



ANKARA ÜNİVERSİTESİ NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
101523-NÖTRON AKTİVASYON ANALİZİ VE ÖLÇÜMLERİ
LABORATUVARI

Prof. Dr. Haluk YÜCEL

KAYNAKLAR VE EKLER

Kaynaklar

1. G.F.Knoll, “Radiation Detection and Measurement, 2000
 2. Debertin and Helmer, 1988, X- and Gamma-ray spectrometry
 4. AN34 Ortec Laboratory Manual, Lab. Experiments,,
 5. Canberra Inc. Catalog, 2000.
 6. G. Gilmore, J. D. Hemingway, Practical Gamma-Ray Spectrometry, 2000.
 7. American Standard, ANSI N42.14, 1999.
 8. Høgdahl, O.T., Neutron absorption in pile neutron activation analysis: Determination of copper and gold in silver. Proceedings Symp. Radiochem. Methods of Anal., Salzburg, Oct-19-23,1965, IAEA, Vienna, pp.23-40.
 9. M.Karadağ, Ph D tezi, Gazi Üniv, 2003, 144 sayfa.
 10. M.G. Budak, Y.Lisans tezi, Gazi Üniv, 2002, 81 sayfa
 - 11.Standard practice for determining neutron fluence, fluence rate, and spectra by radioactivation techniques, E261-98, Annual Book of ASTM standards, Vo.12.02, pp. 40-49, (1998).
 12. Chilian, C., Chambon ,C., Kennedy, G., Neutron self-shielding with k0-NAA irradiations , Nucl. Instrum and Methods A, 622 (2010), pp.429-432.
 13. Chilian, C., J. St-Pierre, Kennedy, G., Journal of Radioanal and Nucl. Chem. 278(2008), pp. 745-749).
- Westcott, C. H.,Walker, W. H. and Alexander, T.K. “Effective Cross Sections and Cadmium Ratios for the Neutron Spectra of Thermal Reactors” Proceedings of the International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy, PIPAA, United Nations, Vol. 16, 1958, p. 70.

15. Stoughton, R.W. and Halperin, J., "Heavy Nuclide Cross Sections of Particular Interest to Thermal Reactor Operations: Conventions, Measurements, and Preferred Values", Nuclear Science and Engineering, Vol. 6, 1959, p.100.

16. Poole, M.J., J. Nuclear Energy, 5, 1957, p.325.

EKLER

Ek-1 NAA yönteminde elementler için analitik duyarlılık değerleri
(Ortec Application Note, AN34)

