

TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU
ÇEKMECE NÜKLEER ARAŞTIRMA VE EĞİTİM MERKEZİ

Ç.N.A.E.M. - A.R- 252

ALÇAK ENERJİLİ BİR İYON HIZLANDIRICISINDA NÖTRON
ENERJİSİNİN Zr/Nb AKTİVASYONU YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

N. Erduran , M. Subaşı , M. Bostan , S. Dökmen ,
H. Atasoy , C. Özbaylı ve A. Ercan

Fizik Bölümü

Eylül 1988

P. K. 1, Hava Alanı, İstanbul



TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU
ÇEKMECE NÜKLEER ARAŞTIRMA VE EĞİTİM MERKEZİ

Ç.N.A.E.M. - A.R- 252

**ALÇAK ENERJİLİ BİR İYON HIZLANDIRICISINDA NÖTRON
ENERJİSİNİN Zr/Nb AKTİVASYONU YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ**

**N. Erduran , M. Subaşı, M. Bostan , S. Dökmen ,
H. Atasoy, C. Özbaylı ve A. Ercan**

Fizik Bölümü

Eylül 1988

P. K. 1, Hava Alanı, İstanbul

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
1. Giriş	1
2. Deneysel Yöntem	2
3. Ortalama nötron Enerjisi ve Nötron Enerjisindeki Yayılmanın Hesabı ...	4
4. Sonuç ve Yorumlar	5
Kaynaklar	6

ALÇAK ENERJİLİ BİR İYON HIZLANDIRICISINDA NÖTRON ENERJİSİNİN
Zr/Nb AKTİVASYONU YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

N. Erduran, M. Subaşı, M. Bostan, S. Dökmen, H. Atasoy,
C. Özbaylı ve A. Ercan

Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
Fizik Bölümü, PK.1 34831 Havaalanı-İstanbul

Özet

CNAEM Fizik Bölümünün SAMES T-400 alçak enerjili iyon hızlandırıcısıyla ${}^3\text{H}(d,n){}^4\text{He}$ tepkileşimi sonucu üretilen nötronların ışınlama bölgesindeki ortalama enerjileri, ${}^{90}\text{Zr}(n,2n)/{}^{93}\text{Nb}(n,2n)$ tepkileşim kesitlerinin oranlanması yöntemiyle ölçüldü. Ek olarak, hızlandırılan döteron huzmesinin atomik ve moleküler bileşenlerden oluşmasını, döteronların Titanyum-Tritiyum hedef içindeki yavaşlamalarını, döteron huzme kesitini ve ışınlanan örnek boyutlarını içeren basit bir modelle, ortalama nötron enerjisi ve bu enerjideki yayılma hesaplandı. Ölçüm ve hesaplama sonuçlarının tutarlı oldukları görüldü.

DETERMINATION OF THE NEUTRON ENERGY BY THE Zr/Nb ACTIVATION
METHOD FOR A LOW-ENERGY ION ACCELERATOR

Abstract

The method of ${}^{90}\text{Zr}(n,2n)/{}^{93}\text{Nb}(n,2n)$ cross-section ratio was utilized and the average energy of neutrons from ${}^3\text{H}(d,n){}^4\text{He}$ reactions was measured at the sample irradiation position of the CNAEM Physics Department SAMES T-400 low-energy ion accelerator. Additionally, a simple model was utilized and the average neutron energy and its spread were calculated. In this model, atomic and molecular composition of the deuteron beam, energy loss of the deuterons in the target material, the deuteron beam size and the irradiated sample geometry were taken into consideration. A good agreement with the measurement was obtained.

1.GİRİŞ

Fuzyon reaktörlerinde kullanılması düşünülen çeşitli malzeme için, özellikle hızlı nötron tepkileşim kesitlerinin doğru ve duyarlı olarak bilinmesine gerek duyulmaktadır [1]. Değişik laboratuvarlarda ve değişik zamanlarda 14 MeV enerjili nötronlarla gerçekleştirilen tepkileşim kesiti ölçümlerinin sonuçlarında tutarsızlıklar gözlenmektedir. Bu tutarsızlıkların, deneysel hatalardan çok, nötron enerjisi ve akısının belirlenmesinde yapılan sistematik hatalardan kaynaklandığını söyleyebiliriz [2]. Literatürde verilen çelişkili tepkileşim kesitlerinin bazılarını açıklık getirmek ve diğer bazı nükleer data boşluklarını doldurmak amacıyla başlatılan nükleer data ölçümleri programı çerçevesinde, ön çalışma olarak ÇNAEM Fizik Bölümünün SAMES T-400 iyon hızlandırıcısıyla üretilen nötronların ışınlama bölgesindeki ortalama enerjileri ölçülerek belirlenmiştir.

2.DENEYSEL YÖNTEM.

SAMES T-400 alçak enerjili iyon hızlandırıcısıyla, analiz edilmemiş döteron huzmesi (%80 Atomik, %20 Moleküler) 200 kV terminal voltajı altında hızlandırılmış ve trityum hedef dövülerek, ${}^3\text{H}(d,n){}^4\text{He}$ tepkileşimi sonucu enerjileri 14 - 15 MeV arasında nötronlar üretilmiştir. Deneylerde kullanılan hedef odası Şekil.1 de gösterilmiştir. Nötron üreten hedef, kalınlığı 1 mm. , çapı 49 mm. olan bakır bir disk üzerine kaplanmış 1.09 mg/cm² kalınlığında titanyum tabakadan oluşmaktadır. Bu tabakaya 0.78 Ci/cm² aktivitesi olan Trityum emdirilmiş olduğu yapımçı firmanın verdiği bilgiden anlaşılmaktadır [3].

