

**20.4 MeV ENERJİLİ POLARİZE
PROTONLARIN ^{64}Zn ÇEKİRDEĞİNDEN
İNELASTİK SAÇILMASININ
ÇİFTLENMİŞ KANAL (CC) ANALİZİ**

HARUN YÜCEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**20.4 MeV ENERJİLİ POLARİZE PROTONLARIN ^{64}Zn ÇEKİRDEĞİNDEN
İNELASTİK SAÇILMASININ ÇİFTLENMİŞ KANAL (CC) ANALİZİ**

HARUN YÜCEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

AKADEMİK DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. MÜŞFİK TAŞAN

SAMSUN - 2012

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu çalışma jürimiz tarafından 09/01/2012 tarihinde yapılan sınav ile Fizik Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Nazmi T. OKUMUŞOĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Müşfik TAŞAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ayşegül AKAR

ONAY :

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

...../...../2012

Prof. Dr. Ümit SERDAR
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

20.4 MeV ENERJİLİ POLARİZE PROTONLARIN ^{64}Zn ÇEKİRDEĞİNDEN İNELASTİK SAÇILMASININ ÇİFTLENMİŞ KANAL (CC) ANALİZİ

ÖZ

Bu tezde, Moonen ve ark. tarafından elde edilen 20.4 MeV enerjili polarize protonların ^{64}Zn çekirdeğinden elastik ve inelastik saçılmalarına ait diferansiyel tesir kesiti ve analiz gücü verilerinin 0^+ , 2^+ , 3^- , 2_2^+ düzeyleri için çiftlenmiş kanal (coupled channel-CC) analizleri yapıldı. Veriler EXFOR veri tabanından temin edildi. Analizde J. Raynal tarafından yazılan ECIS bilgisayar kodu kullanıldı. ^{64}Zn çekirdeği için farklı çiftlenim düzenleri kullanılarak CC potansiyel parametreleri ve $\beta(2^+)$, $\beta(3^-)$, $\beta(2_2^+)$ deformasyon parametreleri belirlendi. En iyi uyumlardan söz konusu deformasyon parametreleri için sırasıyla 0.2208, 0.2077 ve 0.055 değerleri bulundu. Hesaplarda 2_2^+ uyarılmış seviyesinin nükleer durum dalga fonksiyonu bir fonon ve iki fonon durum dalga fonksiyonlarının bir karışımı olarak ele alındı ve deneysel verilerle iyi uyum sağlandı. Deneysel verilere en iyi uyumdan karışım genliği ve açısı 0.055 ve 25^0 olarak belirlendi. Bulguların literatürle uyumlu olduğu saptandı. Ayrıca tez çalışmaları sırasında ECIS kodu ile daha hızlı ve etkili çalışma ortamı sağlayan küçük bir bilgisayar programı geliştirildi.

Anahtar Kelimeler: Çiftlenmiş kanal (CC) analizi, proton- ^{64}Zn elastik ve inelastik saçılması, diferansiyel tesir kesiti, analiz gücü, ^{64}Zn çekirdeğinin uyarılmış seviyeleri, ECIS kodu

**COUPLED-CHANNEL ANALYSIS OF 20.4 MeV ENERGY POLARIZED
PROTON INELASTIC SCATTERING FROM ^{64}Zn**

ABSTRACT

In this thesis, a coupled-channel (CC) analysis of the elastic and the inelastic scattering differential cross sections and analyzing power data of Moonen et. al. for 20.4 MeV polarized protons from a ^{64}Zn target leading to the deformed 2^+ , 3^- , 2_2^+ states was performed. The data were taken from EXFOR. The CC potential parameters and the $\beta(2^+)$, $\beta(3^-)$, $\beta(2_2^+)$ deformation parameters of the excited states corresponding to the best fit to the experimental data were determined. For the latter parameters 0.2208, 0.2077 and 0.055 values were found respectively. For 2_2^+ excited state, a mixed type wave function was used and a fairly good fit to the data was obtained. Best fit mixing amplitude and angle was found to be 0.055 and 25° . The Results were in agreement with the literature. All calculations were conducted using the computer code ECIS06 written by J. Raynal. Also during the thesis work a small computer program providing the work environment more quickly and effectively with ECIS code was developed.

Key Words: Coupled channel (CC) calculation, proton- ^{64}Zn elastic and inelastic scattering, differential cross section, analyzing power, excited levels of ^{64}Zn , ECIS code

TEŞEKKÜR

Bana bu tez konusunu veren, özel kütüphanesinden faydalanmamı sağlayan, çalışmalarım sırasında karşılaştığım bütün güçlüklerin aşılmasında beni yönlendiren, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, değerli fikir ve tecrübeleri ile bana destek sağlayan sayın hocam Müşfik TAŞAN'a en içten duygularla teşekkür ederim. Lisans ve Yüksek Lisans derslerimi aldığım Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyelerine ve bu güne kadar üzerimde emeği olan bütün öğretmenlerime saygı ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmada kullanılan deneysel verileri elde eden Moonen ve arkadaşlarına teşekkürlerimi sunarım. EXFOR aracılığıyla verileri temin ettiğim IAEA Nuclear Data servisine ve hesaplamalarda kullandığım ECIS Bilgisayar Kodunu sağlayan NEA Data Bank'a sağladıkları imkanlardan dolayı teşekkür ederim.

Tezi son haline getirirken benimle paylaştığı zengin bilim tecrübesi ve fikirleriyle bana büyük destek sağlayan Prof. Dr. Nazmi T. OKUMUŞOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Beni yetiştirerek bugünlere gelmemi sağlayan, tez çalışmam sırasında bana olan tükenmez destekleri ve sabırlarından dolayı aileme sonsuz sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Yorum ve değerlendirmeleriyle bana destek sağlayan değerli arkadaşlarım Serdal OKUR ve Erdem ALKIM'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
1 GİRİŞ	1
2 GENEL BİLGİLER	4
2.1 Tesir Kesiti Ve Saçılma Genliği	4
2.2 Optik Model Potansiyeli	9
2.3 Tek Kanal Parçalı Dalga Açılımı	13
2.4 Genelleştirilmiş Optik Potansiyel	16
2.5 Çiftlenmiş Kanal Parçalı Dalga Açılımı	19
3 ECIS BİLGİSAYAR KODU	22
3.1 Raynal'ın İterasyon Metodu	23
3.2 ECIS06 Kodunun Mantıksal Kontrolleri	26
3.3 Örnek Veri Giriş Dosyası Ve Açıklaması	29
3.4 ECIS Kontrol Programı	34
4 BULGULAR VE TARTIŞMA	36
4.1 Hazırlıklar	38
4.2 $(0^+, 2_1^+)$ Düzeni İçin Çiftlenmiş Kanal Parametre Araması	41
4.3 $(0^+, 3_1^-)$ Düzeni İçin Çiftlenmiş Kanal Parametre Araması	45
4.4 $(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ Düzeni İçin Çiftlenmiş Kanal Parametre Araması	49
5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56

KAYNAKÇA	60
Ek A	61
Ek B	78
ÖZGEÇMİŞ	79

ŞEKİL LİSTESİ

2.1	Reaksiyon geometrisi	4
2.2	$^{64}\text{Zn}(p,p')^{64}\text{Zn}$ reaksiyonu için $E_p = 26.0$ MeV ve $\theta = 25^0$ 'de ki spektrum (Johnson and Jones, 1968)	5
2.3	Saçılma problemine kuantum mekaniksel yaklaşım	6
2.4	Saçılma bölgesinde gelen ve giden dalgalar. Burada S_l çarpanı saçılan dalganın genliğini değiştiren S matris elemanıdır	7
2.5	Yarıçap tanımları	10
2.6	Woods-Saxon şekil çarpanının yarıçapa göre grafiği	11
2.7	Woods-Saxon şekil çarpanının türevi ve Gaussian grafiği	11
2.8	Thomas şekil çarpanının grafiği	12
2.9	Açısal momentum toplamı	14
2.10	^{64}Zn çekirdeğinin ilk birkaç uyarılmış seviyeleri (Moonen ve ark., 1993) .	18
2.11	Açısal momentum toplamı	19
3.1	ECIS kontrol programının çalışma diyagramı	34
4.1	Arama sonucunda $(0^+, 2_1^+)$ düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan taban durumu tesir kesitinin, Rutherford tesir kesitine oranı ile deneysel verilerin grafiği. (a1), (b1), (c1), (d1) sütun harfleri Çizelge 4.5'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.	43
4.2	Arama sonucunda $(0^+, 2_1^+)$ düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan taban durumu analiz gücü ile deneysel verilerin grafiği. (a1), (b1), (c1), (d1) sütun harfleri Çizelge 4.5'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.	43
4.3	Arama sonucunda $(0^+, 2_1^+)$ düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan 0.992 MeV (2^+) uyarılmış durum tesir kesiti ile deneysel verilerin grafiği. (a1), (b1), (c1), (d1) sütun harfleri Çizelge 4.5'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.	44
4.4	Arama sonucunda $(0^+, 2_1^+)$ düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan 0.992 MeV (2^+) uyarılmış durum analiz gücü ile deneysel verilerin grafiği. (a1), (b1), (c1), (d1) sütun harfleri Çizelge 4.5'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.	44

4.5	Arama sonucunda $(0^+, 3_1^-)$ düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan taban durumu tesir kesitinin, Rutherford tesir kesitine oranı ile deneysel verilerin grafiği. (a2), (b2), (c2), (d2) sütun harfleri Çizelge 4.7'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.	47
4.6	Arama sonucunda $(0^+, 3_1^-)$ düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan taban durumu analiz gücü ile deneysel verilerin grafiği. (a2), (b2), (c2), (d2) sütun harfleri Çizelge 4.7'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.	47
4.7	Arama sonucunda $(0^+, 3_1^-)$ düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan 2.999 MeV (3^-) uyarılmış durum tesir kesiti ile deneysel verilerin grafiği. (a2), (b2), (c2), (d2) sütun harfleri Çizelge 4.7'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.	48
4.8	Arama sonucunda $(0^+, 3_1^-)$ düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan 2.999 MeV (3^-) uyarılmış durum analiz gücü ile deneysel verilerin grafiği. (a2), (b2), (c2), (d2) sütun harfleri Çizelge 4.7'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.	48
4.9	Arama sonucunda $(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan taban durumu tesir kesitinin, Rutherford tesir kesitine oranı ile deneysel verilerin grafiği. (a3), (b3), (c3), (d3) sütun harfleri Çizelge 4.11'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.	53
4.10	Arama sonucunda $(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan taban durumu analiz gücü ile deneysel verilerin grafiği. (a3), (b3), (c3), (d3) sütun harfleri Çizelge 4.11'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.	53
4.11	Arama sonucunda $(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan 0.992 (2^+) MeV uyarılmış durum tesir kesiti ile deneysel verilerin grafiği. (a3), (b3), (c3), (d3) sütun harfleri Çizelge 4.11'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.	54
4.12	Arama sonucunda $(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan 0.992 MeV (2^+) uyarılmış durum analiz gücü ile deneysel verilerin grafiği. (a3), (b3), (c3), (d3) sütun harfleri Çizelge 4.11'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.	54

- 4.13 Arama sonucunda $(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan 1.779 MeV (2_2^+) uyarılmış durum tesir kesiti ile deneysel verilerin grafiği. (a3), (b3), (c3), (d3) sütun harfleri Çizelge 4.11'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir. 55
- 4.14 Arama sonucunda $(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan 1.779 MeV (2_2^+) uyarılmış durum analiz gücü ile deneysel verilerin grafiği. (a3), (b3), (c3), (d3) sütun harfleri Çizelge 4.11'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir. 55

ÇİZELGE LİSTESİ

2.1	Çiftlenmiş kanallara örnek	21
4.1	Bu çalışmada kullanılan 20.4 MeV enerjili polarize protonların ^{64}Zn çekirdeğinden saçılmasına ait nükleer durum spinleri ve pariteleri, uyarılmış seviye enerjileri ve durumlara ait veri sayıları (Moonen ve ark., 1993) (http://www-nds.iaea.org/ 06.09.2010 EXFOR (Schwerer, 2008) veri tabanından alınmıştır)	36
4.2	Bu çalışmada kullanılan düzenler ve bu düzenler için çözülen çiftlenmiş denklem sayıları	36
4.3	Bu çalışmada yapılan parametre aramalarının gösterimi. Her sütunda bir başlangıç parametre seti ve farklı düzenler için söz konusu parametre seti ile elde edilen sonuçlar yer almaktadır.	37
4.4	Başlangıç parametreleri. Coulomb parametreleri $r_c = 1.25$ (fm), $a_c = 0.60$ (fm) olarak alınmıştır. (a), (b), (c), (d) sütun harfleri Çizelge 4.3'de ki tanıma karşılık gelmektedir.	38
4.5	$(0^+, 2_1^+)$ düzeni bir fonon durumu için arama sonunda elde edilen parametreler. (a1), (b1), (c1), (d1) sütun harfleri Çizelge 4.3'de ki tanıma karşılık gelmektedir.	41
4.6	$(0^+, 2_1^+)$ düzeni için diferansiyel tesir kesiti ve analiz gücü $\chi^2/(N)$ değerleri, tablodaki sütun harfleri Çizelge 4.5'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.	42
4.7	$(0^+, 3_1^-)$ düzeni bir fonon durumu için yapılan arama sonunda elde edilen parametreler. (a2), (b2), (c2), (d2) sütun harfleri Çizelge 4.3'de ki tanıma karşılık gelmektedir.	45
4.8	$(0^+, 3_1^-)$ düzeni için diferansiyel tesir kesiti ve analiz gücü $\chi^2/(N)$ değerleri, tablodaki sütun harfleri Çizelge 4.7'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.	46
4.9	Farklı karışım açıları için bulunan parametreler ile yapılan hesaplamaların $\chi^2/(N)$ değerleri. (a), (b), (c), (d) harfleri Çizelge 4.4'deki başlangıç parametrelerine karşılık gelmektedir.	49

- 4.10 Arama sonucunda bulunan β değerleri. (a), (b), (c), (d) harfleri izelge 4.4.'deki başlangıç parametrelerine ve izelge 4.4'daki satır harflerine karşılık gelmektedir. 50
- 4.11 $(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ dzeneni karışık tip için yapılan arama sonunda elde edilen parametreler. (a3), (b3), (c3), (d3) sütün harfleri izelge 4.4'de ki tanıma karşılık gelmektedir. 52
- 4.12 $(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ dzeneni karışık tip için diferansiyel tesir kesiti ve analiz gucu $\chi^2/(N)$ değerleri, tablodaki sütün harfleri izelge izelge 4.11'deki sütün harflerine karşılık gelmektedir. 52

1. GİRİŞ

Nükleer Fizikğin temel amacı, atom çekirdeğini oluşturan nükleonlar arasındaki nükleer kuvvetin anlaşılması ve nükleer yapının incelenmesidir. Bu amaçla atomlar, moleküller veya elementer parçacıkların yapısını öğrenmede kullanılan ve “saçılma” olarak adlandırılan deneysel yöntem ilk sırada gelmektedir.

Nükleer Fizikteki saçılma deneylerinde, duran veya belli bir enerjide hareket eden bir hedef parçacık üzerine, belli bir enerjiye sahip diğer bir parçacık gönderilir ve çarpışma sonrası saçılan parçacıkların yönü ve enerjisi gözlenir. Gelen parçacık (mermi) ile hedef arasındaki etkileşme potansiyeli, saçılan parçacıkların açısal dağılımını ve enerjilerini etkileyen başlıca faktördür. Saçılma deneylerinde, etkileşme potansiyelinin, saçılma sonrasında çıkan parçacıkların enerjisini ve açısal dağılımlarını nasıl etkilediği araştırılır (Taşan, 2001).

Saçılma olayının incelenmesi genellikle optik model (OM), tedirgin edilmiş dalga Born yaklaşımı (DWBA) ve çiftlenmiş kanal (CC) metotlarıyla yapılmaktadır. Saçılma olayını yarı saydam bir küreden ışığın saçılmasına benzeten optik model, elastik saçılmayı açıklamada çok başarılı bir modeldir (Hodgson, 1971). İnelastik saçılmaya, zamana bağlı pertürbasyon teorisi kapsamında yaklaşan tedirgin edilmiş dalga Born yaklaşımı ise deneysel verilerin çoğunu iyi bir şekilde tanımlamaktadır. Eğer ilgilenilen inelastik kanal kuvvetli uyarılmış bir durum ise Born yaklaşımı kötü bir yaklaşım olabilir ve Born yaklaşımına alternatif olarak çiftlenmiş kanal metodu kullanılabilir (Tamura, 1965). Çiftlenmiş kanal hesabı, saçılmanın parçalı dalga yaklaşımı ile elde edilen çiftlenmiş denklem setlerinin çözümüne dayanır.

Nükleon-çekirdek saçılma çalışmalarında önemli konulardan biri de saçılma potansiyeli olarak alınan fenomenolojik optik model potansiyelin parametrelerinin belirlenmesi ve uyarılmış seviyeler için deformasyon parametrelerinin elde edilmesidir. Fenomenolojik yaklaşımda, potansiyelin parametreleri deneysel verilere uydurularak elde edilir.

Bu amaç doğrultusunda ^{64}Zn çekirdeği için yapılan ilk çalışmalardan biri, Calderbank ve ark. tarafından yapılan çalışmadır. Calderbank ve ark. tarafından 50 MeV enerjili protonların $^{64,66,68,70}\text{Zn}$ çekirdeklerinden saçılmasının tesir kesiti açısal dağılım ölçümleri ve basit optik model analizleri yapıldı (Calderbank ve ark., 1967). Lewis ve ark. tarafından da 50 MeV enerjili protonların $^{64,66,68,70}\text{Zn}$ ve ^{114}Cd çekirdeklerinden saçılmasının

optik model ve 2^+ ve 3^- uyarılmış seviyelerinin kuvvetli çiftlenim analizleri yapıldı ve bu seviyeler için deformasyon parametreleri elde edildi (Lewis ve ark., 1968).

Johnson ve Jones tarafından 26 MeV enerjili protonların ^{64}Zn çekirdeğinden saçılmasının tesir kesiti açısız dağılım ölçümleri yapıldı. Bu çalışmalarında optik model analizi ve elde ettikleri 22 gözlenebilir seviyenin 9'u için kolektif model şekil çarpanı (f) kullanarak tedirgin edilmiş dalga hesaplamaları yapıldı. Bu sayede uyarılmış durumlar için l değerlerini ve deformasyon parametrelerini rapor edildi (Johnson and Jones, 1968). Ayrıca Johnson ve Jones tarafından $^{64}\text{Zn}(p, d)^{63}\text{Zn}$ reaksiyonu için de tesir kesiti ölçümleri yapıldı.

Tait ve ark. tarafından 30.5 MeV enerjili polarize protonların $^{64,66,68,70}\text{Zn}$ çekirdeklerinden saçılmasının tesir kesiti ve polarizasyon açısız dağılım ölçümleri yapıldı. Basit optik model analizleri ve 2^+ ve 3^- uyarılmış seviyeler için DWBA analizleri yapıldı. Bu seviyeler için deformasyon parametreleri rapor edildi (Tait ve ark., 1971; Tait and Edwards, 1973).

Jabbour ve ark. tarafından 22 MeV enerjili protonların $^{64,66,68,70}\text{Zn}$ çekirdeklerinden saçılmasının tesir kesiti açısız dağılım ölçümleri yapıldı. Jabbour ve ark. tarafından yapılan analizlerde 2^+ ve 3^- uyarılmış seviyelerin yanı sıra 2_2^+ , 0_2^+ , 4_1^+ uyarılmış seviyeler için de hesaplamalar yapıldı. Yaptıkları çalışmada bir çok farklı modelde (asimetrik dönme, birinci mertebeye titreşim, ikinci mertebeye titreşim, anharmonik titreşim) CC hesabı ve 2^+ ve 3^- uyarılmış seviyeler için DWBA hesabı yapıldı ve bir çok farklı deformasyon parametresi ile ek parametreler rapor edildi. Jabbour ve ark.'nın analizinde tüm CC hesaplamaları optik model parametreleri ile yapıldı ve ayrı olarak CC parametre aramaları yapılmadı (Jabbour ve ark., 1987a,b). 2_2^+ , 0_2^+ , 4_1^+ uyarılmış seviyeler için yaptıkları karışık tip CC hesaplamaları bu tezde 2_2^+ 'nin nükleer durum fonksiyonu araştırmalarında kullanıldı.

Son olarak da Moonen ve ark. tarafından 20.4 MeV enerjili polarize protonların $^{64,66,68,70}\text{Zn}$ çekirdeklerinden saçılmasının tesir kesiti ve analiz gücü açısız dağılım ölçümleri ve optik model analizi ile DWBA analizi yapıldı. 2^+ ve 3^- uyarılmış durumları için deformasyon parametreleri rapor edildi. $^{64,68}\text{Zn}$ çekirdeklerinin 2_2^+ , 0_2^+ , 4_1^+ uyarılmış seviyeleri için optik model parametreleri ile CC hesabı ECIS79 (Raynal, 1994) kodu kullanılarak yapıldı fakat herhangi bir parametre rapor edilmedi. $^{64,66,68}\text{Zn}$ çekirdeklerinin 4_1^+ uyarılmış seviye tesir kesitlerinin kütle numarasına göre farklılık gösterdiği ve bu farklılığın ya nükleer yapıdaki bir farklılıktan yada bir rezonanstan olabileceği rapor

edildi (Moonen ve ark., 1993).

Görüldüğü gibi ^{64}Zn için yapılan önceki çalışmalarda deneysel verilerin toplanmasının ardından optik model analizlerinin yapıldığı ve 2^+ ve 3^- uyarılmış durumları için DWBA hesaplamalarının yapıldığı görülür. Uyarılmış seviyelerin deformasyon parametrelerinin genellikle DWBA hesaplaması kullanılarak elde edildiği ve CC hesaplamalarının optik model parametreleri ile yapıldığı görülür. Elde edilen bu deneysel veriler kullanılarak ^{64}Zn için CC parametreleri de belirlenebilir ve uyarılmış seviyelerin deformasyon parametreleri CC hesabıyla elde edilebilir. Bu sebeple bu tez ^{64}Zn için CC potansiyel parametrelerinin ve uyarılmış seviyeler için deformasyon parametrelerinin elde edilmesine odaklanır.

Bu tezde, Moonen ve ark. (Moonen ve ark., 1993) tarafından elde edilen 20.4 MeV enerjili polarize olmuş protonların ^{64}Zn çekirdeğinden saçılmasına ait diferansiyel tesir kesiti ve analiz gücü verilerinin çiftlenmiş kanal analiziyle potansiyel parametreleri ve uyarılmış seviyeler için deformasyon parametreleri elde edildi. Parametre aramalarında daha önce elde edilen optik model parametreleri başlangıç parametreleri olarak kullanıldı. Ayrıca bu çalışmada 2_2^+ 'nin nükleer durum fonksiyonu üzerine de araştırmalar yapıldı. 2_2^+ uyarılmış seviyesi için bir karışık tip kullanıldı. Hesaplamalarda bilim dünyasında geçerliliğini kanıtlamış ECIS bilgisayar kodunun 2006 versiyonu kullanıldı

Bu tezin 2. bölümünde çiftlenmiş kanal hesaplamaları için genel bilgiler verilmektedir. 3. bölümde ise hesaplamada kullanılan ECIS06 kodu ile ilgili veri giriş ve çıkış dosyaları hakkında bilgiler sunulmuştur. 4. bölümde ^{64}Zn çekirdeği için yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen potansiyel parametreleri ve deformasyon parametreleri verilmektedir. Ayrıca bu bölümde, elde edilen parametreler eski çalışmalarda elde edilenler ile karşılaştırılmakta ve tartışmalar yapılmaktadır. 5. bölümde, elde edilen sonuçlar sunulmakta ve öneriler yapılmaktadır.

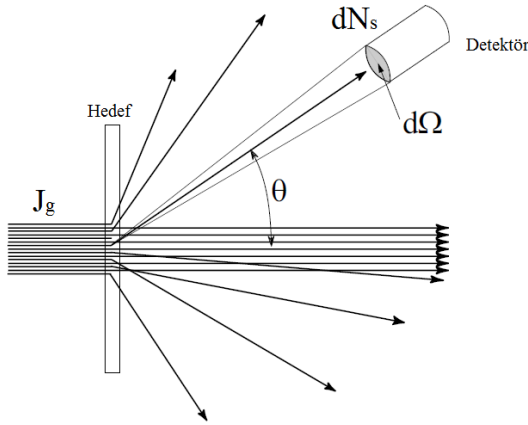
2. GENEL BİLGİLER

Bir nükleer reaksiyon bir nükleon ya da çekirdek diğer bir nükleon ya da çekirdekle çarpıştığı zaman oluşur. Reaksiyonlar çekirdeğe gelen nükleon ve çıkan reaksiyon ürünleri tarafından karakterize edilir. Bunun için yaygın kullanılan notasyon, ^{64}Zn 'den protonların elastik saçılması için $^{64}\text{Zn}(p,p)^{64}\text{Zn}$ şeklinde ve ^{64}Zn den protonların inelastik saçılması için $^{64}\text{Zn}(p,p')^{64}\text{Zn}$ şeklindedir (Carlson, 2001).

Bir nükleer reaksiyonun tam tanımı reaksiyona giren ve çıkan parçacıkların gözlenebilir niceliklerine dayanır. Bunlar, gelen ve giden parçacıkların enerjileri, giden parçacığın saçılma açısı, polarizasyonlar ve uyarılmış seviye enerjileridir.

Nükleer reaksiyonlar hakkında daha ayrıntılı bilgiler “*Direct Nuclear Reactions*” (Glendenning, 2004)’de, Kürkçüoğlu (Kürkçüoğlu, 2006) ve Koçak’ın (Koçak, 2005) tezlerinde bulunabilir.

2.1 Tesir Kesiti Ve Saçılma Genliği



Şekil 2.1: Reaksiyon geometrisi

Kaba bir deyimle, tesir kesiti, reaksiyon oluşumunun bağlı olasılığının bir ölçüsüdür (Krane, 2002). Eğer demet doğrultusuna göre (θ, ϕ) doğrultusunda yayınlanan parçacıkları kaydetmek için bir detektör yerleştirirsek, detektör hedef çekirdekte küçük bir $d\Omega$ katı açısı tanımlar. Bu durum Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Gelen parçacıkların akısı yani birim zamanda birim alandan geçen parçacıkların sayısı J_g ve detektör üzerine birim zamanda

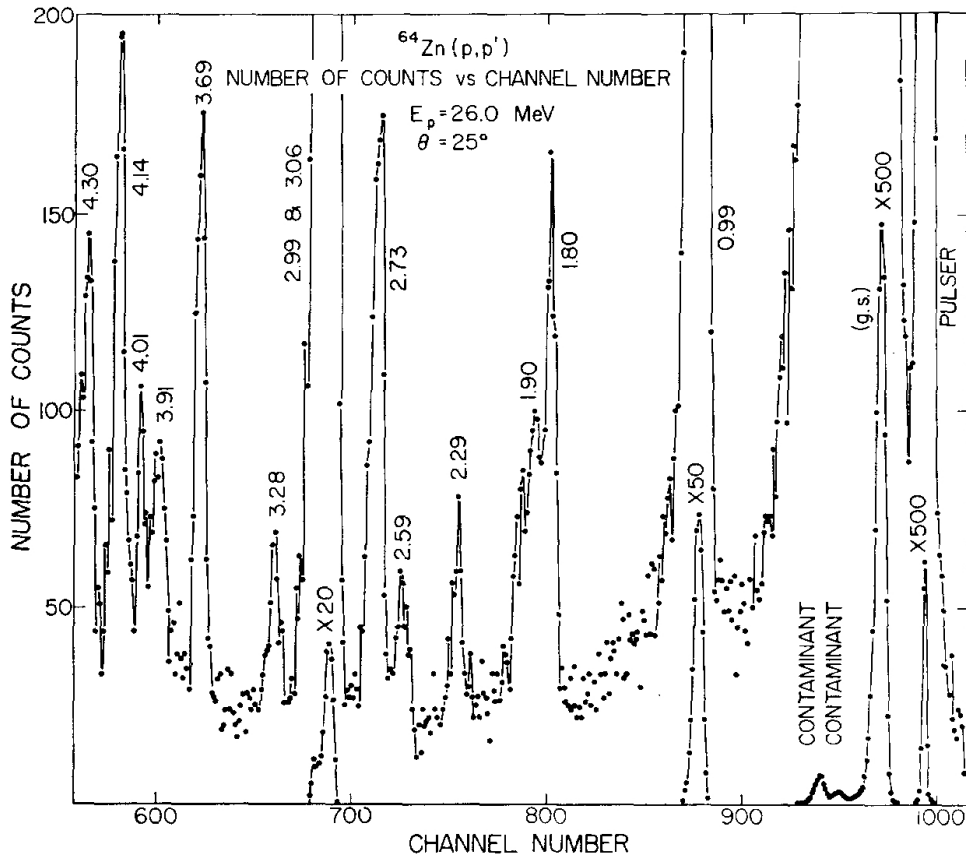
düşen parçacıkların sayısı dN_s olsun. O zaman $dN_s \propto J_g d\Omega$ yazabiliriz. İşte gelen parçacıkların sayısını saçılan parçacıkların sayısına eşitleyen bu orantı katsayısına *diferansiyel tesir kesiti* denir ve,

$$dN_s = \frac{d\sigma}{d\Omega} J_g d\Omega \quad (2.1)$$

olarak tanımlanır. Toplam saçılma tesir kesiti ise,

$$\sigma = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.2)$$

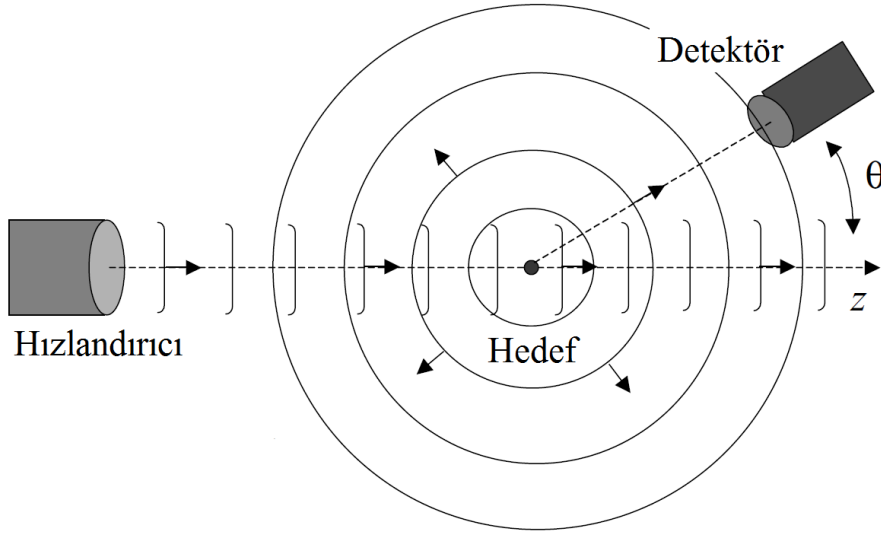
şeklinde ve saçılan toplam parçacıkların sayısı N_s ve gelen parçacıkların akısı arasında sabit bir orantı katsayısıdır, yani $N_s = \sigma J_g$ 'dir. Tesir kesiti alan boyutundadır ve birimi *barn*'dır.



Şekil 2.2: $^{64}\text{Zn}(p,p')^{64}\text{Zn}$ reaksiyonu için $E_p = 26.0$ MeV ve $\theta = 25^\circ$ 'de ki spektrum (Johnson and Jones, 1968)

Şekil 2.2'de $^{64}\text{Zn}(p,p')^{64}\text{Zn}$ reaksiyonu için tipik bir spektrum gösterilmektedir (Johnson and Jones, 1968). Spektrum farklı enerjilerde gelen protonların sayılarını göstermektedir. Şekilde (g.s.) ile işaretlenmiş pik taban durumundan saçılan protonların sayısını göstermektedir. Bu durumda, gelen protonlar enerji kaybetmezler. Taban durumundan olan

saçılmaya elastik saçılma denir. Hedef ile etkileşen bazı protonlar enerjilerinin bir kısmını hedef çekirdeğe aktararak uyarılmasına neden olurlar. Enerji kaybetmiş bu protonlar detektörce farklı kanallarda sayılırlar. Hedef çekirdeği uyararak gerçekleşen bu tür saçılmalara inelastik saçılma denir. Şekil 2.2'deki spektrumda ^{64}Zn çekirdeğinin 0.992 MeV, 1.80 MeV ve 2.99 MeV enerjilerdeki uyarılmış seviyelere ait pikler açıkça görülebilmektedir. Proton sayımlarının belli kanallarda pikler yapmış olması ^{64}Zn çekirdeğinin yapısının bir özelliğidir.



Şekil 2.3: Saçılma problemine kuantum mekaniksel yaklaşım

Şekil 2.3'de saçılmanın kuantum mekaniksel yaklaşımı gösterilmiştir. Kuantum mekaniksel olarak z yönünde gelen momentumu $p = \hbar k$ olan parçacıklar e^{ikz} düzlem dalgasıyla temsil edilir. Giden parçacıklar ise küresel dalgalarla temsil edilir. Toplam dalga fonksiyonu saçılma bölgesinden uzakta yani potansiyelin sıfır olduğu yerde Denklem (2.3)'deki gibi gelen dalga ile giden dalganın toplamı şeklinde daima yazılabilir. Denklem (2.3)'de $1/r$ faktörü dalganın yayıldıkça genliğinin azalacağını gösterir. Buradaki $f(\theta)$ ifadesine saçılma genliği denir.

$$\Psi(\vec{r}) \approx e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}} + f(\theta) \frac{e^{ikr}}{r}, \quad k^2 = 2\mu E_{km}/\hbar^2 \quad (2.3)$$

Bu durumda diferansiyel tesir kesitinin Denklem (2.4)'deki gibi ifade edilebileceği çeşitli kaynaklarda gösterilmektedir (Krane, 2002; Taşan, 2001; Karaoğlu, 1997).

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = |f(\theta)|^2 \quad (2.4)$$

Nükleer reaksiyonların incelenmesinde gelen düzlem dalganın küresel dalgalar cinsinden ifade edilmesi işlemlerde kolaylık sağlar. Bu ifade Denklem (2.5)'de verilmiştir ve parçalı dalga açılımı, bazen de Rayleigh açılımı olarak adlandırılır. Burada $z = r \cos \theta$ bağıntısı kullanılmıştır.

$$e^{ikr \cos \theta} = \sum_l i^l (2l + 1) J_l(kr) P_l(\cos \theta) \quad (2.5)$$

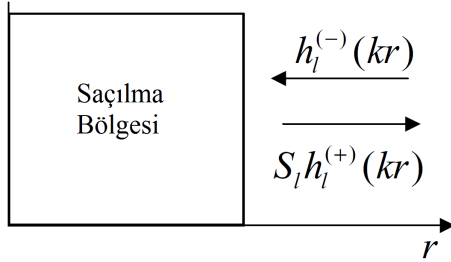
$J_l(kr)$ ifadesi küresel Bessel fonksiyonlarıdır. Bu fonksiyonlar radyal Schrödinger denkleminin potansiyelin sıfır olduğu uzak bölgelerdeki çözümleridir. Küresel Bessel fonksiyonları, küresel Hankel¹ fonksiyonları cinsinden (Carlson, 2001),

$$J_l(kr) = \frac{i}{2} (h_l^-(kr) - h_l^+(kr)) \quad (2.6)$$

şeklinde yazılabilir. Hankel fonksiyonlarının asimptotik davranışı

$$h_l^\pm(kr) \xrightarrow{r \rightarrow \infty} (\mp i)^l \frac{e^{\pm ikr}}{kr} \quad (2.7)$$

şeklinde dir.