Neutron Activation Sensitivities

Atomic Number	Element	Product Nuclide	Half-Life	Measured E_γ (keV)	Relative Sensitivity*	Atomic Number	Element	Product Nuclide	Half-Life	Measured E_γ (keV)	Relative Sensitivity*
9	Fluorine	^{20}F	11.6 s	1634	60.	49	Indium	$^{116\text{m}}\text{In}$	53.7 m	1293	0.006
11	Sodium	^{24}Na	15.0 h	2754	1.5	50	Tin	$^{125\text{m}}\text{Sn}$	9.5 m	331	15.
12	Magnesium	^{27}Mg	9.46 m	844	35.	51	Antimony	^{122}Sb	64.3 h	564	0.7
13	Aluminum	^{28}Al	2.32 m	1779	1.0	52	Tellurium	^{131}Te	24.8 m	150	5.7
17	Chlorine	^{38}Cl	37.3 m	2168	8.	53	Iodine	^{128}I	25.0 m	443	0.3
19	Potassium	^{42}K	12.4 h	1525	28.	55	Cesium	$^{134\text{m}}\text{Cs}$	2.9 h	127	0.4
20	Calcium	^{49}Ca	8.8 m	3084	260.	56	Barium	^{139}Ba	83.0 m	166	3.2
21	Scandium	$^{46\text{m}}\text{Sc}$	18.7 s	143	0.03	57	Lanthanum	^{140}La	40.2 h	1597	0.8
22	Titanium	^{51}Ti	5.79 m	320	18.	58	Cerium	^{143}Ce	33.7 h	293	14.
23	Vanadium	^{52}V	3.75 m	1434	0.07	59	Praseodymium	^{142}Pr	19.2 h	1576	5.
24	Chromium	^{51}Cr	27.8 d	320	85.	60	Neodymium	^{149}Nd	104.0 m	211	5.
25	Manganese	^{56}Mn	2.58 h	847	0.015	62	Samarium	^{153}Sm	46.8 h	103	0.07
27	Cobalt	$^{60\text{m}}\text{Co}$	10.5 m	59	0.23	63	Europium	$^{152\text{m}}\text{Eu}$	9.3 h	963	0.008
28	Nickel	^{65}Ni	2.53 h	1482	130.	64	Gadolinium	^{161}Gd	3.6 m	360	—
29	Copper	^{66}Cu	5.10 m	1039	6.	65	Terbium	^{160}Tb	72.0 d	299	4.
30	Zinc	$^{69\text{m}}\text{Zn}$	14.1 h	439	23.	66	Dysprosium	^{165}Dy	2.32 h	95	0.01
31	Gallium	^{72}Ga	14.1 h	834	0.32	67	Holmium	^{166}Ho	26.8 h	81	0.2
32	Germanium	$^{75\text{m}}\text{Ge}$	48.0 s	140	5.2	68	Erbium	^{171}Er	7.52 h	308	0.36
33	Arsenic	^{76}As	26.4 h	559	0.32	69	Thulium	^{170}Tm	129.0 d	84	90.
34	Selenium	$^{77\text{m}}\text{Se}$	17.4 s	162	0.27	70	Ytterbium	^{175}Yb	101.0 h	396	1.5
35	Bromine	^{80}Br	16.8 m	616	0.8	71	Lutetium	$^{176\text{m}}\text{Lu}$	3.7 h	88	0.2
37	Rubidium	$^{86\text{m}}\text{Rb}$	1.02 m	556	5.	72	Hafnium	$^{179\text{m}}\text{Hf}$	18.6 s	214	0.05
38	Strontium	$^{87\text{m}}\text{Sr}$	2.83 h	389	3.	73	Tantalum	^{182}Ta	115.0 d	1121	35.
39	Yttrium	$^{89\text{m}}\text{Y}$	16.1 s	909	23.	74	Tungsten	$^{187\text{W}}$	24.0 h	686	0.4
42	Molybdenum	^{101}Tc	14.2 m	307	8.	75	Rhenium	^{188}Re	16.7 h	155	0.07
44	Ruthenium	^{105}Ru	4.4 h	724	12.	76	Osmium	^{193}Os	31.5 h	139	35.
45	Rhodium	$^{104\text{m}}\text{Rh}$	4.3 m	51	0.03	77	Iridium	^{192}Ir	74.2 d	317	0.3
46	Palladium	$^{109\text{m}}\text{Pd}$	4.7 m	189	5.5	78	Platinum	^{199}Pt	31.0 m	543	25.
47	Silver	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	24.0 s	658	0.35	79	Gold	^{198}Au	64.7 h	412	0.027
48	Cadmium	$^{111\text{m}}\text{Cd}$	49.0 m	245	18.	80	Mercury	^{197}Hg	65.0 h	78	1.2

*The numbers in this column indicate the number of units (weight) of an element that provide a count rate equal to the count rate furnished from irradiation of one unit weight of aluminum.

Ek-2. Termal ve epitermal nötron akılarının belirlenmesinde kullanılan bazı monitörlerin nükleer özellikleri

