinde Cd-105 ve Cd-107' nin çok benzer eğrisel şekli göze çarpmaktadır. Bu iki eğri, sırasıyla, 16.1 MeV ve 15.97 MeV değerlerinde maksimum tesir kesitine ulaşmaktadırlar.

Benzer şekilde, Cd-104 ve Cd-106, 10^{-1} mb mertebesindeki eğrilerinde aynı ikili uyumu göstermektedir. Diğer izotopların tesir kesitlerindeki değişimleri de Grafik 4.6b’de görülmektedir. Bahsedilen diğer izotoplar (Cd-104, Cd-106, Cd-108, Cd-114, Cd-116) ana grafikte ve ana grafikten alınan Grafik 4.6a parçasında tesir kesitlerinin mertebelerinden dolayı detaylı incelenememektedir. Detaylandırma için Grafik 4.6a bölgesinde 10^{-1} mb. mertebesinde odaklanma yapılarak Grafik 4.6b parçası oluşturulmuştur.

Sonuç olarak izotop oluşumu toplam tesir kesiti eğrisi 9.41-15.36 MeV bölgesinde deneysel veri ile çok uyumludur. 15.36 MeV değerinden sonra verilerle sapma görülse de, eğrisel uyum göze çarpmaktadır.



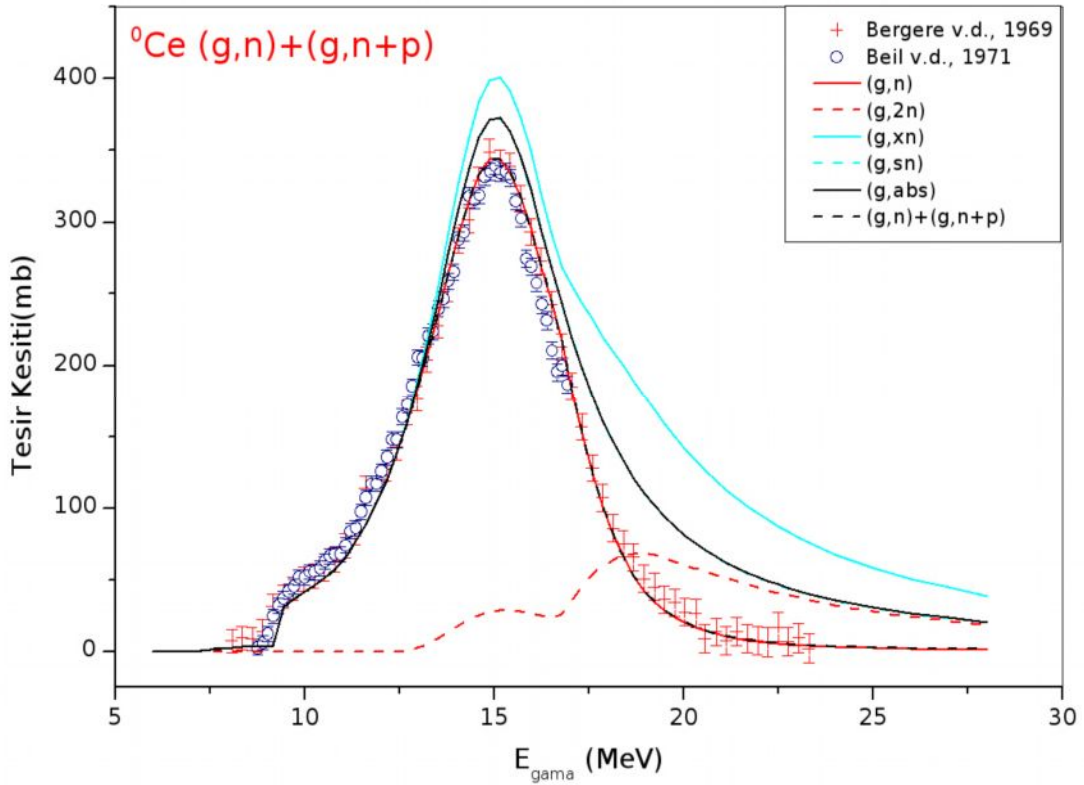
Grafik 4.6 Doğal Kadmiyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Farklı tesir kesiti mertebelerinde oluşan izotoplar grafiğin (a) ve (b) parçalarında gösterilmiştir. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (Cd-104) kırmızı katı çizgi; (Cd-105) kırmızı kesikli çizgi; (Cd-106) kırmızı noktali çizgi; (Cd-107) kırmızı kesik noktali çizgi; (Cd-108) açık mavi katı çizgi; (Cd-109) açık mavi kesikli çizgi; (Cd-110) açık mavi noktali çizgi; (Cd-111) açık mavi kesik noktali çizgi; (Cd-112) siyah katı çizgi; (Cd-113) siyah kesikli çizgi; (Cd-114) siyah noktali çizgi; (Cd-115) siyah kesik noktali çizgi; (Cd-115) siyah kesik çift noktali çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

4.4 Doğal Ce ((γ,n)+($\gamma,n+p$)) Reaksiyonu

Ayrışma Enerjileri (MeV)										
İzotop	Bolluk (%)	γ,n	γ,p	γ,d	γ,t	$\gamma,^3\text{He}$	γ,α	$\gamma,2n$	γ,np	$\gamma,2p$
Ce-136	0.185	10.00	7.11	14.39	15.92	---	0.45	17.78	16.61	12.10
Ce-138	0.251	9.92	7.76	16.67	15.87	---	1.04	17.24	16.90	13.26
Ce-140	88.450	9.45	8.14	14.70	15.93	---	1.62	16.66	16.92	14.40
Ce-142	11.114	7.83	8.89	13.35	12.26	---	0.00	12.60	15.58	---

Grafik 4.7' de hedef doğal Ce çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 6 - 28 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), ($g,2n$), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+($g,n+p$) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Bergere v.d 1969) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

Grafikte de görüldüğü üzere, mevcut deneysel veriler birbirleriyle uyumludur. (g,n), ($g,n+p$) hesaplama sonuçları hesaplamanın yapıldığı 6 - 28 MeV enerji bölgesinde deneysel verilerle çok iyi uyumludur. (g,sn), (g,abs) eğrileri 6 - 13.50 MeV deneysel verilerle çok iyi uyumludur. 13.50 - 28 MeV bölgesinde deneysel verilerle eğrisel uyum göstermektedir. ($g,2n$) eğrisi hariç, grafikte gösterilen diğer hesaplama sonuçlarına ait çizimler deneysel verilerle uyumlu olarak 15.08 MeV değerinde maksimum tesir kesitine sahiptir. (g,xn)' in, ($g,2n$)' in ilk tesir kesitine sahip olduğu 12.7 MeV değerinde diğer eğrilerden ayrıldığı Grafik 4.7' de görülmektedir. Bu enerji değerine kadar, deneysel verilerle çok iyi uyum göstermektedir. Bu değerden 28 MeV' e kadar olan bölgede deneysel verilerle uyum içindedir. ($g,2n$) sonuçlarında 15.69 ve 18.68 MeV değerlerinde olmak üzere iki pik vermektedir. 20.5 MeV değerinden sonra ise diğer eğrilerle uyumlu olarak azalma göstermektedir.



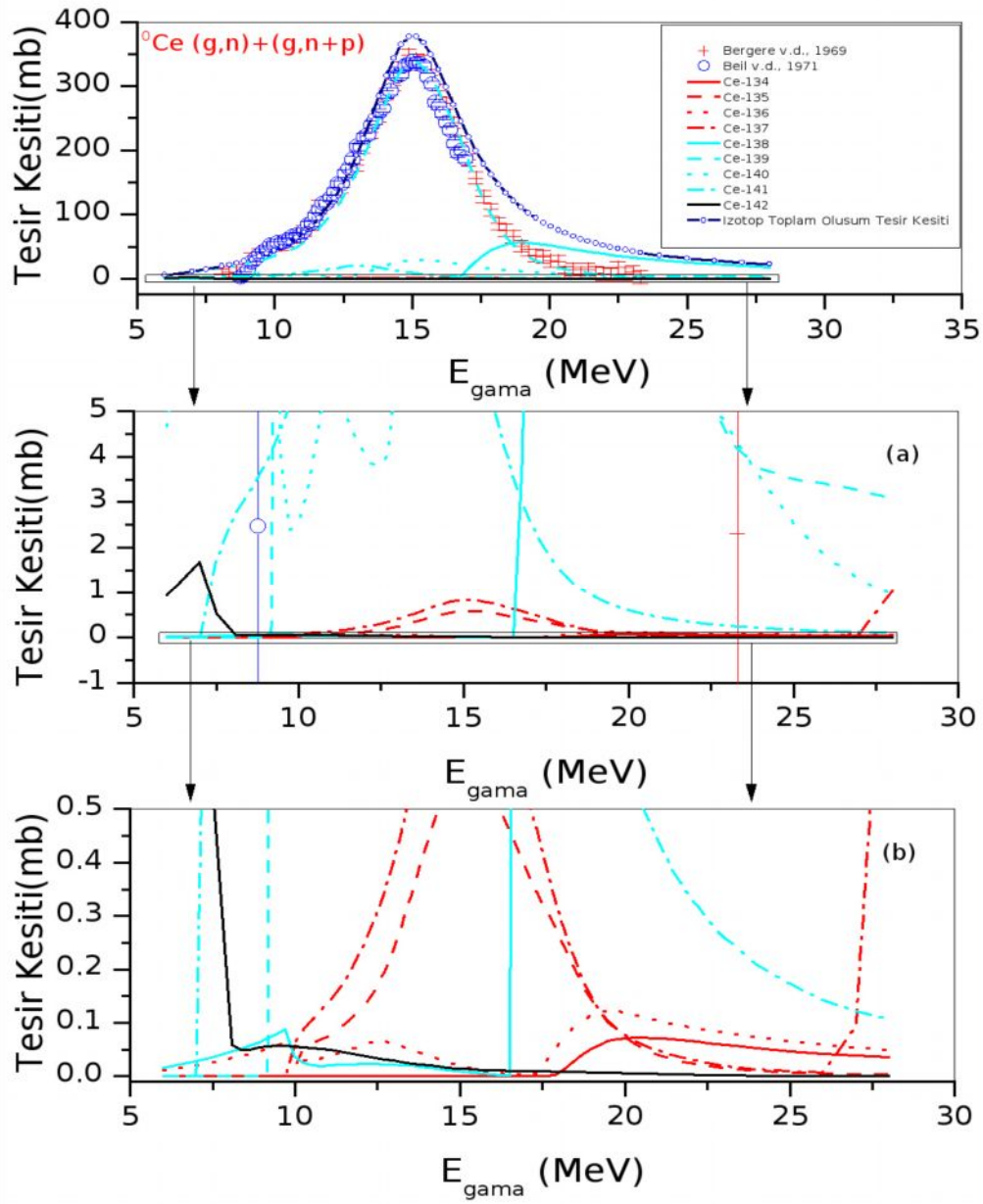
Grafik 4.7 Doğal Seryum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneyisel veriler kırmızı + (Bergere v.d.,1969) ve mavi o (Beil v.d.,1971) işaretleri; (g,n) kırmızı katı çizgi; (g,2n) kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; (g,n)+(g,n+p) siyah kesikli çizgi ile gösterilmiştir.

Grafik 4.8' de hedef doğal Ce çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 6 - 28 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n)+(g,n+p) reaksiyonunda Ce-134, Ce-135, Ce-136, Ce-137, Ce-138, Ce-139, Ce-140, Ce-141, Ce-142 ve izotop oluşum toplam tesir kesitleri ile (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitinin mevcut deneyisel veriler (Bergere v.d 1969, Beil v.d 1971) ile uyumu incelenmiştir. Ayrıca, tesir kesitleri çok daha küçük olan izotoplar için ana grafikten başlayarak belirli bölgeler odaklandı ve bu bölgeler grafiklerde siyah çerçeveli kutucuklar içine alındı.

Ce-139' un mevcut iki deneyisel veri ile çok iyi uyumlu olduğu Grafik 4.8' den görülmektedir. Ce-138, Ce-140 ve Ce-141 eğrileri, sırasıyla, 18.83 MeV, 15.03 MeV ve

12.93 MeV’ de maksimum tesir kesitlerine sahiptirler. Bu izotopların tesir kesiti değişimi Grafik 4.8a’ da belirgin olarak görülmektedir. Grafik 4.8a incelendiğinde Ce-142’nin 6.97 MeV’ deki maksimumundan sonraki süreçte 10^{-3} mb. mertebesine kadar düştüğü görülmektedir. Ce-135 ve Ce-137’ ye ait eğrilerde 15.15 ve 15.42 MeV değerlerinde maksimum tesir kesitini verirler. Bu iki eğri biçimsel olarak çok benzerdir. Aynı uyum Grafik 4.8b’ de görülebilen Ce-134ve Ce-136 için de 17.34-28 MeV aralığında mevcuttur. Yine bu parça içinde Ce-138 in 9.70 MeV’ de bir maksimum vererek azaldığı ve 16.52 MeV’ de keskin bir yükseliş gösterdiği açıkça görülmektedir.

Sonuc olarak, izotopların toplam tesir kesitleri eğrisi incelendiğinde genel olarak, 6-17.65 MeV bölgesinde deneysel veri ile iyi uyumlu olduğu Grafik 4.8 ilk parça içinde göze çarpmaktadır.



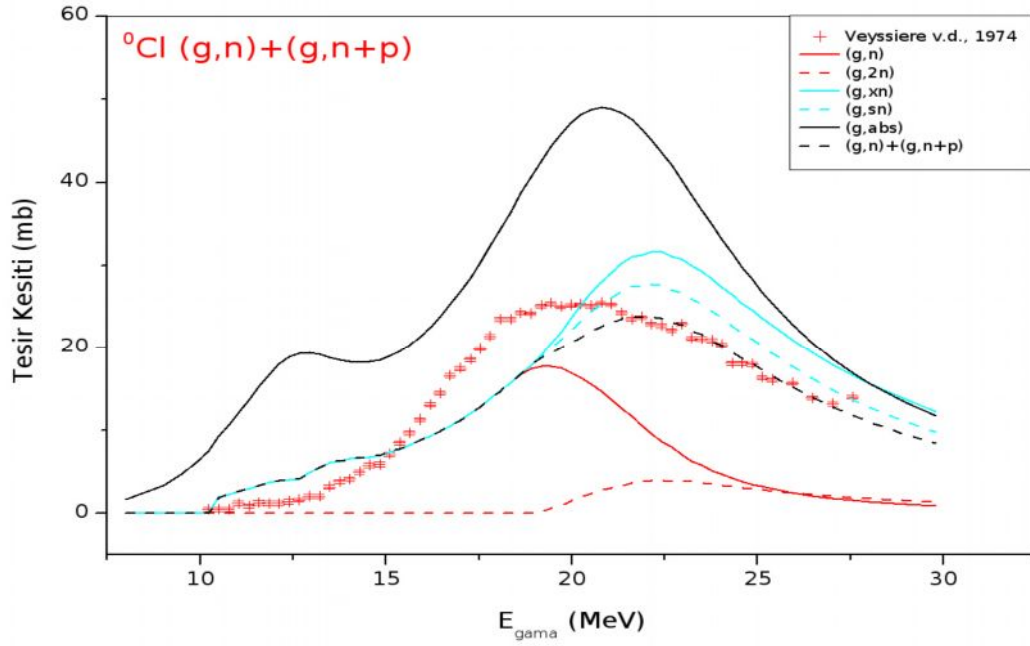
Grafik 4.8 Doğal Kadmiyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Farklı tesir kesiti mertebelerinde oluşan izotoplar grafiğin (a) ve (b) parçalarında gösterilmiştir. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (Ce-134) kırmızı katı çizgi; (Ce-135) kırmızı kesikli çizgi; (Ce-136) kırmızı noktali çizgi; (Ce-137) kırmızı kesik noktali çizgi; (Ce-138) açık mavi katı çizgi; (Ce-139) açık mavi kesikli çizgi; (Ce-140) açık mavi noktali çizgi; (Ce-141) açık mavi kesik noktali çizgi; (Ce-142) siyah katı çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

4.5 Doğal Cl ((γ,n)+($\gamma,n+p$)) Reaksiyonu

Ayrışma Enerjileri (MeV)										
İzotop	Bolluk (%)	γ,n	γ,p	γ,d	γ,t	$\gamma,^3\text{He}$	γ,α	$\gamma,2n$	γ,np	$\gamma,2p$
Cl-35	88.450	12.80	6.37	15.56	17.95	19.64	7.00	24.15	17.79	17.25
Cl-37	11.114	11.10	8.38	16.05	16.78	22.14	7.85	18.90	18.28	21.48

Grafik 4.9' da hedef doğal Cl çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 8 - 29.8 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), (g,2n), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Veyssiere v.d 1974) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

Grafik 4.9' da görüldüğü üzere (g,abs) 12.70 - 20.80 MeV değerlerinde 2 pik vermektedir. (g,n), (g,xn), (g,sn) ve (g,n)+(g,n+p) eğrileri 18.76 MeV' de birbirlerinden ayrılmaktadır. (g,n)+(g,n+p), (g,xn), (g,sn) deneysel verilerle eğrisel uyumlu artışlar gösterirken, (g,n) eğrisi azalma göstermektedir. (g,n)+(g,n+p) eğrisi 21.36 - 29.8 MeV aralığında deneysel veriler çok iyi uyum göstermektedir. (g,2n) reaksiyonu 18.9 MeV değerinde başlamakta ve 22.42 MeV değerinde maksimum tesir kesitine ulaştığı Grafik 4.9' da görülmektedir.

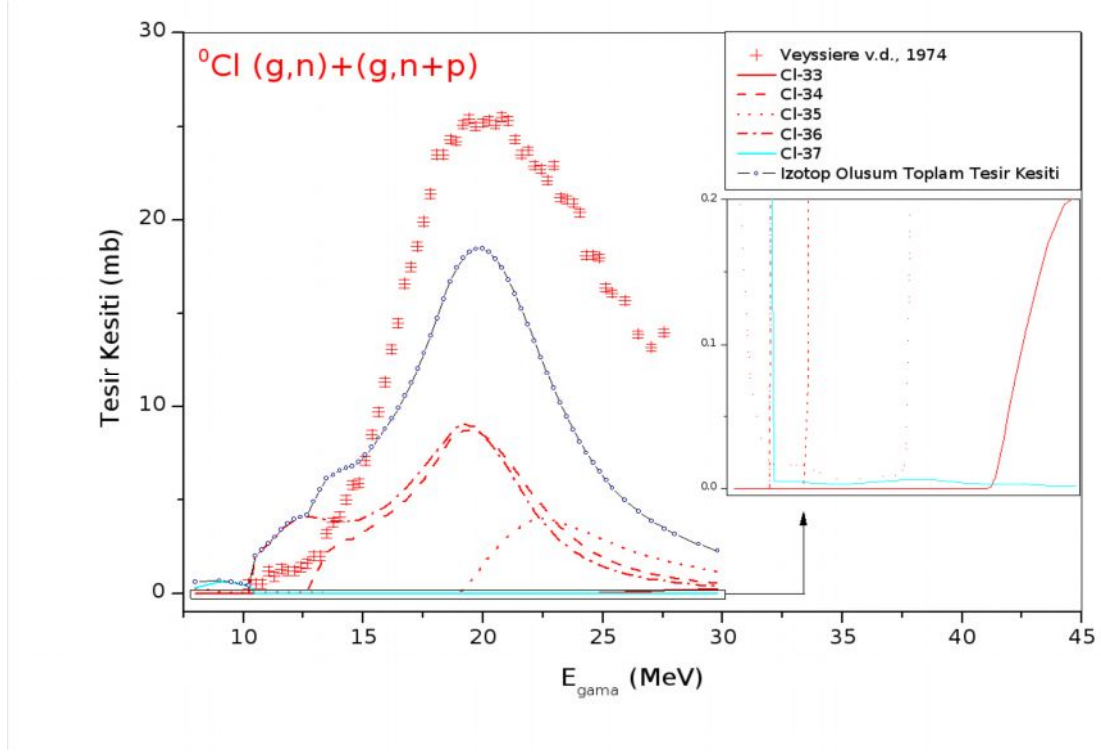


Grafik 4.9 Doğal Klor çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneysel veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; (g,2n) kırmızı kesik çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesik çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; (g,n)+(g,n+p) siyah kesik çizgi ile grafikte gösterilmiştir.

Grafik 4.10' da hedef doğal Cl çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 8 – 29.8 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n)+(g,n+p) reaksiyonunda Cl-34, Cl-35, Cl-36, Cl-37 ve izotop oluşum toplam tesir kesitleri ile (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitinin mevcut deneysel veri (Veyssiere v.d 1974) ile uyumu incelendi. Ayrıca tesir kesitleri çok daha küçük olan izotoplar için ana grafikten belirli bir kısım siyah çerçeve içine alınarak ok ile işaret edilmiştir.

Cl-34 ve Cl-36'nın benzer eğrilere sahip olarak 19.31 MeV enerji değerinde maksimum tesir kesitine sahip olduğu, Cl-36 ve İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti eğrilerinin 12.65 MeV değerine kadar çakışık olduğu Grafik 10'da görülmektedir. Cl-35 izotopuna ait tesir kesiti eğrisi, 22.35 MeV enerjisinde maksimum tesir kesitine sahiptir. Deneysel veriler ile uyumsuzluğun göze çarpmasına rağmen, maksimum tesir kesitine karşılık gelen enerji değerleri açısından bakıldığında uyum göze çarpmaktadır. Grafik içinde ele

alınan ve 10^{-1} mb. mertebesine odaklanılan kısım içinde Cl-33 ve Cl-37 izotoplarının oluşum tesir kesitleri değişimleri gösterilmiştir.



