

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



18/10-77

P6 - 10415

B-926

1425/2-77

Ц.Вылов, В.С.Александров, Л.А.Вылова,  
В.М.Горожанкин, М.Еникова, Ж.Желев, Ш.Оманов,  
Б.П.Осипенко, В.Г.Чумин

СПЕКТРОМЕТРИЯ ИЗЛУЧЕНИЙ  
РАДИОАКТИВНЫХ НУКЛИДОВ С ПОМОЩЬЮ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

5. Организация экспериментов  
по измерению спектров гамма-лучей

**1977**

P6 - 10415

Ц.Вылов, В.С.Александров,<sup>1</sup> Л.А.Вылова,  
В.М.Горожанкин,<sup>2</sup> М.Еникова, Ж.Желев,<sup>3</sup> Ш.Оманов,<sup>4</sup>  
Б.П.Осипенко, В.Г.Чумин

СПЕКТРОМЕТРИЯ ИЗЛУЧЕНИЙ  
РАДИОАКТИВНЫХ НУКЛИДОВ С ПОМОЩЬЮ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

5. Организация экспериментов  
по измерению спектров гамма-лучей

*Направлено в сб. "Прикладная ядерная спектроскопия"*

---

<sup>1</sup> ВНИИМ им. Д.И.Менделеева, Ленинград

<sup>2</sup> Воронежский государственный университет

<sup>3</sup> Институт ядерных исследований и ядерной  
энергетики, София, НРБ

<sup>4</sup> Самаркандский государственный университет

Вылов Ц. и др.

P6 - 10415

Спектрометрия излучений радиоактивных нуклидов с помощью полупроводниковых детекторов. 5. Организация экспериментов по измерению спектров гамма-лучей

Рассмотрены вопросы планирования и проведения экспериментов по измерению энергий и интенсивностей гамма-лучей с помощью полупроводниковых детекторов. Проведен анализ различных критериев оценки качества и достоверности получаемых экспериментальных данных.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Vylov Ts. et al.

P6 - 10415

Spectrometry of Radioactive Nuclide Radiation Using Semiconductor Detectors. 5. Arrangement of Experiments of  $\gamma$ -Ray Spectrum Measurements

Problems of planning and carrying out of experiments on energy and intensity measurements of gamma-rays by means of semiconductor detectors have been considered. Analysis of the different criteria of estimating the quality of and confidence in the obtained experimental data has been made.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

В работах<sup>/1-4/</sup> изложена методика измерения энергий и интенсивностей гамма-лучей радиоактивных нуклидов с помощью полупроводниковых детекторов (ППД). Ниже рассматриваются вопросы планирования и проведения экспериментов, а также анализ достоверности получаемых данных.

### 1. ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

После настройки гамма-спектрометров<sup>/1/</sup> и систематизации эффектов, искажающих форму аппаратурного спектра<sup>/2/</sup>, переходим к исследованию нелинейности и эффективности спектрометров и к выбору оптимальных (с точки зрения разрешения и эффективности) энергетических диапазонов.

#### 1. Нелинейность спектрометра.

Вопросы исследования нелинейности спектрометра изложены в работе<sup>/3/</sup>. Сделаем лишь два замечания:

а) Опорные пики должны быть выбраны таким образом, чтобы разность каналов между ними составляла не менее 2500-3000. Нетрудно показать, что от этого выбора зависит точность построения нелинейности в нескольких сериях измерений, а следовательно, и погрешность измерения энергий гамма-лучей.

б) Второе замечание относится к процедуре аппроксимации экспериментальных данных с помощью полинома

$$\delta_j = \sum_{i=1}^M A_i P_j^{i-1} \quad (1)$$

Здесь  $\delta_j$  - экспериментальные значения нелинейности;  $P_j$  - положения максимумов линий с энергией  $E_j$ <sup>/4/</sup>. Ранее<sup>/3/</sup> эта процедура проводилась путем графического анализа данных и выбора участков для аппроксимации. Накопленный опыт и улучшенные параметры спектрометров позволяют теперь проводить процедуру автоматически следующим образом. Вначале аппроксимируется весь участок данных, при этом оптимальное значение  $M$  выбирается по минимуму величины

