

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TORYUM' UN HIZLI NÖTRONLARLA ETKİLEŞİMİNİN
İNCELENMESİ**

Yüksek Fizikçi Özgür AKÇALI

**F.B.E. Fizik Anabilim Dalı Fizik Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 10 Mart 2006

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Metin SUBAŞI (YTÜ)

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Nizamettin ERDURAN (İÜ)

Prof. Dr. Mehmet ŞİRİN (YTÜ)

Prof. Dr. Melih BOSTAN (İÜ)

Doç. Dr. Cenap Özben (İTÜ)

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Dünyada ve Türkiye’ de Toryum	5
2. TEMEL BİLGİLER	8
2.1 Radyasyon	8
2.2 Nükleer Reaksiyonlar	8
2.3 Bozunma Türleri	9
2.3.1 α Bozunumu	9
2.3.2 β Bozunumu	10
2.3.3 γ Bozunumu	11
2.3.4 n ve p Bozunumu	12
2.3.5 İç Dönüşüm (IC) Bozunumu	13
2.4 Radyoaktivite ve radyoaktif bozunma kanunu	13
2.5 Yarı Ömür	13
2.6 Radyoaktivitenin Üretilmesi ve Bozunması	14
2.7 İkili Reaksiyonlar	16
2.7.1 Birleşik Çekirdek	16
2.8 Fisyon	17
2.8.1 Fisyon Ürünlerinin Kütle Dağılımı	20
2.9 γ -Işını Madde Etkileşimleri	22
2.9.1 Fotoelektrik Olay	22
2.9.2 Compton Saçılması	23
2.9.3 Çift Oluşumu	23
2.9.4 Foton Azaltması (Attenuation)	23
2.10 γ -Işını Ölçümü	24
2.11 Germanyum Detektörlerle γ -Işını Spektroskopisi	26
2.11.1 Spektrumun ve TET’ in Şekli	27
2.11.2 Detektör Verimi	29
2.12 Ölçümlerdeki Belirsizlikler	30
2.12.1 Rasgele Eşzamanlı Sayım (Coincidence Summing)	30

2.12.2	Ölü Zaman (Dead Time) ve Darbe Yığılımı (Pile-up)	31
2.12.3	Foton Zayıflatması	31
2.12.4	Veri Analizi İstatistiği	32
3.	DENEY DÜZENİĞİ	33
3.1	Işınlama ve Transfer Sistemi	33
3.2	Sayım Sistemi ve Yazılımı	34
4.	GAMMA DETEKTÖRÜNÜN HAZIRLANMASI	38
4.1	Gamma Detektörünün Enerji-Kanal ve Enerji-Genişlik Kalibrasyonu	38
4.2	GMX Detektörü Verim Kalibrasyonu	42
4.3	Örnek Işınlama Konumunda Nötron Akısını Belirlenmesi	45
4.4	Işınlanmış Toryum Örneklerin Gamma Sayımları	48
4.4.1	Sayım Stratejisi	48
4.4.2	Analiz Yöntemi	49
4.4.2.1	Fisyon Ürünü Çekirdeklerin Hüviyetlerinin Belirlenmesi	50
4.4.2.2	Çekirdek Bolluğunun Belirlenmesi	53
4.4.3	Analizler Kriterleri	53
5.	DENEY SONUÇLARI	55
5.1	Bulgular	55
5.1.1	Yeni Bulgular	73
6.	TARTIŞMA VE SONUÇLAR	94
	KAYNAKLAR	109
	EKLER	116
	Ek 1 Th Genel Bilgiler	117
	Ek 2 ²³² Th Doğal Bozunumu	119
	Ek 3 Th(n,f) Tesir Kesiti	120
	Ek 4 CAMAC	121
	Ek 5 SPARROW KmaxNT	124
	Ek 6 ROOT	126
	Ek 7 Deneyde kullanılan Cihazların Teknik Özellikleri	128
	ÖZGEÇMİŞ	130

SİMGE LİSTESİ

A	Çekirdek Kütle Numarası
β^-	Negatif Beta Bozunumu
β^+	Pozitif Beta Bozunumu
ε	Detektör Verim
E	Enerji
λ	Bozunma Katsayısı
Ω	Katı aç
Φ	Nötron akısı
$t_{1/2}$	Yarılanma Süresi (Yarı Ömür)
Z	Çekirdek Element Numarası

KISALTMA LİSTESİ

ADC	Analog Dijital Çevirici
ADS	Accelerator Driven Systems
Amp	Amplifikatör
CAMAC	Computer Aided Measurement and Control
CTRL	Controller
ÇNAEM	Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
DC	Doğru Akım
ENDF	Evaluated Nuclear (reaction) Data File
EXFOR	Nuclear Reaction Experimental Data
FWHM	Full Width at Half Maximum
GMx	Germanium X-Ray Extended
HM	Histogramming Memory
HPGe	High Purity Germanium
HV	High Voltage
JAERI	Japan Atomic Energy Research Institute
JENDL	Japan Evaluated Nuclear Data Library
MCA	Multi Channel Analyser
NNDC	National Nuclear Data Center
PLS	Pulser
TET	Tüm Enerji Tepesi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 ^{111}Ag ve ^{132}Te için deneysel sonuçlar	4
Şekil 1.2 75-175 kütle numarası aralığında $\text{Th}(n,f)$ reaksiyonunun toplam ürün dağılımları (Mills,2005), (Tasaka vd, 2002), (James vd, 1993), (England vd, 1992)	5
Şekil 2.1 ^{226}Ra α bozunum (Firestone R. B., 1996).....	10
Şekil 2.2 β^- , β^+ , EC bozunumları (Firestone R. B., 1996)	11
Şekil 2.3 γ bozunumu, izomerik geçiş (Firestone R. B., 1996).....	12
Şekil 2.4 Fisyonda şekil biçimleri (Krane K.S., 1988)	18
Şekil 2.5 Fisyonda potansiyel engeli.....	19
Şekil 2.6 Fisyonda kütle dağılımı [3].....	21
Şekil 2.7 Fisyon potansiyel engeline kabuk etkisi	21
Şekil 2.8 γ -Işını ölçümünde meydana gelen olaylar	27
Şekil 2.9 ^{24}Na spektrumu	28
Şekil 2.10 TET şekli.....	29
Şekil 3.1 Deney düzeneği.....	33
Şekil 3.4a MCA Yazılımı Akış Çizelgesi – 1	34
Şekil 3.4b MCA Yazılımı Akış Çizelgesi – 2	35
Şekil 3.4c MCA Yazılımı Akış Çizelgesi – 3	35
Şekil 3.5 MCA yazılımı komut bölümü	36
Şekil 3.6 MCA yazılımı kullanıcı ön yüzü.....	37
Şekil 4.1 Sayım geometrisi	38
Şekil 4.2 GMx Detektörün ışınlanmamış ^{232}Th ile yapılan enerji-kanal kalibrasyonu eğrisi.....	40
Şekil 4.3 GMx Detektörü genişlik kalibrasyonu eğrisi.....	42
Şekil 4.4 GMx Detektörü mutlak verim kalibrasyonu eğrisi	44
Şekil 4.5 Işınlama geometrisi.....	45
Şekil 4.6 $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ reaksiyonu SCA.....	46
Şekil 4.7 $\text{Al}(n,p)\text{Mg}$ reaksiyonu MCA spektrumu.....	46
Şekil 4.8 Işınlama sırasında nötron akısı geçişimi.....	47
Şekil 4.9 MCA yazılımı veri toplama süreleri	49
Şekil 4.10 TET analiz programı ön yüzü a) Bozunum takibi b) Ürün bolluğu tayini.....	50
Şekil 4.11 Analiz yazılımı eğri uyum ara yüzü.....	51
Şekil 4.12 ROOT ile hazırlanan analiz alt programı çıktısı	52

Şekil 4.13	Analiz yazılımı ürün belirleme ara yüzü.....	53
Şekil 5.1	$^{87}\text{Kr} \rightarrow ^{87}\text{Rb}$ $t_{1/2}=76.3$ m 5 β - bozunumundan gelen γ geçişleri	55
Şekil 5.2	$^{87}\text{Kr} \rightarrow ^{87}\text{Rb}$ $t_{1/2}=76.3$ m 5 β - bozunumu	56
Şekil 5.3	$^{88}\text{Kr} \rightarrow ^{88}\text{Rb}$ $t_{1/2}=2.84$ h 3 β - bozunumundan gelen γ geçişleri.....	57
Şekil 5.4	$^{88}\text{Kr} \rightarrow ^{88}\text{Rb}$ $t_{1/2}=2.84$ h 3 β - bozunumu	58
Şekil 5.5	$^{91}\text{Sr} \rightarrow ^{91}\text{Y}$ $t_{1/2}=9.63$ h 5 β - bozunumundan gelen γ geçişleri.....	59
Şekil 5.6	$^{91}\text{Sr} \rightarrow ^{91}\text{Y}$ $t_{1/2}=9.63$ h 5 β - bozunumundan gelen γ geçişleri	60
Şekil 5.7	$^{91}\text{Sr} \rightarrow ^{91}\text{Y}$ $t_{1/2}=9.63$ h 5 β - bozunumu.....	62
Şekil 5.8	$^{107}\text{Rh} \rightarrow ^{104}\text{Pd}$ $t_{1/2}=21.7$ m 4 β - bozunumundan gelen γ geçişleri.....	63
Şekil 5.9	$^{107}\text{Rh} \rightarrow ^{104}\text{Pd}$ $t_{1/2}=21.7$ m 4 β - bozunumu	64
Şekil 5.10	$^{113}\text{Ag} \rightarrow ^{113}\text{Cd}$ $t_{1/2}=5.37$ h 5 β - bozunumundan gelen γ geçişleri	65
Şekil 5.11	$^{113}\text{Ag} \rightarrow ^{113}\text{Cd}$ $t_{1/2}=5.37$ h 5 β - bozunumu.....	66
Şekil 5.12	$^{138}\text{Cs} \rightarrow ^{138}\text{Ba}$ $t_{1/2}=33.41$ m 18 β - bozunumundan gelen γ geçişleri	67
Şekil 5.13	$^{138}\text{Cs} \rightarrow ^{138}\text{Ba}$ $t_{1/2}=33.41$ m 18 β - bozunumu	68
Şekil 5.14	$^{139}\text{Ba} \rightarrow ^{139}\text{La}$ $t_{1/2}=83.06$ m 28 β - bozunumundan gelen γ geçişleri.....	69
Şekil 5.15	$^{139}\text{Ba} \rightarrow ^{139}\text{La}$ $t_{1/2}=83.06$ m 28 β - bozunumu.....	70
Şekil 5.16	$^{147}\text{Nd} \rightarrow ^{147}\text{Pm}$ $t_{1/2}=10.98$ d 1 β - bozunumundan gelen γ geçişleri.....	71
Şekil 5.17	$^{89}\text{Kr} \rightarrow ^{89}\text{Rb}$ $t_{1/2}=3.15$ m 4 β - bozunumu	73
Şekil 5.18	$^{89}\text{Kr} \rightarrow ^{89}\text{Rb}$ $t_{1/2}=3.15$ m 4 β - bozunumu	74
Şekil 5.19	$^{93}\text{Sr} \rightarrow ^{93}\text{Y}$ $t_{1/2}=7.423$ m 24 β - bozunumu	75
Şekil 5.20	$^{93}\text{Sr} \rightarrow ^{93}\text{Y}$ $t_{1/2}=7.423$ m 24 β - bozunumu	76
Şekil 5.21	$^{95}\text{Y} \rightarrow ^{95}\text{Zr}$ $t_{1/2}=10.3$ m 1 β - bozunumu	77
Şekil 5.22	$^{95}\text{Y} \rightarrow ^{95}\text{Zr}$ $t_{1/2}=10.3$ m 1 β - bozunumu	78
Şekil 5.23	$^{104}\text{Tc} \rightarrow ^{104}\text{Ru}$ $t_{1/2}=18.3$ m 3 β - bozunumu	79
Şekil 5.24	$^{104}\text{Tc} \rightarrow ^{104}\text{Ru}$ $t_{1/2}=18.3$ m 3 β - bozunumu	80
Şekil 5.25	$^{116}\text{Ag} \rightarrow ^{116}\text{Cd}$ $t_{1/2}=2.68$ m 10 β - bozunumu.....	81
Şekil 5.26	^{116}Ag spektrumu.....	82
Şekil 5.27	$^{135}\text{Xe} \rightarrow ^{135}\text{Cs}$ $t_{1/2}=9.14$ h 13 β - bozunumu	83
Şekil 5.28	$^{137}\text{Xe} \rightarrow ^{137}\text{Cs}$ $t_{1/2}=3.818$ m 13 β - bozunumu	85
Şekil 5.29	$^{137}\text{Xe} \rightarrow ^{137}\text{Cs}$ $t_{1/2}=3.818$ m 13 β - bozunumu	86
Şekil 5.30	$^{141}\text{Ba} \rightarrow ^{141}\text{La}$ $t_{1/2}=18.27$ m 7 β - bozunumu.....	87
Şekil 5.31	$^{141}\text{Ba} \rightarrow ^{141}\text{La}$ $t_{1/2}=18.27$ m 7 β - bozunumu.....	88
Şekil 5.32	$^{142}\text{Ba} \rightarrow ^{142}\text{La}$ $t_{1/2}=10.6$ m 8 β - bozunumu.....	89

Şekil 5.33	$^{142}\text{Ba} \rightarrow ^{142}\text{La}$ $t_{1/2}=10.6$ m 8 β - bozunumu.....	91
Şekil 5.34	$^{146}\text{Ce} \rightarrow ^{146}\text{Pr}$ $t_{1/2}=13.52$ m 13 β - bozunumu	92
Şekil 5.35	$^{146}\text{Ce} \rightarrow ^{146}\text{Pr}$ $t_{1/2}=13.52$ m 13 β - bozunumu	93
Şekil 6.1	Fisyon kütle dağılımı	94
Şekil 6.2	Çekirdek geçişleri (Firestone R. B., 1996)	96
Şekil 6.3	Hafif kütle grubu çekirdekler -1	98
Şekil 6.4	Hafif kütle grubu çekirdekler -2	99
Şekil 6.5	Vadi grubu çekirdekler -1	101
Şekil 6.6	Vadi grubu çekirdekler -2	102
Şekil 6.7	Ağır grup çekirdekler -1.....	105
Şekil 6.8	Ağır grup çekirdekler -2.....	106
Şekil 6.9	Ağır grup çekirdekler -3.....	107
Şekil 6.10	Ağır grup çekirdekler -4.....	108
Şekil Ek 2.1	Toryum bozunma şeması	119
Şekil Ek 3.1	5.77keV-196MeV enerji aralığında Th(n,f) tesir kesiti (Shcherbakov vd, 2001)	120
Şekil Ek 5.1	KmaxNT tasarım ve yazılım ekranları.....	124
Şekil Ek 6.1	ROOT çekirdek sınıfları	126

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Toryum rezervlerinin ülkelere göre dağılımı (Hedrick J.B., 2002)	6
Çizelge 2.1 14 MeV Nötron-etkilenmeli fisyonunda kütle dağılım karakteristikleri	20
Çizelge 4.1 ^{232}Th safsızlıkları	39
Çizelge 4.2 GMx detektörün ışınlanmamış ^{232}Th ile yapılan enerji-kanal kalibrasyonunda kullanılan gamma ışınlarının enerji ve bollukları	41
Çizelge 4.3 GMx detektörün ışınlanmamış ^{232}Th ile yapılan genişlik kalibrasyonunda kullanılan gamma ışınlarının enerji ve bollukları	41
Çizelge 4.4 GMx detektörün verim kalibrasyonunda kullanılan gammaların enerji ve bollukları	43
Çizelge 4.5 Sames T-400 nötron akısı	47
Çizelge 4.6 Deney süresi içinde ölçüm yenileme zamanı ve dosya dağılımları	49
Çizelge 4.7 Tüm belirsizlikler	54
Çizelge 5.1 402.587±0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	56
Çizelge 5.2 ^{87}Kr literatür bilgileri	57
Çizelge 5.3 196.301 ±0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	58
Çizelge 5.4 ^{88}Kr literatür bilgileri	59
Çizelge 5.5 1024.3±0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	60
Çizelge 5.7 749.8±0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	61
Çizelge 5.8 ^{91}Sr literatür bilgileri	62
Çizelge 5.9 203.77±0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	63
Çizelge 5.10 ^{107}Rh literatür bilgileri	64
Çizelge 5.11 298.6±0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	65
Çizelge 5.12 ^{113}Ag literatür bilgileri	67
Çizelge 5.13 1435.86±0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	68
Çizelge 5.14 ^{138}Cs literatür bilgileri	69
Çizelge 5.15 165.8575±0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	70
Çizelge 5.16 ^{139}Ba literatür bilgileri	71
Çizelge 5.17 91.105±0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	72
Çizelge 5.18 ^{147}Nd literatür bilgileri	72
Çizelge 5.19 220.948±0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	73
Çizelge 5.20 ^{89}Kr literatür bilgileri	74
Çizelge 5.21 168.499 ±0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	75

Çizelge 5.22	^{93}Sr literatür bilgileri	76
Çizelge 5.23	954 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	77
Çizelge 5.24	^{95}Y literatür bilgileri	78
Çizelge 5.25	358.0 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	80
Çizelge 5.26	^{104}Tc literatür bilgileri	81
Çizelge 5.27	513.4 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	82
Çizelge 5.28	^{116}Ag literatür bilgileri	83
Çizelge 5.29	249.794 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	84
Çizelge 5.30	^{135}Xe literatür bilgileri	84
Çizelge 5.31	455.490 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	86
Çizelge 5.32	^{137}Xe literatür bilgileri	87
Çizelge 5.33	190.328 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	88
Çizelge 5.34	^{141}Ba literatür bilgileri	89
Çizelge 5.35	255.300 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	90
Çizelge 5.36	^{142}Ba literatür bilgileri	91
Çizelge 5.37	316.74 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri	92
Çizelge 5.38	^{146}Ce literatür bilgileri	93
Çizelge 6.1	Hafif grup çekirdekler	97
Çizelge 6.2	Vadi grubu çekirdekler	100
Çizelge 6.3a	Ağır grup çekirdekler	103
Çizelge 6.3b	Ağır grup çekirdekler	104
Çizelge Ek 1.1	Thoryum izotopları	117
Çizelge Ek 4.1	CAMAC VERİYOLU fonksiyon kodları	123
Çizelge Ek 5.1	Komut sınırları	125
Çizelge Ek 5.2	Nesne sınırları	125

ÖNSÖZ

“Toryum’ un Hızlı Nötronlarla Etkileşiminin İncelenmesi” adlı Doktora tezim, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Fizik Bölümü’ nde gerçekleştirilmiştir. Doktora çalışmam süresince bana yol gösteren, sahip olduğu deneyimlerini benimle paylaşan tez danışmanım, Y.T.Ü. Fizik Bölümü Öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Metin SUBAŞI’ ya içten teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışmamda daima akıl danıştığım, bilimsel konularda bilgisini ve yardımlarını benden esirgemeyen İ.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Nizamettin ERDURAN’ a ve Y.T.Ü. Fizik Bölümü Öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Mehmet ŞİRİN’ e içten teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmamı yürüttüğüm ve her konuda bilgilerini ve tecrübelerini bana aktaran ve destek olan Ç.N.A.E.M Fizik Bölümü çalışanları,

Doç. Dr. A. İskender REYHANCAN

Gökçe TARCAN

Yıldıray ÖZBİR

Cüneyt Özbaylı

Dr. Hamit ATASOY

Dr. Adnan BAYKAL ve

Dr. Adnan ELMALI’ ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Özgür AKÇALI

Mart–2006

ÖZET

Artan dünya nüfusu beraberinde dünya enerji tüketimini de arttırmıştır. Enerji ihtiyacı ve ekolojik kaygılar güneş, rüzgar ve dalga gücü gibi temiz doğal enerji kaynakları üzerindeki araştırmalar artmıştır. Bununla beraber bu kaynaklar ihtiyaca cevap vermekten uzak olduğundan daha güvenli nükleer reaktör araştırmaları önem kazanmıştır. C. Rubia' nın “enerji yükselticisi” projesi Toryum üzerine olan ilgiyi arttırmış ve onu gelecek nesil reaktörlerin yakıtı haline getirmiştir. Bu tip nükleer reaktörlerin tasarımı fisyon ürünleri hakkında detaylı ve hassas bilgi gerektirir.

Bu çalışmada ^{232}Th ' nin 14 MeV nötronlarla fisyonundan oluşan ürünlerin toplam bollukları belirlenmiş ve 52 çekirdek bildirilmiştir. Deneyler D-T reaksiyonu ile ~14 MeV nötronlar üreten SAMES T-400 nötron jeneratöründe yapılmıştır. Nötron jeneratörünün akısı, nötron aktivasyon yöntemi kullanılarak $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ reaksiyonu ile yapılmıştır. Hızlı ve kesin elektronik cevap alınabilmesi için CAMAC sistemi ile HpGe GAMMAX detektör kullanılmıştır ve sistemin tüm kalibrasyonlar ışınlanacak örnek kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çekirdeklerinin hüviyetlerinin tespiti için ardışık ölçüm sistemi kurulmuş ve ilgilenilen çekirdeklerin yarı ömür ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Bu ardışık sistem kullanılarak farklı bekleme süreleri verilmesi mümkün olmuştur ve diğer çekirdeklerin tüm enerji tepesine katkısı elimine edilmiştir. Kullanılan deneysel düzenek ile diğer çalışmalarda elde edilen bilgi üzerindeki belirsizliklerin azaltılması sağlanmış ve daha önce bildirilmemiş 10 çekirdek için ürün bollukları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Toryum, Fisyon, 14 MeV Nötronlar, Toplam Ürün Bollukları, CAMAC

ABSTRACT

The growing population on earth increases the world energy consumption. The need of energy and ecological care increased the researches on clean natural energy sources like sun, wind and wave power. Instead these sources are far away to respond the need; nuclear power with safer constructions becomes a leading research field. The proposal of “energy amplifier” of C. Rubbia increases the attention on Thorium and makes it the fuel of future generation nuclear reactors. The design of such reactors needs detailed and precise data on fission products.

In this work, cumulative fission product yields in the fission of ^{232}Th by 14 MeV neutrons have been measured and 52 nuclides are reported. Experiments are taken on SAMES T-400 neutron generator which produces ~14 MeV neutrons by D-T reaction. The neutron flux of the generator has been determined by neutron activation analysis of $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ reaction. A HpGe GAMMAX detector has been used with CAMAC system to ensure fast and accurate electronic response and all the calibrations of the experimental system was taken by the sample itself. For the identification of the nuclides consecutive counting strategy has been introduced and the half lives of the nuclides under interest have also been measured. By this consecutive counting strategy it became possible to give different cooling times by which the additive effect of other photo peaks have been eliminated. With the experimental setup the uncertainties of the data reported by other authors have been lowered and 10 unreported cumulative yields are reported.

Keywords : Thorium, Fission, 14 MeV Neutrons, Cumulative Yield, CAMAC

1. GİRİŞ

Artan tüketim ve gelişen teknoloji ile günümüz enerji gereksinimi sürekli artmaktadır. Bu artışın karşılanmasında fosil yakıtların kullanılması ekosistem üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta, mevcut kaynakların hızlı azalması alternatif enerji kaynakları üzerindeki çalışmaları hızlandırmaktadır. Ekosistemi etkilemeyen rüzgar, dalga, güneş ışığı gibi doğal kaynaklar bölgesel çözümler olarak önem kazansa da, kaynağın sürekliliğinin bulunmaması, çevrim verimliliklerindeki yetersizlik ve depolanabilir olmamaları bu kaynakların ulusal bazda kullanımını azaltmaktadır. Fosil yakıtlara diğer bir alternatif olan Hidrojen yakıt hücreleri enerji depolanmada bir çözüm sunsa da. Ulusal enerji ihtiyacının yukarıda belirtilen alternatif enerji kaynakları ile karşılanabilmesi mümkün görülmemektedir.

Geçtiğimiz yüzyılın ilk yarısında nükleer fizikteki gelişmeler, fisyon ve füzyon süreçlerinin, artan dünya enerji ihtiyacını karşılayacağı beklentisini oluşturmuştur. Günümüz fisyon reaktörleri çok büyük teknolojik gelişmelere rağmen, hala toplumdan kabul görmemektedirler.

Karşılaşılan bu problemlerin, kabaca, fisyon sürecine özgü özellikler olduğu söylenebilir. Bu problemler temelde nükleer atıkların işlenmesi ve depolanması, bu atıklardan nükleer silah yapımının mümkün olması ve nükleer kazaların uzun süreli ve kalıcı radyasyon kirliliğine yol açmasıdır. (Çernobil ve 3-miles Island reaktörlerindeki sızıntılar gibi)

Son zamanlarda, Uranyum reaktörlerinden çıkan ve yüksek radyoaktiviteye sahip aktinitlerin başkalaşımı (transmutation) çalışmaları yapılmaktadır. Aktinitler oldukça uzun ömürlü atıklardır ve fisyon ürünleri gibi daha kısa yarı ömürlü çekirdeklere dönüştürülebilirlerse bu atıkların depolama maliyetleri ve radyoaktif kalma süreleri azalacaktır Bu amaçla geliştirilen sistemler, Hızlandırıcı Güdümlü Sistem (ADS) veya Hızlandırıcı Güdümlü Atık Başkalaşımı (ATW) olarak isimlendirilmiştir.

Nükleer fiziğin tarihsel gelişimi açısından bakıldığında ilk başkalaşım reaksiyonu 1919 yılında Rutherford tarafından α -parçacıkları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve ilk suni radyoaktivite 1933 yılında I. Curie and F. Joliot tarafından α -parçacıkları kullanılarak B ve Al' un radyoaktif N ve O' e başkalaşımı ile elde edilmiştir. Buna rağmen ağır çekirdeklerin Coulomb bariyeri bu tip parçacıkların çekirdeğin içine girmesine izin vermeyecek kadar yüksektir. O.E Lawrence' ın geliştirdiği siklotron bu bariyerin aşılmasına olanak sağlamıştır. Dökülme (spallation) süreci ile yüksek güçlü hızlandırıcıların eldesi, pek çok amaç için kullanılabilecek çok yüksek akıda nötron üretimine olanak sağlar. Başkalaşım reaksiyonu için

yüklü parçacıklar, γ -ışınları ve nötronlar kullanılabilirse de, nötronlar, Coulomb etkileşimi yapmamaları ve yüksek tesir kesitleri nedeniyle en uygun ve verimli çözümü sunmaktadır. (Gudowsk W.,1999) (Bauer G.S., 2001)

Alternatif nötron kaynakları elde etmek için konusunda ilk deneyler 1940' ların sonlarına doğru Amerika Birleşik Devletlerinde E.O. Lawrence ve Sovyetler birliğinde W.N. Semerov tarafından gerçekleştirilmiştir. 1960' ların sonlarında Brookhaven National Laboratory (BNL)' de, Na-soğutmalı hızlı reaktör hedefi, eriyik tuz hedef veya He-gaz-soğutmalı hedef, kullanılarak hızlandırıcı hızlı üretken (fast breeder) reaktör projeleri geliştirilmiştir. Fakat kısa bir süre içinde, başkalaşım için gerekli proton demeti akımının yetersizliği nedeniyle bu çalışmalardan vazgeçilmiştir. (Gudowsk W.,1999)

Bir 'spallation' nötron kaynağı çevresine fisyon ürünleri yerleştirilerek radyoaktif malzeme yarı ömrü çok daha kısa başka bir malzemeye dönüştürülebilir. Bu sürecin verimini arttırmak için, spallation hedefi, bir alt kritik reaktör çekirdeğine (battaniye) sarılabilir. Bu şekilde yüksek aktiviteye sahip aktinitlerin yakılması (incineration) için hızlı nötronlara dayalı bir ADS projesi (PHOENIX) BNL tarafından önerilmiş ve halen Japonya' da OMEGA programının bir parçası olarak sürdürülmektedir. Los Alamos National Laboratory (LNL), Plütonyum ve daha ağır aktinitlerin yakılması, bazı uzun ömürlü fisyon ürünlerinin başkalaşımı ve enerji üretimi için Th/U yakıt çevrimine dayanan termal nötronları kullanacak lineer hızlandırıcı (LINAC) sistemler üzerine çalışmaktadır. Bunların yanı sıra, 1993' de, C. Rubbia ve ekibinin CERN' de enerji üretimi için önerdiği Th/U yakıt çevrimine dayanan siklotron tabanlı hibrit sistem, diğer sistemler çoğunlukla hafif su reaktörlerinin (LWR) atıklarını işlemek üzere tasarlandığından, Toryum yakıt çevrimine olan ilgiyi arttırmıştır. (Koning A.J. vd.,1997) (Gudowsk W.,1999) (Bauer G.S., 2001) (Plendl H. S., 2001)



Dolayısıyla ${}^{235}\text{U}$ ve ${}^{239}\text{Pu}$ kullanan günümüz reaktörlerine alternatif olarak ${}^{232}\text{Th}$ ile çalışacak reaktörler planlanmaktadır. Eğer böyle bir reaktörde hızlandırıcı için harcanan enerjiden daha yüksek bir enerji elde edilebilirse sistem kendi kendini çalıştırabilir ve enerji üretimi için kullanılabilir. Toryum reaktörü ${}^{232}\text{Th}$ ' un bir nötron yakalayarak ${}^{233}\text{Th}$ ' a dönüşmesi ve bunun bozunarak fisil olan ${}^{233}\text{U}$ 'ü oluşturması ile çalışır, fakat bu reaksiyonun kendini sürdürece kadar nötrona ihtiyaç duyması nedeniyle parçacık hızlandırıcılarına gereksinim

vardır

Bu yeni reaktörler, ürettikleri nükleer atık, nükleer silah yapımına elverişli malzeme ve kaza riski bakımından mevcut reaktörlere göre büyük avantajlar vaat etmektedir. Gerçektende, Toryum reaktörleri Uranyum reaktörlerinin %3' ü kadar nükleer atık üretmektedir. Uranyum reaktörlerinin atıkları radyoaktifliklerini çeyrek milyon yıl sürdürürken toryum reaktörleri için bu süre sadece 500 yıldır. Bu avantajların yanı sıra toryum reaktörleri uranyum reaktörlerine kıyasla %80 oranında daha az Plütonyum üretmektedir ki bu silah yapımı için kullanılmasını da zorlaştırır. Toryum, Uranyum gibi fisil bir malzeme olmadığından zincirleme reaksiyon esnasında kor erimesi gibi bir kaza (1986, Chernobyl nükleer kazası) riskini de oluşturmaz. Ayrıca, dünya toryum rezervi uranyum rezervinin üç katıdır ve doğal Uranyum' un %0.7' si doğrudan reaktörde kullanılabilir nitelik taşıırken, toryum cevheri reaktörde doğrudan kullanılabilir niteliktedir.

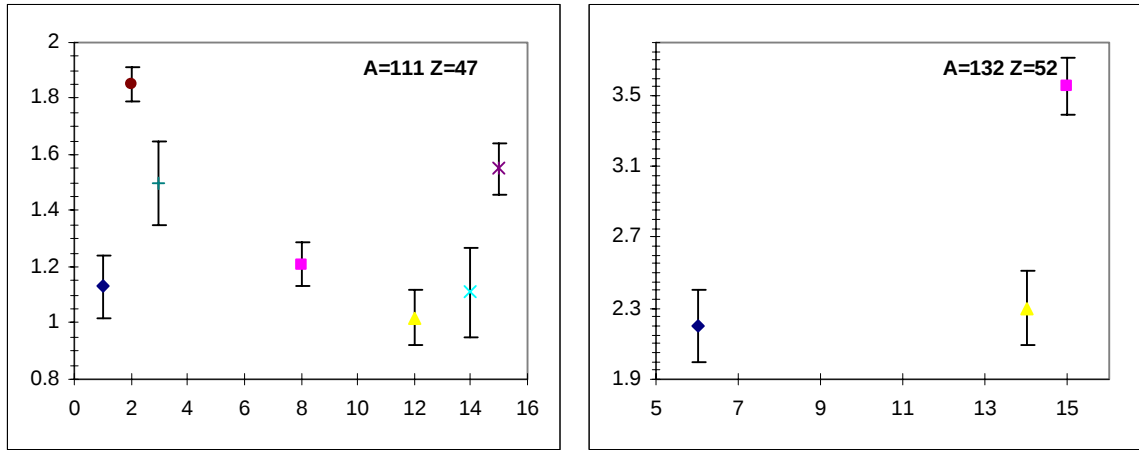
Her iki durum göz önüne alındığında ADS' ler, alt kritik olmaları ve parçacık akımının kesilmesi sonucu durmaları, hem uranyum reaktörlerinin aktinit atıklarını başkalaştırmakta hem de toryum yakıtlı reaktörleri çalıştırmakta daha güvenli bir çözüm sunmaktadır. Yukarıda belirtilen nedenler Toryum üzerindeki ilgiyi arttırmış ve onu gelecek nesil reaktörlerin yakıtı haline getirmiştir.

Toryum 1829 yılında Jöns Jakob Berzelius tarafından keşfedilmiştir. Radyoaktif olduğu ise 1898 yılında Marie Curie ve Gerhard.C. Schmidt bağımsız çalışmalarında gösterilmiştir. Literatüre bakıldığında hızlı nötronlarla toryum fisyonu çalışmaları 1950 yılında W.Nyer' in Los Alamos Scientific Lab.'daki tesir kesiti ölçümleri ile başlar [9]. Toryum' un 14.7 MeV ve 14.8 MeV enerjilerindeki nötronlarla fisyonundan oluşan toplam fisyon ürünlerinin (cumulative yield) belirlenmesine yönelik çalışmalar ise 1988 Sun Tongyu, 1987 Li Wenxin, 1965 G.P.Ford, 1973 L.R.Battles, 1972 S.A. Rao, 1971 D.L.Swindle, 1971 J.Blachot, 1970 L.H.Gevaert, 1969 D.R.Nethaway, 1968 T.Mo, 1968 M.Thein, 1966 R.Ganapathy, 1964 K.M.Broom tarafından gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmalarda D-T reaksiyonu sonucu elde edilen 14–14.9 MeV nötronlar kullanılmıştır. D-T reaksiyonları için Sames (Blachot, 1971), Cockcroft-Walton (CCW) (Tongyu ,1988, Wenxin,1987, Ford, 1965, Battles, 1973, Rao 1972, Swindle, 1971, Gevaert, 1970, Mo, 1968, Ganapathy, 1966, Broom,1964), ACCEL,1USAARK (Thein, 1968) ve ICT (Nethaway, 1969) hızlandırıcıları kullanılmıştır. Bu deneylerde fisyon ürünlerinin belirlenmesi için beta sayıcı olarak orantısal sayıcılardan (PROPC), (Swindle,1971, Nethaway, 1969, Mo, 1968, Thein,

1968, Ganapathy, 1966, Broom,1964) ve gamma detektörü olarak da NaI(Tl) kristal sintilatörler (NAICR) (Gevaert, 1970, Nethaway, 1969, Mo, 1968, Thein, 1968, Ganapathy, 1966, Broom,1964) ile GeLi yarı iletken detektörlerinden (Tongyu ,1988, Wenxin,1987, Rao 1972, Blachot, 1971, Gevaert, 1970) yararlanılmıştır. Işınlanan örnekler Th (Thein, 1968) $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ (Tongyu ,1988, Wenxin,1987, Battles, 1973, Rao 1972, Swindle, 1971, Broom,1964) ve $\text{Th}(\text{CO}_3)_2$ (Mo, 1968, Thein, 1968) dır. Pek çok çalışmada hata veya belirsizlik hesaplamalarının ne şekilde gerçekleştirildiğine yer verilmemiştir. Belirsizlikler, genellikle sayım istatistiğinden kaynaklanan standart hata ve standart sapmalardır. Gamma-ışını bolluklarının belirsizlikleri hata hesaplamalarına dahil edilmemiştir.

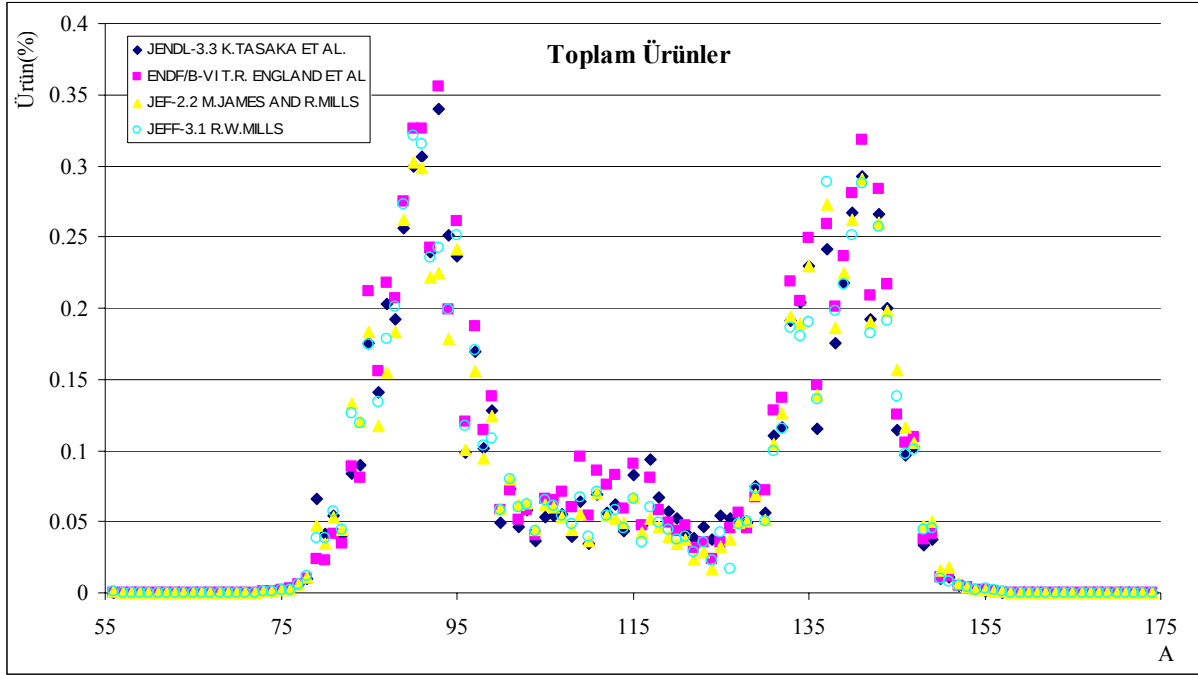
Yukarıda belirtilen deneysel çalışmalarda toplam 89 adet fisyon ürünü belirlenmiştir. Bu ürünlerden sadece 49 tanesi için birden fazla veri bulunmaktadır. Bu veriler arasında %100' e varan farklılıklar vardır. Verilerdeki bu farklılıklara örnek olarak, Şekil 1.1' de ^{111}Ag ve ^{132}Te çekirdekleri toplam ürün oranları gösterilmiştir. Sadece 1971 yılında Blachot tarafından yapılan çalışma gamma spektroskopisi bilgisine dayanmakta diğer çalışmalarda fisyon ürünleri radyokimyasal yöntemlerle belirlenmektedir.(Li Wenxin' in 1987 ve Sun Tongyu' nun 1988 yılındaki çalışmalarında radyo kimyasal yöntemlerle gamma spektroskopisi birlikte kullanılmıştır.)



Şekil 1.1 ^{111}Ag ve ^{132}Te için deneysel sonuçlar*

* [1] K.M.Broom, [2] G.P.Ford, [3] R.Ganapathy, [4] M.Thein, [5] M.Thein, [6] T.Mo, [7] D.R.Nethaway, [8] L.H.Gevaert, [9] L.H.Gevaert, [10] J.Blachot, [11] D.L.Swindle, [12] S.A. Rao, [13] L.R.Battles, [14] Li Wenxin, [15] Sun Tongyu

Th' un hızlı nötronlarla fisyonunda, kütle numaraları 1–174 arasında değişen 52 farklı elemente ait 1384 çekirdek oluşacağı hesaplanmıştır. (Mills,2005, Tasaka vd, 2002, James vd, 1993, England vd, 1992). Bu hesap sonuçları kıyaslandığında, deneysel çalışmalara benzer sapmalar dikkat çekmektedir. Bildirilen çekirdeklerin yaklaşık yarısı her dört çalışmada da yer almaktadır. Bu çalışmalara ait kütle dağılım grafiği Şekil 1.2' de verilmiştir.



Şekil 1.2 75–175 kütle numarası aralığında Th(n,f) reaksiyonunun toplam ürün dağılımları (Mills,2005), (Tasaka vd, 2002), (James vd, 1993), (England vd, 1992)

Toryum üzerindeki çalışmaların azlığının nedeni, Toryum' un bu güne kadar nükleer yakıt olarak değerlendirilmemesidir. Yayınlanan son deneysel çalışma 17 yıl öncesine, gamma spektroskopisi ile yapılan çalışma ise, 34 yıl öncesine dayanmaktadır. Geçen zaman nükleer fizik açısından değerlendirilirse, detektör, ölçüm ve analiz sistemlerindeki teknolojik gelişmeler Toryum' un hızlı nötronlarla etkileşiminin incelenmesine yansımamıştır denebilir. Nükleer enerji santrallerinin planlanması ve gerçekleştirilmesi için gerekli bilginin oluşması bu santrallerin hayata geçmesini hızlandıracaktır.

1.1 Dünyada ve Türkiye' de Toryum

Nadir toprak elementleri içeren Monazit [(Ca, La, Th, Y)P₀₄] minerali aynı zamanda Toryum ve bileşiklerinin esas kaynağı olan bir Toryum fosfat mineralidir. Monazit yatakları içindeki Toryum rezervlerinin ton olarak ülkelere göre dağılımını Çizelge 1.1' de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Toryum rezervlerinin ülkelere göre dağılımı (Hedrick J.B., 2002)

Ülkeler	Rezerv (ton)
Avustralya	300.000
Hindistan	290.000
Norveç	170.000
USA	160.000
Kanada	100.000
Güney Afrika	35.000
Brezilya	16.000
Malezya	4.500
Diğerleri	90.000
Toplam	1.165.500

Yurdumuzdaki Toryum içeren karmaşık cevher yatağı Maden Tetkik Arama' nın havadan yaptığı araştırma ile 1959 yılında bulunmuştur. Sivrihisar ilçesine bağlı Beylikahır yöresinde yer alan bu yatakta, florit, bant ve nadir toprak elementleri içeren bir mineral olan bastnazit ((Ce,Lu)FCO₃) gibi diğer değerli mineraller de saptanmıştır.[8] Tüm minerallerin kafes yapısına giren Toryum, bastnazit mineralinin kafes yapısında yoğunlaşmıştır. Saha, devletçe işletilecek madenler kapsamına girdiğinden Eti Holding'e devredilerek ruhsatlandırılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda yatakta %0.21 ortalama tenörlü 380.000 ton ThO₂ rezervi olduğu belirlenmiştir. Yine çalışmalar sonucunda bant ve flonit minerallerinin ekonomik bir şekilde kazanılabileceği anlaşılmıştır. [7] Ancak nadir toprak elementlerinin ve Toryum' un doğrudan fiziksel yöntemlerle elde edilmesi mümkün olmadığı için, öncelikle, bunları bir ön konsantrede toplamak ve sonra uç işlemi uygulamak gerekecektir. Bununla ilgili teknolojik sorunlar henüz çözülememiştir. Beylikahır' daki rezervlere ek olarak Malatya Hekimhan-Kuluncak'da bulunan benzer karakterli Toryum yatağında gerekli çalışmalar tamamlandığında Türkiye' nin Toryum potansiyelinde önemli artışlar beklenmektedir. (DPT, 1996)

Gelecekte daha ekonomik, güvenilir ve güvenlik yönünden daha geliştirilmiş teknolojiler dünyada yaygın olarak kullanılacaktır. Ülkemizin bu gelişmelerden uzak kalması düşünülemez. Avrupa Atom Enerjisi Kurumu (UAEA), 2001 yılında nükleer enerjinin 21.yüzyıl enerji kaynakları içerisinde yerini alabilmesi için yapılması gerekenleri saptamak ve

hem nükleer teknoloji üreticisi hem de nükleer teknoloji kullanıcısı üye ülkeleri bir araya getirerek nükleer reaktörler ve yakıt çevrimlerinde yapılması gereken yenilikleri belirlemek amacıyla [4] Uluslararası Yenilikçi Nükleer Reaktörler ve Yakıt Çevrimi adında bir proje başlatmıştır. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu 2000 yılında bu projeye katılma kararı almış ve 2001 yılından bu yana söz konusu projede aktif çalışmaktadır. [11] Aynı zamanda bu projenin kapsamında da yer alan kullanıcı ülke gereksinimlerinin ve ölçütlerinin belirlenmesi hususunda Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından bir çalışma yürütülmekte ve bu çalışmada değişik nükleer yakıt çevrimi seçenekleri de değerlendirilmektedir. (Zararsız S., 2003)

Bu çalışmanın amacı, toryumun hızlı (~ 14 MeV) nötronlarla fisyonu ile ilgili nükleer verilerin (fisyon ürünlerinin tayini ve bolluklarının belirlenmesi, bozunum süreçleri v.d.) güncel teknolojinin elverdiği detektör ve ölçme sistemlerini kullanarak, gamma spektroskopisi yöntemiyle elde edilmesi ve elektronik yolla bulunan verilerin gelişmiş hızlı bilgisayarlarla değerlendirilmesidir. Böylece, yıllar önce yapılan çalışmalarda elde edilen birbirinden farklı sonuçlara daha doğru ve duyarlı bir bakış getirilecektir.

Tezin ilerleyen bölümlerinde nükleer reaksiyonlar, radyasyonun madde ile etkileşmesi ve nükleer ölçümler hakkında temel bilgiler (Bölüm 2) verilecektir. Bu temel bilgiler doğrultusunda hazırlanan deney sistemi Bölüm 3' de açıklanacaktır. Bu sistem ile alınan ölçümler Bölüm 4-5' de ve ölçüm sonuçlarının değerlendirmesi Bölüm 6' da verilecektir.

2. TEMEL BİLGİLER

2.1 Radyasyon

Radyasyon, enerjinin bir yerden başka bir yere elektromanyetik dalgalarla taşınmasıdır. Atomik veya nükleer süreçler açısından değerlendirdiğimizde, radyasyon, dört genel tipte sınıflandırılabilir. Bunlar; görünür ışık, yüklü parçacık radyasyonu (hızlı elektronlar ve ağır yüklü parçacıklar), yüksüz radyasyon (elektromanyetik ışıınım) ve nötronlardır. (Knoll G.F., 2000)

Hızlı elektronlar nükleer bozunma sonucu ortaya çıkan pozitif veya negatif beta parçacıklarıdır. Ağır yüklü parçacıklar ise kütlesi 1 akb' den büyük olan iyonlardır. Elektromanyetik ışıınım, atomun elektron kabuklarının tekrar düzenlenmesi esnasında ortaya çıkan x-ışınları ve çekirdeğin iç geçişlerinden kaynaklanan gamma-ışınlarıdır. Nötronlar ise, pek çok nükleer süreçle ortaya çıkan ve yavaş ve hızlı nötronlar olarak alt kategorilere ayrılan radyasyon türüdür. (Knoll G.F., 2000)

2.2 Nükleer Reaksiyonlar

Nükleer bilimler açısından nükleer reaksiyonlar çok önemli bir role sahiptir. Bu reaksiyonlar ile farklı türlerdeki radyasyon üretilip ölçülebilir veya çekirdeğin içyapısı hakkında bilgi elde edilebilir. Nükleer reaksiyonlar iki temel sınıfta toplanabilir.(Shultis J.K. ,2002)

Bunlardan birincisi reaksiyona giren X çekirdeğinin kendiliğinden bir veya birkaç parçacık yayınlıyarak değişmesidir.



Bu tür reaksiyonlara doğal radyoaktif bozunma denir. Bu bozunmalar bölüm 2.3' de açıklanacaktır.

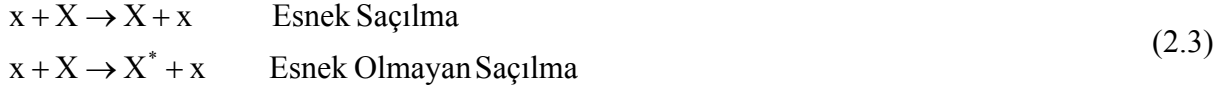
İkinci sınıfta yer alan reaksiyonlar 'ikili reaksiyonlar' olarak adlandırılır. Bu tür reaksiyonlar genellikle belli bir kinetik enerji ile hareket eden bir nükleon veya hafif çekirdeğin (x), diğer bir çekirdeğe (X) çarpması ve etkileşmesi sonucunda (y) ve (Y) ürün çekirdeklerini oluşturması şeklinde gerçekleşir.



Böyle bir reaksiyon x ve y reaksiyona giren hafif parçacıklar olmak üzere X(x,y)Y şeklinde

bir kısaltmayla da ifade edilir.

İkili reaksiyonlar iki grup altında incelenebilir. Birinci grup, reaksiyona giren ve çıkan çekirdeklerin veya nükleonların değişmediği saçılma reaksiyonlarıdır. Bu reaksiyonlar sembolik olarak



şeklinde gösterilir. Çarpışma esnasında çekirdekler arasında kinetik enerji ve momentum transferi olur. Eğer kinetik enerji korunuyorsa bu tip saçılmaya esnek saçılma, kinetik enerji korunmuyorsa esnek olmayan saçılma denir. Esnek olmayan çarpışmada kinetik enerjinin bir kısmı iç uyarılma enerjisine dönüşür. * işareti X çekirdeğinin çarpışmadan sonra uyarılmış durumda kaldığını gösterir.

İkinci grupta ise, reaksiyona giren ve çıkan parçacıkların kimliklerinin değiştiği $X(x,y)Y$ iki cisim reaksiyonu, $X(x,yz...)Y$ parçalanma reaksiyonu, $X(x,y)Y$ yakalama reaksiyonu gibi nükleer reaksiyonlar yer alır. Bu tip reaksiyonlar bölüm 2.7' de açıklanacaktır.

Her nükleer reaksiyonda toplam enerji (durgun kütle enerjisi + kinetik enerji), çizgisel ve açısal momentum, yük (Z: proton sayısı) ve kütle (A: nükleon sayısı) korunmalıdır. Bu durumu bir örnekle açıklamak gerekirse, Rutherford' un havadaki azot çekirdeklerini ${}^4_2\text{He}$ parçacıklarıyla çarpıştırdığı, ilk nükleer reaksiyon olan, (α,p) reaksiyonu verilebilir.



2.3 Bozunma Türleri

2.3.1 α Bozunumu

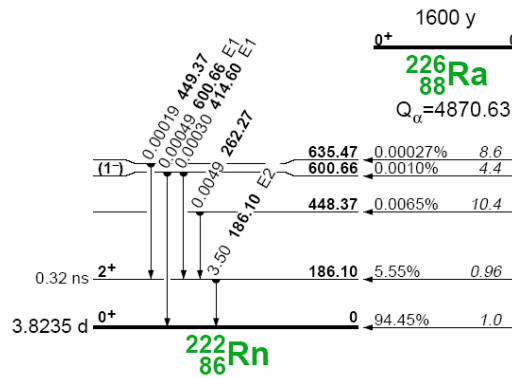
Alfa tanecikleri ilk olarak, Rutherford tarafından 1903'de Radyum' un bozunumundan çıkan parçacıkların yük/kütle oranlarının ölçülmesi ile bulunmuştur. Coulomb itme etkisi sonucu oluşan bu bozunum, ağır çekirdeklerde yıkıcı Coulomb etkisinin Z^2 ile artmasından dolayı özellikle önemli hale gelir. Bu süreci anlık olarak ifade etmek yerinde olur, çünkü açık bir neden olmaksızın bir miktar kinetik enerji anında ortaya çıkar ki bu enerjinin nedeni sistemin kütleindeki azalmadan kaynaklanır. Çıkan parçacıklar ${}^4\text{He}$ atomlarıdır. Helyum atomlarının anlık emisyon süreci



şeklindedir.(Krane S.K. 1987)

Bir nükleer reaksiyonda çizgisel momentum ve enerjinin korunması gerekliliğinden, hareketle ayrışma enerjisi Q_α aşağıdaki gibi bulunur. (Shultis J.K. ,2002)

$$Q_\alpha = \frac{1}{2}m_\alpha V_\alpha^2 \left(\frac{m_\alpha}{m_Y} - 1 \right) \quad (2.6)$$

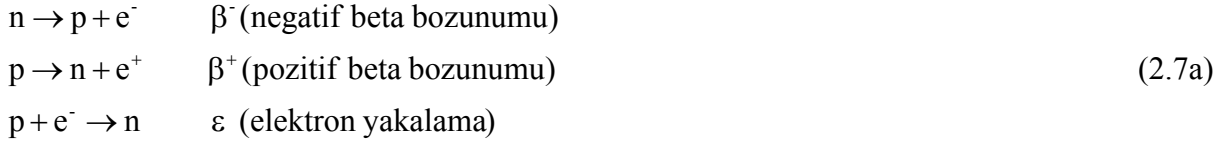


Şekil 2.1 ${}^{226}\text{Ra}$ α bozunum (Firestone R. B., 1996)

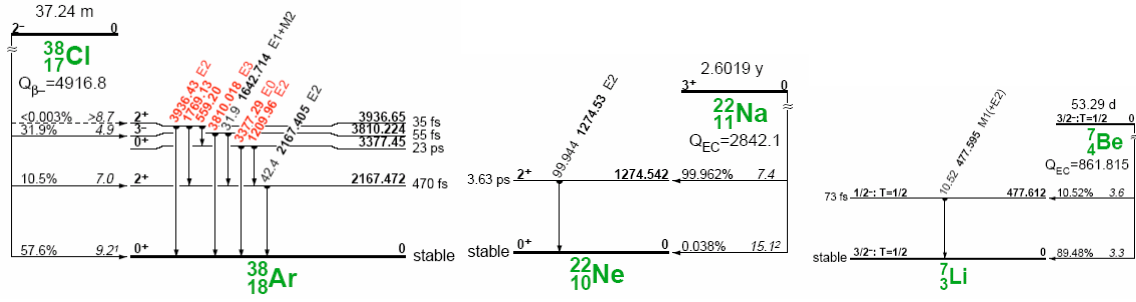
Bununla beraber, bu bozunma, her zaman ana çekirdeğin taban durumundan kız çekirdeğin taban durumuna olmaz, uyarılmış seviyede kalan kız çekirdek bir γ -ışını yayınlarak taban durumuna geçer. Bu durum Şekil 2.1' de ${}^{226}\text{Ra}$ 'nın α bozunum şemasında görülmektedir.

