

POMIAR I ANALIZA WIDM MONOENERGETYCZNEGO PROMIENIOWANIA GAMMA ZA POMOCA SPEKTROMETRU SCYNTYLACYJNEGO. WYZNACZENIE WSPÓŁCZYNNIKA ABSORPCJI PROMIENIOWANIA GAMMA W METALACH

I. Celem ćwiczenia jest:

1. Wykonanie pomiarów widm monoenergetycznego promieniowania gamma z jądrowych przejść w izotopach ^{133}Ba , ^{60}Co , ^{22}Na , ^{137}Cs przy użyciu spektrometru scyntylacyjnego z kryształem NaJ (Tl).
2. Przeprowadzenie analizy zmierzonych widm w oparciu o schematy rozpadów izotopów.
3. Wykonanie pomiarów widm promieniowania gamma z izotopów ^{60}Co i ^{137}Cs po przejściu warstwy metalu (np. *Pb*, *Al*) o zmiennej grubości.
4. Przeprowadzenie analizy porównawczej widm promieniowania gamma z ^{137}Cs zmienionych bez absorbenta i po przejściu kilku warstw *Pb* (np. 1 cm, 2 cm i 4 cm).
5. Wyznaczenie współczynników absorpcji mierzonych metali dla różnych energii promieniowania gamma.

II. Zagadnienia do przygotowania

- przejście gamma
- schematy rozpadów izotopów ^{133}Ba , ^{60}Co , ^{22}Na , ^{137}Cs
- oddziaływanie promieniowania gamma z materią
- prawo absorpcji promieniowania gamma
- działanie licznika scyntylacyjnego z kryształem NaJ (Tl)
- widma promieniowania gamma mierzone spektrometrem z detektorem scyntylacyjnym
- prawa statystyczne; określenie błędów wielkości pomiarowych

III. Odnosniki do literatury

1. Z. Wróbel, A. Budziak, H. Hrynkiewicz, L. Jarczyk: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki jądrowej w pracowni studenckiej IFUJ*, 1979, rozdziały: II i III (kopia rozdziału III załączona do materiałów).
2. A. Strzałkowski: *Wstęp do fizyki jądra atomowego*, PWN 1979, rozdziały: 1.113, 1.143, 1.133.
3. Materiał uzupełniający, nieobowiązkowy: A. Strzałkowski: *Wstęp do fizyki jądra atomowego*, PWN 1979, rozdziały: 2.51

IV. Schemat aparatury pomiarowej



V. Przebieg ćwiczenia

- Podać wspólne napięcie na fotopowielacz wg informacji umieszczonej na obudowie sondy scyntylacyjnej.
- Umieścić źródło promieniowania ^{60}Co w osłonie ołowianej.
- Sprawdzić prawidłowość połączeń obserwując impulsy na oscyloskopie: po przedwzmacniaczu; wysokość impulsu $< 1\text{ V}$ po wzmacniaczu liniowym; wysokość impulsu $< 10\text{ V}$.
- Uruchomić analizator wielkanałowy.
- Nie zmieniając wzmocnienia zmierzyć widma gamma kolejno ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{22}Na . Czas pomiaru należy dobrać tak, aby w głównych maksimach błąd liczby zliczeń nie przekraczał 3%. Oprócz zbiorów na dysku należy zapisywać kopie bezpieczeństwa na innym nośniku.
- Wykonać pomiary absorpcyjne widm promieniowania gamma z ^{60}Co i ^{137}Cs w ustalonej jednostce czasu w zależności od grubości absorbentu Pb (lub Al). W tym celu należy przysłaniać źródło wzrastającą warstwą absorbenta, dokładając kolejno metalowe płytki (po zmierzeniu ich grubości). Pomiary należy kontynuować do wyczerpania płytek absorbenta lub do momentu, gdy w rejestrowanym widmie gaussowskie maksima tracą wyrazistość. Czas pomiaru należy dobrać tak aby przy grubości absorbenta $\sim 2\text{ cm}$, liczba zliczeń w maksimum pełnego pochłaniania była obciążona błędem nie większym niż 3%.
- Należy również wykonać pomiary widm ^{60}Co i ^{137}Cs bez absorbenta oraz tła (bez źródła i absorbenta), przez czas ustalony dla widm absorpcyjnych.

VI. Opracowanie wyników

Uwaga: program „Hetman” zapisuje widmo w 4 kolumnach. Program *plik.exe* w katalogu PLIK EXE transformuje zbiór 4 w 2 kolumny.