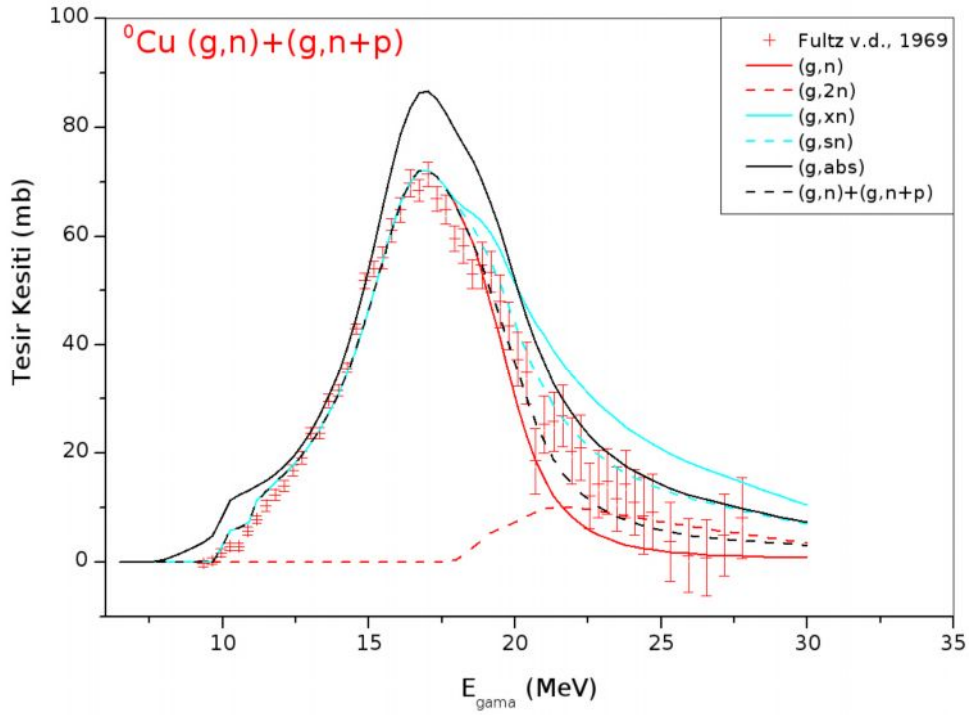
Grafik 4.10 Doğal Klor çekirdeğinden $(g,n)+(g,n+p)$ reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (Cl-33) kırmızı katı çizgi; (Cl-34) kırmızı kesikli çizgi; (Cl-35) kırmızı noktalı çizgi; (Cl-36) kırmızı kesik noktalı çizgi; (Cl-37) açık mavi katı çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

4.6 Doğal Cu ((γ,n)+($\gamma,n+p$)) Reaksiyonu

Ayrışma Enerjileri (MeV)										
İzotop	Bolluk (%)	γ,n	γ,p	γ,d	γ,t	$\gamma,^3\text{He}$	γ,α	$\gamma,2n$	γ,np	$\gamma,2p$
Cu-63	69.170	10.89	6.12	14.49	16.06	18.87	5.78	19.74	16.72	17.26
Cu-65	30.830	10.07	7.45	14.89	15.47	20.76	6.79	17.82	17.11	20.00

Grafik 4.11' de hedef doğal Cu çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 6.5 - 30 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), (g,2n), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Fultz v.d 1969) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

Grafik 4.11' de görüldüğü üzere (g,n), (g,n)+(g,n+p) hesaplamalarına ait eğriler 6.5-30 MeV enerji bölgesinde deneysel verilerle çok iyi uyumludur. Bu iki eğri, diğer eğrilerde de görüldüğü üzere, deneysel veriyle uyumlu olarak 17.02 MeV değerinde maksimum tesir kesitine ulaşmaktadır. Protonun reaksiyona daha belirgin katkısından ötürü 19.18 MeV değerinde bu iki eğri bir birinden ayrılmaktadır. (g,abs) eğrisi 6.5-15 MeV ve 20.60-30 MeV enerji bölgelerinde deneysel verilerle uyumludur. Deneysel verilerin mevcut olduğu enerji bölgesinde ise genel olarak uyum göstermektedir. (g,xn), (g,sn) eğrileri 17.94 MeV değerinde diğer eğrilerden artış göstererek ayrılmaktadır. (g,sn) sonuçları 6.5-30 MeV bölgesinde deneysel verilerle uyum gösterirken, (g,xn) eğrisi ayrışmanın gerçekleştiği 17.94 MeV değerinden sonra, deneysel verilerden uzaklaşmaktadır. (g,2n) eğrisi 17.94 MeV' de ilk tesir kesitini vermiştir. Ayrıca maksimum tesir kesiti verdiği 21.63 MeV değerine kadar artış gösterdikten sonra 30 MeV' e kadar azalır bu azalma deneysel verilerle çok iyi uyum göstermiştir.



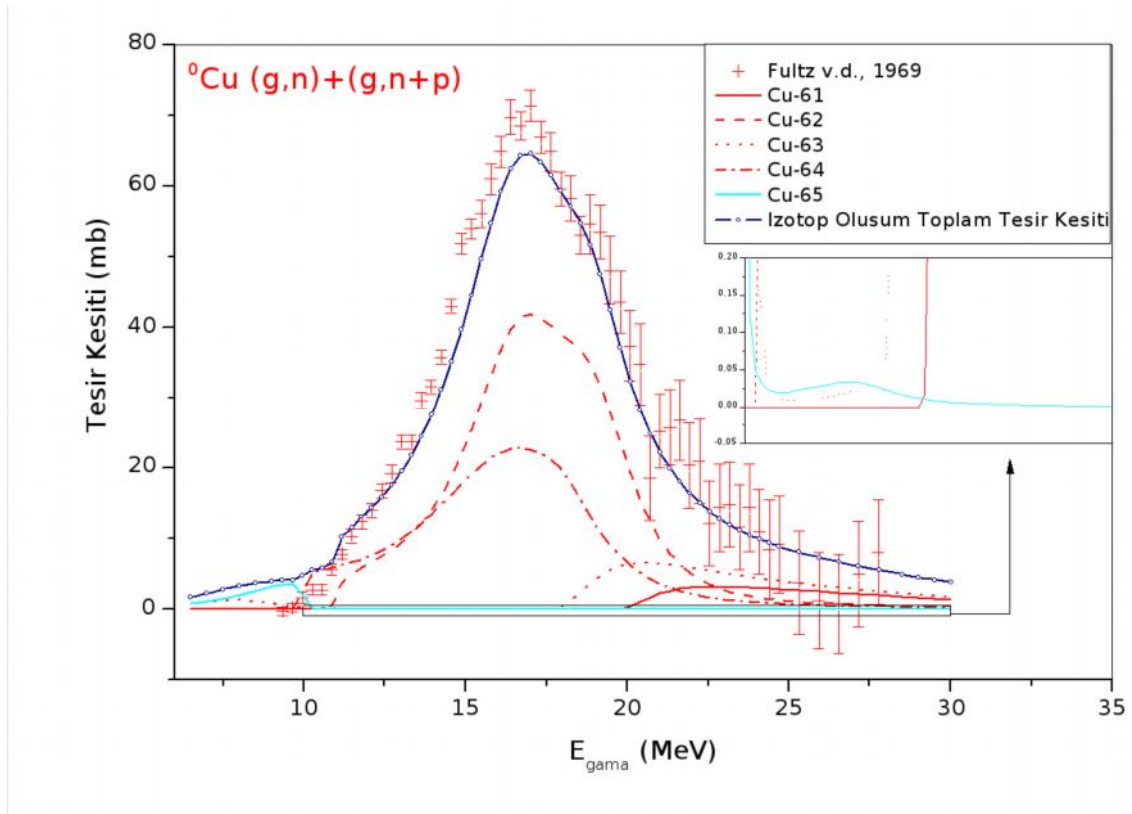
Grafik 4.11 Doğal Bakır çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneysel veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; (g,2n) kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; (g,n)+(g,n+p) siyah kesikli çizgi ile grafikte gösterilmiştir.

Grafik 12' de hedef doğal Cu çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 6.5 – 30 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n)+(g,n+p) reaksiyonunda Cu-61, Cu-62, Cu-63, Cu-64, Cu-65 ve izotop oluşum toplam tesir kesitlerinin mevcut deneysel veri (Fultz v.d 1969) ile uyumu incelendi. Ayrıca tesir kesitleri çok daha küçük olan izotoplar için ana grafikten belirli bir kısım siyah çerçeve içine alınarak ok ile işaret edilmiştir.

Cu-62' nin en büyük tesir kesitine sahip izotop olduğu Grafik 12' de görülmektedir. Maksimum tesir kesitine karşılık gelen enerji değeri noktasında Cu-62'nin deneysel veri ile uyumu söz konusudur. Ayrıca bu izotopun Cu-64 izotopu oluşum tesir kesiti eğrisi ile olan biçimsel uyumu da dikkat çekicidir. Buna benzer bir diğer ilişki de, Cu-61 ve Cu-63 arasında söz konusudur. Grafik içinde odaklanılan ve ok ile işaret edilen kutucuk

içinde ise; Cu-65'in tesir kesiti değişimi görülmektedir. Bu izotop 9.44 MeV değerinde maksimum verdikten sonra ani bir düşüş ile 10^{-2} mb. mertebesinde tesir kesitine sahip olmaktadır.

İzotopların oluşum tesir kesitleri toplamı olan izotop oluşum toplam tesir kesiti eğrisi, deneysel verinin mevcut olduğu enerji aralığı boyunca deneysel veri ile olan çok iyi uyumu Grafik 4.12'de görülmektedir.



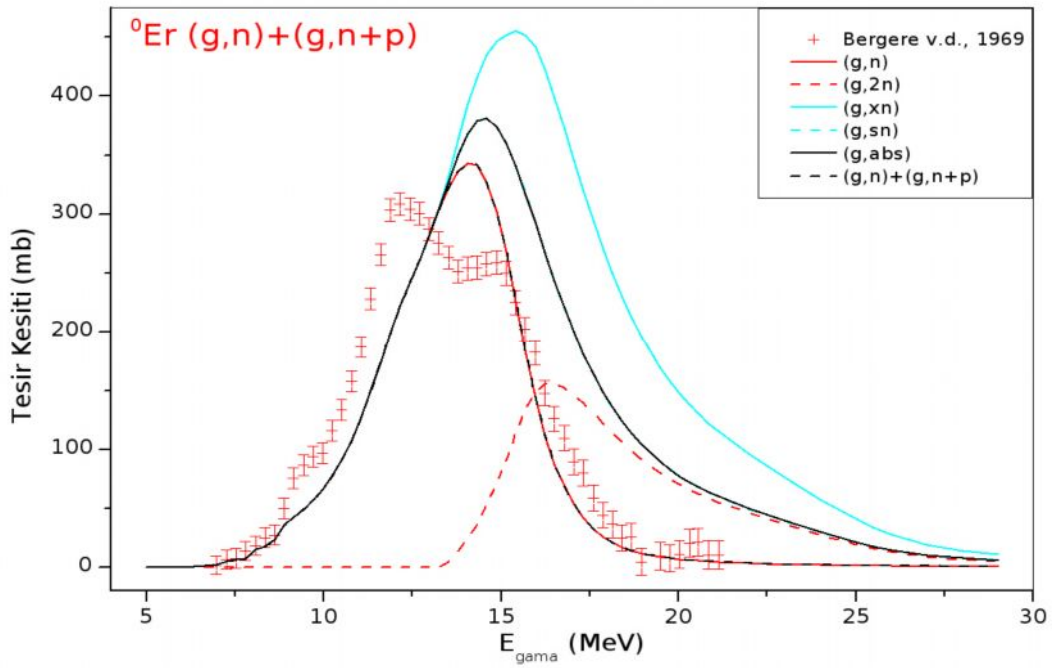
Grafik 4.12 Doğal Bakır çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (Cu-61) kırmızı katı çizgi; (Cu-62) kırmızı kesikli çizgi; (Cu-63) kırmızı noktalı çizgi; (Cu-64) kırmızı kesik noktalı çizgi; (Cu-65) açık mavi katı çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

4.7 Doğal Er ((γ,n)+($\gamma,n+p$)) Reaksiyonu

Ayrışma Enerjileri (MeV)										
İzotop	Bolluk (%)	γ,n	γ,p	γ,d	γ,t	$\gamma,^3\text{He}$	γ,α	$\gamma,2n$	γ,np	$\gamma,2p$
Er-162	0.139	9.26	6.43	13.09	13.96	---	0.00	16.43	15.31	11.24
Er-164	1.601	8.91	6.85	13.04	13.69	---	0.00	15.75	15.26	12.34
Er-166	33.501	8.52	7.32	13.08	13.50	---	0.00	15.12	15.30	---
Er-167	22.869	6.52	7.51	11.53	13.26	---	0.00	14.91	13.38	---
Er-168	26.978	7.85	8.00	13.06	13.04	---	0.00	14.20	15.28	---
Er-170	14.910	7.32	8.60	13.18	12.78	---	0.00	13.26	15.41	---

Grafik 4.13' de hedef doğal Er çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 5 - 29 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), (g,2n), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Bergere v.d 1969) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

(g,2n) eğrisi hariç hesaplama sonuçlarından elde edilen diğer eğriler 13.2 MeV değerinden sonra birbirinden ayrılmaktadır. Bu enerji değerine kadar olan bölgede eğriler deneysel verilerle uyum göstermektedir, fakat 12-15 MeV bölgesinde deneysel verilerdeki çift pik karakteri bu eğrilerde görülmemektedir. (g,n) ve (g,n)+(g,n+p) eğrileri bu çift pik karakterinin olduğu bölge dışında, özellikle 15 MeV den sonra deneysel verilerle çok iyi uyum gösterir. Eğrisel ayrışmanın olduğu 13.2 MeV' den sonra (g,xn), (g,sn), (g,abs) eğrileri pik noktalarına kadar yükselmekte ve bu piklerden deneysel verilerle eğrisel uyum gösterecek şekilde azalmaktadırlar. (g,2n) ise 13.52 MeV' de tesir kesiti vermektedir ve maksimum tesir kesiti 16.24 MeV değerine kadar artış gösterir. Bu değerden sonra diğer eğrilerle uyumlu şekilde azalmaya devam etmektedir.

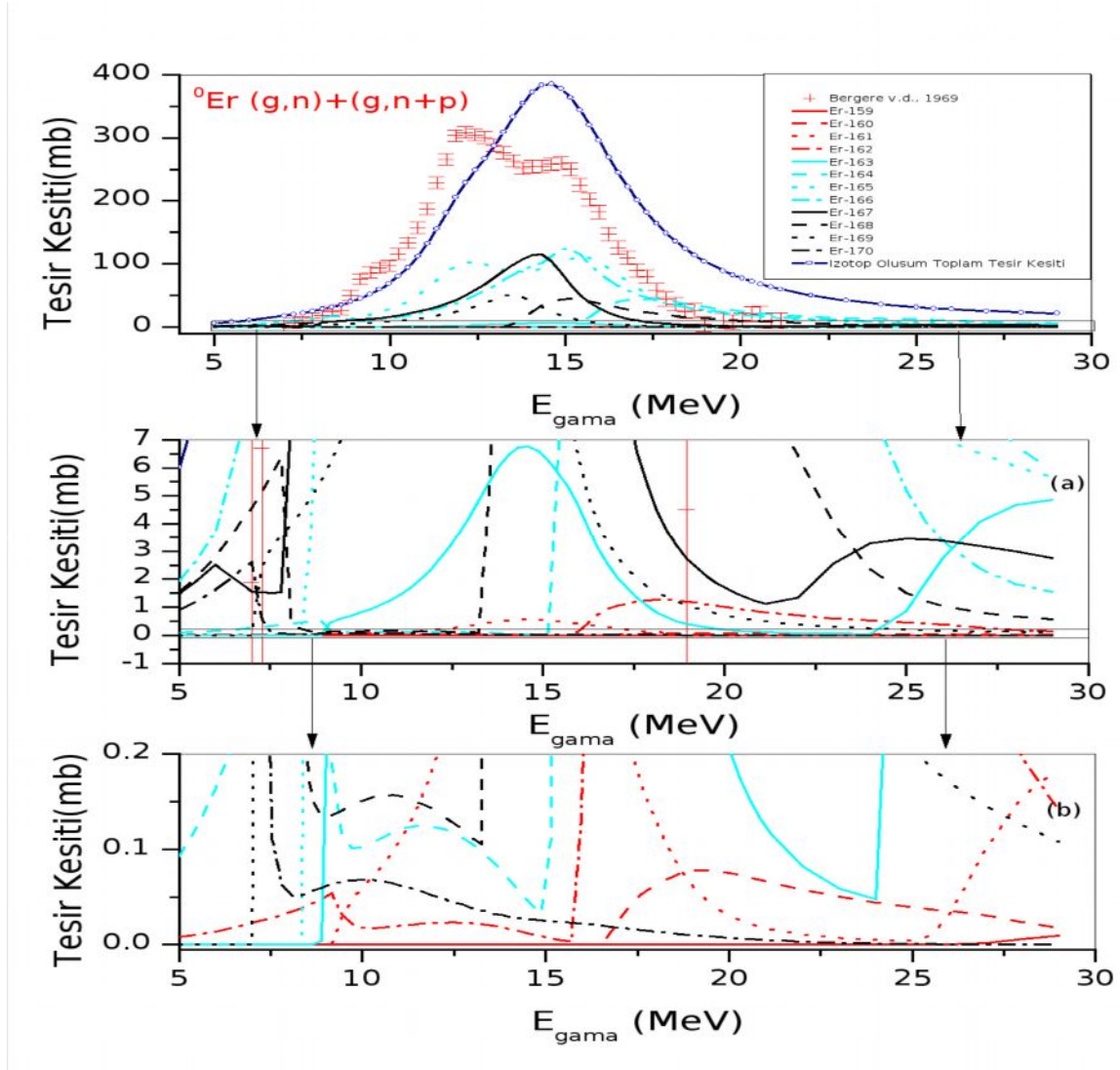


Grafik 4.13 Doğal Erbiyum çekirdeğinden $(g,n)+(g,n+p)$ reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneyel veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; $(g,2n)$ kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; $(g,n)+(g,n+p)$ siyah kesikli çizgi ile grafikte gösterilmiştir.

Grafik 4.14' de hedef doğal Er çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 5 – 30 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak $(g,n)+(g,n+p)$ reaksiyonunda Er-159, Er-160, Er-161, Er-162, Er-163, Er-164, Er-165, Er-166, Er-167, Er-168, Er-169, Er-170 ve izotop oluşum toplam tesir kesitlerinin mevcut deneyel veri (Bergere v.d 1969) ile uyumu incelenmiştir. Ayrıca tesir kesitleri çok daha küçük olan izotoplar için ana grafikten belirli bir kısım odaklanmıştır Grafik 4.14a ve daha sonra bu odaklanılan bölgede bir alana odaklama yapılmıştır Grafik 4.14b.

Er-164, Er-165, Er-166, Er-167, Er-168, Er-169'un diğer izotoplara oranla daha yüksek tesir kesiti değerlerine sahip oldukları Grafik 14' de görülmektedir. Er-165 izotopu tesir kesiti eğrisinin deneyel veri eğrisi ile olan biçimsel uyumu ilgi çekicidir. İzotoplara ait tesir kesiti eğrilerinden Er-169'a ait olan eğri hariç diğer eğriler, deneyel verinin 2. kez maksimum tesir kesitine ulaştığı enerji değerine yakın değerlerde maksimum

vermektedirler. Grafikte siyah çerçeveli alanlara odaklanılarak elde edilen Grafik 4.14a ve Grafik 4.14b parçalarında, tesir kesiti değerleri çok küçük olan diğer izotopların tesir kesiti değişimleri görülebilmektedir. İzotop oluşum toplam tesir kesiti eğrisel form olarak tek maksimum tesir kesiti noktası vermesine rağmen deneysel verinin iki maksimum noktası arasındaki bölge hariç deneysel veri ile eğrisel uyumu vardır.



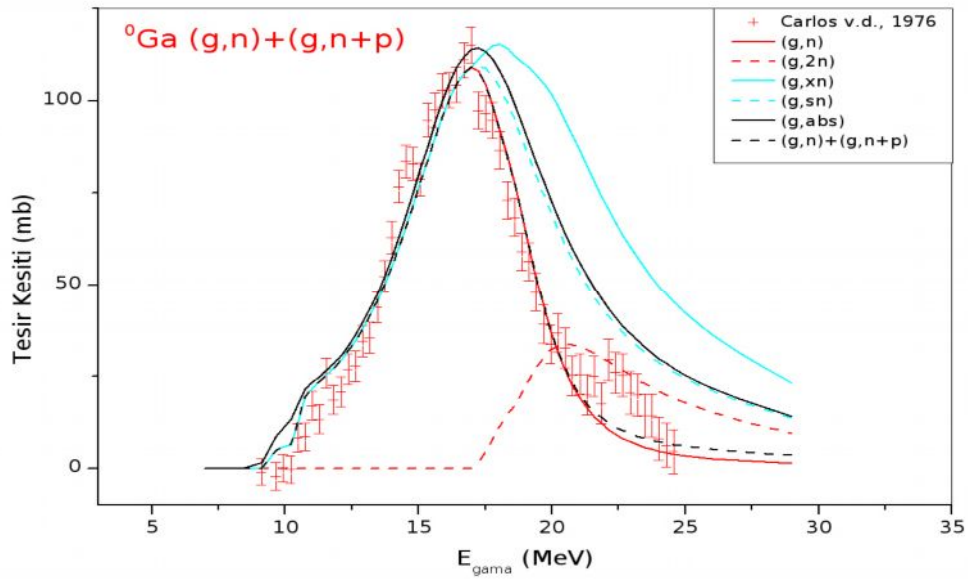
Grafik 4.14 Doğal Erbiyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Farklı tesir kesiti mertebelerinde oluşan izotoplar grafiğin (a) ve (b) parçalarında gösterilmiştir. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (Er-159) kırmızı katı çizgi; (Er-160) kırmızı kesikli çizgi; (Er-161) kırmızı noktalı çizgi; (Er-162) kırmızı kesik noktalı çizgi; (Er-163) açık mavi katı çizgi; (Er-164) açık mavi kesikli çizgi; (Er-165) açık mavi noktalı çizgi; (Er-166) açık mavi kesik noktalı çizgi; (Er-167) siyah katı çizgi; (Er-168) siyah kesikli çizgi; (Er-169) siyah noktalı çizgi; (Er-170) siyah kesik noktalı çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

4.8 Doğal Ga ((γ ,n)+(γ ,n+p)) Reaksiyonu

Ayrışma Enerjileri (MeV)										
İzotop	Bolluk (%)	γ ,n	γ ,p	γ ,d	γ ,t	γ , ^3He	γ , α	γ ,2n	γ ,np	γ ,2p
Ga-69	60.108	10.49	6.12	14.58	15.38	18.00	4.49	18.59	16.81	16.59
Ga-71	39.892	9.81	7.45	14.89	15.08	19.50	5.25	16.96	17.08	18.98

Grafik 4.15' de hedef doğal Ga çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 7 - 29 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), (g,2n), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Carlos v.d 1976) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

(g,n), (g,n)+(g,n+p) sonuçları deneysel verinin mevcut olduğu 9.11 - 24.56 MeV aralığında deneysel verilerle çok iyi uyumludur. Bu iki eğri deneysel verilerle uyumlu olarak 16.97 MeV değerinde maksimum tesir kesitini verir. (g,2n)' nin tesir kesiti verdiği 16.97 MeV değerine kadar diğer tüm eğriler deneysel verilerle çok iyi uyumludur. Bu değerden sonra (g,xn), (g,sn), (g,abs) eğrileri sapmalar göstermektedir, fakat 29 MeV' e kadar eğrisel uyumları mevcuttur. (g,2n) reaksiyonu 16.97 MeV değerinde başlamakta ve maksimum tesir kesitini 20.76 MeV değerinde vermektedir.



Grafik 4.15 Doğal Galyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneyel veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; (g,2n) kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; (g,n)+(g,n+p) siyah kesikli çizgi ile grafikte gösterilmiştir.

