



T.C.
NIĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

SÜPER-AĞIR ÇEKİDEKLERİN BOZUNMA MODLARININ TAHMİNLERİ

GUNEL ALİYEVA

Ağustos 2020

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

SÜPER-AĞIR ÇEKİDEKLERİN BOZUNMA MODLARININ TAHMİNLERİ

GUNEL ALİYEVA

Yüksek Lisans Tezi

Danışman
Prof. Dr. Asım SOYLU

Ağustos 2020

Günel ALIYEVA tarafından **Prof. Dr. Asım SOYLU** danışmanlığında hazırlanan “**Süper-Ağır Çekirdeklerin Bozunma Modlarının Tahminleri**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Zafer NERGİZ, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Asım SOYLU, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fahrettin Koyuncu, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Prof. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Gunel ALİYEVA



ÖZET

SÜPER-AĞIR ÇEKİRDEKLERİN BOZUNMA MODLARININ TAHMİNLERİ

ALİYEVA, Gunel

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman

:Prof. Dr. Asım SOYLU

Ağustos 2020, 62 sayfa

Son zamanda süper-ağır çekirdeklerin hem deneysel hem de teorik olarak incelenmesi nükleer fiziğin ilgi çeken konularından biri olmuştur. Bununla ilgili bir çok deney çalışmaları ile farklı model ve formüller geliştirilerek hesaplar yapılmakta ve çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Bu çalışmada, alfa bozunmu (AB) için Coulomb Proximity Potansiyeli modeli (CPPM), Wentzel-Kramers-Brillouin metodu (WKB), Viola ve Seaborg'in 5 parametrelili formülü (VSS), Evrensel eğri (UNIV), Evrensel bozunma yasası (UDL), Royer'in analitik formülü, Horoi fomülü ve kendiliğinden fisyon (KF) için Santhosh tarafından geliştirilen kabuk etkisine bağlı formül (KPS), Xu tarafından geliştirilen yarı deneysel formül (Xu), Bao'nun geliştirdiği formül, Soylu'nun geliştirdiği formül model ve formülleri kullanılarak $Z = 125$, 126 ve 127 çekirdeklerinin izotopları için AB ve KF yarı-ömür hesapları yapılmıştır. CPPM ve WKB ile KPS, Xu, Bao ve Soylu ile elde edilen yarı-ömürlerin karşılaştırılması yapılarak bozunma modları elde edilmiştir. $Z = 125$, 126 ve 127 çekirdekleri için elde edilen farklı KF_0 ler, bozunma modlarının tahmininde önemli olacaktır. Tüm hesaplamalar MES isimli Python kodu ile yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar $Z = 125$, 126 ve 127 için yapılan teorik çalışmalar ve yapılması planlanan deneysel çalışmalar için yol gösterici olabilir ve ileriki çalışmalar için rehberlik edebilir.

Anahtar Sözcükler: Alfa bozunumu, kendiliğinden fisyon, süper-ağır çekirdekler, WKB

SUMMARY

THE PREDICTIONS OF DECAY MODES OF SUPERHEAVY NUCLEI

ALİYEVA, Gunel

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor

:Prof. Dr. Asım SOYLU

August 2020, 62 pages

Recently, the study of superheavy nuclei, both experimentally and theoretically, has become one of the interesting topics of nuclear physics. With many experimental studies related to this, different models and formulas are developed, calculations are made and the studies continue intensively. In this study, for alpha decay (AD) Coulomb Proximity Potential model (CPPM), Wentzel-Kramers-Brillouin method (WKB), 5-parameter formula (VSS) of Viola and Seaborg, Universal curve (UNIV), Universal decay law (UDL), Royer's analytical formula, the Horoi formula and the formula for spontaneous fission (SF) developed by Santhosh (KPS), the semi-experimental formula (Xu) developed by Xu, the formula developed by Bao, the formula developed by Soylu. AD and SF half-life calculations have been made for the isotopes of $Z = 125, 126$ and 127 nuclei using the formulas and models. Degradation modes were obtained by comparing the half-lives of CPPM and WKB with KPS, Xu, Bao and Soylu. The different SFs obtained for $Z = 125, 126$ and 127 nuclei will be important in estimating the decay modes. All calculations are made with Python code named MES. The results obtained in this study can be a guide for theoretical studies and experimental studies for $Z = 125, 126$ and 127 , and may guide for future studies.

Key Words: Alpha decay, spontaneous fission, proton separation energies, superheavy nuclei, WKB

ÖNSÖZ

Süper-ağır çekirdeklerin araştırılması nükleer yapının daha iyi anlaşılmasını sağlayacağından dolayı nükleer fizik açısından büyük önem arz etmektedir. Süper-ağır çekirdekler için iki önemli bozunma modu vardır. Bunlar alfa bozunma (AB) ve kendiliğinden fizyon (KF)'dur. Süper-ağır çekirdeklerin yaşam süreleri çok kısa olduğu için AB ve KF yarı-ömürlerinin hesaplanması süper-ağır çekirdeklerin yapısının anlaşılması açısından son derece önemlidir. Bu çalışmada $Z = 125, 126$ ve 127 süper-ağır çekirdekleri incelenmiştir. Bu çekirdeklerin izotopları için AB ve KF yarı-ömürleri hesaplanarak bozunma modları elde edilmiştir. Bu çalışmanın diğer süper-ağır çekirdek araştırmaları için teorik ve deneysel çalışmalarda literatüre katkı sağlayacağını temenni ederim.

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 118R028 numaralı 1001 projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim. Yüksek lisans ve tez çalışma sürecinde faydalı önerilerini, yardım ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Asım Soylu'ya ve Dr. Öğr. Üyesi Fahrettin Koyuncu'ya sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca bu süreçte maddi ve manevi yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGE VE KISALTMALAR	xii
BÖLÜM I GİRİŞ	1
BÖLÜM II RADYOAKTİF BOZUNMA	4
2.1 Radyoaktif Bozunma	4
2.1.1 α bozunması	6
2.1.2 β bozunması	7
2.1.3 γ bozunması	8
2.2 Alfa Bozunumu'nun (AB) Kuantum Mekaniksel Açıklaması	9
2.3 Kendiliğinden Fisyon (KF)	13
BÖLÜM III SÜPER-AĞIR ÇEKİRDEKLER	15
3.1 Süper-Ağır çekirdekler	15
3.3 $Z=125, 126$ ve 127 çekirdekleri	19
BÖLÜM IV TEORİK MODEL ve METOTLAR	24
4.1 α - Bozunma İçin Kullanılan Modeller	24
4.1.1 Viola ve Seaborg'in 5 parametrelili formülü	24
4.1.2 Evrensel eğri (UNIV)	24
4.1.3 Royer 'in analitik formülü	25
4.1.4 Evrensel bozunma yasası (UDL)	26
4.1.5 Horoi formülü	26
4.1.6 Coulomb Proximity Potansiyeli modeli (CPPM)	26
4.1.7 WKB yaklaşımı	28
4.2 Proton Ayrılma ve α - Bozunma Enerjileri	30
4.3 Kendiliğinden Fisyon(KF) Yarı-ömürleri İçin Formüller	30

4.3.1 KF yarı-ömürleri için yarı deneysel formül (Xu).....	30
4.3.3 Bao'nun geliştirdiği formül	31
4.3.4 Soylu'nun geliştirdiği formül	32
4.4 MES Kodu	32
BÖLÜM V BULGULAR	34
BÖLÜM VI SONUÇLAR VE TARTIŞMA	49
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	61
TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER	62



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. 104-118 süper ağır elementlerin sentezlenme bilgileri.....	19
Çizelge 5.1. Z=125 izotopunun AB ve KF sonuçları ve bozunma modu tahminleri. Tüm sonuçlar saniye cinsinden verilmiştir	36
Çizelge 5.2. Z=125 izotopunun AB ve KF sonuçları ve bozunma modu tahminleri. Tüm sonuçlar saniye cinsinden verilmiştir (Devamı).....	37
Çizelge 5.3. Z=126 izotopunun AB ve KF yarı-ömürlerin sonuçları ve bozunma modu tahminleri. Tüm sonuçlar saniye cinsinden verilmiştir.....	38
Çizelge 5.4. Z=127 izotopunun AB ve KF yarı-ömürlerin sonuçları ve bozunma modu tahminleri. Tüm sonuçlar saniye cinsinden verilmiştir	39
Çizelge 5.5. Z=127 izotopunun AB ve KF yarı-ömürlerin sonuçları ve bozunma modu tahminleri. Tüm sonuçlar saniye cinsinden verilmiştir (Devamı)	40
Çizelge 5.6. Z=127 izotopunun AB ve KF yarı-ömürlerin sonuçları ve bozunma modu tahminleri. Tüm sonuçlar saniye cinsinden verilmiştir (Devamı)	41
Çizelge 5.7. Z=127 izotopunun AB ve KF yarı-ömürlerin sonuçları ve bozunma modu tahminleri. Tüm sonuçlar saniye cinsinden verilmiştir (Devamı)	42

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Çekirdek tablosu	5
Şekil 2.2. α parçacığı ve kız çekirdek sisteminin bağlı potansiyel enerjisi	11
Şekil 2.3. Kendiliğinden fisyon	13
Şekil 3.1. Periyodik Tablo	15
Şekil 4.1. MES kodunun ara yüzeyi	33
Şekil 5.1. $^{310}\text{125}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi	43
Şekil 5.2. $^{311}\text{125}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi	43
Şekil 5.3. $^{312}\text{125}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi	43
Şekil 5.4. $^{313}\text{125}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi	44
Şekil 5.5. $^{314}\text{125}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi	44
Şekil 5.6. $^{315}\text{125}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi	44
Şekil 5.7. $^{318}\text{126}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi	45
Şekil 5.8. $^{319}\text{126}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi	45
Şekil 5.9. $^{320}\text{126}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi	45
Şekil 5.10. $^{321}\text{126}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi	46
Şekil 5.11. $^{322}\text{126}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi	46
Şekil 5.12. $^{323}\text{126}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi	46

Şekil 5.13.	$^{313}\text{127}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi.....	47
Şekil 5.14.	$^{314}\text{127}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi.....	47
Şekil 5.15.	$^{315}\text{127}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi.....	47
Şekil 5.16.	$^{316}\text{127}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi.....	48
Şekil 5.17.	$^{317}\text{127}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi.....	48
Şekil 5.18.	$^{318}\text{127}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi.....	48

SİMGE VE KISALTMALAR

Kısaltmalar	Açıklama
AB	Alfa Bozunumu
CPPM	Coulomb Proximity Potansiyeli Modeli
UNİV	Evrensel Eğri
UDL	Evrensel Bozunma Yasası
KF	Kendiliğinden Fisyon
TWG	Uranyum Ötesi Çalışma Grubu
WKB	Wentzel-Kramers-Brillouin Metodu

BÖLÜM I

GİRİŞ

1896 yılında Becquerel'in Uranyum bileşkelerindeki radyoaktiviteyi keşfinden sonra fizik dünyasında büyük devrim yaşanmıştır (Serway, 1982). X-ışınlarının C. Röntgen tarafından keşfedilmesinden sonra H. Becquerel, Uranyum tuzları üzerinde deney yapmış ve tuzların kendiliğinden ışın yaydığını keşfetmiştir (Akbulut , 2009).

J.Dalton, atom modelinde atomu bölünmez olarak tanımlamış ve bu tüm dünya tarafından onaylanmıştır. Fakat 1896 yılında J. J. Thomson atom yapısında elektronun bulunduğu fikrini ileri sürmüştür. Thomson, H.A. Wilson ve Robert Millikan elektronun atom kütesinden çok küçük olduğunu göstermişlerdir (Akbulut, 2009). 1898'de Pierre ve Marie Curie Toryum elementinin de Uranyum gibi ışın yaydığını gözlemlemiştir (Serway, 1982). Bu konuda çalışmalarını devam ettiren Pierre ve Marie Curie Polonyum ve Radyum elementlerini keşfetmişlerdir. Bu ışınlara "radyoaktivite" denilmiştir. Rutherford Uranyumdan çıkan ışınların γ ışınları ve α , β parçacıkları olduğunu söylemiştir. Bu durum, elementin kendiliğinden parçacık fırlatması atomun bölünür olmasını kanıtlamaktadır (Akbulut, 2009).

Çekirdeğin varlığını ve etrafında elektronun bulunduğunu Ernest Rutherford 1911 yılında yapmış olduğu deneyler sonucunda keşfetmiştir (Akbulut, 2009). Rutherford α parçacıklar ile altın levhayı bombardıman etmiş ve bazı α parçacıkların 90° açıyla saptığını gözlemlemiştir. Rutherford yapmış olduğu deney sonucu çekirdeğin yoğun ve pozitif yüklü bir kütlede oluştuğunu göstermiş ve bununla da çekirdeğin varlığını kanıtlamıştır. Çekirdek sadece protonlardan oluşamaz çünkü pozitif yükler arasında itme kuvveti sonucu atom bir arada kalmaz. Rutherford 1920'de çekirdekte protonlarla birlikte kütleleri protonlarla aynı yükü nötr olan başka parçacıkların da var olduğu fikrini ileri sürmüştür. 1932'de J. Chadwick bu parçacıkların nötronlar olduğunu keşfetmiştir ve bununla da çekirdeğin proton ve nötronlardan oluştuğu kabul edilmiştir (Stephen vd., 2007).

Pozitif yükler arası Coloumb itme kuvveti sonucunda çekirdeğin dağılması beklenmektedir. Fakat çekirdek buna rağmen kararlılığını korumaktadır. Bu durum

ancak nükleer kuvvetin varlığı ile açıklanmaktadır. Nükleer kuvvet çekirdekte; proton-proton, proton-nötron ve nötron-nötron arası etki eden çekici kuvvet anlamına gelmektedir. Nükleer kuvvet çok kısa menzillidir. Çekirdeğe aynı zamanda hem çekici nükleer kuvvet hem de itici Coloumb kuvvet etki etmektedir. Çekirdek içinde nükleer kuvvet, Coloumb kuvvetine üstün gelir ve çekirdek kararlılığını korur (Serway, 1982). Nükleer kuvvetin nasıl bir yapıda olduğunun araştırılması nükleer fiziğin temel problemlerinden biridir ve özellikleri henüz tam olarak açıklanamamıştır. Nükleer yapının öğrenilmesi için sıvı damlası modeli ve kabuk modeli geliştirilmiştir (Hugh, 2016). Çekirdekte proton sayısı arttıkça Coloumb itme kuvveti nükleer kuvveti yener ve çekirdek kararlı durumdan kararsız duruma geçer. Bundan dolayı süper-ağır çekirdeklere proton sayısı çok olduğundan bu tür çekirdeklerin kararsız olması beklenen bir durumdur (Krane, 2001).

Kararsız çekirdekler kararlı duruma geçebilmek için bozunmaktadır. Ağır çekirdeklerin çoğunluğu alfa parçacığı (${}^4_2\text{He}$) salarak bozunmaktadır. Deneysel çalışmaların sonuçlarının açıklanabilmesi için alfa parçacığının bozunmadan önceden çekirdek içinde var olduğu öne sürüldü. Nükleer kuvvet alfa parçacıklarının dışarı çıkmasını engellemektedir. Buna rağmen bazı alfa parçacıkları çekirdekten dışarı çıkabilmektedir. Bu olayın fiziksel olarak açıklaması kuantum tünelleme mekanizmasıdır. Alfa parçacığının enerjisi kendi enerjisinden büyük olan potansiyel engelden geçme olasılığı vardır (John vd., 2008). Bunu ilk olarak (Gamow, 1928; Condon ve Gourney, 1929) açıklamıştır. Bir başka bozunma beta (β) bozunmasıdır. İki tür beta bozunma mevcuttur: β^- ve β^+ . Bu bozunma çekirdek içerisinde nötronun protona ve protonun nötrona dönüşmesi sonucu anlık oluşan elektronun ve pozitronun salınması olayıdır. Ağır çekirdekler ayrıca kendiliğinden fisyon (KF) olarak adlandırılan bir bozunmayla iki yeni çekirdeğe bölünebilir. Bunu ilk defa 1940 yılında Uranyum-238 çekirdeğinde G. Flerov ve K. Petrzhak deneysel olarak keşfettiler. Alfa bozunumdan daha karmaşık olan kendiliğinden bozunma olayı da tünelleme mekanizmasıyla açıklanabilir (Magill, 2004).

Nükleer fiziğin temel araştırma konularından birisi de son yıllarda hız kazanmış süper-ağır çekirdeklerin bozunma modları üzerine yapılan çalışmalardır (Ghanramany, 2016; Santhosh vd., 2016a; Zhao, 2018; Zhang ve Wang, 2018; Sridhar vd., 2019a; Soylu, 2019). Süper-ağır çekirdeklerin yaşam süreleri çok kısa olduğu için çekirdeklerle ilgili

doğrudan bilgi almak mümkün değildir. Süper-ağır çekirdeklerin bozunmasında alfa bozunma ve kendiliğinden fisyon olaylarının gözlemlenmesi bu çekirdeklerle ilgili önemli bilgiler vermektedir. Bu nedenle bu tür çalışmaların yapılması süper-ağır çekirdeklerin yapısının anlaşılabilmesi için çok önemlidir.

Bu tez çalışmasında süper-ağır çekirdekler olan $Z=125$, 126 ve 127 proton sayısına sahip çekirdeklerin izotoplarının özellikleri araştırılmıştır. Bu çekirdekler için bozunma modları elde edilmiştir. Bunun için Alfa Bozunmu (AB) ve Kendiliğinden Fisyon (KF) karşılaştırılması yapılmıştır. Alfa bozunmu için CPPM (Santhosh ve Joseph, 2004), WKB (Soylu, 2016), VSS (Viola ve Seaborg, 1966), UNIV (Poenaru vd., 2011; Poenaru vd., 2012), UDL (Qi vd., 2009a; 2009b), Royer (Royer, 2000), Horoi (Horoi, 2004), KF için KPS (Santhosh ve Nithya, 2016b), Xu (Xu vd., 2008), Bao (Bao vd., 2015), Soylu (Soylu, 2019) model ve formülleri kullanılmıştır. Elde sonuçlar daha önce yapılmış çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bozunma modların elde edilmesi için CPPM ve WKB modelleri ile KF formülleri karşılaştırılmış ve 4 bozunma modu elde edilmiştir. Bu bozunma modları diğer çalışma sonuçlarıyla uyumlu olsa da bazı çekirdeklere farklılık göstermektedir. $Z=125$ ve $Z=126$ çekirdekleri daha önce literatürde farklı modeller ile incelenmiştir. Bu çalışmada ise bazı farklı metot ve modeller kullanılmıştır. Diğer yandan $Z=127$ için ise literatürde detaylı bir şekilde yapılmış çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple yapılan bu çalışma önemli olacaktır.

Bölüm 2'de radyoaktif bozunma çeşitleri ve alfa bozunumu ve kendiliğinden bozunma süreçleri üzerine detaylı bilgi verilmiştir.

Bölüm 3'te süper-ağır çekirdeklerin laboratuvarında üretimi, dünyadaki üretim merkezleri, teorik ve deneysel çalışmalarla ilgili bilgi verilmiştir.

Bölüm 4'te kullanılan teorik modeller açıklanmıştır.

Bölüm 5'te yapılan tüm hesaplar, tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

Bölüm 6'da elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

BÖLÜM II

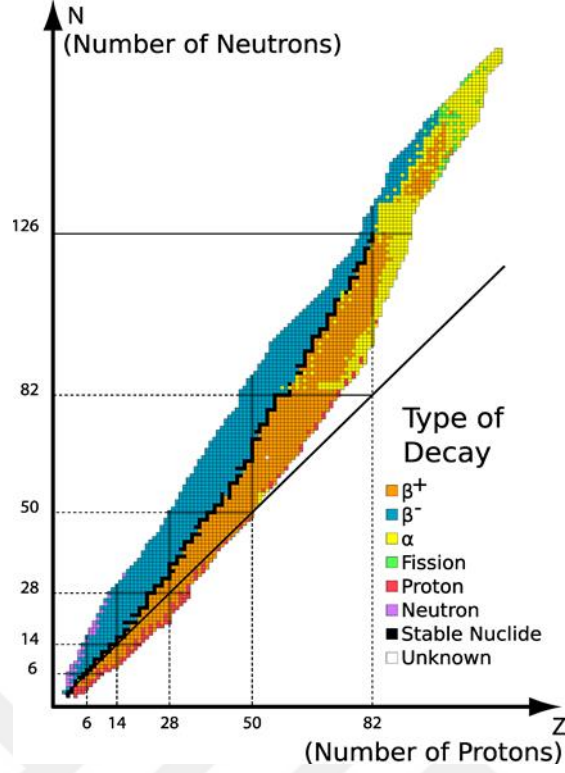
RADYOAKTİF BOZUNMA

2.1 Radyoaktif Bozunma

Çekirdeklerdeki nükleonlara çekici nükleer kuvvet ve itici Coulomb kuvveti etki eder. Hafif çekirdekler için, nötron ve proton sayıları kabaca eşittir. Bu durumda olan çekirdekler kararlı çekirdeklerdir. Bunun beraberinde, ağır kararlı çekirdekler için, Coulomb itme enerjisindeki faktör $Z(Z - 1)$ hızla büyür, bu nedenle kararlılık için gereken ilave bağlanma enerjisini sağlamak için ilave nötronlar gereklidir. Nötronlar, protonlar arası itici Coulomb kuvvetinin etkisini azaltır. Bu nedenle, tüm ağır kararlı çekirdeklerde $N > Z$ bulunur (Krane , 2012). Eğer nötron sayısı proton sayısına eşit ve daha çok olursa çekirdek kararlı olur. Doğada yaklaşık olarak 250 kararlı çekirdek bulunmaktadır. Proton sayısı 83 (${}_{83}^{209}Bi$) olan en ağır kararlı çekirdekten sonra gelen çekirdekler ise az kararlıdır ya da tamamen kararsızdır. Proton sayısı nötron sayısından çok olduğu durumlarda Coulomb itme kuvveti daha baskın olduğu için çekirdek kararsız olur (Gottfried, 2018).

Şekil 2.1'de $N=Z$ 'de kararlı çekirdekler siyah kareler ve bilinen çekirdekler renkli olarak gösterilmiştir. Sarı alan çekirdeklerin var olabileceği bölgeyi gösterir. Sarı alandan ileride çekirdekler var olamaz. şekilde verilen siyah düz çizgi $N=Z$ kararlılık çizgisi olarak adlanır ve bu çizgiden uzaklaştıkça çekirdeklerin kararlılığı azalmaktadır. Genel olarak nötron/proton < 1.5 olan çekirdekler kararlı ya da az kararlı, nötron/proton > 1.5 olan çekirdekler ise kararsızdır (Krane , 2012).

Kararsız durumda olan çekirdekler yüksek enerjiye sahiptirler ve fazla enerjilerinden kurtulmak için parçacık veya elektromanyetik radyasyon yayınlamaya daha düşük enerji seviyesindeki çekirdeğe bozunurlar, bu olay "Radyoaktif Bozunma" olarak adlandırılmıştır. Salınan parçacıkların yaydığı enerjiyi ölçmekle parçacıkların farklı enerjilere sahip oldukları tespit edilmiştir. Bu parçacıkların manyetik alanda hareketlerini gözlemleyerek pozitif yüklü, negatif yüklü ve yüksüz parçacıklar olduğu



Şekil 2.1. Çekirdek tablosu (Bruce, 2019)

anlaşılmıştır. Bu parçacıklar α , β ve γ olarak isimlendirilmiştir. Daha sonra α parçacıkların ${}^4_2\text{He}$ çekirdeği, β parçacıkların elektronlar, γ 'nın ise elektromanyetik dalgalar olduğu tespit edilmiştir (Bueche, 2000). Bir radyoaktif bozunmada enerji, lineer momentum, açısal momentum, elektrik yükü ve nükleon sayısı korunur (Gümüş vd., 2009). Radyoaktif bozunma genel durum olmayıp çekirdeğe özgü bir durumdur. çekirdeğin ne zaman bozunma yapacağını belirleyemeyiz, sadece bozunma yaptığı belirli zaman aralığı bulabiliriz. Radyoaktif bir elementin zamanla bozunma hızının üstel kanuna uyduğu gösterilmiştir. Radyoaktif numunenin bozunma yarı-ömrü eğer bir t anında N radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye yeni çekirdekler ilave edilmiyorsa dt süresi içinde bozunan dN çekirdek sayısı, N ile orantılıdır

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N, \quad (2.1)$$

burada λ bozunma veya parçalanma sabitidir. Bu denklemin integrali alınırsa

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2.2)$$

üstel radyoaktif bozunma kanunu elde edilir. N_0 $t=0$ anındaki henüz bozunmamış çekirdeklerin sayısıdır.

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}, \quad (2.3)$$

burada $t_{1/2}$ yarı-ömür, çekirdeğin yarısının bozunması için gereken süredir (Krane, 2001). Şimdi α , β ve γ bozunmalarını ayrı ayrı inceleyelim.

2.1.1 α bozunması

α parçacıkları yükü ve kütesinden dolayı diğerlerine göre gericiliği en az olanıdır. Bu yüzden alfa parçacıklarını bir kağıt parçası yardımıyla durdurabiliriz (Gümüş, 2009). Eğer kararsız çekirdekler fazla enerjilerini alfa parçacığı salarak giderirlerse bu bozunma alfa bozunma olarak adlandırılır. Alfa bozunma yapan bir çekirdek 2 proton ve 2 nötron kaybederek başka bir çekirdeğe dönüşür. Sembolik olarak



gösterilir. Burada X ana çekirdek, Y kız çekirdek yani ürün çekirdektir. Alfa bozunumu, alfa parçacığının potansiyel engelden tünellemesi olayıdır (Stephen vd., 2007). Bu konuya sonraki kısımda daha detaylıca değinilecektir. çekirdek kütlelerin sistematığı, çekirdeklere kütle artıka alfa bozunma yapma olasılığının arttığını gösterir (Stephen vd., 2007). Uranyum ve Radium elementlerin alfa bozunmalarını örnek olarak gösterilebilir



Her bir nükleer reaksiyonda enerji korunduğu gibi alfa bozunmada da enerji korunur. Alfa bozunmasında açığa çıkan enerji,

$$\Delta Q = (m_x - m_y - m_\alpha)c^2, \quad (2.7)$$

formülü ile bulabiliriz. Burada m_x ana çekirdek kütlesi, m_y ürün çekirdek kütlesi ve m_α alfa parçacığının kütlesidir (Gümüş vd., 2009). Alfa bozunumuyla ilgili daha geniş bilgi ilerleyen kısımda verilecektir.

2.1.2 β bozunması

Beta bozunmasında çekirdek fazla enerjisini bir elektron ve bir antinötrino (veya bir pozitron ve bir nötrino) salarak azaltır. β parçacıkların yükü ve kütlesi α parçacıklarına kıyasla daha az olduğu için nispeten daha çok gericidir. β parçacıklarını mm kalınlığındaki Alüminyum levhayla durdurabiliriz. Beta (β) bozunumun β^- ve β^+ olmakla iki türü mevcuttur.

Tüm bozunmalarda olduğu gibi β bozunmasında da genel korunum yasaları korunmalıdır. Elektronun ve pozitronun enerjilerini hesapladıktan sonra bozunma sırasında enerjinin korunmadığı anlaşıldı. 1930'larda Pauli β bozunma sırasında salınan başka bir parçacığında var olabileceği fikrini ortaya attı. Bu parçacık maddeyle az etkileşime girdiğinden gözlenilmesi biraz zordur. Yüksüz ve kütesiz olan bu parçacık nötrino olarak adlandırıldı. Daha sonra nötrinin anti parçacığı, antinötrininin $\tilde{\nu}$ var olduğu anlaşıldı. β^- bozunmasında antinötrino salınmaktadır (Gümüş, 2009).

