

Setul de surse radioactive gama spectrometrice din *Laboratorul de Masură și Aplicații a Radiațiilor Ionizante* (LaMAR) al **Departamentului de Fizică din UPB** conține următoarele surse monoizotopice: ^{152}Eu , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{133}Ba , ^{57}Co și ^{22}Na și a fost fabricat la data de **29.06.2009**. Radioizotopii din aceste surse au caracteristicile de dezintegrare prezentate în Tabelul din ANEXA 1.

Fotonii gamma emiși de aceste surse sunt măsurați cu ajutorul unui spectrometru de înaltă rezoluție cu germaniu hiperpur (GeHP) obținându-se pentru fiecare sursă monoizotopică spectrul energetic experimental (numărul de evenimente înregistrate în funcție de energia acestora) care poate fi analizat spre exemplu cu programul Maestro, obținând pozițiile (*energiile*) și numărul de evenimente din spectru corespunzător acestor energii. Comenzile primare necesare din "Maestro" sunt sintetizate în ANEXA 2.

Sunt cunoscute următoarele definiții/aproximații:

- Prin activitatea A a unei surse radioactive se înțelege numărul de dezintegrări ale sursei în unitatea de timp (unitatea de măsură Becquerel (Bq): $1\text{Bq} \equiv 1$ dezintegrare/secundă). Activitatea scade în timp după o lege exponențială cu $T_{1/2}$ perioada de înjumătățire a activității.
- Prin Intensitatea I_i a unei linii gamma se înțelege procentul din numărul de dezintegrări ale sursei radioactive în care se emite fotonul gamma având energia E_i .
- Se admite o dependență liniară între aria unui fotopic (A_i) din spectru corespunzător fotonilor gama de energie E_i și Activitatea A a sursei:

$$A_i = A \times I_i \times ef_i \times t_m$$

unde (ef_i) este eficacitatea de detecție corespunzătoare fotonilor de energie E_i iar t_m timpul de măsură

- Se pot aproxima fotopicurile din spectru cu triunghiuri
- La măsură toate sursele sunt așezate în aceeași poziție față de detectorul GeHP.

Problemă de rezolvat: *Cunoscând faptul că activitatea sursei de ^{152}Eu la momentul fabricării setului a fost de $47,9 \pm 8,3$ KBq și utilizând datele experimentale aflate la dispoziție să se determine activitatea sursei de ^{137}Cs la momentul fabricației și incertitudinea valorii obținute.*

APPENDIX C. NUCLEAR SPECTROSCOPY STANDARDS

1. Gamma-ray Energy and Intensity Standards

Table 1 lists some γ -ray energy standards, from the evaluation of Helmer, et al.¹, and intensity standards, recommended by the IAEA Co-ordinated Research Programme^{2,3} (CRP), for calibration of γ -ray measurements. Most of the isotopes given here have half-lives of more than 30 days, and many are commercially available. The γ -ray energies are based on the *gold standard*, the 411.80205 keV transition from ¹⁹⁸Au decay. Uncertainties are intended to represent one standard deviation, and include the 0.3 ppm uncertainty in the definition of the electron volt relative to wavelength. The γ -ray energies reported in Table 1 are from absolute wavelength or curved-crystal spectrometer measurements, which are tied directly to the *gold standard*, and from the measurements of small γ -ray energy differences with Ge detectors. Energies that are rounded to the nearest 0.1-keV and tabulated without uncertainty are not recommended values; however, they have been included because these transitions are useful intensity calibration standards. Other, apparently precise, transition energies and intensities have been tabulated in the *Table of Isotopes*, but the reader should use these values with great caution because of unknown systematic uncertainties which may not have been included. Columns 1 and 2 show the isotope names and half-lives, respectively. Columns 3 and 4 list the γ -ray energies and intensities with their corresponding uncertainties (in italics) in the least significant digit(s).

¹ R.G. Helmer, C. van der Leun, and P.H.M. Van Assche, private communication, draft of a paper to be submitted to *Nucl. Instr. Meth.*, 1995; energies may change in the final publication.

² R. Vaninbrouckx, *Emission Probabilities of Selected Gamma Rays for Radionuclides Used as Detector-Calibration Standards*, report presented at the Advisory Group Meeting of the International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna (1985).

³ *X-ray and Gamma-ray Standards for Detector Calibration*, report by the Co-ordinated Research IAEA Programme, IAEA-TECDOC-619 (1991).