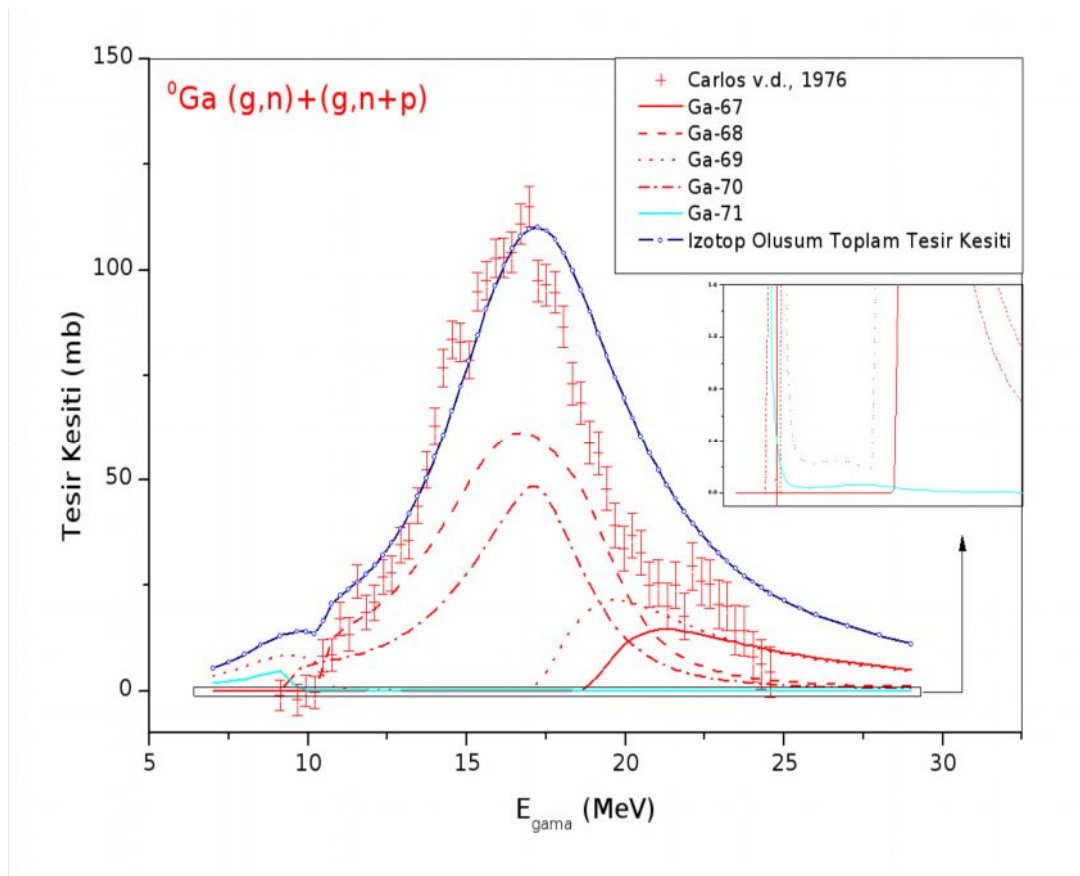
Grafik 4.16' da hedef doğal Ga çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 7 - 29 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n)+(g,n+p) reaksiyonunda Ga-67, Ga-68, Ga-69, Ga-70, Ga-71 ve izotop oluşum toplam tesir kesitlerinin mevcut deneysel veri (Carlos v.d 1976) ile uyumu incelendi. Ayrıca tesir kesitleri çok daha küçük olan izotoplar için ana grafikten belirli bir kısım siyah çerçeve içine alınarak ok ile işaret edilmiştir.

Ga-68 izotopunun en yüksek tesir kesitine sahip olduğu ve aynı zamanda deneysel veri ile aynı enerji değerinde maksimum tesir kesitine ulaştığı Grafik 16' da görülmektedir. Ayrıca bu eğri 6-12.87 MeV aralığında da deneysel veri ile uyumludur. Ga-70 izotopuna ait tesir kesiti eğrisi ile olan biçimsel benzerliği de göze çarpmaktadır.

Yukarıda Ga-68 ve Ga-70 izotoplarının biçimsel ilişkisine benzer bir ilişkinin Ga-67 ve Ga-69 arasında da olduğu görülmektedir. Aynı zamanda bu iki eğri 22.39 MeV sonrasındaki bölgede yaklaşık olarak üst üstedirler. Grafik içinde ok ile işaret edilen

kutucukta ise, 10^{-2} - 10^{-3} mb. mertebesinde tesir kesitine sahip olan Ga-71' in değışimi gösterilmiştir.

Son olarak, izotop oluşum toplam tesir kesiti eğrisinin deneysel veri ile birlikte maksimum tesir kesitine karşılık gelen 17.2 MeV değerine kadar çok iyi uyumlu olduğu görölmektedir. Bu değerdan sonra mevcut deneysel veri ile değersel farklılık artarken eğrisel biçimin uyumu devam etmektedir.



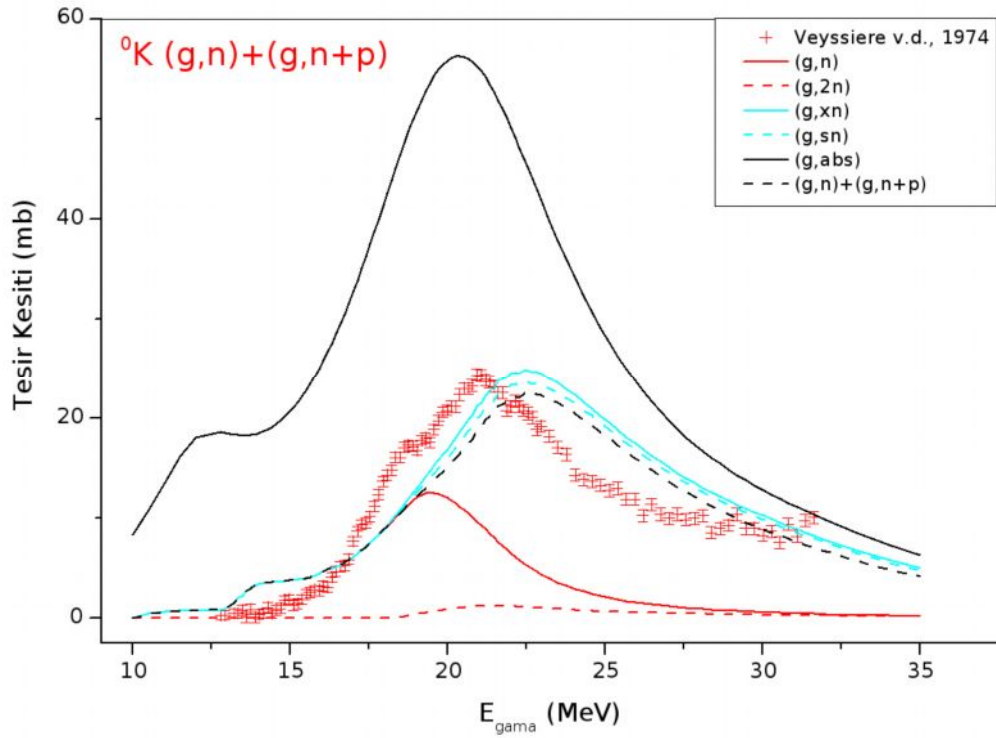
Grafik 4.16 Doğal Galyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (Ga-67) kırmızı katı çizgi; (Ga-68) kırmızı kesikli çizgi; (Ga-69) kırmızı noktalı çizgi; (Ga-70) kırmızı kesik noktalı çizgi; (Ga-71) açık mavi katı çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

4.9 Doğal K ((γ,n)+($\gamma,n+p$)) Reaksiyonu

İzotop	Bolluk (%)	Ayrışma Enerjileri (MeV)								
		γ,n	γ,p	γ,d	γ,t	$\gamma,^3\text{He}$	γ,α	$\gamma,2n$	γ,np	$\gamma,2p$
K-39	93.2581	13.21	6.38	16.00	18.53	19.22	7.22	25.15	18.22	16.62
K-40	0.0117	10.32	7.58	11.96	17.54	16.70	6.44	20.88	14.18	18.31
K-41	6.7302	10.13	7.72	15.45	15.80	20.70	6.22	17.89	17.68	20.34

Grafik 4.17' de hedef doğal K çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 10 - 35 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), (g,2n), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Veyssiere v.d 1974) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

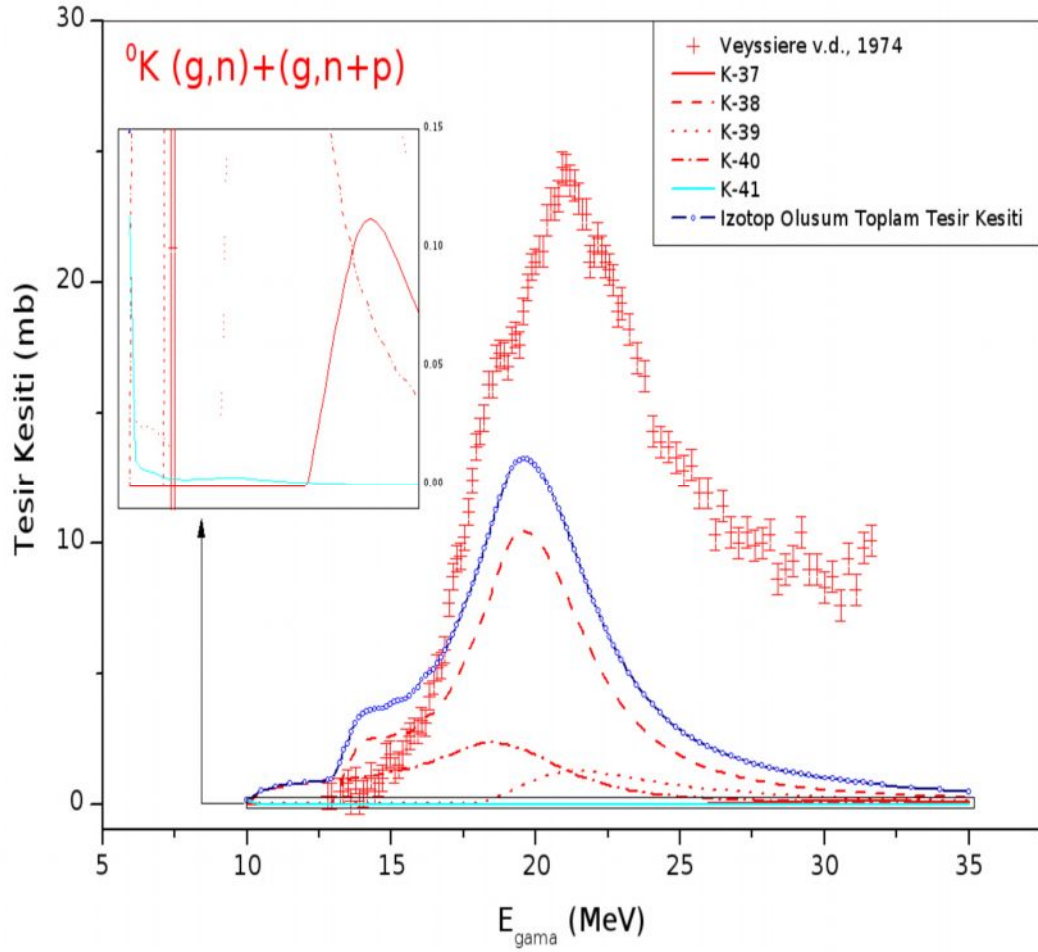
Grafik 4.17' de görüldüğü üzere; (g,abs) 12.32 - 20.32 MeV değerlerinde olmak üzere iki farklı tesir kesitine karşılık gelen iki pik vermektedir. (g,n), (g,xn), (g,sn) ve (g,n)+(g,n+p) eğrileri 18.63 MeV' de birbirlerinden ayrılmaktadır. (g,n)+(g,n+p), (g,xn), (g,sn) deneysel verilerle eğrisel uyum gösteren artışlar gösterirken, (g,n) eğrisi azalma göstermektedir. (g,n)+(g,n+p) eğrisi 21.63 - 31.24 MeV aralığında deneysel verilerle uyum göstermektedir. Aynı zamanda; bu enerji bölgesinde, (g,xn), (g,sn) sonuçları da, deneysel verilerle eğrisel uyumlu olarak azalmaktadır. (g,2n) reaksiyonu 17.95 MeV değerinde başlamakta 21.34 MeV değerinde maksimum tesir kesitine ulaşmaktadır.



Grafik 4.17 Doğal Potasyumyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneysel veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; (g,2n) kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; (g,n)+(g,n+p) siyah kesikli çizgi ile grafikte gösterilmiştir.

Grafik 4.18' de hedef doğal Ga çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 10 - 35 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n)+(g,n+p) reaksiyonunda K-37, K-38, K-39, K-40, K-41 ve izotop oluşum toplam tesir kesitlerinin mevcut deneysel veri (Veyssiere v.d 1974) ile uyumu incelendi. Ayrıca tesir kesitleri çok daha küçük olan izotoplar için ana grafikten belirli bir kısım siyah çerçeve içine alınarak ok ile işaret edilmiştir. Grafik 4.18' de açıkça görüldüğü üzere, K-38' in tesir kesit değeri en yüksektir. Bu eğri 19.48 MeV' de maksimuma ulaşırken deneysel veri için bu değer 21.37 MeV dir. Hesaplama sonuçlarında K-37 25.4 MeV, K-38 13.21 MeV, K-39, K-40 ve K-41 izotopları 10 MeV değerlerinde tesir kesiti vermektedirler. Grafik içinde ok ile işaret edilen kutucuk içinde ise 10 MeV' de 10^{-1} mb. mertebesinden sonra 10^{-4} mb. mertebesine kadar değişim gösteren K-41 izotopuna ait eğri görülmektedir.

İzotop oluşum toplam tesir kesiti 17.96 MeV' e kadar yer yer deneysel veri ile çakışsa da, genel olarak deneysel veri ile uyumsuzdur.



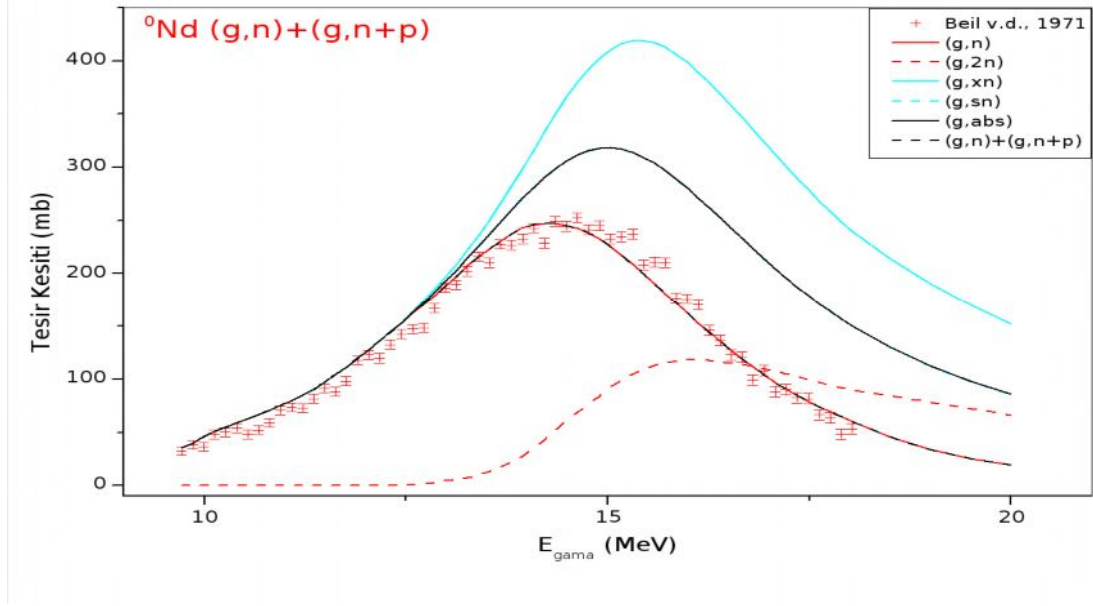
Grafik 4.18 Doğal Potasyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (K-37) kırmızı katı çizgi; (K-38) kırmızı kesikli çizgi; (K-39) kırmızı noktalı çizgi; (K-40) kırmızı kesik noktalı çizgi; (K-41) açık mavi katı çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

4.10 Doğal Nd ((γ,n)+($\gamma,n+p$)) Reaksiyonu

İzotop	Bolluk (%)	Ayrışma Enerjileri (MeV)								
		γ,n	γ,p	γ,d	γ,t	$\gamma,^3\text{He}$	γ,α	$\gamma,2n$	γ,np	$\gamma,2p$
Nd-142	0.139	10.02	7.22	14.40	---	---	0.81	17.85	16.62	12.45
Nd-143	1.601	7.70	7.50	11.12	---	---	0.00	15.95	13.35	---
Nd-144	33.501	8.56	7.96	13.10	12.68	---	0.00	13.94	15.32	---
Nd-145	22.869	6.45	7.97	11.50	12.60	---	0.00	13.57	13.38	---
Nd-146	26.978	7.63	8.58	13.31	12.80	---	0.00	13.32	13.72	---
Nd-148	14.910	7.38	9.25	---	---	---	0.00	12.63	15.54	---
Nd-150	14.910	7.49	9.92	---	---	---	0.44	12.42	16.06	---

Grafik 4.19' da hedef doğal Nd çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 9.72 - 20 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), (g,2n), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Beil v.d 1971) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

(g,n)+(g,n+p) hesaplama sonuçları 9.72 - 20 MeV enerji bölgesinde deneysel verilerle çok iyi uyumludur. (g,n), (g,n)+(g,n+p), (g,xn), (g,sn), (g,abs) eğrileri 12.45 MeV değerinde birbirlerinden ayrılmaktadır. Bu değerde (g,2n) reaksiyonu ilk tesir kesitini vermektedir. (g,xn), (g,sn), (g,abs) eğrileri, deneysel verilerden bu noktada artan tesir kesitleri değerleri ile sapmaya başlamasına rağmen eğrisel uyum göze çarpmaktadır. Bu üç eğri sırasıyla, 15.41 MeV ve 15.01 MeV değerlerinde maksimum tesir kesitine ulaşmaktadır.

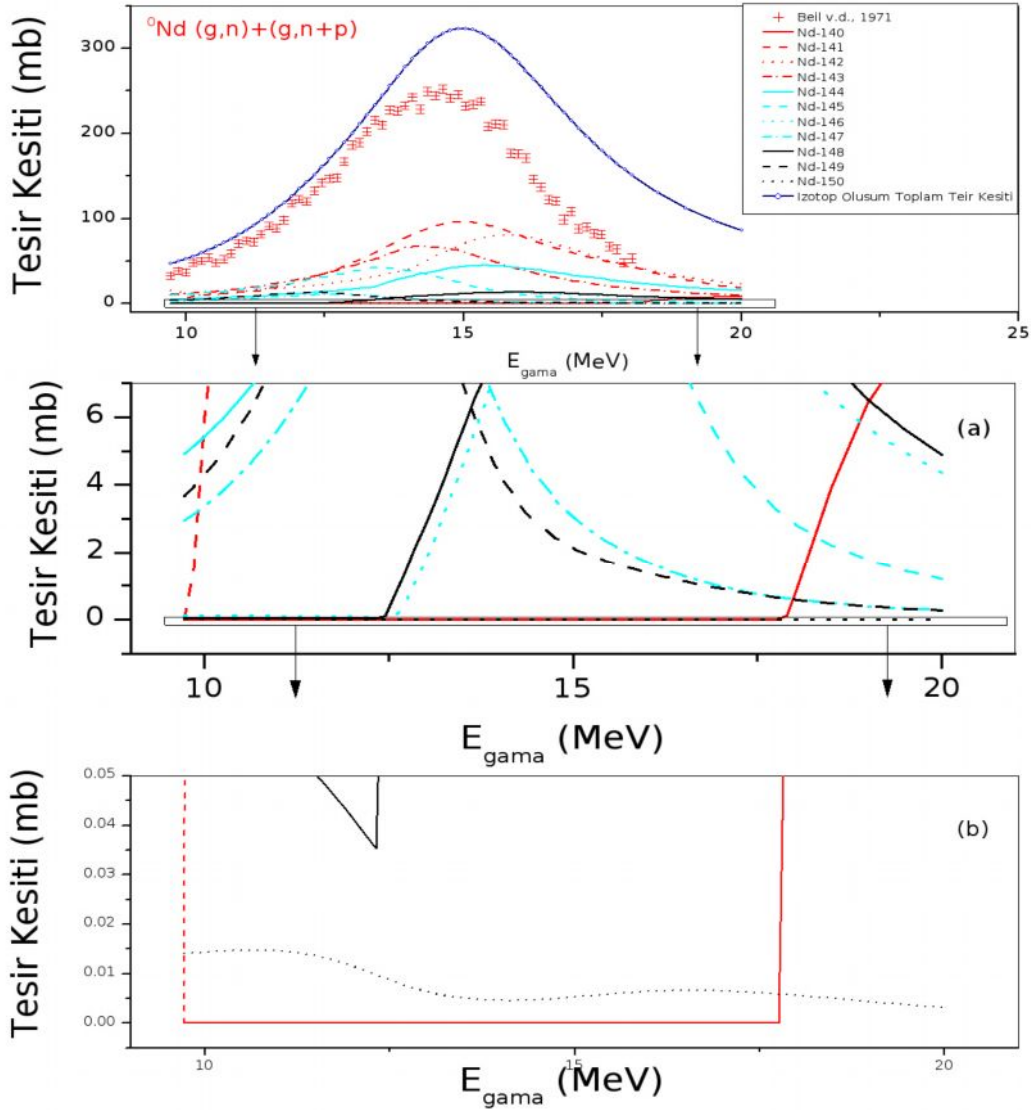


Grafik 4.19 Doğal Neodmiyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneysel veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; (g,2n) kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; (g,n)+(g,n+p) siyah kesikli çizgi ile grafikte gösterilmiştir

Grafik 4.20' de hedef doğal Nd çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 9.72 - 20 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n)+(g,n+p) reaksiyonunda Nd-140, Nd-141, Nd-142, Nd-143, Nd-144, Nd-145, Nd-146, Nd-147, Nd-148, Nd-149, Nd-150 ve izotop oluşum toplam tesir kesitlerinin mevcut deneysel veri (Beil v.d 1971) ile uyumu incelendi. Ayrıca, tesir kesitleri çok daha küçük olan izotoplar için ana grafikten belirli bir kısım odaklandı (Grafik 4.19a) ve daha sonra bu odaklanılan bölgede bir alana odaklama yapıldı (Grafik 4.19b). Bu parçalar, grafiklerin içinde siyah çerçeveye alınmış olarak gösterilmiştir.

Nd-141 ve Nd-143' e ait eğrilerin biçimsel benzerliği ve 15.93 MeV' den sonraki çakışıklığı göze çarpmaktadır. Genel olarak, bu değere kadar Nd-143' e ait eğrinin altında kalan Nd-141 izotopu eğrisi sonrasında daha büyük tesir kesitlerine sahiptir. Nd-144 ve Nd-145 tesir kesit eğrileri, bu eğrilerin altında kalmaktadır. Nd-141, Nd-143, Nd-144, Nd-145 eğrileri maksimum tesir kesitleri bakımından incelenecek olursa; sırasıyla, 15.03 MeV, 14.35 MeV, 15.44 MeV ve 13.4 MeV değerlerinde maksimum

tesir kesitlerine ulaşırlar. Yine aynı grafik içerisinde Nd-144 azalırken Nd-145' in artmasına benzer bir ilişki, sırasıyla, 15.99 MeV ve 12.45 Mev değerlerinde maksimum tesir kesitlerine ulaşan Nd-148 ve Nd-149 izotoplarına ait tesir kesiti eğrilerinde de mevcuttur. Grafik içinden alınan Grafik 4.19a ve Grafik 4.19b parçaları tesir kesitlerinin bu mertebelerdeki tesir kesitleri değişimlerini net bir şekilde göstermektedir. Özellikle Grafik 4.19b içinde Nd-150 izotopu oluşma tesir kesiti eğrisi gösterilmiştir.