Sembolik olarak

$$(Z, N) \rightarrow (Z + 1, N - 1) + e^- + \tilde{\nu}, \quad (2.8)$$

gösterilir. β^+ bozunmasında ise nötrino salınır. Sembolik olarak

$$(Z, N) \rightarrow (Z - 1, N + 1) + e^+ + \nu, \quad (2.9)$$

gösterilir. Kararsız çekirdekler olan ^{231}Th ve ^{231}Np kararlı duruma geçmek için β bozunma yaparlar. ^{231}Th çekirdeği fazla enerjisini nötronu protona dönüşmesi için harcar. Bu zaman bir elektron salınır ve kararsız çekirdek daha kararlı olan $^{231}_{91}\text{Pa}$ çekirdeğine bozunur

$$^{231}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{231}_{91}\text{Pa} + e^- + \tilde{\nu}. \quad (2.10)$$

Rutherford bu süreci beta bozunmu olarak adlandırmıştır. Elektron saldığını belirtmek için sembolik olarak β^- ile işaretlemiştir. Proton fazlalığı olan ${}^{231}_{93}\text{Np}$ gibi çekirdekler fazla enerjilerini 2 yolla azaltırlar. Birinci yolda, protonun nötrona dönüşmesi için harcar ve bu zaman pozitron oluşur. Bu süreç β^+ olarak isimlendirilir. Pozitron elektronun anti parçacığıdır, yükü +e'dir. Diğer özellikleri elektronla aynıdır



Diğer yol, elektron yakalanma olarak isimlendirilen süreçtir. Bu süreçte ${}^{231}_{93}\text{Np}$ çekirdeği atomdaki elektronlardan birini yakalayıp protonu nötrona dönüştürür



β^- bozunmasında çekirdeğin proton numarası 1 artar ve çekirdek periyodik tabloda 1 adım sağa yerini değiştirir. β^+ bozunmasında çekirdeğin sıra numarası 1 azalır ve bir adım sola doğru yerini değiştirir (Karaoğlu, 2008). β bozunma yapan çekirdeklerin yaşam süreleri $1 - 10^{20}$ sn aralığında bir değer almaktadır (Gümüş vd., 2009).

2.1.3 γ bozunması

Radyoaktif bozunma sırasında oluşan ürün çekirdek çoğu zaman uyarılmış durumda olur. Dolayısıyla uyarılmış durumdaki çekirdek taban durumuna geçmeye çalışır. Bunun için çekirdek kendisinden yüksek enerjili foton yayınlar. Bu süreç γ ışınması olarak adlandırılır. Yayınlanan fotonun enerjisi

$$h/\nu = E_2 - E_1, \quad (2.13)$$

burada E_1 ve E_2 kararsız seviyeleri gösterir. γ ışınma yapan bir çekirdeğin yapısı değişmez. Sembolik olarak



yazılır. γ ışımaya aşağıdaki örneği verebiliriz

$${}^{12}_6C^* \rightarrow {}^{12}_6C + \gamma. \quad (2.15)$$

γ ışınları yüksüz oldukları için içerisinde geçtiği maddenin parçacıklarıyla hiç bir etkileşime girmezler ve kalın kurşun levhayla sadece etkisi azaltılabilir (Gümüş, 2009).

2.2 Alfa Bozunumu'nun (AB) Kuantum Mekaniksel Açıklaması

Coulomb itme kuvvetinin var olması nedeniyle oluşan α bozunması ağır çekirdekler için daha çok öneme sahiptir, çünkü nükleer bağlanma kuvveti Aya bağlı artarken Coulomb itme kuvveti Z^2 bağlı olarak artmaktadır (Krane, 2001). α bozunmasında enerji korunmasına bakalım. Ana çekirdeğin enerjisini $m_x c^2$ olsun. X' ve α ürün çekirdekler olduğu üzere son enerji $m'_x c^2 + T'_x + m_\alpha c^2 + T_\alpha$ şeklinde olacaktır. Böylece enerjinin korunumu aşağıdaki şekilde yazabiliriz

$$m_x c^2 = m'_x c^2 + T'_x + m_\alpha c^2 + T_\alpha, \quad (2.16)$$

$$(m_x - m'_x - m_\alpha) c^2 = T'_x + T_\alpha, \quad (2.17)$$

buradaki $(m_x - m'_x - m_\alpha) c^2$ niceliği bozunma zamanı açığa çıkan net enerjidir.

$$Q = (m_x - m'_x - m_\alpha) c^2. \quad (2.18)$$

α bozunmasının kendiliğinden oluşması için $Q > 0$ olmalıdır. Q değeri aynı zamanda,

$$Q = T'_x + T_\alpha, \quad (2.19)$$

olarak bulunur. X ana çekirdeğin durgun halde olduğu için lineer momentumun korunması için X' ve α 'nın momentumları eşit ve zıt olmalıdır

$$p_\alpha = p'_x \quad (2.20)$$

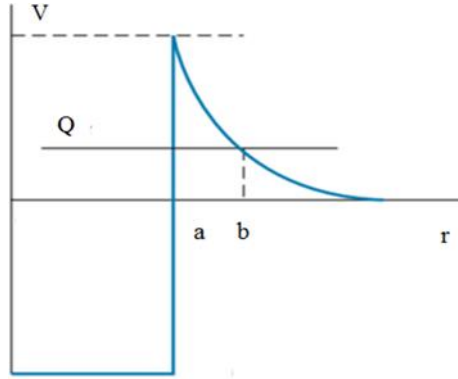
Alfa parçacığın kız çekirdekle birlikte küresel bölgede hareket ettiği ve α parçacığın ana çekirdek içinde önceden var olması teorisi 1928 yılında Gamow, Gurney ve Condon

tarafından açıklanmıştır (Gamow, 1928; Condon ve Gourney, 1929). Geiger ve Nuttall, α bozunma enerji ve yarı-ömür arasında ters bağlantı olduğunu açıkladılar. Geiger ve Nuttall parçalanma enerjisi büyük olan α yayınlayıcılarının kısa yarı-ömlere, küçük parçalanma için çok daha düzgün eğimler elde edilir, çift-tek, tek-tek ve tek-çift çekirdekler için enerjilere sahip α yayınlayıcılar da ise uzun yarı-ömlere sahip olduklarını gördüler (Geiger ve Nuttall, 1911). Tüm α salımlar dahil olmak üzere $\log_{1/2}'$ nin Q'ya göre grafiğine bakılırsa, Geiger ve Nuttall eğiliminden göre görülen şekilde sapmalar gösterir. Eğer yalnız aynı Z'li α yayınlayıcılar için grafik çizersek, bu zaman N-si ve Z-si çift olanları düzgün eğriler elde edemeyiz ve onların yaşama ömürleri aynı Z ve Q'ya sahip çift-çift çekirdeklere göre daha uzundur. α bozunmanın fiziksel açıklaması kuantum tünelleme olayıdır. Pozitif yükler birbirini iter, α parçacığında 2 proton olduğu için pozitif yükler tarafından itilir ve çekirdekten çıkmaya çalışır.

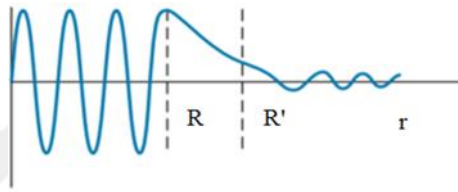
Potansiyel engel bu kaçıışı engeller. Klasik olarak α parçacığı bu engeli geçemez. Kuantum mekaniğinde ise α parçacığın bu engeli delme olasılığı vardır (Krane, 2001). Alfa parçacığının enerjisi tipik olarak 4-8 MeV aralığındadır ve bu nedenle alfa parçacığının bariyeri aşması imkansızdır. Alfa parçacığının kaçabilmesinin tek yolu bariyerden tünelleme yapmaktır. Bir parçacığın enerjisi kendi enerjisinden büyük olan engeli aşmasına tünelleme olayı denilir (Krane,2012). Şekil 2.2a' da, çekirdeğin iç kısmını ($r < R$) terk etmeye çalışırken alfa parçacığının karşılaştığı potansiyel enerji bariyerini göstermektedir. Alfa parçacık dalga fonksiyonunun bariyer boyunca tünelleme yaptığı anı Şekil 2.2b' de gösterilmektedir. α parçacığın engeli delmesi için engele tekrar tekrar çarpar. Alfa parçacığı, R yarıçaplı çekirdeğin içindeki v hızında hareket ediyorsa, $2R/v$ zaman aralıklarında çekirdeğin içinde ileri geri sıçrarken bariyere çarpar. $R \sim 6$ fm olan ağır bir çekirdekte, α parçacığı çekirdeğin "duvarına" saniyede yaklaşık 10^{22} kez çarpar (Krane, 2012). α parçacığı ve kız çekirdek sistemin bağlı potansiyel enerjisi bir kare kuyu potansiyeli şekilde temsil edilmiştir.

Şekil 2.2b'de a noktası kalan çekirdek ile α parçacığın yarıçapının toplamı olarak alınabilir. şekil üç bölgeye ayrılır. $r < a$ bölgesi çekirdeğin içidir. Derinliği V_0 olan potansiyel kuyudur. Klasik olarak bu kısımda α parçacığı $Q + V_0$ kinetik enerji ile

hareket eder ve bu bölgeden dışarı çıkmaz. 2. bölgede, $a < r < b$ 'de potansiyel engelin enerjisi toplam Q enerjisinden daha çok olduğu bir potansiyel engel oluşturur. $r > b$



(a)



(b)

Şekil 2.2. α parçacığı ve kız çekirdek sisteminin bağlı potansiyel enerjisi (Krane, 2012)

bölgesi klasik olarak izinlidir. $r=a$ 'da α parçacığı klasik olarak engelden öteye gidemez. Kuantum olarak ise bu engeli geçme ve tünelleme olasılığı vardır. Bir α saçılmasının bozunma sabiti $\lambda = fP$ ile hesaplanır. f niceliği kabaca v/a mertebesindedir. v çekirdek içinde α parçacığının hızıdır. f α parçacığın engel önünde bulunma frekansıdır. P engeli geçme olasılığıdır. P 'yi bulmamız için kuantum mekaniğin bir çözümü elde edilmelidir. Kuantum mekaniğinin matematiksel biçimi Schrödinger denkleminin çözümleri ile belirlenir. $V(x)$ potansiyeli etkisinden hareketli m kütleli bir parçacığın zamandan bağımsız bir boyutlu Schrödinger denklemi,

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V(x)\psi(x) = E\psi(x), \quad (2.21)$$

olarak verilir. Burada $\psi(x)$ Schrödinger dalga fonksiyonudur. Tam çözümü

$$\psi(x, t) = \psi(x)e^{-i\omega t}, \quad (2.22)$$

olur, burada $\omega = E/\hbar'$ 'dir. Potansiyel engelde $E < V_0$ durumu olduğu için bu duruma bağlı Schrödinger denkleminin çözümüne bakalım. Bu durumda

$$\psi_1 = Ae^{ik_1x} + Be^{-ik_1x}, \quad (2.23)$$

$$\psi_2 = Ce^{k_2x} + De^{-k_2x}, \quad (2.24)$$

$$\psi_3 = Fe^{ik_3x} + Ge^{-ik_3}, \quad (2.25)$$

burada

$$k_1 = k_3 = \sqrt{2mE/\hbar^2}, \quad (2.26)$$

$$k_2 = \sqrt{2m(V_0 - E)/\hbar^2}, \quad (2.27)$$

bulunur. $x=0$ ve $x=a$ sınır koşullarını uygulanırsa geçiş katsayısı

$$T = \frac{1}{1 + \frac{1}{4} \frac{V_0^2}{E(V_0 - E) \sin^2 h^2 k_2 a}}, \quad (2.28)$$

bulunur. Klasik olarak $T=0$ olması beklenir. Fakat T sıfırdan farklı değer alır. Buradaki E enerji engeli genişliğine ve yüksekliğine bağlıdır. r 'den $r+dr$ ' ye uzanan her sonsuz küçük engeli delme olasılığı,

$$dP = \exp[-2dr\sqrt{2m}/\hbar^2[V(r) - Q]], \quad (2.29)$$

ile bulunur. Tüm engeli delme olasılığı,

$$P = e^{-2G}, \quad (2.30)$$

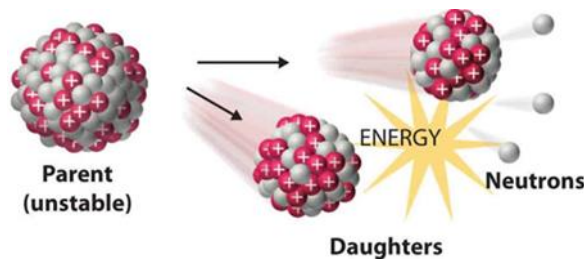
dir. Burada G , Gamow çarpanı,

$$G = \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2}} \int_a^b [V(r) - Q]^{1/2} dr, \quad (2.31)$$

dir (Krane, 2012).

2.3 Kendiliğinden Filyon (KF)

Kendiliğinden filyon (KF) olayı 1930'lardan beri hem teorik hem deneysel çalışmalarda büyük ilgi çekmektedir. KF olayını ilk defa Bohr ve Wheeler tarafından teorik olarak öne sürülmüştür (Bohr ve Wheeler 1939). Deneysel olarak ise 1940 yılında uranyum elementinde Petrzhak ve Flerov tarafından keşfedilmiştir (Flerov ve Petrzak, 1940). KF kararsız çekirdeğin enerjisi daha düşük olan iki yeni çekirdeğe bölünmesi olayıdır. Bu esnada ürün çekirdeklerle birlikte nötronlar ve yüksek derecede enerji ayrılmaktadır. Kendiliğinden filyon şekil 2.3'de gösterilmiştir. KF'nin fiziksel olarak açıklaması alfa parçalanmada olduğu gibi kuantum mekaniksel olayıdır. Ancak KF olayı daha karmaşık durum olduğuna göre henüz tam olarak anlaşılmamıştır (Emilio, 1952). Bohr ve Wheeler'a göre, Uranyum durumunda yaklaşık 6 MeV yüksekliğindeki potansiyel bir bariyer, çekirdeğin filyonunu önler. Uranyum çekirdeğine 6 MeV'i aşan bir enerji eklenirse, yaklaşık 10^{-19} saniye içinde iki parçaya bölünecektir. Bununla birlikte, filyon, bariyerinden tünelleme yoluyla kendiliğinden meydana gelebilir. Uranyumun filyona göre yarılanma ömrü 10^{16} yıldır. çekirdekteki proton sayısının artırılması filyon bariyerini azaltır ve kendiliğinden filyon (KF) olasılığını büyük ölçüde artırır.



Şekil 2.3. Kendiliğinden filyon (Bruce, 2019)

Filyon bariyeri düştüğünde, çekirdek yaklaşık 10^{-19} s boyunca iki parçaya bölünecektir. Sıvı damlası modelinin hesaplamalarına göre, bu durum $Z = 100$ 'den hemen sonra ortaya çıkar. Nükleer reaktörler kullanılarak, Fermiyum'a ($Z = 100$) kadar yapay

elementlerin sentezlendiğinde, teorik tahminlerin tam olarak doğrulandığı görülmüştür (Oganessian, 2012). KF süreci, niteliksel olarak şu yollarla tanımlanabilir

$$P \rightarrow D_1 + D_2 + d_1 + d_2 + \dots \quad (2.32)$$

ve daha ayrıntılı olarak ise,

$$\text{KF: } {}^A_Z P \rightarrow {}^{A'}_{Z'} D + {}^{A-A'}_{Z-Z'} D + \nu n + E^* . \quad (2.33)$$

Reaksiyonda ${}^A_Z P$ ana çekirdek iki kız çekirdeğe ${}^{A'}_{Z'} D$ ve ${}^{A-A'}_{Z-Z'} D$ bölünür. Ayrılan enerji 200 MeV civarında, nötronların sayısı ise 2 ile 4 arasında değişmektedir. KF olayına örnek Fermiyum-256'nın kendiliğinden fisyonu gösterilebilir ve bu reaksiyon böyle

$${}^{256}_{100} \text{Fm} \rightarrow {}^{140}_{54} \text{Xe} + {}^{112}_{46} \text{Pd} + 4n + 190 \text{MeV} \quad (2.33)$$

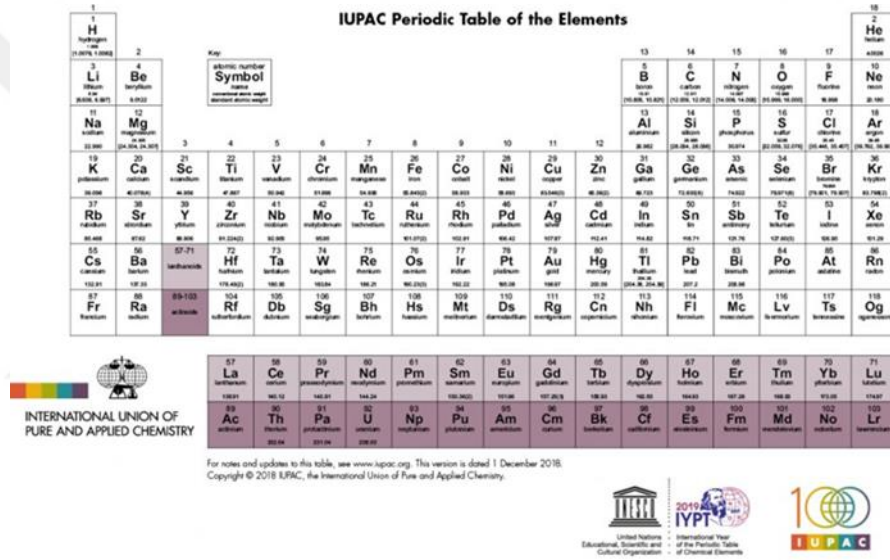
gerçekleşir (Joseph ve Jean, 2005).

BÖLÜM III

SÜPER-AĞIR ÇEKİRDEKLER

3.1 Süper-Ağır çekirdekler

Süper-ağır çekirdekler İlk defa 1960'lı yıllarda Mosel ve Greiner (Mosel ve Greiner, 1969) ve Nilsson vd. (Nilsson vd., 1969) tarafından öngörülmüştür. $Z=100$ 'den (Fermiyum) sonra gelen elementler süper-ağır elementler olarak adlandırılır (Akkoyun vd., 2015). Nükleer araştırmaların en önemli amacı, "Süper Ağır Elementler" bölgesinin



IUPAC Periodic Table of the Elements

Key: atomic number, Symbol

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY

For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 1 December 2018. Copyright © 2018 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation

2019 IYPT

100 IUPAC

Şekil 3.1. Periyodik Tablo (IUPAC, 2018)

araştırılmasıdır (Hofman, 2009). Uranyumun ötesindeki bilinen atomlar ($Z = 92$), radyoaktif ve yarı-ömürleri Dünya'nın yaşına kıyasla daha kısadır. Bu nedenle karasal maddede mevcut değildirler, ancak laboratuvarlarda üretilebilirler. Araştırmacılar nötron yakalama ve ardından beta bozunması sürecine benzer teknikleri kullanarak $Z = 100$ 'e (Fermiyum) kadar olan elementleri ürettirler. Bu serideki elementlerin birçoğu sadece dakika veya saniye yarı-ömre sahiptir ve bu nedenle bu elementlerin üretimi ve tanımlanması özenli deneysel çaba gerektirir. Bu izotoplar genellikle birkaç atom miktarında üretilir. Bu elementlerin çoğu kimyasal özelliklerini incelemek için yeterli yapısının daha iyi anlamamızı sağlayacaktır. Bu elementlerin üretilmesindeki en büyük amaç ise bu elementlerin sonunda var olduğu düşünülen "kararlılık adasına" ulaşmaktır.

Bu adadaki elementlerin yaşam süreleri çok uzun olduğu için her hangi bir pratik alanda kullanmamız mümkün olacaktır (Gürdilek, 2016).

Fermiyum ötesi elementler bölgesinde, artan atom numarası ile çekirdeklerin kararlılığında keskin bir azalma gözlenmektedir. Bunun nedeni Coulomb itme kuvvetidir. Bununla ilgili geniş bilgi Bölüm 2'de verilmiştir. Bu yüzden süper-ağır çekirdekler kararsızdır ve nihayet Pb'ye kadar bozunma yaparlar (Joseph, 2005). Bozunma verileri, en ağır elementler için baskın bozulma modunun α bozunma olduğunu ortaya koymaktadır (Hofman, 2009) . Bu elementler için mevcut olan bir başka bozunma modu KF'dir (Soylu, 2019). Soğuk füzyonda üretilen $Z=107-112$ için hemen hemen tüm yeni elementlerde α bozunma zincirine tabi tutulur ve bunu KF takip eder. Bazen KF bir önceki α bozunma zinciri olmadan meydana gelir; örneğin, $^{207}\text{Pb} + ^{58}\text{Fe} (1n)$ reaksiyonunda üretilen ^{264}Hs , %50 KF koluna sahiptir. Sıcak füzyonda sentezlenen 47 çekirdeğin 11'i ağırlıklı olarak SF yoluyla bozunur; Diğerleri için KF ve α bozunması rekabet eder (Hamilton vd., 2013).

3.2 Süper-Ağır çekirdeklerin üretimi

1930'larda Uranyumun ötesinde yapay elementlerin yaratılmasının mümkün olup olmadığı sorusu ortaya çıktı. Uranyum, dünyamızın başından beri var olan ilkel bir elementtir. 4.5 milyar yıllık uzun yarı-ömrü nedeniyle bu gün hala bulabiliriz (Gottfried, 2018).

Süper-ağır çekirdeklerin üretim konusunda büyük bir belirsizlik vardı. Zemin durumunda süper-ağır çekirdeklerin fisyon olasılığı ile yakından ilişkili olarak, tam füzyondan sonra oluşan bileşik çekirdeklerinin hayatta kalmasını tahmin etmek zordu. Bununla birlikte, ilgili deneyler yapılır yapılmaz, ağır elementlerin laboratuvar sentezi için en başarılı yöntemlerin, ağır element hedefleri, geri tepme ayırma teknikleri kullanılarak füzyon-buharlaşma reaksiyonu olduğu ortaya çıktı (Hofman, 2009). Sonuç olarak, $Z > 92$ olan tüm elementler yapaydır ve uygun hedef çekirdekleri enerjik atom altı parçacıklar ile bombardıman ederek hazırlanmıştır. Hazırlanmış ilk trans uranyum elementler, 1940 yılında ^{238}U 'luk bir hedefi nötronlarla bombardıman ederek sentezlenen neptünyumdur ($Z = 93$). Denklem 3.1 gösterildiği gibi, bu reaksiyon iki

aşamada gerçekleşir. Başlangıçta, bir nötron ^{238}U çekirdeği ile birleşerek ^{239}U çekirdeği oluşur ve beta bozunmasına uğrayarak ^{239}Np elementini meydana getirir.



Daha sonra ^{239}Np 'un beta bozunması sonucu ikinci uranyum ötesi elementi olan plütonyum oluşur ($Z = 94$)



Hedefi daha büyük çekirdeklerle bombardıman etmek, atom numaralarına hedef çekirdekten önemli ölçüde daha büyük olan elementler yaratır (Bruce, 2019).

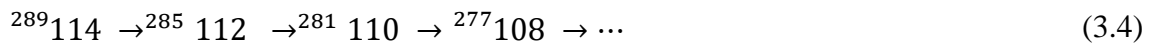
Deneysel olarak süper-ağır elementler oluşturma fikri, bunu araştırmak için bir dizi laboratuvarın kurulmasına neden olmuştur (Hofmann ve Münzenberg, 2000; Grevy vd., 2002; Oganessian, 2004; Joseph ve Jean, 2005). GSI Helmholtzzentrum für Scherionenforschung, Darmstadt, Almanya; JINR Dubna, Rusya; Ulusal Livermore Laboratuvarı ABD ve RIKEN Japonya gibi dünyadaki bir çok laboratuvar $Z > 118$ atom numaralı süper-ağır çekirdekler üretmeye çalışıyorlar (Poenaru ve Gherghescu, 2018). Süper-ağır çekirdeklerin deneysel olarak üretilmesi için 2 tip füzyon reaksiyonu kullanılmaktadır. Kurşun ve Bizmut hedeflerine dayanan soğuk füzyon reaksiyonları kullanılarak 107 ila 113 arasındaki elementlerin nispeten nötron eksikliği olan izotopları, Almanya'daki GSI (Darmstadt)'de ve Wako, Japonya'daki RIKEN'de sentezlendi. Aktinit hedefli ^{48}Ca mermilerin sıcak füzyon reaksiyonlarında, Dubna (Rusya)'da Ortak Nükleer Araştırma Enstitüsü'nde (JINR) Flerov Nükleer Reaksiyonlar Laboratuvarında (FLNR), 112'den 116'ya kadar olan elementler üretildi ve 118'den daha fazla nötron açısından zengin izotopların üretilmesi için çalışmalar halen devam etmektedir (Hofman, 2009, Zagrebaev vd., 2012; Zagrebaev ve Greiner, 2008). Ayrıca şuanda üretilmiş olan en ağır element 118 de, ^{48}Ca ile indüklenmiş sıcak füzyonda sentezlenmiştir. (Oganessian vd., 2006; 2007; 2009; 2010; 2012; 2013). Bu reaksiyonlar, doğrusal hızlandırıcılar, siklotronlar ve senkrotronlar gibi parçacık hızlandırıcılarda gerçekleştirilir. Parçacık hızlandırıcı adı verilen bu cihazlar, pozitif yüklü parçacıkların, elektriksel ve manyetik alanlar kullanarak hedef çekirdeklerle

aralarındaki elektrostatik itmelerin üstesinden gelmek için gereken hızlara hızlandırmak için kullanılır. Operasyonel olarak, en basit parçacık hızlandırıcı, içinde uzun boşaltılmış tüpün bir ucuna bir parçacık demetinin enjekte edildiği doğrusal hızlandırıcıdır. Elektrotların tüp boyunca polaritesinin hızlı bir şekilde değiştirilmesi, parçacıkların dönüşümlü olarak zıt bir yük bölgesine doğru hızlanmasına ve aynı yüke sahip bir bölge tarafından itilmesine neden olur, bu da parçacık tüp boyunca ilerlerken muazzam bir hızlanmaya neden olur. Stanford üniversitesindeki Stanford Linear Hızlandırıcı (SLAC) gibi modern bir doğrusal hızlandırıcı yaklaşık 2 mil uzunluğundadır (Bruce, 2019).

1981-84 yıllarında, Almanya'nın Darmstadt kentindeki GSI grubu 107 (Bohrium), 108 (Hassium) ve 109 (Meitnerium) elementlerinin sentezini bildirdi. 1994 yılında aynı grup tarafından 110 (son zamanlarda Darmstadtium, Ds) e 111 (önerilen isim Roent- genium, Rg) elementleri bildirilmiştir (Joseph ve Jean, 2005). 1998'de Dubna'daki bir Rus ekibi ilk kez element 114'ü sentezlediğini iddia etti (Karol vd. , 2003). Bu, plütonyum-242 çekirdeklerinin kalsiyum-48 ile bombardımanı (kaynaştırma) ile sağlandı. Bilim adamları, element 114'ün tek bir çekirdeğini üretmek için, altı haftalık bir süre boyunca plütonyumun kalsiyum çekirdeği ile bombardımanı yapmak zorunda kaldılar. Reaksiyon, alfa emisyonu ile bozunan, aşağıda gösterilen $^{289}_{114}$ bir bileşik çekirdeğe yol açar. Element 114'ün bileşik çekirdeği, yaklaşık 30 dakikalık bir zaman periyodu içinde element 108'e bir dizi alfa bozunmadan önce 30 saniyelik belirgin bir şekilde "uzun" yarı-ömre sahiptir. Füzyon:



Bozunma zinciri:



Bir atomdaki elektronlar gibi, çekirdekdeki nükleonlar da kuantum mekanik yasalarla tanımlanır - "sihirli" sayıları adı verilen kapalı kabuklar oluştururlar. Sihirli proton veya nötron sayıları 2, 8, 20, 28, 50 ve 82'de çekirdekler, ortalama eğilime göre artan bir bağlanma enerjisine sahiptir. Nötronlar için, N=126' da sihirli bir sayı olarak tanımlanır.

