

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ ELASTİK SAÇILMA REAKSİYONUNUN DÜŞÜK
ENERJİLERDE OPTİK MODEL KULLANILARAK
İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Yasemin KÜÇÜK**

**Tezi Yöneten
Doç. Dr. İsmail BOZTOSUN**

**Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2005
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ ELASTİK SAÇILMA REAKSİYONUNUN DÜŞÜK
ENERJİLERDE OPTİK MODEL KULLANILARAK
İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Yasemin KÜÇÜK**

**Tezi Yöneten
Doç. Dr. İsmail BOZTOSUN**

**Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Bu çalışma Tübitak (TBAG-2398) ve Erciyes Üniversitesi Araştırma Fonu (FBT-04-16)
tarafından desteklenmiştir.**

**Haziran 2005
KAYSERİ**

Doç. Dr. İsmail BOZTOSUN danışmanlığında **Yasemin KÜÇÜK** tarafından hazırlanan " **$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ Elastik Reaksiyonunun Düşük Enerjilerde Optik Model Kullanılarak İncelenmesi**" adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

18.07.2005

JÜRİ:

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz DAĞDEMİR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fevziye YAŞUK

Üye : Doç. Dr. İsmail BOZTOSUN

Y. Dağdemir
F. Yaşuk
I. Boztosun

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 04-08-2005 tarih ve 2005-26/03. sayılı kararı ile onaylanmıştır.

08/08./2005.



N. Ayyıldız
Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bugüne kadar her türlü konuda benim ve arkadaşlarımla yanında olan, bizden hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen ve iyi birer bilim adamı olma yolunda bize büyük katkılar sağlayan Sayın Dr. İsmail BOZTOSUN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Üç yıl boyunca onları çok üzmememe rağmen asla anlayış ve güler yüzlerini esirgemeyen ve her konuda destek olan aileme, özellikle sonsuz sabrı için babam Hayrettin KÜÇÜK'e, fikir alışverişleri ve yardımları için çalışma arkadaşlarım Mesut KARAKOÇ, Gökhan KOÇAK ve Orhan BAYRAK'a, makale çalışmalarımızda yardımlarından dolayı Dr. N. Ayşe BOZTOSUN'a, dostluğu ve destekleri için arkadaşım Pınar TAŐ'a ve son olarak da minik Kerem BOZTOSUN'a sonsuz teşekkürler.

Ayrıca TÜBİTAK 'a (TBAG-2398) ve Erciyes Üniversitesi 'ne (FBT-04-16) bu tez çalışması ve Erciyes Üniversitesi Nükleer Fizik Grubu'nun diğer çalışmalarına verdikleri mali destekten ötürü teşekkür ederim.

$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ ELASTİK SAÇILMA REAKSİYONUNUN DÜŞÜK ENERJİLERDE OPTİK MODEL KULLANILARAK İNCELENMESİ

Yasemin KÜÇÜK

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2005

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmail BOZTOSUN

ÖZET

Hafif-ağır iyon reaksiyonları uzun yıllar boyunca çok fazla ilgi çekmiş, deneysel ve teorik çalışmalar için büyük çabalar sarfedilmiştir. $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ sistemi de bu reaksiyonlardan biridir ve bugüne kadar yüksek ve düşük enerji bölgeleri için kapsamlı bir şekilde çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmalar, yüksek enerji bölgeleri için başarı göstermesine rağmen düşük enerji bölgelerinde nükleer potansiyelin şeklinin belirlenmesinde ve açısal dağılım, tek açılı 50^0-90^0 uyarılma fonksiyonları ile reaksiyon tesir kesitinin eşzamanlı açıklanmasında başarısız olmuştur. Bu çalışmada bu problemleri çözümlenebilmek amacı ile, yüksek enerji deneysel verisini tanımlamakta kullanılan farklı bir aileye sahip bir potansiyel önerilmiştir.

Elastik saçılma verisi laboratuvar sisteminde 32-70.7 MeV aralığında olmak üzere geniş bir enerji aralığı için Optik model çatısı altında analiz edilmiştir. Bu çalışmada açısal dağılım, uyarılma fonksiyonları ve reaksiyon tesir kesiti verisinin çalışılan enerji aralığı için eşzamanlı olarak açıklanabileceği gösterilmiştir. Analizlerde kullanılan potansiyel parametreleri bazı enerjilerde rezonans dolaylığı değişim göstermektedir. Bu çalışmada ayrıca, yüksek enerji ($E/A > 6$ MeV) bölgelerinde, uyarılmış kanalların potansiyelin reel kısmına hiçbir etkisinin olmadığı gösterilmesine rağmen, bu kanalların düşük enerji bölgelerinde ($E/A < 6$ MeV) reel potansiyel üzerinde büyük etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Potansiyel etkisi için yapılan son çalışmalara zıt olan bu sonuç dispersiyon ilişkisi ile tartışılmıştır. Ayrıca düşük enerji verisinin sığ bir potansiyelle açıklanamayacağı gösterilmiştir. Sonuç olarak, derinliği sabit, yarıçap ve difüzyon parametreleri enerjiye bağlı derin bir potansiyel kullanılarak rezonans bölgeleri dışında deneysel verilerle mükemmel uyum gösteren sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Optik model, elastik saçılma, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ reaksiyonu.

EXAMINATION OF THE $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ REACTION AT LOW ENERGIES BY USING THE OPTICAL MODEL

Yasemin KÜÇÜK

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, July 2005

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. İsmail BOZTOSUN

ABSTRACT

The light-heavy ion reactions have attracted enormous interest over the years and considerable effort has been devoted to the theoretical and experimental studies. The $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ system is one of these reactions and it has been so far extensively studied in the low and high energy regions. Although these studies have been successful in the high energy region, they have been futile in determining the shape of the nuclear potential in the low energy region and in describing the individual angular distributions, single-angle 50° to 90° excitation functions and reaction cross-section data simultaneously. In this study, in order to address these problems systematically, it has been proposed a potential that belongs to a different family other than the one used to describe high energy experimental data.

The elastic scattering data of the $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ reaction has been analyzed over a wide energy range from 32.0 to 70.7 MeV in the laboratory system within the framework of the Optical model. In this study, it has been shown that it is possible to explain simultaneously the individual angular distributions, single-angle excitation functions and reaction cross-section data over this wide energy range considered. The parameters of the optical potential used in these analyses at certain energies oscillate due to the presence of the resonances. The test calculations to observe the effect of the excited states are also shown to be very large on the scattering in the low energy region ($E/A < 6$ MeV), whereas almost no effect is observed on the real part of the potential in the high energy region ($E/A > 6$ MeV). This outcome is in contrast with the previous reports. This potential effect has been discussed within the dispersion relation. It has also been shown that it is not possible to fit the low energy experimental data by using a scattering equivalent shallow potential. However, excellent agreement with the experimental data away from the resonance region is obtained by using a deep potential with fixed depth and energy dependent radius and diffuseness.

Key words: Optical model, elastic scattering, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ reaction.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	V
TABLolarIN LİSTESİ.....	VIII
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	IX

BÖLÜM 1

1. Giriş

1.1. Tezin Motivasyonu.....	01
1.2. Tezin Yapısı.....	05

BÖLÜM 2

2. Model ve Formalizm

2.1. Giriş.....	06
2.2. Optik Model	09
2.2.1. İki Cisim Problemi.....	12
2.2.2. Laboratuar ve Kütle Merkezi Sistemleri	14
2.2.3. Etkin Potansiyel.....	17
2.2.3.1. Coulomb Potansiyeli.....	18
2.2.3.2. Nükleer Potansiyel.....	19
2.2.3.3. Merkezci Potansiyel.....	21
2.2.3.4. Spin Yörünge Terimi.....	21
2.2.4. Elastik Saçılma Tesir Kesiti.....	22

BÖLÜM 3

3. $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ Reaksiyonu

3.1. Deneysel Data.....	29
3.2. Teorik Çalışmalar.....	33
3.2.1 Rezonans Hesaplamaları.....	33

3.2.2 Optik Model ve Çiftlenmiş Kanallar Hesaplamaları.....	36
---	----

BÖLÜM 4

4. $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ Sisteminin Optik Modelle İncelenmesi

4.1. Model.....	45
4.2. Bulgular.....	48
4.2.1. Açısal Dağılım Dataları.....	48
4.2.2. 50^0 - 90^0 Uyarılma Fonksiyonu Dataları.....	49
4.2.3. Reaksiyon Tesir Kesiti Dataları.....	50

BÖLÜM 5

5. Tartışma ve Sonuçlar.....	71
-------------------------------------	-----------

KAYNAKLAR.....	74
-----------------------	-----------

EK-A.....	78
------------------	-----------

ÖZGEÇMİŞ.....	82
----------------------	-----------

TABLULARIN LİSTESİ

Tablo 4.1	Potansiyel Parametreleri, Hacim İntegralleri ve χ^2 Değerlerinin Enerjiye Göre Değişimi.	56
Tablo 4.2	50^0 - 90^0 Uyarılma Fonksiyonları İçin Optik Model Kullanılarak Elde Edilen χ^2 Değerleri.	57
Tablo 4.3	$E_{\text{Lab}}= 106.9$ MeV İçin Optik Model Parametreleri ve Hacim İntegralleri.	57

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1	Weisskopf ' a Göre Nükleer Reaksiyon Şeması.	6
Şekil 2.2	İki Cisim Problemi Çözümünün Şematik Gösterimi.	8
Şekil 2.3	A Parçacığının B Hedefinden Elastik Saçılması: (a) Kütle Merkezi Sistemi ve (b) Laboratuar Sistemi .	15
Şekil 2.4	Etkin potansiyelin kısımları.	18
Şekil 2.5	Wood-Saxon (WS) ve Wood-Saxon kare (WS ²) Form Faktörlerinin Karşılaştırmalı Şekli.	20
Şekil 2.6	Wood-Saxon Form Faktörü ve Onun Türevi.	21
Şekil 2.7	Parçacığın V(r) Toplam Potansiyel ile Etkileşmesinin Gösterimi.	22
Şekil 2.8	$l = 0$ (s-dalgaları) için, Üstteki Şekil Potansiyel Yokken, Ortadaki Şekil Çekici Kare Kuyu Potansiyeli Varken ve Alttaki Şekil İtici Kare Kuyu Potansiyeli Varken, Saçılma Dalga Fonksiyonunun Davranışını Göstermektedir.	28
Şekil 3.1	$^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ Reaksiyonunda Farklı Kanallar İçin Uyarılma Fonksiyonları. Şekildeki Pikler $E_{K.M.} = 5.68, 6.0$ ve 6.32 MeV e Karşılık Gelmektedir.	30
Şekil 3.2	Cosman Tarfından Gözlemlenen $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ Saçılma Rezonansları İçin Enerji-Spin Sistematiği.	31
Şekil 3.3	Cormier Tarafından Ölçülen Single ve Mutual Kanalları İçin İnelastik Uyarılma Fonksiyonları. Cormier'in Orjinal Spin Gösterimi Parantez İçerisinde Verilenlerdir. Diğer Değerler ise Sunulan Spin Gösterimleridir [5].	32
Şekil 3.4	$^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ Reaksiyonunun Single-2 ⁺ , Mutual-2 ⁺ ve Single-3 ⁻ Kanalları İçin Toplam İnelastik Tesir Kesitinin Kondo'nun Band-Crossing Model Hesaplamaları ile Karşılaştırılması.	35

- Şekil 3.5** Ordenez'in $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ Toplam Reel Çift-Minimum Potansiyeli. Kullanılan Reel ve Sanal Parametreler $V_R=V_I=40$ MeV, $r_R=3.6$ fm, $r_I=4.6$ fm, $a_R=a_I=0.33$ fm. Potansiyelin Yüzey Kısmı Geniş Mesafelerde Minimum Oluşturur ve Parametreleri $V_S=7.1+i0.3$ MeV, $r_S=6.2$ fm, $a_S=0.68$ fm'dir. 37
- Şekil 3.6** Fry'in Açısal Momentuma Bağlı Sanal Potansiyel ile Bulduğu Single- 2^+ Sonuçları. 39
- Şekil 3.7** 90^0 Uyarılma Fonksiyonu İçin Çiftlenmiş Kanallar Modeli ile Şekil-3.6 ya Benzer Hesaplamalar. 40
- Şekil 3.8** 90^0 Uyarılma fonksiyonu için Yeni Çiftlenim Potansiyeli ile elde edilen Çiftlenmiş Kanallar hesaplamaları sonuçları. 41
- Şekil 3.9** Yeni Çiftlenim Potansiyeli ile Elde Edilen $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ Sisteminin Single- 2^+ ve Mutual- 2^+ Durumları İçin 1^0 den 90^0 ye Kadar İntegre Tesir Kesiti Sonuçları. 42
- Şekil 4.1** $E>6/A$ Mev İçin 90^0 Uyarılma Fonksiyonu Sonuçlarının Deneysel Data ile Karşılaştırılması. Dairesel Noktalar Deneysel Verileri, Katı Çizgi Denklem-4.1 Sonuçlarını, Kesikli Çizgi Denklem- 4.2 Sonuçlarını Göstermektedir. 57
- Şekil 4.2** $E_{\text{Lab}}= 50-60$ MeV Arasında Deneysel Verilerin (dairesele noktalar) UNAM Potansiyeli Sonuçları (katı çizgiler) ile Karşılaştırılması. 58
- Şekil 4.3** Optik Model Parametreleri r_v , a_v nin $1/\chi^2$ Değerlerine Göre Değişiminin Üç Boyutlu Gösterimi. 59
- Şekil 4.4** ^{12}C ve ^{12}C Çekirdekleri Arasındaki Etkileşim Potansiyelinin Farklı Açısal Momentum Kuantum Sayıları (l) için, R Yarıçapına Göre Değişimi. İçteki Küçük Şekil ise $E_{\text{Lab}}=32.0$ ve 70.7 MeV deki Sanal Potansiyeli Göstermektedir. Parametreler Tablo-4.1 den Alınmıştır. 60
- Şekil 4.5** $E_{\text{Lab}}= 32.0-49.0$ MeV Arasında Elastik Saçılma Açısal Dağılım Deneysel Sonuçlarının (dairesele noktalar) Optik Model 61

- Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar (katı çizgiler) ile Karşılaştırılması.
- Şekil 4.6** $E_{\text{Lab}} = 50.0-70.7$ MeV Arasında Elastik Saçılma Açısal Dağılım Deneysel Sonuçlarının(dairesel noktalar) Optik Model Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar (katı çizgiler) ile Karşılaştırılması. 62
- Şekil 4.7** 90^0 Uyarılma Fonksiyonunun Model Sonuçları (katı çizgi) ile Deneysel Verilerin (dairese nokta) Karşılaştırılması. 63
- Şekil 4.8** $50^0 - 80^0$ Uyarılma Fonksiyonunun Optik Model Sonuçları (katı çizgiler) ile Deneysel Verilerin (dairese nokta) Karşılaştırılması. 64
- Şekil 4.9** Bu Çalışmada Kullanılan Potansiyel Sonuçlar (katı çizgi) ile Bugüne Kadar Yapılan Diğer Teorik Sonuçların (kesikli çizgiler) Deneysel Veriler ('+') ile karşılaştırılması. 65
- Şekil 4.10** Bu Çalışmada Kullanılan Nükleer Potansiyel (katı çizgi) ile Brandan ve Kondo Tarafından Yapılan Çalışmalarda Kullanılan Potansiyellerin (kesikli çizgiler) Karşılaştırılması. 66
- Şekil 4.11** Optik Model Hesaplamalarında Kullanılan Nükleer Potansiyelin Reel (Dolu Kareler) ve Sanal Kısımlarının (Boş Kareler) Hacim İntegralleridir. Üçgenlerle Gösterilen Değerler ise Brandan'ın Yüksek Enerji Bölgelerindeki Hacim İntegralleridir. Katı ve Kesikli Çizgiler ise Reel ve Sanal Potansiyeller Arasındaki Dispersiyon İlişkisini Göstermektedir. 67
- Şekil 4.12** $E_{\text{lab}} = 106.9$ Mev de ^{12}C Çekirdeğinin Single- 2^+ ve Mutual- 2^+ Durumlarının Dahil Edilmesinin Etkisi. Dairesel Noktalar Deneysel Datayı, Katı Çizgi Optik Model Sonuçlarını Kesikli Çizgiler İse Uyarılmış Kanalları Göstermektedir. 68

- Şekil 4.13** $E_{lab}= 35$ Mev de ^{12}C Çekirdeğinin Single- 2^+ ve Mutual- 2^+ Durumlarının Dahil Edilmesinin Etkisi. Dairesel Noktalar Deneysel Datayı, Katı Çizgi Optik Model Sonuçlarını Kesikli Çizgiler ise Uyarılmış Kanalları Göstermektedir. 69
- Şekil 4.14** Şeklin Üst Kısımında, $J=16$ Spin Değerleri İçin S-Matrisin Reel Kısımının Sanal Kısımına Göre Değişimi Verilmektedir. Şeklin Alt Kısımında ise, Elastik (0^+-0^+) ve Single- 2^+ (0^+-2^+) Kanalları İçin S-Matrisin Büyüklüğünün Aynı Spin Değerinde Enerjiye Göre Değişimi Verilmektedir. 70

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bu çalışma, 32-70.7 MeV enerji aralığında $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ elastik saçılma reaksiyonunun Optik model çatısı altında analizini içermektedir. Bugüne kadar bu sistem için çok sayıda deneysel çalışma yapılmış, açısal dağılım, 50^0-90^0 uyarılma fonksiyonları, reaksiyon tesir kesiti ve rezonans gibi birçok reaksiyon gözlenebilirini ölçebilmek için büyük çabalar sarfedilmiştir. Son 40 yıl boyunca bu deneysel dataları açıklamak üzere sayısız teorik çalışma yapılmıştır. Buna rağmen sistemde gözlemlenen bazı problemler henüz çözüme kavuşturulamamıştır. Sunulan tez çalışması, sistematik bir analizle bu problemlerin çözümünde global bir model geliştirmeyi amaçlamaktadır.

1.1. Tezin Motivasyonu

Uzun yıllardan beri nükleer fizik alanında en çok çalışılan konuların başında hafif-ağır iyonların saçılmaları gelmektedir. Birçok bilim adamı elastik ve inelastik saçılma reaksiyonlarına büyük ilgi göstermiş, bu mekanizmaları açıklayabilmek için çeşitli teorik modeller geliştirmişlerdir. $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ sistemi de uyarılma fonksiyonlarındaki osilasyonlu yapı ve özellikle düşük enerji bölgelerinde gözlemlenen rezonanslar nedeniyle en çok çalışılan reaksiyonlar arasına girmiştir. Elastik ve inelastik saçılma için bugüne kadar bir çok deney yapılmış [1-13], bu çalışmalardan elde edilen dataların birtakım modeller kullanılarak teorik olarak açıklanmaya çalışılması literatürde geniş yer kaplamıştır [14-32].

Elde edilen deneysel dataların açıklanmasında dinamik modeller ya da fenomenolojik kabullenmeler yapan teoriler kullanılmıştır. Teorik yorumlarında iki çekirdeğin etkileşmesini temel alan bu modellerin başında Optik model ve Çiftlenmiş Kanallar formalizmi gelmektedir. $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ sistemi bugüne kadar mikroskobik ve fenomenolojik

yaklaşımlar kullanan bu modeller ile incelenmiş, elastik ve inelastik saçılma reaksiyon gözlenebilirleri açıklanmaya çalışılmıştır.

$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ inelastik saçılma reaksiyonu Çiftlenmiş Kanallar modeli ile çalışılmıştır. Bu çalışmalarda elastik kanal ile uyarılmış kanalların açısız dağılımlarının eşzamanlı açıklanması, 0^+-2^+ kanalının faz dışılık ve 2^+-2^+ kanalının büyüklük problemi inelastik saçılma reaksiyonlarında karşılaşılan temel problemler olmuştur. Bu problemler üzerinde yapılan yoğun çalışmalardan uzun süre bir sonuç alınamamıştır. Ancak son yıllarda Boztosun ve Rae geliştirdikleri yeni çiftlenim potansiyeli ile bu sistemi geniş bir enerji aralığında analiz ederek bu problemleri çözmeyi başarmışlardır [27,31].

$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ saçılma reaksiyonunun elastik kısmı üzerinde uzun süre çaba sarfedilmesine rağmen deneysel dataların bir kısmının açıklanmasında güçlükler yaşanmıştır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda karşılaşılan problemler şöyle sıralanabilir:

- Rezonans
- Açısız dağılım ve uyarılma fonksiyonlarının eşzamanlı açıklanması
- Reaksiyon tesir kesiti datasının açıklanması
- Coulomb bariyeri civarındaki osilasyonlu yapı

Bilim adamlarının üzerinde yoğunlaştığı ilk çalışmalar düşük enerji bölgelerinde gözlemlenen rezonanslardır [18]. Hafif-ağır iyon reaksiyonlarının göze çarpan özelliklerinden biri olan rezonanslar, bir nükleer ortamda yansıyan ve kırılan dalgalardan çıkan girişim etkisi [22,23] ile yada elastik kanalların inelastik kanallara çiftlenim yapması ile oluşmaktadır. $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ sisteminde rezonanslar ilk olarak Cormier [4] tarafından gözlemlenmiş ve bunların açıklanması için birçok çalışma yapılmıştır. Ancak bu çalışmalar sadece rezonans üzerine olup, bu rezonansları açıklayan potansiyellerin diğer gözlenebilirler nasıl yanıt verdiği araştırılmamıştır.

Bu sistem ile ilgili ikinci tip hesaplamalar açısız dağılım ve uyarılma fonksiyonları üzerinde odaklanmıştır [9,30]. Elastik saçılma çalışmaları yüksek ve düşük enerji bölgeleri için ayrı ayrı yapılmış, geniş enerji aralıklarını içine alan bütünlüklü bir çalışma gerçekleştirilememiştir. Yüksek enerji bölgeleri ($E>6/A$ MeV) için yapılan çalışmalarda, iki çekirdek arasındaki etkileşim potansiyeli için başarılı bir tanımlama

yapılmış, nükleer potansiyelin reel kısmının derinliği gibi belirsizlikler giderilerek optik potansiyelin kaba özellikleri elde edilmiştir. $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ reaksiyonunun bu bölgelerdeki saçılma gözlenebilirleri açıklanabilmiş ve bu gözlenebilirlerin temel özelliklerinin teorik temellerinin anlaşılması sağlanabilmiştir. Bu çalışmalardan çıkan temel sonuç, kullanılan fenomenolojik potansiyeller güçlü çekici ve hafif absorpsiyonlu olmak üzere gelme enerjisine bağlı olmalıdır.

Yüksek enerji bölgeleri için yapılan en kapsamlı çalışma Brandan ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir [24]. Bu çalışmada fenomenolojik ve mikroskobik olmak üzere iki tip potansiyel geliştirilmiş ve açılma dağılımı, 90^0 uyarılma fonksiyonu ve reaksiyon tesir kesiti için iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Düşük enerji bölgeleri için de bugüne kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Ancak bu çalışmalarda tanımlanan potansiyeller elde edilen deneysel dataların sadece bir kısmını açıklamakta yeterli olmuştur. Örneğin açılma dağılımı datalarını açıklayan bir potansiyel ailesi uyarılma fonksiyonunu açıklamakta yetersiz kalmıştır. Ya da tersi olarak uyarılma fonksiyonlarını açıklayan bir potansiyel ailesi açılma dağılımı açıklayamamıştır. Tüm bu çalışmalar incelendiğinde görülmektedir ki; $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ saçılma reaksiyonu için düşük enerji bölgelerinde reaksiyon gözlenebilirlerini eşzamanlı açıklayabilen tek bir model bulunamamıştır.

Eşzamanlı açıklanamayan reaksiyon gözlenebilirlerinden biri de reaksiyon tesir kesitidir. Kolata [12] tarafından ölçülen reaksiyon tesir kesiti datası için yapılan çalışmalarda genel davranış elde edilmesine rağmen sonuçlar tatmin edici olmamıştır. Özellikle teorik sonuçlar ile deneysel data arasındaki büyüklük problemi çözülememiştir.

Teorik çalışmaların üzerinde durduğu bir diğer konu ise Coulomb bariyeri civarında tesir kesiti datasında gözlemlenen osilasyonlu yapı olmuştur. Daha öncede belirtildiği gibi bu bölgelerde gözlemlenen rezonansların bu osilasyonlu yapıya neden olduğu düşünülmüştür. Ancak sistem detaylı incelendiğinde rezonans bölgelerinin dışında da datanın çok hızlı değişimler gösterdiği fark edilmiştir. Bu ilginç yapı ^{12}C elementinin deforme yapısından ileri gelebileceği düşünülmüş, bunun üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Ancak açısız dağılım dadasında enerji değışimiyle meydana gelen ani değışikliklerin, enerji ile düzgün değışen potansiyel parametreleri ile açıklanması mümkün olmamıştır.

Sonuç olarak $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ elastik saçılma reaksiyonu için düşük enerjilerde reaksiyon gözlenebilirlerini aynı anda açıklayabilecek bir potansiyel ailesi henüz bulunamamıştır. Yüksek enerji bölgeleri için potansiyelin şekli ve belirsizliği gibi belirsizlikler giderilmesine rağmen, bu bölgeler için kullanılacak nükleer potansiyelin şekli, reel ve sanal kısımların derinliği ve parametrelerin büyüklüğünün nasıl olması gerektiği gibi sorular hala yanıt beklemektedir.

Yüksek enerji bölgeleri için yapılan çalışmalarda uyarılmış kanalların da etkisi araştırılmıştır. Saçılma reaksiyonlarının incelenmesinde kullanılan genel teori Feshbach formalizmidir. Bu formalizme göre, uyarılmış kanalların dahil edilmesi Çiftlenmiş Kanal hesaplamalarında yalnızca sanal potansiyeli etkilemektedir. Yapılan araştırmalar bu sistem için yüksek enerji bölgelerinde formalizmin geçerli olduğunu göstermektedir. Ancak bu çalışmalar düşük enerji bölgeleri için kapsamlı yapılmamış ve uyarılmış kanalların dahil edilmesinin potansiyeller üzerindeki etkisi sistematik olarak araştırılmamıştır.

Tüm bu çalışmaların ışığında, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ elastik saçılma reaksiyonu geniş bir enerji aralığında fenomenolojik potansiyeller kullanılarak analiz edilmiş, 32-70.7 MeV aralığındaki tüm deneysel veriler incelenmiştir. Bu enerji aralığında 18 açısız dağılım dadası, 50^0-90^0 olmak üzere 5 tek açılı uyarılma fonksiyonu dadası, reaksiyon tesir kesiti dadası ve $J=16$ spin değerinde ölçülmüş rezonans bulunmaktadır. Bu gözlenebilirler detaylı bir şekilde incelenerek, sistemde gözlemlenen problemlerin çözümünde Optik modelin geçerliliği araştırılmıştır.

Sunulan tez çalışmasının temel amacı, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ sistemi için bütünlüklü bir yaklaşımla, tüm elastik saçılma reaksiyonu gözlenebilirlerini eşzamanlı olarak açıklayabilecek bir potansiyel ailesi elde etmektir. Bu sayede bu sistemde var olan ve uzun süreden beri çözüm bekleyen problemler için global bir model geliştirilerek, nükleer fizik alanına ciddi katkılar sağlamaktır. Özellikle ülkemizde bu alanda yapılan çalışmaların yok denecek kadar az olması dikkate alındığında, şu ana kadar yapılamamış sistematik bir

çalışma ile uluslararası platformda yer alacak olan bu tez son derece büyük önem taşımaktadır.

1.2. Tezin Yapısı

Sunulan tezde aşağıdaki kısımlar yer almaktadır:

Bölüm 2 de bu çalışmadaki hesaplamalarda kullanılan Optik Model için kısa bir tanımlama verilerek, bir reaksiyonun teorik olarak incelenmesinde kullanılan referans sistemi ve etkileşim potansiyelinin özellikleri kısaca anlatılacaktır.

Bölüm 3 de $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ sistemi ile ilgili literatürde yer alan deneysel ve teorik çalışmaların geniş bir özeti yer almaktadır. Bu çalışmalar ile bugüne kadar yapılanlar ve karşılaşılan problemler tartışılmaktadır.

Bölüm 4 de bu çalışmada kullanılan Optik Model tanımlaması yapılarak potansiyel parametreleri verilmektedir. Bu bölümde ayrıca açılma dağılımı, 50° , 60° , 70° , 80° ve 90° uyarılma fonksiyonları ve reaksiyon tesir kesiti için teorik hesaplamaların sonuçları ve bunların deneysel verilerle karşılaştırılması gösterilmektedir. Yüksek ve düşük enerji bölgeleri için Optik Model ve Çiftlenmiş kanallar hesaplamaları yapılarak, uyarılmış kanalların dahil edilmesinin bu bölgelerde potansiyellere olan etkisi araştırılmıştır. Elde edilen teorik bulgular karşılaştırılarak Feshbach formalizminin bu bölgelerdeki geçerliliği irdelenmiştir. Bu bölümde son olarak reel ve sanal potansiyellerin hacim integralleri verilerek özellikleri dispersiyon ilişkisi ile tartışılmıştır.

Son olarak Bölüm 5 de, elde edilen sonuçların fiziksel tartışmaları yapılarak, gelecekte bu reaksiyonla ilgili yapılacak çalışmalar verilmektedir.

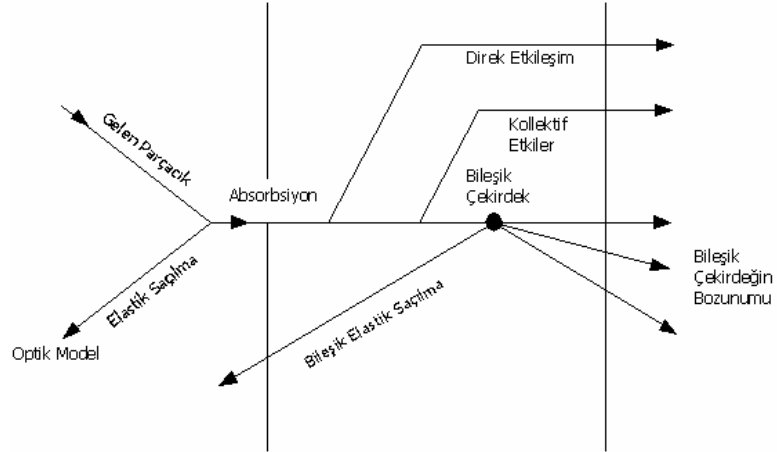
Bu çalışmada yapılan hesaplamalarda Fresco kodu kullanılmıştır. Ek-A kısmında açılma dağılımı ve uyarılma fonksiyonları hesaplamaları için kullanılan programların bir örneği verilmektedir.