Table 1. Gamma-ray Energies and Absolute Intensities for Some Standard Sources

Source	Half-life	E_γ (keV)	I_γ (%)	Source	Half-life	E_γ (keV)	I_γ (%)
⁷ Be	53.29 d	477.6035 ²	10.45 ¹⁰	⁵⁹ Fe	44.503 d	142.651 ²	
²² Na	2.6019 y	1274.537 ⁷	99.935 ¹⁵			192.349 ⁵	
²⁴ Na	14.9590 h	1368.626 ⁵	99.9936 ¹⁵			1099.245 ³	
		2754.007 ¹¹	99.855 ⁵			1291.590 ⁶	
³⁵ Cl(n, γ)		517.07043 ²⁰	0.227 ²⁰	⁵⁶ Co	77.27 d	846.7638 ¹⁹	99.933 ⁷
		786.2975 ⁵	0.096 ⁹			1037.8333 ²⁴	14.13 ⁵
		788.4236 ⁵	0.150 ¹²			1175.0878 ²²	2.239 ¹¹
		1164.8587 ⁶	0.257 ²²			1238.2736 ²²	66.07 ¹⁹
		1600.8	0.034 ³			1360.196 ⁴	4.256 ¹⁵
		1951.1291 ¹⁵	0.187 ¹⁵			1771.327 ³	15.49 ⁵
		1959.345 ⁸	0.121 ¹⁰			2015.176 ⁵	3.029 ¹⁹
		2863.9	0.060 ⁵			2034.752 ⁵	7.771 ²⁷
		3061.7	0.035 ³			2113.092 ⁶	0.366 ⁸
		5715.2	0.051 ⁴			2212.898 ³	0.390 ⁷
		6110.8	0.197 ¹⁶			2213.092 ⁶	
		6619.4	0.081 ⁷			2598.437 ⁴	16.96 ⁶
		6627.5	0.046 ⁴			3009.558 ⁴	0.995 ²¹
		6977.6	0.0223 ²⁰			3201.930 ¹¹	3.13 ⁹
		7413.7	0.100 ⁶			3253.402 ⁵	7.62 ²⁴
		7790.0	0.086 ⁷			3272.977 ⁶	1.78 ⁶
		8578.2	0.0294 ²⁴			3451.119 ⁴	0.93 ⁴
⁴⁶ Sc	83.79 d	889.271 ²	99.9844 ¹⁶	⁵⁷ Co	271.79 d	3548.3	0.178 ⁹
		1120.537 ³	99.9874 ¹¹			14.4	9.16 ¹⁵
⁴⁴ Ti	49 y	67.8679 ¹⁸				122.06065 ¹²	85.60 ¹⁷
		78.3231 ¹³				136.47350 ²⁹	10.68 ⁸
⁵¹ Cr	27.702 d	320.0824 ⁴	9.86 ²	⁵⁸ Co	70.82 d	810.7594 ²⁰	99.45 ¹
⁵⁴ Mn	312.3 d	834.841 ⁴	99.9758 ²⁴			863.951 ⁶	0.69 ³
⁵⁶ Mn	2.5785 h	846.8	98.87 ³			1674.725 ⁷	0.519 ¹⁰
		1810.7	27.2 ⁸	⁶⁰ Co	5.2714 y	1173.228 ³	99.857 ²²
		2113.0	14.3 ⁴			1332.490 ⁶	99.983 ⁵
				⁶⁵ Zn	244.26 d	1115.539 ²	50.60 ²⁴

d → zile
y → ani

Table 1. Gamma-ray Energies and Absolute Intensities (continued)