Deney sonuçlarının sağlıklı olması bakımından huzme izinin hedef üzerindeki yerinin tam bilinmesi önemlidir. Döteron huzmesinin hedef üzerindeki konumu, boş hedef diskinin uzun süre dövülmesi sonucu oluşan iz yardımıyla belirlenmiştir. Buna göre döteron huzmesinin çapı 12(1) mm. olup merkezi, hedef diskinin merkezinden 7 mm. lik bir sapma göstermektedir. Bu sapma, hedefin daha ekonomik bir şekilde uzun süre kullanılmasını sağlayan bir avantaj olarak görüldüğünden öylece bırakılmıştır. Buna karşın, örnek transfer sisteminde ayarlamalar yapılarak, ışınlanacak olan silindir şeklindeki örneğin merkezi ile huzme merkezinin üstüste çakıştırılması yoluna gidilmiştir.

Bu çalışmada nötron enerjisinin belirlenmesi için $^{90}\text{Zr}(n,2n)^{89}\text{Zr}$ ve $^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92}\text{Nb}$ uyarma fonksiyonlarından yararlanılmıştır. Bu tepkileşim kesitleri Şekil. 2a da gösterildiği gibi 13-16 MeV aralığında çok iyi bilinmektedir [4,5]. $^{90}\text{Zr}(n,2n)$ tepkileşim eşik enerjisinden yaklaşık 2 MeV daha küçük eşik enerjisi olan $^{93}\text{Nb}(n,2n)$ uyarma fonksiyonu 13-16 MeV enerji aralığında çok yavaş bir değişme gösterirken $^{90}\text{Zr}(n,2n)$ tepkileşimi için hızlı bir değişim görülmektedir.

Her iki tepkileşim kesitlerinin oranının enerjiye bağımlılığı (Şekil 2b.), deneysel oranlarla karşılaştırılarak nötron enerjisi belirlenebilir. Bunun için saflık dereceleri (>0.999) ve ağırlıkları çok iyi bilinen toz halinde ZrO_2 ve Nb, dolgu maddesi olarak kullanılan selüloz içinde homojen bir karışım haline getirilmiş ve bu karışımdan 13.0(5) mm. çapında ve yaklaşık 1.5 mm. kalınlığında peletler hazırlanmıştır. Bu peletlerden 5 tanesi polietilen ısınlama kabına yerleştirilerek Şekil.1 de gösterilen ısınlama geometrisinde ısınlanmışlardır. ısınlama 23 dakika süreyle 200 KeV ve 0.1 mA lik döteron huzmesiyle Titanyum - Tritiyum (TiT) hedefin dövülmesi sonucu $^3\text{H}(d,n)^4\text{He}$ tepkileşiminden oluşan nötronlarla yapılmıştır.

ısınlama sırasında nötron akı değişimlerinin gözlenmesi amacıyla, hızlandırıcının bulunduğu oda içine, bir plâstik pırıltı sayıcısı ve bir BF3 lü uzun sayıcı yerleştirilmiştir. ısınlama ve sayımlar süresince kullanılan dedektörler ve onlarla ilgili elektronik birimler blok diyagram olarak Şekil.3 de gösterilmiştir.

$^{90}\text{Zr}(n,2n)^{89}\text{Zr}$ ve $^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92}\text{Nb}$ tepkileşimleri sonucu oluşan çekirdeklerin bozunum şemaları [6] ana çizgileri ile Şekil.4 de gösterilmektedir. Tepkileşim ürünü her iki çekirdeğin yarılanma-ömürleri oldukça uzun olduğundan, ısınlanmış örneklerin ardarda sayımları kolayca yapılabilir.

Çok iyi bilinen aktivasyon bağıntısıyla, ortalama tepkileşim kesiti şöyle ifade edilebilir.

$$\langle \sigma \rangle = \frac{P(E)}{G \cdot (N/A) \cdot h \cdot \bar{\phi} \cdot Z \cdot f \cdot \Omega \cdot \epsilon(E)} \quad (1)$$

Bu bağıntıda

$$Z = 1/\lambda \cdot (1 - e^{-\lambda T_1}) \cdot e^{-\lambda T_2} \cdot (1 - e^{-\lambda T_3})$$

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$$

- $T_{1/2}$: Yarılanma-ömrü (s)
 T_i : Işınlama süresi (s)
 T_b : Bekleme süresi (s)
 T_s : Sayım süresi (s)
 $P(E)$: Ölü-zaman düzeltmesi yapılmış spekturumda E enerjili foto-pik altındaki net sayım
 G : Işınlanan örnek içinde elementin net ağırlığı
 N : Avogadro sayısı ($6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)
 A : Atomik Ağırlık (g/mol)
 h : Işınlanan elementin içinde tepkileşime giren izotopun doğal bolluğu
 ξ : Işınlanan örnek hacmi içinde ortalama nötron akısı (nötron/s.cm²)
 f : E enerjili fotonların toplam bozunumundaki oranı
 Ω : Işınlanan örnek hacmi içinde foton soğurulmasını da içeren sayım katı açısı [7]
 $\epsilon(E)$: E enerjisindeki fotonlar için sayım sisteminin foto-elektrik verimi [8]

olarak kullanılmışlardır.