Şekil 2.4: Saçılma bölgesinde gelen ve giden dalgalar. Burada S_l çarpanı saçılan dalganın genliğini değiştiren S matris elemanıdır

Toplam dalga fonksiyonu,

$$\Psi(r, \theta) = \sum_{l=0}^{\infty} (2l + 1) i^l \psi_l(r) P_l(\cos \theta) \quad (2.8)$$

şeklinde ifade edildiği durumda radyal Schrödinger denklemini,

$$\left(\frac{d^2}{dr^2} + k^2 - \frac{2\mu}{\hbar^2} U(r) - \frac{l(l+1)}{r^2} \right) (r\psi_l(r)) = 0 \quad (2.9)$$

şeklinde dir. Burada $\psi_l(r)$ fonksiyonları asimptotik olarak, Şekil 2.4'deki gibi,

$$\psi_l(r) \rightarrow \frac{i}{2} (h_l^-(kr) - S_l h_l^+(kr)) \quad (2.10)$$

¹Hankel fonksiyonları ile ilgili ayrıntılı bilgiler ve referanslar için: http://en.wikipedia.org/wiki/Bessel_function, 05.03.2011

şeklinde gelen ve giden dalgaların toplamı olarak tanımlanabilir. $h_l^- (kr)$ ifadesi Denklem (2.6) kullanılarak küresel Bessel fonksiyonları cinsinden yazılırsa,

$$\psi_l (r) \rightarrow J_l (kr) + \frac{S_l - 1}{2i} h_l^+ (kr) \quad (2.11)$$

elde edilir. Bu durumda toplam dalga fonksiyonu,

$$\Psi (r, \theta) \rightarrow \sum_{l=0}^{\infty} (2l + 1) i^l \left(J_l (kr) + \frac{S_l - 1}{2i} h_l^+ (kr) \right) P_l (\cos\theta) \quad (2.12)$$

olur. Toplam dalga fonksiyonunda parantez içi açılırsa,

$$\begin{aligned} \Psi (r, \theta) \rightarrow \sum_{l=0}^{\infty} (2l + 1) i^l J_l (kr) P_l (\cos\theta) \\ + \frac{1}{2ik} \sum_{l=0}^{\infty} (2l + 1) i^l (S_l - 1) P_l (\cos\theta) \frac{e^{ikr}}{r} \end{aligned} \quad (2.13)$$

elde edilir. Bu, Denklem (2.3) formuna benzerdir ve buradan saçılma genliği,

$$f (\theta) = \frac{1}{2ik} \sum_{l=0}^{\infty} (2l + 1) (S_l - 1) P_l (\cos\theta) \quad (2.14)$$

olarak elde edilir. Diferansiyel tesir kesiti ifadesi Denklem (2.4)'den,

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{4k^2} \left| \sum_{l=0}^{\infty} (2l + 1) (S_l - 1) P_l (\cos\theta) \right|^2 \quad (2.15)$$

şeklinindedir. Görüldüğü gibi diferansiyel tesir kesiti S_l matris elemanına bağlıdır. S matris elemanları sistemin saçılmasını etkileyen tüm faktörleri içinde barındırır. Ayrıca S_l ifadesi $S_l = e^{i2\delta_l}$ eşitliği ile faz kayması cinsinden de yazılabilir. Burada δ_l l'inci kısmi dalganın faz kaymasıdır. Schrödinger denklemi, uygun bir potansiyel seçilerek sınır şartlarında çözüldüğünde S matris elemanları elde edilir ve Denklem (2.15) ile diferansiyel tesir kesiti hesaplanır. Diferansiyel tesir kesiti Denklem (2.2)'de yerine yazıldığında ve integral alındığında toplam tesir kesiti elde edilebilir. Bu Denklem (2.16)'deki gibidir.

$$\sigma_{el} = \frac{\pi}{k^2} \sum_{l=0}^{\infty} (2l + 1) |S_l - 1|^2 \quad (2.16)$$

Saçılma genliği ifadesinde sadece elastik saçılma göz önünde bulundurulduğundan Denklem (2.16)'daki tesir kesiti toplam elastik tesir kesiti olarak tanımlanmıştır. Elastik saçılma dışında başka etkileşimler de varsa bunların tümü akı kaybına yol açar (Krane, 2002). Yukarıdakine benzer bir hesaplama ile kaybolan akıya karşılık gelen,

$$\sigma_r = \frac{\pi}{k^2} \sum_{l=0}^{\infty} (2l + 1) (1 - |S_l|^2) \quad (2.17)$$

toplam soğurma tesir kesiti elde edilir. Denklem (2.17)'deki ifade reaksiyon tesir kesiti olarak da isimlendirilir. Elastik ve soğurma tesir kesitlerinin toplamı,

$$\sigma_{top} = \sigma_{el} + \sigma_r = \frac{\pi}{k^2} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) (1 - \text{Re}S_l) \quad (2.18)$$

ile verilir. Bu sonuçlarla şu yorum yapılabilir. Diğer süreçlerin olmaması halinde, yalnız elastik saçılma mümkündür. Yani $|S_l| = 1$ 'dir. Bu durumda Denklem (2.17) sıfır verir. Bununla birlikte elastik saçılma olmaksızın reaksiyon olması da mümkün değildir. Yani $\sigma_r = 0$ yapan herhangi bir S_l değeri bu kısmi dalga için $\sigma_{el} \neq 0$ verir. Bunu saçılmanın kırınım modeli ile anlayabiliriz (Krane, 2002). Saçılma genliği ile toplam tesir kesiti arasında,

$$\sigma_{top} = \frac{4\pi}{k} \text{Im}f(\theta = 0) \quad (2.19)$$

bağıntısı vardır. Bu ilişki optik teorem olarak bilinir (Carlson, 2001; Kürkçüoğlu, 2006).

2.2 Optik Model Potansiyeli

Optik potansiyel (Hodgson, 1971, 1967) iki forma sahiptir. Birincisi mikroskobik optik model potansiyelidir. Bu potansiyel,

$$V_{omp} = \langle \phi_0^A | V | \phi_0^A \rangle + \sum_{i,j \neq 0} \langle \phi_0^A | V | \phi_i^A \rangle \frac{1}{E - QHQ} |\phi_j^A\rangle \langle \phi_j^A | V | \phi_0^A \rangle \quad (2.20)$$

şeklinindedir. Bu potansiyelin çıkarılışı çeşitli kaynaklarda bulunabilir (Carlson, 2001; Taşan, 2001). Bu denklem ile potansiyelin direkt olarak hesaplanması önerilebilir. Gerçekte, bu yönde çalışmalar yapılmasına rağmen, potansiyeli hesaplamak zordur ve hala yeteri kadar açık değildir (Carlson, 2001). İkinci optik potansiyel ise düşük enerjilerde yaygın olarak kullanılan standart optik model potansiyelidir.

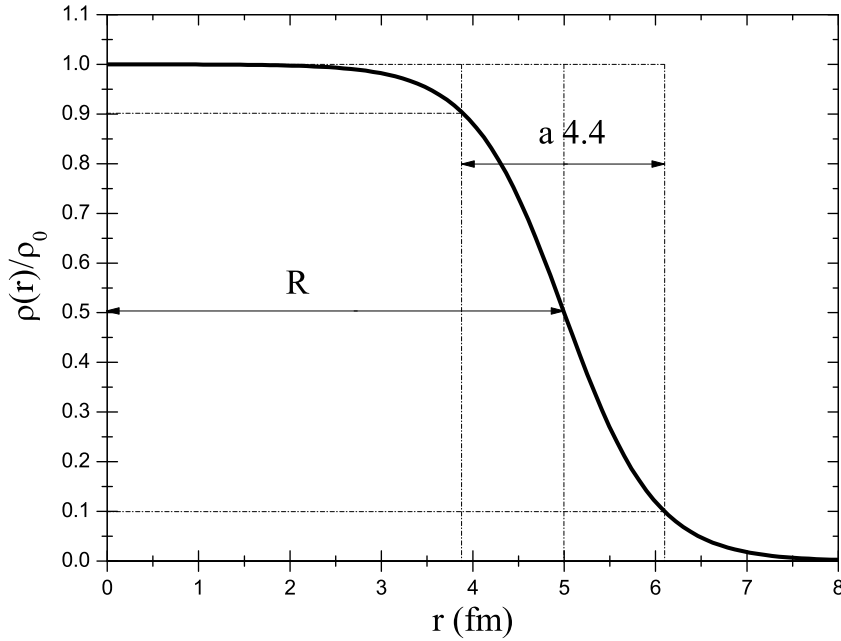
$$\begin{aligned} U_{opt}(r) = & +V_c && \text{Coulomb potansiyeli} \\ & -V_v f_v(r, a_v, r_v) && \text{Reel hacim potansiyeli} \\ & -iW_v f_w(r, a_w, r_w) && \text{Sanal hacim potansiyeli} \\ & +V_s g_v(r, a_v, r_v) && \text{Reel yüzey potansiyel} \\ & -iW_s g_w(r, a_w, r_w) && \text{Sanal yüzey potansiyel} \\ & -d_{so} \vec{l} \cdot \vec{s} V_{so} h_{v_{so}}(r, a_{v_{so}}, r_{v_{so}}) && \text{Reel spin-yörünge potansiyeli} \\ & +id_{so} \vec{l} \cdot \vec{s} W_{so} h_{w_{so}}(r, a_{w_{so}}, r_{w_{so}}) && \text{Sanal spin-yörünge potansiyeli} \end{aligned} \quad (2.21)$$

Burada $d_{so} = (\hbar/m_\pi c)^2 \approx 2fm^2$ ve m_π pionun durgun kütesidir. Coulomb terimi $R_c = 1,25A^{1/3}$ yarı çaplı düzgün yüklü küreden hesaplanır. Burada Z_p gelen parçacığın yükü

ve Z_T ise hedefin yüküdür. r nükleonla çekirdeğin kütle merkezleri arasındaki uzaklıktır.

$$V_c = \begin{cases} \frac{Z_p Z_T e^2}{2R_c} \left(3 - \left(\frac{r}{R_c}\right)^2\right) & r < R_c \\ \frac{Z_p Z_T e^2}{r} & r > R_c \end{cases} \quad (2.22)$$

Reel hacim potansiyelinde, V_v ayarlanabilir parametredir. Bu potansiyel gelen parçacıkla çekirdek arasındaki ortalama etkileşmeyi temsil eder. Sanal hacim potansiyelinde, W_v ayarlanabilir parametredir. Sanal hacim potansiyeli soğrulma nedeniyle akı kaybını hesaba katar. Reel ve sanal hacim potansiyellerdeki $f_v(r)$ ve $f_w(r)$ ifadeleri Woods-Saxon şekil çarpanıdır (Woods and Saxon, 1954)

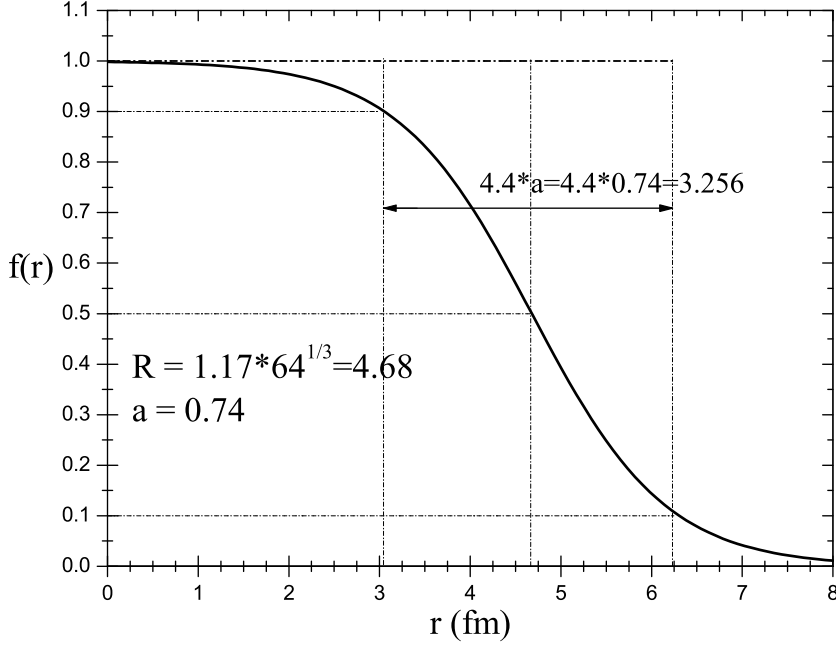


Şekil 2.5: Yarıçap tanımları

Denklem (2.23)'de, R_i çekirdek potansiyel şekil çarpanının $r = 0$ daki değerinin %50'sine düştüğü, yarıçap, a_i ise, potansiyel şekil çarpanının maksimum değerinin %90'ından %10'una düştüğü noktalar arasındaki uzaklığın 4.4'e bölümünden elde edilen, yaygınlık parametresidir. Bu tanımlar Şekil 2.5 'de gösterilmektedir.

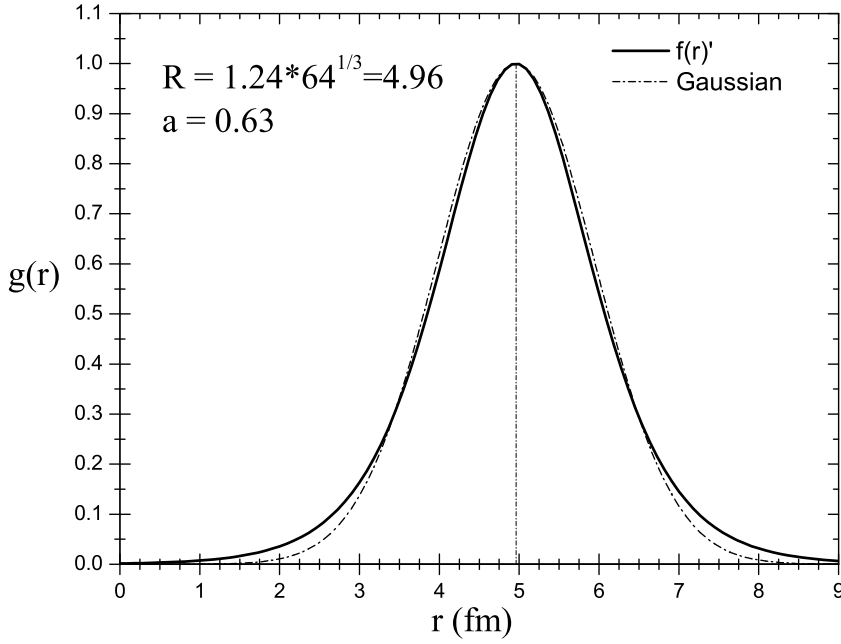
$$f_i(r) = \frac{1}{1 + \exp[(r - R_i)/a_i]} \quad i = v, w \quad (2.23)$$

Burada $R_i = r_i A^{1/3}$ ifadesi ile parametrize edilir. r_i indirgenmiş yarıçaptır. A ise hedefin kütle numarasıdır. Şekil 2.6'de Woods-Saxon şekil çarpanının grafiği verilmektedir. Bu grafik ^{64}Zn çekirdeği için Tablo 4.3'ün (a) sütunundaki geometrik parametreler kullanılarak çizilmiştir.



Şekil 2.6: Woods-Saxon şekil çarpanının yarıçapa göre grafiği

Reel yüzey potansiyeli V_s ile ve sanal yüzey potansiyeli W_s ile parametrize edilir. Bu potansiyel hedef çekirdeğin uyarılmalarından dolayı oluşan akı kaybını hesaba katar. Reel ve sanal yüzey potansiyellerindeki $g_v(r)$ ve $g_w(r)$ ifadeleri Denklem(2.24)'de verilmiştir. Bu ifadeler Woods-Saxon şekil çarpanının r 'ye göre türevini içerir.



Şekil 2.7: Woods-Saxon şekil çarpanının türevi ve Gaussian grafiği

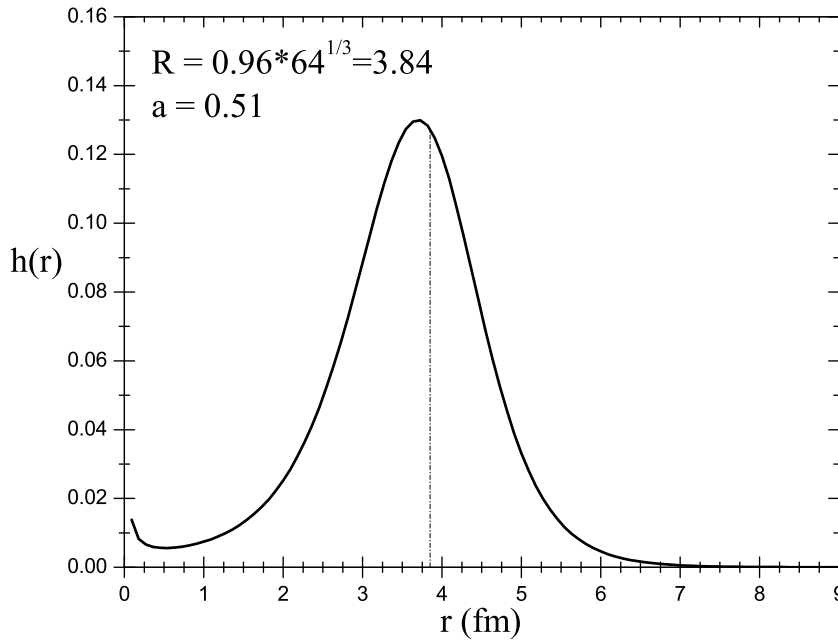
$$g_i(r) = -4a_i \frac{d}{dr} f_i(r) = 4 \frac{\exp[(r - R_i)/a_i]}{[1 + \exp[(r - R_i)/a_i]]^2} \quad i = v, w \quad (2.24)$$

Ayrıca Denklem(2.25)'de şekil çarpanı olarak kullanılabilinen Gaussian formu verilmektedir. ECIS kodu sadece Woods-Saxon şekil çarpanını kullanabilmektedir (Carlson, 2001). Şekil 2.7'de Woods-Saxon şekil çarpanının türevinin ve Gaussian şekil çarpanının grafikleri ^{64}Zn çekirdeği için Tablo 4.3'ün (a) sütunundaki geometrik parametreler kullanılarak çizilmiştir.

$$g_i(r) = \exp\left(-\frac{(r - R_i)^2}{(2, 21a_i)^2}\right) \quad i = v, w \quad (2.25)$$

Her iki spin-yörünge potansiyelindeki $h_i(r)$ terimleri Denklem (2.26)'de verilmektedir. Bu şekil çarpanı Thomas şekil çarpanı adını alır. Thomas şekil çarpanı, Woods-Saxon'lu Dirac denklemi eşdeğer Schrödinger denklemine indirgenildiğinde elde edilir. Reel spin-yörünge potansiyeli, hedef nükleonları ile merminin diğer bir etkileşmesidir ve V_{so} ile parametrize edilir. Sanal spin-yörünge potansiyeli W_{so} genellikle kullanılmaz. Şekil 2.8'da Thomas şekil çarpanının grafiği ^{64}Zn çekirdeği için Tablo 4.3'ün (a) sütunundaki geometrik parametreler kullanılarak çizilmiştir.

$$h_i(r) = -\frac{1}{r} \frac{d}{dr} f_i(r) = \frac{1}{ra_i} \frac{\exp[(r - R_i)/a_i]}{[1 + \exp[(r - R_i)/a_i]]^2} \quad i = v_{so}, w_{so} \quad (2.26)$$



Şekil 2.8: Thomas şekil çarpanının grafiği

Nukleonlar için, potansiyel parametrelerinin tipik değerleri,

$$\begin{aligned} V_v &\approx (45 - 55)\text{MeV} \\ W_s &\approx (2 - 7)\text{MeV} \quad E < 8 - 10\text{MeV} \\ V_{so} &\approx (4 - 10)\text{MeV} \end{aligned} \quad (2.27)$$

şeklindedir. 8-10 MeV üzerinde W_s genellikle sabittir yada hafifçe azalır. V_s ve W_{so} genellikle sıfır alınır. W_v 10 MeV civarında sıfır alınabilir. 10 MeV'in üstünde W_v sabittir yada hafifçe artar.

R_i yarıçapı hedef çekirdeğin kütle dağılım yarıçapına yakındır. Sıklıkla $R_i = r_i A^{1/3}$ ile parametrize edilir. r_i indirgenmiş yarıçap genellikle 1.2-1.3 fm arasında değerler alır. a_i yaygınlık parametresi de genellikle 0.4-0.7 fm arasında değerler alır. Genellikle bu parametreler deneysel çalışmalardan elde edilen verilerin analizleri yardımıyla belirlenir.

2.3 Tek Kanal Parçalı Dalga Açılımı

E enerjili ve Z_p yüklü bir parçacığın, A kütle numaralı, Z_t yüklü orta veya ağır bir çekirdekten elastik saçılması Denklem (2.28)'nin çözümüyle tanımlanabilir (Taşan, 2001).

$$(T - E + U_{opt}) \Psi = 0 \quad (2.28)$$

Denklem (2.28)'nin çözümü bir gelen dalga ve bir saçılan dalganın toplamıdır. Bunun asimptotik şekli,

$$\begin{aligned} \Psi \rightarrow \exp \left\{ i\vec{k} \cdot \vec{r} + i\eta \log \left(kr - \vec{k} \cdot \vec{r} \right) \right\} \sum_{\nu} |s\nu\rangle \langle s\nu| \\ + \frac{1}{r} \exp(ikr - i\eta \log(2kr)) \sum_{\nu\nu'} |s\nu'\rangle f_{\nu\nu'}(\theta) \langle s\nu| \end{aligned} \quad (2.29)$$

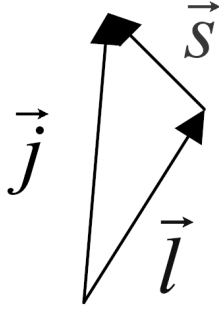
şeklindedir. Burada $f_{\nu\nu'}(\theta)$ elastik saçılma genliğinin spin bileşeni matris elemanlarıdır. $\eta = \mu Z_p Z_t e^2 / \hbar^2 k$ Coulomb parametresidir.

Spin s olan parçacığın saçılma dalga fonksiyonunun parçalı dalga açılımı, Şekil 2.9'deki gibi açısal momentum bağlaşımı olarak,

$$\Psi = \frac{4\pi}{kr} \sum_{ljn} i^l e^{i\sigma_l} \psi_l^j(r) Y_{ls}^{jn}(\hat{r}) Y_{ls}^{jn*}(\hat{k}) \quad (2.30)$$

gibi yazılabilir. Burada spin açısal fonksiyonlar,

$$Y_{ls}^{jn}(\hat{r}) = i^l \sum_{mv} \langle lmsv | jn \rangle Y_{lm}(\hat{r}) |sv\rangle \quad (2.31)$$



Şekil 2.9: Açısal momentum toplamı

gibidir. Burada l ve j yörüngesel ve toplam açısal momentum, $|sv\rangle$ parçacığın spin öz vektörüdür. Dalga fonksiyonu açılımında, $e^{i\sigma_l}$ Coulomb fazıdır. \hat{r} açısal değişkenler ve \hat{k} gelen momentumun yönü olarak tanımlanır. Dalga fonksiyonunun parçalı dalga açılımı Schrödinger denkleminde (Denklem (2.28)) yerine yazıldığında,

$$\left\{ \frac{d^2}{dr^2} - \frac{l(l+1)}{r^2} + k^2 - \frac{2\mu}{\hbar^2} (U_{cen}(r) + d_l^j U_{so}(r)) \right\} \psi_l^j(r) = 0 \quad (2.32)$$

elde edilir. Burada $d_l^j = d_{so} [j(j+1) - l(l+1) - s(s+1)]/2$ ve U_{cen} ve U_{so} önceki bölümde tartışılan optik model potansiyelinin (Denklem (2.21)) merkez ve spin-yörünge terimleridir. Sadece merkezi potansiyel ve spin-yörünge etkileşmesi varsa herhangi bir spin için tek (çiftlenmemiş) denklemler elde edilir. Bununla beraber spini 1'e eşit veya daha büyük ise bir tensör potansiyeli çiftlenmiş denklemlere götürmektedir. Denklem (2.32)'in çözümü orijinde sıfır olmalıdır. Nükleer potansiyelin menzili boyunca, denklemler iki standart çözümlerle ifade edilir. Bunlar F_l ve G_l düzenli ve düzensiz Coulomb dalga fonksiyonlarıdır. Burada $\psi_l^j(r)$ dalga fonksiyonunun asimptotik davranışı,

$$\psi_l^j(r) \rightarrow F_l(r) + (G_l(r) + iF_l(r)) C_l^j = \frac{i}{2} (H_l^-(r) - H_l^+(r) e^{2i\sigma_l} S_l^j) e^{-i\sigma_l} \quad (2.33)$$

şeklindedir. Burada $C_l^j = (S_l^j - 1)/2i$, ve $H_l^\pm = e^{\pm i\sigma_l} (G_l \pm iF_l)$ 'dir. S_l^j , S-matris elemanının nükleer parçası ve $e^{2i\sigma_l}$ Coulomb parçasıdır. Denklem (2.33), Denklem (2.30)'da yerine koyulursa ve sonuç Denklem (2.29) ile karşılaştırılırsa, saçılma genliğinin parçalı dalga açılımı,

$$f(\theta) = \frac{4\pi}{2ik} \sum_{ljn} (e^{2i\sigma_l} S_l^j - 1) Y_{ls}^{jn}(\hat{r}) Y_{ls}^{jn*}(\hat{k}) \quad (2.34)$$

yada, spin bileşeni matris elemanları olarak,

$$f_{v'v}(\theta) = \frac{4\pi}{2ik} \sum_{ljnmm'} (e^{2i\sigma_l} S_l^j - 1) Y_{lm'}(\hat{r}) Y_{lm}^*(\hat{k}) \langle lm' sv' | jn \rangle \langle jn | lmsv \rangle \quad (2.35)$$

ile ifade edilir. Coulomb parçası ayrı olarak yazılırsa,

$$f_{v'v}(\theta) = \delta_{vv'} f_c(\theta) + \frac{4\pi}{2ik} \sum_{\substack{ljn' \\ mm'}} e^{2i\sigma_l} (S_l^j - 1) Y_{lm'}(\hat{r}) Y_{lm}^*(\hat{k}) \langle lm' sv' | jn \rangle \langle jn | lmsv \rangle \quad (2.36)$$

elde edilir. Burada $f_c(\theta)$,

$$f_c(\theta) = -\frac{\eta}{2k \sin^2 \theta / 2} \exp[-i\eta \ln(\sin^2 \theta / 2) + 2i\sigma_0] \quad (2.37)$$

Coulomb genliğidir. Spini sıfır olan parçacıklar için sadece bir genlik vardır. Bu aşağıdaki gibidir.

$$f(\theta) = f_{00}(\theta) = f_c(\theta) + \frac{1}{2ik} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) e^{2i\sigma_l} (S_l - 1) P_l(\cos \theta) \quad (2.38)$$

Spini 1/2 olan parçacıklar için iki farklı genlik vardır. Bunlar,

$$A(\theta) = f_{\frac{1}{2}\frac{1}{2}}(\theta) = f_{-\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}(\theta) = f_c(\theta) + \frac{1}{2ik} \sum_l e^{2i\sigma_l} \left[(l+1) (S_l^{l+1/2} - 1) + l (S_l^{l-1/2} - 1) \right] P_l(\cos \theta) \quad (2.39)$$

ve

$$B(\theta) = f_{\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}(\theta) = f_{-\frac{1}{2}\frac{1}{2}}(\theta) = \frac{1}{2ik} \sum_l e^{2i\sigma_l} (S_l^{l+1/2} - S_l^{l-1/2}) P_l^1(\cos \theta) \quad (2.40)$$

genlikleridir. Spini $\frac{1}{2}$ olan parçacıklar için elastik diferansiyel tesir kesiti,

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{2s+1} \sum_{vv'} |f_{vv'}(\theta)|^2 = |A(\theta)|^2 + |B(\theta)|^2 \quad (2.41)$$

şeklindedir. Spini sıfır olan parçacıklar için ise Denklem (2.4)'de olduğu gibidir. Spini $\frac{1}{2}$ ve daha büyük olan parçacıklar için, vektör ve tensör spin gözlenebilirleri genliklerin diğer genliklerle kombinasyonu yoluyla tanımlanabilir. Özellikle, $\frac{1}{2}$ spinli parçacıklar için vektör polarizasyonu $P(\theta)$,

$$P(\theta) = \frac{2\text{Im}A^*(\theta)B(\theta)}{d\sigma/d\Omega} \quad (2.42)$$

şeklinde tanımlıdır.

Diğer bir gözlenebilir ise analiz gücüdür. Analiz gücü şöyle açıklanabilir; polarize olmamış bir demette parçacıkların spin dağılımları rasgeledir. Bu parçacıklar çekirdekle spin etkileşmesinde bulduklarında saçılmaları da rasgele dağılım gösterir. Yani θ ve $-\theta$ (sağ-sol asimetrisi) açılarından yapılacak sayımlardan elde edilecek sonuçlar aynıdır. Fakat ışınlanan demet polarize olmuş ise demetteki spinlerin yönelimleri belli bir yönde yoğunlaşmış olur. Böyle bir demet çekirdekle etkileştiğinde parçacıkların saçılmaları bu spin yönelimindeki yoğunluğa bağlı olur. Yani θ ve $-\theta$ açılarından yapılacak sayımlardan elde edilecek sonuçlar farklı olur. Bu fark demet parçacıkları ile hedef çekirdek arasındaki spin etkileşmesinin bir ölçüsünü yansıtır. Deneysel verilerden elde edilen sağ-sol asimetrisi, (Denklem (2.44)) $\varepsilon(\theta)$ değeri ve aynı zamanda ölçülen demet kutuplanması P_y ile analiz gücü $A_y(\theta)$ arasında,

$$A_y(\theta) = \frac{\varepsilon(\theta)}{P_y} \quad (2.43)$$

bağıntısı vardır (Okumuşoğlu, 1981)(Okumuşoğlu ve ark., 1983)(Taşan, 2001). Burada $\varepsilon(\theta)$ asimetrisi N_R , θ açısında yapılan sayım ve N_L , $-\theta$ açısında yapılan sayım olmak üzere,

$$\varepsilon(\theta) = \frac{N_R - N_L}{N_R + N_L} \quad (2.44)$$

ile ifade edilir.

Polarize olmuş bir demet için diferansiyel tesir kesiti,

$$\frac{d\sigma_{pol}}{d\Omega} = \frac{d\sigma_0}{d\Omega} (1 + P_y A_y(\theta)) \quad (2.45)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada $\frac{d\sigma_0}{d\Omega}$ ifadesi polarize olmamış diferansiyel tesir kesitine karşılık gelir. Daha detaylı bilgi için ve (Ohlsen, 1972) kaynakları incelenebilir.

2.4 Genelleştirilmiş Optik Potansiyel

Tek kanal ya da küresel optik model hedef çekirdeği küreselmiş gibi ele alır. Fakat çekirdekler çoğunlukla deformedir. İster küresel olsun ister deforme, tüm çekirdekler şekil titreşimlerine duyarlıdır. Çoğu deforme yada küresel çekirdekler bir çarpışmada kolayca uyarılabilen kolektif seviyelere (low-lying) sahiptir. Genelleştirilmiş optik modelde, po-

tansiyel, hedef çekirdeğin farklı durumlarını da tasvir etmektedir (Tamura, 1965). Genelleştirilmiş optik model, optik model potansiyelindeki yarıçap terimlerinin değiştirilmesiyle küresel simetriden sapmayı hesap içine alır (Carlson, 2001). Burada sadece titreşim modeli hakkında bilgi verilmektedir. Daha ileri bilgiler (Bohr and Mottelson, 1969; Greiner and Maruhn, 1997) kaynaklarında bulunabilir. Deforme olmuş spin-yörünge potansiyeli ve davranışı için farklı kaynaklar da incelenebilir (Taşan, 2001; Raynal, 1994).

Bir titreşen çekirdek taban durumunda küresel simetriye sahiptir. Onun uyarılmış seviyelerinde çekirdek küresel simetri civarında titreşir. Bunu hesap içine almak için, potansiyeldeki yarıçap,

$$R_i = R_{0i} \left(1 + \sum_{\lambda\mu} a_{\lambda\mu} Y_{\lambda\mu}(\hat{r}) \right)$$

$$R_i = R_{0i} \left(1 + \sum_{\lambda} \frac{\beta_{\lambda}}{\sqrt{2\lambda+1}} \sum_{\mu} \left(b_{\lambda\mu}^{\dagger} + (-)^{\mu} b_{\lambda-\mu} \right) Y_{\lambda\mu}(\hat{r}) \right) \quad (2.46)$$

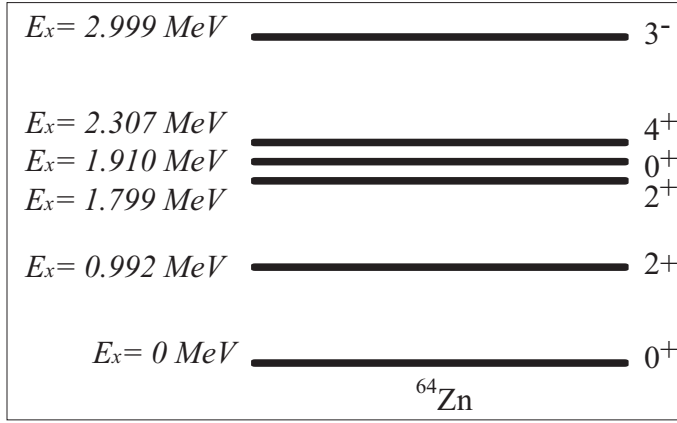
şeklinde ifade edilir. Burada $b_{\lambda\mu}^{\dagger}$ ve $b_{\lambda-\mu}$ ifadeleri fonon yaratma ve yok etme operatörleri ve β_{λ} titreşim genliğidir (Bohr and Mottelson, 1953). Potansiyel genellikle fonon yaratma ve yok etme operatörleriyle,

$$U_{opt}(r, \hat{r}) = U_{opt}(r) + \sum_i \frac{dU_{opt}}{dR_i} R_{0i} \sum_{\lambda\mu} a_{\lambda\mu} Y_{\lambda\mu}(\hat{r})$$

$$+ \sum_i \frac{d^2 U_{opt}}{dR_i^2} R_{0i}^2 \left(\sum_{\lambda\mu} a_{\lambda\mu} Y_{\lambda\mu}(\hat{r}) \right)^2 + \dots \quad (2.47)$$

şeklinde seriye açılabilir. Bu denklem bir ve iki fonon durumlarının direkt uyarılmalarını hesap içine alır. Bir fonon durumlarının içeren titreşim modeli birinci mertebeye titreşim modeli (ki bu durumda denklemin ilk iki terimi kullanılır) olarak adlandırılırken, iki fonon durumlarını da içeren titreşim modeli ikinci mertebeye titreşim modeli (denklemin ilk üç terimi kullanılır) olarak bilinir (Carlson, 2001; Raynal, 1994). Bir çift-çift çekirdeğin 0^+ taban durumuna bir birim titreşim enerjisi (bir kuadropol fonon) eklendiğinde $\lambda = 2$ fononu iki birimlik açıl momentum ekler. 0^+ durumuna iki birim açıl momentum eklemek yalnız 2^+ durumu oluşturur. İkinci bir kuadropol fononu eklenirse $2^+, 0^+, 4^+$ triplet durumlar oluşur. Bu durumlar dejenere seviyelerdir. Ancak anharmonik etkilerden dolayı dejenere olarak gözlenmezler. Benzer şekilde üçüncü bir kuadropol fononu da eklendiğinde $0^+, 2^+, 3^+, 4^+, 6^+$ seviyeleri oluşur (Krane, 2002). Tipik titreşen çekirdeklere bir örnek

olarak ^{64}Zn çekirdeği verilebilir. Bu çekirdek taban durumunda küresel simetriye sahiptir ve çift-çift bir çekirdek olmasından dolayı taban durumu spini ve paritesi $I^\pi = 0^+$ 'dır. $E_x = 0.992$ MeV enerjide spini ve paritesi $I^\pi = 2^+$ olan ve bir quadrapol ($\lambda = 2$) fonon titreşim durumu olarak ele alınabilen birinci uyarılmış seviyeye sahiptir. İki fonon durumları bu uyarılmış seviye enerjisinin iki katında yakın $E_x = 1.799$, 1.910 , 2.307 MeV enerjilerde sırasıyla $I^\pi = 2^+$, 0^+ , 4^+ uyarılmış seviyelere sahiptir. Bu yapı Şekil 2.10'de gösterilmiştir.