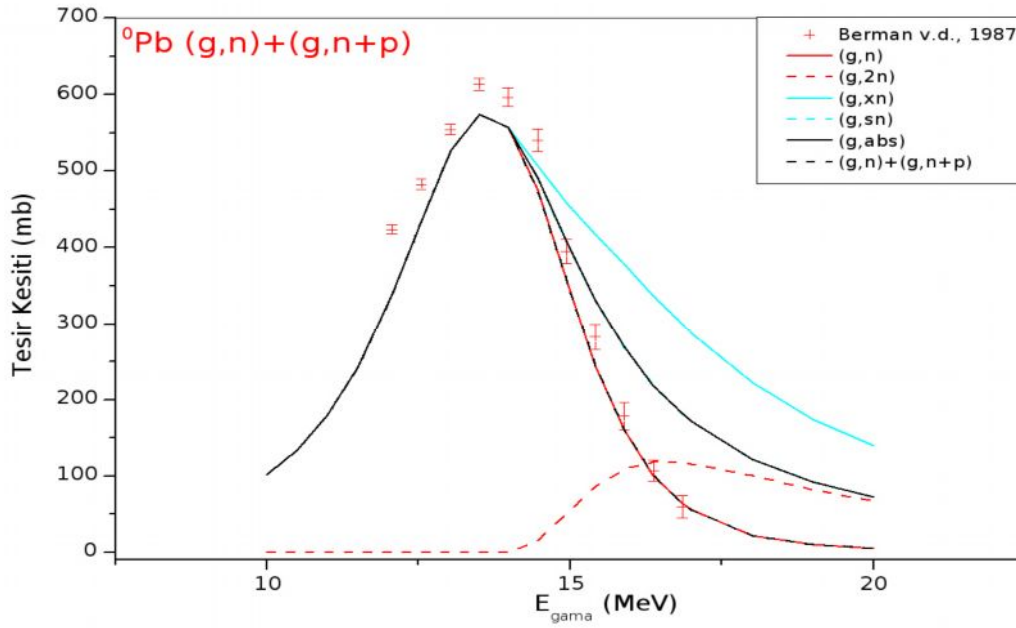
Grafik 4.20 Doğal Neodmiyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Farklı tesir kesiti mertebelerinde oluşan izotoplar grafiğin (a) ve (b) parçalarında gösterilmiştir. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (Nd-140) kırmızı katı çizgi; (Nd-141) kırmızı kesikli çizgi; (Nd-142) kırmızı noktali çizgi; (Nd-143) kırmızı kesik noktali çizgi; (Nd-144) açık mavi katı çizgi; (Nd-145) açık mavi kesikli çizgi; (Nd-146) açık mavi noktali çizgi; (Nd-147) açık mavi kesik noktali çizgi; (Nd-148) siyah katı çizgi; (Nd-149) siyah kesikli çizgi; (Nd-150) siyah noktali çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

4.11 Doğal Pb ((γ,n)+($\gamma,n+p$)) Reaksiyonu

İzotop	Bolluk (%)	Ayrışma Enerjileri (MeV)								
		γ,n	γ,p	γ,d	γ,t	$\gamma,^3\text{He}$	γ,α	$\gamma,2n$	γ,np	$\gamma,2p$
Pb-204	1.400	8.52	6.64	12.26	---	---	0.00	15.32	14.48	---
Pb-206	24.100	8.09	7.25	12.57	---	---	0.00	14.81	14.80	---
Pb-207	22.100	7.54	7.49	11.76	13.06	---	0.00	14.82	14.00	---
Pb-208	52.450	7.94	8.00	12.63	12.88	---	0.00	14.11	14.86	---

Grafik 4.21’de gama parçacığı yollanan doğal Pb çekirdeğinin, 10 - 20 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), (g,2n), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Berman v.d 1987) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

(g,n)+(g,n+p) hesaplama sonuçları, deneysel verinin mevcut olduğu 12.07 - 16.85 MeV enerji bölgesinde deneysel verilerle çok iyi uyumludur. (g,n), (g,n)+(g,n+p), (g,xn), (g,sn), (g,abs) 14.12 MeV değerinde birbirlerinden ayrılmaktadır. (g,2n) eğrisi hariç grafikte görülen diğer eğriler deneysel sonuçlarla tam uyumlu olarak 13.5 MeV değerinde maksimum tesir kesitlerine ulaşmıştır. (g,sn), (g,abs) eğrileri 15.03 MeV değerine kadar deneysel verilerle iyi uyum gösterirken, (g,xn) eğrisi 14.12 MeV değerinden sonra diğer verilerden net bir şekilde ayrılmaktadır. 14.46 MeV’ de tesir kesiti veren (g,2n) reaksiyonu 16.37 MeV’ de maksimum tesir kesitine ulaşmıştır.

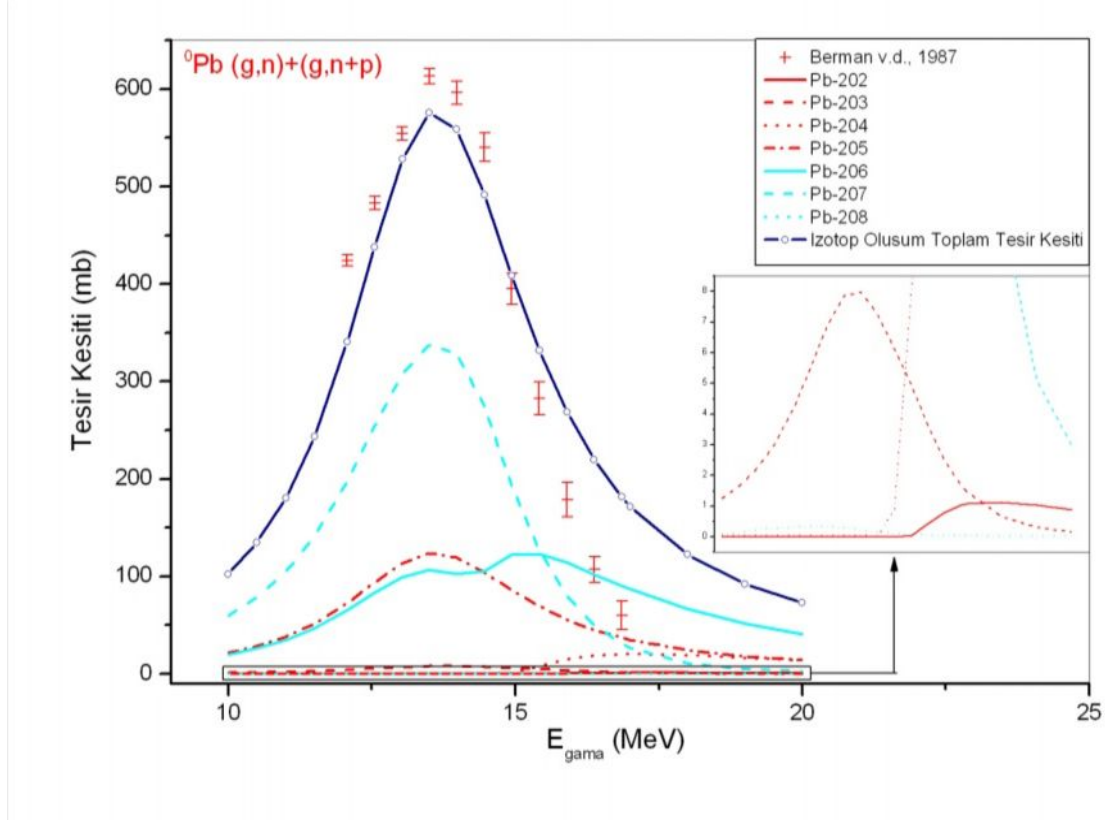


Grafik 4.21 Doğal Kurşun çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneyel veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; (g,2n) kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; (g,n)+(g,n+p) siyah kesikli çizgi ile grafikte gösterilmiştir.

Grafik 4.22' de hedef doğal Pb çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 10 - 20 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n)+(g,n+p) reaksiyonunda Pb-202, Pb-203, Pb-204, Pb-205, Pb-206, Pb-207 ve izotop oluşum toplam tesir kesitlerinin mevcut deneyel veri (Berman v.d 1987) ile uyumu incelendi. Ayrıca tesir kesitleri çok daha küçük olan izotoplar için ana grafikten belirli bir kısım siyah çerçeve içine alınarak ok ile işaret edilmiştir.

Genel olarak, Pb-207 en büyük tesir kesiti değerlerini vermektedir. Eğrilerin pik noktalarına karşılık gelen enerji değerlerine bakıldığında 13.48-13.51 MeV aralığında oldukları Grafik 4.22'de görülmektedir. Bu açıdan eğriler deneyel verinin pik'ine karşılık gelen enerji değeri ile çok iyi uyumludur. Farklılık olarak, Pb-206 eğrisi 13.51MeV ve 15.21 MeV noktalarında çift pik vermiştir. Ok ile işaret edilen kutucuk içerisinde ise tesir kesitleri diğer izotoplara göre çok daha küçük olan (0-8 mb.) Pb-202,

Pb-203 ve Pb-208' e ait tesir kesiti eğrileri görülmektedir. İzotopların oluşumlarının tesir kesitlerinin toplamı olan izotop oluşum toplam tesir kesiti eğrisinin ise 15.1 MeV değerine kadar deneysel veri ile çok iyi uyum gösterdiği Grafik 22' de görülmektedir.



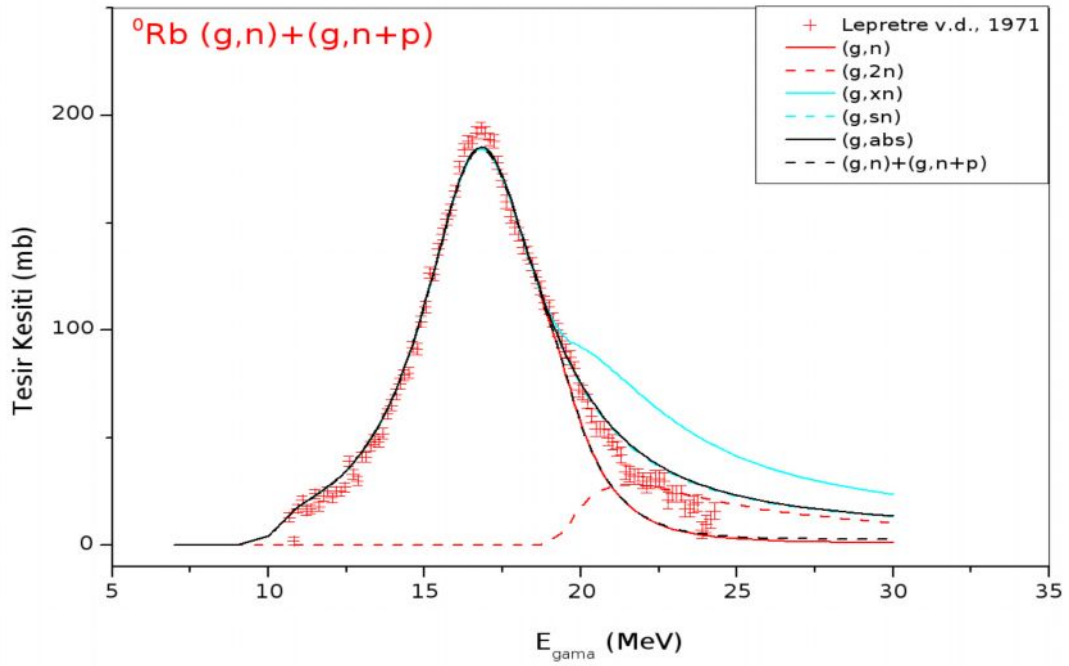
Grafik 4.22 Doğal Kurşun çekirdeğinden $(g,n)+(g,n+p)$ reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (Pb-202) kırmızı katı çizgi; (Pb-203) kırmızı kesikli çizgi; (Pb-204) kırmızı noktalı çizgi; (Pb-205) kırmızı kesik noktalı çizgi; (Pb-206) açık mavi katı çizgi; (Pb-207) açık mavi kesikli çizgi; (Pb-208) açık mavi noktalı çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

4.12 Doğal Rb ((γ,n)+($\gamma,n+p$)) Reaksiyonu

İzotop	Bolluk (%)	Ayrışma Enerjileri (MeV)								
		γ,n	γ,p	γ,d	γ,t	$\gamma,^3\text{He}$	γ,α	$\gamma,2n$	γ,np	$\gamma,2p$
Rb-85	72.170	10.74	7.03	15.32	16.53	---	6.62	19.24	17.55	17.74
Rb-87	27.830	10.41	8.62	16.25	17.12	---	8.01	18.57	18.48	20.57

Grafik 4.23’de gama parçacığı yollanan doğal Rb çekirdeğinin, 7 - 30 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), (g,2n), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Lepretre v.d 1971) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

Deneysel verilerin mevcut olduğu enerji bölgesi 10.50 - 19.25 MeV’ dir. Grafik 4.23’de gösterilen reaksiyon eğrilerinden (g,2n) hariç diğer eğriler deneysel verilerle çok iyi uyumludur. 19.25 MeV değerinde çizgisel ayrışma olduğu görülmektedir. Bu değerden sonra eğrisel uyum gösteren (g,n), (g,n)+(g,n+p) deneysel veriye göre azalırken; (g,xn), (g,sn), (g,abs) eğrileri artış göstermektedir. Burada bahsi geçen beş reaksiyon eğrisi de 16.78 MeV’ de deneysel veri ile uyumlu olarak maksimum tesir kesitine ulaştığı Grafik 4.23’de görülmektedir. Bu değişimler sırasında (g,xn) hariç, eğrisel uyum mevcuttur. (g,2n) reaksiyonu; hesaplamalarda 18.71 MeV’ de başlamakta olup, maksimum tesir kesitine sahip olduğu 21.57 MeV’ den sonra (g,sn) ve (g,abs) eğrileriyle uyumlu olduğu görülmektedir.



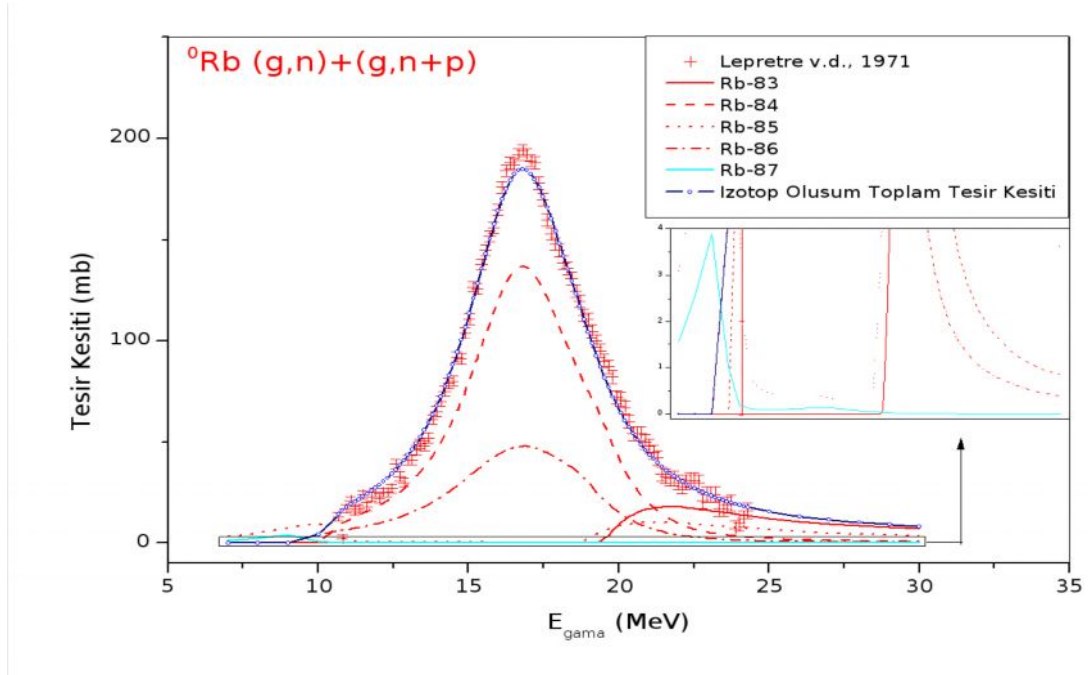
Grafik 4.23 Doğal Rubidyum çekirdeğinden $(g,n)+(g,n+p)$ reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneysel veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; $(g,2n)$ kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; $(g,n)+(g,n+p)$ siyah kesikli çizgi ile grafikte gösterilmiştir.

Grafik 4.24'de hedef doğal Rb çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 7 - 30 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak $(g,n)+(g,n+p)$ reaksiyonunda Rb-83, Rb-84, Rb-85, Rb-86, Rb-87 ve izotop oluşum toplam tesir kesitlerinin mevcut deneysel veri (Lepretre v.d 1971) ile uyumu incelenmiştir. Ayrıca tesir kesitleri çok daha küçük olan izotoplar için ana grafikten belirli bir kısım siyah çerçeve içine alınarak ok ile işaret edilmiştir.

Grafik 4.24' de belirgin olarak Rb-84 ve Rb-86 oluşum tesir kesitleri net olarak görülmektedir. Bu iki eğri deneysel verinin maksimum tesir kesitini gösterdiği 16.77 MeV değeri ile tam uyumludur. Bu uyum toplam oluşum tesir kesitinde de mevcuttur. Rb-83 ve Rb-85 izotoplarına ait eğrilerin biçimsel uyumu ilgi çekicidir. Bu iki eğri 19.95 MeV' de üst üste geldikten sonra tesir kesiti değerleri biraz arttıktan sonra 30

MeV' e doğru birbirlerine yaklaşılmaktadırlar. Grafik içinde ok ile gösterilen büyütülmüş bölgede 8.96 MeV' de maksimuma ulaşan Rb-87 eğrisi gösterilmiştir. Bu eğri diğerlerine oranla daha küçük tesir kesiti aralığına sahiptir (0-4 mb.).

Son olarak; izotop oluşum toplam tesir kesiti eğrisi incelendiğinde, deneysel verinin mevcut olduğu 10.7-24.3 MeV bölgesinde deneysel veri ile çok iyi uyumlu olduğu Grafik 26' da görülmektedir.



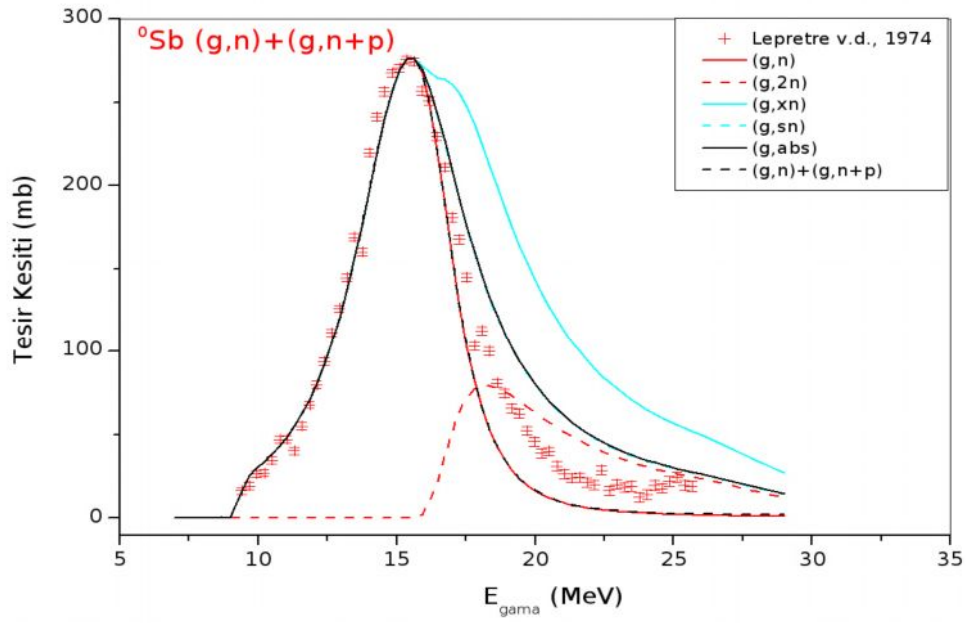
Grafik 4.24 Doğal Rubidyum çekirdeğinden $(g,n)+(g,n+p)$ reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (Rb-83) kırmızı katı çizgi; (Rb-84) kırmızı kesikli çizgi; (Rb-85) kırmızı noktalı çizgi; (Rb-86) kırmızı kesik noktalı çizgi; (Rb-87) açık mavi katı çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

4.13 Doğal Sb ((γ,n)+($\gamma,n+p$)) Reaksiyonu

Ayrışma Enerjileri (MeV)										
İzotop	Bolluk (%)	γ,n	γ,p	γ,d	γ,t	$\gamma,^3\text{He}$	γ,α	$\gamma,2n$	γ,np	$\gamma,2p$
Sb-121	57.210	9.25	5.78	12.66	12.89	---	3.07	16.26	14.89	16.47
Sb-123	42.790	9.03	6.57	13.16	13.07	---	3.94	15.77	15.38	---

Grafik 4.25’ de gama parçacığı yollanan doğal Sb çekirdeğinin, 7 - 29 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), (g,2n), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Lepretre v.d 1974) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

Deneysel verilerin mevcut enerji bölgesi 9.30 - 15.86 MeV aralığında, Grafik 4. 25’ de gösterilen reaksiyon eğrilerinden (g,2n) hariç diğer eğriler deneysel verilerle çok iyi uyumludur. Maksimum teorik olarak hesaplanan tesir kesiti 15.64 MeV değerinde görülmektedir. Bu deneysel veri ile uyum göstermektedir. 15.86 MeV değerinde ayrışma olduğu görülmektedir. 9.30 - 17.15 MeV aralığında deneysel verilerle iyi uyum gösteren (g,n), (g,n)+(g,n+p) azalırken (g,xn), (g,sn), (g,abs) eğrileri artış göstermektedir. Bu değişimler sırasında eğrisel uyum, Grafik 27’ de görülmektedir. (g,2n) reaksiyonu, hesaplamalarda 15.92 MeV’ de başlamakta olup maksimum tesir kesitine sahip olduğu 18.35 MeV’ den sonra (g,sn) ve (g,abs) eğrileriyle uyumlu bir eğriye sahip olarak azalmaya devam etmiştir.