Yukarıda sözedildiği ve Şekil 2b. de gösterildiği gibi, 13 - 16 MeV enerji aralığında $^{90}\text{Zr}(n,2n)$ ve $^{93}\text{Nb}(n,2n)$ uyarılma fonksiyonlarından yararlanarak tepkileşim kesitlerinin oranı

$$R = \sigma\{^{90}\text{Zr}(n,2n)^{89}\text{Zr}\} / \sigma\{^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92m}\text{Nb}\} \quad (2)$$

oluşturulabilir. Bu ifade , 909 keV (Zr) ve 934 keV (Nb) gama çizgileri için

$$R = \frac{P(909) \cdot G(\text{Nb}) \cdot A(\text{Zr}) \cdot h(^{93}\text{Nb}) \cdot Z(^{92m}\text{Nb}) \cdot f(934) \cdot \epsilon(934)}{P(934) \cdot G(\text{Zr}) \cdot A(\text{Nb}) \cdot h(^{90}\text{Zr}) \cdot Z(^{89}\text{Zr}) \cdot f(909) \cdot \epsilon(909)} \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Bu eşitlikte ki f değerleri kaynak [6] dan, yarılanma-ömrüleri, atomik ağırlıklar ve izotopik bolluklar ise kaynak [9] dan alınmışlardır.

Topluca ışınlanan 5 peletin gamma aktiviteleri teker teker aynı geometride sayılmış ve birbirine çok yakın sonuçlarla ortalama oran olarak $\langle R \rangle = 1.5556(253)$ bulunmuştur.

Kaynak [4] ve [5] den alınan deneysel tepkileşim kesit oranlarının 13.5 - 15.5 MeV nötron enerji aralığında enerjiye olan bağımlılığı, 2. dereceden bir fonksiyonla

$$E_n = 0.3456 R^2 + 0.752 R + 12.55 \text{ (MeV)} \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu ifadeden, merkezi trityum hedeften 11 mm. uzakta olan 13.0(5) mm. çapında ve 8.0(5) mm. kalınlığındaki polietilen ışınlama kabı içinde ortalama nötron enerjisi

$$\langle E_n \rangle = 14.6 \text{ (2) MeV}$$

olarak bulunmaktadır. Burada nötron enerjisindeki ± 200 keV belirsizlik, deneysel belirsizlikler yanında referans [4] ve [5] den alınan tepkileşim kesitlerindeki belirsizlikler de gözönünde tutularak verilmiştir.

3. ORTALAMA NÖTRON ENERJİSİ VE NÖTRON ENERJİSİNDEKİ YAYILMANIN HESAPLANMASI.

Deneysel nötron tepkileşim dasetasının analizinde ortalama nötron enerjisi kadar nötron enerjisindeki yayılma da (energy spread) bilinmeli ve data değerlendirmelerinde dikkate alınmalıdır. Bu yayılma, tepkileşime giren döteronların enerjisiyle, TiT hedef içindeki trityum dağılımı ve örnek ışınlama geometrisiyle yakından ilgilidir. Ortalama nötron enerjisi ve bu enerjideki yayılma, Şekil 1. de gösterilen hedef odası ve örnek ışınlama geometrisi esas alınarak tasarlanmış bir model çerçevesinde hesaplanmıştır.

Bu modeldeki varsayımlar:

- Huzme % 80 atomik, % 20 moleküler döteronlardan oluşmakta [3] ve huzme çapı 12 mm. dir.
- Hızlandırılan döteronların enerjileri atomikler için 200 keV ve moleküler olanlar için 100 keV dir.
- TiT hedefteki titanyum kalınlığı 1.09 mg/cm² ve Hedefteki trityumun aktivitesi 0.78 Ci/cm² dir. [3].
- TiT hedef içindeki trityum yoğunluğu Gauss tipidir.

TiT hedefin 0.1 μ kalınlığında, istatistik ağırlıkları farklı 24 paralel katmandan oluştuğu varsayılarak ve 1 katman sırasını, W_i de normalize edilmiş ağırlık fonksiyonunu göstermek üzere, ortalama nötron enerjisi için

$$\langle E_n \rangle = \sum_1 W_i (T, \sigma(E_d)) \sum_{i,j,k} E_n(E_d, \theta_{i,j,k})_1 \quad (5)$$

yazılabilir. Burada T Gaussian olduğu varsayılan trityum yo-

günlük fonksiyonunu, $\sigma(E_d)$ TiT hedefin 1 katmanına ulaşan E_d enerjili döteron için nötron üreten tepkileşim kesitini göstermektedir. TiT hedef içindeki E_d döteron enerjileri, hedef katmanlarındaki Titanyum ve trityum atomlarının durdurma güçleri [10] kullanılarak belirlenirken, nötron üreten tepkileşim kesitleri için kaynak [11] de verilen datadan yararlanılmıştır. Ağırlık fonksiyonu W_1 'in hesaplanmasında alınan değerler Tablo.1 de verilmiştir. E_n nötron enerjisi ise, döteron huzmesinin geliş doğrultusuyla, ${}^3\text{H}(d,n){}^4\text{He}$ tepkileşmesi ürünü nötronun uçuş doğrultusu arasındaki açı θ olmak üzere klasik kinematik bağıntılar[12] kullanılarak hesaplanmıştır. Yukarıda verilen i, j indisleri örnek üzerindeki nötron varış koordinatlarını, k indisi ise nötron çıkış koordinatını (dairesel simetriden dolayı tek koordinat yeterli) simgelemektedir. Döteron huzmesinin TiT hedef üzerindeki izdüşümüyle, ışınlanan örnek yüzeyi aynı eksenli iki disk şeklinde kabul edildiğinden, nötron çıkış ve varış koordinatları bu dairesel yüzeylerin şeklini izleyen, eşit alanlı daire dilimlerinin ağırlık merkezleri olarak alınmışlardır. Yukarıdaki varsayımlarla ve yapılan nümerik integrasyonla hesaplanan ortalama nötron enerjisi için

$$\langle E_n \rangle = 14.6 \text{ (1) MeV}$$

değeri elde edilmiştir. Bu değer Zr/Nb aktivasyonu oranı yöntemiyle bulunan deneysel değerle aynıdır.