Source	Half-life	E_γ (keV)	I_γ (%)	Source	Half-life	E_γ (keV)	I_γ (%)
^{66}Ga	9.49 h	833.5324 ²¹	6.03 ²³	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	249.76 d	446.812 ³	3.72 ³
		1039.220 ³	37.9 ¹²			620.3547 ²²	
		1333.113 ⁵	1.23 ⁵			657.7600 ¹²	94.4 ¹
		1418.753 ⁵				677.6216 ¹³	10.40 ⁸
		1508.158 ⁷				687.0085 ²⁰	6.44 ³
		1918.329 ⁵	2.14 ⁸			706.6752 ¹⁷	16.6 ¹
		2189.616 ⁶	5.71 ²¹			744.2754 ¹⁶	4.70 ⁴
		2422.523 ⁷	1.96 ⁷			763.9420 ¹⁰	22.39 ⁸
		2751.835 ⁵	23.2 ¹¹			818.0243 ¹⁹	7.32 ⁴
		3228.800 ⁶	1.48 ¹²			884.6779 ¹³	72.7 ³
		3380.851 ⁶	1.40 ¹²			937.484 ⁴	34.31 ¹²
		3422.040 ⁶				1384.2921 ²²	24.25 ⁸
		3791.009 ⁶	1.02 ¹¹			1475.7790 ²⁴	3.99 ²
		4085.853 ⁹	1.14 ¹⁰			1505.0273 ²⁴	13.04 ⁴
		4295.7	3.5 ⁷			1562.2937 ¹⁸	
		4461.202 ⁹		^{109}Cd	462.6 d	88.0336 ¹⁰	3.63 ²
		4806.005 ¹⁰	1.5 ⁴	^{111}In	2.8049 d	171.3	90.78 ¹⁰
^{75}Se	119.779 d	66.0518 ⁸	1.10 ²			245.3	94.16 ⁸
		96.7340 ⁹	3.41 ⁴	$^{115\text{m}}\text{In}$	4.486 h	336.2	45.9 ²
		121.1155 ¹¹	17.1 ¹	^{113}Sn	115.09 d	391.698 ³	64.89 ¹²
		136.0001 ⁶	58.8 ³	^{125}Sn	9.64 d	1806.690 ¹⁶	
		198.6060 ¹²	1.49 ¹			1889.884 ¹⁶	
		264.6576 ⁹	59.0 ²			2002.132 ¹³	
		279.5422 ¹⁰	25.0 ¹			2201.002 ¹²	
		303.9236 ¹⁰	1.31 ¹			2275.749 ¹⁰	
		400.6572 ⁸	11.5 ¹	^{124}Sb	60.20 d	602.7260 ²³	98.0 ¹
^{82}Br	35.30 h	221.4788 ¹⁸				645.8520 ¹⁹	7.3 ¹
		554.346 ³				713.777 ⁴	
		619.104 ³				722.783 ⁴	11.3 ²
		698.368 ³				790.708 ⁶	
		776.513 ⁴				968.194 ⁴	
		827.825 ⁵				1045.125 ⁴	
		1043.993 ⁵				1325.505 ⁴	
		1317.466 ⁴				1368.156 ⁵	
		1474.874 ⁵				1436.556 ⁵	
		1650.328 ⁵				1690.971 ⁴	48.5 ³
^{84}Rb	32.77 d	881.6041 ¹⁶		^{125}Sb	2.7582 y	2090.930 ⁶	5.66 ⁹
		1016.158 ¹¹				176.314 ²	6.05 ⁷
		1897.751 ¹¹				380.5	1.518 ¹⁰
^{85}Sr	64.84 d	514.0048 ²²	98.4 ⁴			427.874 ⁴	29.7 ³
^{88}Y	106.65 d	898.036 ⁴	94.0 ³			463.365 ⁴	10.48 ¹¹
		1836.052 ¹³	99.36 ³			600.597 ²	17.73 ¹⁸
^{95}Zr	64.02 d	724.192 ⁴	44.15 ²⁰			606.713 ²	5.00 ⁵
		756.7	54.50 ²⁵			635.950 ³	11.21 ¹²
^{94}Nb	2.0×10^4 y	702.638 ⁵	99.79 ⁸			671.441 ⁶	1.80 ²
		871.114 ³	99.86 ⁵	^{125}I	59.408 d	35.5	6.58 ⁸
^{95}Nb	34.975 d	765.8	99.81 ³	^{132}Cs	6.479 d	667.714 ³	
^{99}Mo	65.94 h	40.58323 ¹⁷				1317.916 ⁷	
		140.510 ¹				1985.623 ⁸	
$^{95\text{m}}\text{Tc}$	61 d	204.1161 ¹⁷		^{134}Cs	2.062 y	475.4	1.49 ²
		582.0775 ²¹				563.2	8.36 ³
		786.1922 ²⁷				569.3	15.39 ⁶
		820.622 ⁷				604.7	97.63 ⁶
		835.146 ⁶				795.8	85.4 ³
		1039.260 ⁶				801.9	8.69 ³
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.01 h	140.510 ¹	89.0 ²			1038.6	0.990 ⁵
^{106}Ru	373.59 d	511.8534 ²³				1168.0	1.792 ⁷
$^{108\text{m}}\text{Ag}$	127.0 y	433.937 ⁴				1365.2	3.016 ¹¹
		614.276 ⁴				661.657 ³	85.1 ²
		722.086 ¹⁵					



Table 1. Gamma-ray Energies and Absolute Intensities (continued)

