



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



Yüksek Lisans Tezi

**[ALFA VE BETA BOZUNUMU YAPAN BAZI ÇEKİRDEKLERİN
NÜKLEER YÜK YARIÇAPLARININ VE YÜZEY
KALINLIKLARININ MATHEMATICA İLE HESAPLANMASI]**

[Mohammad FAKE]

[Fizik Anabilim Dalı]

[Nükleer Fizik Programı]

**DANIŞMAN
[Dr. Öğr. Üyesi] [Mehtap YALÇINKAYA]**

[Ocak, 2022]

İSTANBUL

Bu çalışma, 14.01.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı, Nükleer Fizik Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Dr. Öğr. Üyesi Mehtap YALÇINKAYA (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Latife ŞAHİN YALÇIN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Melahat BAYAR
Kocaeli Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi

İntihal Programı Beyanı

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Proje Destekleri

--

Tezden Üretilmiş Yayınların Künye Bilgileri

--

ÖNSÖZ

Liseden itibaren süregelen fizik sevgim ve her zaman ilgimi çeken fizik problemleri nedeniyle üniversitede ilk tercihim fizik programı oldu.

Mezun olduktan sonra hayalim yüksek lisansımı da yaparak bu yolda ilerlemektir. Başta İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde bulunan tüm Hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Kendilerine sonsuza kadar minnettar kalacağım.

Özellikle üniversiteye ilk girdiğimden beri gecesini gündüzüne katıp mesai saatleri dışında bile her türlü desteğini esirgemeyen, yüksek lisans çalışmam boyunca tez danışmanlığımı yapan ve öğrencisi olmaktan onur duyduğum, sorduğum soruları hiçbir zaman geri çevirmeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehtap YALÇINKAYA'ya sonsuz teşekkürlerimi iletmek isterim.

Ayrıca yüksek lisansım boyunca yanımda duran ve çalışmam için her zaman güzel bir ortam sağlayan sevgili eşime ve son olarak da hayatım boyunca yanımda olan, aldığım kararları her zaman destekleyen, beni cesaretlendiren ve moral veren aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2022

[Mohammad FAKE]

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1 GİRİŞ.....	1
2 GENEL KISIMLAR.....	4
2.1 TEMEL KAVRAMLAR	4
2.2 ÇEKİRDEK YARIÇAPI	5
2.3 DENEYSEL YÖNTEMLERLE ÇEKİRDEK YÜK YARIÇAPININ BELİRLENMESİ	6
Elektron Saçılma Deneyleri.....	6
KX-Işını İzotop Kayması	10
Optik İzotop Kayması.....	13
Müonik X-Işınları Ölçümü	14
Ayna Çekirdeklerin Coulomb Enerji Farklarının Ölçümü	16
3 MALZEME VE YÖNTEM.....	18
3.1 GİRİŞ.....	18
3.2 YÜK YARIÇAPLARI HESAPLANACAK İZOTOPIK ZİNCİRLER	20
3.3 ÇEKİRDEK YÜK YARIÇAPI HESAPLAMA YÖNTEMLERİ	22
3.4 MATHEMATICA İLE HESAPLAMA YÖNTEMİ	24
4 BULGULAR.....	27
4.1 ÜÇ FARKLI İZOTOPIK SERİ İÇİN DENEYSEL VERİLER	27
4.2 ÜÇ FARKLI İZOTOPIK SERİ İÇİN A-BAĞLI ÇEKİRDEK YÜK YARIÇAPI HESAPLARI	33
4.3 ÜÇ FARKLI İZOTOPIK SERİ İÇİN N-BAĞLI ÇEKİRDEK YÜK YARIÇAPI HESAPLARI	38
4.4 ÇEKİRDEKLERİN KABUK KALINLIĞI HESABI	43

5 TARTIŞMA VE SONUÇ	44
KAYNAKLAR.....	47
EKLER	49
EK 1. Mathematica Kod Örnekleri.....	49
6 ÖZGEÇMİŞ	54

|



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Rutherford'un Saçılma Deneyi Gösterimi [5].	5
Şekil 2.2: ^{16}O ve ^{12}C 'den elektron saçılması [2].	7
Şekil 2.3: Çeşitli çekirdeklerin elektron saçılma deneylerinden elde edilen radyal yük dağılımları [7].	8
Şekil 2.4: Çekirdeğin yük dağılımı, çekirdeğin R ortalama yarıçapı ve t kabuk kalınlığı [9].	9
Şekil 2.5: Elektron saçılma deneylerinden elde edilen RMS çekirdek yarıçapları [2].	11
Şekil 2.6: Hg izotopları için KX-ışını izotop kaymalarının kütle numarasına olan $A^{2/3}$ bağımlılığı [2].	13
Şekil 2.7: 198-205 Hg izotoplarında 198'e göre ölçülen optik izotop kaymaları [2].	14
Şekil 2.8: Müonik X-ışınları.	15
Şekil 2.9: Müonik X-ışını deneylerinden elde edilen ortalama çekirdek yarıçapları [2].	15
Şekil 2.10: Ayna çekirdeklerin Coulomb enerji farkları [2].	17
Şekil 3.1: Çekirdek yük yarıçapı hesabı için seçilen bölgeler.	20
Şekil 3.2: N ($Z=7$ ve $A= 10-24$), O ($Z=8$ ve $A= 11-26$), F ($Z=9$ ve $A= 13-29$) izotopları.	21
Şekil 3.3: Ni ($Z=28$ ve $A= 50-82$), Cu ($Z=29$ ve $A= 52-80$), Zn ($Z=30$ ve $A= 54-83$).	21
Şekil 3.4: Tl ($Z=81$ ve $A= 176-218$), Pb ($Z=83$ ve $A= 178-220$), Bi ($Z=83$ ve $A= 184-224$).	21
Şekil 3.5: Mathematica'nın iki temel bileşeni.	24
Şekil 3.6: Mathematica'da defter ortamındaki hücreler.	25
Şekil 4.1: Seçilen izotopik ve izotonik serilerin deneysel verilerinin $A^{1/3}$ ile değişimi.	32
Şekil 4.2: Seçilen izotopik ve izotonik serilerin deneysel verilerinin $N^{1/3}$ ile değişimi.	32
Şekil 4.3: $^{10-24}_{7}\text{N}$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.	33

Şekil 4.4: $^{11-26}_{8}\text{O}$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.	34
Şekil 4.5: $^{13-20}_{9}\text{F}$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.	34
Şekil 4.6: $^{50-82}_{28}\text{Ni}$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.	35
Şekil 4.7: $^{52-80}_{29}\text{Cu}$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.	35
Şekil 4.8: $^{54-83}_{30}\text{Zn}$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.	36
Şekil 4.9: $^{176-218}_{81}\text{Tl}$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.	36
Şekil 4.10: $^{178-220}_{83}\text{Pb}$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.	37
Şekil 4.11: $^{184-224}_{83}\text{Bi}$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.	37
Şekil 4.12: $^{10-24}_{7}\text{N}$ izotopik serisi için deneysel veri ile N -bağlı yük yarıçapları.	38
Şekil 4.13: $^{11-26}_{8}\text{O}$ izotopik serisi için deneysel veri ile N -bağlı yük yarıçapları.	39
Şekil 4.14: $^{13-20}_{9}\text{F}$ izotopik serisi için deneysel veri ile N -bağlı yük yarıçapları.	39
Şekil 4.15: $^{50-82}_{28}\text{Ni}$ izotopik serisi için deneysel veri ile N -bağlı yük yarıçapları.	40
Şekil 4.16: $^{52-80}_{29}\text{Cu}$ izotopik serisi için deneysel veri ile N -bağlı yük yarıçapları.	40
Şekil 4.17: $^{54-83}_{30}\text{Zn}$ izotopik serisi için deneysel veri ile N -bağlı yük yarıçapları.	41
Şekil 4.18: $^{176-218}_{81}\text{Tl}$ izotopik serisi için deneysel veri ile N -bağlı yük yarıçapları.	41
Şekil 4.19: $^{178-220}_{83}\text{Pb}$ izotopik serisi için deneysel veri ile N -bağlı yük yarıçapları.	42
Şekil 4.20: $^{184-224}_{83}\text{Bi}$ izotopik serisi için deneysel veri ile N -bağlı yük yarıçapları.	42
Şekil 4.21: Yüzey kalınlığı hesaplayan ara yüz ve kodlaması.	43
Şekil 4.22: Yüzey kalınlığının a ile değişimi. Mavi nokta $a=0.5$ 'deki değeridir.	43

Şekil 7.1: Mathematica kodu (Şekil 4.1 üreten).....	50
Şekil 7.2: Mathematica kodu (Şekil 4.2 üreten).....	52
Şekil 7.3: Kabuk kalınlığının a ile değişimini üreten Mathematica kodu.(Şekil4.22).....	52
Şekil 7.4: Mathematica kodu (Şekil 4.3 üreten).....	53



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Atomik bileşenlerin temel özellikleri ($e = 1.6022 \times 10^{-19}$ C, $1 \text{ u} = 1.6605 \times 10^{-27}$ kg) [1].	4
Tablo 3.1: Çekirdeğin yeni parametreler içeren yük yarıçapı formülleri	22
Tablo 3.2: A, Z ve N–bağlı basit, tek terimli çekirdek yük yarıçapı formülleri [21].	23
Tablo 4.1: Deneysel yük yarıçapları [10].	27

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
α	: Alfa parçacığı
β	: Beta parçacığı
e	: Elektron yükü
Z	: Atom numarası
N	: Nötron sayısı
A	: Kütle numarası
m_p	: Protonun kütlesi
m_n	: Nötronun kütlesi
m_e	: Elektronun kütlesi
E	: Enerji
T_α	: Alfa parçacığının kinetik enerjisi
$V_{çek}$	: Çekirdek hacmi
ϵ_0	: Coulomb katsayısı
q	: Elektrik yükü
$V(r)$	: Coulomb potansiyeli
$V'(r)$	: Farklı bir durum için Coulomb potansiyeli
R	: Çekirdek ortalama yarıçapı
R_o	: İki nükleon arasındaki mesafe
R_C	: RMS Nükleer yük yarıçapı
r_A	: A-bağlı yarıçap katsayısı
r_Z	: Z-bağlı yarıçap katsayısı
r_N	: N-bağlı yarıçap katsayısı
β	: Yarıçap formülü merteye sabiti
b	: Yarıçap formülü sabiti
c	: Yarıçap formülü sabiti
t	: Yüzey kalınlığı
ρ_0	: Merkezi yük yoğunluğu
B	: Çekirdeğin toplam bağlanma enerjisi
B/A	: Nükleon başına bağlanma enerjisi

c	: Işıık hızı
N	: Azot
O	: Oksijen
F	: Flor
Ni	: Nikel
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
Tl	: Talyum
Pb	: Kurşun
Ni	: Bizmut

Kısaltmalar

Açıklama

RMS	: The Root Mean Square –Karekök ortalama
KE	: Kinetik enerji
PE	: Potansiyel enerji
fm	: Fermi
m	: Metre
RMF	: Relativistic Mean Field-Görelî ortalama alan
RMSD	: The Root Mean Square Deviation–Karekök ortalama sapma

ÖZET

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[ALFA VE BETA BOZUNUMU YAPAN BAZI ÇEKİRDEKLERİN NÜKLEER YÜK YARIÇAPLARININ VE YÜZEY KALINLIKLARININ MATHEMATICA İLE HESAPLANMASI]

[Mohammad FAKE]

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

[Fizik Anabilim Dalı]

Danışman : [Dr. Öğr. Üyesi] [Mehtap YALÇINKAYA]

Nükleer yük yarıçapı, bir çekirdeğin en temel özelliklerinden biridir ve nükleer kabuk yapısını ve çekirdeklerin etkileşimlerini araştırmak için önemli bir rol oynar. Elektron saçılma deneylerinden çekirdeğin yük dağılımı elde edilmiştir. Bu yük dağılımı hem çekirdeğin RMS (The Root Mean Square) ortalama yarıçapı ile kütle numarası arasındaki ilişkiyi ortaya koymuş hem de çekirdeğin büyüklüğü ve şekli ile ilgili bilgiler sağlamıştır. Uzun yıllardır hem teorik hem de deneysel olarak nükleer yük yarıçaplarının belirlenmesi ile ilgili çok farklı teknikler kullanılarak çalışmalar yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında, bozunum modları beta ve alfa olan bir grup çekirdek seçilerek bu çekirdeklerin nükleer yük yarıçaplarının RMS değerleri ve kabuk kalınlıkları Mathematica ile hesaplanacak ve mevcut deneysel verilerle karşılaştırılacaktır. |

Ocak 2022, [68] sayfa.

Anahtar kelimeler: [Nükleer yük yarıçapı, rms, kabuk kalınlığı, yük yoğunluğu, Mathematica]

SUMMARY

M.Sc. THESIS

**CALCULATION OF NUCLEAR CHARGE RADII AND SKIN THICKNESS
OF SOME ALPHA AND BETA DECAYING NUCLEI USING
MATHEMATICA**

Mohammad FAKE

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Physics

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Mehtap YALÇINKAYA

The nuclear charge radius is one of the most fundamental properties of a nucleus and plays an important role in investigating the nuclear shell structure and interactions of nuclei. The charge distribution of the nucleus was obtained from electron scattering experiments. This charge distribution not only revealed the relationship between the RMS (The Root Mean Square) mean radius of the nucleus and the mass number, but also provided information about the size and shape of the nucleus. For many years, many different techniques have been used to determine nuclear charge radii, both theoretically and experimentally. In this thesis, a group of nuclei with beta and alpha decay modes will be selected the RMS values of the nuclear charge radii and shell thicknesses of these nuclei will be calculated with Mathematica and compared with the available experimental data.

January 2022, 68 pages.

Keywords: Nuclear charge radius, rms, shell thickness, charge density, Mathematica

1 GİRİŞ

Çekirdeğin büyüklüğü ve yarıçapı ile ilgili ilk bilgiler, 1908-1913 yılları arasında Rutherford ile Hans Geiger ve Ernest Marsden tarafından yapılan Rutherford'un altın saçılma deneyi olarak bilinen bir dizi deney ile elde edilmiştir. Bu çalışmaların sonucu olarak çekirdeklerin yarıçaplarının 10^{-14} m mertebesinde olduğu kabul edilmiştir.

Bir çekirdeğin yarıçapı, başka bir deyişle nükleer yarıçapı, çekirdekler belirli sınırları olan küresel şekillere sahip olmadıkları için kesin olarak tanımlanabilen bir büyüklük değildir. Daha çok çekirdeğin yük ve nükleon yoğunluğu dağılımlarıyla ilişkilidir. Bu nedenle tıpkı atom yarıçapları gibi, çekirdek yarıçapları için de işlemsel bir tanım kullanılır ki bu R ortalama çekirdek yarıçapıdır. Yapılan çalışmalarla, çekirdeğin R ortalama yarıçaplarının ve çekirdeklerin RMS yük yarıçaplarının A nükleon sayısına bağlı olduğu, çekirdek büyüdükçe yani A kütle numarası arttıkça yarıçaplarının da arttığı gösterilmiştir. Elektron saçılma deneyleriyle elde edilen bilgiler, çekirdek yarıçaplarının $A^{1/3}$ bağıllığı gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Bir çekirdeğin en temel özelliklerinden biri nükleer yük yarıçapıdır. Çekirdek özellikleri ile astrofizik ve atom fiziğinin incelenmesinde fayda sağlar, teorik modellerin test edilmesinde önemlidir, çekirdeğin Coulomb enerjisi için doğrudan bilgi sağlar, çekirdeklerin kabuk yapısı ve nükleer kuvvetlerinin doyma özellikleri hakkında bilgi verir.

Bir çekirdeğin yarıçapını deneysel olarak ölçmenin en temel yolu, çekirdek içindeki nükleer yük dağılımını belirlemektir. Çekirdek yarıçapları başka bir deyişle çekirdek (nükleer) yük yarıçapları, “Elektron saçılma deneyleri”, “KX-ışını izotop kayması”, “Optik izotop kayması”, “Müonik X-ışınları ölçümü” ve “Ayna çekirdeklerin Coulomb enerji farklarının ölçümü” metotlarıyla deneysel olarak ölçülür. Uzun yıllardır hem teorik hem de deneysel olarak nükleer yük yarıçaplarının belirlenmesi ile ilgili çok farklı teknikler kullanılarak çalışmalar yapılmaktadır.

Elektron saçılma deneyleri, KX-ışını izotop kayması, Müonik izotop kayması ve Coulomb enerji farklarının ölçümleriyle taban durumdaki kararlı izotopların yarıçapları belirlenmektedir.

Bu nedenle şimdiye kadar daha çok taban durumdaki kararlı çekirdeklerin nükleer yük yarıçaplarına ilişkin veriler elde edilmiştir.

Günümüzde özellikle optik lazer spektroskopisindeki gelişmeler sayesinde 1ms'den daha kısa yarı ömre sahip radyoaktif izotoplar için de ölçümler yapılabilmektedir. Böylece kararlılıktan uzak çekirdeklerin de artık deneysel yöntemler kullanılarak yarıçapları ölçülebilmektedir. Bu konuyla ilgili CERN, GSI vb. uluslararası hızlandırıcı merkezlerinde deneyler önerilmekte ve nükleer fiziğin ilgi çeken bir konusu olarak yoğun bir şekilde araştırılmaktadır.

Nükleer yarıçapların hesaplanmasına ilişkin ilk çalışmalar sıvı damlası modeli öngörülerıyla özellikle beta kararlılık çizgisinde yakın komşu çekirdekler için kütle formülleri yardımıyla ve alfa bozunumu yarı ömürleri kullanılarak yapılmıştır.

Teorik olarak görelilik ortalama alan (Relativistic Mean Field-RMF) teorisi ve bu teorisin geliştirilmiş versiyonu olan Hartree-Bogoliubov teorisi ile deforme olmuş çekirdeklerin RMS yük yarıçapları ve sızdırma çizgileri yakınlarındaki çekirdekler için oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Son zamanlarda. RMS çekirdek yük yarıçapları belirlemek için yapay sinir ağları (artificial neural networks) da kullanılmaktadır. Deneysel veriler ağda eğitilmiş, büyük başarımlı ve doğrulukla çekirdek yarıçapları tahmin edilmiştir.

Günümüze kadar yapılan deneysel, yarı-deneysel (sıvı damlası modeli, kütle farkları ve alfa bozunumu yöntemleri) ve teorik çalışmaların sonucu olarak, çekirdek yarıçaplarının sadece A 'ya değil N ve Z 'ye de hassas şekilde bağlı olduğu gösterilmiştir. Özellikle ağır çekirdeklerin N ve Z sayıları arttığı için bu etkinin sistematik şekilde incelenmesi çok önemlidir. Çekirdeklerdeki nötron sayısındaki çok küçük bir değişim bile deformasyon, nükleer momentler, vb. pek çok farklı nükleer özelliklerin ortaya çıkmasına yol açar. İzotop zincirlerindeki verilerin incelendiğinde, nükleer yük yarıçaplarının N sayısına bağlılığı açıkça görülür. Yapılan sistematik çalışmalar, nükleer yük yarıçaplarının N ve Z -bağıllığını ifade eden basit yarı-ampirik formüllerin türetilmesini sağlamıştır. Bu formüllerin sistematik olarak incelenmesi ve güvenilirliklerin test edilmesi, özellikle beta kararlılık çizgisinden uzaktaki kararsız izotoplar ve halo çekirdeklerin nükleer yük yarıçaplarının hassas bir şekilde hesaplanmasına olanak sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında, farklı bozunum modlarına sahip (β^- , β^+ , ε ve α) hafif, orta ve ağır olmak üzere 3 farklı grup izotopik ve izotonik zincir içinde yer alan çekirdekler seçilerek, bu çekirdeklerin yük yarıçaplarının RMS değerleri yeni parametrelerle Mathematica ile hesaplanmış ve mevcut deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Böylece nükleer yük yarıçaplarının N ve Z -bağıllığını ifade eden basit yarı-ampirik formüllerin doğruluğuna ilişkin sistematik bir çalışma sağlanmıştır. Ayrıca çekirdeklerin t kabuk kalınlıkları, Wood-Saxon fonksiyonundaki a parametresi 0.438–0.556 fm değerleri arasına alınarak Mathematica ile hesaplanmıştır. |



2 GENEL KISIMLAR

2.1 TEMEL KAVRAMLAR

Çekirdek, genel olarak nükleon olarak adlandırılan, proton ve nötron olmak üzere iki tip parçacıktan oluşan oldukça yoğun bir bölgedir. Bir nükleonun kütlesi, bir elektronun kütlesinin yaklaşık 2000 katıdır. Çekirdek, içindeki pozitif yüklerin (protonların) toplamı Z atom numarası ve A kütle sayısı ile tanımlanır. Çekirdekteki pozitif yüklü parçacık protondur. Atom numarası Z olan bir çekirdekte Z tane proton bulunur. Çekirdek yükü $+Ze$ 'dir. Burada e temel birim yani elektronun yüküdür. Elektrikçe nötr olan bir atomda Z tane de negatif yüklü elektron bulunur. Bir çekirdeğin kütle numarası A ile gösterilir. A , nükleer kütle ile temel kütle birimi arasındaki orana en yakın tam sayıdır. Çekirdeğin kütle numarası $A = Z + N$ ile ifade edilir.