BÖLÜM 2

MODEL VE FORMALİZM

2.1 Giriş

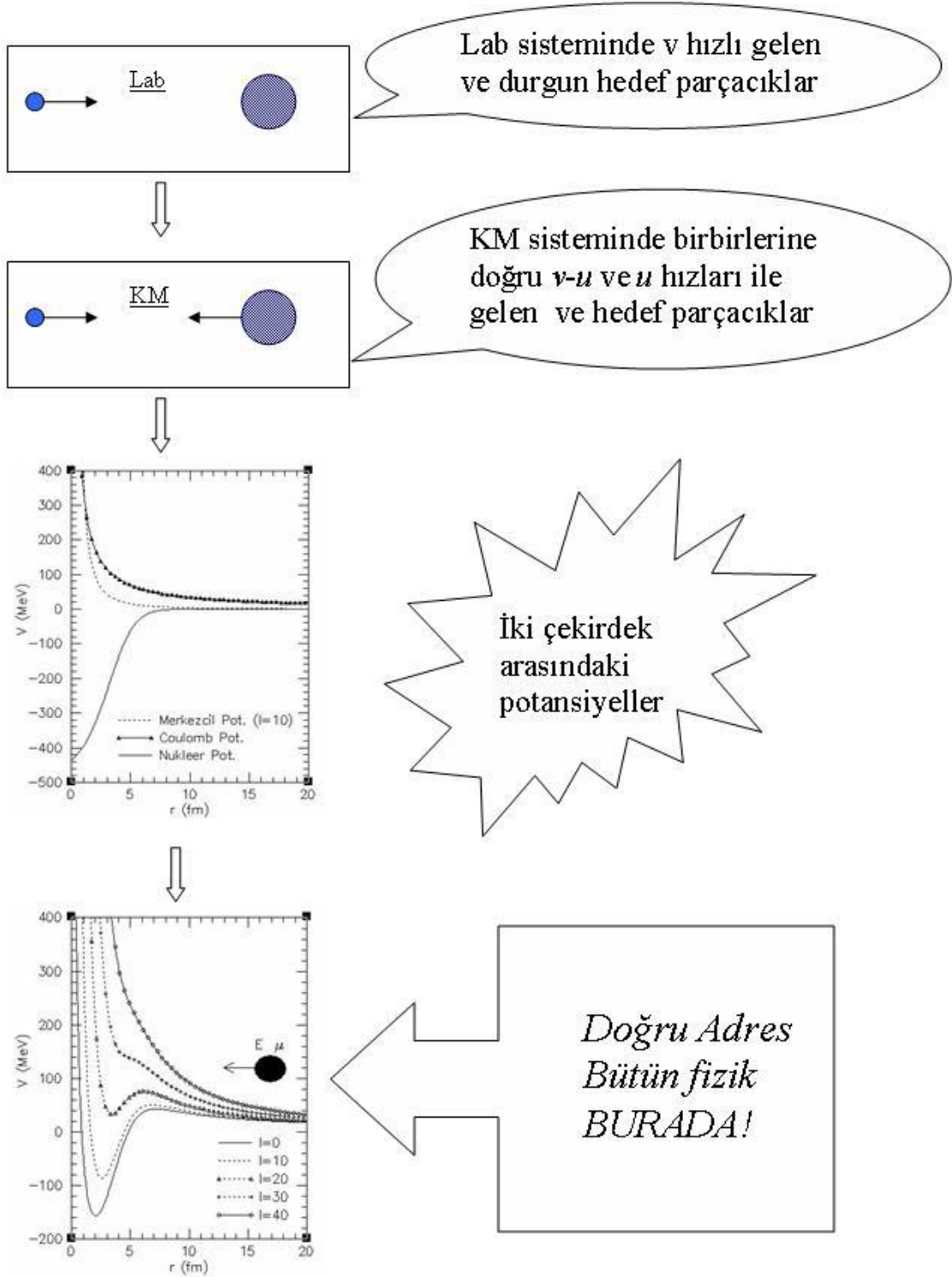
Nükleer reaksiyonlar, mekanizmalarına göre bileşik ya da direkt reaksiyonlar olmak üzere iki ana kısma ayrılabilirler. Düşük enerjilerde gelen bir parçacık, öncelikle hedef çekirdeğin Coulomb alanı ile etkileşir ve enerjisi Colomb bariyerini aşmaya yeterli değil ise Rutherford yasasına göre saçılır. Eğer parçacığın enerjisi Coulomb engelinden daha fazla ise parçacık, hedef çekirdeğin nükleer alanı ile etkileşerek ya nükleer saçılmaya uğrar ya da absorbe edilerek bir bileşik çekirdek oluşturur. Bu bileşik çekirdek uyarılmış durumda olup, daha sonra parçacık yayarak temel seviyeye döner. Bir ara durum oluşan bu tür reaksiyonlara '*bileşik çekirdek reaksiyonları*' denir. Daha büyük enerjilerde nükleer reaksiyonlar herhangi bir ara durum oluşmaksızın hemen gerçekleşebilirler. Bu tür reaksiyonlara '*direk reaksiyonlar*' adı verilir. Ara durum oluşup oluşmamasına göre nükleer reaksiyonların sınıflandırılması Şekil 2.1. de verilmektedir.



Şekil-2.1. Weisskopf'a Göre Nükleer Reaksiyon Şeması [33].

Şekil 2.1 e göre; birinci bölge tek parçacık durumu olup, daha sonra tanımlanacak olan bir $V(r)$ potansiyeli ile etkileşen bir parçacığın (gelen dalganın) elastik saçılmasını göstermektedir. İkinci bölge ise gelen dalganın bir kısmının absorbe edilmesi ile (W potansiyeli) bileşik sistem oluşturulan bölgedir.

Sunulan çalışmanın bu bölümünde birinci bölgede gösterilen, reaksiyon ürünlerinin değişmeden kaldığı elastik saçılma reaksiyonları ile ilgilenilerek, elastik saçılmayı soğurma etkilerini de dahil ederek inceleyen Optik model tanımlanmıştır ve Şekil 2.2. de şematik olarak verilen iki cisim probleminin çözümü ve bir nükleer reaksiyonun teorik yorumu verilmiştir.



Şekil-2.2. İki Cisim Problemi Çözümünün Şematik Gösterimi.

2.2 Optik Model

Nükleer reaksiyonların tanımlanmasında kullanılan en basit ve en başarılı modellerden biri Optik modeldir. Elastik saçılmanın tanımlanmasında önemli bir rol oynayan bu model, bir potansiyel parametresi ile iki çekirdeğin etkileşmesini karakterize eder. Saçılmanın bir potansiyel terimi ile tanımlanması, absorpsiyon güçlü değil ise serbestlik derecesi açısından büyük kolaylık sağlar. Ayrıca potansiyel tanımlaması, Schrödinger denklemini her yerde çözebilecek bir dalga fonksiyonu yazabilme imkanı verir. Geliştirilen diğer modellerin güçlü absorpsiyon temeline dayandığı dikkate alındığında, saçılmanın basit şekilde tanımlanması ve diğer modellere tamamlayıcı olması bakımından Optik model büyük önem arz etmektedir.

İlk olarak 1935 yılında, Schrödinger denkleminin çözümünde uyarılmış kanalları dikkate alabilmek için kompleks bir potansiyel kullanmanın gerekliliği Bethe tarafından ileri sürülmüş, daha sonra 1950 li yıllarda Feshbach ve Saxon kompleks saçılma potansiyeli modelini geliştirerek reaksiyonlara uygulamışlardır [34]. Optik model fikri, nötronların çekirdekte saçılması ile ışığın geçirgen bir küreden saçılması ile benzerlik gösterdiği keşfedilince ortaya atılmıştır. Düşük enerjili nötron deneyleri yapılmaya kadar çekirdekler arasındaki etkileşimin, güçlü ve kısa erimli nükleon kuvvetinden dolayı şiddetli olduğu ve bu nedenle nükleer sıvı içerisindeki bir nükleonun ortalama serbest yolunun çok kısa olduğu düşünülürdü. Aynı şekilde çekirdek saydam olmayan ya da siyah bir cisim gibi kabul edilir, uygun güçlü absorpsiyon modelleri kullanılırdı. Özellikle bu bölgelerde gözlemlenen keskin ve geniş rezonanslar bu modelleri desteklemekteydi. Daha sonra yapılan nötron deneylerinde, nötronların bir kısmı güçlü absorpsiyonu gösterir şekilde soğrulurken bir kısmı güçlü etkileşim etkisi yokmuş gibi saçılmışlardır. Nötronların bu optik davranışı üzerine bu model geliştirilmiştir.

Optik model, nükleer reaksiyonları, bir ortamdan geçerken kısmen absorbe edilen ışığın yayılmasına benzer bir analogi ile inceler [35]. Çünkü ışık dalgasının bir yüzeyden saçılması ile bir parçacığın bir potansiyelden saçılması paralellik göstermektedir. Elastik ve inelastik saçılmalarında kullanılan kompleks potansiyel, ışığın karmaşık kırılma indisli bir ortamda sergilediği yansıma, yutulma ve kırınım özelliklerine benzerliğinden dolayı optik potansiyel olarak adlandırılır.

İki çekirdek arasındaki etkileşim, komplike çok-cisim problemidir. Optik Model, elastik saçılmayı tanımlarken bu problemi basitleştirerek bir potansiyel ile etkileşen iki cisim problemine dönüştürür. Bu model potansiyeli, iki çekirdeğin kütle merkezleri arasındaki r mesafesine bağlı olarak alır. Bu nedenle potansiyel $V = V(r)$ şeklindedir. Ayrıca optik potansiyel, inelastik bir saçılma mümkün olduğunda, elastik kanaldan bir akı kaybı olacağı için soğurucu yani kompleks olmalıdır. Kısaca Optik modelde, gelen bir parçacık hedefi, sınırlı bir kompleks potansiyeli olarak görür. Bu kompleks potansiyel şu şekilde tanımlanır:

$$V_{op}(r) = V(r) + iW(r) \quad 2.1$$

Burada $V(r)$ reel potansiyel olup, gelen parçacık ile hedef çekirdek arasındaki etkileşmeyi tanımlar. $W(r)$ uyarılmış kanallara giden akı ile soğrulmadan sorumludur. Optik model, bu potansiyel ile elastik saçılmanın yorumlanmasının yanısıra çarpışan iki parçacığın görelî hareketi içinde dalga fonksiyonu sağlar. Ancak Optik model sadece elastik kanallardaki dalga fonksiyonları ile ilgilenir. Diğer tüm uyarılmış kanallar, W sanal potansiyeli ile elastik kanalda kaybolan akı olarak hesaba katılır. Elastik saçılma için Radyal Schrödinger denklemi şu şekilde verilir:

$$\frac{d^2 u_l}{dr^2} + \left[\frac{2m}{\hbar^2} (E - V_{op}(r)) - \frac{l(l+1)}{r^2} \right] u_l = 0 \quad 2.2$$

Nükleer reaksiyon teorileri, nükleer yapı modellerinin problemlerini dikkate aldığından, Optik Model, kabuk modeli ve kollektif modelleri temel alır. Bu nedenle optik potansiyel Hartree-Fock potansiyeline yakın olarak, kabuk modeli potansiyelinden geliştirilen bir potansiyeldir. Optik potansiyel bu sayede nükleer madde dağılımı hakkında da bilgi verebilmektedir.

Elastik saçılma hesaplamalarında, çekirdekler donmuş objeler olarak tanımlanarak, iç yapıları dikkate alınmaz. Oysaki iki parçacığın etkileşmesi sonucunda, akı soğrulması ile birçok reaksiyon kanalının açılması mümkündür. Bu durum elastik saçılmayı etkiler. Bu nedenle tanımlanan etkileşim potansiyeli reaksiyon sonunda oluşabilecek tüm durumları içermelidir. Ancak reaksiyon sonunda açılacak kanalların detayları ile

ilgilenilmeden sadece elastik saçılma etkileri araştırılıyorsa, absorpsiyon optik potansiyele eklenen sanal bir terimle temsil edilmelidir. Bu nedenle optik potansiyel kompleks olmalıdır.

Optik potansiyelin diğeri bir özelliği ise enerjiye bağlı olmasıdır. Gelen enerjiyle birlikte kanalların açılma ihtimali de artacağından, bu kanalları temsil eden sanal potansiyelin şiddeti de gelme enerjisine bağlı olarak değişecektir. Dolayısı ile optik potansiyel de enerjiye bağlı olmalıdır.

Optik potansiyel, elimine edilmiş kanalların çiftlenim etkisinden dolayı lokal olmayan (non-local) bir özellik gösterir. Bunun fiziksel anlamı şudur; elastik kanala herhangi bir r noktasından giren bir parçacık, inelastik kanallardan herhangi birine uyarılarak, tekrar elastik kanala dönebilir ve farklı bir r' noktasından saçılabilir. Saçılmanın r ya da r' noktasına bağlı olmadan herhangi bir noktadan gerçekleşmesi potansiyelin lokal olmama özelliğini gösterir. Bu özellik mermi ve hedef çekirdeğin nükleonlarının antisimetrisasyonundan kaynaklanmaktadır. Lokal olmama özelliği momentuma bağlı olma özelliği olarak da kabul edilebilir. Sonuçta optik model ara durumlarla ilgilenmeden sadece elastik kısmı inceler.

Nükleon-nükleon kuvveti spine bağlı olduğu için etkileşim potansiyelide mermi ya da hedefteki çekirdeğin spinine bağlıdır. Hafif iyonlar daha ağır hedeflere gönderildiğinde sadece merminin spinine çiftlenim çok önemlidir. Ancak daha ağır mermiler kullanıldığında, mermi ve hedef çekirdeğin spinleri karşılaştırılabilir olmalıdır. Eğer her ikisinin de spini sıfırdan farklı ise hem mermi hemde hedefin spinlerine çiftlenim dikkate alınmalıdır. Spin-yörünge çiftleniminin şiddeti iyonun kütesinin tersi olarak azalacaktır. Spin-spin etkileşmesi mermi ve hedefin her ikisi birden spine sahipse gerçekleşecektir. Optik potansiyel spinin yanısıra, nükleon-nükleon kuvvetinin yükten bağımsız olmasına rağmen nükleer kısmın proton-nötron kuvvetinin nötron-nötron kuvvetinden farklılık göstermesi nedeniyle izospine de bağlıdır.

Merminin gelme enerjisi, uyarılmış durumların enerji seviyelerinden birine eşit olursa rezonans durumu olabilir. Bu nedenle optik potansiyel rezonanttır. Ayrıca optik potansiyel, elimine edilmiş kanalların etkisinden dolayı seçilen model uzayına da bağlıdır.

Optik potansiyelin özellikleri kısaca şu şekildedir:

- Komplekstir
- Enerjiye bağlıdır
- Lokal değildir (non-local)
- Rezonanttır
- Spin ve izospine bağlıdır
- Seçilen model uzayına bağlıdır

Bir etkileşim modeli olan Optik Model daha öncede belirtildiği gibi iki cisim probleminin çözümüne dayanır. Gelecek bölümde bu problemin nasıl çözüldüğü ve etkileşimin tanımlandığı kütle-merkezi sistemi verilecektir.

2.2.1 İki Cisim Problemi

İki cisim arasındaki saçılma olayının tanımlanması oldukça uzun ve kompleks denklemlerin çözümünü gerektirmektedir. Bu nedenle, işlemleri basitleştirebilmek için denklemlerde bir takım dönüşümler yapılabilir. Bu dönüşümler sayesinde iki cisimli sistem tek parçacıklı bir sisteme dönüştürülerek problem çözülebilir.

Klasik mekanikte iki cisimli bir sistem Lagrangian ile şu şekilde tanımlanır:

$$L(r_1, \dot{r}_1; r_2, \dot{r}_2) = T - V = \frac{1}{2} m_1 \dot{r}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{r}_2^2 - V(r_1 - r_2) \quad 2.3$$

Burada m_1 ve m_2 , r_1 ve r_2 konumlarındaki spinsiz iki parçacığın kütesidir. $V(r_1 - r_2)$ potansiyeli ise sadece $r = r_1 - r_2$ göreli konumuna bağlı olup bu parçacıkların üzerine uygulanan kuvvetlerden türetilir. Ancak bu durum sistemin izole olması durumunda geçerlidir.

Lagrangian denkleminde de görüldüğü gibi, iki parçacığın toplam 6 tane koordinatı bulunmaktadır ve bu durum sistemin çözümünü oldukça zorlaştırmaktadır. Bu iki parçacığın hareketinin çalışılması, parçacıkların koordinatları yerine bu iki parçacığın kütle merkezinin koordinatlarının kullanılması ile basitleştirilebilir. Kütle merkezinin koordinatları ise şu şekilde belirlenir:

$$r_c = \frac{m_1 r_1 + m_2 r_2}{m_1 + m_2} \quad 2.4$$

$$r = r_1 - r_2 \quad 2.5$$

Bu iki denklem birleştirilirse, parçacıkların konumları şu şekilde yazılabilir:

$$r_1 = r_c + \frac{m_2}{m_1 + m_2} r \quad r_2 = r_c - \frac{m_1}{m_1 + m_2} r \quad 2.6$$

Bu eşitlikler Lagrangian denkleminde yerine yazılırsa,

$$\begin{aligned} L(r_c, \dot{r}_c; r, \dot{r}) &= \frac{1}{2} m_1 \left[\dot{r}_c + \frac{m_2}{m_1 + m_2} \dot{r} \right]^2 + \frac{1}{2} m_2 \left[\dot{r}_c - \frac{m_1}{m_1 + m_2} \dot{r} \right]^2 - V(r) \\ &= \frac{1}{2} M \dot{r}_c^2 + \frac{1}{2} \mu \dot{r}^2 - V(r) \end{aligned} \quad 2.7$$

Burada $M = m_1 + m_2$ sistemin toplam kütlesi ve $\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ sistemin indirgenmiş kütlesidir.

Yukarıdaki denklemler kullanılarak r_c ve r 'in momentumları şöyle olur:

$p_c = M \dot{r}_c = m_1 \dot{r}_1 + m_2 \dot{r}_2 = p_1 + p_2$ olup sistemin toplam momentumudur.

$p = \mu \dot{r} = \frac{m_2 p_1 - m_1 p_2}{m_1 + m_2}$ ise iki parçacığın görel momentumu olarak adlandırılır. Bu

sistemi Hamiltonyen deklemini ile ifade edersek;

$$H(r_c, p_c; r, p) = \frac{p_c^2}{2M} + \frac{p^2}{2\mu} + V(r) \quad 2.8$$

Bu denklemdeki ilk terim kütlesi iki parçacığın kütlesine, konumu da bu iki parçacığın kütle merkezinin konumuna eşit hayali bir parçacığın kinetik enerjisini verir. Ancak bu

hayali parçacık kütle merkezi sisteminde durgun olacağından, bu sistemde Hamiltonyen denklemi şu şekilde olacaktır:

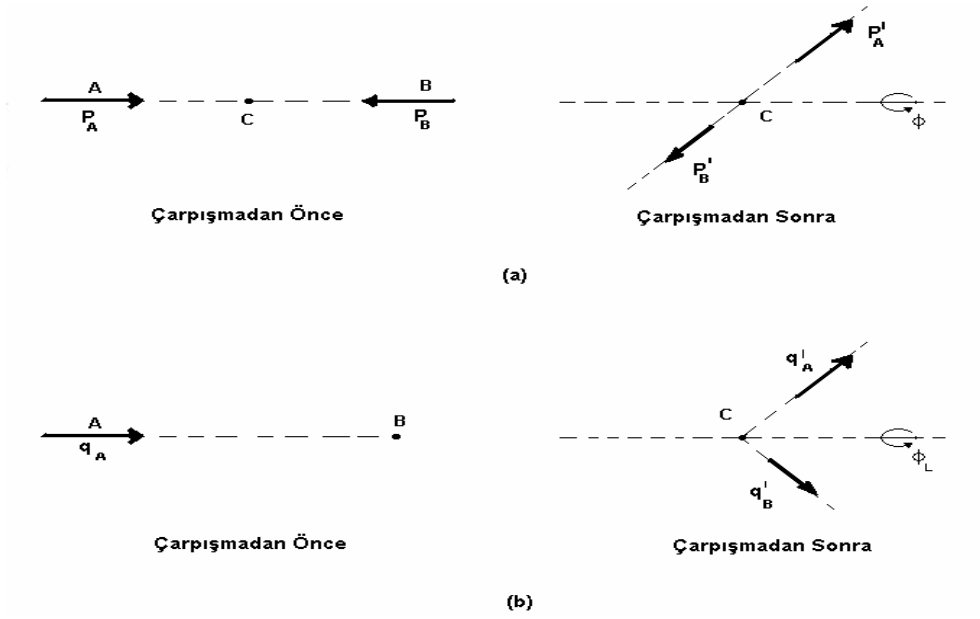
$$H_r = \frac{p^2}{2\mu} + V(r) \quad 2.9$$

Bu da kütle merkezi sisteminde iki parçacığın bir $V(r)$ potansiyeli ile etkileşen μ kütleli tek bir parçacık gibi davrandığını gösterir ve bu hayali parçacık da görelî parçacık olarak isimlendirilir. Bu nedenle H_r , iki parçacığın görelî hareketinin enerjisini verir. $V(r)$ ise iki parçacık arasındaki potansiyel enerjiye eşittir.

Böylece görelî parçacık ile iki cisim problemi basitleştirilmiş ve bu sayede iki cisim etkileşmesinin anlaşılmasına büyük katkılar sağlanmıştır. Gelecek bölüm, iki cisim problemini çözümünden bir cismin etkin bir potansiyelle etkileşmesini gösteren kütle merkezi sistemini anlatmaktadır.

2.2.2 Laboratuvar ve Kütle Merkezi Sistemleri

Bir nükleer reaksiyon, laboratuvar ortamında durgun bir hedef üzerine gönderilen parçacıklarla gerçekleştirilir. Ancak çarpışma olayının teorik yorumu için, olayın temel simetrisini yansıtan bir referans sistemi kullanmak gerekmektedir. Toplam momentum iki sistemin çarpışmasında korunan bir nicelik olduğu için, toplam momentumun sıfır olduğu bir referans sistemi seçilmelidir. Bu nedenle iki parçacık arasındaki etkileşmelerde kütle merkezi sistemi kullanılmaktadır. Bu referans sisteminde, kütle merkezi sabit olup, parçacıklar kütle merkezine göre eşit ve zıt momentumla hareket ederler. Aynı şekilde reaksiyon ürünleride eşit ve zıt momentumla hareket ederler. Parçacıkların ve bunların kütle merkezinin, laboratuvara göre tespit edildiği koordinat sistemi ise laboratuvar sistemi olarak adlandırılır. Aşağıdaki şekilde laboratuvar ve kütle merkezi sisteminde mermi ve hedef parçacığın çarpışmadan önce ve sonraki durumları gösterilmektedir.



Şekil 2.3 A Parçacığının B Hedefinden Elastik Saçılması: (A) Kütle Merkezi Sistemi ve (B) Laboratuvar Sistemi.

Şekil 2.3. den görüleceği gibi kütle merkezi sisteminde hem mermi hem de hedef birbirlerine doğru hareket etmektedirler ve momentumları $\vec{P}_A = -\vec{P}_B = \vec{P}$ şeklinde eşit ve zıt yönlüdür. Etkileşmeden sonra birbirlerine zıt yönde eşit momentumla $\vec{P}'_A = -\vec{P}'_B = \vec{P}'$ hareket etmektedirler (a). Laboratuvar çerçevesinde ise hedef durağandır ve mermi çekirdek hedefle etkileştiği zaman farklı momentumlarda farklı yönlerde hareket eder (b). Aşağıdaki denklemler bu iki sistem arasındaki bağıntıları vermektedir:

Momentumun korunumundan yola çıkılarak, kütle merkezinin hızı;

$$(m_A + m_B)v_{km} \rightarrow = m_A \vec{v} \quad 2.10$$

ifadesinden bulunur. Burada $v_{km} \rightarrow$ kütle merkezinin hızı, \vec{v} ise laboratuvar sisteminde gelen parçacığın hızıdır. Mermi parçacığın kütle merkezindeki momentumu ile laboratuvar sistemindeki $q_A \rightarrow$ momentumuna arasındaki ilişki

$$\vec{P}_A = \vec{q}_A - m_A \vec{v}_{km} = \frac{m_B}{m_A + m_B} \vec{q}_A \quad 2.11$$

şeklindedir. Buradan kütle merkezi sisteminde mermi çekirdeğin hızı;

$$\vec{v}_A = \frac{m_B}{m_A + m_B} \vec{v} \quad 2.12$$

şeklindedir. Hedef çekirdeğin kütle merkezi sistemindeki hızı ise $\vec{v}_B = -\vec{v}_{km}$ dir. Laboratuar ve kütle merkezi sisteminde çarpışmadan sonra mermi çekirdeğin momentum bileşenleri arasındaki ilişki,

$$\vec{P}'_A \cos \theta = \vec{q}'_A \cos \theta_L - m_A \vec{v}'_{km} \quad 2.13$$

$$\vec{P}'_A \sin \theta = \vec{q}'_A \sin \theta_L \quad 2.14$$

şeklindedir. $P_A = P'_A = P$ olduğunu göz önüne alarak θ ile θ_L arasında

$$\tan \theta_L = \frac{\sin \theta}{\cos \theta + \tau} \quad 2.15$$

ilişkisi kurulabilir. Burada $\tau = \frac{m_A}{m_B}$ dir. Her iki sistemin azimütal ($\phi_{km} = \phi_{lab}$) açısı birbirine eşittir. Mermi parçacığının enerjisi en genel halde,

$$E = \frac{1}{2} \mu_\alpha v_A^2 + \frac{1}{2} M v_{km}^2 = E_\alpha + E_{km} \quad 2.16$$

şeklinde yazılabilir. Burada $M = m_A + m_B$ toplam kütle ve $\mu = \frac{m_A m_B}{m_A + m_B}$ indirgenmiş küttedir. E_α kinetik enerjisi, kütle merkezi çerçevesinde mermi ve hedefin birbirlerine göre enerjileridir. E_{km} kinetik enerjisi ise belirli bir referans noktasına göre sistemin

enerjisidir. $E_{\mu} = \frac{1}{2} \mu v^2$ ve $E_{lab} = \frac{1}{2} m_A v^2$ ifadeleri göz önüne alınarak bağıl hareketin enerjisi ile laboratuvar sisteminin enerjisi arasında,

$$E_{\mu} = \frac{m_B}{m_A + m_B} E_{lab} \quad 2.17$$

bağıntısı olduğu görülür.

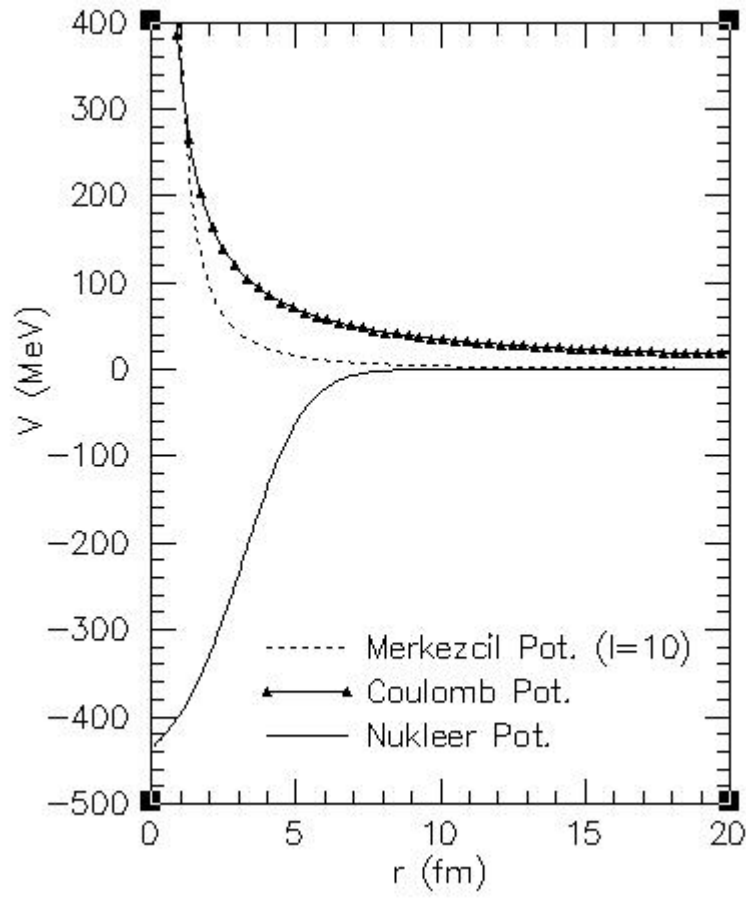
Eğer hedef çekirdek gelen çekirdekten çok ağır ise, laboratuvar sistemi ile kütle merkezi sistemi arasındaki fark oldukça küçüktür. Ancak hafif iyonlar için bu fark oldukça büyüktür. Örneğin hedef ve gelen parçacık eşit kütleyle sahip ise kütle merkezinin kinetik enerjisi laboratuvar sisteminin kinetik enerjisinin yarısına eşittir. Bununla birlikte kütle merkezindeki saçılma açısı 180^0 kadar olabilirken laboratuvar sisteminde 90^0 yi aşamaz.

Yukarıdaki tartışmalardan görüleceği gibi, kütle merkezi sistemi bir cismin etkin bir potansiyelle etkileşmesini tasvir eder. Bir sonraki bölümde bu etkin potansiyelin özellikleri verilecektir.