Dane eksperymentalne poddać procedurze „ORIGIN”, „NIC” lub innej.

a) Analiza widm promieniowania gamma ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{22}Na .

- Narysować zmierzone widma w postaci zależności $N(K)$ – liczba zliczeń w funkcji numeru kanału.
- Narysować odpowiednie schematy rozpadów.
- Kalibrację energetyczną przeprowadzić przyporządkowując położenie środków pików pełnego pochłaniania ^{60}Co i ^{133}Ba na osi kanałów ich energiom odczytanym ze schematu rozpadu.
- Przeskalować zmierzone widma i narysować je w postaci zależności $N(E)$ – liczba zliczeń w funkcji energii.
- Wyznaczyć z widm wartości energii: maksimów pełnego pochłaniania (poza Co i ^{133}Ba), krawędzi komptonowskich, pików wstecznego rozpraszania.
- Wyliczyć wartość energii krawędzi komptonowskich i pików wstecznego rozpraszania dla energii przejść gamma podanych na odpowiednich schematach rozpadu i zaznaczyć te wartości na widmach.
- Zaznaczyć na widmach wartości energii promieniowania charakterystycznego materiałów użytych w eksperymencie.
- Z widma ^{137}Cs wyznaczyć energetyczną zdolność rozdzielczą spektrometru.
- Uzasadnić dlaczego nie wszystkie dopuszczone warunkami energetycznymi oddziaływania promieniowania gamma są rejestrowane w widmach zmierzonych.

b) Analiza widm absorpcyjnych ^{137}Cs i ^{60}Co .

- Narysować widmo zmierzone bez absorbenta jako zależność liczby zliczeń od numeru kanału.
- Narysować absorpcyjne widma zmierzone dla kilku warstw metalowego absorbenta.
- Przeprowadzić porównawczą analizę narysowanych widm; oddzielnie dla ^{137}Cs i ^{60}Co i przedstawić wnioski dotyczące charakteru absorpcji promieniowania gamma.
- W maksima pełnego pochłaniania wszystkich widm absorpcyjnych wpisać funkcje Gaussa.

- Wyliczyć powierzchnie pod krzywą Gaussa σ , (rozważyć problem tła).
- Narysować zależność powierzchni σ pod maksimami pełnego pochłaniania w funkcji grubości x absorbenta.
- Z zależności $\sigma(x)$ wyznaczyć współczynniki absorpcji promieniowania gamma o danej energii dla danego absorbenta.
- Porównać zmierzone liniowe współczynniki absorpcji promieniowania gamma w ołowiu lub aluminium z odpowiednimi współczynnikami absorpcji podanymi w załączonej tabeli (należy przyjąć gęstość absorbenta ołowianego $\rho_{Pb}=11,37 \text{ g/cm}^3$ i aluminium $\rho_{Al}=2,7 \text{ g/cm}^3$).
- Przeprowadzić oszacowanie dokładności pomiarów i dyskusję błędów.

Tabela 1 – Ołów

Pierwsza kolumna zawiera energię fotonów w MeV, siódma pełny współczynnik absorpcji w [cm²/g]

Свинец							
Энергия фотонов, $M_{ЭВ}$	Рассеяние, бари/атом		Фотоэффект. бари/атом	Образование пар, бари/атом		Полное ослабление, см ² /г ^a	
	Ког. + Неког.	Неког.		Ядро	Электрон	Ког. + Неког.	Неког.
0,01	1600	52,5	47200	-	-	142	137
0,01304	1200	51,8	23200	-	-	71,0	67,6
0,01587	980	51,3	57800	-	-	171	168
0,02	750	50,7	30900	-	-	92	90
0,03	450	49,0	10500	-	-	31,8	30,6
0,04	310	47,4	4880	-	-	15,1	14,3
0,05	230	46,0	2690	-	-	8,49	7,96
0,06	180	44,8	1580	-	-	5,12	4,72
0,08	127	42,4	688	-	-	2,37	2,12
0,08800	113	41,6	523	-	-	1,85	1,64
0,08800	113	41,6	2640	-	-	8,01	7,80
0,10	100	40,4	1870	-	-	5,73	5,56
0,15	64	36,4	626	-	-	2,01	1,93
0,20	49	33,3	289	-	-	0,983	0,937
0,30	36,2	29,0	98,2	-	-	0,391	0,370
0,40	30,1	26,0	49,4	-	-	0,231	0,219
0,50	26,3	23,7	28,5	-	-	0,159	0,152
0,60	23,8	21,9	18,8	-	-	0,124	0,118
0,80	20,3	19,27	10,0	-	-	0,0881	0,0851
1,0	18,0	17,32	6,2	-	-	0,0704	0,0684
1,5	14,4	14,07	2,98	0,55	-	0,0521	0,0512
2,0	12,2	12,00	1,80	1,72	-	0,0457	0,0451
3,0	9,51	9,44	0,95	3,93	0,004	0,0419	0,0417
4,0	7,91	7,87	0,63	5,76	0,015	0,0416	0,0415
5,0	-	6,79	0,47	7,25	0,028	-	0,0423
6,0	-	6,00	0,38	8,47	0,042	-	0,0433
8,0	-	4,91	0,26	10,5	0,069	-	0,0458
10	-	4,18	0,19	12,3	0,094	-	0,0487
15	-	3,09	0,12	15,7	0,15	-	0,0554
20	-	2,48	0,089	18,3	0,19	-	0,0612
30	-	1,803	0,056	21,9	0,25	-	0,0698
40	-	1,432	0,041	24,4	0,30	-	0,0761
50	-	1,194	0,033	26,2	0,34	-	0,0807
60	-	1,028	0,027	27,7	0,37	-	0,0847
80	-	0,810	0,023	29,8	0,42	-	0,0903
100	-	0,672	0,015	31,3	0,46	-	0,0944