Source	Half-life	E_{γ} (keV)	I_{γ} (%)	Source	Half-life	E_{γ} (keV)	I_{γ} (%)
^{133}Ba	10.52 y	53.1625 ⁶		^{161}Tb	6.88 d	25.65135 ³	
		79.6139 ¹³				48.91533 ⁵	
		80.9971 ¹²	34.11 ²⁸			57.1917 ³	
		160.6109 ¹⁷				74.56669 ⁶	
		223.2373 ¹⁴		^{166}Ho	1200 y	80.5725 ¹³	
		276.3997 ¹³	7.147 ³⁰			184.4107 ¹¹	
		302.8510 ⁶	18.30 ⁶			280.4630 ²³	
		356.0134 ⁶	61.94 ¹⁴			300.741 ³	
		383.8480 ¹²	8.905 ²⁹			410.956 ³	
^{139}Ce	137.640 d	165.857 ³	79.87 ⁶			451.540 ⁴	
^{141}Ce	32.501 d	145.4433 ¹⁴	48.6 ⁴			529.825 ⁴	
^{144}Ce	284.893 d	696.505 ⁴				570.995 ⁵	
		1489.148 ³				670.526 ⁴	
		2185.645 ⁵				711.697 ³	
^{152}Eu	13.542 y	121.7817 ³	28.37 ¹³			752.280 ⁴	
		244.6975 ⁸	7.53 ⁴			778.827 ⁶	
		295.9390 ⁷				810.286 ⁴	
		344.2785 ¹³	26.57 ¹¹			830.565 ⁴	
		367.7891 ²⁰				875.663 ⁷	
		411.1165 ¹³	2.238 ¹⁰			950.988 ⁴	
		444.0	3.125 ¹⁴			1241.519 ⁴	
		778.9045 ²⁴	12.97 ⁶			1282.102 ⁵	
		867.378 ⁴	4.214 ²⁵	^{170}Tm	128.6 d	84.25474 ⁸	
		964.1	14.63 ⁶	^{169}Yb	32.026 d	63.12044 ⁴	
		1085.836 ⁹	10.13 ⁵			93.61447 ⁷	
		1089.737 ⁵	1.731 ⁹			109.77924 ⁴	
		1112.074 ⁴	13.54 ⁶			118.18940 ¹⁴	
		1212.948 ¹¹	1.412 ⁸			130.52293 ⁶	
		1299.140 ⁹	1.626 ¹¹			177.21307 ⁶	
		1408.011 ⁴	20.85 ⁹			197.95675 ⁷	
		1457.643 ¹¹				261.07712 ⁹	
^{154}Eu	8.593 y	123.0706 ⁹	41.2 ⁵			307.73586 ¹⁰	
		247.9289 ⁷	6.95 ⁹	$^{177\text{m}}\text{Lu}$	160.4 d	105.3596 ⁶	
		591.755 ³	4.99 ⁶			112.9499 ⁵	
		723.3009 ²²	20.2 ²			121.6211 ⁵	
		756.8020 ²³	4.58 ⁶			128.5031 ⁵	
		873.1839 ²³	12.24 ¹⁵			136.7249 ¹²	
		996.3	10.48 ¹³			153.2844 ⁵	
		1004.7	18.2 ²			171.8577 ⁸	
		1274.427 ⁴	35.0 ⁴			174.3992 ⁵	
		1494.050 ⁵	0.71 ²			177.0009 ⁵	
		1596.4804 ²⁷	1.81 ²			204.1053 ⁵	
^{153}Gd	241.6 d	69.67300 ¹³				208.3665 ⁵	
		75.42213 ²³				214.4340 ⁶	
		83.36717 ²¹				218.1040 ⁷	
		89.48595 ²²				228.4839 ⁶	
		97.43100 ²¹				233.8609 ⁸	
		103.18012 ¹⁷				249.6742 ¹⁰	
		172.85307 ¹⁹				268.7851 ¹⁰	
^{160}Tb	72.3 d	86.7877 ³				281.7874 ⁹	
		197.0341 ¹⁰				296.4582 ⁶	
		215.6452 ¹¹				299.0507 ¹⁷	
		298.5783 ¹⁷				305.5030 ¹⁴	
		879.378 ²				313.7253 ²¹	
		962.311 ³				319.0207 ⁸	
		966.166 ²				321.3164 ¹⁶	
		1177.954 ³				327.6831 ⁷	
		1271.873 ⁵				341.6434 ¹⁰	
						367.4178 ¹⁰	

ANEXA 2: Comenzi din "Maestro" utilizate în lucrare:

- 1). Incărcarea unui spectru măsurat: File/Recall/Agarbiceanu2017/*nume_spectru*/Open
în care *nume_spectru* este : Spectru_152Eu și Spectru_137Cs
- 2). Timpul de măsură (t_m) al spectrului este afișat în dreapta sus (se neglijează timpul mort)
- 3). Manevra "lupei" : +/- din keypad, săgeți up/down, mouse
- 4). *Energia* corespunzătoare poziției cursorului și *numărul de evenimente* din spectru corespunzător acelei energii sunt afișate în stânga jos