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |\delta_j - \delta'_j|, \quad (2)$$

где  $\delta_j$  - расчетные значения нелинейности. Далее, значения экспериментальных данных, для которых  $|\delta_j - \delta'_j| > 3\bar{\Delta}$ , отбрасываются, и аппроксимация повторяется сначала. В случае, если  $\bar{\Delta} > 0,05$  канала, проводится разбиение экспериментальных данных на две или три равные по числу точек группы так, чтобы  $\bar{\Delta} < 0,05$  канала. Если же это условие и тогда выполняться не будет, то  $\bar{\Delta}$  следует увеличить. Разумеется, ограничение в 0,05 канала связано с качеством спектрометра и аккуратностью экспериментатора.

В качестве примера в табл. I приведены данные о нелинейности спектрометра с  $38 \text{ см}^3 \text{ Ge (Li)}$ -детектором. Результаты получены по двум сериям измерений гамма-лучей ОСГИ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{207}\text{Bi}$  и  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  /4/. В качестве опорных точек использованы гамма-переходы с энергией 279 кэВ ( $^{203}\text{Hg}$ ) и 1332 кэВ ( $^{60}\text{Co}$ ). В автоматическом режиме точка №37 выбрасывается (переход 1005 кэВ  $^{152}\text{Eu}$  малоинтенсивен, вследствие чего точность определения положения максимума спектральной линии плохая). Данные табл. I графически изображены на рис. I (кривая I). Для сравнения на этом же рисунке показана нелинейность спектрометра с более качественным линейным усилителем.

## 2. Эффективность спектрометра.

Вопросы исследования эффективности изложены в работах /3,4/. В этом случае применить автоматический режим аппроксимации не просто. Процедура проводится в несколько этапов. На первом аппроксимируется весь участок экспериментальных данных и отбрасываются значения, имеющие отклонения больше 10%. Далее, если необходимо, весь энергетический диапазон разбивается на  $n$  участков ( $n \leq 5$ ), причем для каждого, как правило, среднее отклонение  $< 2\%$ . В качестве примера в табл. 2 (рис. 2) приведены данные относительной эффективности спектрометра с  $\text{Ge (Li)}$ -детектором. Результаты получены с использованием относительных интенсивностей гамма-лучей  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{173}\text{Lu}$ ,  $^{182}\text{Ta}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{160}\text{Tb}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  и  $^{56}\text{Co}$  /4/.

Табл. I. Нелинейность спектрометра с 38 см<sup>3</sup> Ge (Li)-детектором, исследованная с помощью ОСИ, <sup>152</sup>Eu, <sup>207</sup>Pb и <sup>110m</sup>Ag.