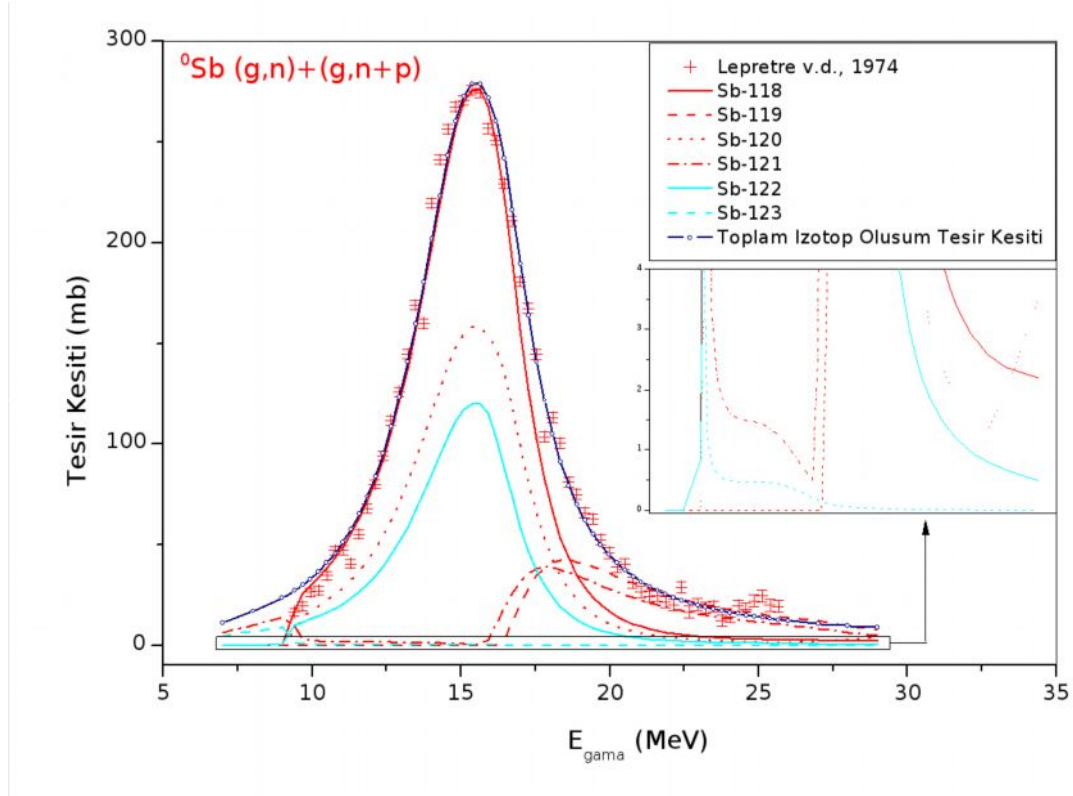


Grafik 4.25 Doğal Antimon çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. DeneySEL veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; (g,2n) kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; (g,n)+(g,n+p) siyah kesikli çizgi ile grafikte gösterilmiştir.

Grafik 4.26' da hedef doğal Sb çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 7 – 29 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n)+(g,n+p) reaksiyonunda Sb-118, Sb-119, Sb-120, Sb-121, Sb-122, Sb-123 ve izotop oluşum toplam tesir kesitlerinin mevcut deneySEL veri (Lepretre v.d 1974) ile uyumu incelenmiştir. Ayrıca tesir kesitleri çok daha küçük olan izotoplar için ana grafikten belirli bir kısım siyah çerçeve içine alınarak ok ile işaret edilmiştir.

Grafik 4.26' da belirgin olarak Sb-118' e ait eğrinin 9-16.50 MeV aralığında deneySEL veri ile net uyumu göze çarpmaktadır. DeneySEL verinin maksimum tesir kesiti değeri 15.37 MeV enerjisine karşılık gelmektedir. Sb-118, Sb-120 ve Sb-122 izotoplarına ait eğriler 15.64 MeV, 15.37 MeV ve 15.64 MeV değerleri sırasıyla bu maksimuma deneySEL veri ile uyumlu olarak maksimum noktaya ulaştıkları Grafik 4.26' da görülmektedir. Sb-119 ve Sb-121 ile Sb-120 ve Sb-122 arasında diğer doğal

çekirdeklerde görüldüğü gibi, ikili olarak benzer eğrisel biçme sahip olmaları dikkat çekicidir. Grafik içerisinde ayrıca Sb-123' ün tesir kesiti değişimleri (0-4 mb. aralığı) görülmektedir.



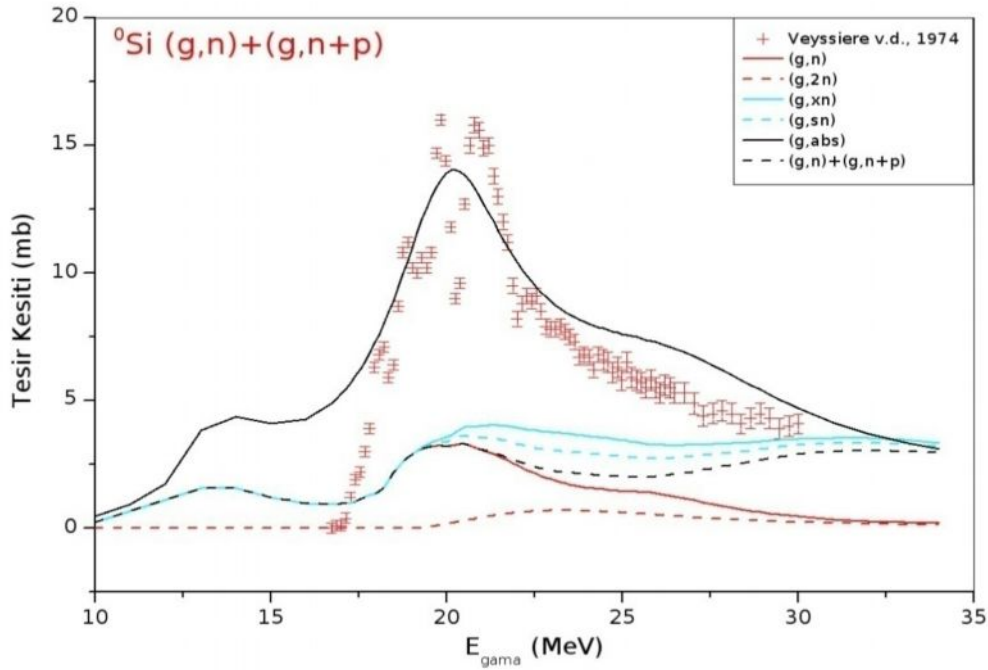
Grafik 4.26 Doğal Antimon çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (Sb-118) kırmızı katı çizgi; (Sb-119) kırmızı kesikli çizgi; (Sb-120) kırmızı noktali çizgi; (Sb-121) kırmızı kesik noktali çizgi; (Sb-122) açık mavi katı çizgi; (Sb-123) açık mavi kesikli çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

4.14 Doğal Si ((γ,n)+($\gamma,n+p$)) Reaksiyonu

Ayrışma Enerjileri (MeV)										
İzotop	Bolluk (%)	γ,n	γ,p	γ,d	γ,t	$\gamma,^3\text{He}$	γ,α	$\gamma,2n$	γ,np	$\gamma,2p$
Si-28	92.230	18.04	11.66	22.50	27.60	23.31	10.06	30.57	24.72	19.94
Si-29	4.683	10.17	12.33	17.83	24.63	20.61	11.13	25.65	20.06	21.89
Si-30	3.087	11.88	13.51	20.72	22.19	24.78	10.64	19.00	22.94	23.99

Grafik 4.27’de gama parçacığı yollanan doğal Si çekirdeğinin, 10 - 34 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), (g,2n), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Veyssiere v.d. 1974) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

Grafik 4.27’ de görüldüğü üzere, (g,abs) 14.02 - 20.20 MeV değerlerinde 2 pik vermektedir. Bu piklerden ikincisi deneysel verilerle uyumludur. Benzer şekilde (g,n), (g,xn), (g,sn) ve (g,n)+(g,n+p) eğrileri de hepsinde ortak olan 13.18 MeV birinci pik ve sırasıyla; 19.65MeV, 20.66 MeV, 20.51 MeV, 19.65 MeV değerlerinde olan ikinci piklere sahiptirler. Bu eğrilerdeki uyumsuzluklara rağmen, (g,abs) sonuçlarının 17.44 - 30.15 MeV aralığında deneysel verilerle uyumlu olduğu Grafik.27’ de görülmektedir. (g,2n) reaksiyonu 19.03 MeV değerinde başlamakta, 23.37 MeV değerinde maksimum tesir kesitine ulaşmaktadır.

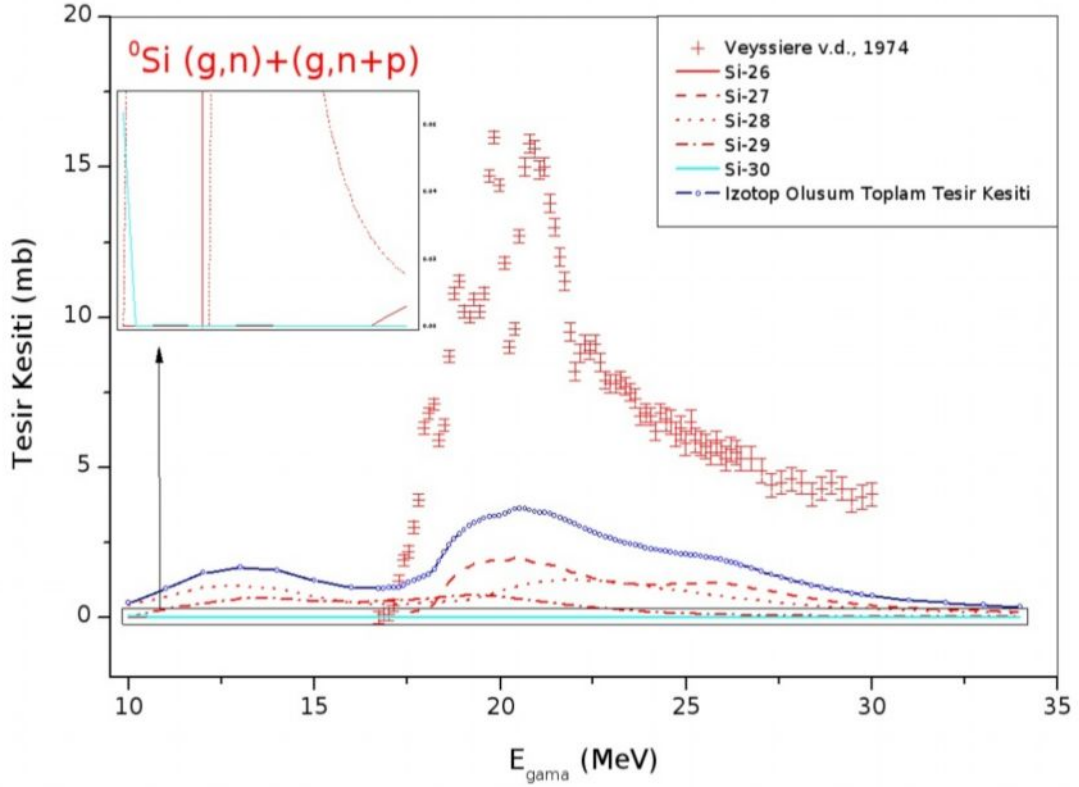


Grafik 4.27 Doğal Silisyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneysel veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; (g,2n) kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; (g,n)+(g,n+p) siyah kesikli çizgi ile grafikte gösterilmiştir.

Grafik 4.28' de hedef doğal Si çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 10 - 34 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n)+(g,n+p) reaksiyonunda Si-26, Si-27, Si-28, Si-29, Si-30 ve izotop oluşum toplam tesir kesitlerinin mevcut deneysel veri (Veyssiere v.d. 1974) ile uyumu incelenmiştir. Ayrıca tesir kesitleri çok daha küçük olan izotoplar için ana grafikten belirli bir kısım siyah çerçeve içine alınarak ok ile işaret edilmiştir.

Deneysel verilerle kodlar kullanılan hesaplamaların eğrileri incelendiğinde izotopların oluşum tesir kesitlerinin, reaksiyon tesir kesitine olan küçük katkısı Grafik 4.28' de net olarak görülmektedir. Buna karşılık Si-27 ve izotop oluşum toplam tesir kesiti eğrilerinde maksimum tesir kesiti değerine ulaşılan enerji değeri için uyum mevcuttur.

Ayrıca grafikte ok ile işaret edilen kutucuk içerisinde ($0 - 6 \cdot 10^{-2}$ mb. aralığında) Si-30 izotopunun oluşum reaksiyonuna ait tesir kesiti eğrisi gösterilmiştir.



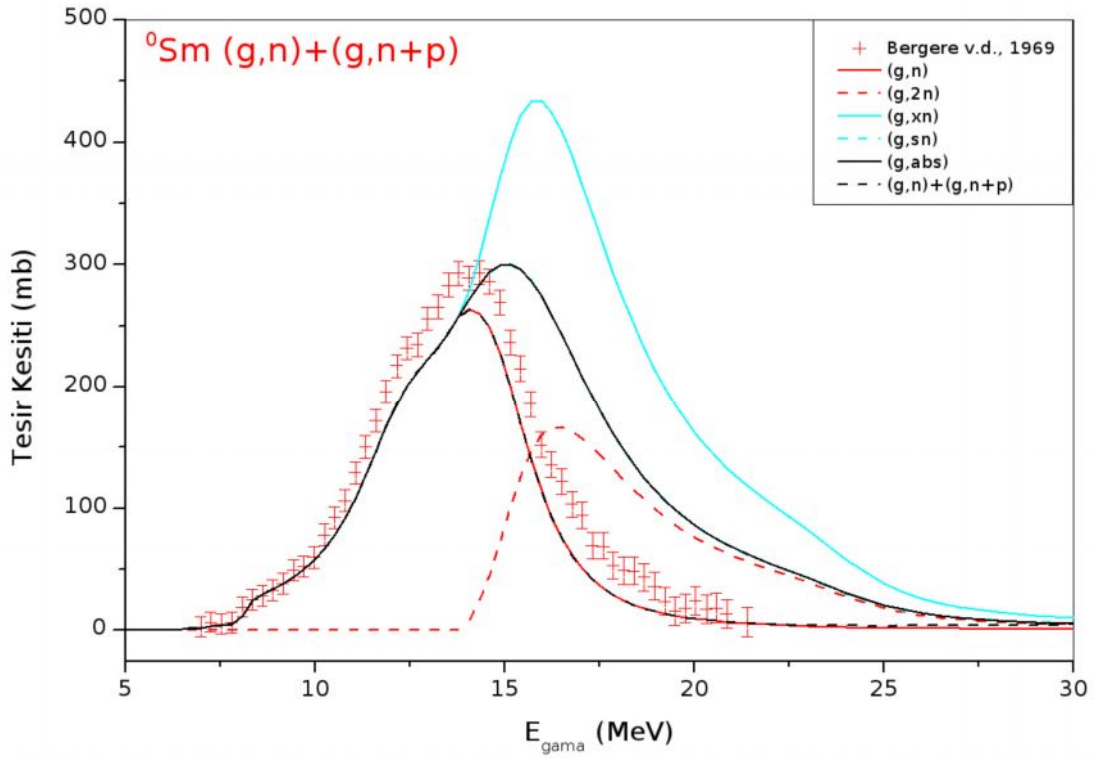
Grafik 4.28 Doğal Silisyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (Si-26) kırmızı katı çizgi; (Si-27) kırmızı kesikli çizgi; (Si-28) kırmızı noktalı çizgi; (Si-29) kırmızı kesik noktalı çizgi; (Si-30) açık mavi katı çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

4.15 Doğal Sm ((γ,n)+($\gamma,n+p$)) Reaksiyonu

İzotop	Bolluk (%)	Ayrışma Enerjileri (MeV)								
		γ,n	γ,p	γ,d	γ,t	$\gamma,^3\text{He}$	γ,α	$\gamma,2n$	γ,np	$\gamma,2p$
Sm-144	3.070	10.63	6.30	13.95	16.40	---	0.14	19.12	16.18	10.59
Sm-147	14.990	7.09	7.10	11.13	12.80	---	0.00	14.76	13.36	12.41
Sm-148	11.240	8.26	7.58	13.01	13.01	---	0.00	14.48	15.24	12.99
Sm-149	13.820	6.42	7.56	11.23	12.63	---	0.00	14.01	13.45	---
Sm-150	7.380	8.01	8.28	13.32	12.96	---	0.00	13.86	15.55	---
Sm-152	26.750	8.26	8.66	14.30	13.65	---	0.00	13.85	16.53	---
Sm-154	22.750	7.97	---	14.34	14.02	---	1.20	13.84	16.56	---

Grafik 4.29’da gama parçacığı yollanan doğal Sm çekirdeğinin, 4 - 30 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), (g,2n), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Bergere v.d 1969) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

(g,n), (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu TALYS 1.2 hesaplamalarına ait eğriler incelendiğinde, 5 - 30 MeV enerji bölgesinde mevcut deneysel verilerle iyi bir uyum içinde olduğu görülmektedir. Eğriler 13.87 MeV değerinde birbirlerinden ayrılmaktadır. (g,2n) hariç diğer eğriler; (g,n) ve (g,n)+(g,n+p) - 14.06 MeV, (g,xn) - 15.96 MeV, (g,sn) ve (g,abs) - 15.15 MeV değerlerinde maksimum tesir kesitinde oldukları görülmüştür. Bu enerji değerinden sonra (g,n) ani bir yükseliş gösterirken, (g,sn) ve (g,abs) eğrilerinde daha yumuşak bir artış görülmektedir. (g,2n) hesaplama sonuçlarında 14.06 MeV’ de ilk tesir kesitini verdiği ve 16.45 MeV değerinde de maksimum tesir kesitine ulaştığı görülmektedir. Ayrıca 18.66 MeV değerinden itibaren (g,sn) ve (g,abs) eğrileri ile bir uyum içinde azalmaktadır.



Grafik 4.29 Doğal Samaryum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneysel veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; (g,2n) kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; (g,n)+(g,n+p) siyah kesikli çizgi ile grafikte gösterilmiştir.

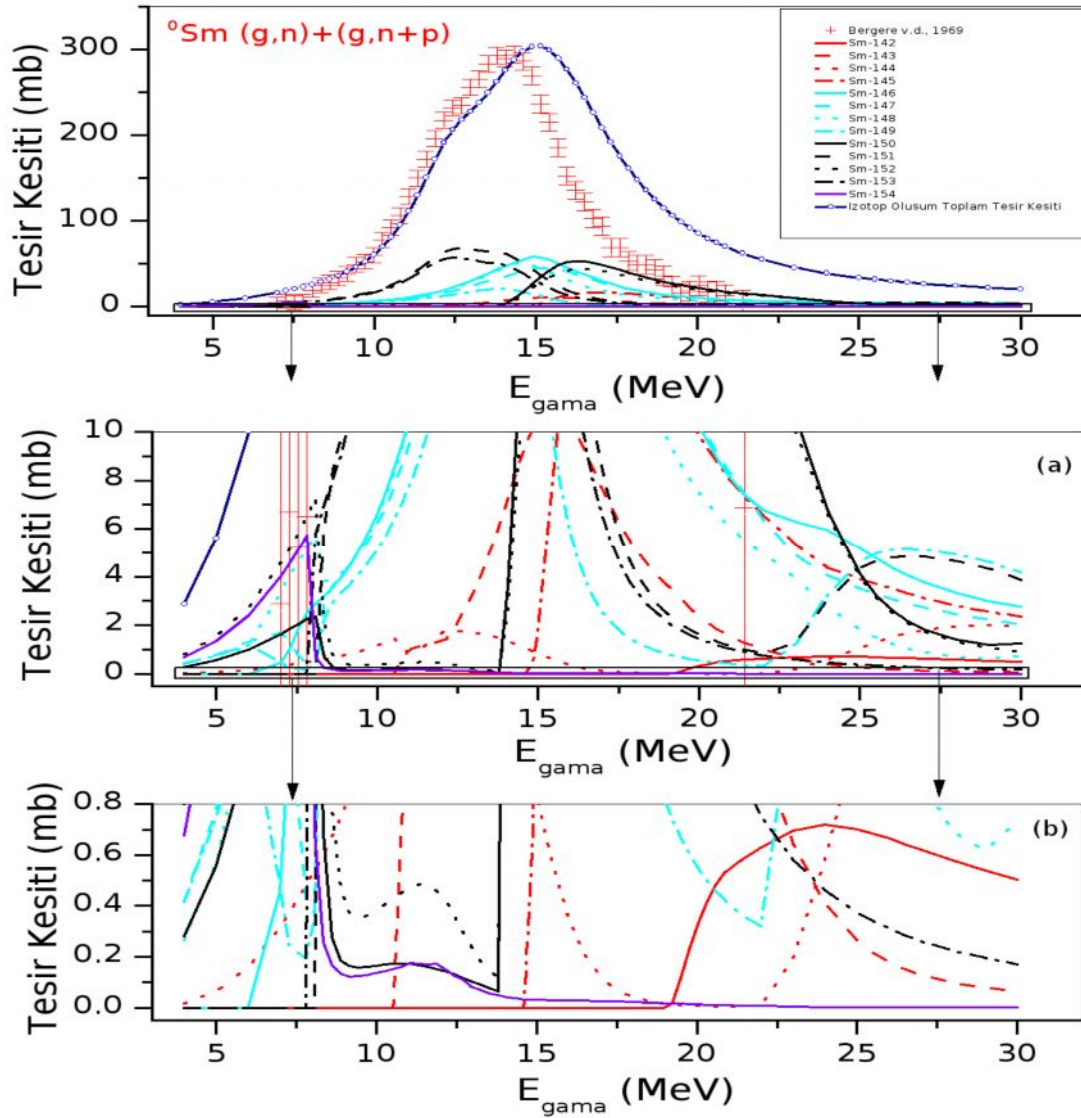
Grafik 4.30' da hedef doğal Sm çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 4 - 30 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n)+(g,n+p) reaksiyonunda Sm-142, Sm -143, Sm-144, Sm-145, Sm-146, Sm-147, Sm-148, Sm-149, Sm-150, Sm-151, Sm-152, Sm-153, Sm-154 ve izotop oluşum toplam tesir kesitlerinin mevcut deneysel veri (Bergere v.d 1969) ile uyumu incelenmiştir. Ayrıca tesir kesitleri çok daha küçük olan izotoplar için ana grafikten belirli bir kısım odaklandı (Grafik 4.30a) ve daha sonra bu odaklanılan bölgede bir alana odaklama yapıldı (Grafik 4.30b). Bu parçalar, grafiklerin içinde siyah çerçeveye alınmış olarak gösterilmiştir.

Sm-151 ve Sm-153 eğrileri arasındaki biçimsel benzerlik Grafik 4.30' da göze çarpmaktadır. Benzer ilişki Sm-150 – Sm-152, Sm-146 – Sm-147 eğri ikililerinde de

görülmektedir. Tesir kesitleri değerlendirildiğinde en büyük katkıyı Sm-151 izotopunun yaptığı Grafik 4.30' da görülmektedir. Maksimum tesir kesitine ulaşılan enerji değerlerine bakıldığında; deneysel veri 14.07 MeV, Sm-151 – Sm-153 12.51 MeV, Sm-150 – Sm-152 sırasıyla 14.51-16.24 MeV ve Sm-146 – Sm-147 sırasıyla 14.88 MeV ve 15.15 MeV enerji değerlerinde maksimum tesir kesitlerine ulaştıkları görülmektedir. Bu açıdan en iyi uyumlu olan Sm-146 izotopunun değeridir.