Tablo 2.1: Atomik bileşenlerin temel özellikleri ($e = 1.6022 \times 10^{-19}$ C, $1 \text{ u} = 1.6605 \times 10^{-27}$ kg) [1].

	Yük	Kütle (u)	Spin ($\hbar$)	Manyetik Moment (J/T)
Proton	e	1.007276	1/2	1.411×10^{-26}
Nötron	0	1.008665	1/2	-9.660×10^{-27}
Elektron	$-e$	0.000549	1/2	1.280×10^{-24}

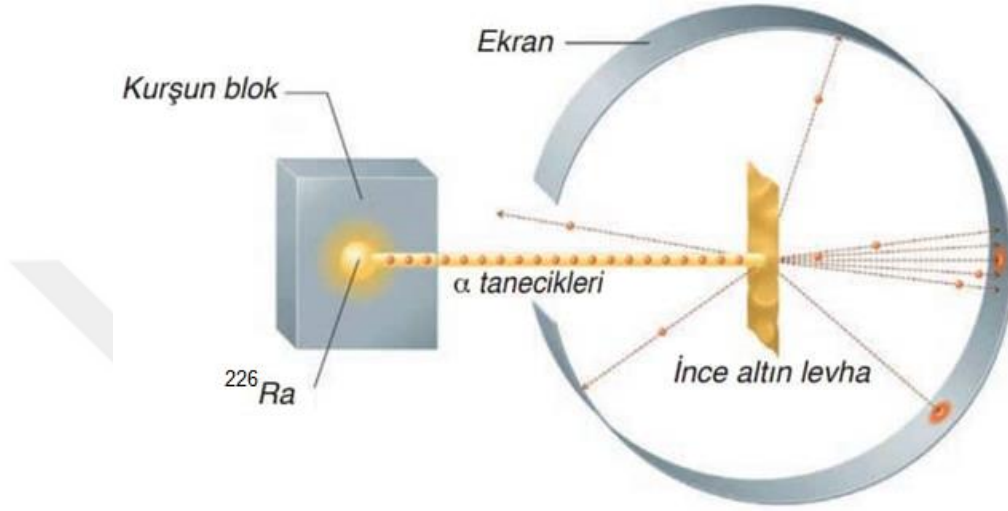
Kararlı çekirdeklerin küresel şekle sahip olduğu kabul edilerek yapılan öngörüler çerçevesinde çekirdekler için ortalama yarıçapın Fermi (fm) mertebesinde olduğu anlaşılmıştır. 1 fermi = 10^{-15} m' dir. Bu uzunluk birimine, Amerikan- İtalyan nükleer fizikçi Enrico Fermi'nin anısına "Fermi" denilmiştir. Doğada bulunan çekirdeklerin ortalama yarıçapları 1.2fm – 7.4fm arasında değişmektedir. Tüm nükleer olaylar bu küçük mesafe içinde meydana gelir. Bir çekirdeği tanımlayabilmemiz için çekirdeğin özelliklerini belirlememiz gerekir. Bu özellikleri şöyle özetleyebiliriz [2,3]:

Statik Özellikler: Elektrik yükü, yarıçap, kütle, bağlanma enerjisi, açısal momentum, parite, manyetik dipol, elektrik kuadropol moment, uyarılmış durumların enerjileri.

Dinamik Özellikler: Çekirdeğin bozunum ve reaksiyon olasılığı.

2.2 ÇEKİRDEK YARIÇAPI

Çekirdeğin büyüklüğü ve yarıçapı ile ilgili ilk bilgiler, 1908-1913 yılları arasında Rutherford ile Hans Geiger ve Ernest Marsden tarafından yapılan Rutherford'un saçılma deneyi olarak bilinen bir dizi deney ile elde edilmiştir [4].



Şekil 2.1: Rutherford'un Saçılma Deneyi Gösterimi [5].

$^{226}_{88}\text{Ra}$ 'un bozunma modu %100 α 'dır. Radyumdan 4.87 MeV enerjiyle yayınlanan ^4_2He çekirdeği olan α -parçacıkları ($Z=2$) çok ince altın levha üzerine ($Z=79$) gönderilir. Kaynaktan belli bir hızla yayınlanan α -parçacıkları altın hedef üzerine giderken bir kinetik enerjiye (KE) sahiptir. Altın hedef durgun halde olduğu için kinetik enerjisi (KE) sıfırdır, ancak potansiyel enerjisi (PE) vardır. Bilindiği üzere iki yüklü parçacık arasında Coulomb potansiyeli etkindir. Enerji korunumu nedeniyle;

$$T_{\alpha} = V_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r} \Rightarrow r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{T_{\alpha}} \quad (2.1)$$

yazılır. Burada, $1/4\pi\epsilon_0 = 8.99 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ ($1\text{J}=1\text{N}\times 1\text{m}$ olduğu için Jm/C^2) Coulomb sabiti; q_1 , α -parçacıklarının proton sayısı; q_2 , altın çekirdeklerinin proton sayısı; T_{α} , α -parçacıklarının kinetik enerjisi ve V_c , elektriksel potansiyel enerji olmak üzere sayısal değerleri yerine konur ve hesaplanırsa;

$$r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{T_\alpha} = 8.99 \times 10^9 \text{ Jm/C}^2 \frac{2 \times (1.60 \times 10^{-19} \text{ C}) \times 79 \times (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})}{(4.87 \times 10^6 \text{ eV}) \times (1.60 \times 10^{-19} \text{ J/eV})} \approx 4.70 \times 10^{-14} \text{ m}$$

olarak bulunur. Böylece Rutherford, Geiger ve Marsden'ın çalışmalarıyla çekirdeklerin yarıçaplarının 10^{-14} m mertebesinde olduğu ilk kez öngörülmüştür.

Bir çekirdeğin yarıçapı, çekirdekler belirli sınırları olan küresel şekillere sahip olmadıkları için kesin olarak tanımlanabilen bir büyüklük değildir. Daha çok çekirdeğin yük ve nükleon yoğunluğu dağılımlarıyla ilişkilidir. Bu nedenle tıpkı atom yarıçapları gibi, çekirdek yarıçapları için de işlemsel bir tanım kullanılır ki bu ortalama çekirdek yarıçapıdır.

Bir çekirdeğin yarıçapını deneysel olarak ölçmenin en temel yolu, çekirdek içindeki nükleer yük dağılımını belirlemektir. Bu nedenle deneysel olarak çekirdek yarıçaplarını başka bir deyişle çekirdek yük yarıçaplarını ölçmenin dört temel yöntemi vardır. Bunlar;

- Elektron saçılma deneyleri
- KX-ışını izotop kayması
- Optik izotop kayması
- Müonik X-ışınları ölçümü
- Ayna çekirdeklerin Coulomb enerji farklarının ölçümü

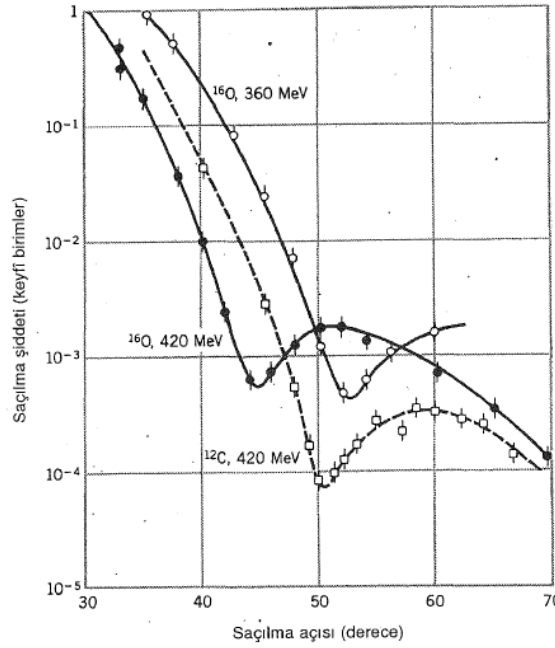
2.3 DENEYSEL YÖNTEMLERLE ÇEKİRDEK YÜK YARIÇAPININ BELİRLENMESİ

Elektron Saçılma Deneyleri

Cisimlerden saçılan radyasyonun incelenmesi, bir cismin şeklini ve büyüklüğünü belirlemek için kullanılan en yaygın yöntemdir. Ancak bunun için kullanılacak radyasyonun dalga boyunun cismin boyutlarından küçük olması şartı vardır. Bu nedenle çekirdeğin büyüklüğü hakkında bilgi almak için kullanılacak radyasyonun dalga boyunun fm mertebesinde olması gerekir. Elektromanyetik dalga spektrumunda yer alan radyasyonların hiçbiri bu amaç için uygun değildir. Kuantum mekaniğine göre her parçacığa bir dalga eşlik eder. Eğer dalga boyu çekirdek yarıçapı mertebesinde olan parçacıklarla çekirdek bombardıman edilirse, çekirdek büyüklüğü hakkında bilgi sahibi olunur. Bu amaç için en uygun parçacıklar enerjisi yaklaşık 20 MeV olan nükleonlar veya yaklaşık 100 MeV olan elektronlardır. Nükleonların kullanılması

durumunda çekirdek içindeki nükleonlarla bu parçacıkların etkileşmesi karmaşık olduğundan iyi bilinen elektromanyetik etkileşmeye giren elektronların kullanılması verilerin değerlendirilmesinde kolaylık sağlar.

Hofstader ve arkadaşları birçok çekirdek üzerinde elektron saçılma deneyleri yapmışlardır ve Şekil 2.3’de ^{16}O ve ^{12}C için elektron saçılma deneylerinin sonuçları görülmektedir [2].



Şekil 2.2: ^{16}O ve ^{12}C ’den elektron saçılması [2].

Şekil 2.3’den görüldüğü üzere saçılma açısı arttıkça elektron saçılmalarında önce bir azalma meydana gelir. Bu azalma eğilimi bir minimum noktasından geçtikten sonra elektron saçılmaları bir miktar artma ve sonra yine azalma eğilimi göstermektedir. Bu eğilim, D çaplı dairesel bir diskteki kırınım desenindeki minimum ve maksimumlara benzetilmiş ve bu yaklaşımla ^{12}C için çekirdek yarıçapı yaklaşık 2.3 fm olarak hesaplanmıştır. Şöyle ki;

D çaplı dairesel bir diskteki kırınım için dairesel çözünürlük, Rayleigh Kriteri : $\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$

420 MeV elektronlarla bombardıman edilen ^{12}C için birinci minimum : 50°

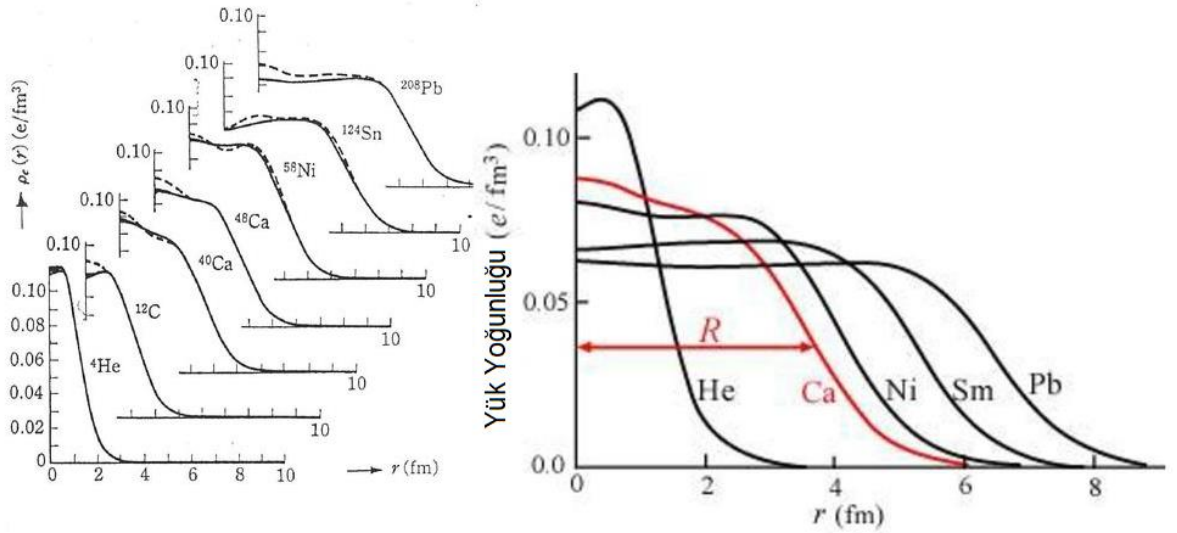
$$\lambda = \frac{h c}{p c} = \frac{1240 \text{ MeV} \cdot \text{fm}}{420 \text{ MeV}} \approx 2.95 \text{ fm}$$

$$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{D} \Rightarrow D = \frac{1.22 \lambda}{\sin \theta} = \frac{1.22 \times 2.95 \text{ fm}}{\sin 50^\circ} \approx 4.69 \text{ fm}$$

$$^{12}\text{C} \text{ için } r = \frac{D}{2} \approx 2.3 \text{ fm}$$

Benzer hesaplar ^{16}O için de yapılırsa, ^{16}O için çekirdek yarıçapı yaklaşık 2.6 fm bulunur [3].

Çekirdeğin yarıçapı, çekirdek içindeki yük dağılımına bağlıdır. Elektronların çekirdeklerden saçılmaları kuantum mekaniksel açıdan incelenir ve saçılma teorisinin sonuçları kullanılırsa çekirdekteki yük dağılımı ve çekirdek içindeki nasıl bir $\rho(r)$ yük yoğunluğunun bu dağılıma yol açtığı belirlenir. Bu yöntemin birkaç çekirdek için deneysel sonuçları Şekil 2.3’de görülmektedir [2,3,6].



Şekil 2.3: Çeşitli çekirdeklerin elektron saçılma deneylerinden elde edilen radyal yük dağılımları [7].

Birkaç çekirdek için elektron saçılma deneylerinden elde edilen radyal yük dağılımlarında göze çarpan özellik şudur; çekirdekteki yükler merkezden uzaklaştıkça yüzeye doğru belirli bir mesafeye kadar oldukça sabit bir dağılım göstermektedir. Ancak daha sonra yük yoğunluğu kademeli olarak azalarak sıfıra gitmektedir.

Hafif çekirdeklerin merkezlerinde daha fazla yük vardır. Çekirdek büyüdükçe merkezdeki yük yoğunluğu azalmakta ancak sabit olarak gittiği mesafe artmaktadır. Dolayısıyla çekirdekler için kesin bir yarıçaptan bahsedemeyiz.

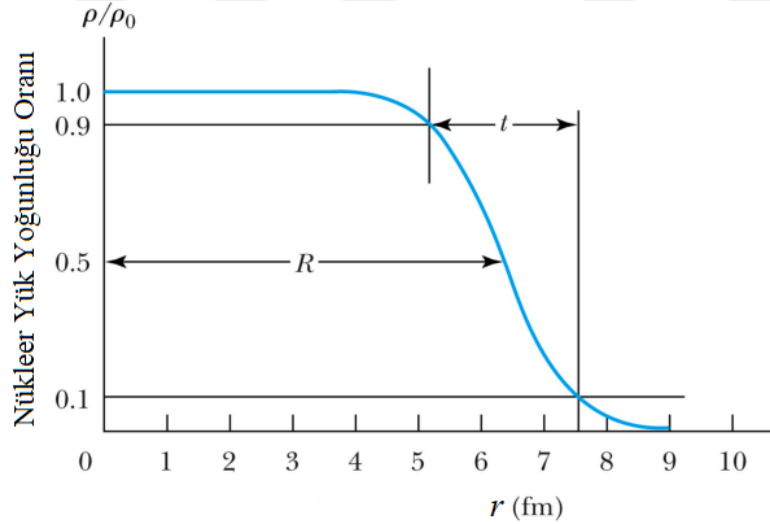
Deneysel olarak elde edilen yük yoğunluğu dağılımının

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + e^{(r-R)/a}} \quad (2.2)$$

Wood-Saxon fonksiyonuna uyduğunu göstermiştir ve Şekil 2.4’de görülmektedir [2,3,8]. Burada ρ_0 , merkezi yük yoğunluğu, R , ortalama yarıçap ve a , fonksiyonun ne kadar hızla sıfıra düştüğünü gösteren parametredir ve değeri deneysel olarak yaklaşık 0.55 fm olarak bulunmuştur[8].

Çekirdek büyüklüğünü ve şeklini iki parametre ile tanımlamak mümkündür. Bunlardan biri merkezi yük yoğunluğunun yarıya düştüğü mesafe yani “**Ortalama Yarıçap (R)**”, diğeri de merkezi yük yoğunluğunun %90’dan %10’a düştüğü “**Kabuk Kalınlığı (t)**”dir.

t değeri ile a parametresi arasındaki ilişki $t=4.4 \times a$ ile verilir ve hemen hemen tüm çekirdekler için kabuk kalınlığı yaklaşık 2.3 fm’dir. Ortalama yarıçap kütle numarası arttıkça artar, başka bir deyişle ağır çekirdeklerin yarıçapları daha büyüktür.



Şekil 2.4: Çekirdeğin yük dağılımı, çekirdeğin R ortalama yarıçapı ve t kabuk kalınlığı [9].

Çekirdeklerin Rutherford saçılması, α -bozunumu ve pionik X-ışınları ölçümlerinden elde edilen nükleon dağılımı da Şekil 2.4 ile benzerdir. Yapılan tüm deneyler merkezi yük yoğunluğun değerinin bütün çekirdekler için $\rho_0 \approx 1.65 \times 10^{14}$ nükleon/m³=0.165 nükleon/fm³ olduğunu göstermiştir.

Çekirdeklerin nükleon dağılımının yük dağılımına benzer olması, merkezi yük yoğunluğunun tüm çekirdekler için hemen hemen aynı değerde olması ve belirli bir mesafeye kadar oldukça sabit bir dağılım göstermesi birim hacim başına nükleon sayısının hemen hemen sabit olduğunu düşünmemize yol açar.

$$\rho = \frac{A}{V_{\text{çek}}} = \frac{A}{\frac{4}{3}\pi R^3} \sim \text{Sabit} \Rightarrow A = \text{Sabit} \times R^3 \Rightarrow R \propto A^{1/3}$$

$$R = R_0 A^{1/3} \quad (2.3)$$

Burada R ortalama çekirdek, A çekirdeğin kütle numarası ve R_0 orantı katsayısıdır. Görüldüğü üzere çekirdeğin ortalama yarıçapı kütle numarasıyla orantılıdır. Orantı katsayısı R_0 , elektron saçılma deneylerinden bulunmuştur, değeri 1.2–1.25 fm arasında değişmektedir.

Düzgün yük yoğunluğu $\rho(r)$ olan R yarıçaplı bir küre için,

$$\langle r^2 \rangle = \frac{\int r^2 \rho(r) dv}{\int \rho(r) dv} = \frac{1}{V} \int r^2 \rho dv = \frac{1}{\frac{4}{3}\pi R^3} \int_0^R r^4 dr \int_0^\pi \sin \theta d\theta \int_0^{2\pi} d\phi = \frac{3}{5} R^2 \quad (2.4)$$

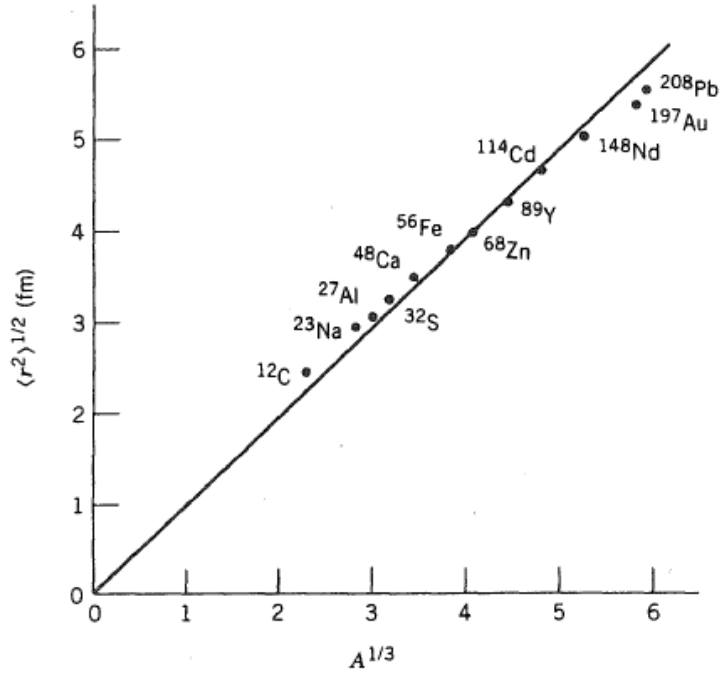
(2.3) denklemi (2.4) de yerine konursa,

$$\langle r^2 \rangle^{1/2} = \left(\sqrt{\frac{3}{5}} \times R_0 \right) A^{1/3} \quad (2.5)$$

Yarıçapın karesinin ortalamasının karekökü (RMS) $\langle r^2 \rangle^{1/2}$, saçılan elektron dağılımından kolayca çıkarılabilir. Şekil 2.5’de elektron saçılma deneylerinden elde edilen RMS çekirdek yarıçapları görülmektedir. Doğrunun eğimi $R_0 = 1.23$ fm olduğunu göstermektedir [2,3].