2.2.3 ETKİN POTANSİYEL

Optik model, nükleer reaksiyonları yorumlarken, bir cismin, iki cisim arasındaki potansiyel enerjiye denk etkin bir potansiyel ile etkileştiğini kabul eder. Bu potansiyelin parçacıkların yüklü olup olmamasına göre Coulomb, reaksiyonu tanımlayan nükleer ve iç yapıdan kaynaklanan merkezi potansiyel ve spine bağlılıktan dolayı bir spin-yörünge terimi bileşenlerinden oluşmaktadır. Buna göre toplam potansiyel Şekil-2.4 de görüldüğü gibi aşağıdaki forma sahiptir:

$$U_{Toplam} = V_{Coulomb} + V_{Nükleer} + V_{so} + V_{Merkezcil} \quad 2.18$$



Şekil 2.4. Etkin Potansiyelin Kısımları.

2.2.3.1. Coulomb Potansiyeli

Nokta yük Z_a ile düzgün dağılmış yüke sahip R_C yarıçaplı bir küre olan Z_A yükünün etkileşmesinden kaynaklanan Coulomb potansiyeli,

$$\begin{aligned}
 V_C &= \frac{Z_a Z_A e^2}{r}, & r \geq R_C \\
 &= \frac{Z_a Z_A e^2}{2R_C} \left(3 - \frac{r^2}{R_C^2}\right), & r \leq R_C
 \end{aligned} \tag{2.19}$$

şeklinde verilir. Burada Mermi(Z_a) ve hedef (Z_A) çekirdek birleşmediği sürece (overlap) Coulomb potansiyeli noktasal alınabilir. Bu potansiyel reaksiyon önleyicidir

ve nükleer reaksiyonun gerçekleşebilmesi için Coulomb bariyerinin aşılması gerekmektedir. Bariyer enerjisi kabaca $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z_a Z_A e^2}{r}$ şeklindedir.

2.2.3.2. Nükleer Potansiyel

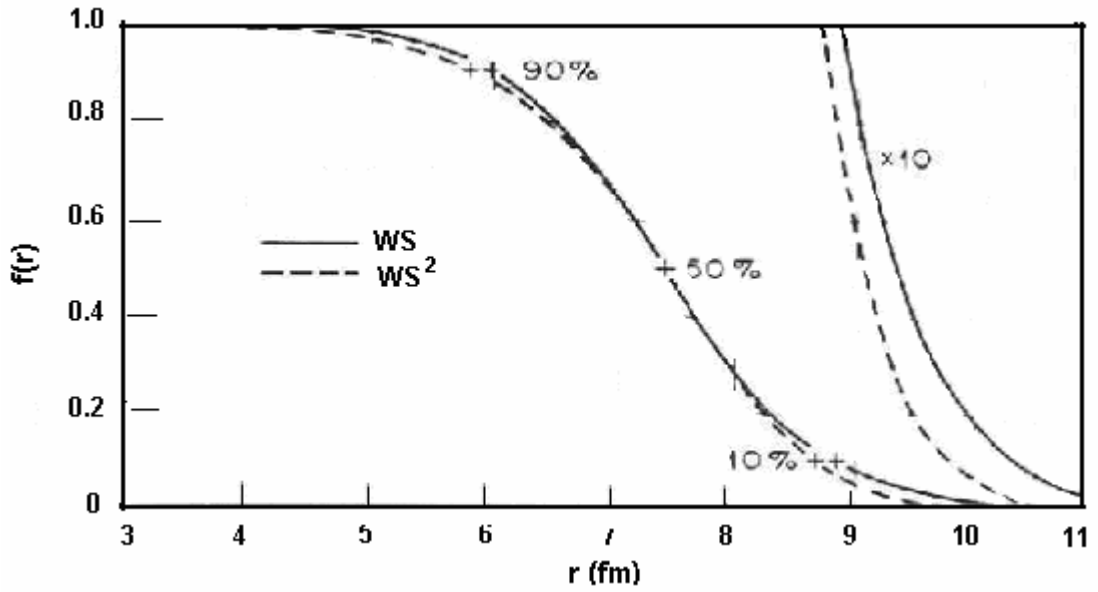
Nükleer potansiyel reel (V) ve sanal (W) olmak üzere iki kısımdan oluşur ve şöyle gösterilir:

$$U_N = -Vf_V(r) + V_S g_V(r) - i[W_V f_W(r) + W_S g_W(r)] \quad 2.20$$

Optik modele göre, nükleer potansiyelin reel kısmının iç bölgeleri düz ve çekicidir (negatif). Kısa erimli nükleer kuvvetlerden dolayı yüzey bölgelerine gidildikçe hızla sıfıra yaklaşır. Ağır bir hedefe gelen hafif bir mermi için reel potansiyelin derinliği merminin nükleon sayısı ile doğru orantılıdır. Nükleer madde yoğunluğu tüm çekirdeklerin iç bölgelerinde hemen hemen aynı olduğu için genel olarak reel potansiyelin derinliği benzerlik göstererek, küçük sapmalarla $(N-Z)/A$ ya bağlıdır. Nükleer potansiyelin şekli için bir çok model önerilse de en popüler olan model aşağıda formu verilen Wood-Saxon tipidir:

$$\text{Re}V_N(r) = V_0 f(r), \quad f(r) = \frac{1}{\left[1 + \exp\left(\frac{r - R_v}{a_v}\right)\right]} \quad 2.21$$

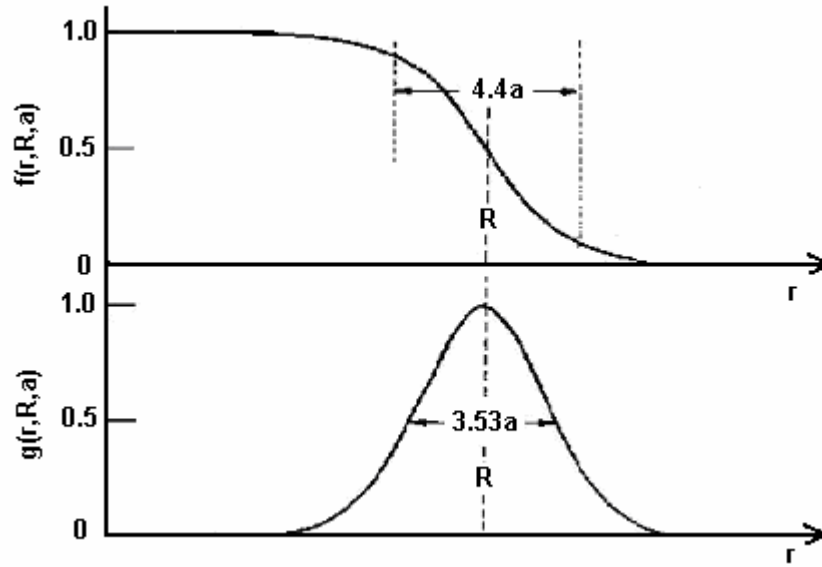
Burada $f(r)$ form faktörü olup, V_0 derinlik, r yarıçap, a difüzyon parametreleridir. Difüzyon parametresi, potansiyelin %90'dan %10'a düştüğü mesafedir. Aşağıdaki şekil Wood-Saxon formundaki potansiyelleri göstermektedir.



Şekil 2.5. Wood-Saxon (WS) ve Wood-Saxon Kare (WS^2) Form Faktörlerinin Karşılaştırmalı Şekli.

Wood-Saxon şeklinde bir potansiyel kullanmanın ağır iyonlar için geçerli olup olmadığı açık değildir. Bu sistemler güçlü absorpsiyonlu saçılmalar sergilediği ve yüzey bölgesine duyarlı oldukları için daha basit modeller kullanmak genellikle daha elverişli olmaktadır.

Nükleer potansiyelin sanal kısmı ise yüzey ve hacim olmak üzere iki forma sahiptir. Hacim formu genellikle Denklem 2.21 deki gibidir. Yüzey absorpsiyonu genellikle reel kısmın form faktörünün türevi olarak alınır. Şekil 2.6. reel potansiyelin form faktörü ve onun türevi olan sanal potansiyelin form faktörünü göstermektedir.



Şekil 2.6 Wood-Saxon Form Faktörü ve Onun Türevi.

2.2.3.3 Merkezil Potansiyel

Merkezil potansiyel mermi ve hedef çekirdeğin bağıl açısıl momentumundan doğar ve şiddeti aşağıdaki gibi verilir.

$$V_l = \frac{l(l+1)\hbar^2}{2\mu r^2} \quad 2.22$$

Denklemden görüldüğü üzere merkezil potansiyel açısıl momentum kuantum sayısına bağlıdır. Bu potansiyel çekirdeğin nükleer potansiyelinden dolayı kendi içine çökmesini önleyen çok şiddetli bir bariyerdir.

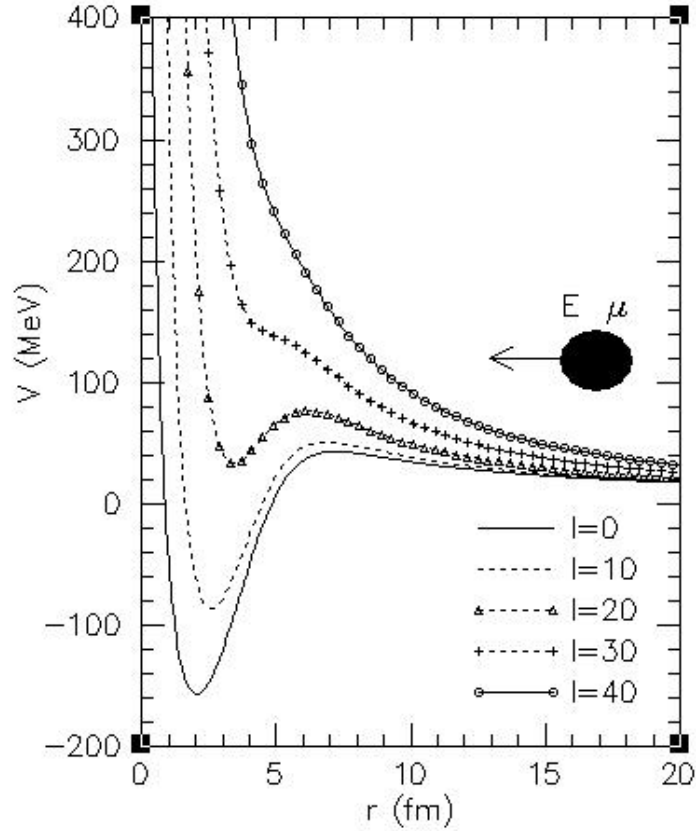
2.2.3.4. Spin yörünge terimi (V_{so})

Eğer mermi çekirdek spine sahipse hedefle mermi arasındaki spin-yörünge etkileşiminden doğan bir potansiyel oluşur. Bu potansiyelin fenomenolojik formu şöyledir:

$$U_{so} = -(V_{so} + iW_{so}) \left(\frac{\hbar}{m_\pi c} \right)^2 \frac{1}{r} \frac{df_s(r)}{dr} \vec{l} \cdot \vec{s} \quad 2.23$$

2.2.4. Elastik Saçılma Tesir Kesiti

Nükleer reaksiyon teorisinin temel görevi, uygun sınır şartları altında sistemin Schrödinger denkleminin çözümü bulmaktır. Schrödinger denklemi çok parçacıklı sistemler için olduğundan, toplam dalga fonksiyonu tüm etkileşen parçacıkların koordinatlarına bağlıdır, dolayısı ile potansiyel de bu parçacıklar arasındaki tüm etkileşmelerin toplamıdır. Ancak Schrödinger denklemini bu haliyle çözmek mümkün değildir. Bu problemi çözmek için, gelen parçacık ile hedef parçacık arasındaki etkileşim basit tek-cisim potansiyeli $V(r)$ olarak kabul edilir. r parçacıklar arasındaki mesafedir. Bu yaklaşım için genellikle tek parçacıklı kabuk modeli kullanılarak $V(r)$ potansiyelinin genel formu elde edilir ve gelen parçacığın laboratuvar sistemindeki enerjisi alınarak kütle merkezi sisteminde çalışılır. Bir parçacığın $V(r)$ toplam potansiyeli ile etkileşmesi Şekil 2.7. de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Bir Parçacığın $V(r)$ Toplam Potansiyel ile Etkileşmesinin Gösterimi.

Schrödinger denklemi, E enerjisiyle gelen bir parçacığın $V(r)$ potansiyelinden elastik saçılması için şu şekildedir:

$$\nabla^2 \psi + \frac{2\mu}{\hbar^2} \{E - V(r)\} \psi = 0 \quad 2.24$$

Bu denklemin çözümü gelen bir düzlem dalga ve saçılan küresel dalgalarla temsil edilir. Çözümlerde küresel kutup koordinatları kullanılır ve gelen dalganın yönü için z eksenini seçilirse, dalga fonksiyonunun asimptotik formu şu şekilde olur:

$$\psi \approx e^{ikz} + \frac{e^{ikr}}{r} f(\theta) \quad 2.25$$

Burada $k = (2\mu E)^{\frac{1}{2}} / \hbar$ dalga sayısıdır. Diferansiyel saçılma tesir kesiti şu şekilde belirlenir:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = |f(\theta)|^2 \quad 2.26$$

Schrödinger denklemini çözebilmek için ψ , radyal ve açısal kısmın çarpımı olarak yazılır.

$$\psi = \sum_L \frac{u_L(r)}{r} P_L(\cos \theta) \quad 2.27$$

Burada $L = 0, 1, 2, \dots$ yörünge açısal momentum numarası ve P Legendre polinomudur. Denklem (2.27) nin sol tarafı $P_L(\cos \theta)$ ile çarpılıp, θ üzerinden integrali alınır ve Denklem (2.24) e yazılırsa,

$$\frac{d^2 u_L}{dr^2} + \left[\frac{2\mu}{\hbar^2} \{E - V(r)\} - \frac{L(L+1)}{r^2} \right] u_L = 0 \quad 2.28$$

elde edilir.

Bu denklemin çözümü ilk olarak $L = 0$ küresel durumu için yapılır. Bu durum için s-radyal dalga fonksiyonu denklemini şu şekildedir:

$$\frac{d^2 u_0}{dr^2} + \frac{2\mu}{\hbar^2} \{E - V(r)\} u_0 = 0 \quad 2.29$$

Geniş mesafelerde, nükleer alan $V(r)$, r^{-1} den daha hızlı düşer ve belli bir R mesafesinde ihmal edilir. Bu durum Coulomb potansiyeli için geçerli değildir.

$r \rightarrow \infty$ limitinde Denklem (2.29) şu hale dönüşür:

$$\frac{d^2 u_0}{dr^2} + k^2 u_0 = 0 \quad 2.30$$

Bu denklemin genel çözümü şudur;

$$u_0 \approx A \sin(kr + \delta) \equiv \frac{A e^{-i\delta}}{2i} (e^{2i\delta} e^{ikr} - e^{-ikr}) \quad 2.31$$

$u = r\psi$ olduğundan, $r\{\psi_{gelen}(L=0) + \psi_{giden}(L=0)\}$ şeklindedir. Bu durumda, $\{\psi_{gelen}(L=0)\} = e^{ikz}(L=0)$ olur ve e^{ikz} aşağıdaki ifadeden bulunur.

$$e^{ikz} = \sum_{L=0}^{\infty} (2L+1) i^L j_L(kr) P_L(\cos \theta) \quad 2.32$$

$L=0$ için bu denklem aşağıdaki gibi olur.

$$e^{ikz}(L=0) = \frac{\sin kr}{kr} = \frac{1}{2ikr} (e^{ikr} - e^{-ikr}) \quad 2.33$$

Bu durumda;

$$\begin{aligned}\psi_{giden}(L=0) &= \frac{u_0}{r} - \psi_{gelen}(L=0) \\ &= \frac{Ae^{-i\delta}}{2ir} (e^{2i\delta} e^{ikr} - e^{-ikr}) - \frac{1}{2ikr} (e^{ikr} - e^{-ikr})\end{aligned}\quad 2.34$$

elde edilir. Bu ifade tamamen giden olduğu için e^{-ikr} terimini içermemelidir.

$$\frac{Ae^{-i\delta}}{2i} = \frac{1}{2ik} \text{ olduğundan}$$

Denklem şu hale gelir:

$$\psi_{out}(L=0) = \frac{1}{2ikr} (e^{2i\delta} - 1) e^{ikr} = \frac{1}{r} e^{ikr} f_0(\theta) \quad 2.35$$

Buradan;

$$f_0(\theta) = \frac{1}{2ikr} (e^{2i\delta} - 1) \quad 2.36$$

olarak bulunur. $L \neq 0$ durumu içinde benzer yol izlenir. Asimptotik bölgede radyal dalga fonksiyonu $V(r)$ ve $\{L(L+1)\}/r^2$ terimleri geniş r mesafelerinde ihmal edildiği için şu forma sahiptir:

$$\frac{d^2 u_L}{dr^2} + k^2 u_L = 0 \quad 2.37$$

Bu denklemin L 'ye bağımlı genel çözümü şu şekildedir:

$$u_L \approx A \sin(kr - \frac{1}{2}L\pi + \delta_L) \equiv \frac{Ae^{-i\delta_L}}{2i} (e^{2i\delta_L} e^{i(kr - \frac{1}{2}L\pi)} - e^{-i(kr - \frac{1}{2}L\pi)}) \quad 2.38$$

Denklem (2.38) de verilen e^{ikz} eşitliğinin, L yörünge açıl kuantum sayısına karşılık gelen kısmı şu şekilde verilmiştir:

$$(2L+1)i^L j_L(kr)P_L(\cos\theta) \quad 2.39$$

Geniş r mesafeleri için $j_L(kr)$ küresel Bessel fonksiyonları Denklem 2.39 un iki tarafının $P_L(\cos\theta)$ ile çarpılmasıyla gelen ve giden dalgalara ayrılabilir.

$$\sum_{L=0}^{\infty} \int_0^{\pi} (2L+1)i^L j_L(kr)P_L(\cos\theta) \sin\theta d\theta = \int_0^{\pi} e^{ikr\cos\theta} P_L(\cos\theta) \sin\theta d\theta \quad 2.40$$

$\cos\theta = u$ alınırsa, denklem

$$\int_{-1}^{+1} P_L(u)P_L(u)du = \frac{2}{2L+1} \delta_{LL} \quad 2.40$$

denkleminin sağ tarafının integrali alınırsa,

$$2i^L j_L(kr) = \left\{ \frac{1}{ikr} e^{ikru} P_L(u) \right\} - \int_{-1}^{+1} \frac{1}{ikr} e^{ikru} P_L(u) du \quad 2.41$$

olur. Asimptotik bölgede ikinci terim ihmal edilebilir. Bu sebeple

$$\begin{aligned} 2i^L j_L(kr) &\approx \frac{1}{ikr} (e^{ikr} - e^{iL\pi} e^{-ikr}) \\ &\approx \frac{i^L}{ikr} (e^{i(kr-\frac{1}{2}L\pi)} - e^{-i(kr-\frac{1}{2}L\pi)}) \end{aligned}$$

şeklindedir. Burada $P_L(-1) = (-1)^L = e^{iL\pi}$ ve $e^{\frac{1}{2}L\pi} = i^L$ olarak alınmıştır. Giden dalganın L bileşeni,

$$\begin{aligned} &\frac{Ae^{-i\delta_L}}{2ir} (e^{2i\delta_L} e^{i(kr-\frac{1}{2}L\pi)} - e^{-i(kr-\frac{1}{2}L\pi)}) P_L(\cos\theta) - \\ &(2L+1) \frac{i^L}{2ikr} (e^{i(kr-\frac{1}{2}L\pi)} - e^{-i(kr-\frac{1}{2}L\pi)}) P_L(\cos\theta) \end{aligned} \quad 2.42$$

halini alır. Giden dalga e^{-ikr} terimi içermeyeceğinden,

$\frac{Ae^{-i\delta_L}}{2ir} = -(2L+1)\frac{i^L}{2ikr}$ olur ve L bileşeni de şu hale dönüşür:

$$\frac{(2L+1)i^L}{2ikr} P_L(\cos\theta)(e^{2i\delta_L} - 1)e^{i(kr - \frac{1}{2}L\pi)} \quad 2.43$$

Bunlar birleştirildiğinde tüm kısmi dalgalar için toplam saçılma genliği şu şekilde elde edilir:

$$f(\theta) = \frac{1}{2ik} \sum_{L=0}^{\infty} (2L+1)(e^{2i\delta_L} - 1)P_L(\cos\theta) \quad 2.44$$

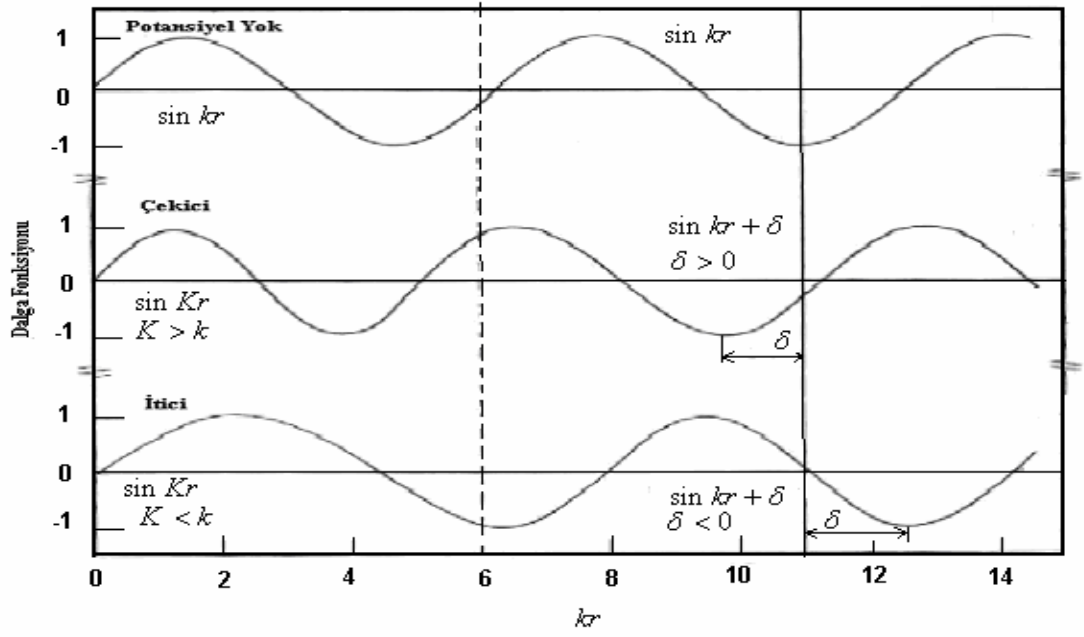
Buradaki tüm fiziksel bilgiler δ_L ile $V(r)$ potansiyelinden tesir kesitine taşınır. Bu durum Şekil 2.8. de $u(r)$ radyal dalga fonksiyonu ile gösterilirse, saçılma potansiyelinin yokluğunda, $\delta_L = 0$, dalga fonksiyonu sinüs fonksiyonu şeklindedir. Eğer çekici ya da itici bir potansiyel var ise dalga fonksiyonu ileri ya da geri doğru kayar, bu durumda dalga boyu değişecektir. Dalga fonksiyonları, $V(r) = 0$ durumundaki dalga fonksiyonuyla aynı forma sahip olarak sinüsoidaldir. Ancak dalga fonksiyonları arasında δ_0 kadar bir faz farkı oluşur. Benzer kabullenme diğer tüm dalga fonksiyonlarına uygulanırsa farkı δ_L olur ve gözlemlenen saçılma sadece dalga fonksiyonunun asimptotik formundan belirlendiğinden, faz farkının δ_L , potansiyelden nasıl tüm fiziksel bilgileri taşıdığı açıkça görülür.

Faz farkı kullanılarak saçılma matris elementi şöyle hesaplanır:

$$S_L = e^{2i\delta_L} \quad 2.46$$

Toplam elastik saçılma tesir kesiti de saçılma matrisine bağlı olarak şu şekilde elde edilir:

$$\sigma_{Elastik} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} |f(\theta)|^2 \sin\theta d\theta d\phi = \frac{\pi}{k^2} \sum_L (2L+1) |1 - S_L|^2 \quad 2.47$$



Şekil 2.8 $l = 0$ (s-dalgaları) için, Potansiyel Yokken En Üstteki Şekil, Çekici Kare Kuyu Potansiyeli Varken Ortadaki Şekil ve İtici Kare Kuyu Potansiyeli Varken Altındaki Şekil, Saçılma Dalga Fonksiyonunun Davranışını Göstermektedir [36].

BÖLÜM 3

$^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ REAKSİYONU

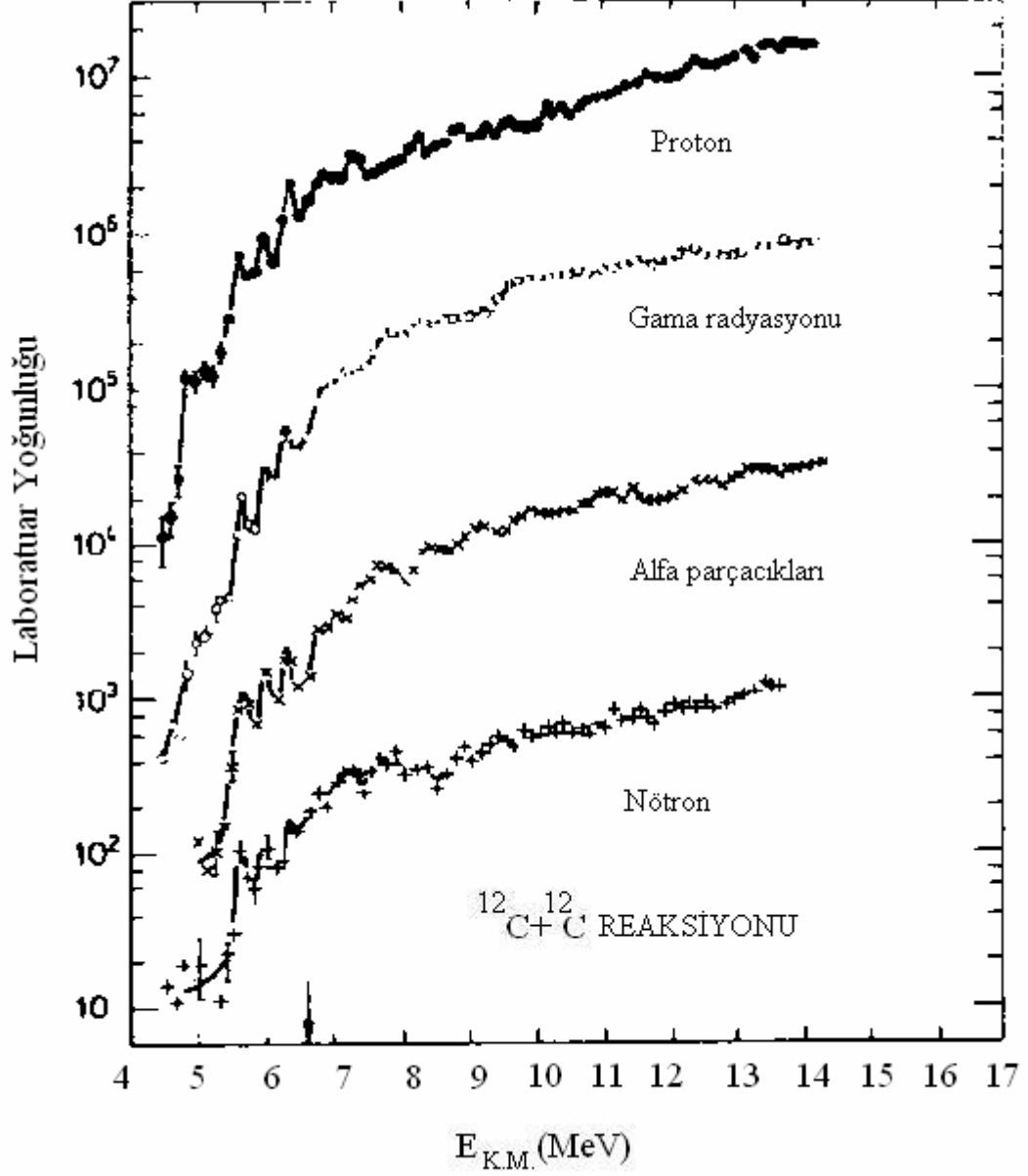
Bir çok bilim disiplininde önemli bir yere sahip olan $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ sistemi ile ilgili bugüne kadar deneysel ve teorik birçok çalışma yapılmıştır. Aşağıda bu çalışmaların bir özeti verilmektedir.

3.1. Deneysel Çalışmalar

$^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ reaksiyonu ile ilgili ilk deneylerden biri Bromley ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir [1]. Bu çalışma ağır iyon reaksiyonlarında rezonans olayının gözlemlendiği ilk çalışmadır. $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ elastik ve inelastik saçılması $E_{\text{Lab}} = 6.0-29.0$ MeV enerji aralığı için yapılmış olup, Coulomb bariyerinin üzerindeki enerjilerde $\theta_{\text{LAB}} = 45^\circ$, 28.8° ve 19.5° için uyarılma fonksiyonları ölçülmüştür. 19.5° deki uyarılma fonksiyonu ölçümlerinde hafif rezonans yapısı gözlemlenirken, 45° ve 28.8° de ölçülen uyarılma fonksiyonu ölçümlerinde ise ^{24}Mg daki uyarılmalara benzer güçlü bir rezonans yapısı gözlemlenmiştir.