2.3.2 β Bozunumu

Negatif elektron emisyonuyla bozunum radyoaktif bozunma sürecinde ilk bulunan olgulardan biridir. Bu sürecin tersi, yani bir yörünge elektronunun yakalanması 1938 yılında Alvarez' in, yakalanan elektronun boş bıraktığı yörüngeye olan geçişlerden gelen karakteristik x-ışınlarını gözlemlemesi ile bulunmuştur. 1934 yılında Joiliot-Curies radyoaktif bozunmada pozitronu, yani pozitif yüklü elektronu gözlemlemişlerdir. Bu bozunma, bozunan kararsız çekirdeğin, A kütle numarası korunarak, kararlı izobarına doğru kaymasıdır. Temel bozunum süreçleri: (Krane S.K. 1987)



Alfa bozunumunun tersine beta bozunumunda tek bir enerjideki emisyon yerine bir enerji dağılımı söz konusudur. Bu enerji dağılımını açıklamak için 1932 yılında Pauli bozunma sürecinde ikinci bir parçacığında var olması gerektiğini ileri sürmüş ve daha sonra Fermi, bu parçacığı nötrino olarak adlandırmıştır ve beta bozunumu aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir. (Shultis J.K. ,2002) (Krane S.K. 1987)

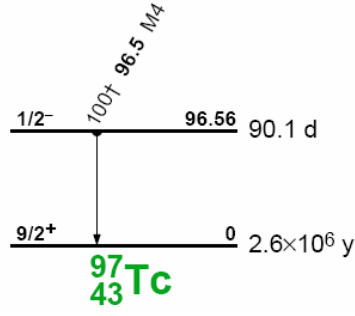


Şekil 2.2 β^- , β^+ , EC bozunumları (Firestone R. B., 1996)

2.3.3 γ Bozunumu

Alfa ve beta bozunumları ve pek çok nükleer reaksiyon, ürün çekirdeğin uyarılmış seviyede kalmasına neden olur. Bu uyarılmış durumdaki çekirdek yaklaşık 10^{-9} s gibi bir süre içinde bir veya daha fazla γ -ışını yayınlamaya geçebilir. Bununla beraber, bazı çekirdekler bu uyarılmış seviyede daha uzun bir süre kalırlar. Bu uzun ömürlü uyarılmış durumdaki çekirdeklere izomer denir ve bu çekirdeklerin γ -ışınları yayınlamaya geçmeleri izomerik geçiş olarak isimlendirilir. γ -ışınları da x-ışınları veya görünür ışık gibi bir elektromanyetik radyasyondur. Böyle bir geçiş aşağıdaki reaksiyon ile gösterilir. (Shultis J.K. ,2002) (Krane S.K. 1987)





Şekil 2.3 γ bozunumu, izomerik geçiş (Firestone R. B., 1996)

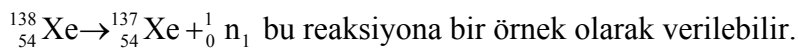
Nükleer spektroskopi açısından sahip olduğumuz bilgi bu uyarılmış durumlarla ilgilidir. Dolayısıyla γ -ışını emisyonu nükleer spektroskopi açısından standart bir teknik haline gelmiştir. Bu seçimdeki diğer bir önemli faktör ise γ radyasyonunun α ve β radyasyonuna göre havada soğurulmasının ve saçılmasının ihmal edilebilir olmasıdır.

2.3.4 n ve p Bozunumu

Bazen nötronca zengin bir çekirdek, aynı elementin farklı bir izotopuna n yayınlamaya bozunur. Kız çekirdek reaksiyon sonunda çoğunlukla uyarılmış seviyede kalır ve bir γ -ışını yayınlamaya taban durumuna döner. Böyle bir reaksiyon şematik olarak aşağıdaki şekilde gösterilebilir.



Bu bozunuma, çok seyrek rastlansa da nükleer reaktörlerde çok önemli bir role sahiptir. Fisyon sonucu reaktörde oluşan bu tip ürünler, oluştuktan birkaç dakika sonra nötron yayınlamaya bozunurlar. (Gecikmiş nötronlar) Bu nötronlar zincirleme reaksiyona katılarak, reaksiyonun yavaşlamasına ve kontrol edilebilir olmasına yardımcı olurlar.



Benzer şekilde protonca zengin birkaç çekirdek de proton yayınlamaya bozunur. Bu tip bir reaksiyon sonucunda kız çekirdek bir e^- salarak nötr duruma geçer. Bu reaksiyonun aşağıdaki şekilde yazılır.



2.3.5 İç Dönüşüm (IC) Bozunumu

Uyarılmış durumda kalan çekirdek γ -ışını yayınlarak temel duruma geçer, fakat bazen bu uyarılma atomik e^- lara transfer olur (genellikle K-kabuğu) ve e^- nun atılarak çekirdeğin taban durumuna geçmesi ve atomun pozitif yüklü kalması ile sonuçlanır. (Shultis J.K. ,2002)



2.4 Radyoaktivite ve radyoaktif bozunma kanunu

Radyoaktivite, ilk olarak H. Becquerel' in 1896 yılında uranyum tuzlarından çıkan görünmeyen ışınların ışığı geçirmeyen malzemelerden geçip fotoğraf plakaları üzerinde bıraktığı izleri fark etmesiyle bulunmuştur. Bir radyoaktif kaynağın aktivitesi bozunma oranı olarak tanımlanır ve λ bozunma sabiti ve N radyo aktif çekirdek sayısı olmak üzere

$$\lambda = -\frac{(dN/dt)}{N} \quad (2.12)$$

temel bozunum kanunu ile verilir. Denklemin sağ tarafı birim zamanda bir çekirdeğin bozunma olasılığıdır. Denklem 2.12' in çözümü, N_0 , $t=0$ daki radyoaktif çekirdeklerin sayısı olmak üzere, üstel bozunma yasasını verir.

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.13)$$

Bozunmanın birimi, saniyede $3.7 \cdot 10^{10}$ bozunma olarak tanımlanan Curie (Ci) dir. Hala çokça kullanılsa da Conférence Générale des Poids et Mesures (GCPM)' nin 1975' deki toplantısında aktivitenin SI birim sistemindeki karşılığı becquerel (Bq) olarak tanımlanmıştır. ($1 \text{ Bq} = 2.703 \cdot 10^{-11} \text{ Ci}$)

2.5 Yarı Ömür

Yarı ömür, $t_{1/2}$, bir radyoaktif malzemedeki $t=0$ anındaki çekirdeklerin sayısının yarıya inmesi için gerekli süredir. Denklem 2.13' de N yerine $N_0/2$ koyarsak yarı ömür için

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (2.14)$$

elde ederiz.

2.6 Radyoaktivitenin Üretilmesi ve Bozunması

Kararsız bir çekirdek, kararlı bir çekirdeğin yüklü veya yüksüz parçacıklarla ışınlanması ile suni olarak oluşturulabilir. Laboratuvar ortamında hızlı nötronlarla ışınlanan kararlı bir çekirdekle β bozunumu yapacak kararsız bir çekirdek elde edilebilir. Nötronlar yüksüz parçacıklar olduğundan atomun yörünge elektronları veya çekirdeğiyle Coulomb etkileşimi yapmazlar. Nötronların çekirdekle etkileşimi, çekirdeğe girmeleri veya nükleer kuvvetler etkisinde kalmaları ile mümkündür. (Shultis J.K. ,2002) (Knoll G.F., 2000)

Denklem 2.12' in çözümünde $t=0$ anında N_0 tane çekirdek olduğunu ve zaman içinde buna bir katkı olmadığını kabul ettik. Bununla beraber pek çok uygulamada nükleer reaksiyonlarla aktiviteyi biz üretiriz. Bu durumda, Denklem 2.12' in, aktivitenin üretilmesi ve bozunması süreçlerini dikkate alarak, tekrar değerlendirilmesi gerekir.

Kararlı çekirdeklerden oluşan bir hedef, reaktöre veya bir hızlandırıcıya konulduğunda nötron veya yüklü parçacık yakalayarak radyoaktif hale gelebilir. Bu sürecin oluşma hızı (R) hedef atomlarının sayısına (N_0), mermi parçacıkların akısına (I) ve bir mermi parçacığının hedef ile etkileşme olasılığı, yani, tesir kesitine (σ) bağlıdır. Tesir kesitlerinin barn (10^{-24} cm^2) mertebesinde ve reaktör veya hızlandırıcı nötron akısının $10^{14} /s \text{ cm}^2$ mertebesinde olduğu varsayılırsa saniyede bir parçacığının aktifleşme olasılığı 10^{-10} mertebesinde bulunur. Bu nedenle ışınlama saatler sürse dahi, hedef atomlarının sayısının değişimi ihmal edilebilir ve aktifleşme sürecinin oluşma oranı için

$$R = N_0 \sigma \Phi \quad (2.15)$$

yazılabilir. (Krane S.K. 1987) Bu süreçte oluşan aktif çekirdeklerin sayısını N_1 ile gösterilirse, bu çekirdekler λ_1 bozunma sabiti ile kararlı çekirdeğe bozunacak, dolayısıyla N_1 çekirdeklerinin sayısı R ile artarken λ_1 ile azalacaktır:

$$dN_1 = R dt - \lambda_1 N_1 dt \quad (2.16)$$

Bu denklemin çözümünden ürün çekirdek sayısı

$$N_1(t) = \frac{R}{\lambda_1} (1 - e^{-\lambda_1 t}) \quad (2.17)$$

ve aktivitesi

$$A_1(t) = \lambda_1 N_1(t) = R (1 - e^{-\lambda_1 t}) \quad (2.18)$$

olarak bulunur. Eğer ışınlama süresi hedef çekirdeklerin yarı ömürlerine kıyasla çok küçük ise üstel ifadeyi seriye açıp sadece lineer terimi seçilerek

$$A_1(t) = R\lambda_1 t \quad t \ll t_{1/2} \quad (2.19)$$

elde edilir. Böyle bir reaksiyon ile elde edilen radyoaktif örneğin deneysel olarak belirlenmesi için Denklem 2.6' da ölçüm sistemine göre düzenlemeler yapmak gerekir. Işınlanan örneğin sayımına başlamadan önce geçecek bekleme süresi t_b ve sayım süresi (t_s) içindeki bozunumu, ilgilenilen γ -ışını enerjisinin bolluğunu I_γ , bu enerjideki detektör verimini ε_γ ve sayım geometrisi: katı açı Ω göz önüne alınarak gözlenen Tüm Enerji Tepesi (TET) altında kalan alan (pik alanı)

$$Z = \frac{1}{\lambda} \left[(1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_b} (1 - e^{-\lambda t_s}) \right] \quad (2.20)$$

$$P(E_\gamma) = N_0 \sigma \Phi \Omega \varepsilon(E_\gamma) I_\gamma Z$$

ifadesiyle bulunur.

Seri Bozunma

Karşılaşılan diğer bir durum ise, ilk bozunma sonunda oluşan çekirdeğin de radyoaktif olmasıdır. Bu durumu daha da genelleştirip bozunmanın bir seri zincir üzerinde, $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \dots$ kararlı, olduğu kabul edilirse bozunma için;

$$dN_i = \lambda_{i-1} N_{i-1} dt - \lambda_i N_i dt \quad i = 1, 2, 3, 4, \dots \text{kararlı} \quad (2.21)$$

Genel denklemi yazılabilir. Bu denklemin çözümü aşağıda verilen Bateman denklemleridir. (Shultis J.K. ,2002) (Faure G., 1986)

$$A_n(t) = N_0 \sum_{i=1}^n c_i e^{-\lambda_i t}$$

$$c_m = \frac{\prod_{i=1}^n \lambda_i}{\prod_{\substack{i=1 \\ i \neq m}}^n (\lambda_i - \lambda_m)} \quad (2.22)$$

Bu durum içinde $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \dots = \lambda_n N_n$ kalıcı denge durumu da mümkündür. (Krane S.K. 1987)

2.7 İkili Reaksiyonlar

Reaksiyona giren herhangi bir çekirdek çifti için mümkün pek çok ürün seti vardır. Belirli bir reaksiyonu elde etme olasılığı genellikle mermi çekirdeğin veya nükleonun kinetik enerjisine ve ürünlerin oluştuğu sürece bağlıdır. 40 MeV ve üstündeki enerjilerle hareket eden nükleon veya hafif çekirdeklerin de Broglie dalga boyu, hedef çekirdeğin nükleonlarının ebatları ile kıyaslanabilir büyüklüktedir. Bunun sonucu olarak, bu mermi çekirdek veya nükleon, hedef çekirdeğin bir veya en fazla birkaç komşu nükleonuyla etkileşecektir. Bu doğrudan etkileşmeler çoğunlukla hedef çekirdeğin yüzeyi civarında oluşur. Birkaç MeV' lik enerjiyle hareket eden parçacıkların de Broglie dalga boyu ise nükleonların ebatlarından çok daha büyüktür ve bu nedenle çekirdeğin tamamıyla, yani, birleşik bir çekirdek (compound nucleus) oluşturacak şekilde tüm nükleonlarla eşzamanlı olarak etkileşirler. Bu birleşik çekirdek 10^{-14} s' lik bir süre içinde oluşması mümkün ürünlerden farklı setleri verecek şekilde bozunur. (Shultis J.K. ,2002)

2.7.1 Birleşik Çekirdek

Birleşik çekirdek olgusu ilk olarak 1936 yılında Bohr tarafından ifade edilmiştir. Mermi parçacıkların çekirdeğin bütünüyle etkileşmesi sonucu oluşan bir uyarılmış çekirdeğin ömrü nükleer ömürden (nuclear lifetime) gelen parçacığın hedef çekirdekten geçme süresinden ($10^{-21} - 10^{-17}$ s) uzundur. $10^{-15} - 10^{-13}$ s içinde birleşik çekirdek bir veya daha fazla parçacık yayınlamaya bozunur. Birleşik çekirdeğin uyarılmış seviyeleri, parçacık yayınlamaya bozunduğu için sanal durumlar veya sanal seviyeler olarak adlandırılır. Bunun nedeni uyarılmış çekirdeğin bağlı durumlarından γ -ışını yayınlamaya yaptığı bozunmadan ayırt etmektir. (Shultis J.K. ,2002) (Knoll G.F., 2000) (Krane S.K. 1987) (Vandenbosch R.vd., 1973)

Birleşik çekirdek içeren reaksiyonlar bu nedenle iki aşamalıdır. Bu durum aşağıdaki gibi ifade edilebilir.



Birleşik çekirdek, ömrü nükleer ömürden uzun olduğu için ne şekilde oluştuğunu veya mermi parçacığın geliş doğrultusunu unutmaz. Bu nedenle, birleşik çekirdeğin bozunması sonucu oluşan ürünlerin, birleşik çekirdeğe göre tüm doğrultularda yayılma olasılığı aynıdır. Bunun yanı sıra, birleşik çekirdeğin bozunma şekli de nasıl oluştuğundan bağımsızdır. Farklı ürünler vermek üzere gerçekleşen bu bozunmalara çıkış kanalları (exit channels) denir.

Bu tür ikili reaksiyonları tanımlamak için mermi parçacığının ve hafif reaksiyon ürününün kimliğine bağlı olarak standart bir isimlendirme kullanılır. Bunlara örnek olarak, mermi çekirdek ile hafif reaksiyon ürünü arasında bir veya iki nükleonun transfer edildiği ‘Transfer Reaksiyonları’, $((\alpha,d),(d,p))$, mermi ve hafif reaksiyon ürününün aynı olduğu ‘Saçılma Reaksiyonları’, bazı doğrudan reaksiyonlarda mermi parçacığının bir veya birkaç nükleon eşliğinde yayınlandığı ‘Tepme (knockout) Reaksiyonları’, $((n,2n),(n,np),(n,3n))$, mermi parçacığının hedef çekirdek tarafından yakalandığı ‘Yakalama Reaksiyonları’, (n,γ) ve mermi parçacığının bir γ fotonu olduğu ‘Nükleer Foto Etki Reaksiyonları’, (γ,n) , verilebilir. (Shultis J.K. ,2002)

2.8 Filyon

1932 yılında Chadwick tarafından nötronun bulunması ile çeşitli çekirdekler üzerine nötronun etkilerinin incelenmesi çalışmaları başlamıştır. Fermi ve arkadaşları nötron yakalama reaksiyonu sonucunda oluşan yapay radyoaktifliğin β - yayınlayarak bozunduğunu ve böylelikle çekirdeğin nötron fazlalığını dengelediğini ortaya çıkardılar. Nötron çalışmalarındaki diğer adım ise doğal olarak bulunan en ağır element olan Uranyum’ dan, diğer bazı ağır elementlerin bu yöntem ile elde edilmesi olmuştur. Hahn ve Strassman’ ın 1939’ da Uranyum ile gerçekleştirdiği bir dizi deneyde bu izotopları ve birçok orta ağırlıkta çekirdeği kimyasal yöntemler kullanarak belirlediler. İyonlaşma odalarında yapılan deneylerde ise ortaya çıkan enerjinin α -bozunumundan çıkan enerjiden çok daha büyük olduğu gözlemlendi. Bu verilere dayanarak Meitner ve Frisch 1939’da bu reaksiyonu filyon olarak adlandırdılar. (Shultis J.K. ,2002) (Krane S.K. 1987) (Vandenbosch R.vd., 1973)

Bir veya birkaç nükleonun katıldığı yukarıdaki reaksiyonlardan farklı olarak, filyon, çekirdeğin tüm nükleonlarının olaya katıldığı bir reaksiyondur. Bu reaksiyonu açıklamak veya çekirdek niçin bölünür sorusuna bir cevap bulmak için, Bohr ve Wheeler sıvı damlası modeline dayanan bir kuram geliştirdiler. Bu kuramın mantıksal tabanı Weizsacker’ ın yarı ampirik kütle formülüne dayanır. Küresel bir çekirdek enerji kazandığında titreşmeye başlar ve şekli deforme olur. Bu formüldeki ilk ve baskın terim nükleer hacim ile ilişkilidir ve bağlanma enerjisinin nükleon sayısına bağlılığını ifade eder. Çekirdeğin titreşimi göz önüne alındığında, nükleer hacim, nükleer yoğunluğun doyuma ulaştığını göstermek üzere sabit alınmıştır. Bundan dolayı nükleer filyonun sıvı damlası modelinde yer almaz. Kütle formülündeki ikinci terim yüzey alanı ile orantılıdır ve nükleer yüzeye yakın nükleonların bağlanması ile ilişkili azalmayı temsil eder. Bu terim küre için en küçük değerindedir ve

küresel şekilde titreşim nedeniyle oluşacak bozulmalar potansiyel enerjide bir artışa neden olur. Üçüncü terim protonlar arasındaki itici etkiyi ifade eden Coulomb terimidir. Şekildeki bir basıklaşma (prolate) protonlar arasındaki mesafeyi arttıracak için Coulomb enerjisinde bir artışa neden olur. Dördüncü terim ise nükleon kompozisyonu ile ilişkili simetri terimidir. Bu terimde doğrudan nükleer hacim ile ilişkili olduğundan titreşim sonucu oluşacak deformasyondan etkilenmez. Bu kurama göre fisyon oluşumunu yüzey gerilimi ve Coulomb kuvveti arasındaki ilişki belirler. Deformasyon yüzey enerjisinde hızlı bir artışa Coulomb enerjisinde yavaş bir azalmaya neden olur. Limit durumda çekirdeğin enerjisindeki artış durur ve çekirdek bölünür. Bu şekil deformasyonu Şekil 2.4' de gösterilmiştir ve dördüncü adımda Coulomb itme kuvveti yüzey gerilimine baskın çıkarsa çekirdek bölünür. (Şirin M., 2006) (Shultis J.K. ,2002) (Krane S.K. 1987) (Vandenbosch R.vd., 1973)



Şekil 2.4 Fisyonda şekil biçimleri (Krane K.S., 1988)

Başlangıçta küresel şekle sahip bir çekirdeğe uygulanan gerilmenin (Şekil 2.4' de birinci adım) bağlanma enerjisine etkisi değerlendirilerek fisyon oluşumu için bir limit durum bulunabilir. Bu germe etkisi ile çekirdek elipsoit bir yapı alır. Eğer bu küresel şekilden sapma bir ϵ parametresi ile verilirse iki durum arasındaki enerji değişimi

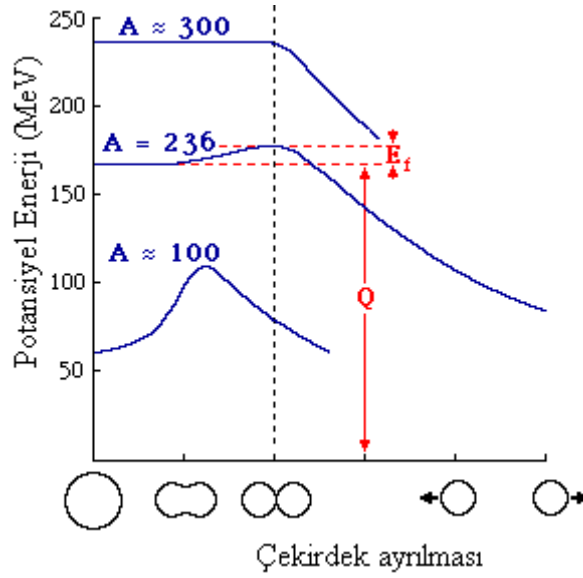
$$\begin{aligned}\Delta E &= B(\epsilon) - B(\epsilon = 0) \\ &= -a_y A^{2/3} (1 + \frac{2}{5} \epsilon^2 + \dots) - a_c Z^2 A^{-1/3} (1 - \frac{1}{5} \epsilon^2 + \dots) + a_y A^{2/3} + a_c Z^2 A^{-1/3} \\ &= \left(-\frac{2}{5} a_y A^{2/3} + \frac{1}{5} a_c Z^2 A^{-1/3} \right) \epsilon^2\end{aligned}\quad (2.24)$$

olur. (Krane S.K. 1987) Eğer ikinci terim birinciden büyükse germe sonucu çekirdek enerji kazanmıştır. Bu gerilmeye karşı kararsız olan çekirdek fisyonla uğrar. Bu nedenle kendiliğinden fisyon şartı a_y a_c değerleri kullanılarak

$$\frac{Z^2}{A} > 47 \quad (2.25)$$

olarak bulunur. (Krane S.K. 1987) Coulomb engeli α -bozunmasında olduğu gibi bölünme işlemini de engeller. Bu engeli aşmaya yetecek miktarda enerji verilebilirse bütün çekirdekler fisyon reaksiyonu yapabilir fakat pratikte fisyon sadece ağır çekirdekler (Toryum ve ötesi) için önemlidir. Fisyon bir bozunma türü olarak değerlendirilirse, kendiliğinden fisyon yapacak çekirdeklerin bu engel büyüklüğünde veya oluşacak iki çekirdeğin bu engeli delip

geçebileceği bir büyüklükte enerjiye sahip olmaları gerekir. $A \approx 300$ kütleli bir çekirdek için denklem 2.25' den elde edilen değer $Z^2/A=48$ olur, başka bir ifadeyle böyle bir çekirdek Coulomb engeli seviyesinde bir enerjiye sahiptir ve kendiliğinden bölünür. Bununla birlikte bazı çekirdekler kendiliğinden fisyon gözlenemeyecek kadar engelin altında bulunurlar. Böyle çekirdekleri, nötronlar veya fotonlar yardımıyla engel yüksekliğine veya daha üstünde bir ara duruma (birleşik çekirdek) getirilecek bir enerji (E_f) verilerek bozunmaları sağlanabilir. Bu duruma indüklenmiş fisyon denir. E_f enerjisine aktivasyon enerjisi veya fisyon engeli denir. (Krane S.K. 1987)



Şekil 2.5 Fisyonunda potansiyel engeli

Toryum ve ötesindeki çekirdekler için nötron/proton oranı yaklaşık olarak 1.5–1.6 arasındadır. Bölünme sonucu oluşacak çekirdeklerinde benzer bir orana sahip olması beklenebilir. Fakat fisyon sonucu oluşan iki çekirdeğin kararlı izotopları için bu oran 1.2–1.4 arasındadır. Bölünme esnasında her iki çekirdekte bu nötron fazlalığını bir veya daha fazla sayıda nötron yayınlamaya atar. Bu nötronlara ani nötronlar denir ve ortalama sayıları ürün bölünme sonucu oluşan çekirdeklere ve fisyonun gerçekleşme şekline (indüklenmiş fisyonunda gelen parçacığın enerjisine) bağlı olarak değişir. (Shultis J.K. ,2002) (Krane S.K. 1987) (Vandenbosch R.vd., 1973)

Fisyon reaksiyonunda ani nötronlara ek olarak gecikmiş nötronlarda yayınlanır. Bu nötronlar fisyon ürünlerinin β - bozunumunun ardından yayınlanan nötronlardır. (Krane S.K. 1987)

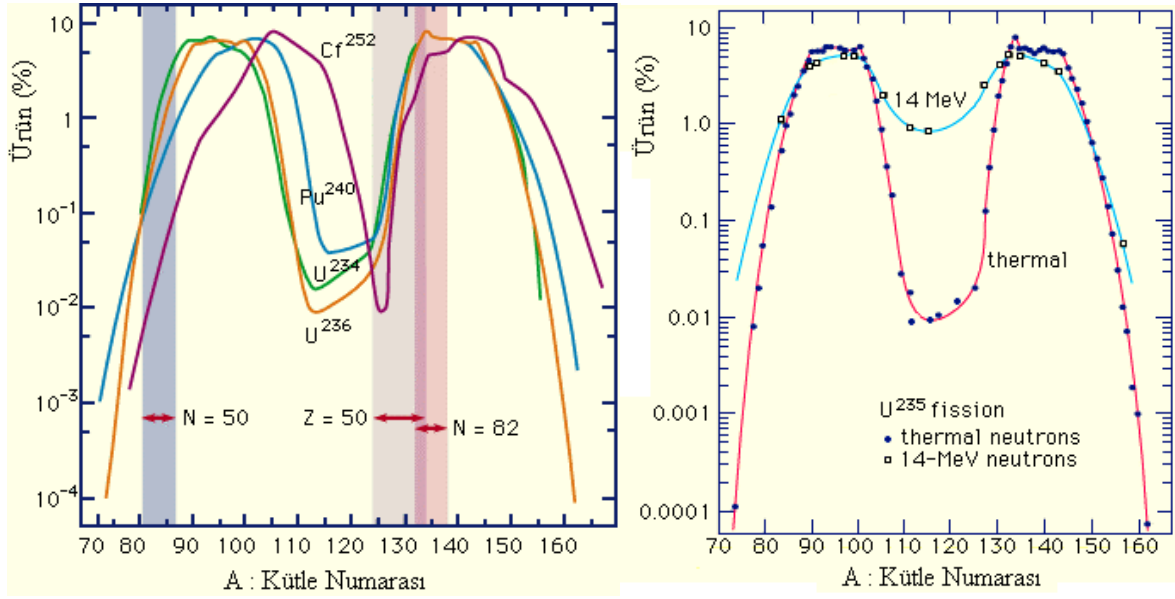
2.8.1 Fısyon Ürünlerinin Kütıle Dağılımı

Fısyon reaksiyonunun gelişme şekline göre ürünlerin isimlendirilmesi reaksiyonun gelişme şeklini açıklamak açısından önemlidir. Bölünme süreci esnasında ani nötronlar yayınlanmadan önce oluşan çekirdeklere fısyon parçaları (fission fragments) denir. Birincil fısyon ürünleri veya bağımsız ürünler ani nötronlar yayınlandıktan sonra fakat β -bozunması öncesindeki çekirdekleri ifade etmekte kullanılır. İkincil fısyon ürünleri veya toplam fısyon ürünleri ise β -bozunması sonucunda oluşan çekirdekleri ifade eder. (Vandenbosch R.vd., 1973) (Gönnenwein F., 1999)

Fısyon reaksiyonu ile birkaç yüz adet farklı çekirdek oluşabilir. Oluşan bu ürünler tek tek belirlenemezler ama bir dağılım gösterirler. Dağılım bir merkez etrafında (eşit kütleli bölünme durumuna göre) simetrik olmalıdır, diğer bir ifade ile, her ağır ürüne karşılık bir hafif ürün bulunmalıdır. Gerçekte bu dağılım asimetrik kütle dağılımı olarak ta ifade edilir. Gelen nötron enerjisi arttıkça bu dağılım simetrik kütle dağılımına doğru kayar. Termal nötronlarla gerçekleşen ^{235}U fısyonunda Tepe/Vadi oranı 620 iken 14 MeV nötronlarla bu oran 6' ya düşer. Şekil 2.6' da [3] çeşitli çekirdekler için toplam ürün dağılımları ve Çizelge 2.1' de (Vandenbosch R., 1973) 14 MeV nötronlarla oluşan fısyon ürün dağılımı için karakteristik bilgiler verilmiştir. (Ohtsuki T. vd., 1989) (Gindler J.E. vd., 1983) (Glendenin L.E., vd., 1980, 1981) (Rajasekaran M. vd., 1981) (Manohar S.B. vd., 1979) (Nethaway D.R. vd., 1969, 1970, 1972, 1977) (Ageno M. vd., 1941) (Segre E., vd., 1941)

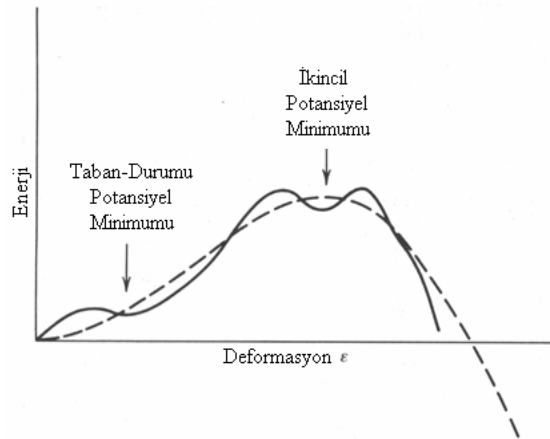
Çizelge 2.1 14 MeV Nötron-etkilenmeli fısyonda kütle dağılım karakteristikleri

Hedef Çekirdek	Ortalama Kütle Numarası		Tepe Genişliği		Simetrik Ürün	Tepe/Vadi Oranı
	Hafif Grup	Ağır Grup	Hafif Grup	Ağır Grup		
^{232}Th	91.5	138	13	-	1.3	5
^{235}U	95.5	137	16	-	1.0	6
^{238}U	97	137.5	16	-	0.8	7



Şekil 2.6 Fisyonda kütle dağılımı [3]

Sıvı damlası modelini göz önüne alarak yapılan fasyon modellemesi fasyon reaksiyonunun anlaşılması açısından önemli bir role sahiptir. Bu modele dayanarak, hedef çekirdeğin kütle numarasındaki artışla, oluşacak simetrik kütle dağılımının da daha ağır çekirdeklere doğru kayması beklenir. Bununla beraber Şekil 2.6’ da, hedef çekirdeğe eklenen nükleonların hepsinin hafif ürün çekirdeklere gittiği görülmektedir. Bunun nedeni sıvı damlası modelinin tek parçacık etkisini göz önüne almamasıdır. Bu durum, kabuk model ile açıklanabilir. Şekil 2.6’ daki taralı alanlar, kabuk modeldeki sihirli nötron ve proton sayılarına (2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, 184) sahip fasyon ürünlerinin bulunması mümkün kütle bölgelerini göstermektedir. Ağır çekirdeklerin alt sınırında olağanüstü kararlı $^{132}_{50}\text{Sn}_{82}$ çekirdeği bulunur. Hafif çekirdeklere ise böyle bir etki görülmez. (Krane S.K. 1987) (Vandenbosch R.vd., 1973)



Şekil 2.7 Fasyon potansiyel engeline kabuk etkisi

Kabuk yapısının en önemli etkisi fisyon engelinde görülür. Çekirdek gerilmeye başlayınca enerji ε^2 ile orantılı olarak artar. Deforme çekirdeğin tek parçacık durumları da değişir. Bazı durumlarda enerji deformasyon ile artarken bazı durumlarda azalma gösterir. Bu tip bir etki fisyon bariyerinde ikinci bir potansiyel minimumuna karşılık gelir. Bu durum şekil 2.7' de gösterilmiştir. (Rejmund F. vd., 2000) (Krane S.K. 1987) (Vandenbosch R.vd., 1973)

2.9 γ -Işını Madde Etkileşimleri

Bir malzeme ile γ -ışını temelde üç süreçle etkileşir. Bunlar fotoelektrik emilim, Compton saçılması ve çift oluşumdur. Her üç durumda da serbest elektronlar kalır ve malzeme içinde aldıkları yol boyunca yavaşlayarak elektron-iyon veya elektron-boşluk çiftlerinin oluşumuna neden olurlar. Detektör sistemlerinde üretilen bu çiftleri, çiftlerden dolayı oluşan yükün büyüklüğüne bağlı olarak gelen radyasyonun enerjisini belirlemekte kullanır.

2.9.1 Fotoelektrik Olay

Fotoelektrik soğurma sürecinde, gelen foton atoma bağlı bir elektronla etkileşir ve enerjisinin tamamı soğurulur. Etkileşmeye giren e^- , atomdan, E_b , bağlanma enerjisi olmak üzere

$$E_e = E_\gamma - E_b \quad (2.26)$$

E_e enerjisi ile ayrılır. Çok küçük miktarda bir enerji atoma verilir fakat bu ihmal edilecek düzeydedir. Kopan bu elektron çevresindeki malzemede yavaşlayacak ve enerjisini yitirecektir. Elektron kaybederek uyarılmış seviyede kalan atom x-ışını veya Auger elektronu yayınlamaya taban seviyesine geçmek isteyecektir. Eğer bu etkileşmeler gerçekleşirse açığa çıkan enerji de katı malzeme tarafından soğurulur. Bu nedenle bu etkileşme sonucunda gelen fotonun tüm enerjisi etkileşme bölgesi civarında malzemeye transfer edilir. (Knoll G.F., 2000) (Debertin K.vd., 1988)

Her ne kadar fotoelektrik etkileşme tesir kesiti (τ) tek bir analitik ifade ile verilemese de element numarasına (Z) ve gelen fotonun enerjisine (E_γ) bağlı olarak

$$\tau = s b t Z^n E_\gamma^{-3.5} \quad (2.27)$$

olarak tanımlanabilir. (Debertin K.vd., 1988) Bu denklemde n 4 ile 5 arasında değer alır. Bu nedenle yüksek Z li malzemelerin foton soğurmada daha verimli oldukları açıktır.

2.9.2 Compton Saçılması

Compton saçılması sürecinde ise gelen fotonun enerjisinin belli bir kısmı elektrona transfer olur ve kalan kısmı ikinci bir foton gibi davranır. Çok küçük foton saçılma açılarında elektrona transfer edilen enerji sıfıra gider ve ikinci foton gelen fotonla hemen hemen aynı enerjiye sahiptir. 180° lik saçılma açısında bile ikinci foton önemli büyüklükte bir enerjiye sahip olur. Bu nedenle gelen fotonun enerjisi ilk etkileşim noktasında tamamıyla soğurulmaz. Yüksek enerjili bir foton için süreç fotoelektrik soğurulma ile tamamlanmadan ikincil fotonun enerjisini azaltacak pek çok Compton saçılması oluşur. (Knoll G.F., 2000) (Debertin K.vd., 1988)

Toplam Compton tesir kesitinin Z ve E bağımlılığı yaklaşık olarak aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\sigma = sbt ZE_{\gamma}^{-1} \quad (2.28)$$

2.9.3 Çift Oluşumu

Enerjisi birkaç MeV mertebesinde olan γ -ışınları için en başta gelen etkileşim süreci çift oluşumdur. Bu süreçte gelen fotonun enerjisi çekirdeğin Coulomb alanında bir pozitron-elektron çiftine dönüşür. Bu nedenle gelen fotonun enerjisi elektronun durgun kütlesinin iki katından (1022 keV) büyük olmalıdır. Kalan enerji ($E_{\gamma}-2m_0c^2$) ise iki parçacık arasında kinetik enerji olarak paylaşılır. Her iki parçacıkta yol aldıkları malzeme içinde yavaşlarlar. Sonuçta pozitron bir elektron ile reaksiyona girer ve yok olur. Eğer bu süreç pozitron kinetik enerjisini tamamen yitirdikten sonra oluşursa enerjileri 511 keV olan iki foton oluşur. Oluşan bu fotonlar Compton saçılması veya fotoelektrik soğurulma süreçleri ile malzemeye etkileşirler. (Knoll G.F., 2000) (Debertin K.vd., 1988)

2.9.4 Foton Azaltması (Attenuation)

Yukarıdaki alt başlıklarda tek bir fotonun detektör malzemesi ile etkileşimi değerlendirilmiştir. Eğer tek enerjili bir foton demeti detektöre ulaşmadan önce başka bir ortamdan geçiyor ise bu γ -ışınlarının zayıflatılmasına neden olur. Bu süreçte oluşan her etkileşme bir fotonu ya emilim ya da saçılmalar sonucunda detektöre ulaşmasını engeller ve ortamın birim uzunluğu başına bu süreçlerin oluşma olasılıkları ile karakterize edilir.

$$\mu = \mu_{\tau} + \mu_{\sigma} + \mu_{\kappa} \quad (2.29)$$

Lineer zayıflatma katsayısı olarak adlandırılan bu eşitliğin sağında kalan terimler sırasıyla

fotoelektrik soğrulma, Compton saçılması ve çift oluşumunun etkilerini ifade eder. Bu etkilerden kaynaklanan zayıflatma katsayıları N_A Avagadro sayısı, M malzemenin molar kütlesi ve τ tesir kesiti ve ρ yoğunluk olmak üzere

$$\begin{aligned}\mu_\tau &= \tau \rho N_A / M \\ \mu_\sigma &= \sigma \rho N_A / M \\ \mu_\kappa &= \kappa \rho N_A / M\end{aligned}\tag{2.30}$$

şeklinde tanımlanır.

Bir x kalınlığındaki malzemeden geçerek detektöre ulaşan fotonların sayısı, N , malzemeye giren fotonların sayısı, N_0 , cinsinden

$$N = N_0 e^{-\mu x}\tag{2.31}$$

ile verilir. Bu denklemde üstel ifade $(\mu/\rho) x \rho$ şeklinde düzenlenecek olursa (μ/ρ) kütle zayıflatma katsayısı olarak adlandırılır. Bu katsayı malzemenin fiziksel fazından (halinden) bağımsızdır. (Knoll G.F., 2000) (Debertin K.vd., 1988)

2.10 γ -Işını Ölçümü

Katı malzemeden yapılan detektörlerin yüksek enerjili elektronların veya γ -ışınlarının ölçümünde kullanılması halinde detektör hacimleri eşdeğer gazlı detektörler için olanlardan daha da küçük olacaktır. Ancak, sintilasyon detektörleri bu tür ölçümler için katı bir ortam sağlasa da zayıf enerji çözünürlükleri bir dezavantaj olmaktadır. Detektör malzemesinin içinde bir fotoelektron (bilgi taşıyıcısı) yaratmak için gerekli enerji 100 eV mertebesinde. Bu nedenle radyasyonun detektör malzemeleriyle etkileşmesinde, çoğunlukla, birkaç bin fotoelektron üretilir. Bu denli küçük bir sayıdaki istatistik dalgalanmalar enerji çözünürlüğünün iyileştirilmesine engel olur. İstatistiksel dalgalanmaların etkilerini azaltmanın tek yolu ise etkileşme sonucunda oluşacak fotoelektronların sayısını arttırmaktır. Yarı iletken malzemenin radyasyon detektörü olarak kullanımı, taşıyıcıların sayısını arttırmakta iyi bir çözüm sunmaktadır. Bu detektörlerdeki temel bilgi taşıyıcıları radyasyon etkileşmesi sonucunda oluşan elektron-boşluk çiftleridir. Bu çiftler temelde gazlı detektörlerde oluşan iyon çiftlerine benzetilebilir ve uygulanan bir elektrik alan etkisi altındaki hareketleri detektörden gelen temel elektrik sinyalinin oluşturur. Yarı iletken malzemeden yapılan basit kavşak (yüzey engelli) detektörlerin yüklü parçacık radyasyonu ve kısa erimli radyasyon ölçümlerinde başarı sağlamasına rağmen, daha sokulgan radyasyon ölçümlerine uyarlanması

zordur. Bunun nedeni aktif hacmin yetersizliğidir. Normal saflıktaki Si ve Ge detektörlerdeki etkileşim derinliği 2-3 mm mertebesinde ve γ -ışını ölçümleri için gerekli detektör kalınlığı bundan çok daha fazladır. Etkileşim derinliği yarı iletken kavşağa uygulanan gerilimin artışı ile ve malzemedeki net safsızlığın azalması ile artırılabilir. Uygulanabilecek gerilim sınırlı olduğundan malzemelerin saflığı geliştirilmiş ve Yüksek Saflıklı Germanyum (HPGe) detektörler üretilmiştir. (Knoll G.F., 2000) (Debertin K.vd., 1988)

HPGe detektörlerin en baskın özelliği γ -ışını spektroskopisindeki mükemmel enerji çözünürlükleridir. Bu çözünürlük temelde üç faktöre bağlıdır, bunlar: yük taşıyıcılarının sayısındaki tabii istatistiksel bolluk, yük toplama verimindeki değişiklikler ve elektronik gürültü katkısıdır. Bu faktörlerden hangisinin baskın olduğu gelen radyasyonun enerjisine ve detektörün boyutları ve kalitesine bağlıdır. Tek enerjili bir γ -ışını için yarı yükseklikteki tüm genişlik (FWHM) aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$W_T^2 = W_D^2 + W_X^2 + W_E^2 \quad (2.32)$$

Eşitliğin sağ tarafındaki terimler sırasıyla taşıyıcı istatistiği, taşıyıcı toplama ve elektronik gürültü katkılarını ifade eder.

W_T^2 terimi yük taşıyıcılarının sayısındaki istatistiksel dalgalanmaları belirtir ve F Fano faktörü, ϵ bir elektron-boşluk çifti yaratmak için gerekli enerji ve E gelen γ -ışının enerjisi olmak üzere

$$W_D^2 = (2.35)^2 F \epsilon E \quad (2.33)$$

ile verilir. Fano faktörü 0.08 ve $\epsilon = 2.96$ eV alınırsa 1.333 MeV' lik kalibrasyon enerjisindeki istatistiksel genişleme 1.32 keV olarak hesaplanır.

İkinci terimin katkısı tamamlanmamış yük toplanmasını ifade eder ki bu daha büyük hacimli ve düşük ortalama elektrik alana sahip detektörlerde önem kazanır. Bu değer uygulanan gerilim değiştirilerek yapılacak bir seri deney ile belirlenebilir. Bunun yanı sıra elektrik alanın şiddetinin olabildiğince artırılması da bu etkiyi azaltacaktır.

Üçüncü terim tüm elektronik donanımın sinyal şeklinde yaratacağı genişleme etkisidir. Bu etki sabit çıkış gerilimi olan hassas bir darbe üreticisi detektör ön yükselticisine bağlanarak alınacak ölçümlerle belirlenebilir.

Ölçme açısından detektörün diğer önemli bir özelliği ise ürettiği sinyalin şekli ve şekillenme

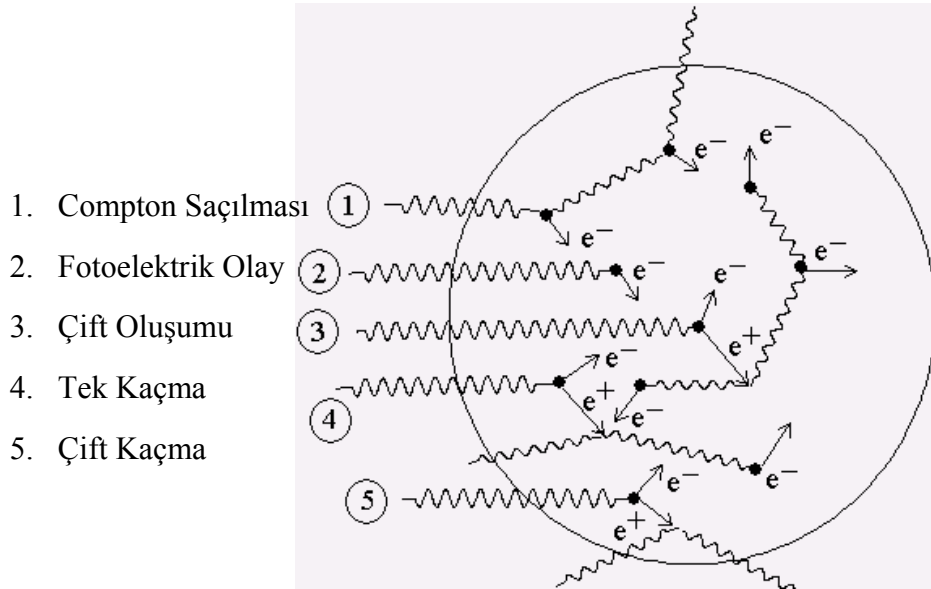
zamanıdır (shaping time). Şekillenme zamanının bilinmesi detektör sonrasında kullanılacak elektronun seçilmesinde ve ayarlanmasında önem taşır. Ölçümlerde herhangi bir balistik hata yapılmaması için bu elektronik düzeneğin şekillenme zamanı detektörün mümkün en uzun yükselme süresinden (rise time) büyük olmalıdır. Bir Ge detektör için zaman çözünürlüğü hem yükselme zamanına hem de olaydan olaya sinyal şeklindeki değişikliklere bağlıdır. Ge detektörlerin zaman çözünürlüğü etkileyen iki faktör vardır. Bunlardan ilki yük toplama sürecinin yavaş oluşu, ikincisi ise sinyal şeklinin radyasyon etkileşmesi sonucu oluşan elektron-boşluk çiftinin aktif hacim içindeki pozisyonuna bağlı olarak değişmesidir. Ge’deki elektronların 77 °K’deki sürüklenme doyum hızları 10^5 ms^{-1} mertebesinde, bu hız ile bir elektronun 1 cm (detektör kalınlığı mertebesindeki bir mesafedir) yol alması 100 ns sürecektir ki bu hızlı detektörlere (organik sintilatörler) göre çok yavaştır. Ge detektördeki taşıyıcıların bu süreye doyum hızında ulaştığı değerlendirilirse zaman performansının bundan daha iyi olamayacağı görülür. İkinci etkinin sonuçları bundan daha da kötüdür. Detektör hacmi düzgün dağılmış bir ışınlamaya maruz kaldığında bu konumlar rasgele dağılım gösterir ve çıkış sinyalleri şekillerinde çok büyük farklılıklara neden olur. (Knoll G.F., 2000) (Debertin K.vd., 1988)

2.11 Germanyum Detektörlerle γ -Işını Spektroskopisi

Günümüzde γ -ışını spektroskopisinde kullanılan başlıca iki tür detektör vardır. Bunlar inorganik sintilatörler (NaI(Tl)) ve germanyum yarı iletken detektörlerdir. Bu iki grup arasındaki seçim birçok faktöre dayansa da, temelde, sayım verimi ve enerji çözünürlüğü arasında yapılır. NaI(Tl) detektörler, büyük ebatlarda bulunabilirlikleri, yüksek yoğunlukları, γ -ışını etkileşmesi sonucunda tüm γ -ışını enerjisinin soğurulmasına olanak sağlayan yüksek atomik kütle (iyot) sahip olmalarının yani sıra ölçüm verimini arttıracak özellikleri olmasına rağmen enerji çözünürlükleri zayıftır. Bu yetersizliği fisyon reaksiyonu gibi çok sayıda ürünün oluştuğu bir reaksiyonun γ -spektroskopisi ile değerlendirilmesinde oluşacak karmaşık spektrumunu analiz etmeyi güçleştirir. Bu nedenle, her ne kadar iyi bir Ge detektörün verimi NaI(Tl)’un veriminin %5-10’u kadar olsa da enerji çözünürlüğündeki başarısı bu verim dezavantajının önüne geçer.

Bu detektörler kullanılarak yapılan ölçümler temelde γ -ışını ile detektör malzemesinin etkileşmesi sonucunda oluşacak yükün (γ -ışını enerjisi ile orantılı) yükselticiler aracılığıyla voltaja dönüştürülmesi ve çok kanallı analizörlerle spektrum şeklinde kaydedilmesine dayanır. Şekil 2.8’de gelen γ -ışını ile detektör malzemesi etkileşimi sonucunda oluşabilecek

olaylar gösterilmiştir. Gelen bir foton fotoelektrik olayla enerjisinin tamamını bir elektrona verebilir (Şekil 2.8:2) veya pek çok Compton saçılması yaparak her saçılmada enerjisinin bir kısmını kaybeder ve bir serbest elektron üretir. Çift oluşumu sonucunda oluşan pozitronun bir elektrona reaksiyonu sonucunda yok olmasından kaynaklanan fotonlarda enerjilerini benzer şekilde yitirir. Her üç durumda da gelen γ -ışını enerjisinin tamamını detektör malzemesi içinde kaybederse bu bir Tüm Enerji Tepesi (TET) (Şekil 2.8:3) olarak gözlenir. Bunun yanı sıra gelen γ -ışını Compton saçılmaları esnasında, enerjisinin tamamını transfer etmeden, detektör hacmi içinden çıkarsa (Şekil 2.8:1) bu Compton Bölgesi olarak adlandırılan sürekli bir spektruma neden olur. Çift oluşumundan gelen pozitronun yok olmasından kaynaklanan fotonlardan birinin detektör hacmini terk etmesi (Şekil 2.8:4) Tek Kaçma Tepesi ve her ikisinin çıkışı (Şekil 2.8:5) Çift Kaçma Tepesi olarak adlandırılır. (Knoll G.F., 2000) (Debertin K.vd., 1988)



Şekil 2.8 γ -Işını ölçümünde meydana gelen olaylar

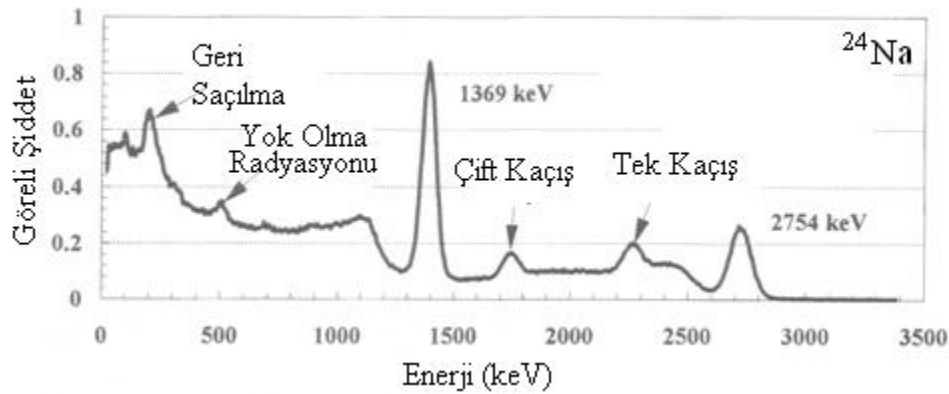
2.11.1 Spektrumun ve TET' in Şekli

Ge' un düşük atom numarası fotoelektrik soğurulma tesir kesitinde NaI(Tl) detektörlere kıyasla 10-20 katlık bir azalmaya neden olur. Oluşacak TET' inin altındaki alan, aynı verimdeki detektörler için aynıdır, fakat, fotoelektrik tesir kesitindeki bir düşme TET altında kalan alanı azaltacaktır. Buna rağmen enerji çözünürlüğündeki iyileşme daha dar ve yüksek bir TET' e neden olacaktır ve bu da aktivitesi daha düşük olan kaynaklardan gelen γ -ışınlarının sürekli spektrum (Compton continuum) üstünde kalıp ölçülebilmesine olanak

sağlar.

γ -Işınlının sürekli spektrumu Ge detektörden elde edilen spektrumun önemli bir kısmını oluşturur. Compton / fotoelektrik tesir kesiti oranı Ge’ da NaI’ e göre daha yüksektir. Bu nedenle gerçekleşecek etkileşmelerin çoğu TET yerine bu sürekli spektrum içinde yer alır.