KX-Işını İzotop Kayması

Çekirdek içindeki yük yoğunluğunun bulunması için kullanılan bir diğer yöntem de KX-ışını izotop kayması yöntemidir. Hidrojen atomu için Schrödinger dalga denkleminin çözümünde, elektronun noktasal bir çekirdeğin oluşturduğu potansiyel içinde hareket ettiği kabul edilir. Oysa çekirdek sonlu boyutu olan bir yapıdır, noktasal bir parçacık değildir [2,3].



Şekil 2.5: Elektron saçılma deneylerinden elde edilen RMS çekirdek yarıçapları [2].

Çekirdeğin noktasal bir parçacık olmaması nedeniyle elektronun dalga fonksiyonu çekirdek içine ($r < R$ bölgesine) sızabilir.

Çekirdeği R yarıçaplı düzgün bir küre olarak kabul edersek, çekirdeğin içindeki ve dışındaki Coulomb potansiyel enerjilerini aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$V_{iç}(r) = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 R} \left[\frac{3}{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad r < R$$

$$V_{dış}(r) = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad r \geq R$$

Ψ_n durumunda bulunan bir elektronun E toplam enerjisi, noktasal bir çekirdeğin potansiyel enerjisinin beklenen değerine bağlıdır;

$$\langle V \rangle = \int \Psi_n^* V \Psi_n dv$$

Çekirdeği noktasal değil küre olarak düşünürsek, Ψ_n durumunda bulunan elektronun dalga fonksiyonundaki değişimi önemsiz olarak kabul edersek, Elektronun E' enerjisi kürenin içindeki ve kürenin dışındaki potansiyel enerjilerin beklenen değerlerinin toplamına eşit olur.

$$\langle V' \rangle = \int_{r < R} \Psi_n^* V_{iç} \Psi_n dv + \int_{r \geq R} \Psi_n^* V_{dış} \Psi_n dv$$

Çekirdeğin küresel olması elektronik durumların enerjisini

$$\Delta E = \langle V' \rangle - \langle V \rangle \quad \text{kadar değiştirecektir.}$$

Elektronun 1s durumunu ele alalım;

$$\Psi_{1s} = 2 \left(\frac{Z}{a_0} \right)^{3/2} e^{-Zr/a_0} \Rightarrow \Delta E = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{4Z^4}{a_0^3} \int_0^R e^{-2Zr/a_0} \left[\frac{1}{r} - \frac{3}{2R} + \frac{1}{2} \frac{r^2}{R^3} \right] r^2 dr$$

Burada a_0 , Bohr yarıçapıdır ve

$$a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} \approx 0.53 \times 10^{-10} \text{ m} \Rightarrow \frac{R}{a_0} \cong 10^{-5} \Rightarrow e^{-2Zr/a_0} \cong 1 \quad \text{ve böylece}$$

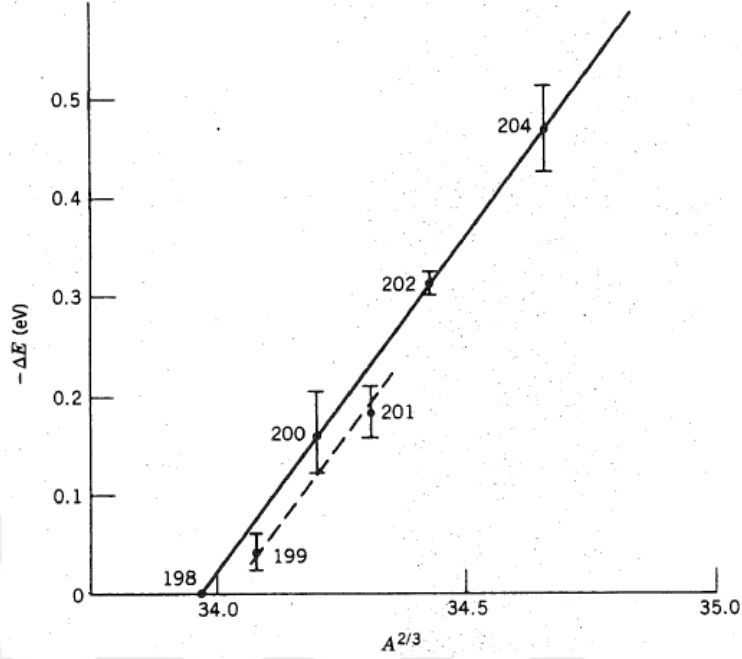
$$\Delta E = \frac{2 Z^4 e^2}{5 4\pi\epsilon_0} \frac{R^2}{a_0^3} \quad (2.6)$$

ΔE , düzgün yüklü küresel bir çekirdek için bulunan 1s durumunun enerjisi ile noktasal bir çekirdek kabulü ile bulunan 1s durumunun enerjisi arasındaki farktır,

Kütle numaraları A ve A' olan komşu iki izotop için $2p \rightarrow 1s$ durumları arasındaki geçişten kaynaklanan KX-ışınlarının enerjilerine bakalım.

$$E_k(A) - E_k(A') = [E_{2p}(A) - E_{1s}(A)] - [E_{2p}(A') - E_{1s}(A')] = -\frac{2 Z^4 e^2}{5 4\pi\epsilon_0} \frac{1}{a_0^3} R_0^2 [A^{2/3} - A'^{2/3}]$$

$E_k(A) - E_k(A')$ büyüklüğüne KX-ışını izotop kayması denir. Şekil 2.6'da Hg izotopları için KX-ışını izotop kaymalarının kütle numarasına olan $A^{2/3}$ bağımlılığı görülmektedir. Doğrunun eğimi $R_0 = 1.23 \text{ fm}$ 'dir ve elektron saçılması deneylerinden elde edilen sonuç ile uyumludur.



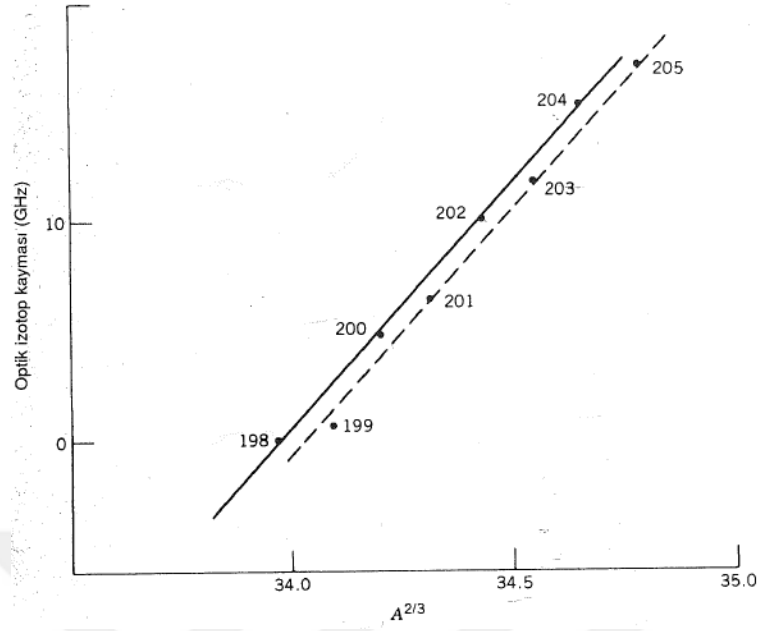
Şekil 2.6: Hg izotopları için KX-ışını izotop kaymalarının kütle numarasına olan $A^{2/3}$ bağımlılığı [2].

Optik İzotop Kayması

Atomlarda dış elektron yörüngeleri arasındaki geçişler görünür ışık oluşturur. İşte bu optik ışımlar için de izotopik kaymaları ölçmek mümkündür. Bu elektronik yörüngeler 1s yörüngesine göre çekirdekten daha uzakta olduğu için 1s elektronları için gözlenen kaymalardan çok daha küçüktür.

Optik lazer spektroskopi yöntemlerindeki gelişmeler, 1ms'den daha kısa ömürlü olan radyoaktif atomların ölçümlerinin yapılmasını sağlar. Bu ölçümler kararlılıktan uzak çekirdekler üzerinde gerçekleştirilmiştir ve $\delta\langle r^2 \rangle$ izotop kaymaları hakkında bilgi verir [10].

Şekil 2.7'de 198-205 Hg izotoplarında 198'e göre lazer spektroskopisiyle ölçülen optik izotop kaymaları görülmektedir. Doğrunun eğimi $R_0 = 1.2$ fm'dir ve çok sayıda yapılan çekirdek için elektron saçılma deneylerinden elde edilen değerle uyumludur.



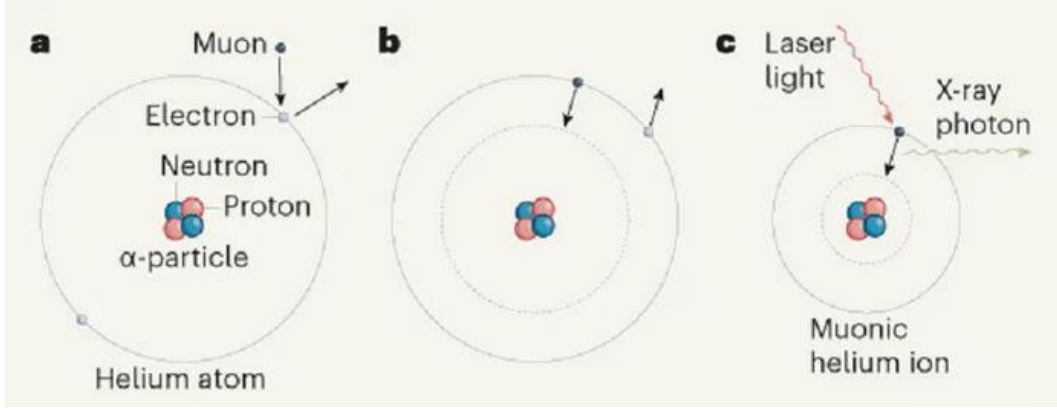
Şekil 2.7: 198-205 Hg izotoplarında 198'e göre ölçülen optik izotop kaymaları [2].

Müonik X-Işınları Ölçümü

Çekirdeğin içindeki yük dağılımını belirlemek için diğer bir yöntem ise müonik atomları kullanmaktır. Negatif bir müon çekirdek tarafından yakalandığında, müonik bir atom oluşturabilir. Müonlar elektron yörüngelerine benzer yörüngelerde hareket ederler ve ard arda fotonlar yayınlayarak 1s taban durumuna gelirler. Müon yörüngede 2 μ s'lik bir ömürle bozunacaktır. Çekirdeğin büyüklüğünden dolayı oluşan enerji kayması, çekirdeğin içinde elektron/müon bulma olasılığı ile orantılıdır:

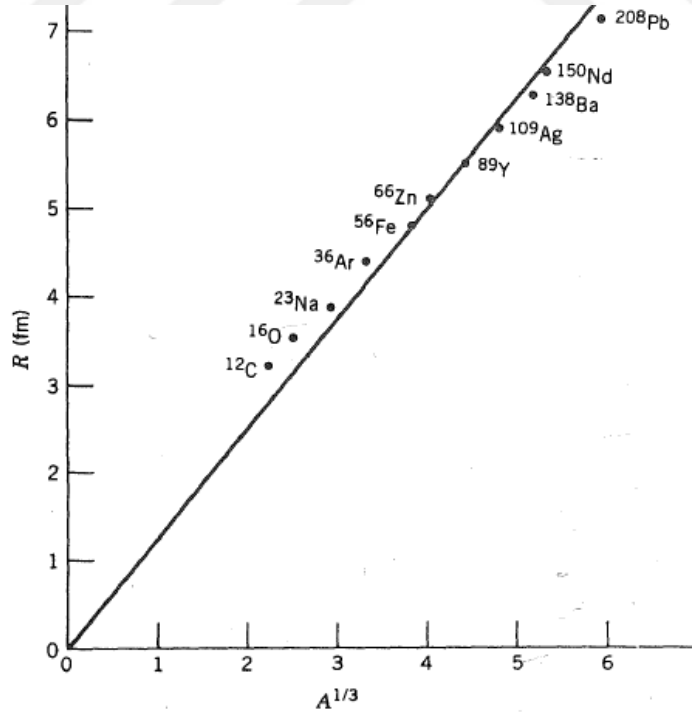
$$\Delta E \approx |\Psi(0)|^2 \approx \left(\frac{1}{a_0}\right)^3 \quad \text{ve} \quad a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{me^2}$$

a_0 , hidrojen benzeri bir atomun Bohr yarıçapıdır ve yörüngedeki müonun kütlesiyle ters orantılıdır. Çekirdek büyüklüğünün geçiş enerjisi üzerindeki etkisi $(m_\mu/m_e)^3$ faktörü kadardır [11]. Ağır çekirdekler için 1s müonik yörüngesi çekirdek yarıçapı içinde ortalama bir yarıçapa sahiptir.



Şekil 2.8: Müonik X-ışınları.

Müonun kütlesi elektronun kütlesinin 207 katıdır. Hidrojen atomunun enerji düzeyleri doğrudan doğruya elektronik kütleyle bağlıdır. Bu nedenle müonik geçiş enerjilerinin elektronik geçişlerin 207 katı olmasını bekleriz. Tipik bir KX-ışını enerjisi keV mertebesindeyken, müonik KX-ışınlarının enerjisi birkaç MeV olacaktır. İzotopik kayma, elektronik KX-ışınlarına göre çok daha büyüktür. Şekil 2.9’da müonik X-ışını deneylerinden elde edilen ortalama çekirdek yarıçapları görülmektedir. Doğrunun eğimi $R_0 = 1.25 \text{ fm}$ ’dir [2].



Şekil 2.9: Müonik X-ışını deneylerinden elde edilen ortalama çekirdek yarıçapları [2].

Ayna Çekirdeklerin Coulomb Enerji Farklarının Ölçümü

Çekirdeğin yarıçapını belirlemenin bir başka yolu da çekirdeklerin Coulomb enerji farklarının ölçülmesidir. Ancak bu yöntem sadece bir proton ve nötronun yer değiştirmesi ile elde edilen izobarik çekirdekler, yani ayna çekirdekler için uygundur. Örneğin $^{11}_6\text{C}_5$ ve $^{11}_5\text{B}_6$ ayna çekirdeklerdir. $^{11}_6\text{C}_5$ 'dan $^{11}_5\text{B}_6$ çekirdeğini elde etmek için, $^{11}_6\text{C}_5$ 'in bir protonunu nötrona dönüştürmek yani β^+ bozunumu yapmak gerekir.

Nükleer kuvvetler yükten bağımsızdır. Proton ve nötron arasında bir ayırım yapmaz. Bu nedenle ayna çekirdeklerdeki böyle bir dönüşüm sadece Coulomb enerjisini değiştirir. İki çekirdek arasındaki bu enerji farkı, iki proton arasındaki uzaklığı verir. Bu uzaklık kullanılarak çekirdek yarıçapı hesaplanabilir. R yarıçaplı, Q yüküne sahip bir kürenin Coulomb potansiyel enerjisi farkı;

$$\Delta E_C = \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q^2}{R}, \text{dir.}$$

Ayna çekirdekler arasındaki Coulomb enerji farkı da

$$\Delta E_C = \frac{3}{5} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R} [Z^2 - (Z-1)^2] = \frac{3}{5} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R} (2Z-1) \text{ ile verilir.}$$

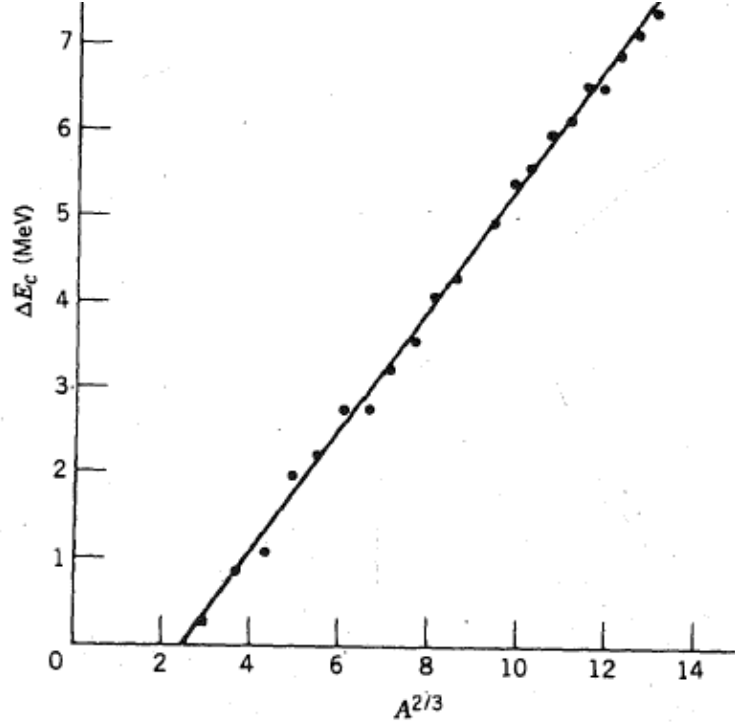
Ayna çekirdeklerde $N = Z - 1$ olmalıdır. Buna göre $A = Z + N = 2Z - 1$ ve $R = R_0 A^{1/3}$ alınır,

$$\Delta E_C = \left(\frac{3}{5} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R} \right) A^{2/3} \quad (2.7)$$

Coulomb enerji farkları ya β^+ bozunumu ya da nükleer reaksiyon ile ölçülür. β^+ bozunumunda yayınlanan pozitronun maksimum enerjisi, iki çekirdek arasındaki enerji farkının bir ölçüsüdür.

Bazen çekirdekler protonlarla bombardıman edildiğinde oluşan bileşik çekirdek nötron yayınlar ve bu reaksiyonun meydana gelmesi için gerekli minimum proton enerjisi iki çekirdek arasındaki enerji farkının bir ölçüsüdür.

Şekil 2.9’da ayna çekirdeklerin ölçülen Coulomb enerji farklarının $A^{2/3}$ ’e göre değişimi görülmektedir. Bu grafiğin eğimi $R_0=1.22$ fm’dir ve daha önceki sonuçlarla uyumludur [2].



Şekil 2.10: Ayna çekirdeklerin Coulomb enerji farkları [2].

3 MALZEME VE YÖNTEM

3.1 GİRİŞ

Nükleer yük yarıçapı, bir çekirdeğin en temel özelliklerinden biridir ve

- Çekirdeğin özelliklerinin incelemesinde yarar sağlar.
- Teorik modellerin test edilmesinde önemlidir.
- Astrofizik ve atom fiziğinin incelemesinde fayda sağlar.
- Çekirdeklerin kabuk yapısı hakkında bilgi verir.
- Çekirdeğin Coulomb enerjisi için doğrudan bilgi sağlar.
- Nükleer kuvvetlerinin doyma özellikleri hakkında bilgi verir.

Elektron saçılma deneyleriyle çekirdeğin yük dağılımı elde edilmiştir. Bu yük dağılımı hem çekirdeğin RMS (The Root Mean Square) ortalama yarıçapı ile kütle numarası arasındaki ilişkiyi ortaya koymuş hem de çekirdeğin büyüklüğü ve şekli ile ilgili bilgiler sağlamıştır. Uzun yıllardır hem teorik hem de deneysel olarak nükleer yük yarıçaplarının belirlenmesi ile ilgili çok farklı teknikler kullanılarak çalışmalar yapılmaktadır.

Elektron saçılma deneyleri, KX-ışını izotop kayması, Müonik izotop kayması ve Coulomb enerji farklarının ölçümleriyle taban durumdaki pek çok kararlı izotopun yarıçapları ölçülmüştür [12,13]. Günümüzde optik lazer spektroskopisindeki gelişmeler, 1ms'den daha kısa yarı ömre sahip radyoaktif izotoplar için de ölçüm yapabilme olanağı sağlamıştır. Böylece kararlılıktan uzak çekirdeklerin de yarıçapları ölçülebilmektedir. Elektron saçılma deneyleri ve müonik atomlardaki geçişlerin ölçümleri R yük yarıçaplarıyla, KX-ışını ve optik izotop kaymaları $\delta\langle r^2 \rangle$ izotopik değişimlerle ilgili bilgi sağlar [14]. Farklı yöntemlerle elde edilen deneysel verilerin tek bir nükleer yarıçap verisinde bir araya getirilmiştir [10].

Sıvı damlası modeli ve kütle formülleri yardımıyla [15] ve alfa bozunumu ile de [16] çekirdek yarıçapları yarı-deneysel olarak belirlenmiştir.

Teorik olarak göreceli ortalama alan (Relativistic Mean Field-RMF) teorisi ile deforme olmuş çekirdeklerin RMS yük yarıçapları başarılı sonuçlar verir. RMF teorisinin geliştirilmiş

versiyonu Hartree-Bogoliubov teorisi de sızdırma çizgileri yakınlarındaki çekirdekler için oldukça başarılıdır [17,18].