Monitör	M (g/mol)	İzotop	θ (%)	Reaksiyon	$T_{1/2}$	$\sigma_0^{(a)}$ (b)	$g^{(b)}$	I_0 (b)	$F_{Cd}^{(c)}$	$\bar{E}_r^{(c)}$ (eV)	E_γ (keV)	P_γ (%)
In	114,818(3)	^{115}In	95,71(5)	$^{115}\text{In} (n, \gamma) ^{116m}\text{In}$	54,29(17) dak.	166,413(6)	1,0194	2700	1,075	1,51	416,86	27,7(1,2)
											1097,30	56,2(1,2)
											1293,54	84,4(1,8)
Mn	54,938049(9)	^{55}Mn	100	$^{55}\text{Mn} (n, \gamma) ^{56}\text{Mn}$	2,5789(1) saat	13,3(2)	1,0004	14,0(3)	1,0	412	846,75	98,9(3)
											1810,72	27,2(8)
Au	196,96655(2)	^{197}Au	100	$^{197}\text{Au} (n, \gamma) ^{198}\text{Au}$	2,69517(21) gün	98,65(9)	1,0051	1550(28)	1,009	5,47	411,802	95,58(12)
Co	58,933200(9)	^{59}Co	100	$^{59}\text{Co} (n, \gamma) ^{60m}\text{Co}$	10,567(6) dak.	20,4(8)	1,0	39(2)	1,0	133	58,603	2,0359(7)
V	50,9415	^{51}V	99,750(2)	$^{51}\text{V} (n, \gamma) ^{52}\text{V}$	3,743(5) dak.	4,88	1,0	2,684	1,0	7230	1434,06	99,75 (25)
Al	26,981538	^{27}Al	100	$^{27}\text{Al}(n,\gamma)^{28}\text{Al}$	2,2414 (12) dak.	2,3	1,0	1,633	1,0	11,800	1778,9	100

^(a) $\sigma_0=2200$ m/s nötron hızı için tesir kesiti

^(b) $T=293,6$ K için

^(c) $E_{Cd}=0,55$ eV için verilen değer

Ek-3. Düşük nötron akıllı izotopik nötron kaynaklarıyla (n, γ) reaksiyonu oluşturabilecek elementler ve bazı nükleer özellikleri

ELEMENT	REAKSIYON	TESİR KESİTİ (Barn)	İZOTOPIK BOLLUK (%)	YARI ÖMÜR	E_γ (keV) [ŞİDDET(%)]
11-Na	^{23}Na (n, γ) ^{24}Na	0,53	100	15,03 saat	1368,6 [100] 2754,1 [100]
13-Al	^{27}Al (n, γ) ^{28}Al	0,23	100	2,24 dakika	1778,0 [100]
17-Cl	^{37}Cl (n, γ) ^{38}Cl	0,43	24,23	37,29 dakika	1642,2 [31,0] 2167,4 [42,0]
19-K	^{41}K (n, γ) ^{42}K	1,46	6,73	12,36 saat	1524,6 [18,8]
23-V	^{51}V (n, γ) ^{52}V	4,88	99,75	3,76 dakika	1434,1 [100]
25-Mn	^{55}Mn (n, γ) ^{56}Mn	13,30	100	2,58 saat	846,8 [98,9] 1810,7 [27,2] 2113,1 [14,3]
27-Co	^{59}Co (n, γ) $^{60\text{m}}\text{Co}$	19,00	100	10,47 dakika	58,6 [2,0] 1332,5 [0,24]
29-Cu	^{63}Cu (n, γ) ^{64}Cu	4,40	69,20	12,70 saat	511,0 [36,0] 1345,9 [0,6]
	^{65}Cu (n, γ) ^{66}Cu	2,17	30,80	5,10 dakika	1039,2 [8,0]
30-Zn	^{68}Zn (n, γ) $^{69\text{m}}\text{Zn}$	0,07	18,80	13,76 saat	438,7 [94,8]
31-Ga	^{71}Ga (n, γ) ^{72}Ga	4,60	39,90	14,12 saat	629,9 [24,4] 834,0 [95,6] 2201,6 [26,1]