Ge detektörlerde yüksek enerjili γ -ışınlarının neden olduğu çift oluşumunda pozitronun yok oluşu esnasında meydana gelen 2 fotondan birinin veya her ikisinin aktif hacimden etkileşmeden çıkma olasılığı çok yüksektir. Bu fotonlar gelen γ -ışını enerjisinin bir kısmının ölçülememesine neden olacaklarından kaçış pikleri spektrumda gözlenecektir. Eğer her iki fotonda aktif hacmi etkileşmeden terk etmişse gelen γ -ışını enerjisinden 1022 keV daha düşük olan bir Çift Kaçış piki gözlenir, sadece biri çıktığında ise 511 keV’ luk bir enerji azalması ile Tek Kaçış piki gözlenir. Bu etkiler Şekil 2.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 ^{24}Na spektrumu

Eğer TET altında kalan alan belirlenecekse, Ge detektörde gözlenen TET’ in ayrıntılı şekli önem kazanır. Şekil 2.6’ da TET şekli ile ilgili bazı ayrıntılar verilmiştir. Pek çok uygulamada TET şekli olarak Gausyen dağılım kullanılır. Bu dağılım Y genlik ve X merkez olmak üzere

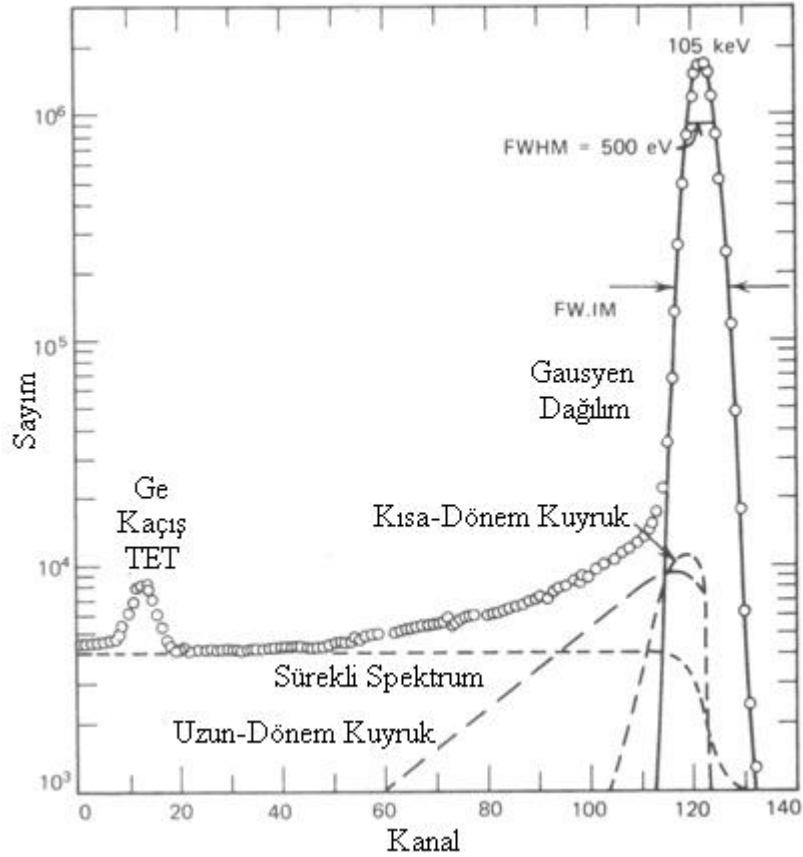
$$f(x) = Y e^{-(x-X)^2/2\sigma^2} \quad (2.34a)$$

şeklinde ifade edilebilir. Diğer bir gösterim ise, N, TET altında kalan alan olmak üzere

$$f(x) = \frac{N}{w\sqrt{\pi/4\ln 2}} e^{-(x-X)^2/2\sigma^2} \quad (2.34b)$$

denklemleri ile gösterilir. Bu denklemde w, FWHM ile belirtilmiştir ve $Y/\sqrt{e}$ deki yarı genişlik olan σ ’ ya $w=2.35\sigma$ ile bağlıdır.

Bununla beraber bu dağılıma bir kuyruk fonksiyonu eşlik eder. Bu kuyruk detektörün belirli bölgelerindeki yetersiz yük toplama veya aktif hacimden ikincil elektronların ve frenleme radyasyonu (Bremsstrahlung) gibi çeşitli nedenlerden kaynaklanabilir. Şekilde kısa-dönem ve uzun-dönem olmak üzere iki parçada ifade edilen kuyruk şekillerinden uzun-dönemli olanı arka-plana (background) bir eklenti olarak değerlendirilebilirken kısa-dönem kuyruğu TET şekline daha çok etki eder. Bu etkilerin analitik ifadeleri için pek çok çalışma yapılmıştır. Bu analitik ifadelerle ilgili bilgi Debertin vd.,1988’ de verilmiştir.



Şekil 2.10 TET şekli

2.11.2 Detektör Verimi

Tüm radyasyon detektörleri, aktif hacmi ile etkileşen her kuantum radyasyonu için bir çıkış sinyali üretirler. Alfa veya beta gibi yüklü parçacıklar detektör içine girdiklerinde detektör atomlarını ya iyonize ederler ya da uyarılmış hale getirirler. Menzilin az bir miktarını kat ettiğinde bu yüklü parçacıklar bir sinyal oluşturacak kadar etkileşme yapmış olurlar. Bu nedenle yarı iletken radyasyon detektörlerinin yüklü parçacıkların tamamını algıladıkları, yani verimlerinin %100 olduğu söylenebilir.

Diğer taraftan γ -ışınları veya nötronlar gibi yüksüz parçacıkların, detektör tarafından algılanması için belli sayıda etkileşme yapmaları gerekir. Bu yüksüz parçacıkların erimleri çok uzun olduğundan detektörlerin bu parçacıklar için verimleri %100' den azdır. Bu nedenle detektöre gelen parçacıklardan ne kadarının algılanabildiğini belirlemek önemlidir.

İki tür sayım verimi tanımlanabilir: Mutlak ve gerçek.

Mutlak verim,

$$\epsilon_{\text{abs}} = \frac{\text{kaydedilensinyaller}}{\text{kaynaktan yayınlanan radyasyon kuantası sayısı}} \quad (2.35)$$

ile tanımlanır ve hem detektör özelliklerine hem de sayım geometrisine bağlıdır.

Gerçek verim ise,

$$\epsilon_{\text{int}} = \frac{\text{kaydedilensinyaller}}{\text{detektöre gelen radyasyon kuantası sayısı}} \quad (2.36)$$

ile tanımlanır ve detektörün gördüğü katı açıdan bağımsızdır. (Knoll, 2000)

Saf Germanyum (HPGe) detektörlerin mutlak verimlerinin belirlenmesi, γ -ışını spektrometresinde uzun süredir tartışılan bir problemdir ve geçtiğimiz on yıllar içinde bu konu üzerinde pek çok çalışma yapılmıştır. (Debertin K.vd., 1988) Genel kabul görmüş bir metodun bulunmamasının iki temel nedeni vardır; bunlar detektörlerin değişken boyutları ve kaynakların gamma ışını öz soğurmalarıdır. Bununla beraber detektör veriminin belirlenmesi için en iyi yol deneysel yöntemdir. (Karamanis vd., 2002)

2.12 Ölçümlerdeki Belirsizlikler

Her deneysel çalışma, doğası gereği, belli bir hatayı ve belirsizliği beraberinde taşır. Bu hatalar ve belirsizlikler bazı durumlarda yapılan çalışmanın doğasından kaynaklanan fiziksel nedenlerle ilgili bazı durumlarda ise kullanılan ölçü sistemi ile ilgilidir. Çalışmada elde edilen bulgularda bu hata ve belirsizliklerin belirtilmesi ve eğer mümkünse bunların düzeltilmesi gerekir.

2.12.1 Rasgele Eşzamanlı Sayım (Coincidence Summing)

Rasgele eşzamanlı sayım, bir radyoaktif çekirdeğin iki veya daha fazla fotonu detektörün algılama süresinden daha kısa bir sürede yayınlanması durumunda oluşur. Bu durumda,

detektör ilk gelen fotonların toplam enerjilerine karşılık bir sinyal üretecektir, ilk algılanan fotonun TET' ne katkıda bulunacak bir diğer etkileşimin yitirilmesine neden olur. Bu etki artan toplam verim veya azalan detektör kaynak mesafesi ile artar. Fakat sayım hızından bağımsızdır. Bu etkiden dolayı yapılacak düzeltmeler sadece ölçümü yapılan çekirdeğin bir standart eşine göre aynı sayım geometrisinde yapılması özel durumunda ihmal edilebilir. (Knoll G.F., 2000) (Debertin K.vd., 1988)

2.12.2 Ölü Zaman (Dead Time) ve Darbe Yığılması (Pile-up)

Ölçü sistemlerinde kullanılan elektronik donanımın bir sinyali işleyebilmesi için belirli bir zamana ihtiyacı vardır. Dolayısıyla, bu süre içinde gelen yeni bir sinyale cevap vermez. Bu durum TET ölçümlerinde kayıplara neden olur. Ölçüm elektronığının kullandığı bu süre ölü zaman olarak adlandırılır. Bu etki tamamen sayım hızına bağlıdır ve ölçüm geometrisinden bağımsızdır. Bu etkiye çoğunlukla analog-sayısal dönüştürücüler (ADC) neden olur.

Yarı iletken detektörler gelen fotonlara cevap vermekte daima hazırdırlar, hiçbir ölü zaman etkisi göstermezler. Benzer şekilde ön yükseltici ve yükseltici de gelen sinyalleri işlemekte ölü zamana sahip değildir. Bir sinyali işlerken gelen diğer sinyali bekletmez veya yok etmezler. Bununla beraber sınırlı zaman çözünürlüğü nedeniyle bazen ardışık gelen iki sinyal üst üste binebilir ve şekli bozulmuş bir sinyal ortaya çıkar. Bu durum darbe yığılması olarak adlandırılır. Darbe yığılması sonucu oluşan sinyalin şekli iki foton arasındaki süreye bağlıdır ve spektrum üzerinde iki orijinal sinyalin bulunması gerekenden farklı bir enerjiyi temsil eder.

Her iki etkinin belirlenebilmesi için pek çok ön yükselticide test girişi bulunur. Bu girişe bağlanacak, frekansı ve genliği sabit, hassas bir darbe üretici ile alınan ölçümler spektrumda ilave bir TET' e neden olacaktır. Gerek ölçülen numuneden gelen, gerekse darbe üreticiden gelen sinyaller aynı ölü zaman etkisine maruz kalacaktır. Gerçek ölçüm süresi içinde darbe üreticinin üreteceği darbe sayısı ile ölçülen darbe sayısı arasındaki orana dayalı olarak bu düzeltmeler yapılır. (Knoll G.F., 2000) (Debertin K.vd., 1988)

2.12.3 Foton Zayıflatması

Eğer verim kalibrasyonunda kullanılan kaynak ile üzerinde çalışılan kaynak farklı ise foton zayıflatma etkileri nedeniyle bir düzeltme yapılması gerekir. Bu düzeltme bölüm 2.10.5' de verilenler doğrultusunda incelenen örneğin kalınlığının artışıyla üstel olarak artar.

2.12.4 Veri Analizi İstatistiği

Ölçmenin amacı bir fiziksel büyüklüğü belirlemektir. Bu değer hem doğrudan ölçmeden elde edilebilir hem de ölçmeden elde edilen bilgilerden matematik hesaplamalarla türetilir. Her iki durumda da sonuç değeri elde etmek ve belirsizliğini ifade etmek için istatistik yöntemlerden faydalanılır. γ -ışını ve x-ışını spektroskopisinde ilgilenilen foton enerjisi, örneğin aktivitesi veya TET altında kalan alan gibi bilgiler doğrudan elde edilmez fakat ölçülen diğer büyüklüklerden belirlenir

Bir değeri belirlemek üzere, farklı yöntemlere dayanan veya farklı laboratuarlarda yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar farklılıklar gösterir. Bu değerler hem birbirlerinden hem de bilinmeyen gerçek değerden sapma gösterir ve bir dağılım oluşturur. Bu dağılımlar istatistiksel yöntemler kullanılarak incelenebilir.

Nükleer ölçümlerde elde ettiğimiz bilgi pozitif tamsayılarıdır ve Poisson dağılımı ile açıklanır. Tek bir ölçümün sonucu $N \pm \sqrt{N}$ şeklinde verilebilir. Burada $\sqrt{N}$ ölçümdeki belirsizliği ifade eder.

Yukarıda da belirtildiği gibi, nükleer ölçümlerde belirlenmek istenilen değerler farklı değerler kümesinin matematiksel hesaplamaları sonucunda elde edilir. Bu durumda bu değerler kümesine ait belirsizliklerin değerlendirilmesi, ölçülmek istenilen büyüklük X olmak üzere $X=F(Z_1, Z_2, \dots, Z_v)$ fonksiyonuyla ifade ediliyorsa ve Z_k büyüklüklerinin belirsizlikleri z_k olarak alınırsa birleşik belirsizlik

$$s^2(x) = \sum_{k=1}^v \left(\frac{\partial F}{\partial Z_k} \right) \bigg|_{z_k} s^2(z_k) \quad (2.37)$$

ile tanımlanır. Eğer X çarpımların oranı şeklinde ifade edilebilirse Denklem 2.35 aşağıdaki gibi tekrar düzenlenebilir.

$$\left[\frac{s(x)}{x} \right]^2 = \sum_{k=1}^v \left[\frac{s(z_k)}{z_k} \right]^2 \quad (2.38)$$

3. DENEY DÜZENEGİ

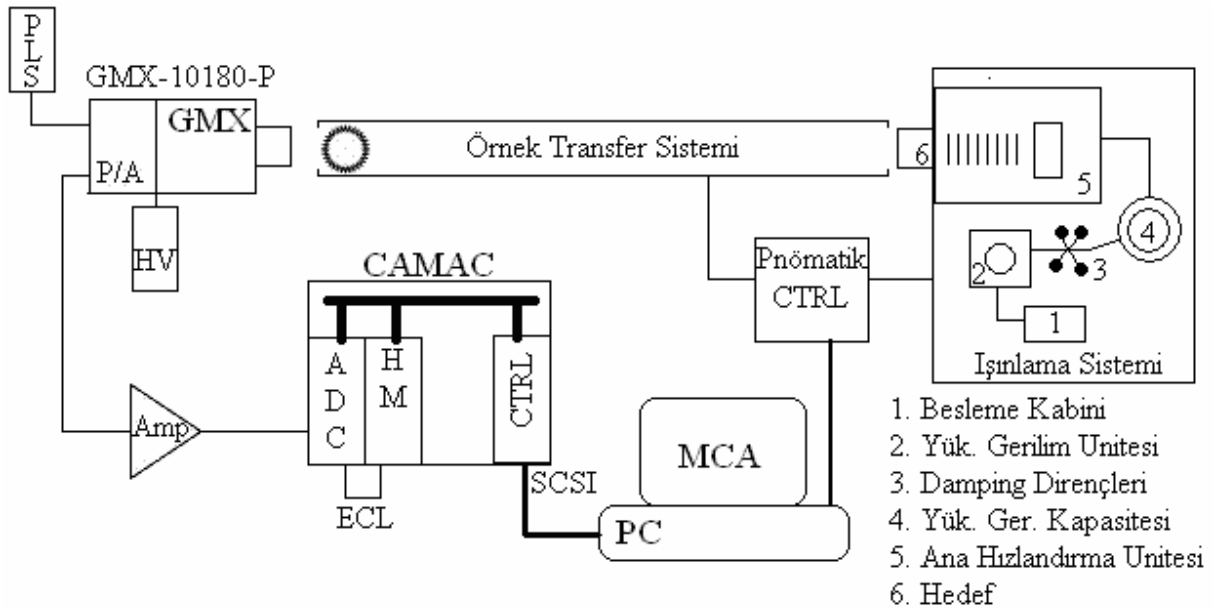
3.1 Işınlama ve Transfer Sistemi

Çekmece Nükleer Araştırma Eğitim Merkezi, Fizik Bölümünde bulunan deney düzeneği üç temel kısımdan oluşmaktadır. Bunlar: düşük enerjili iyon hızlandırıcısı Sames T-400 (Tarcan G. vd., 1989) ve nötron kaynağından (Elmalı A., 2001) (Subaşı M. vd., 1999, 1998) oluşan ışınlama sistemi, ışınlanacak örneğin sayım odasıyla ışınlama odası arasında transferini sağlayan Örnek Transfer Sistemi (ÖTS) (Özbir Y. vd., 1998) ve ölçümleri sağlayan sayım sistemidir.

Sames T-400 düşük enerjili iyon hızlandırıcısı ile hızlandırılan döteronun, katı trityum (TiT) hedefe çarptırılması ile enerjileri açığa bağlı olarak 13.6-14.9 MeV arasında değişen hızlı nötronlar aşağıdaki füzyon reaksiyonu ile sağlanır. (Subaşı M. vd., 1999, 1998)



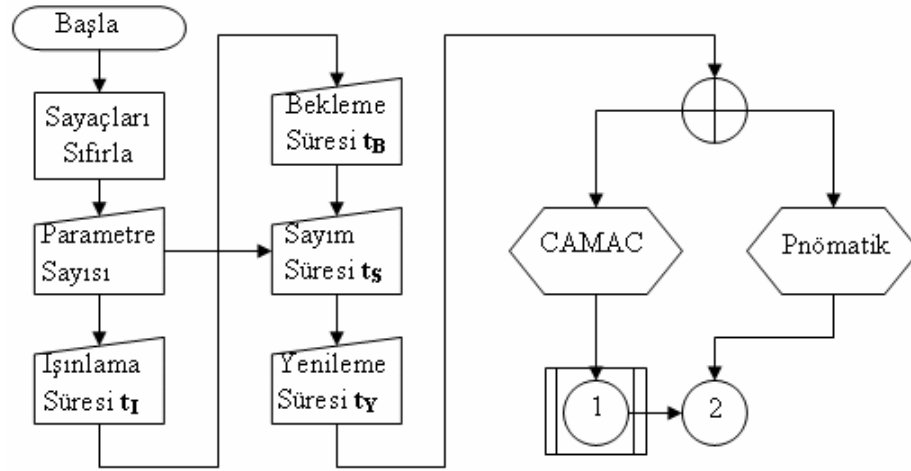
Işınlanan örneğin, nötron kaynağının (hızlandırıcı hedefi) bulunduğu ışınlama odasından, sayım odasına hızlı ve güvenli bir şekilde getirilmesi gerekir. Bu amaçla tasarlanan ÖTS, örneği ışınlama konumundan, basınçlı hava yardımıyla (ortalama 780 ms içinde) HpGe detektörün önüne getirmektedir.



Şekil 3.1 Deney düzeneği

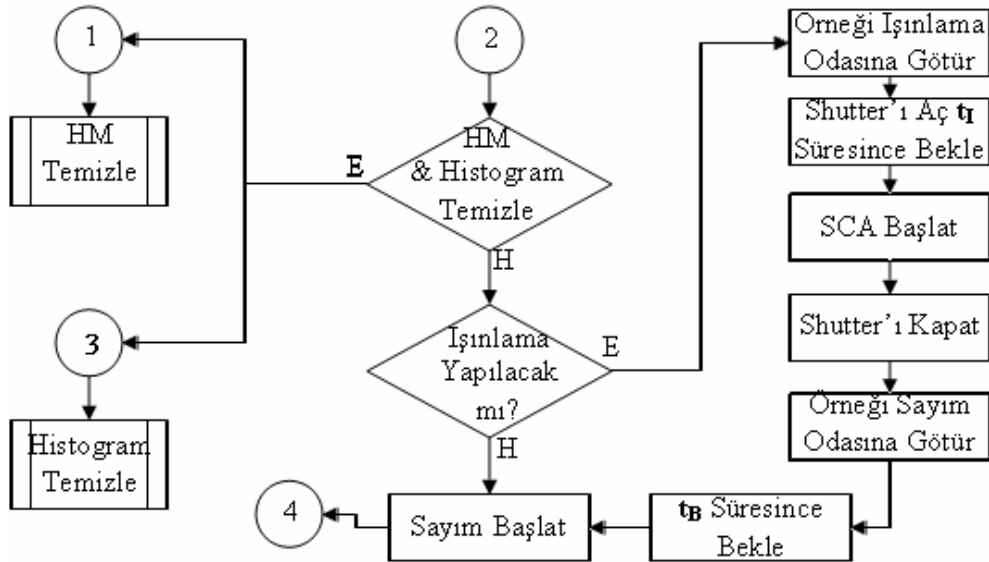
3.2 Sayım Sistemi ve Yazılımı

Deney düzeni Şekil 3.1’ de şematik olarak gösterilmiştir. Sayım odasından ÖTS’ ne yerleştirilen örnek, bir PC tarafından kontrol edilen çeşitli elektromanyetik vanalar aracılığıyla basınçlı hava kullanılarak ışınlama odasına transfer edilir. Önceden tespit edilen ışınlama süresince ışınlanan örnek yine ÖTS ile sayım odasına geri getirilir. Gamma-X detektör ile alınan sinyaller test girişine darbe üretici bağlanan ön yükseltici sonrasında yükselticiye getirilir. Yükseltici çıkışından CAMAC üzerinde bulunan ADC’ a girilir ve ADC’ de çevrimi yapılan bilginin HM’ ye transferi ECL veri yolu üzerinden yapılır. ADC, HM ile CAMAC kontrolör arasındaki veri akışı CAMAC veri yolu üzerinden sağlanmaktadır. Elde edilen histogramlar SCSI veri yolu ile PC’ ye aktarılır. Tüm sistemin kontrolü SPARROW firmasına ait KmaxNT [10] yazılım geliştirme platformu kullanılarak hazırlanan bir MCA yazılımı ile sağlanmaktadır (Negele J.W. vd., 2001) (Kawabata M. vd., 2000). Bu yazılıma ÖTS’ in kontrolünü sağlayan bir dinamik bağlantı kütüphanesi entegre edilmiştir. CAMAC sisteminin yapısı Ek 4’ de, KmaxNT ile ilgili ayrıntılı bilgi Ek 5’ de ve deneyde kullanılan NIM ve CAMAC modüllerinin teknik özellikleri ise Ek 7’ de verilmiştir.



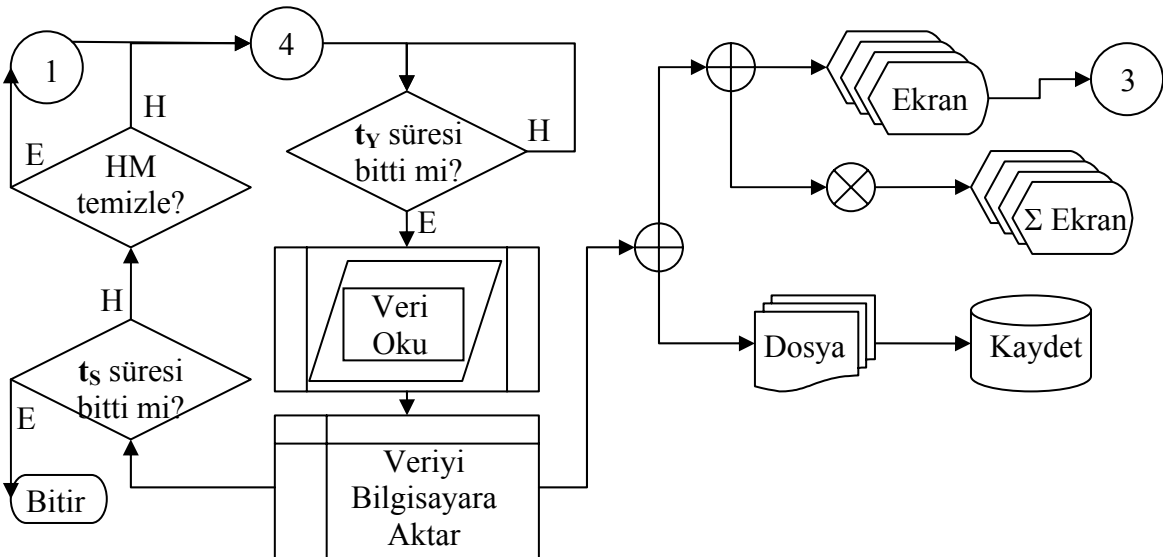
Şekil 3.4a MCA Yazılımı Akış Çizelgesi – 1

CAMAC sistemi üzerine hazırlanan bu yazılım ile dört girişli bir ADC aracılığıyla alınan bilginin ekranda gösterilmesi ve dosyalanması mümkündür. Akış şeması Şekil 3.4’ de verilen bu yazılım temel giriş bilgisi olarak parametre sayısı (kullanılacak ADC girişlerinin sayısı) ışınlama, bekleme süreleri ve toplam sayım ve yenileme süresi bilgisini alır. Bunların yanı sıra her bir spektrum elde edildikten sonra HM’ in silinmesi durumu, gösterimin ekran ve/veya dosya üzerine yapılacağına dair ön seçimler yapılarak CAMAC modüllerini programlar ve ÖTS’ ni başlama konuma getirir.



Şekil 3.4b MCA Yazılımı Akış Çizelgesi – 2

Sistem ışınlama yapmak üzere kontrolleri Sames T-400 kontrol ünitesinden devralır ve örneği ışınlama odasına transfer eder, transfer için geçen süreyi deney raporuna kaydeder. Işınlamayı başlattığı anda Canberra85 üzerindeki SCA' ı başlatır. Işınlama süresince huzmenin önünü açık tutar. Işınlama süresi dolduğunda hedefi huzmeye kapatır ve örneği tekrar sayım odasına getirir. Bu süreçte hedefi kapağının açık kaldığı süreyi (t_i) ve transfer süresini (t_t) deney raporuna kaydeder. Bekleme süresi (t_b) kadar durduktan sonra CAMAC modüllerine ölçüme başlama komutu gönderir.



Şekil 3.4c MCA Yazılımı Akış Çizelgesi – 3

İlk döngü sonunda elde edilen spektrum(lar) PC' ye transfer edilir ve CAMAC modüllerine devam bilgisi gönderilir. İkinci sayım süresince ilk sayımda elde edilen bilgiler düzenlenerek önce dosyaya yazdırılır ve ardından ekrana gönderilir. Tüm kayıt ve gösterim işlemleri en fazla 150 ms içinde tamamlanır. Bu zaman takip eden süreçleri etkilemeyecek kadar kısadır.

Hazırlanan bu yazılımın kullanıcı ön yüzü ayrıntıları Şekil 3.5 ve tam görünümü Şekil 3.6' da verilmiştir. Ekranın sol üst köşesinde gerekli zaman parametreleri için giriş ve yenileme düğmeleri yer almaktadır. Bunların hemen sağında sistemin o anki durumunu belirten bilgi satırı, aktif ADC girişlerinin seçimi ve çıktının ekran ve/veya dosya üzerine yapılmasını sağlayan araçlar yerleştirilmiştir. Daha sağdaki kısımda ise her okuma sonrasında HM' in temizlenmesi durumu ve ölçüm aralıklarının sabit veya değişken olmasını sağlayan araçlar yerleştirilmiştir. En sağda ise ışınlama başlatılmasını sağlayan düğme ve ışınlama ve transfer zamanlarını gösteren göstergeler yerleştirilmiştir. Bunların hemen altında, MCA sistemini hazırlayan, hafıza ve ekran çıktıları temizleyen düğmelerle, ölçüm başlatma düğmesi yer alır. Eğer ışınlama yapılacaksa sisteme ikinci bir başlama komutu verilmesine gerek yoktur. Sistem ışınlama ve bekleme süreleri toplamının sonunda otomatik olarak sayıma başlar. Başlatma düğmesinin altında deney raporunun tutulduğu metin bloğu bulunur. Sistem ile ilgili tüm ayarlamalar ve bunların ne zaman başladığı ve bittiği veya ne kadar sürdüğü bilgisi bu bloğa sıralı olarak kaydedilir. Metin bloğunun altında anlık spektrum bilgilerinin bulunduğu histogram göstergeleri yer alır ve bunların solunda sayımın başladığı andan itibaren alınan toplam spektrum ana histogram göstergelerine aktarılır. Her yenileme esnasında anlık spektrum bilgisi temizlenir.

Set Irradiation Time: 5

Set Cooling Time: 1

Set PresetTime: 1500

Set UpdateTime: 300

STATUS: Acquisition Stopped.

Parameter Number: 1 2 3 4

Output Type: ☒ SCREEN ☒ FILE

Ölçüm Parametreleri Girişi

Irradiate

Sample Transfer Time: 824 mSec

RadiationTime: 1 mSec

☐ Clear HM413

☒ Const UPDATE

REAL / TRUE Time: 1500995 / 499945 mSec

Data TransferTime: 13 mSec

Initialize

Clear All

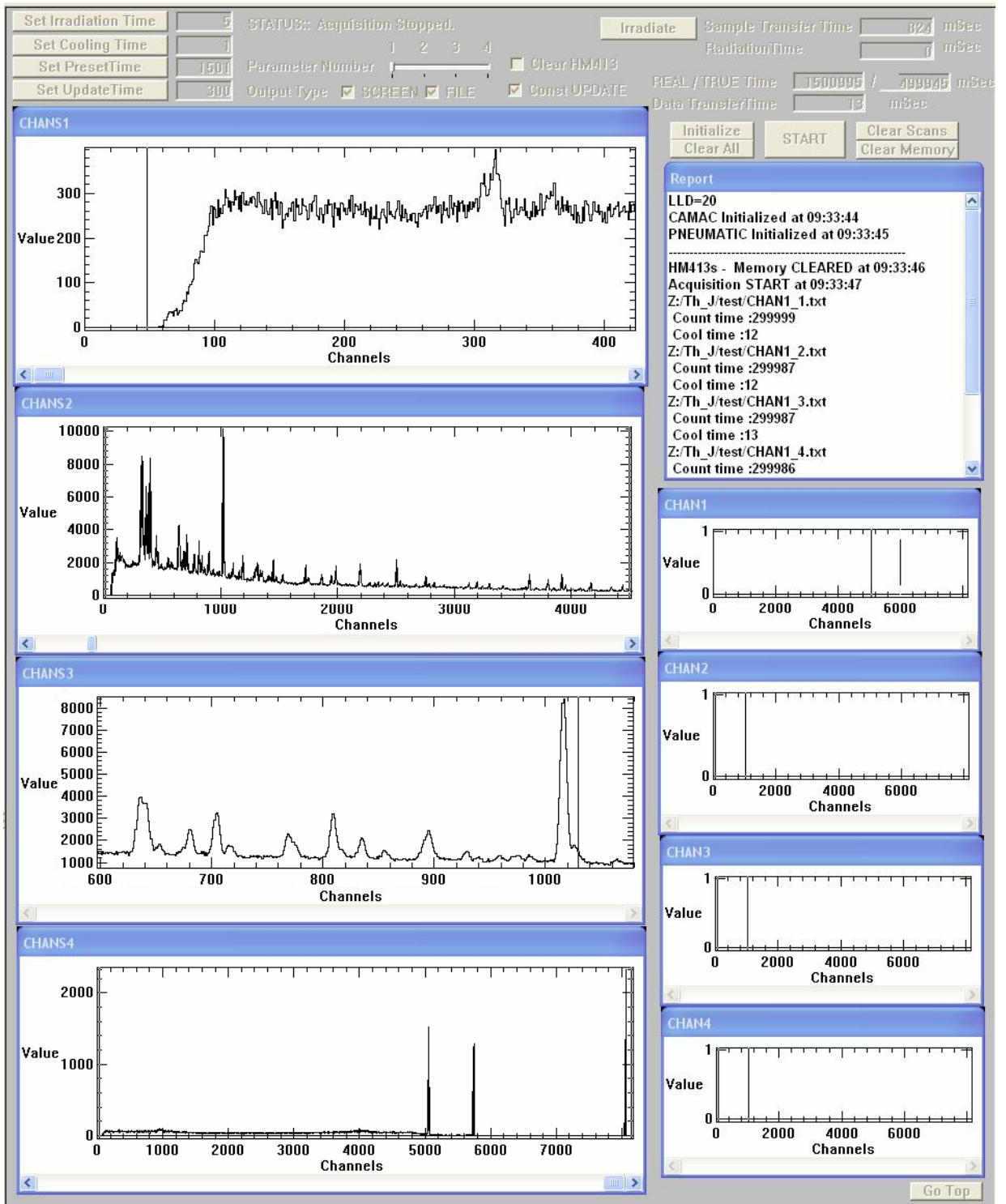
START

Clear Scans

Clear Memory

Işınlama ve Ölçüm Başlatma

Şekil 3.5 MCA yazılımı komut bölümü

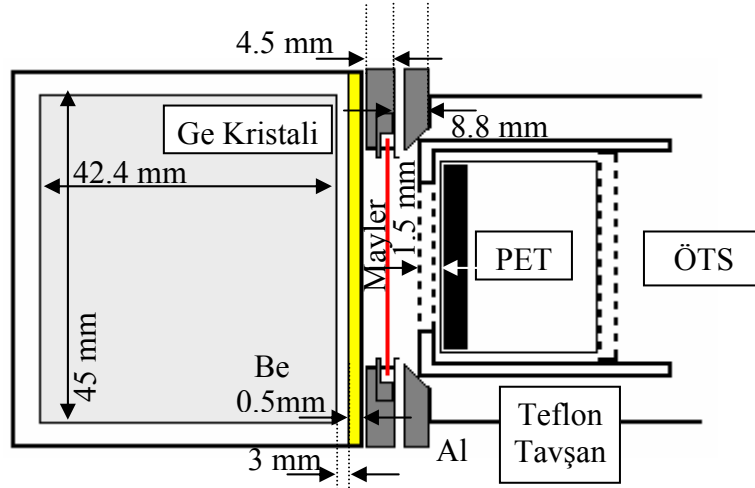


Şekil 3.6 MCA yazılımı kullanıcı ön yüzü

4. GAMMA DETEKTÖRÜNÜN HAZIRLANMASI

4.1 Gamma Detektörünün Enerji-Kanal ve Enerji-Genişlik Kalibrasyonu

Her hangi bir radyoaktif kaynaktan izotropik olarak çıkan γ -ışınlarının belli bir detektör tarafından algılanma miktarı, detektör ile kaynak arasındaki mesafeye bağlıdır ve azalan mesafe ile artış gösterir (katı açı). Bu nedenle ölçümlerde mümkün en yüksek sayıma ulaşabilmek için detektör kristali ile ÖTS' nin sayım odasındaki başlığı en yakın mesafede tutulmuştur. ÖTS' nin sayım odasındaki Al başlığı soğurulmayı azaltacak şekilde tekrar tasarlanmıştır. Bu tasarımda başlık üzerinde 15 mm çapında dairesel bir alan çıkartılmış ve bu bölge mayler ile kapatılarak sayım veriminde artış sağlanmıştır. Sayım geometrisi ayrıntıları Şekil 4.1' de şematik olarak gösterilmiştir. Örnek ile Ge kristal arasındaki mesafe 21.2 mm' dir.



Şekil 4.1 Sayım geometrisi

Bu çalışmada γ -ışınlarının deteksiyonu için 10 cm kurşun zırh içine yerleştirilmiş bir GAMMA-X HPGe (ORTEC GMX10-180P) detektör kullanılmıştır. Detektörün pencere kalınlığı (Berilyum) 0.5 mm, kristalinin çapı 45 mm, kristal kalınlığı 42.4 mm, Ge kristal ile Be pencere arasındaki mesafe 3.0 mm' dir. Çalışma gerilimi -2500 Volt, enerji ayırma gücü (FWHM) 1.33 MeV' de 1.8 keV' dir. Darbe yığılması ve ölü zaman düzeltmeleri detektörün ön yükselticisinin test girişine pulser (darbe üretici) bağlanarak yapılmıştır. (Dematte L. vd., 2002)

Hesaplamalara temel oluşturacak kalibrasyon ölçümleri iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak standart kaynaklar (^{137}Cs , ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{241}Am)*, (^{152}Eu)** kullanılarak 1500s' lik sayımlar yapılmıştır. Bu sayımlar kullanılarak yapılan ikinci derece polinomal fonksiyonla ilk enerji/kanal ve genişlik kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise, 0.09 g ağırlığında, 12.7 mm çapında, 0.0508 mm kalınlığında, %99.885 saflıkta (safsızlıklar Çizelge 4.1' de verilmiştir) ışınlanmamış (^{232}Th *** ile 57600s (16h) sayım alınmıştır. Sayım geometrisinde alınan bu spektrum ile ürün hesaplamalarında kullanılacak enerji-kanal ve genişlik kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Enerji-kanal kalibrasyonu için yapılan ikinci derece uyum eğrisi Şekil 4.2' de, genişlik kalibrasyonu için yapılan uyum eğrisi ise Şekil 4.3' de gösterilmiştir. Bu uyumlarda kullanılan enerji seviyeleri sırasıyla Çizelge 4.2'de 4.3' de verilmiştir. (Chatani H., 1999) (Mulgin S.I. vd., 1997) (Debertin K.vd., 1988)

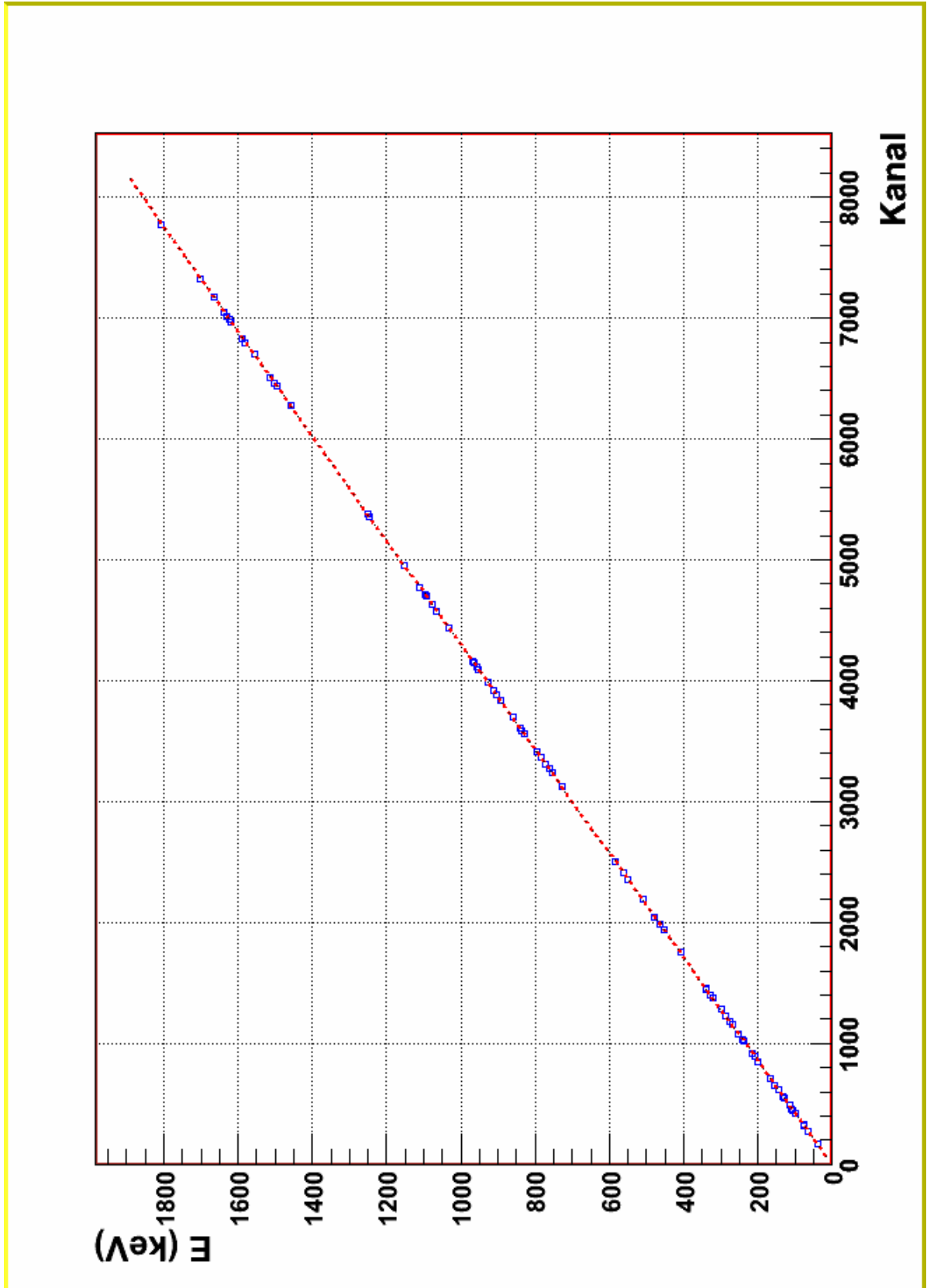
Çizelge 4.1 ^{232}Th safsızlıkları

Fe	Si	Al	Ca	Sr
% 0.05	% 0.03	% 0.015	% 0.01	% 0.01

* Amsterdam International Limited (1Q167, 1R513, 1S731, 1U587) R1347 Set No:141

** IDV Holland BV (A3035)

*** Reactor Experiments Inc. Lot No: 182 Catalog No: 512B



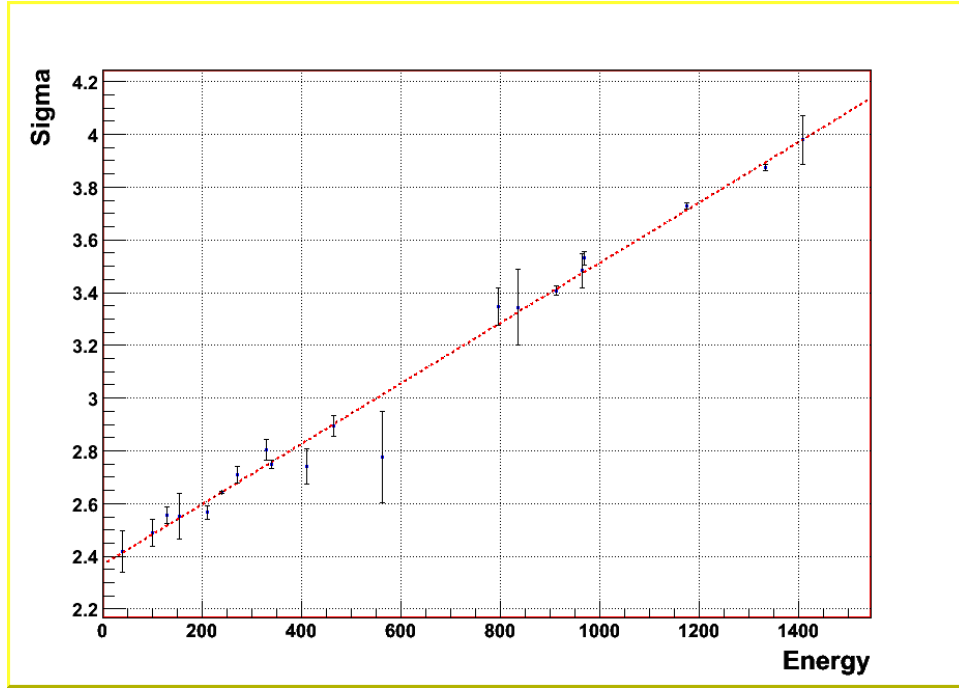
Şekil 4.2 GMx Detektörün ışınlanmamış ^{232}Th ile yapılan enerji-kanal kalibrasyonu eğrisi

Çizelge 4.2 GMx detektörün ışınlanmamış ^{232}Th ile yapılan enerji-kanal kalibrasyonunda kullanılan gamma ışınlarının enerji ve bollukları

Reaksiyon	E (f _γ) keV(%)
$^{232}\text{Th} \xrightarrow[14.05 \cdot 10^9 \text{ y}]{\alpha} ^{228}\text{Ra}$	63.81 ₁ (0.263 ₁₃)
$^{228}\text{Ac} \xrightarrow[6.15 \text{ h}]{\beta^-} ^{228}\text{Th}$	99.509 ₆ (1.26 ₇), 129.065 ₁ (2.42 ₉), 145.849 ₁₀ (0.158 ₈), 153.977 ₁₀ (0.722 ₂₁), 199.407 ₁₀ (0.315 ₅), 209.253 ₆ (3.89 ₇), 270.245 ₂ (3.46 ₆), 321.646 ₈ (0.226 ₁₁), 328.000 ₆ (2.95 ₁₂), 338.320 ₃ (11.27 ₁₉), 340.96 ₅ (0.369 ₂₁), 409.462 ₆ (1.92 ₄), 463.004 ₆ (4.40 ₇), 478.33 ₅ (0.209 ₁₅), 562.500 ₄ (0.87 ₃), 583.41 ₅ (0.111 ₁₀), 755.315 ₄ (1.00 ₃), 772.291 ₅ (1.49 ₃), 794.947 ₅ (4.25 ₇), 830.486 ₈ (0.540 ₂₁), 835.710 ₆ (1.61 ₆), 840.377 ₇ (0.91 ₄), 904.20 ₄ (0.77 ₃), 911.204 ₄ (25.8 ₄), 964.766 ₁₀ (4.99 ₉), 968.971 ₁₇ (15.8 ₃), 1033.248 ₉ (0.201 ₁₃), 1065.18 ₄ (0.132 ₁₀), 1095.679 ₂₀ (0.129 ₁₀), 1110.610 ₁₀ (0.285 ₂₃), 1153.52 ₄ (0.139 ₁₀), 1247.08 ₄ (0.50 ₃), 1459.138 ₁₅ (0.83 ₈), 1495.910 ₂₀ (0.86 ₄), 1501.57 ₅ (0.46 ₃), 1557.11 ₄ (0.178 ₁₃), 1580.53 ₃ (0.60 ₄), 1588.20 ₃ (3.22 ₈), 1625.06 ₅ (0.255 ₁₈), 1630.627 ₁₀ (1.51 ₄), 1638.281 ₁₀ (0.47 ₃), 1666.523 ₁₃ (0.178 ₁₃),
^{228}Ac (X-Işınları)	105.604 (0.72 ₅), 108.582 (0.277 ₁₈)
$^{228}\text{Th} \xrightarrow[1.912 \text{ y}]{\alpha} ^{224}\text{Ra}$	84.373 ₃ (1.220 ₂₀), 131.613 ₄ (0.1305 ₁₈), 166.410 ₄ (0.1036 ₁₅), 215.983 ₅ (0.254 ₃)
$^{224}\text{Ra} \xrightarrow[3.66 \text{ d}]{\alpha} ^{220}\text{Rn}$	240.986 ₆ (4.10 ₅)
$^{212}\text{Pb} \xrightarrow[10.64 \text{ h}]{\beta^-} ^{212}\text{Bi}$	238.632 ₂ (43.6 ₃), 300.087 ₁₀ (3.30 ₃)
^{212}Pb (X-Işınları)	74.815 (10.28 ₂₃), 77.107 (17.1 ₄)
$^{212}\text{Bi} \xrightarrow[60.55 \text{ m}]{\alpha} ^{208}\text{Tl}$	39.857 ₄ (1.06 ₉)
$^{212}\text{Bi} \xrightarrow[60.55 \text{ m}]{\beta^-} ^{212}\text{Po}$	727.330 ₉ (6.67 ₉), 785.37 ₈ (1.102 ₁₃), 1078.62 ₁₀ (0.564 ₁₉), 1620.50 ₁₀ (1.47 ₃)
$^{208}\text{Tl} \xrightarrow[3.053 \text{ m}]{\beta^-} ^{208}\text{Pb}$	277.358 ₁₀ (6.31 ₉), 510.77 ₁₀ (22.6 ₃), 583.191 ₂ (84.5 ₇), 763.13 ₈ (1.81 ₅), 860.564 ₅ (12.42 ₁₀)

Çizelge 4.3 GMx detektörün ışınlanmamış ^{232}Th ile yapılan genişlik kalibrasyonunda kullanılan gamma ışınlarının enerji ve bollukları

Reaksiyon	E (f _γ) keV(%)
$^{228}\text{Ac} \xrightarrow[6.15 \text{ h}]{\beta^-} ^{228}\text{Th}$	99.509 ₆ (1.26 ₇), 129.065 ₁ (2.42 ₉), 153.977 ₁₀ (0.722 ₂₁), 209.253 ₆ (3.89 ₇), 270.245 ₂ (3.46 ₆), 328.000 ₆ (2.95 ₁₂), 338.320 ₃ (11.27 ₁₉), 409.462 ₆ (1.92 ₄), 463.004 ₆ (4.40 ₇), 562.500 ₄ (0.87 ₃), 794.947 ₅ (4.25 ₇), 835.710 ₆ (1.61 ₆), 911.204 ₄ (25.8 ₄), 964.766 ₁₀ (4.99 ₉), 968.971 ₁₇ (15.8 ₃)
$^{212}\text{Pb} \xrightarrow[10.64 \text{ h}]{\beta^-} ^{212}\text{Bi}$	238.632 ₂ (43.6 ₃)
$^{212}\text{Bi} \xrightarrow[60.55 \text{ m}]{\alpha} ^{208}\text{Tl}$	39.857 ₄ (1.06 ₉)



Şekil 4.3 GMx Detektörü genişlik kalibrasyonu eğrisi

4.2 GMX Detektörü Verim Kalibrasyonu

Foton spektrometresindeki γ -ışını çizgileri çoğunlukla 60 keV ile 3 MeV aralığındadır. Bu bölgede ^{22}Na , ^{24}Na , ^{46}Sc , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{95}Nb , ^{113}Sn , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{139}Ce , ^{141}Ce , ^{140}La , ^{198}Au , ^{203}Hg , ^{241}Am standart kaynakları kullanılarak verim kalibrasyonu yapılabileceği gibi 122-1458 keV aralığında sadece ^{152}Eu da tek kaynak olarak kullanılabilir. (Debertin vd.,1988)

Bu çalışmada mutlak verim kalibrasyonu yapılmıştır. Deneyde kullanılacak, ^{232}Th , örneği ışınlama öncesi ve sonrası aynı sayım geometrisinde sayılmıştır. ^{232}Th ' nin yarı ömrünün $1.405 \cdot 10^{10}$ y olmasından dolayı kalıcı dengede olduğu kabul edilmiş ve aktivitesi, λ bozunma sabiti, m örneğin kütlesi, N_A Avagadro sayısı, A çekirdek kütlesi, p saflık olmak üzere

$$A = \lambda m \frac{N_A}{A} p = 364.99 \frac{\text{bozunma}}{\text{s}} = 364.99 \text{Bq} \quad (4.2)$$

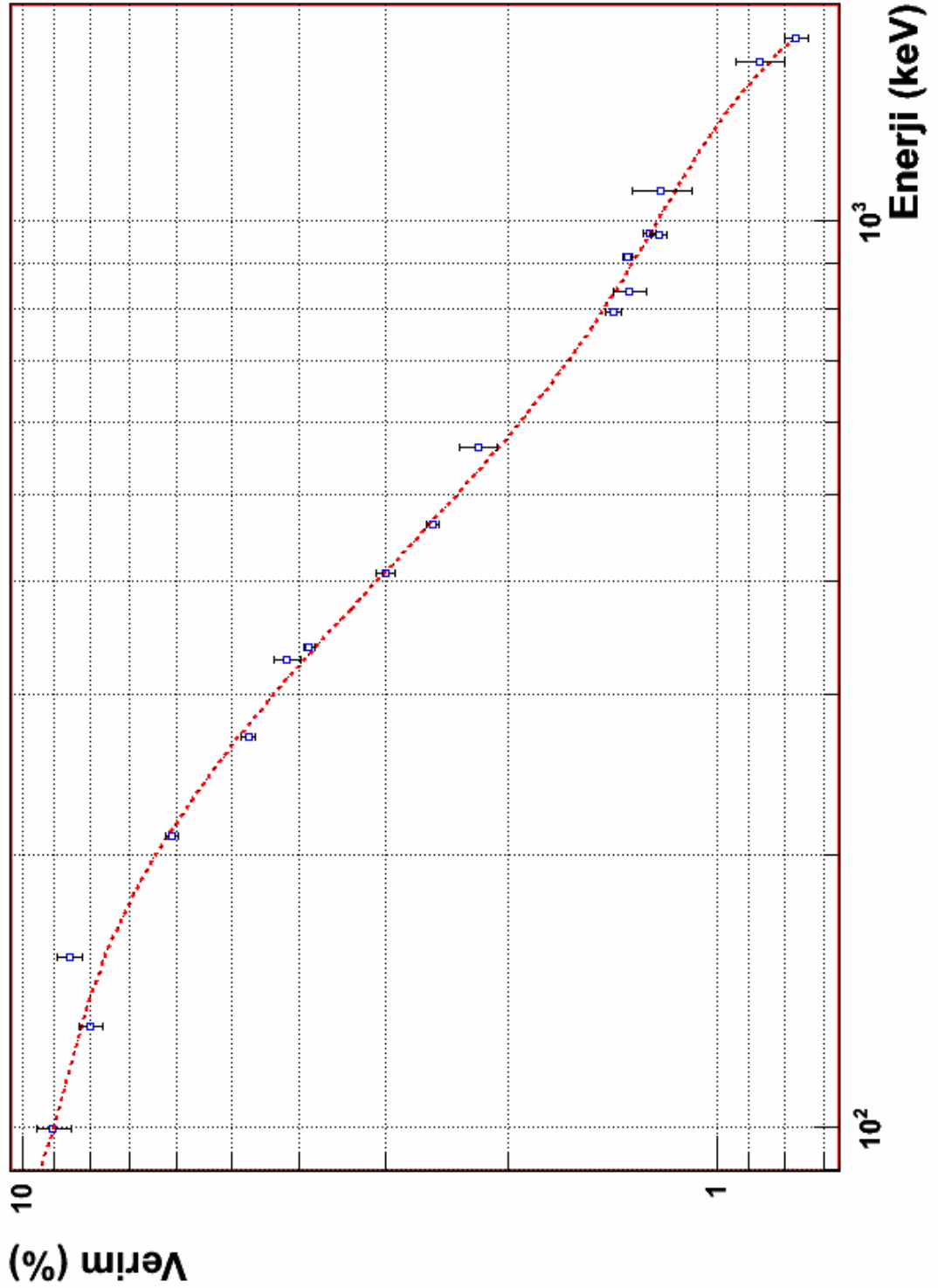
olarak hesaplanmıştır ve bu aktivite Toryum' un doğal serisi içinde kullanılmıştır. Detektör verimi bulunmasında ^{228}Ac ve ^{212}Bi 'un Çizelge 4.4'de verilen enerji değerleri kullanılmıştır. Ölçülen verim değerleri için,

$$\varepsilon_{\text{abs}} = \frac{1}{E} \sum_{i=1}^8 a_i (\log E/E_o)^{i-1} \quad (4.3)$$

Fonksiyonu kullanılarak uyum eğrisi elde edilmiştir. (Gray vd., 1985). Burada $E_0=1$ keV için a_i katsayıları belirlenmiş ve bulunan uyum eğrisi Şekil 4.4' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 GMx detektörün verim kalibrasyonunda kullanılan gammaların enerji ve bollukları

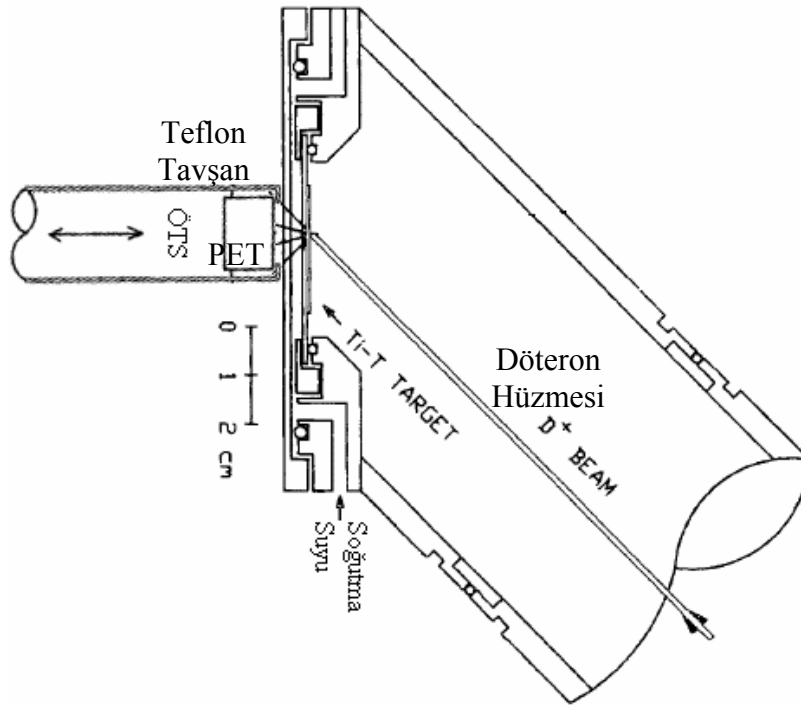
Reaksiyon	E (f _γ) keV(%)
$^{228}\text{Ac} \xrightarrow[6.15 \text{ h}]{\beta^-} ^{228}\text{Th}$	99.509 ₆ (1.26 ₇), 129.065 ₁ (2.42 ₉), 153.977 ₁₀ (0.722 ₂₁), 209.253 ₆ (3.89 ₇), 270.245 ₂ (3.46 ₆), 328.000 ₆ (2.95 ₁₂), 338.320 ₃ (11.27 ₁₉), 409.462 ₆ (1.92 ₄), 463.004 ₆ (4.40 ₇), 562.500 ₄ (0.87 ₃), 794.947 ₅ (4.25 ₇), 835.710 ₆ (1.61 ₆), 911.204 ₄ (25.8 ₄), 964.766 ₁₀ (4.99 ₉), 968.971 ₁₇ (15.8 ₃), 1495.910 ₂₀ (0.86 ₄), 1588.20 ₃ (3.22 ₈)
$^{212}\text{Bi} \xrightarrow[60.55 \text{ m}]{\beta^-} ^{212}\text{Po}$	1078.62 ₁₀ (0.564 ₁₉)



Şekil 4.4 GMx Detektörü mutlak verim kalibrasyonu eğrisi

4.3 Örnek Işınlama Konumunda Nötron Akısını Belirlenmesi

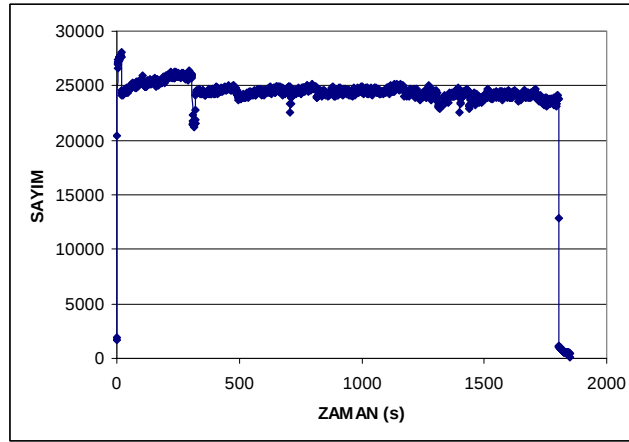
Fisyon reaksiyonu sonucu oluşacak ürünlerin miktarı Denklem 2.15' e göre reaksiyon tesir kesiti, çekirdek sayısı ve nötron akısına bağlıdır. Tesir kesiti reaksiyona özgü bir büyüklük olduğundan, oluşacak ürünlerin bolluğu Th çekirdeklerinin sayısına ve nötron akısına bağlı olarak deneysel açıdan kontrol edilebilir. (Shcherbakov vd, 2001) (Baek W.Y. vd., 2000) (Jakúbek J. vd., 1998) (Chan D.W.S. vd., 1982) Th çekirdeklerinin sayısındaki artış başka bir değişle örneğin kalınlığının artması, Th' un yüksek kütlesi nedeniyle düşük enerjilerde hacim içindeki soğurmayı arttıracığından deneysel açıdan nötron akısının yüksekliği bu reaksiyonun olma olasılığını arttırmakta önem kazanır. Bu nedenle ışınlama esnasında mümkün en yüksek nötron akısına ulaşabilmek amacıyla ışınlanacak örneğin nötron üreten hedefe mümkün olabildiğince yakın olması sağlanmıştır (Şekil 4.5). ÖTS' nin ışınlama odasındaki Alüminyum başlığı cidarı ile teflon tavşan içinde bulunan PET örnek kapsülündeki örnek arasındaki mesafe 30.3 mm' dir. Hedef odası başlığı ile nötron üreten hedefin bulunduğu Al başlık temas halinde tutulmuştur.