^a 0.002908 бари/атом = 1 см²/г; ^b L_{III} - край; ^c L_I - край; ^d K-край

Tabela 2 - Glin

Алюминий							
Энергия фотонов, $M_{эв}$	Рассеяние, $барн/атом$		Фотоэффект. $барн/атом$	Образование пар. $барн/атом$		Полное ослабление, $см^2/г^a$	
	Ког. + Неког.	Неког.		Ядро	Электрон	Ког. + Неког.	Неког.
0,01	29	8,32	1145	-	-	26,2	
0,015	19	8,18	335	-	-	7,91	
0,02	15	8,03	136	-	-	3,37	
0,03	11,5	7,76	38,3	-	-	1,11	
0,04	9,8	7,51	14,5	-	-	0,543	
0,05	8,8	7,29	7,0	-	-	0,353	
0,06	8,1	7,10	3,9	-	-	0,268	
0,08	7,26	6,72	1,57	-	-	0,197	
0,10	6,79	6,41	0,77	-	-	0,169	
0,15	5,96	5,77	0,22	-	-	0,138	
0,20	5,39	5,29	0,083	-	-	0,122	
0,30	4,64	4,60	0,023	-	-	0,104	
0,40	4,14	4,12	0,011	-	-	0,0927	
0,50	3,78	3,76	0,006	-	-	0,0845	
0,60	3,49	3,48	0,003	-	-	0,0780	
0,80	-	3,06	0,002	-	-	-	
1,0	-	2,75	0,001	-	-	-	
1,5	-	2,23	-	0,0076	-	-	
2,0	-	1,903	-	0,030	-	-	
3,0	-	1,496	-	0,086	0,0007	-	
4,0	-	1,247	-	0,140	0,002	-	
5,0	-	1,077	-	0,186	0,004	-	
6,0	-	0,952	-	0,227	0,006	-	
8,0	-	0,778	-	0,295	0,011	-	
10	-	0,663	-	0,353	0,015	-	
15	-	0,490	-	0,460	0,023	-	
20	-	0,393	-	0,539	0,030	-	
30	-	0,286	-	0,647	0,040	-	
40	-	0,227	-	0,726	0,048	-	
50	-	0,1893	-	0,782	0,053	-	
60	-	0,1630	-	0,828	0,058	-	
80	-	0,1284	-	0,896	0,066	-	
100	-	0,1065	-	0,944	0,072	-	
^a 0,002233 $барн/атом = 1 \text{ см}^2/г$							