Son zamanlarda. RMS çekirdek yük yarıçapları belirlemek için yapay sinir ağları (artificial neural networks) de kullanılmaktadır. Deneysel veriler, ağda eğitilmiş ve büyük başarımlı ve doğrulukla çekirdek yarıçapları tahmin edilmiştir [19].

Çekirdeğin yarıçapının çekirdeğin A kütle numarasına bağlı olduğu (2.3) denklemiyle açıkça görülmektedir. Bununla birlikte geleneksel olarak A 'ya bağlı yük yarıçapı formülü, nötron ve proton sayıları arasında önemli bir farkın olduğu tüm çekirdekler için genel olarak geçerli değildir. Ayrıca deneysel veriler $R_0 / A^{1/3}$ oranının sabit olmadığını da göstermektedir [20].

Günümüze kadar yapılan deneysel, yarı-deneysel (sıvı damlası modeli, kütle farkları ve alfa bozunumu yöntemleri) ve teorik çalışmaların sonucu olarak, çekirdek yarıçaplarının sadece A 'ya değil N ve Z 'ye daha hassas şekilde bağlı olduğunu gösteren yeni parametreler ortaya konmuştur [14,21].

Bu tez çalışmasında, farklı bozunum modlarına sahip (β^- , β^+ , ϵ ve α) hafif, orta ve ağır olmak üzere 3 farklı grup izotopik ve izotonik zincir içinde yer alan çekirdekler seçilerek, bu çekirdeklerin yük yarıçaplarının RMS değerleri yeni parametrelerle Mathematica ile hesaplanmış ve mevcut deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

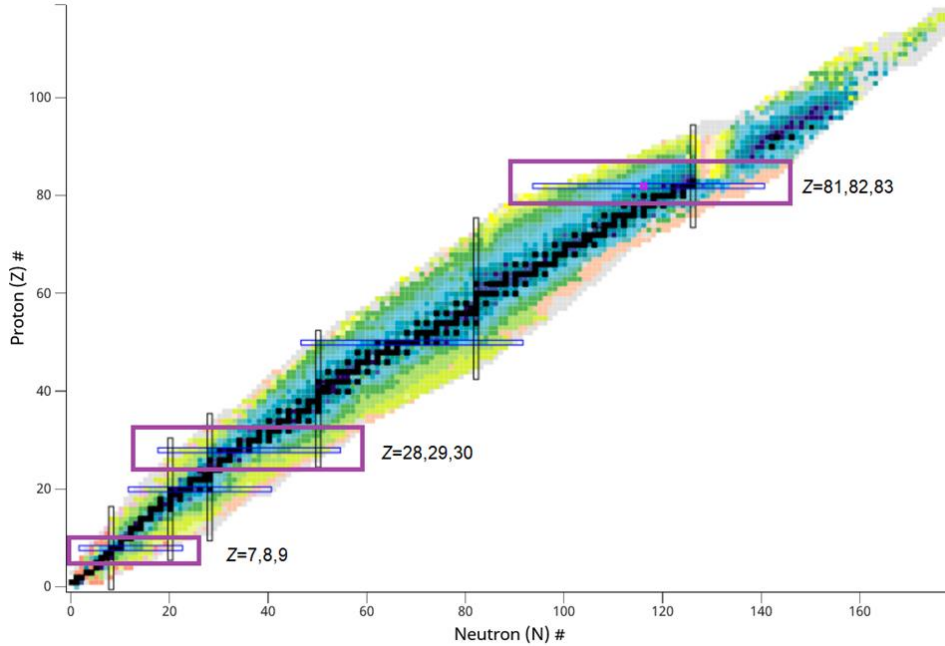
Çekirdeklerin t kabuk kalınlığı ile Wood-Saxon fonksiyonundaki a parametresi arasındaki ilişki $t=4.4 \times a$ ile verilmektedir. Buradaki a değeri deneysel verilerin fit edilmesiyle bulunmuş bir değerdir. Genelde a değeri 0.55 fm alındığı için hemen hemen tüm çekirdeklerin kabuk kalınlığı yaklaşık 2.3 fm olarak bulunur. Ancak literatürde a değeri 0.438–0.556 fm [22,23,24] arasında değişmektedir. Bu aralıktaki a değerleri için çekirdeklerin t kabuk kalınlıkları da Mathematica ile hesaplanmıştır.

3.2 YÜK YARIÇAPLARI HESAPLANACAK İZOTOPIK ZİNCİRLER

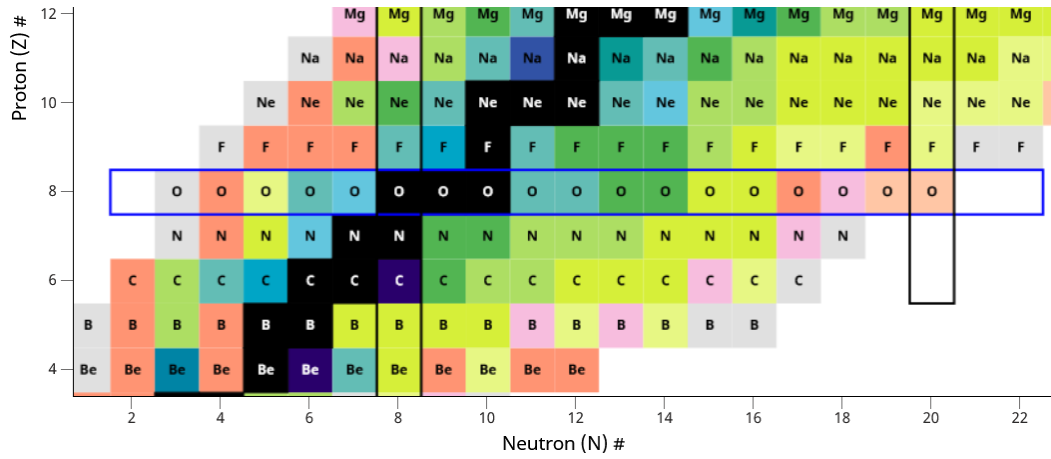
Çekirdeklerin yük yarıçaplarının N ve Z 'ye bağımlılığını incelemek için hafif, orta ve ağır çekirdek bölgelerinden farklı bozunum modlarına sahip üçer izotopik ve izotonik zincir seçilmiştir. Seçilen çekirdekler Şekil 3.1'de görülmektedir [25].

- Hafif çekirdek bölgesi için seçilen çekirdeklerimiz (Bkz Şekil 3.2),
N ($Z=7$ ve $A= 10-24$), O ($Z=8$ ve $A= 11-26$), F ($Z=9$ ve $A= 13-29$)
- Orta çekirdek bölgesi için seçilen çekirdeklerimiz (Bkz Şekil 3.3),
Ni ($Z=28$ ve $A= 50-82$), Cu ($Z=29$ ve $A= 52-80$), Zn ($Z=30$ ve $A= 54-83$)
- Ağır çekirdek bölgesi için seçilen çekirdeklerimiz (Bkz Şekil 3.4),
Tl ($Z=81$ ve $A= 176-218$), Pb ($Z=83$ ve $A= 178-220$), Bi ($Z=83$ ve $A= 184-224$)

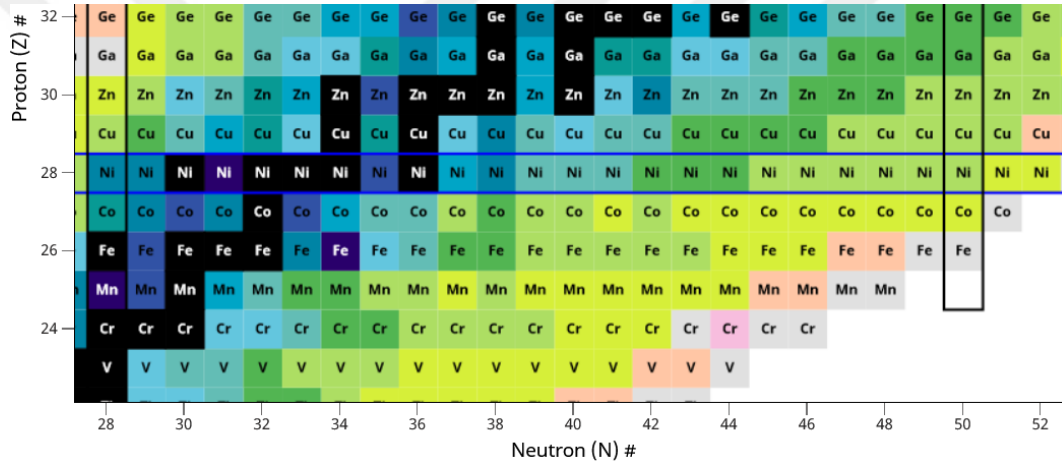
Bu 3 farklı bölgede seçilen izotopik ve izotonik zincirlerdeki birbirine komşu farklı 3 grup çekirdek için yeni parametrelerle yapılacak hesaplar, çekirdek yük yarıçaplarının sadece A 'ya değil N ve Z 'ye daha hassas şekilde bağlı olduğunu göstermesi için yeterli bir sistematik bir bilgi sağlayacaktır.



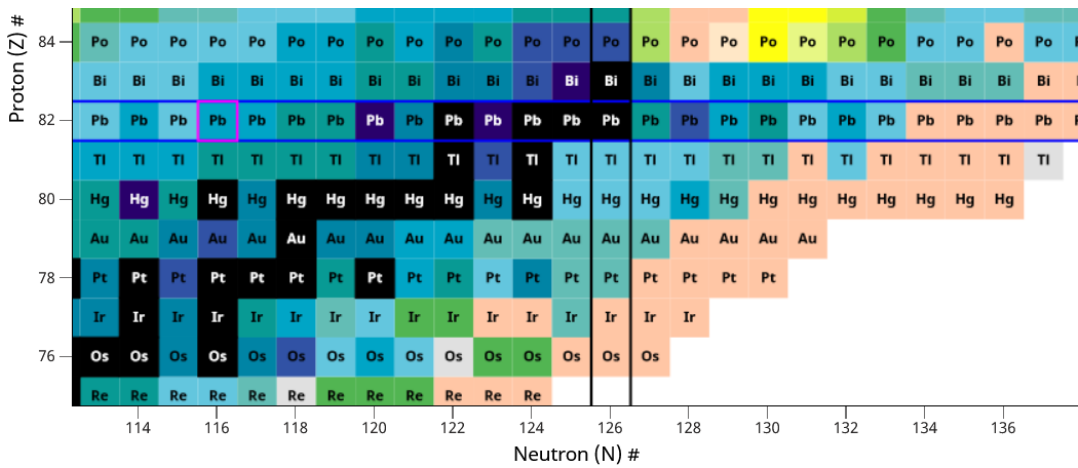
Şekil 3.1: Çekirdek yük yarıçapı hesabı için seçilen bölgeler.



Şekil 3.2: N ($Z=7$ ve $A=10-24$), O ($Z=8$ ve $A=11-26$), F ($Z=9$ ve $A=13-29$) izotopları.



Şekil 3.3: Ni ($Z=28$ ve $A=50-82$), Cu ($Z=29$ ve $A=52-80$), Zn ($Z=30$ ve $A=54-83$).



Şekil 3.4: Tl ($Z=81$ ve $A=176-218$), Pb ($Z=82$ ve $A=178-220$), Bi ($Z=83$ ve $A=184-224$).

3.3 ÇEKİRDEK YÜK YARIÇAPI HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Daha önceki çalışmalarla atomik çekirdeklerin temel özelliklerinden biri olan çekirdek yük yarıçapının $A^{1/3}$ ile orantılı olduğu ifade edilmiş ve çekirdeklerin A atom numarası veya Z kütle numarası dikkate alınmamıştı. (2.3) denklemiyle verilen ve yük yarıçaplarını belirlemek için kullanılan bağıntıdaki R_0 orantı katsayısı, deneysel yük yarıçapı verilerine lineer fit uygulanmasıyla tespit edilmiş ve değeri 1.2–1.25 fm arasında değişmektedir. Deneysel olarak çekirdek yük yarıçapı ölçüm tekniklerinin gelişmesiyle birlikte sadece kararlı ve taban durumdaki çekirdekler için bu genel formülün verdiği sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Son yıllarda yapılan çalışmalarla özellikle β kararlılık vadisinden uzakta, sızdırma çizgisinin yakınlarındaki radyoaktif çekirdekler için bu geleneksel ampirik formülde yeni parametrelerle düzeltmeler yapılmıştır [14,21,26]. Böyle çekirdek yük yarıçapının N ve Z 'ye olan bağımlılığı ifade edilmiştir. Tablo 3.1'de yer alan birinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci formüllerdeki parametreler $A \geq 40$ olan çekirdekler için elde edilen deneysel verilere en küçük kareler yöntemiyle yapılan fit sonucu elde edilmiştir [26].

Tablo 3.1: Çekirdeğin yeni parametreler içeren yük yarıçapı formülleri

Formül	Parametre	σ	Referans
$R_c = r_A A^{1/3}$	$r_A = 1.223$ fm	1.55×10^{-2}	[27, 28]
$R_c = r_Z Z^{1/3}$	$r_Z = 1.631$ fm	1.00×10^{-2}	[29]
$R_c = \sqrt{5/3} \left((r_p Z^{1/3})^2 + 0.64 \right)^{1/2}$	$r_p = 1.242$ fm	9.09×10^{-3}	[30]
$R_c = r_A \left(1 - b \frac{N - Z}{A} \right) A^{1/3}$	$r_A = 1.269$ fm $b = -0.252$	8.27×10^{-3}	[31]
$R_c = r_A \left(1 - b \frac{N - Z}{A} + c \frac{1}{A} \right) A^{1/3}$	$r_A = 1.235$ fm $b = -0.177$ $c = 1.960$	4.21×10^{-3}	[32]
$R_c = r_Z \left(1 + b \frac{N - N^*}{Z} \right) Z^{1/3}$	$r_Z = 1.631$ fm $b = 0.062$	6.61×10^{-3}	[26]

Bu çalışmalarda çekirdek yük yarıçapının $A^{1/3}$ ve $Z^{1/3}$ 'e bağlı olarak değiştiği açıkça görülmektedir. Daha sonra yapılan çalışmalarda deneysel verilerin artmasıyla birlikte, bu verilere farklı fit teknikleri uygulanarak, katsayıların daha doğru sonuçlar üretecek şekilde geliştirildiği dikkat çekmektedir [21].

Çekirdeklerdeki nötron sayısındaki çok küçük bir değişim bile deformasyon, nükleer momentler, vb. pek çok farklı nükleer özelliklerin ortaya çıkmasına yol açar. Z 'nin sabit olduğu yani Z 'ye bağlı formülün çalışmadığı izotop zincirlerindeki verilerin incelenmesiyle yük yarıçaplarının N sayısına bağlılığı önemli hale gelir [14]. Çekirdek yük yarıçapı için $N^{1/3}$ 'ile değişen basit bir fomül asimetri katkısını da içerecek şekilde [21]' de yapılan çalışmalarla şöyle verilmektedir;

$$R_C = r_N \left(1 - b \frac{N - Z}{N} \right) N^{1/3} \quad (3.1)$$

burada $r_N = 1.262$ ve $b = 0.349$ 'dur. Bu formülün güvenilir sonuçlar verdiğine ilişkin yeterli sistematik bilgiler elde edilirse özellikle nötron halo çekirdekleri için kullanılması büyük kolaylık sağlayacaktır.

Tüm bu bilgiler, iyi bilinen çekirdek yük yarıçapı formülleri, en küçük kareler fit yöntemi kullanılarak yeniden düzenlenmiş, en son deneysel veriler kullanılarak bu yük yarıçapı formüllerinin yeni parametreleri türetilmiş, formüllerdeki $1/3$ mertebesi yerine daha basit tek terimli öngörülerde bulunulmuştur [21]. Üretilen ve bu tez çalışmasında kullanılan bu yeni formüller şöyledir:

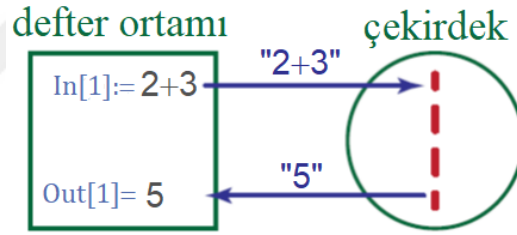
Tablo 3.2: A , Z ve N -bağlı basit, tek terimli çekirdek yük yarıçapı formülleri [21].

Formül	Parametre	RMSD
$R_C = r_A A^\beta$	$r_A = 1.169 \text{ fm}; \beta = 0.291$	0.072
$R_C = r_Z Z^\beta$	$r_Z = 1.399 \text{ fm}; \beta = 0.310$	0.072
$R_C = r_N N^\beta$	$r_p = 1.473 \text{ fm}; \beta = 0.275$	0.103

3.4 MATHEMATICA İLE HESAPLAMA YÖNTEMİ

Pozitif bilimler ve matematik alanlarında kullanılmak üzere 1979 yılında Stephan Wolfram tarafından tasarlanan Mathematica, zaman içinde çok farklı alanlarda yaygın şekilde kullanılan bir matematik yazılımı olmuştur. Mathematica'nın bu kadar farklı ve geniş alanlarda yer bulmasının en önemli nedenlerinden biri yazılım kolaylığıdır. Programlama bilmeyen hatta bilgisayar kullanma konusunda önyargıları ve korkuları olan kullanıcılar da Mathematica'da kod yazma konusundaki temel süreçleri kolaylıkla uygulayabilirler.

Mathematica kodlamanın yazıldığı, çalışma komutlarının verildiği ve sonucun görüldüğü defter ortamı (front end) ve tüm işlemlerin yapıldığı çekirdek (kernel) olmak üzere iki temel bileşenden oluşur (Şekil 3.5). Defter ortamı (front end), ortam işlemlerini yaptığımız defter yani notebook dosyasıdır. Defterde girdi hücreleriyle (Input cells-In[]) çekirdeğe iletilen işlemler, çekirdekte hesaplandıktan sonra görsel kapasitesi yüksek olan defter ortamına gönderilir ve sonuçlar çıktı hücrelerinde (Output cells-Out[]) görülür.

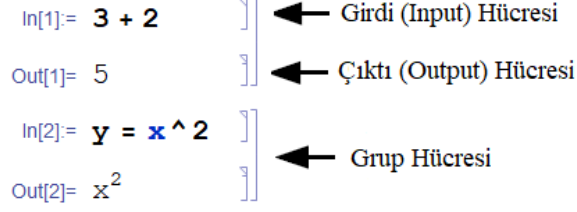


Şekil 3.5: Mathematica'nın iki temel bileşeni.

Defter ortamı sağ tarafında köşeli parantezlerle belirlenen hücrelerden oluşur. Böylece her hücredeki işlem birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilebilir. Yapmak istediğiniz ilk işlemin $3+2$ olduğunu öngörelim. Klavyede bunu yazdıktan sonra Shift+Enter tuşlarına birlikte basarak hücreye yazdığınız bu işlemin hesaplanması için hücreyi çalıştırın. Bu durumda işlem hesaplanır ve 5 sonucu çıktı hücrelerinde görülür (Şekil 3.6). Aynı defter ortamında oluşturacağınız ilk girdi In[1] işlem sayısını alır, daha sonraki girdiler de sırayla In[2], In[3], In[4], ... olarak oluşur. Bir girdi hücrelerini silseniz bile oluşturacağınız bir sonraki girdinin işlem sayısı sanki silme işlemi yapılmamış gibi yine bu ardışıklığı bozmayacaktır. Benzer durum çıktıları için de geçerlidir.

Mathematica'da pek çok matematik sembol ve işaret de kullanılmaktadır. Bunlar klavye kısa yolları ya da paletler kullanılarak yazılabilir. Örneğin girdi olarak $y=x^2$ yazabileceğimiz gibi

x^2 'de yazabiliriz. Bunun için üst indisin klavye kısa yolunun Ctrl+6 olduğunun bilinmesi ya da Mathematica Palettes kullanılması gerekir



Şekil 3.6: Mathematica’da defter ortamındaki hücreler.

Mathematica binlerce komut içermektedir. Doğal olarak bu komutların hepsinin bilinmesi çok zordur. Ancak Mathematica’nın oldukça başarılı yardım dosyaları bulunmaktadır. Bu yardım dosyalarına ulaşmak için Mathematica menüsünde bulunan **Help > Documentation Center** menüsündeki **Search** kısmına yardım almak istenilen kelimenin yazılması yeterlidir. Mathematica’da komut ve fonksiyon isimlerinin neredeyse tamamı İngilizce’dir. Bu nedenle aranan kelimenin İngilizce karşılığının yazılması gereklidir. Help menüsünü kullanmak yerine defter ortamında boş bir hücreye **?kelime*** yazılıp hücre çalıştırılırsa, Mathematica bu kelime ile başlayan tüm komutları listeleyecektir. Örneğin defter ortamına girdi olarak **?Int*** yazıp çalıştırın, Int ile başlayan tüm komutların listelendiğini göreceksiniz. Mathematica iki ve üç boyutlu grafiklerin çizilmesinde de kullanılan güçlü bir yazılımdır. Çizilen grafikleri hem kod içinde hem de Mathematica’nın görsel araçları kullanılarak istenilen şekilde değiştirmek mümkündür. İnteraktif düzenlemeler Graphics menüsünde yer alan Drawing Tools paleti kullanılarak yapılır.