Bununla birlikte, en yüksek kararlılık, hem protonlar hem de nötronlar için kapalı bir kabuğu olan "iki kat sihirli" çekirdeklerde gözlenir (Hofman, 2009). $Z = 114$, $N = 184$ ' de daha küçük bir kararlılık adasının yeri 1966'da önerildi ve şu anda doğada süper ağır elementler için yoğun bir araştırma yapılmasını sağladı. İzotop $Z = 114$, $N = 184$, hem protonların hem de nötronların tam kabuklarda olduğu iki kat sihirli bir yapılandırmaya sahiptir (Joseph ve Jean, 2005). Sihirli sayıları nükleer kabuk modeli ile başarılı bir şekilde açıklanmıştır. Protonlar için 126 ve nötronlar için 184 sayılarının bir sonraki kabuk yapıları olduğu tahmin edilmiştir. Süper-ağır elementler terimi bu elementler için üretilmiştir. (Hofman, 2009). Tanınacak yeni bir kimyasal elementin keşfi için yerine getirilmesi gereken ölçütler 1991 yılında Uranyum ötesi Çalışma Grubu (TWG) tarafından belirlenmiştir. Bir kimyasal elementin keşfi, en azından 10^{-14} s boyunca mevcut olan, daha önce tanımlanmayan bir atom numarasına sahip bir nüklid olması gerekmektedir.

Çizelge 3.1. 104-118 süper ağır elementlerin sentezlenme bilgileri (Hamilton vd., 2013)

Element Numarası	Ad/Sembol	Keşif Yılı	Laboratuvar	Sentez Yöntemi	Yarı-ömür
104	Rutherfordiyum(Rf)	1969 1969	JINR LRL	$^{242}\text{Pu}(^{22}\text{Ne}, 4n)^{260}\text{Rf}$ $^{249}\text{Cf}(^{12}\text{C}, 4n)^{257}\text{Rf}$	0.3s 4.5s
105	Dubnium(Db)	1970 1971	LRL JINR	$^{249}\text{Cf}(^{15}\text{N}, 4n)^{260}\text{Db}$ $^{243}\text{Am}(^{22}\text{Ne}, 5; 4n)^{260,261}\text{Db}$	1.6s 1.4s
106	Seaborgiyum(Sg)	1974	LBL	$^{249}\text{Cf}(^{18}\text{O}, 4n)^{263}\text{Sg}$	0.9s
107	Bohriyum(Bh)	1981	GSI	$^{209}\text{Bi}(^{54}\text{Cr}, n)^{262}\text{Bh}$	4.7ms
108	Hassiyum(Hs)	1984	GSI	$^{208}\text{Pb}(^{58}\text{Fe}, n)^{265}\text{Hs}$	1.8ms
109	Meitneriyum(Mt)	1982	GSI	$^{209}\text{Bi}(^{58}\text{Fe}, n)^{266}\text{Mt}$	3.5ms
110	Darmstadtium(Ds)	1995	GSI	$^{208}\text{Pb}(^{62}\text{Ni}, n)^{269}\text{Ds}$	270 μs
111	Röntgenyum(Rg)	1995	GSI	$^{209}\text{Bi}(^{64}\text{Ni}, n)^{272}\text{Rg}$	1.5 ms
112	Kopernikyum(Cn)	1996	GSI	$^{208}\text{Pb}(^{70}\text{Zn}, n)^{277}\text{Cn}$	240 μs
113	Nihoniyum(Nh)	2004	RIKEN	$^{209}\text{Bi}(^{70}\text{Zn}, n)^{278}\text{Nh}$	238 μs
114	Fleroviyum(Fl)	2004	JINR	$^{242}\text{Pu}(^{48}\text{Ca}, 3n)^{278}\text{Fl}$	0.51s
115	Moskoviyum(Mc)	2010	JINR	$^{249}\text{Bk}(^{48}\text{Ca}, 4n)^{293}\text{Ts}$ $\rightarrow^{289}\text{Mc}$	0.22s
116	Livermoryum(Lv)	2004	JINR	$^{245}\text{Cm}(^{48}\text{Ca}, 2n)^{291}\text{Lv}$	6.3ms
117	Tennesin(Ts)	2010	JINR	$^{249}\text{Bk}(^{48}\text{Ca}, 4n)^{293}\text{Ts}$	14ms
118	Oganesson(Og)	2006	JINR	$^{249}\text{Cf}(^{48}\text{Ca}, 3n)^{294}\text{Og}$	0.89ms

Deneyin onaylanması için bir kaç defa tekrarlanması gerekmektedir. Farklı bir laboratuvar da ve farklı bir teknikle yeniden üretilinceye kadar hiçbir yeni element resmi

olarak kabul edilmez (Karol vd., 2016). Çeşitli nüklidleri sentezlemek için kullanılan reaksiyonları içeren bilgiler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

3.3 Z=125, 126 ve 127 çekirdekleri

Eğer periyodik tablodaki elementlerin üretilmesine devam edilirse Z=119,120 gibi devam edecek şekilde proton sayısına sahip çekirdeklerin üretilmesi muhtemeldir. Bu anlamda deneysel çalışmalar bu yönde devam etmektedir. Bu üretimlerdeki temel problemler hangi izotop zinciri için AD veya KF yapıp yapmayacağının daha önceden belli olmamasıdır. Deneysel çalışmalara yol gösterecek teorik çalışmalar yapılması son derece önemlidir. Bu yönde teorik çalışmalar yapılmış ve halen yapılmaya devam etmektedir (Santhosh ve Priyanka, 2015; Ghahramany and Ansari, 2016; Santhosh ve Nithya, 2016b; Manjunatha ve Sridhar , 2017b; Santhosh ve Nithya, 2018b; Poenaru ve Gherghescu, 2018; Saxena vd., 2018; Sridhar vd., 2019a; Liu, 2020, Nagib,2020).

Z=125 ve 126 çekirdeklerinde nükleer fizik açısından büyük ilgi çekmektedir. Z=125 çekirdekleriyle ilgili literatürde bir takım makaleler mevcuttur. Yapılan bir çalışmada Z=125 çekirdekdeğin $265 \leq A \leq 336$ aralığındaki izotoplarının bozunma zincirleri araştırılmıştır. Bu çekirdeğin sentezlenmesi için en uyumlu mermi hedef kombinasyonları tespit edildi (Sridhar vd., 2019b). K.P Santhosh ve C. Nithya'nın birlikte yaptığı çalışmada Z=125 süper-ağır çekirdeğin $303 \leq A \leq 339$ aralığındaki izotopları incelenmiştir. Bu çalışmada, 4 farklı Q değerleri kullanılmıştır (Koura vd., 2005; Möller, 2016; Wang vd., 2014; Liu, 2014) AB yarı-ömürlerin Q değerine karşı hassasiyet gösterdiği tespit edilmiştir. Bozunma modları alfa bozunumu için CPPMDN (Santhosh vd., 2010) ile KF için ise KPS(Santhosh vd., 2016a) karşılaştırılarak elde edilmiştir. AB yarı-ömürleri için farklı formüllerde kullanıldı ve verdiği sonuçlar CPPMDN sonuçları ile karşılaştırıldığında uyumluluk gösterdi. K. N. Sridhar tarafından yapılan çalışmada AB yarı-ömürlerini kendiliğinden fisyon yarı-ömürleriyle karşılaştırarak süper-ağır element Z = 125'in olası izotoplar belirlenmiştir. $265 \leq A \leq 316$ arasında değişen Z = 125 kütle numarası ile farklı süper ağır element izotopları için alfa bozunması yarı-ömürlerini ve kendiliğinden fisyon yarı-ömürlerini hesaplanmıştır. Bunun için VSS formülü (Viola ve Seaborg, 1966) UNIV (Poenaru vd., 2011), Royer (Royer, 2000), Ni-Ren-Dong-Xu (NRDX) formülü (Ni vd., 2008), Denisov formülü (Denisov ve Khudenko, 2010) ve H.C. Manjunatha'nin ve K.N. Sridhar tarafından

geliştirilen (HCM) yarı ampirik formül (Manjunatha ve Sridhar, 2017b) kullanılmıştır. Elde edilen alfa bozunma yarı-ömürleri ile kendiliğinden fisyon yarı-ömrü karşılaştırıldığı zaman $^{265-282}_{125}$ çekirdeğinin bölünmeye karşı hayatta kalamayacağı tespit edilmiştir. Çekirdekler $^{283-299}_{125}$ fisyonla karşı hayatta kalsa ve alfa zincirleri gösterse de, daha kısa alfa bozunması yarı-ömürleri ($<10^{-7}$ sn) nedeniyle tespit edilmemiştir. Çekirdekler $^{300-302}_{125}$ çekirdekler için KF modu tespit edilmemiştir. Çekirdek $^{303-324}_{125}$, bölünmeye karşı hayatta kalacağı görülmüştür. Çekirdekler $^{316-324}_{125}$ tespit edilebilir yarı-ömürlere sahip olsa da, uygun mermi ve hedeflerin bulunmaması nedeniyle bu çekirdekler laboratuvarlarda sentezlenemez olduğu tespit edilmiştir. $265 \leq A \leq 316$ aralığında incelenen çekirdekler arasında, çekirdek $^{303-314}_{125}$ 'in uzun yarı-ömürlere sahip olduğu ve bu nedenle bir laboratuvarında sentezlenirse bunları tespit etmek için yeterli olabileceği bulunmuştur. Süper ağır çekirdekler $Z = 125$ 'in farklı izotopları için ayırma enerjilerinin hesaplanması sonucu $280 \leq A \leq 302$ aralığındaki izotoplar için negatif ve bu izotopların, proton damlama hattının dışında geldiği ve bu nedenle proton emisyonu yoluyla kolayca bozunabilir olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada $Z = 125$ çekirdeğinin $265 \leq A \leq 336$ aralığındaki izotopların α -bozunma zincirlerini incelenmiştir. Çekirdek $^{303-315}_{125}$ 'in uzun yarı-ömürleri sahip olduğu ve bu nedenle bir laboratuvarında sentezlenirse tespit etmek için yeterli olabileceği bulunmuştur. Süper ağır element $Z = 125$ için en olası izotopları ve farklı bozunma modlarını belirledikten sonra, sentezleri için olası füzyon reaksiyonlarını incelenmiştir. Süper ağır çekirdekleri $^{303-315}_{125}$ sentezlemek için 1000'den fazla olası mermi hedef kombinasyonu üzerinde çalışmış ve en olası mermi-hedef kombinasyonlarını belirlenmiştir. Süper ağır çekirdekler $^{303-315}_{125}$ 'i sentezlemek için seçilen en olası mermi hedefi çiftleri Co + Cf, Ni + Bk ve Cu + Cm olduğu tespit edilmiştir (Sridhar, 2019b).

$Z=126$ için yapılan çalışmalardan biride H.C. Manjunatha'nin $Z=126$ çekirdeği için bozunma modlarının özelliklerinin incelenmesi üzerine yapılmış çalışmadır. Chowdhury'un yapmış olduğu çalışmada (Chowdhury vd., 2008) teorik Q-değerlerini kullanarak DDM3Y etkileşimi ile WKB çerçevesinde $Z = 100-130$ olan yaklaşık 1700 ağır ve süper ağır elementin α -bozunma yarı-ömür süreleri tahmin edilmiştir. Teorik Q-değerleri Myers-Swiatecki (Myers ve Swiatecki, 1996), Muntianet ark. (Muntian vd., 2001; Muntian vd., 2003a; Muntian vd., 2003b) ve Koura ve ark.nın (Koura vd., 2005)

kütle formüllerinden alınmıştır. H.C. Manjunatha'nın yapmış olduğu çalışmada $Z = 126$ süper-ağır çekirdeğinin $288 \leq A \leq 339$ aralığındaki olası izotoplarını, α -bozunma özelliklerini incelenmiştir. $288 \leq A \leq 339$ aralığındaki $Z = 126$ süper ağır çekirdeğin izotopları için α -bozunma yarı-ömrü, Coulomb ve deforme çekirdekler (CPPMDN) için yakınlık potansiyeli modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan α yarı-ömrüleri, UNIV (Poenaru vd., 2011), VSS (Viola, 1966) ve Royer (Royer, 2000) formülleri kullanılarak hesaplanan değerlerle uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu izotopların bozunma modunu belirlemek için, kendiliğinden fisyon yarı-ömrüleri, Xu ve ark. tarafından verilen yarı deneysel ilişki kullanılarak değerlendirilmiştir (Xu vd., 2008). çekirdeklerden $^{288-306}_{126}$ tutarlığı bir şekilde α zincirlerini gözlemleyebildiği için, bu çekirdeklerin sentezlenemeyeceğini ve α bozunması yoluyla deneysel olarak tespit edilemeyeceğini tahmin edilmiştir. çünkü bozunma yarı-ömrüleri 10^{-9} ila 10^{-6} 'dır ve bu çok küçük değerdir. $307 \leq A \leq 326$ aralığındaki tahmin edilen, bilinmeyen çekirdeklerin çoğunun nispeten uzun yarı-ömrüleri sahip olduğu bulunmuştur. Bunlardan $^{307}_{126}$, $^{318}_{126}$, $^{319}_{126}$, $^{320}_{126}$ ve $^{323-326}_{126}$ 'nın uzun yarı-ömrüleri sahip olduğu ve bu nedenle laboratuvarında sentezlenirse bunları tespit etmek için yeterli olabileceği sonuca varılmıştır (Manjunatha, 2016). H.C. Manjunatha'nın yapmış olduğu bir başka çalışmada $Z=126$ süper ağır çekirdeğinin izotopları olan $^{307}_{126}$, $^{318}_{126}$, $^{319}_{126}$ ve $^{320}_{126}$ 'nin sentezlemek için en olası mermi-hedef kombinasyonunu belirlemek için füzyon kesiti, hayatta kalma kesiti, fisyon kesiti, bileşik çekirdek oluşumu olasılığı (P_{CN}) ve hayatta kalma olasılığı (P_{Surv}) incelenmiştir. Bu parametrelerin ayrıntılı çalışmasından, $^{54}Fe + ^{253}Fm$ ve $^{58}Ni + ^{249}Cf$ gibi mermi hedef kombinasyonları izotop $^{307}_{126}$; $^{64}Ni + ^{254}Cf$ ve $^{80}Se + ^{238}U$ gibi mermi hedef kombinasyonları $^{318}_{126}$; $^{72}Zn + ^{247}Cm$ ve $^{66}Ni + ^{253}Cf$ gibi mermi hedef kombinasyonları $^{319}_{126}$; $^{66}Ni + ^{254}Cf$ ve $^{82}Se + ^{238}U$ gibi mermi hedef kombinasyonları ise $^{320}_{126}$ sentezi için en olası mermi hedef kombinasyonu olarak belirlenmiştir (Manjunatha ve Sridhar, 2017c). Süper ağır çekirdeklerle ilgili başka çalışmada AB için Coulomb ve yakınlık potansiyeli modeli (CPPM) ve ayrıca deforme olmuş çekirdekler (CPPMDN) kullanarak 1025 çekirdeğin bozunma özelliklerini inceleyerek $Z = 120-136$ süper-ağır çekirdekler için yaklaşık 155 olası izotop belirlenmiştir (Manjunatha, 2020). AB için VSS ve Royer formülleri; KF için ise Xu formülü kullanılmıştır. AB ve KF değerleri karşılaştırılarak bozunma modları elde edilmiştir. Yapılan hesaplar sonucu $^{320-327}_{126}$, $^{320-331}_{127}$, $^{326-337}_{128}$, $^{328-336}_{129}$,

$^{334-341}_{130}$, $^{334-341}_{131}$, $^{340-351}_{132}$, $^{340-351}_{133}$, $^{346-357}_{134}$, $^{348-359}_{135}$ ve $^{354-365}_{136}$ izotopların KF moduyla kıyasla AB modunun daha baskın olduğu ve yarı-ömürlerin laboratuvarında sentezlendiğinde tespit edilmesi için yeterli olduğu bulunmuştur. Ayrıca verilen çekirdekler için proton ayrılma enerjileri de hesaplamıştır.



BÖLÜM IV

TEORİK MODEL ve METOTLAR

Bu bölümde, bu çalışmada yapılan hesaplamalarda kullanılan teorik yaklaşımlardan bahsedilmektedir.

4.1 α - Bozunma İçin Kullanılan Modeller

Alfa bozunma yarı ömürlerin hesaplanması için farklı formül ve metotlar geliştirilmiştir.

4.1.1 Viola ve Seaborg'in 5 parametrelili formülü

Viola ve Seaborg'in formülü, alfa bozunumu yarı-ömürlerini hesaplamak için en yaygın kullanılan formüllerdendir ve şu şekilde verilir

$$\log_{10}(T_{1/2}) = (aZ + b)Q^{-1/2} + cZ + d + h_{\log}, \quad (4.1)$$

burada Z ana çekirdeğin proton sayısıdır ve a, b, c, d ayarlanabilir parametrelerdir. h_{\log} çiftleşmemiş nükleonlar için hidrans faktörüdür (Viola ve Seaborg, 1966). Burada verilen parametreler için Sobiczewski (Sobiczewski vd., 1989) tarafından belirlenen değerler kullanıldı. Bu parametreler $a=1,66175$, $b=-8,5166$, $c=-0,20228$, $d=-33,9069$ ve h_{\log} parametresi Z ve N'nin çift-çift değerleri 0, tek-çift değerleri için 0.772, çift-tek değerleri için 1.066, tek-tek değerleri için 1.114 değerlerini almaktadır.

4.1.2 Evrensel eğri (UNIV)

Poenaru'nun geliştirdiği Evrensel eğri (UNIV) daha geniş asimetri durumuna genişletilen bir fisyon teorisinden türetilmiştir ve alfa bozunumu hesaplamaları için önemli ilişkilerden birisidir,

$$\log_{10}(T) = -\log_{10} P_S - \log_{10} S + [\log_{10} (\ln 2) - \log_{10} \nu], \quad (4.2)$$

burada T yarı-ömür, ν bariyerin frekansının saniyedeki frekansı, S nükleer yüzeydeki alfanın preformasyon olasılığı, ve P_s dış potansiyel bariyerin kuantum penerabilitesidir. Dış Coulomb bariyerinin deline bilirligi $R_a = R_t = R_d + R_e$ birbirine dokunma konfigürasyonunda ayırma mesafesi ilk dönüm noktasına sahiptir. İkincisi Coulomb bariyeri $e^2 Z_d Z_e / R_b = Q$ ile verilir ve analitik olarak elde edilebilir.

$$-\log_{10} P = 0.22873 (\mu_A Z_d Z_e R_b)^{\frac{1}{2}} [\arccos \sqrt{r} - \sqrt{r(1-r)}], \quad (4.3)$$

burada $r = R_t / R_b$ fm, $R_t = 1.2249 (A_d^{\frac{1}{3}} + A_e^{\frac{1}{3}})$ ve $R_b = 1.439998 Z_d Z_e / Q$. Serbest kalan Q enerjisini hesaplamak için yarıçap $r_0 = 1.2249$ fm ve kütle tabloları (Audi vd., 2003) kullanılmıştır.

İlave sabitinin çift - çift çekirdeğin değeri,

$$C_{ee} = [\log_{10}(\ln 2) - \log_{10} \nu] = -22.16917, \quad (4.4)$$

olur. Proformasyon faktörünün onlu logaritması

$$\log_{10} S = -0.598 (A_e - 1), \quad (4.5)$$

ile verilir (Poenaru ve Greiner, 1991).

4.1.3 Royer 'in analitik formülü

Alfa bozunumu yarı-ömürleri için analitik formül, Royer tarafından (Royer, 2000) araştırılıp geliştirildi. Formül aşağıdaki gibidir

$$\log_{10} [T_{1/2} (s)] = a + b A^{\frac{1}{6}} \sqrt{Z} + \frac{Z}{\sqrt{Q_\alpha}}, \quad (4.6)$$

burada A ve Z ana çekirdek için kütle numarası ve proton sayısını gösterir, Q_α ise reaksiyon sırasında açığa çıkan net enerjiyi gösterir. a, b, c parametreleri Z ve N'nin çift-çift değerleri için $a = -25.31$, $b = -1.1629$, $c = 1.5864$; çift-tek değerleri için $a = -26.65$, $b = -1.0859$, $c = 1.5848$; tek-çift değerleri için $a = -25.68$, $b = -1.1423$, $c =$

1.5920; tek-tek değerleri için $a = - 29.48$, $b = - 1.1130$, $c = 1.6971$ değerleri almaktadır.

4.1.4 Evrensel bozunma yasası (UDL)

R-matris teorisinden ve yüklü parçacık salınımının mikroskobik mekanizmasından yararlanarak, alfa bozunumu ve

küme bozunumu için yeni bir evrensel bozunma yasası (UDL) Qi ve ark. tarafından geliştirildi

$$\log_{10} (T_{1/2}) = aZ_c Z_d \sqrt{\frac{A}{Q_c}} + b\sqrt{AZ_c Z_d (A_d^{\frac{1}{3}} + A_c^{\frac{1}{3}})} + c. \quad (4.7)$$

Burada $A = \frac{A_d A_c}{A_d + A_c}$ ve sabitler $a=0.4314$, $b=-0.4087$, $c=-25.7725$ değerlerini alır. Q_α bozunma sırasında açığa çıkan enerjidir (Qi vd., 2009a; Qi vd., 2009b).

4.1.5 Horoi formülü

Alfa ve küme bozunumları için verilen diğer bir analitik formül Horoi (Horoi, 2004) tarafından önerilen 6 parametrelili formüldür

$$\log_{10} (T_{1/2}) = (a_1 \mu^x + b_1) [(Z_c Z_d)^y / \sqrt{Q} - 7] + (a_2 \mu^x + b_2), \quad (4.8)$$

burada μ indirgenmiş kütlelerdir. $a_1=9.1$, $b_1=-10.2$, $a_2=7.39$, $b_2=-23.2$, $x=0.416$, ve $y=0.613$ parametrelerdir.

4.1.6 Coulomb Proximity Potansiyeli modeli (CPPM)

Alfa ve kız çekirdeği arasındaki etkileşim potansiyeli Coulomb, nükleer ve merkezci potansiyelleri toplamı ile verilir.

$$V_{eff} = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r} + V_N + \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2\mu r^2} \quad (4.9)$$

Burada, Z_1 ve Z_2 kız ve kümenin atom numarasıdır. r kız ve α çekirdeklerin merkezleri arasındaki mesafe, z kız ve α çekirdeklerin yakın yüzeyleri arasındaki mesafe ve l ise angular momentumdur. μ indirgenmiş kütle: $\mu = \frac{A_1 A_2}{A_1 + A_2}$. Bura A_1, A_2 α ve kız çekirdeğinin kütle numaralarıdır (Santhosh ve Joseph, 2004). Coulomb ve merkezci potansiyellerin özellikleri tam anlaşılmasına rağmen nükleer potansiyelin özellikleri henüz tam olarak anlaşılmamıştır. Nükleer fizikte temel problemlerden biride nükleer potansiyelin özelliklerin anlaşılmasıdır. Bu nedenle farklı modeller geliştirilmiştir. Coulomb ve Proximity Potansiyeli modelinde (CPPM) nükleer potansiyel $V_p(z)$ Proximity potansiyeldir (Blocki vd., 1977). Proximity Potansiyel eklendiği taktirde potansiyel bariyerin yüksekliği azalır. Ve bunun sonucunda deneysel sonuçlarla yakın sonuçlar elde edilir (Santhosh ve Joseph, 2004). $V_p(z)$ aşağıdaki gibi belirlenir

$$V_p(z) = 4\pi\gamma b \left(\frac{C_1 C_2}{(C_1 + C_2)} \right) \phi \left(\frac{z}{b} \right), \quad (4.10)$$

$b=1$, nükleer yüzey gerilim $\gamma = 0.9517 \left(1 - 1.7826 \left[\frac{N-Z}{A} \right]^2 \right)$ MeV/fm² ve $\varepsilon = z/b$. Burada N, Z, A nötron, proton ve kütle sayılarıdır. ϕ evrensel proximity potansiyelidir (Blocki ve Swiatecki, 1981).

$$\begin{aligned} \phi(\varepsilon) &= -4.41e^{-\varepsilon/0.7176} \quad \text{için } \varepsilon > 1.9475, \\ &= -1.7817 + 0.9270\varepsilon + 0.0169\varepsilon^2 - 0.05148\varepsilon^3 \quad \text{için } 0 \leq \varepsilon \leq 1.9475. \end{aligned} \quad (4.11)$$

Diğer bir parametre Süssman merkezi yarı çapı $C_i = R_i \left[1 - \left(\frac{b}{R_i} \right)^2 \right]$ ve $R_i = 1.28A_i^{1/3} - 0.76 + 0.8A_i^{-1/3}$ gibi verilir (Blocki vd., 1977). Bariyerin delinebilirliği şöyle verilir

$$P = \exp \left\{ \frac{-2}{\hbar} \int_a^b \sqrt{2\mu(V-Q)} dz \right\}, \quad (4.12)$$

a ve b dönüm noktaları, $V(a)=V(b)=Q$ denklemi ile belirlenir. Yarı-ömür zamanı

$$T_{1/2} = \left(\frac{\ln 2}{\lambda} \right) = \frac{\ln 2}{\nu P}, \quad (4.13)$$

gibidir. λ bozunma sabiti ve $\nu = \frac{w}{2\pi} = \frac{2E_\nu}{h}$ saldırı frekansdır ve

$$E_\nu = Q \left\{ 0.056 + 0.039 \exp \left[\frac{(4 - A_2)}{2.5} \right] \right\}, \quad (4.14)$$

ampirik titreşim enerjisidir (Poenu vd., 1985).