N		P <sub>i</sub>		E <sub>i</sub>		N		P <sub>i</sub>		E <sub>i</sub>		N		P <sub>i</sub>		δ <sub>i</sub> (РАСЧ.)		Δ <sub>i</sub>										
1	2	302,058	121,782	303,313	122,060	1	2	302	885	863	028	35	2535	3,173	3,240	-067												
2	3	471,854	165,854	339,205	156,475	3	3	303	-830	-861	031	36	2401	3,192	3,240	-048												
3	4	604,309	244,691	412,415	165,854	4	4	339	-779	-746	016	37	2508	3,203	3,198	-005												
4	5	634,332	255,132	634,797	255,132	5	5	412	632	622	050	38	2648	3,800	2,833	-097												
5	6	694,314	279,189	694,826	279,189	6	6	408	-519	-521	028	39	2648	2,806	2,833	-028												
6	7	856,600	344,267	775,247	321,089	7	7	408	-170	-127	025	40	2703	2,724	2,706	018												
7	8	915,194	367,088	1115,247	569,853	8	8	634	-214	-127	025	41	2713	2,724	2,682	042												
8	9	1023,971	411,084	1415,251	620,744	9	9	634	-200	-030	030	42	2768	2,535	2,532	003												
9	10	1102,777	441,940	1638,685	657,744	10	10	694	000	030	030	43	2777	2,472	2,507	-036												
10	11	1448,015	569,648	1648,358	661,648	11	11	857	408	648	022	44	2820	2,016	2,025	-009												
11	12	1648,015	661,648	1688,211	677,613	12	12	915	602	840	046	45	2820	2,016	2,025	-009												
12	13	1760,363	706,677	1711,333	687,001	13	13	972	808	840	046	46	3018	1,757	1,677	080												
13	14	1979,319	834,858	1760,363	706,677	14	14	105	1019	840	046	47	3170	1,662	1,854	-008												
14	15	2160,233	867,385	1804,177	743,516	15	15	105	1219	840	046	48	3170	1,662	1,854	-008												
15	16	2400,233	904,215	1804,177	743,516	16	16	1113	1219	840	046	49	3231	1,500	1,504	003												
16	17	2640,233	904,215	2079,786	834,858	17	17	1113	1097	1,021	029	50	3314	1,000	1,013	-013												
17	18	2880,233	1083,834	2079,786	834,858	18	18	1419	2,116	2,065	050	51	3314	1,000	1,013	-013												
18	19	3072,585	1089,726	2303,560	884,695	19	19	1419	2,116	2,065	050	52	3442	1,333	1,318	015												
19	20	2712,585	1089,726	2334,830	894,507	20	20	1545	2,626	2,674	024	53	3500	1,313	1,371	-058												
20	21	2767,946	1112,065	2648,127	1063,660	21	21	1648	2,626	2,674	024	54	3500	1,313	1,371	-058												
21	22	2776,561	1112,065	2648,127	1063,660	22	22	1648	2,626	2,674	024	55	3567	1,367	1,371	004												
22	23	2919,540	1173,236	2776,844	1115,555	23	23	1648	2,626	2,674	024	56	3680	1,507	1,456	051												
23	24	3017,857	1212,895	2919,540	1173,236	24	24	1648	2,626	2,674	024	57	3680	1,507	1,456	051												
24	25	3240,764	1269,708	3170,752	1243,484	25	25	1712	2,730	2,601	069																	
25	26	3411,524	1269,708	3441,570	1384,279	26	26	1712	2,651	2,818	033																	
26	27	3499,927	1407,973	3667,211	1475,728	27	27	1854	2,957	2,971	014																	
27	28			3759,211	1505,027	28	28	1903	3,054	3,019	015																	
28	29			3880,061	1562,303	29	29	1940	3,109	3,086	024																	
29	30					30	30	2038	3,195	3,194	001																	
30	31					31	31	2079	3,234	3,215	019																	
31	32					32	32	2100	3,283	3,283	001																	
32	33					33	33	2100	3,283	3,283	001																	
33	34					34	34	2204	3,513	3,524	-011																	
34																												

N		P <sub>i</sub>		E <sub>i</sub>		N		P <sub>i</sub>		E <sub>i</sub>		N		P <sub>i</sub>		δ <sub>i</sub> (РАСЧ.)		Δ <sub>i</sub>																	
35	36	279,189	694,314	279,189	694,826	35	36	279	189	694	826	35	279	189	694	826																			
37	38	1352,484	3513,524	1352,484	3513,723	37	38	1352	484	3513	723	37	1352	484	3513	723																			
39	40					39	40					39	40																						
41	42					41	42					41	42																						
43	44					43	44					43	44																						
45	46					45	46					45	46																						
47	48					47	48					47	48																						
49	50					49	50					49	50																						
51	52					51	52					51	52																						
53	54					53	54					53	54																						
55	56					55	56					55	56																						
57	58					57	58					57	58																						
59	60					59	60					59	60																						
61	62					61	62					61	62																						
63	64					63	64					63	64																						
65	66					65	66					65	66																						

СРЕДНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ Δ = 0,34

M=5  
 A1=1,217969-00  
 A2=3,290849-01  
 A3=1,6764170-01  
 A4=3,896332-02

Табл. 2. Эффективность спектрометра с 38 см<sup>3</sup> Ge(Li)-детектором, исследованная с помощью <sup>75</sup>Se, <sup>182</sup>Ta, <sup>152</sup>Eu, <sup>160</sup>Tb, <sup>192</sup>Ir, <sup>110m</sup>Ag и <sup>56</sup>Co /4/.