Bu reaksiyon ile ilgili bir diğer çalışma Almqvist ve arkadaşlarına aittir. Almqvist Bromley'in ölçümlerini genişleterek $E_{\text{Lab}} = 9.0-29.0$ MeV enerji aralığında çalışmıştır. Bu çalışmada Coulomb bariyerinin altındaki gelme enerjilerinde, tüm reaksiyon ürünlerinin ölçülmüş uyarılma eğrileri beklenmeyen, keskin rezonanslar göstermiştir. Bu ölçümlerin sonuçları Şekil-3.1 de gösterilmektedir. Bu sistem için çeşitli uyarılma fonksiyonları, özellikle kütle merkezi sisteminde 6.5 MeV'in altındaki gelme enerjilerinde güçlü benzerlikler göstermektedir. 5.68 MeV, 6.0 MeV ve 6.32 MeV enerjilerindeki eğrilerde keskin rezonanslar görülmektedir. Bu rezonansların uyarılma enerjileri yaklaşık 20 MeV, genişlikleri ise 100 keV civarındadır. Bu rezonanslar bileşik nükleer durumlar oluşturamayacak kadar geniştir ve MeV genişliğindeki potansiyel

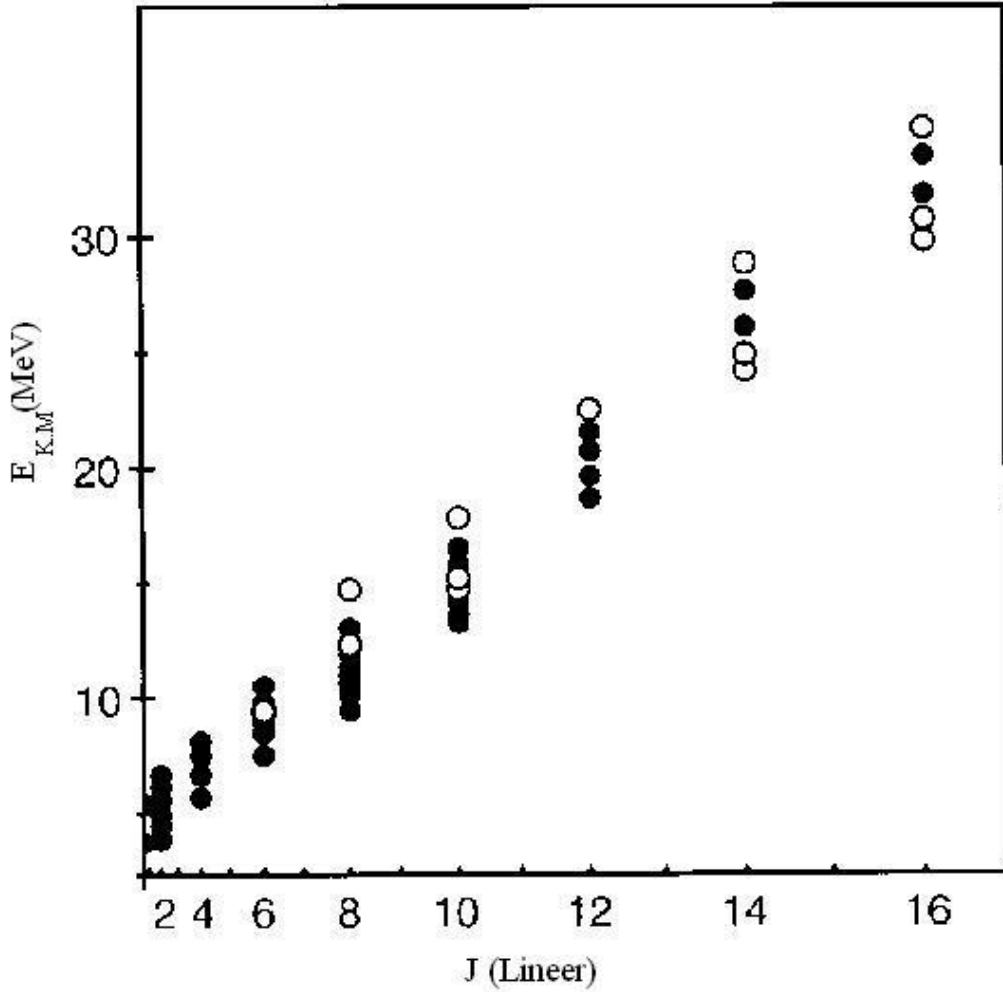
saçılma rezonanslarından oluşmazlar. Biri diğerinin etrafında dönen iki ^{12}C çekirdeğini temsil eden bu ara rezonanslar 'Moleküler rezonans' olarak adlandırılır [14].



Şekil 3.1. $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ Reaksiyonunda Farklı Çıkış Kanalları İçin Uyarılma Fonksiyonları. Şekildeki Pikler $E_{K.M.} = 5.68, 6.0$ Ve 6.32 MeV E Karşılık Gelmektedir [2].

$^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ sisteminin hafif-parçacık bozunum kanallarının çalışılmasından sonra, Cosman [7] Şekil-3.2 de görüldüğü gibi çeşitli çıkış kanallarında birçok rezonans gözlemledi.

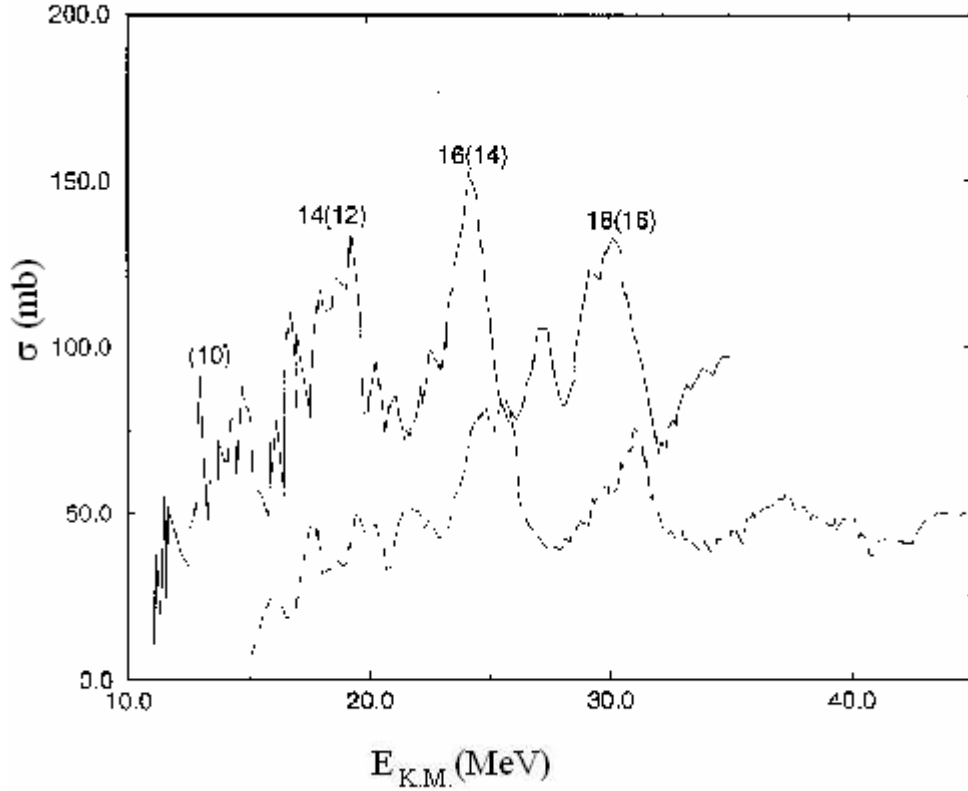
Bu sistemde gelen enerjiyle orantılı olarak açılal momentuma göre açık bir rotasyonel zinciri görülmektedir. Bu titreşim-rotasyonel modelinde, rotasyon parametresi ($\hbar^2 / 2I$) 76 keV [3] olarak hesaplanmıştır. Bu değer birbirine temas eden iki ^{12}C çekirdeği için hesaplanmış olan 70 keV değerine yakındır [14].



Şekil.3.2. Cosman [7] Tarfından Gözlemlenen $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ Saçılma Rezonansları İçin Enerji-Spin Sistematiği.

Bu çalışmaların ardından Cormier, yaptığı çalışmalarda single- 2^+ ve mutual- 2^+ uyarılmış durumlarının reaksiyon tesir kesitlerinde daha önce gözlemlenmemiş olan 1-2 MeV genişliğinde rezonanslar olduğunu tespit etmiştir [4,5]. Daha düşük enerjilerdeki rezonansların ise 100-600 keV genişliğinde olduğunu görmüş ve tesir kesitinin büyüklüğünden dolayı bu rezonansların çok düşük absorpsiyon bölgelerinde olduğunu

iddia etmiştir. Cormier ve arkadaşlarının bir diğer çalışması ise rezonans spinlerinin belirlenmesi üzerine olmuştur. Rezonans spinleri direk olarak ölçülemediği için Cormier, Almqvist tarafından gözlemlenen keskin rezonanslar ile ölçülen rezonansların konumlarını karşılaştırarak, bu rezonansların spin gösterimini yapmıştır. Ancak bu gösterim birçok hata içermiş, daha sonra Tanimura, Wolf ve Rae [37,38,39] tarafından yapılan bir dizi çalışma ile düzeltilmiştir. Cormier'in belirlediği spin gösterimi düzeltilmiş hali ile Şekil-3.3 de verilmektedir.



Şekil 3.3 Cormier Tarafından Ölçülen Single ve Mutual Kanalları İçin İnelastik Uyarılma Fonksiyonları. Cormier'in Orjinal Spin Gösterimi Parantez İçerisinde Verilenlerdir. Diğer Değerler ise Sunulan Spin Gösterimleridir [5].

Daha sonraki çalışmalarda, Cosman [8] ve Ledoux [40] $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ sisteminin $E_{\text{Lab}} = 20\text{-}70$ MeV aralığında var olan datalarını derleyerek, özellikle $E_{\text{Lab}} = 40.0\text{-}50.0$ MeV arasında tesir kesitinin hızlı değişimi göstermişlerdir. Onlar çalışmalarında tesir kesitindeki bu değişimin rezonanstan dolayı olup olmadığını sorgulamışlardır. Ayrıca

ara yapı genişliğinin (300-800 keV), Cormier'in çalışmalarında tespit ettiği gibi, elastik ve diğer inelastik kanallarla ilişkili olduğunu göstermişlerdir.

Stokstad [9] ve arkadaşları $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ reaksiyonunun, laboratuvar sisteminde 70.7-den 126.7 MeV e kadar olan geniş bir enerji aralığında elastik ve inelastik saçılmaları için diferansiyel tesir kesitini ölçmüşlerdir. Bu ölçümler 90° kadar genişletilmiş ve ayrıca 90° de elastik uyarılma fonksiyonu ölçülmüştür. Bu enerji aralığında 90° uyarılma fonksiyonu ve açısal dağılım dataları osilasyonlu kompleks bir davranış göstermiştir. Bu çalışmalarda ayrıca bir ve iki- nükleon taransferi için 93.8 MeV de diferansiyel tesir kesiti ölçülmüş ve Oak Ridge Ulusal laboratuvarının bildirimlerinde yayınlanmıştır.

Teorik Çalışmalar

Bu reaksiyon yıllardır birçok bilim adamının büyük ilgisini çekmiştir. Bu sistem üzerindeki ilk çalışmalarda Coulomb bariyeri ve Bromley ile Almqvist'in gözlemlediği rezonanslar üzerinde yoğunlaşmış, mekanizmanın temeli anlaşılmaya çalışılmıştır. Şu an bu rezonansların 'moleküler' rezonans ve durumların da yarı-moleküler durum oldukları bilinmektedir.

Teorik çalışmalar genel olarak üç kısma ayrılabilir:

- Rezonans hesaplamaları
- Açısal dağılım hesaplamaları (Optik Model Ve Çiftlenmiş Kanallar Modeli hesaplamaları)
- 90° elastik saçılma uyarılma fonksiyonu hesaplamaları

3.2.1 Rezonans Hesaplamaları

Bromley'in rezonansı keşfinden sonra ilk özel dinamik model Imanishi tarafından ileri sürülmüştür [41,42]. Bu modelde, iki çekirdek arasındaki göreceli hareket uyarılmış kanallar ile bağlanmıştır. Kinetik enerji (4.43 MeV) iç uyarılmalarla tüketildiğinde keskin rezonanslar görülmüştür.

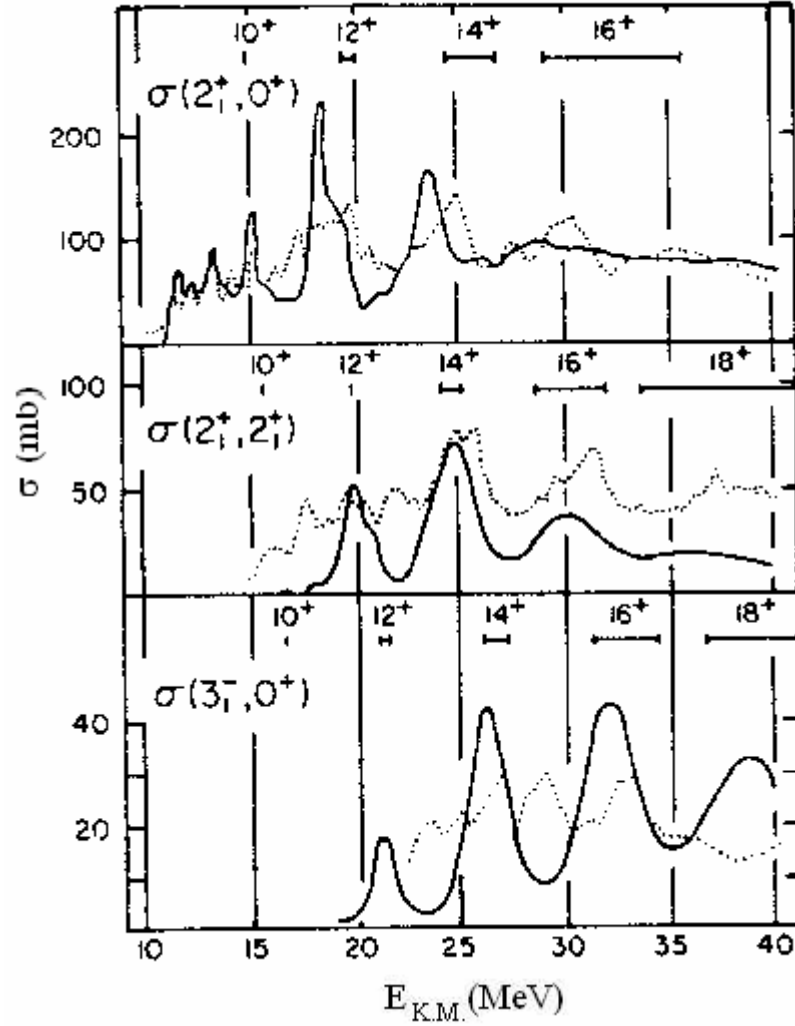
Imanishi modelinde, Wood-Saxon tipli çekici nükleer potansiyel ile Wood-Saxon tipli itici bir korun toplamı şeklinde reel potansiyel kullanıldı. Nükleer potansiyel 20 MeV

derinliğinde sıg potansiyel olarak alındı. 100 MeV derinliğindeki itici kısım ise Pauli prensibinden dolayı eklendi. Bu model Coulomb Bariyeri civarında gözlemlenen rezonanslardan bazılarını başarıyla üretebilmiştir. Daha sonra Fink [43], Abe [44] ve meslektaşları bu yaklaşımı, Çiftlenmiş kanallar modeline ilave görelî hareketler ekleyerek geliştirmişlerdir.

Kondo ve Abe hafif ağır iyon reaksiyonları analizinde kullandıkları Band-Crossing Modeli (BCM) ile single ve mutual- 2^+ inelastik saçılma tesir kesitlerini hesapladılar. BCM, Imanishi modelinin genişletilmiş halidir ve bir çarpışma esnasında bir ya da iki çekirdeğin uyarılması durumunda mevcut tüm serbestlik derecelerini içerir. Abe ve arkadaşları Çiftlenmiş Kanallar modeli çatısı altında bu modeli uyguladılar. Hesaplamalarda kullanılan potansiyel Imanishi tarafından kullanılan potansiyeller ile benzerdi. Imanishi potansiyeli biri itici diğeri çekici iki Wood-Saxon potansiyelinin toplamına eşittir ve açısâl momentuma bağılıdır. Bu hesaplamaların sonuçları Şekil-3.4 de gösterilmektedir. Bu hesaplamalar deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olup pikleri doğru yerde tahmin etmektedir. Ancak bu hesaplamalar aşağıda belirtilen problemleri içermektedir:

- Nükleer potansiyel çok sıgdır ve fiziksel değildir [45]. Son zamanlardaki mikroskobik hesaplamalar (folding model hesaplamalar), $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ saçılmasında potansiyelin 300 MeV civarında, derin olması gerektiğini göstermiştir [32].
- Rezonans spinleri hatalıdır [37, 38, 39].
- Abe ve arkadaşları hesaplamalarda küçük değerli deformasyon parametresi kullandılar. Deformasyon parametresinin (β) gerçek değeri -0.6 iken bu hesaplamalarda -0.2 alınmıştır [46, 47].
- Bu model Coulomb bariyeri civarındaki gözlemlenen rezonansları tahmin edememektedir [48].
- Bu model ayrıca elastik-inelastik açısâl dağılım ve 90^0 uyarılma fonksiyonu datasını açıklayamamaktadır [45, 48].

Bu model ile diğêr mikroskobik modellerin elastik saçılma ve 90^0 uyarılma fonksiyonu gibi gözlenebilirleri neden açıklayamadığı ve herbir modelin neden gözlemlenen durumlardan sadece birkaçını açıklayabildiğı belirsizdir.



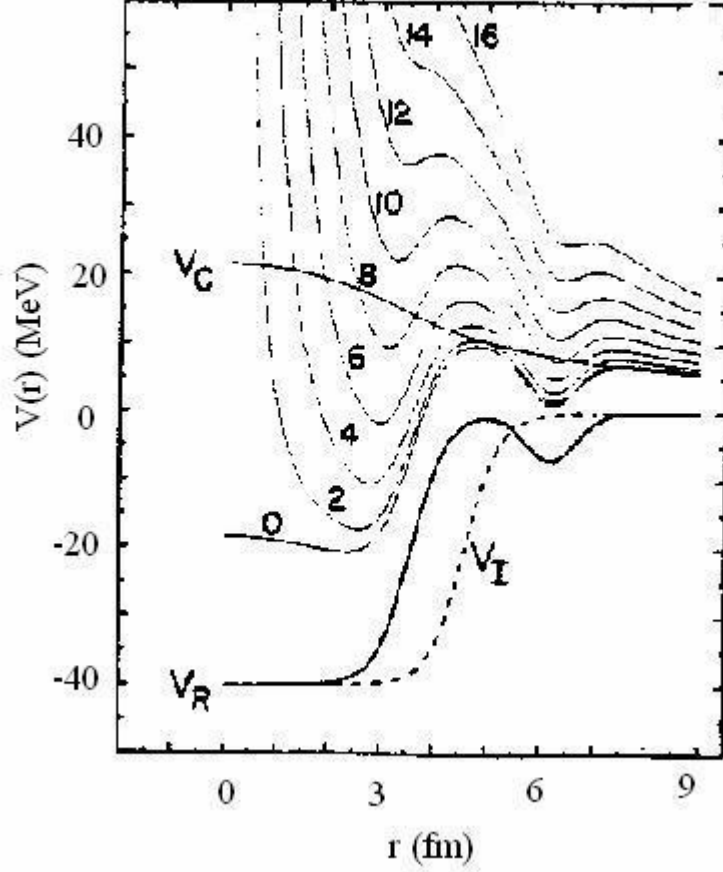
Şekil-3.4. $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ Reaksiyonunun Single- 2^+ , Mutual- 2^+ ve Single- 3^- Kanalları İçin Toplam İnelastik Tesir Kesitinin Kondo'nun Band-Crossing Model Hesaplamaları ile Karşılaştırılması [48].

3.2.2. Optik Model ve Çiftlenmiş Kanallar Hesaplamaları

Optik model hesaplamalarında ağır-iyon potansiyelinin reel kısmı oldukça büyük bir öneme sahiptir ve uzun yıllardır reel kısmın hesaplanması için birçok teorik çalışma yapılmıştır. Son 10 yılda yapılan çalışmalarda Folding modelin bu potansiyeli bir çok elastik saçılma datası için küçük normalizasyonlarla hesaplayabildiği görülmüştür. Fakat bu potansiyel, elastik saçılma datasını açıklayabilmesine rağmen inelastik saçılma datasını çiftlenim etkisinden dolayı açıklayamamaktadır.

Brandan ve Satchler bu reaksiyonu çalışarak elastik saçılma durumunun anlaşılmasına ciddi katkılar sağlamışlardır. Son 40 yıldaki hafif ağır-iyon etkileşmesi araştırmalarından elde ettikleri bilgilerin bir özetini ise son makalelerinde yayınlamışlardır [15]. Brandan ve Satchler elastik saçılma datasını Optik Model çatısı altında geniş bir enerji aralığında analiz etmiş ve reel potansiyelin şeklini tespit etmeye çalışmışlardır. Genel olarak hesaplamalarında, enerjiye bağlı Wood-Saxon kare şeklinde fenomenolojik ya da folding potansiyeli kullanmışlardır. Hesaplamalardaki sanal potansiyel ise enerjiyle sistematik olmadan değişen standart Wood-Saxon tipindedir. Bu çalışmada ayrıca 90^0 elastik saçılma uyarılma fonksiyonu incelenmiştir. Makalelerinin birinde açılma dağılımı açıklayan potansiyelin 90^0 uyarılma fonksiyonunu açıklayamadığını belirtmişlerdir [20]. Buradan görüleceği gibi düşük enerjilerde uyarılma fonksiyonlarını ve açılma dağılımı aynı anda açıklayabilen bir potansiyel ailesi henüz bulunmamıştır.

Bir diğer ilginç çalışma ise Ordonez [49] ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir. Onlar çalışmalarında yüzey bölgesinde minimuma sahip olan bir reel potansiyel kullanmanın gerekliliğini göstermişlerdir. Ayrıca $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ elastik saçılma datasını $11.0 < E_{\text{Lab}} < 66.0$ MeV için detaylı bir faz-değişimi analizi yapmış ve bu analiz ile rezonansların kaba yapısını göstermişlerdir. Bu çalışmanın ilginç bir özelliği ise Şekil-3.5 de görüldüğü gibi, reel potansiyelin doğal çift-pikli yapısıdır. Bu potansiyel diğer modellerin açıklayamadığı rezonansları açıklamaktadır.

$^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ ÇİFT-MİNİMUM POTANSİYELİ


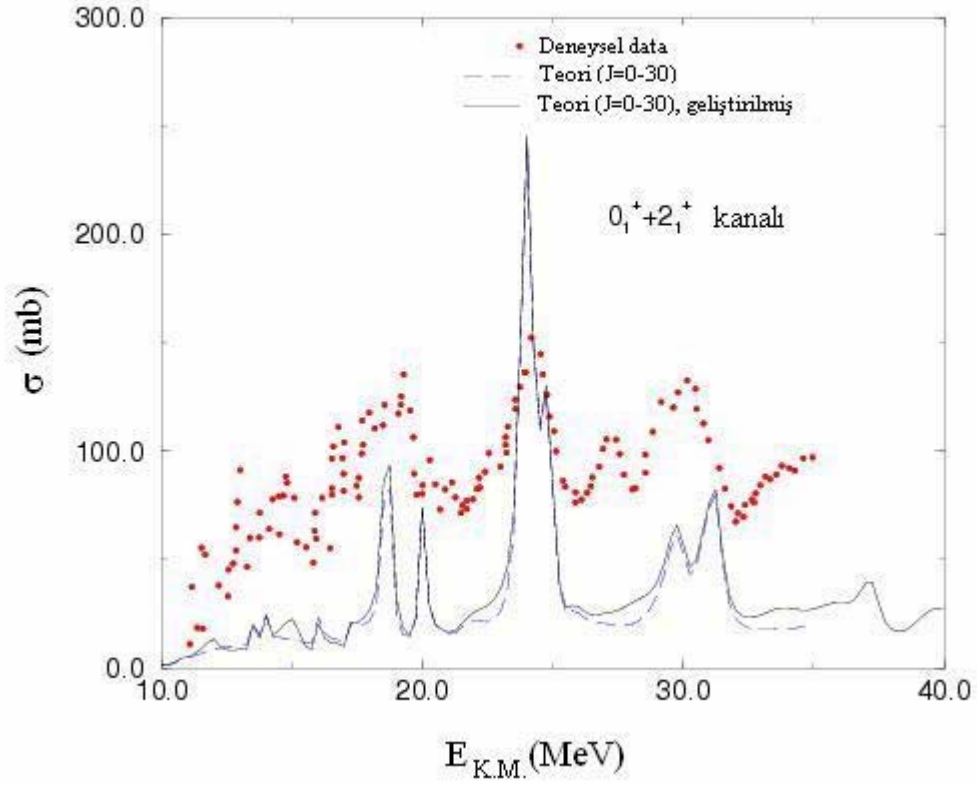
Şekil 3.5. Ordenez'in $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ Toplam Reel Çift-Minimum Potansiyeli. Kullanılan Reel ve Sanal Parametreleri $V_R = V_I = 40$ MeV, $r_R = 3.6$ fm, $r_I = 4.6$ fm, $a_R = a_I = 0.33$ fm. Potansiyelin Yüzey Kısmı Geniş Mesafelerde Minimum Oluşturur ve Parametreleri $V_S = 7.1 + i0.3$ MeV, $r_S = 6.2$ fm, $a_S = 0.68$ fm'dir.

Stockstad ve arkadaşları bu reaksiyonu $70.0 < E_{\text{Lab}} < 126.0$ MeV aralığında tek kanallı Optik Model, Bozunmuş Dalga Born yaklaşımı (DWBA) ve Çitlenmiş Kanallar modelini kullanarak çalıştı [10]. Hesaplamalarında derin ve sığ potansiyel kullandılar. Bu çalışma, elastik saçılma datasını Folding ya da Wood-Saxon kare tipindeki derin bir potansiyelin daha iyi açıkladığını gösterdi. Reel potansiyelin derinliği $\pm 5\%$ bir normalizasyon faktörü ile 400 MeV civarındadır. Potansiyelin sanal kısmı Wood-Saxon

formunda olup, derinliği ise 10 ile 20 MeV arasında değişmektedir. Onlar optik model hesaplamaları ile elastik saçılma dadası açıklamalarına karşın DWBA ve çiftlenmiş kanallar Modeli hesaplamaları ile single-2⁺ durumunu açıklayan iyi sonuçlar elde edemediler. Özellikle, bir çok enerjide deneysel data ile teorik sonuçlar arasında büyüklük uyuramazlığı ve faz dışılık problemi görüldü. Bu hesaplamalar mutual-2⁺ ve uyarılma fonksiyonu için yapılmadığı gibi düşük enerjilerde genişletilemedi. Bununla birlikte bu çalışma iki nedenden dolayı oldukça önemlidir. Bu nedenlerden biri, Optik Modelin bu enerji aralığına uygulandığı ilk çalışmadır. Diğerisi ise elastik saçılma dadasının açıklanmasında derin bir reel potansiyelin kullanılması gerekliliğini göstermesidir.

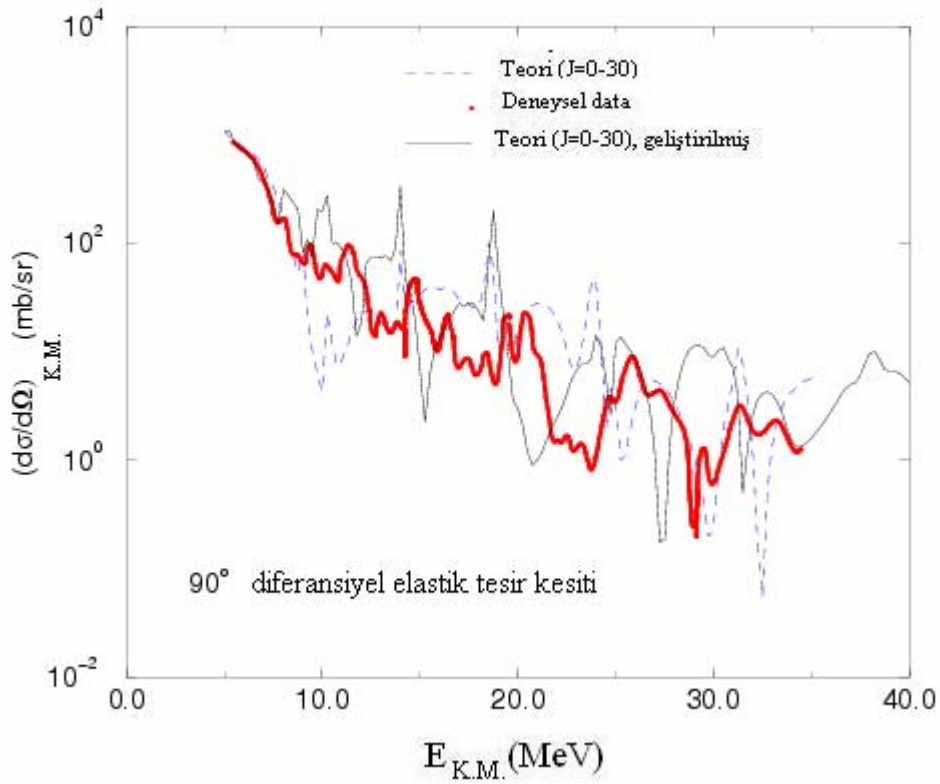
Wolf ve Satchler bu sistemi 3 farklı enerjide çalışarak ağır-iyon potansiyelinin reel ve sanal kısmını hesaplamaya çalışmışlardır. Bunun için çiftlenmiş kanallar hesaplamalarında folding potansiyel ve açısal momentuma bağlı sanal potansiyel kullanmışlardır. Ancak E=74.2, 93.8 ve 126.7 de llen deneysel datayı aıklayamadılar. Özellikle mutual-2⁺ tesir kesitinin büyüklüğü 3-10 kat daha düşüktü ve single-2⁺ tesir kesiti de oldukça osilasyonlu bir yapıya sahipti.

Fry ve arkadaşları ise ¹²C+¹²C reaksiyonunu çiftlenmiş Kanallar metodunu kullanarak single-2⁺ ve mutual-2⁺ kanalları için tesir kesitlerini elde etmeye çalıştılar [50]. Bunun için Stokstad gibi folding potansiyel ve açısal momentuma bağlı sanal potansiyel kullandılar. Ancak bu potansiyel, mutual-2⁺ durumunun büyüklük problemini çözmemekte başarısız oldu. Bu çalışmanın sonuçları Şekil-3.6 ve Şekil-3.7 de gösterilmektedir. Bu Şekillerden görüldüğü gibi, bu potansiyel single-2⁺ ve mutual-2⁺ durumlarının rezonanslarını tahmin edemediği gibi 90⁰ uyarılma fonksiyonunu da fit edememiştir.