Nötron enerjisindeki yayılmanın hesaplanması için 14 -15.5 MeV arasındaki enerji bölgesi 0.1 MeV lik enerji aralıklarına bölündüğünde ve (5) ifadesinden hesaplanan enerjiler bu aralıklara değerlerine göre tasnif edildiklerinde Şekil 5. de histogramla verilen nötron enerji spektrumu elde edilmiştir. Bu spektrumdan anlaşıldığı gibi ışınlama bölgesinde nötron enerjisindeki yayılma 200 keV dir.

4. SONUÇ VE YORUMLAR.

Bu çalışmada , nötron enerji belirlenmesi için uygulanan Zr/Nb aktivasyon yöntemiyle ışınlama bölgesindeki nötronların ortalama enerjisi 200 keV lik bir belirsizlikle bulunmuştur. Bu yöntemin güvenilirliği, herşeyden önce ilgili enerji bölgesinde oranları alınan tepkileşim kesitlerinin doğru bilinmesine bağlıdır. ölçümlerdeki sistematik hata kaynaklarından biri de ışınlanan malzeme içindeki Zr ve Nb dağılımının homojen olmamasıdır. Bu bakımdan yukarıda anlatıldığı gibi Zr ve Nb karışımını içeren malzemede homojen dağılımın sağlanması için gerekli özen gösterilmelidir.

ölçüm ve hesap sonuçlarının tutarlı olması, kullanılan bu basit modelin bu çalışmadakine benzer sistemler için, ortalama nötron enerjisinin hesabına yeterli olduğunu göstermektedir.

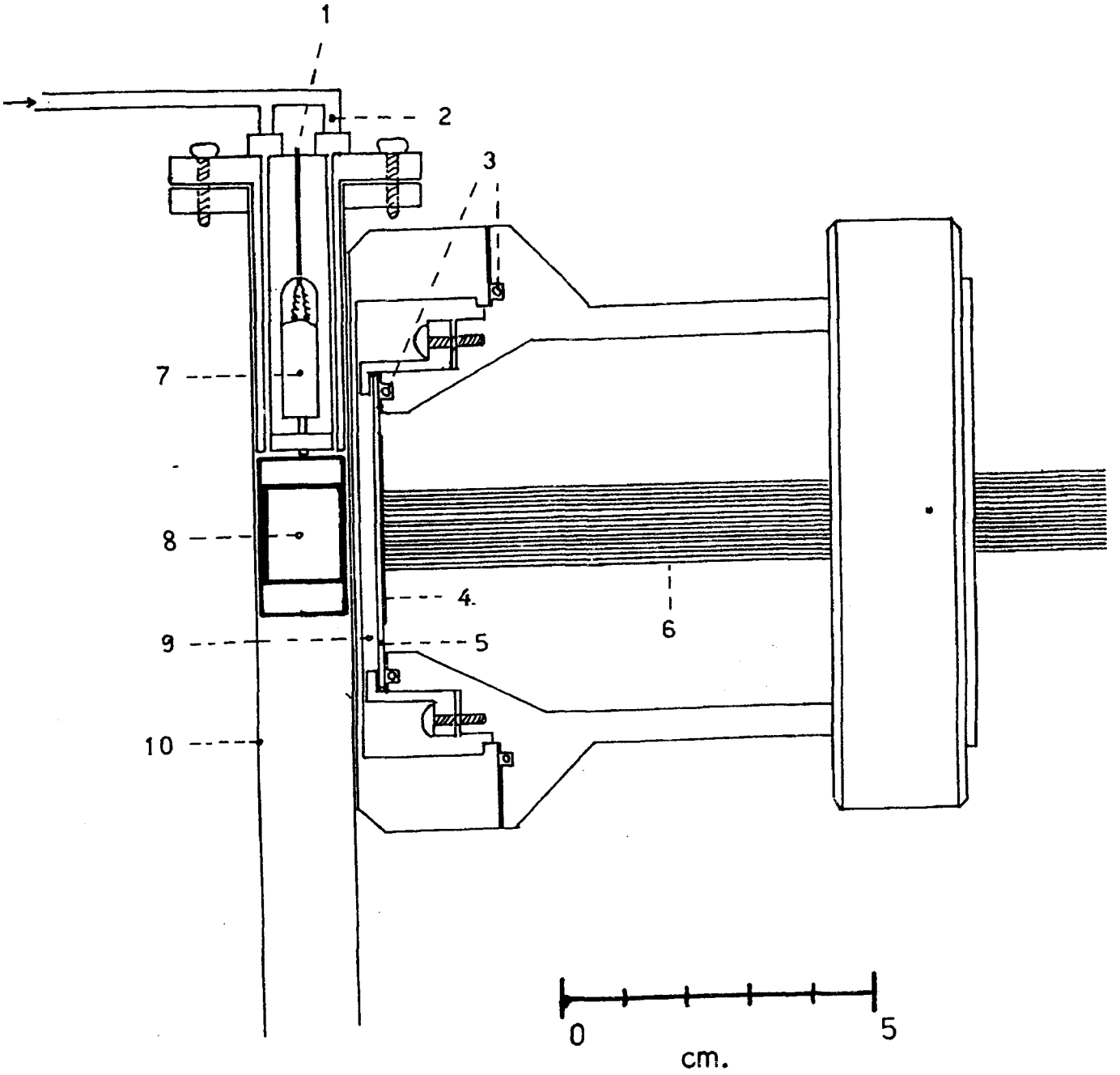
Kaynaklar :