4.1.7 WKB yaklaşımı

Alfa çekirdeğinin daha önceden var olduğunu söyleyen modele göre, alfa ile kız çekirdek arasındaki potansiyel şu şekilde verilir

$$V_{eff}(r) = V_{N(r)} + V_{L(r)} + V_{C(r)}, \quad (4.15)$$

burada, V_C Coulomb, V_N nükleer ve V_L merkezci potansiyelleridir. Bu çalışmada, nükleer potansiyel olarak Cosh potansiyeli kullanıldı (Sun vd., 2017).

$$V_N(r) = - \frac{V_0(1+\cosh(\lambda/a))}{\cos(r/a)+\cosh(\lambda/a)}, \quad (4.16)$$

burada $V_0 = 192.42 + 31.059((N - Z)/A)$ ve $a=0.75$. λ normalizasyon faktörüdür, λ 'ın belirlenmesi için Bohr Sommerfeld koşulu kullanılır (Soylu, 2019). Merkezci potansiyel

$$V_L(r) = \frac{\hbar^2(L + 1/2)^2}{2\mu r}, \quad (4.17)$$

burada μ ve L indirgenmiş kütle ve angular momentumdur. Etkili potansiyelin son kısmı Coulomb potansiyelidir,

$$V_C(r) = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r} \left(1 - e^{-\varphi r - \frac{1}{2}(\varphi r)^2 - 0.35(\varphi r)^3} \right), \quad \varphi R_C = \frac{3}{2}. \quad (4.18)$$

Burada Coulomb yarıçapı $R_c = R = \lambda$, λ ise normalizasyon faktörüdür. α bozunmanın yarı-ömrü zamanı aşağıdaki formülle hesaplanır (Buck vd, 1991; Xu ve Ren, 2005; Xu vd., 2008; Evlice, 2015).

$$T_{1/2} = \hbar \frac{\ln 2}{\Gamma} = \frac{\ln 2}{\lambda}, \quad (4.19)$$

Γ ve λ bozunma genişliğini ve bozunma sabitini gösterir. WKB yönteminde, bozunma genişliği,

$$\Gamma = PF \frac{\hbar^2}{4\mu} \exp \left[-2 \int_{r_2}^{r_3} k(r) dr \right], \quad (4.20)$$

burada P preformasyon olasılığıdır. Dalga sayısı ve normalleştirme faktörü

$$k(r) = \sqrt{\frac{2\mu}{\hbar^2} |Q - V_{eff}(r)|}, \quad (4.21)$$

$$F = 1 / \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{2k(r)} dr. \quad (4.22)$$

Bohr-Sommerfeld kuantizasyon durumu aşağıdaki gibi verilir

$$\int_{r_1}^{r_2} \sqrt{\frac{2\mu}{\hbar^2} (Q - V_{eff}(r))} dr = (2n + 1) \frac{\pi}{2} = (G - L + 1) \frac{\pi}{2}, \quad (4.23)$$

G küresel kuantum sayısıdır, $r_{1,2,3}$ dönüm noktalarıdır. Alfa bozunma hesapları için; $G_\alpha=18$ ($N<82$), $G_\alpha = 20$ ($82 \leq N \leq 126$) ve $G_\alpha =22$ ($N>126$) (Buck vd., 1991; Buck vd., 1993; Buck vd., 1996), burada N ana çekirdeğin nötron sayısıdır. Preformasyon

faktörü tek-tek, çift-tek veya tek-çift ve çift-çift çekirdekler için $P=0.35, 0.6$ ve 1 değerleri kullanıldı.

4.2 Proton Ayrılma ve α - Bozunma Enerjileri

Bu kısımda, bir ve iki proton ayırma enerjisinin hesapları tartışılmıştır. Bu çalışmadaki tüm izotoplar, proton yayıcı çekirdekler olsun ya da olmasın, aşağıdaki ifadeler kullanıldı

$$S(p) = -\Delta M(A, Z) + \Delta M(A - 1, Z - 1) + \Delta M_H = -Q(\gamma, p), \quad (4.24)$$

$$S(2p) = -\Delta M(A, Z) + \Delta M(A - 2, Z - 2) + \Delta M_H = -Q(\gamma, 2p),$$

burada $S(p)$ ve $S(2p)$ terimleri bir ve iki proton ayırma enerjileri, $\Delta M(A, Z)$, $\Delta M(A - 1, Z - 1)$, ΔM_H ve $Q(\gamma, p)$ ardışık olarak ana ve kız çekirdekler ve proton için Kütle değerleri ve reaksiyonun Q değeridir (Santhosh ve Nithya, 2018a).

Bu çalışmadaki reaksiyonların alfa bozunma enerjileri de aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q_\alpha = \Delta M_p - (\Delta M_\alpha + \Delta M_d) + k(Z_p^\epsilon - Z_d^\epsilon), \quad (4.25)$$

burada ΔM_p , ΔM_α ve ΔM_d sırasıyla ana, alfa ve kız çekirdeklerinin Kütle değerleridir.

$k(Z_p^\epsilon - Z_d^\epsilon)$ terimi için; $Z \geq 60$, $k= 8.7$ eV ve $\epsilon = 2.517$ aksi halde $k= 13.6$ eV ve $\epsilon = 2.408$. Kütle değerlerini WS4 + RBF tablosundan (Wang vd., 2014) alınmıştır.

4.3 Kendiliğinden Fisyon(KF) Yarı-ömürleri İçin Formüller

4.3.1 KF yarı-ömürleri için yarı deneysel formül (Xu)

KF yarı-ömürlerini hesaplamak için Xu ark. (Xu ve Ren, 2005) tarafından geliştirilen yarı-amprik formül

$$T_{1/2} = \exp 2\pi \left[C_0 + C_1 A + C_2 Z^2 + C_3 Z^4 + C_4 (N - Z)^2 - \left(0.13323 \frac{Z^2}{A^{1/3}} - 11.64 \right) \right]. \quad (4.26)$$

$$C_0 = -195.09227, C_1 = 3.10156, C_2 = -0.04386, C_3 = 1.4030 \times 10^{-6} \quad \text{ve} \quad C_4 = -0.03199$$

4.3.2 KF yarı-ömürleri için kabuk etkisine bağlı formül(KPS)

Bir potansiyel bariyerini tünelleme olasılığı fisyon yapabilirlik parametresi ile ters, bariyer yüksekliğinin kareköküyle üstel olarak bağlıdır. Fisyon yapabilirlik parametresi $\frac{Z^2}{A}$ ve izospin etkisi $\frac{N-Z}{N+Z}$, ağır ve süper-ağır çekirdeklerin KF yarı-ömürlerinin tanımlanmasında önemli bir rol oynar. Bu iki faktörü göz önüne alarak, 2010 yılında Santhosh ve ark. KF hesabı için yarı-ampirik bir formül geliştirmiştir (Santhosh vd., 2010). Kabuk yapısı da KF tanımlamasında önemli bir rol oynadığı için, kabuk düzeltme terimi ile daha önce önerilen formülün (Santhosh ve Nithya, 2016) modifiye edilmiş hali şu şekildedir

$$\log_{10} \left(\frac{T_{1/2}}{\text{yr}} \right) = a \frac{Z^2}{A} + b \left(\frac{Z^2}{A} \right)^2 + c \left(\frac{N - Z}{N + Z} \right) + d \left(\frac{N - Z}{N + Z} \right)^2 + e E_{shell} + f, \quad (4.27)$$

burada $a=-43.25203$, $b=0.49192$, $c=3674.3927$, $d=-9360.6$, $e=0.8930$, $f=578.56058$. Kabuk düzeltme enerjisi olan E_{shell} parametresi (Möller, 2016) alınmıştır. Deneysel KF si belli 45 çekirdek için ortalama standart sapma 1,6972'dir. Yani teorik ve deneysel yarı-ömürleri arasındaki ortalama değişim 100 kattan daha küçüktür. KF alfa bozunumundan daha karmaşık bir süreç olduğu için bu kabul edilebilir bir sayıdır (Santhosh ve Nithya, 2016b; Santhosh ve Nithya, 2018b).

4.3.3 Bao'nun geliştirdiği formül

KF yarı-ömürlerini hesaplamak için kullanılan bir başka formül Bao (Bao vd., 2015) tarafından geliştirilen formüldür.

$$\log_{10}[T_{1/2}(yr)] = c_1 + c_2 \left(\frac{Z^2}{(1 - kI^2)A} \right) + c_3 \left(\frac{Z^2}{(1 - kI^2)A} \right)^2 + c_4 E_{shell} + h_i. \quad (4.28)$$

Burada $I = \frac{N-Z}{A}$, $c_1=1174,353441$, $c_2=-47.666855$, $c_3=0.471307$ ve $c_4=3.378848$, $k=2.6$ ve h_{\log} parametresi Z ve N 'nin çift-çift değerleri 0, tek-çift değerleri için 2.61976, çift-tek değerleri için 2.609374, tek-tek değerleri için 5.229142 değerlerini almaktadır. Denklem 4.27'de ve 4.28'de kullanılan E_{shell} Möller, 2016 çalışmasından alınan bir kabuk düzeltme enerjisidir (Möller, 2016).

4.3.4 Soylu'nun geliştirdiği formül

Sıvı damlası modeline dayalı Soylu formülü aşağıdaki gibidir

$$T_{SF} = e^{2\pi[aA+bA^{2/3}+cZ(Z-1)/A^{1/3}+d(N-Z)^2/A+eZ^4+f]}, \quad (4.29)$$

burada Z , N , A ana çekirdeğin proton, nötron ve kütle numarası, $a=-0.0987592959$, $b=119.319858732$, $c=-0.516609881059$, $d=-9.52538327068$, $e=1.92155604207 \times 10^{-6}$, ve $f=-1496.05967574$ sabitlerdir (Soylu, 2019). Bu formül, temel olarak Xu formülündeki gibi KF 'nin üstel olarak azalacağı bir ifade yazmak üzere ortaya çıkılarak geliştirilmiştir. Denklem 4.29'daki her bir terim sıvı damlası modeli dikkate alınarak yazılmıştır. Bu formülü diğerlerinden ayıran en önemli özelliği ise yüzey terimi de dikkate almış olmasıdır.

4.4 MES Kodu

Süper-ağır çekirdek için birçok modeli kullanarak yarı-ömür hesaplamaları yapan bir Python yazılımı geliştirilmiştir (Soylu, 2020). Bu yazılım ile alfa, küme ve kendiliğinden fisyon bozunmaları içeren hesaplamalar gerçekleştirilebilir. Yazılım, Anaconda temelli Spyder ara yüzey ile kullanılan Python 2.7 dilindedir ve bu kod MES olarak adlandırılmıştır.

MES kodu, Coulomb and proximity potansiyel model (CPPM), Viola-Seaborg-Sobiczewski yarı deneysel formülü (VSS), evrensel eğri (UNIV), Royer'in formülü,

evrensel bozunma yasası (UDL), Horoi formülü, Xu formülü, KPS ve Soylu formülleri ile hesaplar yapabilmektedir. Sonrasında bu çekirdekler için her bir model için ayrı ayrı olacak şekilde bozunma modlarını da tahmin edebilmektedir. MES kodunun ara yüzeygörünümü Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Buna göre, Spyder 2'de ekranın sol kısmına MES kodu yazılmış, sağ tarafta ise bu kodun derlenip çıktısı elde edildiği yer görülmektedir. En üst kısımda açıklama yapılmış, sonraki kısımda ise kullanılacak

The screenshot shows the Spyder Python IDE interface. The left pane displays the Python code for the MES model, which includes comments in Turkish and code for calculating half-lives of Alpha (AD), Cluster Decay (CD), and Spontaneous Fission (SF). The code defines parameters like Parent A, Parent Z, SF(KPS), SF(Xu), SF(Soylu), CPPM, VSS, UNIV, Royer, UDL, Horoi, CPPM-Xu BR, UDL-Xu BR, CPPM-Soylu BR, and CPPM-KPS BR. The right pane shows the output of the code execution, listing the calculated values for these parameters.

```

1 # MES: A Python code for calculations of half-lives of Alpha (AD),
2 # Cluster Decay (CD) and Spontaneous Fission (SF),
3 # Revolution of Decay Modes of Superheavy Nuclei written by A. Soylu
4 # at October 2019 in single
5 import numpy as np
6 from matplotlib import pyplot as plt
7 import scipy
8 from scipy import integrate
9 from scipy.optimize import fsolve
10 pi=scipy.pi
11
12 #enter Mass, proton number of the parent nuclei
13 A=286.0
14 Z=113.0
15 #enter Mass, proton number of the cluster
16 A_2=4.0
17 Z_2=2.0
18 #enter Q-value of decay
19 q=8.965
20 #enter the shell correction energy for KPS
21 Es=7.40
22
23
24 #Mass, proton number of the core
25 A_1=A-A_2
26 Z_1=Z-Z_2
27 n=A-Z
28
29 #function for calculating KPS Model for SF half-lives
30 def kps(A_1,Z_1,A_2,Z_2,q,Es):
31     n_1=A_1-Z_1
32     n_2=A_2-Z_2
33     n_1=(n_1+n_2)
34     z_1=(Z_1+Z_2)
35     A_1=A_1+A_2
36     a=-43.25203
37     b=0.49192
38     c=3074.39227
39     d=9360.6

```

Output:

```

Parent A= 286.0 Parent Z= 113.0
SF(KPS)= 10.935027209 s
SF(Xu)= 0.00119293682311 s
SF(Soylu)= 0.00201353601343 s
CPPM= 12224.0487773 s
VSS= 16584.5782616 s
UNIV= 275.916803382 s
Royer= 15844.7831913 s
UDL= 3721.45042314 s
Horoi= 447.389426757 s
CPPM-Xu BR= 7.01059734554 Mode= SF
UDL-Xu BR= 6.15927707535 Mode= SF
CPPM-Soylu BR= 6.78325538831 Mode= SF
CPPM-KPS BR= 3.04839492196 Mode= SF

```

Şekil 4.1. MES kodunun ara yüzeyi (Soylu, 2020)

paketler sisteme girilmiş ve giriş parametreleri tanımlanmıştır. MES kodu kullanılarak örnek seçilen çekirdekler için CPPM modeli hesaplamaları yapılmış ve elde edilen P , λ gibi değerler ile hesaplanan yarı-ömür değerleri literatürdeki Santhosh'un CPPM için elde ettiği sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu kod, gelecekteki olası çalışmalar için tahminler yaparak süper-ağır çekirdekler üzerinde deneysel çalışma için çok önemli olacaktır. Python dili hem ücretsiz, hem de öğrenmesi kolay olduğu için kullanım açısından kolaylık sağlamaktadır. Modellerde ve hesaplamalarda parametreler değiştirilerek yeni hesaplamalar yapılabilir. Bu Python kodu, AB ve KF süreçlerini teorik olarak açıklayan en iyi modeli aramak için önemli bir anahtar çalışma olabilir.

BÖLÜM V

BULGULAR

Bu çalışmada, ilk önce $Z=125, 126$ ve 127 süper ağır çekirdekler için AB ve KF yarı-ömürleri hesaplanmıştır. Bunun için alfa bozunmu (AB) için CPPM, WKB, VSS, UNIV, UDL, Royer, Horoi ve kendiliğinden fisyon (KF) KPS, Xu, Bao , Soylu model ve formülleri kullanılmıştır. Sonrasında ise AB ve KF değerleri karşılaştırılarak bozunma modları tüm zincirler için belirlenmiştir. Bu hesaplar MES isimli Python kodu ile gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen tüm sonuçlar Çizelge 5.1-5.7 ile gösterilmiştir. AB ve KF sonuçları karşılaştırılmış ve bozunma modları elde edilmiştir. Bozunma modlarını aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

$$br = \frac{T_{\alpha}}{T_{KF}}. \quad (4.1)$$

Denklemin her iki tarafını logaritmasını alınırsa

$$\log_{10} br = \log_{10} T_{\alpha} - \log_{10} T_{KF}. \quad (4.2)$$

$\log_{10} br < 0$ olursa α bozunum modu daha baskın olur. $\log_{10} br > 0$ ise kendiliğinden bozunma (KF) modu daha baskın olur.

Tüm çizelgelerde, ilk sütünü ilgili ana çekirdeği; ikinci sütünü ilgili bozunmanın alfa Q değerini MeV cinsinden değeri; daha sonraki dört sütün KF; daha sonra gelen yedi sütün ise AB yarı-ömürlerin saniye cinsinden değerlerini gösterir; DM 1, 2, 3, 4 ise CPPM ve WKB α yarı-ömürleri ile sırasıyla; KPS, Xu, Bao ve Soylu modellerinin ürettiği KF değerlerinin karşılaştırılması ile elde edilen bozunma modları gösterilmiştir. Bu bölümde verilen tüm şekillerde x eksenini, ana çekirdeğin nötron sayısını, y eksenini verilen çekirdek için hesaplanan yarı-ömürün logaritmik değeri göstermektedir.

Şekillerde $Z=125$, 126 ve 127 çekirdeklerin izotopları için AB ve KF yarı-ömürlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 5.1-5.6'de $^{310-315}125$ izotopları; Şekil 5.7-5.12'de $^{318-323}126$ izotopları; Şekil 5.13-5.18'de $^{313-318}127$ izotopları için karşılaştırmaları gösterilmektedir.



Çizelge 5.1. Z=125 izotopunun AB ve KF sonuçları ve bozunma modu tahminleri. Tüm sonuçlar saniye cinsinden verilmiştir

Çekirdek	Q(MeV)	T _{KPS}	T _{Xu}	T _{Bao}	T _{Soylu}	T _{CPPM}	T _{WKB}	T _{VSS}	T _{UNIV}	T _{Royler}	T _{UDL}	T _{Horoi}	CPPM				WKB			
													DM1	DM2	DM3	DM4	DM1	DM2	DM3	DM4
310 125	15.806	4.38e+22	1.26e+34	1.42e+19	7.69e+45	1.37e-09	2.50e-08	1.06e-08	6.95e-10	3.20e-09	3.27e-10	8.86e-09	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
306 123	14.113	6.74e+14	2.13e+24	3.46e+06	8.99e+32	5.47e-07	4.16e-06	2.92e-06	1.12e-07	1.10e-06	1.13e-07	1.04e-06	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
302 121	13.402	5.13e+11	1.31e+16	3.01e+09	1.39e+22	4.31e-06	2.38e-05	2.13e-05	7.00e-07	7.96e-06	8.53e-07	5.42e-06	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3
298 119	12.623	7.73e+08	2.38e+09	2.37e+11	2.07e+13	5.68e-05	2.18e-04	2.50e-04	6.98e-06	9.63e-05	1.06e-05	4.41e-05	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4
294 117	11.286	2.87e+06	1.03e+04	4.26e+12	2.12e+06	2.49e-02	4.82e-02	7.54e-02	1.60e-03	3.79e-02	4.20e-03	6.75e-03	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5
290 115	10.194	4.78e+03	8.77e-01	3.15e+10	1.08e+01	6.19e+00	6.92e+00	1.35e+01	2.47e-01	8.66e+00	9.60e-01	6.99e-01	a6	KF	a6	a6	KF	a6	a6	a6
286 113	9.403	1.09e+01	1.19e-03	7.38e+06	2.01e-03	3.75e+02	2.85e+02	6.42e+02	1.12e+01	4.89e+02	5.46e+01	2.37e+01	KF	a7	KF	KF	KF	a7	KF	KF
282 111	9.245	4.75e-02	2.13e-05	2.19e+02	9.88e-06	2.28e+02	1.69e+02	4.14e+02	7.73e+00	2.79e+02	3.26e+01	1.70e+01	a8		KF			a8		
278 109	9.446	2.36e-03	4.14e-06	8.27e-01	9.37e-07	9.00e+00	8.04e+00	2.08e+01	4.40e-01	1.04e+01	1.31e+00	1.18e+00						KF		
311 125	15.742	2.53e+21	7.99e+32	2.21e+15	5.08e+44	1.71e-09	1.83e-08	6.12e-09	8.30e-10	1.71e-09	4.04e-10	1.09e-08	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
307 123	14.132	2.18e+13	1.31e+23	4.70e+01	5.68e+31	4.83e-07	2.26e-06	1.23e-06	1.00e-07	3.18e-07	1.00e-07	9.71e-07	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
303 121	13.220	2.35e+10	7.81e+14	1.27e+05	8.43e+20	1.01e-05	3.08e-05	2.22e-05	1.46e-06	5.42e-06	1.98e-06	1.12e-05	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3
299 119	12.674	5.25e+07	1.37e+08	3.91e+07	1.19e+12	4.19e-05	1.01e-04	8.85e-05	5.33e-06	2.05e-05	7.87e-06	3.54e-05	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4
295 117	11.206	2.50e+05	5.78e+02	1.70e+09	1.17e+05	3.90e-02	4.41e-02	5.39e-02	2.38e-03	1.20e-02	6.54e-03	1.01e-02	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5
291 115	10.103	9.14e+02	4.75e-02	2.46e+08	5.70e-01	1.12e+01	7.28e+00	1.11e+01	4.22e-01	2.41e+00	1.73e+00	1.19e+00	a6	KF	a6	KF	KF	a6	KF	KF
287 113	9.258	1.41e+00	6.26e-05	1.44e+04	1.01e-04	1.11e+03	4.74e+02	8.32e+02	3.02e+01	1.80e+02	1.60e+02	6.11e+01	KF	a7		KF		a7		
283 111	8.943	6.55e-03	1.09e-06	6.32e-01	4.71e-07	2.40e+03	9.10e+02	1.75e+03	6.66e+01	3.73e+02	3.35e+02	1.29e+02			KF			KF		
312 125	14.979	3.02e+20	3.36e+31	2.08e+18	2.34e+43	3.84e-08	4.78e-07	2.46e-07	1.11e-08	8.41e-08	8.47e-09	1.36e-07	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
308 123	14.677	4.14e+11	5.34e+21	3.36e+01	2.49e+30	4.10e-08	4.70e-07	2.85e-07	1.24e-08	8.46e-08	8.96e-09	1.37e-07	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
304 121	13.188	2.17e+09	3.08e+13	3.00e+07	3.52e+19	1.15e-05	6.13e-05	5.67e-05	1.62e-06	2.08e-05	2.23e-06	1.28e-05	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3
300 119	12.482	6.29e+06	5.25e+06	2.24e+10	4.76e+10	1.11e-04	4.30e-04	4.97e-04	1.24e-05	1.85e-04	2.05e-05	8.13e-05	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4
296 117	11.413	3.67e+04	2.14e+01	2.01e+12	4.42e+03	1.08e-02	2.45e-02	3.70e-02	7.53e-04	1.64e-02	1.83e-03	3.59e-03	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5
292 115	9.844	2.14e+02	1.71e-03	1.77e+12	2.05e-02	6.94e+01	6.95e+01	1.37e+02	2.19e+00	9.55e+01	1.05e+01	5.64e+00	a6	KF	a6	KF	KF	a6	KF	KF
288 113	9.260	3.23e-01	2.18e-06	1.04e+08	3.45e-06	1.06e+03	8.09e+02	1.80e+03	2.87e+01	1.36e+03	1.52e+02	6.04e+01	KF	a7		KF		a7		
284 111	8.605	1.68e-03	3.66e-08	8.50e+03	1.53e-08	3.90e+04	2.18e+04	5.36e+04	8.68e+02	4.70e+04	5.30e+03	1.43e+03			KF			KF		
313 125	14.187	1.29e+19	9.34e+29	5.42e+14	7.52e+41	1.25e-06	6.07e-06	2.92e-06	2.11e-07	7.48e-07	2.58e-07	2.29e-06	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
309 123	15.145	6.76e+09	1.44e+20	1.87e-04	7.62e+28	5.44e-09	4.95e-08	2.07e-08	2.27e-09	4.96e-09	1.24e-09	2.76e-08	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
305 121	13.179	4.94e+07	8.07e+11	5.15e+02	1.02e+18	1.16e-05	3.75e-05	2.69e-05	1.62e-06	6.04e-06	2.25e-06	1.33e-05	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3
301 119	12.336	1.93e+05	1.33e+05	1.09e+06	4.67e-04	2.38e-05	9.96e-05	4.27e-05	1.55e-04	1.31e+09	2.34e-04	5.08e-04	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4
297 117	11.529	1.61e+03	5.27e-01	3.74e+08	1.16e+02	5.23e-03	7.75e-03	8.88e-03	3.94e-04	1.82e-03	8.98e-04	2.03e-03	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5
293 115	9.626	1.59e+01	4.07e-05	2.52e+09	5.09e-04	3.38e+02	1.82e+02	2.83e+02	9.26e+00	5.74e+01	5.02e+01	2.19e+01	KF	KF	a6	KF	KF	KF	a6	KF
289 113	9.235	2.19e-02	5.04e-08	1.18e+05	8.11e-08	1.24e+03	5.73e+02	9.88e+02	3.32e+01	1.97e+02	1.79e+02	7.17e+01						a7		
285 111	8.376	1.35e-04	8.19e-10	2.24e+01	3.41e-10	2.80e+05	8.36e+04	1.59e+05	5.35e+03	3.18e+04	3.73e+04	7.88e+03			KF			KF		
314 125	13.891	9.77e+17	1.73e+28	4.60e+17	1.69e+40	4.85e-06	3.56e-05	2.33e-05	6.72e-07	9.88e-06	9.74e-07	7.03e-06	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
310 123	14.411	2.20e+09	2.58e+18	3.28e+01	1.63e+27	1.23e-07	1.32e-06	8.39e-07	3.10e-08	2.47e-07	2.62e-08	3.52e-07	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
306 121	13.720	6.01e+05	1.40e+10	3.14e+02	2.07e+16	8.12e-07	6.39e-06	5.19e-06	1.64e-07	1.50e-06	1.65e-07	1.57e-06	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3
302 119	12.337	1.25e+04	2.24e+03	3.43e+08	2.51e+07	2.25e-04	8.75e-04	1.02e-03	2.28e-05	3.70e-04	4.10e-05	1.54e-04	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4
298 117	11.430	1.28e+02	8.59e-03	2.61e+11	2.10e+00	9.10e-03	2.28e-02	3.38e-02	6.42e-04	1.37e-02	1.55e-03	3.32e-03	a5	KF	a5	a5	a5	KF	a5	a5
294 115	9.610	2.00e+00	6.44e-07	1.06e+13	8.71e-06	3.68e+02	3.52e+02	6.96e+02	9.96e+00	5.00e+02	5.46e+01	2.43e+01	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF
315 125	13.680	2.50e+16	2.11e+26	8.51e+13	2.68e+38	1.30e-05	5.17e-05	2.74e-05	1.57e-06	6.45e-06	2.57e-06	1.60e-05	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
311 123	13.570	8.10e+07	3.06e+16	2.03e-02	2.43e+25	5.94e-06	2.41e-05	1.44e-05	8.49e-07	3.16e-06	1.18e-06	8.35e-06	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
307 121	14.247	6.81e+03	1.61e+08	2.02e-03	2.92e+14	7.02e-08	4.54e-07	2.53e-07	2.03e-08	5.23e-08	1.49e-08	2.21e-07	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3
303 119	12.328	1.96e+02	2.50e+01	7.25e+03	3.35e+05	2.29e-04	5.38e-04	4.88e-04	2.30e-05	9.59e-05	4.16e-05	1.61e-04	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4
299 117	11.370	2.91e+00	9.30e-05	2.26e+07	2.64e-02	1.26e-02	1.85e-02	2.14e-02	8.50e-04	4.04e-03	2.12e-03	4.47e-03	a5	KF	a5	a5	a5	KF	a5	a5
295 115	9.637	5.77e-02	6.75e-09	2.54e+09	1.03e-07	2.89e+02	1.71e+02	2.61e+02	7.94e+00	4.87e+01	4.29e+01	2.05e+01	KF	a6		KF	KF	a6		KF
291 113	8.823	1.69e-04	7.84e-12	2.85e+06	1.46e-11	3.31e+04	1.32e+04	2.26e+04	6.74e+02	4.19e+03	4.61e+03	1.22e+03			a7			a7		
287 111	8.360	4.76e-07	1.20e-13	4.38e+01	5.45e-14	3.01e+05	9.74e+04	1.82e+05	5.66e+03	3.35e+04	4.01e+04	8.95e+03			KF			KF		

Çizelge 5.2. Z=125 izotopunun AB ve KF sonuçları ve bozunma modu tahminleri. Tüm sonuçlar saniye cinsinden verilmiştir (Devamı)