Şekil 2.10: ^{64}Zn çekirdeğinin ilk birkaç uyarılmış seviyeleri (Moonen ve ark., 1993)

Kolektif modelde çekirdeklerin uyarılmış seviyeleri için spin açısız dalga fonksiyonları da elde edilebilir. Titreşim modelinde, bir ve iki fonon durumları için bu fonksiyonlar, taban durumu $|0\rangle$ olmak üzere,

$$\begin{aligned}
 |I_c N_c\rangle &= b_{I_c N_c}^\dagger |0\rangle && \text{Bir fonon durumları} \\
 |I_c N_c\rangle &= \frac{1}{\sqrt{1 + \delta_{I_1 I_2}}} \left[b_{I_1}^\dagger b_{I_2}^\dagger \right]_{I_c N_c} |0\rangle && \text{İki fonon durumları}
 \end{aligned} \tag{2.48}$$

şeklinde (Raynal, 1994). Uyarılmış seviyeler daha karmaşık yapılara sahip olabilir. İdeal titreşim seviyelerinin dalga fonksiyonlarının lineer kombinasyonu yine bir çözümdür (Tamura, 1965). ECIS kodu bir ve iki fonon durum dalga fonksiyonlarının bir karışımını hesaba katabilmektedir. Bu Jabbour'un gösterimiyle (Jabbour ve ark., 1987a),

$$|I^\pi\rangle = \cos \phi |1 - \text{Fonon}\rangle + \sin \phi |2 - \text{Fonon}\rangle_{I^\pi} \tag{2.49}$$

şeklinde. Bu tanım karışık tip olarak bilinir. Burada ϕ karışım açısı olarak tanımlanır. İki fonon dalga fonksiyonu ise, bir fonon dalga fonksiyonları cinsinden,

$$|2 - \text{Fonon}\rangle_{I^\pi} = [|2_1^+\rangle \otimes |2_1^+\rangle]_{I^\pi} \tag{2.50}$$

şeklindedir. Burada $I^\pi = 2_2^+, 0_2^+, 4_1^+$ ve $|2_1^+\rangle$, 2_1^+ uyarılmış seviyesinin dalga fonksiyonudur. \otimes tensör çarpımıdır. ECIS kodu karışık tip hesaplamasında 2_2^+ durumunu üç parametre ile tanımlar. Bunlardan birincisi $\beta(2_1^+)$ 'dır. Bu parametre 2_1^+ seviyesini tanımlayan bir fonon titreşiminin genliğidir. 2_2^+ seviyesinin iki fonon durumu $\beta(2_1^+)$ parametresi ile oluşturulur (Denklem(2.50)). $\beta(2_2^+)$ parametresi 2_2^+ seviyesinin sadece bir fonon katkısının parametresidir, ve ϕ karışım açısıdır. Literatürde farklı karışık tip hesaplamaları vardır. Bunların incelenebileceği kaynaklar şunlardır: (Tamura, 1965), (Tamura, 1966), (Tamura, 1969), (Lombard and Raynal, 1973), (Swiniarski ve ark., 1976).

2.5 Çiftlenmiş Kanal Parçalı Dalga Açılımı

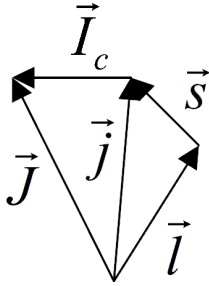
Çiftlenmiş kanal parçalı dalga açılımı tek kanal parçalı dalga açılımına benzerdir. Ancak bir yenilik vardır. Bu yenilik uyarılmış durumların ve onların spinlerinin hesap içine alınmasıdır. Schrödinger denklemi,

$$(T - E + U_{opt}(r, \hat{r})) \Psi = 0 \quad (2.51)$$

şeklindedir. Burada $U_{opt}(r, \hat{r})$ genelleştirilmiş optik potansiyeldir. Bu denklemin asimptotik çözümü gelen ve giden dalgaların toplamı olarak,

$$\Psi \rightarrow \exp \left\{ i \vec{k}_c \cdot \vec{r} + i \eta_c \log \left(k_c r - \vec{k}_c \cdot \vec{r} \right) \right\} \sum_v | sv I_c N_c \rangle \langle sv I_c N_c | \\ + \frac{1}{r} \exp \left(i k_c' r - i \eta_c' \log (2 k_c' r) \right) \sum_{v v'} | sv' I_c' N_c' \rangle f_{v' v N_c N_c'}(\theta) \langle sv' I_c' N_c' | \quad (2.52)$$

şeklinde olmalıdır. Burada $f_{v' v N_c N_c'}(\theta)$ elastik saçılma genliğinin hedef ve merminin spin bileşeni matris elemanlarıdır.



Şekil 2.11: Açısal momentum toplamı

Parçalı dalga açılımını elde etmek için, hedef spin açısıl fonksiyonlar, Şekil 2.11'deki gibi açısıl momentum bağlaşımı olarak ele alınır.

$$Y_{lsjc}^{JM}(\hat{r}) = \sum_{nN_c} \langle jnI_cN_c | JM \rangle Y_{ls}^{jn}(\hat{r}) |I_cN_c\rangle \quad (2.53)$$

bağıntısıyla,

$$\Psi = 4\pi \sum_{\substack{ljcJM \\ l'j'c'}} Y_{lsjc}^{JM}(\hat{r}) i^l \psi_{l'j'c',ljc}^J(r) \frac{e^{i\sigma_{lc}}}{k_c r} Y_{lsjc}^{JM*}(\hat{k}) \quad (2.54)$$

şeklinde verilir. Burada $|I_cN_c\rangle$ fonksiyonları önceki bölümde verilen dalga fonksiyonlarıdır (Denklem (2.48)). k_c c'inci kanaldaki dalga sayısıdır. Coulomb fazı şimdi k_c sayesinde kanal enerjisine ve açısıl momentumuna bağlıdır.

Toplam dalga fonksiyonunun parçalı dalga açılımı Denklem (2.51)'de yerine yazılırsa, toplam açısıl momentum J 'nin her bir değeri için,

$$\frac{\hbar^2}{2\mu} \left\{ \frac{d^2}{dr^2} - \frac{l'(l'+1)}{r^2} + k_{c'}^2 \right\} \psi_{l'j'c',ljc}^J(r) - \sum_{l''j''c''} U_{l'j'c',l''j''c''}^J(r) \psi_{l''j''c'',ljc}^J(r) = 0 \quad (2.55)$$

elde edilir. Burada potansiyel matris elemanları, ortanormal hedef spin açısıl fonksiyonlarla,

$$U_{l'j'c',ljc}^J(r) = \int Y_{l's'j'c'}^{JM*}(\hat{r}) U_{opt}(r, \hat{r}) Y_{lsjc}^{JM}(\hat{r}) d\tau \quad (2.56)$$

ile hesaplanır.

Deforme olmuş optik modelde, dalga fonksiyonları $\psi_{l'j'c',ljc}^J(r)$, toplam açısıl momentum J 'nin her bir değeri için, farklı c kanalları ve farklı l ve j değerleriyle çiftlenir. Bunu daha iyi görmek için, spini 1/2 olan protonun taban durumu 0^+ olan bir çekirdeği 2^+ durumuna uyardığını varsayalım. Bu durumda, Çizelge 2.1'deki gibi her toplam J^π değeri için mümkün bütün l, s, j, n, I, N değerleri göz önüne alınır.

Eğer n tane kanal varsa ve parçacığın spini s_i ise, hedefin spini I_i ve i kanalı için taban paritelerinin çarpımı π_i , yeteri kadar büyük olan spin J ve parite π için çiftlenmiş denklemlerin toplam sayısı şu şekildedir.

$$N = \sum_{i=1}^n N_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \left[(2I_i + 1)(2s_i + 1) + \varepsilon_i' (-)^{J+\pi} \right] \quad (2.57)$$

Çizelge 2.1: Çiftlenmiş kanallara örnek

$J^\pi=1/2+$ için		$J^\pi=1/2-$ için	
0+ durumu :	$l=0, j=1/2$	3 çiftlenmiş	0+ durumu : $l=1, j=1/2$
2+ durumu :	$l=1, j=3/2$	kanal	2+ durumu : $l=2, j=3/2$
	$l=2, j=5/2$		$l=3, j=5/2$
$J^\pi=5/2+$ için		$J^\pi=5/2-$ için	
0+ durumu :	$l=2, j=5/2$	6 çiftlenmiş	0+ durumu : $l=3, j=5/2$
2+ durumu :	$l=0, j=1/2$	kanal	2+ durumu : $l=1, j=1/2$
	$l=2, j=3/2$		$l=1, j=3/2$
	$l=2, j=5/2$		$l=3, j=5/2$
	$l=4, j=7/2$		$l=3, j=7/2$
	$l=4, j=9/2$		$l=5, j=9/2$

Burada I_i ve s_i kesirli tamsayılar ise $\varepsilon'_i = 0$ ve I_i ve s_i tamsayılar ise $\varepsilon'_i(-)^{I_i+s_i}$ dir. Çiftlenmiş kanallarda saçılma genliğinin eldesi küresel optik modelde olduğu gibidir, ancak uyarılmış durum spinleride hesaba dahil edildiğinden karmaşıktır. Saçılma genliğinin eldesi bir çok kaynakta detaylı olarak bulunabilir (Tamura, 1965; Carlson, 2001). Bu tezde saçılma genliğinden elde edilen tesir kesiti ifadeleri direkt olarak verilmektedir. Taban durumu için diferansiyel tesir kesiti,

$$\frac{d\sigma_{el}}{d\Omega} = \frac{1}{(2s+1)(2I_0+1)} \sum_{\substack{v'N'_0 \\ vN_0}} \left| f_{vN_0v'N'_0}(\theta) \right|^2 \quad (2.58)$$

ile verilir. Bir c uyarılmış durum için inelastik diferansiyel tesir kesiti, yukarıdakine benzer olarak,

$$\frac{d\sigma_c}{d\Omega} = \frac{1}{(2s+1)(2I_0+1)} \sum_{\substack{v'N'_c \\ vN_0}} \left| f_{vN_0v'N'_c}(\theta) \right|^2 \quad (2.59)$$

ile verilir. Saçılma genliğinin mermi ve hedef spin bileşenlerine bağlı olması 1/2 spin için tek kanal parçalı dalga açılımında olduğu gibi bir çok farklı genliğin olduğu anlamına gelir. Bu farklı genliklerle tanımlanan farklı gözlenebilirler (polarizasyon, analiz gücü, spin-flip gibi) helicity formalizmi ile ifade edilmektedir. Daha ileri bilgiler için şu kaynaklar incelenebilir: (Raynal, 1994).

Saçılma genliğinin hesaplanması S matris elemanlarının hesaplanmasını gerektirir. S matris elemanlarının hesaplamasında sayısal metotlar kullanılır.

3. ECIS BİLGİSAYAR KODU

ECIS (çiftlenmiş denklemler için ardışık iterasyon) bilgisayar kodu (Raynal, 1994) 20 MeV civarında inelastik proton saçılmasında polarizasyon etkilerini araştırmak için geliştirildi. Bu kod ECIS68'den başlayarak bugün son sürümü olan ECIS06'ya kadar birçok bilim insanının katkılarıyla gelişmiştir. Buck ve Hill'in çiftlenmiş kanallar için geliştirdikleri INCH kodu ECIS'in başlangıç noktasıdır (Raynal, 1994). ECIS kodunun farklı sürümlerindeki eklemeler ve geliştirmeler "*Notes on Ecis94*" 'de bulunabilir (Raynal, 1994). ECIS kodu birçok altprogramdan meydana gelir. Bu altprogramların neler olduğu ve ne görev üstlendikleri çeşitli kaynaklarda bulunabilir (Taşan, 2001; Raynal, 1994). ECIS06 kodu ECIS03'ün daha da gelişmiş halidir. Bu kodda relativistik indirgenmiş kütle kullanımında farklılıklar vardır ve Raynal'ın DWBA05 kodu kullanılmıştır (<http://www.nea.fr/tools/abstract/detail/nea-0850/>, 06.10.2010).

ECIS, nükleer model hesaplamalarında ortaya çıkan çiftlenmiş diferansiyel denklemleri çözmek için ardışık bir iterasyon metodu kullanır. İterasyon tekniği, birçok matematiksel olasılık arasında gerekli bir çözümü araştırır. Hesaplanan sonuçları deneysel verilere uydurmak için de parametre araması yapmaktadır (Taşan, 2001). ECIS, bu işlemi,

$$\chi^2 = \sum_i [(\sigma_i^{cal} - \sigma_i^x) / \Delta\sigma_i^x]^2 \quad (3.1)$$

Denklem 3.1 minimum değer alacak şekilde yapar. Bu denklemden elde edilen χ^2 (kikare), deneysel veri sayısına bölünerek, deneysel veriler ile hesaplanan değerler arasındaki uyumu gösteren parametre elde edilir.

ECIS kodu, optik model ve çiftlenmiş kanal hesaplarıyla toplam, reaksiyon, elastik ve direkt inelastik tesir kesitleri ve elastik ve inelastik saçılma açısal dağılımlarının elde edilmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca nötron, proton, döteron, triton, helyum-3 ve alfa parçacıkları için geçiş katsayılarının hesaplanmasında da kullanılmaktadır. Bu tezin çalışmalarında ECIS06 sürümü kullanılmıştır.

Bölüm 3.1'de ECIS kodunun kullandığı ardışık iterasyon metodu anlatılmaktadır. Bölüm 3.2'de ECIS06 bilgisayar kodunun veri giriş dosyalarında kullanılan mantıksal kontrollerinin anlamları verilmektedir. Bölüm 3.3'de örnek bir veri giriş dosyası verilerek bu dosyadaki ifadelerin anlamları verilmektedir. Bölüm 3.4'de ECIS06'yı daha hızlı ve

etkili kullanabilmek için geliştirdiğim ECIS kontrol programı açıklanmaktadır.

3.1 Raynal'm İterasyon Metodu

ECIS ismi Fransızca "Equations Couplées en Itérations Séquentielles - Çiftlenmiş denklemler için ardışık iterasyon" kelimelerinin baş harflerinden gelmektedir. ECIS metot (Raynal, 1994), çiftlenmiş diferansiyel denklem setlerinin çözülerek S matris elemanlarının elde edilmesinde ve bunun sonucunda açısız dağılımların hesaplanmasında kullanılan bir yöntemdir. J. Raynal tarafından geliştirilen iterasyon metodu geleneksel matris metoduna alternatif bir çözümdür. ECIS'in yaklaşımı DWBA yaklaşımı ile çiftlenmiş kanal hesaplamasının arasında bir yaklaşımdır. İlk iterasyon ile DWBA arasındaki fark çok küçüktür. ECIS metodu aşağıdaki denklemleri kullanarak hesaplama yapar. İlk olarak i . Schrödinger denklemini,

$$\left\{ -\frac{\hbar^2}{2m_i} \left[\frac{d^2}{dr^2} - \frac{2\eta_i k_i}{r} - \frac{l_i(l_i + 1)}{r^2} + k_i^2 \right] - V_i^{opt}(r) + V_{ii}(r) \right\} f_i(r) = \lambda W_i(r) \quad (3.2)$$

şeklinde ele alır. Burada λ multiplikatif faktördür ve çözüme ulaşmayı kontrol eder. $\lambda = 1$ olduğunda çözüme ulaşılır. ECIS'in kullandığı birçok sayısal metodun ayrıntıları "Notes on ECIS94" 'de ve Taşan'ın tezinde bulunabilir (Taşan, 2001; Raynal, 1994). Burada sadece ECIS'in ardışık iterasyon kavramı anlatılacaktır. Denklem(3.2)'un çözümü,

$$G_i(r, r') = \frac{2m_i}{\hbar^2 k_i} f_i^{reg}(r_{<}) f_i^{irr}(r_{>}) \quad (3.3)$$

Green fonksiyonu olmak üzere,

$$f_i(r) = f_i^{reg}(r) \delta_{i,0} + \lambda \int_0^\infty G_i(r, r') W_i(r') dr' \quad (3.4)$$

şeklinindedir. Burada $r_{<}$, r ve r' uzunluklarından daha küçük, $r_{>}$, daha büyüktür. $W_i(r') = \sum_j V_{ij} f_j(r')$ 'dir. f_i^{reg} ve f_i^{irr} fonksiyonları, Denklem(3.2)'un sol tarafının düzenli ve düzensiz çözümleridir.

ECIS metodu, bazı kanalların sıralandığını varsayar. Birincisi taban durumu ve sonra taban durumuyla kuvvetli çiftlenmiş durum olarak sıralanır. ECIS, iterasyona tek kanal taban durumu dalga fonksiyonunu kullanarak başlar. Bu çiftlenmiş kanal taban durumu dalga fonksiyonuna sıfıncı mertebeden iterasyondur. Bu yaklaşımda $\lambda = 0$ 'dır.

$$f_0^{(0)}(r) = f_0^{reg}(r) \quad , \quad C_0^{(0)} = C_0^{opt} \quad (3.5)$$

Daha sonra ECIS, elde ettiği bu taban durumu dalga fonksiyonunu kullanarak birinci uyarılmış seviyenin dalga fonksiyonunu elde eder. Bu birinci merteye iterasyon olarak,

$$f_1^{(1)}(r) = - \int_0^\infty G_1(r, r') V_{10} f_0^{(0)}(r') dr' \quad (3.6)$$

şeklindedir. Buna karşılık C matris elemanı,

$$\bar{C}_1^{(1)} = - \frac{2m_i}{\hbar^2 k_i} \int_0^\infty f_1^{reg}(r') V_{10}(r') f_0^{(0)}(r') dr' \quad (3.7)$$

şeklindedir. Burada $\bar{C}_1^{(1)} = \sqrt{k_f m_i / k_i m_f} C_1^{(1)}$ şeklindedir. Buradan S matris elemanları $C_i^{(1)} = (S_i^{(1)} - 1) / 2i$ ile elde edilir. Bu sonuçlar DWBA sonuçlarına çok yakındır. $i = 2$ için,

$$f_2^{(1)}(r) = - \int_0^\infty G_2(r, r') [V_{20} f_0^{(0)}(r') + V_{21} f_1^{(1)}(r')] dr' \quad (3.8)$$

ve C matris elemanı,

$$\bar{C}_2^{(1)} = - \frac{2m_i}{\hbar^2 k_i} \int_0^\infty f_2^{reg}(r') [V_{20}(r') f_0^{(0)}(r') + V_{21}(r') f_1^{(1)}(r')] dr' \quad (3.9)$$

şeklindedir. Daha sonra ECIS diğer denklemler içinde hesapları tamamlar. Bunlar şu şekilde genelleştirilebilir;

$$f_i^{(1)}(r) = - \int_0^\infty G_i(r, r') \left[V_{i0} f_0^{(0)}(r') + \sum_{j=1}^{i-1} V_{ij} f_j^{(1)}(r') \right] dr' \quad (3.10)$$

ve buna karşılık C matris elemanı,

$$\bar{C}_i^{(1)} = - \frac{2m_i}{\hbar^2 k_i} \int_0^\infty f_i^{reg}(r') \left[V_{i0}(r') f_0^{(0)}(r') + \sum_{j=1}^{i-1} V_{ij}(r') f_j^{(1)}(r') \right] dr' \quad (3.11)$$

şeklindedir. Tüm denklemler için işlemler bittikten sonra ECIS, taban durumu dalga fonksiyonunu yeniden hesaplar. Bu birinci merteye taban durumu dalga fonksiyonu olur ve,

$$f_0^{(1)}(r) = f_0^{reg}(r) - \int_0^\infty G_0(r, r') \left[V_{00} f_0^{(0)}(r') + \sum_{j=1}^N V_{0j} f_j^{(1)}(r') \right] dr' \quad (3.12)$$

şeklindedir. Buna karşılık gelen C matris elemanı,

$$C_0^{(1)} = C_0^{opt} - \frac{2m_0}{\hbar^2 k_0} \int_0^\infty f_0^{reg}(r') \left[V_{00}(r') f_0^{(0)}(r') + \sum_{j=1}^N V_{0j}(r') f_j^{(1)}(r') \right] dr' \quad (3.13)$$

gibidir. Burada C_0^{opt} tek kanal taban durumu C matris elemanıdır. ECIS daha sonra daha yüksek mertebeden hesaplamaları yapar. n. mertebe iterasyon için, $1 \leq i \leq N$ olmak üzere,

$$f_i^{(n)}(r) = - \int_0^\infty G_i(r, r') \left[V_{i0} f_0^{(n-1)}(r') + \sum_{j=1}^{i-1} V_{ij} f_j^{(n)}(r') + \sum_{j=1}^N V_{ij} f_j^{(n-1)}(r') \right] dr' \quad (3.14)$$

şeklinde ve buna karşılık C matris elemanı,

$$\overline{C}_i^{(n)} = - \frac{2m_i}{\hbar^2 k_i} \int_0^\infty f_i^{reg}(r') \left[V_{i0}(r') f_0^{(n-1)}(r') + \sum_{j=1}^{i-1} V_{ij}(r') f_j^{(n)}(r') + \sum_{j=1}^N V_{ij}(r') f_j^{(n-1)}(r') \right] dr' \quad (3.15)$$

şeklinde n. mertebeden iterasyon için taban durumu hesaplaması,

$$f_0^{(n)}(r) = f_0^{reg}(r) - \int_0^\infty G_0(r, r') \left[V_{00} f_0^{(n-1)}(r') + \sum_{j=1}^N V_{0j} f_j^{(n)}(r') \right] dr' \quad (3.16)$$

şeklinde ve buna karşılık gelen C matris elemanı,

$$C_0^{(n)} = C_0^{opt} - \frac{2m_0}{\hbar^2 k_0} \int_0^\infty f_0^{reg}(r') \left[V_{00}(r') f_0^{(n-1)}(r') + \sum_{j=1}^N V_{0j}(r') f_j^{(n)}(r') \right] dr' \quad (3.17)$$

şeklinde n.

Sonuçlar, $|C_0^{(n)} - C_0^{(n-1)}|$ ve tüm $|\overline{C}_i^{(n)} - \overline{C}_i^{(n-1)}|$ değerleri ECIS'in veri giriş dosyasında belirtilen ε (EITER adlı değişken) değerinden küçük olduğunda elde edilir.

Görüleceği gibi ECIS ilk önce tek kanal optik model ile elde ettiği taban durumu dalga fonksiyonunu kullanarak sıfıncı mertebe iterasyon sonucunu elde eder. Daha sonra bu sonucu kullanarak birinci uyarılmış seviye için birinci mertebe dalga fonksiyonunu elde eder. Daha sonra uyarılmış seviyeler için elde ettiği dalga fonksiyonlarını kullanarak birinci mertebe taban durumu dalga fonksiyonunu hesaplar ve bir sonraki mertebe hesaplarına geçer. ECIS bu şekilde ardışık iterasyonla sonuca ulaşır. ECIS'in kaçınıcı mertebede sonuca ulaştığı direkt olarak çiftlenim kuvvetiyle orantılıdır. Eğer zayıf bir çiftlenim varsa ilk birkaç iterasyonla sonuca ulaşır. Ancak, çiftlenim kuvvetli ise bu daha uzun vakit alacak şekilde uzar.

3.2 ECIS06 Kodunun Mantıksal Kontrolleri

ECIS06 kodunun mantıksal kontrolleri aşağıda verilmektedir. Bunlar, veri giriş dosyasının 2. ve 3. satırlarındaki mantıksal kontrollerdir. ECIS06'nın mantıksal kontrolleri eski sürümdekilere göre çok az farklılık gösterir.

1	LO(1)	T	Dönme modeli. Ters, titreşim modeli.
2	LO(2)	T	İkinci mertebeli titreşim modeli. Ters, birinci mertebeli titreşim modeli.
3	LO(3)	T	Titreşim modeli için anharmonik model. Ters, harmonik model. Dönme modeli için asimetrik model. Ters simetrik model.
4	LO(4)	T	Parametrize edilmiş spin-yörünge bozulması. Ters, standart.
5	LO(5)	T	Her bir potansiyel için farklı deformasyon.
6	LO(6)	T	Deformasyon uzunluklarının kullanılması.
7	LO(7)	T	Kartlar üzerinde nükleer matris elamanları ve şekil çarpanları okur.
8	LO(8)	T	Relativistik kinematik.
9	LO(9)	T	Yarı çapın negatif değeri için Woods-Saxon şekil çarpanları.
10	LO(10)	T	Dağılım ilişkisiyle potansiyellerin enerji bağımlılığı.
11	LO(11)	T	Deforme olmuş Coulomb potansiyeli kullan.
12	LO(12)	T	Deforme olmuş sanal potansiyeller kullan.
13	LO(13)	T	Deforme olmuş reel spin-yörünge potansiyeli kullan.
14	LO(14)	T	Deforme olmuş sanal spin-yörünge potansiyeli kullan.
15	LO(15)	T	İndirgenmiş matris elemanlarını karttan oku.
16	LO(16)	T	Yarıçap ve deformasyonların ağır iyon tanımı.
17	LO(17)	T	Folding (katlı) model.
18	LO(18)	T	Mermi hedef antisimetrisasyonu.
19	LO(19)	T	Deforme olmuş Cloumb spin-yörünge potansiyeli kullan.
20	LO(20)	T	Geçiş şekil çarpanının enerji bağımlılığı.
21	LO(21)	T	Alışılmış çiftlenmiş denklemler kullan. Ters, iterasyon kullan.
22	LO(22)	T	İterasyonun yakınsaması için Pade yaklaşımının kullanılmaması.
23	LO(23)	T	Yakınsaklık elde edilmediği zaman Pade yaklaşımı sonuçlarının kullanılmaması.
24	LO(24)	T	Her iterasyonda çiftlenim potansiyel hesabı.
25	LO(25)	T	Sonuna kadar tam hesaplama. Ters, İki iterasyon yeterli olur olmaz sadece bir iterasyon
26	LO(26)	T	Uzun menzilli potansiyeli için dengelenmiş iterasyon.
27	LO(27)	T	Tek denklemler için Numerov metodu. Ters, değiştirilmiş Numerav metodu.
28	LO(28)	T	J-yakınsaklığına kadar hesaplama. Ters, Homojen olmayan terimlerin hepsi ihmal edildiği zaman durmak.

(devam)

(devamı)

29	LO(29)	T	İkinci üyelerde diogonal terim yok.
30	LO(30)	T	Saf DWBA hesaplaması.
31	LO(31)	T	Deneysel verilerin girişi ve ki-karenin hesaplanması.
32	LO(32)	T	Bazı parametreler üzerine otomatik arama.
33	LO(33)	T	Tesir kesitleri için simetrize ki-kare.
34	LO(34)	T	Sadece enerjiyi ve bazı optik model parametrelerini değiştiren sonraki hesap.
35	LO(35)	T	Zaman az olduğundan biterse 8 bandı üzerine kaydedilen arama.
36	LO(36)	T	8 bandından aramaya yeniden başlama.
41	LO(41)	T	Genliklerde $1/(1-\cos(\text{teta}))$ 'nın çarpanlara ayrılması.
42	LO(42)	T	Alışılmış çiftlenmiş denklemlerde Schmhidt ortogonalizasyonu.
43	LO(43)	T	Toplam sipin üzerine interpolasyon.
44	LO(44)	T	Coulomb düzeltmeleri.
45	LO(45)	T	Coulomb düzeltmeleri için açısal momentum sınırı.
46	LO(46)	T	Sınırlı Coulomb düzeltmeleri.
47	LO(47)	T	Uyarılmış seviyeler için geri tepme düzeltmesi yok.
51	LO(51)	T	Potansiyellerin çıkışı.
52	LO(52)	T	İndirgenmiş nükleer matris elemanlarının çıkışı.
53	LO(53)	T	İterasyon sayısının çıkışı.
54	LO(54)	T	Çalışma alanında kullanılan uzunluğun çıkışı.
55	LO(55)	T	C-matris elemanlarının çıkışı.
56	LO(56)	T	S-matris elemanlarının çıkışı.
57	LO(57)	T	Her ecis iterasyonunda faz kaymasının çıkışı.
58	LO(58)	T	Her denklem seti için şekil çarpanı katsayılarının çıkışı.
59	LO(59)	T	Toplam elastik tesir kesitini file58 dosyasına, toplam inelastik tesir kesitini file59 dosyasına yaz.
60	LO(60)	T	S-matris elemanlarını file60 dosyasına yaz.
61	LO(61)	T	İndirgenmiş nükleer matris elemanlarını file61 dosyasına yaz.
62	LO(62)	T	Potansiyelleri file62 dosyasına yaz.
63	LO(63)	T	Girilebilirlikleri file63 dosyasına yaz.
64	LO(64)	T	Deneysel veriler için bulunan sonuçları file64, eşit uzaklıkta açıları file66 dosyasına yaz.
65	LO(65)	T	Legendre polinomlarında açılım sabitlerini file65 dosyasına yaz.
66	LO(66)	T	Aynı uzaklıkta açılarda hesaplama yok.
67	LO(67)	T	Deneysel verilerin çizimi yok.
68	LO(68)	T	Aynı uzaklıklarda açılarda tesir kesitlerinin çizimi yok.
69	LO(69)	T	Aynı uzaklıklarda açılarda polarizasyonların çizimi yok.
71	LO(71)	T	Mantıksal kontrollerin ayrıntılı çıkışı yok.
72	LO(72)	T	Deneysel veri okundukça çıkışı yok.
73	LO(73)	T	Diş potansiyeller okundukça çıkışı yok.

(devam)

(devamı)

74	LO(74)	T	Depolama varvasyonlarının çıkışı.
75	LO(75)	T	Aramanın ilk çalışmasında tam çıkış yok.
76	LO(76)	T	LO(51)'den LO(65)'e daima kullanılır. Ters, sadece tam çıkış için.
77	LO(77)	T	Arama sırasında zaman farklılıklarının çıkışı yok.
78	LO(78)	T	Deneysel ve hesaplanan değerler arasındaki farklılıkların çıkışı yok.
81	LO(81)	T	Tesir kesitlerine Hauser-feshbach düzeltmeleri.
82	LO(82)	T	En basit bileşik çekirdek formalizmi.
83	LO(83)	T	Bileşik çekirdekte Engelbretch-Weidenmuller transferi yok.
84	LO(84)	T	Bileşik çekirdek için çiftlenmemiş seviyeler.
85	LO(85)	T	Bileşik çekirdekte fisyon verisi.
86	LO(86)	T	Bileşik çekirdekte gama emisyon verisi.
87	LO(87)	T	Dalgalanma genişliği yok.
91	LO(91)	T	Laboratuar sisteminde aynı uzaklıkta açılar..
92	LO(92)	T	Aynı uzaklıkta açılarda standart gözlenebilirlikler yok.
93	LO(93)	T	Reaksiyonlar için geri tepme düzeltmesi yok.
94	LO(94)	T	Relativistik olmayan Dirac eşitliği
95	LO(95)	T	Relativistik Schrödinger eşitliğinde Coulomb olmayan etkileşme için indirgenmiş enerji ya da Dirac eşitliğinde durgun kütle.
96	LO(96)	T	Relativistik Schrödinger eşitliğinde Coulomb etkileşmesi için indirgenmiş kütle
97	LO(97)	T	Hedefin tüm durumları için eğer farklar küçükse aynı indirgenmiş kütle.
98	LO(98)	T	Çekirdeğin kalan külesine yada çıkan parçacığa Q ekle.
99	LO(99)	T	Dirac denklemlerine eşdeğer Schrödinger
100	LO(100)	T	Tam Dirac denklemi.

3.3 Örnek Veri Giriş Dosyası Ve Açıklaması

ECIS06 kodu ile yapılan hesaplarda aşağıdaki veri dosyasına benzer veri giriş dosyaları kullanıldı. Aşağıdaki veri giriş dosyası Çizelge 4.5'deki (b1) sonucunu elde etmek için yapılmış hesaplamadır. Bu veri giriş dosyasının sonucu Ek A'da verilmektedir. Aşağıdaki örnek veri giriş dosyasının sol tarafına satır numaraları yazıldı. Daha sonra veri dosyasının açıklaması bu satır numaralarına göre yapıldı.

Satır No	Veri Giriş Dosyası
1	p + Zn64 20.4 MEV 1. UYARILMIS DURUM
2	FFFFFFFFFTTTFFFFFFFFFTTFTFTTTFFFFFFFFFFFFFFFF
3	FFFFFFFFFTTFTTFFFFFFFFFTTFTFTTTFFFFFFFFFFFFFFFF
4	2 110 6 5
5	.0625 15.
6	+ 20.4 .5 1.0078 63.929 30.
7	
8	2. + 0.992
9	1 1
10	2 0 .31
11	51.46 1.17 0.750
12	2.140 1.32 0.554
13	
14	7.05 1.32 0.554
15	6.20 1.01 0.750
16	
17	1.250 0.60
18	
19	04. 2. 180.
20	4 05 5050.
21	T 30 1 1
22	20.60 0.552 1.6 0.7
23	25.90 0.513 1.6 0.7
24	31.70 0.482 1.6 0.7
25	36.90 0.469 1.6 0.7
26	42.40 0.642 1.6 0.7
27	46.30 0.769 1.6 0.7
28	51.00 0.768 1.6 0.7
29	55.50 0.484 1.6 0.7
30	62.30 0.202 1.6 0.7
31	67.70 0.0928 1.6 0.7
32	72.20 0.331 1.6 0.7
33	76.40 0.725 1.6 0.7
34	80.90 1.12 1.6 0.7
35	87.30 1.262 1.6 0.7
36	92.00 1.001 1.6 0.7

(devam)

(devami)

37		96.90	0.608	1.6	0.7
38		101.30	0.331	1.6	0.7
39		107.30	0.199	1.6	0.7
40		112.30	0.266	1.6	0.7
41		117.40	0.492	1.6	0.7
42		121.30	0.641	1.6	0.7
43		126.10	0.672	1.6	0.7
44		133.10	0.757	1.6	0.7
45		136.60	0.615	1.6	0.7
46		141.80	0.512	1.6	0.7
47		147.00	0.437	1.6	0.7
48		151.20	0.406	1.6	0.7
49		156.10	0.516	1.6	0.7
50		159.80	0.522	1.6	0.7
51		166.80	0.609	1.6	0.7
52	F 29	1	2		
53		24.8	3.30E-02	7.E-03	0.8
54		29.7	0.101	7.E-03	0.8
55		34.6	0.132	7.E-03	0.8
56		40.2	-2.80E-02	7.E-03	0.8
57		44.6	-0.187	7.E-03	0.8
58		49.6	-0.395	7.E-03	0.8
59		54.5	-0.597	7.E-03	0.8
60		59.3	-0.852	2.70E-02	0.8
61		65.0	0.59	5.00E-02	0.8
62		71.7	0.69	4.00E-02	0.8
63		75.5	0.237	7.E-03	0.8
64		79.8	-2.90E-02	7.E-03	0.8
65		84.2	-0.231	7.E-03	0.8
66		90.7	-0.44	0.11	0.8
67		95.1	-0.651	7.E-03	0.8
68		100.1	-0.795	1.50E-02	0.8
69		106.0	-6.00E-02	4.00E-02	0.8
70		111.7	0.61	4.00E-02	0.8
71		116.4	0.585	2.70E-02	0.8
72		122.0	0.42	7.E-03	0.8
73		126.6	0.319	2.50E-02	0.8
74		130.6	0.18	7.E-03	0.8
75		137.1	-2.20E-02	7.E-03	0.8
76		140.1	-0.39	3.00E-02	0.8
77		145.8	-0.738	2.70E-02	0.8
78		150.4	-0.6	4.00E-02	0.8
79		156.4	-2.00E-02	1.70E-02	0.8
80		161.3	0.51	3.00E-02	0.8
81		166.8	0.863	7.00E-03	0.8

(devam)

(devami)

82	T 30	2			
83		18.9	8.02	1.9	0.8
84		23.9	11.32	1.9	0.8
85		29.4	14.42	1.9	0.8
86		33.7	12.84	1.9	0.8
87		37.9	11.14	1.9	0.8
88		44.7	7.67	1.9	0.8
89		49.8	4.36	1.9	0.8
90		55.1	3.5	1.9	0.8
91		60.3	2.64	1.9	0.8
92		64.6	2.88	1.9	0.8
93		69.4	2.5	1.9	0.8
94		75.7	1.93	1.9	0.8
95		81.1	1.79	1.9	0.8
96		85.3	1.572	1.9	0.8
97		90.6	1.329	1.9	0.8
98		95.4	1.23	1.9	0.8
99		100.2	1.081	1.9	0.8
100		104.3	0.914	1.9	0.8
101		109.1	0.68	1.9	0.8
102		115.4	0.582	1.9	0.8
103		120.2	0.532	1.9	0.8
104		124.	0.581	1.9	0.8
105		128.9	0.66	1.9	0.8
106		135.4	0.667	1.9	0.8
107		139.8	0.851	1.9	0.8
108		144.7	0.918	1.9	0.8
109		150.6	0.928	1.9	0.8
110		156.	0.927	1.9	0.8
111		160.7	0.745	1.9	0.8
112		164.9	0.576	1.9	0.8
113	F 29	2	2		
114		21.2	0.014	8.E-03	0.8
115		24.4	-0.009	8.E-03	0.8
116		31.3	0.019	8.E-03	0.8
117		35.6	-0.037	8.E-03	0.8
118		39.9	-0.11	8.E-03	0.8
119		44.7	-0.178	8.E-03	0.8
120		50.	-0.16	0.08	0.8
121		55.8	-0.224	0.019	0.8
122		60.2	-0.218	0.014	0.8
123		66.1	-0.174	0.029	0.8
124		70.9	-0.152	0.01	0.8
125		76.3	-0.045	0.021	0.8
126		81.7	-0.046	8.E-03	0.8

(devam)

(devamı)

127	86.	0.016	8.E-03	0.8
128	91.8	-0.069	8.E-03	0.8
129	100.9	-0.198	8.E-03	0.8
130	106.2	-0.35	8.E-03	0.8
131	111.	-0.429	0.024	0.8
132	117.	-0.272	8.E-03	0.8
133	121.8	-0.082	8.E-03	0.8
134	126.7	0.176	8.E-03	0.8
135	131.6	0.361	8.E-03	0.8
136	135.9	0.299	8.E-03	0.8
137	141.7	0.06	8.E-03	0.8
138	145.9	-0.16	0.05	0.8
139	151.8	-0.263	0.01	0.8
140	157.1	-0.274	8.E-03	0.8
141	160.4	-0.241	0.02	0.8
142	167.9	0.022	8.E-03	0.8
143	.001	.001	.001	.001 .001
144	1 5 13 17 2001			
145	FIN			

Aşağıda örnek veri giriş dosyasının açıklaması verilmektedir. Açıklamada, satır numaraları veri giriş dosyasındaki satır numaralarına karşılık gelir. Değişken adları sütunu, örnek veri giriş dosyasının her satırdaki sayıların atandığı ECIS06 kodundaki özel değişken isimleridir. Özel değişken ismi olmayanlar boşluk ile gösterilmiştir. Bu değişkenlerin örnek veri giriş dosyasındaki aldıkları değerler değişken değerleri sütununda verilmiştir. Örnek veri giriş dosyasının her satırındaki soldan sağa sıralı ifadeler aşağıdaki açıklamada yukarıdan aşağı olacak şekilde sıralıdır. Açıklama sütununda ise bu değişkenlerin ve ifadelerin ne anlama geldiği verilmektedir.