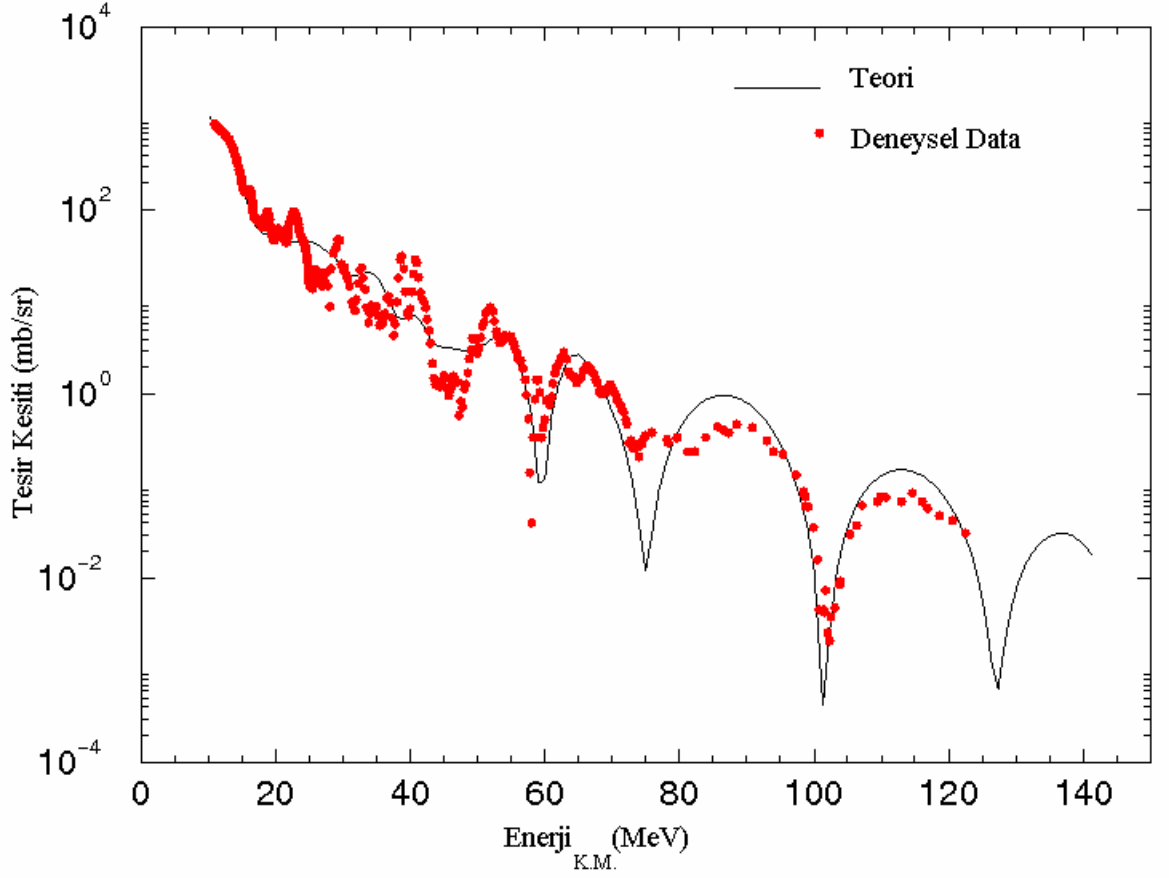
Şekil 3.6. Fry'in Açısal Momentuma Bağlı Sanal Potansiyel ile Bulduğu Single- 2^+ Sunuçları [51].

Sakuragi [51] ve Ito da Fry gibi single- 2^+ ve mutual- 2^+ durumlarını analiz etmek için Çiftlenmiş kanallar modelini modifiye ettiler ve Fry ile aynı tip potansiyel kullandılar. Çalışmalarına single- 2^+ ve mutual- 2^+ kanallarının yanı sıra single ve mutual 0_2^+ kanallarını da dahil ettiler. Tüm bu kanalların etkisi de gözlemlenen problemleri çözmedi. Bu yeni yaklaşım, ne açısal dağılımı ne de 90^0 uyarılma fonksiyonunu açıklayamadı.



Şekil 3.7. 90° Uyarılma Fonksiyonu İçin Çiftlenmiş Kanallar Modeli İle Şekil-3.6 ya Benzer Hesaplamalar.

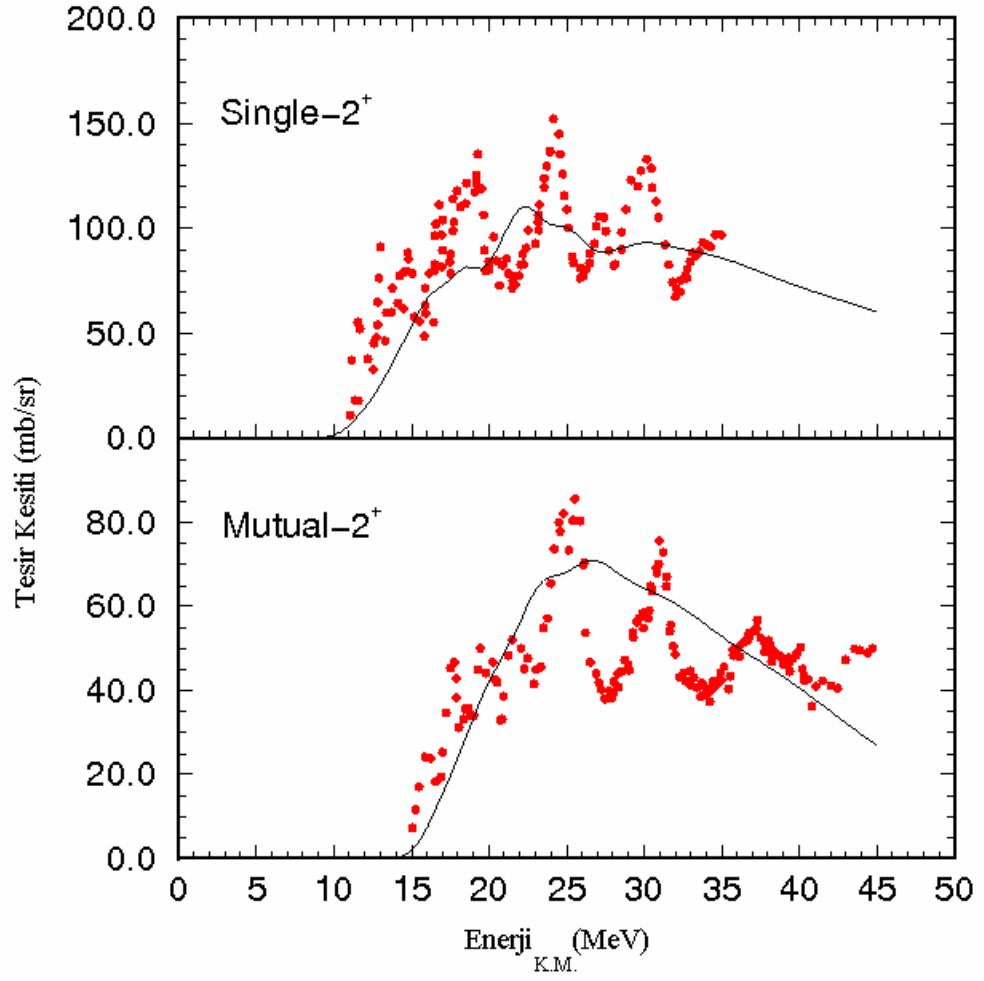
$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ sisteminde uzun süre çözümlenemeyen elastik ve inelastik kanalların eşzamanlı olarak açıklanamaması problemi, son yıllarda Boztosun ve Rae tarafından yapılan bir çalışma ile çözümlenmiştir [27,31]. Boztosun ve Rae bu reaksiyonu 32-126.7 MeV [52] aralığında olmak üzere geniş bir enerji aralığı için geliştirdikleri yeni bir çiftlenim potansiyeli ile analiz etmişlerdir. Çalışmalarında Standart Çiftlenim Kanallar modelinin bu problemlerin çözümünde yeterli olmadığını göstererek, iki çekirdeğin yönelmesini dikkate alan standart potansiyelin ikinci-türevi bir potansiyel geliştirmişlerdir. Elde edilen bu yeni yaklaşımla, yüksek enerji bölgelerinde elastik ve inelastik açılma dağılımları ve uyarılma fonksiyonlarını açıklayarak, single- 2^+ durumunun faz dışılık problemi ile mutual- 2^+ durumunun büyüklük problemi çözümlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan bazıları Şekil-3.8 ve 3.9 da gösterilmektedir. Boztosun düşük enerji bölgeleri ile ilgilenmemiştir.



Şekil 3.8. 90° Uyarılma Fonksiyonu İçin Yeni Çiftlenim Potansiyeli ile Elde Edilen Çiftlenmiş Kanallar Hesaplamaları Sonuçları.

Yukarıda sözü edilen çalışmalardan anlaşılacağı üzere, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ reaksiyonu bir çok problem içermekte, yapılan çalışmalarla bu problemlerden bazıları çözümlenirken, bazıları uzun uğraşılara rağmen halen çözümlenememiştir. Özellikle düşük enerji bölgelerinde reaksiyon gözlenebilirlerinin aynı potansiyel ailesi ile açıklanması şu ana kadar gerçekleştirilememiştir.

Sunulan bu çalışmada bu problem üzerinde yoğunlaşmış, geniş bir enerji aralığında elastik saçılma datası incelenerek, gözlenebilirlerin açıklanmasında yeterli bir potansiyel ailesi elde etmek amaçlanmıştır.



Şekil 3.9. Yeni Çiftlenim Potansiyeli İle Elde Edilen $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ Sisteminin Single-2⁺ ve Mutual-2⁺ Durumları İçin 1⁰ den 90⁰ ye Kadar İntegre Tesir Kesiti Sonuçları.

BÖLÜM 4

$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ REAKSİYONUNUN OPTİK MODEL İLE İNCELENMESİ

$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ sisteminin birçok bilim adamı tarafından ilgi çekmesi, kırk yıl kadar önce elastik tesir kesitinin, gelme enerjisiyle birlikte ani değişim göstermesinin gözlemlenmesiyle başlamıştır. Uyarılma fonksiyonlarındaki bu ilginç yapı daha sonra birçok teorik ve deneysel çalışmaya konu olmuştur ve uzun süreden beri de analiz edilmeye devam edilmektedir.

$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ reaksiyonu ile ilgili deneysel çalışmalar, Coulomb bariyeri civarında elastik ve inelastik reaksiyon kesitlerinin Bromley [1] tarafından ölçülmesiyle başlamıştır. Bu çalışmanın ardından düşük ve yüksek enerji bölgeleri için tüm açısız dağılım dataları Stokstad ve Ledox tarafından elde edilmiştir. Deneysel çalışmaların üzerine birçok bilim adamı bu sisteme büyük ilgi göstermiş, fenomenolojik ve mikroskobik potansiyeller kullanarak deneysel verileri teorik olarak açıklamaya çalışmıştır. Yapılan teorik çalışmalar genel olarak üç başlık altında toplanabilir:

1. Rezonans
2. Açısız Dağılım
3. Uyarılma fonksiyonları

Birinci gruptaki hesaplamalar hafif-ağır iyon reaksiyonlarının açıklanamayan özelliklerinden biri olan rezonans üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalarda, gözlemlenen geniş rezonansların rotasyonel yapıdan ya da elastik kanalların inelastik kanallara bağlanımından dolayı oluştuğu ileri sürülmektedir. İkinci ve üçüncü gruptaki hesaplamalar ise açısız dağılım ve uyarılma fonksiyonlarını analiz ederek, deneysel dataları açıklayan modeller üzerine olmuştur. Bu çalışmalar genel olarak yüksek enerji bölgesinde başarılı sonuçlar vermiştir.

Uzun yıllardan beri reaksiyon gözlenebilirleri Optik ya da Çiftlenmiş Kanallar modeli kullanılarak açıklanmaya çalışılmıştır. Ancak tüm bu çalışmalara rağmen, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ sisteminde gözlenen birtakım problemler çözümlenememiştir. Bu problemlerin başında, iki çekirdek arasındaki etkileşim potansiyelinin tanımlanması gelmektedir. Etkileşim potansiyeli yüksek enerji bölgesi için ($E>6$ MeV/A) tanımlanabilmiş, özellikle nükleer potansiyelin reel kısmının derinliği gibi belirsizlikler çözümlenerek, optik potansiyelin özellikleri belirlenmiştir. Buna göre; fenomenolojik potansiyeller derin reel potansiyel ve sığ sanal potansiyel olarak enerjiye bağlı olmalıdır. Bu optik potansiyeller ile saçılma gözlenebilirleri başarıyla açıklanabilmiştir. Ancak yüksek enerji bölgesi için başarılı bir potansiyel tanımlanmasına karşın, düşük enerji bölgeleri ($E<6$ MeV/A) için reaksiyon gözlenebilirlerini eş zamanlı olarak açıklayabilen bir potansiyel ailesi bulunamamıştır. Düşük enerji bölgeleri için yapılan çalışmalarda, kullanılan potansiyeller datanın bir kısmını açıklayabilirken, diğer kısımları açıklamakta yetersiz kalmıştır. Örneğin açılma dağılımı açıklayan bir potansiyel ailesi uyarılma fonksiyonlarını ya da toplam reaksiyon tesir kesitini açıklayamamıştır.

$E<6$ MeV/A bölgesi için yapılan önemli çalışmalardan biri Brandan ve arkadaşlarına aittir [24]. Bu çalışmada yazarlar, $E>6$ MeV datasını açıklamak için UNAM potansiyelleri olarak adlandırdıkları iki tip potansiyel kullanmışlardır. Lineer ve kuadratik enerjiye bağlı bu potansiyeller yüksek enerji açılma dağılım datasını sistematik bir biçimde açıklamıştır. Ayrıca 50^0-90^0 uyarılma fonksiyonlarının ve reaksiyon tesir kesitinin davranışlarını da sağlamaktadır. Bu potansiyeller daha sonra aşağıdaki denklemlerde verildiği gibi, modifiye edilerek düşük enerji datalarına uygulanmıştır.

$$V_0(\text{MeV})=386.2-0.868E_{\text{Lab}} \quad W_0(\text{MeV})=0.091E_{\text{Lab}} \quad 4.1$$

$$V_0(\text{MeV})=14.98+6.15E_{\text{Lab}}-0.0328E_{\text{Lab}}^2 \quad W_0(\text{MeV})=0.096E_{\text{Lab}} \quad 4.2$$

Yüksek enerji datasını başarıyla açıklayabilen bu potansiyeller düşük enerji datasını açıklamakta başarısız olmuştur. Şekil-4.1 de görüldüğü gibi; 90^0 uyarılma fonksiyonu analizinde, Denklem (4.1) de verilen lineer-enerji bağımlı potansiyel, osilasyonlar için doğru periyod ve fazı vermesine karşın, şiddeti oldukça azdır. Aynı şekilde kuadratik-enerji bağımlı potansiyel ise data ile tamamen faz dışı bir sonuç vermektedir.

Bu potansiyeller açısıl dağılım datasına uygulandığı zaman, deneysel verilerle oldukça uyumsuz sonuçlar elde edilmektedir. Şekil 4.2, $E_{\text{Lab}}=50-60$ MeV arasındaki deneysel datalar ile UNAM potansiyellerinin teorik sonucunu vermektedir. Şekildeki dairesel noktalar deneysel datayı, katı çizgiler ise teorik sonuçları göstermektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi, UNAM potansiyelleri maksimum ve minimumları doğru tahmin edememekte ve birçok bölgede de faz dışı bir yapı göstermektedir.

Düşük enerjiler için önemli bir diğer çalışma ise Kondo ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [32]. Bu çalışmada da yine uyarılma fonksiyonu üzerinde yoğunlaşmış, $50^0, 60^0, 70^0, 80^0$ ve 90^0 uyarılma fonksiyonları analiz edilmiştir. Wood-Saxon ve Wood-Saxon kare tipinde kullanılan potansiyeller ile beş uyarılma fonksiyonu için kaba davranış elde edilmiştir. Fakat diğer çalışmalara benzer olarak bu potansiyel ailesinde açısıl dağılımı diğer gözlenebilirleri ile birlikte açıklamakta yetersiz kalmıştır.

Sonuç olarak, literatürdeki tüm çalışmalar göstermektedir ki, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ elastik saçılma reaksiyonu için özellikle düşük enerji bölgeleri için sistematik bir çalışma yapılmamış ve açısıl dağılım, uyarılma fonksiyonlarının genel davranışı ve reaksiyon tesir kesiti datalarını eş zamanlı olarak açıklayabilen bir potansiyel ailesi şu ana kadar elde edilememiştir.

Tüm bu çalışmalar dikkate alınarak, bu çalışmada $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ elastik saçılma reaksiyonu, düşük ve orta enerji bölgesinde ölçülen tüm deneysel datalar Optik Model çatısı altında sistematik olarak analiz edilmiştir. 32-70.7 MeV enerji aralığında ölçülen 18 açısıl dağılım, 5 uyarılma fonksiyonu ve reaksiyon tesir kesiti dataları incelenerek, tüm gözlenebilirleri aynı anda açıklayabilecek bir potansiyel ailesi elde etmek amaçlanmıştır. Bunun için kullanılan model ve parametreler gelecek bölümde tartışılmaktadır.

4.1. Model

$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ elastik saçılma reaksiyonu Optik Model kullanılarak incelenmiştir. Optik Model hesaplamalarında toplam potansiyel, nükleer, Coulomb ve merkezci olmak üzere üç potansiyelden oluşmaktadır.

$$V_{toplam}(r) = V_{Nükleer} + V_{Coulomb} + V_{Merkezcil} \quad 4.3$$

Nükleer potansiyel reel (V) ve sanal (W) olmak üzere iki kısımdan oluşur.

$$V_{Nükleer}(r) = V + iW \quad 4.4$$

Görüldüğü gibi nükleer potansiyel komplekstir. Reel kısım saçılmadan (V), sanal kısım (W) absorpsiyon yani kaybolan akıdan sorumludur. Buradaki hesaplamalarda reel potansiyel Denklem (4.5) ile verilen Wood-Saxon kare tipinde alınmıştır.

$$V = -\frac{V_0}{\left[1 + \exp\left(\frac{r - R_v}{a_v}\right)\right]^2} \quad 4.5$$

Burada, V_0 potansiyelin derinliği olup, deneysel datayı açıklayacak şekilde, tüm enerjiler için sabit olarak alınıp 280 MeV değerindedir. $R = r_v(A_g^{1/3} + A_h^{1/3})$ şeklinde olup, A_g ve A_h gelen ve hedef parçacığın kütleleridir. r_v reel potansiyelin yarıçap parametresi, a_v ise difüzyon parametresidir.

$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ reaksiyonu oldukça osilasyonlu bir yapı göstermektedir ve çok küçük enerji değişimleri yapıda büyük değişimler meydana getirmektedir. Bu nedenle, yarıçap parametresi 0.6 fm'den 0.9 fm'ye kadar, difüzyon parametresi de 1.1 fm'den 1.5 fm'ye kadar 0.01 MeV aralıklarla analiz edilmiştir. Yapılan incelemede dataları en iyi açıklayan parametrelerin yarıçap için 0.72 fm ile 0.80 fm arasında, difüzyon için 1.30 fm ile 1.39 fm arasında olduğu görülmüştür. Enerjiye göre yarıçap ve difüzyon parametreleri Tablo 4.1 de verilmektedir. Bu parametrelerin deneysel datayı şekilsel olarak gayet iyi açıklaması üzerine χ^2 analizi yapılmıştır.

χ^2 , deneysel data ile teorik sonuçlar arasındaki uyumun, yani fitin kalitesinin bir ölçümüdür. Aşağıdaki eşitlik kullanılarak data ile teorik sonuçlar arasındaki hata oranı elde edilir.

$$\chi^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(\sigma_{th} - \sigma_{ex})^2}{(\Delta\sigma_{ex})^2} \quad 4.6$$

Burada σ_{th} , σ_{ex} ve $\Delta\sigma_{ex}$ sırasıyla teorik tesir kesiti, deneysel tesir kesiti ve deneysel tesir kesitindeki hata oranıdır. N ölçülmüş açıların toplam sayısıdır.

Yapılan χ^2 analizinin sonucu, r_v , a_v ve $1/\chi^2$ değerlerinin üç boyutlu grafiği şekilde Şekil 4.3. de verilmektedir. Yapılan bu sistematik incelemenin sonunda, şekilden de görüldüğü gibi, tesir kesitlerinin osilasyonlu yapısını doğru faz ve periyotta açıklayan parametreler yukarıda tespit edildiği şekilde 0.7 ve 1.3 fm civarındadır. Bu parametreler için χ^2 oldukça düşüktür. Enerjiye göre χ^2 değerlerinin değişimi Tablo 4.1 de verilmektedir. Analizlerde deneysel data ile teorik sonuçlar arasındaki hata oranı % 20 olarak alınmıştır.

Nükleer potansiyelin sanal kısmı ise Wood-Saxon şeklinde alınmıştır.

$$W = - \frac{W_0}{\left[1 + \exp\left(\frac{r - R_w}{a_w}\right) \right]} \quad 4.7$$

Sanal potansiyelin derinliği enerjiye bağlı olarak Denklem 4.8 de verildiği gibi lineer değişmektedir. Derinliğin değeri her bir enerji için Tablo 4.1 de verilmektedir.

$$W = -0.77098 + 0.15341 E_{Lab} \quad 4.8$$

Yarıçap ve difüzyon parametreleri ise tüm enerjiler için sabit olarak alınıp, $r_w = 1.1$ fm ve $a_w = 0.55$ fm dir. Nükleer potansiyelin reel ve sanal kısımları farklı açısal momentum değerlerine göre değişimi Şekil 4.4. de verilmiştir.

Coulomb potansiyeli, yüklü $Z_p e$ 'nin hedef yüküyle $Z_T e$, düzgün olarak dağılmış R_c yarıçaplı küre üzerinden etkileşimi ile meydana gelir.

$$V_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z_p Z_T e^2}{r}, \quad r \geq R_C$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z_p Z_T e^2}{2R_C} \left(3 - \frac{r^2}{R_C^2}\right), \quad r \leq R_C$$
4.8

Burada $R_C = 5.5 \text{ fm}$ Coulomb yarıçapıdır.

Toplam potansiyel farklı açisal momentum değerleri için Şekil 4.4 de gösterilmektedir. İtici ve çekici potansiyellerin üstüste gelmesi bir potansiyel cebi şeklinde sonuçlanır. Bu cep, tesir kesitindeki osilasyonlu yapıyı meydana getiren iç ve bariyer dalgalarının girişimi için oldukça önemlidir. Paketin derinliği ve genişliği verilen bir nükleer potansiyel için açisal momentum kuantum sayısına (l) bağlıdır.

4.2. Bulgular

4.2.1. Açisal Dağılım Dataları

Bu çalışmada labaratuvar isteminde 32-70.7 MeV aralığında ölçülen 18 açisal dağılım deneysel datasının tamamı yukarıda tanımlanan Optik Model kullanılarak incelenmiştir. Analizlerde Tablo 4.1. de verilen parametreler kullanılmıştır. Deneysel data ile teorik sonuçların kütle merkezi sisteminde karşılaştırılması Şekil 4.5. ve Şekil 4.6. da verilmektedir. Şekillerdeki dairesel noktalar açisal dağılımın deneysel verileri olup, Cosman, Ledoux ve Stokstad'dan alınmıştır [8,10]. Katı çizgiler ise Optik Model sonuçlarını göstermektedir.

Şekillerden açıkça görüleceği gibi, teori ile deneysel sonuçlar arasında mükemmel bir uyum gözlenmektedir. $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ sisteminin aşırı osilasyonlu yapısına rağmen, kullanılan Optik potansiyel, datanın maksimum ve minimum yaptığı yerleri doğru tahmin etmektedir. Ayrıca deneysel data ile teori arasında bir faz farkı yada büyüklük problemi yoktur.

$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ reaksiyonu için düşük enerji bölgelerinde Cormier [4,5] tarafından tespit edilen rezonanslar bulunmaktadır. Bu rezonanslar $E_{\text{Lab}} \approx 38.0, \approx 50.0, \approx 57.75$ değerlerinde gözlemlenmiştir. Bu bölgelerdeki açisal dağılım dataları incelediğinde datanın ani değişimler gösterdiği görülmektedir ve bu nedenle teorik sonuçlar bu bölgelerde datayı

kısmen açıklayabilmektedir. Burada, tesir kesiti yapısının, 2 MeV lik bir değişime rağmen tamamen farklılaşmasına karşın parametre değerlerinin sadece % 15 civarında değişmesi dikkat edilmesi gereken bir husustur. Bunun yanısıra Optik modelin rezonans bölgelerini açıklamakta yeterli olup olmadığı da sorgulanmalıdır. Sonuç olarak, kullanılan potansiyel ailesi rezonans bölgeleri dışında deneysel datayı mükemmel bir uyumla açıklayabilmiştir.

4.2.2 50^0 - 90^0 Uyarılma Fonksiyonu Dataları

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda genel olarak uyarılma fonksiyonları büyük önem taşımıştır. Özellikle de 90^0 uyarılma fonksiyonu bir çok çalışmada yer almıştır. Ancak daha önce de söz edildiği gibi, bu çalışmalarda genellikle sınırlı başarılar elde edilmiştir. Açısal dağılımı datalarını açıklamakta kullanılan potansiyeller uyarılma fonksiyonu datalarını açıklamakta yetersiz kalmış ya da tersi olarak uyarılma fonksiyonu datalarını açıklayabilen potansiyeller açısal dağılım datalarını açıklayamamıştır. Örneğin, Brandan ve Kondo uyarılma fonksiyonları dataları için kaba davranışları elde ederken, açısal dağılımı datalarını açıklayamamışlardır.

Sunulan bu çalışmada kullanılan potansiyel ailesi hem açısal dağılımı hem de uyarılma fonksiyonlarını eş zamanlı açıklayabilmektedir. Şekil 4.7, 90^0 uyarılma fonksiyonu, Şekil 4.8. ise 50^0 - 80^0 uyarılma fonksiyonları sonuçlarını vermektedir. Şekillerdeki dairesel noktalar yine deneysel dataları, katı çizgiler ise teorik sonuçları vermektedir. Deneysel veriler Stokstad ve Morsad'dan alınmıştır [10,11].

Uyarılma fonksiyonlarının analizinde, açısal dağılım analizlerinde kullanılan üç serbest parametrenin (r_v , a_v , W) lineer interpolasyonu kullanılmıştır. Parametrelerin interpolasyonunun alınmasının sebebi, bu parametrelerin enerjiden enerjiye değişmesinden kaynaklanan yapay pikleri önlemektir. Yarıçap, difüzyon ve sanal potansiyelin lineer interpolasyonları şu şekildedir:

$$r_v = 0.80951 - 0.001226E_{Lab}$$

$$a_v = 1.3482 - 0.00043225E_{Lab}$$

$$W = -0.77098 + 0.15341E_{Lab}$$

Sonuçlardan görüleceği gibi, açılmal dağılım dasetını açıklayan potansiyel, beş uyarılma fonksiyonu için de kaba yapıyı açıklamaktadır. Ayrıca uyarılma fonksiyonları için %25 hata oranı ile χ^2 analizi yapılmıştır. χ^2 değerleri Tablo 4.2. de verilmektedir. Bu sonuçlardan da, potansiyel parametrelerinin uyarılma fonksiyonları için iyi uyum verdiği görülmektedir.

4.2.3. Reaksiyon Tesir Kesiti Dataları

Reaksiyon tesir kesiti dasetı da eşzamanlı açıklanamayan gözlenebilirlerden biridir. Bu çalışmada, Tablo 4.1. de verilen potansiyel parametrelerinin Denklem (4.9) da verilen interpolasyonları kullanılarak reaksiyon tesir kesiti elde edilmiştir.

Şekil 4.9. da reaksiyon tesir kesiti deneysel dasetının interpolasyon sonuçlarının yanısıra bazı teorik sonuçlarla karşılaştırılmasını göstermektedir. Deneysel data '+' işareti ile gösterilip Kolata'dan alınmıştır [12]. Katı çizgi ise kullanılan optik potansiyelin sonucunu verirken, kesikli çizgiler Kondo, Ordonez ve Reilly tarafından bugüne kadar yapılan teorik sonuçları göstermektedir.

Şekil 4.9. incelendiğinde görülmektedir ki, düşük enerji bölgeleri için bu çalışmada kullanılan potansiyel, diğer teorik sonuçlarla karşılaştırıldığında en iyi sonucu vermektedir. Deneysel data ile teorik sonuç arasında iyi bir uyum elde edilerek, $E_{Lab}=60^0$ civarına kadar osilasyonun faz ve büyüklüğü de doğru tahmin edilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmada, 18 açılmal dağılım dasetı, 5 uyarılma fonksiyonu ve reaksiyon tesir kesitini sistematik bir şekilde eş zamanlı açıklayabilen bir potansiyel ailesi elde edilmiştir. Bu potansiyelin, yüksek enerji dasetını açıklamak için kullanılan potansiyellerden farklı bir aileye ait olduğu görülmektedir. Düşük enerji bölgesinin tüm gözlenebilirlerini açıklayan bu potansiyelin Brandan ve Kondo tarafından kullanılan UNAM potansiyel ile karşılaştırması Şekil 4.10. da gösterilmektedir. UNAM

potansiyelleri yüksek enerji bölgesindeki gözlenebilirleri açıklarken düşük enerji bölgeleri için başarısız olmuştur. Şekilden görüleceği gibi, bu çalışmada kullanılan hem reel hem de sanal potansiyel diğer potansiyellerden daha difüze ve daha sığdır. Kullanılan potansiyeller yüzey bölgesinde diğer potansiyellerin hemen hemen yarısı büyüklüğe sahiptir.

Reel ve sanal potansiyellerin hacim integralleri aşağıdaki bağıntılar kullanılarak hesaplanır. Hacim integral değerleri Tablo-4.1 de verilmektedir.

$$J_V(E) = \frac{4\pi}{A_p A_T} \int_0^R V(r, E) r^2 dr$$

$$J_W(E) = \frac{4\pi}{A_p A_T} \int_0^R W(r, E) r^2 dr$$
4.10

Dispersiyon ilişkisi, Coulomb bariyerinin hemen üzerinde sanal potansiyelde meydana gelen hızlı değişime reel potansiyelin eşlik etmesidir ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$V_N(E) = V_R + \Delta V(E) = V_R - (W / \pi) [\varepsilon_a \ln|\varepsilon_a| - \varepsilon_b \ln|\varepsilon_b|]$$
4.11

Burada $\varepsilon_i = (E - E_i) / (E_b - E_a)$ dır. Parametreler $E_a=32.0$ MeV, $E_b=140.0$ MeV, $V_r=260.0$ MeV ve $W=120.0$ MeV olarak alınmıştır.