Şekil 4.5 Işınlama geometrisi

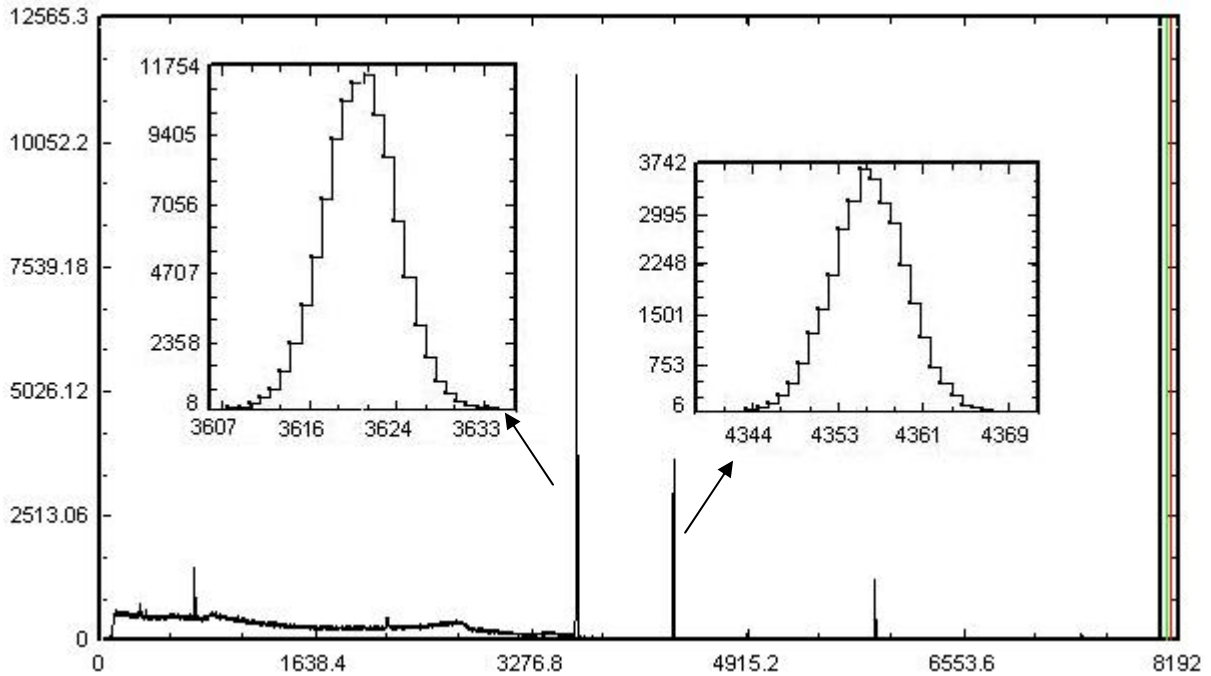
Sames T-400 hızlandırıcısında nötron akısının belirlenmesi için aktivasyon yöntemi kullanılmış Al(n,p) standart reaksiyonundan yararlanılmıştır. Bu amaçla 13 mm çapında 9 mm yüksekliğinde silindirik yapıda 1.5831g Al₂O₃ pellet örnek ışınlama konumunda 1802 s süresince ışınlanmıştır.

Işınlama süresince nötron akısındaki değişimleri izlemek için, nötron üreten hedefin altına yerleştirilen, NE102A plastik sintilasyon detektöründen yararlanılıp, 1s aralıklarla alınan sayımlar, SCA olarak çalışan Canberra85 ile kaydedilmiştir. (Şekil 4.6)



Şekil 4.6 $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ reaksiyonu SCA

28s bekleme süresi sonunda 2400s süreyle sayım alınmıştır. Bu sayımlarda $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ standart reaksiyonunda ($t_{1/2}=9.458\text{m}$) ^{27}Mg izotopunun 843.76 keV ($I_\gamma = 0.718$) ve 1014.44 keV ($I_\gamma = 0.28$) enerjili γ -ışınları izlenmiştir. (Şekil 4.7)



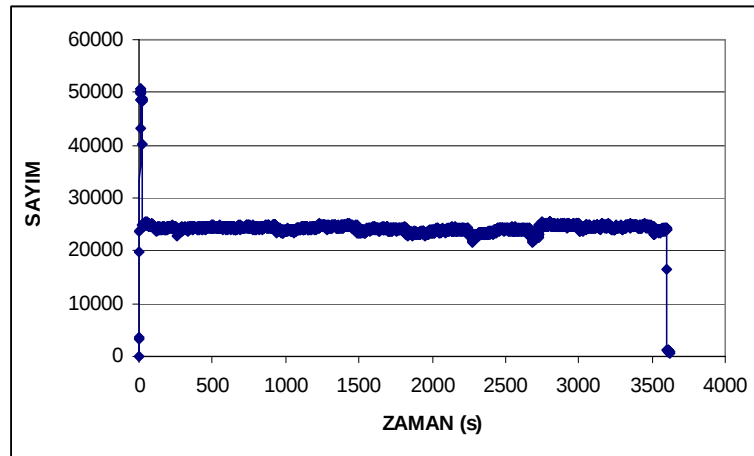
Şekil 4.7 $\text{Al}(n,p)\text{Mg}$ reaksiyonu MCA spektrumu

Nötron akısı hesaplamalarında kullanılan tesir kesiti Flatenkov vd.' lerinin deneysel verilerine dayanılarak yapılan uyum eğrisinden yararlanılmıştır. (Reyhancan I.A. vd.,2003, Subaşı M. vd. 1999, 1998) (Flatenkov A.A., vd., 1997). Denklem 2.20 kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu bulunan nötron akısı Çizelge 4.5' de verilmiştir.

Yukarıda bahsedilen nötron akı değişimi izleme detektörü ^{232}Th ışınlaması süresince nötron akısında oluşabilecek değişikliklerin düzeltilmesi için de kullanılmıştır. Bu ışınlama esnasında 1s aralıklarla alınan SCA ölçümleri Şekil 4.8' de verilmiştir. Her iki ışınlamadaki ortalama nötron sayımları kullanılarak düzeltme faktörü oransal olarak hesaplanmış ve Th ışınlaması süresince akı (250 kV 160 μA hızlandırıcı çalışma koşulunda) $9.54 \cdot 10^7 \text{ n/cm}^2\text{s}$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.5 Sames T-400 nötron akısı

E (I_γ) keV (%)	Φ nötron/s.cm ²
843.76 ₃ (71.8 ₄)	$9.92 \cdot 10^7$
1014.44 ₄ (28.0 ₄)	$9.30 \cdot 10^7$
Al(n,p)Mg Φ_{ort}	$9.61 \cdot 10^7$
Th(n,f) Φ_{ort}	$9.54 \cdot 10^7$



Şekil 4.8 Işınlama sırasında nötron akısı değişimi

4.4 Işınlanmış Toryum Örneklerin Gamma Sayımları

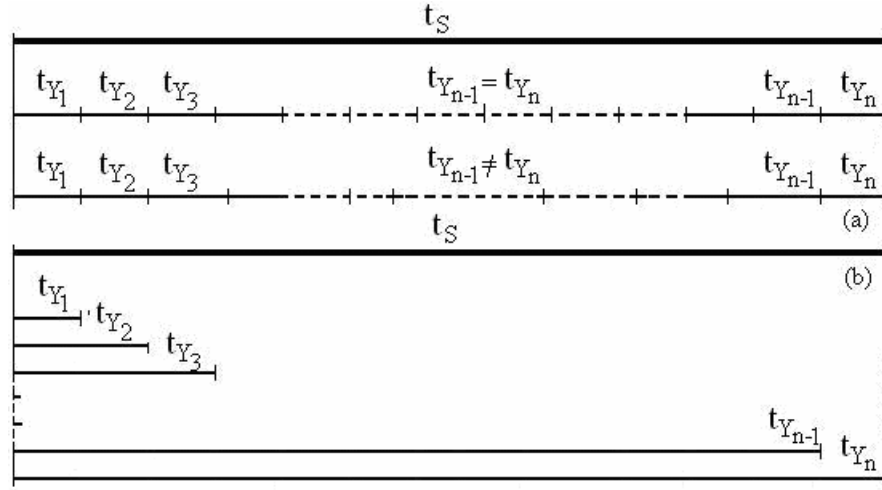
4.4.1 Sayım Stratejisi

Genellikle bir çekirdeğin spektroskopisi yöntemiyle hüviyetinin tanımlanması, o çekirdeğe ait gamma ışınlarının enerjilerinin ölçülmesi ile yapılmaktadır. Bununla beraber fisyon reaksiyonu sonucunda çok sayıda farklı çekirdek ortaya çıkmakta ve bu çekirdekler (fisyon parçaları) ilk olarak ani (prompt) nötronlar yayınlamaya birincil (bağımsız) fisyon ürünlerine sonrasında ise $-\beta$, IT, vb. reaksiyonlarla ikincil (toplam) fisyon ürünlerine bozunmayı sürdürmektedir. (bkz. Bölüm 2.8) (Chung C. vd., 1981) (Ford G.P. vd., 1976)

Toryumun hızlı nötronlarla fisyonu sonucunda oluşacak toplam ürün dağılımı üzerine yapılan hesaplamalarda bildirilen çekirdekler incelendiğinde, oluşan çekirdeklerin mikrosaniye ile 10^{21} yıl arasında değişen yarı ömürleri olduğu ve bu çekirdeklere ait, enerjileri 0 ila 2 MeV aralığında ve bollukları %1' in üstünde, 30 binden fazla gamma çizgisi bulunduğu belirlenmiştir. Bundan dolayı elde edilen gamma spektrumları hem oluşan çekirdeklerin yarı ömürleri nedeniyle zaman içinde değişim gösterir hem de bu çekirdeklere ait gamma çizgilerinin sayısal çokluğundan dolayı karmaşık bir yapıya sahiptir. Ölçüm süresi içinde kısa yarı ömürlü çekirdeklere ait TET' ler geri alan (background) spektrumu altında kalarak ölçülebilirliklerini yitirirler ve daha yüksek yarı ömürlü çekirdeklerin tespitinde belirsizliğin artışına (TET/Compton oranını azaltarak) neden olurlar. Bu etkiyi ortadan kaldırmak farklı bekleme süreleri vermekle mümkündür.

Birinci bölümde sözü edilen 89 fisyon ürünü çekirdeğin hüviyetlerinin tespit edildiği deneysel çalışmalar incelendiğinde bu çekirdeklerin büyük çoğunluğunun gün (17 adet) ve saat (48 adet) mertebesinde yarı ömre sahip oldukları ve kimyasal yöntemlerle tespit edildikleri görülmüştür. Gamma spektroskopisi içeren çalışmalarda ise elde edilen sonuçlar çoğunlukla spektroskopik olarak takip edilen bir çekirdeğin (^{99}Mo $t_{1/2} = 65.94$ saat) kimyasal tespitine dayanan düzeltmeler içermektedir.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı çekirdeklerin hüviyetlerinin kesinlikle belirlenmesi için yarı ömürlerinin de ölçülmesine gerek vardır. Bu nedenle, MCA yazılımı, sayım süresince yenileme zaman aralıkları ile spektrum toplayacak şekilde düzenlenmiştir. Deneyde belirlenmesi muhtemel izotopların yarı ömürleri çok geniş bir zaman aralığında değiştiğinden yazılım sabit ve/veya değişken zaman aralıklarında ardışık veya toplam ölçüm alabilecek şekilde yapılandırılmıştır. Değişken aralıklı bir ölçme süresi yapısının (Şekil 4.9) sağladığı diğer bir avantaj ise her analizde farklı bekleme zamanları verilebilmesidir.



Şekil 4.9 MCA yazılımı veri toplama süreleri

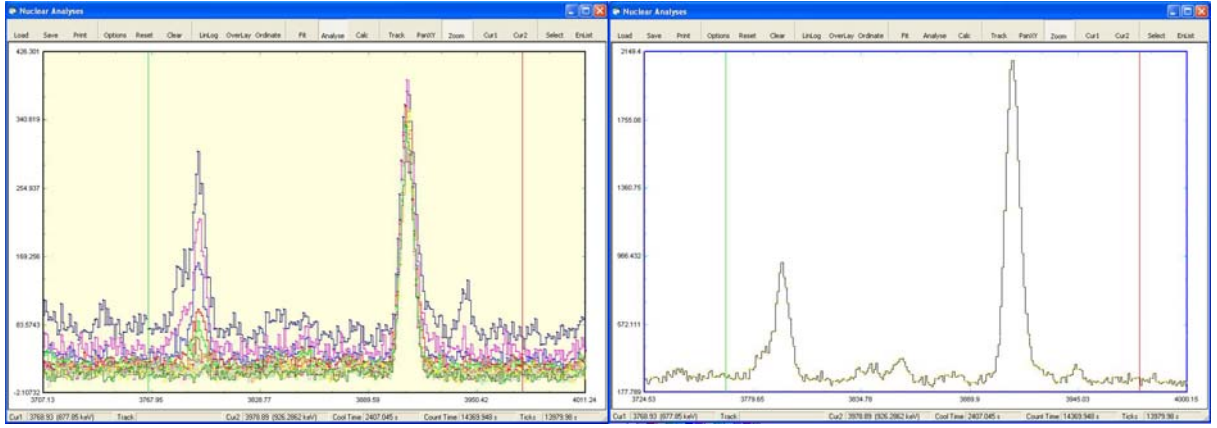
4.4.2 Analiz Yöntemi

Hazırlanan MCA yazılımı ile 21s' lik bekleme süresi sonrasında 78856 s' lik sayım süresi içinde 1, 2, 5, 10, 50 s aralıklarla, 2429 spektrum alınmıştır. Ölçüm süresi içindeki dağılımları Çizelge 3.1' de verilen bu γ spektrumlarının analizi için Microsoft firmasına ait Visual Basic [1] [5] yazılımı kullanılarak bir analiz programı hazırlanmıştır.

Çizelge 4.6 Deney süresi içinde ölçüm yenileme zamanı ve dosya dağılımları

Sayım Süresi t_s (s)	Sayım Yenileme Süresi t_Y (s)	Alınan (Kaydedilen) Spektrum Sayısı
0-5	5	1
5-14	1	9
14-96	2	41
96-916	5	164
916-9106	10	819
9106-78856	50	1395

Bu programın önyüzü kullanılarak her bir çekirdek için yarı ömrüne, β - bozunum serisi içindeki diğer çekirdeklerin yarı ömrüne ve ilgilenilen gamma-ışını enerjisinin ± 0.5 keV civarında gamma-ışını enerjisi olan diğer çekirdeklere göre farklı bekleme ve sayım sürelerine sahip spektrumlar düzenlenerek iki ayrı görsel çıktı hazırlanmıştır. Bunlardan birincisi ilgilenilen çekirdeğin genellikle 4 yarı ömürlük bozunumu süresince yarı ömrünün 1/3 oranında oluşturulan ardışık 12 spektrumu ve ikincisi ise aynı bekleme süresine sahip ve çekirdeğin 2 yarı ömür süresince bozunumunu içerir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 TET analiz programı ön yüzü a) Bozunum takibi b) Ürün bolluğu tayini

4.4.2.1 Fisyon Ürünü Çekirdeklerin Hüviyetlerinin Belirlenmesi

Çekirdek hüviyet tayini iki aşamalı bir süreç ile gerçekleştirilmiştir. Her iki süreçte hesaplamalar CERN’ de geliştirilen, ROOT ([2]), c++ yorumlayıcısında hazırlanan alt programlarda yapılmıştır. (Brun R. Vd., 2004, 2005). Birinci aşamada ilgilenilen çekirdeğin yarı ömrü göz önüne alınarak hazırlanan seri spektrumlardan ilki kullanılır. Bu spektrumda seçilen enerji aralığı, başlangıç (yeşil) ve bitiş (kırmızı) imleçleri ile işaretlenir. İşaretlenen bu bölgedeki TET sayısı ve TET merkezleri belirlenir. Bu belirlemede, n ilgilenilen aralıktaki TET sayısı, c_{3i} TET genliği, c_{3i+1} TET merkezi, c_{3i+2} TET genişliği olmak üzere

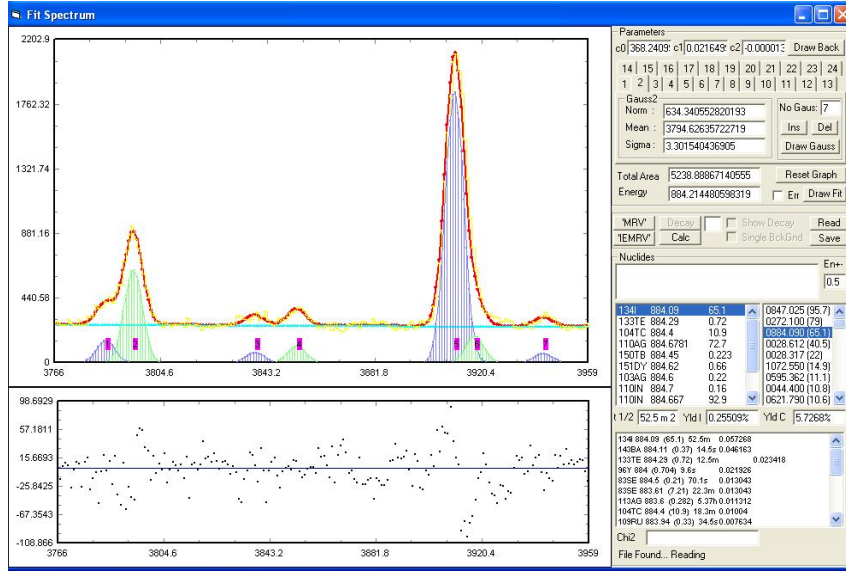
$$f_G(x) = \sum_{i=1}^n c_{3i} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - c_{3i+1}}{c_{3i+2}} \right)^2}$$

$$f_B(x) = c_0 + c_1 x + c_2 x^2$$

$$f(x) = f_B(x) + f_G(x) \quad (4.4)$$

ikinci derece bir geri alan (background) fonksiyonu ile “minuit” algoritması kullanılarak uyum yapılmıştır. (Eadie W.T., vd., 1971) (James F., 1981)

Elde edilen uyum sonuçları ve grafikler dosyalanarak ana programa iletilir ve elde edilen verinin grafiksel gösterimleri yapılır. Bunun yanı sıra alt program daha sonra kullanılabilmesi için yapılan tüm işlemleri ROOT’ a özgü bir dosya biçimi içinde saklar. Eğri uyum programı seçilen aralıkta 24 adet TET için parametreleri ve parametre hatalarını tutabilir. Seçilen herhangi bir TET için girilen aralıktaki muhtemel çekirdekleri, bu çekirdeklere ait diğer gamma-ışını enerjilerini ve bu enerjilerle çıkışabilecek diğer çekirdekleri bir veri tabanı yardımıyla listeler (Şekil 4.11).



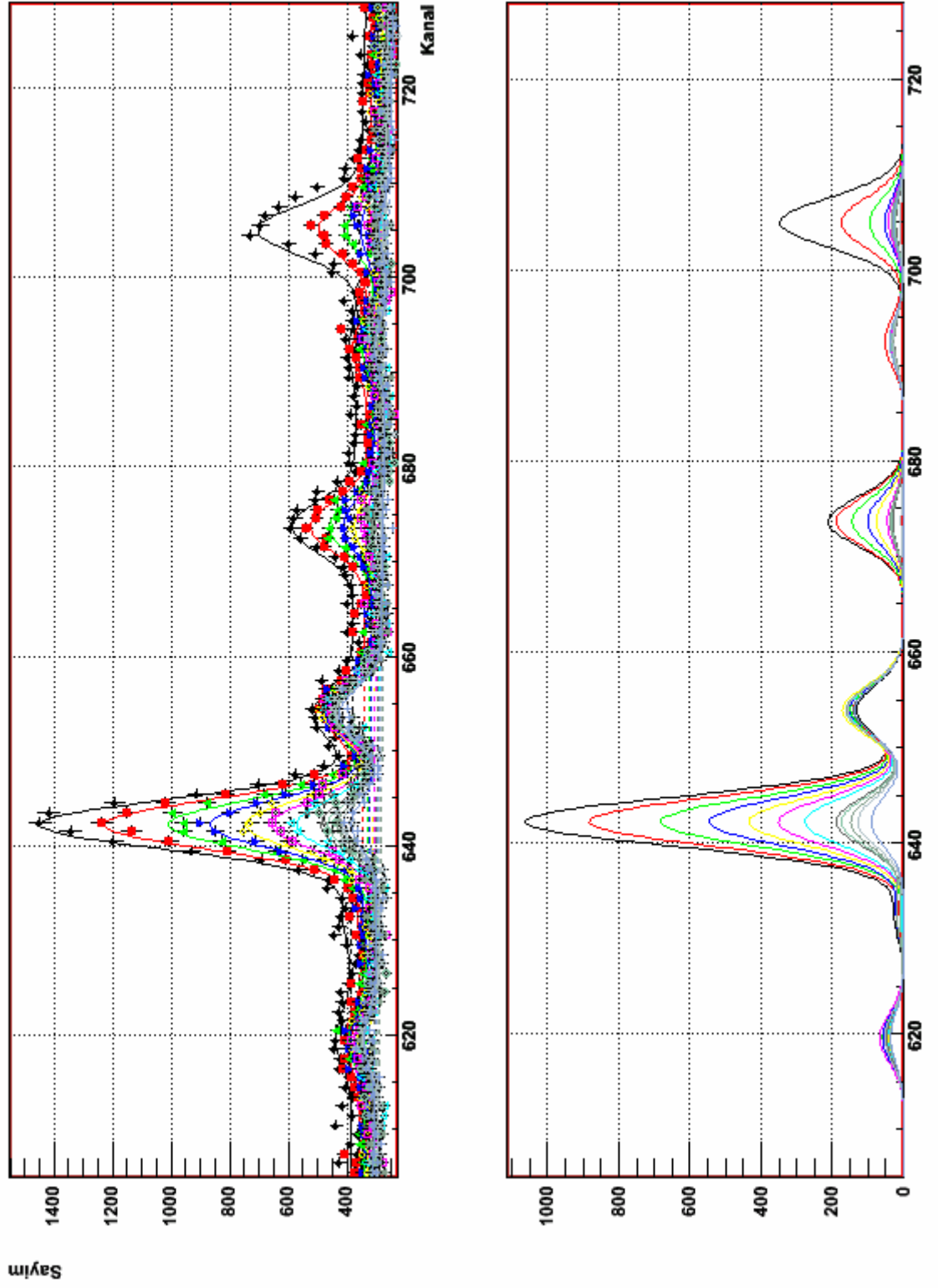
Şekil 4.11 Analiz yazılımı eğri uyum ara yüzü

Gerçekleştirilen bu ilk uyum sonuçlarının görsel kontrolü yapılır. Her bir TET için veri tabanından çekirdek hüviyetleri belirlenir. İkinci aşamada ise c_{3i+1} (merkez) ve c_{3i+2} (genişlik) parametreleri sabit tutularak, ardışık oluşturulan tüm spektrumlarda TET genlikleri belirlenir. İlgilenilen aralıktaki her TET için belirlenen parametreler ardışık spektrumlarda kullanılarak,

$$P_i = c_{3i} c_{3i+2} \sqrt{\pi/4 \ln 2} \quad (4.5)$$

TET altında kalan alanlar hesaplanır. (Debertin K., 1988) Hesaplanan bu alanlar kullanılarak her bir TET için deney zamanına bağlı olarak TET alanlarının değişim grafikleri oluşturulur ve radyoaktif bozunum kanununa (denklem 2.13) göre eğri uyumu yapılarak izlenen her bir γ -çizgisi için yarı ömür tespit edilir (Debertin K., 1988). Şekil 4.12’ de yapılan bu incelemelerin grafiksel gösterimi verilmiştir. Bu şekilde, 5676 s aralıklarla hazırlanan 12 spektrumdan seçilen 142.39-171.09 keV enerji aralığında veri bir histogram nesnesinde toplanmıştır ve bu veriye denklem 4.4 uyarınca uyum yapılmıştır. Yapılan uyum sonucu gürültüden temizlenen bilgi altta gösterilmiştir.

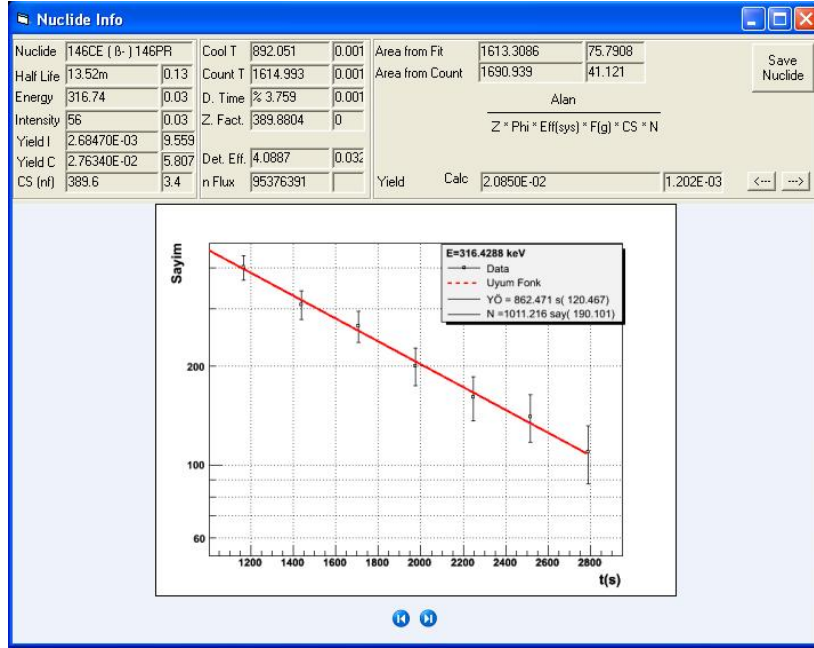
12x5376 s (142.393- 171.096 keV) aralığında 7 Enerji Seviyesi



Şekil 4.12 ROOT ile hazırlanan analiz alt programı çıktısı

4.4.2.2 Çekirdek Bolluğunun Belirlenmesi

Yarı ömrü ve gamma-ışını enerjisi ile hüviyeti belirlenen çekirdeğin bolluğunu bulmak için alınan ikinci spektrum (analiz) kullanılır. Bu spektrum üzerinde eğri uyum alt programı ile belirlenen TET için, TET altındaki alan hesaplanır ve Bölüm 2’ de verilen Denklem 2.20 kullanılarak ürün bolluğu belirlenir. Elde edilen grafik ve sonuçlar ürün ara yüzüne aktarılır ve dosyalanır. (Şekil 4.13)



Şekil 4.13 Analiz yazılımı ürün belirleme ara yüzü

4.4.3 Analizler Kriterleri

Yukarıda belirtilen yöntemle yapılan analizlerde JEF-2.2 (James M. vd., 1993) [6] veri tabanından alınan fisyon toplam ürün dağılımı bilgileri, BNL National Nuclear Data Center [9] (NNDC)’ den alınan yarı ömür, γ -ışını enerjisi ve γ -ışını bolluğu bilgileri kullanılmıştır. Bu bilgilerin seçimi iki kıstas ile yapılmıştır. Bunlardan ilki, yarı ömür sınırlamasıdır ve sayımlara başlamadan verilen bekleme süresi içinde 4 yarı ömür geçiren (yarı ömrü 5s’ nin altında olan) çekirdekler değerlendirmeye alınmamıştır. İkinci kıstas ise JEFF-2.2’ de belirtilen çekirdeklerin toplam ürün bolluklarıdır ve bolluğu 10^{-6} ’ dan az olan çekirdekler seçim kriteri dışı kabul edilmiştir.

Çekirdek bolluklarının belirlenmesi için kullanılacak bekleme sürelerinin belirlenmesinde, öncelikle, araştırılan çekirdeğin bulunduğu β - zinciri içinde kendinden nötronca zengin ilk çekirdeğin yarı ömrü, daha sonra bu çekirdeğin β - bozunumundan yayınlanan γ -ışını enerjisi

bölgesindeki çekirdekler göz önüne alınmıştır. Yayınlanan γ -ışınları en yüksek bolluktan başlayarak azalan sıralama ile değerlendirilmiş, böylece bolluk değerine en uygun γ -ışını enerjisi ile eşleştirilmiştir. Bu değerlendirmede ilgilenilen çekirdeğin seçilen γ -ışını TET altında kalan alana, ilgilenilen enerji aralığında bulunması muhtemel diğer çekirdeklerin katkısını belirlemede, denklem 2.20; 1 indisi ilgilenilen çekirdeği ve 2 indisi bulunması muhtemel çekirdeği ifade etmek üzere oranlanmıştır.

$$\frac{P_2(E_\gamma)}{P_1(E_\gamma)} = \frac{Y_2 Z_2 I_{\gamma(2)}}{Y_1 Z_1 I_{\gamma(1)}} \quad (4.6)$$

ve TET alanına etkisi 3/1000' den daha az olan çekirdekler ihmal edilmiştir.

Fisyon reaksiyonundan oluşacak çekirdeklerin bolluklarının belirlenmesinde karşılaşılan belirsizlikler Çizelge 4.7' de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Tüm belirsizlikler

Belirsizlik Kaynağı	Ortalama Belirsizlik (%)
Genişlik Kalibrasyonu	1.65
Detektör Verimi	3.23
Nötron Akısı	3.22
Tesir Kesiti	0.87
Diğer fisyon ürünlerinin TET alanına katkısı	<0.3

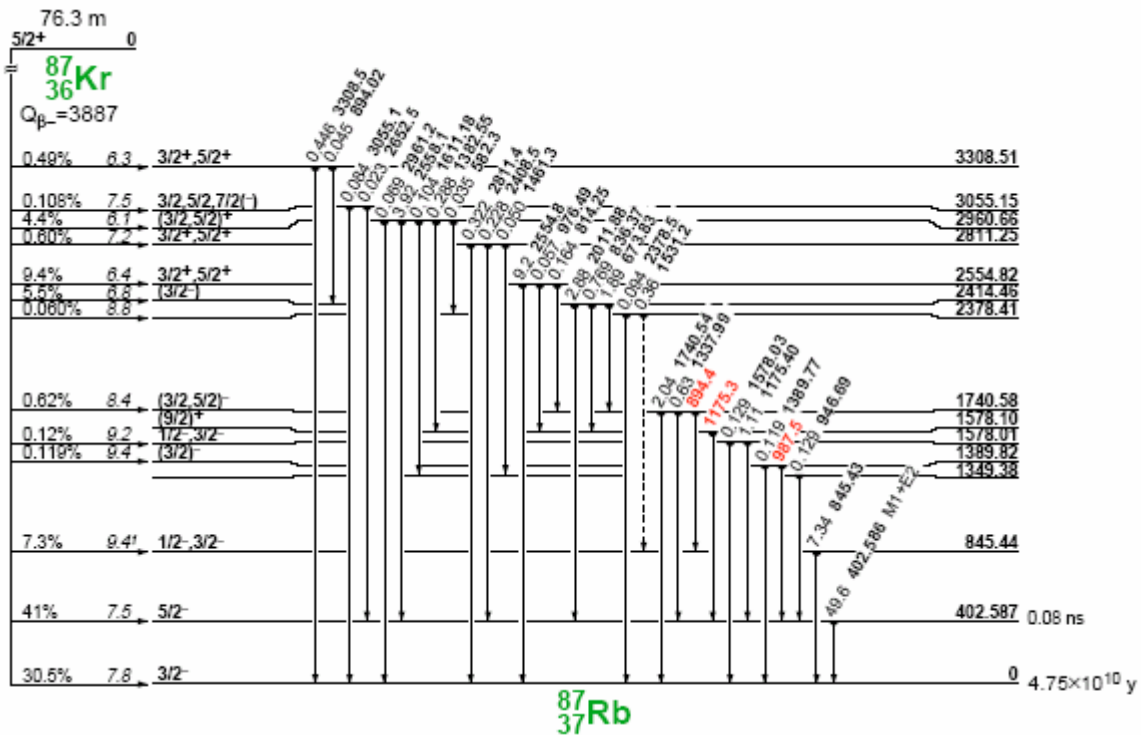
5. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde, yukarıda belirtilen yöntemin geçerliliğini ortaya koymak açısından yapılan analizlerden bazılarına yer verilmiştir. İlk alt bölümde asimetrik kütle dağılımının tepelerinde ve vadisinde yer alan dakika saat ve gün mertebesinde yarı ömre sahip çekirdekler için yapılan hesaplamalara ve ikinci alt bölümde ise ilk olarak bu tez dahilinde bollukları belirlenen çekirdeklere yer verilmiştir.

5.1 Bulgular

^{87}Kr

^{87}Kr çekirdeğinin ürün bolluğunun belirlenmesinde 76.3 dakikalık yarı ömür ile ^{87}Rb çekirdeğine döküldüğü β^- bozunumundan gelen 402.587 keV enerjili ve %49.6 bolluklu γ -ışını izlenmiştir.



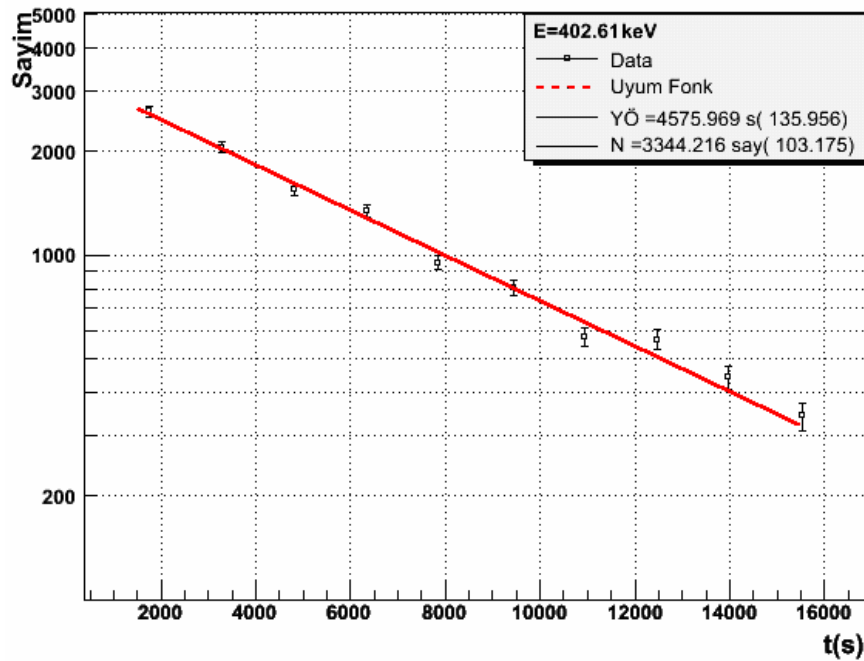
Şekil 5.1 $^{87}\text{Kr} \rightarrow ^{87}\text{Rb}$ $t_{1/2}=76.3$ m β^- bozunumundan gelen γ geçişleri

γ -ışını enerjileri 402.587 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.1' de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı β^- zincirindeki ^{87}Br çekirdeği olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.1 402.587±0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_γ (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{135}\text{I} \xrightarrow{\beta^-} ^{135}\text{Xe}$	6.57 h ₂	403.03 ₄	0.232 ₃	5.901E-02	6.024E-03
$^{89}\text{Kr} \xrightarrow{\beta^-} ^{89}\text{Rb}$	3.15 m ₄	402.25 ₂₀	0.32 ₄	5.681E-02	5.928E-03
$^{87}\text{Kr} \xrightarrow{\beta^-} ^{87}\text{Rb}$	76.3 m ₅	402.587 ₁₀	49.6 ₂₀	4.902E-02	1.662E-03
$^{151}\text{Nd} \xrightarrow{\beta^-} ^{151}\text{Pm}$	12.44 m ₇	402.33 ₂	0.25 ₄	3.325E-03	7.913E-04
$^{121}\text{Cd} \xrightarrow{\beta^-} ^{121}\text{In}$	13.5 s ₃	402.51 ₁₀	3.48 ₁₉	2.495E-03	1.268E-04
$^{154}\text{Pm} \xrightarrow{\beta^-} ^{154}\text{Sm}$	2.68 m ₇	402.15 ₁₀	1.539	4.969E-04	1.102E-04
$^{162}\text{Gd} \xrightarrow{\beta^-} ^{162}\text{Tb}$	8.4 m ₂	403.00 ₈	43.4 ₂₀	3.481E-06	9.227E-07

Bu seçimler doğrultusunda 227 s' lik (^{87}Br ($t_{1/2}=55.60$ s) çekirdeğinin 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{87}Kr , yarı ömrünün 1/3' ü büyüklüğünde, 1526 s aralıklarla alınan 8 spektrumda takip edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda yarı ömür 76.27 dakika olarak belirlenmiştir (Şekil 5.2). Bu hesaplamalarda TET enerjisi 402.61 keV olarak alınmıştır. Bu bulgular izlenmekte olan γ -ışını TET' nin ^{87}Kr ' ye ait olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.2 $^{87}\text{Kr} \rightarrow ^{87}\text{Rb}$ $t_{1/2}=76.3$ m 5 β^- bozunumu

Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 227 s bekleme süresine ve 9150 s sayım süresine sahip ikinci bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü zamanı %3.45 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET

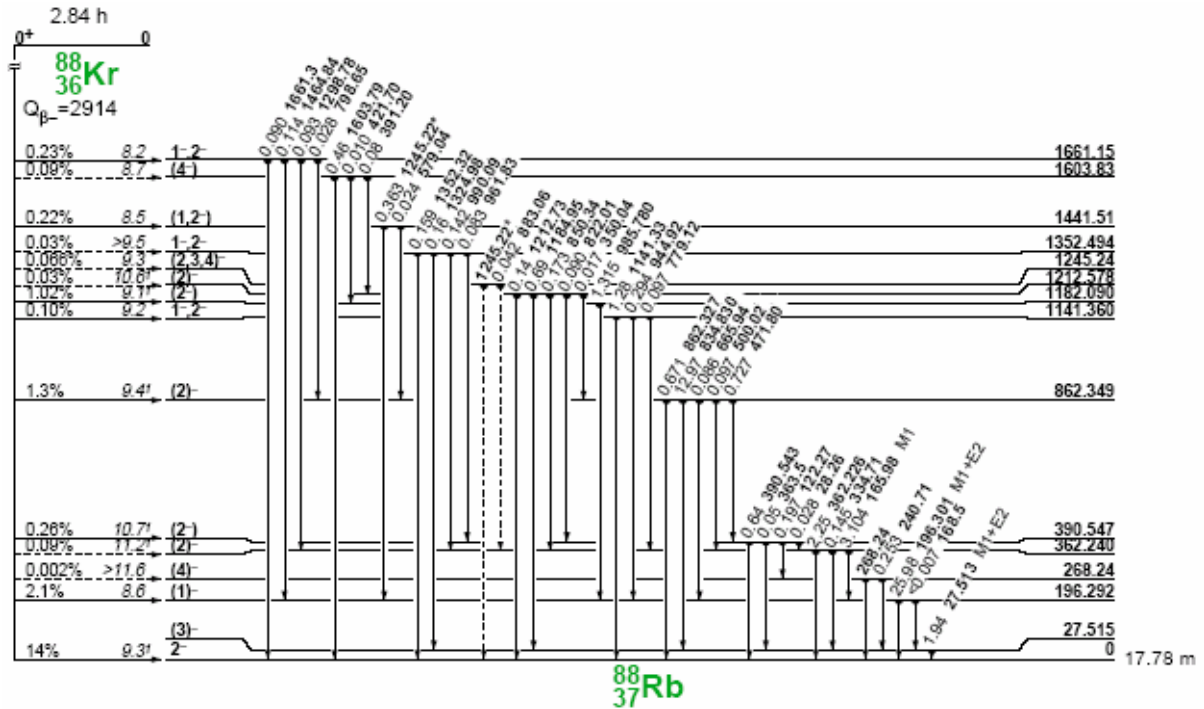
alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi %3.073 dür. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{87}Kr için toplam ürün bolluğu %3.53 ve bölüm 2.12.4’ de belirtilen yöntemle belirsizlik %1.98 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2 ^{87}Kr literatür bilgileri

	Bu Tez	Tongyu (1988)	JENDL 3.3	ENDF B-VI	JEF 2.2	JEFF 3.1
Toplam Ürün (%)	3.53	4.57	4.781	5.395	4.902	4.97
Belirsizlik (%)	0.198	0.23	0	1.101	0.166	0.139

^{88}Kr

^{88}Kr çekirdeğinin ürün bolluğunun belirlenmesinde 2.84 saatlik yarı ömür ile ^{88}Rb çekirdeğine döküldüğü β - bozunumundan gelen 196.301 keV enerjili ve %25.98 bolluklu γ -ışını izlenmiştir.



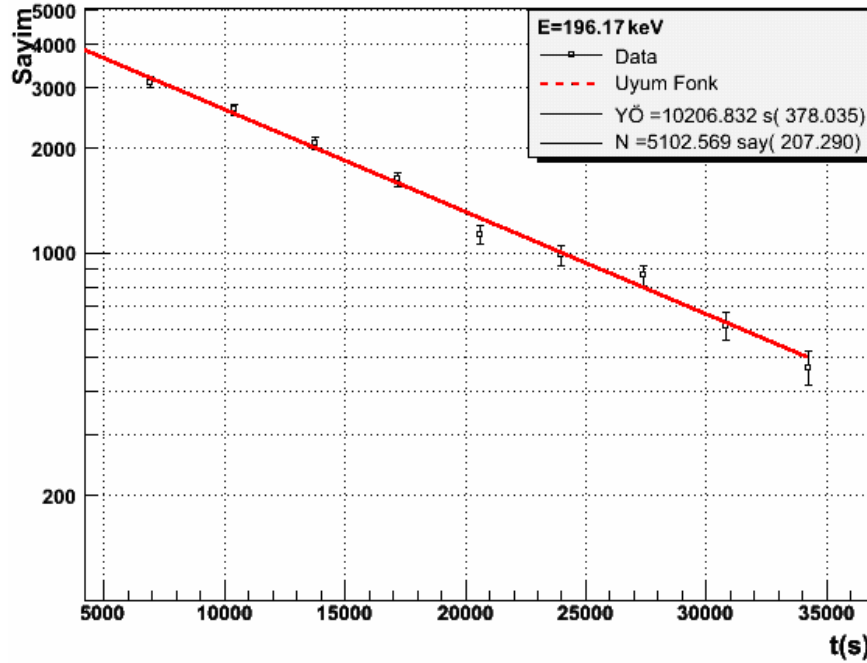
Şekil 5.3 $^{88}\text{Kr} \rightarrow ^{88}\text{Rb}$ $t_{1/2}=2.84$ h β - bozunumundan gelen γ geçişleri

γ -ışını enerjileri 196.301 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.3’ de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı ^{101}Mo çekirdeği olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.3 196.301 $\pm$ 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_γ (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{88}\text{Kr} \xrightarrow{\beta^-} ^{88}\text{Rb}$	2.84 h ₃	196.301 ₁₀	25.98 ₁₇	4.817E-02	3.805E-03
$^{140}\text{Xe} \xrightarrow{\beta^-} ^{140}\text{Cs}$	13.60s ₁₀	196.2 ₂	0.220 ₁₄	3.221E-02	5.292E-03
$^{147}\text{Nd} \xrightarrow{\beta^-} ^{147}\text{Pm}$	10.98 d ₁	196.64 ₄	0.204 ₁₇	1.830E-02	1.439E-03
$^{101}\text{Mo} \xrightarrow{\beta^-} ^{101}\text{Tc}$	14.61m ₃	195.93 ₄	2.77 ₇	1.589E-02	1.989E-03
$^{148}\text{Ce} \xrightarrow{\beta^-} ^{148}\text{Pr}$	56 s ₁	195.977 ₁₄	6.7 ₃	1.345E-02	1.645E-03
$^{104}\text{Mo} \xrightarrow{\beta^-} ^{104}\text{Tc}$	60 s ₂	196.1 ₂	0.37 ₈	1.004E-02	1.549E-04
$^{157}\text{Sm} \xrightarrow{\beta^-} ^{157}\text{Eu}$	482 s ₄	196.461 ₉	16.63 ₂₂	1.440E-04	3.744E-05
$^{164}\text{Tb} \xrightarrow{\beta^-} ^{164}\text{Dy}$	3.0 m ₁	196.75 ₁₅	0.21 ₁₁	3.269E-07	9.337E-08

Bu seçimler doğrultusunda 3517 s' lik (^{101}Mo çekirdeğinin 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{88}Kr , yarı ömrünün 1/3' ü büyüklüğünde, 340 s aralıklarla alınan 9 spektrumda takip edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda yarı ömür 2.835 h olarak belirlenmiştir (Şekil 5.4). Bu analizlerde TET enerjisi 196.17 keV olarak alınmıştır. Bu bulgular izlenmekte olan γ -ışını TET' nin ^{88}Kr ' ait olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.4 $^{88}\text{Kr} \rightarrow ^{88}\text{Rb}$ $t_{1/2}=2.84$ h 3 β^- bozunumu

Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 3517 s bekleme süresine ve 20410 s sayım süresine sahip ikinci bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü

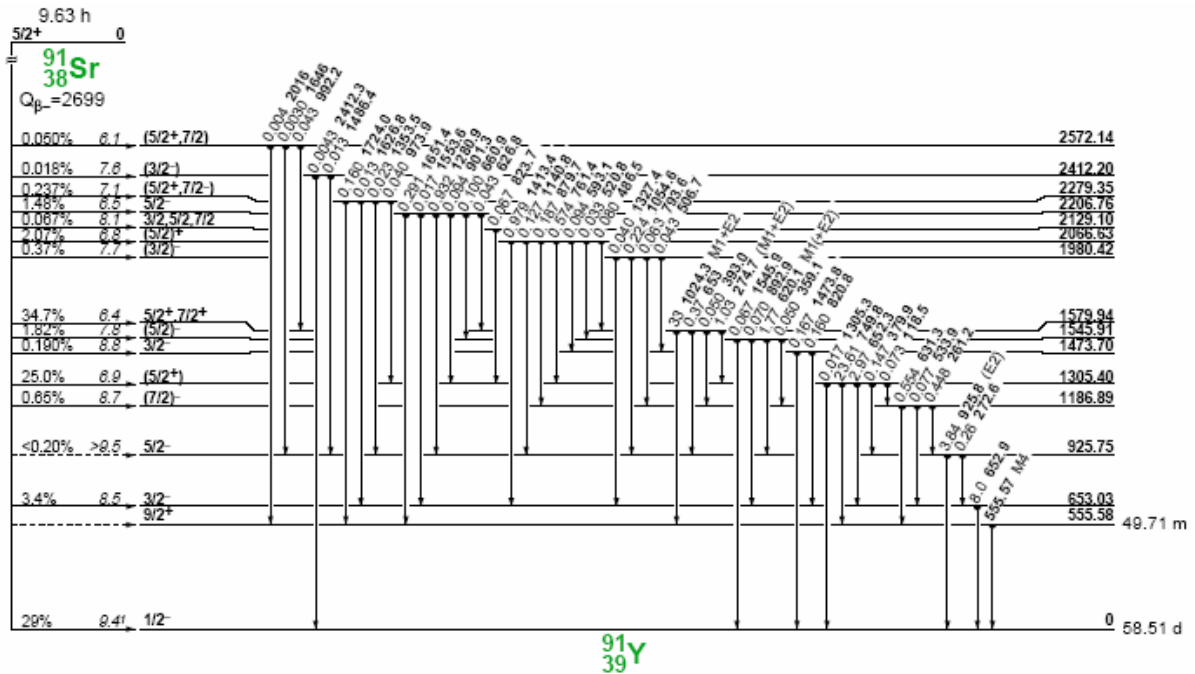
zamanı %2.662 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi %6.5101 dir. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{88}Kr için toplam ürün bolluğu %4.32 ve bölüm 2.12.4’ de belirtilen yöntemle belirsizlik %1.77 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4 ^{88}Kr literatür bilgileri

	Bu Tez	Blachot (1971)	Tongyu (1988)	JENDL 3.3	ENDF B-VI	JEF 2.2	JEFF 3.1
Toplam Ürün (%)	4.32	4.97	4.58	5.133	5.067	4.817	5.33
Belirsizlik (%)	0.177	0	0.31	0	0.249	0.38	0.32

^{91}Sr

^{91}Sr çekirdeğinin ürün bolluğunun belirlenmesinde 9.63 saatlik yarı ömür ile ^{91}Y çekirdeğine döküldüğü β^- bozunumundan gelen 1024.3 keV %33.5 bolluklu γ -ışını izlenmiştir.