Mathematica’da + toplama, - çıkarma, * çarpma ve / bölme için kullanılır. Ayrıca ^ üs almak için kullanılır. Çarpma işleminde * yerine boşluk da kullanılabilir. Şöyle ki;

- A B ve A*B çarpma işlemini tanımlar
- AB ise “AB” isimli bir değişkeni tanımlar

Bu nedenle özellikle trigonometrik ifadeleri kodlarken dikkatli olunması gereklidir. Sin[nx] n ve x arasında çarpma işlemini tanımlayan * veya boşluk operatörleri kullanılmadan yazılırsa “nx” ismindeki bir değişkenin sinüs fonksiyonu demektir. Oysa Sin[n x] veya Sin[n*x], x değişkeninin n katının sinüs fonksiyonu demektir. Değişkenler Mathematica defter ortamında farklı renkte, sayısal değerler farklı renkte görülür. Bu nedenle kodlama yaparken renk

duyarlılıklarına dikkat etmek bu tip yazım hatalarının yapılmamasını sağlar. Ayrıca (), [] ve { } şeklinde üç değişik parantez farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bu amaçlar;

- Gruplama için $4*(5-2)$;
- Fonksiyon çağırmak için $\text{Sin}[x]$;
- Listeler için $u=\{a,b,c\}$;
- Listelerdeki indeksleme için $u[[2]]$

Mathematica’da açıklama satırları için (* *) kullanılır. Eğer işlem sonucu sayısal olarak istenirse satır sonuna // N ya da ifadenin başına N[] konması yeterlidir. Eğer virgülden sonra belirli bir basamağa kadar ondalık sayıyı göstermesini istersek N[ifade, basamak sayısı] şeklinde komutu kullanabiliriz. Mathematica kodlama notasyonunda satır sonuna // ile konulan ifadeler “son ek (postfix)”; ifadenin başında [] ile kullanılıyorsa “ön ek (prefix)” denir. Bu notasyon kodlamada sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Mathematica’da bir oturum boyunca % sembolü ile son elde edilen değer bellekten çağrılabilir. Her yeni işlem ile bu % değeri de güncellenmiş olur. %% ile de iki işlem önceki sonuç kullanılabilir. In[] satırının sonucunun görünmesi istenmiyorsa satır sonuna ; (noktalı virgül) konulabilir. Çıktı üretmese bile bellekte bilgileri tutar. Eğer birden fazla atama aynı anda yapılacaksa araya birer boşluk konularak aynı satırda yazılabilir. Örneğin $x=5; y=8; z=-4;$ gibi. Mathematica’da p için Pi, e (doğal logaritmik taban) için E ve i (karmaşık sayılar) için I sabitleri kullanılır. Ayrıca C, D, N ve O harfleri de başka anlamları ve komut oldukları için değişken ismi olarak kullanılmamalıdır. Yunanca semboller, büyük ya da küçük harflerle yazılmış kelimeler ya da harfler Mathematica’da değişken olarak kullanılırlar. Ondalık sayılar . (nokta) ile yazılmalıdır. Örneğin; -2.34. Bir değişkene bir değer atamak için = sembolü kullanılır. Mathematica programı kapanana kadar bu atama bellekte tutulur. Bu nedenle zaman zaman tüm bellekte tutulan değerlerin temizlenmesi gerekir. Clear [değişkenler] ile istenen değişkenlerin bellekte tutulan değerleri temizlenir. Bu oldukça önemli bir durumdur. Dikkat edilmediğinde Mathematica bir önceki atamalarda bellekte tutulan değerlerle işlem yapacağından, çok basit hesaplamalarda bile yanlış sayısal değerler üretebilir. Değer ataması yapılan değişken ile değer ataması yapılmamış ya da temizlenmiş değişkenleri kodlamadaki renk değişimleriyle fark edebilirsiniz [33].

4 BULGULAR

4.1 ÜÇ FARKLI İZOTOPIK SERİ İÇİN DENEYSEL VERİLER

Çekirdek yük yarıçaplarının belirlenmesi ile ilgili sistematik bilgi sağlaması için hafif, orta ve ağır olmak üzere 3 farklı izotopik ve izotonik seride seçilen $^{10-24}_7\text{N}$, $^{11-26}_8\text{O}$, $^{13-20}_9\text{F}$, $^{50-82}_{28}\text{Ni}$, $^{52-80}_{29}\text{Cu}$, $^{54-83}_{30}\text{Zn}$ ve $^{176-218}_{81}\text{Tl}$, $^{178-220}_{83}\text{Pb}$, $^{184-224}_{83}\text{Bi}$ çekirdekleri için deneysel olarak taban durum için ölçülen çekirdek yarıçapları aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 4.1: Deneysel yük yarıçapları [10].

Sembol	Z	N	A	R(fm)	ΔR_{rel} (fm)
N	7	7	14	2.5582	0.0070
		8	15	2.6058	0.0080
O	8	8	16	2.6991	0.0052
		9	17	2.6932	0.0075
F	9	10	19	2.8976	0.0025
Ni	28	30	58	3.7757	0.0020
		32	60	3.8118	0.0016
		33	61	3.8225	0.0019
		34	62	3.8399	0.0021
		36	64	3.8572	0.0023
Cu	29	34	63	3.8823	0.0015
		36	65	3.9022	0.0014

Sembol	Z	N	A	R(fm)	ΔR_{rel} (fm)
Zn	30	34	64	3.9283	0.0015
		36	66	3.9491	0.0014
		37	67	3.9530	0.0027
		38	68	3.9658	0.0014
		40	70	3.9845	0.0019
Tl	81	107	188	5.4017	0.0013
		109	190	5.4121	0.0056
		110	191	5.4169	0.0048
		111	192	5.4191	0.0051
		112	193	5.4243	0.0042
		113	194	5.4259	0.0046
		114	195	5.4325	0.0039
		115	196	5.4327	0.0042
		116	197	5.4388	0.0036
		117	198	5.4396	0.0036
		118	199	5.4479	0.0031
		119	200	5.4491	0.0031
		120	201	5.4573	0.0029
		121	202	5.4595	0.0027

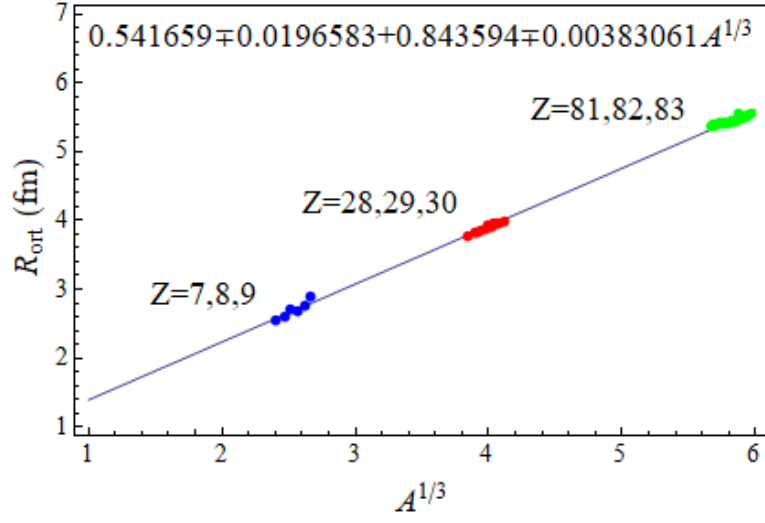
Sembol	Z	N	A	R(fm)	ΔR_{rel} (fm)
Tl	81	122	203	5.4666	0.0027
		123	204	5.4704	0.0028
		124	205	5.4759	0.0026
		126	207	5.4853	0.0027
		127	208	5.4946	0.0028
Pb	82	100	182	5.3788	0.0035
		101	183	5.3869	0.0030
		102	184	5.3930	0.0029
		103	185	5.3984	0.0028
		104	186	5.4027	0.0027
		105	187	5.4079	0.0026
		106	188	5.4139	0.0025
		107	189	5.4177	0.0024
		108	190	5.4222	0.0023
		109	191	5.4229	0.0026
		110	192	5.4300	0.0025
		111	193	5.4310	0.0023
		112	194	5.4372	0.0023
		113	195	5.4389	0.0045

Sembol	Z	N	A	R(fm)	ΔR_{rel} (fm)
Pb	82	114	196	5.4444	0.0024
		115	197	5.4446	0.0024
		116	198	5.4524	0.0022
		117	199	5.4529	0.0022
		118	200	5.4611	0.0020
		119	201	5.4629	0.0019
		120	202	5.4705	0.0017
		121	203	5.4727	0.0017
		122	204	5.4803	0.0014
		123	205	5.4828	0.0015
		124	206	5.4902	0.0014
		125	207	5.4943	0.0014
		126	208	5.5012	0.0013
		127	209	5.5100	0.0014
		128	210	5.5208	0.0016
		129	211	5.5290	0.0017
		130	212	5.5396	0.0019
		132	214	5.5577	0.0023

Sembol	Z	N	A	R(fm)	ΔR_{rel} (fm)
Bi	83	119	202	5.4840	0.0069
		120	203	5.4911	0.0058
		121	204	5.4934	0.0055
		122	205	5.5008	0.0044
		123	206	5.5034	0.0040
		124	207	5.5103	0.0032
		125	208	5.5147	0.0028
		126	209	5.5211	0.0026
		127	210	5.5300	0.0030
		129	212	5.5489	0.0054
		130	213	5.5586	0.0069

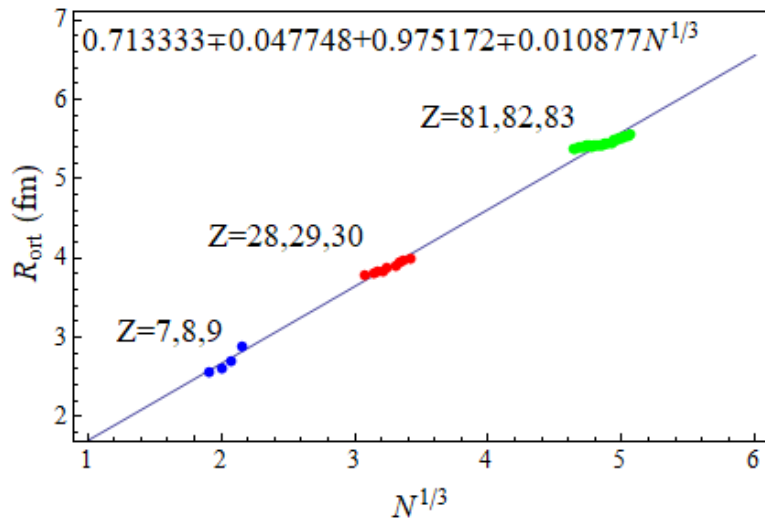
Elektron saçılma deneylerinden elde edilen RMS çekirdek yük yarıçaplarını hesaplamak için en genel yöntem 2.Bölüm’de anlatıldığı üzere çekirdeğin yük yarıçaplarına karşı $A^{1/3}$ grafiğini çizmek ve deneysel verilere lineer fit uygulayarak R ve $A^{1/3}$ arasındaki orantı katsayısını bulmaktır. Orantı katsayısı R_0 , elektron saçılma deneylerinden bulunmuş ve yapılan çalışmalarla değerinin 1.2–1.25 fm arasında değiştiği ifade edilmiştir.

Şekil 4.1’de 3 farklı izotopik ve izotonik seride seçilen $^{10-24}_{7}\text{N}$, $^{11-26}_{8}\text{O}$, $^{13-20}_{9}\text{F}$, $^{50-82}_{28}\text{Ni}$, $^{52-80}_{29}\text{Cu}$, $^{54-83}_{30}\text{Zn}$ ve $^{176-218}_{81}\text{Tl}$, $^{178-220}_{83}\text{Pb}$, $^{184-224}_{83}\text{Bi}$ çekirdeklerinin taban durum verisinin $R-A^{1/3}$ grafiği ve uygulanan fit görülmektedir. Bu seriler için doğrunun eğimi $R_0 \approx 0.84$ fm olarak bulunmuştur.



Şekil 4.1: Seçilen izotopik ve izotonik serilerin deneysel verilerinin $A^{1/3}$ ile değişimi.

Şekil 4.2’de 3 farklı izotopik ve izotonik seride seçilen taban durum için $^{10-24}_7\text{N}$, $^{11-26}_8\text{O}$, $^{13-20}_9\text{F}$, $^{50-82}_{28}\text{Ni}$, $^{52-80}_{29}\text{Cu}$, $^{54-83}_{30}\text{Zn}$ ve $^{176-218}_{81}\text{Tl}$, $^{178-220}_{83}\text{Pb}$, $^{184-224}_{83}\text{Bi}$ çekirdeklerine ait deneysel verinin $R-N^{1/3}$ grafiği ve uygulanan fit görülmektedir. Bu seriler için doğrunun eğimi $R_0 \approx 0.97$ fm olarak bulunmuştur.



Şekil 4.2: Seçilen izotopik ve izotonik serilerin deneysel verilerinin $N^{1/3}$ ile değişimi.

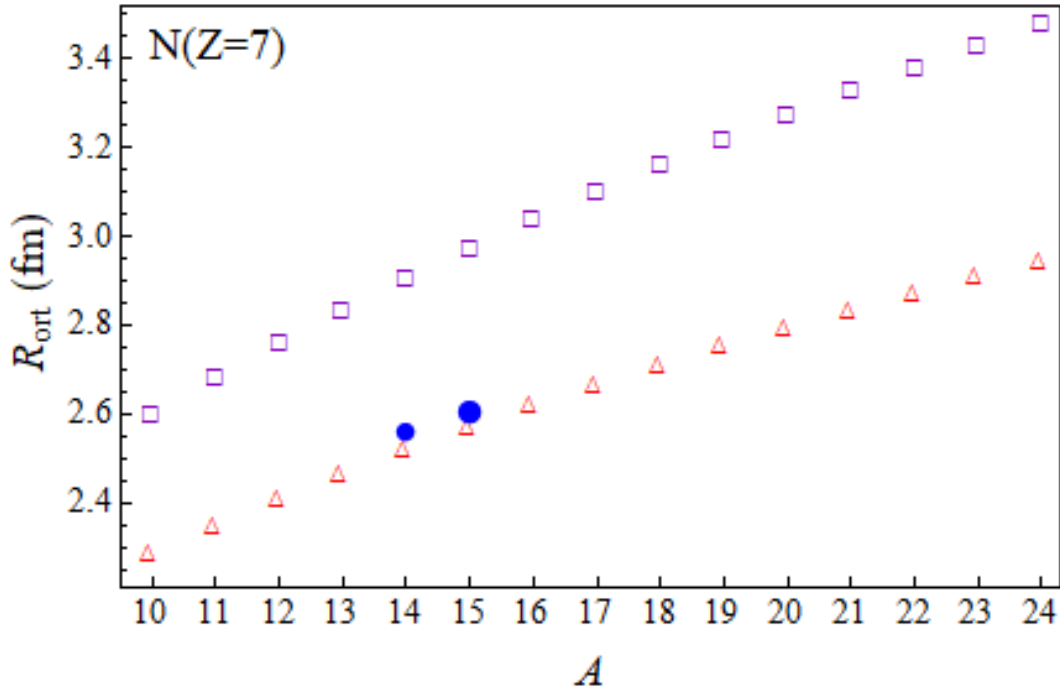
4.2 ÜÇ FARKLI İZOTOPIK SERİ İÇİN A-BAĞLI ÇEKİRDEK YÜK YARIÇAPI HESAPLARI

$^{10-24}_{7}\text{N}$, $^{11-26}_{8}\text{O}$, $^{13-20}_{9}\text{F}$, $^{50-82}_{28}\text{Ni}$, $^{52-80}_{29}\text{Cu}$, $^{54-83}_{30}\text{Zn}$ ve $^{176-218}_{81}\text{Tl}$, $^{178-220}_{83}\text{Pb}$, $^{184-224}_{83}\text{Bi}$ çekirdekleri için hesaplanan yük yarıçaplarının A kütle numarası ile değişimi aşağıda verilmektedir. Bu grafiklerde,

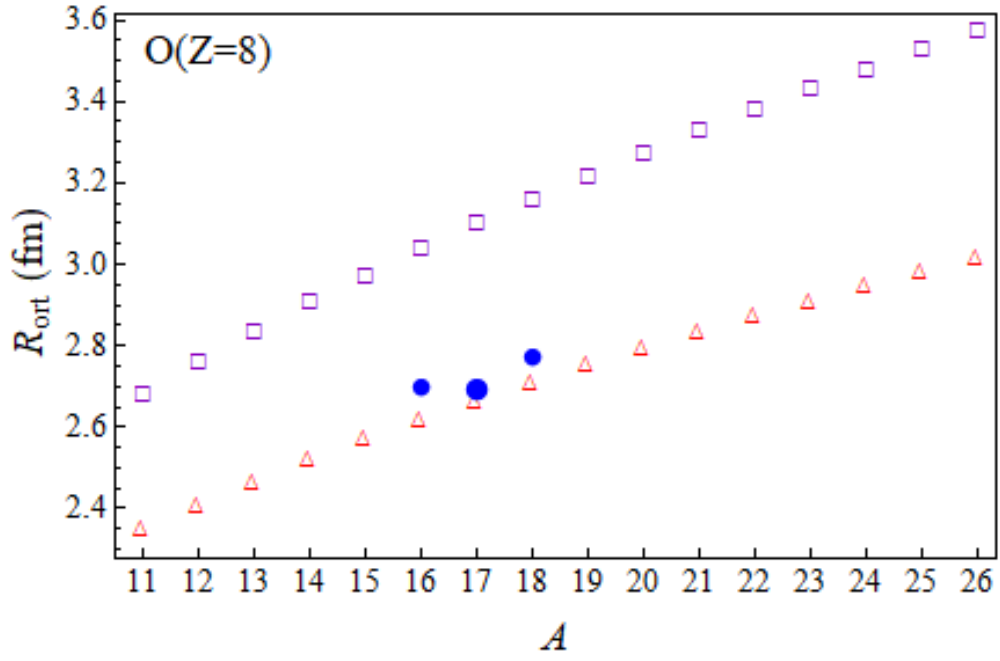
□ (Mor) $R_C = r_A A^{1/3}$, $r_A = 1.223$ fm ve

△ (kırmızı) $R_C = r_A A^\beta$, $r_A = 1.169$ fm; $\beta = 0.291$ ile yapılan hesap sonuçlarını

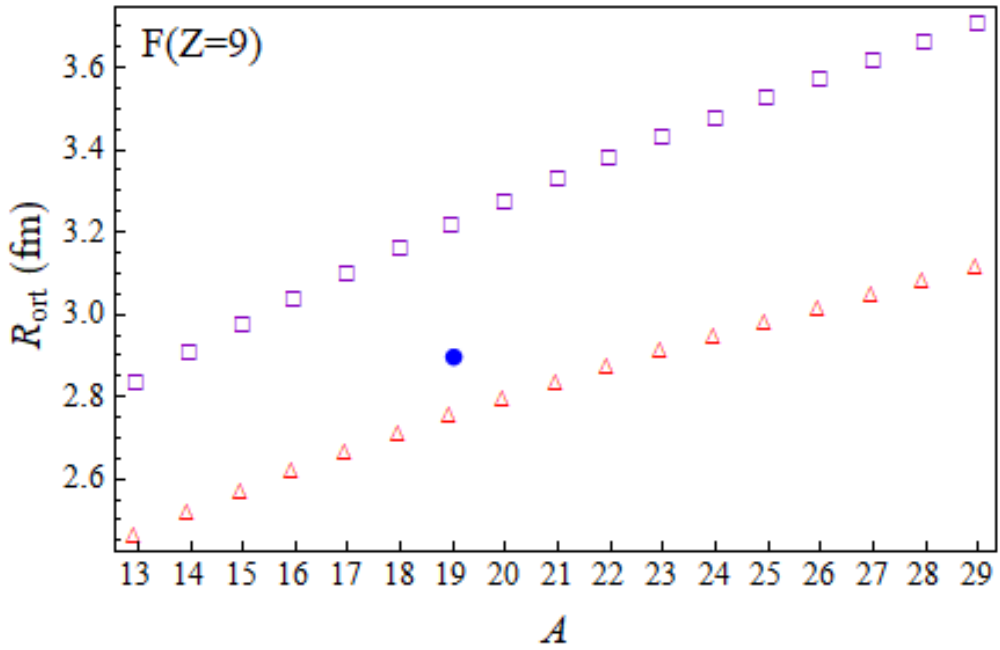
● (mavi) Tablo 4.1’de verilen deneysel verileri göstermektedir.