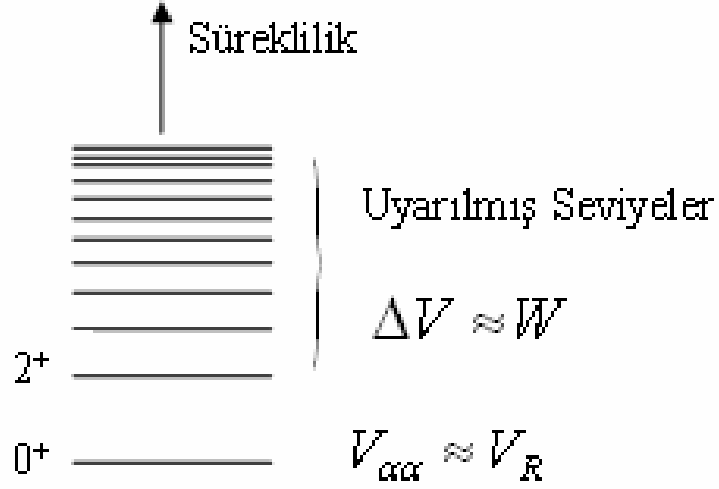
Dispersiyon ilişkisi Şekil 4.11 de gösterilmektedir. Şekilde kare sembolü ile gösterilen sonuçlar bu çalışmada kullanılan potansiyel hacim integrallerini, üçgen sembolü ile gösterilen sonuçlar ise Brandan ve arkadaşlarının yüksek enerji datasını açıklamakta kullandıkları potansiyelin % 80 normalizasyonla hacim integrallerini göstermektedir. Burada potansiyelin reel kısmının rezonans bölgelerinde dispersiyon ilişkisine uymadığı görülmektedir. Bunun nedeni, rezonans bölgelerinde hacim integral değerlerinin osilasyon yapmasından kaynaklanabilir. Ancak deneysel datalar dikkatli incelendiğinde,

deneysel datanın çok hızlı bir değişim gösterdiği ve bu ani değişimlerin düzenli değişen parametrelerle açıklanamayacağı farkedilebilir. Örneğin, $E_{\text{Lab}}=50$ ve 52 MeV deki deneysel sonuçlar ile $E_{\text{Lab}}=55$ ve 57.75 MeV deki deneysel sonuçlar incelendiğinde, 2 MeV lik bir farkın datayı nasıl değiştirdiği görülmektedir. Bu durumda parametrelerin düzgün bir değişim göstermesi mümkün değildir ve sonuç olarak hacim integrallerinin bu bölgelerde osilasyon yapması kaçınılmazdır. Reel potansiyeldeki bu osilasyonlu yapı, ^{12}C çekirdeğinin deforme yapısından kaynaklanan 2^+ durumuna çiftlenim yapması ile oluşabilir. Reel potansiyeldeki bu duruma karşın, sanal potansiyel, parametreleri düzgün olarak değiştiğinden dolayı her bölgede dispersiyon ilişkisine uymaktadır.

Bu çalışmada, rekasiyon gözlenebilirlerinin açıklanmasının yanısıra, elastik ve inelastik kanallar arasındaki çiftlenimin nükleer potansiyelin reel ve sanal kısımlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu nedenle yüksek ve düşük enerji bölgeleri için test yapılarak, Feshbach [53] formalizminin öngörülleri her iki bölge için irdelenmiştir. Feshbach formalizmi kısaca aşağıdaki gibi verilebilir:

$$V_{\text{Nükleer}} = V_{\alpha\alpha} + V_{\alpha\beta} \frac{1}{E^{(+)} - H_{\beta\beta}} V_{\beta\alpha} = V_{\alpha\alpha} + \Delta V(E) \approx V_R + iW \quad 4.12$$

Burada V_R reel potansiyel olup elastik saçılmadan sorumludur, W ise sanal potansiyel olup, uyarılmış kanallara giden akıyı temsil eder.



Bu formalizme göre, Çiftlenmiş Kanallar modelinde yapılan hesaplamalar, uyarılmış kanallar elimine edildiğinden dolayı, optik potansiyelin sadece sanal kısmını etkilemelidir. Buna göre, Optik Model hesaplamalarında kullanılan sanal potansiyelin değerinin düşürülerek, Çiftlenmiş Kanallar modelinde kullanılması ile, benzer sonuçlar elde edilmelidir. Çünkü Optik Model de W ile temsil edilen sanal potansiyel (uyarılmış kanallara giden akı), kanallar açıldığında azalmalıdır. Konu ile ilgili olarak Brandan ve arkadaşları, yüksek enerji bölgeleri için bir çalışma yapmış ve sanal potansiyelde yapılacak % 20 lik bir azaltmanın, datayı açıklayabildiğini ileri sürmüşlerdir.

Bu çalışmada da uyarılmış kanalların dahil edilmesinin, nükleer potansiyeli nasıl etkilediğini görmek için, biri yüksek enerji bölgesinde diğeri düşük enerji bölgesinde olmak üzere iki test analizi yapılmıştır. Analizlerden biri $E_{\text{Lab}}=106.9$ MeV için yapılmıştır. Test için kullanılan Optik Model parametreleri Tablo 4.3. de verilmektedir.

Sanal potansiyel % 20 azaltılarak ve diğer parametreler değiştirilmeden, Çiftlenmiş Kanallar Modeli ile hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 4.13. de görülmektedir. Şekilde dairesel noktalar deneysel datayı, katı çizgi Optik Model sonucunu, kesikli çizgiler ise single- 2^+ ve mutual- 2^+ durumlarını göstermektedir.

Şonuçlardan görüldüğü gibi, ^{12}C çekirdeğinin 0^+-2^+ ve 2^+-2^+ durumlarının dahil edilmesi, sanal potansiyel üzerinde bir etki yapmakta ve bu etki potansiyelin azalması ile karşılanmaktadır. Uyarılmış kanalların dahil edilmesi, temel seviye sonuçlarını faz ve büyüklük açısından etkilememektedir. Sonuç olarak, diğer parametreleri

değiştirmeksizin, sadece sanal potansiyelin % 20 azaltılması ile yapılan Çiftlenmiş Kanallar hesaplamaları, Optik Model hesaplamaları ile benzer sonuçlar vermekte, yani yüksek enerji bölgelerinde Feshbach formalizminin geçerli olduğu görülmektedir.

Konu ile ilgili ikinci analiz ise $E_{\text{Lab}}=35$ MeV için yapılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan parametreler Tablo 4.1. den alınmıştır. Sonuçlar Şekil 4.14. de verilmektedir. Burada yine deneysel data dairesel noktalar, Optik model sonucu katı çizgi ve single- 2^+ ve mutual- 2^+ durumları ise kesikli çizgilerle gösterilmektedir.

Burada da yukarıdaki işlemlere benzer şekilde, elastik datayı açıklayan parametreler kullanılarak ve sanal potansiyeli değerinin % 20 azaltılması ile Çiftlenmiş kanallar modeli hesaplamaları yapılmış ve inelastik kanalların dahil edilmesinin düşük enerjilerde $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ reaksiyonunun gözlenebilirlerini nasıl etkilediği incelenmiştir. Şekil 4.14. den de görüldüğü gibi, aşırı deforme yapıya sahip ^{12}C çekirdeğinin single- 2^+ ve mutual- 2^+ durumları, datayı tamamen bozmakta ve farklı bir yapı vermektedir. Çiftlenim etkisi, tesir kesiti osilasyonunun büyüklük ve fazını değiştirmektedir. Ayrıca uyarılmış kanalların dahil edilmesi, sadece geri açılar değil ileri açılar üzerinde de büyük etkiye sahiptir. Bu sonuçlardan anlaşılmıştır ki, Optik model sonuçları ile Çiftlenmiş Kanallar modelinin aynı sonuçları verebilmesi için sadece sanal kısımda bir azaltma yapılması yeterli değildir. Bunun yanı sıra hesaplamalarda kullanılan reel potansiyel de değişmelidir. Tüm bunlar göstermektedir ki, düşük enerji bölgelerinde uyarılmış kanallar, Feshbach formalizminin öngördüğü gibi, sadece sanal potansiyeli değil reel potansiyeli de büyük ölçüde etkilemektedir.

Bu konu ile ilgili bir çalışma önceki yıllarda Sakuragi ve Kamimura tarafından yapılmıştır [54]. Bu çalışmada break-up etkisi araştırılırken, uyarılmış kanalların dahil edilmesinin itici geniş bir reel potansiyele sebep olduğu görülmüştür. Bizim tarafımızdan yapılan bu çalışma da Kamimura ve Sakuragi'nin buldukları ile aynı sonucu vermektedir ve bu iki çalışmanın sonuçları da, yukarıda sözü edilen, Brandan'ın, uyarılmış kanalların sadece sanal kısmı etkilediği, reel kısım üzerinde hemen hemen hiç etkisi olmadığı iddiasının düşük enerjiler için geçerli olmadığını göstermektedir. Bu duruma göre, düşük enerji bölgelerinde Feshbach formalizminin geçerliliği sorgulanmalıdır. Ayrıca tüm bu hesaplamalar göz önüne alındığında, nükleer potansiyelin reel kısmının şeklinin belirlenmesinde Optik model hesaplamalarının

yetersiz olduğu görülmektedir. Yapının anlaşılması için, uyarılmış kanalların dikkate alındığı, Çiftlenmiş Kanallar modeli ile kapsamlı bir analiz yapılmalıdır. Bu sayede gerek reel potansiyelin gerekse sanal potansiyelin şekli konusundaki belirsizlikler ortadan kaldırılabilir.

Son olarak bu çalışmada rezonans analizleri yapılmıştır. Daha öncede sözü edildiği gibi bu bölgelerde Cormier tarafından tespit edilen $E_{Lab} \approx 38.0, \approx 50.0, \approx 57.75$ civarında rezonanslar bulunmaktadır. S-matris analizleri yapıldığında, kullanılan potansiyel ailesi ile rezonans bölgelerini doğru tahmin etmekte olduğu görülmektedir. Analiz sonuçları Şekil 4.15. de verilmektedir. Şeklin üst kısmı $J=16$ spin değerleri için S-matrisin sanal kısmının reel kısmına göre değişimini vermektedir. Şeklin alt kısmı ise aynı spin değerinde, 0^+-0^+ ve 0^+-2^+ kanalların için S-matrixin büyüklüğünün kütle merkezi sisteminde enerjiye göre değişimini vermektedir. Şekilden görüldüğü üzere bu çalışmada kullanılan potansiyel rezonans bölgelerini doğru yerde ve makul genişlikte tahmin etmektedir.

Sonuç olarak sunulan bu çalışma, açısal dağılım, uyarılma fonksiyonları, reaksiyon tesir kesiti ve rezonansı eş zamanlı açıklayabilen bir potansiyel ailesi elde edebilen ilk sistematik çalışmadır. Şu ana kadar yapılan çalışmalar dikkate alındığında, bu çalışma $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ elastik reaksiyonu için tüm gözlenebilirleri aynı anda açıklayan tek çalışma olması bakımından oldukça büyük bir öneme sahiptir. Hesaplamalarda Fresco ve Chuck kodları kullanılmıştır [55,57].

Tablo-4.1. Potansiyel Parametreleri, Hacim İntegralleri ve χ^2 Değerlerinin Enerjiye Göre Değişimi.

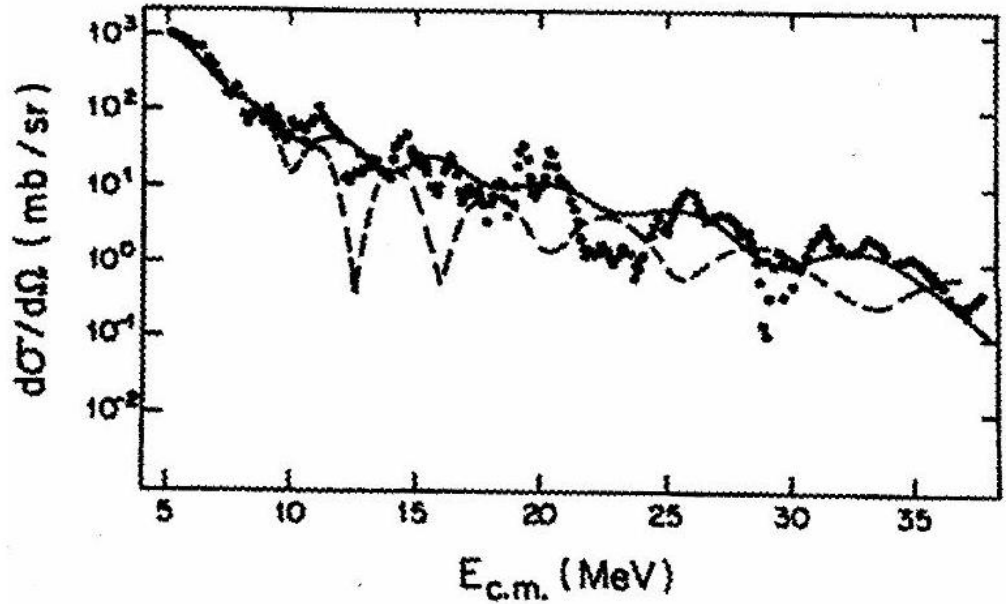
$E_{Lab}(MeV)$	$r_v(fm)$	$a_v(fm)$	$W_0(MeV)$	$J_v(MeV.fm^3)$	$J_w(MeV.fm^3)$	χ^2
32.0	0.78	1.39	4.2	296.5	17.4	2.51
35.0	0.77	1.33	4.7	281.2	19.5	4.74
39.0	0.78	1.33	5.2	290.7	21.6	6.32
40.0	0.77	1.37	5.0	285.0	20.8	4.19
41.0	0.72	1.39	5.0	242.9	20.8	5.62
42.0	0.73	1.35	5.5	247.5	22.8	7.72
43.0	0.76	1.39	6.2	277.7	25.8	3.62
45.0	0.76	1.39	6.2	277.7	25.8	4.59
46.0	0.78	1.33	6.5	290.7	27.0	6.36
49.0	0.73	1.39	6.0	251.3	24.9	5.58
50.0	0.74	1.39	6.4	259.9	26.6	4.95
52.0	0.78	1.39	8.5	296.5	35.3	9.88
55.0	0.81	1.30	9.0	318.1	37.3	5.95
57.75	0.76	1.39	8.9	277.7	37.0	8.65
60.0	0.74	1.33	8.0	254.2	33.3	5.52
62.5	0.74	1.39	8.0	259.9	33.3	9.55
65.0	0.72	1.33	8.9	237.3	37.0	15.79
70.7	0.715	1.39	12.0	238.8	49.9	16.14

Tablo-4.2. 50^0 - 90^0 Uyarılma Fonksiyonları İçin Optik Model Kullanılarak Elde Edilen χ^2 Değerleri.

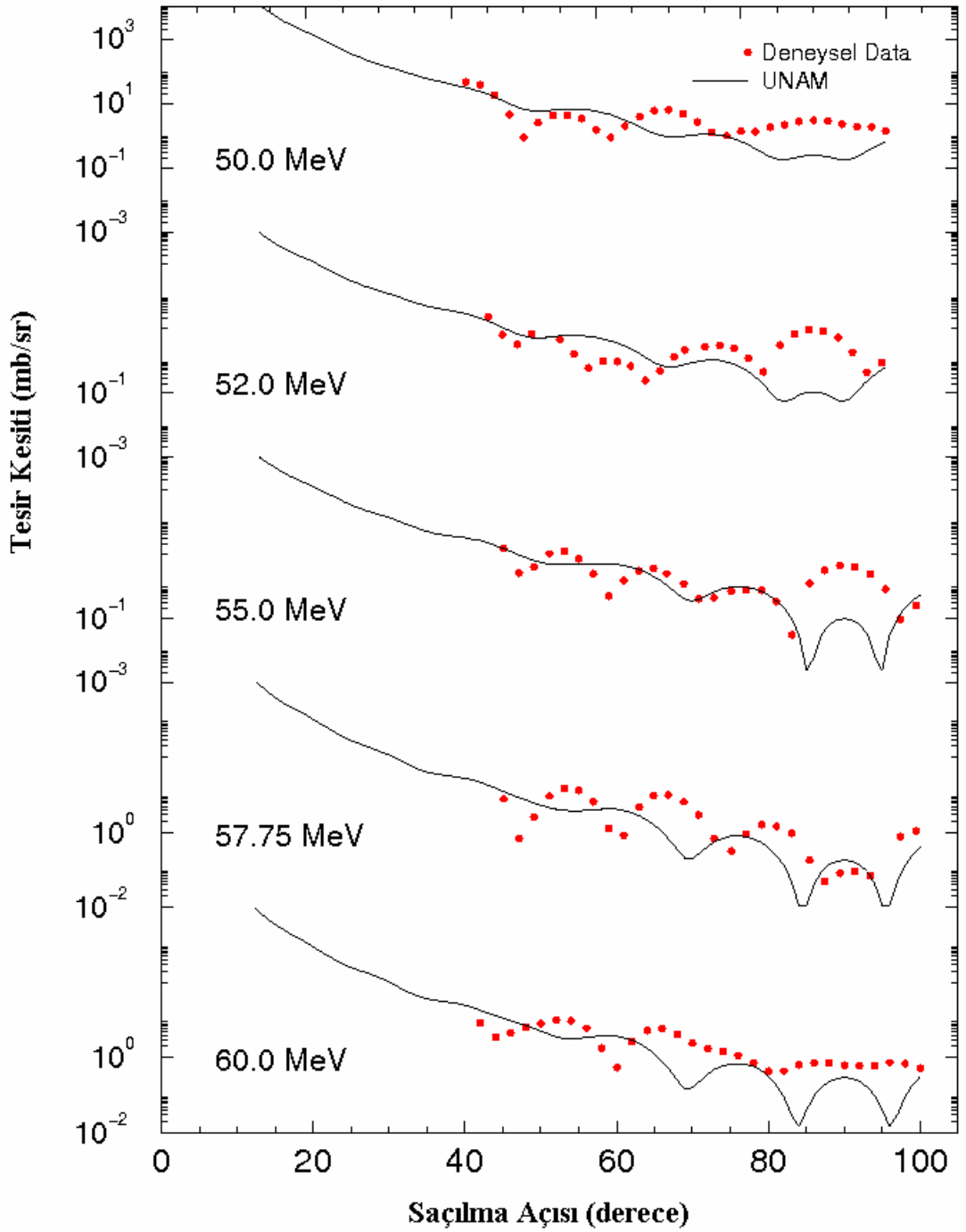
$\theta_{K.M.}$	50^0	60^0	70^0	80^0	90^0
χ^2	40.16	4.44	26.82	67.15	31.96

Tablo-4.3. $E_{lab}= 106.9$ Mev İçin Optik Model Parametreleri ve Hacim İntegralleri.

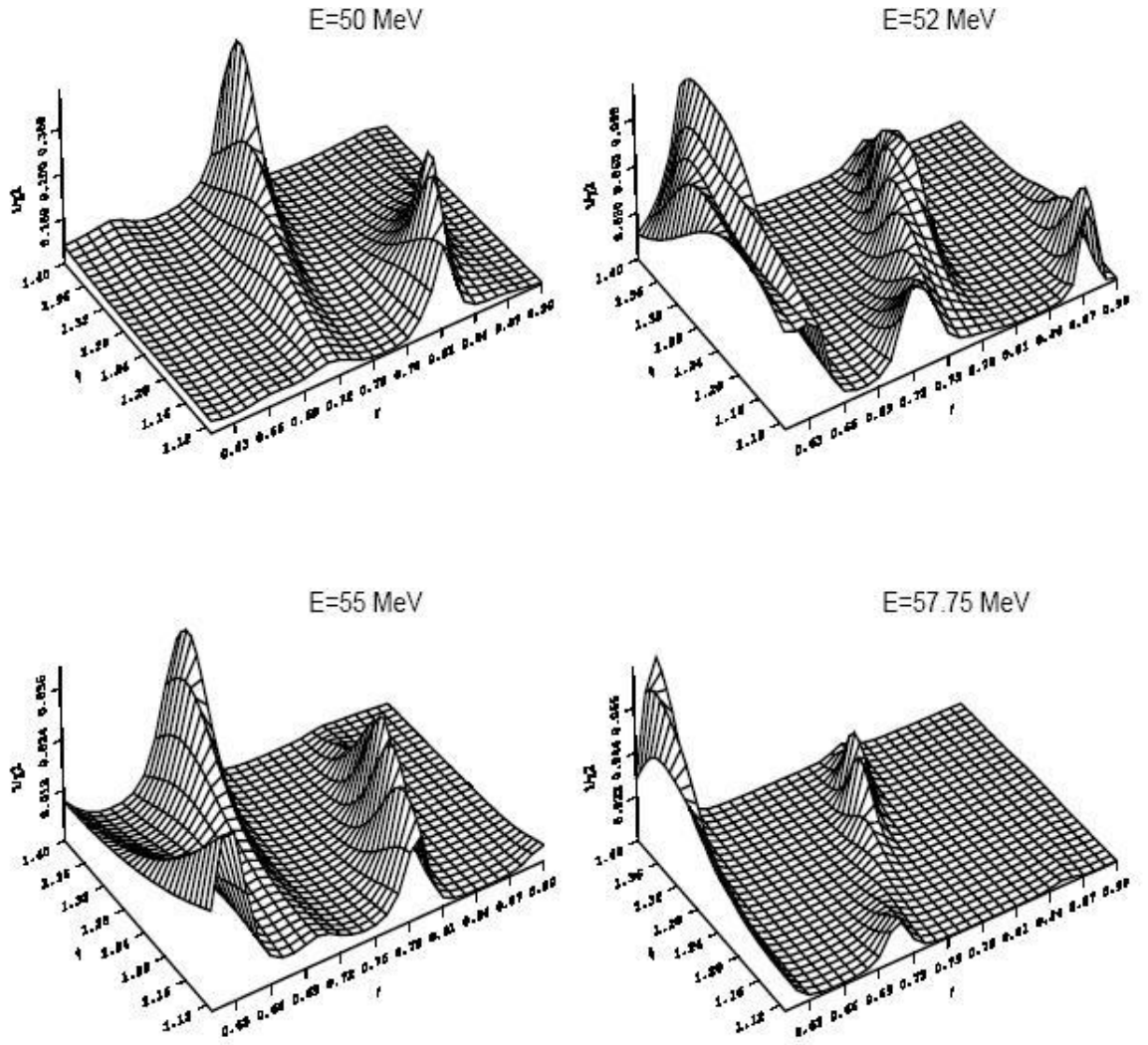
$E_{Lab}(MeV)$	$r_V(fm)$	$a_V(fm)$	$W_0(MeV)$	$J_V(MeV.fm^3)$	$J_W(MeV.fm^3)$
106.9	0.75	1.39	18.0	268	75



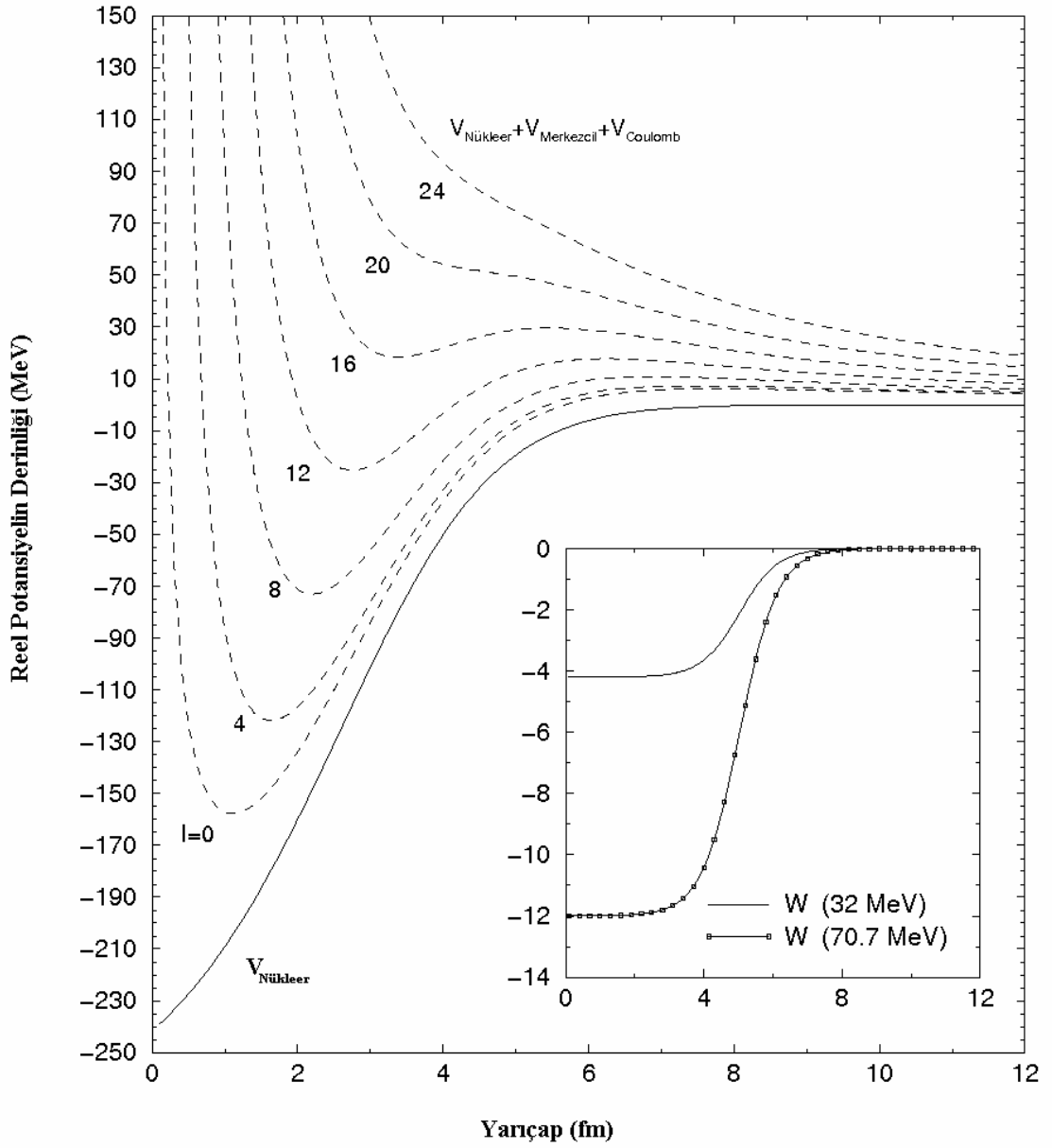
Şekil-4.1: $E > 6/A$ Mev İçin 90^0 Uyarılma Fonksiyonu Sonuçlarının Deneysel Data İle Karşılaştırılması. Dairesel Noktalar Deneysel Verileri, Katı Çizgi Denklem-4.1 Sonuçlarını, Kesikli Çizgi Denklem- 4.2 Sonuçlarını Göstermektedir.



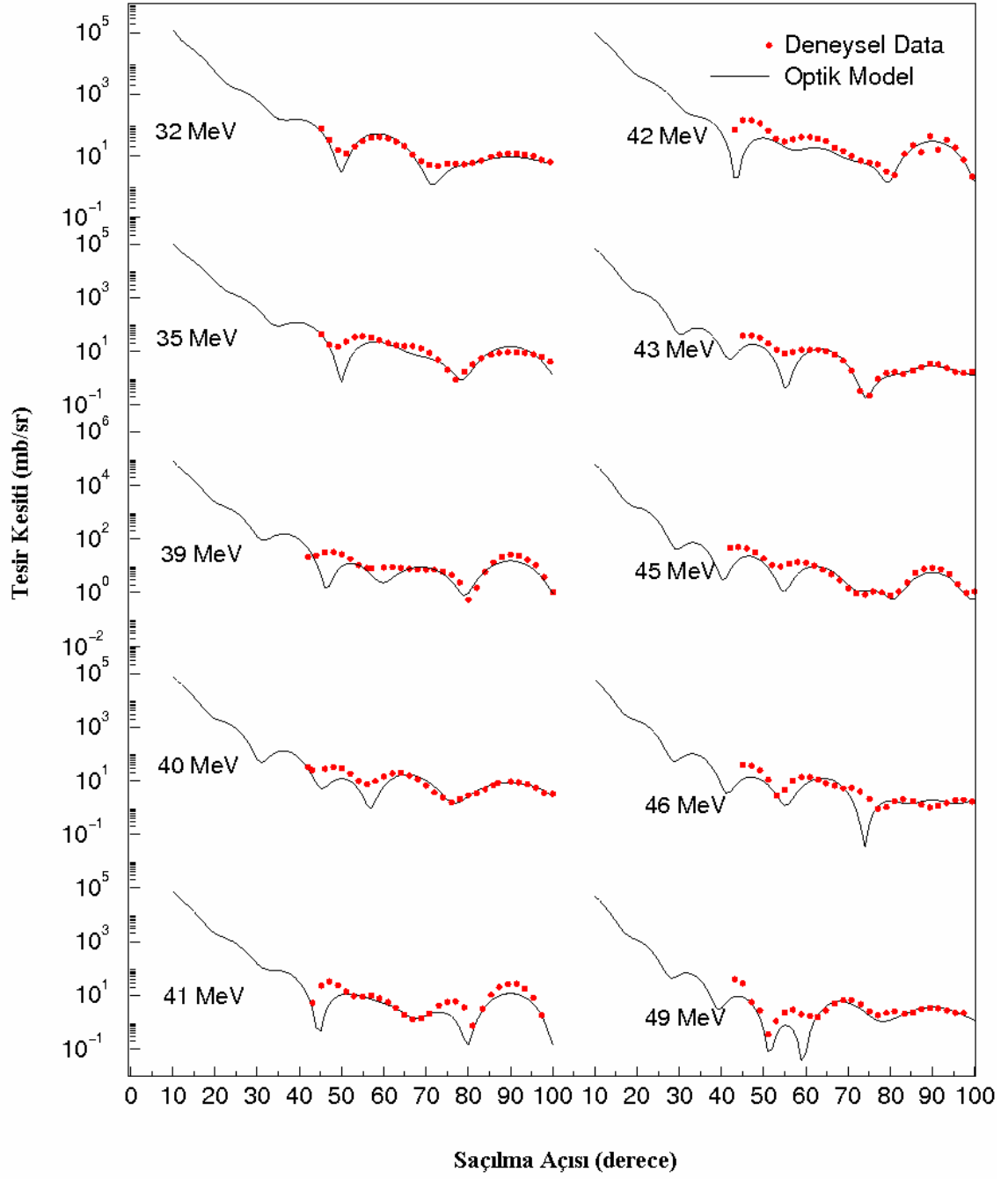
Şekil-4.2. $E_{lab} = 50-60$ Mev Arasında Deneysel Verilerin (Dairesel Noktalar) UNAM Potansiyeli Sonuçları (Katı Çizgiler) ile Karşılaştırılması.