Grafik 4.30a ve Grafik 4.30b parçalarında daha küçük tesir kesiti verilerine sahip izotopların eğrileri detaylandırılmıştır. 4-8 MeV aralığında Sm-148, Sm-150, Sm-152, Sm-154 eğrilerindeki biçim bezerliği 8-13 MeV bölgesinde Sm-152, Sm-153 eğrilerinin arasında da görülmektedir.

İzotop oluşum toplam tesir kesiti eğrisi, 4-14.78 MeV aralığında deneysel veri ile net bir uyum göstermektedir. Bu uyum maksimum tesir kesitine ulaşılan enerji değeri içinde geçerlidir. Bu değerden sonra eğri, deneysel verilere göre sağa doğru kayma yapsa da eğrisel biçim benzerliği dikkat çekmektedir.



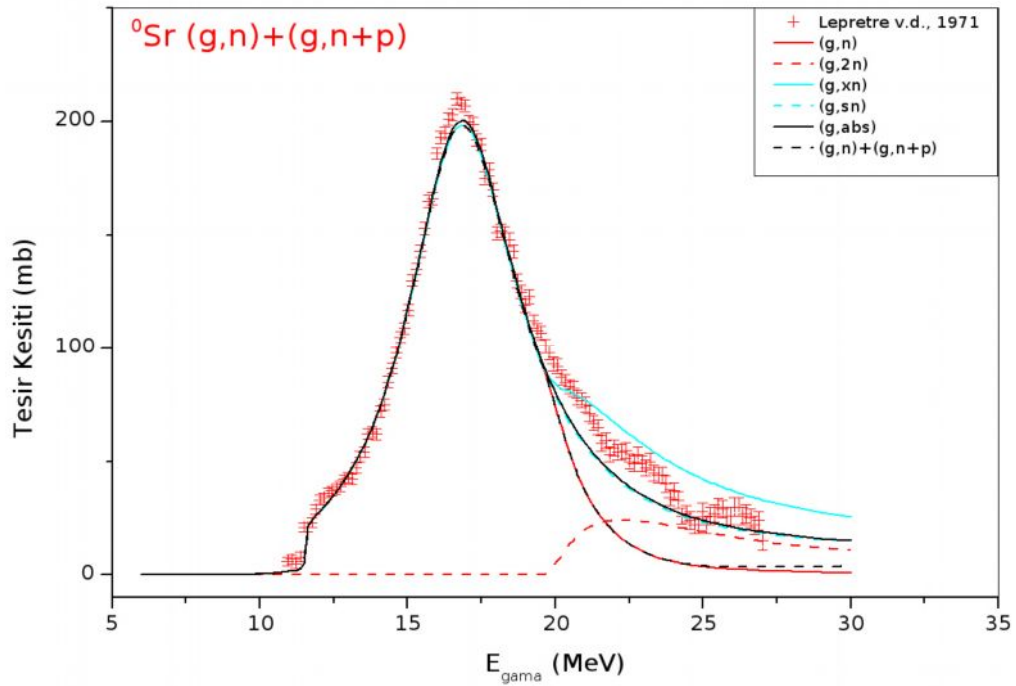
Grafik 4.30 Doğal Samaryum çekirdeğinden $(g,n)+(g,n+p)$ reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Farklı tesir kesiti mertebelerinde oluşan izotoplar grafiğin (a) ve (b) parçalarında gösterilmiştir. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (Sm-142) kırmızı katı çizgi; (Sm-143) kırmızı kesikli çizgi; (Sm-144) kırmızı noktali çizgi; (Sm-145) kırmızı kesik noktali çizgi; (Sm-146) açık mavi katı çizgi; (Sm-147) açık mavi kesikli çizgi; (Sm-148) açık mavi noktali çizgi; (Sm-149) açık mavi kesik noktali çizgi; (Sm-150) siyah katı çizgi; (Sm-151) siyah kesikli çizgi; (Sm-152) siyah noktali çizgi; (Sm-153) siyah kesik noktali çizgi; (Sm-154) mor katı çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

4.16 Doğal Sr ((γ,n)+($\gamma,n+p$)) Reaksiyonu

Ayrışma Enerjileri (MeV)										
İzotop	Bolluk (%)	γ,n	γ,p	γ,d	γ,t	$\gamma,^3\text{He}$	γ,α	$\gamma,2n$	γ,np	$\gamma,2p$
Sr-84	0.560	11.96	8.86	17.59	20.14	17.88	5.18	20.78	19.81	14.63
Sr-86	9.860	11.72	9.64	17.90	20.40	---	6.36	20.02	20.13	16.67
Sr-87	7.000	9.50	9.42	15.85	20.08	---	7.32	19.92	18.07	17.98
Sr-88	82.580	11.50	10.61	18.31	20.70	---	7.91	19.54	20.53	19.23

Grafik 4.31’de gama parçacığı yollanan doğal Sr çekirdeğinin, 6 - 30 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), (g,2n), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Lepretre v.d 1971) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

Grafik 4.31’ den de açıkça görüleceği üzere, 10.94 - 19.88 MeV (eğrisel ayrışmanın olduğu enerji) bölgesinde TALYS 1.2 kodu ile yapılan hesaplamalar, deneysel verilerle çok iyi uyum göstermektedir. Eğrilerin birbirinden ayrıldığı 19.88 MeV değerinden sonra, (g,sn) ve (g,abs) sonuçları deneysel verilerle uyumuna devam ederken, (g,n) ve (g,n)+(g,n+p) eğrisi düşüş gösterirken, (g,xn) ise deneysel verilere yakın bir şekilde artış göstermektedir. Bunun yanı sıra (g,2n) reaksiyonu 19.67 MeV’ de oluşmaya başlamakta ve 21.98 MeV’ de maksimum tesir kesitini vermektedir. Bunun dışında ki bütün eğriler 16.78 MeV’ de maksimum tesir kesitine ulaşmaktadırlar.



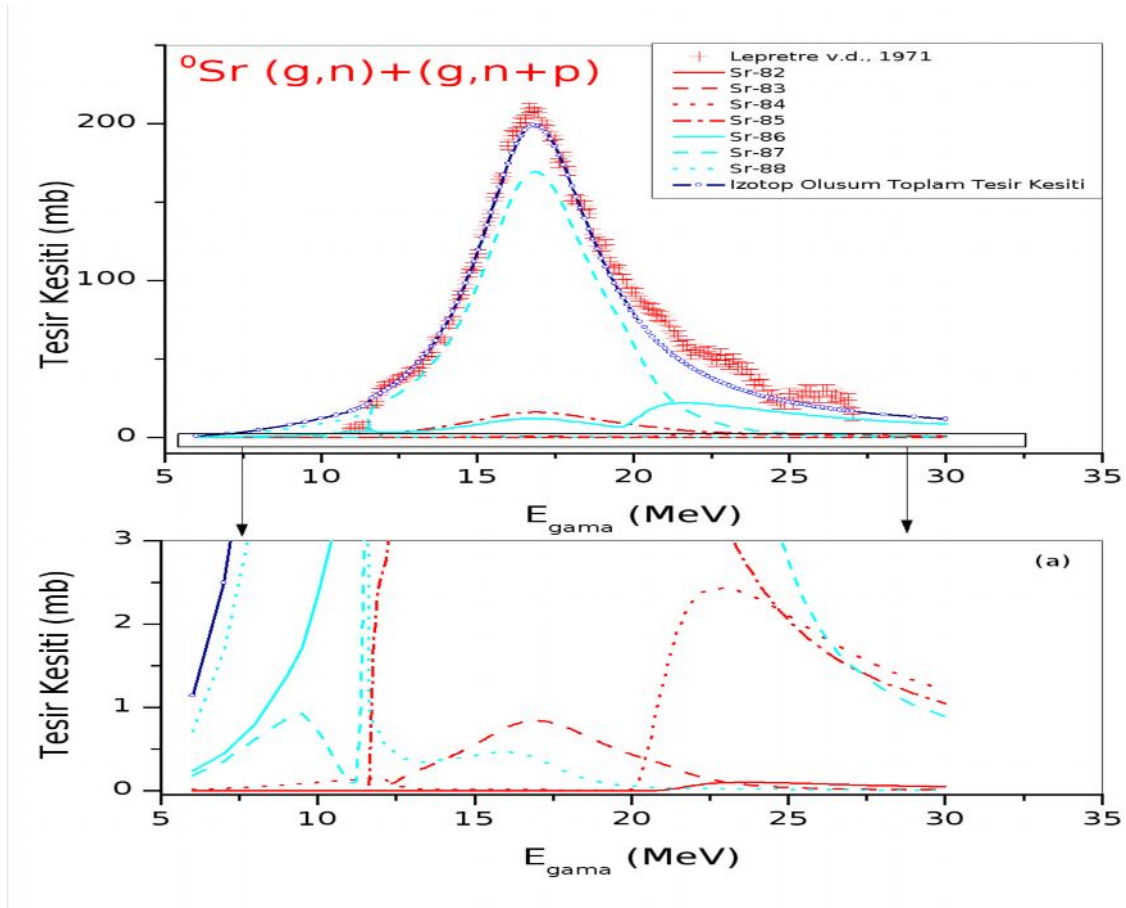
Grafik 4.31 Doğal Stronsiyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneysel veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; (g,2n) kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; (g,n)+(g,n+p) siyah kesikli çizgi ile grafikte gösterilmiştir.

Grafik 4.32'de hedef doğal Sr çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 6 - 30 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n)+(g,n+p) reaksiyonunda Sr-82, Sr-83, Sr-84, Sr-85, Sr-86, Sr-87, Sr-88 ve izotop oluşum toplam tesir kesitlerinin mevcut deneysel veri (Lepretre v.d 1971) ile uyumu incelenmiştir. Ayrıca, tesir kesitleri çok daha küçük olan izotoplar için, grafikte siyah çerçeveye alınmış alan odaklanarak (34.a) olarak gösterilmiştir.

İzotoplar arasında en yüksek tesir kesitlerine sahip izotopun Sr-87 olduğu Grafik 4.32' de net olarak görülmektedir. Grafik' te belirgin olmayan Sr-82, Sr-83, Sr-84 ve Sr-88 izotoplarının eğrileri 0-3 mb. aralığında odaklanılmış olan Grafik 4.32a' da gösterilmiştir.

Sr-87, 16.14 MeV' e kadar deneysel veri ile uyumludur. Bu uyum maksimum tesir kesitine karşılık gelen 16.67 MeV değeri ile de devam etmektedir. Tesir kesitinin maksimum değerine karşılık gelen enerji karşılaştırılmasında; Sr-85 ve ayrıca Sr-86' nın birinci maksimum değeri deneysel veri ile uyumlu olduğu, Grafik 4.32'de görülmektedir. Grafik 4.32a parçasında daha net görülen Sr-83 de bu uyumu göstermektedir.

İzotop oluşum toplam tesir kesiti eğrisinin deneysel veri ile uyumu dikkat çekicidir. 6-19.15 MeV enerji aralığında bu uyum çok iyidir. Bu aralığın üst sınırından sonra sapma başlamakta fakat kısmen de olsa, deneysel verinin hata payı sınırları içinde kalmaktadır.



Grafik 4.32 Doğal Stronsiyum çekirdeğinden $(g,n)+(g,n+p)$ reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Farklı tesir kesiti mertebelerinde oluşan izotoplar grafiğin (a) parçasında gösterilmiştir. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (Sr-82) kırmızı katı çizgi; (Sr-83) kırmızı kesikli çizgi; (Sr-84) kırmızı noktalı çizgi; (Sr-85) kırmızı kesik noktalı çizgi; (Sr-86) açık mavi katı çizgi; (Sr-87) açık mavi

kesikli çizgi; (Sr-88) açık mavi noktalı çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

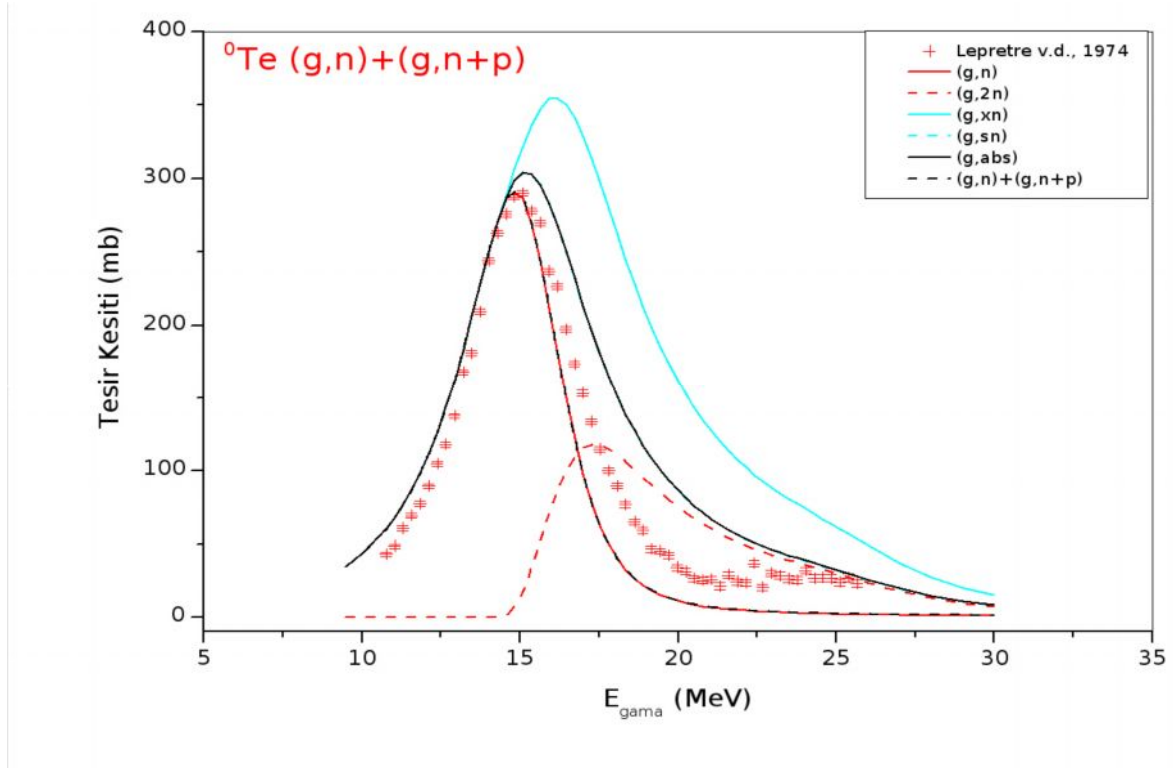
4.17 Doğal Te ((γ,n)+($\gamma,n+p$)) Reaksiyonu

Ayrışma Enerjileri (MeV)										
İzotop	Bolluk (%)	γ,n	γ,p	γ,d	γ,t	$\gamma,^3\text{He}$	γ,α	$\gamma,2n$	γ,np	$\gamma,2p$
Te-120	0.090	10.55	7.22	14.54	15.71	---	0.03	17.83	16.77	12.33
Te-122	2.550	10.05	8.01	15.02	15.79	---	1.08	17.05	17.25	13.79
Te-123	0.890	7.50	8.40	8.13	15.70	---	1.53	16.76	14.94	14.55
Te-124	4.740	9.58	8.59	15.33	15.88	---	1.84	16.35	17.55	15.16
Te-125	7.070	7.17	8.69	12.93	15.65	---	2.24	15.99	15.16	15.78
Te-126	18.840	9.15	9.09	15.58	15.78	---	2.54	15.68	17.80	16.40
Te-128	31.740	8.84	9.58	15.73	15.68	---	3.18	15.07	17.95	17.55
Te-130	34.080	8.53	10.01	15.88	15.60	---	3.76	14.50	18.10	18.59

Grafik 4.33’de gama parçacığı yollanan doğal Te çekirdeğinin, 9.50 - 30 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), (g,2n), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Lepretre v.d 1974) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

Grafik 4.33 incelendiğinde, 14.56 MeV’ de başlayıp 17.88 MeV’ de maksimum tesir kesitine ulaşan (g,2n) reaksiyon eğrisi hariç diğer hesaplanmış sonuçlara ait çizimlerin 9.50 - 14.58 MeV aralığında deneysel verilerle iyi uyumlu olduğu görülmektedir. 14.58 MeV bu eğrilerin birbirlerinden ayrıldığı enerji değeridir. 14.96 MeV’ de deneysel verilerle çok iyi bir uyum göstererek, maksimum tesir kesitine sahip olan (g,n) ve (g,n)+(g,n+p) reaksiyon eğrisi bu değerden sonra da deneysel verilerle uyumludur. (g,xn) reaksiyon eğrisi ayrılmanın olduğu enerji seviyesinden sonra artışına devam ederken 16.03 MeV değerinde maksimum tesir kesitine sahip olur. Daha uyumlu bir

artış gösteren (g,sn) ve (g,abs) eğrileri ise, maksimum tesir kesitini 15.15 MeV’ de göstermiştir. Bunun yanı sıra (g,2n) reaksiyonu 14.56 MeV’ de oluşmaya başlamakta ve 17.27 MeV’ de maksimum tesir kesitini vermektedir. 19.70 MeV’ den itibaren (g,sn) ve (g,abs) ile uyumlu olarak azalmaya devam ettiği görülmüştür.



Grafik 4.33 Doğal Tellür çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneysel veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; (g,2n) kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; (g,n)+(g,n+p) siyah kesikli çizgi ile grafikte gösterilmiştir.

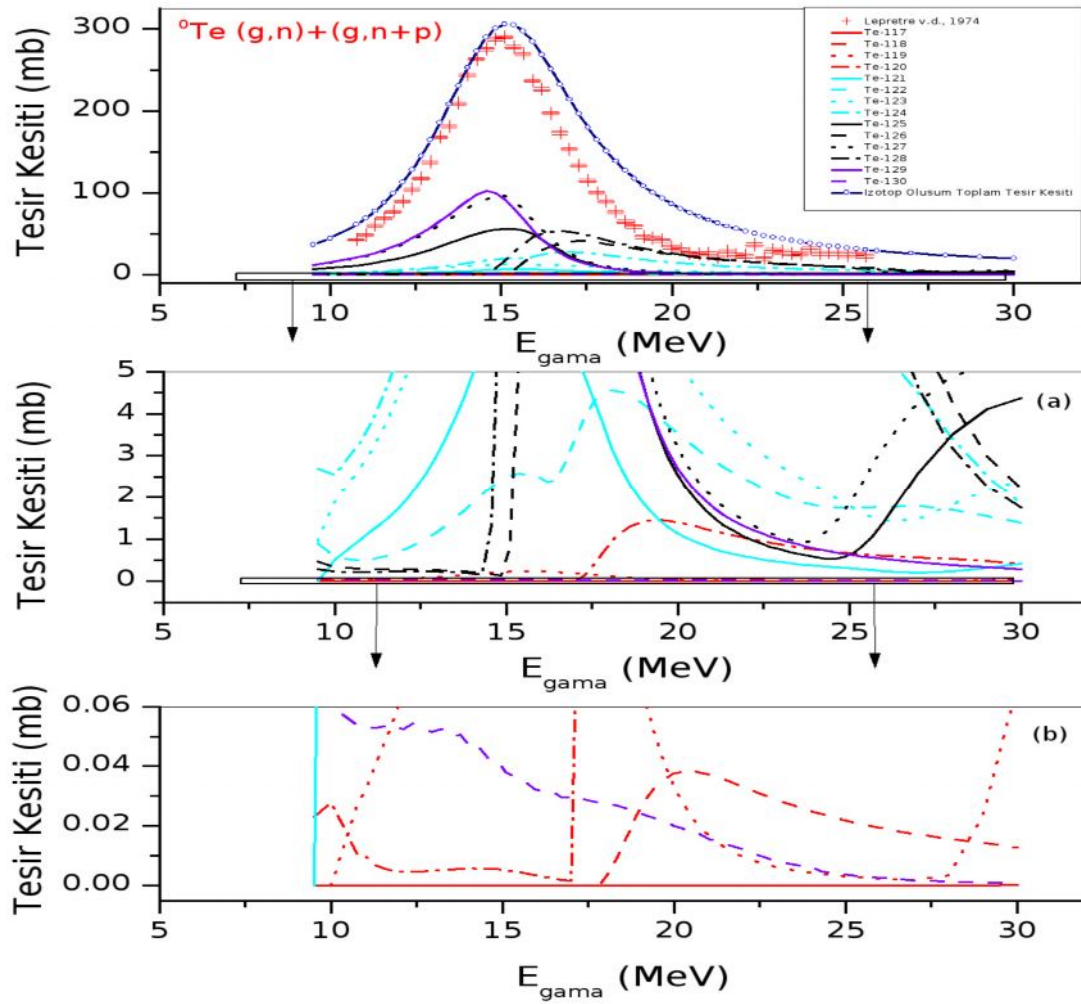
Grafik 4.34’ de hedef doğal Te çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 9.50 - 30 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n)+(g,n+p) reaksiyonunda Te-117, Te-118, Te-119, Te-120, Te-121, Te-122, Te-123, Te-124, Te-125, Te-126, Te-127, Te-128, Te-129, Te-130 ve izotop oluşum toplam tesir kesitlerinin mevcut deneysel veri (Lepretre v.d 1974) ile uyumu incelendi. Ayrıca tesir kesitleri çok daha küçük olan

izotoplar için ana grafikten belirli bir kısım odaklandı (Grafik 4.34a) ve daha sonra bu odaklanılan bölgede bir alana odaklama yapıldı (Grafik 4.34b). Bu parçalar grafiklerin içinde siyah çerçeveye alınmış olarak gösterilmiştir.

Te-125, Te-127 ve Te-129 izotoplarına ait eğrilerin biçimsel benzerliği Grafik 4.34'de göze çarpmaktadır. Bu uyum; benzer olarak, Te-126 ve Te-128 eğrilerinde de görülmektedir. Burada bahsedilen eğrilerden Te-125, Te-127 ve Te-129 izotoplarına ait tesir kesiti eğrileri maksimum tesir kesitine karşılık gelen enerji değerinde, deneysel verinin 15.10 MeV değeri ile uyum içindedir.

Grafik 4.34a ve Grafik 4.34b parçalarında 0-5 mb. ve 0-0.06 mb. aralıklarında odaklamalar yapılmış tır. Bu bölgelerde tesir kesitine sahip izotopların, tesir kesiti değişimleri görülmektedir.

İzotop oluşum toplam tesir kesiti eğrisi, 10.48-14.70 MeV aralığında deneysel veri ile uyumludur. 14.70 MeV değerinden itibaren eğrisel kayma mevcuttur. Maksimum tesir kesitine karşılık gelen enerji değeri karşılaştırmasında da 15.04 MeV değeri ile deneysel verinin tesir kesiti için bu noktaya karşılık gelen enerji değeri ile de çok iyi uyumludur.