Tabela 3 - Miedź

Медь							
Энергия фотонов, $M_{эв}$	Рассеяние, <i>бари/атом</i>		Фотоэффект. <i>бари/атом</i>	Образование пар. <i>бари/атом</i>		Полное ослабление, $см^2/г$	
	Ког. + Неког.	Неког.		Ядро	Электрон	Ког. + Неког.	Неког.
0,01	150	18,56	23600	-	-	225	224
0,015	96	18,24	8000	-	-	76,7	76,0
0,02	70	17,92	3460	-	-	33,5	33,0
0,03	46	17,31	1100	-	-	10,9	10,6
0,04	35	16,76	465	-	-	4,74	4,57
0,05	28	16,27	238	-	-	2,52	2,41
0,06	24	15,83	141	-	-	1,56	1,49
0,08	20,2	14,99	59,7	-	-	0,757	0,708
0,10	17,9	14,29	30,5	-	-	0,459	0,425
0,15	14,5	12,86	9,1	-	-	0,224	0,208
0,20	12,8	11,79	3,8	-	-	0,157	0,148
0,30	10,7	10,25	1,1	-	-	0,112	0,108
0,40	9,43	9,18	0,51	-	-	0,0943	0,0919
0,50	8,54	8,39	0,28	-	-	0,0836	0,0822
0,60	7,86	7,76	0,18	-	-	0,0762	0,0752
0,80	6,87	6,82	0,092	-	-	0,0660	0,0655
1,0	6,16	6,12	0,057	-	-	0,0589	0,0586
1,5	-	4,98	0,027	0,041	-	-	0,0479
2,0	-	4,25	0,016	0,16	-	-	0,0420
3,0	-	3,34	0,0087	0,43	0,001	-	0,0358
4,0	-	2,78	0,0059	0,70	0,005	-	0,0331
5,0	-	2,40	0,0045	0,93	0,010	-	0,0317
6,0	-	2,123	0,0036	1,13	0,015	-	0,0310
8,0	-	1,736	0,0026	1,45	0,024	-	0,0305
10	-	1,479	0,0020	1,72	0,033	-	0,0307
15	-	1,094	0,0012	2,23	0,052	-	0,0320
20	-	0,877	0,0009	2,60	0,07	-	0,0336
30	-	0,638	0,0006	3,12	0,09	-	0,0365
40	-	0,506	0,0004	3,48	0,11	-	0,0388
50	-	0,422	-	3,75	0,12	-	0,0407
60	-	0,364	-	3,97	0,13	-	0,0423
80	-	0,286	-	4,27	0,15	-	0,0446
100	-	0,238	-	4,49	0,16	-	0,0463

^a 0.009482 *бари/атом* = 1 $см^2/г$

Tabela 4 - Żelazo

Железо							
Энергия фотонов, $M_{ЭВ}$	Рассеяние, <i>барн/атом</i>		Фотоэффект. <i>барн/атом</i>	Образование пар. <i>барн/атом</i>		Полное ослабление, $см^2/г$	
	Ког. + Неког.	Неког.		Ядро	Электрон	Ког. + Неког.	Неког.
0,01	120	16,64	16600	-	-	180	179
0,015	75	16,35	5335	-	-	58,4	57,7
0,02	55	16,07	2300	-	-	25,4	25,0
0,03	37	15,52	718	-	-	8,15	7,91
0,04	29	15,03	306	-	-	3,61	3,46
0,05	24	14,59	152	-	-	1,90	1,80
0,06	20,7	14,20	89,1	-	-	1,18	1,11
0,08	17,2	13,44	37,5	-	-	0,590	0,550
0,10	15,4	12,82	18,9	-	-	0,370	0,342
0,15	12,8	11,53	5,5	-	-	0,197	0,184
0,20	11,3	10,57	2,27	-	-	0,146	0,139
0,30	9,50	9,19	0,67	-	-	0,110	0,106
0,40	8,42	8,23	0,31	-	-	0,0942	0,0921
0,50	7,63	7,52	0,168	-	-	0,0841	0,0830
0,60	7,03	6,96	0,108	-	-	0,0770	0,0763
0,80	6,15	6,11	0,054	-	-	0,0669	0,0665
1,0	5,52	5,49	0,033	-	-	0,0599	0,0596
1,5	-	4,46	0,015	0,032	-	-	0,0486
2,0	-	3,81	0,0093	0,12	-	-	0,0425
3,0	-	2,99	0,0050	0,35	0,001	-	0,0361
4,0	-	2,50	0,0033	0,56	0,005	-	0,0331
5,0	-	2,15	0,0025	0,75	0,009	-	0,0314
6,0	-	1,903	0,0020	0,91	0,013	-	0,0305
8,0	-	1,557	0,0014	1,17	0,022	-	0,0297
10	-	1,326	0,0011	1,39	0,030	-	0,0296
15	-	0,981	0,0007	1,81	0,047	-	0,0306
20	-	0,786	0,005	2,10	0,06	-	0,0318
30	-	0,572	-	2,52	0,08	-	0,0342
40	-	0,454	-	2,81	0,10	-	0,0363
50	-	0,379	-	3,03	0,11	-	0,0380
60	-	0,326	-	3,21	0,12	-	0,0394
80	-	0,257	-	3,46	0,13	-	0,0415
100	-	0,213	-	3,64	0,14	-	0,0431

^a 0.01079 *барн/атом* = 1 $см^2/г$