N	E <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> (ЭКСП)	C <sub>1</sub> (РАСЧ)	Δ <sub>1</sub>	N	E <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> (ЭКСП)	C <sub>1</sub> (РАСЧ)	Δ <sub>1</sub>
1	78.651	8.30623-00	8.25688-00	.85	39	620.353	2.00951-00	2.01624-00	-1.74
2	86.790	9.85949-00	1.00951 01	-2.60	40	636.129	1.88709-00	1.97219-00	-3.45
3	96.734	1.14073 01	1.12175 01	1.66	41	677.613	1.77671-00	1.79852-00	-1.23
4	106.107	1.15115 0E	1.14421 01	1.60	42	678.590	1.77427-00	1.79550-00	-1.20
5	121.117	1.25244 01	1.23987 01	1.11	43	683.200	1.29270-00	1.70004-00	6.08
6	136.000	1.22502 01	1.27397 01	-4.49	44	687.001	1.25774-00	1.76794-00	-5.66
7	152.430	1.30993 01	1.27038 01	3.02	45	688.655	1.72537-00	1.76204-00	-2.24
8	156.382	1.26576 01	1.25385 01	.94	46	706.672	1.71528-00	1.70520-00	.59
9	171.402	1.11752 01	1.25334 01	-1.60	47	719.406	1.72582-00	1.66753-00	3.36
10	179.363	1.03557 01	1.03234 01	.28	48	744.271	1.61125-00	1.59777-00	.84
С1	-4.520042 0E		СРЕД. ОТКЛ. =1.71		49	763.956	1.55784-00	1.54699-00	.70
С2	-1.223430 0E				50	765.335	1.47684-00	1.54124-00	-4.46
С3	-1.186653 0E				51	778.914	1.51289-00	1.51034-00	.17
С4	-5.131131 0E				52	810.440	1.42677-00	1.43858-00	-1.25
С5	-8.341856-00				53	818.028	1.43395-00	1.42243-00	1.21
8	156.382	1.26576 01	1.24393 01	1.72	54	846.777	1.35981-00	1.35981-00	.00
9	171.402	1.11752 01	1.18319 01	-2.50	55	867.583	1.34329-00	1.32487-00	1.57
10	179.363	1.03557 01	1.08462 01	-4.74	56	879.382	1.31794-00	1.31070-00	1.23
11	179.390	1.10373 01	1.08167 01	2.00	57	884.635	1.31474-00	1.29394-00	1.58
12	198.348	9.71938-00	9.44506-00	2.82	58	891.473	1.25006-00	1.23578-00	1.19
13	215.643	5.48304-00	5.30356-00	1.69	59	937.507	1.19850-00	1.19705-00	.81
14	222.104	5.97688-00	5.85858-00	.85	60	962.304	1.20441-00	1.16969-00	2.88
15	229.316	7.52144-00	7.48823-00	.44	61	964.070	1.18996-00	1.16820-00	1.80
16	233.603	7.11158-00	7.28306-00	-2.41	62	965.168	1.16912-00	1.16427-00	.42
17	244.691	6.74223-00	6.67633-00	.98	63	1002.873	1.05582-00	1.11665-00	-2.27
18	264.071	5.85763-00	5.80099-00	.79	64	1005.255	1.05826-00	1.05826-00	.00
19	264.652	5.85763-00	5.80099-00	.79	65	1085.855	1.03526-00	1.01650-00	1.81
20	272.111	5.51134-00	5.48812-00	.43	66	1089.726	1.04847-00	1.01230-00	3.45
21	279.535	5.14063-00	5.21128-00	-1.37	67	1112.065	1.00314-00	9.88759-01	1.43
22	285.369	4.89556-00	4.90799-00	-1.01	68	1115.555	9.68417-01	9.85562-01	-1.80
23	298.571	4.65766-00	4.67352-00	-1.85	69	1121.290	9.68417-01	9.79656-01	-2.63
24	303.908	4.56412-00	4.46133-00	2.69	70	1157.493	9.31503-01	9.44420-01	-1.66
25	309.564	4.31353-00	4.28386-00	.69	71	1175.095	9.25300-01	9.27880-01	-2.28