- [1] WRENDA V.Piksaikin 83/84 INDC(SEC)-88/URSF
- [2] A.B.Smith, Proceedings of an Advisory Group Meeting on " Properties of Neutron Sources " . 9 - 13 June, 1986 Leningrad, USSR. IAEA-TECDOC-410(1087), p.3
- [3] SAMES T-400 Low-Energy Ion Accelerator Documentation.
- [4] G.Winkler, A.Pavlik and H.Vonach, Proceedings of an International Conference on Nuclear Data for Science and Technology. K.H.Böckhoff(ed.), p.400
- [5] Handbook on Nuclear Activation Data. Technical Reports Series No.273 IAEA, Vienna, 1987
- [6] Table of Isotopes. Edited by C.M.Lederer and V.S.Shirley , 7 Th Edition, John Wiley & Sons, Inc, New York (1978)
- [7] A.Ercan, N.Erduran, M.Bostan.,TFD IX.Ulusal Kongresi Tebliğleri , Uludağ Üniversitesi(Bursa) 16-18 Eylül 1987.
- [8] N.Erduran, A.Ercan, M.Subaşı, G.Tarcan, E.Gültekin, Y.özbir, H.Atasoy, S.Dökmen, A. Baykal, M. Bostan,C öz-baylı., TFD IX.Ulusal Fizik Kongresi Tebliğleri, Uludağ Üniversitesi(Bursa) 16-18 Eylül 1987.
- [9] Jagdish K.Tuli, Nuclear Wallet Cards, National Data Center, Brookhaven National Laboratory 1985
- [10] T.R.Fewell, Nucl. Instrum. Meth. 61(1968)61
- [11] H. Liskien and A. Paulsen, Nuclear Data Tables 11(1973)569
- [12] Nuclear Reaction Analysis. J.M.Mario and F.C.Young, North-Holland Publishing Company - Amsterdam 1968

Tablo.1

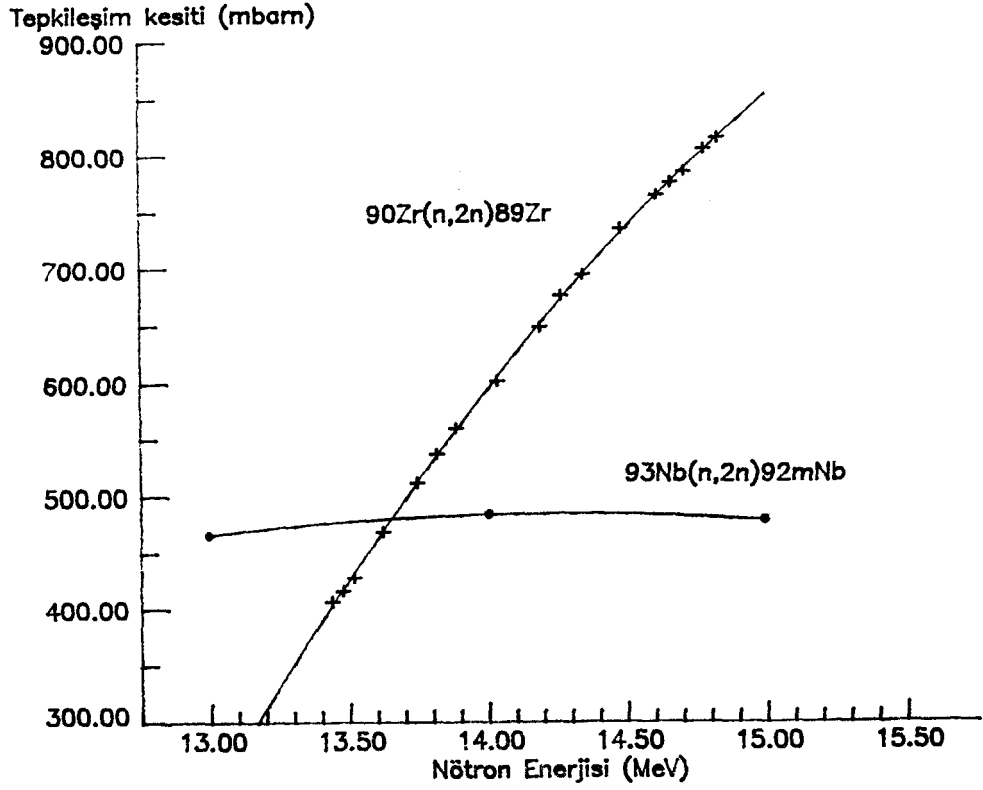
Ortalama nötron enerjisi ve enerjideki yayılmanın hesaplanmasında kullanılan nükleer data ve hesaplanan W_1 değerleri