Satır No	Değişken Adı	Değişken Değeri	Açıklama
1	TITLE	P + Zn64...	Başlık
2	LO(I)	FFF...	Mantıksal değişkenler
3	LO(I)	FFF...	Mantıksal değişkenler
4	NCOLL	2	Nükleer durum sayısı
	NJMAX	110	Kanal spininin maksimum sayısı
	NGR(1)	6	Elastik tesir kesitinin çiziminde logaritmik skala
	NGR(2)	5	Inelastik kanallar için NGR(1) ile aynı
5	H	0.0625	İterasyon adım genişliği
	RM	15	Uyan yarıçap
	SPI	+	Hedef spini
		20.4	Gelen parçacık enerjisi

(devamı)

	SP(1,I) WV(1,I) WV(2,I) SP(3,I)	.5 1.0078 63.929 30.	Gelen parçacık spini Merminin kütlesi(a.k.b.) Hedefin kütlesi (a.k.b.) Gelen parçacığın ve hedefin yüklerinin çarpımı
7	IPH(I)		Taban durumu fonon tanımı. Sıfır yada boşluk.
8	SP(2,I) SPI	2. + 0.992	Uyarılmış nükleer durum spini Uyarılmış nükleer durum paritesi Uyarılmış durum enerjisi
9	IPH(I)	1 1	Durumun tanımı. 1 fonon durumu Fonon numarası
10	NTBA(9,*) NBTA(10,*) BETA(1,*)	2 0 0.31	Açısal momentum Manyetik kuantum sayısı potansiyel için fonon genliği
11	VAL(1) VAL(2) VAL(3) VAL(4)	51.46 1.17 0.750	Hacim reel potansiyel için derinlik Hacim reel potansiyel için indirgenmiş yarıçap Hacim reel potansiyel için yaygınlık Hacim reel potansiyel için ekstra üstel terim
12	VAL(5) VAL(6) VAL(7) VAL(8)	2.140 1.32 0.554	Hacim sanal potansiyel için derinlik Hacim sanal potansiyel için indirgenmiş yarıçap Hacim sanal potansiyel için yaygınlık Hacim sanal potansiyel için ekstra üstel terim
13	VAL(9-12)		Yüzey reel potansiyeller. Sıfır alınmış.
14	VAL(13) VAL(14) VAL(15) VAL(16)	7.05 1.32 0.554	Yüzey sanal potansiyel için derinlik Yüzey sanal potansiyel için indirgenmiş yarıçap Yüzey sanal potansiyel için yaygınlık Yüzey sanal potansiyel için ekstra üstel terim
15	VAL(17) VAL(18) VAL(19) VAL(20)	6.20 1.01 0.750	Spin-yörünge reel potansiyel için derinlik Spin-yörünge reel potansiyel için indirgenmiş yarıçap Spin-yörünge reel potansiyel için yaygınlık Spin-yörünge tensör reel potansiyel için ekstra üstel terim
16	VAL(21-24)		Spin-yörünge sanal potansiyeller. Sıfır alınmış.
17	VAL(26) VAL(27)	1.250 0.60	Coulomb potansiyeli için indirgenmiş yarıçap Coulomb potansiyeli için yaygınlık
18	VAL(29-32)		Spin-yörünge coulomb potansiyeli. Sıfır alınmış.
19		04. 2. 180.	İlk açı Adım sayısı Son açı
20	NCOLR NREC NESSAI ECH	4 05 50 50.	Açısal dağılım sayısı Arama yapılacak parametre sayısı Değerlendirmelerin maksimum sayısı Arama skalası
21	LX NT	T 30 1 1	Mantıksal. Hata payları yüzde olarak verilip verilmediği Veri sayısı Nükleer durum numarası, 1 ise taban durumu gibi Gözlenebilir tanımı. Rutherford, tesir kesiti, analiz gücü

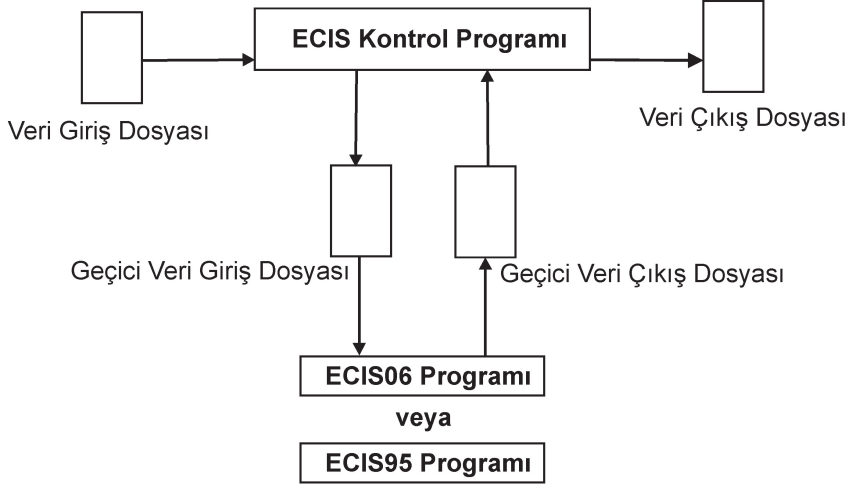
(devam)

(devamı)

22		20.60 0.552 1.6 0.7	Açı Tesir kesiti Hata payı Açının hata payı
23-142			21 ve 22. Satırlarda açıklandığı gibi deneysel degerler
143			Arama parametreleri için hassaslık
144			Arama parametre numaraları
145	TITLE	FIN	Veri dosyası sonu

3.4 ECIS Kontrol Programı

ECIS kodu Microsoft Fortran Compiler ile derlendiğinde bir konsol uygulama dosyası oluşur. Bu uygulama dosyası bir veri giriş dosyasındaki verileri işleyerek veri çıkış dosyasına yazar. ECIS uygulamasının bu özelliği veri giriş ve çıkış dosyalarının kullanıcı tarafından kontrolünü gerektirir. Bu işlem karmaşık ve zaman alıcıdır. Bu kontrol çeşitli yollarla yapılabilir. Bu tezin çalışmaları sırasında veri giriş ve çıkış dosyalarının kontrolünü daha kolay bir hale getirmek için etkileşimli ve kullanıcı dostu, Visual Basic'de yazılmış bir ECIS Kontrol bilgisayar programı Hazırladım. Bu bölümde hazırlamış olduğum bu kontrol programı hakkında bilgiler verilmektedir.



Şekil 3.1: ECIS kontrol programının çalışma diyagramı

Kontrol programının çalışma diyagramı Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Kontrol programı ECIS95 ve ECIS06 sürümlerini kullanabilmekte ve bu sürümler için veri giriş dosyası format tanımlarını da kullanıcıya sunabilmektedir. Kontrol programı kullanıcının istediği bir veri giriş dosyasını geçici bir dosyaya aktararak ECIS uygulamasını çalıştırır.

ECIS uygulaması bu geçici dosya üzerindeki verileri işleyerek geçici çıkış dosyası oluşturur. Bu geçici çıkış dosyası kontrol programında görülüp incelenebilir. Kullanıcı isterse bu geçici çıkış dosyasını depolayabilir. Kontrol programı aracılığıyla veri giriş dosyası üzerinde değişiklikler yaparak hesaplama yaptırılabilir. Ayrıca, ECIS06 sürümü için, kontrol programıyla yeni bir veri giriş dosyasının ilk beş satırı kolayca hazırlanabilmektedir. Yine ECIS06 sürümü için, hesaplama sonucunda oluşan sonuç verilerini kullanarak grafik çizilebilir ve kullanıcının sonuç hakkında daha iyi bilgilenebilmesini sağlayabilmektedir. İstendiği takdirde sonuçlar yazdırılabilir.

Kontrol programının bu özellikleri hesaplamalarda daha hızlı ve etkili bir çalışma ortamı sağlar. Bu tezde yapılan tüm hesaplamalarda kontrol programı kullanılmıştır. Ek B'de ECIS Kontrol Programının bir ekran görüntüsü verilmiştir.

Kontrol programı WINDOWS® platformunda çalışmakta ve Microsoft .NET Framework 4.0 gerekmektedir. Kontrol programı ve kullanım kılavuzu harun.yucel@oposta.omu.edu.tr elektronik posta adresinden istenebilir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Moonen ve ark. tarafından elde edilen 20.4 MeV enerjili polarize protonların ^{64}Zn çekirdeğinden saçılmasına ait diferansiyel tesir kesiti ve analiz gücü verilerinin çiftlenmiş kanal (CC) analizleri yapıldı. Bu metotların teorik bilgisi Bölüm 2’de verilmektedir. Bu çalışmada, Moonen ve ark. tarafından elde edilen polarize protonların ^{64}Zn çekirdeğinden saçılmasına ait taban durumu, 0.992 MeV (2^+) uyarılmış durum, 1.779 MeV (2_2^+) uyarılmış durum ve 2.999 MeV (3_1^-) uyarılmış durum tesir kesiti ile analiz gücü verileri kullanıldı (Moonen ve ark., 1993). Bu çalışmada kullanılan uyarılmış seviyelerin enerjileri, spin ve pariteleri ve veri sayıları Çizelge 4.1’de verilmektedir.

CC parametre aramaları farklı çiftlenim düzenleri için başlangıç parametre setleriyle ayrı ayrı yapıldı ve her bir çiftlenim düzeni için en iyi uyumu veren potansiyel parametreleri ve uyarılmış seviyeler için deformasyon parametreleri elde edildi. Bu çalışmada kullanılan düzenler ve çiftlenmiş denklem sayıları Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.1: Bu çalışmada kullanılan 20.4 MeV enerjili polarize protonların ^{64}Zn çekirdeğinden saçılmasına ait nükleer durum spinleri ve pariteleri, uyarılmış seviye enerjileri ve durumlara ait veri sayıları (Moonen ve ark., 1993) (<http://www-nds.iaea.org/> 06.09.2010 EXFOR (Schwerer, 2008) veri tabanından alınmıştır)

Spin ve parite I^π	Enerji E_x MeV	Tesir Kesiti Veri Sayıları	Analiz Gücü Veri Sayıları	EXFOR Dosya No.
0^+	0.00	30	29	O1109002 ve O1109003
2_1^+	0.992	30	29	O1109010 ve O1109011
2_2^+	1.779	24	23	O1109010 ve O1109011
3_1^-	2.999	29	29	O1109010 ve O1109011

Çizelge 4.2: Bu çalışmada kullanılan düzenler ve bu düzenler için çözülen çiftlenmiş denklem sayıları

Düzenler	Çiftlenmiş denklem sayıları
$(0^+, 2_1^+)$	6
$(0^+, 3_1^-)$	8
$(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$	11

İlk olarak, taban durumu ve 0.992 MeV (2^+) uyarılmış durum verilerini içeren ($0^+, 2_1^+$) düzeni bir fonon durumu kullanılarak çiftlenmiş kanal parametre aramaları yapıldı. Aramalarda Çizelge 4.4'ün her bir sütunundaki parametre setleri başlangıç parametreleri olarak alındı. Aramalar dört potansiyel (hacim reel, hacim sanal, yüzey sanal, reel spin-yörünge potansiyeli) ve $\beta(2_1^+)$ değeri için yapıldı. Arama sonucunda her bir başlangıç parametre setine karşılık yeni parametre setleri elde edildi. Sonra benzer bir işlem taban durumu ve 2.999 MeV (3^-) uyarılmış durum verilerini içeren ($0^+, 3_1^-$) düzeni bir fonon durumuna ve taban durumu, 0.992 MeV (2^+) ve 1.779 MeV (2_2^+) uyarılmış durum verilerini içeren ($0^+, 2_1^+, 2_2^+$) düzeni iki fonon durumuna uygulandı. Bu işlemler sonucunda her bir düzen için her bir başlangıç parametre setine karşılık yeni parametre setleri elde edildi. Yapılan işlemlerin bir gösterimi Çizelge 4.3'de verilmektedir. Çizelge 4.3'de başlangıç parametre setlerine (a), (b), (c) gibi, arama sonucunda elde edilen yeni parametre setlerine ise (a1), (b1), (c3) gibi isimler verilmiştir. Aynı harfler aynı başlangıç parametre setinden farklı düzenler için elde edilmiş parametre setlerini göstermektedir. Sayılar ise düzenleri belirtmektedir. Bu isimlendirmeler çalışma boyunca kullanılmıştır. Ayrıca ($0^+, 2_1^+, 2_2^+$) düzeni CC parametre aramaları esnasında 2_2^+ 'nin nükleer durum fonksiyonu için de araştırmalar yapıldı. Ayrıntılar ilerleyen bölümlerde açıklanmaktadır.

Çizelge 4.3: Bu çalışmada yapılan parametre aramalarının gösterimi. Her sütunda bir başlangıç parametre seti ve farklı düzenler için söz konusu parametre seti ile elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

Başlangıç parametre setleri Çizelge 4.4	(Moonen ve ark., 1993) (a)	(Jabbour ve ark., 1987a) (b)	(Tait and Edwards, 1973) (c)	(Lewis ve ark., 1968) (d)
($0^+, 2_1^+$) düzeni için elde edilen parametre setleri Çizelge 4.5	(a1)	(b1)	(c1)	(d1)
($0^+, 3_1^-$) düzeni için elde edilen parametre setleri Çizelge 4.7	(a2)	(b2)	(c2)	(d2)
($0^+, 2_1^+, 2_2^+$) düzeni için elde edilen parametre setleri Çizelge 4.11	(a3)	(b3)	(c3)	(d3)

Çizelge 4.4: Başlangıç parametreleri. Coulomb parametreleri $r_c = 1.25$ (fm), $a_c = 0.60$ (fm) olarak alınmıştır. (a), (b), (c), (d) sütun harfleri Çizelge 4.3’de ki tanıma karşılık gelmektedir.

Parametreler	Başlangıç Parametreleri			
	(Moonen ve ark., 1993) (a)	(Jabbour ve ark., 1987a) (b)	(Tait and Edwards, 1973) (c)	(Lewis ve ark., 1968) (d)
$V_v(MeV)$	52.96	51.46	51.589	45.66
$r_v(fm)$	1.17	1.17	1.131	1.125
$a_v(fm)$	0.74	0.75	0.755	0.78
$W_v(MeV)$	1.09	2.14	2.592	6.7
$r_w(fm)$	1.24	1.32	1.271	1.33
$a_w(fm)$	0.63	0.554	0.695	0.656
$W_s(MeV)$	8.24	7.05	5.803	2.5
$r_w(fm)$	1.24	1.32	1.271	1.33
$a_w(fm)$	0.63	0.554	0.695	0.656
$V_{so}(MeV)$	5.49	6.2	6.446	6.49
$r_{so}(fm)$	0.96	1.01	1.064	1.02
$a_{so}(fm)$	0.51	0.75	0.752	0.706
$\beta(2_1^+)$	0.26	0.31	0.232	0.235
$\beta(3_1^-)$	0.22	0.25	0.248	0.235
$\beta(2_2^+)^1$	0.26	0.31	0.232	0.235

¹ Bu değerler yazarların çalışmalarından alınmamıştır.

4.1 Hazırlıklar

Çalışmaya hazırlık olarak şunlar yapılmıştır.

1. Paket ID’si NEA-0850/18 DATA BANK (<http://www.oecd-nea.org/tools/abstract/detail/nea-0850/>, 07.03.2011) olan ECIS06 kodu temin edildi. Ayrıca bu kod (<http://www-nds.iaea.org/RIPL-3/codes/ECIS/>, 07.03.2011) adresinden de temin edilebilir.
2. Hesapla ilgili teorik bilgiler öğrenildi (Taşan, 2001; Raynal, 1994).
3. ECIS06 kodunu derlemek için gfortran¹ derleyici sağlandı ve program derlenerek çalıştırıldı. Örnek veri giriş ve çıkış dosyaları incelendi ve kullanımı öğrenildi (Taşan, 2001).

¹<http://gcc.gnu.org/wiki/GFortranBinaries/Windows>

4. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Nükleer Data Servisi (International Atomic Energy Agency <http://www-nds.iaea.org/> , 06.09.2010) EXFOR (Schwerer, 2008) (Experimental Nuclear Reaction Data) veri tabanından, 20.4 MeV enerjide protonların ^{64}Zn çekirdeğinden saçılmasına ait Moonen ve ark. tarafından elde edilen veriler temin edildi (Moonen ve ark., 1993).
5. Çalışmada yapılacak hesaplamalar için veri dosyaları ECIS06'nın kabul ettiği düzende hazırlandı. Bu düzen Bölüm 3.3'de anlatılmaktadır.
6. ECIS06 kodu ile daha hızlı ve etkili çalışabilmek için küçük bir kontrol programı hazırlandı ve çalışmalarda kullanıldı. Bu kontrol programı Bölüm 3.4'de anlatılmaktadır.
7. ^{64}Zn çekirdeği için eski yapılmış çalışmalar incelendi. Polarize olan veya olmayan protonların ^{64}Zn çekirdeğinden saçılmasına ait Moonen ve ark. tarafından (Moonen ve ark., 1993), Jabbour ve ark. tarafından (Jabbour ve ark., 1987a), Tait ve ark. tarafından (Tait and Edwards, 1973) ve Lewis ve ark. tarafından (Lewis ve ark., 1968) elde edilen optik model parametreleri ile $\beta(2_1^+)$ ve $\beta(3_1^-)$ parametreleri bu çalışmada başlangıç parametresi olarak kullanıldı. $\beta(2_2^+)$ parametresi başlangıç olarak $\beta(2_1^+)$ parametresi ile eşit alındı. Bu parametreler Çizelge 4.4'ün (a), (b), (c) ve (d) sütunlarında verilmektedir.
8. $(0^+, 2_1^+)$ düzeni için model taraması yapıldı. Bu aşamada Çizelge 4.4'ün (a), (b), (c), (d) sütunlarındaki başlangıç parametrelerinin her biri kullanılarak birinci mertebeye titreşim modeli, ikinci mertebeye titreşim modeli, simetrik dönme modeli ve asimmetrik dönme modeli için parametre aramaları yapıldı. Aramalar beş parametre (hacim reel, hacim sanal, yüzey sanal, reel spin-yörünge potansiyelleri ve $\beta(2_1^+)$ değeri) için yapıldı. Aramalar sonucunda tüm parametreler için birinci mertebeye titreşim modelinin en iyi uyumu verdiği görüldü. Ayrıca Moonen Parametreleri üzerine arama yapılarak elde edilen parametreler tüm modeller için iyi uyum vermektedir. Bu çalışmada birinci mertebeye titreşim modeli kullanıldı.
9. 2_2^+ 1.779 MeV uyarılmış durumun iki fonon durumu olduğu bilinmektedir. ECIS kodu ile $(0^+, 2_2^+)$ düzeni iki fonon durumu CC hesaplaması birinci mertebeye titreşim modelinde yapılamamaktadır. Bu hesaplama ikinci mertebeye titreşim modelinde

yapılabilmektedir. Ancak $(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ düzeni kullanılarak iki fonon durumu CC hesaplaması birinci mertebeye titreşim modelinde yapılabilmektedir (Jabbour ve ark., 1987a). Bu çalışmada $(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ düzeni kullanılmıştır.

10. $(0^+, 2_1^+)$ düzeni bir fonon durumu CC hesaplaması verilerin hata payları değiştirilerek yapıldı. Taban durumu tesir kesiti verileri için orijinal hata payı %1.6 'dır. %5, %10 gibi büyük hata payları için parametre aramaları yapıldı ve bulunan sonuçların aynı olduğu fakat χ^2/N değerlerinin düştüğü gözlemlendi. Analiz gücü ve tesir kesiti verilerindeki orijinal hata payları arasında büyük farklar olduğu için bu çalışmada hata paylarında değişiklik yapılmadan orijinal hata payları kullanıldı. Bu hata payları da bu çalışmada çizilen grafiklere yansıtıldı. Bu çalışmada büyük χ^2/N değerleri bulunmasına rağmen farklı düzenlerde yapılan hesaplama sonuçlarının karşılaştırılması açısından önemli bir parametre olmuştur.

4.2 $(0^+, 2_1^+)$ Düzeni İçin Çiftlenmiş Kanal Parametre Araması

20.4 MeV enerjili polarize protonların ^{64}Zn çekirdeğinden saçılmasına ait taban durumu verileri ve 0.992 MeV uyarılmış durum verileri kullanılarak $(0^+, 2_1^+)$ düzeni oluşturuldu. 2_1^+ 'nin nükleer durum fonksiyonunun bir fonon durumu olduğu varsayıldı. Bu

Çizelge 4.5: $(0^+, 2_1^+)$ düzeni bir fonon durumu için arama sonunda elde edilen parametreler. (a1), (b1), (c1), (d1) sütun harfleri Çizelge 4.3'de ki tanıma karşılık gelmektedir.

Parametreler	(a1)	(b1)	(c1)	(d1)
$V_v(\text{MeV})$	51.412	51.547	53.975	54.112
$r_v(\text{fm})$	1.17	1.17	1.131	1.125
$a_v(\text{fm})$	0.74	0.75	0.755	0.78
$W_v(\text{MeV})$	0.14	2.051	0.046	1.897
$r_w(\text{fm})$	1.24	1.32	1.271	1.33
$a_w(\text{fm})$	0.63	0.554	0.695	0.656
$W_s(\text{MeV})$	8.063	7.099	7.569	6.002
$r_w(\text{fm})$	1.24	1.32	1.271	1.33
$a_w(\text{fm})$	0.63	0.554	0.695	0.656
$V_{so}(\text{MeV})$	5.020	5.976	5.938	5.885
$r_{so}(\text{fm})$	0.96	1.01	1.064	1.02
$a_{so}(\text{fm})$	0.51	0.75	0.752	0.706
$\beta(2_1^+)$	0.2208	0.2258	0.2306	0.2339

durum Denklem 2.48 de gösterildiği gibidir. $(0^+, 2_1^+)$ düzeni için altı çiftlenmiş denklem çözülmüştür. $(0^+, 2_1^+)$ için yapılan çalışmada, Çizelge 4.4'deki başlangıç parametre setlerinin her biri için parametre aramaları yapıldı. Aramalar dört potansiyel (hacim reel, hacim sanal, yüzey sanal ve reel spin-yörünge potansiyeli) ve $\beta(2_1^+)$ değeri için yapıldı. Hesaplamalarda birinci mertebeye titreşim modeli bir fonon durumu ve $(0^+, 2_1^+)$ düzeni ile CC hesabı yapıldı. Alınan sonuçlar Çizelge 4.5'de verilmektedir.

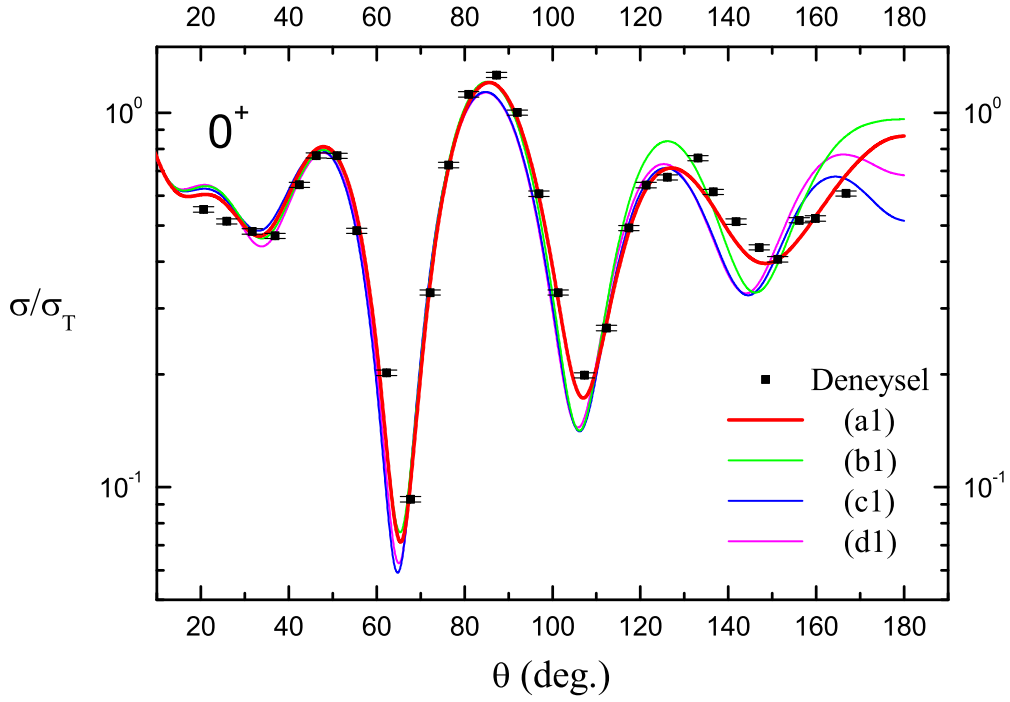
Aramalar sonucu bulunan parametreler ile yapılan hesaplamaların deneysel verilerle uyumunu gösteren χ^2/N değerleri Çizelge 4.6'da gösterilmektedir. Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi en düşük χ^2/N değerlerini Çizelge 4.5'ün (a1) sütunundaki parametre seti vermektedir. Sadece 2_1^+ 'nin analiz gücü χ^2/N değeri farklılık göstermektedir.

Şekil 4.1'deki taban durumu tesir kesiti için çizilen grafikte, büyük açılar için Çizelge 4.5'in (b1), (c1) ve (d1) sütunlarındaki parametreler ile yapılan hesaplamalar sapma

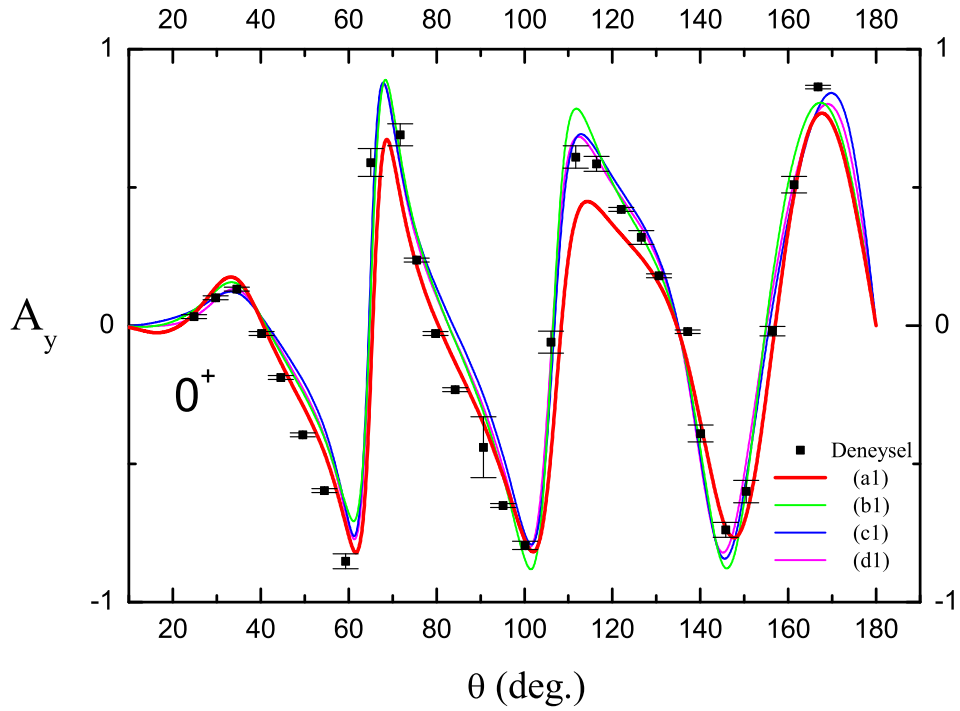
Çizelge 4.6: $(0^+, 2_1^+)$ düzeni için diferansiyel tesir kesiti ve analiz gücü $\chi^2/(N)$ değerleri, tablodaki sütun harfleri Çizelge 4.5'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.

Durumlar	(a1)	(b1)	(c1)	(d1)
$0^+(\chi^2/N_\sigma)$	53.64	135.08	199.09	189.65
$0^+(\chi^2/N_{Ay})$	83.83	133.85	191.78	145.33
$2_1^+(\chi^2/N_\sigma)$	149.55	228.51	155.99	230.05
$2_1^+(\chi^2/N_{Ay})$	148.48	201.41	137.16	132.29

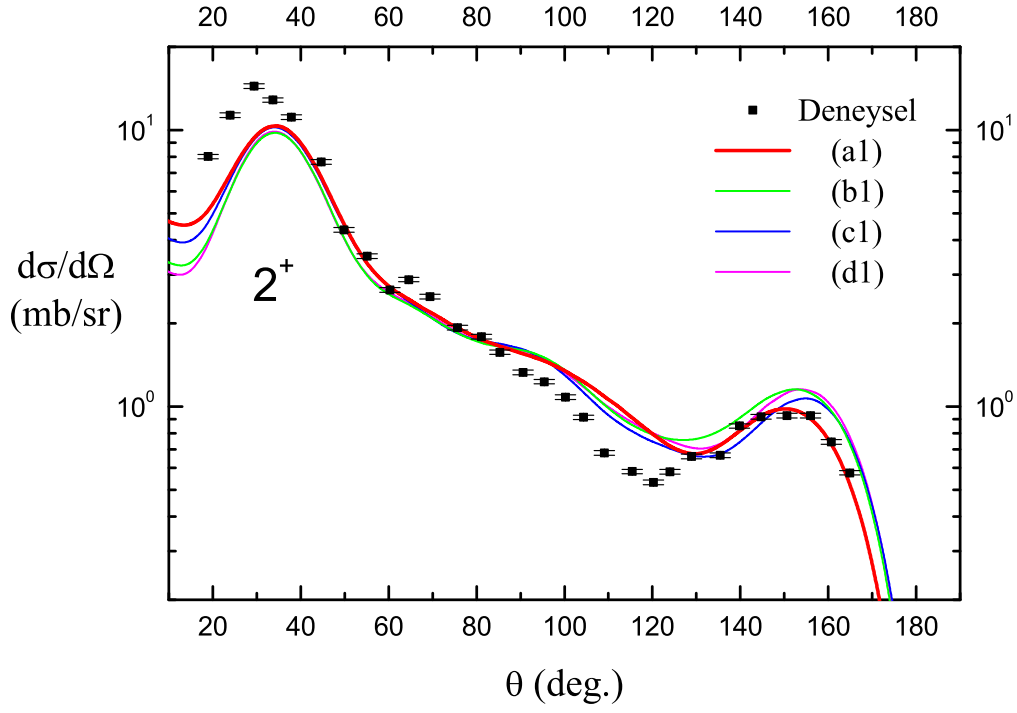
göstermektedir. Çizelge 4.5'in (b1) sütunundaki parametreler ile yapılan hesaplama sonucunda Şekil 4.2'de görülen taban durumu analiz gücü grafiğinde uç noktalarda sapmalar görülmektedir. Şekil 4.3'deki 0.992 MeV (2^+) uyarılmış durum diferansiyel tesir kesiti grafiğinde 80° ile 130° aralığında tüm parametreler için deneysel değerlerle teorik hesap arasında belirgin fark görülmektedir. Bu durum Moonen ve ark. tarafından aynı verilerle 0.992 MeV (2^+) uyarılmış durum için yapılan DWBA analizinde de görülmektedir (Moonen ve ark., 1993). Ayrıca CC analizinde küçük açılarda da sapmalar görülmektedir. Bu çalışmada, 0.992 MeV (2^+) uyarılmış durum için elde edilen $\beta(2_1^+)$ parametresi Nuclear Data Sheet 64 'de raporlanan (0.26, 0.27, 0.31, 0.235, 0.243, ...) $\beta(2_1^+)$ değerlerine göre küçüktür (Singh, 2007). Şekil 4.4'deki 0.992 MeV (2^+) uyarılmış durum analiz gücü grafiğinde en iyi uyumu Çizelge 4.5'in (d1) sütunundaki parametreler ile yapılan hesaplamının verdiği görülmekte ve Çizelge 4.6'nin (d1) sütunundaki χ^2/N değeri de bunu desteklemektedir.