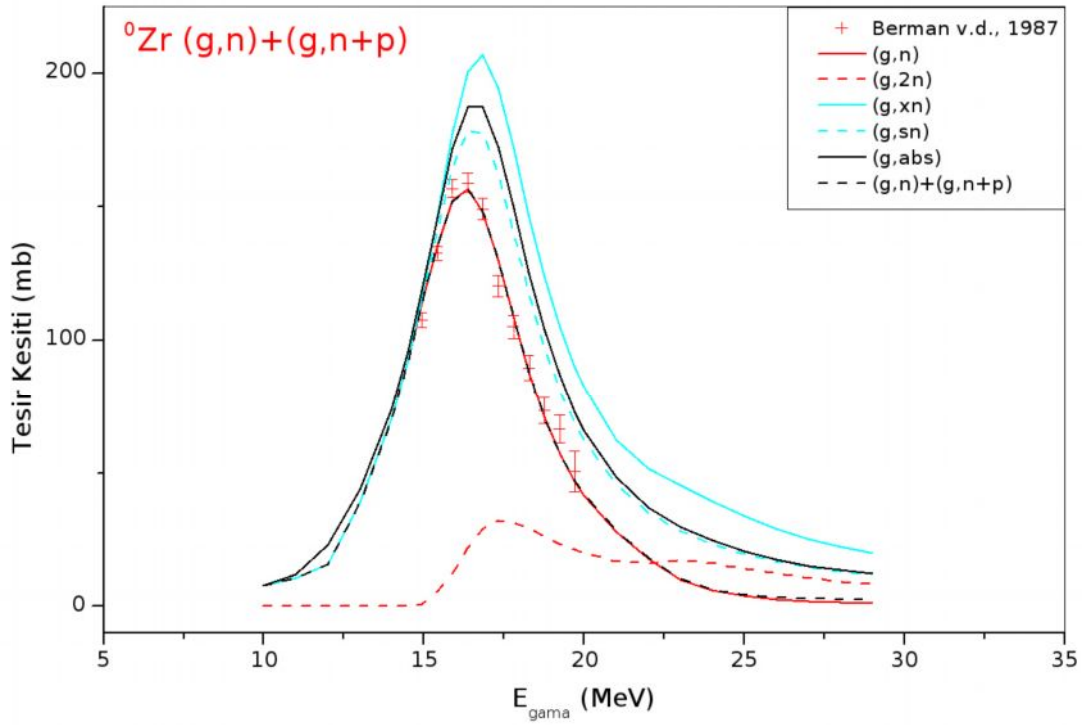
Grafik 4.34 Doğal Tellür çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Farklı tesir kesiti mertebelerinde oluşan izotoplar grafiğin (a) ve (b) parçalarında gösterilmiştir. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (Te-117) kırmızı katı çizgi; (Te-118) kırmızı kesikli çizgi; (Te-119) kırmızı noktali çizgi; (Te-120) kırmızı kesik noktali çizgi; (Te-121) açık mavi katı çizgi; (Te-122) açık mavi kesikli çizgi; (Te-123) açık mavi noktali çizgi; (Te-124) açık mavi kesik noktali çizgi; (Te-125) siyah katı çizgi; (Te-126) siyah kesikli çizgi; (Te-127) siyah noktali çizgi; (Te-128) siyah kesik noktali çizgi; (Te-129) mor katı çizgi; (Te-130) mor kesikli çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

4.18 Doğal Zr ((γ,n)+($\gamma,n+p$)) Reaksiyonu

Ayrışma Enerjileri (MeV)										
İzotop	Bolluk (%)	γ,n	γ,p	γ,d	γ,t	$\gamma,^3\text{He}$	γ,α	$\gamma,2n$	γ,np	$\gamma,2p$
Zr-90	51.450	12.56	8.35	17.60	20.70	---	6.67	21.29	19.83	15.42
Zr-91	11.220	8.96	8.69	13.32	18.54	---	5.43	19.16	15.55	16.26
Zr-92	17.150	9.84	8.40	15.10	15.70	---	2.96	15.83	17.33	17.09
Zr-94	17.380	8.49	10.33	15.59	15.87	---	3.75	14.96	17.81	18.98
Zr-96	2.800	7.88	11.52	16.23	16.17	---	5.00	14.32	18.45	---

Grafik 4.35’de gama parçacığı yollanan doğal Zr çekirdeğinin, 10 - 29 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n), (g,2n), (g,xn), (g,sn), (g,abs) ve özellikle (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu tesir kesitleri hesaplandı ve mevcut deneysel veri (Berman v.d 1987) ile uyumu incelendi. Deneysel veriler EXFOR Deneysel Nükleer Reaksiyon Veri Kütüphanesinden alınmıştır (İnt. Kayn. 4).

(g,n) ve (g,n)+(g,n+p) sonuçları deneysel verilerle 10 - 29 MeV enerji bölgesinde çok iyi uyumlu olduğu Grafik 4.35’ de görülmektedir. (g,sn), (g,abs), (g,xn) sonuçları deneysel verinin maksimum tesir kesitini verdiği 16.37 MeV değeriyle uyumlu olarak sırasıyla 16.53, 16.41, 16.83 MeV değerlerinde tesir kesitinin maksimum değerini göstermektedirler. Her üç eğri de 15.70 MeV değerine kadar deneysel verilerle çok iyi uyum gösterirken, bu değerden sonra birbirlerine ve deneysel veriye uyumlu bir eğrisel şekil vermektedirler. Ayrıca, 14.50 MeV’ de başlayan (g,2n) reaksiyonu birincisi 17.33 MeV ve ikincisi 23 MeV’ de olmak üzere iki farklı tesir kesitine karşılık gelen iki maksimum değer verdiği Grafik 4.35’ den görülmektedir.

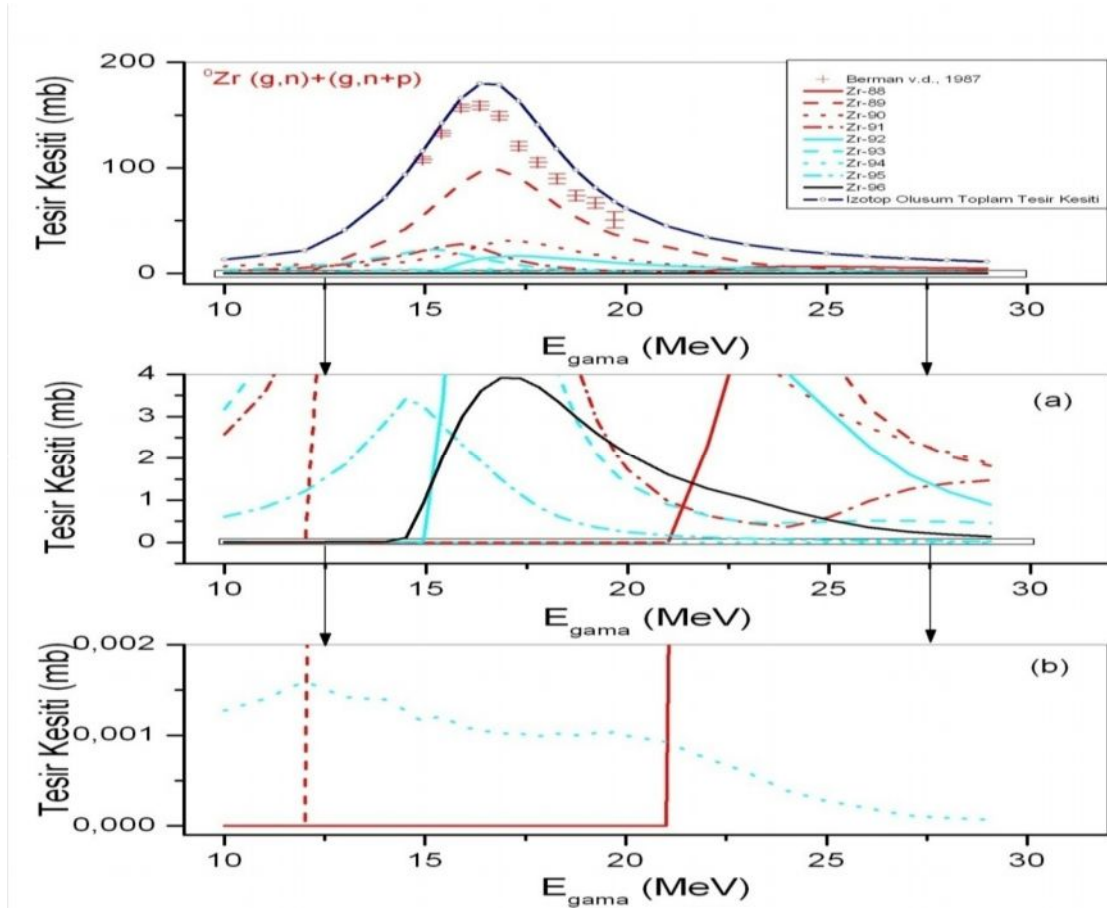


Grafik 4.35 Doğal Zirkonyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucunda nötron çıkışlarının ve gama absorpsiyon tesir kesitlerinin incelenmesi. Deneyel veri kırmızı + işareti; (g,n) kırmızı katı çizgi; (g,2n) kırmızı kesikli çizgi; (g,xn) açık mavi katı çizgi; (g,sn) açık mavi kesikli çizgi; (g,abs) siyah katı çizgi; (g,n)+(g,n+p) siyah kesikli çizgi ile grafikte gösterilmiştir.

Grafik 4.36' da hedef doğal Zr çekirdeğine gama parçacığı yollanarak, 10 - 29 MeV enerji bölgesinde TALYS 1.2 kodları kullanılarak (g,n)+(g,n+p) reaksiyonunda Zr-88, Zr-89, Zr-90, Zr-91, Zr-92, Zr-93, Zr-94, Zr-95, Zr-96 ve izotop oluşum toplam tesir kesitlerinin mevcut deneyel veri (Berman v.d 1987) ile uyumu incelenmiştir. Ayrıca, tesir kesitleri çok daha küçük olan izotoplar için ana grafikten belirli bir kısım odaklanmış (Grafik 4.36a) ve daha sonra bu odaklanılan bölgede bir alana odaklama yapılmıştır (Grafik 4.36b). Bu parçalar grafiklerin içinde siyah çerçeveye alınmış olarak gösterilmiştir. Grafik 4.36' da en yüksek tesir kesiti değerlerine sahip izotopun Zr-89 olduğu belirgin olarak görülmektedir. Zr-89 için maksimum tesir kesitine karşılık gelen enerji değeri 16.85 MeV'dir. Deneyel veri için bu değer 16.37'dir ki uyum açıkça

görülmektedir. Tesir kesitleri 0-4 mb. (Zr-94 ile Zr-95) ve 0-0.002 mb. aralıklarındaki (Zr-96) izotoplar, Grafik 4.36a ve Grafik 4.36b parçalarında belirgin olarak görülmektedir. Zr-91 ve Zr-93 arasındaki eğrisel biçim benzerliği, Zr-90 ve Zr-92 arasında da mevcuttur.

İzotop oluşum toplam tesir kesiti eğrisi değerlendirilecek olursa, 15.87 MeV'e kadar olan bölgede deneysel veri ile uyumludur. Ayrıca, maksimum tesir kesitine karşılık gelen enerji değeri noktasında da deneysel verinin değeri olan 16.37 MeV değeri ile aynı değeri vermektedir.



Grafik 4.36 Doğal Zirkonyum çekirdeğinden (g,n)+(g,n+p) reaksiyonu sonucu oluşan izotoplarının tesir kesitlerinin karşılaştırılması. Farklı tesir kesiti mertebelerinde oluşan izotoplar grafiğin (a) ve (b) parçalarında gösterilmiştir. Grafikte, deneysel veri kırmızı + işareti; (Zr-88) kırmızı katı çizgi; (Zr-89) kırmızı kesikli çizgi; (Zr-90) kırmızı noktalı çizgi; (Zr-91) kırmızı kesik noktalı çizgi; (Zr-92) açık mavi katı çizgi; (Zr-93) açık mavi kesikli çizgi; (Zr-94) açık mavi noktalı çizgi; (Zr-95) açık mavi kesik noktalı çizgi; (Zr-96) siyah katı çizgi ve (İzotop Oluşum Toplam Tesir Kesiti) de koyu mavi boncuklu çizgi ile gösterilmiştir.

5 TARTIŞMA ve SONUÇ

Gama girişli reaksiyonlarda, Büyük Dipol Rezonans (GDR) bölgesinde bazı doğal çekirdekler için nötron ve nötron-proton (quasi-deuteron), gama absorpsiyon, toplam nötron oluşum ve izotop oluşum tesir kesitleri hesaplamaları nükleer reaksiyon modelleri kullanılarak yapılmıştır. Bu hesaplamalar, Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu'nun EXFOR veri kütüphanesinden alınan deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Hesaplamalarda, doğrudan reaksiyonlara dahil olan GDR değişkenleri ve fotoabsorpsiyon modeli kullanılmıştır. Bu modellerin ve modellere bağlı olarak kullanılan değişkenlerle yapılan hesaplamalarda TALYS 1.2 bilgisayar program kodu kullanılmıştır.

GDR Bölgesinde çıkan parçacıklardan elde edilen, (g,n), (g,2n) ve (g,n+p) sonuçlarına ait eğriler incelendiğinde, büyük dipol parçasının nötron olduğu görülmektedir. Buna ilaveten, (g,n)ve(g,n+p)eğrilerinin yaklaşık olarak çakışık olması da, protonun reaksiyon tesir kesitine çok az bir katkı yaptığını göstermektedir. Bazı durumlarda (g,n) ve (g,n+g,n+p) reaksiyonlarına ait eğriler belirgin olarak birbirinden ayrılmakta olduğu yapılan çalışmalardan görülmektedir. Bu durumlarda protonun reaksiyon tesir kesitine olan katkısı net olarak görülmektedir. Ağır çekirdeklerde (g,abs) ve (g,sn) hesaplamalarının da teorik hesaplamalarda verildiği gibi birbirlerine yaklaşık olarak eşit olduğu da grafiklerden görülmektedir. (g,xn) eğrileri, her çekirdek için, ikinci nötronun kopmasından itibaren (g,abs) ve (g,sn) sonuçlarında da olduğu gibi artış göstermektedir. (g,xn) artışının daha fazla olmasının sebebi (g,2n)' e bağlı diğer reaksiyonların da ((g,2np), (g,2nd), (g,2na) v.b) nötron oluşumuna verdikleri katkıdır. İzotopların oluşum tesir kesitleri incelendiğinde; çekirdeklerin bir kısmında deneysel veriler ile uyumu göze çarpmaktadır. Bu ise izotop oluşum toplam tesir kesiti ve hatta yer yer bir izotopun reaksiyonlarda tesir kesitine yoğun katkısı olduğunu göstermektedir.

Karakteristik olarak, aralarında A_ZX , ${}^{A-2}_ZX$ ilişkisi olan izotoplarda oluşan reaksiyon türleri biçimsel benzerlikler gösteren eğriler vermektedir. Bu nokta hakkında net bir yorum yapamamak da, ilerleyen dönemlerde çalışmalara yön verecektir.

Genel olarak belirtmek gerekirse, kullanılan parametreler ve kodlar neticesinde elde edilen sonuçlar, TALYS 1.2 nükleer reaksiyon kod programının deneysel veriler ile olan uyumunu göstermektedir. Fotoabsorbsiyon model hesaplamaları, başta nükleer reaktörlerin teknolojisinde önemlidir. Aynı zamanda reaktör sahasının güvenliği aşamasında da önemlidir. Bu noktada teorik olarak yapılacak hesaplamalar, ölçümlerin önceden tahmin edilebilmesi ve reaktörlerde oluşabilecek güvenlik sorunlarına alınacak önlemler açısından daha da bir önem kazanmaktadır.

6 KAYNAKLAR

Bayrak, O., 2009, Nükleer Reaksiyonların Yarı-Klasik Yöntemler Kullanarak Analizi, Kayseri Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Kayseri

Beil, H., Bergere, R., Carlos, P., Lepretre, A., Veyssiere, A and Parlag, A., 1971, Giant dipole resonance in $N = 82$ nuclei, Nuclear Physics A, Vol. 172, Iss. 2, pp. 426-436

Beiser, A., 1987, Concepts of Modern Physics, McGraww-Hill Book Company, 4th Edition, 616

Bergere, R., Beil, H., Carlos, P. and Veyssiere, A., 1974, A study of the photoneutron contribution to the giant dipole resonance of s-d shell nuclei, Nuclear Physics A, Vol. 227, Iss. 3, p. 513-540

Berman, B. B., 1976, Atlas of Photoneutron Cross-Section Obtained by Monoenergetic Photons, Atomic Data and Nuclear Data Tables, Vol. 15, Iss. 4

Berman, L., Pywell, R. E., Dietrich, S. S., Thompson, M. N., McNeil, K. G. and Jury, J.W, 1986, Absolute photoneutron cross sections for Zr, I, Pr, Au, and Pb, Phys. Rev. C 36, p. 1286–1292

Blann, M .and Vonach, H. K., 1983, Global test of modified precompound decay models, Phys. Rev. C 28, Iss. 4, p.1475–1492,

Bogdankevich, O. V. and Nikolaev, F. A., 1966, Methods in Bremsstrahlung Research Academic Press, New York, USA

Bramanis, E., Deaque, T. K., Hicks, R. S., Hunger, R. J., Muirhead, E. G., Sambell, R. H., Stewart, R. J .J., 1972, The analysis of photonuclear yield curves, Nucl. Instr. and Methods 100, 59

Carlos, P., Beil, H., Bergère, R., Fagot, J., Leprêtre A., Veyssi re, A. and Solodukhov, G. V., 1976, A study of the photoneutron contribution to the giant dipole resonance of

nuclei in the 64 less-than over equal to A less-than over equal to 86 mass region, Nuclear Physics A, Vol. 258, Iss. 2, p. 365-387

Chadwick, M. B., Oblozinsky, B., Hodgson, P. E., and Reffo, G., 2000, Phys. Rev. C 44, 814 (1991); Hand-book on photonuclear data for applications: Cross sections and spectra, IAEA-TECDOC-1178

Chadwick, M. B., Young, P. G., Macfarlane, R. E., White, M. C. and Little, R. C., 1995, Photonuclear angular distribution systematic in the quasi-deuteron regime, Journal of Nucl. Sci. and Techn. 32, 1152

Choppin, G. R. and Rydberg, J., 1980, Nuclear Chemistry Theory and Applications, Pergamon Press Ltd., Oxford

Choppin, G. R., Rydberg, J. Liljenzin. J. O., 2002, Radiochemistry and Nuclear Chemistry, Third Edition, Butterworth - Heinemann Publications, s. 374 - 378, Oxford

Cook, B. C., 1963, Least structure solution of photonuclear yield functions, Nucl. Inst. And Methods 24, 256

De Paiva, E., Tavares, O. A. P. and Terranova, M. L., 2001, Nuclear photofissility in the quasi-deuteron energy region, Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics Vol. 27, No. 7

Dietrich, S. S. and Berman, B. B., 1988, Atlas of photoneutron cross sections obtained with monoenergetic photons, Atomic Data and Nuclear Data Tables, Vol. 38, Iss. 2, p. 199-338

Dietrich, S. S. and Berman, B. B., 1993, Giant Dipole Resonance Parameters, IAEA-NDS-145

Fasso, A., Ferrari, A. and Sala, P. R., 1994, Designing electron accelerator shielding with FLUKA, in Proc. of 8th. International Conference on Radiation Shielding. American Nuclear Society, p. 643-649

Fuller, E. G. and Gerstenberg, H., (1983-1986), Photonuclear Data-Abstract Sheets, 15 Vols, US National Bureau of Standards, USA

- Fultz, S. C., Bramblett, R. L., Caldwell, J. T. and Harvey, R. R., 1964, Photoneutron Cross Sections for Natural Cu, Cu63, and Cu65, Phys. Rev. 133, p. 1149–1154
- Geller, K. N. and Muirhead, E. G., 1963, Photoneutron Cross Section of Oxygen, Phys. Rev. Lett. 11, p. 371–375
- Glendenning, N. K., 2004, Direct Nuclear Reactions, World Scientific Publishing, Co, Pte. Ltd
- IAEA, 2000, Handbook on Photonuclear data for applications cross-sections and spectra, Final Report of a CRP 1996-1999, IAEA-TECDOC-1178
- Kalbach, C., 1988, Systematics of continuum angular distributions: Extensions to higher energies, Phys. Rev. C 37, Iss. 6, p. 2350–2370
- Kalbach, C., 2000, Surface and collective effects in preequilibrium reactions, Phys. Rev. C. Vol. 62, Iss. 3, 44608
- Kansu, M. E., 2010, Cross section calculations on some nuclear reactions in astrophysics, Balkan Physics Letters, Boğaziçi University press, Bpl, 18, 181013, p. 97-107
- Kishida, N., 1993, Methods used in photonuclear data evaluation at JNDC in Proc. of the Symposium on Nuclear Data Evaluations Methodology. Brookhaven National Laboratory, Upton New York, edited by Dumford, C., World Scientific, p.598
- Koning, A. J., Hilaire, S. and Duijvestijn, M., 2009 TALYS 1.2 A Nuclear Reaction Program, NRG – Nuclear Research and Consultancy Group, Netherlands
- Krane, K. S., 2002a. Introductory Nuclear Physics, (Çeviri Editörü: B.Şarer), Nükleer Fizik 2. Cilt , Palme Yayıncılık, 444 s, Ankara
- Krane, K. S., 2002b. Introductory Nuclear Physics, (Çeviri Editörü: B.Şarer), Nükleer Fizik 2. Cilt , Palme Yayıncılık, 447 s, Ankara
- Krane, K. S., 2002c. Introductory Nuclear Physics, (Çeviri Editörü: B.Şarer), Nükleer Fizik 2. Cilt , Palme Yayıncılık, 423 s, Ankara

Krane, K. S., 2002d. Introductory Nuclear Physics, (Çeviri Editörü: B.Şarer), Nükleer Fizik 2. Cilt , Palme Yayıncılık, s. 413 - 415, Ankara

Krane, K. S., 2002e. Introductory Nuclear Physics, (Çeviri Editörü: B.Şarer), Nükleer Fizik 2. Cilt , Palme Yayıncılık, s. 416 - 418, Ankara

Krane, K. S., 2002f. Introductory Nuclear Physics, (Çeviri Editörü: B.Şarer), Nükleer Fizik 2. Cilt , Palme Yayıncılık, s. 419 - 420, Ankara

L'Annunziata, M. F., 1998, Handbook of Radioactivity Analysis, Academic Press.

Lee, Y., Fukahori, T. and Chang, J., 1998, Evaluation of photonuclear reaction data on tantalum-181 up to 140 MeV, Journal of Nuclear Science and Technology (Japan) (Japan). Vol. 35, no. 10, p. 685-691

Leprêtre, A., Beil, H., Bergère, R., Carlos, P., De Miniac A., Veyssière A. and Kernbach, K., 1974, A study of the giant dipole resonance of vibrational nuclei in the 103 less-than over equal to A less-than over equal to 133 mass region, Nuclear Physics A, Vol. 219, Iss. 1, p. 39-60

Lepretre, A., Beil, H., Bergère, R., Carlos, P. and Sugawara, M., 1971, The giant dipole states in the A = 90 mass region, Nuclear Physics A, Vol. 17, Iss. 3, p. 609-628

McLane, V., 1997, CSISRS experimental nuclear data file, National Nuclear Data Center (NNDC), Brookhaven National Laboratory, <http://nndc.bnl.gov/>.