ELEMENT	REAKSİYON	TESİR KESİTİ (Barn)	İZOTOPIK BOLLUK (%)	YARI ÖMÜR	E_γ (keV) [ŞİDDET(%)]
32-Ge	$^{74}\text{Ge} (n, \gamma) ^{75}\text{Ge}$	0,52	36,50	82,78 dakika	198,6 [1,14] 264,6 [11,1]
33-As	$^{75}\text{As} (n, \gamma) ^{76}\text{As}$	4,40	100	26,32 saat	559,1 [45,0] 657,1 [6,1]
34-Se	$^{78}\text{Se} (n, \gamma) ^{79m}\text{Se}$	0,30	23,50	3,91 dakika	95,9 [9,5]
	$^{80}\text{Se} (n, \gamma) ^{81m}\text{Se}$	0,07	49,80	57,28 dakika	103,1 [9,7]
	$^{80}\text{Se} (n, \gamma) ^{81}\text{Se}$	0,60	49,80	18,50 dakika	275,9 [0,85] 290,1 [0,73]
35-Br	$^{79}\text{Br} (n, \gamma) ^{80}\text{Br}$	10,80	50,69	17,60 dakika	616,2 [7,0]
	$^{81}\text{Br} (n, \gamma) ^{82}\text{Br}$	2,70	49,31	35,34 saat	554,3 [71,0] 619,0 [43,0] 776,5 [83,0]
37-Rb	$^{85}\text{Rb} (n, \gamma) ^{86}\text{Rb}$	0,45	72,17	18,82 gün	1077,2 [8,79]
	$^{87}\text{Rb} (n, \gamma) ^{88}\text{Rb}$	0,12	27,83	17,80 dakika	898,0 [14,0] 1836,0 [22,0]
38-Sr	$^{86}\text{Sr} (n, \gamma) ^{87m}\text{Sr}$ + $^{87}\text{Sr} (n, n\gamma) ^{87m}\text{Sr}$	0,84 [▲]	9,80 7,00	2,80 saat	388,4 [82,0]
42-Mo	$^{98}\text{Mo} (n, \gamma) ^{99}\text{Mo}(\beta^-)^{99m}\text{Tc}$	0,13	24,10	2,751 gün	140,5 [89,0]

♠ (n, γ) reaksiyonu için

ELEMENT	REAKSİYON	TESİR KESİTİ (Barn)	İZOTOPIK BOLLUK (%)	YARI ÖMÜR	E _γ (keV) [ŞİDDET(%)]
42-Mo	⁹⁸ Mo (n, γ) ⁹⁹ Mo	0,13	24,10	2,751 gün	181,1 [6,29] 739,4 [12,6] 777,8 [4,40]
	¹⁰⁰ Mo (n, γ) ¹⁰¹ Mo(β ⁻) ¹⁰¹ Tc	0,20	9,60	14,60 dakika	306,8 [88,0]
44-Ru	⁹⁶ Ru (n, γ) ⁹⁷ Ru	0,25	5,50	2,88 gün	215,7 [86,0] 324,6 [10,2]
	¹⁰⁴ Ru (n, γ) ¹⁰⁵ Ru	0,47	18,70	4,44 saat	262,8 [6,67] 469,4 [17,8] 676,4 [15,9] 724,5 [48,0]
	¹⁰⁴ Ru (n, γ) ¹⁰⁵ Ru(β ⁻) ^{105m} Rh	0,47	18,70	4,44 saat	129,4 [20,0]
	¹⁰⁴ Ru (n, γ) ¹⁰⁵ Ru(β ⁻) ¹⁰⁵ Rh	0,47	18,70	35,47 saat	306,1 [5,07] 318,9 [19,0]
45-Rh	¹⁰³ Rh (n, γ) ^{104m} Rh	11,00	100	4,41 dakika	51,44 [48,3]
47-Ag	¹⁰⁷ Ag (n, γ) ^{108m} Ag	37,00	51,83	2,37 dakika	434,0 [0,5] 618,9 [0,26] 633,0 [1,75]
	¹⁰⁹ Ag (n, γ) ¹¹⁰ Ag	88,00	48,17	24,42 saniye	658,8 [4,5]
48-Cd	¹¹⁰ Cd (n, γ) ^{111m} Cd	0,10	12,50	48,60 dakika	150,8 [31,1] 245,4 [94,2]
	¹¹⁴ Cd (n, γ) ¹¹⁵ Cd	0,30	28,70	2,228 gün	527,9 [29,0]