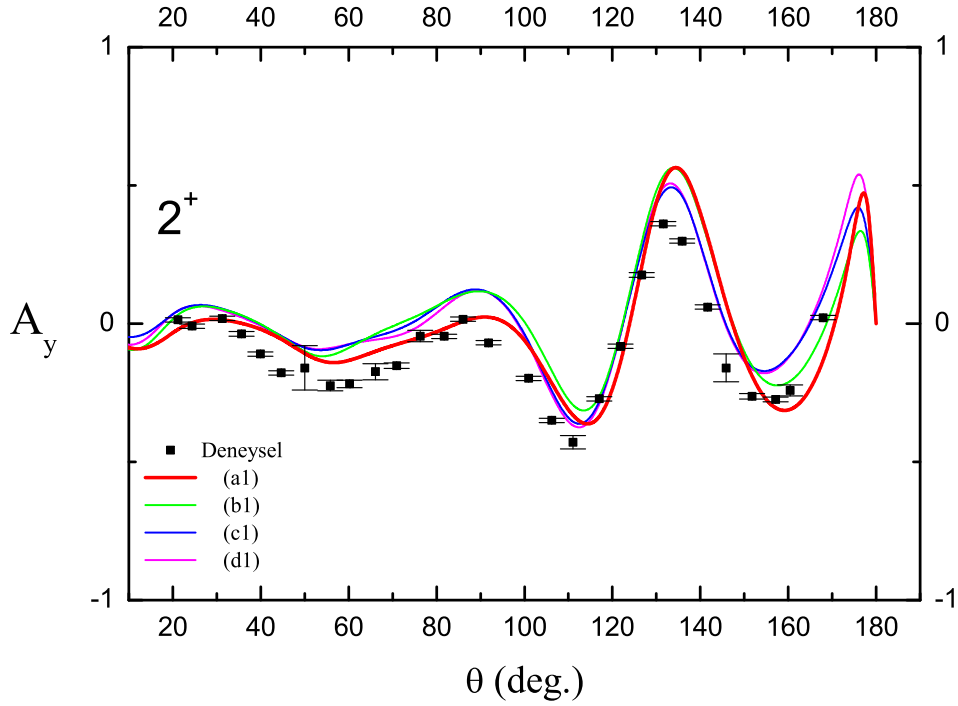
Şekil 4.1: Arama sonucunda ($0^+, 2_1^+$) düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan taban durumu tesir kesitinin, Rutherford tesir kesitine oranı ile deneysel verilerin grafiği. (a1), (b1), (c1), (d1) sütun harfleri Çizelge 4.5'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.



Şekil 4.2: Arama sonucunda ($0^+, 2_1^+$) düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan taban durumu analiz gücü ile deneysel verilerin grafiği. (a1), (b1), (c1), (d1) sütun harfleri Çizelge 4.5'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.



Şekil 4.3: Arama sonucunda ($0^+, 2_1^+$) düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan 0.992 MeV (2^+) uyarılmış durum tesir kesiti ile deneysel verilerin grafiği. (a1), (b1), (c1), (d1) sütun harfleri Çizelge 4.5'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.



Şekil 4.4: Arama sonucunda ($0^+, 2_1^+$) düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan 0.992 MeV (2^+) uyarılmış durum analiz gücü ile deneysel verilerin grafiği. (a1), (b1), (c1), (d1) sütun harfleri Çizelge 4.5'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.

4.3 $(0^+, 3_1^-)$ Düzeni İçin Çiftlenmiş Kanal Parametre Araması

20.4 MeV enerjili polarize protonların ^{64}Zn çekirdeğinden saçılmasına ait taban durumu verileri ve 2.999 MeV (3^-) uyarılmış durum verileri kullanılarak $(0^+, 3_1^-)$ düzeni oluşturuldu. 3_1^- 'nin nükleer durum fonksiyonunun bir fonon durumu olduğu varsayıldı. Bu durum Denklem 2.48 de gösterildiği gibidir. $(0^+, 3_1^-)$ düzeni için altı çiftlenmiş denklem çözülmüştür. $(0^+, 3_1^-)$ için yapılan çalışmada, Çizelge 4.4'deki başlangıç parametre setlerinin her biri için parametre aramaları yapıldı. Aramalar dört potansiyel (hacim reel, hacim anal, yüzey sanal ve reel spin-yörünge potansiyeli) ve $\beta(3_1^-)$ değeri için yapıldı. Hesaplamalarda birinci mertbe titreşim modeli bir fonon durumu ve $(0^+, 3_1^-)$ düzeni ile CC hesabı yapıldı. Alınan sonuçlar Çizelge 4.7'de verilmektedir.

Çizelge 4.7: $(0^+, 3_1^-)$ düzeni bir fonon durumu için yapılan arama sonunda elde edilen parametreler. (a2), (b2), (c2), (d2) sütun harfleri Çizelge 4.3'de ki tanıma karşılık gelmektedir.

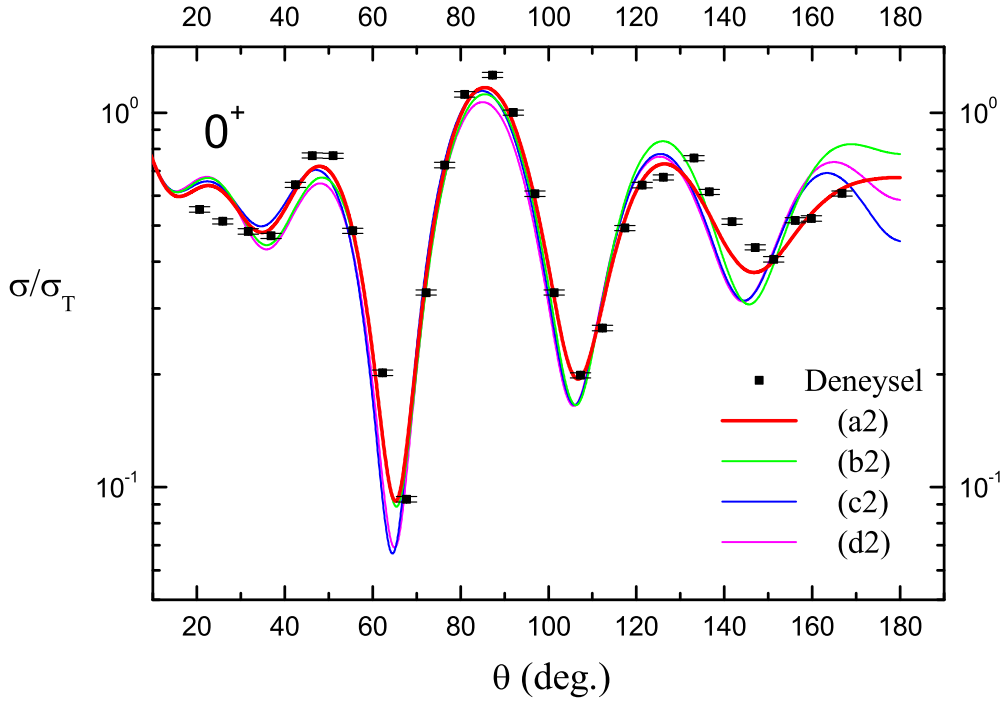
Parametreler	(a2)	(b2)	(c2)	(d2)
$V_v(MeV)$	52.060	52.208	54.685	55.143
$r_v(fm)$	1.17	1.17	1.131	1.125
$a_v(fm)$	0.74	0.75	0.755	0.78
$W_v(MeV)$	1.850	4.388	2.038	4.375
$r_w(fm)$	1.24	1.32	1.271	1.33
$a_w(fm)$	0.63	0.554	0.695	0.656
$W_s(MeV)$	7.100	5.282	6.327	4.309
$r_w(fm)$	1.24	1.32	1.271	1.33
$a_w(fm)$	0.63	0.554	0.695	0.656
$V_{so}(MeV)$	5.836	6.864	6.469	6.516
$r_{so}(fm)$	0.96	1.01	1.064	1.02
$a_{so}(fm)$	0.51	0.75	0.752	0.706
$\beta(3_1^-)$	0.2077	0.2146	0.2218	0.2268

Aramalar sonucu bulunan parametreler ile yapılan hesaplamaların deneysel verilerle uyumunu gösteren χ^2/N değerleri Çizelge 4.8'de gösterilmektedir. Çizelge 4.8'de görüldüğü gibi en düşük χ^2/N değerini, $(0^+, 2_1^+)$ düzeninde elde ettiğimiz sonuca benzer olarak Çizelge 4.7'nin (a2) sütunundaki parametreler vermektedir. Bu durum Şekil 4.5'de daha iyi görülmektedir. Taban durumu tesir kesiti için çizilen grafikte, büyük açılar için 'nin (b2), (c2), (d2) sütunlarındaki parametreler ile yapılan hesaplamalar sapma göster-

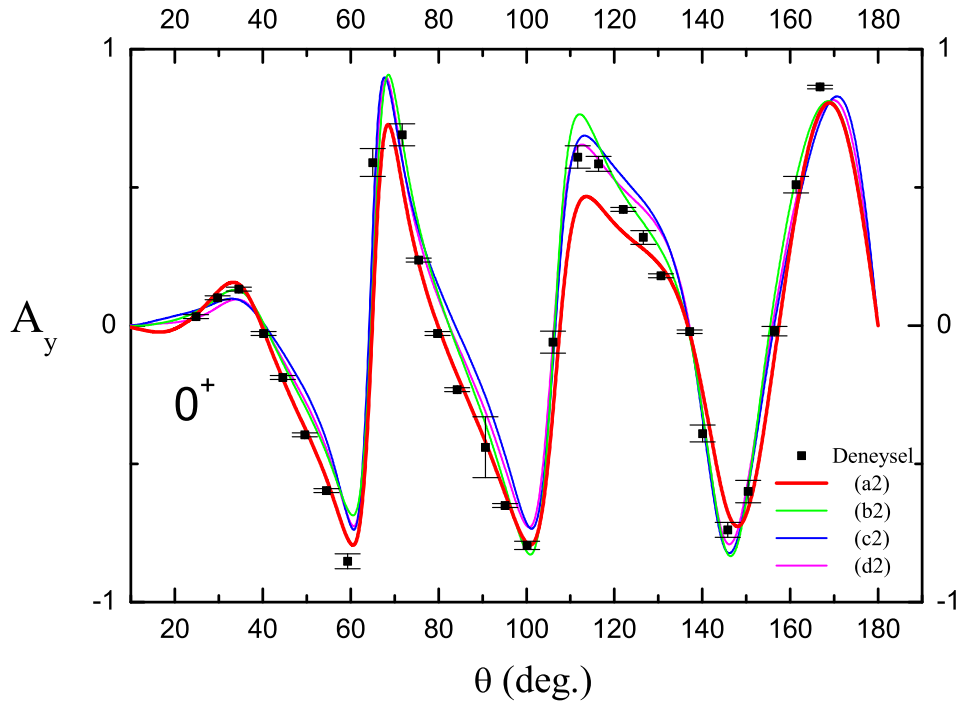
Çizelge 4.8: $(0^+, 3_1^-)$ düzeni için diferansiyel tesir kesiti ve analiz gücü $\chi^2/(N)$ değerleri, tablodaki sütun harfleri Çizelge 4.7'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.

Durumlar	(a2)	(b2)	(c2)	(d2)
$0^+(\chi^2/N_\sigma)$	69.29	144.93	216.17	211.32
$0^+(\chi^2/N_{Ay})$	28.16	89.10	182.93	115.61
$3_1^-(\chi^2/N_\sigma)$	133.30	191.84	150.09	190.07
$3_1^-(\chi^2/N_{Ay})$	53.30	32.83	25.93	32.26

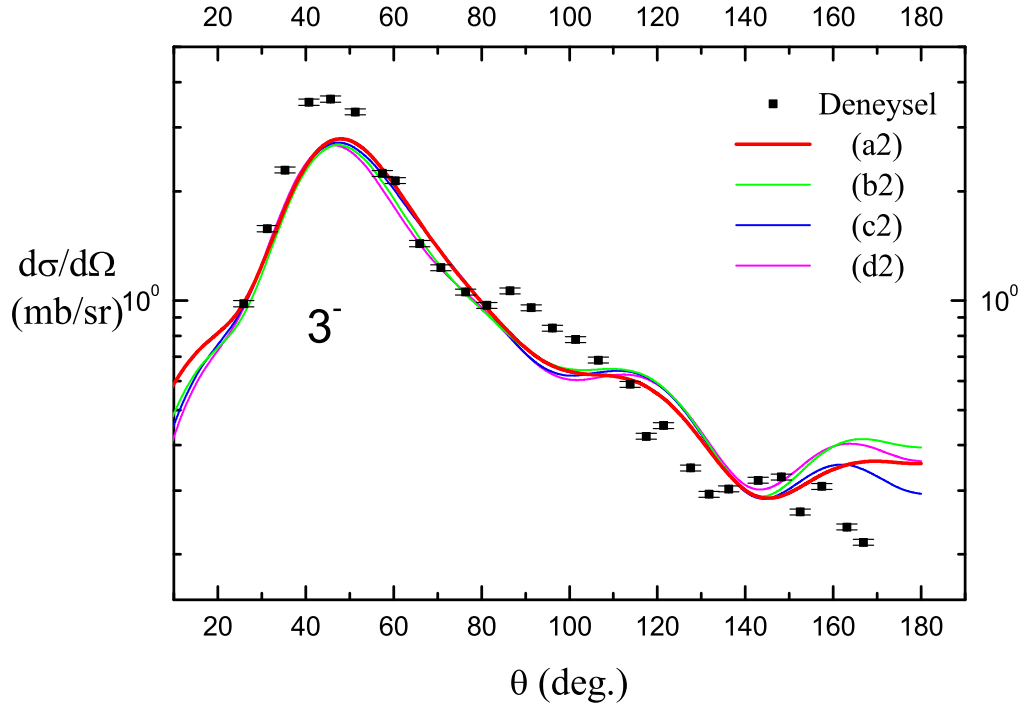
mektedir. (b2) sütunundaki parametreler ile yapılan hesaplama sonucunda Şekil 4.6'da görülen taban durumu analiz gücü grafiğinde uç noktalarda sapmalar görülmektedir. Şekil 4.7'deki 2.999 MeV (3^-) uyarılmış durum diferansiyel tesir kesiti grafiğinde büyük açılarda tüm parametreler için teorik hesaplar sapma göstermektedir. Şekil 4.7'deki 2.999 MeV (3^-) uyarılmış durum analiz gücü grafiğinde büyük açılarda uyumsuzluklar görülmektedir. Bu durum Moonen ve ark. tarafından yapılan 2.999 MeV (3_1^-) uyarılmış durum DWBA analizinde de görülmektedir (Moonen ve ark., 1993). Bunun nedeni deneysel bir hata olabilir. Kolektif yaklaşımda 20.4 MeV enerjili polarize protonların ^{64}Zn çekirdeğinden saçılmaları aynı enerjili protonların ^{64}Ni çekirdeğinden saçılmalarına benzer olmalıdır. Fakat Hall ve ark. tarafından yapılan 20.4 MeV enerjili polarize protonların ^{64}Ni çekirdeğinden saçılmasının DWBA analizinde ^{64}Ni 'ün 3_1^- uyarılmış durumunun analiz gücü grafiğinde büyük açılar için DWBA hesabı uyumludur (vanHall ve ark., 1989). Çizelge 4.8'de 2.999 MeV (3^-) uyarılmış durum analiz gücü için χ^2/N değerleri küçüktür. Bu değerlerin küçük olmasının sebebi deneysel değerlerin hata paylarının büyük olmasıdır. 2.999 MeV (3^-) uyarılmış durum analiz gücü için en küçük χ^2/N değerini Çizelge 4.7'nin (c2) sütunundaki parametreler vermektedir.



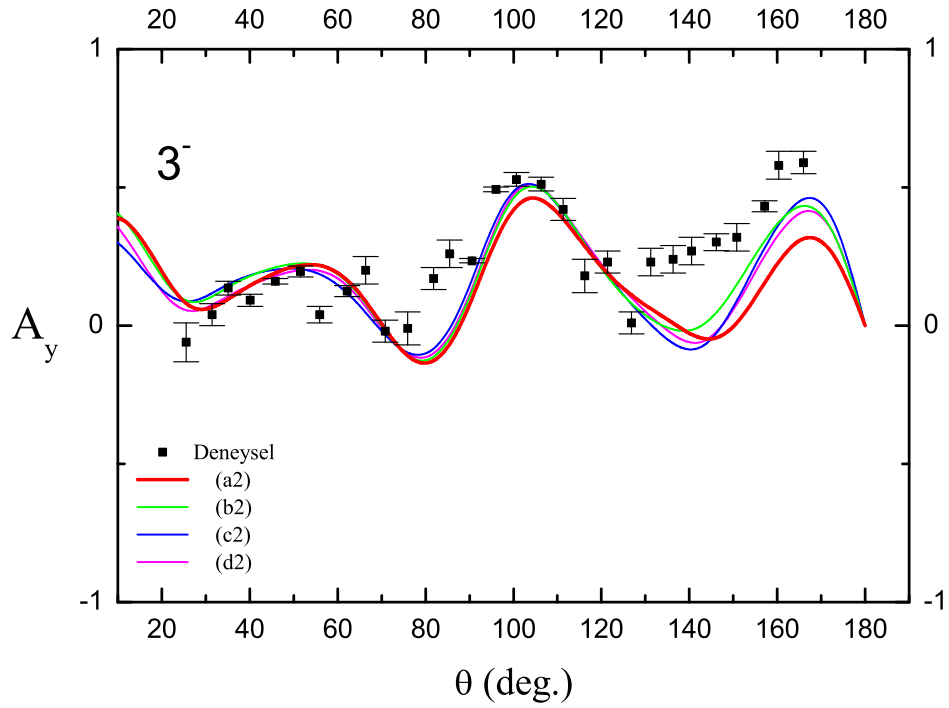
Şekil 4.5: Arama sonucunda ($0^+, 3_1^-$) düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan taban durumu tesir kesitinin, Rutherford tesir kesitine oranı ile deneysel verilerin grafiği. (a2), (b2), (c2), (d2) sütun harfleri Çizelge 4.7'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.



Şekil 4.6: Arama sonucunda ($0^+, 3_1^-$) düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan taban durumu analiz gücü ile deneysel verilerin grafiği. (a2), (b2), (c2), (d2) sütun harfleri Çizelge 4.7'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.



Şekil 4.7: Arama sonucunda $(0^+, 3_1^-)$ düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan $2.999 \text{ MeV } (3^-)$ uyarılmış durum tesir kesiti ile deneysel verilerin grafiği. (a2), (b2), (c2), (d2) sütun harfleri Çizelge 4.7'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.



Şekil 4.8: Arama sonucunda $(0^+, 3_1^-)$ düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan $2.999 \text{ MeV } (3^-)$ uyarılmış durum analiz gücü ile deneysel verilerin grafiği. (a2), (b2), (c2), (d2) sütun harfleri Çizelge 4.7'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.

4.4 $(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ Düzeni İçin Çiftlenmiş Kanal Parametre Araması

^{64}Zn çekirdeğinin taban durumu verileri, 0.992 MeV (2^+) uyarılmış durum verileri ve 1.779 MeV (2_2^+) uyarılmış durum verileri kullanılarak $(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ düzeni oluşturuldu. İlk olarak 2_2^+ 'nin nükleer durum dalga fonksiyonunun ne olacağı araştırıldı. Literatürde 2_2^+ durumu için iki tanım vardır. Birincisi iki fonon tanımı (Bohr and Mottelson, 1953), ikincisi iki fonon ile bir fonon durumlarının karışımıdır (Jabbour ve ark., 1987a). İki fonon durumları için sade iki fonon hesabının deneysel verilerle iyi uyum vermediği bilinmektedir (Tamura, 1965). Bu nedenle tez çalışmasında 2_2^+ uyarılmış seviyesi için karışık tip tanımı kullanıldı. Bu tanım Bölüm 2'de Denklem 2.49 ile verilmektedir. CC hesaplamasına iki yeni bağımsız parametre eklenir. Birincisi bir fonon genliği β_I ve ikincisi karışım açısı ϕ 'dir. Karışım açısı bir ve iki fonon bileşenlerinin karışım büyüklüklerinin bir ölçüsüdür.

$(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ düzeni için Çizelge 4.4'deki başlangıç parametrelerinin her biri için potansiyel parametreleri (hacim reel, hacim sanal, yüzey sanal ve reel spin-yörünge potansiyeli) ve $\beta(2_1^+)$, $\beta(2_2^+)$ deformasyon parametreleri arandı. Bu arama işlemleri farklı karışım açıları için de tekrarlandı ve χ^2/N değerleri kaydedildi. Alınan sonuçlar ile hesaplanmış 2_2^+ uyarılmış seviye χ^2/N değerleri Çizelge 4.9'de verilmektedir. Çizelge 4.10'de ise elde edilen $\beta(2_1^+)$, $\beta(2_2^+)$ deformasyon parametreleri verilmektedir. Çizelge 4.9'de taban durumu ve birinci uyarılmış durum (2_1^+) χ^2/N değerleri gösterilmemiştir. Çizelgede (a), (b), (c), (d) satır harfleri Çizelge 4.4'deki sütun harflerine karşılık gelir.

Çizelge 4.9: Farklı karışım açıları için bulunan parametreler ile yapılan hesaplamaların $\chi^2/(N)$ değerleri. (a), (b), (c), (d) harfleri Çizelge 4.4'deki başlangıç parametrelerine karşılık gelmektedir.

Parametre Setleri	Durumlar	15°	25°	35°	45°	55°	65°	75°	85°
(a)	$2_2^+(\chi^2/N_\sigma)$	545.07	2760.51	484.06	445.97	407.51	372.25	334.88	284.77
	$2_2^+(\chi^2/N_{Ay})$	554.90	602.18	500.57	537.34	582.60	628.63	676.94	716.31
(b)	$2_2^+(\chi^2/N_\sigma)$	6066.46	180.69	184.04	188.52	190.22	190.33	189.16	188.11
	$2_2^+(\chi^2/N_{Ay})$	330.45	284.64	309.07	347.06	393.54	435.99	468.49	486.11
(c)	$2_2^+(\chi^2/N_\sigma)$	288.64	269.66	273.65	283.10	271.54	201.62	164.51	151.22
	$2_2^+(\chi^2/N_{Ay})$	267.62	195.56	177.20	182.55	209.54	261.32	284.25	295.54
(d)	$2_2^+(\chi^2/N_\sigma)$	211.41	189.91	186.84	185.61	175.61	144.56	125.38	117.65
	$2_2^+(\chi^2/N_{Ay})$	137.40	105.11	102.33	110.95	129.31	152.41	166.35	173.34

Çizelge 4.10: Arama sonucunda bulunan β değerleri. (a), (b), (c), (d) harfleri Çizelge 4.4.'deki başlangıç parametrelerine ve Çizelge 4.4.'daki satır harflerine karşılık gelmektedir.

Parametre Setleri	β Değerleri	15°	25°	35°	45°	55°	65°	75°	85°
(a)	$\beta(2_1^+)$	0.219	0.218	0.219	0.219	0.219	0.219	0.221	0.226
	$\beta(2_2^+)$	0.054	0.033	0.059	0.063	0.070	0.084	0.118	0.284
(b)	$\beta(2_1^+)$	0.219	0.216	0.215	0.213	0.211	0.210	0.209	0.209
	$\beta(2_2^+)$	0.026	0.055	0.057	0.061	0.069	0.087	0.134	0.384
(c)	$\beta(2_1^+)$	0.231	0.230	0.228	0.228	0.231	0.238	0.237	0.236
	$\beta(2_2^+)$	0.059	0.059	0.060	0.063	0.065	0.059	0.076	0.201
(d)	$\beta(2_1^+)$	0.233	0.233	0.233	0.232	0.236	0.239	0.239	0.238
	$\beta(2_2^+)$	0.059	0.059	0.060	0.062	0.062	0.063	0.083	0.221

Çizelge 4.9'de genel bir eğilim olarak, her bir parametre seti için karışım açısı artıkça 2_2^+ tesir kesiti uyumunu gösteren χ^2/N değerinin düştüğü, fakat 2_2^+ analiz gücü uyumunu gösteren χ^2/N değerinin arttığı görünmektedir. Çizelge 4.9'de görülen önemli bir nokta da, Çizelge 4.9'in (b) satırında görülen her iki χ^2/N değerinin 25° 'de en düşük değerine ulaşmasıdır. Bunun haricinde başka bir açı için her iki χ^2/N değerinin de en düşük olduğu durum yoktur.

Daha önce benzer bir CC hesaplaması Jabbour ve ark. tarafından 22 MeV enerjili protonların ^{64}Zn çekirdeğinden saçılmaları için yapıldı. Jabbour ve ark. yaptıkları $(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ düzeni karışık tip hesaplamasında en iyi uyumu veren karışım açısını 20° ve $\beta(2_2^+)$ değerini 0.03 olarak buldu (Jabbour ve ark., 1987a). Bu çalışmada da Jabbour ve ark.'nın optik model parametreleri (Çizelge 4.4'de (b) sütunu) üzerine yaptığımız aramada elde ettiğimiz sonuç onlarınkine yakındır.

Çizelge 4.10'deki β değerlerinde karışım açısı artıkça $\beta(2_1^+)$ çok değişmediği fakat $\beta(2_2^+)$ değerinin arttığı görünmektedir. Çizelge 4.10'un (a) satırında ki 25° ye karşılık gelen $\beta(2_2^+)$ değeri daha önce bu çekirdek için bulunmuş olan $\beta(2_2^+)$ değerine yakındır. Çizelge 4.10'da ki β değerlerinde ise 25° ye karşılık (b) satırındaki $\beta(2_2^+)$ değeri en iyi uyumu vermektedir. Bu değer 0.055 olup Jabbour ve ark. tarafından elde edilen değer ile uyumludur.

Çizelge 4.11'de 25° 'lik karışımında aramalar sonucu elde edilen parametreler verilmektedir. Çizelge 4.12'de ise bu parametrelerle yapılan hesaplamalar sonucunda deney-

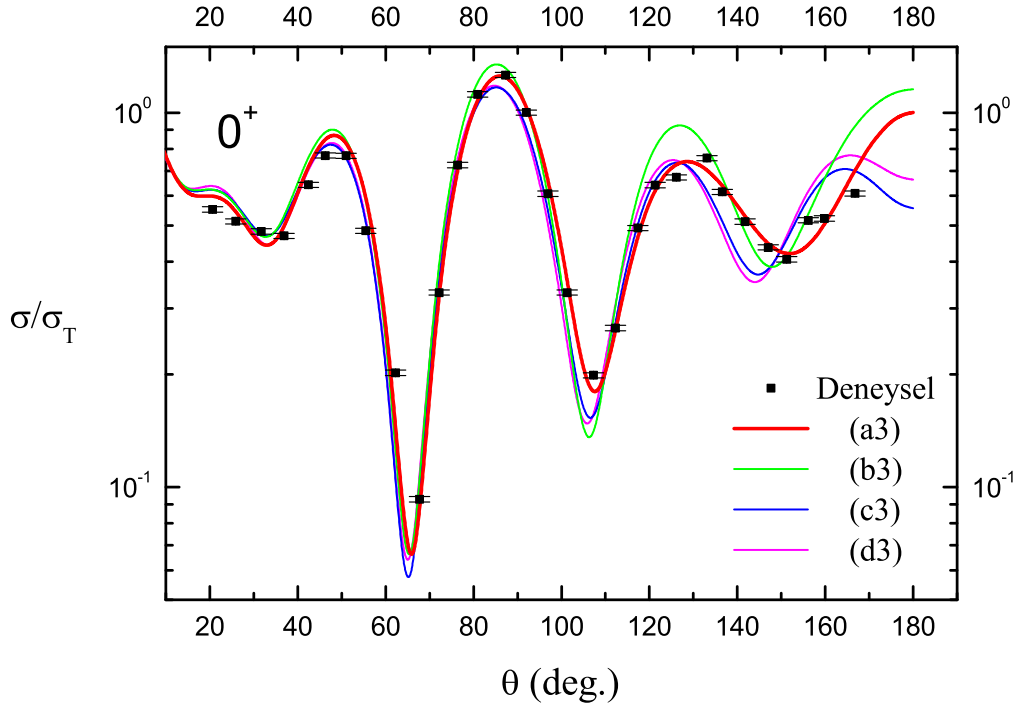
sel verilerle uyumu gösteren χ^2/N değerleri verilmiştir. Çizelge 4.12’de taban durumu ve 2_1^+ uyarılmış durum için en iyi uyumu izelge 4.11’in (a3) sütunundaki parametrelerin verdiği görülür. Fakat 2_2^+ uyarılmış durum için en iyi uyumu veren izelge 4.11’in (d3) sütunundaki parametrelerdir. Şekil 4.9’da taban durumu tesir kesiti ve Şekil 4.10’de taban durumu analiz gücü için çizilen grafiklerde daha önce farklı düzenler için çizilmiş taban durumu grafiklerine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de 0.992 MeV (2^+) uyarılmış durum için çizilen tesir kesiti ve analiz gücü grafikleri de daha önce ($0^+, 2_1^+$) düzeni için çizilen grafiklerden çok az farklıdır. Şekil 4.13’de 1.779 MeV (2_2^+) uyarılmış durum için çizilen tesir kesiti grafiğinde diğer uyarılmış seviyeler için iyi uyum gösteren izelge 4.4’n (a) sütunundaki parametreler üzerine arama yapılarak elde edilen (a3) parametre setinin bu seviye için 2.22 ile normalize edildiğinde iyi uyum gösterdiği ancak (b3),(c3) ve (d3) parametrelerinin bu seviye için normalize edilmeden iyi uyum gösterdiği görülmektedir. Şekil 4.14’deki 1.779 MeV (2_2^+) uyarılmış durum için çizilen analiz gücü grafiğinde de tesir kesiti grafiğine benzer bir uyum farklılığı vardır.

Çizelge 4.11: $(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ düzeni karışık tip için yapılan arama sonunda elde edilen parametreler. (a3), (b3), (c3), (d3) sütun harfleri Çizelge 4.4’de ki tanıma karşılık gelmektedir.

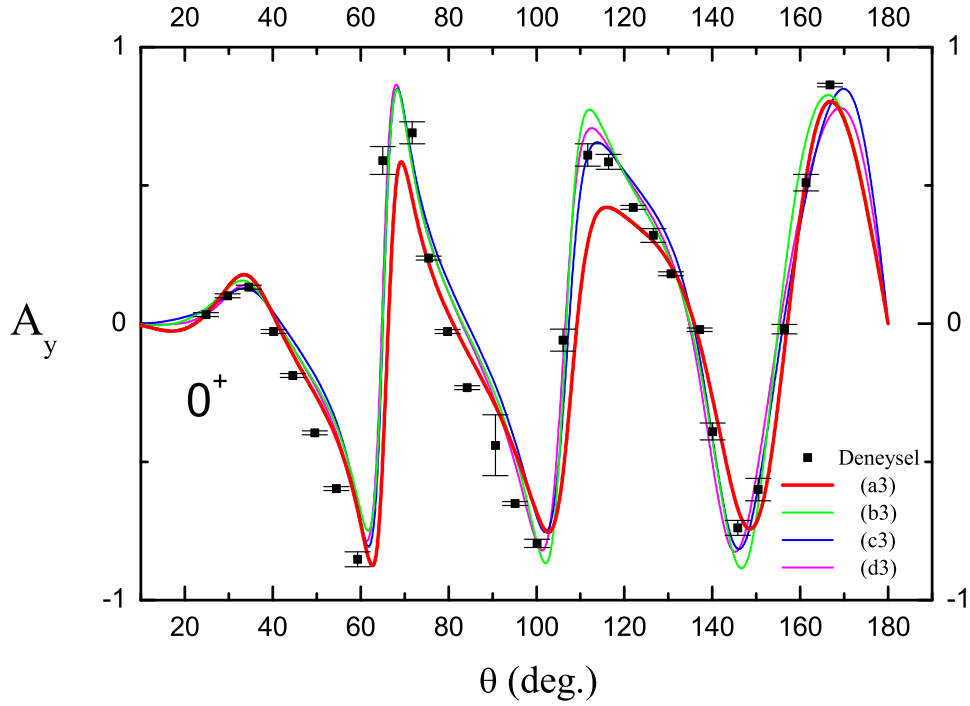
Parametreler	(a3)	(b3)	(c3)	(d3)
$V_v(MeV)$	50.657	50.799	53.508	53.670
$r_v(fm)$	1.170	1.170	1.131	1.125
$a_v(fm)$	0.740	0.750	0.755	0.780
$W_v(MeV)$	0.146	0.798	0.135	0.164
$r_w(fm)$	1.240	1.320	1.271	1.330
$a_w(fm)$	0.630	0.554	0.695	0.656
$W_s(MeV)$	7.849	8.171	7.234	6.572
$r_w(fm)$	1.240	1.320	1.271	1.330
$a_w(fm)$	0.630	0.554	0.695	0.656
$V_{so}(MeV)$	4.590	5.269	5.784	5.798
$r_{so}(fm)$	0.960	1.010	1.064	1.020
$a_{so}(fm)$	0.510	0.750	0.752	0.706
$\beta(2_1^+)$	0.218	0.216	0.230	0.233
$\beta(2_2^+)$	0.033	0.055	0.059	0.059

Çizelge 4.12: $(0^+, 2_1^+, 2_2^+)$ düzeni karışık tip için diferansiyel tesir kesiti ve analiz gücü $\chi^2/(N)$ değerleri, tablodaki sütun harfleri Çizelge 4.11’deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.

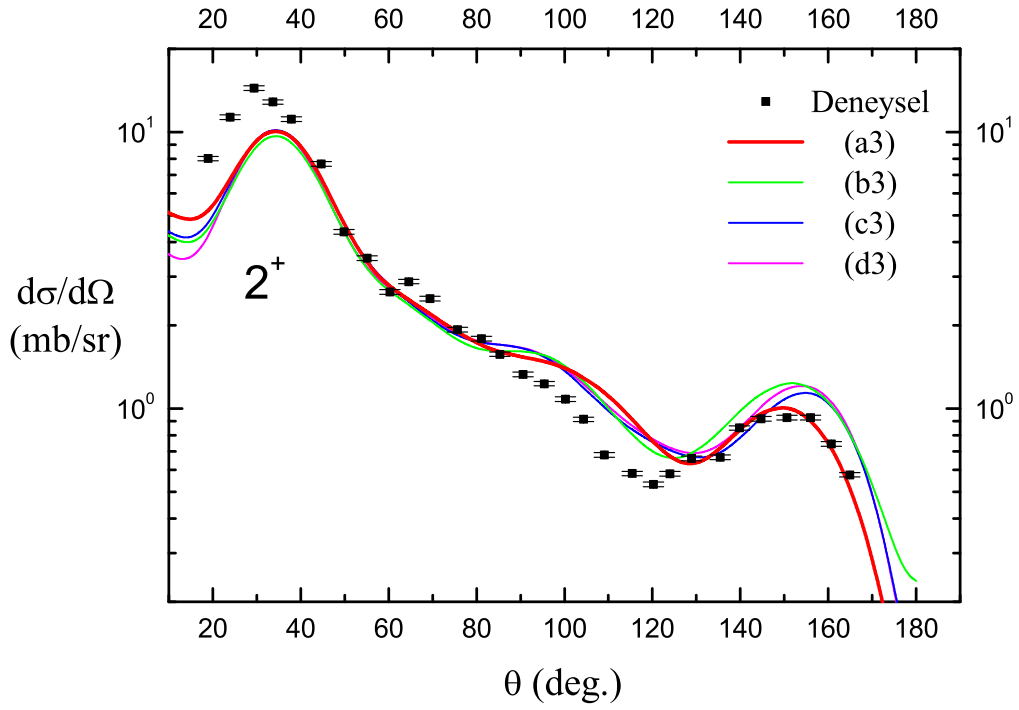
χ^2/N	(a3)	(b3)	(c3)	(d3)
$0^+(\chi^2/N_\sigma)$	42.01	149.92	128.72	169.12
$0^+(\chi^2/N_{Ay})$	128.68	173.12	229.19	163.29
$2_1^+(\chi^2/N_\sigma)$	159.44	219.11	180.49	219.31
$2_1^+(\chi^2/N_{Ay})$	149.04	293.83	167.36	182.16
$2_2^+(\chi^2/N_\sigma)$	480.87	180.69	269.55	189.91
$2_2^+(\chi^2/N_{Ay})$	602.18	284.64	198.78	105.11



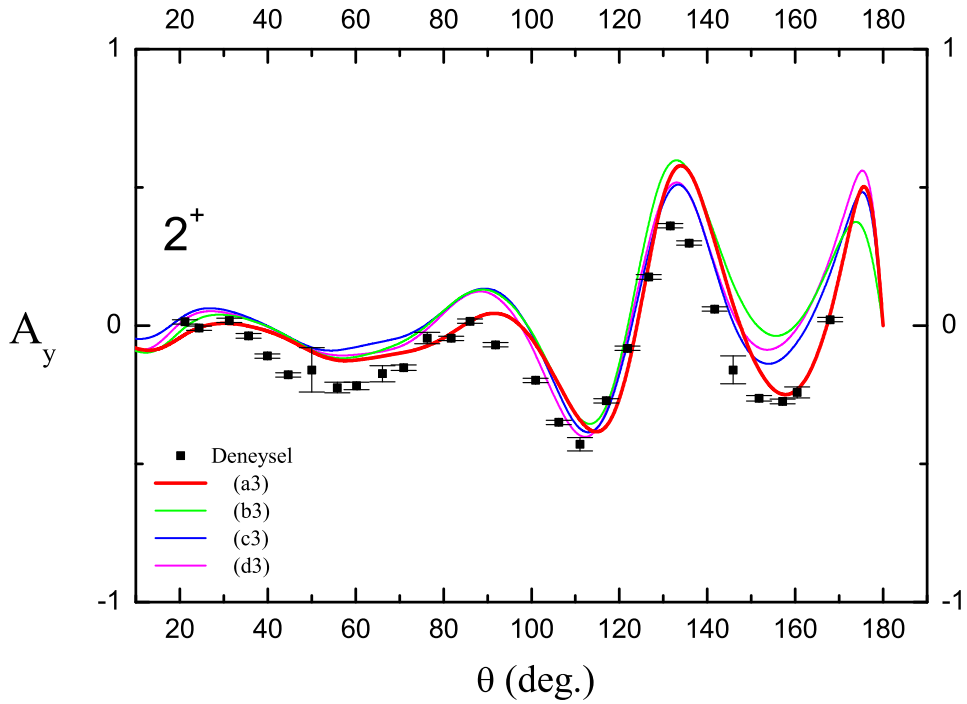
Şekil 4.9: Arama sonucunda (0^+ , 2_1^+ , 2_2^+) düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan taban durumu tesir kesitinin, Rutherford tesir kesitine oranı ile deneysel verilerin grafiği. (a3), (b3), (c3), (d3) sütun harfleri Çizelge 4.11'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.