1	E_d (keV)		$\sigma(E_d)$ [mbarn]		W_1	
	$E_d=$ 100 keV	$E_d=$ 200 keV	$E_d=$ 100 keV	$E_d=$ 200 keV	$E_d=$ 100 keV	$E_d=$ 200 keV
1	93.0	192.5	374.6	208.9	0.0978	0.0038
2	79.4	175.5	310.6	237.7	0.1563	0.0084
3	66.4	162.4	221.4	272.5	0.2011	0.0175
4	54.4	147.3	134.3	312.3	0.2074	0.0341
5	43.3	132.2	67.8	348.3	0.1675	0.0607
6	33.4	117.3	28.3	395.0	0.1055	0.1034
7	24.6	102.7	9.1	400.0	0.0487	0.1477
8	17.0	88.5	1.8	385.5	0.0145	0.1753
9	10.5	74.8	0.7	277.5	0.0011	0.1689
10		62.0		185.9		0.1323
11		50.2		107.7		0.0842
12		39.4		52.8		0.0426
13		29.8		21.2		0.0166
14		21.3		5.9		0.0042
15		14.1		0.8		0.0005
16		8.0				
17		2.8				
18		0.0				

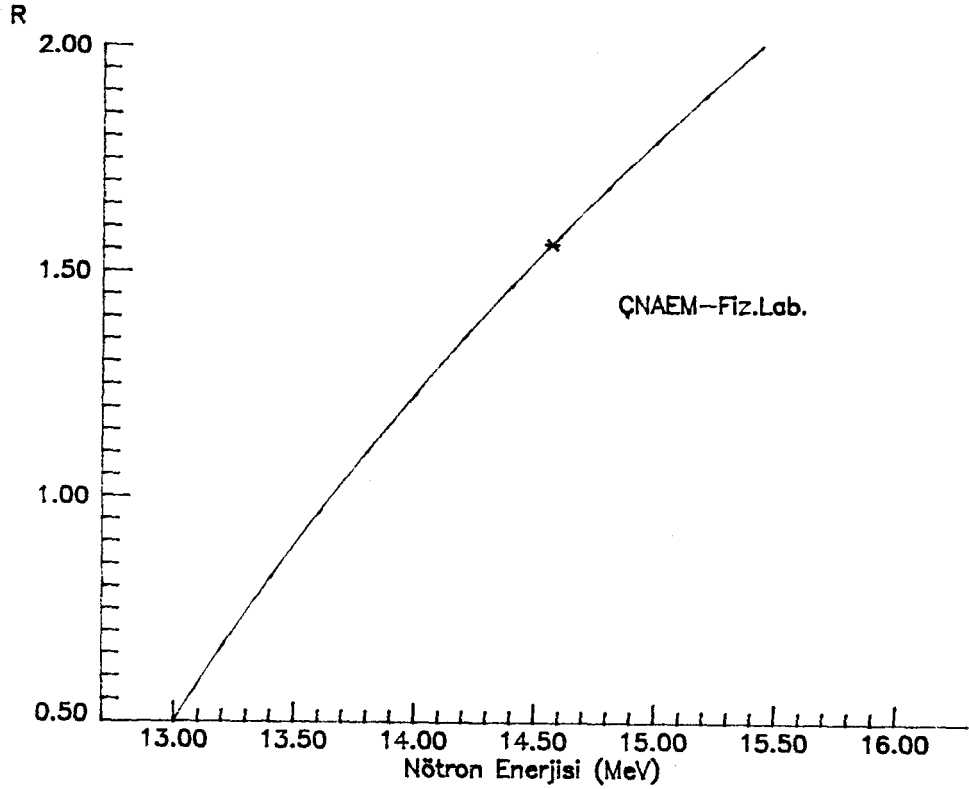


Sekil.1. SAMES T-400 alçak enerjili iyon hızlandırıcısının Nötron üreten hedef odası ve örnek ışınlama bölgesi.