Şekil 5.5 $^{91}\text{Sr} \rightarrow ^{91}\text{Y}$ $t_{1/2}=9.63$ h β^- bozunumundan gelen γ geçişleri

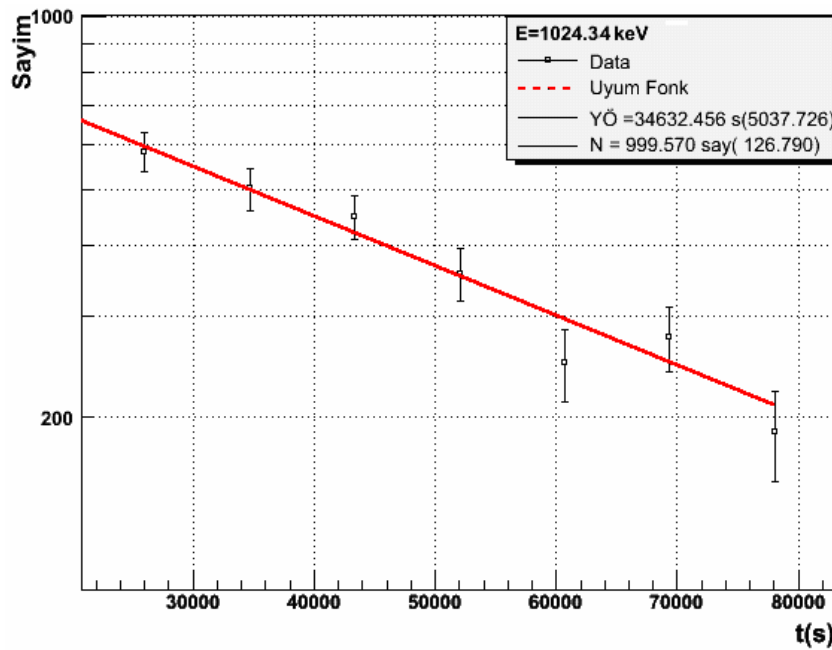
γ -Işını enerjileri 1024.3 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.5’ de verilmiştir. Yapılan

değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı ^{97}Nb çekirdeği olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.5 1024.3 $\pm$ 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_γ (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{91}\text{Sr} \xrightarrow{\beta^-} ^{91}\text{Y}$	9.63 h 5	1024.3 1	33.5	5.915E-02	5.242E-04
$^{140}\text{Xe} \xrightarrow{\beta^-} ^{140}\text{Cs}$	13.60s 10	1024.7 2	0.26 5	3.221E-02	5.292E-03
$^{97}\text{Nb} \xrightarrow{\beta^-} ^{97}\text{Mo}$	72.1 m 7	1024.4 3	1.09 7	3.049E-02	1.053E-03
$^{154}\text{Pm} \xrightarrow{\beta^-} ^{154}\text{Sm}$	2.68 m 7	1024.3 3	0.3 3	4.969E-04	1.102E-04
$^{154}\text{Pm} \xrightarrow{\beta^-} ^{154}\text{Sm}$	1.73 m 10	1024.3 3	0.11	4.969E-04	1.102E-04
$^{154}\text{Nd} \xrightarrow{\beta^-} ^{154}\text{Pm}$	25.9 s 2	1024.1 3	0.195	4.908E-04	1.095E-04
$^{74}\text{Ga} \xrightarrow{\beta^-} ^{74}\text{Ge}$	8.12 m 12	1024.3 5	0.14 3	2.166E-04	3.932E-05

Bu seçimler doğrultusunda 17327 s' lik (^{97}Nb çekirdeğinin 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{91}Sr , yarı ömrünün 1/4' ü büyüklüğünde, 8667 s aralıklarla alınan 7 spektrumda takip edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda yarı ömür 9.62 h olarak belirlenmiştir (Şekil 5.6). Bu analizlerde TET enerjisi 1024.34 keV olarak alınmıştır. Bu bulgular izlenmekte olan γ -ışını TET' nin ^{91}Sr ' ait olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.6 $^{91}\text{Sr} \rightarrow ^{91}\text{Y}$ $t_{1/2}=9.63$ h 5 β^- bozunumundan gelen γ geçişleri

Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 17327 s bekleme süresine ve 60700 s sayım süresine sahip ikinci bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü zamanı % 2.703 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi % 1.1953 dür. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{91}Sr için toplam ürün bolluğu %4.55 ve bölüm 2.12.4’ de belirtilen yöntemle belirsizlik %2.67 olarak hesaplanmıştır.

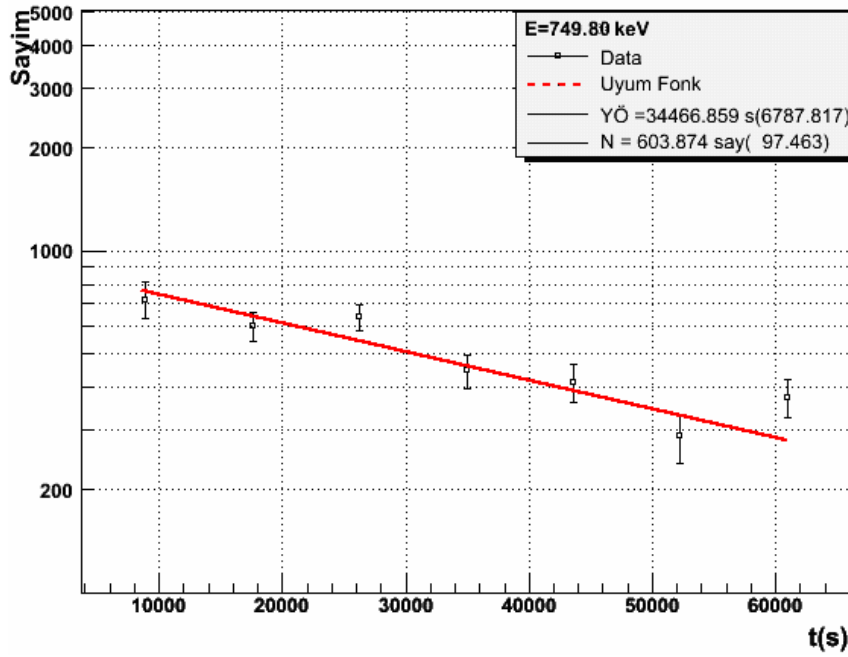
Bununla beraber ^{91}Sr ’ in uzun yarı ömrü ve ^{97}Nb nedeniyle seçilen bekleme süresi ölçüm istatistiğini kötü yönde etkilemektedir. ^{91}Sr çekirdeği için 749.8 keV enerjili ve %23.68 bolluklu γ -ışını, teyit amacıyla, takip edilmiştir.

γ -Işını enerjileri 749.8 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.7’ de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı β - zinciri içindeki ^{91}Rb çekirdeği olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.7 749.8 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_{γ} (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{91}\text{Sr} \xrightarrow{\beta^-} ^{91}\text{Y}$	9.63 h ₅	749.8 ₁	23.68 ₁₇	5.915E-02	5.242E-04
$^{91}\text{Rb} \xrightarrow{\beta^-} ^{91}\text{Sr}$	58.4 s ₄	749.73 ₂₅	0.112 ₂₀	5.767E-02	2.614E-03
$^{86}\text{Br} \xrightarrow{\beta^-} ^{86}\text{Kr}$	55.0 s ₈	749.5 ₇	0.72 ₁₃	4.455E-02	5.240E-03
$^{136}\text{I} \xrightarrow{\beta^-} ^{136}\text{Xe}$	46.9 s ₁₀	750.05 ₇	5.8 ₄	2.706E-02	1.244E-03
$^{109}\text{Ru} \xrightarrow{\beta^-} ^{109}\text{Rh}$	34.5 s ₅	750.2 ₅	0.13 ₄	7.634E-03	1.737E-04
$^{77}\text{Ge} \xrightarrow{\beta^-} ^{77}\text{As}$	11.30 h ₁	749.86 ₃	0.884 ₁₆	1.230E-03	1.512E-04
$^{156}\text{Pm} \xrightarrow{\beta^-} ^{156}\text{Sm}$	26.70 s ₁₀	750.26 ₁₀	2.10 ₂₀	2.217E-04	5.720E-05

Bu seçimler doğrultusunda 282 s’ lik (^{91}Rb çekirdeğinin 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{91}Sr , yarı ömrünün 1/4’ ü büyüklüğünde, 8667 s aralıklarla alınan 10 spektrumda takip edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda yarı ömür 9.57 h olarak belirlenmiştir (Şekil 5.7). Bu analizlerde TET enerjisi 749.80 keV olarak alınmıştır. Bu bulgular izlenmekte olan γ -ışını TET’ nin ^{91}Sr ’ ait olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.7 $^{91}\text{Sr} \rightarrow ^{91}\text{Y}$ $t_{1/2}=9.63$ h 5 β - bozunumu

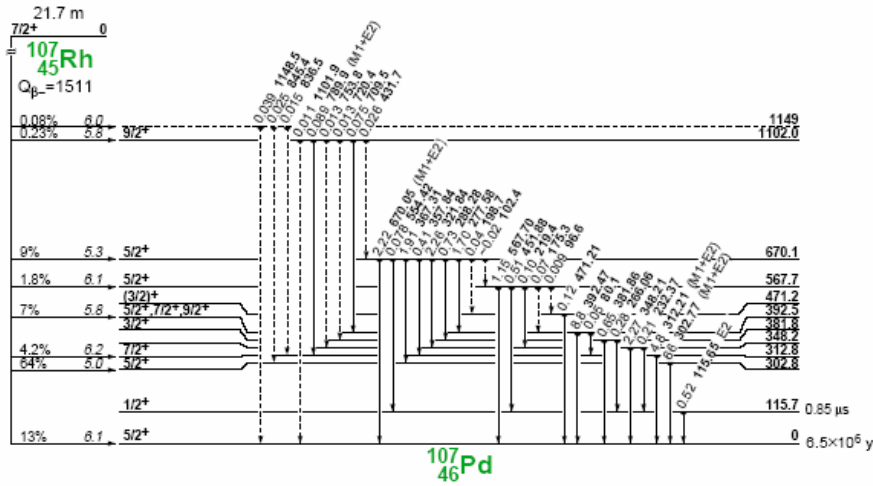
Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 282 s bekleme süresine ve 69295 s sayım süresine sahip ikinci bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü zamanı %2.79 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi %1.5396 dır. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{91}Sr için toplam ürün bolluğu %4.55 ve bölüm 2.12.4’ de belirtilen yöntemle belirsizlik %2.40 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.8 ^{91}Sr literatür bilgileri

	Bu Tez	Broom (1964)	Blachot (1971)	Tongyu (1988)	JENDL 3.3	ENDF B-VI	JEF 2.2	JEFF 3.1
Toplam Ürün (%)	4.55	5.52	5.9	5.71	5.839	5.85	5.915	5.992
Belirsizlik (%)	0.24	0.52	0	0.31	0	0.275	0.052	0.24

^{107}Rh

^{107}Rh çekirdeğinin ürün bolluğunun belirlenmesinde 21.7 dakikalık yarı ömür ile ^{107}Pd çekirdeğine döküldüğü β - bozunumundan gelen 203.77 keV enerjili ve %66 bolluklu γ -ışını izlenmiştir.



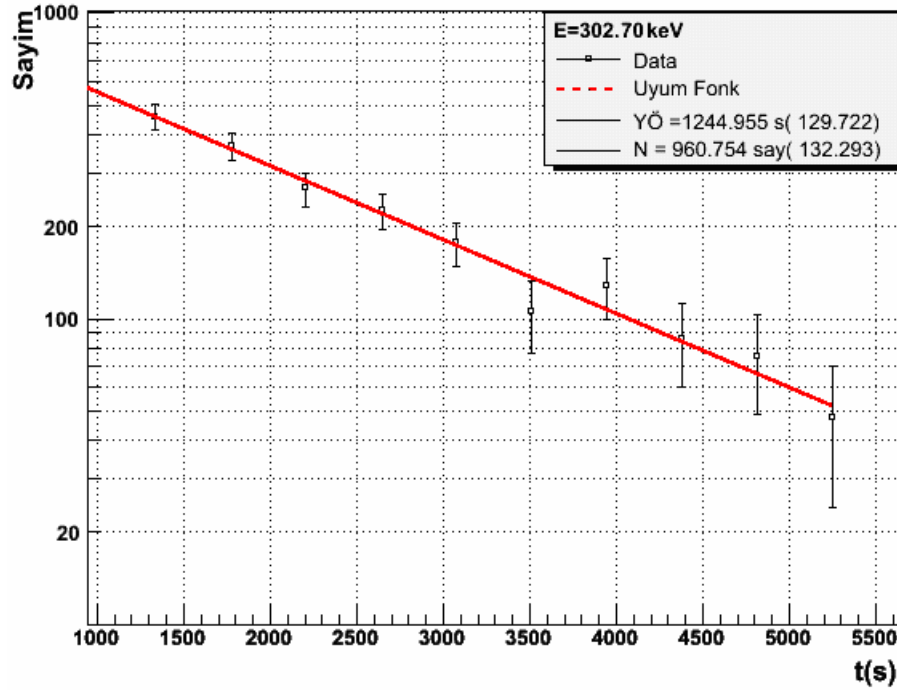
Şekil 5.8 $^{107}\text{Rh} \rightarrow ^{107}\text{Pd}$ $t_{1/2}=21.7$ m β^- bozunumundan gelen γ geçişleri

γ -Işını enerjileri 203.77 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.9’ de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı ^{115}Ag çekirdeği olarak belirlenmiştir. Bununla beraber deney genel sayım süresi içinde ^{115}Ag ’ in 4 yarı ömrü süresince bir bekleme zamanı vermek mümkün değildir. Bu nedenle bekleme süresi β^- zincirindeki ^{107}Ru ’ ün yarı ömrüne göre belirlenmiştir ve denklem 4.6’ ya göre yapılan oransal analizde bu seçimin TET alanına etkisi %0.77 olarak bulunmuştur. Bu değer hesaplanan toplam ürün bolluğuna belirsizlik olarak dahil edilmiştir.

Çizelge 5.9 302.77 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_γ (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{144}\text{Ba} \rightarrow ^{144}\text{La}$	11.5 s 2	302.52 15	0.49 7	3.214E-02	6.258E-03
$^{144}\text{Ba} \rightarrow ^{144}\text{La}$	11.5 s 2	302.52 15	0.25 7	3.214E-02	6.258E-03
$^{100}\text{Zr} \rightarrow ^{100}\text{Nb}$	7.1 s 4	303.2 1	0.22 3	1.833E-02	2.739E-03
$^{116}\text{Pd} \rightarrow ^{116}\text{Ag}$	11.8 s 4	302.6 5	3.2 12	1.088E-02	1.616E-03
$^{107}\text{Rh} \rightarrow ^{107}\text{Pd}$	21.7 m 4	302.77 20	66 5	1.050E-02	1.786E-03
$^{115}\text{Ag} \rightarrow ^{115}\text{Cd}$	20.0 m 5	302.7 2	0.70 7	8.395E-03	4.060E-04
$^{152}\text{Nd} \rightarrow ^{152}\text{Pm}$	11.4 m 2	302.9 2	0.104 14	1.715E-03	4.268E-04
$^{154}\text{Pm} \rightarrow ^{154}\text{Sm}$	2.68 m 7	303.10 20	0.58	4.969E-04	1.102E-04
$^{155}\text{Nd} \rightarrow ^{155}\text{Pm}$	8.9 s 2	303.2 3	1.2 4	2.295E-04	6.587E-05
$^{162}\text{Gd} \rightarrow ^{162}\text{Tb}$	8.4 m 2	302.30 15	1.6 3	3.481E-06	9.227E-07

Bu seçimler doğrultusunda 902 s' lik (^{107}Ru çekirdeğinin 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{107}Rh , yarı ömrünün 1/3' ü büyüklüğünde, 434 s aralıklarla alınan 10 spektrumda takip edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda yarı ömür 20.75 dakika olarak belirlenmiştir (Şekil 5.9). Bu analizlerde TET enerjisi 302.70 keV olarak alınmıştır. Bu bulgular izlenmekte olan γ -ışını TET' nin ^{107}Rh ' ait olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.9 $^{107}\text{Rh} \rightarrow ^{104}\text{Pd}$ $t_{1/2}=21.7$ m 4 β - bozunumu

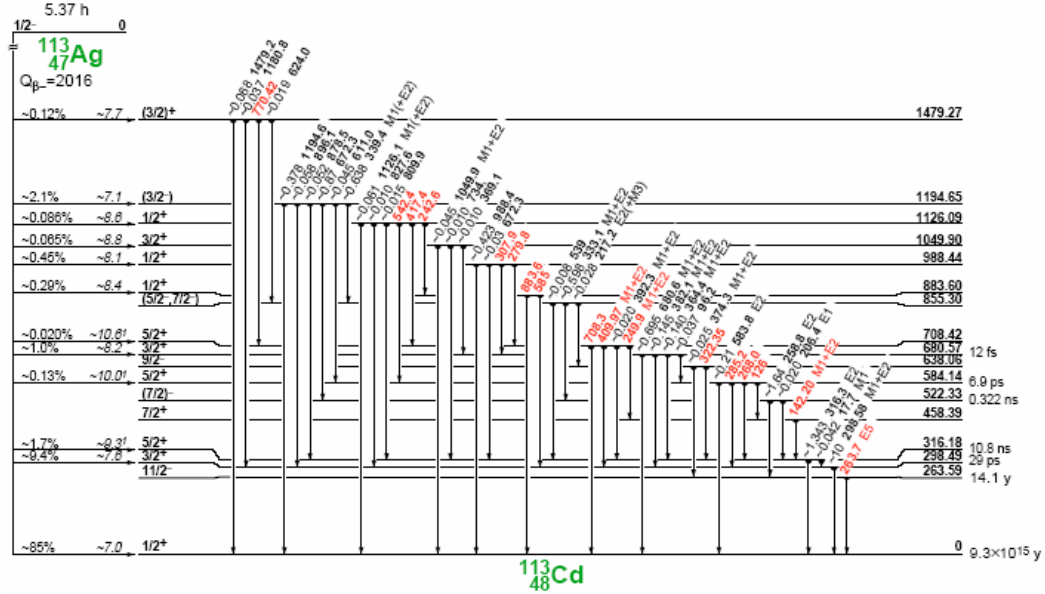
Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 902 s bekleme süresine ve 2600 s sayım süresine sahip ikinci bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü zamanı %3.556 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi %4.303 dür. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{107}Rh için toplam ürün bolluğu %9.94 ve bölüm 2.12.4' de belirtilen yöntemle belirsizlik %0.643 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.10 ^{107}Rh literatür bilgileri

	Bu Tez	Tongyu (1988)	JENDL 3.3	ENDF B-VI	JEF 2.2	JEFF 3.1
Toplam Ürün (%)	0.993	0.97	1.015	1.068	1.05	1.178
Belirsizlik (%)	0.064	0.27	0	0.168	0.179	0.188

^{113}Ag

^{113}Ag çekirdeğinin ürün bolluğunun belirlenmesinde 5.37 saatlik yarı ömür ile ^{113}Cd çekirdeğine döküldüğü β^- bozunumundan gelen 298.6 keV enerjili ve %10 bolluklu γ -ışını izlenmiştir.



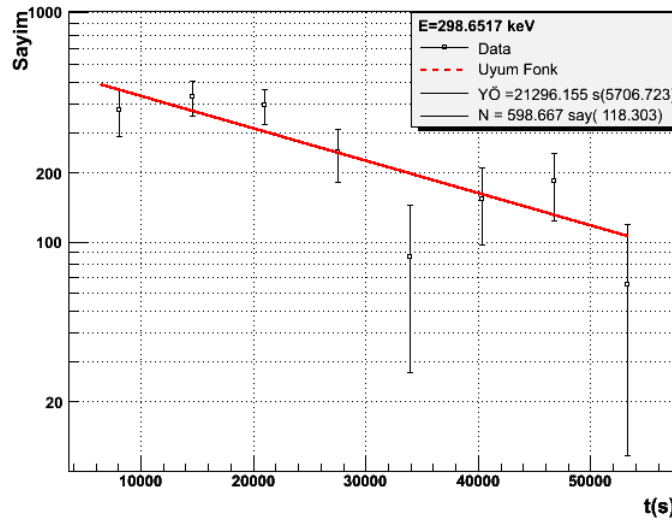
Şekil 5.10 $^{113}\text{Ag} \rightarrow ^{113}\text{Cd}$ $t_{1/2}=5.37$ h 5 β^- bozunumundan gelen γ geçişleri

γ -Işını enerjileri 298.6 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.11’ de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı ^{129}Sn çekirdeği olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.11 298.6 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_γ (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{113}\text{Ag} \xrightarrow{\beta^-} ^{113}\text{Cd}$	68.7 s 50	298.3 1	10.1	1.131E-02	1.103E-03
$^{113}\text{Ag} \xrightarrow{\beta^-} ^{113}\text{Cd}$	5.37 h 5	298.6 1	10	1.131E-02	1.103E-03
$^{104}\text{Tc} \xrightarrow{\beta^-} ^{104}\text{Ru}$	18.3 m 3	298.6 2	0.11 3	1.004E-02	1.549E-04
$^{129}\text{Sn} \xrightarrow{\beta^-} ^{129}\text{Sb}$	6.9 m 1	298.4 1	4.2 5	3.668E-03	4.003E-04
$^{117}\text{Ag} \xrightarrow{\beta^-} ^{117}\text{Cd}$	72.8 s +20-	298.1 1	0.46 12	2.753E-03	7.629E-04
$^{117}\text{Ag} \xrightarrow{\beta^-} ^{117}\text{Cd}$	5.34 s 5	298.1 1	22.4 13	2.753E-03	7.629E-04
$^{121}\text{Cd} \xrightarrow{\beta^-} ^{121}\text{In}$	13.5 s 3	299.06 15	1.00 14	2.495E-03	1.268E-04

Bu seçimler doğrultusunda 1657 s' lik (^{129}Sn çekirdeğinin 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{113}Ag , yarı ömrünün 1/3' ü büyüklüğünde, 6444 s aralıklarla alınan 8 spektrumda takip edilmiştir. ^{232}Th bozunma serisinden gelen ^{208}Pb ' in 300.087 keV enerjili %3.3 bolluklu γ -ışınının değişken Compton kuyruğu yarı ömür izlemesini engellemiştir. Kuadratik formda kabul edilen arka-plan (background) düzeltilmesi yapıldıktan sonra oluşan TET alanları Denklem 2.34b ile hesaplanmıştır. Darbe üretici yöntemi ile ölü zaman düzeltilmesi yapılan alanlara radyoaktif bozunma kanununa göre eğri uyumu (Şekil 5.11) yapılmıştır. Bu uyum sonucunda yarı ömür 5.92 saat olarak belirlenmiştir. Bu analizlerde TET enerjisi 298.65 keV olarak alınmıştır.



Şekil 5.11 $^{113}\text{Ag} \rightarrow ^{113}\text{Cd}$ $t_{1/2}=5.37$ h 5 β^- bozunumu

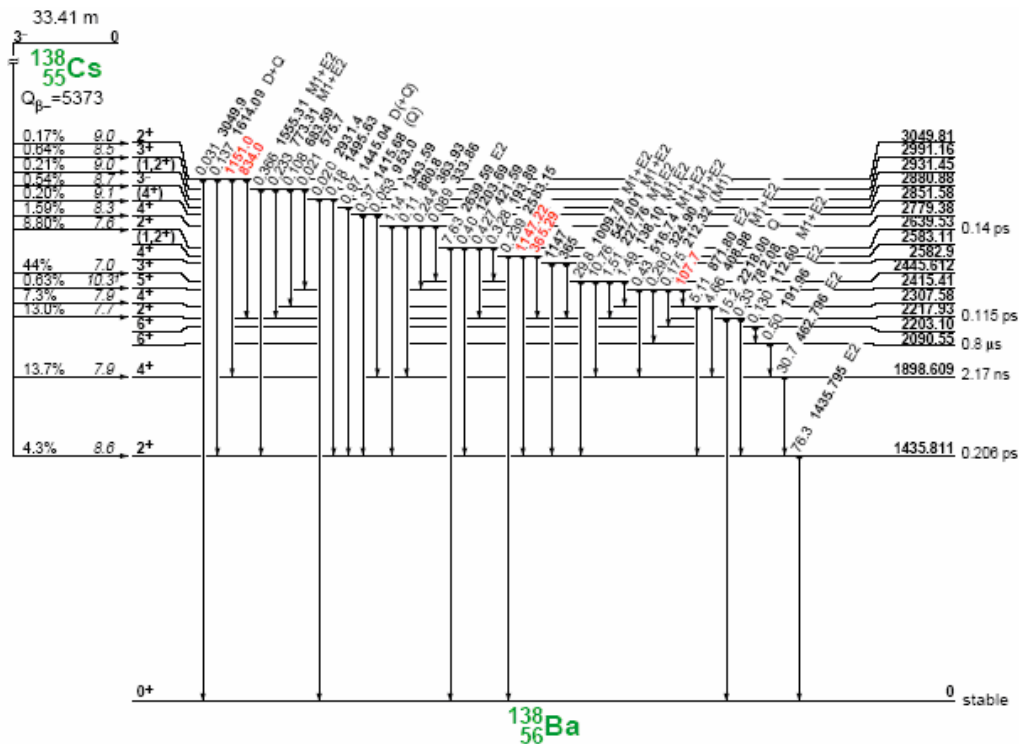
Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 1657 s bekleme süresine ve 38670 s sayım süresine sahip ikinci bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü zamanı %2.657 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi %4.37 dir. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{113}Ag için toplam ürün bolluğu %1.28 ve bölüm 2.12.4' de belirtilen yöntemle belirsizlik %2.18 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.12 ^{113}Ag literatür bilgileri

	Bu Tez	Broom (1964)	Ford (1965)	Ganapathy (1966)	Gevaert (1970)	Rao (1972)
Toplam Ürün (%)	1.28	1.1	1.28	1.2	1.26	1.09
Belirsizlik (%)	0.218	0.08	0.04	0.1	0.08	0.05
	Wenxin (1987)	Tongyu (1988)	JENDL 3.3	ENDF B-VI	JEF 2.2	JEFF 3.1
Toplam Ürün (%)	1.38	1.53	1.22	0.786	1.131	1.277
Belirsizlik (%)	0.12	0.07	0	0.045	0.11	0.051

 ^{138}Cs

^{138}Cs çekirdeğinin ürün bolluğunun belirlenmesinde 33.41 dakikalık yarı ömür ile ^{138}Ba çekirdeğine döküldüğü β - bozunumundan gelen 1435.86 keV enerjili ve %76.3 bolluklu γ -ışını izlenmiştir.



Şekil 5.12 $^{138}\text{Cs} \rightarrow ^{138}\text{Ba}$ $t_{1/2}=33.41$ m 18 β^- bozunumundan gelen γ geçişleri

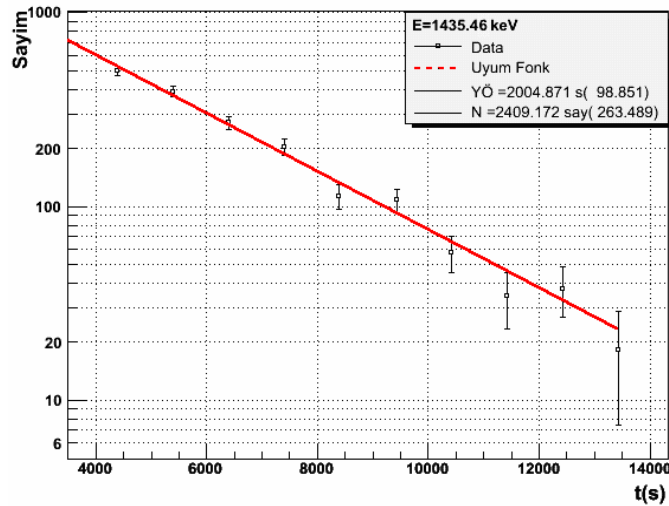
γ -Işını enerjileri 1435.86 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.13' de verilmiştir. Yapılan

değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı β - zincirindeki ^{138}Xe çekirdeği olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.13 1435.86 $\pm$ 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_γ (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{138}\text{Cs} \xrightarrow{\beta^-} ^{138}\text{Ba}$	33.41 m ₁₈	1435.86 ₉	76.3 ₁₅	5.411E-02	7.296E-03
$^{138\text{m}}\text{Cs} \xrightarrow{\beta^-} ^{138}\text{Ba}$	2.91 m ₈	1436.0 ₂	19	5.411E-02	7.296E-03
$^{146}\text{Pr} \xrightarrow{\beta^-} ^{146}\text{Nd}$	24.15 m ₁₈	1436.0 ₄	0.159 ₁₁	2.766E-02	5.812E-03
$^{132}\text{Sb} \xrightarrow{\beta^-} ^{132}\text{Te}$	2.79 m ₇	1436.3 ₄	2.0 ₄	1.889E-02	1.420E-03
$^{129}\text{Sb} \xrightarrow{\beta^-} ^{129}\text{Te}$	4.40 h ₁	1436.1 ₁₂	0.30 ₁₃	1.633E-02	2.271E-03
$^{83}\text{Se} \xrightarrow{\beta^-} ^{83}\text{Br}$	22.3 m ₃	1436 ₁	0.90 ₆	1.304E-02	3.267E-03
$^{104}\text{Tc} \xrightarrow{\beta^-} ^{104}\text{Ru}$	18.3 m ₃	1436.3 ₃	0.36 ₉	1.004E-02	1.549E-04

Bununla beraber ^{138}Xe , %81 oranında IT geçişi yapan $^{138\text{m}}\text{Cs}$ izomerini de beslemektedir. Bu nedenle 4077 s' lik (^{138}Xe ve $^{138\text{m}}\text{Cs}$ çekirdeklerinin yarı ömürleri toplamının 4 katı) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{138}Cs , yarı ömrünün 1/3' ü büyüklüğünde, 1002 s aralıklarla alınan 10 spektrumda takip edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda yarı ömür 33.41 dakika olarak belirlenmiştir (Şekil 5.13). Bu analizlerde TET enerjisi 1435.46 keV olarak alınmıştır. Bu bulgular izlenmekte olan γ -ışını TET' nin ^{138}Cs ' ait olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.13 $^{138}\text{Cs} \rightarrow ^{138}\text{Ba}$ $t_{1/2}=33.41$ m 18 β - bozunumu

Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 4077 s bekleme süresine ve 4010 s sayım

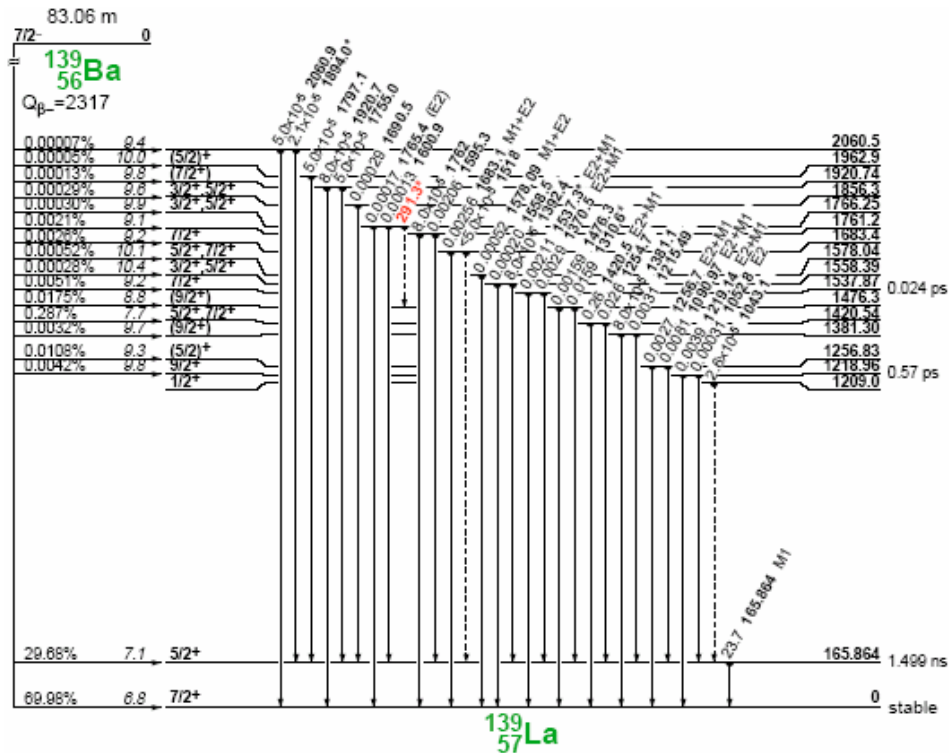
süresine sahip ikinci bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü zamanı %3.009 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi %0.8842 dir. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{138}Cs için toplam ürün bolluğu %5.44 ve bölüm 2.12.4' de belirtilen yöntemle belirsizlik %3.12 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.14 ^{138}Cs literatür bilgileri

	Bu Tez	Sun Tongyu (1988)	JENDL 3.3	ENDF B-VI	JEF 2.2	JEFF 3.1
Toplam Ürün (%)	5.44	5.47	5.156	6.091	5.411	5.719
Belirsizlik (%)	0.312	0.58	0	0.95	0.73	0.343

^{139}Ba

^{139}Ba çekirdeğinin ürün bolluğunun belirlenmesinde 83.06 dakikalık yarı ömür ile ^{139}La çekirdeğine döküldüğü β - bozunumundan gelen 165.8575 keV enerjili ve %23.7 bolluklu γ -ışını izlenmiştir.



Şekil 5.14 $^{139}\text{Ba} \rightarrow ^{139}\text{La}$ $t_{1/2}=83.06$ m 28 β - bozunumundan gelen γ geçişleri

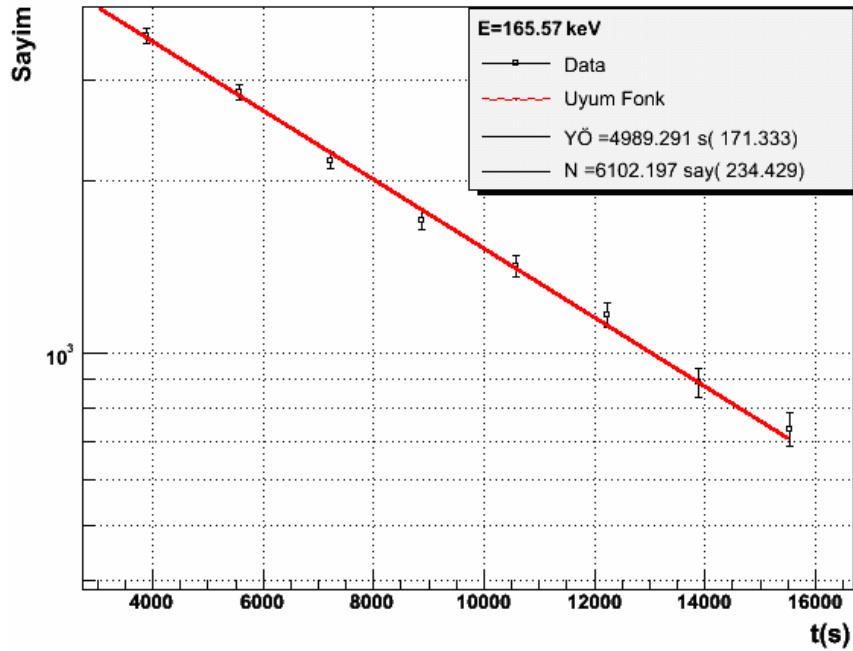
γ -Işını enerjileri 165.8575 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel

diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.15’ de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı β - zincirindeki ^{139}Cs çekirdeği olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.15 165.8575 $\pm$ 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_γ (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{139}\text{Ba} \xrightarrow{\beta^-} ^{139}\text{La}$	83.06m₂₈	165.8575₁₁	23.7₂₄	5.606E-02	4.779E-03
$^{88}\text{Kr} \xrightarrow{\beta^-} ^{88}\text{Rb}$	2.84 h ₃	165.98 ₄	3.104 ₁₄	4.817E-02	3.805E-03
$^{144}\text{Ba} \xrightarrow{\beta^-} ^{144}\text{La}$	11.5 s ₂	165.90 ₇	0.28 ₅	3.214E-02	6.258E-03
$^{110}\text{Ru} \xrightarrow{\beta^-} ^{110}\text{Rh}$	11.6 s ₆	166.1 ₂	0.65 ₂₀	1.013E-02	1.455E-03
$^{154}\text{Pm} \xrightarrow{\beta^-} ^{154}\text{Sm}$	1.73 m ₁₀	166.06 ₃	0.62	4.969E-04	1.102E-04
$^{156}\text{Sm} \xrightarrow{\beta^-} ^{156}\text{Eu}$	9.4 h ₂	165.8 ₅	12.7 ₂₀	2.444E-04	6.240E-05

Bu seçimler doğrultusunda 2227 s’ lik (^{139}Cs çekirdeğinin 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{139}Ba , yarı ömrünün 1/3’ ü büyüklüğünde, 1661 s aralıklarla alınan 8 spektrumda takip edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda yarı ömür 83.15 dakika olarak belirlenmiştir (Şekil 5.15). Bu analizlerde TET enerjisi 165.57 keV olarak alınmıştır. Bu bulgular izlenmekte olan γ -ışını TET’ nin ^{139}Ba ’ ait olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.15 $^{139}\text{Ba} \rightarrow ^{139}\text{La}$ $t_{1/2}=83.06$ m 28 β - bozunumu

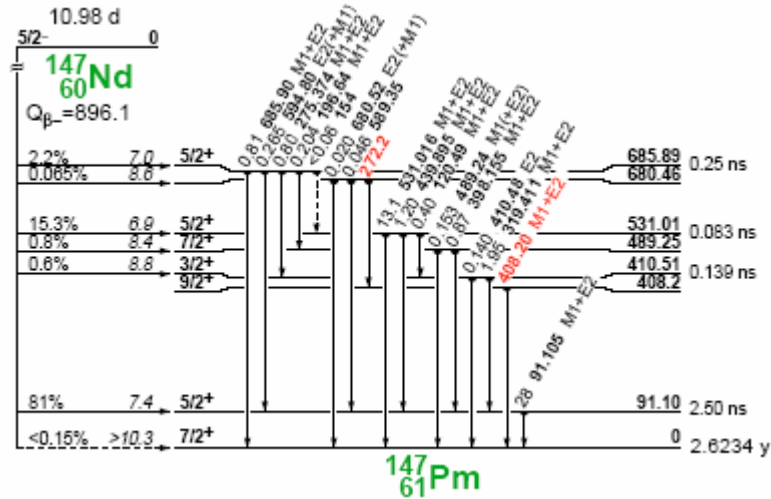
Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 2227 s bekleme süresine ve 9950 s sayım süresine sahip ikinci bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü zamanı %2.942 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi %7.3001 dir. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{139}Ba için toplam ürün bolluğu %6.03 ve bölüm 2.12.4’ de belirtilen yöntemle belirsizlik %2.37 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.16 ^{139}Ba literatür bilgileri

	Bu Tez	Tongyu (1988)	JENDL 3.3	ENDF B-VI	JEF 2.2	JEFF 3.1
Toplam Ürün (%)	6.03	6.13	5.488	5.644	5.606	5.797
Belirsizlik (%)	0.237	0.52	0	0.418	0.478	0.232

^{147}Nd

^{147}Nd çekirdeğinin ürün bolluğunun belirlenmesinde 10.98 günlük yarı ömür ile ^{147}Pm çekirdeğine döküldüğü β^- bozunumundan gelen 91.105 keV enerjili ve %27.9 bolluklu γ -ışını izlenmiştir.



Şekil 5.16 $^{147}\text{Nd} \rightarrow ^{147}\text{Pm}$ $t_{1/2}=10.98$ d 1 β^- bozunumundan gelen γ geçişleri

γ -ışını enerjileri 91.105 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.17’ de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı ^{108}Ru çekirdeği olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.17 91.105±0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_{γ} (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{147}\text{Nd} \xrightarrow{\beta^-} ^{147}\text{Pm}$	10.98 d ₁	91.105 ₂	27.9	1.830E-02	1.439E-03
$^{148}\text{Ce} \xrightarrow{\beta^-} ^{148}\text{Pr}$	56 s ₁	90.89 ₃	2.12 ₁₂	1.345E-02	1.645E-03
$^{116}\text{Pd} \xrightarrow{\beta^-} ^{116}\text{Ag}$	11.8 s ₄	91.0 ₂	7.8 ₅	1.088E-02	1.616E-03
$^{104}\text{Mo} \xrightarrow{\beta^-} ^{104}\text{Tc}$	60 s ₂	91.0 ₂	4.9 ₅	1.004E-02	1.549E-04
$^{108}\text{Ru} \xrightarrow{\beta^-} ^{108}\text{Rh}$	4.55 m ₅	91.33 ₇	2.38 ₆	9.990E-03	1.940E-03
$^{128}\text{Sn} \xrightarrow{\text{IT}} ^{128}\text{Sn}$	6.5 s ₅	91.15 ₁₀	3.60 ₁₀	9.660E-03	1.922E-03
$^{153}\text{Pm} \xrightarrow{\beta^-} ^{153}\text{Sm}$	5.25 m ₂	91.455 ₅	1.94 ₁₁	8.609E-04	9.704E-05
$^{153}\text{Pm} \xrightarrow{\beta^-} ^{153}\text{Sm}$	5.25 m ₂	90.870 ₅	3.28 ₁₆	8.609E-04	9.704E-05
$^{67}\text{Cu} \xrightarrow{\beta^-} ^{67}\text{Zn}$	61.83h ₁₂	91.266 ₅	7.00 ₁₀	1.795E-06	7.462E-07

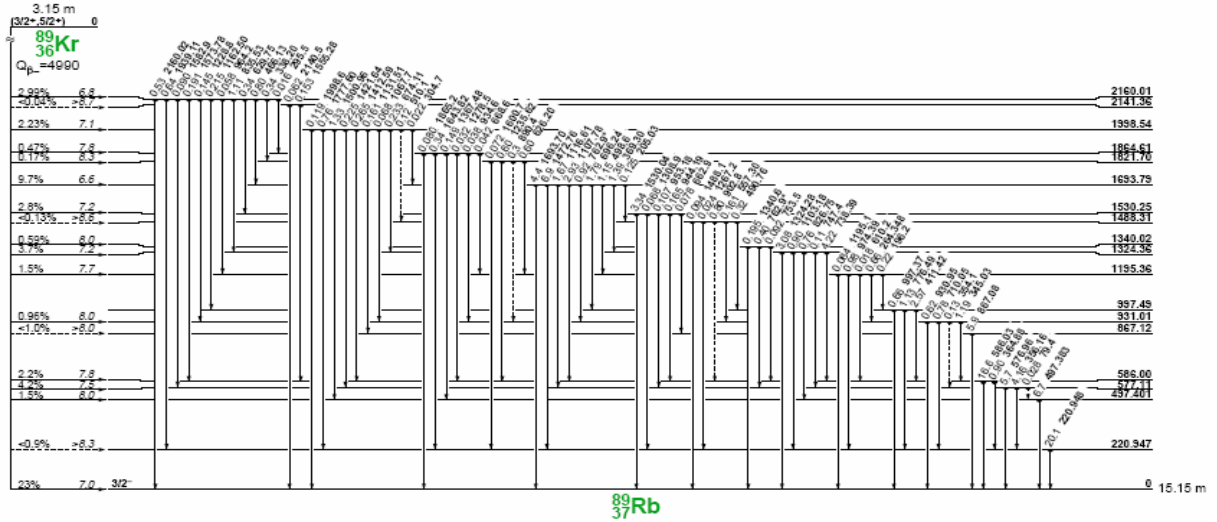
Bu seçimler doğrultusunda 1097 s' lik (^{108}Ru çekirdeğinin 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir. Bunu yanı sıra ilgilenilen γ çizgisi bölgesinde ^{228}Ac ' e ait %0.158 bolluklu 145.849 keV enerjili γ -ışını bulunmaktadır. Detektör verim ölçümleri için alınan 16 saatlik ışınlanmamış ^{232}Th spektrumu kullanılarak bu γ çizgisinin sürekli etkisi kaldırılabilir. Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 57630 s sayım süresine sahip bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü zamanı %2.783 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi %9.3806 dır. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{147}Nd için toplam ürün bolluğu %0.176 ve bölüm 2.12.4' de belirtilen yöntemle belirsizlik %0.657 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.18 ^{147}Nd literatür bilgileri

	Bu Tez	Thien (1968)	Nethaway (1969)	Tongyu (1988)	JENDL 3.3	ENDF B-VI	JEF 2.2	JEFF 3.1
Toplam Ürün (%)	1.76	1.7	1.81	1.64	1.775	1.788	1.83	1.865
Belirsizlik (%)	0.066	0.12	0.13	0.16	0	0.111	0.144	0.112

5.1.1 Yeni Bulgular

^{89}Kr çekirdeğinin ürün bolluğunun belirlenmesinde 3.15 dakikalık yarı ömür ile ^{89}Rb çekirdeğine döküldüğü β - bozunumundan gelen 220.948 keV enerjili ve %20.1 bolluklu γ -ışını izlenmiştir.



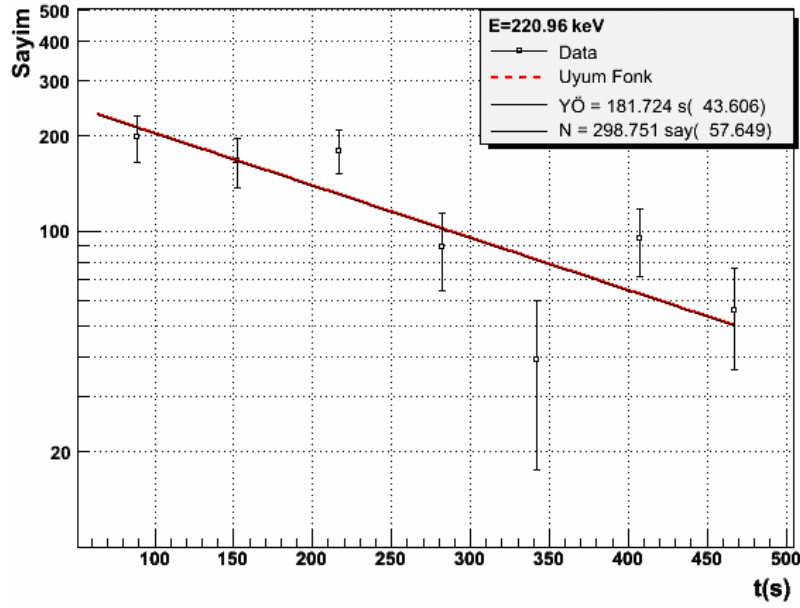
Şekil 5.17 $^{89}\text{Kr} \rightarrow ^{89}\text{Rb}$ $t_{1/2}=3.15$ m 4 β - bozunumu

γ -Işını enerjileri 220.948 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.19’ da verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı ^{89}Rb çekirdeği olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.19 220.948 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_γ (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{135}\text{I} \xrightarrow{\beta^-} ^{135}\text{Xe}$	6.57 h ₂	220.502 ₁₅	1.75 ₃	5.901E-02	6.024E-03
$^{89}\text{Kr} \xrightarrow{\beta^-} ^{89}\text{Rb}$	3.15 m ₄	220.948 ₉	20.1 ₁₂	5.681E-02	5.928E-03
$^{133}\text{Te} \xrightarrow{\beta^-} ^{133}\text{I}$	55.4 m ₄	221.1 ₁	0.24 ₅	2.342E-02	2.016E-03
$^{107}\text{Ru} \xrightarrow{\beta^-} ^{107}\text{Rh}$	3.75 m ₅	220.49 ₅	0.53 ₅	1.050E-02	1.786E-03
$^{149}\text{Pr} \xrightarrow{\beta^-} ^{149}\text{Nd}$	2.26 m ₇	220.76 ₁₆	0.40 ₆	1.001E-02	9.285E-04
$^{109}\text{Ru} \xrightarrow{\beta^-} ^{109}\text{Rh}$	34.5 s ₅	220.64 ₅	2.4 ₃	7.634E-03	1.737E-04
$^{109}\text{Ru} \xrightarrow{\beta^-} ^{109}\text{Rh}$	34.5 s ₅	220.6 ₃	0.59 ₁₅	7.634E-03	1.737E-04
$^{117}\text{Cd} \xrightarrow{\beta^-} ^{117}\text{In}$	3.36 h ₅	220.92 ₃	0.24 ₁₆	4.231E-03	9.968E-04
$^{117}\text{Cd} \xrightarrow{\beta^-} ^{117}\text{In}$	2.49 h ₄	220.92 ₃	1.17 ₈	4.231E-03	9.968E-04

Bu seçimler doğrultusunda 26 s' lik (^{89}Rb çekirdeğinin ($t_{1/2} = 4.40$ s) 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{89}Kr , yarı ömrünün 1/3' ü büyüklüğünde, 63 s aralıklarla alınan 7 spektrumda takip edilmiştir. Kuadratik formda kabul edilen arka-plan (background) düzeltilmesi yapıldıktan sonra oluşan TET alanları Denklem 2.34b ile hesaplanmıştır. Darbe üretici yöntemi ile ölü zaman düzeltilmesi yapılan alanlara radyoaktif bozunma kanununa göre eğri uyumu (Şekil 5.18) yapılmıştır. Bu uyum sonucunda yarı ömür 3.03 dakika olarak belirlenmiştir. Bu analizlerde TET enerjisi 220.96 keV olarak alınmıştır. Bu bulgular izlenmekte olan γ -ışını TET' nin ^{89}Kr ' ait olduğunu göstermektedir.



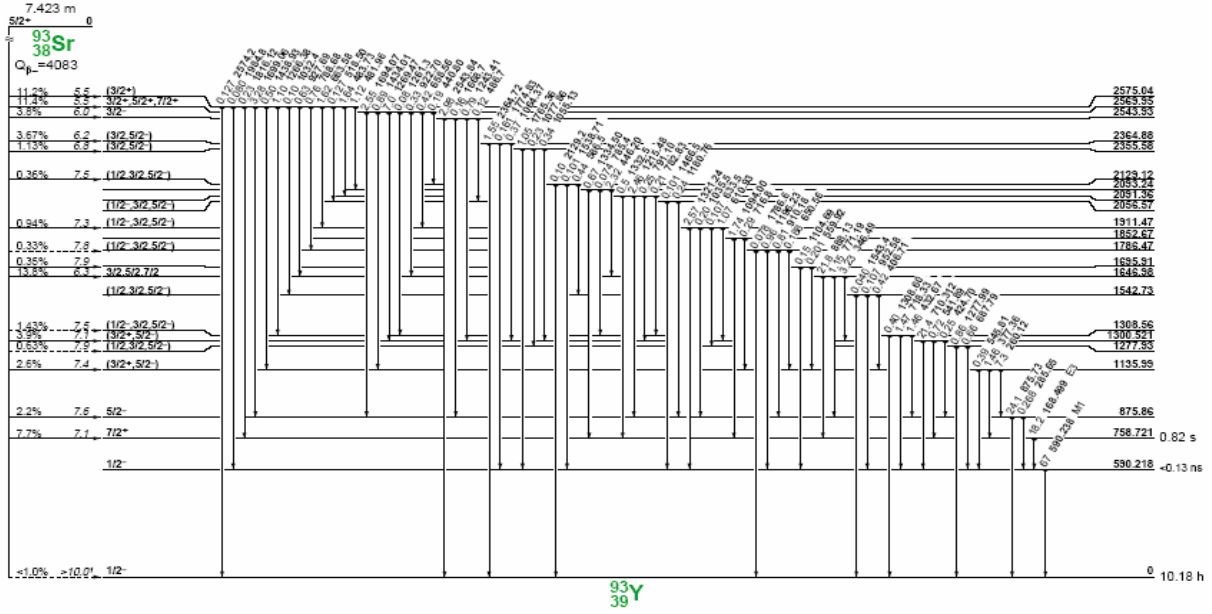
Şekil 5.18 $^{89}\text{Kr} \rightarrow ^{89}\text{Rb}$ $t_{1/2}=3.15$ m 4 β - bozunumu

Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 26 s bekleme süresine ve 366 s sayım süresine sahip ikinci bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü zamanı %8.569 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi %5.9082 dir. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{89}Kr için toplam ürün bolluğu ve bölüm 2.12.4' de belirtilen yöntemle bulunan değerdeki belirsizlik hesaplanmış ve bulunan sonuç ve literatür değerleri Çizelge 5.20' de verilmiştir.

Çizelge 5.20 ^{89}Kr literatür bilgileri

	Bu Tez	JENDL 3.3	ENDF B-VI	JEF 2.2	JEFF 3.1
Toplam Ürün (%)	4.69	5.473	5.872	5.681	5.808
Belirsizlik (%)	0.46	0	0.717	0.593	0.348

^{93}Sr çekirdeğinin ürün bolluğunun belirlenmesinde 7.423 dakikalık yarı ömür ile ^{93}Y çekirdeğine döküldüğü β - bozunumundan gelen 168.499 keV enerjili ve %18.4 bolluklu γ -ışını izlenmiştir.