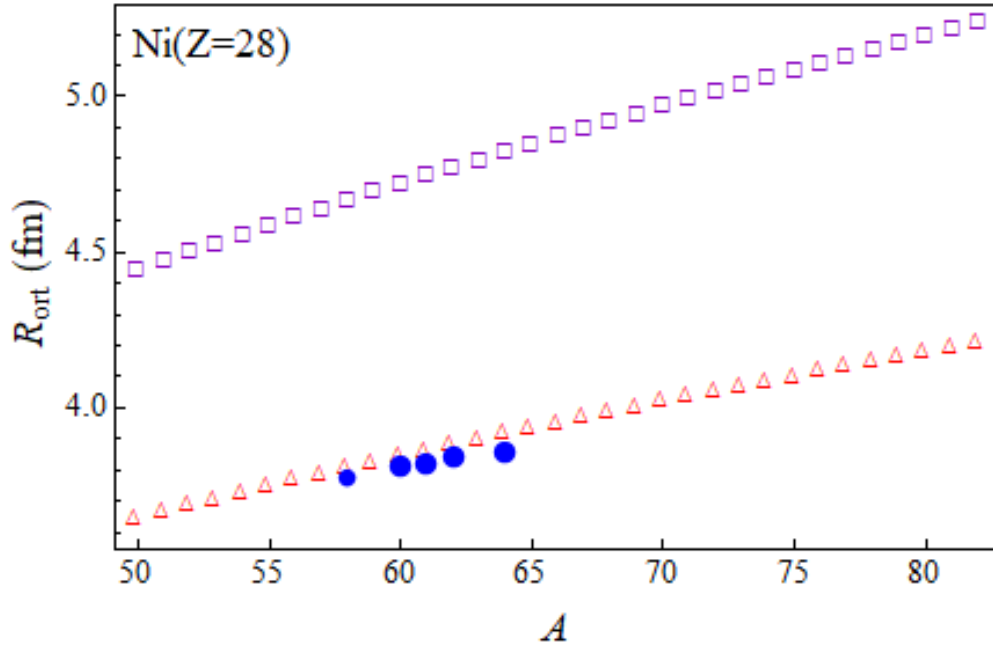
Şekil 4.3: $^{10-24}_{7}\text{N}$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.



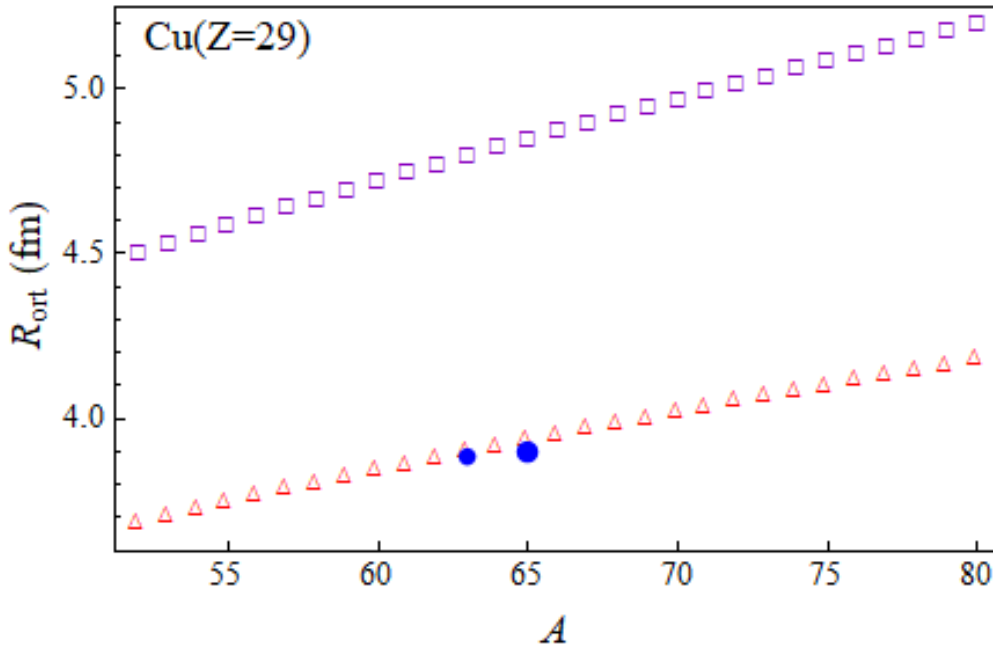
Şekil 4.4: $^{11-26}_8O$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.



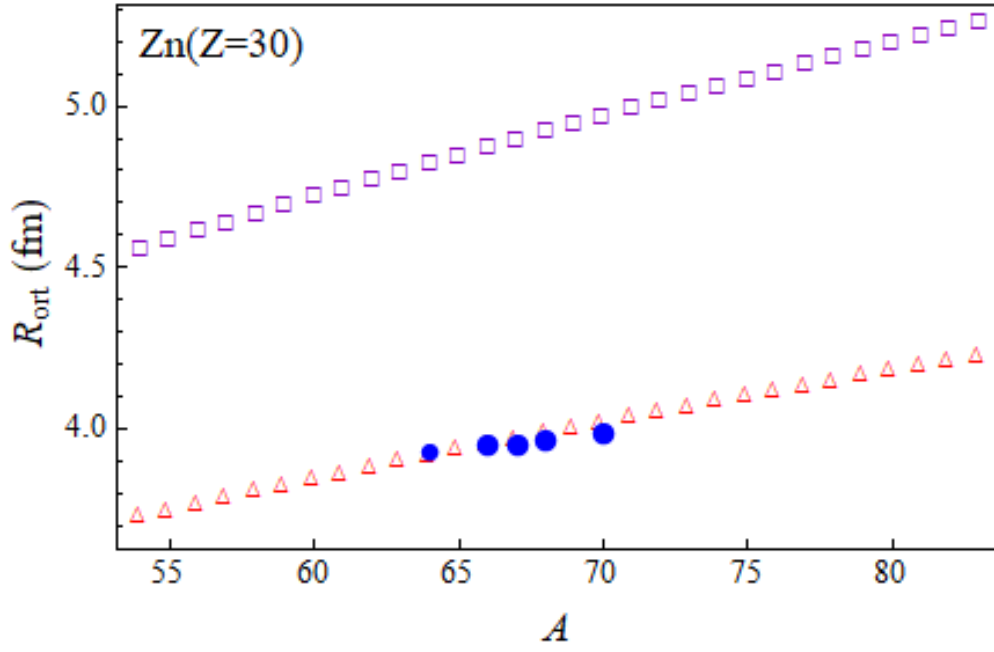
Şekil 4.5: $^{13-20}_9F$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.



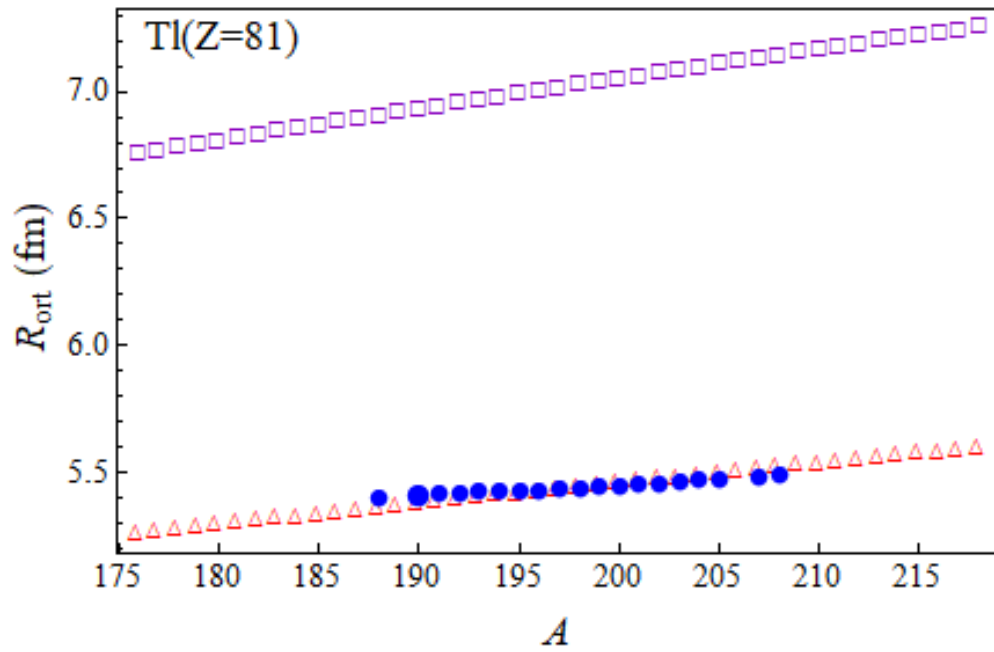
Şekil 4.6: $^{50-82}_{28}\text{Ni}$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.



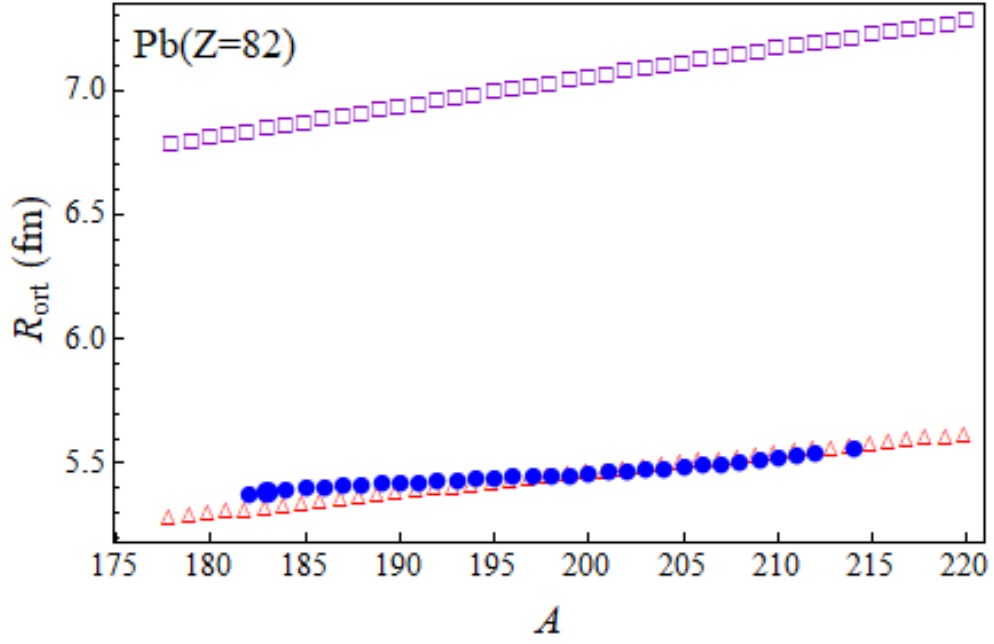
Şekil 4.7: $^{52-80}_{29}\text{Cu}$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.



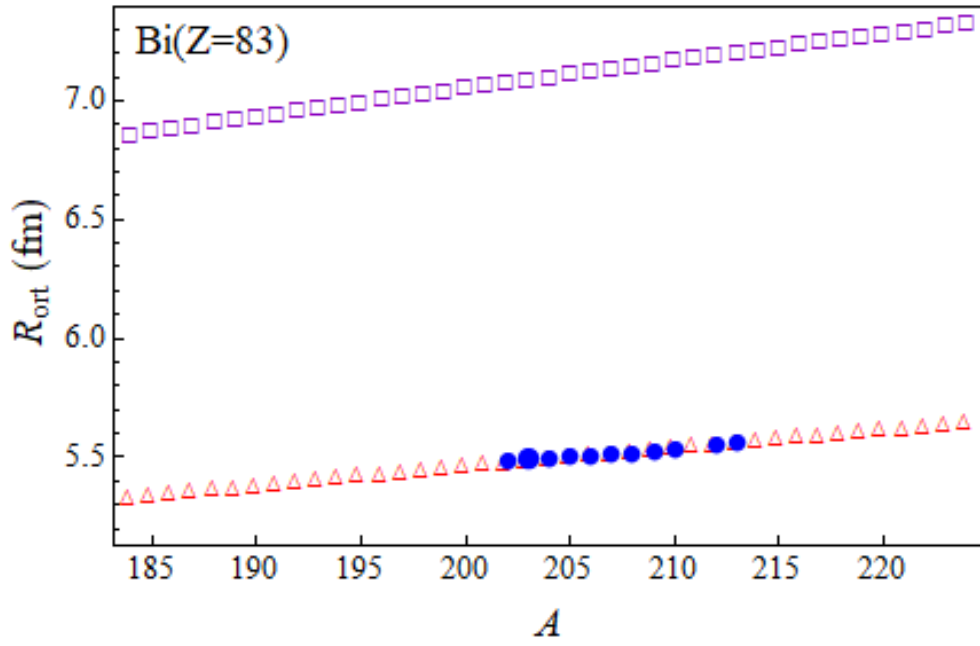
Şekil 4.8: $^{54-83}_{30}\text{Zn}$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.



Şekil 4.9: $^{176-218}_{81}\text{Tl}$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.



Şekil 4.10: $^{178-220}_{82}\text{Pb}$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.



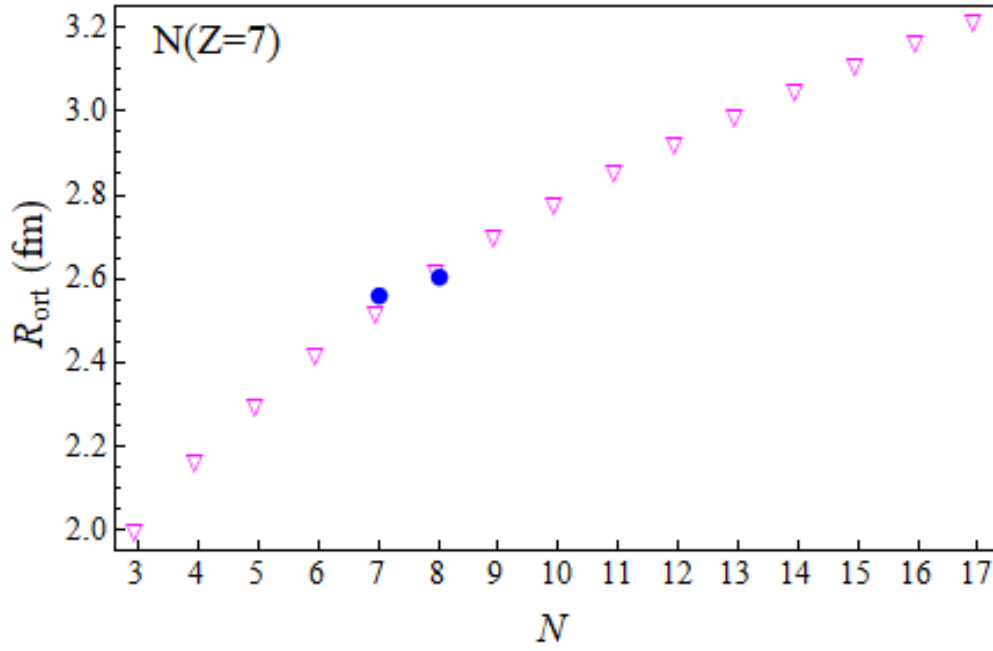
Şekil 4.11: $^{184-224}_{83}\text{Bi}$ izotopik serisi için deneysel veri ile iki farklı formülle hesaplanan yük yarıçapları.

4.3 ÜÇ FARKLI İZOTOPIK SERİ İÇİN N -BAĞLI ÇEKİRDEK YÜK YARIÇAPI HESAPLARI

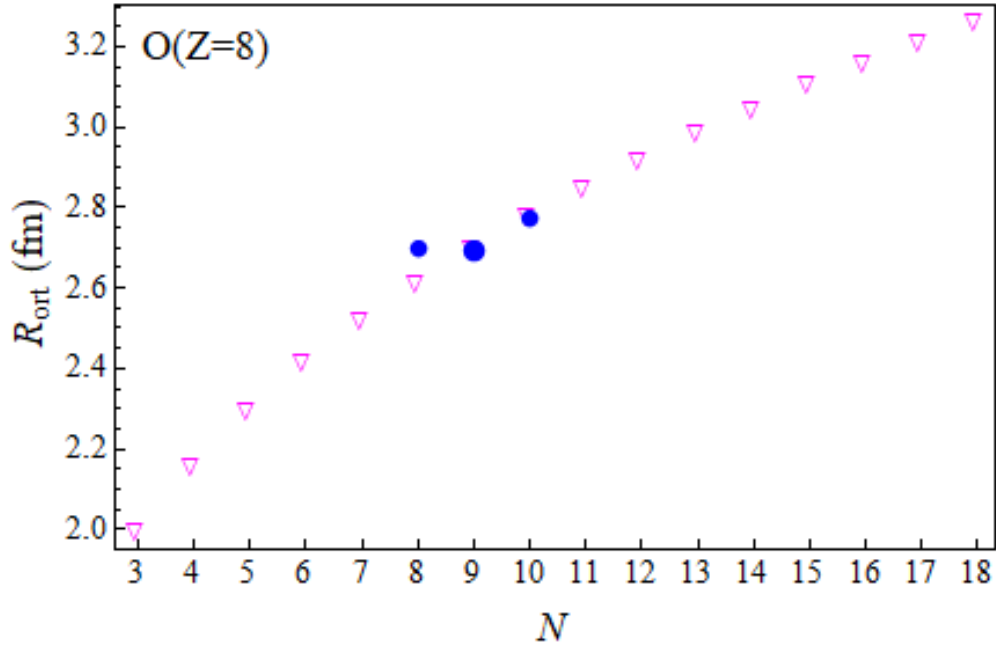
$^{10-24}_7\text{N}$, $^{11-26}_8\text{O}$, $^{13-20}_9\text{F}$, $^{50-82}_{28}\text{Ni}$, $^{52-80}_{29}\text{Cu}$, $^{54-83}_{30}\text{Zn}$ ve $^{176-218}_{81}\text{Tl}$, $^{178-220}_{83}\text{Pb}$, $^{184-224}_{83}\text{Bi}$ çekirdekleri için hesaplanan yük yarıçaplarının N nötron sayısı ile değişimi aşağıdaki grafiklerde görülmektedir. Bu grafiklerde,

▽ (Pembe) $R_C = r_N N^\beta$, $r_p = 1.473 \text{ fm}$; $\beta=0.275$ ve

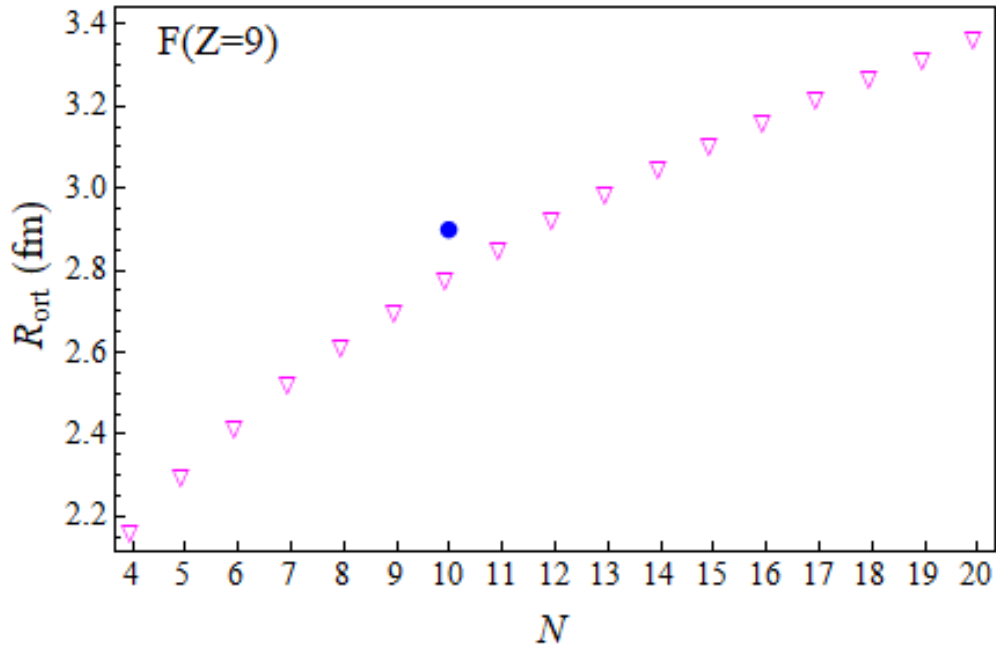
● (mavi) Tablo 4.1’de verilen deneysel verileri göstermektedir.