ELEMENT	REAKSİYON	TESİR KESİTİ (Barn)	İZOTOPIK BOLLUK (%)	YARI ÖMÜR	E_γ (keV) [ŞİDDET(%)]
48-Cd	$^{114}\text{Cd} (n, \gamma) ^{115}\text{Cd}(\beta^-)^{115\text{m}}\text{In}$	0,30	28,70	53,4 saat	336,2 [45,9]
	$^{116}\text{Cd} (n, \gamma) ^{117}\text{Cd}(\beta^-)^{117\text{m}}\text{In}$	0,05	7,50	2,4 saat	158,6 [14,0]
49-In	$^{115}\text{In} (n, \gamma) ^{116\text{m}}\text{In}$	161	95,70	54,12 dakika	417,1 [27,8] 1097,2 [57,5] 1293,5 [85,0]
51-Sb	$^{121}\text{Sb} (n, \gamma) ^{122}\text{Sb}$	6,16	57,30	2,68 gün	564,1 [70,0] 692,8 [3,90]
	$^{123}\text{Sb} (n, \gamma) ^{124}\text{Sb}$	4,04	42,70	60,20 gün	602,7 [98,3] 645,8 [7,23]
52 Te	$^{126}\text{Te} (n, \gamma) ^{127}\text{Te}$	0,90	18,70	9,35 saat	417,9 [0,95]
	$^{128}\text{Te} (n, \gamma) ^{129}\text{Te}$	0,20	31,70	69,50 dakika	459,6 [7,10] 487,4 [1,35]
	$^{130}\text{Te} (n, \gamma) ^{131}\text{Te}$	0,20	34,50	25,00 dakika	149,7 [69,0] 452,3 [18,0]
53-I	$^{127}\text{I} (n,) ^{128}\text{I}$	6,10	100	24,99 dakika	442,9 [16,0] 526,6 [1,54]
55-Cs	$^{133}\text{Cs} (n, \gamma) ^{134\text{m}}\text{Cs}$	2,50	100	2,914 saat	127,5 [12,5]
56-Ba	$^{138}\text{Ba} (n, \gamma) ^{139}\text{Ba}$	0,40	71,70	82,90 dakika	165,8 [22,0]

ELEMENT	REAKSİYON	TESİR KESİTİ (Barn)	İZOTOPIK BOLLUK (%)	YARI ÖMÜR	E_γ (keV) [ŞİDDET(%)]
57-La	$^{139}\text{La} (n, \gamma) ^{140}\text{La}$	9,20	99,91	40,27 saat	328,8 [18,5] 487,0 [43,0] 815,8 [22,4] 1596,5 [95,5]
58-Ce	$^{140}\text{Ce} (n, \gamma) ^{141}\text{Ce}$	0,56	88,50	32,55 gün	145,4 [48,4]
	$^{142}\text{Ce} (n, \gamma) ^{143}\text{Ce}$	0,95	11,10	33,00 saat	57,37 [11,8] 293,3 [42,0] 664,6 [5,3]
59-Pr	$^{141}\text{Pr} (n, \gamma) ^{142}\text{Pr}$	11,50	100	19,20 saat	1575,8 [3,68]
60-Nd	$^{148}\text{Nd} (n, \gamma) ^{149}\text{Nd}$	2,50	5,70	1,73 saat	114,3 [21,5] 211,3 [31,2] 270,2 [12,3] 654,8 [8,4]
	$^{150}\text{Nd} (n, \gamma) ^{151}\text{Nd}$	1,20	5,60	12,44 dakika	116,7 [46,8] 255,8 [16,9] 1180,6 [15,3]
62-Sm	$^{152}\text{Sm} (n, \gamma) ^{153}\text{Sm}$	204	26,60	46,80 saat	69,6 [5,0] 103,2 [28,0]
	$^{154}\text{Sm} (n, \gamma) ^{155}\text{Sm}$	5,00	22,60	22,40 dakika	104,3 [69,7]
63-Eu	$^{151}\text{Eu} (n, \gamma) ^{152m1}\text{Eu}$	3200	47,90	9,30 saat	121,8 [6,3] 344,3 [2,14] 841,7 [12,5] 963,4 [10,5]