Şekil 5.19 $^{93}\text{Sr} \rightarrow ^{93}\text{Y}$ $t_{1/2}=7.423$ m 24 β - bozunumu

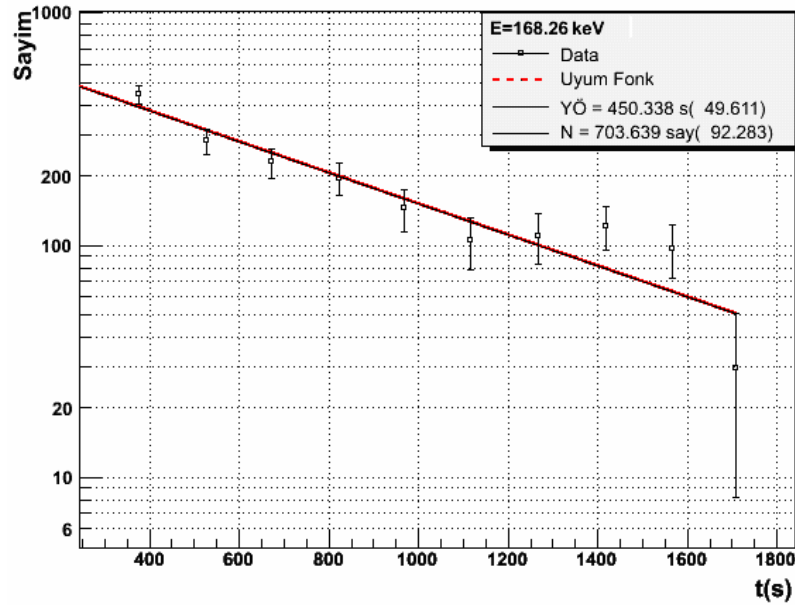
γ -Işını enerjileri 168.499 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.21’ de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı ^{148}Ce çekirdeği olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.21 168.499 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_γ (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{93}\text{Sr} \xrightarrow{\beta^-} ^{93}\text{Y}$	7.423m ₂₄	168.499 ₄	18.4 ₁₀	5.432E-02	4.358E-03
$^{148}\text{Ce} \xrightarrow{\beta^-} ^{148}\text{Pr}$	56 s ₁	168.52 ₄	0.34 ₅	1.345E-02	1.645E-03
$^{117}\text{Cd} \xrightarrow{\beta^-} ^{117}\text{In}$	3.36 h ₅	168.63 ₅	0.29 ₅	4.231E-03	9.968E-04
$^{151}\text{Pm} \xrightarrow{\beta^-} ^{151}\text{Sm}$	28.40 h ₄	168.39 ₅	0.92 ₉	3.329E-03	7.922E-04

Bu seçimler doğrultusunda 227 s’ lik (^{148}Ce çekirdeğinin 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{93}Sr , yarı ömrünün 1/3’ ü büyüklüğünde, 148 s aralıklarla alınan 8 spektrumda takip edilmiştir. Kuadratik formda kabul edilen arka-plan (background) düzeltilmesi yapıldıktan sonra oluşan TET alanları Denklem 2.34b ile hesaplanmıştır. Darbe üretici

yöntemi ile ölü zaman düzeltmesi yapılan alanlara radyoaktif bozunma kanununa göre eğri uyumu (Şekil 5.20) yapılmıştır. Bu uyum sonucunda yarı ömür 7.50 dakika olarak belirlenmiştir. Bu analizlerde TET enerjisi 168.26 keV olarak alınmıştır. Bu bulgular izlenmekte olan γ -ışını TET' nin ^{93}Sr ' ait olduğunu göstermektedir.



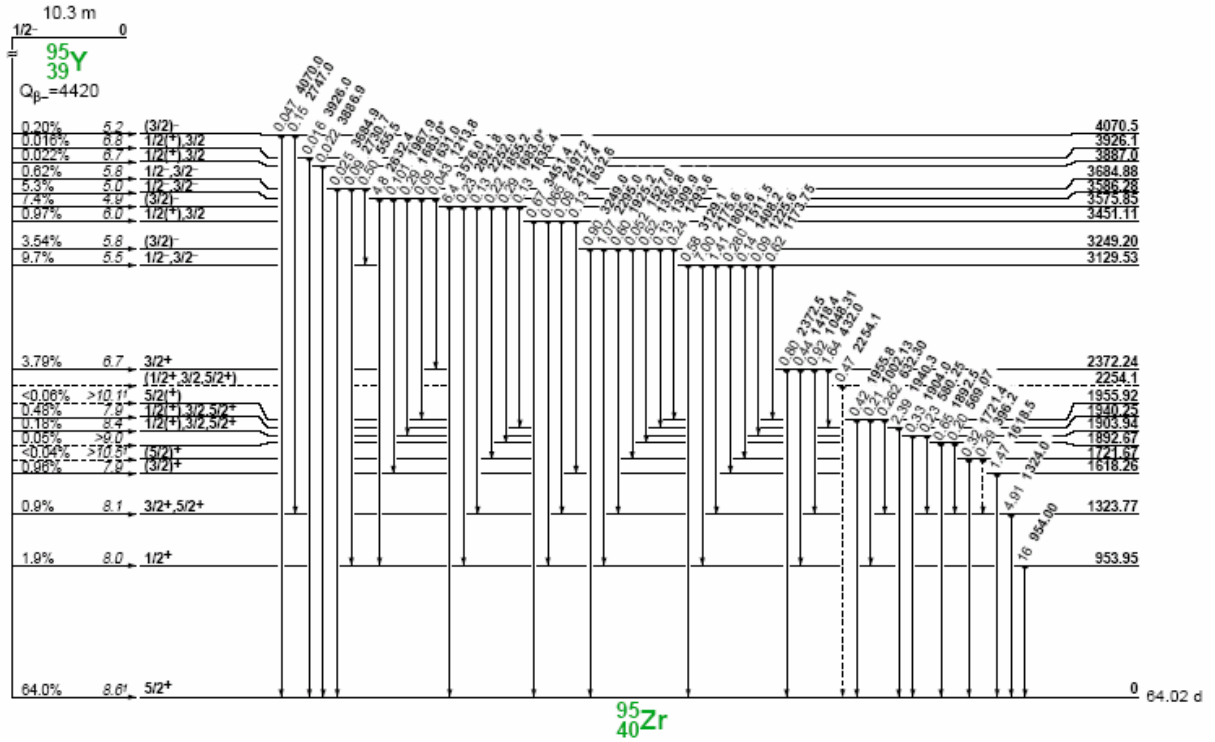
Şekil 5.20 $^{93}\text{Sr} \rightarrow ^{93}\text{Y}$ $t_{1/2}=7.423$ m 24 β^- bozunumu

Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 227 s bekleme süresine ve 890 s sayım süresine sahip ikinci bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü zamanı %6.467 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi %7.2308 dir. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{93}Sr için toplam ürün bolluğu ve bölüm 2.12.4' de belirtilen yöntemle bulunan değerdeki belirsizlik hesaplanmış ve bulunan sonuç ve literatür değerleri Çizelge 5.22' de verilmiştir.

Çizelge 5.22 ^{93}Sr literatür bilgileri

	Bu Tez	JENDL 3.3	ENDF B-VI	JEF 2.2	JEFF 3.1
Toplam Ürün (%)	4.06	5.451	5.742	5.432	5.567
Belirsizlik (%)	0.339	0	0.227	0.436	0.334

^{95}Y çekirdeğinin ürün bolluğunun belirlenmesinde 10.3 dakikalık yarı ömür ile ^{95}Zr çekirdeğine döküldüğü β^- bozunumundan gelen 954 keV enerjili ve %15.8 bolluklu γ -ışını izlenmiştir.



Şekil 5.21 $^{95}\text{Y} \rightarrow ^{95}\text{Zr}$ $t_{1/2}=10.3$ m 1 β^- bozunumu

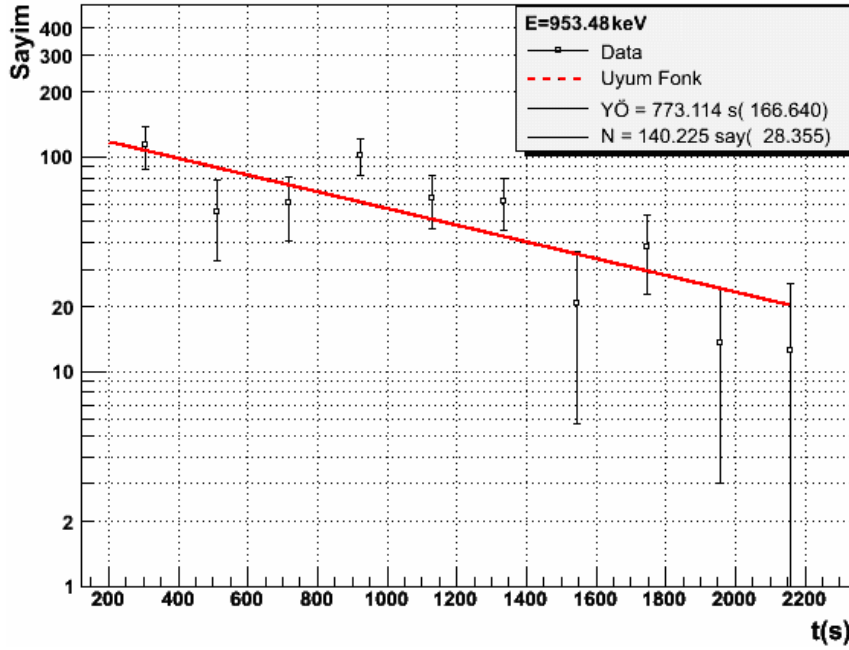
γ -Işını enerjileri 954 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.23’ de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı β^- zincirindeki ^{95}Sr çekirdeği olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.23 954 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_γ (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{95}\text{Y} \xrightarrow{\beta^-} ^{95}\text{Zr}$	10.3 m 1	954.00 ₂₀	15.8	4.855E-02	4.286E-03
$^{126}\text{Sb} \xrightarrow{\beta^-} ^{126}\text{Te}$	12.35 d 6	953.7 ₄	1.20 ₁₀	1.229E-03	3.393E-04
$^{154}\text{Pm} \xrightarrow{\beta^-} ^{154}\text{Sm}$	1.73 m 10	953.97 ₈	1.24	4.969E-04	1.102E-04

Bu seçimler doğrultusunda 97 s’ lik (^{95}Sr çekirdeğinin ($t_{1/2}= 23.90$ s) 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{95}Y , yarı ömrünün 1/3’ ü büyüklüğünde, 206 s aralıklarla alınan 10 spektrumda takip edilmiştir. Kuadratik formda kabul edilen arka-plan (background) düzeltilmesi yapıldıktan sonra oluşan TET alanları Denklem 2.34b ile hesaplanmıştır. Darbe üretici yöntemi ile ölü zaman düzeltilmesi yapılan alanlara radyoaktif bozunma kanununa göre eğri uyumu (Şekil 5.22) yapılmıştır. Bu uyum sonucunda yarı ömür 12.88 dakika olarak

belirlenmiştir. Bu analizlerde TET enerjisi 953.48 keV olarak alınmıştır. Bu bulgular izlenmekte olan γ -ışını TET' nin ^{95}Y ' ait olduğunu göstermektedir.



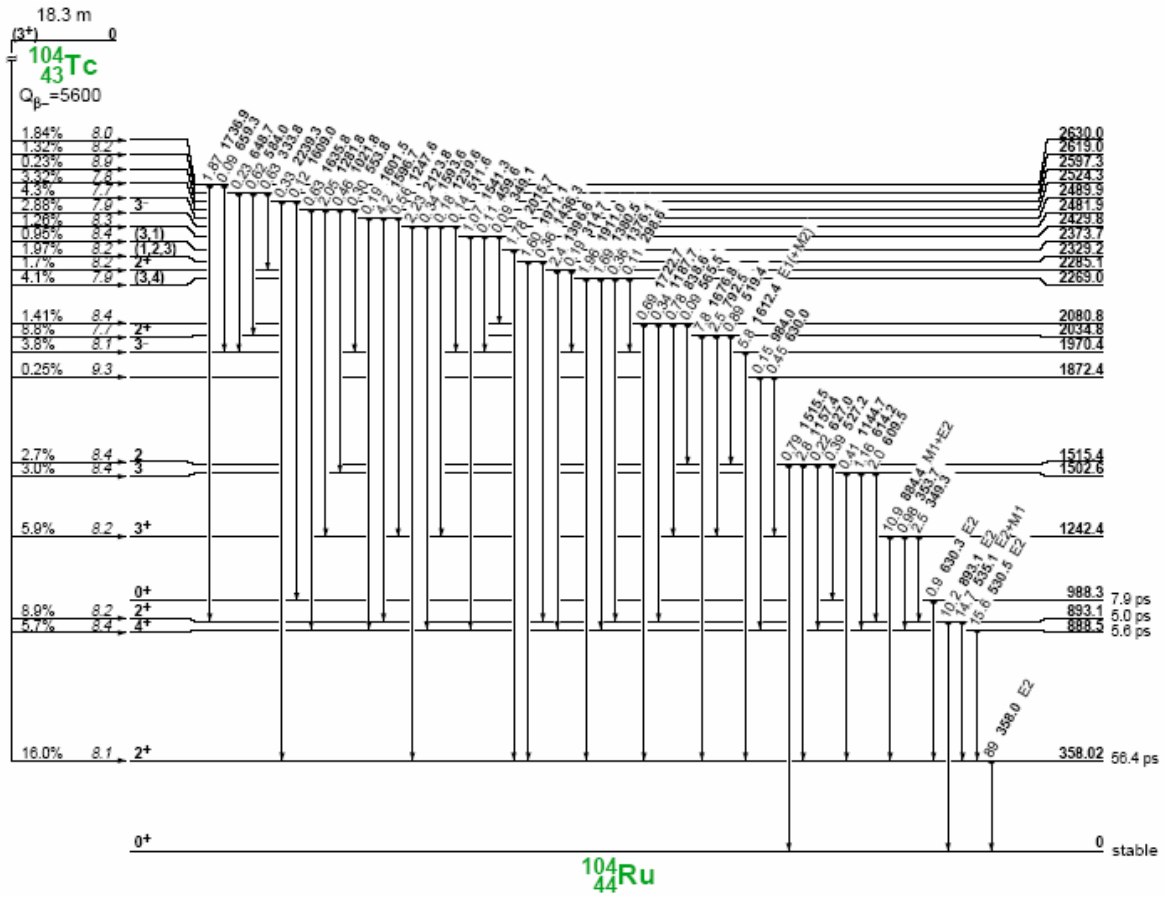
Şekil 5.22 $^{95}\text{Y} \rightarrow ^{95}\text{Zr}$ $t_{1/2}=10.3$ m 1 β - bozunumu

Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 97 s bekleme süresine ve 1240 s sayım süresine sahip ikinci bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü zamanı %6.135 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi %1.2622 dir. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{95}Y için toplam ürün bolluğu ve bölüm 2.12.4' de belirtilen yöntemle bulunan değerdeki belirsizlik hesaplanmış ve bulunan sonuç ve literatür değerleri Çizelge 5.24' da verilmiştir.

Çizelge 5.24 ^{95}Y literatür bilgileri

	Bu Tez	JENDL 3.3	ENDF B-VI	JEF 2.2	JEFF 3.1
Toplam Ürün (%)	4.79	4.555	4.821	4.855	4.745
Belirsizlik (%)	0.496	0	0.487	0.429	0.759

^{104}Tc çekirdeğinin ürün bolluğunun belirlenmesinde 18.3 dakikalık yarı ömür ile ^{104}Ru çekirdeğine döküldüğü β - bozunumundan gelen 358.0 keV enerjili ve %89 bolluklu γ -ışını izlenmiştir.



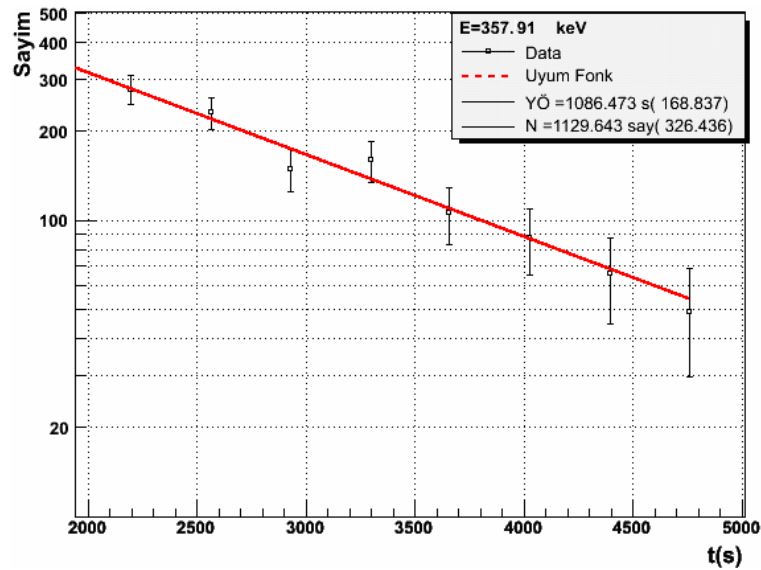
Şekil 5.23 $^{104}\text{Tc} \rightarrow ^{104}\text{Ru}$ $t_{1/2} = 18.3$ m 3 β^- bozunumu

γ -Işını enerjileri 358 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.25' de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı ^{105}Tc çekirdeği olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.25 358.0±0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_γ (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{135}\text{Xe} \xrightarrow{\beta^-} ^{135}\text{Cs}$	9.14 h ₂	358.39 ₃	0.221 ₈	5.993E-02	6.090E-03
$^{140}\text{Xe} \xrightarrow{\beta^-} ^{140}\text{Cs}$	13.60 s ₁₀	358.4 ₂	0.112 ₂₀	3.221E-02	5.292E-03
$^{147}\text{Ce} \xrightarrow{\beta^-} ^{147}\text{Pr}$	56.4 s ₁₀	358.1	1.663	1.814E-02	1.427E-03
$^{111}\text{Pd} \xrightarrow{\beta^-} ^{111}\text{Ag}$	5.5 h ₁	357.9 ₁	0.119 ₂₁	1.203E-02	7.906E-04
$^{114}\text{Pd} \xrightarrow{\beta^-} ^{114}\text{Ag}$	2.42 m ₆	358.5 ₃	1.63 ₂₀	1.165E-02	2.796E-03
$^{107}\text{Rh} \xrightarrow{\beta^-} ^{107}\text{Pd}$	21.7 m ₄	357.84 ₂₀	0.41 ₃	1.050E-02	1.786E-03
$^{107}\text{Ru} \xrightarrow{\beta^-} ^{107}\text{Rh}$	3.75 m ₅	358.5 ₅	0.11 ₅	1.050E-02	1.786E-03
$^{105}\text{Tc} \xrightarrow{\beta^-} ^{105}\text{Ru}$	7.6 m ₁	358.4 ₅	0.58 ₂₄	1.018E-02	5.918E-04
$^{105}\text{Tc} \xrightarrow{\beta^-} ^{105}\text{Ru}$	7.6 m ₁	358.3 ₁	2.5 ₅	1.018E-02	5.918E-04
$^{104}\text{Tc} \xrightarrow{\beta^-} ^{104}\text{Ru}$	18.3 m ₃	358.0 ₁	89	1.004E-02	1.549E-04

Bu seçimler doğrultusunda 1827 s' lik (^{105}Tc çekirdeğinin 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{104}Tc , yarı ömrünün 1/3' ü büyüklüğünde, 366 s aralıklarla alınan 8 spektrumda takip edilmiştir. Kuadratik formda kabul edilen arka-plan (background) düzeltilmesi yapıldıktan sonra oluşan TET alanları Denklem 2.34b ile hesaplanmıştır. Darbe üretici yöntemi ile ölü zaman düzeltilmesi yapılan alanlara radyoaktif bozunma kanununa göre eğri uyumu (Şekil 5.24) yapılmıştır. Bu uyum sonucunda yarı ömür 18.11 dakika olarak belirlenmiştir. Bu analizlerde TET enerjisi 357.91 keV olarak alınmıştır. Bu bulgular izlenmekte olan γ -ışını TET' nin ^{104}Tc ' ait olduğunu göstermektedir.

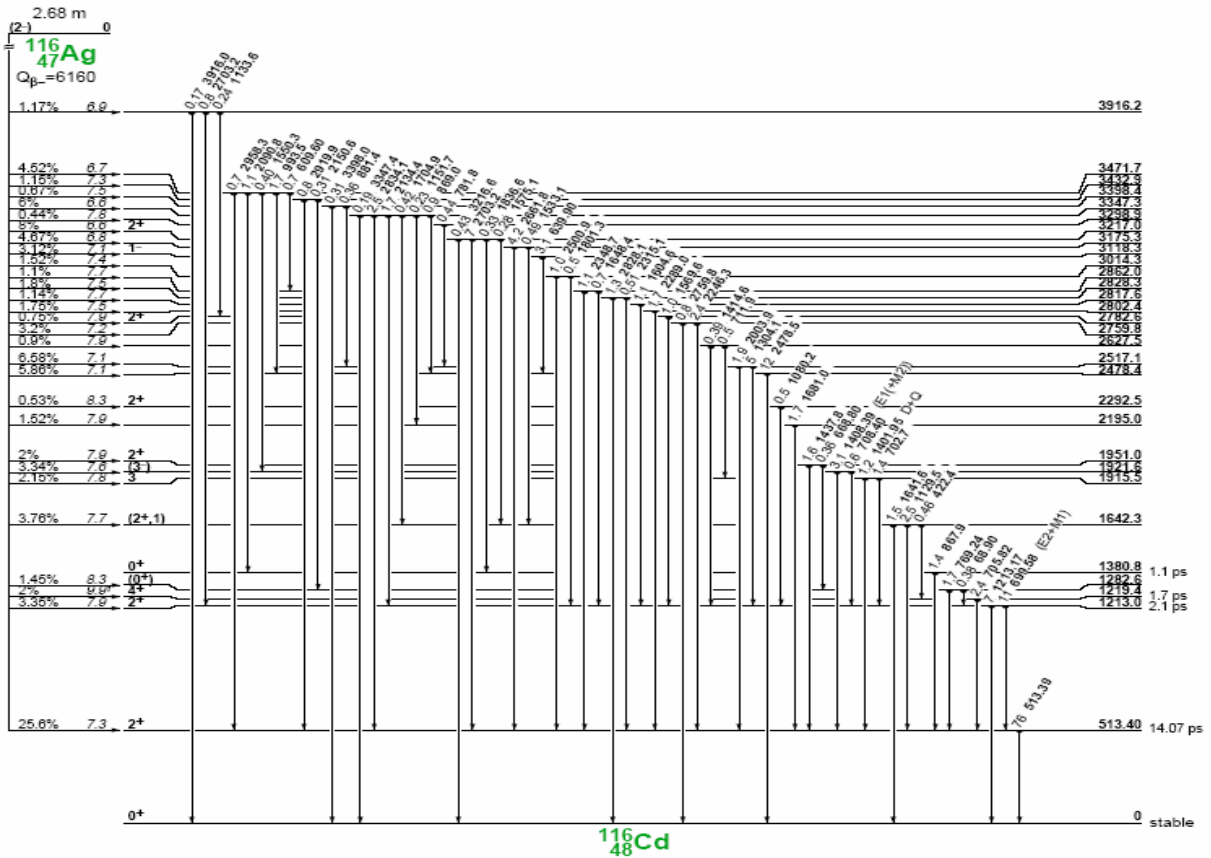
Şekil 5.24 $^{104}\text{Tc} \rightarrow ^{104}\text{Ru}$ $t_{1/2}=18.3$ m 3 β^- bozunumu

Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 1827 s bekleme süresine ve 2190 s sayım süresine sahip ikinci bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü zamanı %3.338 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi %3.542 dir. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{104}Tc için toplam ürün bolluğu ve bölüm 2.12.4’ de belirtilen yöntemle bulunan değerdeki belirsizlik hesaplanmış ve bulunan sonuç ve literatür değerleri Çizelge 5.26’ da verilmiştir.

Çizelge 5.26 ^{104}Tc literatür bilgileri

	Bu Tez	JENDL 3.3	ENDF B-VI	JEF 2.2	JEFF 3.1
Toplam Ürün (%)	0.813	0.994	0.951	1.004	0.962
Belirsizlik (%)	0.0401	0	0.143	0.015	0.106

^{116}Ag çekirdeğinin ürün bolluğunun belirlenmesinde 2.66 dakikalık yarı ömür ile ^{116}Cd çekirdeğine döküldüğü β - bozunumundan gelen 513.4 keV enerjili ve %76 bolluklu γ -ışını izlenmiştir.



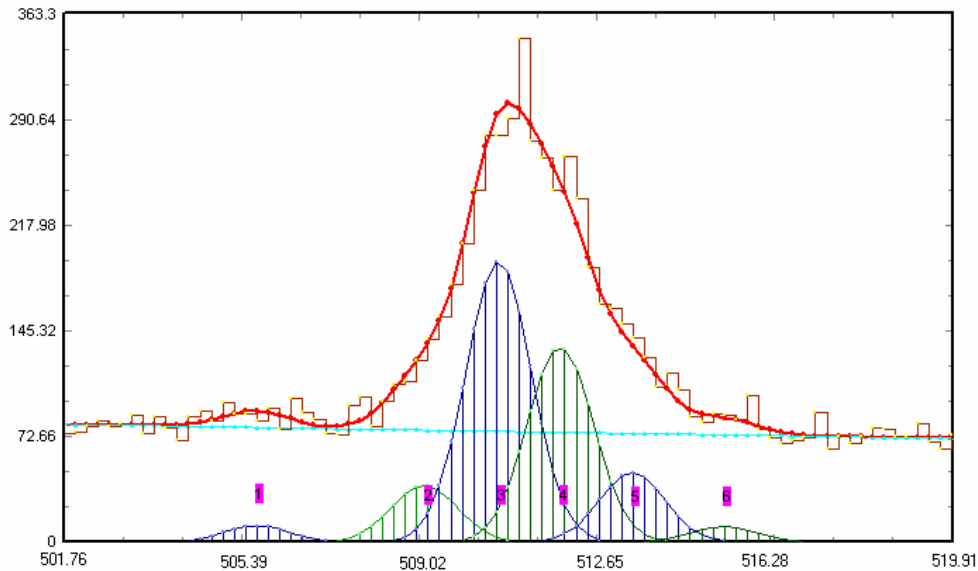
Şekil 5.25 $^{116}\text{Ag} \rightarrow ^{116}\text{Cd}$ $t_{1/2}=2.68$ m 10 β - bozunumu

γ -Işını enerjileri 513.4 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.27’ de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı β^- zincirindeki ^{116}Pd çekirdeği olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.27 513.4 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_γ (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{139}\text{Xe} \xrightarrow{\beta^-} ^{139}\text{Cs}$	39.68s 14	513.88 11	0.84 8	4.610E-02	5.440E-03
$^{97}\text{Zr} \xrightarrow{\beta^-} ^{97}\text{Nb}$	16.744h	513.41 18	0.55 5	3.046E-02	1.050E-03
$^{147}\text{Ce} \xrightarrow{\beta^-} ^{147}\text{Pr}$	56.4 s 10	513.8	0.281	1.814E-02	1.427E-03
$^{116}\text{Ag} \xrightarrow{\beta^-} ^{116}\text{Cd}$	8.6 s 3	513.40 15	88.4	1.088E-02	1.616E-03
$^{116}\text{Ag} \xrightarrow{\beta^-} ^{116}\text{Cd}$	2.68 m	513.40 15	76	1.088E-02	1.616E-03
$^{105}\text{Ru} \xrightarrow{\beta^-} ^{105}\text{Rh}$	4.44 h 2	513.73 10	0.20 5	1.018E-02	5.918E-04
$^{127}\text{Sn} \xrightarrow{\beta^-} ^{127}\text{Sb}$	2.10 h 4	513.9 4	0.27 8	6.789E-03	9.378E-04

Bu seçimler doğrultusunda 49 s’ lik (^{116}Pd çekirdeğinin 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{116}Ag , yarı ömrünün 1/3’ ü büyüklüğünde, 54 s aralıklarla alınan 12 spektrumda takip edilmiştir. Bu analizlerde TET enerjisi 513.38 keV olarak alınmıştır.



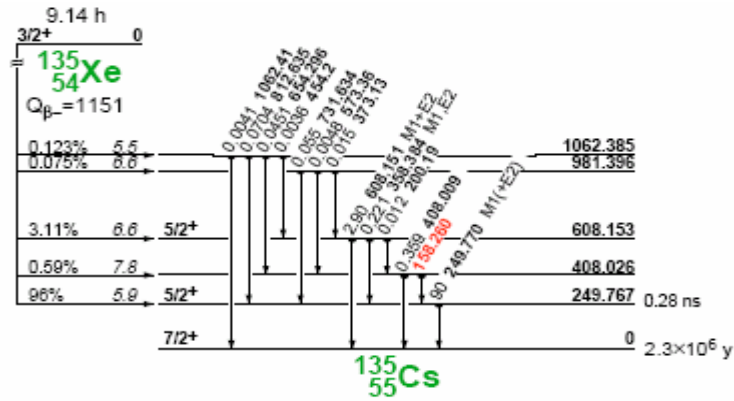
Şekil 5.26 ^{116}Ag spektrumu

Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 49 s bekleme süresine ve 323 s sayım süresine sahip ikinci bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü zamanı %8.251 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi %2.2912'dür. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{116}Ag için toplam ürün bolluğu ve bölüm 2.12.4' de belirtilen yöntemle bulunan değerdeki belirsizlik hesaplanmıştır ve bulunan sonuç ve literatür değerleri Çizelge 5.28' de verilmiştir.

Çizelge 5.28 ^{116}Ag literatür bilgileri

	Bu Tez	JENDL 3.3	ENDF B-VI	JEF 2.2	JEFF 3.1
Toplam Ürün (%)	1.77	1.34	1.027	1.088	0.636
Belirsizlik (%)	0.374	0	0.189	0.162	0.286

^{135}Xe çekirdeğinin ürün bolluğunun belirlenmesinde 9.14 saatlik yarı ömür ile ^{135}Cs çekirdeğine döküldüğü β - bozunumundan gelen 249.794 keV enerjili ve %90 bolluklu γ -ışını izlenmiştir.



Şekil 5.27 $^{135}\text{Xe} \rightarrow ^{135}\text{Cs}$ $t_{1/2}=9.14$ h 13 β - bozunumu

γ -Işını enerjileri 249.794 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.29' de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı ^{135}I çekirdeği olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.29 249.794±0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_y (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{135}\text{Xe} \xrightarrow{\beta^-} ^{135}\text{Cs}$	9.14 h ₂	249.794 ₁₅	90	5.993E-02	6.090E-03
$^{90}\text{Kr} \xrightarrow{\beta^-} ^{90}\text{Rb}$	32.32 s ₉	249.32 ₃	1.37 ₁₂	4.823E-02	6.601E-03
$^{144}\text{Ba} \xrightarrow{\beta^-} ^{144}\text{La}$	11.5 s ₂	249.52 ₁₁	0.289 ₁₂	3.214E-02	6.258E-03
$^{146}\text{Ce} \xrightarrow{\beta^-} ^{146}\text{Pr}$	13.52m ₁₃	250.89 ₆	2.53 ₁₁	2.763E-02	5.807E-03
$^{147}\text{Pr} \xrightarrow{\beta^-} ^{147}\text{Nd}$	13.4 m ₄	249.5 ₂	0.89 ₅	1.830E-02	1.439E-03
$^{147}\text{Ce} \xrightarrow{\beta^-} ^{147}\text{Pr}$	56.4 s ₁₀	250.1	0.521	1.814E-02	1.427E-03
$^{129}\text{Te} \xrightarrow{\beta^-} ^{129}\text{I}$	69.6 m ₂	250.62 ₅	0.383 ₁₂	1.585E-02	2.181E-03
$^{113}\text{Ag} \xrightarrow{\beta^-} ^{113}\text{Cd}$	68.7 s ₅₀	249.9 ₄	1.11	1.131E-02	1.103E-03
$^{105}\text{Mo} \xrightarrow{\beta^-} ^{105}\text{Tc}$	35.6 s ₁₆	249.7 ₁	9.3 ₈	1.016E-02	5.893E-04
$^{151}\text{Pr} \xrightarrow{\beta^-} ^{151}\text{Nd}$	18.90 s ₇	249.6 ₁	0.91 ₇	2.973E-03	7.169E-04
$^{152}\text{Nd} \xrightarrow{\beta^-} ^{152}\text{Pm}$	11.4 m ₂	250.15 ₅	18.3 ₉	1.715E-03	4.268E-04
$^{77}\text{As} \xrightarrow{\beta^-} ^{77}\text{Se}$	38.83 h ₅	249.805 ₈	0.394 ₁₆	1.238E-03	1.521E-04
$^{128}\text{Sb} \xrightarrow{\beta^-} ^{128}\text{Te}$	9.01 h ₃	249.7 ₂	0.60 ₁₀	6.439E-04	1.437E-04

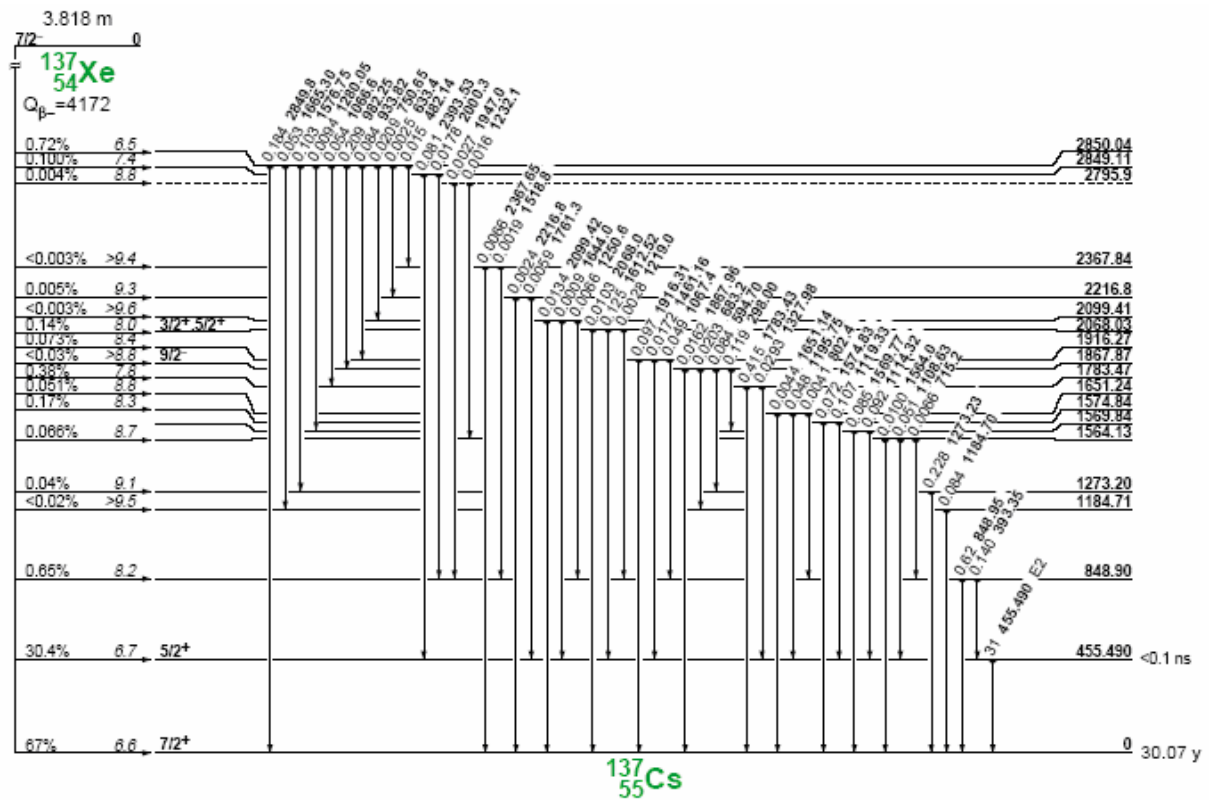
Bu seçimler doğrultusunda 47327 s' lik (^{135}I çekirdeğinin 2 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir. Hem ^{135}Xe ' in hem de ^{135}I ' in uzun yarı ömürleri deney süresi içinde yarı ömür tayinine olanak vermemektedir. Bu analizlerde TET enerjisi 249.79 keV olarak alınmıştır.

Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 47327 s bekleme süresine ve 31350 s sayım süresine sahip bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü zamanı %2.856 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi %5.2707 dir. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{135}Xe için toplam ürün bolluğu ve bölüm 2.12.4' de belirtilen yöntemle bulunan değerdeki belirsizlik hesaplanmış ve bulunan sonuç ve literatür değerleri Çizelge 5.30' da verilmiştir.

Çizelge 5.30 ^{135}Xe literatür bilgileri

	Bu Tez	JENDL 3.3	ENDF B-VI	JEF 2.2	JEFF 3.1
Toplam Ürün (%)	5.96	4.986	5.195	5.993	5.242
Belirsizlik (%)	0.233	0	0.358	0.609	0.21

^{137}Xe çekirdeğinin ürün bolluğunun belirlenmesinde 3.818 dakikalık yarı ömür ile ^{137}Cs çekirdeğine döküldüğü β - bozunumundan gelen 455.490 keV enerjili ve %31.2 bolluklu γ -ışını izlenmiştir.



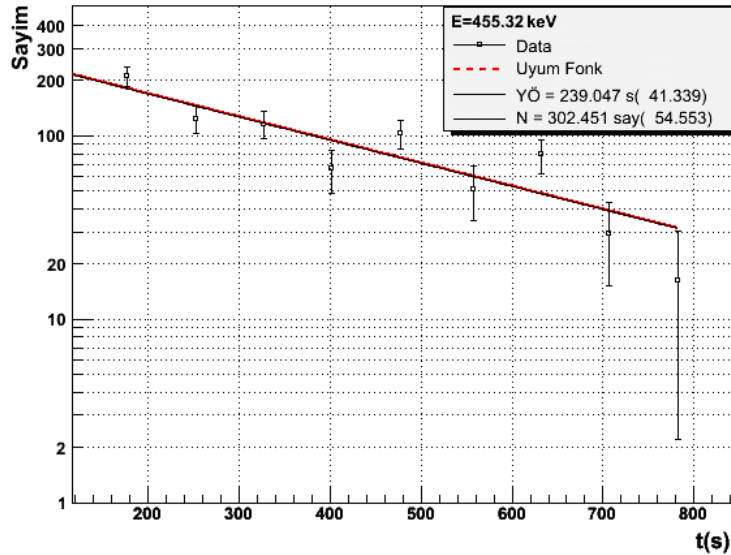
Şekil 5.28 $^{137}\text{Xe} \rightarrow ^{137}\text{Cs}$ $t_{1/2}=3.818$ m 13 β - bozunumu

γ -Işını enerjileri 455.490 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.31’ de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı β - zincirinde bulunan ^{137}I çekirdeği olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.31 455.490±0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_γ (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{137}\text{Xe} \xrightarrow{\beta^-} ^{137}\text{Cs}$	3.818 m ₁₃	455.490 ₃	31.2	5.653E-02	5.297E-03
$^{135}\text{Te} \xrightarrow{\beta^-} ^{135}\text{I}$	19.0 s ₂	455.6 ₃	0.114 ₁₁	3.646E-02	6.255E-03
$^{144}\text{Ba} \xrightarrow{\beta^-} ^{144}\text{La}$	11.5 s ₂	455.64 ₁₂	1.44 ₃	3.214E-02	6.258E-03
$^{98}\text{Nb} \xrightarrow{\beta^-} ^{98}\text{Mo}$	51.3 m ₄	455.04 ₁₀	0.82 ₃	2.476E-02	2.039E-03
$^{96}\text{Y} \xrightarrow{\beta^-} ^{96}\text{Zr}$	9.6 s ₂	455	0.352	2.193E-02	2.383E-04
$^{130}\text{Sb} \xrightarrow{\beta^-} ^{130}\text{Te}$	39.5 m ₈	455.4 ₂	4.8 ₅	1.378E-02	2.770E-03
$^{127}\text{Sb} \xrightarrow{\beta^-} ^{127}\text{Te}$	3.85 d ₅	456 ₁	0.11 ₇	1.097E-02	1.139E-03
$^{109}\text{Ru} \xrightarrow{\beta^-} ^{109}\text{Rh}$	34.5 s ₅	455.9 ₂	0.163 ₂₂	7.634E-03	1.737E-04

Bu seçimler doğrultusunda 97 s' lik (^{137}I çekirdeğinin ($t_{1/2} = 24.5$ s) 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{137}Xe , yarı ömrünün 1/3' ü büyüklüğünde, 76 s aralıklarla alınan 9 spektrumda takip edilmiştir. Kuadratik formda kabul edilen arka-plan (background) düzeltilmesi yapıldıktan sonra oluşan TET alanları Denklem 2.34b ile hesaplanmıştır. Darbe üretici yöntemi ile ölü zaman düzeltilmesi yapılan alanlara radyoaktif bozunma kanununa göre eğri uyumu (Şekil 5.29) yapılmıştır. Bu uyum sonucunda yarı ömür 3.98 dakika olarak belirlenmiştir. Bu analizlerde TET enerjisi 455.32 keV olarak alınmıştır. Bu bulgular izlenmekte olan γ -ışını TET' nin ^{137}Xe ' ait olduğunu göstermektedir.

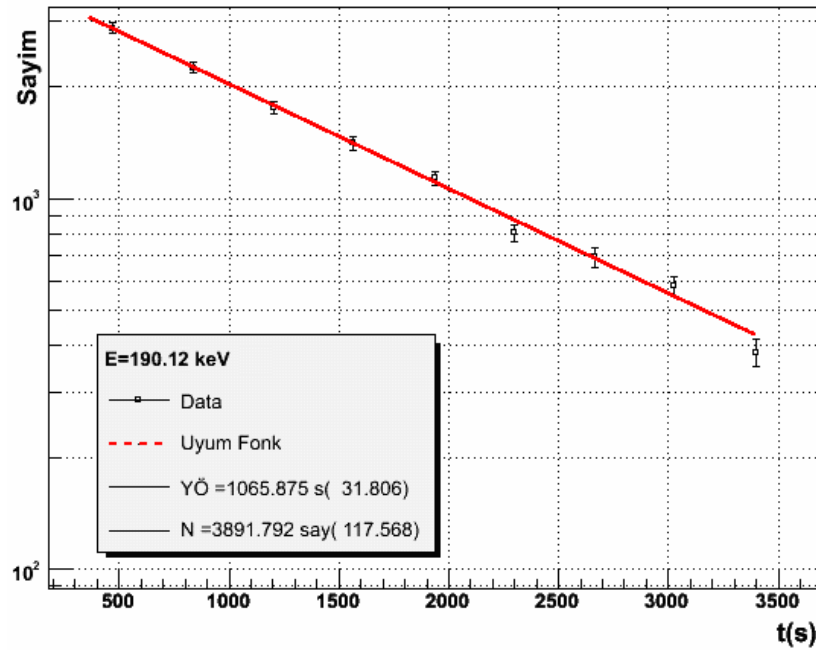
Şekil 5.29 $^{137}\text{Xe} \rightarrow ^{137}\text{Cs}$ $t_{1/2}=3.818$ m₁₃ β^- bozunumu

değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı β - zincirindeki ^{141}Cs çekirdeği olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.33 190.328 $\pm$ 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_γ (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{141}\text{Ba} \xrightarrow{\beta^-} ^{141}\text{La}$	18.27 m 7	190.328 5	46.0 14	5.560E-02	1.779E-03
$^{131}\text{Te} \xrightarrow{\beta^-} ^{131}\text{I}$	30 h 2	190.52 6	0.118 16	2.170E-02	1.162E-03
$^{83}\text{Se} \xrightarrow{\beta^-} ^{83}\text{Br}$	22.3 m 3	190 1	0.22 11	1.304E-02	3.267E-03
$^{127}\text{Sn} \xrightarrow{\beta^-} ^{127}\text{Sb}$	2.10 h 4	190.1 4	0.58 8	6.789E-03	9.378E-04
$^{157}\text{Sm} \xrightarrow{\beta^-} ^{157}\text{Eu}$	482 s 4	190.273 17	1.13 4	1.440E-04	3.744E-05

Bu seçimler doğrultusunda 105 s' lik (^{141}Cs çekirdeğinin 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{141}Ba , yarı ömrünün 1/3' ü büyüklüğünde, 365 s aralıklarla alınan 9 spektrumda takip edilmiştir. Kuadratik formda kabul edilen arka-plan (background) düzeltilmesi yapıldıktan sonra oluşan TET alanları Denklem 2.34b ile hesaplanmıştır. Darbe üretici yöntemi ile ölü zaman düzeltilmesi yapılan alanlara radyoaktif bozunma kanununa göre eğri uyumu (Şekil 5.31) yapılmıştır. Bu uyum sonucunda yarı ömür 18.27 dakika olarak belirlenmiştir. Bu analizlerde TET enerjisi 190.12 keV olarak alınmıştır. Bu bulgular izlenmekte olan γ -ışını TET' nin ^{141}Ba ' ait olduğunu göstermektedir.



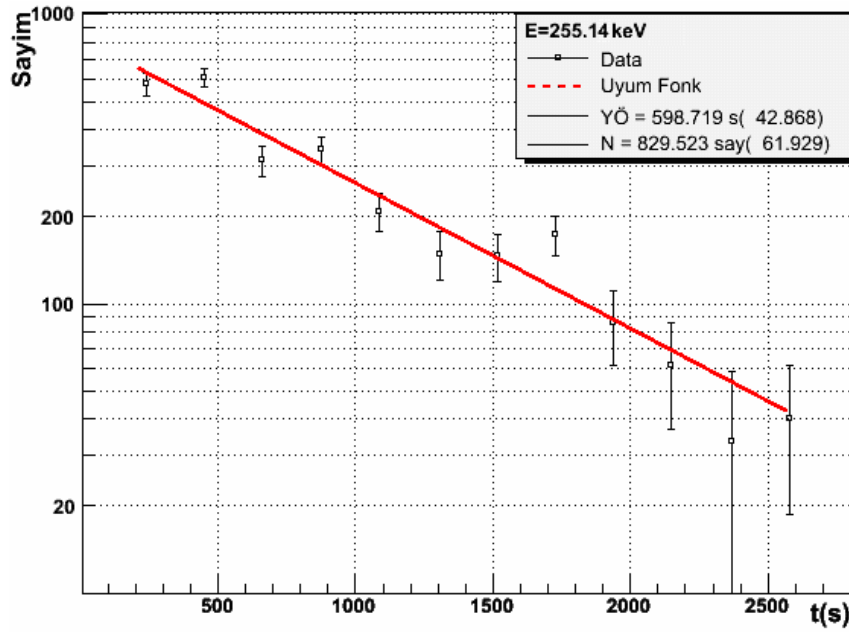
Şekil 5.31 $^{141}\text{Ba} \rightarrow ^{141}\text{La}$ $t_{1/2}=18.27$ m 7 β - bozunumu

γ -Işını enerjileri 255.300 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.35’ de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı ^{151}Nd çekirdeği olarak belirlenmiştir. Bununla beraber sayım süresi içinde ^{151}Nd ’ in 4 yarı ömrü süresince bir bekleme zamanı vermek mümkün değildir. Bu nedenle bekleme süresi ^{116}Ag ’ nın yarı ömrüne göre belirlenmiştir ve denklem 3.4’ de göre yapılan oransal analizde bu seçimin TET alanına etkisi %6.07 olarak bulunmuştur. Bu değer hesaplanan toplam ürün bolluğuna belirsizlik olarak dahil edilmiştir.

Çizelge 5.35 255.300 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_γ (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{142}\text{Ba} \xrightarrow{\beta^-} ^{142}\text{La}$	10.6 m ₂	255.300 ₁₂	20.5 ₅	4.958E-02	3.773E-03
$^{132}\text{I} \xrightarrow{\beta^-} ^{132}\text{Xe}$	2.295h ₁₃	255.1 ₂	0.237 ₂₀	3.090E-02	1.380E-03
$^{131}\text{Te} \xrightarrow{\beta^-} ^{131}\text{I}$	30 h ₂	255.44 ₇	0.316 ₁₄	2.170E-02	1.162E-03
$^{116}\text{Ag} \xrightarrow{\beta^-} ^{116}\text{Cd}$	8.6 s ₃	254.9 ₃	6.45	1.088E-02	1.616E-03
$^{127}\text{Sn} \xrightarrow{\beta^-} ^{127}\text{Sb}$	2.10 h ₄	255.3 ₄	0.12 ₄	6.789E-03	9.378E-04
$^{151}\text{Nd} \xrightarrow{\beta^-} ^{151}\text{Pm}$	12.44m ₇	255.68 ₁	14.8 ₃	3.325E-03	7.913E-04
$^{153}\text{Nd} \xrightarrow{\beta^-} ^{153}\text{Pm}$	31.6 s ₁₀	255.33 ₆	1.18 ₅	8.161E-04	9.373E-05

Bu seçimler doğrultusunda 26 s’ lik (^{116}Ag çekirdeğinin 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{142}Ba , yarı ömrünün 1/3’ ü büyüklüğünde, 212 s aralıklarla alınan 12 spektrumda takip edilmiştir. Kuadratik formda kabul edilen arka-plan (background) düzeltilmesi yapıldıktan sonra oluşan TET alanları Denklem 2.34b ile hesaplanmıştır. Darbe üretici yöntemi ile ölü zaman düzeltilmesi yapılan alanlara radyoaktif bozunma kanununa göre eğri uyumu (Şekil 5.33) yapılmıştır. Bu uyum sonucunda yarı ömür 9.99 dakika olarak belirlenmiştir. Bu analizlerde TET enerjisi 255.14 keV olarak alınmıştır. Bu bulgular izlenmekte olan γ -ışını TET’ nin ^{142}Ba ’ ait olduğunu göstermektedir.



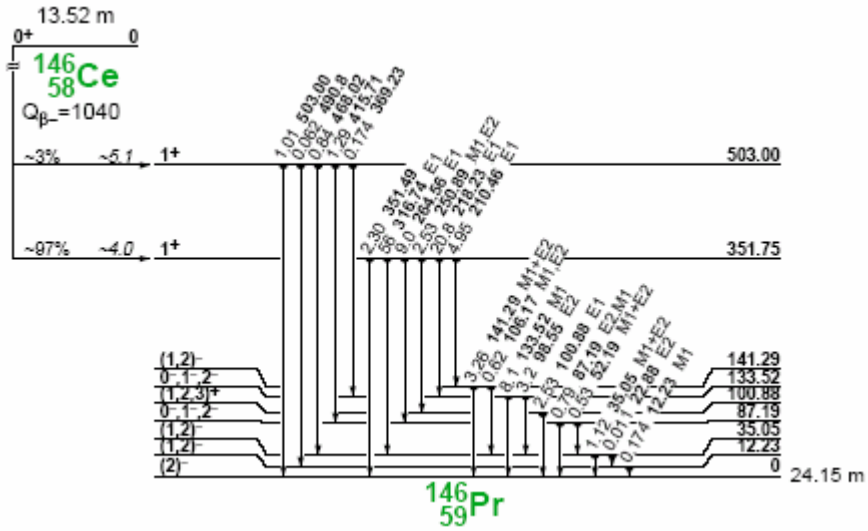
Şekil 5.33 $^{142}\text{Ba} \rightarrow ^{142}\text{La}$ $t_{1/2}=10.6$ m 8 β - bozunumu

Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 26 s bekleme süresine ve 1261 s sayım süresine sahip ikinci bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü zamanı %6.358 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi %5.158 dir. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{142}Ba için toplam ürün bolluğu ve bölüm 2.12.4’ de belirtilen yöntemle bulunan değerdeki belirsizlik hesaplanmış ve bulunan sonuç ve literatür değerleri Çizelge 5.36’ da verilmiştir.

Çizelge 5.36 ^{142}Ba literatür bilgileri

	Bu Tez	JENDL 3.3	ENDF B-VI	JEF 2.2	JEFF 3.1
Toplam Ürün (%)	3.68	4.978	5.082	4.958	5.357
Belirsizlik (%)	0.221	0	0.402	0.377	0.589

^{146}Ce çekirdeğinin ürün bolluğunun belirlenmesinde 13.52 dakikalık yarı ömür ile ^{146}Pr çekirdeğine döküldüğü β - bozunumundan gelen 316.74 keV enerjili ve %56 bolluklu γ -ışını izlenmiştir.



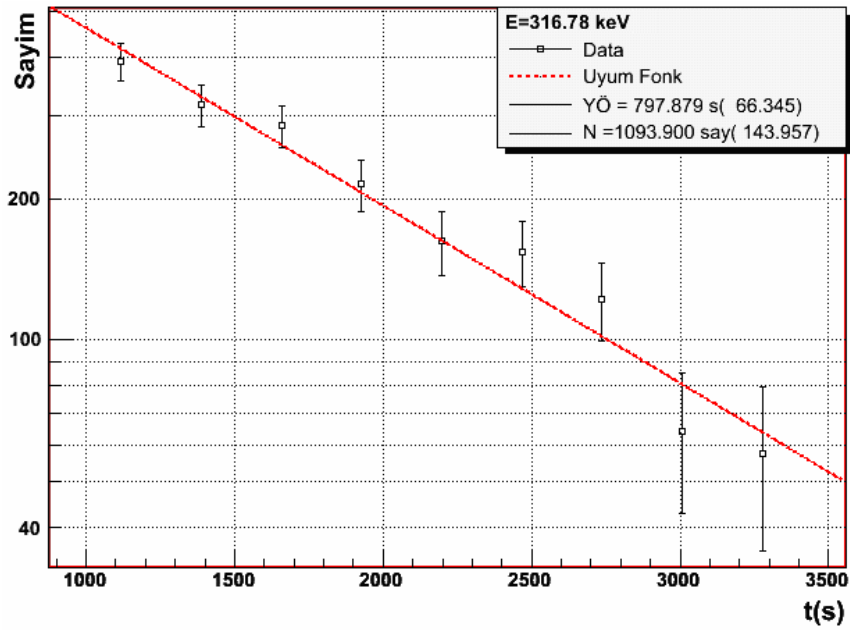
Şekil 5.34 $^{146}\text{Ce} \rightarrow ^{146}\text{Pr}$ $t_{1/2}=13.52$ m 13 β^- bozunumu

γ -Işını enerjileri 316.74 ± 0.5 keV aralığında olan ve fisyon ürünlerinde bulunması muhtemel diğer çekirdekler araştırılmış ve bulunan çekirdekler Çizelge 5.37’ de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre çekirdek tespitine ve tespit edilen çekirdeğin toplam ürün bolluğuna etki edecek γ -ışını kaynağı ^{105}Ru çekirdeği olarak belirlenmiştir. Bununla beraber ^{105}Ru ’ in 4 yarı ömrü süresince bir bekleme zamanı vermek mümkün değildir. Bu nedenle bekleme süresi $^{134\text{m}}\text{I}$ ’ ün yarı ömrüne göre belirlenmiştir ve denklem 3.4’ de göre yapılan oransal analizde bu seçimin TET alanına etkisi %10.32 olarak bulunmuştur. Bu değer hesaplanan toplam ürün bolluğuna belirsizlik olarak dahil edilmiştir.