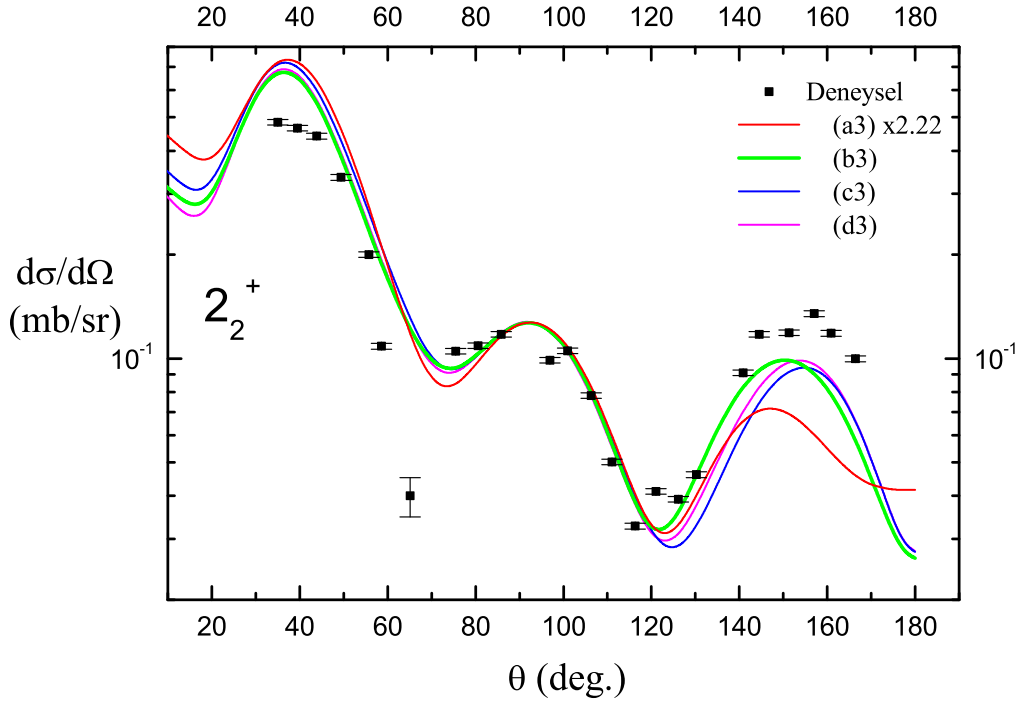
Şekil 4.10: Arama sonucunda (0^+ , 2_1^+ , 2_2^+) düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan taban durumu analiz gücü ile deneysel verilerin grafiği. (a3), (b3), (c3), (d3) sütun harfleri Çizelge 4.11'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.



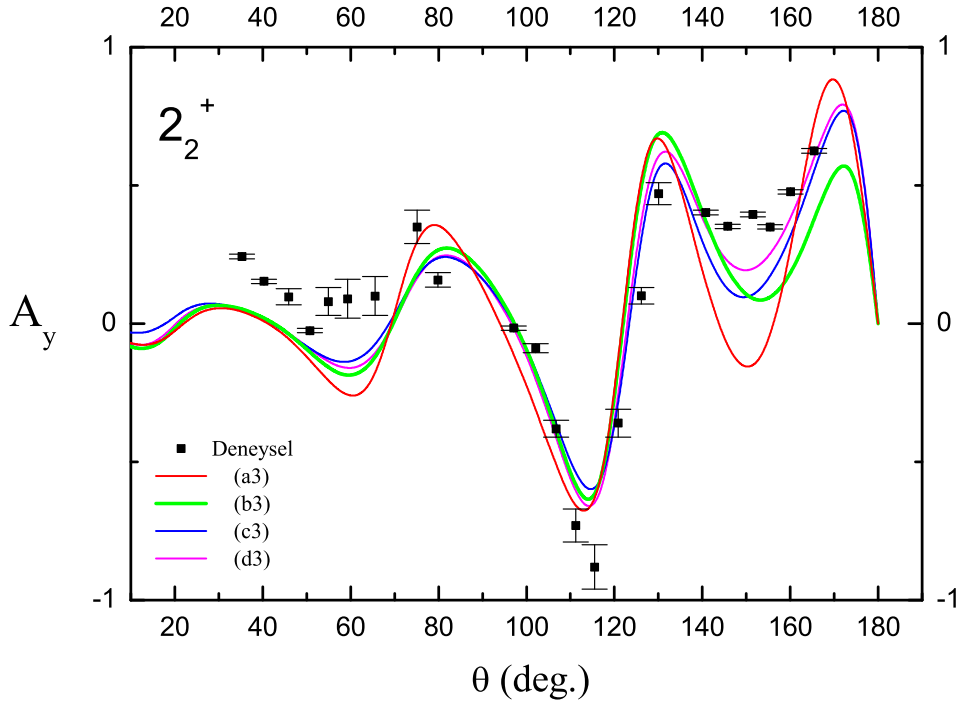
Şekil 4.11: Arama sonucunda (0^+ , 2_1^+ , 2_2^+) düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan 0.992 (2^+) MeV uyarılmış durum tesir kesiti ile deneysel verilerin grafiği. (a3), (b3), (c3), (d3) sütun harfleri Çizelge 4.11'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.



Şekil 4.12: Arama sonucunda (0^+ , 2_1^+ , 2_2^+) düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan 0.992 MeV (2^+) uyarılmış durum analiz gücü ile deneysel verilerin grafiği. (a3), (b3), (c3), (d3) sütun harfleri Çizelge 4.11'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.



Şekil 4.13: Arama sonucunda (0^+ , 2_1^+ , 2_2^+) düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan 1.779 MeV (2_2^+) uyarılmış durum tesir kesiti ile deneysel verilerin grafiği. (a3), (b3), (c3), (d3) sütun harfleri Çizelge 4.11'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.



Şekil 4.14: Arama sonucunda (0^+ , 2_1^+ , 2_2^+) düzeni için bulunan parametreler ile hesaplanan 1.779 MeV (2_2^+) uyarılmış durum analiz gücü ile deneysel verilerin grafiği. (a3), (b3), (c3), (d3) sütun harfleri Çizelge 4.11'deki sütun harflerine karşılık gelmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Moonen ve ark. (Moonen ve ark., 1993) tarafından ölçülen 20.4 MeV enerjili polarize protonların ^{64}Zn çekirdeğinden saçılmasına ait diferansiyel tesir kesiti ve analiz gücü verilerinin çiftlenmiş kanal (CC) analizleri yapıldı. Analizlerde J. Raynal tarafından yazılan ECIS bilgisayar kodunun 2006 versiyonu kullanıldı (Raynal, 1994). Bu kod hakkında ayrıntılı bilgi bu tezin 3. bölümünde verilmektedir.

Çalışmada, başlangıç parametreleri olarak Moonen ve ark.'nın (Moonen ve ark., 1993), Jabbour ve ark.'nın (Jabbour ve ark., 1987a), Tait ve ark.'nın (Tait and Edwards, 1973) ve Lewis ve ark.'nın (Lewis ve ark., 1968) optik model parametreleri kullanıldı. Bu parametreler üzerine potansiyel parametreleri ve β deformasyon parametreleri arandı. Yapılan aramaların ayrıntıları bu tezin 4. bölümünde verilmektedir.

Yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar şöyle sıralanabilir;

- Aramalar sonucunda, $(0^+, 2^+)$ düzeni için en iyi uyum Çizelge 4.5'un (a1) sütunundaki parametrelerle elde edildi. Çalışmada, $\beta(2^+)$ değeri 0.2208 olarak bulundu. Bu değer daha önce Moonen ve ark. (Moonen ve ark., 1993) tarafından 0.26 olarak raporlandı. Bu parametreye karşılık gama geçişi deneylerinden türetilen değer ise 0.24'dür (Raman ve ark., 2001). Ayrıca, tez çalışmasında elde edilen değer Nuclear Data Sheet'te raporlanan (Singh, 2007) en küçük değerler arasındadır.
- $(0^+, 3^-)$ düzeni için en iyi uyum Çizelge 4.7'in (a2) sütunundaki parametrelerle elde edildi. $\beta(3^-)$ değeri 0.2077 olarak bulundu. Bu değer daha önce Moonen ve ark. (Moonen ve ark., 1993) tarafından 0.22 olarak raporlandı. Bu parametreye karşılık gama geçişi deneylerinden türetilen değer ise 0.23'dür (Kibedi and Spear, 2002). Ayrıca çalışmada elde edilen değerler ^{64}Zn çekirdeği için elde edilmiş en küçük değerler arasındadır (Singh, 2007).
- 2_2^+ uyarılmış seviyesi bir ve iki fonon durumlarının bir bileşimi olarak açıklandı. $(0^+, 2^+, 2_2^+)$ düzeni için yapılan aramalar sonucunda en iyi uyum 0^+ ve 2^+ seviyeleri için Çizelge 4.11'in (a3) sütunundaki parametrelerle elde edilirken 2_2^+ seviyesi için Çizelge 4.11'in (d3) sütu-

nundaki parametreler için elde edildi. Çalışmada ek parametreler olarak elde edilen $\beta(2_2^+)$ değeri 0.055 ve karışım açısı 25^0 olarak bulundu. Daha önce Jabbour ve ark. (Jabbour ve ark., 1987a) tarafından yapılan benzer bir hesaplamada karışım açısı 20^0 ve $\beta(2_2^+)$ değeri 0.03 olarak raporlandı. Bu tez çalışmasında elde edilen değerler eski çalışmada elde edilenlerle uyumludur.

Bu tezde yapılanlara ek olarak geometrik parametre aramaları da yapılabilir. Bu parametre aramaları $^{66,68,70}\text{Zn}$ çekirdekleri için tekrarlanabilir. Böylece çekirdekler arasındaki farklar daha net ortaya konabilir. Yapılacak bu çalışmalar enerji ayırma gücünün yüksek olduğu, durumların daha iyi ayrılabilirdiği bir ölçümden elde edilecek verilerle daha kesin bir çözüme kavuşturulabilir.

Tez çalışmaları sırasında ECIS kodunu daha hızlı ve etkili kullanmak için ECIS Kontrol Programı geliştirildi. Bu program Bölüm 3.4'de anlatılmaktadır.

KAYNAKÇA

- Bohr, A., and Mottelson, B. R., 1953. Collective and individual-particle aspects of nuclear structure. *Matematisk-fysiske meddelelser Dan. Vid. Selsk.*, 27(16).
- Bohr, A., and Mottelson, B. R., 1969. *Nuclear Structure: Vol. 1 Single-particle motion and Vol. 2 Nuclear deformations*. W. A. Benjamin.
- Calderbank, M., Burge, E. J., Lewis, V. E., Smith, D. A., and Ganguly, N. K., 1967. The elastic and inelastic scattering of 50 MeV protons by ^{64}Zn , ^{66}Zn , ^{68}Zn and ^{70}Zn . *Nuclear Physics A*, 105(2), 601 – 620.
- Carlson, B. V., 2001. Optical model calculations with the code ECIS95. In N. Paver, M. Herman, and A. Gandini (Eds.) *Nuclear Reaction Data and Nuclear Reactors*, vol. 5 of *ICTP Lecture Notes Series*, (pp. 61–104). Trieste Italy.
- Glendenning, N., 2004. *Direct Nuclear Reactions*. Singapore: World Scientific.
- Greiner, W., and Maruhn, J. A., 1997. *Nuclear Models*. Springer.
- Hodgson, P. E., 1967. The optical model of the Nucleon-Nucleus interaction. *Annual Review of Nuclear Science*, 17(1), 1–32.
- Hodgson, P. E., 1971. The nuclear optical model. *Reports on Progress in Physics*, 34(2), 765.
- Jabbour, J., Rosier, L. H., Ramstein, B., Tamisier, R., and Avignon, P., 1987a. Elastic and inelastic scattering of 22 MeV protons from natural even-even zn and ge isotopes : (i). spectroscopy of the $^{64,66}\text{Zn}$ isotopes. *Nuclear Physics A*, 464(2), 260 – 286.
- Jabbour, J., Rosier, L. H., Ramstein, B., Tamisier, R., and Avignon, P., 1987b. Elastic and inelastic scattering of 22 MeV protons from natural even-even zn and ge isotopes : (ii). spectroscopy of the $^{68,70}\text{Zn}$ and comparison between structure of low-lying states of Zn and Ge. *Nuclear Physics A*, 464(2), 287 – 314.
- Johnson, R., and Jones, G., 1968. The $^{64}\text{Zn}(p, p')^{64}\text{Zn}$ and $^{64}\text{Zn}(p, d)^{63}\text{Zn}$ reactions at 26 MeV. *Nuclear Physics A*, 122(3), 657 – 666.
- Karaoğlu, B., 1997. *Kuantum mekaniğine giriş*. İstanbul: Biltek Yayıncılık.
- Kibedi, T., and Spear, R. H., 2002. Reduced electric-octupole transition probabilities, $B(E3; 0_1^+ \rightarrow 3_1^-)$ —an update. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 80(1), 35–82.
- Koçak, G., 2005. *Nükleer Kümelenme : Nükleer Reaksiyon ve Yapı Formalizmine Uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri. 89 s.

- Krane, K., 2002. *Nükleer Fizik Cilt 1 ve Cilt 2*. Ankara: Palme Yayıncılık.
- Kürkçüoğlu, M., 2006. *$^{16}O+^{16}O$ Esnek Saçılmasının Fenomenolojik Ve Mikroskobik Potansiyeller İle Optik Model Analizleri*. Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak. 227 s.
- Lewis, V. E., Calderbank, M., Ganguly, N. K., and Fricke, M. P., 1968. Analysis of the inelastic scattering of 50 MeV protons. *Nuclear Physics A*, 117(3), 673 – 685.
- Lombard, R. M., and Raynal, J., 1973. Polarized-proton inelastic scattering on ^{32}S and possible evidence for a hexadecapole phonon state. *Physical Review Letters*, 31(16), 1015.
- Moonen, W. H. L., Krabbenborg, J. H. A. M., Offermans, H. P., Ruyl, J. F. A. G., van Hall, P. J., Klein, S. S., Nijgh, G. J., van Overveld, C. W. A. M., Petit, R. M. A. L., and Poppema, O. J., 1993. Scattering of 20.4 MeV polarized protons from even-mass zinc isotopes. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 19(8), 1191.
- Ohlsen, G. G., 1972. Polarization transfer and spin correlation experiments in nuclear physics. *Reports on Progress in Physics*, 35, 717–801.
- Okumuşoğlu, N. T., 1981. *22-42 MeV Enerjili Protonların Argon-40 Çekirdeğinden Esnek Saçılması*. Doçentlik Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Okumuşoğlu, N. T., Birchall, J., Al-Ghazi, M. S. A. L., Lapointe, C., Mckee, J. S. C., Conzett, H. E., Larimer, R. M., and Von Rossen, P., 1983. The elastic scattering of polarised protons by ^{40}Ar . *Nuclear Physics A*, 393(1-2), 45–51.
- Raman, S., Nestor JR., C., and Tikkanen, P., 2001. Transition probability from the ground to the first-excited 2^+ state of even-even nuclides. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 78(1), 1–128.
- Raynal, J., 1994. *Notes on ECIS94*. Note CEA-N-2772.
- Schwerer, O., 2008. EXFOR formats description for users (EXFOR basics). Teknik Rapor IAEA-NDS-206, Nuclear Reaction Data Centres Network, IAEA Nuclear Data Section Vienna, Austria.
URL <http://www-nds.iaea.org/reports-new/iaea-nds/iaea-nds-0206.pdf>
- Singh, B., 2007. Nuclear data sheets for A= 64. *Nuclear Data Sheets*, 108(2), 197 – 364.
- Swiniarski, R. D., Bagieu, G., Pham, D., Massaad, M., Grossiord, J., Guichard, A., and Swiniarski, D., 1976. Inelastic scattering of 30 MeV polarized protons from ^{112}Cd . *Journal de Physique*, 37(10), 4.
- Taşan, M., 2001. *$^{40}Ar(p, p')^{40}Ar$ inelastik saçılmasının 25.1 MeV ve 32.5 MeV enerjilerde çiftlenmiş kanal (CC) analizi*. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun. 146 s.

- Tait, W. H., Burge, E. J., and Edwards, V. R. W., 1971. Optical-model analysis of elastic scattering and polarization of 30.5 MeV protons from $^{64,66,68}\text{Zn}$. *Nuclear Physics A*, 176(2), 390 – 400.
- Tait, W. H., and Edwards, V. R. W., 1973. A study of 30 MeV proton inelastic scattering from isotopes of molybdenum and zinc. *Nuclear Physics A*, 203(1), 193 – 208.
- Tamura, T., 1965. Analyses of the scattering of nuclear particles by collective nuclei in terms of the coupled-channel calculation. *Rev. Mod. Phys.*, 37(4), 679–708.
- Tamura, T., 1966. Inelastic scattering of α -particles by ^{60}Ni . *Progress of Theoretical Physics Supplement*, 37, 383–391.
- Tamura, T., 1969. Coupled-Channel approach to nuclear reactions. *Annual Review of Nuclear Science*, 19(1), 99–138.
- vanHall, P. J., Wassenaar, S. D., Klein, S. S., Nijgh, G. J., Polane, J. H., and Poppema, O. J., 1989. Scattering of polarised protons by Ni, Sr, Cd, In and Sn isotopes. ii. inelastic scattering-collective analysis. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 15(2), 199.
- Woods, R. D., and Saxon, D. S., 1954. Diffuse surface optical model for nucleon-nuclei scattering. *Phys. Rev.*, 95(2), 577–578.

Ek A

Örnek veri çıkış dosyası

```

1          E. C. I. S. CODE FOR COUPLED CHANNELS CALCULATIONS ( 2006 ) WORKING FIELD LENGTH =      600000
          TO OBTAIN THE INPUT DESCRIPTION, PUNCH 'DESCRIPTION ' IN COLUMNS 1-12 OF THE FIRST CARD.

1 F - ROTATIONAL MODEL-(.F.: VIBRATIONAL MODEL). | 54 F - OUTPUT OF THE LENGTH USED IN THE WORKING FIELD.
2 F - SECOND ORDER VIBRATIONAL MODEL-(.F.: FIRST ORDER) | 55 F - OUTPUT OF C-MATRIX ELEMENTS AND COMPOUND NUCLEUS
   OR CONSTRAINED ASYMMETRIC ROTATIONAL MODEL. | INTERMEDIATE RESULTS.
3 F - ANHARMONIC VIBRATIONAL MODEL-(.F.: HARMONIC) OR | 56 F - OUTPUT OF S-MATRIX ELEMENTS.
   ASYMMETRIC ROTATIONAL MODEL-(.F.: SYMMETRIC). | 57 F - OUTPUT OF PHASE-SHIFTS AT EACH E.C.I.S. ITERATION.
4 F - PARAMETRISED SPIN-ORBIT DEFORMATION-(.F.:STANDARD) | 58 F - OUTPUT OF THE COEFFICIENTS OF EACH FORM FACTOR
5 F - DIFFERENT DEFORMATION FOR EACH POTENTIAL(.F.: SAME) | FOR ALL SETS OF EQUATIONS.
6 F - USE OF DEFORMATION LENGTHS. | 59 F - TOTAL ELASTIC REACTION CROSS-SECTIONS WRITTEN ON
7 F - NUCLEAR MATRIX ELEMENTS AND FORM FACTORS ON CARDS. | FILE 58 AND TOTAL INELASTIC REACTION
8 F - RELATIVISTIC KINEMATICS. | CROSS-SECTIONS ON FILE 59.
9 F - SYMMETRISED WOODS-SAXON FORM FOR NEGATIVE RADII. | 60 F - S-MATRIX ELEMENTS WRITTEN ON FILE 60.
10 F - DISPERSION RELATIONS FOR POTENTIALS. |
| 61 F - REDUCED NUCLEAR MATRIX ELEMENTS WRITTEN ON FILE 61.
11 T - DEFORMED COULOMB POTENTIAL. | 62 F - POTENTIALS WRITTEN ON FILE 62.
12 T - DEFORMED IMAGINARY POTENTIAL. | 63 F - PENETRABILITIES WRITTEN ON FILE 63.
13 T - DEFORMED REAL SPIN-ORBIT/TENSOR POTENTIAL. | 64 T - RESULTS FOR EXPERIMENTAL DATA ON FILE 64
14 F - DEFORMED IMAGINARY SPIN-ORBIT/TENSOR POTENTIAL. | AND AT EQUIDISTANT ANGLES WRITTEN ON FILE 66.
15 F - REDUCED NUCLEAR MATRIX ELEMENTS READ FROM CARDS. | 65 F - LEGENDRE EXPANSION FOR CROSS-SECTIONS WRITTEN ON
16 F - HEAVY-ION DEFINITION OF RADII AND DEFORMATIONS. | FILE 65.
17 F - FOLDING MODEL. | 66 F - NO CALCULATION AT EQUIDISTANT ANGLES.
18 F - PROJECTILE-TARGET ANTISYMMETRISATION. | 67 F - NO PLOT OF EXPERIMENTAL DATA.
19 F - DEFORMED COULOMB SPIN-ORBIT POTENTIAL. | 68 T - NO PLOT OF CROSS-SECTIONS AT EQUIDISTANT ANGLES.
20 F - DISPERSION RELATIONS FOR TRANSITION FORM-FACTORS. | 69 T - NO PLOT OF POLARISATIONS AT EQUIDISTANT ANGLES.
|
21 F - USUAL COUPLED EQUATIONS-(.F.: ITERATIONS). | 71 F - NO DETAILED OUTPUT OF LOGICAL CONTROLS.
22 F - NO USE OF PADE FOR CONVERGENCE OF THE ITERATIONS. | 72 T - NO OUTPUT OF EXPERIMENTAL DATA AS THEY ARE READ.
23 F - NO USE OF PADE WITHOUT CONVERGENCE. | 73 T - NO OUTPUT OF EXTERNAL POTENTIALS AS THEY ARE READ.
24 T - COUPLING POTENTIALS COMPUTED AT EACH ITERATION. | 74 F - OUTPUT OF VARIATIONS IN STORAGE.
25 T - COMPLETE CALCULATION UP TO THE END-(.F.: ONE ITE- | 75 F - NO COMPLETE OUTPUT AT THE FIRST RUN OF A SEARCH.
   RATION ONLY AS SOON AS TWO ITERATIONS ARE ENOUGH). | 76 F - LO(51) TO LO(65) ARE ALWAYS USED-(.F.: ONLY FOR
26 F - INTEGRATION STABILISED FOR LONG RANGE POTENTIAL. | COMPLETE OUTPUT)
27 F - NUMEROV'S METHOD FOR SINGLE EQUATIONS-(.F.: MODI- | 77 F - OUTPUT OF TIME DIFFERENCES DURING THE SEARCH.
   FIED NUMEROV'S METHOD). | 78 F - OUTPUT OF DIFFERENCES BETWEEN EXPERIMENTAL
28 T - COMPUTATION UP TO J-CONVERGENCE-(.F.: STOP WHEN | AND CALCULATED VALUES.
   ALL THE INHOMOGENEOUS TERMS ARE NEGLIGIBLE). |
| 81 F - HAUSER-FESHBACH CORRECTIONS TO CROSS-SECTIONS.
29 F - NO DIAGONAL TERM IN SECOND MEMBERS. | 82 F - SIMPLEST COMPOUND NUCLEUS FORMALISM.
30 F - PURE DWBA CALCULATION. | 83 F - NO ENGELBRECHT-WEIDENMULLER TRANSFORMATION IN
| IN COMPOUND NUCLEUS.
31 T - INPUT OF EXPERIMENTAL DATA AND CHI2 CALCULATION. | 84 F - UNCOUPLED LEVELS FOR COMPOUND NUCLEUS.
32 T - AUTOMATIC SEARCH ON SOME PARAMETERS. | 85 F - FISSION DATA IN COMPOUND NUCLEUS.
33 T - SYMMETRISED CHI2 FOR CROSS-SECTIONS. | 86 F - GAMMA EMISSION DATA IN COMPOUND NUCLEUS.
34 F - NEXT CALCULATION CHANGING ENERGY AND/OR SOME | 87 F - NO WIDTH FLUCTUATIONS.
   PARAMETERS. |
35 F - SEARCH SAVED ON TAPE 8 IF ENDED OR LACK OF TIME. |
36 F - RESTART A SEARCH FROM TAPE 8. |
| 91 F - EQUIDISTANT ANGLES IN THE LABORATORY SYSTEM.
41 F - FACTORISATION OF 1/(1-COS(THETA)) IN AMPLITUDES. | 92 F - NON STANDARD OBSERVABLES AT EQUIDISTANT ANGLES.
42 F - SCHMIDT'S ORTHOGONAL. IN USUAL COUPLED EQUATIONS. | 93 F - NO RECOIL CORRECTION FOR REACTIONS.
43 F - INTERPOLATION ON TOTAL SPIN. | 94 F - NON RELATIVISTIC "REDUCED MASS" FOR DIRAC EQUATION.
44 F - COULOMB CORRECTIONS. | 95 F - "REDUCED ENERGY" FOR NON COULOMB INTERACTION IN
45 F - ANGULAR MOMENTUM LIMIT FOR COULOMB CORRECTIONS. | RELATIVISTIC SCHROEDINGER EQUATION OR USE OF REST
46 F - RESTRICTED COULOMB CORRECTIONS. | MASS IN DIRAC EQUATION.
47 F - NO RECOIL CORRECTION FOR BOUND STATES. | 96 F - "REDUCED MASS" FOR COULOMB INTERACTION IN
| RELATIVISTIC SCHROEDINGER EQUATION.
| 97 F - SAME REDUCED MASS FOR ALL THE STATES.
51 F - OUTPUT OF POTENTIALS. | 98 F - Q ADDED TO THE MASS OF RESIDUAL NUCLEUS.
52 F - OUTPUT OF REDUCED NUCLEAR MATRIX ELEMENTS. | 99 F - SCHROEDINGER EQUIVALENT TO DIRAC EQUATION.
53 F - OUTPUT OF THE NUMBER OF ITERATIONS. | 100 F - COMPLETE DIRAC EQUATION.
1
*****
*
*      p + Zn64      20.4 MEV 1. UYARILMIS DURUM
*
*****

MAXIMUM NUMBER OF J 110 (MIN 0) STOP WHEN MAXIMUM S-MATRIX ELEMENT IS LESS THAN .1000D-04

PLOT CONDITIONS FOR CROSS-SECTIONS 6 5 FOR POLARISATIONS 1 1

ITERATION METHOD: MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS 20
CONVERGENCE CRITERION: 1.0000D-05 FOR S-MATRIX 1.0000D-05 FOR POTENTIALS AND FUNCTIONS.

FIRST ORDER VIBRATIONAL MODEL.

TARGET MASS = 63.92900 PRODUCT OF CHARGES = 30. AT**1/3 = 3.998520D+00
INCIDENT PARTICLE MASS = 1.00780 SPIN = .5 AP**1/3 = 1.002593D+00
ENERGY(LAB) = 2.040000D+01 MEV ENERGY(C. M.) = 2.008340D+01 MEV.

```

N = 1 - SPIN = .0+ EXCITATION ENERGY = .0000 MEV POTENTIAL 1
 N = 2 - SPIN = 2.0+ EXCITATION ENERGY = .9920 MEV POTENTIAL 1 PHONON STATE WITH PHONON 1
 PHONON 1 L = 2 K = 0 BETA = .31000 .31000 .31000 .31000 .31000 .31000 .31000 .31000

OPTICAL POTENTIALS ** 1 ** REDUCED RADIUS MULTIPLIED BY 3.998520D+00

DEFORMED VOLUME/SCALAR REAL POTENTIAL
 DEPTH 51.460000 MEV RADIUS 4.678269 FERMI (REDUCED VALUE 1.170000) DIFFUSENESS .750000 FERMI AT THE POWER (1+ .000000)

DEFORMED VOLUME/SCALAR IMAGINARY POTENTIAL
 DEPTH 2.140000 MEV RADIUS 5.278047 FERMI (REDUCED VALUE 1.320000) DIFFUSENESS .554000 FERMI AT THE POWER (1+ .000000)

DEFORMED SURFACE/VECTOR REAL POTENTIAL
 DEPTH .000000 MEV RADIUS .000000 FERMI (REDUCED VALUE .000000) DIFFUSENESS .000000 FERMI AT THE POWER (1+ .000000)

DEFORMED SURFACE/VECTOR IMAGINARY POTENTIAL
 DEPTH 7.050000 MEV RADIUS 5.278047 FERMI (REDUCED VALUE 1.320000) DIFFUSENESS .554000 FERMI AT THE POWER (1+ .000000)

DEFORMED REAL SPIN-ORBIT/TENSOR POTENTIAL
 DEPTH 6.200000 MEV RADIUS 4.038505 FERMI (REDUCED VALUE 1.010000) DIFFUSENESS .750000 FERMI AT THE POWER (1+ .000000)

NOT DEFORMED IMAGINARY SPIN-ORBIT/TENSOR POTENTIAL
 DEPTH .000000 MEV RADIUS .000000 FERMI (REDUCED VALUE .000000) DIFFUSENESS .000000 FERMI AT THE POWER (1+ .000000)

DEFORMED COULOMB POTENTIAL
 CHARGE PRODUCT 30. RADIUS 4.998150 FERMI (REDUCED VALUE 1.250000) DIFFUSENESS .600000 FERMI AT THE POWER (1+ .000000)

NOT DEFORMED SPIN-ORBIT COULOMB POTENTIAL
 DEPTH .000000 MEV RADIUS .000000 FERMI (REDUCED VALUE .000000) DIFFUSENESS .000000 FERMI AT THE POWER (1+ .000000)
 THIRD CHARGE PARAMETER 30.000000

INTEGRATION STEP SIZE = .06250 MATCHING RADIUS = 15.000 FERMI

SCATTERING ANGLES FROM 4.000 IN STEPS OF 2.000 UP TO 180.000 DEGREES AVERAGED WITH +/- .000 DEGREES.