ELEMENT	REAKSİYON	TESİR KESİTİ (Barn)	İZOTOPIK BOLLUK (%)	YARI ÖMÜR	E_γ (keV) [ŞİDDET(%)]
64-Gd	$^{158}\text{Gd} (n, \gamma) ^{159}\text{Gd}$	2,40	24,80	18,56 saat	58,00 [2,1] 363,3 [10,0]
66-Dy	$^{164}\text{Dy} (n, \gamma) ^{165}\text{Dy}$	2700	28,10	2,33 saat	94,7 [3,6] 279,8 [0,50] 361,7 [0,85] 633,4 [0,57] 715,3 [0,54]
67-Ho	$^{165}\text{Ho} (n, \gamma) ^{166}\text{Ho}$	62,00	100	26,83 saat	80,57 [6,2] 1379,4 [0,93]
68-Er	$^{170}\text{Er} (n, \gamma) ^{171}\text{Er}$	5,70	14,90	7,52 saat	111,7 [20,5] 295,9 [28,9] 308,2 [64,3]
70-Yb	$^{174}\text{Yb} (n, \gamma) ^{175}\text{Yb}$	19,00	31,60	4,19 gün	113,8 [1,8] 282,5 [2,8] 396,3 [6,0]
71-Lu	$^{175}\text{Lu} (n, \gamma) ^{176\text{m}}\text{Lu}$	16,00	97,39	3,684 saat	88,35 [8,7]
	$^{176}\text{Lu} (n, \gamma) ^{177}\text{Lu}$	2000	2,60	6,71 gün	113,0 [6,71] 208,3 [11,0] 249,7 [0,20] 321,3 [0,24]
74-W	$^{186}\text{W} (n, \gamma) ^{187}\text{W}$	38,00	28,60	23,85 saat	134,2 [8,5] 479,5 [21,0] 685,8 [26,3]
75-Re	$^{187}\text{Re} (n, \gamma) ^{188}\text{Re}$	75,00	62,60	16,90 saat	155,0 [15,0]

ELEMENT	REAKSİYON	TESİR KESİTİ (Barn)	İZOTOPIK BOLLUK (%)	YARI ÖMÜR	E_γ (keV) [ŞİDDET(%)]
76-Os	$^{190}\text{Os} (n, \gamma) ^{191m}\text{Os}$	9,00	26,40	13,10 saat	74,38 [0,07]
	$^{192}\text{Os} (n, \gamma) ^{193}\text{Os}$	2,00	41,00	30,60 saat	138,9 [4,3] 460,6 [3,95]
77-Ir	$^{191}\text{Ir} (n, \gamma) ^{192}\text{Ir}$	940	37,30	74,17 gün	308,5 [29,7] 316,5 [82,9] 468,1 [48,1]
	$^{193}\text{Ir} (n, \gamma) ^{194}\text{Ir}$	110	62,70	19,15 saat	328,5 [13,0]
78-Pt	$^{196}\text{Pt} (n, \gamma) ^{197}\text{Pt}$	0,75	25,30	18,30 saat	77,35 [17,0] 191,4 [3,49]
79-Au	$^{197}\text{Au} (n, \gamma) ^{198}\text{Au}$	98,80	100	2,697 gün	411,8 [95,5]
90-Th	$^{232}\text{Th} (n, \gamma) ^{233}\text{Th} (\beta^-) ^{233}\text{Pa}$	7,40	100	26,95 gün	300,1 [6,3] 311,9 [37,0] 340,5 [4,3]
92-U	$^{238}\text{U} (n, \gamma) ^{239}\text{U} (\beta^-) ^{239}\text{Np}$	2,70	99,23	2,35 gün	106,1 [24,3] 228,1 [11,4] 277,6 [15,0]

Ek-4: Termal Nötron öz soğurma faktörünün hesabı

Çizelge. Işınlanan nükleer malzemelerin fiziksel ve nötron soğurma özellikleri

Malzeme	Miktar/Kalınlık, t (cm)	Çap, D(cm)	Atom veya Molekül ağırlığı, A (g/mol)	ρ (g/cm ³)	σ_a (b)	σ_s (b)	Σ_a (cm ⁻¹)	Σ_s (cm ⁻¹)
İndiyum	0,0127	0,127	114,818	7,31	191	2,2		
Vanadyum	0,0127	0,127	50,9415	6,1	4,88			
Dysprosium			162,50	8,551	950	100		
Dy ₂ O ₃	?		372,92	7,81	2200	214		
In ₂ O ₃	?	-	277,633	?				
Au			196,96655	19,32	98,8	9,3		
Al			26,981538	2,6989	0,241	1,4		
Mn			54,938049	7,21	13,2	2,3		

$1b=10^{-24}$ cm², $N_{Av}=6,022 \times 10^{23}$ atom/mol.