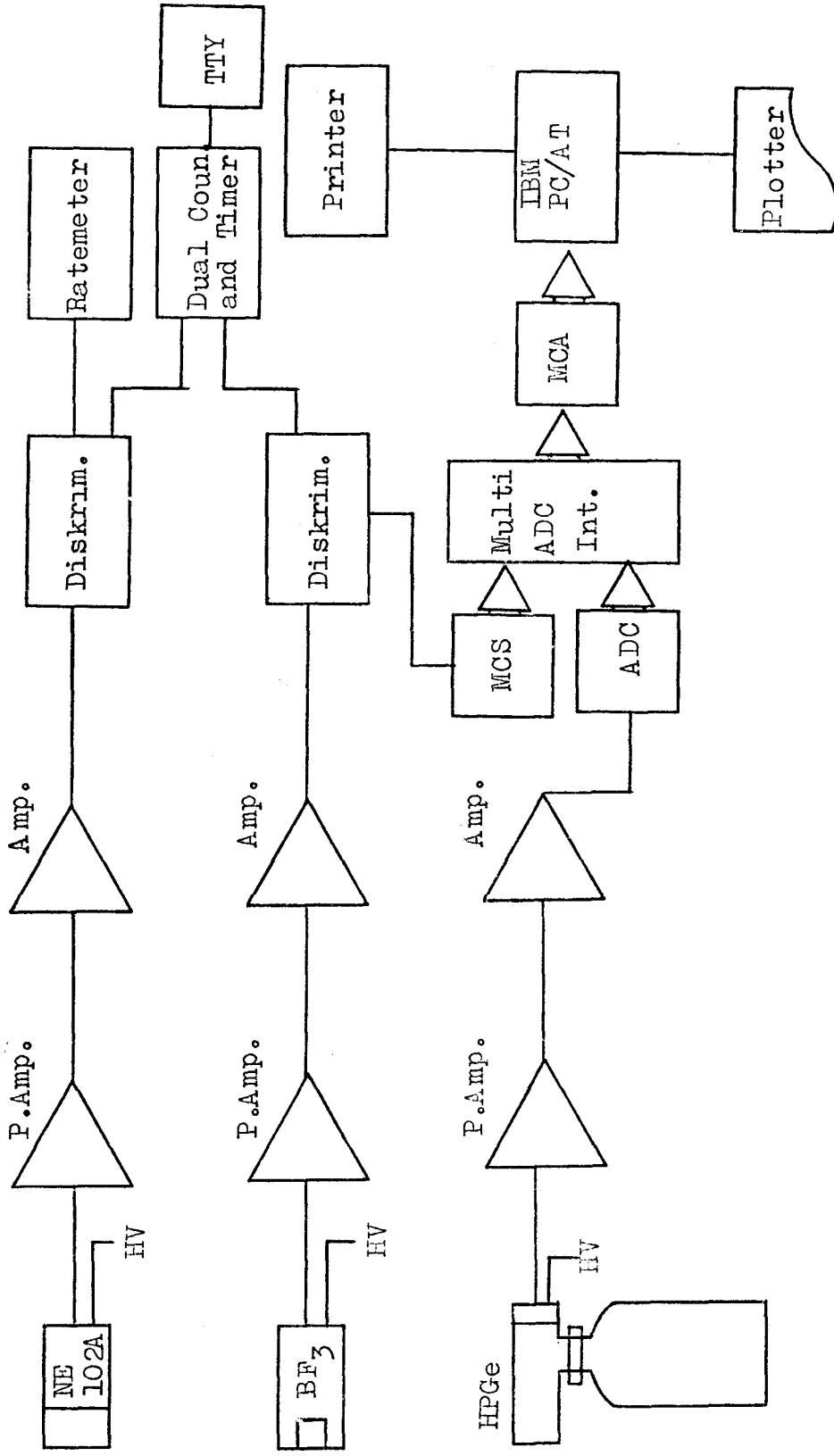
- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 1- Mikro-switch Bağlantısı | 6- Döteron huzmesi |
| 2- Pnömatik Bağlantılar | 7- Mikro-switch |
| 3- O-Ringler | 8- Işınlama kabı |
| 4- TiT Hedef | 9- Hedef soğutma suyu |
| 5- Bakır Disk | 10- örnek transfer borusu |



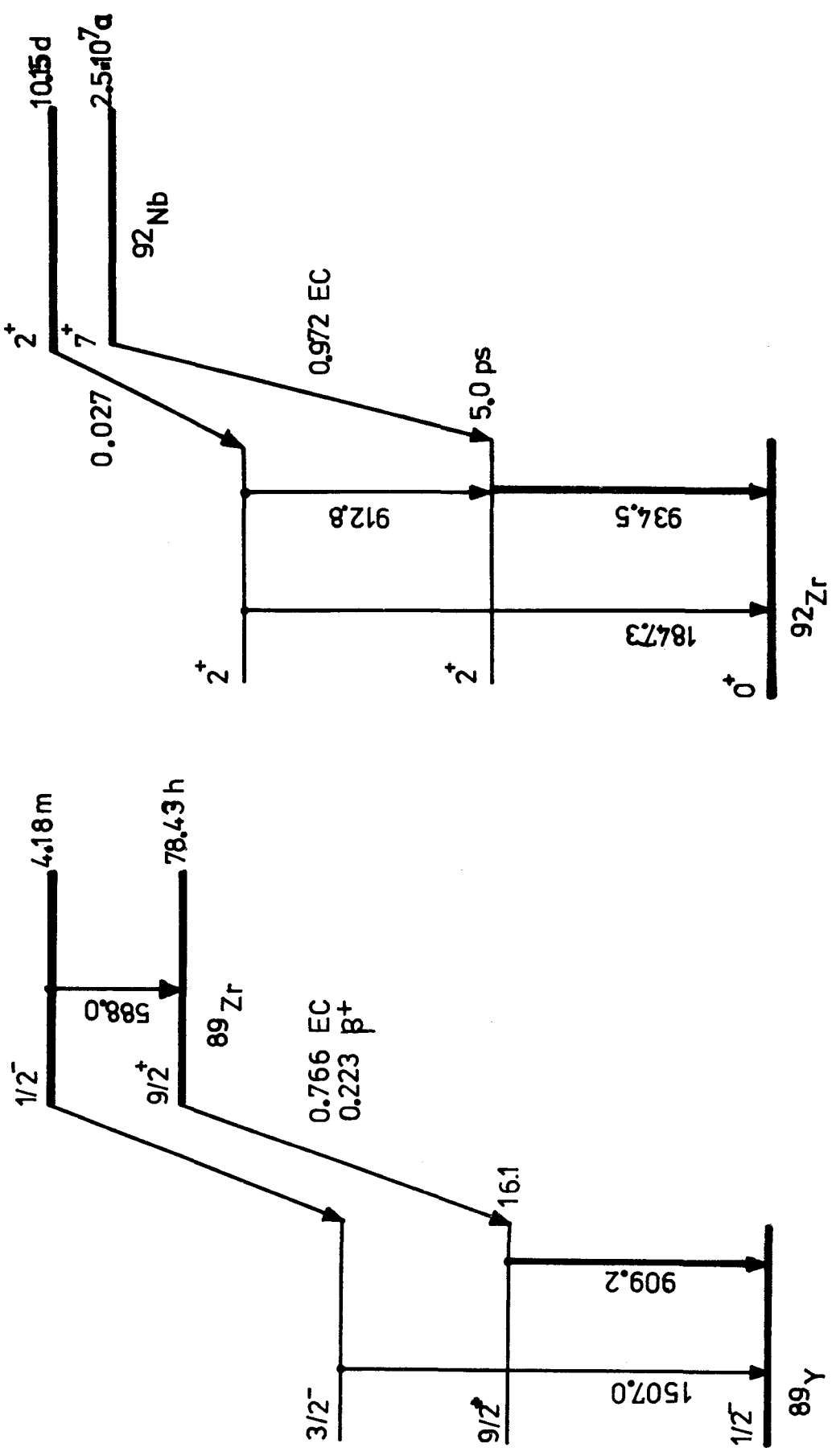
(a) Deneysel Tepkileşim kesitleri ve yapılan uyum eğrileri
 (+) $^{90}\text{Zr}(n,2n)$ Winkler et al.[4]
 (•) $^{93}\text{Nb}(n,2n)$ Manokhin[5]