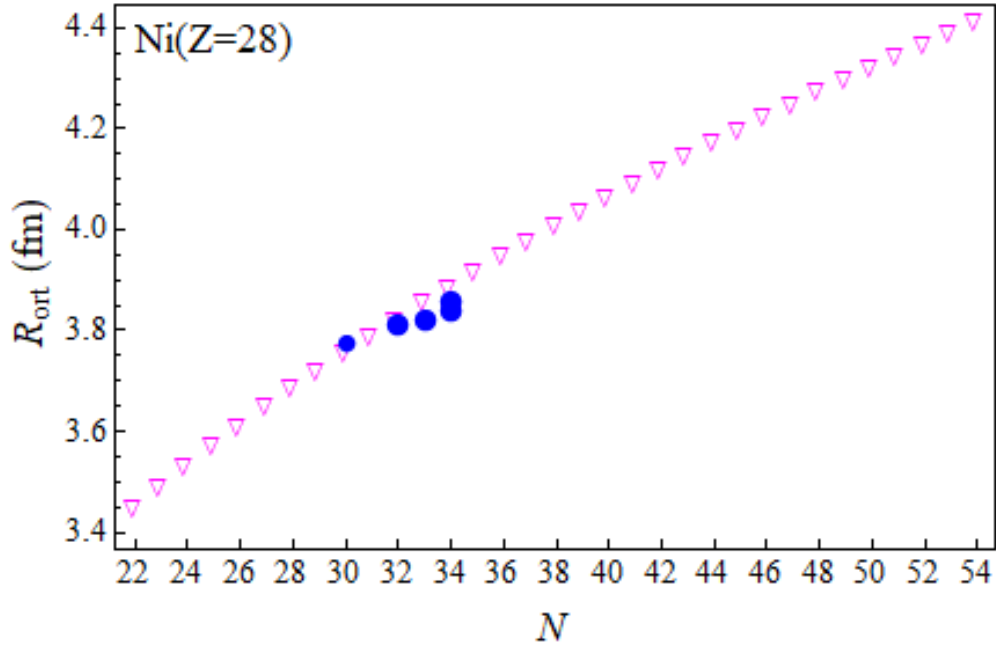
Şekil 4.12: $^{10-24}_7\text{N}$ izotopik serisi için deneysel veri ile N -bağlı yük yarıçapları.



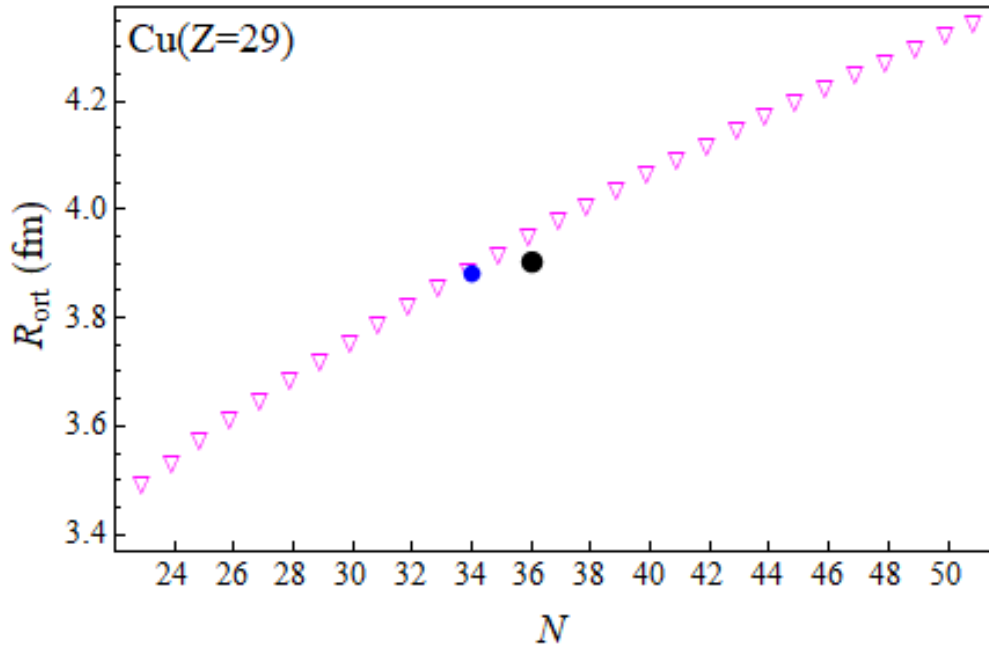
Şekil 4.13: $^{11-26}_8\text{O}$ izotopik serisi için deneysel veri ile N -bağlı yük yarıçapları.



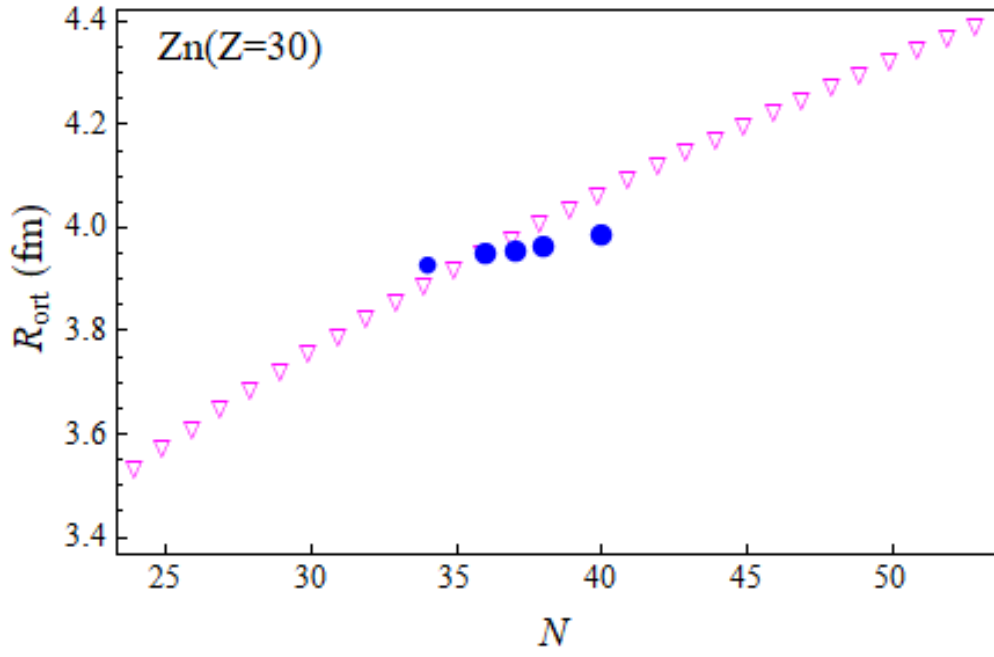
Şekil 4.14: $^{13-20}_9\text{F}$ izotopik serisi için deneysel veri ile N -bağlı yük yarıçapları.

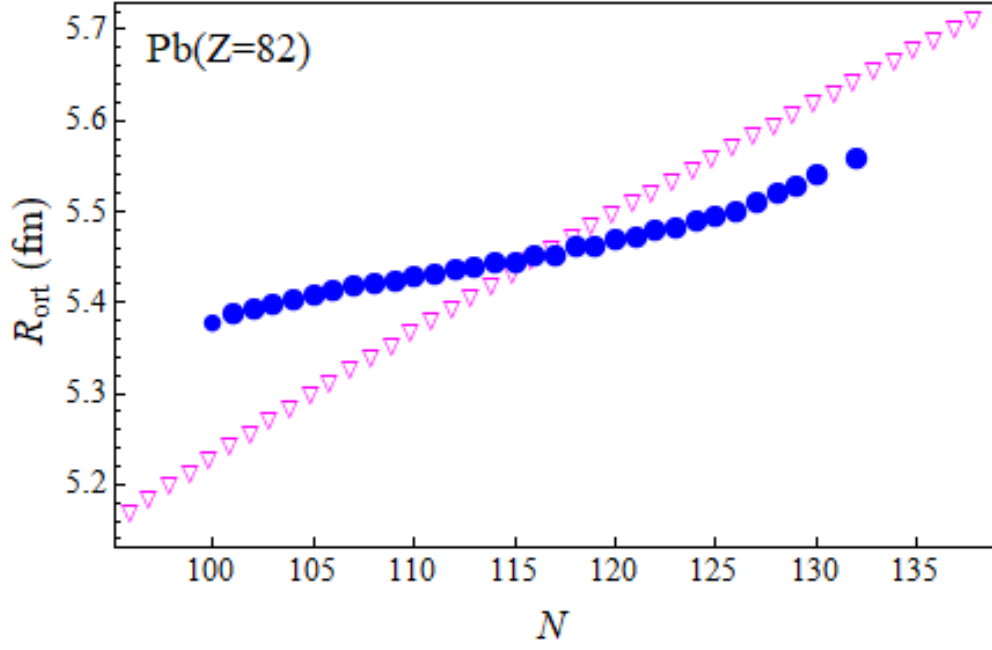


Şekil 4.15: $^{50-82}_{28}\text{Ni}$ izotopik serisi için deneysel veri ile N -bağlı yük yarıçapları.

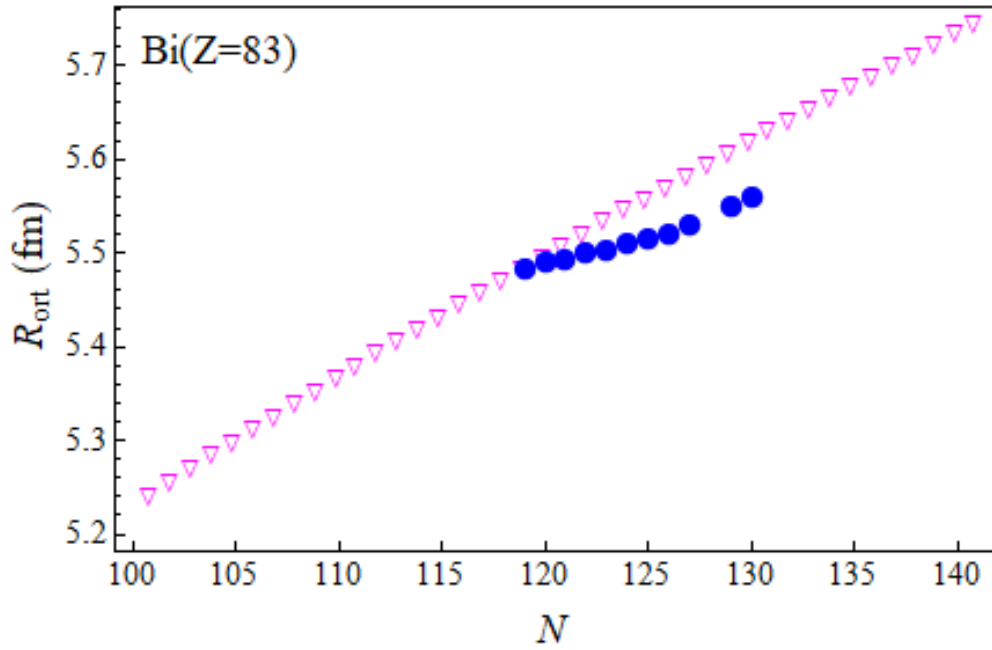


Şekil 4.16: $^{52-80}_{29}\text{Cu}$ izotopik serisi için deneysel veri ile N -bağlı yük yarıçapları.





Şekil 4.19: $^{178-220}_{82}\text{Pb}$ izotopik serisi için deneysel veri ile N -bağlı yük yarıçapları.

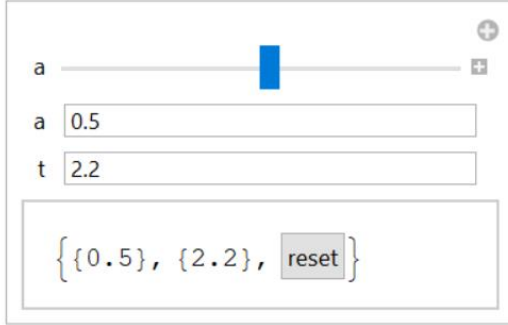


Şekil 4.20: $^{184-224}_{83}\text{Bi}$ izotopik serisi için deneysel veri ile N -bağlı yük yarıçapları.

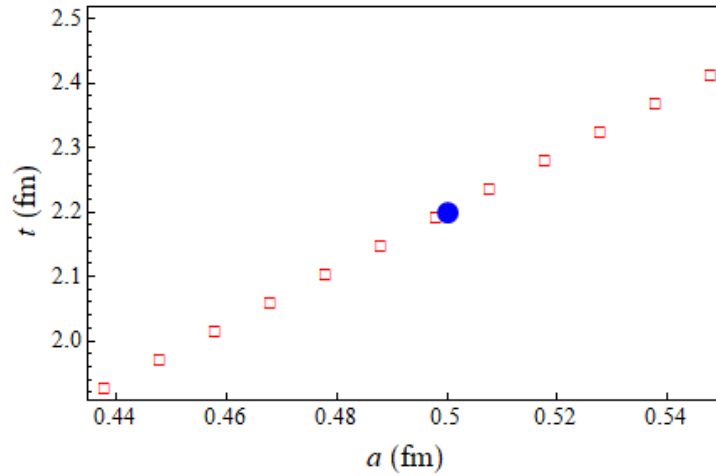
4.4 ÇEKİRDEKLERİN KABUK KALINLIĞI HESABI

Wood-Saxon fonksiyonundaki a parametresi ile çekirdeklerin t kabuk kalınlığı arasındaki ilişki $t=4.4 \times a$ 'dır. Buradaki a değeri deneysel verilerin fit edilmesiyle bulunan bir değerdir. Genelde hemen hemen tüm çekirdeklerin kabuk kalınlığı yaklaşık 2.2–2.3 fm olarak bulunur. Ancak literatürde a değeri 0.438–0.556 fm [22,23,24] arasında değişmektedir. Bu aralıktaki a değerleri için çekirdeklerin t kabuk kalınlıklarını hesaplayan ve hesap sonuçlarını anime eden bir ara yüz da Mathematica ile kodlanmıştır.

```
Manipulate[{{a}, {t = 4.4 a}, Button["reset", a = 0.438]},  
{a, 0.5}, 0.438, 0.556, 0.01], {a}, {t}]
```



Şekil 4.21: Yüzey kalınlığı hesaplayan ara yüz ve kodlaması.



Şekil 4.22: Yüzey kalınlığının a ile değişimi. Mavi nokta $a=0.5$ 'deki değeridir.

5 TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, hafif, orta ve ağır olmak üzere 3 farklı izotopik ve izotonik seride seçilen $^{10-24}_{7}\text{N}$, $^{11-26}_{8}\text{O}$, $^{13-20}_{9}\text{F}$, $^{50-82}_{28}\text{Ni}$, $^{52-80}_{29}\text{Cu}$, $^{54-83}_{30}\text{Zn}$ ve $^{176-218}_{81}\text{Tl}$, $^{178-220}_{83}\text{Pb}$, $^{184-224}_{83}\text{Bi}$ çekirdeklerinin yeni parametrelerle yapılan nükleer yük yarıçapı hesaplarıyla, taban durum için bilinen deneysel veriler kıyaslanarak sistematik bir bilgi elde edilmiştir. Bu sistematik çalışmayla çekirdek yük yarıçapları için son yıllarda geliştirilen yeni parametrelerin özellikle beta kararlılık çizgisinden uzakta yer alan kararsız radyoizotopların nükleer yük yarıçaplarının hesaplanmasında ne derece güvenilir olduğu test edilmiştir. Ayrıca Wood-Saxon fonksiyonundaki a parametresi ile çekirdeklerin t kabuk kalınlığı arasındaki ilişki, literatürde a parametresi için bulunan minimum ve maksimum değerler arasında incelenmiştir. a parametresindeki çok küçük değişimlerin, yüzey kalınlığını 2.0-2.4 fm arasında değiştirdiği görülmüştür. Ayrıca bu hesabın Mathematica ile geliştirilen arayüz ile kolayca yapılması sağlanmıştır.

$^{10-24}_{7}\text{N}$, $^{11-26}_{8}\text{O}$, $^{13-20}_{9}\text{F}$ oluşan hafif çekirdek bölgesinde, nükleer yük yarıçapının $R_C = r_A A^{1/3}$, $r_A = 1.223$ fm olarak verilen $A^{1/3}$ bağımlılığı, ölçülen deneysel değerlerle uyumlu değildir. Oysa $R_C = r_A A^\beta$, $r_A = 1.169$ fm; $\beta = 0.291$ ile yapılan hesaplar deneysel veriyle özellikle $^{10-24}_{7}\text{N}$ izotopik zincirinde çok uyumlu olduğu Şekil 4.3’de açıkça görülmektedir. $^{11-26}_{8}\text{O}$ izotoplarının deneysel verileri de ilginçtir. $Z=8$ olması ve 8 sihirli sayısının yarattığı kabuk etkileri deneysel verilerden anlaşılmaktadır (Bkz. Şekil 4.4). Ancak $R_C = r_A A^\beta$ ile yapılan hesaplar deneysel veriyle uyumludur. $^{13-20}_{9}\text{F}$ izotopik zincirde ise bu uyum diğer iki hafif izotop zincirine göre göre biraz daha kötüdür. Ancak yine de ilk formülден daha başarılıdır. F izotopunun $Z=9$ ’dur ve çiftlenmemiş tek protonu vardır. Bu çiftlenmemiş tek protonun etkisi nedeniyle deneysel veriden biraz sapma gözlendiği kabul edilebilir. Genel olarak $R_C = r_A A^\beta$ ’nın hafif çekirdek izotopik zincirlerinde deneysel veriyle uyumlu olduğu ve doğru sonuçlar ürettiği açıkça görülmektedir. Bu bağıntıyla yapılacak hesaplar, özellikle sızdırma çizgilerinin kenarındaki çekirdekler için yapılacak nükleer yük yarıçapı ölçümlerine önemli teorik öngörüler sağlayacaktır.

$^{50-82}_{28}\text{Ni}$, $^{52-80}_{29}\text{Cu}$, $^{54-83}_{30}\text{Zn}$ oluşan orta ağırlıktaki çekirdek bölgesinde, nükleer yük yarıçapının $R_C = r_A A^\beta$, $r_A = 1.169$ fm; $\beta=0.291$ ile yapılan hesapları üç izotopik zincirde de deneysel verilerle son derece uyumludur. Bu bölgedeki çekirdekler, nükleon başına bağlanma enerjileri yüksek olan ve doğada bulunan en kararlı çekirdeklerdir. Bu bölgede $R_C = r_A A^{1/3}$, $r_A = 1.223$ fm'nin deneysel verilerle uyumlu değildir.

$^{176-218}_{81}\text{Tl}$, $^{178-220}_{83}\text{Pb}$, $^{184-224}_{83}\text{Bi}$ ağır çekirdek bölgesinde çok çarpıcı farklılıklar görünmektedir. $R_C = r_A A^\beta$, $r_A = 1.169$ fm; $\beta=0.291$ ile yapılan hesaplar deneysel veriyle neredeyse mükemmel şekilde uyumludur (Bkz. Şekil 4.9-11) ancak nükleer yük yarıçapı için önerilen N 'ye bağlı olan diğer formül deneysel veriden çok uzakta sonuçlar vermektedir. Bu bölgede seçilen çekirdeklerde hem alfa, hem beta ve hem de elektron yakalama bozunum modları açıktır.

Bu çalışma bize açıkça göstermektedir ki özellikle nükleon sayısı fazla olan, büyük çekirdeklerin nükleer yük yarıçapları $R_C = r_A A^\beta$, $r_A = 1.169$ fm; $\beta=0.291$ formülü ile güvenilir ve doğru bir şekilde hesaplanmaktadır. Bu sistematik çalışmanın sonucunda, bu formülün henüz deneysel olarak ölçülmemiş, beta kararlılık çizgisinden uzakta, sızdırma çizgilerinin yakınlarında bulunan çekirdeklerin nükleer yük yarıçaplarını öngörmek için başarılı şekilde kullanılabileceği görülmektedir.

Çekirdekler büyüdükçe, nükleon sayısı arttıkça nükleer yük yarıçapının N -bağılılığı daha belirgin olur. Bu nedenle her üç çekirdek bölgesinde seçilen bu üç izotopik zincirde bu bağımlılığı veren $R_C = r_N N^\beta$, $r_p = 1.473$ fm; $\beta=0.275$ bağıntısı da test edilmiştir.

$^{10-24}_7\text{N}$, $^{11-26}_8\text{O}$, $^{13-20}_9\text{F}$ oluşan hafif çekirdek bölgesindeki eğilim de yukarda $R_C = r_A A^\beta$ için gördüğümüz eğilime benzerdir. $^{10-24}_7\text{N}$ izotopik zincirinde N sayısına bağlı olarak hesaplanan değerlerle deneysel veriler mükemmel bir uyum göstermektedir (Bkz. Şekil 4.12). $^{11-26}_8\text{O}$ izotopları için yine kabuk etkisi görülmekle birlikte deneysel verilerle uyumludur (Bkz. Şekil 4.13). $^{13-20}_9\text{F}$ izotopik zincirde ise bu uyum diğer iki hafif izotop zincirine göre göre biraz daha az uyumludur (Bkz. Şekil 4.14). Bu durum, F izotopundaki ($Z=9$) çiftlenmemiş tek protonla açıklanabilir. Genel olarak $R_C = r_N N^\beta$, $r_p = 1.473$ fm; $\beta=0.275$ 'in hafif çekirdek izotopik zincirlerinde deneysel veriyle uyumlu olduğu ve doğru sonuçlar ürettiği açıkça görülmektedir.

Bu bağıntıyla yapılacak hesapların da, özellikle sızdırma çizgilerinin kenarındaki çekirdekler için yapılacak nükleer yük yarıçapı ölçümlerine önemli teorik öngörüler sağlayacağı aşîkardır.