Foil için nötron öz soğurma katsayısı hesabı:

Etkin kalınlık, $\tau = \frac{2V}{S} \cdot \Sigma_a = 2 \cdot t \cdot \Sigma_a$, Burada V= hacim, S= Yüzey alanı.

$$G_{th}(foil) = \frac{1}{2\tau} \cdot (1 - \exp(-2\tau))$$

Saçılma etkisinin de hesaba katıldığı düzeltilmiş nötron öz soğurma katsayısı,

$$G'_{th} = \frac{G_{th}}{1 - (1 - G_{th}) \times \frac{\Sigma_s}{\Sigma_t}}$$

Burada, toplam makroskopik tesir kesiti $\Sigma_t = \Sigma_a + \Sigma_s$ yukarıdaki çizelgedeki verilerden hesaplanır.

Not- Deneylede düzeltilmiş nötron öz soğurma katsayısının kullanılması daha gerçekçi bir yaklaşımdır.

Başka bir yaklaşıma göre, silindirik bir tüp için termal nötron öz soğurma katsayısı,

$$G_{epi} = \frac{1}{1 + \left(\frac{N_{Av} \cdot k_{th}}{r \cdot (r + h)} \times \sum_i \frac{w_i \sigma_{a,i}}{A_i} \right)^{0,964}}$$

Eşitliğinden hesaplanır. Burada, w=i-nci ışınlanan elementi miktarı (g), N_{Av} =Avogadro sayısı, k_{th} =termal öz soğurma sabiti ve $k_{th}=0,91$ alınır. $\sigma_{a,i}$ = i-nci elementin termal nötron soğurma tesir kesiti ve A=i-nci elementin atom ağırlığı, r= silindir (veya foil) yarıçapı ve h= silindir (veya foil kalınlığı) yüksekliği, burada $k_{epi}=1$ alınır (Chilian ve ark., JRNC 278(2008), pp. 745-749).

Ek-5: Epitermal Nötron öz soğurma faktörünün hesabı

Çizelge. Işınlanan nükleer malzemelerin fiziksel ve nötron soğurma özellikleri

Malzeme	Miktar/Kalınlık, t (cm)	Çap, D(cm)	Atom veya Molekül ağırlığı, A (g/mol)	ρ (g/cm ³)	I_{abs} (b)	Σ_{res} (cm ⁻¹)
İndiyum	0,0127	0,127	114,818	7,31	2700 veya 2630±133	
Vanadyum	0,0127	0,127	50,9415	6,1	3,8±0,9 veya 3,3±0,8	
Dysprosium			162,50	8,551	1390±220 veya1240	
Dy ₂ O ₃	?		372,92	7,81		
In ₂ O ₃	?	-	277,633	?		
Au			196,96655	19,32	1550	
Al			26,981538	2,6989	<0,18	
Mn			54,938049	7,21	14,0 veya 14,2±0,6	

$$1b=10^{-24} \text{ cm}^2, N_{Av}=6,022 \times 10^{23} \text{ atom/mol}, \Sigma_{res}=N \times I_{abs}$$

Foil için epitermal nötron öz soğurma katsayısı hesabı:

Etkin kalınlık, $X = \mu_a \delta = \left(\frac{\Sigma_{res}}{\rho} \right) \cdot \left(\rho \frac{2V}{S} \right) = \frac{2V}{S} \Sigma_{res}$ hesaplanır. Burada V= hacim, S=

Yüzey alanı. Epitermal nötron öz soğurma katsayısı:

$$G_{epi}(foil) = \frac{1}{\sqrt{1+2X}} \text{ veya}$$

hesaplanır. Başka bir yaklaşıma göre, silindirik bir tüp için epitermal nötron öz soğurma

$$\text{katsayısı, } G_{epi} = \frac{0,94}{1 + \left(\frac{w \cdot N_{Av} \cdot k_{epi} \cdot I_{abs}}{r \cdot (r+h)A} \right)^{0,82}} + 0,06$$

Eşitliğinden hesaplanır. Burada, w=ışınlanan element miktarı (g), N_{Av}=Avogadro sayısı, k_{epi}=Epitermal öz soğurma sabiti, I_{abs}= epitermal nötron öz soğurma tesir kesiti ve A= elementin atom ağırlığı, r= silindir (veya foil) yarıçapı ve h= silindir (veya foil kalınlığı) yüksekliği, burada k_{epi}=1 alınız (Chilian ve ark., NIMA622(2010), pp. 429-432).