Oğul, R. ve Eren, N., 2007, Nükleer ve Reaktör Fiziği,Ön Baskı, Selçuk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Yayınları, 97 s., Konya

Penfold, A. S. and Leiss, J., 1959, Analysis of photonuclear cross-sections, Phys. Rev. 144, 1332

Satchler, G. R., 1983, Direct Nuclear Reactions, Oxford University Press, Oxford OX2 6DP

Speth, J. and Van der Woude, A., in Electric and Magnetic Giant Resonances in Nuclei, Rep. Prog. Phys., Vol. 44

Turchin, I. F., Kozlov, V. P., Malkevich, M. S., 1970, The method of mathematical statistics using for the uncorrect ill-posed task solving, Uspekhi Fizicheskikh Nauk 102, p.345-386

Van Camp, E., Van der Vyver, R., Kerhove, E., Ryckbosch, J., Ferdinance, H., Van Otten, P., Berkvens, P., 1981, Experimental determination of the proton escape width in the giant dipole resonance of ^{89}Y , Phys. Rev. C 24, 2499

Varlamov, A. V., Varlamov, V.V., Rudenko, D. S., Stepanov, M. E., 1999, Atlas of Giant Dipole Resonance, Parameters and Graphs of Photonuclear Reaction Cross Sections, INDC-Reports, INDC-NDS-0394

Von Weizsacker, B., 1936, Tröpfchenmodell, Zeitschrift für Physik, June 1936

Weisskopf, V., 1937, Statistics and Nuclear Reactions, Phys. Rev. 52, Iss. 4, p.295–303

Wolyneć, E., Martins, M. N., 1987 Discrepancies Between Saclay and Livermore Photoneutron Cross Section Revista Brasileira Fisica, Vol. 17, no. 1, Brasil

Wu, J. R., and Chang, C. C., 1977, Pre-equilibrium particle decay in the photonuclear reactions, Phys. Rev. C 16, Iss. 5, 1812–1824

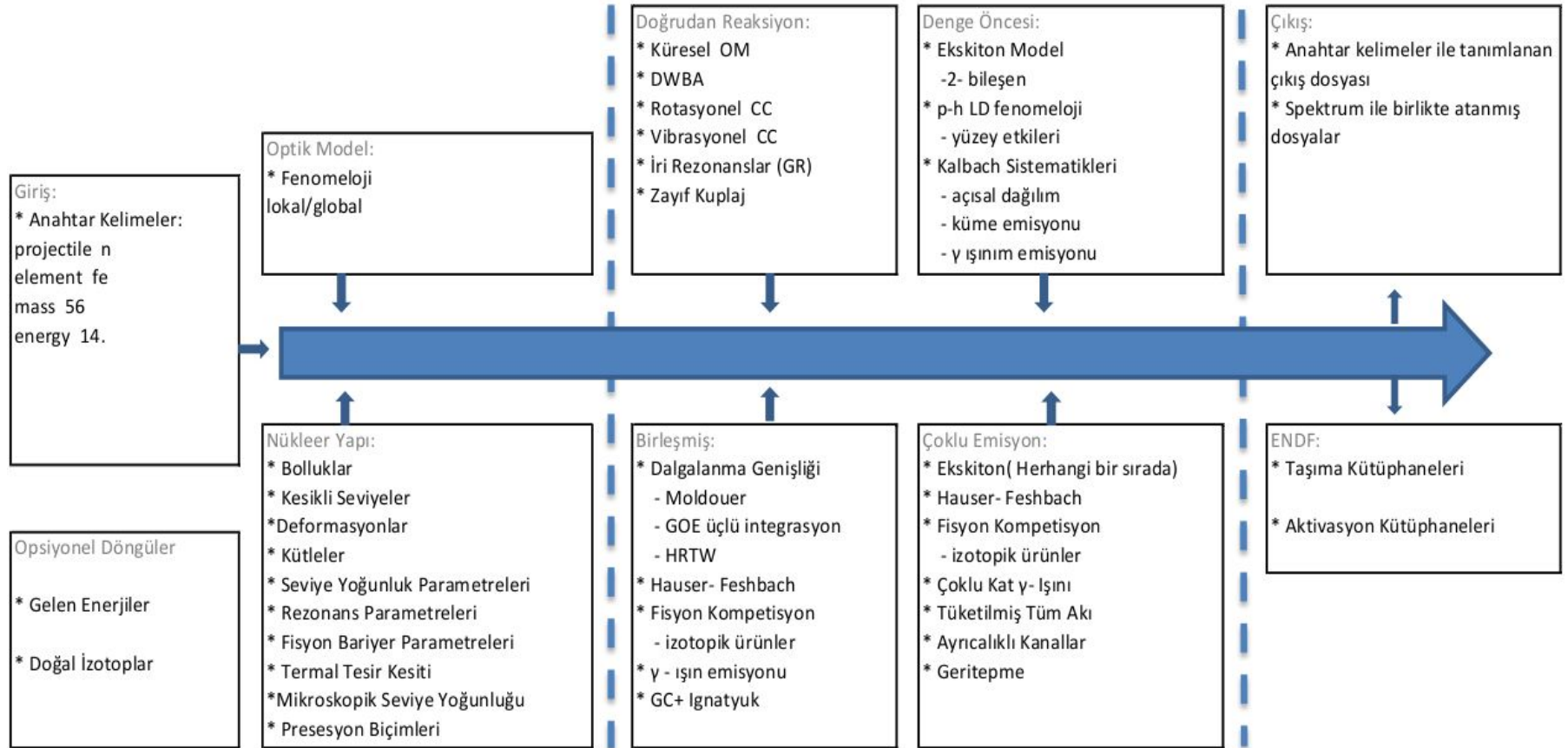
Yaramış, B., 1974, Nötron Fiziği, İstanbul Üniversitesi Yayınları, No:1920, 127 s, İstanbul

6.1 İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

- | | |
|---|--------------|
| 1 - http://guide.metu.edu.tr/thinkguest/tquan-b2.htm | 28.12.2010 |
| 2 - http://rpd.oxfordjournals.org/content/126/1-4/28/F2.smallgif | 28.12.2010 |
| 3 - http://depni.npi.msu.su/cdfe | 27.12.2010 |
| 4 - http://nds.iaea.org/exfor/ | 10. 10. 2010 |

EK - 1 Reaksiyon Mekanizmaları ve Nükleer Modeller



EK - 2 Gama Reaksiyonlarında GDR Parametreleri

<u>Sütunlar</u>	<u>Başlık</u>	<u>Açıklama</u>
1-3	Z	Yük numarası
4-6	EL	Element sembolü
7-10	A	Kütle numarası (“NAT” = Doğal element)
11-13	NL	Z ve A ile tanımlanan çekirdek için verinin kaç seti olduğu
14-16	NG	NG=1, tek pik; NG=2, çift pik
17-23	E1	1. pikin enerjisi
24-30	CS1	1. pikin tesir kesiti
31-36	GW1	Yarı maksimumda 1. pikin tam genişliği
37-43	E2	2. pikin enerjisi
44-50	CS2	2. pikin tesir kesiti
51-56	GW2	Yarı maksimumda 2. pikin tam genişliği

Z	EL	A	NL	NG	E1 MeV	CS1 mb	GW1 MeV	E2 MeV	CS2 mb	GW2 MeV
23	V	51	2	2	17.86	58.8	4.42	21.22	28.8	5.10
23	V	51	2	2	17.93	53.3	3.62	20.95	40.7	7.15
25	Mn	55	1	2	16.82	51.4	4.33	20.09	45.2	4.09
27	Co	59	1	2	16.43		2.73	18.66	58.4	7.38
28	Ni	60	1	2	16.30	34.1	2.44	18.51	55.2	6.37
29	Cu	63	2	2	16.24	60.8	4.65	19.65	26.8	4.59
29	Cu	63	2	2	16.72	66.1	4.19	19.10	30.1	3.56
29	Cu	63	1	1	16.70	75.2	6.89			
30	Zn	64	1	2	16.23	41.4	3.27	19.19	56.1	5.98
31	Ga	Nat	1	1	16.69	107.0	6.91			
32	Ge	70	1	1	16.79	89.4	7.66			
32	Ge	72	1	1	16.67	107.0	7.68			
32	Ge	74	1	2	14.52	89.4	1.92	17.02	102.3	8.18
32	Ge	76	1	2	15.51	59.4	4.36	18.83	73.0	11.44
33	As	75	2	2	14.98	41.1	3.64	17.61	76.9	7.26
33	As	75	2	2	14.23	69.2	4.52	18.24	74.6	7.75
34	Se	76	1	2	14.95	68.20	3.84	18.40	81.8	6.47
34	Se	78	1	2	15.23	35.8	2.58	17.18	101.8	8.55
34	Se	80	1	1	16.53	136.0	6.9			
34	Se	82	1	1	16.65	148.0	5.91			
37	Rb	Nat	1	1	16.80	190.0	4.47			
38	Sr	Nat	1	1	16.84	206.0	4.5			
39	Y	89	3	1	16.79	185.0	3.95			
39	Y	89	3	1	16.74	226.0	4.25			
39	Y	89	3	1	16.83	205.0	3.69			
40	Zr	Nat	1	1	16.52	174.0	4.41			
40	Zr	90	2	1	16.85	185.0	4.02			
40	Zr	90	2	1	16.74	211.0	4.16			
40	Zr	91	1	1	16.58	184.0	4.20			
40	Zr	92	1	1	16.26	166.0	4.68			
40	Zr	94	1	1	16.22	161.0	5.29			
41	Nb	93	1	1	16.59	200.0	5.05			

Z	EL	A	NL	NG	E1 MeV	CS1 mb	GW1 MeV	E2 MeV	CS2 mb	GW2 MeV
42	Mo	92	1	1	16.82	162.0	4.14			
42	Mo	94	1	1	16.36	185.0	5.50			
42	Mo	96	1	1	16.20	185.0	6.01			
42	Mo	98	1	1	15.80	189.0	5.94			
42	Mo	100	1	1	15.74	171.0	7.81			
45	Rh	103	1	1	16.16	191.0	7.26			
46	Pd	Nat	1	1	15.92	199.0	7.18			
47	Ag	Nat	1	1	16.07	199.0	7.38			
47	Ag	107	1	1	15.90	150.0	6.71			
48	Cd	Nat	1	1	15.81	227.0	6.22			
49	In	115	2	1	15.63	266.0	5.24			
49	In	115	2	1	15.72	247.0	5.60			
50	Sn	116	2	1	15.68	266.0	4.19			
50	Sn	116	2	1	15.56	271.0	5.08			
50	Sn	117	2	1	15.66	254.0	5.02			
50	Sn	117	2	1	15.64	259.0	5.04			
50	Sn	118	2	1	15.59	256.0	4.77			
50	Sn	118	2	1	15.44	279.0	4.86			
50	Sn	119	1	1	15.53	253.0	4.81			
50	Sn	120	2	1	15.40	280.0	4.89			
50	Sn	120	2	1	15.37	285.0	5.10			
50	Sn	124	2	1	15.19	283.0	4.81			
50	Sn	124	2	1	15.28	276.0	4.80			
51	Sb	Nat	1	1	15.48	277.0	5.05			
52	Te	Nat	1	1	15.46	297.0	5.32			
52	Te	124	1	1	15.24	281.0	5.56			
52	Te	126	1	1	15.17	296.0	5.44			
52	Te	128	1	1	15.13	305.0	5.36			
52	Te	130	1	1	15.12	320.0	5.03			
53	I	127	3	2	14.24	118.0	3.24	16.27	149.0	5.27
53	I	127	3	2	14.57	239.0	4.08	16.69	118.0	4.92
53	I	127	3	2	14.74	111.0	3.34	15.88	156.0	6.44
55	Cs	133	2	1	15.25	287.0	5.01			
55	Cs	133	2	1	15.34	317.0	5.31			
56	Ba	Nat	1	1	15.29	356.0	4.89			
56	Ba	138	1	1	15.26	327.0	4.61			
57	La	139	1	1	15.24	336.0	4.47			

Z	EL	A	NL	NG	E1 MeV	CS1 mb	GW1 MeV	E2 MeV	CS2 mb	GW2 MeV
58	Ce	140	1	1	15.04	383.0	4.41			
58	Ce	142	1	1	14.86	332.0	5.10			
59	Pr	141	6	1	15.15	324.0	4.42			
59	Pr	141	6	1	15.23	341.0	4.00			
59	Pr	141	6	1	15.04	347.0	4.49			
59	Pr	141	6	1	15.36	332.0	4.07			
59	Pr	141	6	1	15.19	344.0	4.24			
59	Pr	141	6	1	15.19	340.0	4.15			
60	Nd	Nat	1	1	14.92	315.0	4.70			
60	Nd	142	1	1	14.94	359.0	4.44			
60	Nd	143	1	1	15.01	349.0	4.75			
60	Nd	144	1	1	15.05	317.0	5.28			
60	Nd	145	1	1	14.95	296.0	6.31			
60	Nd	146	1	1	14.74	310.0	5.78			
60	Nd	148	1	2	12.76	107.0	3.97	15.48	220.0	5.30
60	Nd	150	1	2	12.30	175.0	3.38	16.04	223.0	5.17
62	Sm	144	1	1	15.32	383.0	4.45			
62	Sm	148	1	1	14.82	339.0	5.09			
62	Sm	150	1	1	14.61	312.0	5.97			
62	Sm	152	1	2	12.38	176.0	2.97	15.74	234.0	5.22
62	Sm	154	1	2	12.27	181.0	2.95	15.94	215.0	5.70
63	Eu	153	1	2	12.33	155.0	2.75	15.79	222.0	5.83
64	Gd	160	1	2	12.23	215.0	2.77	15.96	233.0	5.28
65	Tb	159	2	2	12.22	181.0	2.64	15.67	220.0	4.97
65	Tb	159	2	2	12.07	196.0	2.98	15.88	248.0	5.1
67	Ho	165	3	2	12.02	238.0	2.35	15.59	308.0	4.85
67	Ho	165	3	2	12.28	214.0	2.57	15.78	246.0	5.00
67	Ho	165	3	2	12.01	239.0	2.52	15.59	291.0	5.12
68	Er	Nat	1	2	12.12	242.0	2.76	15.58	259.0	4.74
71	Lu	175	1	2	12.32	217.0	2.57	15.47	287.0	4.7
73	Ta	181	2	2	12.54	154.0	1.67	14.95	273.0	5.23
73	Ta	181	2	2	12.3	259.0	2.43	15.23	341.0	4.48
74	W	Nat	1	2	12.56	268.0	2.66	15.17	328.0	4.69
74	W	186	1	2	12.59	211.0	2.29	14.88	334.0	5.18
Z	EL	A	NL	NG	E1	CS1	GW1	E2	CS2	GW2

					MeV	mb	MeV	MeV	mb	MeV
75	Re	Nat	1	2	12.63	279.0	2.77	15.24	375.0	4.69
76	Os	186	1	2	13.03	308.0	3.13	15.26	302.0	3.38
76	Os	188	1	2	12.8i	260.0	2.76	14.88	390.0	4.19
76	Os	189	1	2	12.68	268.0	2.71	14.68	395.0	3.62
76	Os	190	1	2	12.68	206.0	2.6	14.4	401.0	4.16
76	Os	192	1	2	12.68	206.0	2.49	14.35	389.0	4.41
77	Ir	Nat	1	1	13.8	487.0	5.08			
78	Pt	Nat	1	1	13.72	512.0	4.99			
79	Au	197	1	1	13.82	560.0	3.84			
79	Au	197	1	1	13.72	541.0	4.61			
79	Au	197	1	1	13.73	502.0	4.76			
80	Hg	Nat	1	1	13.72	582.0	4.39			
82	Pb	Nat	1	1	13.48	602.0	4.2			
82	Pb	206	1	1	13.59	514.0	3.85			
82	Pb	207	1	1	13.56	481.0	3.96			
82	Pb	208	3	1	13.56	491.0	3.9			
82	Pb	208	3	1	13.56	639.0	4.07			
82	Pb	208	3	1	13.53	645.0	3.94			
83	Bi	209	2	1	13.45	521.0	3.97			
83	Bi	209	2	1	13.56	648.0	3.72			
90	Th	232	2	2	11.26	283.0	4.32	14.18	306.0	4.48
90	Th	232	2	2	11.03	302.0	2.71	13.87	449.0	4.77
92	U	233	1	2	11.08	221.0	1.94	13.86	433.0	5.47
92	U	234	1	2	11.13	371.0	2.26	13.94	401.0	4.46
92	U	235	2	2	10.58	380.0	1.77	13.84	531.0	4.55
92	U	235	2	2	10.9	328.0	2.3	13.96	459.0	4.75
92	U	236	1	2	10.92	271.0	2.55	13.78	415.0	4.88
92	U	238	2	2	10.94	296.0	2.65	14.00	381.0	4.59
92	U	238	2	2	10.77	311.0	2.37	13.8	459.0	5.13
93	Np	237	2	2	11.02	256.0	2.94	14.11	392.0	4.71
93	Np	237	2	2	10.98	311.0	2.17	14.08	540.0	4.66
94	Pu	239	1	2	11.28	325.0	2.48	13.73	384.0	4.25

EK - 3 Elementlerin Bolluk Oranları

10	20	90.480000	20Ne	52	120	0.090000	120Te
10	21	0.270000	21Ne	52	122	2.550000	122Te
10	22	9.250000	23Ne	52	123	0.890000	123Te
14	28	92.230000	28Si	52	124	4.740000	124Te
14	29	4.683000	29Si	52	125	7.070000	125Te
14	30	3.087000	30Si	52	126	18.840000	126Te
17	35	75.770000	35Cl	52	128	31.740000	128Te
17	37	24.230000	37Cl	52	130	34.080000	130Te
19	39	93.25810	39K	56	130	0.106000	130Ba
19	40	0.011700	40K	56	132	0.101000	132Ba
19	41	6.730200	41K	56	134	2.417000	134Ba
29	63	69.17000	63Cu	56	135	6.592000	135Ba
29	65	30.83000	65Cu	56	136	7.854000	136Ba
31	69	60.108000	69Ga	56	137	11.232000	137Ba
31	71	39.892000	71Ga	56	138	71.698000	138Ba
37	85	72.170000	85Rb	58	136	0.185000	136Ce
37	87	27.830000	87Rb	58	138	0.251000	138Ce
38	84	0.560000	84Sr	58	140	88.450000	140Ce
38	86	9.860000	86Sr	58	142	11.114000	142Ce
38	87	7.000000	87Sr	60	142	27.200000	142Nd
38	88	82.580000	88Sr	60	143	12.200000	143Nd
40	90	51.450000	90Zr	60	144	23.800000	144Nd
40	91	11.220000	91Zr	60	145	8.300000	145Nd
40	92	17.150000	92Zr	60	146	17.200000	146Nd
40	94	17.380000	94Zr	60	148	5.700000	148Nd
40	96	2.800000	96Zr	60	150	5.600000	150Nd
47	107	51.839000	107Ag	62	144	3.070000	144Sm
47	109	48.161000	109Ag	62	147	14.990000	147Sm
48	106	1.250000	106Cd	62	148	11.240000	148Sm
48	108	0.890000	108Cd	62	149	13.820000	149Sm
48	110	12.490000	110Cd	62	150	7.380000	150Sm
48	111	12.800000	111Cd	62	152	26.750000	152Sm
48	112	24.130000	112Cd	62	154	22.750000	154Sm
48	113	12.220000	113Cd	68	162	0.139000	162Er
48	114	28.730000	114Cd	68	164	1.601000	164Er
48	116	7.490000	116Cd	68	166	33.503000	166Er
51	121	57.210000	121Sb	68	167	22.869000	167Er
51	123	42.790000	123Sb	68	168	26.978000	168Er
				68	170	14.910000	170Er
				82	204	1.400000	204Pb
				82	206	24.100000	206Pb
				82	207	22.100000	207Pb
				82	208	52.400000	208Pb

EK-4 Örnek Enerji Dosyası

6.
7.
7.5
8.08
8.35
8.62
8.89
9.16
9.44
9.71
9.98
10.25
10.52
10.8
11.07
11.34
11.61
12.16
12.43
12.7
12.97
13.22
13.52
13.79
14.06
14.33
14.6
14.88
15.15
15.42
15.69
15.96
16.24
16.51
16.78
17.05
17.32
17.6
17.87
18.14
18.41
18.68
18.96
19.23
19.5
19.77
20.04
20.32
20.56
20.86
21.13
21.4
21.68
21.95
22.22

EK-5 ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Ramazan UYAR

Doğum Yeri : ANTALYA

Doğum Tarihi : 22.09.1976

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Isparta Anadolu Lisesi (1987-1994)

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi- Fizik Bölümü (1994-2001)

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi-Fizik Bölümü (2009-...)

Çalışma Bilgileri

Ocak- 2003- Ekim 2004 arasında;

- 1) Süleyman Demirel Üniversitesi’ nde Bilgisayar Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi’ nde “Okutman” olarak;
- 2) Süleyman Demirel Üniversitesi “Stratejik Araştırma ve Uygulama Merkezi” nde “Okutman” olarak;
- 3) Süleyman Demirel Üniversitesi “Üniversite Girişimci İşbirliği Koordinatörlüğü” nde “Okutman” olarak görev yaptım.

Ekim 2004/Ocak 2011’ den bugüne ;

- 1) Akdeniz Üniversitesi Enformatik Bölüm Başkanlığı’ na Öğretim Görevlisi olarak atandım.
- 2) 2005’ ten itibaren Akdeniz Üniversitesi Enformatik Bölüm Başkan Yardımcısı olarak görevimi sürdürmekteyim.

Bilimsel Yayınlar

Sunumlu Bildiriler

- 1) International Conference on New Trends in Education and Their Implications
11-13 November 2010 ANTALYA/TÜRKİYE
- 2) 4. International Computer and Instructional Technologies Symposium 24-26
September 2010 Konya/TÜRKİYE

Katıldığı Bilimsel Toplantılar

- 1) 4. Ulusal Gastronomi Sempozyumu ve Sanatsal Etkinlikleri ANTALYA, 16-17
Nisan 2010
- 2) “Bilişim Teknolojileri ve Yenilikler”, Enformatik Bölümü ANTALYA, 6 Nisan
2010
- 3) Akdeniz Üniversitesi Avrupa Dökümantasyon Merkezi’ nin Yeniden
Yapılandırılması Ortak Tarım Politikası Modülü, ANTALYA, 20-24 Mayıs
2009.
- 4) “İstatistiksel Veri Analizi” Akdeniz Üniversitesi Antalya-Akseki Sağlık
Yüksekokulu, Prof. Dr. Mehmet Ziya FIRAT, ANTALYA, 19-21 Ocak 2009.

- 5) “PC Toplama Eğitimi”, Enformatik Bölümü, Antalya, 22 Nisan 2009.
- 6) “İnternet ve Bilişim Teknolojilerinin Geleceği”, Enformatik Bölümü, Antalya, 13 Nisan 2009.
- 7) Akademik Bilişim, Muğla, 10-12 Şubat 2010.
- 8) 27. Ulusal Bilişim Kurultayı, Ankara, 23-25 Eylül 2010.