Çizelge 5.37 316.74 ± 0.5 keV aralığındaki ve fisyon ürünleri

Reaksiyon	Yarı Ömür	E (keV)	f_γ (%)	Toplam Ürün	Toplam Ürün Belirsizliği
$^{132}\text{I} \xrightarrow{\beta^-} ^{132}\text{Xe}$	2.295h ₁₃	316.7 ₄	0.128 ₂₀	3.090E-02	1.380E-03
$^{146}\text{Ce} \xrightarrow{\beta^-} ^{146}\text{Pr}$	13.52m₁₃	316.74₃	56₃	2.763E-02	5.807E-03
$^{113}\text{Ag} \xrightarrow{\beta^-} ^{113}\text{Cd}$	5.37 h ₅	316.3 ₁	1.343 ₂₀	1.131E-02	1.103E-03
$^{105}\text{Ru} \xrightarrow{\beta^-} ^{105}\text{Rh}$	4.44 h ₂	316.44 ₁₅	11.1 ₄	1.018E-02	5.918E-04
$^{149}\text{Pr} \xrightarrow{\beta^-} ^{149}\text{Nd}$	2.26 m ₇	316.35 ₁₀	2.70 ₁₀	1.001E-02	9.285E-04
$^{134\text{m}}\text{I} \xrightarrow{\text{IT}} ^{134}\text{I}$	3.52 m ₄	316.3 ₁₀	0.24 ₂₄	9.242E-03	1.243E-03
$^{130}\text{Sn} \xrightarrow{\beta^-} ^{130}\text{Sb}$	3.72 m ₇	316.48 ₅	1.33 ₃	2.810E-03	5.634E-04
$^{163}\text{Tb} \xrightarrow{\beta^-} ^{163}\text{Dy}$	19.5 m ₃	316.4 ₂	8.3 ₈	1.097E-06	3.799E-07

Bu seçimler doğrultusunda 847 s' lik (^{134m}I çekirdeğinin 4 yarı ömrü) bekleme zamanı seçilmiştir ve ^{146}Ce , yarı ömrünün 1/3' ü büyüklüğünde, 270 s aralıklarla alınan 7 spektrumda takip edilmiştir. Kuadratik formda kabul edilen arka-plan (background) düzeltilmesi yapıldıktan sonra oluşan TET alanları Denklem 2.34b ile hesaplanmıştır. Darbe üretici yöntemi ile ölü zaman düzeltilmesi yapılan alanlara radyoaktif bozunma kanununa göre eğri uyumu (Şekil 5.35) yapılmıştır. Bu uyum sonucunda yarı ömür 13.30 dakika olarak belirlenmiştir. Bu analizlerde TET enerjisi 316.78 keV olarak alınmıştır. Bu bulgular izlenmekte olan γ -ışını TET' nin ^{146}Ce ' e ait olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.35 $^{146}\text{Ce} \rightarrow ^{146}\text{Pr}$ $t_{1/2}=13.52$ m 13 β^- bozunumu

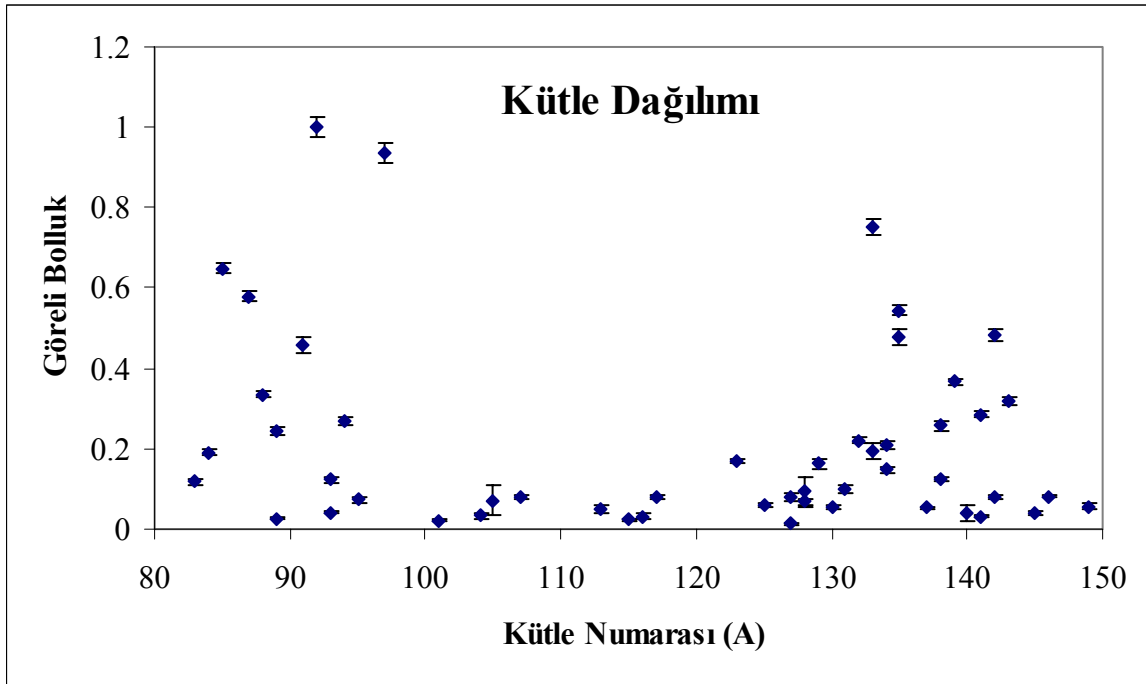
Toplam fisyon ürün bolluğunun belirlenmesi için 847 s bekleme süresine ve 1621 s sayım süresine sahip ikinci bir spektrum oluşturulmuştur. Darbe üretici yöntemi ile sistem ölü zamanı %3.846 olarak belirlenmiştir ve bu değere göre Denklem 2.34b ile hesaplanan TET alanları düzeltilmiştir. Bu enerjideki detektör verimi %4.0887 dir. Bu bilgiler ve 2.20 denklemi kullanılarak ^{146}Ce için toplam ürün bolluğu ve bölüm 2.12.4' de belirtilen yöntemle bulunan değerdeki belirsizlik hesaplanmış ve bulunan sonuç ve literatür değerleri Çizelge 5.38' da verilmiştir.

Çizelge 5.38 ^{146}Ce literatür bilgileri

	Bu Tez	JENDL 3.3	ENDF B-VI	JEF 2.2	JEFF 3.1
Toplam Ürün (%)	2.17	2.251	2.412	2.763	2.45
Belirsizlik (%)	0.221	0	0.593	0.581	0.564

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu tezde yarı ömürleri 2.68 dakika (^{116}Ag) ile 32.501 gün (^{141}Ce) arasında değişen 52 çekirdeğin hüviyeti tespit edilerek Toryum fisyonu sonucu ortaya çıkan ürün çekirdeklerin toplam ürün bollukları gamma spektroskopisi yöntemi ile belirlenmiştir. Bu çekirdeklere ait bollukların göreceli şiddetlerinin kütle numarasına göre dağılımı Şekil 6.1’ de verilmiştir. Asimetrik kütle dağılımının görüldüğü bu grafikte oluşan tepe/vadi oranı (1/0.2) literatürde bildirilen 5 oranı ile uyum içindedir. (Vandenbosch R., 1973) (Glendenin L.E. vd.,1980) Tespit edilen çekirdeklerin 14 tanesi hafif çekirdeklerin yer aldığı grupta (Çizelge 6.1), 10 tanesi vadi bölgesinde (Çizelge 6.2) ve 28 tanesi ağır çekirdeklerin yer aldığı grupta (Çizelge 6.3) tespit edilmiştir. Bu çizelgelerde yapılan son deneysel çalışmadaki (Tongyu S., 1988) bulgular JEF-2.2 veri tabanında bildirilen bolluklar ve yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenen yarı ömür ve toplam ürün bolluğu bilgileri listelenmiştir.



Şekil 6.1 Fisyon kütle dağılımı

Toryum’ un hızlı (14 MeV) nötronlarla fisyonu ile ilgili deneysel literatür çalışmaları değerlendirildiğinde γ spektroskopisi ölçümlerinin 1970 yılından başladığı ve GeLi detektörlerin ölçümlerde kullanıldığı görülmektedir. Kullanılan detektörlerin enerji çözünürlükleri bu tezde kullanılan detektör ile kıyaslanırsa Wenxin L.’ nin 1987 (1.33 MeV’ de 1.9 keV) ve Tongyu S.’ in 1988’ de (1.33 MeV’ de 2.0 keV) gerçekleştirdiği çalışmalar önem kazanmaktadır. Bu çalışmalarda detektör verim kalibrasyonunun standart kaynaklarla

yapıldığı (Tongyu S., 1988) (Wenxin L., 1987) bildirilmiştir. Buna rağmen bu çalışmalarda da sadece sayım istatistiğine dayalı hatalar bildirilmiş ve detektör verimi, nötron akısı, gamma bollukları belirsizliklerinin hesaplamalara dahil edildiğine dair bir bildirim yapılmamıştır. Sadece Tongyu S. ölçümlerde öz-soğurma düzeltmelerinin 0.89-1.0 arasındaki oranlarla gerçekleştirildiği bildirilmiştir.

Bu tez çalışmasında detektör enerji, genişlik ve verim kalibrasyonları ışınlamada kullanılan örnek ile ışınlama öncesi sayım geometrisinde gerçekleştirilmiştir. İzlenen bu yöntem ile geometri ve öz-soğurmadan kaynaklanan hesaplamalar mutlak verim ölçümlerine dahil edilerek ölçümlerde belirsizliklerin azalması sağlanmıştır. Toplam ürün bolluklarının belirlenmesinde sayım istatistiğinin yanı sıra verim ve γ -ışını bollukları üzerindeki belirsizliklerde sonuçlara dahil edilmiştir. Bu belirsizlikleri içeren sonuçların büyük çoğunluğunun literatürde bildirilen değerlerden daha düşük olduğu görülmüştür. Deneysel literatürle kıyaslandığında daha yüksek belirsizliklerin toplam ölçüm süresine kıyasla uzun yarı ömre sahip (gün mertebesinde) çekirdeklerde ve yarı ömrü ile kıyasla çok yüksek bekleme zamanı verilen çekirdeklerde sayım istatistiğinden kaynaklandığı anlaşılmıştır.

Bununla beraber, ^{87}Kr , ^{89}Rb , ^{91}Sr , ^{92}Sr , ^{93}Sr , ^{93}Y , ^{94}Y , ^{128}Sn , ^{134}Te , ^{135}I , ^{142}La , ^{143}Ce çekirdekleri için toplam ürün bollukları gerek daha önceki deneysel çalışmalardan gerekse de hesaplama çalışmalarından düşük hesaplanmıştır. Daha önce yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan γ -ışını şiddetleri ve güncel değerler ile kıyaslandığında %12' ye ulaşan farklılıklar görülmüştür. Ayrıca benzer farklar yarı ömür değerlerinde de söz konusudur. Bu çalışmada nükleer veri olarak daha önceki deneysel çalışmalarda kullanılan nükleer veriler kullanıldığında ^{91}Sr , ^{93}Y , ^{94}Y , ^{128}Sn , ^{135}I çekirdeklerinin toplam ürün bolluklarının belirsizlik sınırları içinde daha önceki çalışmalara yaklaştığı görülmüştür. ^{87}Kr , ^{89}Rb , ^{92}Sr , ^{93}Sr , ^{134}Te , ^{142}La , ^{143}Ce çekirdeklerinde γ -ışını şiddetleri yanı sıra yarı ömür farkından kaynaklanan etkiler daha baskındır fakat bu tezde bekleme sürelerinin her çekirdek için farklı oluşu ve literatür çalışmalarında ışınlama, bekleme ve sayım süreleri ile ilgili bilgilere yer verilmediğinden yapılabilecek düzeltmelerin etkisi değerlendirilememiştir. Nükleer verideki farklılıkla dışında Stronsiyum' a ait bulguların gerek daha önceki deneysel çalışmalardan gerekse de hesaplamalar sonucu bulunan değerlerden düşük olduğu gözlenmiştir. Bu etkinin nedeni ^{91}Sr , ^{92}Sr ve ^{93}Sr β - reaksiyonu ile bozunan ^{91}Rb , ^{92}Rb ve ^{93}Rb ün aynı zamanda nötron atarak bozunma yapmaları (Şekil 6.2) olduğu değerlendirilmiştir. Bununla beraber γ ölçümleri esnasında nötron ölçümü yapılmadığından bu bilgiyi destekleyecek deneysel veri bulunmamaktadır.

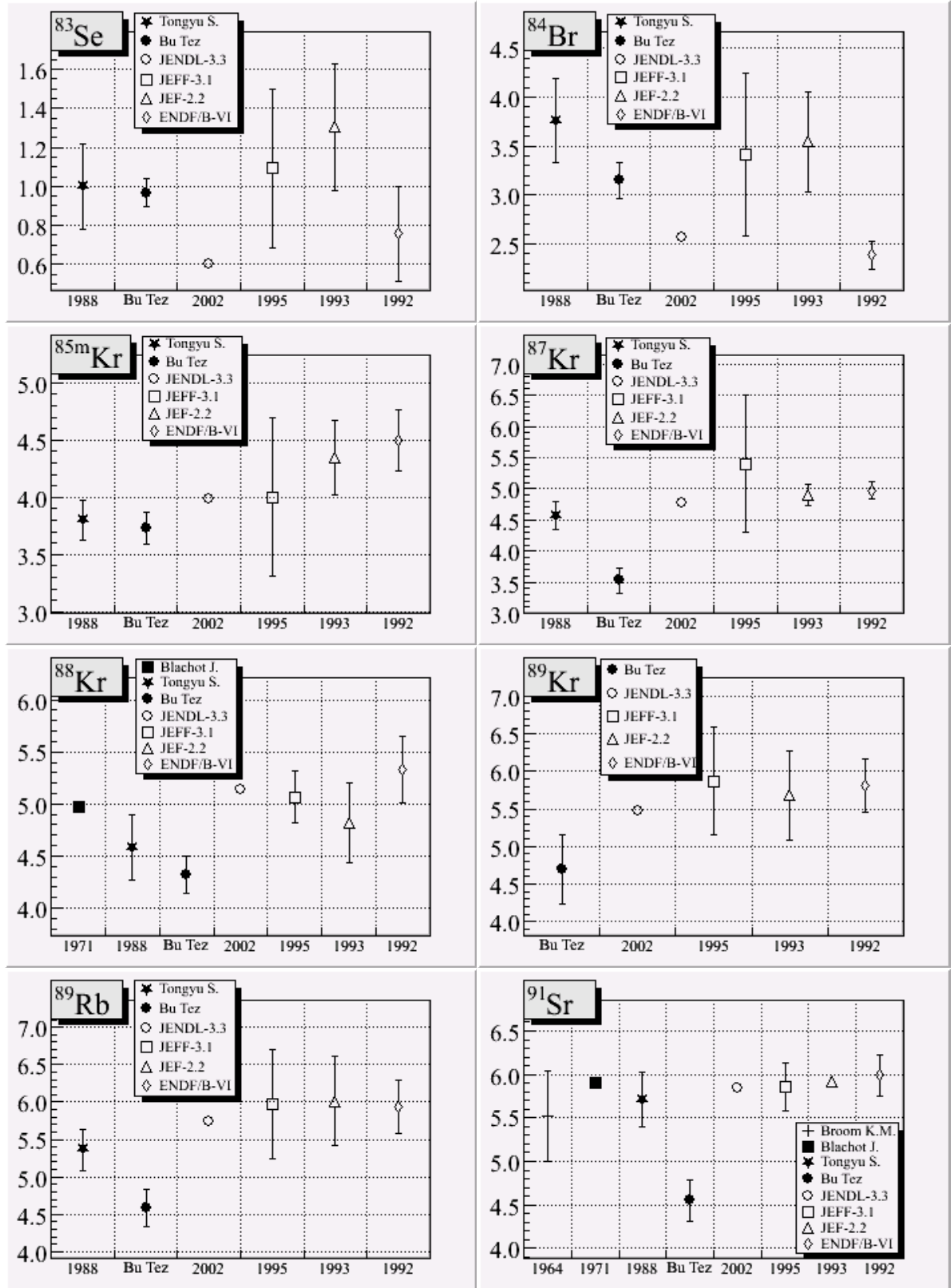
Sr91 9.63 h 5/2+	Sr92 2.71 h 0+	Sr93 7.423 m 5/2+	Sr94 75.3 s 0+	Sr95 23.90 s 1/2+
β^-	β^-	β^-	β^-	β^-
Rb90 158 s 0-	Rb91 58.4 s 3/2(-)	Rb92 4.492 s 0-	Rb93 5.84 s 5/2-	Rb94 2.702 s 3(-)
β^- *	β^-	β_n	β_n	β_n
Kr89 3.15 m (3/2+,5/2+)	Kr90 32.32 s 0+	Kr91 8.57 s (5/2+)	Kr92 1.840 s 0+	Kr93 1.286 s (1/2+)
β^-	β^-	β^-	β_n	β_n

Şekil 6.2 Çekirdek geçişleri (Firestone R. B., 1996)

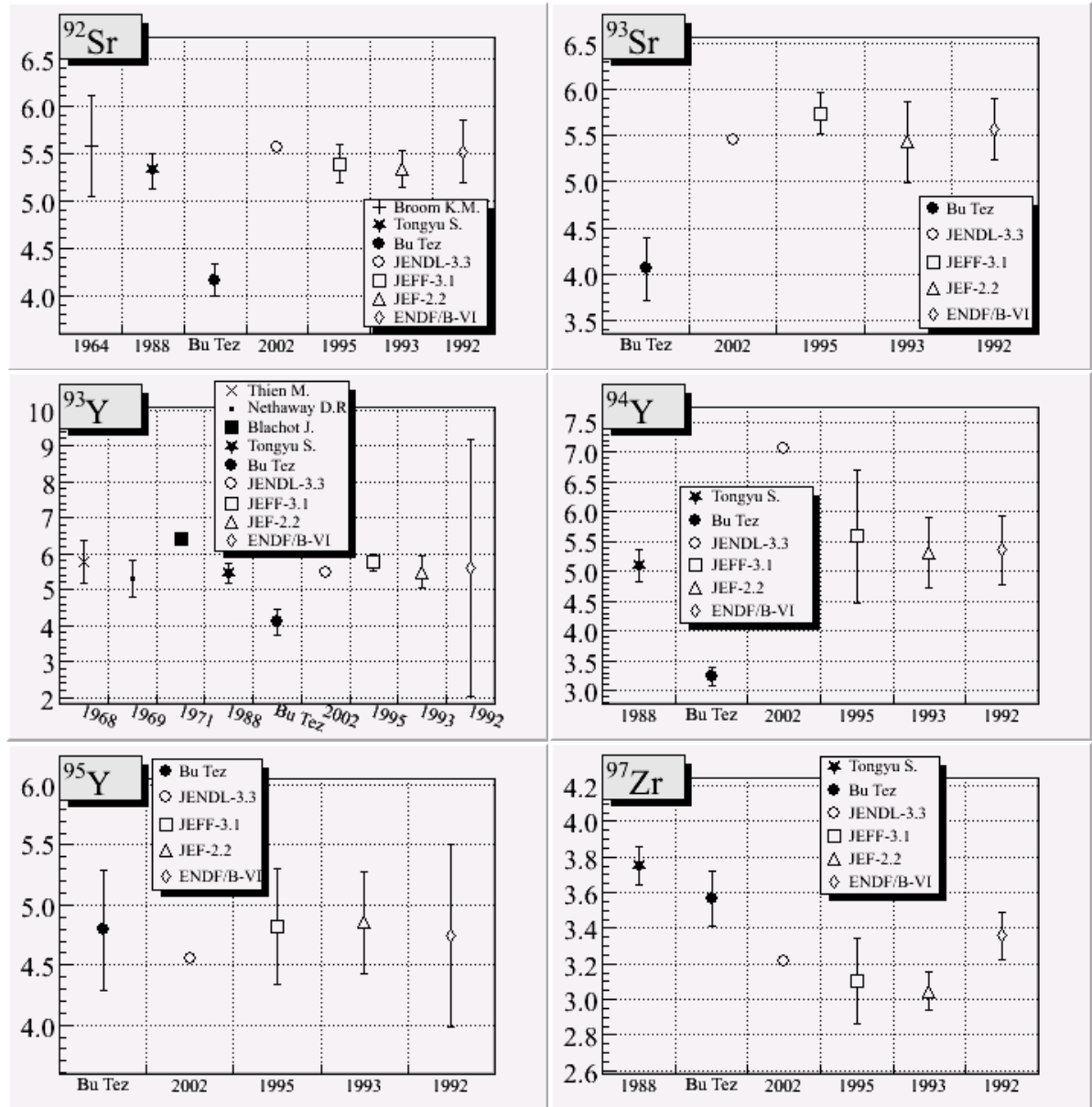
Çekirdek hüviyetinin tespiti ve bolluklarının belirlenmesinde kullanılan yöntem özellikle kısa yarı ömürlü (2-20 dakika) çekirdeklerin belirlenmesine olanak sağlamıştır. Yakın geometride yapılan sayımlar ve ölçüm süresinin başlangıcındaki yüksek aktivite sistem ölü zamanı üzerinde olumsuz etkilere yol açmıştır. Ölçüm süresinin ilk 5 dakikası içinde %8.5 mertebesinde olan bu etki ilk 20 dakikada %4' e 1 saatte %2.5' e düşmektedir. Kullanılan ardışık ölçüm sistemi veri transferleri nedeniyle sisteme %1.3 büyüklüğünde bir ölü zaman katkısı yapmaktadır. Ölü zaman üzerinde iyileştirme bu çalışmada seçilen 1, 2, 5, 10 ve 50 s aralıklı ölçümler yerine 15, 60, 120, 600 s aralıklı ölçümler alınarak toplanan spektrumların sayısının azaltılmasıyla yapılabileceği gibi CAMAC sisteminde paralel bağlı iki hafıza modülü kullanılarak da giderilebilir. Bu tarz bir iyileştirme özellikle kısa yarı ömürlü çekirdeklerin hüviyetinin tespitine ve bolluklarının belirlenmesinde oluşacak belirsizliklerde azalmaya neden olacaktır.

Çizelge 6.1 Hafif grup çekirdekler

Çekirdek	NNDC BNL			JEF-2.2	Son Deneysel Çalışma	Bu Tez	
	$t_{1/2}$ (Hata)	E(keV) (Hata)	$f\gamma$ (%) (Hata)	Toplam Ürün (Hata)	Toplam Ürün (Hata)	$t_{1/2}$	Toplam Ürün (Hata)
$^{83}_{34}\text{Se}$	22.3 m (3)	356.70 (4)	70	1.304E-02 (3.267E-03)	1.00E-02 (2.20E-03)	22.31 m	9.65E-03 (7.18E-04)
$^{84}_{35}\text{Br}$	31.80 m (8)	881.6 (1)	41.6	3.545E-02 (5.104E-03)	3.76E-02 (4.30E-03)	31.18 m	3.15E-02 (1.85E-03)
$^{85\text{m}}_{36}\text{Kr}$	4.480 h (8)	151.195 (6)	75 (5)	4.350E-02 (3.248E-03)	3.80E-02 (1.70E-03)	4.48 h	3.73E-02 (1.43E-03)
$^{87}_{36}\text{Kr}$	76.3 m (5)	402.587 (10)	49.6 (20)	4.902E-02 (1.662E-03)	4.57E-02 (2.30E-03)	76.27 m	3.53E-02 (1.98E-03)
$^{88}_{36}\text{Kr}$	2.84 h (3)	196.301 (10)	25.98 (17)	4.817E-02 (3.805E-03)	4.58E-02 (3.10E-03)	2.84 h	4.32E-02 (1.77E-03)
$^{89}_{36}\text{Kr}$	3.15 m (4)	220.948 (9)	20.1 (12)	5.681E-02 (5.928E-03)	—	3.03 m	4.69E-02 (4.60E-03)
$^{89}_{37}\text{Rb}$	15.15m (12)	1031.92 (6)	63 (3)	6.016E-02 (5.936E-03)	5.36E-02 (2.80E-03)	13.97 m	4.59E-02 (2.48E-03)
$^{91}_{38}\text{Sr}$	9.63 h (5)	749.8 (1)	23.68 (17)	5.915E-02 (5.242E-04)	5.71E-02 (3.10E-03)	9.62 h	4.85E-02 (2.85E-03)
$^{92}_{38}\text{Sr}$	2.71 h (1)	1383.93 (5)	90 (3)	5.335E-02 (1.952E-03)	5.31E-02 (1.90E-03)	2.71 h	4.16E-02 (1.71E-03)
$^{93}_{38}\text{Sr}$	7.423 m (24)	168.499 (4)	18.4 (10)	5.432E-02 (4.358E-03)	—	7.50 m	4.06E-02 (3.39E-03)
$^{93}_{39}\text{Y}$	10.18 h (8)	266.9 (1)	7.3 (4)	5.493E-02 (4.391E-03)	5.44E-02 (2.80E-03)	9.93 h	4.11E-02 (3.63E-03)
$^{94}_{39}\text{Y}$	18.7 m (1)	918.74 (5)	56	5.323E-02 (5.868E-03)	5.09E-02 (2.70E-03)	17.78 m	3.24E-02 (1.63E-03)
$^{95}_{39}\text{Y}$	10.3 m (1)	954.00 (20)	15.8	4.855E-02 (4.286E-03)	—	12.88 m	4.79E-02 (4.96E-03)
$^{97}_{40}\text{Zr}$	16.744 h (11)	743.36 (3)	93.06	3.046E-02 (1.050E-03)	3.75E-02 (1.10E-03)	—	3.57E-02 (1.54E-03)



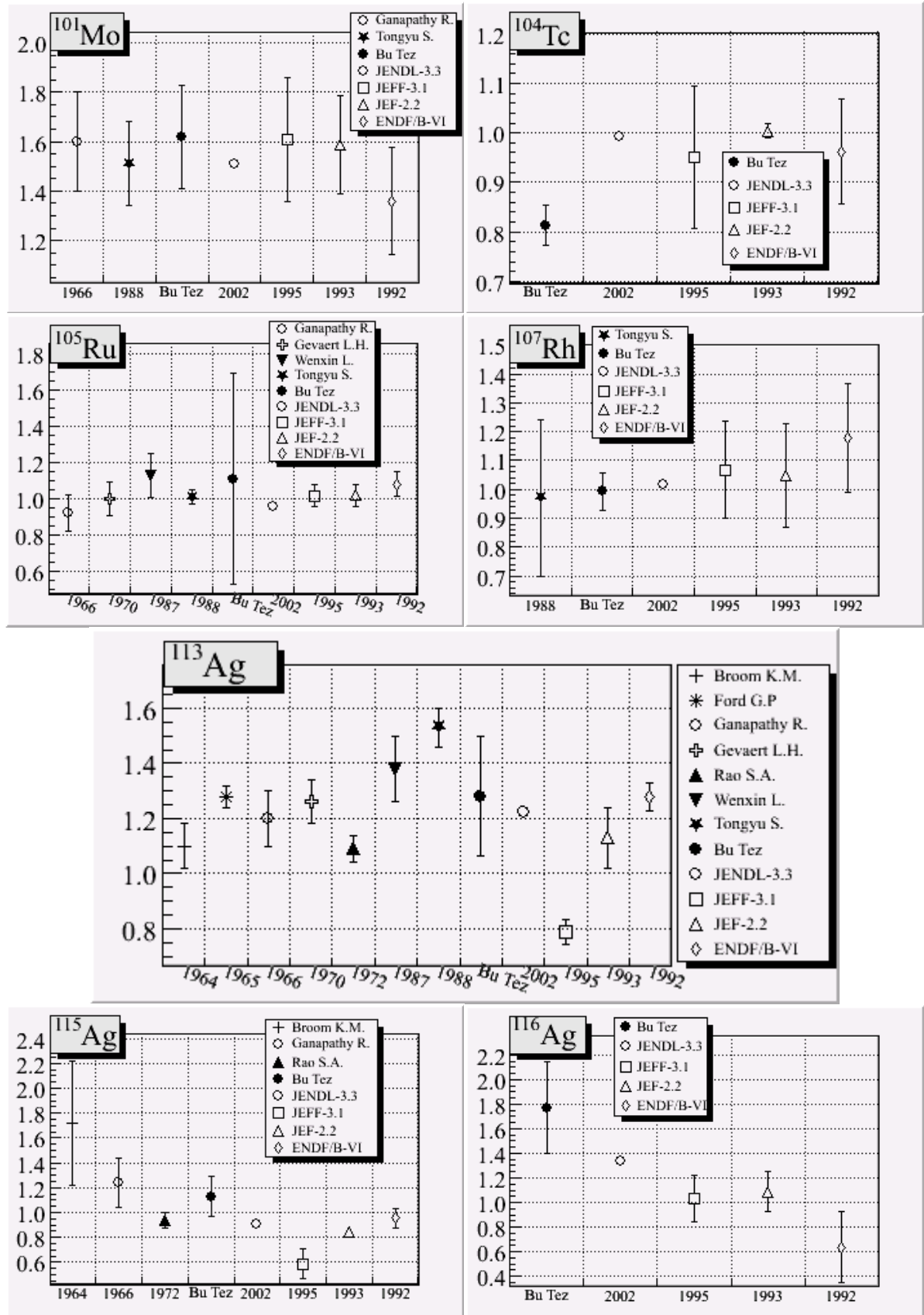
Şekil 6.3 Hafif kütle grubu çekirdekler -1



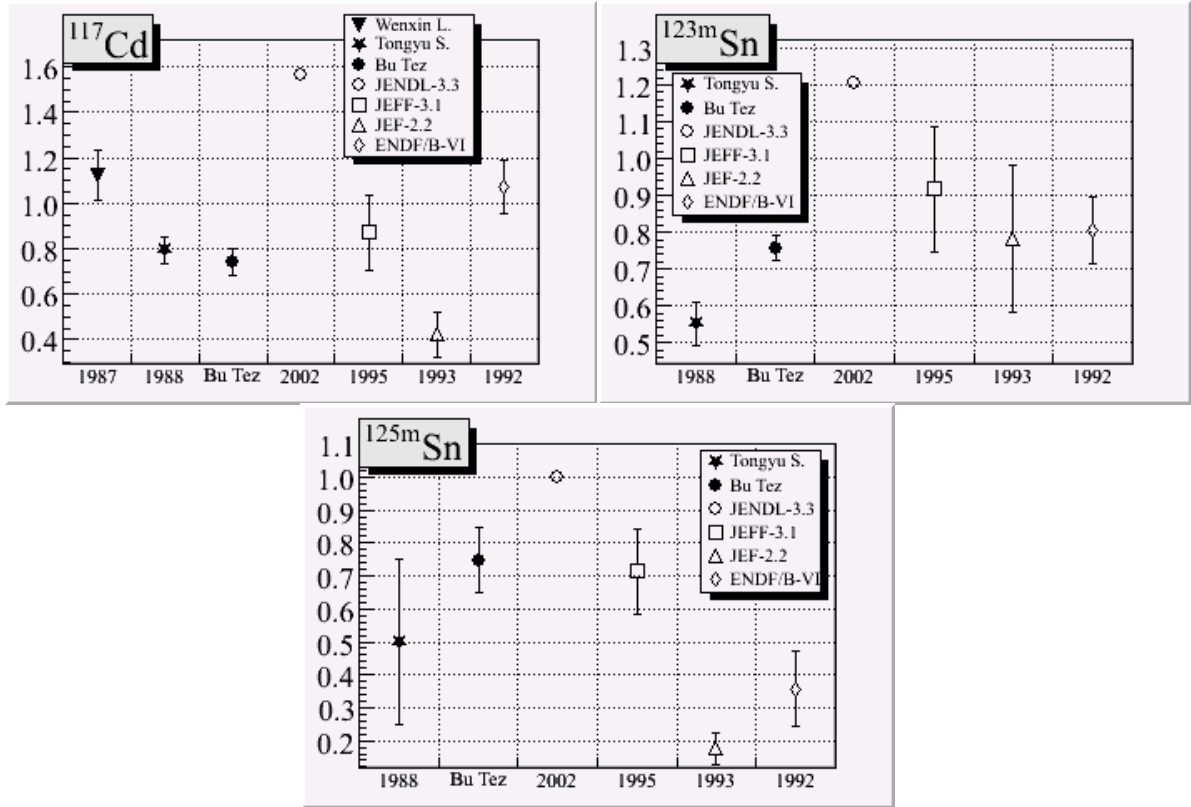
Şekil 6.4 Hafif kütle grubu çekirdekler -2

Çizelge 6.2 Vadi grubu çekirdekler

Çekirdek	NNDC BNL			JEF-2.2	Son Deneysel Çalışma	Bu Tez	
	$t_{1/2}$	E(keV)	$f\gamma$ (%)	Toplam Ürün (Hata)	Toplam Ürün (Hata)	$t_{1/2}$	Toplam Ürün (Hata)
$^{101}_{42}\text{Mo}$	14.61m ₃	191.92 ₂	18.21	1.589E-02 (1.989E-03)	1.51E-02 (1.70E-03)	13.58 m	1.62E-02 (2.10E-03)
$^{104}_{43}\text{Tc}$	18.3 m ₃	358.0 ₁	89	1.004E-02 (1.549E-04)	—	18.11 m	8.13E-03 (4.01E-04)
$^{105}_{44}\text{Ru}$	4.44 h ₂	676.36 ₈	15.7 ₅	1.018E-02 (5.918E-04)	1.01E-02 (4.00E-04)	4.31 m	1.11E-02 (5.85E-03)
$^{107}_{45}\text{Rh}$	21.7 m ₄	302.77 ₂₀	66 ₅	1.050E-02 (1.786E-03)	9.70E-03 (2.70E-03)	20.75 m	9.94E-03 (6.43E-04)
$^{113}_{47}\text{Ag}$	5.37 h ₅	298.6 ₁	10	1.131E-02 (1.1028E-03)	1.53E-02 (7.00E-04)	5.92 h	1.28E-02 (2.18E-03)
$^{115}_{47}\text{Ag}$	20.0 m ₅	229.1 ₁	18	8.395E-03 (4.060E-04)	—	28.88 m	1.13E-02 (1.64E-03)
$^{116}_{47}\text{Ag}$	2.68 m ₁₀	513.40 ₁₅	76	8.395E-03 (4.060E-04)	—		1.77E-02 (3.74E-03)
$^{117}_{48}\text{Cd}$	2.49 h ₄	273.349 ₁₈	27.9	4.231E-03 (9.968E-04)	7.90E-03 (6.00E-04)	2.46 h	7.39E-03 (5.94E-04)
$^{123\text{m}}_{50}\text{Sn}$	40.06m ₁	160.32 ₅	85.7	7.812E-03 (2.004E-03)	5.50E-03 (6.00E-04)	35.4 m	7.56E-03 (3.39E-04)
$^{125\text{m}}_{50}\text{Sn}$	9.52 m ₅	331.9 ₂	97.2 ₁₉	1.770E-03 (4.821E-04)	5.00E-03 (2.50E-03)	12.6 m	6.52E-03 (6.32E-04)



Şekil 6.5 Vadi grubu çekirdekler -1



Şekil 6.6 Vadi grubu çekirdekler -2

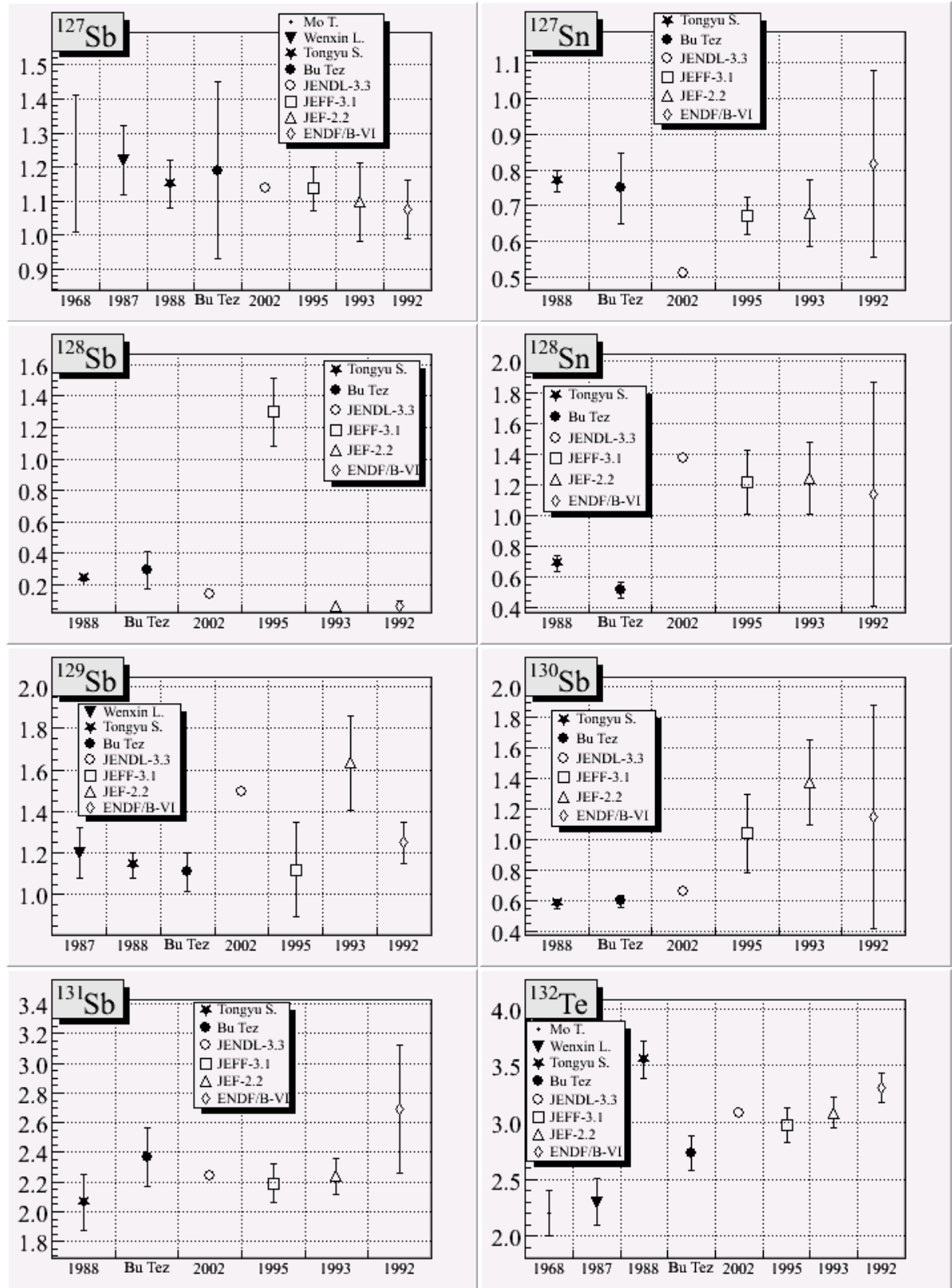
Çizelge 6.3a Ağır grup çekirdekler

Çekirdek	NNDC BNL			JEF-2.2	Son Deneysel Çalışma	Bu Tez	
	$t_{1/2}$	E(keV)	$f\gamma$ (%)	Toplam Ürün (Hata)	Toplam Ürün (Hata)	$t_{1/2}$	Toplam Ürün (Hata)
$^{127}_{50}\text{Sn}$	2.10 h (4)	1114.3 (4)	39 (4)	6.789E-03 (9.378E-04)	7.70E-03 (3.50E-04)	2.22 h	7.48E-03 (9.91E-04)
$^{128}_{50}\text{Sn}$	59.07 m (14)	482.3 (2)	59 (3)	1.242E-02 (2.348E-03)	6.90E-03 (5.00E-04)	57.73 m	5.17E-03 (5.13E-04)
$^{127}_{51}\text{Sb}$	3.85 d (5)	473.0 (4)	25.8 (7)	1.097E-02 (1.139E-03)	1.15E-02 (7.00E-04)	—	1.19E-02 (2.61E-03)
$^{128}_{51}\text{Sb}$	9.01 h (3)	754.0 (1)	100 (5)	6.439E-04 (1.437E-04)	2.40E-03 (2.00E-04)	—	2.95E-03 (1.18E-03)
$^{129}_{51}\text{Sb}$	4.40 h (1)	812.8 (5)	43	1.633E-02 (2.271E-03)	1.14E-02 (6.00E-04)	3.95 h	1.11E-02 (9.25E-04)
$^{130}_{51}\text{Sb}$	39.5 m (8)	182.330 (9)	65 (4)	1.378E-02 (2.770E-03)	5.80E-03 (3.00E-04)	41.48 m	5.96E-03 (3.60E-04)
$^{131}_{51}\text{Sb}$	23.03m (4)	943.4 (1)	46.2	2.238E-02 (1.237E-03)	2.06E-02 (1.90E-03)	21.6 m	2.37E-02 (1.97E-03)
$^{132}_{52}\text{Te}$	3.204 d (13)	228.16 (6)	88.0 (18)	3.085E-02 (1.378E-03)	3.55E-02 (1.60E-03)	—	2.70E-02 (1.45E-03)
$^{133\text{m}}_{52}\text{Te}$	55.4 m (4)	912.671 (4)	55 (3)	2.030E-02 (2.154E-03)	2.72E-02 (2.10E-03)		2.30E-02 (2.29E-03)
$^{134}_{52}\text{Te}$	41.8 m (8)	210.465 (16)	22.7 12)	5.085E-02 (4.626E-03)	4.93E-02 (1.70E-03)	43.05 m	4.00E-02 (2.59E-03)
$^{133}_{53}\text{I}$	20.8 h (1)	529.872 (11)	87.0 (17)	4.092E-02 (2.096E-03)	5.16E-02 (2.20E-03)	—	3.70E-02 (1.71E-03)
$^{134}_{53}\text{I}$	52.5 m (2)	884.090 (2)	65.1 (19)	5.727E-02 (4.220E-03)	—	62.16 m	6.85E-02 (4.66E-03)
$^{135}_{53}\text{I}$	6.57 h (2)	1260.4097	28.70 (17)	5.901E-02 (6.024E-03)	5.24E-02 (1.80E-03)	6.39 h	4.14E-02 (2.30E-03)
$^{135}_{54}\text{Xe}$	9.14 h (2)	249.794 (15)	90	5.993E-02 (6.090E-03)	—	—	5.96E-02 (2.33E-03)
$^{137}_{54}\text{Xe}$	3.818 m (13)	455.490 (3)	31.2	5.653E-02 (5.297E-03)	—	3.98 m	5.55E-02 (4.21E-03)

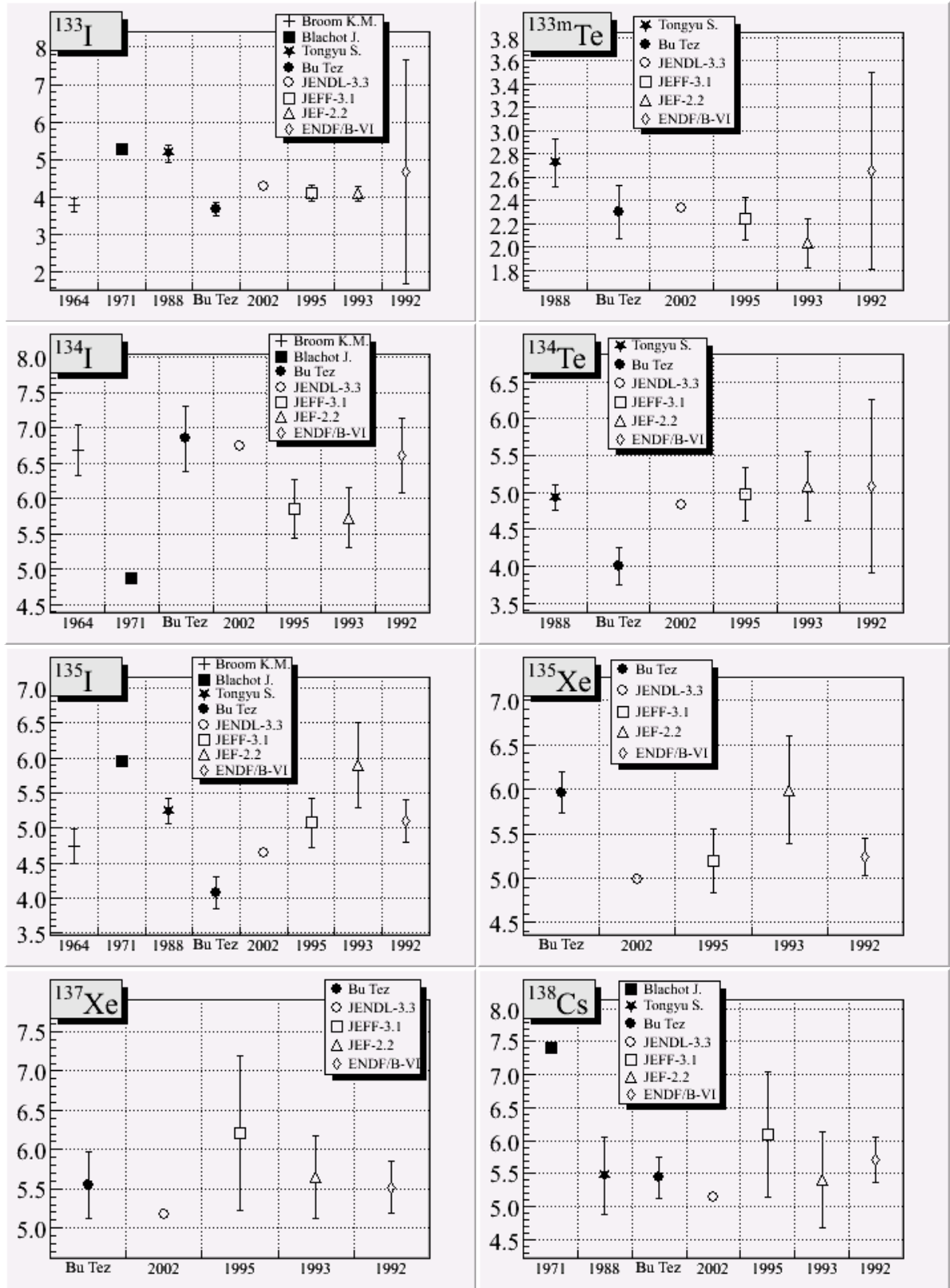
Çizelge 6.3b Ağır grup çekirdekler

Çekirdek	NNDC BNL			JEF-2.2	Son Deneysel Çalışma	Bu Tez	
	$t_{1/2}$	E(keV)	$f\gamma$ (%)	Toplam Ürün (Hata)	Toplam Ürün (Hata)	$t_{1/2}$	Toplam Ürün (Hata)
$^{138}_{54}\text{Xe}$	14.08 m (8)	258.411 (20)	31.5 (6)	5.199E-02 (7.095E-03)	5.80E-02 (3.00E-03)	14.28 m	4.32E-02 (2.22E-03)
$^{138}_{55}\text{Cs}$	33.41 m (18)	1435.86 (9)	76.3 (15)	5.411E-02 (7.296E-03)	5.47E-02 (5.80E-03)	33.41 m	5.44E-02 (3.12E-03)
$^{139}_{56}\text{Ba}$	83.06 m (28)	165.8575 (11)	23.7 (24)	5.606E-02 (4.779E-03)	6.13E-02 (5.20E-03)	83.15 m	6.03E-02 (2.37E-03)*
$^{140}_{56}\text{Ba}$	12.752 d (3)	537.261 (9)	24.39 (7)	5.683E-02 (2.295E-03)	5.91E-02 (5.20E-03)	—	5.70E-02 (3.02E-02)
$^{141}_{56}\text{Ba}$	18.27m (7)	190.328 (5)	46.0 (14)	5.560E-02 (1.779E-03)	—	17.76 m	3.94E-02 (1.97E-03)
$^{142}_{56}\text{Ba}$	10.6 m (2)	255.300 (12)	20.5 (5)	4.958E-2 (3.773E-03)	—	9.99 m	3.68E-02 (2.21E-03)
$^{142}_{57}\text{La}$	91.1 m (5)	641.285 (9)	47.4	4.996E-02 (3.803E-03)	5.62E-02 (1.60E-03)	91.82 m	4.30E-02 (1.88E-03)
$^{141}_{58}\text{Ce}$	32.508 d (1)	145.4433 (14)	48.29	5.565E-02 (1.784E-03)	4.53E-02 (4.90E-03)	—	5.95E-02 (4.34E-03)
$^{143}_{58}\text{Ce}$	33.039 h (6)	293.266 (2)	42.80 (13)	4.840E-02 (4.667E-03)	5.29E-02 (7.00E-03)	—	3.67E-02 (1.67E-03)
$^{145}_{58}\text{Ce}$	3.01 m (6)	724.33 (3)	59	3.432E-02 (7.100E-03)	2.79E-02 (5.20E-03)	2.81 m	2.98E-02 (3.56E-03)
$^{146}_{58}\text{Ce}$	13.52 m (13)	316.74 (3)	56 3	2.763E-02 (5.807E-03)	—	13.30 m	2.17E-02 (2.21E-03)
$^{147}_{60}\text{Nd}$	10.98 d (1)	91.105 (2)	27.9	1.830E-02 (1.439E-03)	1.64E-02 (1.60E-03)	—	1.76E-02 (6.57E-04)
$^{149}_{60}\text{Nd}$	1.728 h (1)	114.314 (11)	19.2 (13)	1.005E-02 (9.291E-04)	6.10E-03 (3.00E-04)	1.58 h	8.65E-03 (1.12E-03)

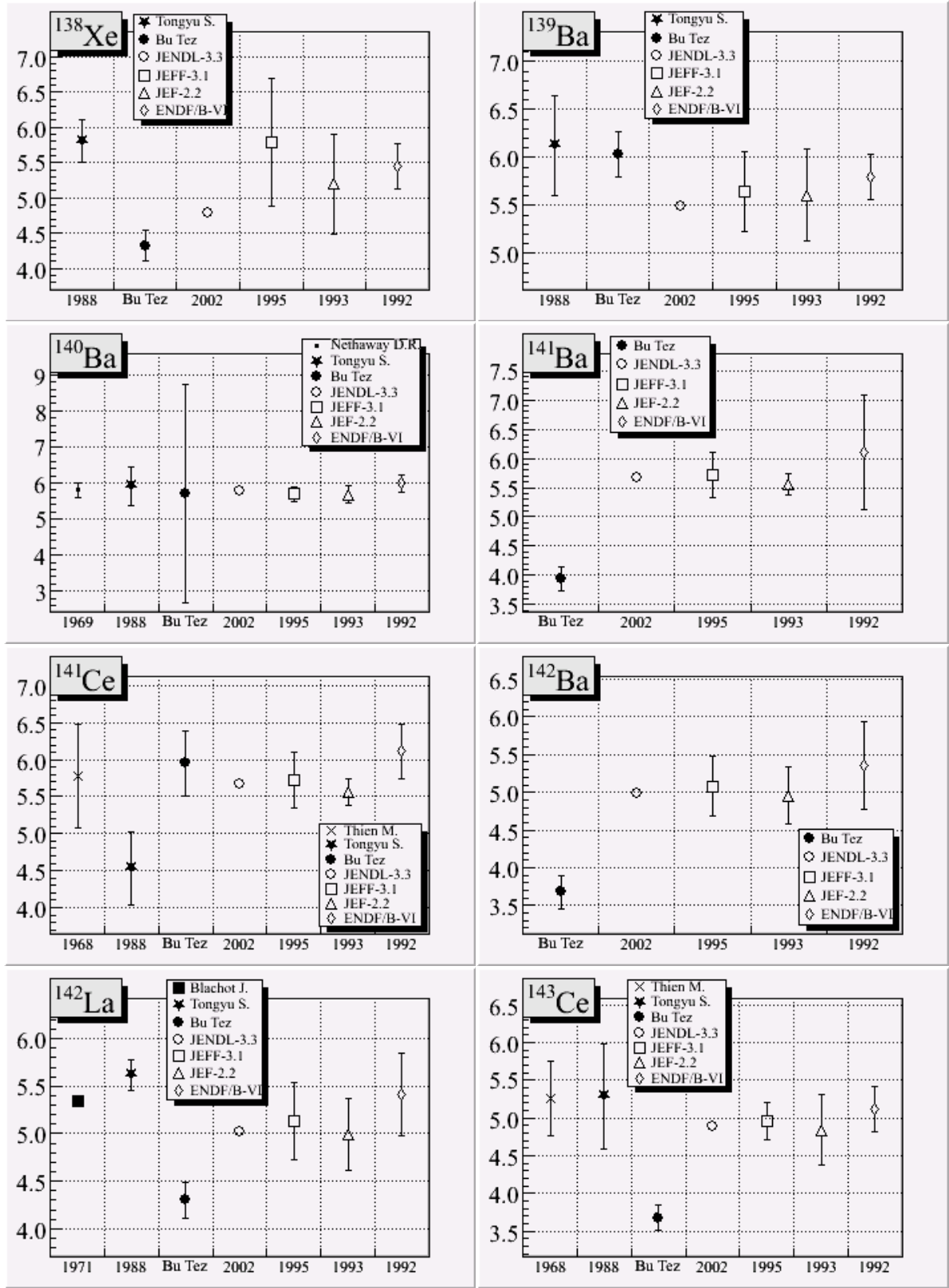
* γ -Işını bolluğundaki belirsizlik dahil edilmemiştir.