Çekirdek	Q(MeV)	T _{KPS}	T _{Xu}	T _{Bao}	T _{Soylu}	T _{CPPM}	T _{WKB}	T _{VSS}	T _{UNIV}	T _{Royer}	T _{UDL}	T _{Horoi}	CPPM				WKB					
													DM1	DM2	DM3	DM4	DM1	DM2	DM3	DM4		
³¹⁶ 125	13.629	7.76e+14	1.72e+24	1.17e+16	2.98e+36	1.60e-05	1.11e-04	7.57e-05	1.87e-06	3.19e-05	3.15e-06	1.95e-05	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁
³¹² 123	12.804	3.17e+06	2.41e+14	5.80e+00	2.55e+23	2.79e-04	1.32e-03	1.17e-03	2.40e-05	5.11e-04	5.20e-05	1.96e-04	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂
³⁰⁸ 121	13.978	3.45e+02	1.23e+06	1.40e+00	2.89e+12	2.29e-07	2.27e-06	1.71e-06	5.51e-08	4.25e-07	4.74e-08	5.94e-07	α ₃	α ₃	α ₃	α ₃	α ₃	α ₃	α ₃	α ₃	α ₃	α ₃
³⁰⁴ 119	12.841	1.48e+00	1.85e-01	3.67e+03	3.12e+03	1.49e-05	8.38e-05	8.76e-05	2.11e-06	2.48e-05	2.82e-06	1.76e-05	α ₄	α ₄	α ₄	α ₄	α ₄	α ₄	α ₄	α ₄	α ₄	α ₄
³⁰⁰ 117	11.461	1.33e-01	6.67e-07	1.08e+10	2.31e-04	7.06e-03	1.96e-02	2.84e-02	5.07e-04	1.05e-02	1.20e-03	2.86e-03	α ₅	KF	α ₅	KF	α ₅	KF	α ₅	KF	α ₅	KF
²⁹⁶ 115	9.521	1.30e-05	5.28e-14	3.90e+12	1.13e-13	6.75e+02	6.72e+02	1.31e+03	1.72e+01	9.08e+02	9.94e+01	4.30e+01	KF		α ₆		KF		α ₆		α ₆	
²⁹² 113	8.626	3.49e-03	4.69e-11	1.29e+10	8.51e-10	1.73e+05	1.10e+05	2.41e+05	3.09e+03	2.17e+05	2.37e+04	5.09e+03			α ₇				α ₇		α ₇	
²⁸⁸ 111	8.350	2.65e-08	7.82e-16	7.64e+04	3.96e-16	3.20e+05	1.84e+05	4.36e+05	5.95e+03	3.77e+05	4.25e+04	9.72e+03			KF						KF	
³¹⁷ 125	13.585	9.09e+12	9.24e+21	5.18e+11	2.35e+34	1.92e-05	7.91e-05	4.22e-05	2.18e-06	9.15e-06	3.77e-06	2.33e-05	α ₁ α ₂	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁
³¹³ 123	12.562	5.17e+04	1.26e+12	7.85e-04	1.89e+21	9.85e-04	2.48e-03	1.78e-03	7.21e-05	3.60e-04	1.80e-04	5.62e-04	α ₃ α ₄	α ₂	KF	α ₂ α ₃	α ₂	α ₂	KF	α ₂	α ₂	α ₂
³⁰⁹ 121	13.169	8.33e+00	6.24e+03	7.83e-04	2.01e+10	1.06e-05	4.04e-05	2.81e-05	1.47e-06	5.37e-06	2.04e-06	1.39e-05	KF	α ₃		α ₄	α ₃	α ₃		α ₃	α ₃	α ₃
³⁰⁵ 119	13.337	1.16e-02	9.10e-04	2.88e-02	2.04e+01	1.23e-06	5.57e-06	4.07e-06	2.44e-07	7.32e-07	2.42e-07	2.33e-06		α ₄		KF	α ₄	α ₄		α ₄	α ₄	α ₄
³⁰¹ 117	11.524	1.37e-03	3.18e-09	2.55e+05	1.42e-06	4.71e-03	8.25e-03	9.15e-03	3.51e-04	1.59e-03	8.03e-04	2.10e-03		KF			KF	KF		KF	KF	KF
³¹⁸ 125	13.243	1.38e+11	3.30e+19	2.15e+13	1.31e+32	1.03e-04	6.30e-04	4.58e-04	9.36e-06	2.01e-04	1.98e-05	9.34e-05	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁
³¹⁴ 123	12.529	1.23e+03	4.37e+09	1.58e-01	9.89e+18	1.14e-03	5.03e-03	4.61e-03	8.14e-05	2.04e-03	2.07e-04	6.50e-04	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂
³¹⁰ 121	12.372	2.29e-01	2.10e+01	2.56e-01	9.87e+07	6.60e-04	2.88e-03	2.97e-03	5.39e-05	1.12e-03	1.19e-04	4.19e-04	α ₃	α ₃	α ₃	α ₃	α ₃	α ₃	α ₃	α ₃	α ₃	α ₃
³⁰⁶ 119	13.111	3.52e-05	2.96e-06	2.31e-03	9.36e-02	3.57e-06	2.55e-05	2.48e-05	6.09e-07	5.96e-06	6.90e-07	5.77e-06	α ₄	KF	α ₄	α ₄	KF	KF	KF	KF	α ₄	α ₄
³⁰² 117	12.137	6.16e-06	1.00e-11	9.65e+04	6.08e-09	1.41e-04	7.97e-04	1.59e-05	2.14e-04	2.53e-05	1.19e-04	6.27e-04	KF		α ₅	KF						KF
²⁹⁸ 115	9.454	1.50e-06	6.63e-16	2.08e+11	1.96e-14	1.05e+03	1.10e+03	2.12e+03	2.55e+01	1.40e+03	1.54e+02	6.64e+01			α ₆							
²⁹⁴ 113	8.269	8.96e-09	7.01e-19	6.36e+09	2.28e-18	4.01e+06	2.27e+06	4.85e+06	5.66e+04	4.99e+06	5.35e+05	7.72e+04			α ₇							
²⁹⁰ 111	7.959	2.54e-11	9.73e-21	2.32e+05	6.95e-21	1.13e+07	5.66e+06	1.30e+07	1.62e+05	1.32e+07	1.46e+06	2.15e+05			KF							
³¹⁹ 125	12.787	4.22e+05	7.83e+16	1.14e-04	5.19e+29	1.09e-03	3.14e-03	1.93e-03	7.31e-05	3.86e-04	2.02e-04	6.46e-04	α ₁ α ₂	α ₁	KF	α ₁	α ₁	α ₁	KF	α ₁	α ₁	α ₁
³¹⁵ 123	12.517	1.28e+01	1.00e+07	1.76e-05	3.67e+16	1.17e-03	3.13e-03	2.23e-03	8.32e-05	4.16e-04	2.13e-04	6.86e-04	KF	α ₂		α ₂	α ₂	α ₂	KF	α ₂	α ₂	α ₂
³¹¹ 121	11.726	2.46e-03	4.67e-02	3.12e-05	3.42e+05	2.52e-02	4.67e-02	4.17e-02	1.35e-03	7.35e-03	4.35e-03	8.54e-03		α ₃		α ₃	α ₃	KF	KF	α ₃	α ₃	α ₃
³⁰⁷ 119	12.691	4.44e-07	6.40e-09	5.27e-07	3.03e-04	2.91e-05	9.93e-05	8.14e-05	3.72e-06	1.36e-05	5.40e-06	3.32e-05		KF		α ₄						α ₄
³⁰³ 117	12.690	3.18e-08	2.10e-14	8.36e-01	1.84e-11	7.41e-06	2.73e-05	2.43e-05	1.21e-06	3.84e-06	1.39e-06	1.06e-05				KF						KF
³²⁰ 125	12.404	7.74e+03	1.23e+14	4.04e-02	1.46e+27	8.65e-03	3.62e-02	3.04e-02	4.53e-04	1.62e-02	1.56e-03	3.56e-03	α ₁ α ₂	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁	α ₁
³¹⁶ 123	12.359	2.26e-01	1.53e+04	5.03e-03	9.67e+13	2.71e-03	1.19e-02	1.10e-02	1.73e-04	4.79e-03	4.87e-04	1.40e-03	KF	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂	α ₂	KF	α ₂
³¹² 121	11.600	3.95e-05	6.91e-05	6.10e-03	8.41e+02	5.17e-02	1.60e-01	1.84e-01	2.54e-03	8.44e-02	8.82e-03	1.58e-02		KF	KF	α ₃	KF	KF	KF	α ₃	α ₃	α ₃
³⁰⁸ 119	11.971	7.65e-09	9.18e-12	1.41e-04	6.93e-07	1.39e-03	5.64e-03	6.71e-03	1.09e-04	2.17e-03	2.43e-04	8.23e-04				KF						KF

Çizelge 5.3. Z=126 izotopunun AB ve KF yarı-ömürlerin sonuçları ve bozunma modu tahminleri. Tüm sonuçlar saniye cinsinden verilmiştir

Çekirdek	Q(MeV)	T _{KPS}	T _{Xu}	T _{Bao}	T _{Soylu}	T _{CPPM}	T _{WKB}	T _{VSS}	T _{UNIV}	T _{Royer}	T _{UDL}	T _{Horoi}	CPPM				WKB			
													DM1	DM2	DM3	DM4	DM1	DM2	DM3	DM4
³¹⁸ 126	13.958	3.59e+17	5.95e+29	8.35e+11	7.05e+43	6.26e-06	1.75e-05	2.33e-06	8.07e-07	1.22e-06	1.26e-06	9.28e-06	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1
³¹⁴ 124	13.154	4.00e+11	1.28e+19	7.50e+06	4.64e+29	8.92e-05	1.73e-04	2.99e-05	8.57e-06	1.47e-05	1.70e-05	7.78e-05	α2	α2	α2	α2	α2	α2	α2	α2
³¹⁰ 122	13.367	1.77e+04	1.11e+10	2.84e-06	4.77e+17	8.02e-06	1.89e-05	3.43e-06	1.13e-06	1.62e-06	1.57e-06	1.09e-05	α3	α3	KF	α3	α3	α3	KF	α3
³⁰⁶ 120	13.699	4.87e+00	3.17e+02	2.25e-06	5.49e+07	4.37e-07	1.35e-06	2.48e-07	9.85e-08	1.13e-07	8.88e-08	9.90e-07	α4	α4	α4	α4	α4	α4	α4	α4
³⁰² 118	11.953	2.58e-01	2.39e-04	8.30e+00	5.11e-01	8.54e-04	1.06e-03	2.98e-04	7.55e-05	1.29e-04	1.51e-04	4.93e-04	α5	KF	α5	α5	KF	α5	α5	
²⁹⁸ 116	10.684	7.38e-03	3.91e-09	3.59e+04	2.78e-07	4.11e-01	2.67e-01	9.86e-02	1.99e-02	4.14e-02	6.59e-02	8.53e-02	KF	α5	KF	KF	KF	α5	KF	
³¹⁹ 126	13.544	6.84e+15	3.25e+27	4.20e+13	5.72e+41	4.57e-05	1.77e-04	1.78e-04	4.47e-06	5.58e-05	8.89e-06	4.72e-05	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1
³¹⁵ 124	13.120	9.84e+09	6.80e+16	8.49e+08	3.54e+27	1.02e-04	3.38e-04	4.09e-04	9.62e-06	1.15e-04	1.95e-05	8.96e-05	α2	α2	α2	α2	α2	α2	α2	α2
³¹¹ 122	12.581	5.78e+02	5.73e+07	8.39e-04	3.42e+15	4.43e-04	1.17e-03	1.72e-03	3.69e-05	4.35e-04	8.12e-05	2.93e-04	α3	α3	α3	α3	α3	α3	KF	α3
³⁰⁷ 120	13.435	8.69e-02	1.58e+00	6.54e-05	3.70e+05	1.48e-06	6.83e-06	9.22e-06	2.78e-07	2.18e-06	2.93e-07	2.76e-06	α4	α4	α4	α4	α4	α4	α4	α4
³⁰³ 118	12.518	1.54e-03	1.16e-06	3.94e+00	3.23e-03	3.85e-05	1.14e-04	2.01e-04	4.96e-06	4.30e-05	7.10e-06	3.93e-05	α5	KF	α5	α5	KF	α5	α5	
²⁹⁹ 116	10.752	2.74e-04	1.83e-11	1.87e+07	1.87e-09	2.57e-01	3.02e-01	7.65e-01	1.30e-02	1.48e-01	4.14e-02	5.94e-02	KF	α6	KF	KF	KF	α6	KF	
²⁹⁵ 114	8.522	1.44e-08	2.07e-17	4.96e+04	2.36e-17	1.05e+06	3.72e+05	1.18e+06	1.57e+04	2.10e+05	1.43e+05	2.26e+04	α7	α7	α7	α7	α7	α7	α7	
²⁹¹ 112	8.505	1.44e-08	2.07e-17	4.96e+04	2.36e-17	1.94e+05	7.23e+04	2.51e+05	3.57e+03	4.24e+04	2.62e+04	6.16e+03	α7	KF	α7	α7	α7	α7	α7	
³²⁰ 126	13.095	5.48e+13	1.18e+25	1.00e+09	3.30e+39	4.35e-04	8.25e-04	1.29e-04	3.18e-05	6.12e-05	8.21e-05	2.99e-04	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1
³¹⁶ 124	13.105	8.07e+04	2.39e+14	8.58e-08	1.91e+25	1.07e-04	2.19e-04	3.77e-05	9.92e-06	1.71e-05	2.02e-05	9.54e-05	α2	α2	KF	α2	α2	α2	KF	α2
³¹² 122	12.073	7.51e+00	1.96e+05	1.00e-07	1.73e+13	7.15e-03	8.91e-03	2.04e-03	4.27e-04	8.67e-04	1.26e-03	2.93e-03	α3	α3	α3	α3	α3	α3	α3	α3
³⁰⁸ 120	12.878	1.65e-03	5.23e-03	3.20e-08	1.76e+03	2.27e-05	4.78e-05	1.03e-05	2.92e-06	4.28e-06	4.28e-06	2.65e-05	α4	α4	α4	α4	α4	α4	α4	α4
³⁰⁴ 118	13.036	9.74e-06	3.71e-09	3.14e-05	1.44e-05	2.65e-06	6.60e-06	1.49e-06	4.85e-07	6.02e-07	5.11e-07	4.47e-06	α5	KF	α5	α5	KF	α5	KF	
³⁰⁰ 116	10.836	2.24e-06	5.69e-14	4.41e+02	6.84e-12	1.45e-01	1.12e-01	3.98e-02	7.70e-03	1.54e-02	2.34e-02	3.80e-02	KF	α5	KF	KF	KF	α5	KF	
³²¹ 126	12.766	1.04e+14	2.84e+22	7.98e+18	1.35e+37	2.42e-03	6.68e-03	7.72e-03	1.43e-04	2.19e-03	4.48e-04	123e-03	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1
³¹⁷ 124	12.913	1.67e+03	5.58e+11	2.20e-05	7.34e+22	2.81e-04	9.00e-04	1.12e-03	2.30e-05	2.89e-04	5.24e-05	2.15e-04	α2	α2	KF	α2	α2	α2	KF	α2
³¹³ 122	12.037	1.43e-01	4.43e+02	1.77e-05	6.21e+10	8.50e-03	1.81e-02	2.88e-02	4.95e-04	6.66e-03	1.50e-03	3.47e-03	α3	α3	α3	α3	α3	α3	α3	α3
³⁰⁹ 120	12.073	3.64e-05	1.15e-05	9.87e-06	5.88e+00	1.66e-03	3.85e-03	6.68e-03	1.25e-04	1.42e-03	2.93e-04	9.20e-04	KF	KF	α4	KF	KF	KF	α4	
³⁰⁵ 118	12.822	2.39e-08	7.90e-12	2.54e-06	4.49e-08	7.51e-06	2.87e-05	4.70e-05	1.18e-06	9.34e-06	1.42e-06	1.08e-05	KF	α4	KF	α4	KF	KF	KF	
³²² 126	12.708	1.46e+12	4.54e+19	6.64e+15	3.94e+34	3.21e-03	5.36e-03	8.91e-04	1.83e-04	3.85e-04	5.90e-04	1.59e-03	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1
³¹⁸ 124	12.475	1.54e+01	8.65e+08	3.39e-09	2.00e+20	2.89e-03	4.55e-03	8.69e-04	1.77e-04	3.57e-04	5.22e-04	1.47e-03	α2	α2	KF	α2	α2	α2	KF	α2
³¹⁴ 122	12.028	1.21e-03	6.65e-01	1.87e-09	1.58e+08	8.64e-03	1.14e-02	2.59e-03	5.00e-04	1.02e-03	1.52e-03	3.62e-03	KF	α3	α3	KF	α3	α3	α3	
³¹⁰ 120	11.412	3.28e-07	1.67e-08	1.32e-09	1.40e-02	7.71e-02	7.77e-02	2.12e-02	3.75e-03	7.97e-03	1.30e-02	2.23e-02	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	
³²³ 126	12.782	3.93e+10	4.81e+16	2.11e+19	8.24e+31	2.07e-03	6.27e-03	7.12e-03	1.24e-04	1.87e-03	3.83e-04	1.15e-03	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1
³¹⁹ 124	12.095	2.65e-01	8.88e+05	1.83e-06	3.90e+17	2.39e-02	5.32e-02	7.52e-02	1.15e-03	1.77e-02	4.22e-03	8.41e-03	α2	α2	KF	α2	α2	α2	KF	α2
³¹⁵ 122	11.849	1.65e-05	6.63e-04	4.01e-07	2.86e+05	2.36e-02	4.92e-02	7.95e-02	1.21e-03	1.70e-02	4.09e-03	8.48e-03	KF	KF	α3	KF	KF	α3	α3	
³¹¹ 120	11.109	4.25e-09	1.62e-11	2.43e-07	2.35e-05	4.92e-01	7.29e-01	1.44e+00	1.96e-02	2.78e-01	8.11e-02	1.06e-01	KF	α3	KF	α3	KF	KF	KF	
³²⁴ 126	12.820	4.40e+08	3.38e+13	2.93e+16	1.23e+29	1.64e-03	3.16e-03	5.07e-04	9.99e-05	2.02e-04	3.03e-04	9.79e-04	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1
³²⁰ 124	11.820	2.02e-03	6.06e+02	5.44e-10	5.43e+14	1.16e-01	1.40e-01	2.93e-02	4.68e-03	1.09e-02	2.02e-02	3.14e-02	KF	α2	KF	α2	KF	α2	KF	
³¹⁶ 122	11.571	1.09e-07	4.38e-07	6.98e-11	3.70e+02	1.21e-01	1.35e-01	3.24e-02	5.17e-03	1.16e-02	2.05e-02	3.32e-02	KF	KF	α3	KF	α3	KF	α3	
³¹² 120	11.130	2.22e-11	1.04e-14	1.79e-11	2.82e-08	1.79e-01	3.90e-01	1.09e-01	1.68e-02	3.76e-02	6.86e-02	9.48e-02	KF	α3	KF	α3	KF	α3	KF	
³²⁵ 126	12.795	7.26e+06	1.58e+10	5.66e+19	1.33e+26	1.81e-03	5.98e-03	6.67e-03	1.08e-04	1.63e-03	3.33e-04	1.09e-03	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1
³²¹ 124	11.732	1.65e+00	2.74e-01	5.82e+11	5.42e+11	1.92e-01	3.81e-01	5.61e-01	7.27e-03	1.21e-01	3.30e-02	4.85e-02	α2	α2	α2	α2	α2	α2	α2	α2
³¹⁷ 122	11.274	1.15e-09	1.92e-10	2.28e-08	3.43e-01	7.34e-01	1.21e+00	2.10e+00	2.59e-02	4.10e-01	1.22e-01	1.50e-01	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF
³²⁶ 126	12.690	3.20e-01	4.87e+06	1.04e-03	1.03e+23	3.11e-03	6.06e-03	9.79e-04	1.74e-04	3.59e-04	5.67e-04	1.73e-03	α1	α1	KF	α1	α1	α1	KF	α1
³²² 124	12.164	1.87e-07	8.22e-05	3.56e-10	3.89e+08	1.46e-02	2.28e-02	4.46e-03	7.26e-04	1.55e-03	2.57e-03	6.12e-03	KF	KF	α2	KF	KF	KF	α2	
³¹⁸ 122	10.551	6.04e-12	5.60e-14	6.54e-12	2.27e-04	8.57e+01	5.99e+01	1.61e+01	1.91e+00	5.18e+00	1.37e+01	7.67e+00	KF	α2	KF	α2	KF	KF	KF	

Çizelge 1.4. Z=127 izotopunun AB ve KF yarı-ömürlerin sonuçları ve bozunma modu tahminleri. Tüm sonuçlar aniye cinsinden verilmiştir

Çekirdek	Q(MeV)	T _{KPS}	T _{Xu}	T _{Bao}	T _{Soylu}	T _{CPPM}	T _{WKB}	T _{VSS}	T _{UNIV}	T _{Royer}	T _{UDL}	T _{Horoi}	CPPM				WKB			
													DM1	DM2	DM3	DM4	DM1	DM2	DM3	DM4
310 127	16.325	1.31e+29	3.03e+48	4.39e+13	1.39e+64	6.75e-10	1.26e-08	4.38e-09	3.71e-10	1.71e-09	1.64e-10	4.74e-09	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1
306 125	15.466	2.51e+23	1.29e+37	6.83e+11	1.02e+49	6.26e-09	7.84e-08	3.75e-08	2.47e-09	1.44e-08	1.44e-09	2.63e-08	α2	α2	α2	α2	α2	α2	α2	α2
302 123	14.405	1.96e+18	2.47e+27	9.73e+09	1.38e+36	1.70e-07	1.27e-06	8.61e-07	4.19e-08	3.51e-07	3.60e-08	3.57e-07	α3	α3	α3	α3	α3	α3	α3	α3
298 121	13.795	2.09e+14	1.72e+19	1.34e+10	2.48e+25	7.65e-07	4.41e-06	3.75e-06	1.61e-07	1.46e-06	1.56e-07	1.17e-06	α4	α4	α4	α4	α4	α4	α4	α4
294 119	12.633	2.27e+11	3.52e+12	6.35e+11	4.29e+16	6.24e-05	2.01e-04	2.37e-04	7.68e-06	1.07e-04	1.16e-05	4.19e-05	α5	α5	α5	α5	α5	α5	α5	α5
290 117	11.746	1.55e+08	1.73e+07	3.07e+10	5.12e+09	1.93e-03	4.05e-03	6.08e-03	1.68e-04	3.03e-03	3.37e-04	7.12e-04	α6	α6	α6	α6	α6	α6	α6	α6
286 115	10.406	2.63e+05	1.67e+03	2.96e+08	3.06e+04	1.69e+00	1.77e+00	3.49e+00	7.74e-02	2.41e+00	2.66e-01	2.07e-01	α7	α7	α7	α7	α7	α7	α7	α7
282 113	10.811	2.92e+02	2.58e+00	4.17e+03	6.67e+00	2.56e-02	3.65e-02	7.37e-02	1.94e-03	3.51e-02	4.18e-03	6.47e-03	α8	α8	α8	α8	α8	α8	α8	α8
278 111	10.956	3.98e+00	5.24e-02	6.22e+00	3.85e-02	2.26e-03	3.81e-03	8.06e-03	2.41e-04	2.98e-03	3.78e-04	8.69e-04	α9	α9	α9	α9	α9	α9	α9	α9
274 109	10.177	1.26e+01	1.15e-02	7.69e+04	4.30e-03	6.39e-02	7.36e-02	1.84e-01	5.14e-03	7.75e-02	9.99e-03	1.53e-02	α10	KF	α10	KF	α10	KF	α10	KF
270 107	8.783	5.39e+01	2.28e-02	3.24e+07	6.80e-03	3.01e+02	1.63e+02	4.84e+02	1.21e+01	3.33e+02	4.13e+01	2.30e+01	KF	α11	KF	α11	KF	α11	KF	α11
311 127	16.235	6.78e+31	1.03e+48	2.73e+23	4.17e+63	9.19e-10	9.94e-09	2.75e-09	4.78e-10	9.79e-10	2.22e-10	6.25e-09	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1
307 125	15.359	2.22e+22	4.22e+36	1.59e+07	2.95e+48	9.36e-09	6.74e-08	2.56e-08	3.45e-09	8.44e-09	2.13e-09	3.75e-08	α2	α2	α2	α2	α2	α2	α2	α2
303 123	14.436	2.85e+17	7.84e+26	1.07e+06	3.87e+35	1.42e-07	6.62e-07	7.84e-07	3.60e-08	1.06e-07	3.03e-08	3.19e-07	α3	α3	α3	α3	α3	α3	α3	α3
299 121	13.557	6.29e+13	5.29e+18	1.74e+07	6.75e+24	2.28e-06	6.99e-06	4.85e-06	4.08e-07	1.39e-06	4.56e-07	2.93e-06	α4	α4	α4	α4	α4	α4	α4	α4
295 119	12.666	4.58e+10	1.05e+12	1.46e+08	1.13e+16	5.06e-05	1.01e-04	9.20e-05	6.38e-06	2.51e-05	9.49e-06	3.64e-05	α5	α5	α5	α5	α5	α5	α5	α5
291 117	11.626	5.10e+07	5.02e+06	3.80e+07	1.30e+09	3.70e-03	4.43e-03	5.25e-03	2.98e-04	1.38e-03	6.40e-04	1.26e-03	α6	α6	α6	α6	α6	α6	α6	α6
287 115	10.409	9.50e+04	4.68e+02	4.80e+05	7.53e+03	1.60e+00	1.03e+00	1.57e+00	7.35e-02	4.02e-01	2.52e-01	2.05e-01	α7	α7	α7	α7	α7	α7	α7	α7
283 113	10.316	1.37e+02	7.00e-01	1.77e+01	1.58e+00	6.07e-01	3.97e-01	6.60e-01	3.31e-02	1.65e-01	9.50e-02	9.57e-02	α8	α8	α8	α8	α8	α8	α8	α8
279 111	10.513	7.76e-01	1.38e-02	1.03e-03	8.81e-03	3.41e-02	2.70e-02	1.33e-01	7.74e-03	3.18e-02	1.57e-02	2.35e-02	α9	KF	α9	KF	α9	KF	α9	KF
275 109	10.102	1.18e+00	2.94e-03	9.12e-01	9.50e-04	1.01e-01	6.81e-02	2.99e+01	1.63e+00	7.35e+00	4.78e+00	3.64e+00	α10	α10	α10	α10	α10	α10	α10	α10
271 107	9.056	7.79e+00	5.63e-03	2.48e+03	1.45e-03	3.39e+01	1.32e+01	1.68e-08	5.88e-09	4.51e-10	2.16e-09	2.08e-10	KF	α11	KF	α11	KF	α11	KF	α11
312 127	16.242	1.78e+31	2.30e+47	2.33e+26	8.61e+62	8.61e-10	1.68e-08	5.88e-09	4.51e-10	2.16e-09	2.08e-10	6.12e-09	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1
308 125	15.287	3.53e+20	9.18e+35	5.88e+47	5.88e+47	1.21e-08	1.51e-07	7.42e-08	2.75e-09	2.75e-08	2.75e-09	4.77e-08	α2	α2	α2	α2	α2	α2	α2	α2
304 123	14.210	7.59e+16	1.65e+26	4.82e+08	7.44e+34	3.78e-07	2.78e-06	1.94e-06	8.23e-08	7.68e-07	7.91e-08	7.26e-07	α3	α3	α3	α3	α3	α3	α3	α3
300 121	13.716	2.69e+13	1.08e+18	3.66e+10	1.25e+24	1.03e-06	6.22e-06	5.29e-06	2.06e-07	1.95e-06	2.09e-07	1.59e-06	α4	α4	α4	α4	α4	α4	α4	α4
296 119	12.383	1.70e+10	2.08e+11	1.49e+11	2.02e+15	2.18e-04	6.67e-04	2.28e-05	3.68e-04	3.99e-05	3.99e-05	1.25e-04	α5	α5	α5	α5	α5	α5	α5	α5
292 117	11.661	2.81e+07	9.63e+05	1.51e+11	2.25e+08	2.92e-03	6.40e-03	9.59e-03	2.41e-04	4.55e-03	5.07e-04	1.07e-03	α6	α6	α6	α6	α6	α6	α6	α6
288 115	10.305	6.34e+04	8.71e+01	3.68e+09	1.25e+03	3.11e+00	3.38e+00	6.61e+00	1.33e-01	4.39e+00	4.85e-01	3.68e-01	α7	α7	α7	α7	α7	α7	α7	α7
284 113	10.024	1.06e+02	1.26e-01	2.40e+05	2.53e-01	4.28e+00	4.25e+00	9.25e+00	1.93e-01	5.69e+00	6.54e-01	5.11e-01	α8	KF	α8	KF	α8	KF	α8	KF
280 111	10.064	5.10e-01	2.40e-03	8.19e+00	1.36e-01	6.41e-01	7.00e-01	1.63e+00	3.75e-02	8.08e-01	9.85e-02	1.10e-01	α9	α9	α9	α9	α9	α9	α9	α9
276 109	9.823	1.91e-01	4.97e-04	4.30e+01	1.40e-04	6.56e-01	6.70e-01	1.71e+00	4.14e-02	7.78e-01	9.90e-02	1.19e-01	KF	α10	KF	α10	KF	α10	KF	α10
272 107	9.078	1.07e+00	9.21e-04	7.90e+04	2.06e-04	2.76e+01	1.95e+01	5.61e+01	1.34e+00	3.04e+01	3.89e+00	3.15e+00	α11	α11	α11	α11	α11	α11	α11	α11
313 127	16.134	1.65e+30	3.41e+46	5.51e+22	1.23e+62	1.26e-09	1.41e-08	3.94e-09	6.17e-10	1.29e-09	3.03e-10	8.55e-09	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1
309 125	15.264	1.64e+19	1.32e+35	2.85e+00	8.08e+46	1.29e-08	9.62e-08	3.69e-08	4.47e-09	1.12e-08	2.91e-09	5.15e-08	α2	α2	α2	α2	α2	α2	α2	α2
305 123	14.078	5.26e+15	2.31e+25	2.02e+04	9.84e+33	6.67e-07	2.77e-06	1.54e-06	1.33e-07	4.35e-07	1.38e-07	1.19e-06	α3	α3	α3	α3	α3	α3	α3	α3
301 121	13.732	2.69e+12	1.46e+17	4.80e+06	1.59e+23	9.18e-07	3.41e-06	2.24e-06	1.86e-07	5.93e-07	1.87e-07	1.49e-06	α4	α4	α4	α4	α4	α4	α4	α4
297 119	12.333	4.27e+09	2.73e+10	5.36e+08	2.47e+14	2.76e-04	5.01e-04	4.76e-04	2.79e-05	1.20e-04	5.03e-05	1.56e-04	α5	α5	α5	α5	α5	α5	α5	α5
293 117	11.531	8.13e+06	1.22e+05	8.34e+08	2.64e+07	5.99e-03	7.44e-03	8.81e-03	4.53e-04	2.13e-03	1.03e-03	2.01e-03	α6	α6	α6	α6	α6	α6	α6	α6
289 115	10.205	1.29e+04	1.07e+01	5.15e+06	1.41e+02	5.96e+00	3.74e+00	5.72e+00	2.39e-01	1.35e+00	9.25e-01	6.56e-01	α7	α7	α7	α7	α7	α7	α7	α7
285 113	9.721	2.52e+01	1.51e-02	6.39e+02	2.74e-02	3.60e+01	1.83e+01	3.17e+01	1.33e+00	7.36e+00	5.36e+00	3.17e+00	KF	KF	α8	KF	KF	α8	KF	KF
281 111	9.675	1.16e-01	2.78e-04	2.04e-02	1.41e-04	9.46e+00	5.03e+00	9.40e+00	4.27e-01	2.14e+00	1.41e+00	1.11e+00	α9	α9	α9	α9	α9	α9	α9	α9
277 109	9.575	1.11e-02	5.57e-05	7.37e-04	1.40e-05	3.65e+00	1.96e+00	3.96e+00	1.95e-01	8.87e-01	5.38e-01	5.30e-01	KF	α10	KF	α10	KF	α10	KF	α10
314 127	15.300	2.85e+29	3.36e+45	5.41e+25	1.22e+61	3.57e-08	4.46e-07	1.97e-07	9.90e-09	8.34e-08	7.95e-09	1.26e-07	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1	α1
310 125	15.806	4.38e+22	1.26e+34	1.42e+19	7.69e+45	1.37e-09	2.50e-08	1.06e-08	6.95e-10	3.20e-09	3.27e-10	8.86e-09	α2	α2	α2	α2	α2	α2	α2	α2
306 123	14.113	6.74e+14	2.13e+24	3.46e+06	8.99e+32	5.47e-07	4.16e-06	2.92e-06	1.12e-07	1.10e-06	1.13e-07	1.04e-06	α3	α3	α3	α3	α3	α3	α3	α3
302 121	13.402	5.13e+11	1.31e+16	3.01e+09	1.39e+22	4.31e-06	2.38e-05	2.13e-05	7.00e-07	7.96e-06	8.53e-07	5.42e-06	α4	α4	α4	α4	α4	α4	α4	α4
298 119	12.623	7.73e+08	2.38e+09	2.37e+11	2.07e+13	2.68e-05	2.18e-04	2.50e-04	6.98e-06	9.63e-05	1.06e-05	4.41e-05	α5	α5	α5	α5	α5	α5	α5	α5
294 117	11.286	2.87e+06	1.03e+04	4.26e+12	2.12e+06	2.49e-02	4.82e-02	7.54e-02	1.60e-03	3.79e-02	4.20e-03	6.75e-03	α6	α6	α6	α6	α6	α6	α6	α6
290 115	10.194	4.78e+03	8.77e-01	3.15e+10	1.08e+01	6.19e+00	6.92e+00	1.35e+01	2.47e-01	8.66e+00	9.60e-01	6.99e-01	α7	KF	α7	KF	α7	KF	α7	KF
286 113	9.403	1.09e+01	1.19e-03	7.38e+06	2.01e-03	3.75e+00	1.85e+02	6.42e+02	1.12e+01	4.89e+02	5.46e+01	2.37e+01	KF	α8	KF	KF	α8	KF	α8	KF
282 111	9.245	4.75e-02	2.13e-05	2.19e+02	9.88e-06	2.28e+02	1.69e+02	4.14e+02	7.73e+00	2.79e+02	3.26e+01	1.70e+01	α9	α9	α9	α9	α9	α9	α9	α9
278 109	9.446	2.36e-03	4.14e-06	8.27e-01	9.37e-07	9.00e+00	8.04e+00	2.08e+01	4.40e-01	1.04e+01	1.31e+00</									