1 SOLUTIONS 6 COUPLED EQUATIONS 12 INDEPENDENT AMPLITUDES.

4 EXPERIMENTAL ANGULAR DISTRIBUTIONS.

5 PARAMETERS IN SEARCH

6 RESULTS STORED

50 RUNS STARTING SCALE 50.00
 MULTIPLICATION FACTOR 1.00

1	1	.00100000
2	5	.00100000
3	13	.00100000
4	17	.00100000
5	2001	.00100000

LEVEL	WAVE NUMBER	COULOMB PARAMETER	REDUCED MASS	REDUCED ENERGY	STEP SIZE
1	.9764002555	1.0501074041	924.1904226850	924.1904226850	.0625000000
NUMBER OF FINITE COULOMB INTEGRALS REDUCED FROM 115 TO 61					
2	.9519807195	1.0770440164	924.1904226850	924.1904226850	.0625000000
NUMBER OF FINITE COULOMB INTEGRALS REDUCED FROM 61 TO 60					
MAXIMUM J-VALUE = 17.5 MAXIMUM SCATTERING COEFFICIENT AT THE END .472D-08					
MAXIMUM J-VALUE = 16.5 MAXIMUM SCATTERING COEFFICIENT AT THE END .933D-05					
1	p + Zn64 20.4 MEV 1. UYARILMIS DURUM				

***** STATE 1 *****

C. S./RUTHER.

ANGLE	CALC. VAL.	EXP. VAL.	EXP. ERROR	COR. ERROR	CHI2
20.600	.65267D+00	.55200D+00	.88320D-02	.96036D-02	.10988D+03
25.900	.60263D+00	.51300D+00	.82080D-02	.88962D-02	.10151D+03
31.700	.46788D+00	.48200D+00	.77120D-02	.75982D-02	.34541D+01
36.900	.46343D+00	.46900D+00	.75040D-02	.74593D-02	.55772D+00
42.400	.62945D+00	.64200D+00	.10272D-01	.10171D-01	.15226D+01
46.300	.74456D+00	.76900D+00	.12304D-01	.12107D-01	.40762D+01
51.000	.73404D+00	.76800D+00	.12288D-01	.12013D-01	.79926D+01
55.500	.53710D+00	.48400D+00	.77440D-02	.81577D-02	.42362D+02
62.300	.15160D+00	.20200D+00	.32320D-02	.28000D-02	.32395D+03
67.700	.96967D-01	.92800D-01	.14848D-02	.15178D-02	.75376D+01
72.200	.30423D+00	.33100D+00	.52960D-02	.50773D-02	.27799D+02
76.400	.61627D+00	.72500D+00	.11600D-01	.10695D-01	.10336D+03
80.900	.91590D+00	.11200D+01	.17920D-01	.16205D-01	.15864D+03
87.300	.10199D+01	.12620D+01	.20192D-01	.18152D-01	.17795D+03
92.000	.82175D+00	.10010D+01	.16016D-01	.14511D-01	.15258D+03
96.900	.49389D+00	.60800D+00	.97280D-02	.87677D-02	.16938D+03
101.300	.23800D+00	.33100D+00	.52960D-02	.44908D-02	.42886D+03
107.300	.11739D+00	.19900D+00	.31840D-02	.24455D-02	.11136D+04
112.300	.23520D+00	.26600D+00	.42560D-02	.40020D-02	.59235D+02

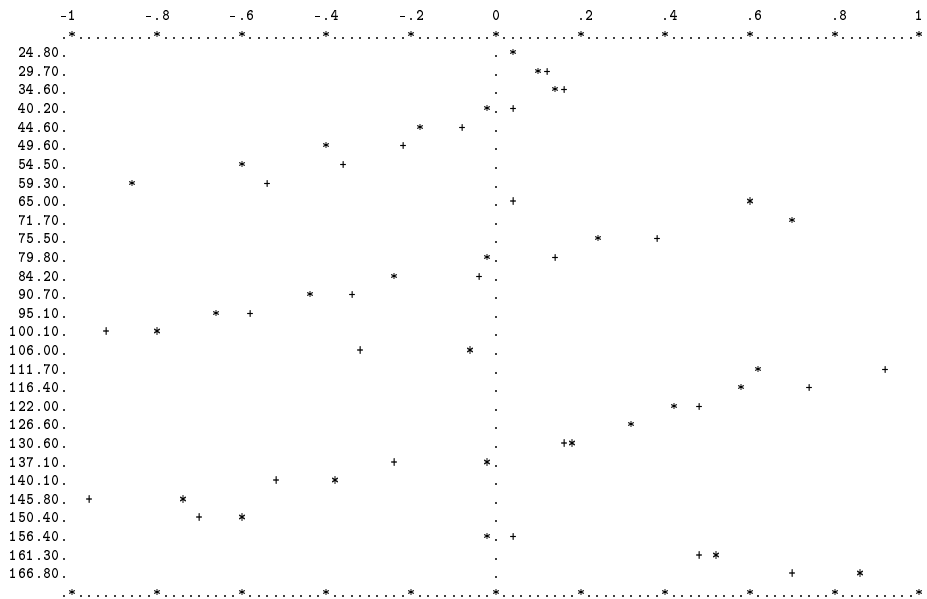
145.800	-.96640D+00	-.73800D+00	.27000D-01	.27000D-01	.71557D+02
150.400	-.70770D+00	-.60000D+00	.40000D-01	.40000D-01	.72502D+01
156.400	.39667D-01	-.20000D-01	.17000D-01	.17000D-01	.12319D+02
161.300	.47276D+00	.51000D+00	.30000D-01	.30000D-01	.15409D+01
166.800	.69287D+00	.86300D+00	.70000D-02	.70000D-02	.59068D+03

WEIGHT IN THE CHI2 .10000D+01
 EXPERIMENTAL NORMALISATION .10000D+01
 NORMALISATION ERROR .00000D+00
 CALCULATED NORMALISATION .10000D+01

***** CHI2 = .617578D+04 *****

1

+ ASYM. OR IT11
 + CALCULATED VALUE
 * EXPERIMENTAL VALUE



1 p + Zn64 20.4 MEV 1. UYARILMIS DURUM

***** STATE 2 *****

CROSS-SECTION

ANGLE	CALC. VAL.	EXP. VAL.	EXP. ERROR	COR. ERROR	CHI2
18.900	.67826D+01	.80200D+01	.15238D+00	.14013D+00	.77979D+02
23.900	.10455D+02	.11320D+02	.21508D+00	.20670D+00	.17503D+02
29.400	.15458D+02	.14420D+02	.27398D+00	.28367D+00	.13397D+02
33.700	.17367D+02	.12840D+02	.24396D+00	.28372D+00	.25455D+03
37.900	.16288D+02	.11140D+02	.21166D+00	.25594D+00	.40463D+03
44.700	.10793D+02	.76700D+01	.14573D+00	.17287D+00	.32637D+03
49.800	.71390D+01	.43600D+01	.82840D-01	.10600D+00	.68728D+03
55.100	.51833D+01	.35000D+01	.66500D-01	.80927D-01	.43267D+03
60.300	.44405D+01	.26400D+01	.50160D-01	.65053D-01	.76599D+03
64.600	.40785D+01	.28800D+01	.54720D-01	.65118D-01	.33873D+03
69.400	.36628D+01	.25000D+01	.47500D-01	.57495D-01	.40903D+03
75.700	.31522D+01	.19300D+01	.36670D-01	.46864D-01	.68015D+03
81.100	.29034D+01	.17900D+01	.34010D-01	.43315D-01	.66075D+03
85.300	.28348D+01	.15720D+01	.29868D-01	.40109D-01	.99130D+03
90.600	.27810D+01	.13290D+01	.25251D-01	.36527D-01	.15802D+04
95.400	.26373D+01	.12300D+01	.23370D-01	.34221D-01	.16913D+04
100.200	.23615D+01	.10810D+01	.20539D-01	.30357D-01	.17792D+04
104.300	.20647D+01	.91400D+00	.17366D-01	.26101D-01	.19437D+04
109.100	.17342D+01	.68000D+00	.12920D-01	.20633D-01	.26107D+04
115.400	.14382D+01	.58200D+00	.11058D-01	.17383D-01	.24262D+04
120.200	.13283D+01	.53200D+00	.10108D-01	.15972D-01	.24856D+04
124.000	.12920D+01	.58100D+00	.11039D-01	.16462D-01	.18656D+04
128.900	.12935D+01	.66000D+00	.12540D-01	.17555D-01	.13022D+04
135.400	.13866D+01	.66700D+00	.12673D-01	.18272D-01	.15510D+04
139.800	.15189D+01	.85100D+00	.16169D-01	.21602D-01	.95605D+03
144.700	.17069D+01	.91800D+00	.17442D-01	.23784D-01	.11002D+04
150.600	.18791D+01	.92800D+00	.17632D-01	.25090D-01	.14369D+04
156.000	.18405D+01	.92700D+00	.17613D-01	.24818D-01	.13549D+04
160.700	.15864D+01	.74500D+00	.14155D-01	.20656D-01	.16594D+04

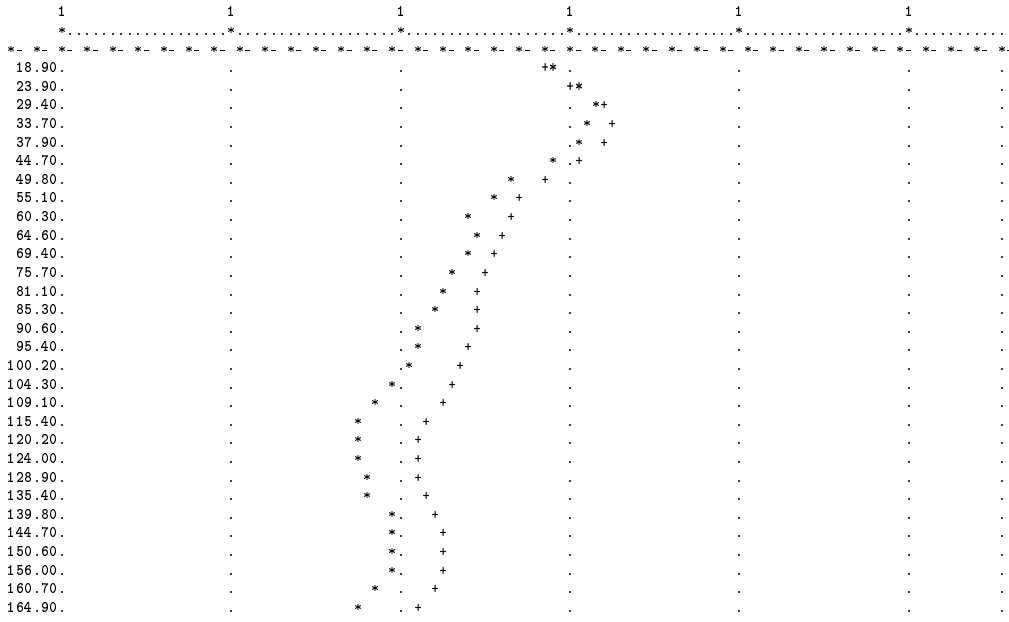
164.900 .12068D+01 .57600D+00 .10944D-01 .15841D-01 .15855D+04

WEIGHT IN THE CHI2 .10000D+01
 EXPERIMENTAL NORMALISATION .10000D+01
 NORMALISATION ERROR .00000D+00
 CALCULATED NORMALISATION .10000D+01

***** CHI2 = .333889D+05 *****

1

+ CROSS-SECTION
 + CALCULATED VALUE
 * EXPERIMENTAL VALUE



1 p + Zn64 20.4 MEV 1. UYARILMIS DURUM

***** STATE 2 *****

ASYM. OR IT11

ANGLE	CALC. VAL.	EXP. VAL.	EXP. ERROR	COR. ERROR	CHI2
21.200	.22977D-01	.14000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.12592D+01
24.400	.51905D-01	-.90000D-02	.80000D-02	.80000D-02	.57959D+02
31.300	.50043D-01	.19000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.15057D+02
35.600	.29193D-01	-.37000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.68460D+02
39.900	-.15417D-02	-.11000D+00	.80000D-02	.80000D-02	.18380D+03
44.700	-.49894D-01	-.17800D+00	.80000D-02	.80000D-02	.25642D+03
50.000	-.11217D+00	-.16000D+00	.80000D-01	.80000D-01	.35752D+00
55.800	-.13880D+00	-.22400D+00	.19000D-01	.19000D-01	.20108D+02
60.200	-.11362D+00	-.21800D+00	.14000D-01	.14000D-01	.55587D+02
66.100	-.58841D-01	-.17400D+00	.29000D-01	.29000D-01	.15769D+02
70.900	-.13588D-01	-.15200D+00	.10000D-01	.10000D-01	.19158D+03
76.300	.39900D-01	-.45000D-01	.21000D-01	.21000D-01	.16345D+02
81.700	.90813D-01	-.46000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.29247D+03
86.000	.11403D+00	.16000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.15016D+03
91.800	.10014D+00	-.69000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.44701D+03
100.900	-.51856D-01	-.19800D+00	.80000D-02	.80000D-02	.33372D+03
106.200	-.20462D+00	-.35000D+00	.80000D-02	.80000D-02	.33023D+03
111.000	-.31921D+00	-.42900D+00	.24000D-01	.24000D-01	.20928D+02
117.000	-.27195D+00	-.27200D+00	.80000D-02	.80000D-02	.40239D-04
121.800	-.31319D-01	-.82000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.40133D+02
126.700	.29275D+00	.17600D+00	.80000D-02	.80000D-02	.21297D+03
131.600	.51568D+00	.36100D+00	.80000D-02	.80000D-02	.37384D+03
135.900	.52217D+00	.29900D+00	.80000D-02	.80000D-02	.77822D+03
141.700	.28391D+00	.60000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.78338D+03
145.900	.58873D-01	-.16000D+00	.50000D-01	.50000D-01	.19162D+02
151.800	-.17180D+00	-.26300D+00	.10000D-01	.10000D-01	.83174D+02
157.100	-.25190D+00	-.27400D+00	.80000D-02	.80000D-02	.76307D+01
160.400	-.24698D+00	-.24100D+00	.20000D-01	.20000D-01	.89396D-01
167.900	-.11130D+00	.22000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.27763D+03

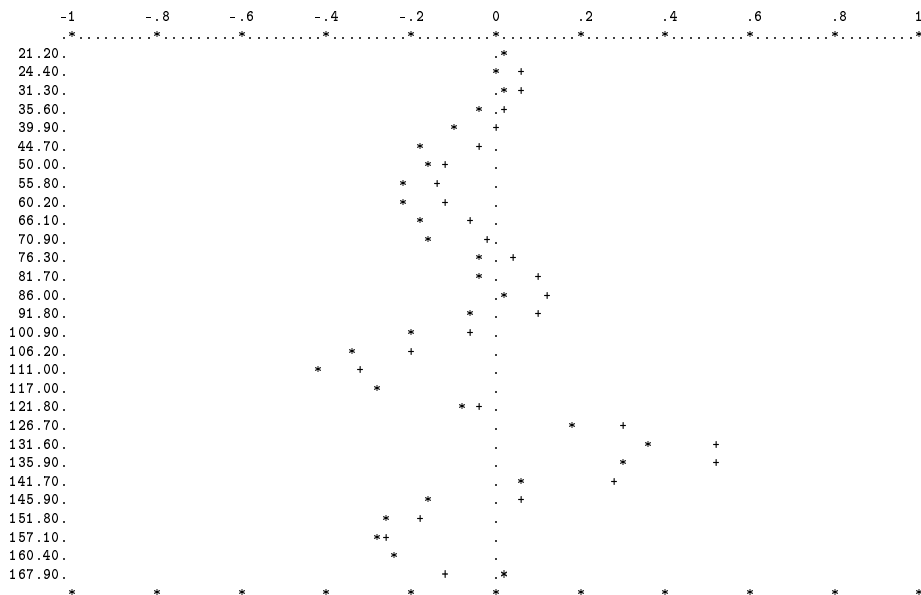
WEIGHT IN THE CHI2 .10000D+01
 EXPERIMENTAL NORMALISATION .10000D+01

NORMALISATION ERROR .00000D+00
 CALCULATED NORMALISATION .10000D+01

***** CHI2 = .503345D+04 *****

1

+ ASYM. OR IT11
 + CALCULATED VALUE
 * EXPERIMENTAL VALUE



***** CHI2 ***** .5045904166D+05

1 p + Zn64 20.4 MEV 1. UYARILMIS DURUM

TOTAL REACTION CROSS SECTION = 1189.420958 MILLIBARNS.

ELASTIC SCATTERING ON THE TARGET STATE OF SPIN = .0+

ANGLE	CROSS-SECTION	C. S./RUTHER.	ASYM. OR IT11
4.000	.19960D+07	1.0239835	-.0000303
6.000	.37317D+06	.9681898	-.0005009
8.000	.10585D+06	.8666901	-.0015423
10.000	.38173D+05	.7617044	-.0030177
12.000	.16535D+05	.6826214	-.0043157
14.000	.83924D+04	.6401981	-.0043517
16.000	.48562D+04	.6300374	-.0020486
18.000	.30847D+04	.6388300	.0032165
20.000	.20693D+04	.6506633	.0117837
22.000	.14226D+04	.6521247	.0241388
24.000	.98359D+03	.6355899	.0410833
26.000	.67814D+03	.6005078	.0634995
28.000	.46670D+03	.5528254	.0915458
30.000	.32412D+03	.5029657	.1229359
32.000	.23192D+03	.4629558	.1505779
34.000	.17546D+03	.4433814	.1624213
36.000	.14296D+03	.4508077	.1479703
38.000	.12513D+03	.4861569	.1076001
40.000	.11503D+03	.5443147	.0519309
42.000	.10782D+03	.6149813	-.0078071
44.000	.10052D+03	.6845489	-.0656688
46.000	.91633D+02	.7386071	-.1204751
48.000	.80784D+02	.7645892	-.1735114
50.000	.68355D+02	.7540743	-.2270029
52.000	.55154D+02	.7043517	-.2834833
54.000	.42136D+02	.6190041	-.3455643
56.000	.30207D+02	.5074504	-.4155137
58.000	.20077D+02	.3835616	-.4933015
60.000	.12196D+02	.2636104	-.5679854
62.000	.67356D+01	.1639013	-.5812429
64.000	.36103D+01	.0984543	-.3111313
66.000	.25332D+01	.0770812	.4914990
68.000	.30789D+01	.1041095	.9908951
70.000	.47529D+01	.1778977	.8882923
72.000	.70535D+01	.2911585	.6734537
74.000	.95231D+01	.4319968	.4918390
76.000	.11784D+02	.5854774	.3492416
78.000	.13559D+02	.7354853	.2336578
80.000	.14680D+02	.8666228	.1349529
82.000	.15077D+02	.9659108	.0460535

84.000	.14772D+02	1.0241045	-.0380504
86.000	.13854D+02	1.0365029	-.1211909
88.000	.12458D+02	1.0032034	-.2066283
90.000	.10743D+02	.9288207	-.2974613
92.000	.88747D+01	.8217501	-.3968870
94.000	.70054D+01	.6930949	-.5082245
96.000	.52658D+01	.5554001	-.6342648
98.000	.37555D+01	.4213404	-.7744194
100.000	.25401D+01	.3024959	-.9147559
102.000	.16515D+01	.2083286	-.9978168
104.000	.10907D+01	.1454364	-.8634661
106.000	.83260D+00	.1171331	-.3109568
108.000	.83273D+00	.1233628	.4284978
110.000	.10335D+01	.1609299	.8452013
112.000	.13712D+01	.2240002	.9275738
114.000	.17816D+01	.3048056	.8667416
116.000	.22054D+01	.3944786	.7675646
118.000	.25922D+01	.4839315	.6665902
120.000	.29030D+01	.5647014	.5735629
122.000	.31117D+01	.6296857	.4892475
124.000	.32054D+01	.6737116	.4114880
126.000	.31836D+01	.6938943	.3370656
128.000	.30564D+01	.6897650	.2621240
130.000	.28423D+01	.6631678	.1820959
132.000	.25656D+01	.6179483	.0914852
134.000	.22533D+01	.5594723	-.0162447
136.000	.19330D+01	.4940300	-.1482320
138.000	.16300D+01	.4281879	-.3102820
140.000	.13653D+01	.3681535	-.5018027
142.000	.11549D+01	.3192137	-.7064188
144.000	.10084D+01	.2852975	-.8824952
146.000	.92904D+00	.2686999	-.9694843
148.000	.91437D+00	.2699839	-.9232993
150.000	.95689D+00	.2880622	-.7525347
152.000	.10454D+01	.3204373	-.5091617
154.000	.11664D+01	.3635671	-.2484843
156.000	.13056D+01	.4133092	-.0053031
158.000	.14494D+01	.4653920	.2053826
160.000	.15859D+01	.5158605	.3794375
162.000	.17060D+01	.5614488	.5165721
164.000	.18038D+01	.5998434	.6167730
166.000	.18766D+01	.6298152	.6790287
168.000	.19249D+01	.6512112	.7013045
170.000	.19520D+01	.6648183	.6812410
172.000	.19626D+01	.6721208	.6173412
174.000	.19626D+01	.6749889	.5104432
176.000	.19576D+01	.6753390	.3651277
178.000	.19525D+01	.6748117	.1905274
180.000	.19505D+01	.6745069	.0000000

1 p + Zn64 20.4 MEV 1. UYARILMIS DURUM

INELASTIC SCATTERING TO THE TARGET STATE 2 SPIN = 2.0+

INELASTIC CROSS SECTION = 52.713771 MILLIBARNS.

ANGLE	CROSS-SECTION	ASYM. OR IT11	VECT. POLAR.	SPIN-FLIP
4.000	.62167D+01	-.0519427	-.0515413	.0004303
6.000	.60155D+01	-.0761602	-.0755629	.0008038
8.000	.57831D+01	-.0967537	-.0959696	.0013419
10.000	.55683D+01	-.1102226	-.1092703	.0020403
12.000	.54362D+01	-.1120063	-.1109204	.0028576
14.000	.54670D+01	-.0982699	-.0971061	.0036899
16.000	.57514D+01	-.0692586	-.0680899	.0043762
18.000	.63746D+01	-.0315053	-.0304019	.0047722
20.000	.73936D+01	.0050024	.0059974	.0048466
22.000	.88095D+01	.0327995	.0336788	.0046906
24.000	.10548D+02	.0497242	.0505065	.0044380
26.000	.12454D+02	.0572818	.0579972	.0041940
28.000	.14313D+02	.0580525	.0587332	.0040194
30.000	.15886D+02	.0542479	.0549245	.0039436
32.000	.16959D+02	.0473271	.0480291	.0039824
34.000	.17387D+02	.0380727	.0388301	.0041495
36.000	.17125D+02	.0267693	.0276147	.0044632
38.000	.16231D+02	.0133647	.0143359	.0049503
40.000	.14848D+02	-.0023900	-.0012475	.0056474
42.000	.13170D+02	-.0207832	-.0194142	.0065990
44.000	.11401D+02	-.0419112	-.0402495	.0078507
46.000	.97137D+01	-.0653274	-.0632975	.0094307
48.000	.82354D+01	-.0896195	-.0871428	.0113209
50.000	.70316D+01	-.1121654	-.1091710	.0134251
52.000	.61144D+01	-.1295210	-.1259586	.0155637
54.000	.54548D+01	-.1386528	-.1344984	.0175237
56.000	.50003D+01	-.1383622	-.1336100	.0191531
58.000	.46904D+01	-.1297339	-.1243783	.0204285
60.000	.44690D+01	-.1152803	-.1092997	.0214461
62.000	.42915D+01	-.0976504	-.0910023	.0223591
64.000	.41277D+01	-.0787991	-.0714264	.0233164
66.000	.39613D+01	-.0597875	-.0516337	.0244293
68.000	.37875D+01	-.0409436	-.0319732	.0257597
70.000	.36093D+01	-.0221311	-.0123529	.0273171
72.000	.34347D+01	-.0030205	.0074893	.0290576
74.000	.32730D+01	.0166523	.0277332	.0308854
76.000	.31328D+01	.0368500	.0482546	.0326634
78.000	.30201D+01	.0570639	.0684797	.0342386
80.000	.29370D+01	.0762819	.0873767	.0354809

82.000	.28817D+01	.0931311	.1036150	.0363220
84.000	.28485D+01	.1061459	.1158302	.0367787
86.000	.28289D+01	.1140327	.1228683	.0369492
88.000	.28130D+01	.1158138	.1239024	.0369890
90.000	.27904D+01	.1108188	.1184019	.0370792
92.000	.27526D+01	.0985801	.1060151	.0374023
94.000	.26933D+01	.0787176	.0864515	.0381284
96.000	.26097D+01	.0508860	.0594289	.0394099
98.000	.25023D+01	.0148316	.0247291	.0413787
100.000	.23751D+01	-.0294144	-.0176158	.0441390
102.000	.22341D+01	-.0811925	-.0669948	.0477519
104.000	.20869D+01	-.1387424	-.1217637	.0522100
106.000	.19412D+01	-.1986844	-.1787468	.0574048
108.000	.18040D+01	-.2556484	-.2328731	.0630991
110.000	.16808D+01	-.3023411	-.2772233	.0689228
112.000	.15749D+01	-.3303280	-.3037843	.0744145
114.000	.14880D+01	-.3315793	-.3047512	.0791170
116.000	.14196D+01	-.3004085	-.2746648	.0827093
118.000	.13681D+01	-.2351115	-.2116811	.0851289
120.000	.13313D+01	-.1386901	-.1184380	.0866384
122.000	.13066D+01	-.0185180	-.0017464	.0878136
124.000	.12920D+01	.1147193	.1283741	.0894659
126.000	.12864D+01	.2483518	.2599166	.0925228
128.000	.12893D+01	.3690920	.3801488	.0978874
130.000	.13012D+01	.4644793	.4769639	.1062831
132.000	.13232D+01	.5244983	.5404227	.1181024
134.000	.13563D+01	.5432323	.5643678	.1332888
136.000	.14014D+01	.5200751	.5476614	.1513042
138.000	.14585D+01	.4599074	.4944579	.1712140
140.000	.15261D+01	.3719592	.4132127	.1918757
142.000	.16014D+01	.2676918	.3147103	.2121685
144.000	.16798D+01	.1584824	.2098454	.2311799
146.000	.17553D+01	.0538685	.1078961	.2483005
148.000	.18210D+01	-.0392987	.0156475	.2632252
150.000	.18692D+01	-.1168856	-.0626973	.2758929
152.000	.18925D+01	-.1770095	-.1251123	.2864038
154.000	.18845D+01	-.2193953	-.1711553	.2949424
156.000	.18405D+01	-.2447645	-.2013922	.3017173
158.000	.17580D+01	-.2543500	-.2169332	.3069193
160.000	.16372D+01	-.2495474	-.2190981	.3106905
162.000	.14815D+01	-.2316774	-.2091897	.3130970
164.000	.12969D+01	-.2018186	-.1883402	.3140935
166.000	.10924D+01	-.1606711	-.1573946	.3134583
168.000	.87894D+00	-.1084164	-.1168025	.3106597
170.000	.66877D+00	-.0445757	-.0665145	.3045557
172.000	.47463D+00	.0319465	-.0060144	.2926681
174.000	.30873D+00	.1213827	.0646156	.2693460
176.000	.18176D+00	.2128849	.1373644	.2215817
178.000	.10204D+00	.2325448	.1590107	.1300524
180.000	.74863D-01	.0000000	.0000000	.0541181

RUN 1 MAX = 50 ***** CHI2 = .5045904166D+05 ***** W(1) = 50.00 W(2) = 1.00 W(3) = .00000

	WEIGHT	EXP. NORM.	ERR. NORM.	CALC. NORM.	CHI2
1	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	5.860912D+03
2	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.175781D+03
3	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	3.338890D+04
4	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	5.033446D+03

*** VARIABLES

1 5.146000D+01 2 2.140000D+00 3 7.050000D+00 4 6.200000D+00 5 3.100000D-01

RUN 2 MAX = 50 ***** CHI2 = .5052440939D+05 ***** W(1) = 50.00 W(2) = 1.00 W(3) = 51.46000

	WEIGHT	EXP. NORM.	ERR. NORM.	CALC. NORM.	CHI2
1	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	5.924493D+03
2	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.080721D+03
3	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	3.353413D+04
4	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	4.985066D+03

*** VARIABLES

1 5.151000D+01 2 2.140000D+00 3 7.050000D+00 4 6.200000D+00 5 3.100000D-01

RUN 3 MAX = 50 ***** CHI2 = .4974258321D+05 ***** W(1) = 50.00 W(2) = 1.00 W(3) = 2.14000

	WEIGHT	EXP. NORM.	ERR. NORM.	CALC. NORM.	CHI2
1	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.219161D+03
2	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.257136D+03
3	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	3.218607D+04
4	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	5.080217D+03

*** VARIABLES

1 5.146000D+01 2 2.190000D+00 3 7.050000D+00 4 6.200000D+00 5 3.100000D-01

RUN 4 MAX = 50 ***** CHI2 = .4991897962D+05 ***** W(1) = 50.00 W(2) = 1.00 W(3) = 7.05000

	WEIGHT	EXP. NORM.	ERR. NORM.	CALC. NORM.	CHI2
1	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.124590D+03
2	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.247433D+03
3	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	3.247673D+04
4	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	5.070226D+03

*** VARIABLES

```

1 5.146000D+01 2 2.140000D+00 3 7.100000D+00 4 6.200000D+00 5 3.100000D-01
RUN 5 MAX = 50 ***** CHI2 = .5053215166D+05 ***** W(1) = 50.00 W(2) = 1.00 W(3) = 6.20000
      WEIGHT      EXP. NORM.      ERR. NORM.      CALC. NORM.      CHI2
1 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 5.785872D+03
2 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 6.277817D+03
3 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 3.339106D+04
4 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 5.077407D+03
*** VARIABLES
1 5.146000D+01 2 2.140000D+00 3 7.050000D+00 4 6.250000D+00 5 3.100000D-01
RUN 6 MAX = 50 ***** CHI2 = .8569459887D+05 ***** W(1) = 50.00 W(2) = 1.00 W(3) = .31000
      WEIGHT      EXP. NORM.      ERR. NORM.      CALC. NORM.      CHI2
1 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 9.600912D+03
2 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 8.099707D+03
3 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 6.354655D+04
4 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 4.447431D+03
*** VARIABLES
1 5.146000D+01 2 2.140000D+00 3 7.050000D+00 4 6.200000D+00 5 3.600000D-01
RUN 7 MAX = 50 ***** CHI2 = .3306938107D+05 ***** W(1) = 100.00 W(2) = 1.00 W(3) = .30835
      WEIGHT      EXP. NORM.      ERR. NORM.      CALC. NORM.      CHI2
1 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 4.835863D+03
2 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 5.258865D+03
3 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 1.754806D+04
4 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 5.426593D+03
*** VARIABLES
1 5.150584D+01 2 2.137115D+00 3 7.150000D+00 4 6.173078D+00 5 2.788691D-01
RUN 8 MAX = 50 ***** CHI2 = .2123237044D+05 ***** W(1) = 192.28 W(2) = 1.00 W(3) = 1.00000
      WEIGHT      EXP. NORM.      ERR. NORM.      CALC. NORM.      CHI2
1 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 4.332709D+03
2 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 4.014996D+03
3 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 6.842707D+03
4 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 6.041958D+03
*** VARIABLES
1 5.153568D+01 2 1.973577D+00 3 7.342277D+00 4 5.990971D+00 5 2.193628D-01
RUN 9 MAX = 50 ***** CHI2 = .2106233420D+05 ***** W(1) = 108.87 W(2) = 1.00 W(3) = 1.00000
      WEIGHT      EXP. NORM.      ERR. NORM.      CALC. NORM.      CHI2
1 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 4.244370D+03
2 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 4.000846D+03
3 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 6.762224D+03
4 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 6.054894D+03
*** VARIABLES
1 5.155390D+01 2 1.993127D+00 3 7.296759D+00 4 6.099844D+00 5 2.207456D-01
RUN 10 MAX = 50 ***** CHI2 = .2105218364D+05 ***** W(1) = 31.06 W(2) = 1.00 W(3) = 1.00000
      WEIGHT      EXP. NORM.      ERR. NORM.      CALC. NORM.      CHI2
1 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 4.322596D+03
2 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 3.956993D+03
3 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 6.765624D+03
4 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 6.006970D+03
*** VARIABLES
1 5.157651D+01 2 1.993148D+00 3 7.297271D+00 4 6.068786D+00 5 2.206016D-01
RUN 11 MAX = 50 ***** CHI2 = .2100789107D+05 ***** W(1) = 62.12 W(2) = 1.00 W(3) = .66939
      WEIGHT      EXP. NORM.      ERR. NORM.      CALC. NORM.      CHI2
1 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 4.505727D+03
2 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 3.929820D+03
3 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 6.642025D+03
4 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 5.930319D+03
*** VARIABLES
1 5.163863D+01 2 1.987975D+00 3 7.329438D+00 4 6.069737D+00 5 2.220140D-01
RUN 12 MAX = 50 ***** CHI2 = .2091528406D+05 ***** W(1) = 124.23 W(2) = 1.00 W(3) = .57190
      WEIGHT      EXP. NORM.      ERR. NORM.      CALC. NORM.      CHI2
1 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 4.316763D+03
2 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 3.875380D+03
3 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 6.799972D+03
4 1.000000D+00 1.000000D+00 0.000000D+00 1.000000D+00 5.923168D+03
*** VARIABLES
1 5.160413D+01 2 2.050378D+00 3 7.205205D+00 4 6.043514D+00 5 2.213502D-01

```

RUN 13 MAX = 50 ***** CHI2 = .2064422320D+05 ***** W(1) = 147.03 W(2) = 1.00 W(3) = 1.00000

	WEIGHT	EXP. NORM.	ERR. NORM.	CALC. NORM.	CHI2
1	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	4.130823D+03
2	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	3.803889D+03
3	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.943214D+03
4	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	5.766297D+03

*** VARIABLES

1 5.159966D+01 2 2.078005D+00 3 7.058172D+00 4 5.982302D+00 5 2.267771D-01

RUN 14 MAX = 50 ***** CHI2 = .2063452535D+05 ***** W(1) = 12.33 W(2) = 1.00 W(3) = 1.00000

	WEIGHT	EXP. NORM.	ERR. NORM.	CALC. NORM.	CHI2
1	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	4.134531D+03
2	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	3.811206D+03
3	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.899866D+03
4	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	5.788922D+03

*** VARIABLES

1 5.159652D+01 2 2.090335D+00 3 7.057713D+00 4 5.985762D+00 5 2.258810D-01

RUN 15 MAX = 50 ***** CHI2 = .2063417988D+05 ***** W(1) = 9.16 W(2) = 1.00 W(3) = 1.00000

	WEIGHT	EXP. NORM.	ERR. NORM.	CALC. NORM.	CHI2
1	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	4.115188D+03
2	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	3.830719D+03
3	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.892887D+03
4	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	5.795385D+03

*** VARIABLES

1 5.158930D+01 2 2.099496D+00 3 7.054241D+00 4 5.981243D+00 5 2.260512D-01

RUN 16 MAX = 50 ***** CHI2 = .2063913273D+05 ***** W(1) = 18.32 W(2) = 1.00 W(3) = .39388

	WEIGHT	EXP. NORM.	ERR. NORM.	CALC. NORM.	CHI2
1	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	4.120513D+03
2	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	3.838072D+03
3	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.878281D+03
4	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	5.802266D+03

*** VARIABLES

1 5.159307D+01 2 2.117818D+00 3 7.047525D+00 4 5.986556D+00 5 2.259296D-01

RUN 17 MAX = 50 ***** CHI2 = .2063400919D+05 ***** W(1) = 9.16 W(2) = 1.00 W(3) = .16433

	WEIGHT	EXP. NORM.	ERR. NORM.	CALC. NORM.	CHI2
1	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	4.131313D+03
2	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	3.829488D+03
3	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.882739D+03
4	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	5.790468D+03

*** VARIABLES

1 5.159025D+01 2 2.092519D+00 3 7.062645D+00 4 5.972082D+00 5 2.259646D-01

RUN 18 MAX = 50 ***** CHI2 = .2063093759D+05 ***** W(1) = 18.32 W(2) = 1.00 W(3) = .46002

	WEIGHT	EXP. NORM.	ERR. NORM.	CALC. NORM.	CHI2
1	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	4.095035D+03
2	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	3.849830D+03
3	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.875605D+03
4	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	5.810468D+03

*** VARIABLES

1 5.157193D+01 2 2.077124D+00 3 7.074680D+00 4 5.973131D+00 5 2.258662D-01

RUN 19 MAX = 50 ***** CHI2 = .2062984454D+05 ***** W(1) = 25.82 W(2) = 1.00 W(3) = 1.00000

	WEIGHT	EXP. NORM.	ERR. NORM.	CALC. NORM.	CHI2
1	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	4.052257D+03
2	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	3.881594D+03
3	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.855170D+03
4	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	5.840824D+03

*** VARIABLES

1 5.154733D+01 2 2.051304D+00 3 7.099362D+00 4 5.976474D+00 5 2.257600D-01

RUN 20 MAX = 50 ***** CHI2 = .2063016373D+05 ***** W(1) = 23.92 W(2) = 1.00 W(3) = 1.00000

	WEIGHT	EXP. NORM.	ERR. NORM.	CALC. NORM.	CHI2
1	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	4.035687D+03
2	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	3.873041D+03
3	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.883418D+03
4	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	5.838018D+03

*** VARIABLES

1 5.154603D+01 2 2.066547D+00 3 7.075442D+00 4 5.971886D+00 5 2.255959D-01

RUN 21 MAX = 50 ***** CHI2 = .2063155299D+05 ***** W(1) = 11.96 W(2) = 1.00 W(3) = .78954

	WEIGHT	EXP. NORM.	ERR. NORM.	CALC. NORM.	CHI2
1	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	4.043826D+03
2	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	3.878441D+03
3	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.883345D+03
4	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	5.825941D+03

*** VARIABLES

1 5.154732D+01 2 2.055503D+00 3 7.087402D+00 4 5.965174D+00 5 2.261765D-01

RUN 22 MAX = 50 ***** CHI2 = .2063021173D+05 ***** W(1) = 5.98 W(2) = 1.00 W(3) = .06135

	WEIGHT	EXP. NORM.	ERR. NORM.	CALC. NORM.	CHI2
1	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	4.064039D+03
2	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	3.870553D+03
3	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.858575D+03
4	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	5.837044D+03

*** VARIABLES

1 5.155128D+01 2 2.045323D+00 3 7.102102D+00 4 5.978494D+00 5 2.256639D-01

RUN 23 MAX = 50 ***** CHI2 = .2062991534D+05 ***** W(1) = 2.99 W(2) = 1.00 W(3) = .01034

	WEIGHT	EXP. NORM.	ERR. NORM.	CALC. NORM.	CHI2
1	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	4.045375D+03
2	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	3.883565D+03
3	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	6.857602D+03
4	1.000000D+00	1.000000D+00	0.000000D+00	1.000000D+00	5.843373D+03

*** VARIABLES

1 5.154602D+01 2 2.052522D+00 3 7.097670D+00 4 5.979464D+00 5 2.257899D-01

RUN 23 MAX = 50 ***** CHI2 = .2062984454D+05 ***** KE = 0 W(1) = .7475

STANDARD ERRORS (VARIANCE AT BEST FIT EQUAL TO DEGREE OF FREEDOM: 112.RENORMALISATION FACTOR .129007D+02)
 2.995182D-01 3.863539D-01 4.543216D-01 2.553997D-01 5.987711D-03

ERROR ENHANCEMENTS (MULTI/SINGLE VARIABLE ERROR)
 1.049272D+00 3.171958D+00 3.028734D+00 1.012978D+00 1.132684D+00

ERROR CORRELATION MATRIX:
 1.000000D+00
 2.623280D-01 1.000000D+00
 -2.072589D-01 -9.314475D-01 1.000000D+00
 1.981154D-02 1.412336D-01 -1.077367D-01 1.000000D+00
 6.937459D-03 2.493647D-01 -9.250214D-02 8.468436D-02 1.000000D+00

SEARCH ENDED WITHOUT ERRORS.