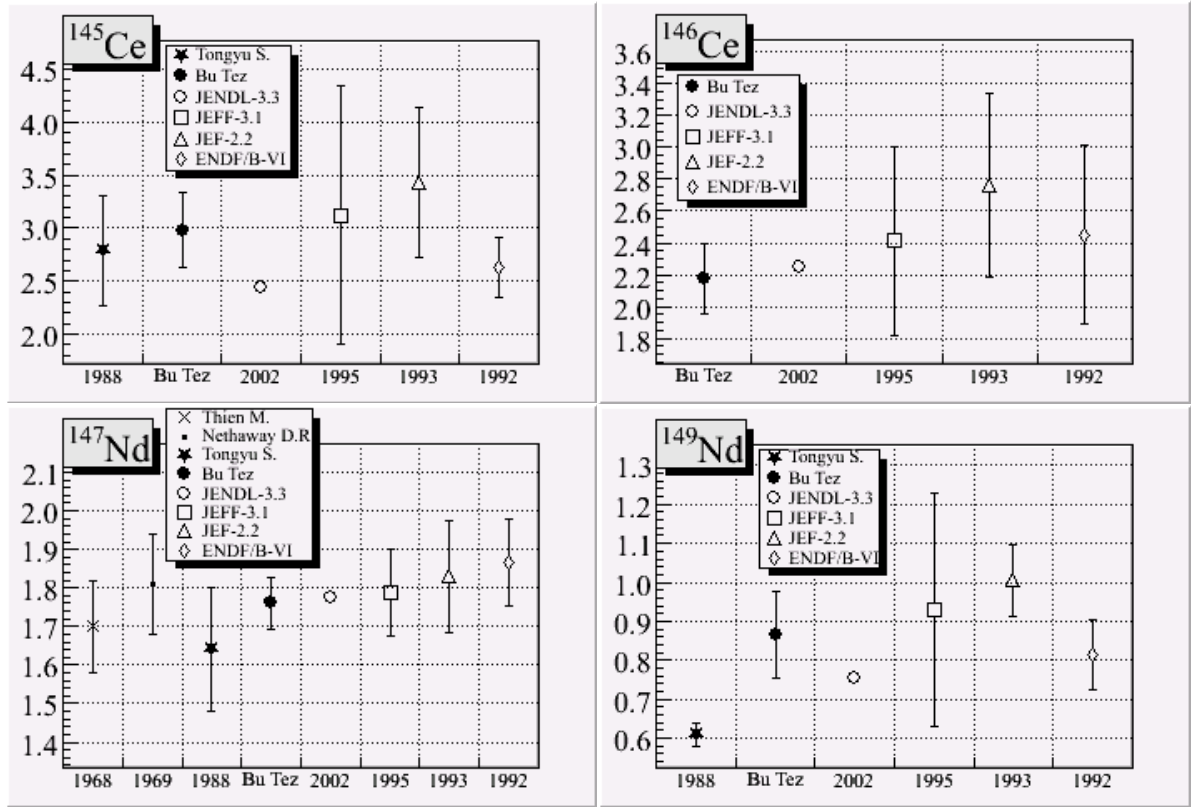
Şekil 6.7 Ağır grup çekirdekler -1



Şekil 6.8 Ağır grup çekirdekler -2



Şekil 6.9 Ağır grup çekirdekler -3



Şekil 6.10 Ağır grup çekirdekler -4

KAYNAKLAR

- Agno M., Amaldi E., Bocciarelli D., Cacciapuoti B.N., Trabacchi G.C., (1941), "Fission Yield by Fast Neutrons", Physical Review, Vol 60, 67
- Alexander J.M., Coryell C.D., (1957), "Nuclear Charge Distribution in the Fission of Uranium and Thorium with 13.6 MeV Deuterons", Physical Review, Vol 108, 1274
- Arya A.P., (Çeviren : Şahin Y.), (1999), "Çekirdek Fiziğinin Esasları", Aktif Yayınevi, Türkiye
- Baek W.Y., Kim G.N., Cho M.H., Ko I.S., Namkung W., Grigoriev Yu.V., Faikov-Stanczyk H., Shvetshov V.N., Furman W.I., (2000), "Investigation of γ -multiplicity spectra and neutron capture cross section of ^{232}Th in the energy region 21.5-215 eV", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 168, 453-461
- Battles L.R., Chittenden D.M., (1973), "Yields of low mass products in the fission of ^{232}Th by 14.8 MeV neutrons", Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry, Vol.35, 3075
- Bauer G.S., (2001), "Physics and technology of spallation neutron sources", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 505-543
- Becker J.A., Bauer R.W., (1986), "Fragment angular distribution for neutron fission of ^{232}Th ", Physical Review C, Vol 34, 594
- Blachot J., Carraz L.C., Cavallini P., Monnard E., Schussler F., (1971), "Direct gamma spectroscopy analysis of fission products from U-235, application to the mass distribution of fission products from fission of Th-232 by 14 MEV neutrons", J.of Radioanalytical Chemistry Vol.7, 309
- Boldeman J.W., Gogny D., Musgrove A.R. de L., Walsh R.L., (1980), "Fission fragment angular distribution for neutron fission of ^{230}Th ", Physical Review, Part B, Condensed Matter, Vol.133, 874
- Broom K.M., (1964), "2.95-MeV and 14.8 MeV neutron-induced fission of ^{232}Th ", Physical Review, C, Vol.22, 627
- Brun R., Rademakers F., Canal P., Antcheva I., Buskulic D., West N., Lyons E., Panacek S., Kubarovsky A., (2005), "ROOT Users guide 5.08", Cern ,Cenevre
- Brun R., Rademakers F., Canal P., Antcheva I., Buskulic D., West N., Lyons E., Panacek S., Kubarovsky A., (2004), "ROOT Users guide 4.08", Cern ,Cenevre
- Caldwell J.T., Dowdy E.J., Berman B.L., Alvarez R.A., Meyer P., (1980), "Giant resonance for the actinide nuclei: Photoneutron and photofission cross sections for ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U and ^{232}Th ", Physical Review C, Vol 21, 1215.
- Chan D.W.S., Egan J.J., Mitler A., Sheldon E., (1982), "Analyses of fast neutron inelastic scattering cross sections to higher (vibrational) states of ^{232}Th and ^{238}U I. Stanford formalism", Physical Review C, 841.
- Chatani H., (1999), "Measurement of gamma-ray intensities of ^{231}Th using semiconductor detectors", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 425, 277-290
- Chung C., Hogan J.J., (1981), "Fission of ^{232}Th at energies up to 90 MeV", Physical Review C, Vol 24, 180

- Debertin K., Helmer R.G. , (1988), "Gamma- And X-ray Spectrometry With Semiconductor Detectors", Elsevier, North-Holland, Amsterdam.
- Dematte L., Hambsch F.J., Bax H., (2002), "Discrimination of pile up in fission fragment detection experiment", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 480, 706-712
- Dickens J.K., McConnell J.W., (1983), "Yields of fission products produced by thermal-neutron fission of ^{229}Th ", Physical Review C, Vol 27, 253.
- Eadie W.T., Drijard D., James F., Roos M., Sadoulet B., (1971), "Statistical Methods in Experimental Physics." North-Holland
- Elmalı A., (2001) "Kısa Yarı Ömürlü Çekirdeklerin Yarılanma Sürelerinin Belirlenmesi" YTÜ Fen Bil. Enst. Doktora Tezi, 32, İstanbul.
- England T.R., Rider B.F., (1992), "Evaluation and Compilation of Fission-Product Yields", ENDF-349.
- Erten H.N., Grütter A., Rössler E., von Gunten H.R., (1982), "Charge distribution in the reactor-neutron-induced fission of ^{232}Th ", Physical Review C ,2519.
- Faure G., (1986), "Principles of Isotope Geology", John Willy & Sons, ABD.
- Firestone R. B., (1996), "Table of Isotopes CD-ROM" 8th Edition, Wiley Interscience, ABD
- Flatenkov A. A., Chuvaev S.V., Aksenov V.N., Yakovlev V.A., (1997), "Systematic Measurement of Activation Cross Sections at Neutron Energies from 13.4 to 14.9", INDC (CCP)-402, International Atomic Energy Agency
- Ford G.P., Leachman R.B., (1965), "Fission mass yield dependence on angular momentum", Physical Review B, Condensed Matter Vol.137, Issue.4, 826
- Ford G.P., Norris A.E., (1976), "A compilation of yields from neutron-induced fission of ^{232}Th , ^{235}U , ^{236}U , ^{237}Np , ^{238}U , and ^{239}Pu measured radio chemically at Los Alamos" , Los Alamos Scientific Lab. Reports, No.6129
- Friedman W.A., (2004), "Isotopic yields and isoscaling in fission", Physical Review C. Vol.69, 031601
- Ganapathy R., Kuroda P.K., (1966), "Mass distribution in the fission of ^{232}Th by 14.8 MeV neutrons", Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry Vol.28, 2071
- Ganapathy R., Ihochi H., (1966), "Yields of molybdenum isotopes in the fission of ^{232}Th and ^{238}U by 14.8 MeV neutrons", Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry Vol.28, 3071
- Gevaert L.H., Jervis R.E., Sharma H.D., (1970), "Cumulative yields in the 14 MeV neutron fission of ^{232}Th and ^{238}U in the symmetric region", Canadian Journal of Chemistry Vol.48, 641
- Gindler J.E., Glendenin L.E., Henderson D.J., Meadows J.W., (1983) "Mass distribution in monoenergetic-neutron-induced fission of ^{239}Pu ", Physical Review C , Vol 27, 2058
- Glendenin L.E., Gindler J.E., Ahmad I., Henderson D.J., Meadows J.W., (1980) "Mass distribution in monoenergetic-neutron-induced fission of ^{232}Th ", Physical Review C ,152
- Glendenin L.E., Gindler J.E., Henderson D.J., Meadows J.W., (1981) "Mass distribution in

- monoenergetic-neutron-induced fission of ^{235}U ", *Physical Review C* , Vol 24, 2600
- Gönnenwein F., (1999), "Decay Modes in Spontaneous Fission", *Nuclear Physics A*, 654, 855c-863c
- Gudowski W., (1999), "Accelerator-driven Transmutation Projects. The Importance of Nuclear Physics Research for Waste Transmutation.", *Nuclear Physics A*, 654, 436-457
- Gray P.W., Ahmad A., (1985), *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 237 577.
- Hedrick J.B., (2002), U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 172-173.
- Jain R.K., Prokofiev A.V., Smirnov A.N., Tommasino L., (2001), "Measurement of high energy neutrons by fission reactions" *Radiation Measurement* , 34, 129-132
- Jakůbek J., Nuiten P., Pluhař J., Pospíšil S., Šiňor M., Štekl I., Timoracký S., Vobecký M., (1998), "Coincidence gamma-gamma spectroscopy system for neutron activation analysis" *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 414, 261-264
- James F., (1981), "Determining the statistical Significance of experimental Results." Technical Report DD/81/02 and CERN Report 81-03, CERN
- James M., Mills R., (1993), "Neutron-induced Fission Product Yields", JEF-2.2.
- Karamanis D., Lacoste V., Andriamonje S., Barreau G., Petit M., (2002), "Experimental and Simulated Efficiency of a HPGe Detector with Point-Like and Extended Sources", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 487 477–487.
- Karamian S.A., Adam J., Belov A.G., Carroll J.J., Norseev Yu.V., Stegailov V.I., Chaloun P., (2000), "Light-mass yields and fine structure of mass distribution in ^{232}Th photofission", *Physical Review C*, Vol 62, 024601.
- Kawabata M., Mutoh M., (2000), "Developments of data acquisition system using Windows NTTM workstation", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 454, 460-467.
- Knoll G.F., (2000), "Radiation Detection and Measurement", John Willy & Sons, ABD.
- Koning A.J., Delaroche J.-P., Bersillon O., (1997), "Nuclear data for accelerator driven systems: Nuclear models, experiments and data libraries", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 414, 49-67
- Krane S.K., (1987), "Introductory Nuclear Physics", John Willy & Sons, ABD.
- Kruger P., Sugerman N., (1955), "High-Energy Fission of Heavy Elements. Nuclear Charge Dependence", John Willy & Sons, ABD.
- Kudo H., Muramatsu H., Nakahara H., (1982), "Fission fragment yields in the fission of ^{232}Th by protons of energies 8 to 22 MeV", *Physical Review C* ,3011
- Manohar S.B., Venkatesan P.P., Deshmukh S.M., Prakash S., Ramaniah M.V., (1979) "Mass distribution in the neutron induced fission of ^{232}U ", *Physical Review C* , Vol 19, 1827.
- Mills R.W., (2005) "Neutron-induced Fission Product Yields", JEFF-31.
- Mo T., Rao M.N., (1968), "Symmetric fission of ^{232}Th by 14 MeV neutrons", *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry* Vol.30, 345

- Mulgin S.I., Okolovich V.N., Zhdanov S.V., (1997), "Two parametric method for silicon detector calibration in heavy ion and fission fragment spectroscopy", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 254-259
- Myers W.A., Kantelo M.V., Osborne R.L., Prindle A.L., Nethaway D.R., (1978), "Fast neutron fission of ^{240}Pu ", Physical Review C, Vol.18, 1700
- Negele J.W., Koonin S.E., Möller P., Group, (2001), "Design for real-time data acquisition based on streaming technology", Fusion Engineering and Design, 1011-1016
- Nakanishi H., Kojima M., LABCOM Nix J.R., Sierk A.J., (1978), "Dynamics of induced fission", Physical Review C, Vol.17, 1098
- Nikkinen L., Pathak B.P., Lessard L., Grant I.S., (1980), "Independent yields of Rb, In and Cs isotopes in the proton-induced fission of ^{232}Th ", Physical Review C, Vol.22, 617
- Nishio K., Yamamoto H., Kanno I., Kimura I., Nakagome Y., (1997), "A system for correlation measurement of fission fragments and prompt neutrons for thermal neutron induced fission", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 385, 171-178
- Nethaway D.R., Mendoza B., Voss T.E., (1969), "Low-yield products from fission of ^{232}Th , ^{235}U , and ^{238}U with 14.8-MeV neutrons", Physical Review Vol.182, 1251
- Nethaway D.R., Mendoza B., (1970), "Fission of ^{233}U 14.8-MeV neutrons", Physical Review C, Vol.2, 2289
- Nethaway D.R., Mendoza B., (1972), "Fission of ^{234}U and ^{236}U with 14.8-MeV neutrons", Physical Review C, Vol.6, 1821
- Nethaway D.R., Prindle A.L., (1977), "Fission of ^{240}Pu with 14.8-MeV neutrons", Physical Review C, Vol.16, 1907
- Ohtsuki T., Hamajima Y., Sueki K., Nakahara H., (1989), "Systematic analysis of mass yield curves in low-energy fission of actinides", Physical Review C, Vol.40, 2144
- Ohtsuki T., Nagame Y., Tsukada K., Shinohara N., Baba S., Hashimoto K., Nishinaka I., Sueki K., Hatsukawa Y., Hata K., Sekine T., Kanno I., Ikezoe H., Nakahara H., (1991), "Mass yield curves in low-energy proton-induced fission of ^{233}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{239}Pu , ^{242}Pu , ^{244}Pu , ^{241}Am , and ^{243}Am ", Physical Review C, Vol.44, 1405
- Ouyang X.P., Li Z.F., Ho Y.K., Zhang Z.B., (2002), "A charge collection method for measurement of pulsed fast-neutron flux", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 481, 493-501
- Özbir Y., Gültekin E., Erduran N., Subaşı M. ve Tarcan G., (1998), " Bir Nötron Üreteci için Döngülü Çalışan Hızlı Örnek Taşıma Sistemi Geliştirilmesi ve Yapımı", ÇNAEM T.R.-999.
- Prindle A.L., Sisson D.H. Nethaway D.R., Kantelo M.V., Sigg R.A., (1979), "Fission of ^{241}Am with 14.8-MeV neutrons", Physical Review C, Vol.20, 1824
- Plendl H. S., (2001), "Introduction", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 463, 425-427
- Rao S.A. (1972), "Charge distribution in the fission of ^{232}Th ", Physical Review, C, Nuclear Physics Vol.5, 171
- Rajasekaran M., Devanathan V., (1981), "Nuclear level density and the mass distribution of

fission fragments”, Physical Review, C, Vol 24, 2006

Rejmund F., Ignatyuk A.V., Junghans A.R., Schmidt K.H., (2000), “Pair breaking an deeven-odd structure in fission fragment yields”, Nuclear Physics A, 215-234

Reyhancan I. A., Bostan M., Durusoy A., Elmalı A., Baykal A., Özbir Y., (2003), “Measurements of isomeric cross sections for (n,2n) reaction on ^{140}Ce , ^{142}Nd and ^{144}Sm isotopes around 14 MeV”, Annals of Nuclear Energy, Vol. 30, Is. 15, 1539-1547

Saroha D.R., Gupta Raj K., (1984) “Fine structure in nuclear fission charge distribution yields and odd-even charge effects as the dynamical fragmentation process”, Physical Review C, Vol.29, 1101

Schmidt K.H., Benlliure J., Junghans A.R., (2001) “Fission of nuclei far from stability”, Nuclear Physics A, 693, 169-189

Segre E., Seaborg G.T., (1941) “Fission Products of Uranium and Thorium Produced by High Energy Neutrons”, Physical Review, Vol.59, 212

Semkow T.M., Wahl A.C., Robinson L., (1984) “Yields of In and Sn products from thermal-14-MeV-neutron-induced fission of ^{235}U ”, Physical Review C, Vol.30, 1966

Shcherbakov O.A., Donets A.Yu., Evdokimov A.V., Fomichev A.V., T.Fukahori, Hasegawa A., Laptev A.B., Petrov G.A., Tuboltsev Yu.V., Vorobyev A.S., (2001) “Neutron-Induced Fission of 233-U, 238-U, 237-Np, 239-Pu And 232-Th in the Energy Range 1 - 200 MeV”, Journal of Nuclear Science and Technology., Vol.2 , Issue.1, 230, Tokyo.

Shultis J. K., Faw R. E., (2002), “Fundamentals of Nuclear Science and Engineering”, Marcel Decker Inc., ABD

Sigg R.A., Kantelo M.V., Sisson D.H., Prindle A.L., Nethaway D.R., (1983), “Fast neutron fission of ^{241}Am ”, Physical Review C, Vol.27, 245

Smith A.B., (1962), “Elastic and Inelastic Scattering of Fast Neutrons from ^{232}Th ”, Physical Review, 718

Smith J.R., Richardson A.E. (1991), “Independent yields from the photofission of ^{232}Th , and the Z_p and statistical-dynamic models”, Physical Review C, Vol 44, 1118

Subaşı M., Erduran M. N., Bostan M., Reyhancan I. A., Gültekin E., Tarcan G., Özbir Y., Durusoy A., (1998), “(n, α) Reaction Cross Sections of ^{44}Ca , ^{45}Sc , and ^{51}V Nuclei from 13.6 to 14.9 MeV”, Nuclear Science and Engineering, Vol. 130, 254-260

Subaşı M., Gültekin E., Reyhancan I. A., Özbir Y., Tarcan G., Sirin M., Erduran M. N., (1999), “ $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$ Reaction Cross Sections Around 14 MeV”, Nuclear Science and Engineering, Vol. 135, 260-266

Swindle D.L., Wright R.J., Ward T.E., Kuroda P.K., (1971) “Distribution of Low-MASS fission yields in the 14.8 MeV neutron induced fission of ^{238}U and ^{232}Th ”, Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry, Vol.33, 651

Şirin M., (2006) “Çekirdek Fiziği -çekirdeklerin zamandan bağımsız özellikleri-” YTÜ, İstanbul.

DPT, (1996), “Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1996-2000)”, DPT, Ankara.

Tarcan, G., Gültekin, E., Özbir, Y., Baykal, A., Subaşı, M., Atasoy, H. ve İpekçi, E., (1989),

“Hızlı Nötron Işınlama Ünitesi Sames T-400 Tanıtımı ve Karakteristiklerin Tayini”, ÇNAEM AR.-262

Tasaka K. et al., (2002) “Neutron-induced Fission Product Yields”, JENDL-3.3.

Thein M., Rao M.N., Kuroda P.K., (1968), “Mass distribution in 14.8 MeV neutron-induced fission of ^{232}Th ”, Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry Vol.30, 1145

Tongyu S., Wenxin L., Tianrong D., Ming F., (1988), “Mass distribution in the 14.7 MeV neutron-induced fission of ^{232}Th ”, High Energy Physics and Nucl. Physics, Chinese ed. Vol.12, Issue.2, 221

Tovesson F., Hambsch F.J., Oberstedt A., Fogelberg B., Ramström E., Oberstedt S., (2002), “Neutron-Induced Fission Cross Section of ^{233}Pa between 1.0 and 3.0 MeV”, Physical Review Letters, Vol.88, 062502

Vandenbosch R., Huizenga J.R., (1973), “Nuclear Fission”, Academic Press Inc., ABD

Velkovska J., McGrath R.L., (1999), “Fission fragment mass reconstruction from Si surface barrier detector measurements”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 430, 507-511

Viola V.E., Kwiatkowski K., Walker M., (1985), “Systematics of fission fragment total kinetic energy release”, Physical Review C, Vol 31, 1550

Vladuca G., Hambsch F.J., Tudora A., Oberstedt S., Tovesson F., Oberstedt A., Filipescu D., (2004), “Calculation of the neutron-induced fission cross section of ^{233}Pa ”, Physical Review C, 69, 021604

Vladuca G., Tudora A., (2001), “Improved Los Alamos model applied to the neutron induced fission of ^{235}U and ^{237}Np ”, Annals of Nuclear Energy, 28, 419-435

Vobecký M., Jakůbek J., Granja Bustamante C., Koniček J., Pluhař J., Pospíšil S., Rubáček L., (1999), “Multielement industrial activation analysis based on gamma-gamma coincidence spectroscopy” Analytica Chimica ACTA, 386, 181-189

Wenxin L., Tongyu S., Xiuhua S., Ming F., Tianrong D., Manjiao Z., (1987), “Charge distribution in the 14.7 MEV neutron induced fission of TH-232: Independent yields of isotopes of Rh, Ag, In and Sb.”, High Energy Physics and Nucl. Physics, Chinese ed. Vol.11, 376

INTERNET KAYNAKLARI

[1] msdn.microsoft.com/

[2] root.cern.ch/

[3] www.britannica.com/

[4] www.iaea.org/

[5] www.microsoft.com/

[6] www.ndc.tokai.jaeri.go.jp/jendl/j33/j33.html

[7] [www.maden.org.tr/yeni3/genel/toryum\(umitatalay\).htm](http://www.maden.org.tr/yeni3/genel/toryum(umitatalay).htm)

[8] www.mta.gov.tr/

[9] www.nndc.bnl.gov/

[10] www.sparrowcorp.com/kmax.html

[11] www.taek.gov.tr/

EKLER

Ek 1	Th Genel Bilgiler
Ek 2	^{232}Th Doğal Bozunumu
Ek 3	Th (n,f) Tesir Kesiti
Ek 4	CAMAC
Ek 5	SPARROW K _{max} NT
Ek 6	ROOT
Ek 7	Deneyde kullanılan Cihazların Teknik Özellikleri

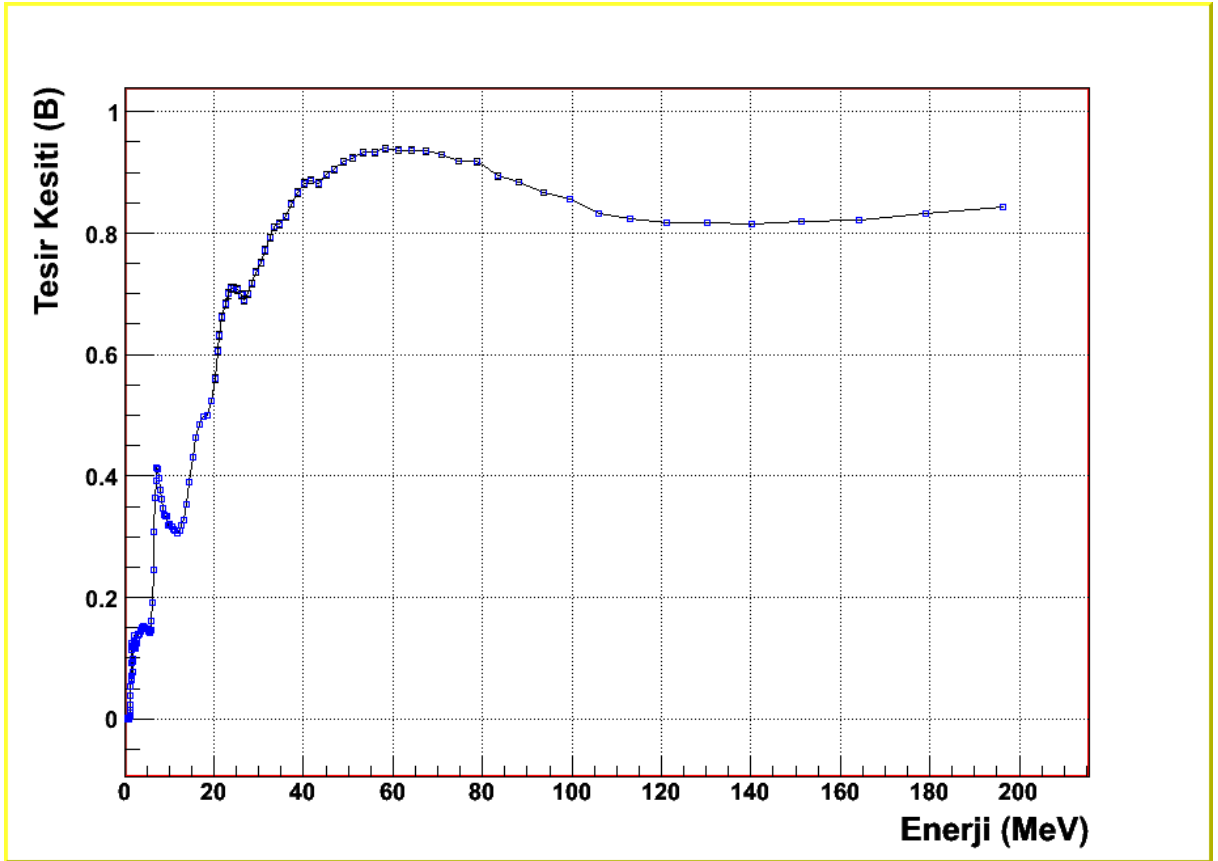
Ek 1 Th Genel Bilgiler

- Elektronik Özellikleri
 - Kabuklar : 2,8,18,32,18,10,
 - Yörüngeleri : $6d^2, 7s^2$
 - 1. İyonizasyon Potansiyeli : 6.08 eV
 - 2. İyonizasyon Potansiyeli : 11.504eV
 - 3. İyonizasyon Potansiyeli : 20.003eV
- Termal Özellikleri
 - Erime Noktası : 1750 °C
 - Kaynama Noktası : 4000 °C
 - Özgül Isısı : 0.12 J/g K
 - Fisyon Isısı : 16.10 kJ/mol
 - Buharlaştırma Isısı : 514.40 kJ/mol
 - Isıl İletkenliği : 0.540
- Şekilsel Özellikleri
 - İyon YarıÇapı : 1.05 Å
 - Kovalent YarıÇapı : 1.65 Å
 - Atomik Hacmi : 19.9 cm³/mol
 - Yoğunluğu (293 K) : 11.7 g/ cm³
 - Kristal Yapısı : Yüzey Merkezli Kübik (FCC)

Çizelge Ek 1.1 Thoryum izotopları

Ana Çekirdek	J π	T _{1/2}	Bozunma Türü	GS-GS Q-değeri(keV)	Kız Çekirdek
²⁰⁹ ₉₀ Th	(13/2+)	3.8ms+69-15	α	823851	²⁰⁵ ₈₈ Ra
²¹⁰ ₉₀ Th	0+	9ms+17-4	α :%99	805317	²⁰⁶ ₈₈ Ra
²¹³ ₉₀ Th		140ms25	α :%100	783910	²⁰⁹ ₈₈ Ra
²¹⁵ ₉₀ Th	(1/2-)	1.2s2	α :%100	76656	²¹¹ ₈₈ Ra
²¹⁶ ₉₀ Th	(8+,11-)	180 μ S40	α :%3	80716	²¹² ₈₈ Ra
²¹⁶ ₉₀ Th	0+	26.0ms15	α	80716	²¹² ₈₈ Ra
²¹⁷ ₉₀ Th		0.252ms7	α :%100	942410	²¹³ ₈₈ Ra

Ana Çekirdek	$J\pi$	$T_{1/2}$	Bozunma Türü	GS-GS Q-değeri(keV)	Kız Çekirdek
$^{218}_{90}\text{Th}$	0+	109ns 13	α :%100	98499	$^{214}_{88}\text{Ra}$
$^{219}_{90}\text{Th}$		1.05 μ S 3	α :%100	951050	$^{215}_{88}\text{Ra}$
$^{221}_{90}\text{Th}$	(7/2+)	1.73ms 3	α :%100	86285	$^{217}_{88}\text{Ra}$
$^{222}_{90}\text{Th}$	0+	2.8ms 3	α :%100	81296	$^{218}_{88}\text{Ra}$
$^{223}_{90}\text{Th}$	(5/2)+	0.60s 2	α :%100	75674	$^{219}_{88}\text{Ra}$
$^{224}_{90}\text{Th}$	0+	1.05s 2	α :%100	73047	$^{220}_{88}\text{Ra}$
$^{225}_{90}\text{Th}$	3/2+	8.72m 4	α :%90	69205	$^{221}_{88}\text{Ra}$
$^{226}_{90}\text{Th}$	0+	30.57m 10	α :%100	6451.5 10	$^{222}_{88}\text{Ra}$
$^{227}_{90}\text{Th}$	(1/2+)	18.68d 9	α :%100	6146.43 15	$^{223}_{88}\text{Ra}$
$^{228}_{90}\text{Th}$	0+	1.912y 2	α :%100	5520.1222	$^{224}_{88}\text{Ra}$
$^{229}_{90}\text{Th}$	5/2+	7340y 160	α :%100	5168.1 12	$^{225}_{88}\text{Ra}$
$^{230}_{90}\text{Th}$	0+	7.538E+4y 30	α :%100	4770.0 15	$^{226}_{88}\text{Ra}$
$^{231}_{90}\text{Th}$	5/2+	25.52h 1	β^- :%100	389.5 17	$^{231}_{91}\text{Pa}$
$^{232}_{90}\text{Th}$	0+	14.05E+9y 6	α :%100	4082.8 14	$^{228}_{88}\text{Ra}$
$^{233}_{90}\text{Th}$	1/2+	22.3m 1	β^- :%100	1243.1 14	$^{233}_{91}\text{Pa}$
$^{234}_{90}\text{Th}$	0+	24.10d 3	β^- :%100	2705	$^{234}_{91}\text{Pa}$
$^{235}_{90}\text{Th}$	(1/2+)	7.1m 2	β^- :%100	193070	$^{235}_{91}\text{Pa}$
$^{236}_{90}\text{Th}$	0+	37.5m 2	β^- :%100	1000SY	$^{236}_{91}\text{Pa}$

Ek 3 Th(n,f) Tesir Kesiti

Şekil Ek 3.1 5.77keV-196MeV enerji aralığında Th(n,f) tesir kesiti (Shcherbakov vd, 2001)

Ek 4 CAMAC

CAMAC hemen hemen tüm nükleer fizik laboratuvarları ve pek çok endüstriyel alanda kullanılan bir modüler sistemdir. Amerikan NIM ve Avrupa ESONE komitelerinin standartlarının bir birleşimidir.

Temel kullanımı veri toplama olmakla beraber uzaktan programlanabilir tetikleme mantıksal uygulamalar içinde kullanılabilir. CAMAC standartları, modüller, modül panoları ve pano beslemeleri için elektriksel ve fiziksel özellikleri belirler. Her bir bağımsız pano bir kontrolör tarafından kontrol edilir. Panolar birbirlerine paralel bağlanabileceği gibi dallar halindeki yapılar küme sürücüler aracılığıyla oluşturulabilir. Bunların yanı sıra lokal fiber optik ağlara 500 m mesafe içinde 62 adet pano 45 Mbyte/s veri transfer hızı ile bağlanabilir.

CAMAC' ın fonksiyonu VERİYOLU denilen standart bir pano arka-planı üzerinde pek çok elektronik modülün bir ara-yüz üzerinde toplanmasıdır. Modüllerin yerleştirildiği bu pano üzerinde 1 ile 25 arasında numaralanmış 25 adet istasyon bulunur. 25 numaralı istasyon en sağdadır ve CAMAC kontrolörlü için ayrılmıştır. 1 ile 24 arasındaki raflar diğer fonksiyonel modüllere aittir. (pek çok kontrolör çift genişlikte üretildiğinden genellikle 24 numaralı istasyon da kontrolör tarafından kullanılır.)

Modül beslemesi, adres, kontrol ve veri yolları VERİYOLU tarafından sağlanır. Tipik bir VERİYOLU işleminde pano kontrolörü istasyon numarası (N), alt adres (A) ve fonksiyon kodundan (F) oluşan bir CAMAC KOMUTU yollar. Cevap olarak modül, geçerli komut kabul edildi (X) cevabı yollar ve komut doğrultusunda çalışmaya başlar. Eğer komut veri transferi gerektiriyorsa, oku (R) veya yaz (W) hatları kullanılır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta oku ve yaz komutlarının modüle değil kontrolöre uygulanmasıdır. Bu işlemler iki zamanlama sinyali tarafından kontrol edilir.

İstasyon Numarası

Her normal istasyon, kontrol istasyonu tarafından ayrı bir uçla gönderilen bağımsız bir sinyalle istasyon numarası hattında (N) adreslenir. Panoya önden bakıldığında en solda kalan istasyon 1 numaralı istasyon olmak üzere istasyonlar onluk tabanda numaralandırılırlar.

Alt Adres (A8, A4, A2, A1)

Bir modülün farklı parçaları dört A hattındaki sinyallerle adreslenir. Bu sinyal modül içinde dekod edilerek 0 ile 15 arasındaki 16 alt adresten birinin seçilmesi sağlanır.

Fonksiyon (F16, F8, F4, F2, F1)

Seçilen modül veya modüllerin belirtilen alt adreslerindeki fonksiyonların işlenmesi F veri yolu üzerindeki beş hat ile sağlanır. 0 ile 31 arasında numaralanmış bu 32 fonksiyonu içeren sinyal modül içinde yorumlanır.

STROBE Sinyalleri (S1, S2)

Veri yollarını ayırmak için iki adet tetik sinyali üretilir. Bu sinyaller yerleştirilen modüllerin VERİYOLU üzerinde birbiri ile haberleşmesi veya modüller içindeki operasyonların hazırlanması için kullanılır. Her iki durumda da yapılacak işlem VERİYOLU' ndaki KOMUT tarafından belirlenir. S1 sinyali VERİYOLU zerindeki sinyallerin durumunu değiştirmeyecek eylemlerde kullanılır. Bir okuma veya yazma işlemi gerçekleştiren modüller bu işlemi S1 sinyaline cevaben yaparlar. S2 sinyali ise VERİYOLU zerindeki sinyallerin durumunu değiştirecek, örneğin, ıkışı VERİYOLU' na bağlı bir belleğin temizlenmesi gibi eylemlerde kullanılır.

Veri

Seçilen modül ile kontrolör arasında 24 bit veri paralel olarak transfer edilebilir. Her iki yöndeki transfer için bağımsız okuma ve yazma hatları vardır. Herhangi bir yazma işlemi öncesinde kontrolör veya veri kaynağı W hattı üzerine sinyalleri gönderir. W sinyalleri S1 sinyalinden önce kararlı bir duruma ulaşır ve S2 tarafından değiştirilmediği takdirde işlem sonuna kadar kararlı yapıda kalırlar. Aynı prosedür R hattı üzerinde yapılan okuma işlemleri içinde geçerlidir.

Durum Bilgisi

Durum bilgisi Benimle İlgilen (L), Meşgul (B), Komut Kabul Edildi (X) ve Cavap (Q) hatlarında taşınır.

Benimle İlgilen (L): N hattı gibi L hattıda VERİYOLU üzerinde her bir istasyon için bağımsız olarak bulunur ve bir B sinyalinin olmaması durumunda panoya bağlı normal cihazların kontrolörden ilgi istemesini sağlar. Eğer VERİYOLU' nda B sinyali varsa L sinyali onu üreten modül tarafından yok edilir.

Meşgul (B): VERİYOLU zerindeki komut veya ortak kontrol işlemleri süresince sistemin belli kısımlarını kilitlemek için kullanılır. Komut Kabul Edildi (X): Adreslenmiş bir modül bir komut aldığında X=1 sinyali üretmek zorundadır.

Cavap (Q): VERİYOLU işlemleri esnasında bir modülün seçilen özelliğinin (fonksiyonunun) durumu hakkında bilgi sağlamak için kullanılır. Tüm okuma ve yazma işlemleri süresince Q hattı komut alındıktan S2 sinyaline kadar geçen süre içinde sabit kalır. Diğer işlemlerde ise her hangi bir zamanda değişebilir.

Ortak Kontroller

Ortak kontrol sinyalleri herhangi bir adreslendirme komutu gerektirmeksizin tüm modüller üzerine etki eden sinyallerdir. Bu sinyaller Hazırla (Z), Dondur (I), Temizle (C) sinyalleridir ve herhangi bir istenmeyen durumu engellemek için Z ve C sinyallerine S2 tetiği eşlik etmelidir.

Hazırla (Z): Z sinyali diğer tüm sinyal ve kontrollerden önceliklidir. Tüm birimleri ister veri ister kontrol oldun tüm kayıt belleklerini sıfırlar ve L sinyallerini yok eder ve durdurur. Z sinyali üreten tüm birimler buna bir S2 tetiği ve B sinyali eşlik ettirmelidirler.

Dondur (I): Bu sinyalin varlığı tüm aktiviteyi durdurur. B sinyali varken ya değiştirilmemelidir yada 200 ns' den daha az olmayan çıkış ve iniş zamanına sahip olmalıdır.

Temizle (C): Bu komut tüm kayıt belleklerini temizler.

Yukarıda belirtilen bu komut ve kontrollerin VERİYOLU üzerindeki yerleşimi Çizelge Ek 4.1 de verilmiştir.

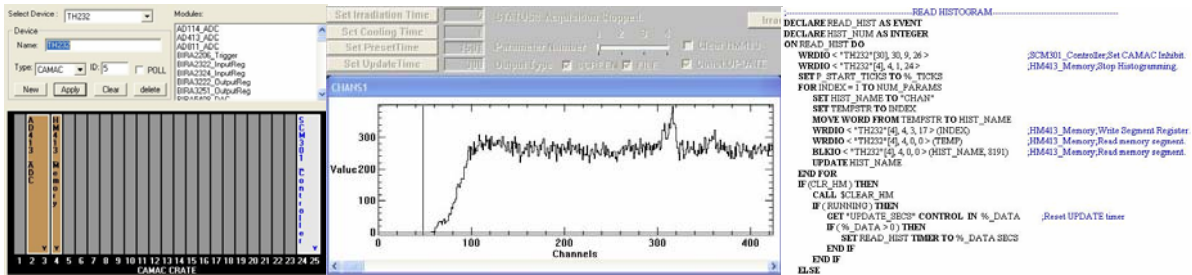
Çizelge Ek 4.1 CAMAC VERİYOLU fonksiyon kodları

15-12	11	10	9	8	7-4	3	2	1	0
Kontrol Komutları					Okuma Komutları				
N/U	C G ₂	CL	C G ₁	L	N/U	R $\overline{G}_1$	RC G ₁	R G ₂	R G ₁
31-28	27	26	25	24	23-20	19	18	17	16
Kontrol Komutları					Yazma Komutları				
N/U	Status	Enb	++Reg	Dis	N/U	W _S G ₂	W _S G ₁	W G ₂	W G ₁

Ek 5 SPARROW KmaxNT

Sparrow firması tarafından geliştirilen KmaxNT, veri toplama ve kontrol uygulamaları geliştirmek için tasarlanmış genel amaçlı bir yazılım sistemidir. Pek çok sayıda grafik kullanıcı-arayüz araçları, endüstri standartlarındaki modüler aygıtlar için yüksek seviyeli destek, güçlü bir yazılım dili, ticari olarak bulunan ara-yüzler için sürücüler, harici kod uzantıları için bağlantılar, çok parametrelili veri yönetimi, olay dosyası sıralama ve tekrar gösterimi ve histogram gösterim ve analiz araçları içerir. Program tasarım ve çalışma olarak iki moda sahiptir.

Tasarım modunda; modüler aygıtların yerleşimi, grafik ara-yüz tasarımı, kod yazım ekranı bulunmaktadır. Birinci ekran, endüstri standartlarındaki cihazların CAMAC modülü üzerindeki fiziksel dizilişini, aynı sıralama ile tekrarlandığı ve sürücülerinin tanımlandığı aygıt ekranıdır. İkinci ekranda, tanımları yapılan bu cihazlarla ilgili komut düğmeleri, ayar giriş/çıkış kutuları, veri gösterim nesneleri gibi görsel bağlantıların grafik olarak sağlandığı uygulama ekranıdır. Üçüncü ekran ise program kodunun yazıldığı metin ekranıdır.



Şekil Ek 5.1 KmaxNT tasarım ve yazılım ekranları

Tipik bir veri toplama uygulamasında, veri dış sensorlar ve elektronikte oluşur. Bu analog sinyal önceden belirtilen kıstaslara göre dış elektronik düzenekte test edilir ve analog-dijital dönüşüm yapılır. Kıstaslara uyan böyle bir olay algılandığında bilgi kontrol elektroniğine iletilir. Kontrol yazılımı bu sinyali algıladığında veriyi donanımdan okur ve bilgisayara transfer edilir. Bu işlemler eşzamanlı olarak gerçekleşir. Okunan bu bilgi olay kaydı denir ve bir veya birden fazla parametreye ait bilgiyi içerebilir. KmaxNT yazılımının bu işlemleri gerçekleştirmek için “WRDIO”, “BLKIO” ve “BUFIO” komutlarını kullanır. Bu okuma işlemi kullanıcının görsel ara-yüzde bir tuşa basması ile yapılabileceği gibi zamanlama kontrolleri kullanılarak belli aralıklarla otomatik olarak da gerçekleştirilebilir. Bunun yanı sıra dış elektroniğin talebiyle de okuma işlemi gerçekleştirilebilir.

KmaxNT programı içinde uygulama ekranı tasarımı yapmakta kullanılan 22 kontrol

bulunmaktadır. Bu kontrollerin çalışma zamanında işlevlerini düzenlemek için 136 kelimelik bir dil kullanılır. Bu dil 4 değişken türü, 6 ön tanımlı olay, 13 ön tanımlı değişken, 7 sadece okunabilir ve sadece yazılabilir bellek, 10 matematik operatör, 19 matematik işlem ve 87 komuttan oluşmaktadır.

Yazılımın kullanılabilir değişken veya olay tanımı açısından bir sınırı olmamakla birlikte iç içe yapılabilecek tanımlamaları sınırlıdır, bu sınırlar Çizelge Ek 5.1 ve Çizelge Ek 5.2’ de verilmiştir.

Çizelge Ek 5.1 Komut sınırları

Komut	Sınır
İç içe Çağrı	128
İç içe Karar	128
İç içe Döngü	128
Toplam Değişken Dizi Boyutu	32.000
Metin Ekranı Komut Sayısı	32.000
Metin Kutusu Karakter Boyutu	32.000
Metin Uzunluğu	255

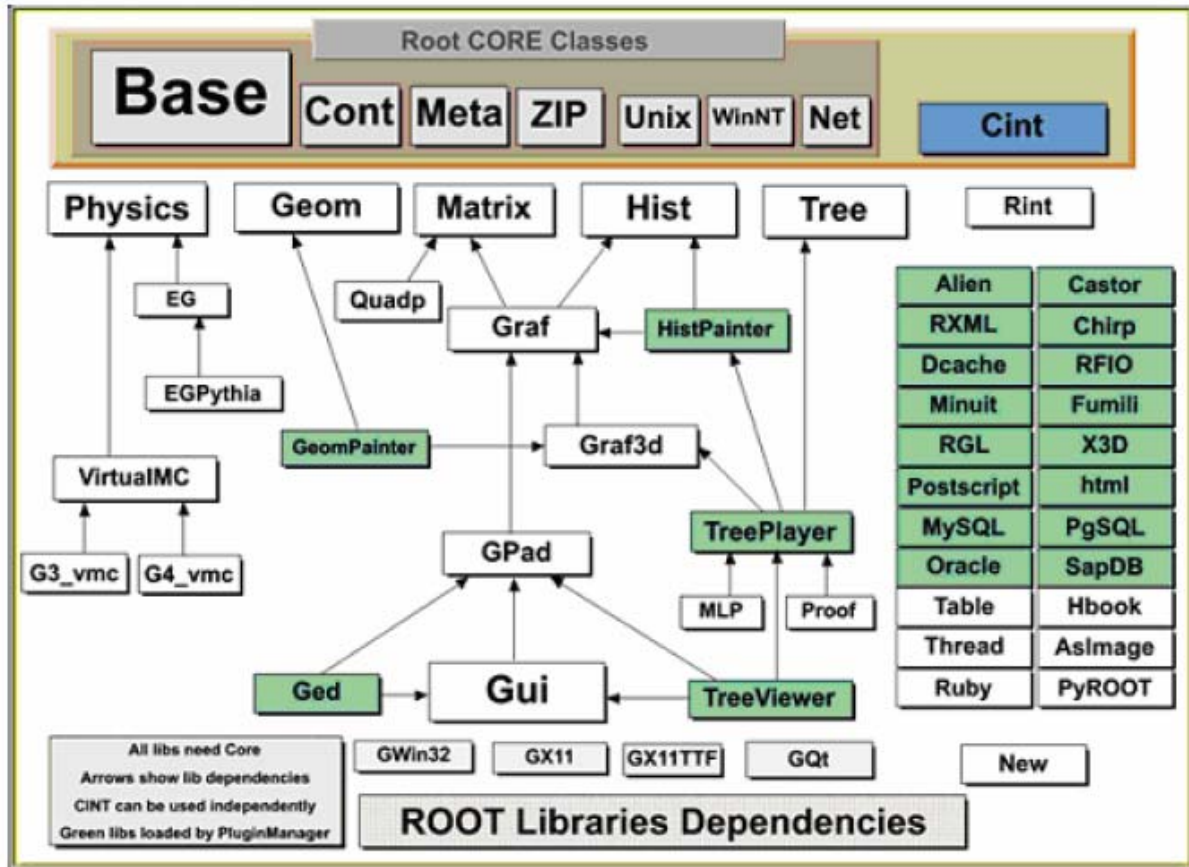
Çizelge Ek 5.2 Nesne sınırları

Nesne Türü	Sınır
Araç Çubuğu Kontrolleri	Sınırsız
1-B Histogram/Sıralama Kanalları	32.768
2-B Histogram/Sıralama Kanalları	4.000.000
1-B / 2-B Bölgeleri	Sınırsız
1-B / 2-B İşaretçileri	Sınırsız
2-B Bölge Noktaları	Sınırsız

Ek 6 ROOT

ROOT 1994 yılında, yeni nesne tabanlı programlama tekniklerinin bilimsel anlamda kullanılabilirliğini sağlamak üzere CERN’ de yazılmaya başlanmış ve 1995’in sonunda ilk sürümü yayınlanmıştır. Şu anda tüm yüksek enerji ve nükleer fizik laboratuvarlarında veri izlemek, saklamak ve incelemek için kullanılmaktadır.

ROOT Komut Satırı Yorumlayıcısı, Histogram ve Eğri Uydurma, Grafik Kullanıcı Ara-yüzü Araçları, İki Boyutlu Grafikler, Giriş/Çıkış, Koleksiyon Sınıfları, Kod Metni İşlemcisi gibi çokça kullanılan özelliklerin yanı sıra Üç Boyutlu Grafikler, Paralel İşleme (PROOF), Çalışma Zamanı Tip Tanımlama (RTTI), Soket ve Ağ İletişimi, İş Parçacıkları gibi daha az kullanılan özellikleri destekler. (Brun R. Vd.,2005,2004)



Şekil Ek 6.1 ROOT çekirdek sınıfları

ROOT' Kodlama Karşılıkları

- Sınıflar “T” ile başlar : TLine, TTree
- Sınıf olmayan türler “_t” ile biter : Int_t
- Veri üyeleri “f” ile başlar : fTree
- Üye fonksiyonlar büyük harf ile başlar : Loop()
- Sabitler “k” ile başlar : kInitialSize, kRed
- Genel değişkenler “g” ile başlar : gEnv
- Statik veri üyeleri “fg” ile başlar : fgTokenClient
- Enumerasyon türleri “E” ile başlar : EColorLevel
- Yereller ve parametreler küçük harf ile başlar : nbytes
- Alma/Atama komutları “Get” ve “Set” ile başlar : SetLast(), GetFirst()

ROOT' Sınıfları

ROOT 108 Temel sınıf ve 681 sınıftan oluşan bir pakettir. Hemen hemen tüm sınıflar TObject sınıfından kalıtım ile türetilmiştir. Bu sınıf, ROOT içindeki diğer tüm nesnelere temel davranış ve protokol kazandırdığından sistemin bir bütün halinde çalışmasını sağlar. Bu sınıf aracılığıyla; Nesne I/O (Read(), Write()), Hata Ayıklama (Warning(), Error(), SysError(), Fatal()), Sıralama (IsSortable(), Compare(), IsEqual(), Hash()) , Araştırma (Dump(), Inspect()), Baskı (Print()), Çizim (Draw(), Paint(), ExecuteEvent()), Bit İşlemleri (SetBit(), TestBit()), Hafıza Tahsisi (operator new and delete, IsOnHeap()), Tür bilgisine Erişim (IsA(), InheritsFrom()), Nesne Arama (Browse(), IsFolder()) gibi işlemler gerçekleştirilir.

ROOT sınıflarını işlevsel olarak 4 başlık altında toplayabiliriz. Bunlar, görsel ara-yüz sağlayan TCanvas, TPad gibi taşıyıcı sınıflar, TH1, TH2, TGarph, TGraphErrors gibi histogram ve grafik sınıfları, TMath, TMatrix, TArray, TMinuit, TFormula gibi matematik sınıfları, TStyle, TMarker, TAxis gibi yardımcı sınıflar ve TObject, TDirectory, TSystem gibi Giriş/Çıkış ve sistem sınıflarıdır. Bununla beraber TObject temel sınıfı kullanılarak kullanıcı sınıfları da sisteme entegre edilebilir.

Ek 7 Deneyde kullanılan Cihazların Teknik Özellikleri

Dedektör : GMX-10180-P

Ölçüm Aralığı	: 3-2000 keV
Aktif Alan	: 60 cm ²
Röletif TET Verimi	: %10
Çözünürlük	: 5.9 keV FWHM 0.665 keV 1.33 MeV FWHM 1.8 keV
TET Compton Oranı	: 40 : 1

NIM MODÜLLERİ

Yükseltici : ORTEC 973 High Rate Spectroscopy Amplifier

Z ₀	: 93 Ω
Kazanç	: x1.25-375
Sıcaklık Katsayısı	: Kazanç : < ± 0.007 (% / °C) DC : < ± 7,5 (μV/ °C)
Toplam nonlinearite	: 0-10 v çıkış için < ± 0.05 (%)

Pulser : ORTEC

CAMAC MODÜLLERİ

Kontrolör : SPARROW SCM-301 SCSI Crate Controller

ADC : ORTEC AD413A CAMAC Quad 8k ADC

Çalışma Özellikleri	: FERAbus veya CAMAC üzerinden okuma, sıfır ve taşma koruması, master gate veya bağımsız gate, tekil veya coincidence modu
Analog Giriş	: 0 +10V aralığında 4 adet
Çözünürlük	: 8064 kanal (1.25 mV/kanal)
Çevrim Zamanı	: 6 μs/ giriş (5 μs çevrim için 1 μs mux ayar zamanı), FERAbus okuması 100 ns/kelime
İntegral nonlinearite	: dinamik menzilin %99' unda %±0.025 az
Diferansiyel nonlinearite	: dinamik menzilin %99' unda %±1 az
Sıcaklık Katsayısı	: Kazanç : < 50 ppm / °C Zero Offset : < 50 ppm/ °C
LLD	: 0-512 mV (2mV/bit)
HLD	: +10.2 V

Hafıza : ORTEC CAMAC FERAbus Histogramming Memory

Hafıza Büyüklüğü : 32768 kanal

Hafıza Kapasitesi : 24 bit (16,777,215 sayım/kanal)

Hafıza Kurulumu : CAMAC komutları ile seçilen 2x16,384 kanal, 4x8192 kanal,
8x4096 kanal, 16x2048 kanal, 32x1024 kanal

FERAbus transfer Hızı : 100 ns/kelime

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 21.10.1971

Doğum yeri İstanbul

Lise 1982-1989 Kadıköy Anadolu Lisesi

Lisans 1989-1995 Yıldız Üniversitesi Fen-Ed Fak.
Fizik Lisans Bölümü

Yüksek Lisans 1995-1998 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı, Fizik Programı

Doktora 1998-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı, Fizik Programı

Çalıştığı kurum(lar)

1996-Devam ediyor YTÜ Fen-Ed Fak. Fizik Bölümü Araştırma Görevlisi