Çizelge 5.5. Z=127 izotopunun AB ve KF yarı-ömürlerin sonuçları ve bozunma modu tahminleri. Tüm sonuçlar saniye cinsinden verilmiştir (Devamı)

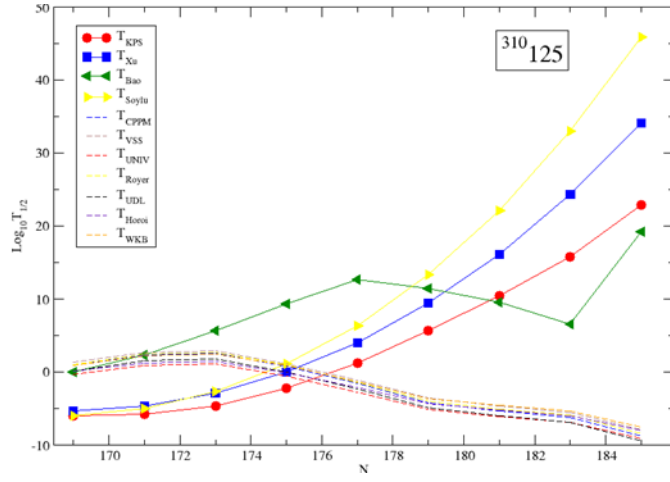
Çekirdek	Q(MeV)	T _{KPS}	T _{Xu}	T _{Bao}	T _{Soylu}	T _{CPPM}	T _{WKB}	T _{VSS}	T _{UNIV}	T _{Royer}	T _{UDL}	T _{Horoi}	CPPM				WKB			
													DM1	DM2	DM3	DM4	DM1	DM2	DM3	DM4
315 127	14.979	1.91e+28	2.19e+44	2.01e+22	8.42e+59	1.36e-07	8.63e-07	3.19e-07	3.04e-08	9.57e-08	2.94e-08	3.77e-07	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
311 125	15.742	2.53e+21	7.99e+32	2.21e+15	5.08e+44	1.71e-09	1.83e-08	6.12e-09	8.30e-10	1.71e-09	4.04e-10	1.09e-08	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
307 123	14.132	2.18e+13	1.31e+23	4.70e+01	5.68e+31	4.83e-07	2.26e-06	1.23e-06	1.00e-07	3.18e-07	1.00e-07	9.71e-07	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3
303 121	13.220	2.35e+10	7.81e+14	1.27e+05	8.43e+20	1.01e-05	3.08e-05	2.22e-05	1.46e-06	5.42e-06	1.98e-06	1.12e-05	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4
299 119	12.674	5.25e+07	1.37e+08	3.91e+07	1.19e+12	4.19e-05	1.01e-04	8.85e-05	5.33e-06	2.05e-05	7.87e-06	3.54e-05	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5
295 117	11.206	2.50e+05	5.78e+02	1.70e+09	1.17e+05	3.90e-02	4.41e-02	5.39e-02	2.38e-03	1.20e-02	6.54e-03	1.01e-02	a6	a6	a6	a6	a6	a6	a6	a6
291 115	10.103	9.14e+02	4.75e-02	2.46e+08	5.70e-01	1.12e+01	7.28e+00	1.11e+01	4.22e-01	2.41e+00	1.73e+00	1.19e+00	a7	KF	a7	KF	a7	KF	a7	KF
287 113	9.258	1.41e+00	6.26e-05	1.44e+04	1.01e-04	1.11e+03	4.74e+02	8.32e+02	3.02e+01	1.80e+02	1.60e+02	6.11e+01	KF		a8		KF		a8	
283 111	8.943	6.55e-03	1.09e-06	6.32e-01	4.71e-07	2.40e+03	9.10e+02	1.75e+03	6.66e+01	3.73e+02	3.35e+02	1.29e+02			KF				KF	
316 127	14.683	2.00e+27	9.49e+42	1.53e+25	4.06e+58	4.80e-07	4.63e-06	2.34e-06	8.83e-08	1.07e-06	1.02e-07	1.07e-06	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
312 125	14.979	3.02e+20	3.36e+31	2.08e+18	2.34e+43	3.84e-08	4.78e-07	2.46e-07	1.11e-08	8.41e-08	8.47e-09	1.36e-07	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
308 123	14.677	4.14e+11	5.34e+21	3.36e+01	2.49e+30	4.10e-08	4.70e-07	2.85e-07	1.24e-08	8.46e-08	8.96e-09	1.37e-07	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3
304 121	13.188	2.17e+09	3.08e+13	3.00e+07	3.52e+19	1.15e-05	6.13e-05	5.67e-05	1.62e-06	2.08e-05	2.23e-06	1.28e-05	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4
300 119	12.482	6.29e+06	5.25e+06	2.24e+10	4.76e+10	1.11e-04	4.30e-04	4.97e-04	1.24e-05	1.85e-04	2.05e-05	8.13e-05	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5
296 117	11.413	3.67e+04	2.14e+01	2.01e+12	4.42e+03	1.08e-02	2.45e-02	3.70e-02	7.53e-04	1.64e-02	1.83e-03	3.59e-03	a6	a6	a6	a6	a6	a6	a6	a6
292 115	9.844	2.14e+02	1.71e-03	1.77e+12	2.05e-02	6.94e+01	6.95e+01	1.37e+02	2.19e+00	9.55e+01	1.05e+01	5.64e+00	a7	KF	a7	KF	a7	KF	a7	KF
288 113	9.260	3.23e-01	2.18e-06	1.04e+08	3.45e-06	1.06e+03	8.09e+02	1.80e+03	2.87e+01	1.36e+03	1.52e+02	6.04e+01	KF		a8		KF		a8	
284 111	8.605	1.68e-03	3.66e-08	8.50e+03	1.53e-08	3.90e+04	2.18e+04	5.36e+04	8.68e+02	4.70e+04	5.30e+03	1.43e+03			KF				KF	
317 127	14.440	7.09e+25	2.73e+41	2.56e+21	1.37e+57	1.39e-06	7.14e-06	2.95e-06	2.17e-07	8.13e-07	2.88e-07	2.57e-06	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
313 125	14.187	1.29e+19	9.34e+29	5.42e+14	7.52e+41	1.25e-06	6.07e-06	2.92e-06	2.11e-07	7.48e-07	2.58e-07	2.29e-06	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
309 123	15.145	6.76e+09	1.44e+20	1.87e-04	7.62e+28	5.44e-09	4.95e-08	2.07e-08	2.27e-09	4.96e-09	1.24e-09	2.76e-08	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3
305 121	13.179	4.94e+07	8.07e+11	5.15e+02	1.02e+18	1.16e-05	3.75e-05	2.69e-05	1.62e-06	6.04e-06	2.25e-06	1.33e-05	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4
301 119	12.336	1.93e+05	1.33e+05	1.09e+06	1.31e+09	2.34e-04	5.08e-04	4.67e-04	2.38e-05	9.96e-05	4.27e-05	1.55e-04	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5
297 117	11.529	1.61e+03	5.27e-01	3.74e+08	1.16e+02	5.23e-03	7.75e-03	8.88e-03	3.94e-04	1.82e-03	8.98e-04	2.03e-03	a6	a6	a6	a6	a6	a6	a6	a6
293 115	9.626	1.59e+01	4.07e-05	2.52e+09	5.09e-04	3.38e+02	1.82e+02	2.83e+02	9.26e+00	5.74e+01	5.02e+01	2.19e+01	KF	KF	a7	KF	KF	KF	a7	KF
289 113	9.235	2.19e-02	5.04e-08	1.18e+05	8.11e-08	1.24e+03	5.73e+02	9.88e+02	3.32e+01	1.97e+02	1.79e+02	7.17e+01			a8				a8	
285 111	8.376	1.35e-04	8.19e-10	2.24e+01	3.41e-10	2.80e+05	8.36e+04	1.59e+05	5.35e+03	3.18e+04	3.73e+04	7.88e+03			KF				KF	
318 127	14.333	2.97e+24	5.19e+39	2.96e+23	3.25e+55	2.19e-06	1.90e-05	1.03e-05	3.21e-07	4.78e-06	4.52e-07	3.82e-06	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
314 125	13.891	9.77e+17	1.73e+28	4.60e+17	1.69e+40	4.85e-06	3.56e-05	2.33e-05	6.72e-07	9.88e-06	9.74e-07	7.03e-06	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
310 123	14.411	2.20e+09	2.58e+18	3.28e+01	1.63e+27	1.23e-07	1.32e-06	8.39e-07	3.10e-08	2.47e-07	2.62e-08	3.52e-07	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3
306 121	13.720	6.01e+05	1.40e+10	3.14e+02	2.07e+16	8.12e-07	6.39e-06	5.19e-06	1.64e-07	1.50e-06	1.65e-07	1.57e-06	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4
302 119	12.337	1.25e+04	2.24e+03	3.43e+08	2.51e+07	2.25e-04	8.75e-04	1.02e-03	2.28e-05	3.70e-04	4.10e-05	1.54e-04	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5
298 117	11.430	1.28e+02	8.59e-03	2.61e+11	2.10e+00	9.10e-03	2.28e-02	3.38e-02	6.42e-04	1.37e-02	1.55e-03	3.32e-03	a6	KF	a6	a6	a6	KF	a6	a6
294 115	9.610	2.00e+00	6.44e-07	1.06e+13	8.71e-06	3.68e+02	3.52e+02	6.96e+02	9.96e+00	5.00e+02	5.46e+01	2.43e+01	KF		a7	KF	KF		a7	KF
290 113	9.075	3.52e-03	7.72e-10	1.47e+09	1.31e-09	4.29e+03	3.23e+03	7.13e+03	1.03e+02	5.46e+03	6.08e+02	2.10e+02			a8				a8	
286 111	8.359	1.77e-05	1.22e-11	1.60e+05	5.19e-12	3.14e+05	1.66e+05	4.01e+05	5.92e+03	3.74e+05	4.18e+04	8.98e+03			KF				KF	
319 127	14.045	4.70e+22	6.55e+37	1.10e+19	5.43e+53	8.20e-06	3.69e-05	1.64e-05	9.91e-07	4.16e-06	1.65e-06	1.13e-05	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
315 125	13.680	2.50e+16	2.11e+26	8.51e+13	2.68e+38	1.30e-05	5.17e-05	2.74e-05	1.57e-06	6.45e-06	2.57e-06	1.60e-05	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
311 123	13.570	8.10e+07	3.06e+16	2.03e-02	2.43e+25	5.94e-06	2.41e-05	1.44e-05	8.49e-07	3.16e-06	1.18e-06	8.35e-06	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3
307 121	14.247	6.81e+03	1.61e+08	2.02e-03	2.92e+14	7.02e-08	4.54e-07	2.53e-07	2.03e-08	5.23e-08	1.49e-08	2.21e-07	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4
303 119	12.328	1.96e+02	2.50e+01	7.25e+03	3.35e+05	2.29e-04	5.38e-04	4.88e-04	2.30e-05	9.59e-05	4.16e-05	1.61e-04	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5
299 117	11.370	2.91e+00	9.30e-05	2.26e+07	2.64e-02	1.26e-02	1.85e-02	2.14e-02	8.50e-04	4.04e-03	2.12e-03	4.47e-03	a6	KF	a6	a6	a6	KF	a6	a6
295 115	9.637	5.77e-02	6.75e-09	2.54e+09	1.03e-07	2.89e+02	1.71e+02	2.61e+02	7.94e+00	4.87e+01	4.29e+01	2.05e+01			a7	KF	KF		a7	KF
291 113	8.823	1.69e-04	7.84e-12	2.85e+06	1.46e-11	3.31e+04	1.32e+04	2.26e+04	6.74e+02	4.19e+03	4.61e+03	1.22e+03			a8				a8	
287 111	8.360	4.76e-07	1.20e-13	4.38e+01	5.45e-14	3.01e+05	9.74e+04	1.82e+05	5.66e+03	3.35e+04	4.01e+04	8.95e+03			KF				KF	

Çizelge 5.6. Z=127 izotopunun AB ve KF yarı-ömürlerin sonuçları ve bozunma modu tahminleri. Tüm sonuçlar saniye cinsinden verilmiştir (Devamı)

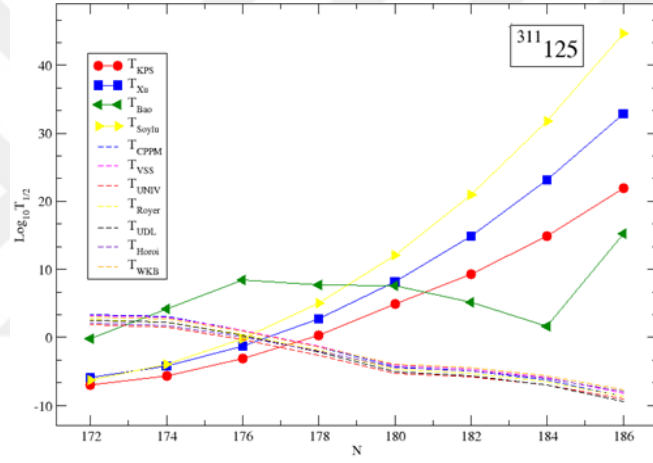
Çekirdek	Q(MeV)	T _{KPS}	T _{Xu}	T _{Bao}	T _{Soylu}	T _{CPPM}	T _{WKB}	T _{VSS}	T _{UNIV}	T _{Royer}	T _{UDL}	T _{Horoi}	CPPM				WKB			
													DM1	DM2	DM3	DM4	DM1	DM2	DM3	DM4
320127	13.661	1.02e+21	5.49e+35	4.91e+20	6.41e+51	5.09e-05	3.32e-04	2.04e-04	4.78e-06	1.07e-04	9.97e-06	5.04e-05	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
316125	13.629	7.76e+14	1.72e+24	1.17e+16	2.98e+36	1.60e-05	1.11e-04	7.57e-05	1.87e-06	3.19e-05	3.15e-06	1.95e-05	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
312123	12.804	3.17e+06	2.41e+14	5.80e+00	2.55e+23	2.79e-04	1.32e-03	1.17e-03	2.40e-05	5.11e-04	5.20e-05	1.96e-04	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3
308121	13.978	3.45e+02	1.23e+06	1.40e+00	2.89e+12	2.29e-07	2.27e-06	1.71e-06	5.51e-08	4.25e-07	4.74e-08	5.94e-07	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4
304119	12.841	1.48e+00	1.85e-01	3.67e+03	3.12e+03	1.49e-05	8.38e-05	8.76e-05	2.11e-06	2.48e-05	2.82e-06	1.76e-05	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5	a5
300117	11.461	1.33e-01	6.67e-07	1.08e+10	2.31e-04	7.06e-03	1.96e-02	2.84e-02	5.07e-04	1.05e-02	1.20e-03	2.86e-03	a6	KF	a6	KF	a6	KF	a6	KF
296115	9.521	3.49e-03	4.69e-11	3.90e+12	8.51e-10	6.75e+02	6.72e+02	1.31e+03	1.72e+01	9.08e+02	9.94e+01	4.30e+01	KF		a7		KF		a7	
292113	8.626	1.30e-05	5.28e-14	1.29e+10	1.13e-13	1.73e+05	1.10e+05	2.41e+05	3.09e+03	2.17e+05	2.37e+04	5.09e+03			a8				a8	
288111	8.350	2.65e-08	7.82e-16	7.64e+04	3.96e-16	3.20e+05	1.84e+05	4.36e+05	5.95e+03	3.77e+05	4.25e+04	9.72e+03			KF				KF	
321127	13.262	1.02e+19	3.05e+33	1.42e+16	5.36e+49	3.71e-04	1.19e-03	6.12e-04	2.69e-05	1.42e-04	7.07e-05	2.56e-04	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
317125	13.585	9.09e+12	9.24e+21	5.18e+11	2.35e+34	1.92e-05	7.91e-05	4.22e-05	2.18e-06	9.15e-06	3.77e-06	2.33e-05	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
313123	12.562	5.17e+04	1.26e+12	7.85e-04	1.85e-21	9.85e-04	2.48e-03	1.78e-03	7.21e-05	3.60e-04	1.80e-04	5.62e-04	a3	a3	KF	a3	a3	a3	KF	a3
309121	13.169	8.33e+00	6.24e+03	7.83e-04	2.01e+10	1.06e-05	4.04e-05	2.81e-05	1.47e-06	5.37e-06	2.04e-06	1.39e-05	a4	a4		a4	a4	a4		a4
305119	13.337	1.16e-02	9.10e-04	2.88e-02	2.04e-01	1.23e-06	5.57e-06	4.07e-06	2.44e-07	7.32e-07	2.42e-07	2.13e-06	a5	a5		a5	a5	a5		a5
301117	11.524	1.37e-03	3.18e-09	2.55e+05	1.42e-06	4.71e-03	8.25e-03	9.15e-03	3.51e-04	1.59e-03	8.03e-04	2.30e-03	KF	KF		KF	KF	KF		KF
322127	13.103	1.59e+17	1.12e+31	7.76e+17	3.19e+47	8.22e-04	4.31e-03	2.92e-03	5.38e-05	1.67e-03	1.55e-04	5.00e-04	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
318125	13.243	1.38e+11	3.30e+19	2.15e+13	1.31e+32	1.03e-04	6.30e-04	4.58e-04	9.36e-06	2.01e-04	1.98e-05	9.34e-05	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
314123	12.529	1.23e+03	4.37e+09	1.58e-01	9.89e+18	1.14e-03	5.03e-03	4.61e-03	8.14e-05	2.04e-03	2.07e-04	6.50e-04	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3	a3
310121	12.372	2.29e-01	2.10e+01	2.56e-01	9.87e+07	6.60e-04	2.88e-03	2.97e-03	5.39e-05	1.12e-03	1.19e-04	4.19e-04	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4	a4
306119	13.111	3.52e-05	2.96e-06	2.31e-03	9.36e-02	3.57e-06	2.55e-05	2.48e-05	6.09e-07	5.96e-06	6.90e-07	5.77e-06	a5	KF	a5	a5	a5	KF	a5	a5
302117	12.137	6.16e-06	1.00e-11	9.65e+04	6.08e-09	1.41e-04	6.27e-04	7.97e-04	1.59e-05	2.14e-04	2.53e-05	1.19e-04	KF		a6	KF	KF		a6	KF
298115	9.454	1.50e-06	6.63e-16	2.08e+11	1.96e-14	1.05e+03	1.10e+03	2.12e+03	2.55e+01	1.40e+03	1.54e+02	6.64e+01			a7				a7	
294113	8.269	8.96e-09	7.01e-19	6.36e+09	2.28e-18	4.01e+06	2.27e+06	4.85e+06	5.66e+04	4.99e+06	5.35e+05	7.72e+04			a8				a8	
290111	7.959	2.54e-11	9.73e-21	2.32e+05	6.95e-21	1.13e+07	5.66e+06	1.30e+07	1.62e+05	1.32e+07	1.46e+06	2.15e+05			KF				KF	
323127	13.085	1.22e+15	2.74e+28	3.49e+13	1.35e+45	8.75e-04	2.77e-03	1.46e-03	5.66e-05	3.12e-04	1.65e-04	5.42e-04	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
319125	12.787	4.22e+05	7.83e+16	1.14e-04	5.19e+29	1.09e-03	3.14e-03	1.93e-03	7.31e-05	3.86e-04	2.02e-04	6.46e-04	a2	a2	a2	a2	a2	a2	KF	a2
315123	12.517	1.28e+01	1.00e+07	1.76e-05	3.67e+16	1.17e-03	3.13e-03	2.23e-03	8.32e-05	4.16e-04	2.13e-04	6.86e-04	a3	a3	KF	a3	a3	a3		a3
311121	11.726	2.46e-03	4.67e-02	3.12e-05	3.42e+05	2.52e-02	4.67e-02	4.17e-02	1.35e-03	7.35e-03	4.35e-03	8.54e-03	KF		a4	KF	KF		a4	
307119	12.691	4.44e-07	6.40e-09	5.27e-07	3.03e-04	2.91e-05	9.93e-05	8.14e-05	3.72e-06	1.36e-05	5.40e-06	3.32e-05		KF	a5				a5	
303117	12.690	3.18e-08	2.10e-14	8.36e-01	1.84e-11	7.41e-06	2.73e-05	2.43e-05	1.21e-06	3.84e-06	1.39e-06	1.06e-05			KF				KF	
324127	13.204	1.02e+16	4.45e+25	1.65e+26	4.07e+42	4.52e-04	2.73e-03	1.79e-03	3.16e-05	9.16e-04	8.57e-05	3.28e-04	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
320125	12.404	7.74e+03	1.23e+14	4.04e-02	1.46e+27	8.65e-03	3.62e-02	3.04e-02	4.53e-04	1.62e-02	1.56e-03	3.56e-03	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
316123	12.359	2.26e-01	1.53e+04	5.03e-03	9.67e+13	2.71e-03	1.19e-02	1.10e-02	1.73e-04	4.79e-03	4.87e-04	1.40e-03	a3	a3	a3	a3	a3	a3	KF	a3
312121	11.600	3.95e-05	6.91e-05	6.10e-03	8.41e+02	5.17e-02	1.60e-01	1.84e-01	2.54e-03	8.44e-02	8.82e-03	1.58e-02	KF	KF	KF	a4	KF	KF		a4
308119	11.971	7.65e-09	9.18e-12	1.41e-04	6.93e-07	1.39e-03	5.64e-03	6.71e-03	1.09e-04	2.17e-03	2.43e-04	8.23e-04			KF				KF	
325127	13.241	1.13e+14	4.78e+22	1.19e+23	8.82e+39	3.60e-04	1.35e-03	6.77e-04	2.57e-05	1.34e-04	6.83e-05	2.81e-04	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
321125	12.212	1.37e+07	1.28e+11	1.27e+15	2.95e+24	2.48e-02	5.70e-02	3.82e-02	1.15e-03	7.02e-03	4.42e-03	8.62e-03	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
317123	12.041	1.87e-03	1.55e+01	1.00e-06	1.82e+11	1.59e-02	3.56e-02	2.70e-02	8.26e-04	4.66e-03	2.79e-03	6.09e-03	KF	a3	KF	a3	KF	a3	KF	a3
313121	11.588	2.67e-07	6.78e-08	5.62e-07	1.47e+00	5.38e-02	1.00e-01	8.99e-02	2.61e-03	1.46e-02	9.15e-03	1.68e-02		KF	a4			KF		a4
309119	11.281	5.63e-11	8.74e-15	1.91e-08	1.13e-09	7.90e-02	1.33e-01	1.36e-01	3.94e-03	2.11e-02	1.31e-02	2.37e-02			KF				KF	
326127	13.181	2.72e+12	3.41e+19	5.23e+26	1.37e+37	4.75e-04	3.08e-03	1.99e-03	3.27e-05	9.51e-04	8.97e-05	3.61e-04	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
322125	12.216	2.72e+05	8.89e+07	2.42e+18	4.27e+21	2.35e-02	9.65e-02	8.22e-02	1.09e-03	4.32e-02	4.17e-03	8.47e-03	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2	a2
318123	11.675	2.71e-05	1.04e-02	5.54e-04	2.44e+08	1.34e-01	4.38e-01	4.48e-01	5.48e-03	2.29e-01	2.29e-02	3.56e-02	KF	KF	KF	a3	KF	KF	KF	a3
314121	11.436	3.26e-09	4.42e-11	1.67e-04	1.83e-03	1.31e-01	4.02e-01	4.69e-01	5.76e-03	2.11e-01	2.21e-02	3.60e-02			KF				KF	
327127	13.065	8.34e+04	1.62e+16	1.33e+03	1.53e+34	8.47e-04	1.60e-03	5.39e-05	2.93e-04	1.59e-04	5.92e-04	3.13e-03	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1	a1
323125	12.324	1.49e-02	4.08e+04	5.09e-05	4.43e+18	1.22e-02	3.24e-02	2.10e-02	6.05e-04	3.56e-03	2.18e-03	5.13e-03	a2	a2	a2	a2	a2	a2	KF	a2
319123	11.320	1.63e-07	4.63e-06	1.34e-07	1.34e+05	1.16e+00	1.91e+00	1.59e+00	3.79e-02	2.53e-01	1.95e-01	2.15e-01	KF	KF	KF	a3	KF	KF		a3
315121	11.150	1.62e-11	1.91e-14	2.00e-08	1.63e-06	7.59e-01	1.21e+00	1.13e+00	2.77e-02	1.71e-01	1.25e-01	1.57e-01			KF				KF	