$^{50-82}_{28}\text{Ni}$, $^{52-80}_{29}\text{Cu}$, $^{54-83}_{30}\text{Zn}$ oluşan orta ağırlıktaki çekirdek bölgesinde, nükleer yarıçapın N sayısına bağıllılığı ilginç bir davranış göstermektedir. $N \geq 35$ 'de deneysel verilerle uyum bozulmaktadır. Ancak her üç izotopik zincirde de $N < 35$ için deneysel verilerle uyumludur.

$^{176-218}_{81}\text{Tl}$, $^{178-220}_{83}\text{Pb}$, $^{184-224}_{83}\text{Bi}$ ağır çekirdek bölgesinde deneysel veriyle uyum bozulmaktadır.

$^{176-218}_{81}\text{Tl}$, $^{178-220}_{83}\text{Pb}$ için $N \sim 110-115$ bölgesinde deneysel veriyle uyumlu sonuçlar elde edilirken (Bkz. Şekil 4.18-19), $^{184-224}_{83}\text{Bi}$ için $N \sim 120$ civarında deneysel verilerle uyum görölmektedir (Bkz. Şekil 4.20).

Genel olarak şunu söylemek mümkündür; nükleer yük yarıçapının N -bağıllılığı için önerilen $R_C = r_N N^\beta$, $r_p = 1.473$ fm; $\beta = 0.275$ bağıntısı henüz deneysel verilerle tam olarak uyumlu değildir, ancak uyumlu olduğu bölgeler vardır, yapılacak çalışmalarla nükleer yük yarıçapının N -bağıllılığını daha doğru ve güvenilir şekilde veren yeni parametreler üretilmelidir. |

KAYNAKLAR

- [1]. Lilley, J., 2001, *Nuclear Physics: Principles and Applications*, John Wiley & Sons Inc., England, ISBN: 978-0471979364.
- [2]. Krane, K., 1987, *Introductory Nuclear Physics*, Wiley, New York, 978 0471805533.
- [3]. Yalçinkaya, M., Çekirdek Fiziği 1 Ders Notları, 2020.
- [4]. Geiger, E. , Marsden, E., 1909, On a Diffuse Reflection of the α -Particles, *Proceedings of the Royal Society*, A 82 , 495-500.
- [5]. *Rutherford Atom Modeli*, <https://www.kimyabilimi.gen.tr/rutherford-atom-modeli/> [Ziyaret Tarihi: 15 Ekim 2021].
- [6]. Heyde, K., *Basic Ideas and Concepts in Nuclear Physics: An Introductory Approach*, IOP Publishing Ltd., UK, ISBN-13: 978-0750309806.
- [7]. *Electric Dipole Response, Neutron Skin, and Symmetry Energy (II)* Atsushi Tamii Research Center for Nuclear Physics (RCNP) Osaka University, Japan CNS, <https://slideplayer.com/slide/11749605/> [Ziyaret Tarihi: 22 Ekim 2021].
- [8]. Güven, H., Nükleer Fizik Ders Notları, İ.T.Ü Fizik Bölümü, 1999.
- [9]. https://physics.uwo.ca/~mhoude2/courses/phy2102/Ch8-Atomic_Nucleus.pdf [Ziyaret Tarihi: 22 Ekim 2021].
- [10]. Angeli, I., Marinova, K.P., 2013, Table of experimental nuclear ground state charge radii: An update, *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 99, 69–95.
- [11]. Wang, L., 2004, *Determination of the Helium-6 Nuclear Charge Radius Using High-Resolution Laser Spectroscopy*, PhD, University of Illinois.
- [12]. Adamu, A., 2021, A new measurement of nuclear Radius from the study β^{+-} decay energy of finite-sized nuclei, *J. Rad. Nucl. Appl.*, 6, No.1, 45-49.
- [13]. Krassimira M., 2015, Nuclear charge radii systematics, *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 44, 031214.
- [14]. Angeli, I., et al., 2009, *N and Z dependence of nuclear charge radii*, *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.*, 36, 085102.
- [15]. Buchinger, F., Crawford, E., 1994, Nuclear charge radii in modern mass formula, *Phys. Rev. C*, 49, 1402.
- [16]. Marquez, L., et al., 1981, The nuclear Radius from alpha decay, *J. Physique-LETTERS*, 42, L-181–L-184.

- [17]. Serot, B.D., Walecka, J.D., 1986, *Advances in Nuclear Physics: The Relativistic Nuclear Many-Body Problem*, Vol 16, Plenum Press, New York.
- [18]. Meng, J., et al., 2006, Relativistic continuum Hartree Bogoliubov theory for ground-state properties of exotic nuclei, *Prog. Part. Nucl. Phys.*, 57, 470.
- [19]. Wu, D., et al., 2020, Calculation of nuclear charge radii with a trained feed-forward neural network, *Phys. Rev. C.*, 102, 054323.
- [20]. Royer, G., 2008, On the coefficient of the liquid drop model mass formulae and nuclear radii, *Nucl. Phys A.*, 807, 105.
- [21]. Bayram, T., et al., 2013, New Parameters for Nuclear Charge Radius Formulas, *Acta Physica Polonica B.*, V44, No 8, 1791.
- [22]. Warda, M., et al., 2010, Analysis of bulk and surface contributions in the neutron skin of nuclei, *Phys. Rev. C.*, 81, 054309.
- [23]. Brown, A.B., Lecture Notes in Nuclear Structure Physics, Michigan State University, 2011.
- [24]. <http://nucleartalent.github.io/NuclearStructure/doc/pub/spdata/html/spdata.html> [Ziyaret Tarihi: 2 Aralık 2021].
- [25]. *NNDC DataBase-NuDat3*, <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/> [Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2021].
- [26]. Zhang, S.Q., et al., 2002, Isospin and $Z^{1/3}$ -dependence of the nuclear charge radii, *Eur. Phys. J.A*, 13, 285-289.
- [27]. Bohr, A., Mottelson, B.R., 1969, *Nuclear Structure Vol. 1*, W.A. Benjamin Inc., New York.
- [28]. Ring, P., Shuck, P., 1980, *The Nuclear Many-Body Problem*, Springer-Verlag, Berlin.
- [29]. Zeng, J.Y., 1975, $Z^{1/3}$ nuclear charge radius law, *Acta. Phys. Sin.*, 24, 151.
- [30]. Gambhir, Y.K., Patil, Z.H., 1986, Some characteristics of nuclear densities, *Z. Phys. A*, 324, 9.
- [31]. Nerlo-Pomorska, B., Pomorski, Z., 1993, Isospin dependence of nuclear radius, *Z. Phys. A*, 344, 359.
- [32]. Rızaoğlu, E., Yalçınkaya, M., Gültekin, Ö., 2021, *Kuantum Mekaniği - Mathematica Uygulamalı*, Alfa Yayıncılık., İstanbul, 9786254492068.

EKLER

EK 1. Mathematica Kod Örnekleri

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 için gerekli hesapları yapan ve grafiği üreten Mathematica kodu aşağıdadır (Şekil 7.1).

```
(* I. Angeli, K. P. Marinova, At. Data Nucl. Data Tables 99, 69 (2013)
http://dx.doi.org/10.1016/j.adt.2011.12.006 *)

veriA1 = {{14^(1/3), 2.5582}, {15^(1/3), 2.6058}, {16^(1/3), 2.6991},
{17^(1/3), 2.6932}, {18^(1/3), 2.7726}, {19^(1/3), 2.8976}} // N;

veriA2 = {{58^(1/3), 3.7757}, {60^(1/3), 3.8118}, {61^(1/3), 3.8225},
{62^(1/3), 3.8399}, {64^(1/3), 3.9283}, {65^(1/3), 3.9022},
{66^(1/3), 3.9491}, {67^(1/3), 3.9530}, {68^(1/3), 3.9658},
{70^(1/3), 3.9945}} // N;

veriA3 = {{182^(1/3), 5.3788}, {183^(1/3), 5.3869}, {184^(1/3), 5.3930},
{185^(1/3), 5.3984}, {186^(1/3), 5.4027}, {187^(1/3), 5.4079},
{188^(1/3), 5.4139}, {189^(1/3), 5.4177}, {190^(1/3), 5.4127},
{191^(1/3), 5.4169}, {192^(1/3), 5.4191}, {193^(1/3), 5.4243},
{194^(1/3), 5.4259}, {195^(1/3), 5.4325}, {196^(1/3), 5.4327},
{197^(1/3), 5.4388}, {198^(1/3), 5.4396}, {199^(1/3), 5.4479},
{200^(1/3), 5.4491}, {201^(1/3), 5.4573}, {202^(1/3), 5.4840},
{203^(1/3), 5.4911}, {204^(1/3), 5.4934}, {205^(1/3), 5.5008},
{206^(1/3), 5.5034}, {207^(1/3), 5.5103}, {208^(1/3), 5.5147},
{209^(1/3), 5.5211}, {210^(1/3), 5.5300}, {212^(1/3), 5.5489},
{213^(1/3), 5.5586}} // N;

veriA = N[{{14^(1/3), 2.5582}, {15^(1/3), 2.6058}, {16^(1/3), 2.6991},
{17^(1/3), 2.6932}, {18^(1/3), 2.7726}, {19^(1/3), 2.8976},
{57^(1/3), 3.7757}, {60^(1/3), 3.8118}, {61^(1/3), 3.8225},
{62^(1/3), 3.8399}, {63^(1/3), 3.8823}, {64^(1/3), 3.9283},
{65^(1/3), 3.9022}, {66^(1/3), 3.9491}, {67^(1/3), 3.9530},
{68^(1/3), 3.9658}, {70^(1/3), 3.9945}, {182^(1/3), 5.3788},
{183^(1/3), 5.3869}, {184^(1/3), 5.3930}, {185^(1/3), 5.3984},
{186^(1/3), 5.4027}, {187^(1/3), 5.4079}, {188^(1/3), 5.4139},
{189^(1/3), 5.4177}, {190^(1/3), 5.4127}, {191^(1/3), 5.4169},
{192^(1/3), 5.4191}, {193^(1/3), 5.4243}, {194^(1/3), 5.4259},
{195^(1/3), 5.4325}, {196^(1/3), 5.4327}, {197^(1/3), 5.4388},
{198^(1/3), 5.4396}, {199^(1/3), 5.4479}, {200^(1/3), 5.4491},
{201^(1/3), 5.4573}, {202^(1/3), 5.4840}, {203^(1/3), 5.4911},
{204^(1/3), 5.4934}, {205^(1/3), 5.5008}, {206^(1/3), 5.5034},
{207^(1/3), 5.5103}, {208^(1/3), 5.5147}, {209^(1/3), 5.5211},
{210^(1/3), 5.5300}, {212^(1/3), 5.5489}, {213^(1/3), 5.5586}}];
```

```

line = Fit[veriA, {1, x}, x]
0.541659 + 0.843594 x

lm = LinearModelFit[veriA, x, x];
lm["ParameterTable"]

```

	Estimate	Standard Error	t-Statistic	P-Value
1	0.541659	0.0196583	27.5537	3.07601×10^{-30}
x	0.843594	0.00383061	220.225	3.3925×10^{-71}

```

LineFit = Plot[line, {x, 1, 6}];

(* Needs["PlotLegends`"]
PlotLegend->{"sine", "cosine", "deneme"}, *)

Rexp = ListPlot[{veriA1, veriA2, veriA3}, PlotRange -> {{0, 7}, {0, 7}},
  FrameLabel -> {Style["A1/3", 18, FontFamily -> "Times New Roman"],
    Style["Rort (fm)", 18, FontFamily -> "Times New Roman"]},
  PlotStyle -> {{Blue, PointSize[0.015]}, {Red, PointSize[0.015]},
    {Green, PointSize[0.015]}}, PlotRange -> All, Frame -> True,
  FrameStyle -> Directive[Black, 14, FontFamily -> "Times New Roman"],
  FrameTicks -> {{All, None}, {All, None}}];

Show[LineFit, Rexp, PlotRange -> {{1, 6}, {1, 7}}, ImageSize -> 480,
  ImagePadding -> 50, Frame -> True,
  FrameLabel -> {Style["A1/3", 18, FontFamily -> "Times New Roman"],
    Style["Rort (fm)", 18, FontFamily -> "Times New Roman"]},
  FrameStyle -> Directive[Black, 14, FontFamily -> "Times New Roman"],
  FrameTicks -> {{All, None}, {All, None}}]

```

Şekil 7.1: Mathematica kodu (Şekil 4.1 üreten).

```

(*Nötron sayısına bağımlılık için *)
veriN1 = {{7^(1/3), 2.5582}, {8^(1/3), 2.6058}, {9^(1/3), 2.6932},
          {10^(1/3), 2.8976}} // N;

veriN2 = {{30^(1/3), 3.7757}, {32^(1/3), 3.8118}, {33^(1/3), 3.8225},
          {34^(1/3), 3.8399}, {36^(1/3), 3.9022}, {37^(1/3), 3.9530},
          {38^(1/3), 3.9658}, {40^(1/3), 3.9945}} // N;

veriN3 = {{100^(1/3), 5.3788}, {101^(1/3), 5.3869}, {102^(1/3), 5.3930},
          {103^(1/3), 5.3984}, {104^(1/3), 5.4027}, {105^(1/3), 5.4079},
          {106^(1/3), 5.4139}, {107^(1/3), 5.4177}, {108^(1/3), 5.4222},
          {109^(1/3), 5.4127}, {110^(1/3), 5.4169}, {111^(1/3), 5.4191},
          {112^(1/3), 5.4243}, {113^(1/3), 5.4259}, {114^(1/3), 5.4325},
          {115^(1/3), 5.4327}, {116^(1/3), 5.4388}, {117^(1/3), 5.4396},
          {118^(1/3), 5.4479}, {119^(1/3), 5.4491}, {120^(1/3), 5.4911},
          {121^(1/3), 5.4934}, {122^(1/3), 5.5008}, {123^(1/3), 5.5034},
          {124^(1/3), 5.5103}, {125^(1/3), 5.5147}, {126^(1/3), 5.5211},
          {127^(1/3), 5.5300}, {129^(1/3), 5.5489}, {130^(1/3), 5.5586}} // N;

veriN = {{7^(1/3), 2.5582}, {8^(1/3), 2.6058}, {9^(1/3), 2.6932},
          {10^(1/3), 2.8976}, {30^(1/3), 3.7757}, {32^(1/3), 3.8118},
          {33^(1/3), 3.8225}, {34^(1/3), 3.8823}, {36^(1/3), 3.9022},
          {37^(1/3), 3.9530}, {38^(1/3), 3.9658}, {40^(1/3), 3.9945},
          {100^(1/3), 5.3788}, {101^(1/3), 5.3869}, {102^(1/3), 5.3930},
          {103^(1/3), 5.3984}, {104^(1/3), 5.4027}, {105^(1/3), 5.4079},
          {106^(1/3), 5.4139}, {107^(1/3), 5.4177}, {108^(1/3), 5.4222},
          {109^(1/3), 5.4127}, {110^(1/3), 5.4169}, {111^(1/3), 5.4191},
          {112^(1/3), 5.4243}, {113^(1/3), 5.4259}, {114^(1/3), 5.4325},
          {115^(1/3), 5.4327}, {116^(1/3), 5.4388}, {117^(1/3), 5.4396},
          {118^(1/3), 5.4479}, {119^(1/3), 5.4491}, {120^(1/3), 5.4911},
          {121^(1/3), 5.4934}, {122^(1/3), 5.5008}, {123^(1/3), 5.5034},
          {124^(1/3), 5.5103}, {125^(1/3), 5.5147}, {126^(1/3), 5.5211},
          {127^(1/3), 5.5300}, {129^(1/3), 5.5489}, {130^(1/3), 5.5586}} // N;

lineN = Fit[veriN, {1, x}, x]

0.713333 + 0.975172 x

lmN = LinearModelFit[veriN, x, x];
lmN["ParameterTable"]

```

	Estimate	Standard Error	t-Statistic	P-Value
1	0.713333	0.047748	14.9395	5.86107×10^{-18}
x	0.975172	0.010877	89.6541	9.87393×10^{-48}

```

LineFitN = Plot[lineN, {x, 1, 6}];

RexpN = ListPlot[{veriN1, veriN2, veriN3}, PlotRange → {{1, 6}, {1.8, 7}},
  FrameLabel → {Style["N1/3", 18, FontFamily → "Times New Roman"],
    Style["Rort (fm)", 18, FontFamily → "Times New Roman"]},
  PlotStyle → {{Blue, PointSize[0.015]}, {Red, PointSize[0.015]},
    {Green, PointSize[0.015]}}, PlotRange → All, Frame → True,
  FrameStyle → Directive[Black, 14, FontFamily → "Times New Roman"],
  FrameTicks → {{All, None}, {All, None}}];

Show[LineFitN, RexpN, PlotRange → {{1, 6}, {1.8, 7}}, ImageSize → 480,
  ImagePadding → 50, Frame → True,
  FrameLabel → {Style["N1/3", 18, FontFamily → "Times New Roman"],
    Style["Rort (fm)", 18, FontFamily → "Times New Roman"]},
  FrameStyle → Directive[Black, 14, FontFamily → "Times New Roman"],
  FrameTicks → {{All, None}, {All, None}}]

```

Şekil 7.2: Mathematica kodu (Şekil 4.2 üreten).

```

(*Kabuk Kalınlığı Hesabı *)
ClearAll["Global`*"]

ListPlot[Table[{a, 4.4 a}, {a, 0.438, 0.556, 0.01}], ImageSize → 480,
  ImagePadding → 50, PlotStyle → {Red, PointSize[0.02]},
  PlotRange → All, PlotMarkers → {"□", 12}, AxesOrigin → {0.437, 2.5},
  Frame → True,
  FrameStyle → Directive[Black, 14, FontFamily → "Times New Roman"],
  FrameTicks → {{All, None}, {{0.44, 0.46, 0.48, 0.50, 0.52, 0.54}, None}},
  FrameLabel → {Style["a (fm)", 18, FontFamily → "Times New Roman"],
    Style["t (fm)", 18, FontFamily → "Times New Roman"]},
  Epilog → {{Blue, PointSize[0.034], Point[{0.5, 2.2}]}}]

```

Şekil 7.3: Kabuk kalınlığının a ile değişimini üreten Mathematica kodu.(Şekil4.22)

Şekil 4.3'de N izotopları için verilen hesapları ve grafiği üreten Mathematica kodu aşağıdadır (Şekil 7-3). Diğer izotoplar için de benzer kodlar yazılmıştır. Örnek için sadece N izotopları için verilmektedir.

```
(* N izotopları için Şekil 4.3 hesaplayarak çizen Mathematica kodları *)
(* Diğer izotoplar için benzer kod kullanılmıştır *)
(* Tablo 3.2 Ref 21'den alınan deneysel verilere göre elde edilen formül 1 --Rc=
rAAβ--rA=1.169 fm; β=0.291 ;
RMSD=0.072 *)

rA = 1.169; beta = 0.291; RMSD1 = 0.072;

F2forN = ListPlot[Table[{A, rA (A^beta)}, {A, 10, 24, 1}], PlotStyle -> {Red, PointSize[0.02]},
  PlotMarkers -> {"Δ", 12}, PlotRange -> All, AxesOrigin -> {9.8, 2.25}, Frame -> True,
  FrameStyle -> Directive[Black, 14, FontFamily -> "Times New Roman"],
  FrameTicks -> {{All, None}, {{10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24}, None}}];

(***** *)

(* Genel formül R= R0A1/3*)

r0 = 1.223; RN14 = r0 (14^(1/3))

F1forN = ListPlot[Table[{A, r0 (A^(1/3))}, {A, 10, 24, 1}],
  PlotStyle -> {CMYKColor[0.3, 1, 0, .25], PointSize[0.02]}, PlotMarkers -> {"□", 12},
  PlotRange -> All, AxesOrigin -> {9.8, 2.6}, Frame -> True,
  FrameStyle -> Directive[Black, 14, FontFamily -> "Times New Roman"],
  FrameTicks -> {{All, None}, {{10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24}, None}}];

Show[F1forN, F2forN, AxesOrigin -> {9.8, 2.25}, ImageSize -> 480, ImagePadding -> 50,
  FrameLabel -> {Style["A", 18, FontFamily -> "Times New Roman"],
    Style["Rort (fm)", 18, FontFamily -> "Times New Roman"]},
  Epilog -> {{Blue, PointSize[0.02], Point[{14, 2.5582}]},
    {Blue, PointSize[0.025], Point[{15, 2.6058}]}}]
```

Şekil 7.4: Mathematica kodu (Şekil 4.3 üreten).

6 ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Mohammad FAKE
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	Tarih girmek için tıklayın veya dokununuz.
Uyruğu	☐ T.C. ☐ Diğer:
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
Fakülte	FEN-EDEBİYET FAKÜLTESİ
Bölümü	FİZİK
Mezuniyet Yılı	07.06.2017

Yüksek Lisans	
Üniversite	İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
Enstitü Adı	FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
Anabilim Dalı	FİZİK
Programı	NÜKLEER FİZİK

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Anabilim Dalı Adı
Programı	Program Adı

Makale ve Bildiriler	