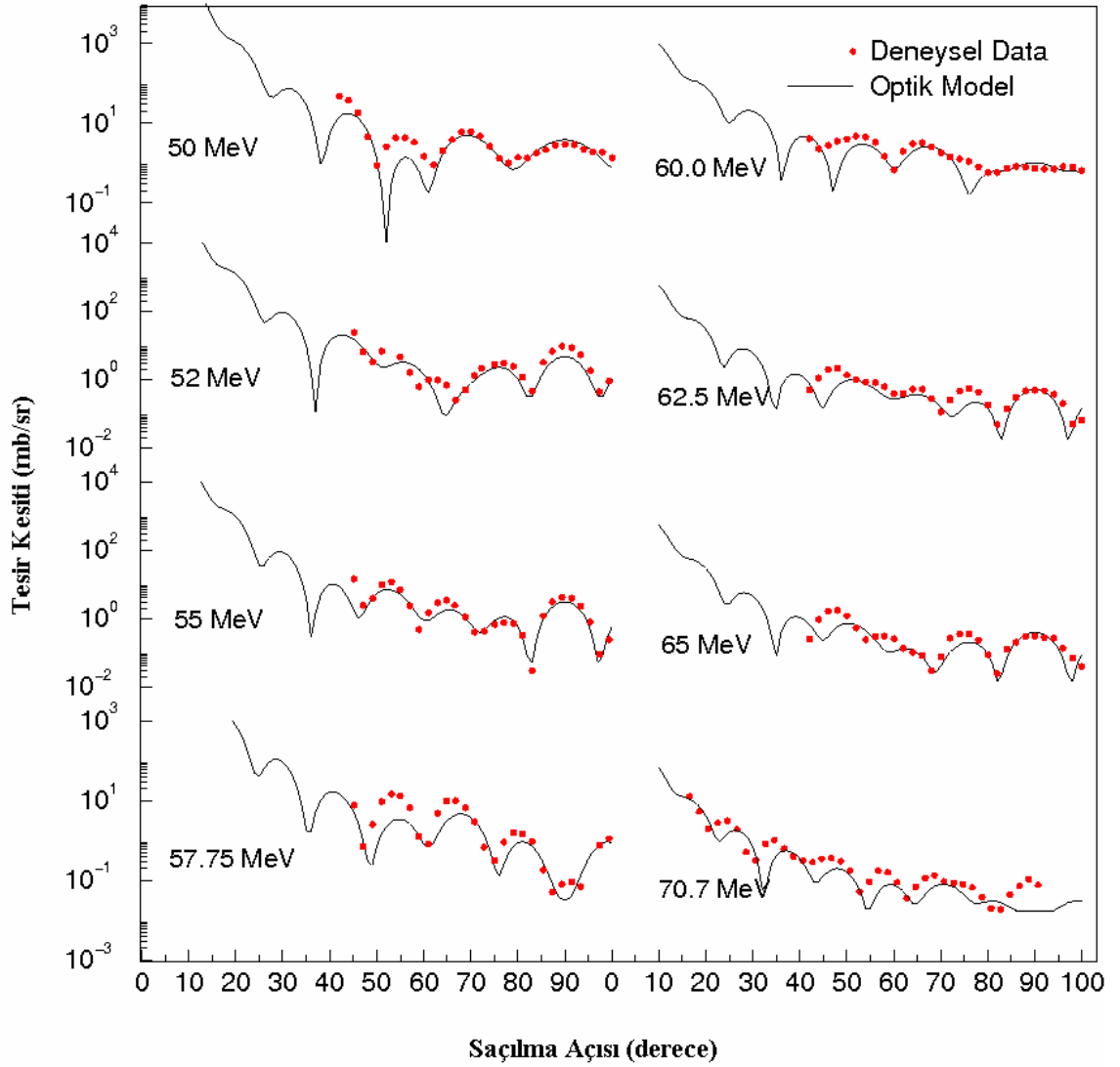
Şekil-4.3. Optik Model Parametreleri r_v , a_v nin $1/\chi^2$ Değerlerine Göre Değişiminin 3-Boyutlu Gösterimi.



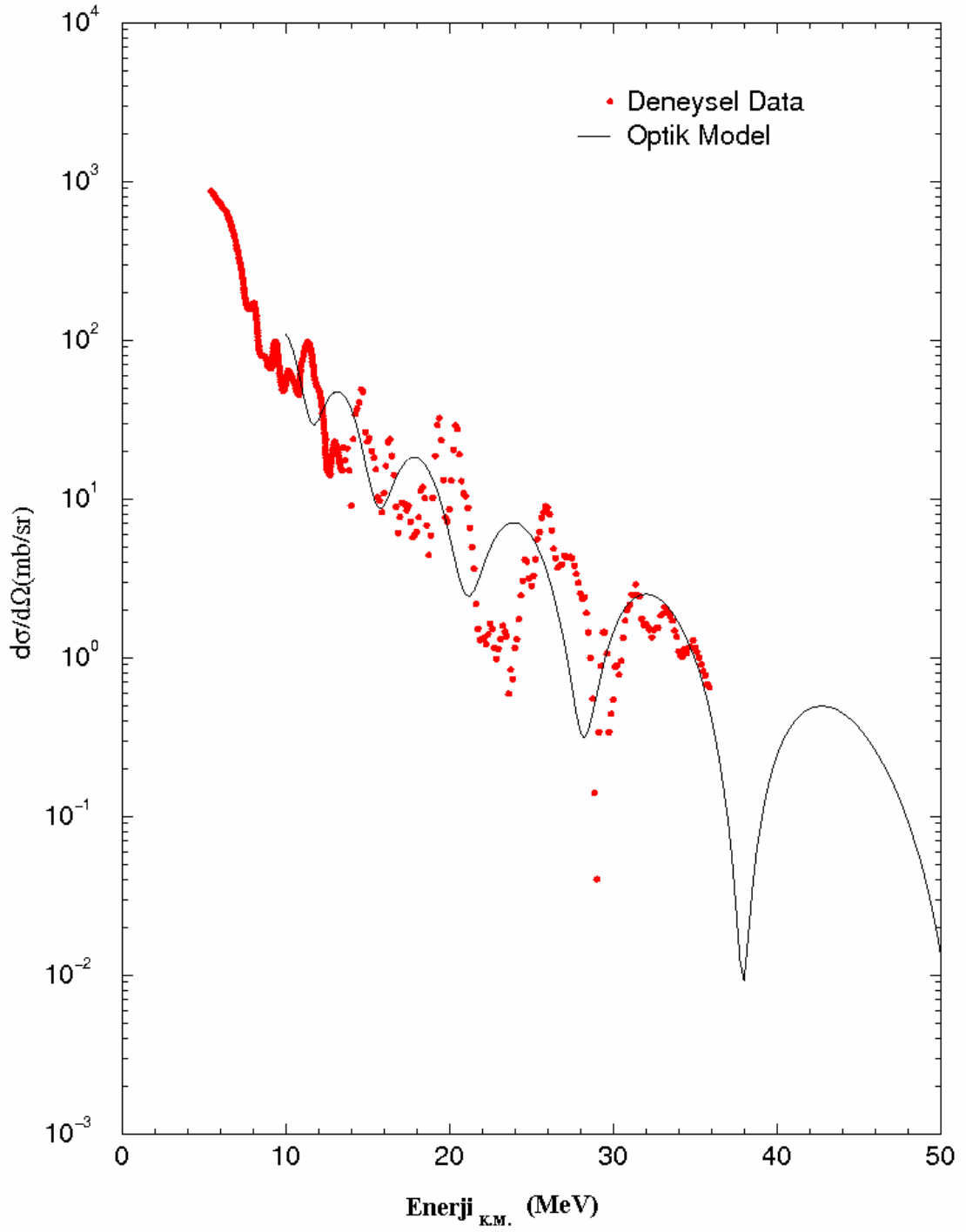
Şekil-4.4. ^{12}C Ve ^{12}C Çekirdekleri Arasındaki Etkileşim Potansiyelinin Farklı Açsal Momentum Kuantum Sayıları (l) İçin, R Yarıçapına Göre Değişimi. İçteki Küçük Şekil ise $E_{\text{lab}}=32.0$ Ve 70.7 Mev deki Sanal Potansiyeli Göstermektedir. Parametreler Tablo 4.1 den Alınmıştır.



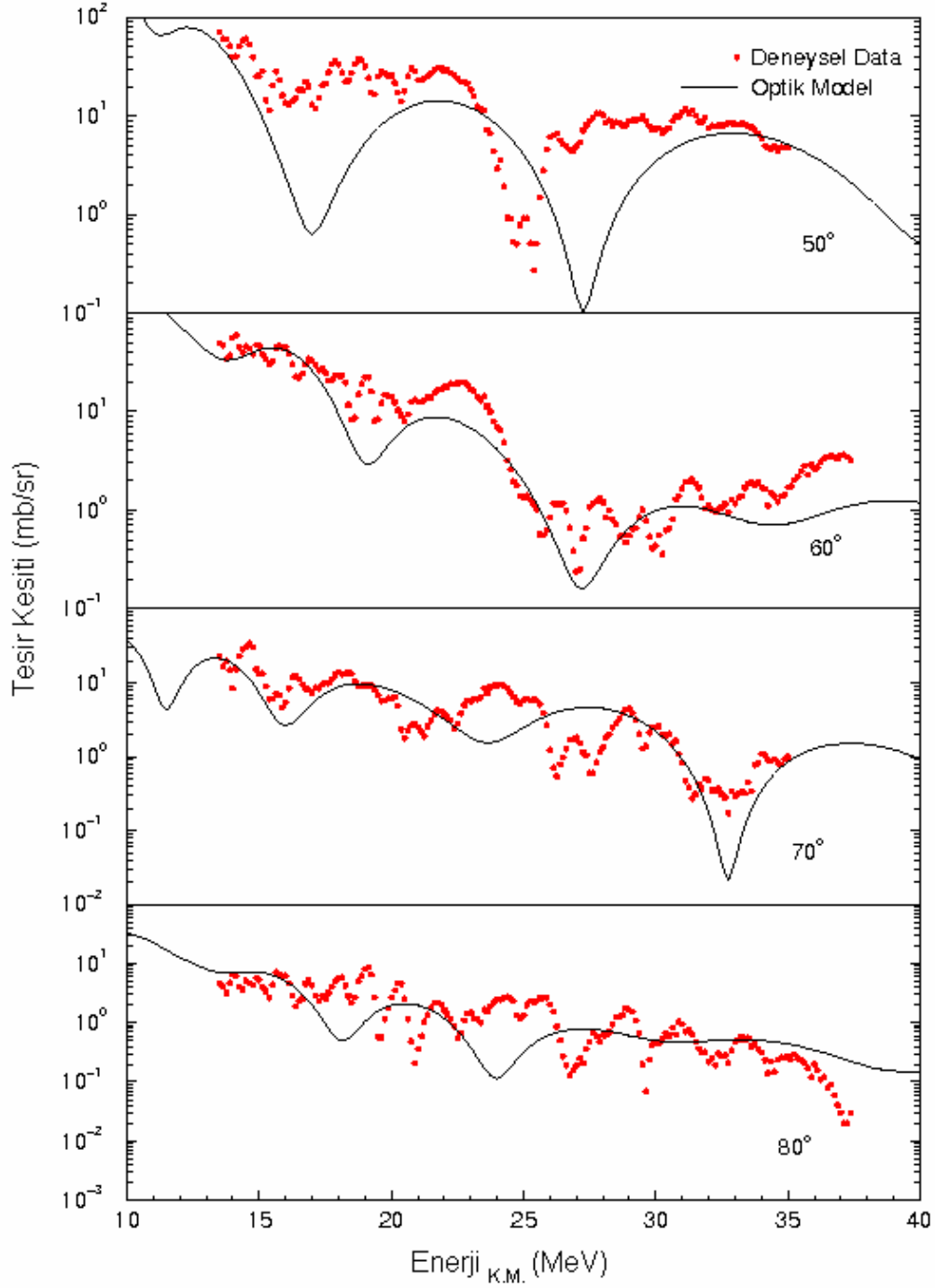
Şekil-4.5. $E_{lab} = 32.0-49.0$ Mev Arasında Elastik Saçılma Açısıl Dağılım Deneysel Sonuçlarının (Dairesel Noktalar) Optik Model Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar (Katı Çizgiler) ile Karşılaştırılması.



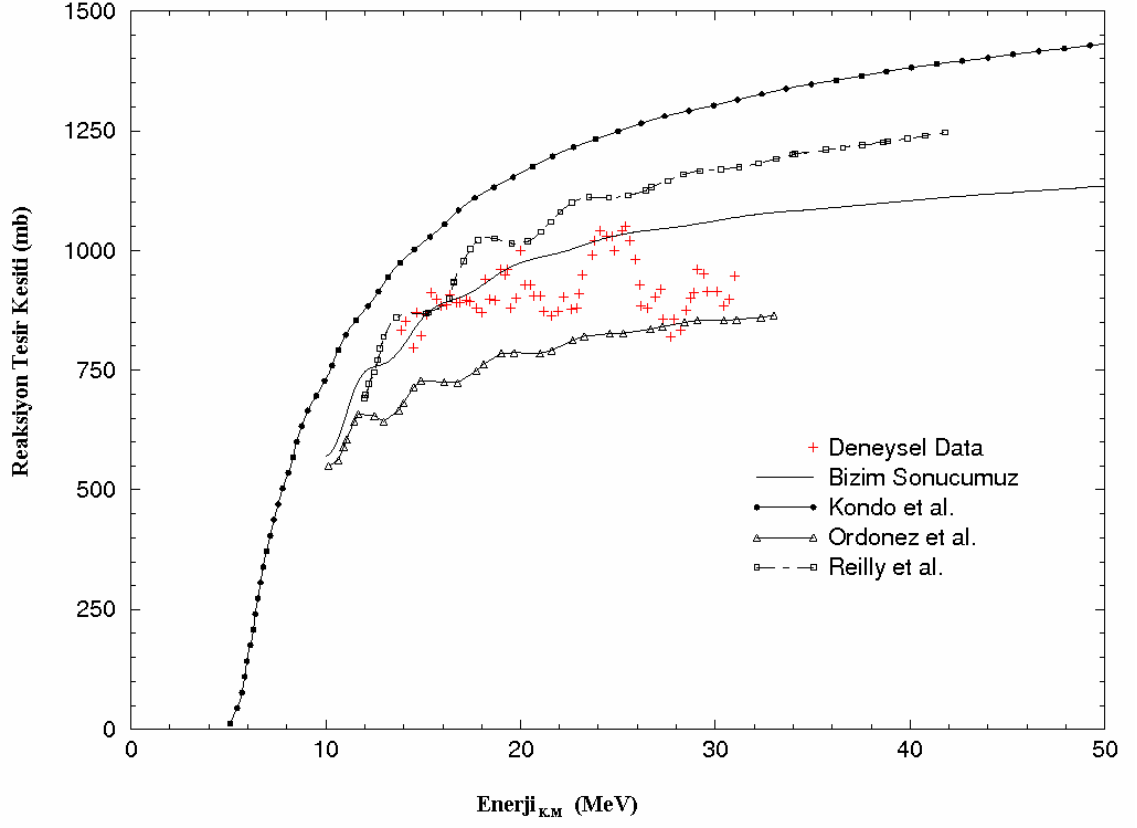
Şekil-4.6. $E_{lab}= 50.0-70.7$ Mev Arasında Elastik Saçılma Açısıl Dağılım Deneysel Sonuçlarının(Dairesel Noktalar) Optik Model Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar (Katı Çizgiler) ile Karşılaştırılması.



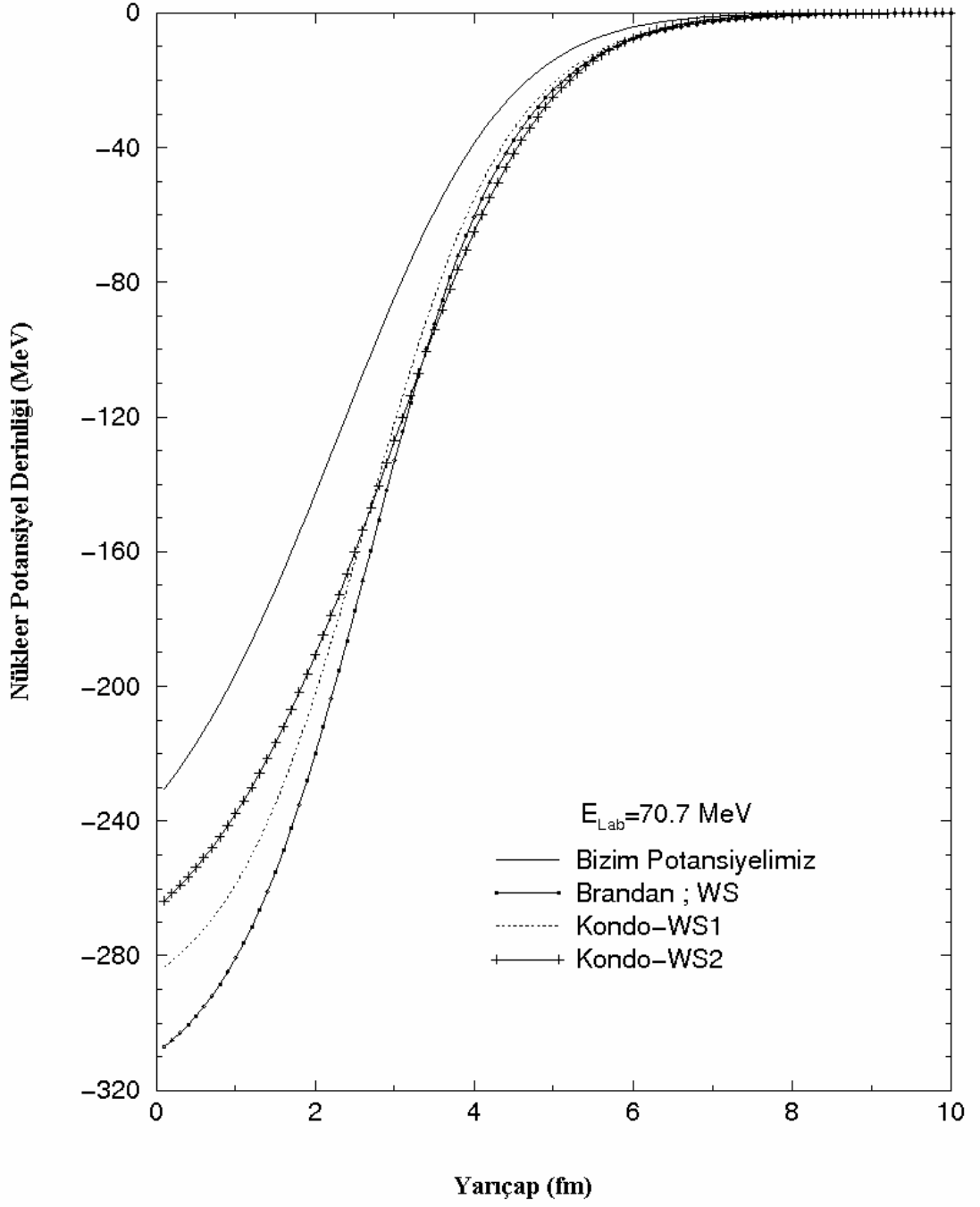
Şekil-4.7. 90° Uyarılma Fonksiyonunun Model Sonuçları (Katı Çizgi) ile Deneysel Datanın (Dairesel Noktalar) Karşılaştırılması.



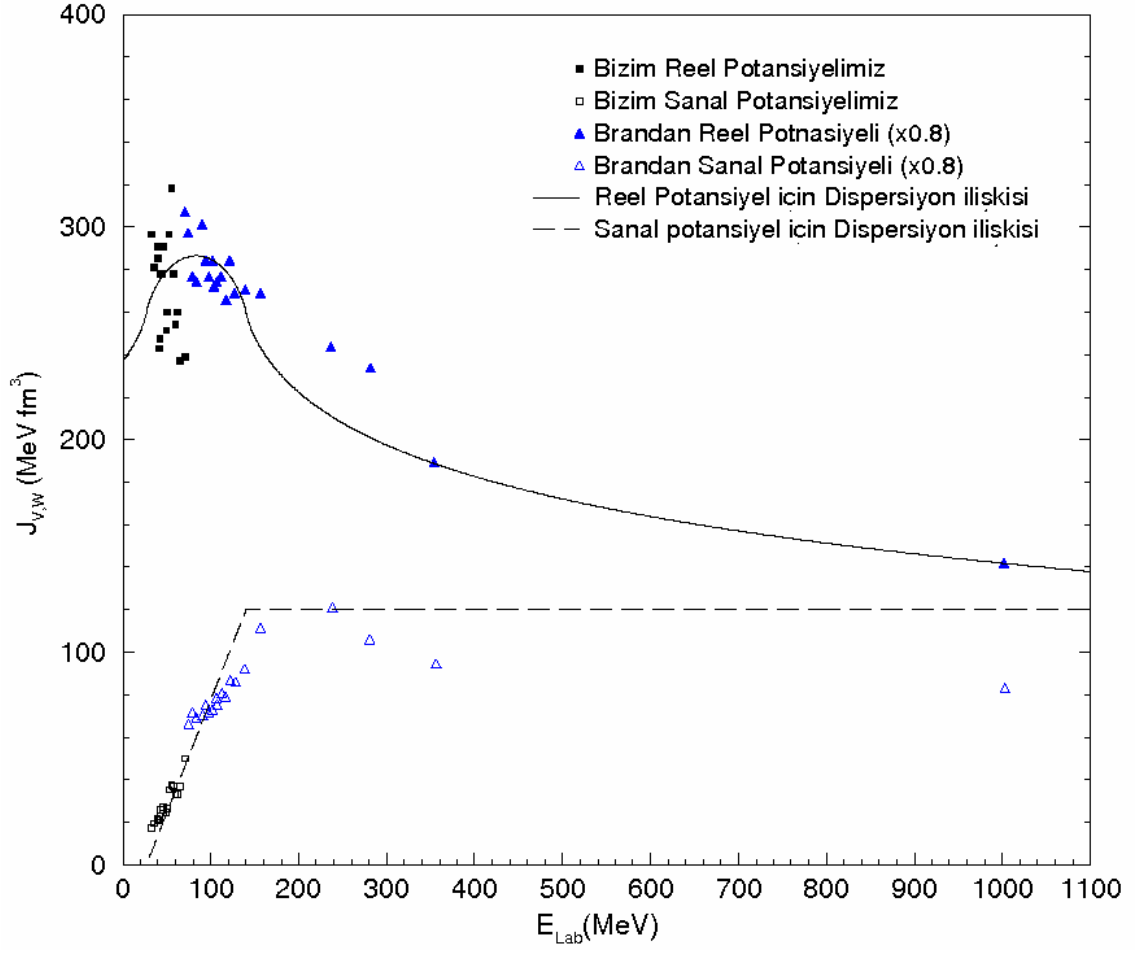
Şekil-4.8. 50° - 80° Uyarılma Fonksiyonunun Model Sonuçları (Katı Çizgiler) ile Deneysel Datanın (Dairesel Noktalar) Karşılaştırılması.



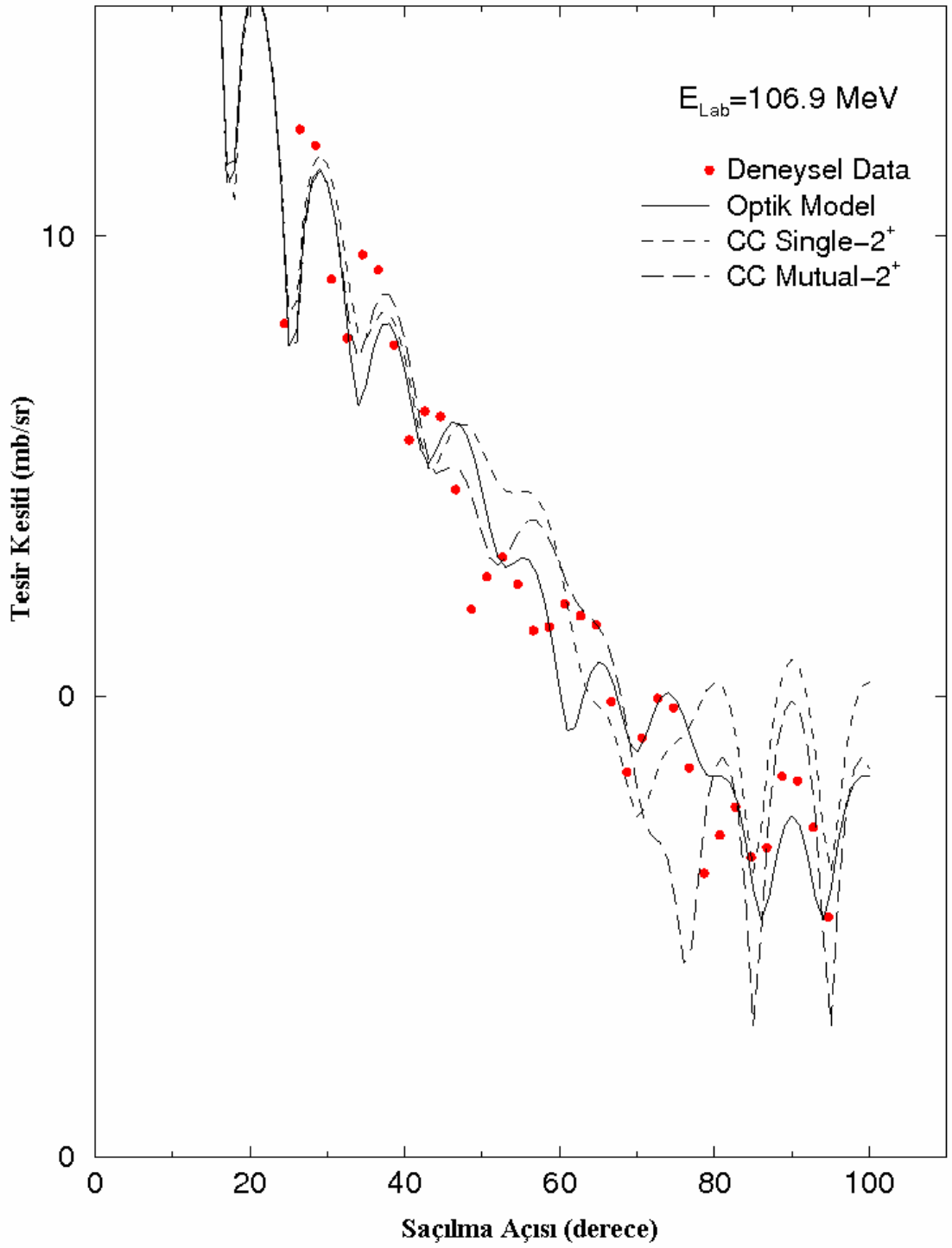
Şekil-4.9. Bu Çalışmada Kullanılan Potansiyel Sonuçları (Katı Çizgi) ile Bugüne Kadar Yapılan Diğer Teorik Sonuçların (Kesikli Çizgiler) Deneysel Datalarla ('+') ile Karşılaştırılması.



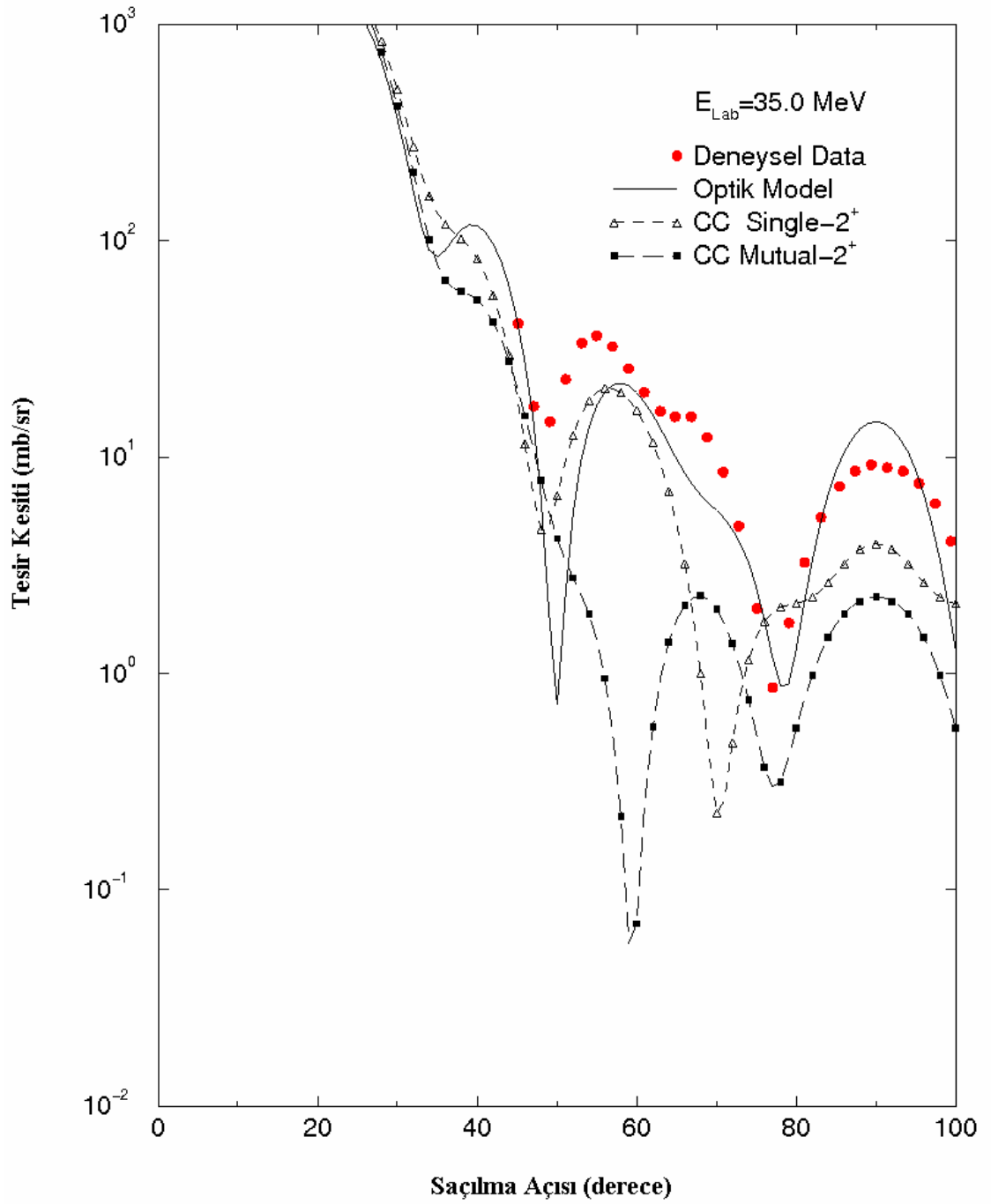
Şekil-4.10. Bu Çalışmada Kullanılan Nükleer Potansiyel (Katı Çizgi) ile Brandan ve Kondo Tarfından Yapılan Çalışmalarda Kullanılan Potansiyellerin (Kesikli Çizgiler) Karşılaştırılması.