Çizelge 5.7. Z=127 izotopunun AB ve KF yarı-ömürlerin sonuçları ve bozunma modu tahminleri. Tüm sonuçlar saniye cinsinden verilmiştir (Devamı)

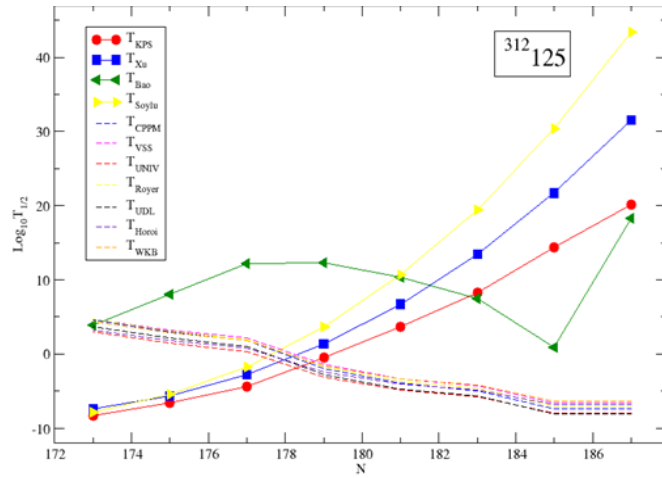
Çekirdek	Q(MeV)	T _{KPS}	T _{Xu}	T _{Bao}	T _{Soylu}	T _{CPPM}	T _{WKB}	T _{VSS}	T _{UNIV}	T _{Royer}	T _{UDL}	T _{Horoi}	CPPM				WKB			
													DM1	DM2	DM3	DM4	DM1	DM2	DM3	DM4
³²⁸ 127	13.019	1.41e+03	5.08e+12	5.66e+06	1.24e+31	1.05e-03	6.74e-03	4.44e-03	6.47e-05	2.07e-03	1.95e-04	7.22e-04	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁
³²⁴ 125	12.289	3.24e-04	1.24e+01	5.18e-01	3.31e+15	1.45e-02	6.71e-02	5.57e-02	6.99e-04	2.64e-02	2.57e-03	6.05e-03	KF	a ₂	a ₂	a ₂	KF	a ₂	a ₂	a ₂
³²⁰ 123	11.999	1.44e-09	1.37e-09	4.45e-05	1.62e+02	1.84e-02	7.78e-02	7.46e-02	9.23e-04	3.14e-02	3.20e-03	7.46e-03		KF	KF			KF	KF	
³¹⁶ 121	10.069	1.44e-13	5.47e-18	7.16e-06	1.04e-09	1.22e+03	1.93e+03	2.58e+03	2.23e+01	1.90e+03	1.89e+02	7.03e+01			KF					KF
³²⁹ 127	12.698	2.83e+02	1.06e+09	3.17e+09	7.22e+27	5.74e-03	1.89e-02	1.02e-02	2.88e-04	1.71e-03	1.05e-03	2.92e-03	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁
³²⁵ 125	12.209	2.57e-06	2.52e-03	1.34e-03	1.78e+12	2.21e-02	5.96e-02	3.88e-02	1.01e-03	6.07e-03	3.90e-03	8.77e-03	KF	KF	KF	a ₂	KF	KF	KF	a ₂
³²¹ 123	12.048	6.99e-12	2.69e-13	1.78e-08	8.05e-02	1.34e-02	3.54e-02	2.61e-02	6.93e-04	3.83e-03	2.34e-03	5.93e-03				a ₃				a ₃
³¹⁷ 121	10.659	5.83e-16	1.04e-21	1.52e-09	4.76e-13	1.80e+01	2.38e+01	2.33e+01	4.76e-01	3.24e+00	2.87e+00	2.25e+00			KF					KF
³³⁰ 127	12.516	2.08e+00	1.46e+05	2.03e+12	3.06e+24	1.53e-02	8.16e-02	5.79e-02	6.82e-04	2.94e-02	2.76e-03	6.63e-03	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁
³²⁶ 125	12.337	3.24e-04	3.38e-07	6.53e+00	6.96e+08	1.03e-02	5.32e-02	4.31e-02	5.12e-04	1.86e-02	1.83e-03	4.86e-03	KF	KF	KF	a ₂	KF	KF	a ₂	a ₂
³²² 123	11.840	4.79e-14	3.50e-17	8.39e-06	2.89e-05	4.39e-02	1.85e-01	1.79e-01	1.98e-03	7.37e-02	7.53e-03	1.60e-02			KF				KF	KF
³³¹ 127	12.481	4.00e-03	1.34e+01	8.89e+07	9.43e+20	1.80e-02	5.73e-02	3.17e-02	7.84e-04	4.91e-03	3.24e-03	7.78e-03	KF	a ₁	a ₁	a ₁	KF	a ₁	a ₁	a ₁
³¹⁷ 125	12.448	1.41e-10	3.01e-11	5.93e-03	1.97e+05	5.35e-03	1.78e-02	1.09e-02	2.84e-04	1.59e-03	9.54e-04	2.93e-03		KF	KF	a ₂		KF	KF	a ₂
³²³ 123	11.573	2.68e-16	3.02e-21	2.08e-08	7.52e-09	2.12e-01	4.69e-01	3.66e-01	8.02e-03	4.96e-02	3.58e-02	5.97e-02			KF					KF
³³² 127	12.245	1.63e-05	8.20e-04	2.02e+10	2.12e+17	6.76e-02	3.38e-01	2.47e-01	2.52e-03	1.28e-01	1.20e-02	2.32e-02	KF	KF	a ₁	a ₁	KF	KF	a ₁	a ₁
³²⁸ 125	12.493	2.11e-11	1.78e-15	1.10e+06	4.06e+01	4.04e-03	2.45e-02	1.90e-02	2.20e-04	7.22e-03	7.19e-04	2.40e-03				a ₂				a ₂
³²⁴ 123	11.392	2.36e-18	1.73e-25	8.99e-05	1.42e-12	6.30e-01	2.25e+00	2.29e+00	2.11e-02	1.04e+00	1.05e-01	1.49e-01			KF				KF	KF
³³³ 127	12.054	3.02e-08	3.32e-08	2.55e+06	3.47e+13	2.01e-01	5.51e-01	3.22e-01	6.63e-03	4.59e-02	3.52e-02	5.75e-02	KF	KF	a ₁	a ₁	KF	KF	a ₁	a ₁
³²⁹ 125	11.668	3.84e-14	6.98e-20	1.28e+02	6.10e-03	4.85e-01	1.15e+00	7.88e-01	1.56e-02	1.05e-01	8.25e-02	1.20e-01			KF				a ₂	KF
³²⁵ 123	12.041	7.22e-21	6.60e-30	7.80e-08	1.95e-16	1.23e-02	3.79e-02	2.71e-02	6.26e-04	3.40e-03	2.12e-03	6.17e-03							KF	
³³⁴ 127	11.989	1.06e-10	8.90e-13	1.05e+09	4.17e+09	2.87e-01	1.36e+00	1.02e+00	9.06e-03	5.34e-01	5.00e-02	7.89e-02	KF	KF	a ₁	a ₁	KF	KF	a ₁	a ₁
³³⁰ 125	11.379	1.07e-16	1.82e-24	2.22e+04	6.70e-07	2.86e+00	1.04e+01	9.42e+00	7.62e-02	4.95e+00	4.79e-01	5.24e-01							a ₂	KF
³²⁶ 123	12.091	3.43e-23	1.67e-34	1.09e-04	1.96e-20	8.98e-03	5.05e-02	4.56e-02	4.69e-04	1.47e-02	1.54e-03	4.89e-03							KF	
³³⁵ 127	11.847	1.78e-13	1.59e-17	2.81e+05	3.68e+05	6.56e-01	1.74e+00	1.03e+00	1.89e-02	1.36e-01	1.13e-01	1.58e-01	KF	KF	a ₁	a ₁	KF	KF	a ₁	a ₁
³³¹ 125	11.199	1.26e-19	3.15e-29	1.57e+00	5.39e-11	8.83e+00	1.77e+01	1.27e+01	2.10e-01	1.56e+00	1.46e+00	1.35e+00			KF	KF			KF	KF
³³⁶ 127	11.172	6.40e-16	1.88e-22	3.91e+08	2.39e+01	4.64e+01	1.55e+02	1.28e+02	8.77e-01	8.49e+01	7.79e+00	5.11e+00	KF	KF	a ₁	a ₁	KF	KF	a ₁	KF
³³² 125	11.027	3.16e-22	3.61e-34	5.72e+02	3.19e-15	2.67e+01	8.69e+01	8.11e+01	5.66e-01	4.55e+01	4.37e+00	3.41e+00							a ₂	
³²⁸ 123	12.118	1.64e-28	3.12e-44	2.03e-05	7.71e-29	7.23e-03	4.44e-02	3.93e-02	3.81e-04	1.17e-02	1.23e-03	4.31e-03							KF	
³³⁷ 127	10.745	1.06e-18	1.48e-27	3.02e+05	1.14e-03	8.38e+02	1.36e+03	9.10e+02	1.21e+01	1.10e+02	1.38e+02	5.48e+01	KF	KF	a ₁	a ₁	KF	KF	a ₁	KF
³³³ 125	11.022	4.12e-25	2.75e-39	1.85e-01	1.39e-19	2.67e+01	5.25e+01	3.80e+01	5.62e-01	4.32e+00	4.36e+00	3.50e+00			KF				KF	
³³⁸ 127	10.467	2.92e-21	7.69e-33	4.42e+08	4.05e-08	5.96e+03	1.50e+04	3.1e+04	7.27e+01	1.08e+04	9.75e+02	2.77e+02	KF	KF	a ₁	a ₁	KF	KF	a ₁	KF
³³⁴ 125	10.816	1.09e-27	1.39e-44	2.45e+02	4.46e-24	1.05e+02	3.30e+02	3.10e+02	1.93e+00	1.76e+02	1.69e+01	1.09e+01							KF	
³³⁹ 127	10.925	3.50e-24	2.66e-38	2.85e+05	1.06e-12	2.25e+02	4.33e+02	2.80e+02	3.61e+00	3.14e+01	3.72e+01	1.99e+01	KF	KF	a ₁	a ₁	KF	KF	a ₁	KF
³³⁵ 125	9.827	1.28e-30	4.68e-50	1.55e-01	1.06e-28	1.48e+05	1.69e+05	1.33e+05	1.48e+03	1.39e+04	2.31e+04	4.19e+03			KF				KF	



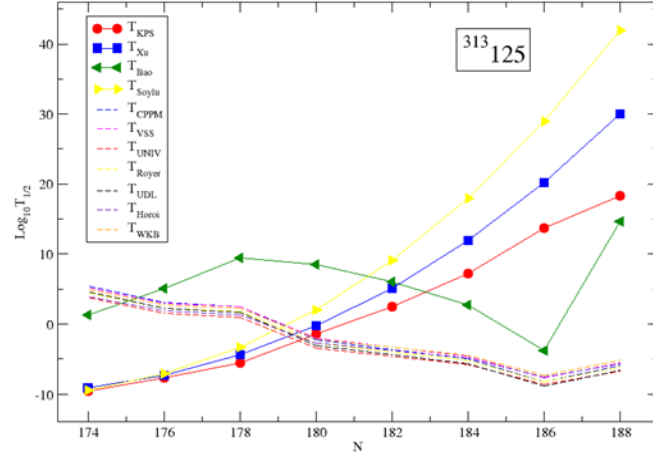
Şekil 5.1. $^{310}_{125}$ izotop için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



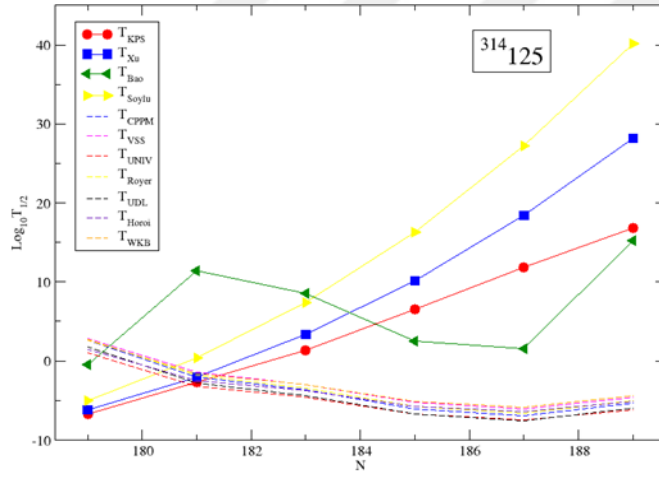
Şekil 5.2. $^{311}_{125}$ izotop için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



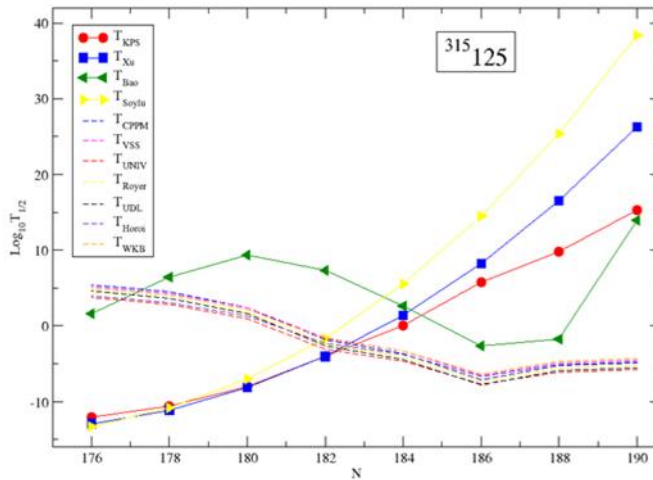
Şekil 5.3. $^{312}_{125}$ izotop için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



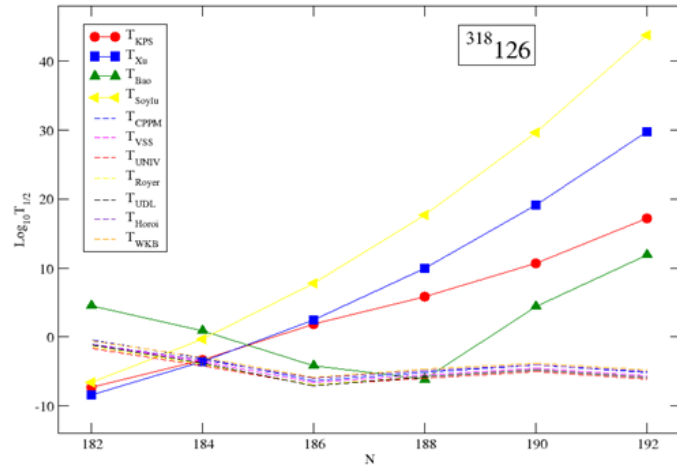
Şekil 5.4. $^{313}_{125}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



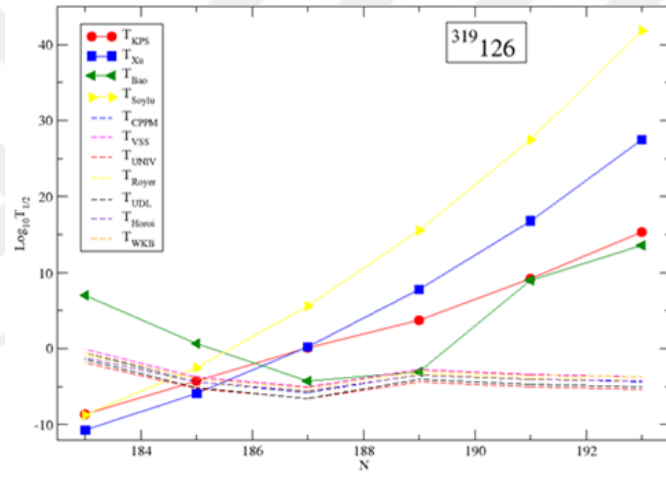
Şekil 5.5. $^{314}_{125}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



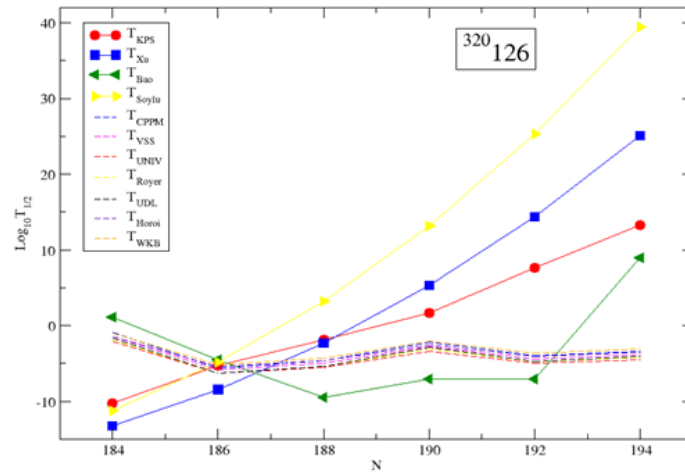
Şekil 5.6. $^{315}_{125}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



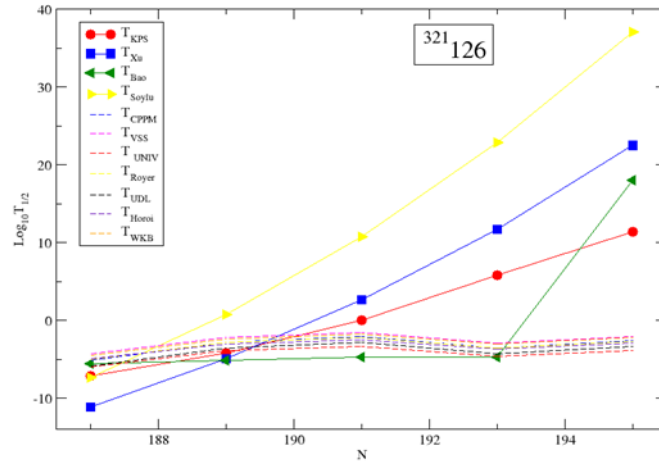
Şekil 5.7. $^{318}\text{126}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



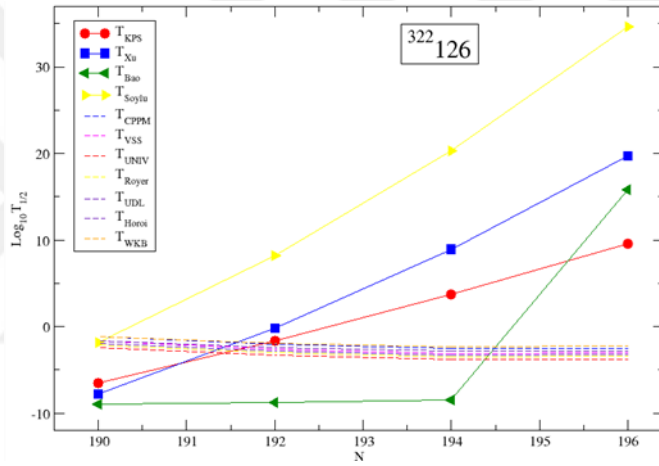
Şekil 5.8. $^{319}\text{126}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



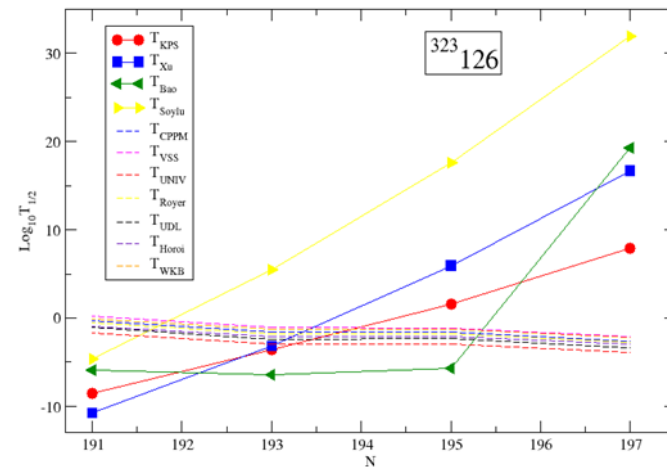
Şekil 5.9. $^{320}\text{126}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



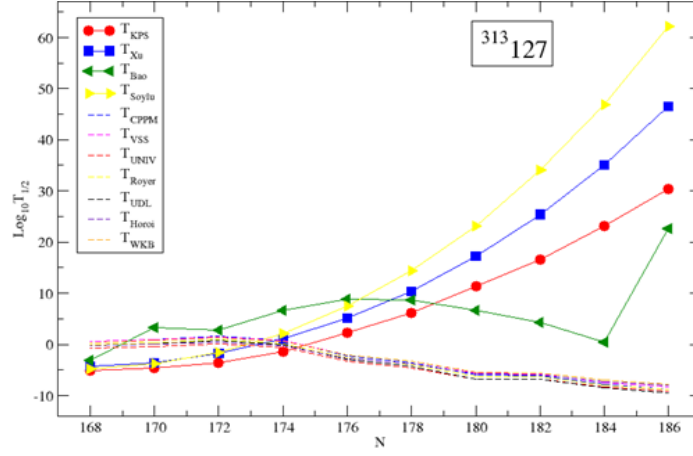
Şekil 5.10. $^{321}_{126}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



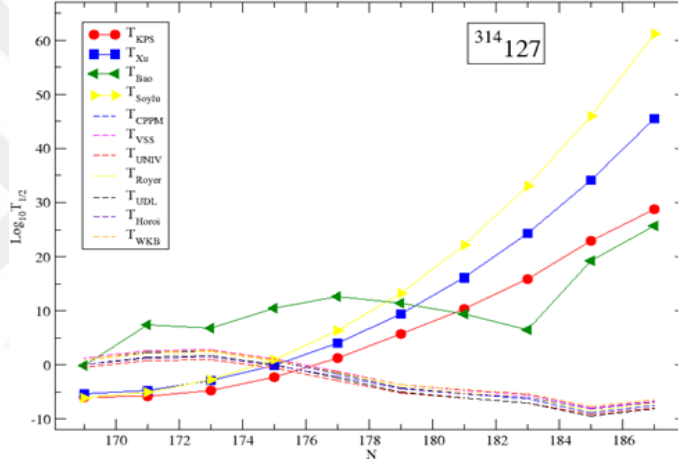
Şekil 5.11. $^{322}_{126}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



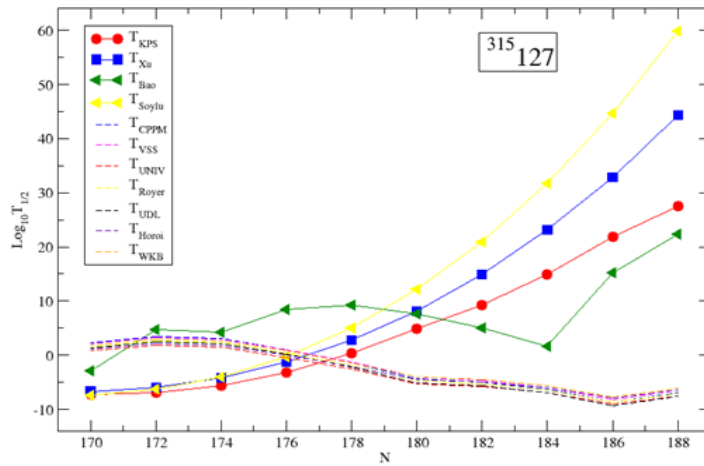
Şekil 5.12. $^{323}_{126}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