Ek-6: Analizörlerin Çoklu Sayıcı (Multiscaling) Modunda Çalışma İlkesi

Günümüzde, radyasyon dedeksiyonunda enerji spektroskopisi yaygın olarak kullanıldığından, çok kanallı analizör(MCA) üniteleri sıkça puls yüksekliği analizi (pulse height analysis=PHA) modunda çalıştırılır ve genellikle gelen sinyalin biçim ve genlik bilgisi işlenerek, MCA hafızasında kaydedilirler. Ancak MCA üniteleri PHA modunun dışında, nükleer olayların zamanla değişebilen özelliklerini ölçmede (zaman spektroskopisi) çok kanallı sayıcı/çoklu sayaç (Multichannel Scaler=Multiscaling=MCS)

modunda da kullanılmaktadırlar. MCS modunda analizörün her kanalı(hafıza kayıt adresi) bağımsız bir sayaç (independent counter) görevi yapar. Analizöre giren tüm pulslar, genliğine bakılmaksızın integral olarak sayılırlar. Analiz başlangıcında, belirlenen kanalda oturma süresi (dwell time) boyunca önce MCS'nin birinci kanalında sayılır ve sayım olarak depolanır. İlk kanaldaki oturma zamanı tamamlanınca bu kez analizör ikinci kanala (sayıcıya) atlar ve yine aynı süreyle tüm pulslar (hangi genlikte gelirse gelsin) sayılır ve ikinci kanal sayımı olarak depolanır. Bu şekilde her kanal sırayla belirlenen oturma periyotunda (dwell time) olmak üzere sayımları biriktirir ve daha önceden ayarlanmış MCS kanallarının tümünü (hafıza adresleri) tarar ve sayımlar her kanalda bağımsız olarak biriktirilir. Örneğin oturma zamanı(dwell time) 1 dakika ve MCS kanalı 512 seçilirse, toplam deney süresi 8 saat 32 dakika olacaktır. MCS modunda tüm kanalları bir kez gezmeye (one sweep) denilir. İstendiğinde bu gezinti sayısı başlangıçta belirlenebilir. Her kanaldaki ölçüm süresini gösteren oturma zamanı (dwell time) ise MCS'de haricen TTL sinyali gönderilerek kontrol edilebileceği gibi, dahili olarak da, genelde 1µs ile 5000 s arasında bir aralıkta kullanıcı tarafından belirlenerek ayarlanabilir. Böylelikle hem kısa ve hem de uzun ömürlü nükleer olayları zaman ekseninde izleme imkanı elde edilir. MCS modunda çalışmanın en net sonucu, analiz için seçilen MCS kanal sayısı (MCS Input size), bir tek dedektörden gelen sinyali kullanarak, eşit sürelerle ölçüm alan bağımsız sayaçları (counters), yani tek kanallı analizörler (SCA) gibi kullanma sağlamasıdır. Analizörün MCS modu, birbiri ardı sıra zaman aralıkları ile her kanalda kaydedilen pulsların sayısı, radyoaktif bozunma yapan nükleitlerin özellikle de hızlı bozunan radyoaktif izotopların zamana bağlı davranışını incelemek veya diğer zamana bağımlı değişen nükleer olayların kaydetmek için oldukça elverişlidir. Bu ayarlarda, ayrıca kullanılacak ADC ayarları ile alt eşik (LLD) ile düşük gürültü sinyallerinin girişi ve üst sınır ayarı (ULD) istenmeyen yüksek genlikli sinyaller kesilerek MCS analizör girişine izin verilmez.