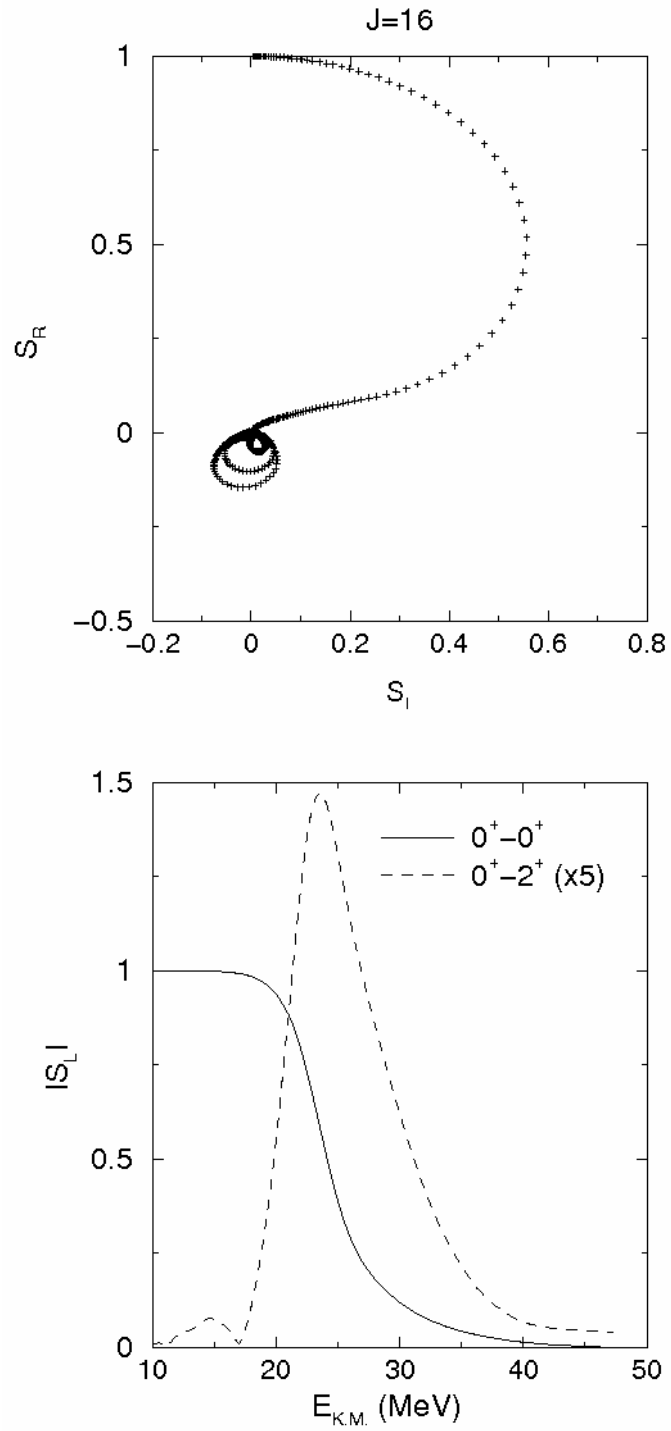
Şekil-4.11. Optik Model Hesaplamalarında Kullanılan Nükleer Potansiyelin Reel (Dolu Kareler) ve Sanal Kısımlarının (Boş Kareler) Hacim İntegralleridir. Üçgenlerle Gösterilen Değerler ise Brandan'ın Yüksek Enerji Bölgelerindeki Hacim İntegralleridir. Katı ve Kesikli Çizgiler ise Reel Ve Sanal Potansiyeller Arasındaki Dispersiyon İlişisini Göstermektedir.



Şekil-4.12. $E_{\text{lab}}= 106.9 \text{ MeV}$ De ^{12}C Çekirdeğinin Single- 2^+ ve Mutual- 2^+ Durumlarının Dahil Edilmesinin Etkisi. Dairesel Noktalar Deneysel Datayı, Katı Çizgi Optik Model Sonuçlarını Kesikli Çizgiler ise Uyarılmış Kanalları Göstermektedir.



Şekil-4.13. $E_{\text{lab}}= 35 \text{ Mev}$ De ^{12}C Çekirdeğinin Single- 2^+ ve Mutual- 2^+ Durumlarının Dahil Edilmesinin Etkisi. Dairesel Noktalar Deneysel Datayı, Katı Çizgi Optik Model Sonuçlarını Kesikli Çizgiler ise Uyarılmış Kanlları Göstermektedir.



Şekil-4.14. Şeklin Üst Kısımında, $J=16$ Spin Değerleri İçin S-Matrisin Reel Kısımının Sanal Kısımına Göre Değişimi Verilmektedir. Şeklin Alt Kısımında İse, Elastik ($0^+ - 0^+$) Ve Single- 2^+ ($0^+ - 2^+$) Kanalları İçin S-Matrixin Büyüklüğünün Aynı Spin değerinde Enerjiye Göre Değişimi Verilmektedir.

BÖLÜM 5

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ sistemi, uyarılma fonksiyonlarının osilasyonlu yapısı ve gözlemlenen rezonanslar nedeniyle bugüne kadar en çok çalışılan reaksiyonlar arasına girmiş, deneysel ve teorik birçok çalışma ile literatürde geniş bir yer kaplamıştır. Ancak bu sistem ile ilgili yapılan tüm çalışmalar kısa enerji aralıklarında olup, deneysel datanın sadece bir kısmını açıklayabilmiştir. Özellikle düşük enerji bölgeleri için sistematik bir çalışma yapılmamış, bu bölgeler için reaksiyon gözlenebilirlerinin açıklanmasında global bir model önerilememiştir. Bu çalışmada ise, sistemle ilgili bugüne kadar karşılaşılan problemler göz önüne alınarak, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ elastik saçılma reaksiyonu geniş bir enerji aralığında kapsamlı olarak çalışılmış ve bugüne kadar yapılamamış olan, açısız dağılım, tek açılı uyarılma fonksiyonları, reaksiyon tesir kesiti ve rezonans gibi tüm gözlenebilirleri aynı anda açıklayan bir potansiyel ailesi elde edilmiştir.

$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ reaksiyonu, laboratuvar sisteminde 32-70.7 MeV enerji aralığında, Wood-Saxon kare şeklinde derin reel ve Wood-Saxon şeklinde sıg sanal potansiyel olmak üzere fenomenolojik potansiyeller kullanılarak, Optik Model çatısı altında analiz edilmiştir. Bu çalışmada, özellikle açısız dağılım için minimum χ^2 değerleri ile, deneysel datalar ve teorik sonuçlar arasında mükemmel bir uyum elde edilmiştir. Aynı potansiyel parametreleri ile, uyarılma fonksiyonlarının kaba yapısı eş zamanlı olarak açıklanmış, reaksiyon tesir kesiti için bugüne kadar yapılan çalışmalardan daha iyi bir sonuç bulunmuştur ve rezonans bölgelerinin yeri doğru tahmin edilerek literatürde bir ilk gerçekleştirilmiştir. Tüm gözlenebilirleri aynı anda açıklayabilen bu potansiyelin parametreleri incelendiğinde, nükleer potansiyelin sadece reel kısmının yarıçap ve difüzyon parametresi ile sanal kısmının derinliği enerjiye bağlı değişkenler olarak alınıp, diğer parametreler sabit değerde tutulmuştur. $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ sisteminin osilasyonlu yapısı dikkate alındığında sadece üç serbest parametre ile bu yapının açıklanması

oldukça dikkat çekicidir. Parametreler genel olarak enerjiye bağılı bir şekilde sistematik olarak değişmektedir. Ancak bazı bölgelerde reel potansiyel parametrelerinin osilasyon yaptığı görülmektedir. Potansiyellerdeki bu ani değişim, daha öncede sözü edildiği gibi düşük enerji bölgelerinde gözlemlenen rezonanslardan kaynaklanmaktadır. Rezonans bölgelerinde datanın yapısı tamamen değişmekte minimum yapan noktaların maksimum yada tam tersinin olduğu görülmektedir. Datada ki bu durum dikkate alındığında, parametrelerin yapı ile paralel olarak osilasyon göstermesi kaçınılmazdır. Ancak tüm bunlara rağmen, parametrelerdeki değişim genel olarak % 15 civarında olup, normal bir seviyededir. Rezonans bölgeleri dışında da datanın yapı değiştirdiği bölgeler bulunmaktadır. Çok küçük enerji değişimleri bile datanın yapısında farklılaşmaya neden olabilmektedir. Bu bölgelerde şu ana kadar deneysel olarak gözlemlenenememiş rezonanslar bulunabilir. Bu nedenle teorik olarak tespit edilen bu bölgeler için deneysel çalışmalar yapılmalıdır.

Optik model analizlerinde derin ve sığ reel potansiyeller kullanılmış ve gözlenebilirleri açıklayacak potansiyelin derinliği konusunda ayrıntılı inceleme yapılmıştır. Sonuç olarak görülmüştür ki, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ elastik saçılma reaksiyonu gözlenebilirlerinin sığ potansiyel ailesi ile açıklanması mümkün değildir. Daha önceki teorik çalışmalarda da öngörüldüğü gibi, kullanılan reel potansiyelin derin olması gerektiği ve bu derinliğin iddia edildiği gibi ≈ 300 MeV civarında olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan analizlerde reel potansiyelin derinliği 260- 300 MeV enerji aralığında 5 MeV lik aralıklarla değiştirilerek reaksiyon gözlenebilirlerini etkisi incelenmiş ve bu enerji aralıklarının tamamı için açılma dağılım datalarının kaba yapısının elde edilebildiği görülmüştür. Ancak burada ilginç bir nokta dikkati çekmiştir. 260-300 MeV aralığındaki derinlikler açılma dağılımı açıklayabilirken sadece 280 MeV derinlik uyarılma fonksiyonlarını açıklayabilmektedir. Bunun dışındaki hiç bir değer uyarılma fonksiyonları datalarını fit edememiştir. Kullanılan bu potansiyel ailesi tek açılı uyarılma fonksiyonları için iyi sonuçlar vermesine karşın, ince detayların anlaşılması daha kapsamlı bir çalışmaya gereksinim duymaktadır.

Bu çalışmada reaksiyon gözlenebilirlerinin eşzamanlı açıklanmasının yanı sıra, uyarılmış kanalların düşük enerji bölgelerinde sanal potansiyeli ile birlikte reel potansiyeli de etkilediği gösterilmiştir. Şu ana kadar yüksek enerji bölgeleri için yapılan çalışmalar, bu bölgelerde single- 2^+ ve mutual- 2^+ kanallarının dahil edilmesinin,

Feshbach formalizminin öngördüğü gibi, sadece sanal potansiyeli etkilediği ve bu etkinin de Çiftlenmiş kanallar modelinde sanal potansiyelin azatılmasıyla karşılandığını göstermiştir. Ancak düşük enerji bölgeleri için bu formalizmin geçerli olmadığı, 0^+-2^+ ve 2^+-2^+ kanallarının reel potansiyelide büyük ölçüde etkilediği görülmüştür. Bu bağlamda, düşük enerji reaksiyonları çalışılırken uyarılmış kanalların dahil edilmesinin önemi ve formalizmin yeniden sorgulanması gerekliliğinin tespiti bakımından bu çalışma ayrı bir öneme sahiptir.

Bu çalışmadaki hesaplamalarda kullanılan Optik Model, saçılma tesir kesitinin kaba yaklaşımını verebilmesine rağmen nükleer yapının birçok özelliğini ihmal eder. Hesaplamalarda kullanılan potansiyel, sabit bir yarıçap ve yüzey difüzyonuna sahiptir. Bu model sadece tek parçacıklı durumlar için kullanışlıdır. Optik model uygulamaları için en önemli koşul, reaksiyonun bileşik çekirdek durumunda uyarılmış kanallara sahip olması gerekmektedir. Bu şart, gelen nükleonun enerjisinin bileşik çekirdekte ortalama yüzey aralığından büyük olduğunda ağır çekirdekler ve 5 MeV in üstündeki enerjiler için geçerlidir. Herhangi bir durum için bu kabullenmenin geçerliliği, deneysel olarak dedektörle özel bir açıda uyarılma fonksiyonunun ölçülmesiyle araştırılır. Ancak şartlar sağlandığında optik model uygulanabilir olur.

Optik modelin uygulanabilir olabilmesi için başka şartların da sağlanması gerekir. Özellikle elastik kanallar uyarılmış kanallar güçlü bir şekilde çiftlenim yapmaması gerekir. Ancak uyarılmış kanallara çiftlenim hafif ise ve sadece birkaç kanal açık ise model geçerlidir.

Yukarıda da belirtildiği gibi bu modelin kullanılması ağır çekirdekler için yüksek enerjilerde daha elverişlidir. Ayrıca çekirdeklerdeki deformasyonu da dikkete katmaması modelin en büyük dezavantajıdır. Bu nedenle $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ sistemi çekirdeğin deforme yapısı nedeniyle Çiftlenmiş Kanallar modeli ile daha detaylı analiz edilmelidir.

Gelecek çalışmalar, $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ sisteminde gözlemlenen problemlerin çözümünde Çiftlenmiş Kanallar metodunun nasıl yanıt vereceğinin araştırılması üzerine olacaktır. Özellikle Optik modelin yetersiz kaldığı rezonans bölgelerinin açıklanabilmesi için kapsamlı bir S- matris analizi yapılacaktır.

KAYNAKLAR

1. Bromley, D.A., Kuehner, J.A., Almqvist, E., Resonant Elastic Scattering of C^{12} by Carbon, Phys. Rev. Lett. 4, 365, 1960.
2. Almqvist, E., Bromley, D.A., Kuehner, J.A., Resonances in C^{12} on Carbon Reactions, Phys. Rev. Lett. 4, 515, 1960.
3. Erb, K.A., Bromley, D.A., Rotational and vibrational excitations in nuclear molecular spectra, Phys. Rev. C 23, 2781, 1981.
4. Cormier, T.M., Applegate, J., Berkowitz, G.M., Braun-Munzinger, P., Cormier, P.M., Harris, J.W., Jachcinski, C.M., Lee, L., Barrette, J., Wegner, H.E., Molecular Resonances in $^{12}C + ^{12}C$ Inelastic Scattering, Phys. Rev. Lett. 38, 940, 1977.
5. Cormier, T.M., Jachcinski, C.M., Berkowitz, G.M., Braun-Munzinger, P., Cormier, P.M., Gai, M., Harris, J.W., Barrette, J., Wegner, H.E., Partial Widths of Molecular Resonances in the System $^{12}C+^{12}C$, Phys. Rev. Lett. 40, 924, 1978.
6. Fulton, B.R., Cormier, T.M., Herman, B.J., Resonances in $^{12}C + ^{12}C$ inelastic scattering to the 0^+_{2} , 3^-_{1} , and 4^+_{1} states, Phys. Rev. C 21, 198, 1980.
7. Cosman, E.R., Cormier, T.M., Van Bibber, K., Sperduto, A., Young, G., Erskine, J., Greenwood L.R., Hansen, O., Evidence for a $^{12}C + ^{12}C$ Collective Band in ^{24}Mg , Phys. Rev. Lett 35, 265, 1975.
8. Cosman, E.R., Ledoux, R., Lazzarini, A.J., $^{12}C+^{12}C$ intermediate structures correlated among elastic and reaction channels, Phys. Rev. C 21, 2111, 1980.
9. Stokstad, R.G., Wieland, R.M., Fulmer, C.B., Hensley, D.C., Raman, S., Snell, A.H. and Stelson, P.H., Oak Ridge National Laboratory, Report No. ORNL/TM-5935, 1977.
10. Stokstad, R.G., Wieland, R.M., Satchler, G.R., Fulmer, C.B., Hensley, D.C., Raman, S., Rickertsen, L.D., Snell A.H., Stelson, P.H., Elastic and inelastic scattering of ^{12}C by ^{12}C from $E_{c.m.}=35-63$ MeV, Phys. Rev. C 20, 655, 1979.
11. Morsad, A., Haas, F., Beck, C. and Freeman, R.M., Z. Phys. A 338, 61, 1980.
12. Kolata, J.J., Freeman, R.M., Haas, F., Heusch B., and Gallman, A., Reaction cross sections for $^{12}C+^{12}C$, Phys. Rev. C 21, 579, 1980.
13. Erb K.A., and Bromley, D.A. in Treatise on Heavy-Ion Science, Vol. 3, ed. Bromley, D.A., (Plenum, New York), 1985.

14. Greiner, W., Park, J.Y., Scheid, W., Nuclear Molecules (World-Scientific, Singapore), 1995.
15. Brandan M.E. and Satchler, G.R., The interaction between light heavy-ions and what it tells us, Phys. Rep. 285, 143, 1997.
16. Freer, M., Nicoli, M.P., Singer, S.M., Fulton, B., Watson, D.L., Greenhalgh, B.J. Dillon, G.K., Cowin, R.L., Excitation function measurements for $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ inelastic scattering channels, Phys. Rev. C 66, 034605, 2002 .
17. Marsh, S., Rae, W.D.M., The structure of ^{24}Mg using the cranked cluster model, Phys. Lett. 180B, 185, 1986.
18. Kondo, Y., Abe Y., Matsuse, T., Application of a band crossing model for resonances in high energy $^{12}\text{C}-^{12}\text{C}$ scattering, Phys. Rev. C19, 1356, 1979.
19. Abe, Y., Kondo Y., Matsuse, T., Suppl. Prog. Theor. Phys. 68, 303, 1980.
20. Matsuse, T., Abe, Y., Kondo, Y., Suppl. Prog. Theor. Phys 59, 1904, 1978.
21. Satchler, G.R. , Direct Nuclear Reactions Oxford University Press, Oxford 1983.
22. Morsad, A., Haas, F., Beck, C., Freeman, R.M., Z. Phys.338, 61, 1991.
23. Rowley, N., Doubre, H., Marty, C., Low partial waves in $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ elastic scattering, Phys. Lett. 69B,147, 1997.
24. Brandan, M.E., Rodriguez-Villafuerte M., Ayala, A., $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ elastic scattering analysis above $E/A=6$ MeV using deep real potentials, Phys. Rev. C, 41, 1520, 1990.
25. Brandan, M.E., Hussein, M.S., McVoy K.W. and Satchler, G.R., Comments Nucl. Part. Phys. 22, 77, 1996.
26. McVoy, K.W., Brandan, M.E., The 90° excitation function for elastic $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ scattering : The importance of Airy elephants, Nucl. Phys. A, 542, 295, 1992.
27. Boztosun, I., and Rae, W.D.M., Analysis of the $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ reaction using a new type of coupling potential, Phys. Rev. C 63, 054607, 2001.
28. Boztosun,I. and Rae, W.D.M., Global potential analysis of the $^{16}\text{O}+^{28}\text{Si}$ reaction using a new type of coupling potential, Phys. Rev. C, 65, 024603, 2002.
29. Boztosun, I. and Rae, W.D.M., A new coupling potential for the analysis of deformed light heavy-ion reactions, Phys. Lett. 518B, 229, 2001.
30. Boztosun, I., New results in the analysis of $^{16}\text{O}+^{28}\text{Si}$ elastic scattering by modifying the optical potential, Phys. Rev. C 66, 024610, 2002.

31. Boztosun, I., Mackintosh, R.S., Investigation of the coupling potential by means of S-matrix inversion, *Phys. Rev. C* 66, 064602, 2002.
32. Kondo, Y., Brandan M.E., Satchler, G.R., Shape resonances and deep optical potentials: A mean-field description of $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ scattering at low energies, *Nucl. Phys. A*, 637, 175, 1998.
33. Weisskopf, V. F., 'Three Steps in the Structure of Matter', *Physics Today*, 23, No: 8, 1970.
34. Hodgson, P. E., 'Nuclear Reactions and Nuclear Structure' Clarendon Press, 1971.
35. Burcham, W.E., 'Nuclear Physics an Introduction', 1973.
36. Iceberg, R. M., 'Fundamental of Modern Physics', 1967.
37. Tanimura, O., Wolf R., Mosel, U., Dominant angular momentum of gross structure in inelastic $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}^{(2+)}$ scattering , *Phys. Lett.* 120 B, 275, 1983.
38. Tanimura, O., Wolf, R., Gross structure resonance at 24.3 MeV in $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}^{(2+)}$, *Phys. Lett.* 128 B, 375, 1983.
39. Rae, W. D. M., et al., The gross structure resonance near $E_{\text{cm}}=25$ MeV in $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ scattering, *Phys. Lett.* 198B, 49, 1987.
40. Ledoux, R. J., et al., $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ elastic scattering excitation functions and phase shift analysis, *Phys. Rev. C* 27, 1103, 1983.
41. Imanishi, B., Resonance energies and partial widths of quasimolecular states formed by the two carbon nuclei , *Phys. Lett.* 27 B, 267, 1968.
42. Imanishi, B., Quasimolecular states in the interaction between ^{12}C and ^{12}C nuclei *Nucl. Phys. A* 125 , 33, 1969.
43. Fink, H. J., et al., Nuclear molecular structure in $^{12}\text{C} - ^{12}\text{C}$ scattering, *Nucl. Phys. A* 188 , 259, 1972.
44. Abe, Y., et al., *Prog. Of Theor. Phys.* 59, 1393, 1978.
45. Abe, Y., et al., Private Communication, ICC '99 Croatia, 1999.
46. Stelson, R.H., Grodzins, L., *Nucl. data 1A* , 21, 1966.
47. Ajzenberg-Selove, Energy levels of light nuclei $A = 11-12$, *Nucl. Phys. A*, 248,1, 1975..
48. Cormier, T.M., *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.* 32 ,271, 1982.
49. Ordonez, C. E., et al., *Phys. Lett.* 173 B, 39, 1986 .
50. Fry, P. E., Dphil Thesis, Oxford University, unpublished, 1997.
51. Sakuragi, Y., Invited Paper, ICC '99, Croatia and private communication, 1999.

52. Boztosun, I., Coupled-Channels Calculations for the Scattering of Deformed Light-Ions: A Challenge to the Standard Approach, PhD. Thesis, University of Oxford, Oxford, 2000.
53. Feshbach, H., Theoretical Nuclear Physics: Nuclear Reactions 1992.
54. Sakuragi, Y., Kamimura, M., Phys. Lett. 149B, 307, 1984.
55. Kunz, P.D., CHUCK, a Coupled-Channels code, unpublished.
56. Thompson, I.J., FRESCO, a Coupled-Channels code, unpublished.
57. Thompson, I.J., Computer Physics Reports 7, 167, 1988.

EK - A

REAKSİYON GÖZLENEBİLİRLERİNİN HESAPLANDIĞI FORTRAN PROGRAMLARI

1. Aşağıdaki program, Fresco kodu ile yazılmış olup açısıl dağılım, uyarılma fonksiyonları ve reaksiyon tesir kesitinin hesaplanması için verilerin girildiği input dosyasıdır.

```
USER=ijt PW=
# QSUB-r on2
# QSUB-A hicrc
# QSUB-IT 2400
# QSUB-IM 6000000w
# QSUB
#cd $TMPDIR
ln -s el32.smat fort.7
ln -s el32.xsec fort.16
ln -s el32.wave fort.17
cat > params.$$ << EOF
C PROGRAM FRESCO
PARAMETER (MXP=4, MXX=8, MXPEX=16, MLOC=40, MAXIT=20, MSP=14,
# MAXN=610, MAXNLN=290, MAXNLO=23, LMAX1=607, MAXNNU=24,
# MAXCH=12, MAXB=12, MAXF=200, MFNL=161, MAXQRN=12,
# MAXV=40000, INH = 0, MPAIR=80)
EOF
cat > data.$$ << EOF
12C+12C scattering WS^212C+12C 32.00MeV, no transfer
0.050 20.0 0.50 0.0375 1.000 -0.00
0. 60. -.001 F 0 1 0 0.
0 10. -100. 1.0
0.02 0 0 1 00 24 00
0 0 0 0 2 1 0 0 0 0 0 1
12-C 12.000 6.0 1T C-12 12.000 06.0 0.00
0.0 1 0.0 1 0.0 -1 1 0.0 F F
0
1 0 0 12. 12.0 1.2
1 1 1 280.0 0.780 1.390 0.00 0.000 0.000 0.000 0.000
1 1 0 0.0000 0.0000 0.0000 4.200 1.1000 0.5500 0.0000
0
0
0 1 1
32.0000
EOF
fresco params.$$ < data.$$
\rm params.$$ data.$$
\rm for*.*
```

2. Bu Program bir önceki sayfada verilen Fresco kodu ile yazılmış input dosyasını okuyarak uyarılma fonksiyonlarının hesaplanacağı enerjiye bağlı parametreleri verir.

```

implicit none
INTEGER*4 i,j,no
real*8 ws2,ws2R0,ws2A0
real*8 e,e0,de,energy
real*8 v(2),vr0(2),va(2),w(2),wr0(2),wa(2),p7(2)
integer kp(2),type(2),shape(2)
character*1 it(2)
character*80 text
character*80 textarray(33)
Character*80 text2(2),text3(2)

write(*,*) ' E0, DE '
read(*,*) e0,de
write(*,*) ' no of energies '
read(*,*) no
e=e0
open(unit=1,file='el',status='OLD')
open(unit=10,file='exf',status='UNKNOWN')

```

C This part reads in the compilation statements

```

do i=1,22
if (i.eq.8) then
read(1,33) text
write(10,33) text
else if (i.eq.9) then
read(1,44) text
write(10,44) text
else if (i.eq.10) then
read(1,33) text
write(10,33) text
else if (i.eq.11) then
read(1,44) text
write(10,44) text
else if (i.eq.12) then
read(1,55) text
write(10,55) text
else if (i.eq.22) then
read(1,44) text
write(10,44) text
else
read(1,88)text
write(10,88)text
end if
end do

```

```

33  FORMAT(A17)
44  FORMAT(A3)
55  FORMAT(A22)
66  FORMAT(A21)
22  FORMAT(A8,F8.2,A16)

      do i=1,25
      if (i.eq.1) then
      read(1,66) text2(1)
      else if (i.eq.2) then
      read(1,22) text3(1),energy,text3(2)
      else if (i.eq.13) then
      read(1,99) kp(1),type(1),it(1),shape(1),ws2,ws2r0,ws2a0
      write(*,*) kp(1),type(1),it(1),shape(1),ws2,ws2r0,ws2a0
      else if (i.eq.14) then
      read(1,99) kp(1),type(1),it(1),shape(2),v(1),vr0(1),va(1),w(1)
1      ,wr0(1),wa(1),P7(1)
      write(*,*) kp(1),type(1),it(1),shape(2),v(1),vr0(1),va(1),w(1)
1      ,wr0(1),wa(1),P7(1)
      else if (i.eq.18) then
      read(1,77) energy
      else if (i.eq.19) then
      read(1,44) text2(2)
      else
      read(1,88) textarray(i)
      end if
      end do

      do j=1,no
      do i=1,25
      if (i.eq.1) then
      write(10,66) text2(1)
      else if (i.eq.2) then
      write(10,22) text3(1),e,text3(2)
      else if (i.eq.13) then
      ws2r0=0.80951-0.0011226*e
      ws2a0=1.3482+0.00043225*e
      write(10,99) kp(1),type(1),it(1),shape(1),ws2,ws2r0,ws2a0
      else if (i.eq.14) then
* calculate new wr01
      w(1)=-0.77098+0.15341*e
      write(10,99) kp(1),type(1),it(1),shape(2),v(1),vr0(1),va(1),w(1)
1      ,wr0(1),wa(1),P7(1)
      else if (i.eq.18) then
      write(10,77) e
      else if (i.eq.19) then
      write(10,44) text2(2)
      else
      write(10,88) textarray(i)

```

```
    end if  
  end do  
e=e+de  
end do
```

```
77  FORMAT(F8.4)  
88  FORMAT(A80)  
99  FORMAT(I3,I2,A1,I2,3F8.4,3F8.4,F8.4)  
100 end
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Yasemin KÜÇÜK
Baba Adı : Hayrettin
Anne Adı : Havva
Doğum Yeri : Erzincan
Doğum Yılı : 1976

İlk, orta ve lise öğrenimini Kars ve Çorum' da tamamladı. Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Bölümü'nden 2001 yılında mezun oldu. 2002 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 'nde yüksek lisans programına başladı. Halen Erciyes Üniversitesinde yüksek lisans programına devam etmektedir.

İletişim (e-posta): ylkucuk@yahoo.com