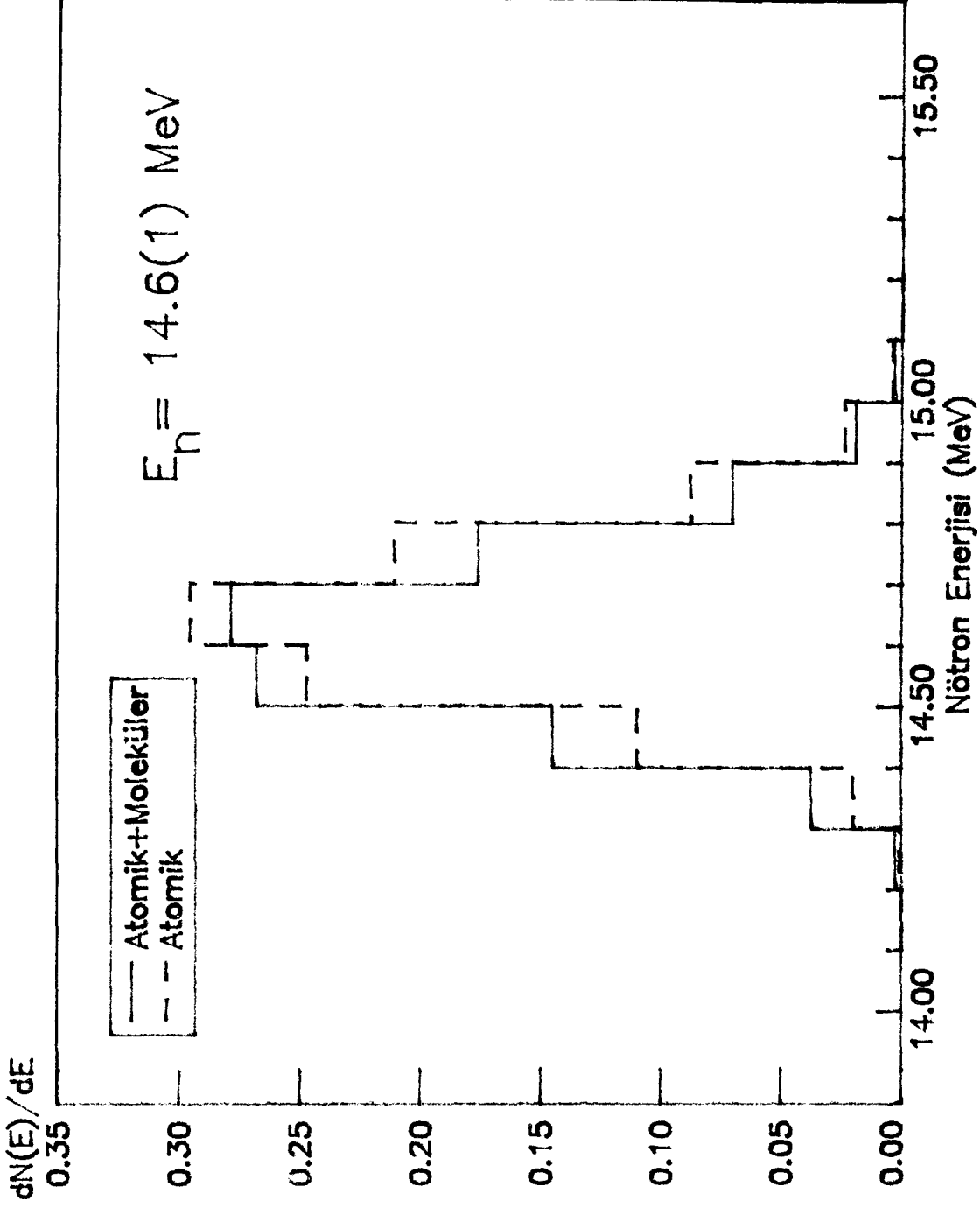
(b) $^{90}\text{Zr}(n,2n)$ ve $^{93}\text{Nb}(n,2n)$ Tepkileşim kesitleri oranlarının enerjiyle değişimi.



Sekil.3 Işınlama ve sayımlarda kullanılan detektörler ve bunlarla ilgili elektronik birimlerin blok-diyagram şeklinde gösterilmesi.



şekil.4. ^{89}Y ve ^{92}Zr için kısmi bölünüm şemaları.



Sekil.5. Işınlama bölgesinde ${}^3\text{H}(d,n){}^4\text{He}$ Tepkile-
şimleri sonucu oluşan nötronların enerji
spektrumu.