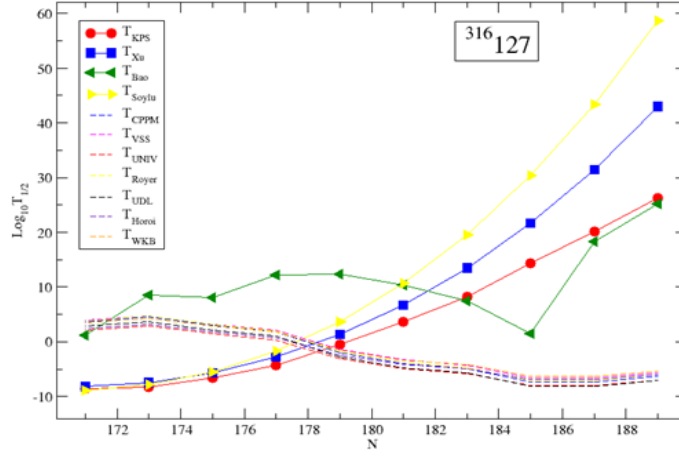
Şekil 5.13. $^{313}_{127}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



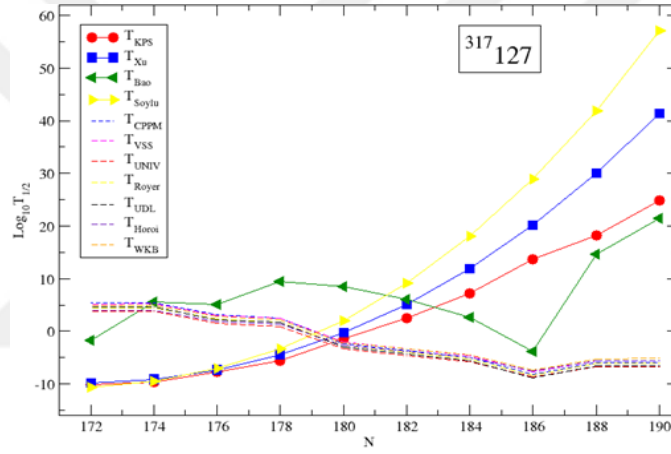
Şekil 5.14. $^{314}_{127}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



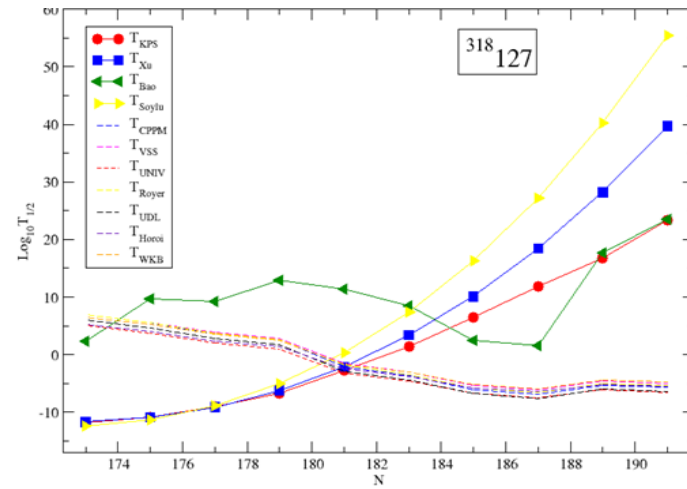
Şekil 5.15. $^{315}_{127}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



Şekil 5.16. $^{316}_{127}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



Şekil 5.17. $^{317}_{127}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi



Şekil 5.18. $^{318}_{127}$ izotopu için hesaplanan AB ile KF yarı-ömürlerinin logaritmik değerlerinin nötron sayısına göre değişimi

BÖLÜM VI

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, süper-ağır çekirdekler olan $Z=125$, 126 ve 127 proton sayısına sahip çekirdeklerin izotopları için AB ve KF yarı-ömürleri hesaplanmış ve elde edilen değerler karşılaştırılarak bozunma modları elde edilmiştir. Bunun için alfa bozunmu (AB) ve kendiliğinden fisyon (KF) karşılaştırılması yapılmıştır. Alfa bozunmu için CPPM, WKB, VSS, UNIV, UDL, Royer, Horoi, KF için KPS, Xu, Bao, Soylu modelleri ve formülleri kullanıldı. Tüm hesaplar MES isimli Python kodu ile gerçekleştirilmiştir. Literatürde $Z=125$ ve 126 çekirdeklerin AB ve KF yarı-ömürlerin hesaplanmasıyla ilgili bir takım çalışmalar mevcuttur. $Z=127$ için ise ilgili bazı çalışmalar yapılsa da sistematik ve detaylı şekilde yapılmış çalışma literatürde bulunmamaktadır. Bu çalışma en genel ve detaylı şekilde yapılan ilk çalışmadır.

Çizelgede sunulan sonuçlar göz önüne alındığında, $Z=125$, 126 ve 127 çekirdekler için AB sonuçları birbirine uyumlu değerler almaktadır. KF için ise Bao değerleri KPS, Xu ve Soylu değerlerine göre daha düzensiz değişmektedir. Bu da KF için elde edilen sonuçlarda bir takım farklılıklar oluşturmaktadır. Bunun sebebi kullanılan formüllerin, birbirlerine göre farklı etkiler (kabuk etkisi, izospin) içermesidir. Dolayısıyla sonuçlardaki uyumsuzluğun sebeplerinden biri olarak bu etkileri sayabiliriz. KF değerlerinin farklı olması bozunma modlarda da birbiriyle uyumsuzluğa neden olmaktadır. Şekil 5.1-5.16 görüldüğü üzere KF hesaplarında KPS, Xu ve Soylu değerleri birbiriyle uyumlu bir şekilde monoton değiştiği halde Bao değerleri diğerlerinden bağımsız şekilde değişmektedir. KF ile CPPM ve WKB sonuçlarının karşılaştırılmasıyla elde edilen bozunma modlarında $Z=125$, 126 ve 127 çekirdeklerin bazı izotopları için farklılık göstermektedir. Böylece $^{310}_{125}$ izotopunun CPPM ile Bao karşılaştırılmasında 7α zinciri, WKB ile karşılaştırılmasında 8α zinciri göstermektedir. $^{319}_{126}$ izotopunda CPPM ile Bao karşılaştırılmasında 7α zinciri, WKB ile karşılaştırılmasında 2α zinciri göstermektedir. $Z=127$ çekirdeği için ise $^{313}_{127}$ izotopunda KPS ile CPPM karşılaştırılmasında 7α zinciri, WKB ile karşılaştırılmasında

8azinciri, $^{324}_{127}$ için Bao ile CPPM karşılaştırılmasında 3α zinciri, WKB ile karşılaştırılmasında 2α zinciri, $^{327}_{127}$ izotopunda KPS ile CPPM karşılaştırılmasında 2α zinciri, WKB ile karşılaştırılmasında 1α zinciri göstermektedir. $^{310-312}_{127}$ izotopları için Bao ile CPPM ve WKB karşılaştırılmasında KF bozunma modu tespit edilmedi. En uzun alfa bozunma zincirine sahip izotoplar $^{310-320}_{125}$, $^{318-326}_{126}$, $^{313-323}_{127}$ olarak belirlendi. Dolayısıyla bu çekirdekler deneysel olarak sentezlenebilir ve tespit edilebilir. Bu çalışma sonucu $^{321-339}_{125}$, $^{327-339}_{126}$, $^{329-339}_{127}$ izotopları için AB ile kıyasla KF modu daha baskın olduğu tespit edilmiştir. $Z=125$, 126 ve 127 çekirdeklerin $^{302-309}_{125}$; $^{302-309}_{126}$; $^{305-315}_{127}$ izotopları için proton ayrılma enerjisi negatif olduğu tespit edilmiştir.

Manjunatha'nın yapmış olduğu çalışmayla karşılaştırma yaparsak en uzun alfa zincirine sahip çekirdeklerin $^{318-324}_{125}$, $^{318-326}_{126}$, $^{322-331}_{127}$ olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada bozunma modları CPPM ve CPPMD ile Xu değerlerinin karşılaştırılması yapılarak elde edilmiştir. $Z=125$ çekirdeğiyle ilgi yapılmış olan başka bir çalışmayla kıyasladığımız zaman en uzun alfa bozunma zinciri olan izotoplar $^{314-320}_{125}$ olarak belirlenmiştir. Chowdhury'un $100 \leq Z \leq 130$ çekirdekleri için yapmış olduğu çalışmadaki değerlerle karşılaştırma yapılırsa $Z=125$, 126 ve 127 çekirdeklerin WKB hesaplarında çoğu çekirdekler için 10^{-2} mertebesinde fark görülmektedir. Bunun sebebi olarak kullanılan Q değerlerin farklılığı gösterilebilir. Manjunatha'nın $Z=126$ için yapmış olduğu çalışmadaki değerlerle karşılaştırdığımız zaman Xu değerleri tam uyumlu fakat AB değerlerinde bir takım farklıklar göstermektedir. Bunun sebebi kullanılan Q değerlerinin farklı olmasını gösterebilir. AB'da mevcut olan farklılıklar bozunma modlarında da farklılıklar meydana getirmektedir. Literatürde yapmış olduğumuz derleme sonucunda Bao ve Soylu formüller ile yapılmış hesaplar her üç çekirdek için henüz literatürde bulunmamaktadır. Bu hesaplar ilk defa bu çalışmada yapılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, $Z=125$, 126 ve 127 çekirdeklerin izotopları için ilerde yapılan teorik ve deneysel çalışmalar için yol gösterici olabilir. Elde edilen bozunma modların özellikleri deneysel çalışmalar için değerli olacaktır. Diğer yandan buradaki yöntem proton sayısı 127 'den büyük olan çekirdeklerin izotoplarının bozunma modlarının araştırılması çalışmalarına aktarılabilir.

KAYNAKLAR

Akbulut, U., Radyoaktivite Nedir? Nasıl Keşfedildi?, *ODTÜ Kimya Bölümü*, 2009.

Akkoyun, S., Şentürk, Ş., Bayram, T. ve Uruk, S. Süper-Ağır Rf ($Z= 104$) İzotoplarının Taban Durum Nükleer Özellikleri için Relativistik Ortalama Alan Hesaplamaları. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 36(7), 12-22, 2015.

Bao, X. J., Guo, S. Q., Zhang, H. F., Xing, Y. Z., Dong, J. M. and Li, J. Q., "Competition between α -decay and spontaneous fission for superheavy nuclei", *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* 42, 085101, 2015.

Blocki, J. and Swiatecki, W. J., "A generalization of the proximity force theorem", *Annals of Physics* 132(1), 53-65, 1981.

Blocki, J., Randrup, J., Swiatecki, W. J. and Tsang, C. F., "Proximity forces", *Annals of Physics* 105(2), 427-462, 1977.

Bohr, N. and Wheeler, J. A., "The mechanism of nuclear fission", *Physical Review* 56(5), 426, 1939.

Bruce A., Averill and Patricia Eldredge, "Nuclear Chemistry", <https://chem.libretexts.org/>, 23(06), 2019.

Buck, B., Merchant A. C. and Perez, S. M., "Exotic cluster states in actinide nuclei." *Physical review letters* 76.3, 380, 1996.

Buck, B., Merchant, A. C. and Perez, S. M., "Half-lives of favored alpha decays from nuclear ground states." *Atomic Data and Nuclear Data Tables* 54.1, 53-73, 1993.

Buck, B., Merchant, A. C. and Perez, S. M., "Ground state to ground state alpha decays of heavy even-even nuclei.", *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* 17(8), 1223, 1991

Chowdhury, P. R., Samanta, C. and Basu, D. N., "Nuclear half-lives for α radioactivity of elements with $100 \leq Z \leq 130$ ", *Atomic Data and Nuclear Data Tables* 94(6), 781-806, 2008.

Condon, E. U. and Gourney, R. W., "Quantum mechanics and radioactive disintegration", *Physical Review* 33(2), 127-140, 1929.

Denisov, V. Y., and Khudenko, A. A., " α -decay halflives: Empirical relations", *Phys. Rev. C* 79, 054614 (2009); 82, 059901, 2010.

Duarte, S. B., Tavares, O. A. P., Gonçalves, M., Rodríguez, O., Guzmán, F., Barbosa, T. N., and Dimarco, A., "Half-life predictions for decay modes of superheavy nuclei.", *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* 30(10), 1487, 2004.

Evlice, Ş., "²¹⁰⁻²²⁶Ra izotoplarının Egzotik çekirdek Bozunumu Yarı-Ömür Sürelerine Deformasyonun Etkisinin Teorik Olarak Araştırılması" Yüksek Lisans Tezi, *NÖHÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 2015.

Gasiorowicz, S., Thornton, S. T., Fishbane, P. M., Temel Fizik, Cilt 2, Prof. Dr. Cengiz Yalçın, *Arkadaş Yayıncılık*, Ankara, 2007.

Gamow, G., "Zur quantentheorie des atomkernes", *Zeitschrift für Physik* 51, 204-212, 1928.

Geiger, H. and Nuttall, J. M., "LVII. The ranges of the α particles from various radioactive substances and a relation between range and period of transformation." *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 22(130), 613-621, 1911.

Ghahramany, N. and Ansari, A., "Synthesis and decay process of superheavy nuclei with $Z= 119-122$ via hot-fusion reactions", *The European Physical Journal A* 52(9), 287, 2016.

Grevy, S., Alamanos, N., Amar, N., JC, A., Anne, R., Auger, G., and Gillibert, A., "Production of Super Heavy Elements at GANIL: present status and perspectives", *Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences* 3(1), 9-12, 2002.

Gürdilek, R., "Süper-ağır Elementler", <https://kurios.ku.edu.tr/superagir-elementler/>, 2016.

Gümüş, S., Özdoğan, T., Kara, M. ve Orbay, M., Modern Fiziğe Giriş, *Pegem Akademi Yayıncılık*, Ankara, 2009.

Hamilton, J. H., Hofmann, S. and Oganessian, Y. T., "Search for superheavy nuclei." *Annual Review of Nuclear and Particle Science* 63, 383-405, 2013.

Hofmann, S. and Münzenberg, G., "The discovery of the heaviest elements", *Reviews of Modern Physics* 72(3), 733, 2000.

Hofmann, S., "Superheavy elements", *Springer* 203-252, 2009.

Horoi, M., "Scaling behaviour in cluster decay", *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 30(7), 945, 2004.

Hugh D., Young, University Physics With Modern Physics, 14th ed., *University of California*, Santa Barbara, 2016.

IUPAC, <https://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements>, 1(12).2018.

John R. T., Chris D. Z. and Michael A. D., Modern Physics for Scientists and Engineers, 2nd ed., *Pearson*, New York, 2003.

Joseph. M. and Jean. G., "Radioactivity Radionuclides Radiation", *Springer* 2005.

Karol, P. J., Barber, R. C., Sherrill, B. M., Vardaci, E. and Yamazaki, T., "Discovery of the elements with atomic numbers $Z= 113, 115$ and 117 (IUPAC Technical Report)", *Pure and Applied Chemistry* 88(1-2), 139-153, 2016.

Karol, P. J., Nakahara, H., Petley, B. W. and Vogt, E., "On the claims for discovery of elements 110, 111, 112, 114, 116, and 118 (IUPAC Technical Report)", *Pure and applied chemistry* 75(10), 1601-1611, 2003.

Koura, H., Tachibana, T., Uno, M., and Yamada, M., KUTY MassFormula, revised version, Prog.Theor.Phys http://www.ndc.tokai-sc.jaea.go.jp/nuclldata/mass/KTUY05_m246.dat 113, 305, 2005.

Krane, K. S., Modern Physics, 3rd ed., *John Wiley and Sons, INC*, United States of America, 2012.

Krane, K. S., Nükleer Fizik, 1. Cild, Başar Şarer, *Palme Yayıncılık*, Ankara, 2001.

Liu, H. M., Xu, J. Y., Deng, J. G., He, B. and Li, X. H., "Predictions of α decay half-lives for even-even superheavy nuclei with $104 \leq Z \leq 128$ based on two-potential approach within cluster-formation model. ", *arXiv preprint arXiv:2005.03831*, 2020.

Libby, W. F., "Stability of uranium and thorium for natural fission", *Physical Review* 55(12), 1269, 1939.

Manjunatha, H. C. "Alpha decay properties of superheavy nuclei $Z= 126$ ", *Nuclear Physics A* 945, 42-57, 2016.

Manjunatha, H. C. and Sridhar, K. N., "Projectile target combination to synthesis superheavy nuclei $Z= 126$ ", *Nuclear Physics A* 962, 7-23, 2017a.

Manjunatha, H. C. and Sridhar, K. N., "A probability of synthesis of the superheavy element $Z= 124$ ", *The European Physical Journal A* 53(10), 196, 2017c.

Manjunatha, H. C., "A study of probable isotopes for superheavy elements in the range $Z= 120-136$." , 2020.

Manjunatha, H.C. and Sridhar, K.N., "New semi-empirical formula for α -decay half-lives of the heavy and superheavy nuclei", *Eur. Phys. J. A* 53, 156, 2017b.

Mosel, U. and Greiner, W., "Shell Structure of Superheavy Nuclei in Self-consistent Mean-field Models", *Zeitschrift Für Physik* 222, 261-282, 1969.

Möller, P., Sierk, A. J., Ichikawa, T. and Sagawa, H., Nuclear ground-state masses and deformations: FRDM (2012). *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 109, 1-204, 2016.

Muntian, I., Hofmann, S., Patyk, Z. and Sobiczewski, A., "Properties of heaviest nuclei.", *AcPPB*, 34(4), 2073, 2003a.

Muntian, I., Patyk, Z. and Sobiczewski, A., "Calculated masses of heaviest nuclei", *Physics of Atomic Nuclei* 66(6), 1015-1019, 2003b.

Muntian, I., Patyk, Z. and Sobiczewski, A., "Sensitivity of calculated properties of superheavy nuclei to various changes", *AcPPB* 32(3), 691, 2001.

Münzerenberg, G., "SuperHeavy Elements - Searching for the End of the Periodic Table", *Manipal Universal Press* India, 2018.

Myers ,W., D., and Swiatecki, W., J., "Nuclear masses and deformations", *Nuclear Physics* 81(1), 1-60, 1966.

Myers, W. D. and Swiatecki, W. J., "Lawrence Berkeley Laboratorypreprint LBL-36803, December 1994", *Nucl. Phys. A* 601, 141, 1996 .

Nagib, O., " α -decay half-lives of superheavy nuclei with $Z= 122-125$ ", *Physical Review C* 101.1, 014610, 2020.

Ni, D., Ren, Z., Dong, T. and Xu, C., "Unified formula of half-lives for α decay and cluster radioactivity", *Phys. Rev. C* 78, 044310, 2008.

Nilsson, S. G., Tsang, C. F., Sobiczewski, A., Szymański, Z., Wycech, S., Gustafson, C. and Nilsson, B., "On the nuclear structure and stability of heavy and superheavy elements. ", *Nuclear Physics A* 131(1), 1-66, 1969.

Oganessian, Y. T., "Superheavy elements", *Pure and applied chemistry* 76(9), 1715-1734, 2004.

Oganessian, Y. T., Abdullin, F. S., Alexander, C., Binder, J., Boll, R. A., Dmitriev, S. and Hamilton, J. H., "Experimental studies of the $^{249}\text{Bk} + ^{48}\text{Ca}$ reaction including decay properties and excitation function for isotopes of element 117, and discovery of the new isotope ^{277}Mt ", *Physical Review C* 87, 054621, 2013.

Oganessian, Y. T., Abdullin, F. S., Bailey, P. D., Benker, D. E., Bennett, M. E., Dmitriev, S. N. and Lobanov, Y. V., "Synthesis of a new element with atomic number $Z=117$ ", *Physical Review letters* 104, 142502, 2010.

Oganessian, Y. T., Utyonkov, V. K., Lobanov, Y. V., Abdullin, F. S., Polyakov, A. N., Sagaidak, R. N. and Bogomolov, S. L., "Synthesis of the isotopes of elements 118 and 116 in the Cf 249 and Cm 245+ Ca48 fusion reactions", *Physical Review C* 74, 044602, 2006.

Oganessian, Y. T., Utyonkov, V. K., Lobanov, Y. V., Abdullin, F. S., Polyakov, A. N., Sagaidak, R. N. and Subbotin, V. G., "Attempt to produce element 120 in the Pu 244+ Fe 58 reaction", *Physical Review C* 79, 024603, 2009.

Oganessian, Y., "Heaviest nuclei from 48Ca-induced reactions", *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* 34, R165, 2007.

Oganessian, Y., "Nuclei in the Island of Stability of Superheavy Elements", *In Journal of Physics-Conference Series* Vol. 337, No. 1, p. 012005, 2012.

Petrzhak, K. A., and Flerov, G. N., "CR (Dokl.) Akad. Sci. URSS 28, 500.", *J. Phys. Ussr*, 3, 275, 1940.

Poenaru, D. N. and Gherghescu, R. A., " α decay and cluster radioactivity of nuclei of interest to the synthesis of $Z= 119, 120$ isotopes". *Physical Review C* 97(4), 044621, 2018.

Poenaru, D. N. and Greiner, W., "Cluster preformation as barrier penetrability", *Physica Scripta* 44(5), 427, 1991.

Poenaru, D. N., Gherghescu, R. A. and Greiner, W., "Cluster decay of superheavy nuclei", *Physical Review C* 85, 034615, 2012.

Poenaru, D. N., Gherghescu, R. A., and Greiner, W., "Single universal curve for cluster radioactivities and α decay", *Physical Review C* 83, 014601, 2011.

Poenaru, D. N., Ivaşcu, M., Sndulescu, A., and Greiner, W. "Atomic nuclei decay modes by spontaneous emission of heavy ions", *Physical Review C* 32(2), 572, 1985.

Poenaru, D. N., Plonski, I. H., Gherghescu, R. A., and Greiner, W., "Valleys due to Pb and Sn on the potential energy surface of superheavy and lighter α -emitting nuclei", *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* 32(9), 1223, 2006.

Qi, C., Xu, F. R., Liotta, R. J., and Wyss, R., "Universal decay law in charged-particle emission and exotic cluster radioactivity", *Physical review letters* 103(7), 072501, 2009a.

Qi, C., Xu, F. R., Liotta, R. J., Wyss, R., Zhang, M. Y., Asawatangtrakuldee, C. and Hu, D., "Microscopic mechanism of charged-particle radioactivity and generalization of the Geiger-Nuttall law", *Physical Review C* 80(4), 044326, 2009b.

Raymond A., Serway, Physics, For Scientists and Engineers, *Saunders College Pub.*, the University of Michigan, 1982.

Royer, G., "Alpha emission and spontaneous fission through quasi-molecular shapes", *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* 26(8), 1149, 2000.

Santhosh, K. P., and Priyanka., B., "Theoretical studies on the modes of decay of superheavy nuclei", *Physical Review C* 94, 054621, 2016b.

Santhosh, K. P. and Joseph, A. "Cluster radioactivity in xenon isotopes", *Pramana* 62(4), 957-965, 2004.

Santhosh, K. P. and Nithya, C., " α -decay chains of superheavy nuclei with $Z= 125$ ", *Physical Review C* 97(4), 044615, 2018a.

Santhosh, K. P., and Priyanka, B., "The competition between alpha decay and spontaneous fission in odd-even and odd-odd nuclei in the range $99 < Z < 129$," *Nuclear Physics A* 940, 21-52, 2015.

Santhosh, K. P., and Nithya, C., "Predictions on the modes of decay of even Z superheavy isotopes within the range $104 < Z < 136$." *Atomic Data and Nuclear Data Tables* 119, 33-98, 2018b.

Santhosh, K. P., Priyanka, B. and Nithya, C., "Feasibility of observing the α decay chains from isotopes of SHN with $Z= 128$, $Z= 126$, $Z= 124$ and $Z= 122$ ", *Nuclear Physics A* 955, 156-180, 2016a.

Santhosh, K. P., Biju, R. K. and Sahadevan, S., "Semi-empirical formula for spontaneous fission half life time", *Nuclear Physics A* 832, 220-232, 2010.

Saxena, G., Kaushik, M. and Aggarwal, M., "Alpha-Decay Chains of Superheavy Nuclei with $Z= 121$ ", *Proceedings of the DAE Symp. on Nucl. Phys.* Vol. 63, 2018.

Sobiczewski, A., Patyk, Z. and Cwiok, S., "Deformed superheavy nuclei", *Physics Letters B* 224(1-2), 1-4, 1989.

Soylu, A., "Search for decay modes of heavy and superheavy nuclei", *Chinese Physics C* 43(7), 074102, 2019.

Soylu, A., MES: A Code for Calculations of Half-lives of α , "Cluster Decays and Spontaneous Fission, Prediction of Decay Modes of Superheavy Nuclei", *Computer Physics Communication* incelemede, 2020.

Sridhar, K. N., Manjunatha, H. C. and Ramalingam, H. B., "Studies on the synthesis of superheavy element Z= 123", *Indian Journal of Physics* 1-10, 2019a.

Sridhar, K. N., Manjunatha, H. C. and Ramalingam, H. B., "A Study on the Synthesis of Superheavy Element Z= 125", *Brazilian Journal of Physics* 49(2), 232-248, 2019b.

Sun, X. D., Wu, X. J., Zheng, B., Xiang, D., Guo, P. and Li, X. H. "Systematic study of α preformation probability of nuclear isomeric and ground states.", *Chinese Physics C*, 41(1), 014102, 2017.

Taylor, J., Zafiratos, C. and Dubson, M., Fen ve Mühendislikte Modern Fizik Kitabı. Çeviren: Bekir Karaoğlu, *Okutman Yayıncılık*, Ankara, 2008.

Viola Jr, V. E. and Seaborg, G. T., "Nuclear systematics of the heavy elements-II Lifetimes for alpha, beta and spontaneous fission decay", *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry* 28(3), 741-761, 1966.

Wang, N., Liu, M., Wu, X. and Meng, J., "Surface diffuseness correction in global mass formula", *Physics Letters B* 734, 215-219, 2014.

Xu, C. and Ren, Z., "Systematical law of spontaneous fission half-lives of heavy nuclei", *Physical Review C* 71, 014309, 2005.

Xu, C., Ren, Z., and Guo, Y., "Competition between α decay and spontaneous fission for heavy and superheavy nuclei", *Physical Review C* 78(4), 044329, 2008.

Zagrebaev, V. and Greiner, W., "Synthesis of superheavy nuclei: A search for new production reactions", *Physical Review C* 78, 034610, 2008.

Zagrebaev, V. I., Karpov, A. V. and Greiner, W., "Possibilities for synthesis of new isotopes of superheavy elements in fusion reactions", *Physical Review C* 85, 014608, 2012.

Zhang, Y. L., and Wang, Y. Z., "Systematic study of cluster radioactivity of superheavy nuclei", *Physical Review C* 97(1), 014318, 2018.



ÖZGEÇMİŞ

Gunel Aliyeva 23.03.1997 tarihinde Azerbaycan'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Azerbaycan'da tamamladı. 2014 yılında girdiği Bakü Devlet üniversitesi Fizik Fakültesi Fizik öğretmeni Bölümünden Haziran 2018'de mezun oldu. Aynı yıl içinde Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesinde yüksek lisans öğrenimine başladı ve halen yüksek lisans eğitimini devam ettirmektedir.



TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER

Bu tez çalışmasından, 1 adet uluslararası bildiri üretilmiştir ve 1 (bir) adet makale yayın için hazırlanmaktadır. üretilen eserler aşağıda sunulmuştur.

G. Aliyeva, A. Soylu, Süper-ağır çekirdeklerin bozunma modlarının farklı teorik modellerle incelenmesi, International Turkic World Congress on Science and Engineering, 17-18 June 2019, Niğde-Turkey, Sözlü Sunum, özet Bildiri kitabında yayınlandı.

G. Aliyeva, F. Koyuncu, A. Soylu, Alpha Decay and Spontaneous Fission Predictions of Superheavy Elements $Z=125, 126$ and 127 makalesi yayına hazırlanıyor.