1

***** FINAL RESULTS *****

**** FIRST CONTROL CARD **** 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
 F F F F F F F F F F T T T F F F F F F F F F F T T F F T F F T F F T T T F F F F F F F F F F F F F F F F F F F

*** SECOND CONTROL CARD **** 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
 F F F F F F F F F F F F F F T T F F F T T F F T T F

OPTICAL POTENTIALS ** 1 ** REDUCED RADIUS MULTIPLIED BY .399852D+01

VOLUME/SCALAR REAL POTENTIAL
 DEPTH 51.547331 MEV RADIUS 4.678269 FERMI (REDUCED VALUE 1.170000) DIFFUSENESS .750000 FERMI AT THE POWER (1+ .000000)
 VOLUME/SCALAR IMAGINARY POTENTIAL
 DEPTH 2.051304 MEV RADIUS 5.278047 FERMI (REDUCED VALUE 1.320000) DIFFUSENESS .554000 FERMI AT THE POWER (1+ .000000)
 SURFACE/VECTOR REAL POTENTIAL
 DEPTH .000000 MEV RADIUS .000000 FERMI (REDUCED VALUE .000000) DIFFUSENESS .000000 FERMI AT THE POWER (1+ .000000)
 SURFACE/VECTOR IMAGINARY POTENTIAL
 DEPTH 7.099362 MEV RADIUS 5.278047 FERMI (REDUCED VALUE 1.320000) DIFFUSENESS .554000 FERMI AT THE POWER (1+ .000000)
 REAL SPIN-ORBIT/TENSOR POTENTIAL
 DEPTH 5.976474 MEV RADIUS 4.038505 FERMI (REDUCED VALUE 1.010000) DIFFUSENESS .750000 FERMI AT THE POWER (1+ .000000)
 IMAGINARY SPIN-ORBIT/TENSOR POTENTIAL
 DEPTH .000000 MEV RADIUS .000000 FERMI (REDUCED VALUE .000000) DIFFUSENESS .000000 FERMI AT THE POWER (1+ .000000)
 COULOMB POTENTIAL
 CHARGE PRODUCT 30. RADIUS 4.998150 FERMI (REDUCED VALUE 1.250000) DIFFUSENESS .600000 FERMI AT THE POWER (1+ .000000)
 SPIN-ORBIT COULOMB POTENTIAL
 DEPTH .000000 MEV RADIUS .000000 FERMI (REDUCED VALUE .000000) DIFFUSENESS .000000 FERMI AT THE POWER (1+ .000000)
 THIRD CHARGE PARAMETER .000000

BETA(I,J) FOR L K V W VS WS VSO WSO COUL S.O. COUL
 1 2 0 .22576 .22576 .22576 .22576 .22576 .22576 .22576 .22576 .22576
 MAXIMUM J-VALUE = 17.5 MAXIMUM SCATTERING COEFFICIENT AT THE END .477D-08
 MAXIMUM J-VALUE = 16.5 MAXIMUM SCATTERING COEFFICIENT AT THE END .659D-05
 1 p + Zn64 20.4 MEV 1. UYARILMIS DURUM

C. S./RUTHER.

ANGLE	CALC. VAL.	EXP. VAL.	EXP. ERROR	COR. ERROR	CHI2
20.600	.63820D+00	.55200D+00	.88320D-02	.94966D-02	.82391D+02
25.900	.59355D+00	.51300D+00	.82080D-02	.88289D-02	.83232D+02
31.700	.47321D+00	.48200D+00	.77120D-02	.76413D-02	.13245D+01
36.900	.48893D+00	.46900D+00	.75040D-02	.76618D-02	.67661D+01
42.400	.67236D+00	.64200D+00	.10272D-01	.10512D-01	.83385D+01
46.300	.78725D+00	.76900D+00	.12304D-01	.12449D-01	.21491D+01
51.000	.75781D+00	.76800D+00	.12288D-01	.12206D-01	.69672D+00
55.500	.53201D+00	.48400D+00	.77440D-02	.81190D-02	.34963D+02
62.300	.12622D+00	.20200D+00	.32320D-02	.25549D-02	.87967D+03
67.700	.10703D+00	.92800D-01	.14848D-02	.15946D-02	.79636D+02
72.200	.37524D+00	.33100D+00	.52960D-02	.56388D-02	.61546D+02
76.400	.74895D+00	.72500D+00	.11600D-01	.11790D-01	.41259D+01
80.900	.10931D+01	.11200D+01	.17920D-01	.17704D-01	.23015D+01
87.300	.11895D+01	.12620D+01	.20192D-01	.19604D-01	.13659D+02
92.000	.93956D+00	.10010D+01	.16016D-01	.15517D-01	.15676D+02
96.900	.54814D+00	.60800D+00	.97280D-02	.92367D-02	.41997D+02
101.300	.25585D+00	.33100D+00	.52960D-02	.46562D-02	.26048D+03
107.300	.14239D+00	.19900D+00	.31840D-02	.26933D-02	.44185D+03
112.300	.30661D+00	.26600D+00	.42560D-02	.45693D-02	.78972D+02
117.400	.58231D+00	.49200D+00	.78720D-02	.85641D-02	.11120D+03
121.300	.75872D+00	.64100D+00	.10256D-01	.11158D-01	.11130D+03
126.100	.84445D+00	.67200D+00	.10752D-01	.12053D-01	.20472D+03
133.100	.69254D+00	.75700D+00	.12112D-01	.11585D-01	.30958D+02
136.600	.55322D+00	.61500D+00	.98400D-02	.93327D-02	.43822D+02
141.800	.37947D+00	.51200D+00	.81920D-02	.70525D-02	.35312D+03
147.000	.32917D+00	.43700D+00	.69920D-02	.60684D-02	.31575D+03
151.200	.39283D+00	.40600D+00	.64960D-02	.63898D-02	.42469D+01
156.100	.54575D+00	.51600D+00	.82560D-02	.84907D-02	.12278D+02
159.800	.67712D+00	.52200D+00	.83520D-02	.95123D-02	.26591D+03
166.800	.86907D+00	.60900D+00	.97440D-02	.11640D-01	.49919D+03

WEIGHT IN THE CHI2 .10000D+01
 EXPERIMENTAL NORMALISATION .10000D+01
 NORMALISATION ERROR .00000D+00
 CALCULATED NORMALISATION .10000D+01

***** CHI2 = .405226D+04 *****

1

+ C. S./RUTHER.

+ CALCULATED VALUE
 * EXPERIMENTAL VALUE

1	1	1	1	1	1	1
20.60.	++ .
25.90.	** .
31.70.	* .
36.90.	* .
42.40.	* .
46.30.	* .
51.00.	* .
55.50.	** .
62.30.	+ * .
67.70.	** .
72.20.	** .
76.40.	* .
80.90.	* .
87.30.	** .
92.00.	* .
96.90.	** .
101.30.	** .
107.30.	+ * .
112.30.	** .
117.40.	** .
121.30.	** .
126.10.	* + .
133.10.	+ * .
136.60.	** .
141.80.	+ * .
147.00.	+ * .
151.20.	* .
156.10.	** .
159.80.	* + .
166.80.	* + .

1 p + Zn64 20.4 MEV 1. UYARILMIS DURUM

***** STATE 1 *****

ASYM. OR IT11

ANGLE	CALC. VAL.	EXP. VAL.	EXP. ERROR	COR. ERROR	CHI2
24.800	.55191D-01	.33000D-01	.70000D-02	.70000D-02	.10050D+02
29.700	.12559D+00	.10100D+00	.70000D-02	.70000D-02	.12337D+02
34.600	.15762D+00	.13200D+00	.70000D-02	.70000D-02	.13397D+02
40.200	.29913D-01	-.28000D-01	.70000D-02	.70000D-02	.68448D+02
44.600	-.10076D+00	-.18700D+00	.70000D-02	.70000D-02	.15177D+03
49.600	-.24073D+00	-.39500D+00	.70000D-02	.70000D-02	.48570D+03
54.500	-.40610D+00	-.59700D+00	.70000D-02	.70000D-02	.74372D+03
59.300	-.64838D+00	-.85200D+00	.27000D-01	.27000D-01	.56872D+02
65.000	.90528D-01	.59000D+00	.50000D-01	.50000D-01	.99789D+02
71.700	.61555D+00	.69000D+00	.40000D-01	.40000D-01	.34638D+01
75.500	.32875D+00	.23700D+00	.70000D-02	.70000D-02	.17179D+03
79.800	.11754D+00	-.29000D-01	.70000D-02	.70000D-02	.43826D+03
84.200	-.54702D-01	-.23100D+00	.70000D-02	.70000D-02	.63430D+03
90.700	-.31498D+00	-.44000D+00	.11000D+00	.11000D+00	.12918D+01
95.100	-.54113D+00	-.65100D+00	.70000D-02	.70000D-02	.24636D+03
100.100	-.85967D+00	-.79500D+00	.15000D-01	.15000D-01	.18587D+02
106.000	-.15645D+00	-.60000D-01	.40000D-01	.40000D-01	.58145D+01
111.700	.80365D+00	.61000D+00	.40000D-01	.40000D-01	.23437D+02
116.400	.64708D+00	.58500D+00	.27000D-01	.27000D-01	.52859D+01
122.000	.45441D+00	.42000D+00	.70000D-02	.70000D-02	.24169D+02
126.600	.32603D+00	.31900D+00	.25000D-01	.25000D-01	.78966D-01
130.600	.20039D+00	.18000D+00	.70000D-02	.70000D-02	.84842D+01
137.100	-.16492D+00	-.22000D-01	.70000D-02	.70000D-02	.41686D+03
140.100	-.45114D+00	-.39000D+00	.30000D-01	.30000D-01	.41535D+01
145.800	-.90102D+00	-.73800D+00	.27000D-01	.27000D-01	.36454D+02
150.400	-.59508D+00	-.60000D+00	.40000D-01	.40000D-01	.15112D-01
156.400	.17823D+00	-.20000D-01	.17000D-01	.17000D-01	.13597D+03
161.300	.61491D+00	.51000D+00	.30000D-01	.30000D-01	.12229D+02
166.800	.81228D+00	.86300D+00	.70000D-02	.70000D-02	.52505D+02

WEIGHT IN THE CHI2 .10000D+01
 EXPERIMENTAL NORMALISATION .10000D+01
 NORMALISATION ERROR .00000D+00
 CALCULATED NORMALISATION .10000D+01

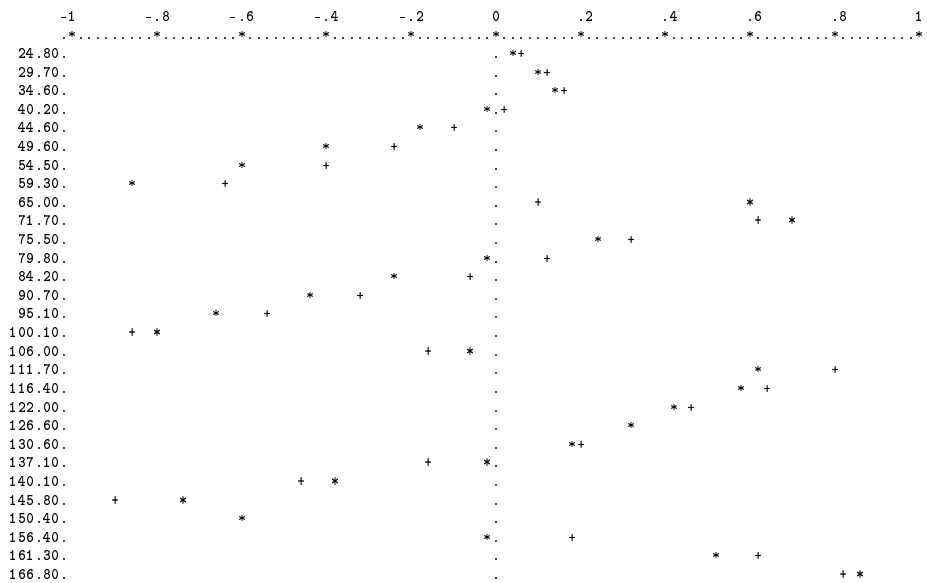
***** CHI2 = .388159D+04 *****

1

+ ASYM. OR IT11

+ CALCULATED VALUE

* EXPERIMENTAL VALUE



1

p + Zn64 20.4 MEV 1. UYARILMIS DURUM

***** STATE 2 *****

CROSS-SECTION

ANGLE	CALC. VAL.	EXP. VAL.	EXP. ERROR	COR. ERROR	CHI2
18.900	.39803D+01	.80200D+01	.15238D+00	.10735D+00	.14162D+04
23.900	.60284D+01	.11320D+02	.21508D+00	.115696D+00	.11366D+04
29.400	.87863D+01	.14420D+02	.27398D+00	.21386D+00	.69393D+03

33.700	.98191D+01	.12840D+02	.24396D+00	.21334D+00	.20051D+03
37.900	.92020D+01	.11140D+02	.21166D+00	.19237D+00	.10150D+03
44.700	.61348D+01	.76700D+01	.14573D+00	.13033D+00	.13874D+03
49.800	.40846D+01	.43600D+01	.82840D-01	.80181D-01	.11797D+02
55.100	.29688D+01	.35000D+01	.66500D-01	.61246D-01	.75228D+02
60.300	.25365D+01	.26400D+01	.50160D-01	.49167D-01	.44280D+01
64.600	.23337D+01	.28800D+01	.54720D-01	.49257D-01	.12301D+03
69.400	.21122D+01	.25000D+01	.47500D-01	.43660D-01	.78903D+02
75.700	.18403D+01	.19300D+01	.36670D-01	.35808D-01	.62750D+01
81.100	.16976D+01	.17900D+01	.34010D-01	.33121D-01	.77766D+01
85.300	.16463D+01	.15720D+01	.29868D-01	.30566D-01	.59081D+01
90.600	.15958D+01	.13290D+01	.25251D-01	.27670D-01	.92966D+02
95.400	.15031D+01	.12300D+01	.23370D-01	.25835D-01	.11176D+03
100.200	.13479D+01	.10810D+01	.20539D-01	.22935D-01	.13543D+03
104.300	.11888D+01	.91400D+00	.17366D-01	.19805D-01	.19255D+03
109.100	.10147D+01	.68000D+00	.12920D-01	.15783D-01	.44975D+03
115.400	.85552D+00	.58200D+00	.11058D-01	.13407D-01	.41621D+03
120.200	.78956D+00	.53200D+00	.10108D-01	.12314D-01	.43748D+03
124.000	.76287D+00	.58100D+00	.11039D-01	.12649D-01	.20672D+03
128.900	.75833D+00	.66000D+00	.12540D-01	.13442D-01	.53515D+02
135.400	.81860D+00	.66700D+00	.12673D-01	.14040D-01	.11660D+03
139.800	.90834D+00	.85100D+00	.16169D-01	.16705D-01	.11784D+02
144.700	.10340D+01	.91800D+00	.17442D-01	.18511D-01	.39286D+02
150.600	.11468D+01	.92800D+00	.17632D-01	.19600D-01	.12457D+03
156.000	.11239D+01	.92700D+00	.17613D-01	.19394D-01	.10312D+03
160.700	.96829D+00	.74500D+00	.14155D-01	.16137D-01	.19145D+03
164.900	.73806D+00	.57600D+00	.10944D-01	.12388D-01	.17113D+03

WEIGHT IN THE CHI2 .10000D+01
 EXPERIMENTAL NORMALISATION .10000D+01
 NORMALISATION ERROR .00000D+00
 CALCULATED NORMALISATION .10000D+01

***** CHI2 = .685517D+04 *****

1

	+ CROSS-SECTION		+ CALCULATED VALUE		* EXPERIMENTAL VALUE	
1	1	1	1	1	1	1
18.90.
23.90.
29.40.
33.70.
37.90.
44.70.
49.80.
55.10.
60.30.
64.60.
69.40.
75.70.
81.10.
85.30.
90.60.
95.40.
100.20.
104.30.
109.10.
115.40.
120.20.
124.00.
128.90.
135.40.
139.80.
144.70.
150.60.
156.00.
160.70.
164.90.

1 p + Zn64 20.4 MEV 1. UYARILMIS DURUM

***** STATE 2 *****

ASYM. OR IT11

ANGLE	CALC. VAL.	EXP. VAL.	EXP. ERROR	COR. ERROR	CHI2
21.200	.33695D-01	.14000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.60607D+01
24.400	.58904D-01	-.90000D-02	.80000D-02	.80000D-02	.72046D+02
31.300	.52773D-01	.19000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.17822D+02
35.600	.30589D-01	-.37000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.71379D+02
39.900	-.54342D-03	-.11000D+00	.80000D-02	.80000D-02	.18720D+03
44.700	-.46956D-01	-.17800D+00	.80000D-02	.80000D-02	.26832D+03
50.000	-.10149D+00	-.16000D+00	.80000D-01	.80000D-01	.53486D+00

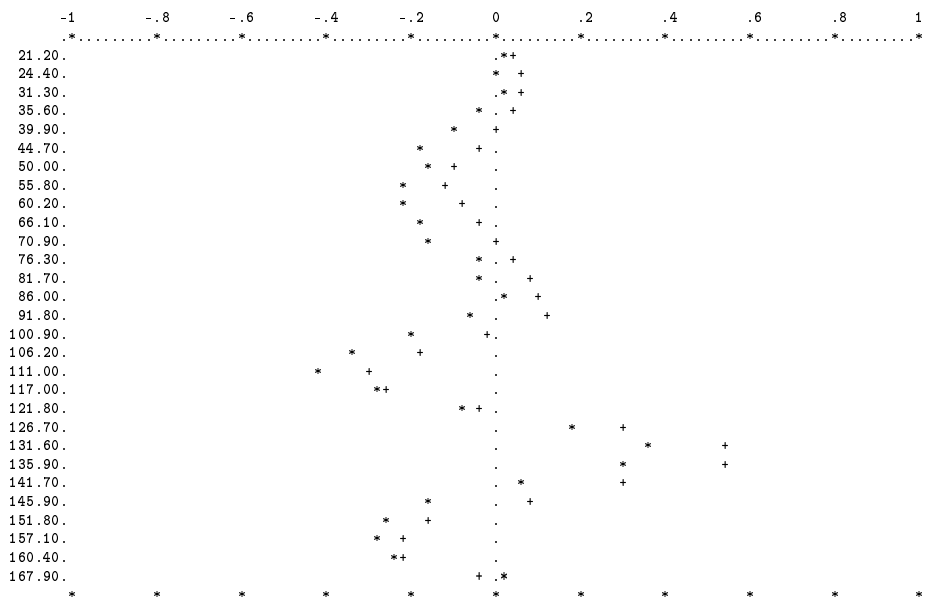
55.800	-.11627D+00	-.22400D+00	.19000D-01	.19000D-01	.32149D+02
60.200	-.86949D-01	-.21800D+00	.14000D-01	.14000D-01	.87625D+02
66.100	-.36992D-01	-.17400D+00	.29000D-01	.29000D-01	.22320D+02
70.900	-.34815D-02	-.15200D+00	.10000D-01	.10000D-01	.22058D+03
76.300	.33930D-01	-.45000D-01	.21000D-01	.21000D-01	.14127D+02
81.700	.77856D-01	-.46000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.23969D+03
86.000	.10798D+00	-.16000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.13221D+03
91.800	.11463D+00	-.69000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.52685D+03
100.900	-.14876D-01	-.19800D+00	.80000D-02	.80000D-02	.52397D+03
106.200	-.17094D+00	-.35000D+00	.80000D-02	.80000D-02	.50097D+03
111.000	-.29689D+00	-.42900D+00	.24000D-01	.24000D-01	.30299D+02
117.000	-.26824D+00	-.27200D+00	.80000D-02	.80000D-02	.22098D+00
121.800	-.34197D-01	-.82000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.35705D+02
126.700	.30173D+00	.17600D+00	.80000D-02	.80000D-02	.24701D+03
131.600	.54142D+00	.36100D+00	.80000D-02	.80000D-02	.50863D+03
135.900	.54926D+00	.29900D+00	.80000D-02	.80000D-02	.97856D+03
141.700	.29984D+00	.60000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.89881D+03
145.900	.70707D-01	-.16000D+00	.50000D-01	.50000D-01	.21290D+02
151.800	-.15646D+00	-.26300D+00	.10000D-01	.10000D-01	.11350D+03
157.100	-.22616D+00	-.27400D+00	.80000D-02	.80000D-02	.35759D+02
160.400	-.21060D+00	-.24100D+00	.20000D-01	.20000D-01	.23107D+01
167.900	-.31593D-01	.22000D-01	.80000D-02	.80000D-02	.44878D+02

WEIGHT IN THE CHI2 .10000D+01
 EXPERIMENTAL NORMALISATION .10000D+01
 NORMALISATION ERROR .00000D+00
 CALCULATED NORMALISATION .10000D+01

***** CHI2 = .584082D+04 *****

1

+ ASYM. OR IT11
 + CALCULATED VALUE
 * EXPERIMENTAL VALUE



***** CHI2 ***** .2062984454D+05

1

p + Zn64 20.4 MEV 1. UYARILMIS DURUM

TOTAL REACTION CROSS SECTION = 1184.013161 MILLIBARNS.

ELASTIC SCATTERING ON THE TARGET STATE OF SPIN = .0+

ANGLE	CROSS-SECTION	C. S./RUTHER.	ASYM. OR IT11
4.000	.19986D+07	1.0252767	-.0000360
6.000	.37342D+06	.9688404	-.0005356
8.000	.10561D+06	.8647540	-.0016257
10.000	.37895D+05	.7561593	-.0031428
12.000	.16312D+05	.6734518	-.0044039
14.000	.82337D+04	.6280898	-.0042068
16.000	.47481D+04	.6160140	-.0013788
18.000	.30129D+04	.6239738	.0047106
20.000	.20226D+04	.6359691	.0143519
22.000	.13928D+04	.6384810	.0279822
24.000	.96542D+03	.6238489	.0463435
26.000	.66806D+03	.5915869	.0701541
28.000	.46244D+03	.5477823	.0991321
30.000	.32414D+03	.5029993	.1300995

32.000	.23510D+03	.4693064	.1548199
34.000	.18091D+03	.4571345	.1609740
36.000	.14988D+03	.4726321	.1398529
38.000	.13282D+03	.5160325	.0943872
40.000	.12284D+03	.5813137	.0360163
42.000	.11522D+03	.6571681	-.0249375
44.000	.10705D+03	.7290424	-.0836972
46.000	.96995D+02	.7818253	-.1398636
48.000	.84807D+02	.8026604	-.1952222
50.000	.71011D+02	.7833670	-.2524823
52.000	.56539D+02	.7220492	-.3148939
54.000	.42452D+02	.6236367	-.3863167
56.000	.29722D+02	.4992968	-.4712859
58.000	.19098D+02	.3648493	-.5737792
60.000	.11033D+02	.2384689	-.6880804
62.000	.56736D+01	.1380581	-.7456027
64.000	.28860D+01	.0787009	-.3987167
66.000	.23191D+01	.0705681	.6169123
68.000	.34765D+01	.1175552	.9691974
70.000	.57924D+01	.2168067	.7934073
72.000	.87006D+01	.3591473	.5873803
74.000	.11690D+02	.5303099	.4256689
76.000	.14346D+02	.7127539	.2999295
78.000	.16368D+02	.8878071	.1974357
80.000	.17580D+02	1.0378409	.1091651
82.000	.17923D+02	1.1482144	.0290602
84.000	.17436D+02	1.2087703	-.0471607
86.000	.16237D+02	1.2147432	-.1228247
88.000	.14493D+02	1.1670202	-.2008399
90.000	.12397D+02	1.0717749	-.2840622
92.000	.10147D+02	.9395646	-.3755367
94.000	.79245D+01	.7840296	-.4785129
96.000	.58817D+01	.6203637	-.5957441
98.000	.41333D+01	.4637306	-.7263096
100.000	.27525D+01	.3277923	-.8541586
102.000	.17717D+01	.2234844	-.9133976
104.000	.11859D+01	.1581401	-.7306832
106.000	.95974D+00	.1350194	-.1564533
108.000	.10345D+01	.1532578	.4723904
110.000	.13372D+01	.2082084	.7635952
112.000	.17882D+01	.2921164	.8002700
114.000	.23090D+01	.3950409	.7423844
116.000	.28285D+01	.5059219	.6630162
118.000	.32873D+01	.6136830	.5858007
120.000	.36410D+01	.7082673	.5163710
122.000	.38620D+01	.7815133	.4544133
124.000	.39386D+01	.8277988	.3975964
126.000	.38742D+01	.8444080	.3426939
128.000	.36849D+01	.8316033	.2857371
130.000	.33963D+01	.7924116	.2218111
132.000	.30398D+01	.7321652	.1447466
134.000	.26496D+01	.6578542	.0469636
136.000	.22591D+01	.5773654	-.0799819
138.000	.18983D+01	.4986880	-.2429167
140.000	.15916D+01	.4291660	-.4405985
142.000	.13563D+01	.3748662	-.6522968
144.000	.12021D+01	.3401150	-.8282811
146.000	.11314D+01	.3272395	-.9022591
148.000	.11397D+01	.3365202	-.8343611
150.000	.12169D+01	.3663455	-.6432337
152.000	.13491D+01	.4135361	-.3859453
154.000	.15200D+01	.4737919	-.1166168
156.000	.17128D+01	.5422070	.1323437
158.000	.19116D+01	.6137918	.3468491
160.000	.21027D+01	.6839510	.5223514
162.000	.22755D+01	.7488673	.6576502
164.000	.24230D+01	.8057620	.7519251
166.000	.25416D+01	.8530129	.8037998
168.000	.26312D+01	.8901306	.8114923
170.000	.26942D+01	.9176072	.7735532
172.000	.27351D+01	.9366655	.6899179
174.000	.27592D+01	.9489455	.5630375
176.000	.27717D+01	.9561699	.3987862
178.000	.27772D+01	.9598301	.2068039
180.000	.27787D+01	.9609320	.0000000

1 p + Zn64 20.4 MEV 1. UYARILMIS DURUM

INELASTIC SCATTERING TO THE TARGET STATE 2 SPIN = 2.0+

INELASTIC CROSS SECTION = 30.340968 MILLIBARNS.

ANGLE	CROSS-SECTION	ASYM. OR IT11	VECT. POLAR.	SPIN-FLIP
4.000	.37045D+01	-.0462830	-.0458181	.0004040
6.000	.35820D+01	-.0674976	-.0667975	.0007705
8.000	.34406D+01	-.0850081	-.0840739	.0012965
10.000	.33100D+01	-.0955292	-.0943715	.0019762
12.000	.32284D+01	-.0949559	-.0936047	.0027680
14.000	.32417D+01	-.0801065	-.0786215	.0035718
16.000	.34006D+01	-.0517215	-.0501917	.0042363
18.000	.37511D+01	-.0161563	-.0146777	.0046274
20.000	.43228D+01	.0174420	.0187991	.0047152
22.000	.51135D+01	.0424545	.0436633	.0045825
24.000	.60797D+01	.0571103	.0581808	.0043532
26.000	.71345D+01	.0629303	.0638923	.0041270
28.000	.81585D+01	.0623748	.0632642	.0039631

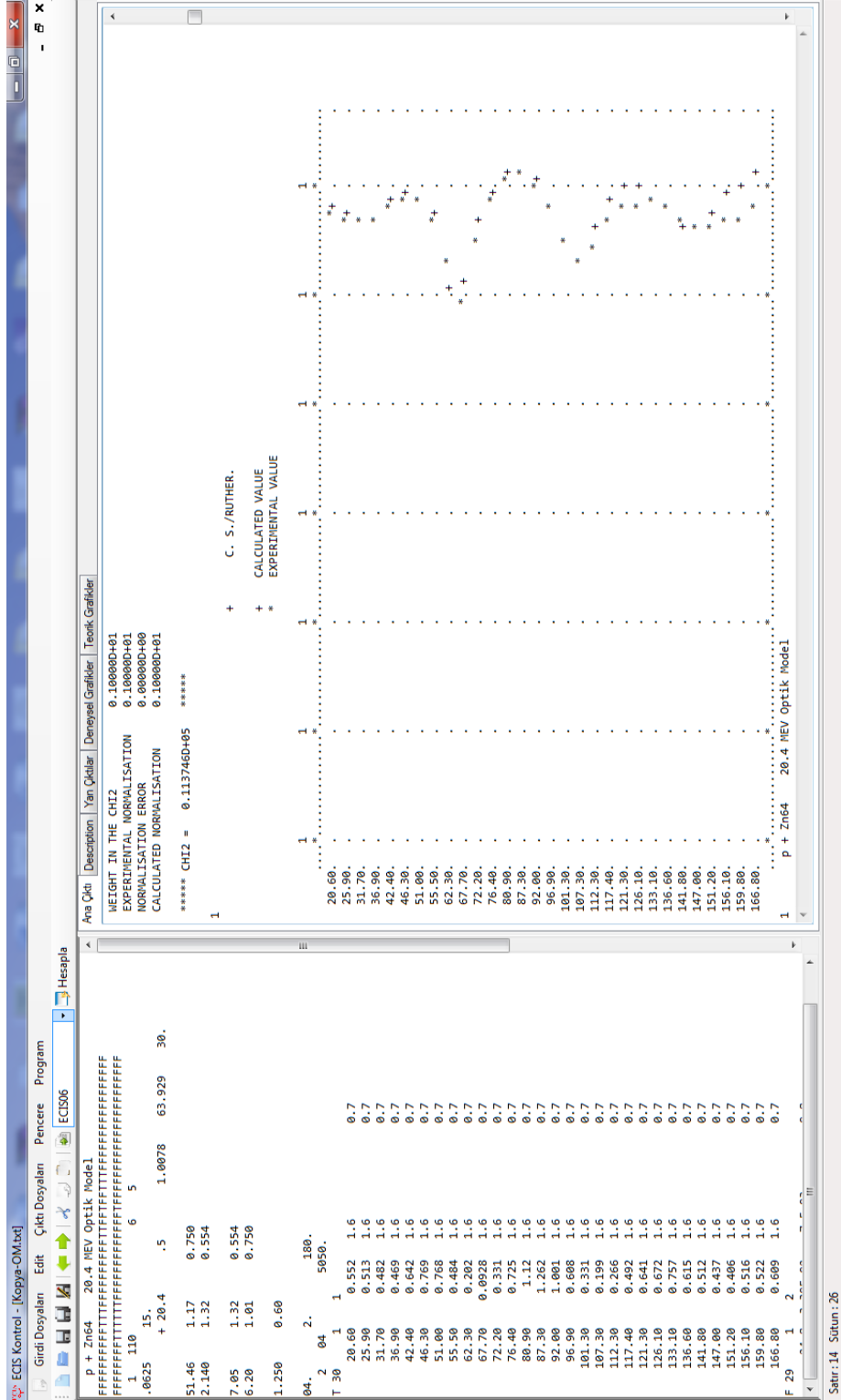
30.000	.90202D+01	.0575350	.0583877	.0038914
32.000	.96029D+01	.0497885	.0506389	.0039282
34.000	.98285D+01	.0398769	.0407588	.0040870
36.000	.96732D+01	.0280811	.0290297	.0043855
38.000	.91696D+01	.0143837	.0154380	.0048486
40.000	.83969D+01	-.0013839	-.0001793	.0055100
42.000	.74614D+01	-.0193765	-.0179698	.0064107
44.000	.64740D+01	-.0395041	-.0378356	.0075911
46.000	.55314D+01	-.0611111	-.0591156	.0090761
48.000	.47024D+01	-.0826347	-.0802481	.0108481
50.000	.40239D+01	-.1014926	-.0986615	.0128201
52.000	.35033D+01	-.1145761	-.1112688	.0148308
54.000	.31256D+01	-.1194391	-.1156487	.0166893
56.000	.28626D+01	-.1155117	-.1112482	.0182561
58.000	.26819D+01	-.1043360	-.0996110	.0195043
60.000	.25530D+01	-.0886547	-.0834680	.0205148
62.000	.24515D+01	-.0711879	-.0655244	.0214232
64.000	.23605D+01	-.0538850	-.0477207	.0223642
66.000	.22705D+01	-.0377606	-.0310743	.0234397
68.000	.21780D+01	-.0230464	-.0158332	.0247065
70.000	.20839D+01	-.0094225	-.0017084	.0261737
72.000	.19917D+01	.0037580	.0119042	.0278030
74.000	.19055D+01	.0172472	.0257072	.0295115
76.000	.18297D+01	.0316654	.0402735	.0311831
78.000	.17670D+01	.0472652	.0558246	.0326900
80.000	.17185D+01	.0637602	.0720709	.0339236
82.000	.16833D+01	.0802893	.0881847	.0348262
84.000	.16586D+01	.0955420	.1029232	.0354100
86.000	.16403D+01	.1079849	.1148440	.0357567
88.000	.16235D+01	.1160836	.1225116	.0360002
90.000	.16032D+01	.1184381	.1246195	.0363021
92.000	.15753D+01	.1138183	.1200172	.0368308
94.000	.15369D+01	.1011458	.1076869	.0377470
96.000	.14869D+01	.0794910	.0867380	.0391949
98.000	.14257D+01	.0481509	.0564814	.0412953
100.000	.13553D+01	.0068558	.0166294	.0441344
102.000	.12790D+01	-.0438721	-.0323554	.0477460
104.000	.12006D+01	-.1022378	-.0887893	.0520876
106.000	.11236D+01	-.1646734	-.1492721	.0570145
108.000	.10514D+01	-.2255255	-.2083702	.0622662
110.000	.98650D+00	-.2772056	-.2587401	.0674792
112.000	.93025D+00	-.3110131	-.2919079	.0722404
114.000	.88317D+00	-.3186094	-.2996854	.0761805
116.000	.84494D+00	-.2937844	-.2758845	.0790838
118.000	.81473D+00	-.2339629	-.2177964	.0809814
120.000	.79153D+00	-.1410160	-.1270084	.0821977
122.000	.77444D+00	-.0212830	-.0094613	.0833388
124.000	.76287D+00	.1150104	.1250771	.0852290
126.000	.75673D+00	.2547283	.2639207	.0888044
128.000	.75640D+00	.3831691	.3927345	.0949674
130.000	.76261D+00	.4858930	.4972840	.1044125
132.000	.77628D+00	.5510189	.5656691	.1174497
134.000	.79816D+00	.5715686	.5906431	.1338832
136.000	.82865D+00	.5470256	.5712109	.1530086
138.000	.86739D+00	.4833234	.5127163	.1737523
140.000	.91318D+00	.3911294	.4252530	.1949092
142.000	.96381D+00	.2831291	.3210548	.2153849
144.000	.10161D+01	.1714009	.2119220	.2343582
146.000	.10660D+01	.0656803	.1074819	.2513327
148.000	.11089D+01	-.0272859	.0145024	.2661011
150.000	.11403D+01	-.1035583	-.0629779	.2786642
152.000	.11556D+01	-.1614019	-.1230928	.2891455
154.000	.11510D+01	-.2005884	-.1654836	.2977190
156.000	.11239D+01	-.2217834	-.1907074	.3045577
158.000	.10732D+01	-.2260800	-.1997810	.3097971
160.000	.99928D+00	-.2146681	-.1938580	.3135063
162.000	.90440D+00	-.1886078	-.1740058	.3156569
164.000	.79253D+00	-.1486623	-.1410455	.3160749
166.000	.66914D+00	-.0951617	-.0954244	.3143506
168.000	.54085D+00	-.0278928	-.0371152	.3096575
170.000	.41501D+00	.0538807	.0343686	.3003633
172.000	.29912D+00	.1507058	.1193611	.2831679
174.000	.20033D+00	.2589689	.2146289	.2512340
176.000	.12486D+00	.3526831	.2977098	.1914612
178.000	.77532D-01	.3228247	.2747518	.0937730
180.000	.61409D-01	.0000000	.0000000	.0259286

*** WORKSPACE USED IN THIS COMPUTATION 40919 ***

559081 MEMORIES NOT USED.

Ek B

ECIS Kontrol Programı Ekran Görüntüsü



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Harun YÜCEL
Doğum Yeri : Karabük
Doğum Tarihi : 20 Mart 1981
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Samsun Namık Kemal Lisesi 1998
Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi 2007
Yüksek Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi 2011

İletişim Bilgileri

Adres : Liman Mah. Ozan Sokak No:11/4 İlkadım / SAMSUN 55100
Tel : 535 847 04 07
E-mail : yucelharun@hotmail.com , harun.yucel@oposta.omu.edu.tr