26	337.346	3.60475-00	3.63846-00	-.94	72	1177.914	9.24793-01	9.25585-01	-.09
С1	-7.124253-00		СРЕД. ОТКЛ. =1.75		73	1189.034	9.10818-01	9.15391-01	-1.79
С2	-1.425256 0E				74	1199.855	9.20049-01	9.06361-01	1.50
С3	-4.502795 0E				75	1212.895	8.98681-01	8.94695-01	.55
С4	-8.718152-01				76	1221.391	8.79031-01	8.87564-01	-1.87
16	233.603	7.11158-00	7.29669-00	-2.60	77	1230.968	8.76080-01	8.79631-01	-.64
17	244.691	6.74223-00	6.59463-00	2.19	78	1238.271	8.57321-01	8.73726-01	-1.97
18	264.071	5.85763-00	5.69723-00	2.74	79	1257.416	8.34070-01	8.58061-01	-2.93
19	264.652	5.85763-00	5.67558-00	-1.54	80	1271.830	8.45029-01	8.48153-01	-.57
20	272.111	5.51134-00	5.40350-00	1.37	81	1289.119	8.33719-01	8.34397-01	-.08
21	279.535	5.14063-00	5.13304-00	-.84	82	1299.108	8.45435-01	8.27972-01	1.94
22	285.369	4.89556-00	4.98701-00	-1.87	83	1312.078	8.07816-01	8.13777-01	-1.36
23	298.571	4.65766-00	4.68969-00	-.35	84	1342.656	7.96547-01	7.96455-01	.01
24	298.571	4.65766-00	4.62078-00	1.79	85	1360.209	8.10674-01	7.84785-01	3.19
25	303.908	4.56412-00	4.67939-00	-1.46	86	1375.770	7.64489-01	7.75910-01	-1.49
26	309.564	4.31353-00	4.36929-00	-1.29	87	1384.590	7.70346-01	7.69263-01	.14
27	337.346	3.60475-00	3.85913-00	-7.06	88	1407.974	7.48986-01	7.54439-01	-.14
28	344.267	3.70125-00	3.75612-00	-1.48	89	1457.530	7.24971-01	7.25272-01	-.10
29	350.750	3.97951-00	3.67418-00	7.67	90	1475.778	7.11117-01	7.15052-01	-.55
30	367.768	3.88444-00	3.44613-00	-1.82	91	1505.028	6.99161-01	6.99197-01	-.15
31	392.480	3.23702-00	3.18017-00	1.76	92	1562.303	6.78968-01	6.70007-01	1.33
32	400.650	3.09799-00	3.10712-00	-.29	93	1771.347	5.79726-01	5.80290-01	-.10
33	411.084	2.97279-00	3.01615-00	-1.46	94	2015.196	5.04782-01	4.99740-01	1.00
34	443.940	2.74741-00	2.76386-00	-.82	95	2034.772	4.91636-01	4.94946-01	-.68
35	443.802	2.58886-00	2.74819-00	-.39	96	2590.435	3.70365-01	3.70679-01	-.72
36	488.680	2.55185-00	2.50407-00	2.44	97	2590.434	2.94009-01	2.97833-01	-.50
37	557.485	2.14214-00	2.19437-00	-1.19	98	3275.000	2.70829-01	2.76755-01	-.19
38	583.990	2.19338-00	2.16720-00	2.01	99	3451.173	2.47475-01	2.57112-01	-3.89
39	620.353	2.00951-00	2.00951-00	.00	Π	9.731276-00		СРЕД. ОТКЛ. =1.53	
40	636.129	1.88709-00	1.93000-00	-2.01	С2	-5.148504-00			
41	677.613	1.77671-00	1.82000-00	-1.75	С3	-9.886129-01			
42	678.590	1.77427-00	1.79798-00	-1.20	С4	-6.128456-02			
43	683.200	1.89520-00	1.78273-00	5.93					
44	687.001	1.75774-00	1.77759-00	-.89					
45	688.655	1.72337-00	1.76775-00	-2.58					
46	706.672	1.71528-00	1.71961-00	-.25					
С1	1.953901 0E		СРЕД. ОТКЛ. =2.03						
С2	-1.318762 0E								
С3	-4.547824-00								
С4	-4.872745-01								

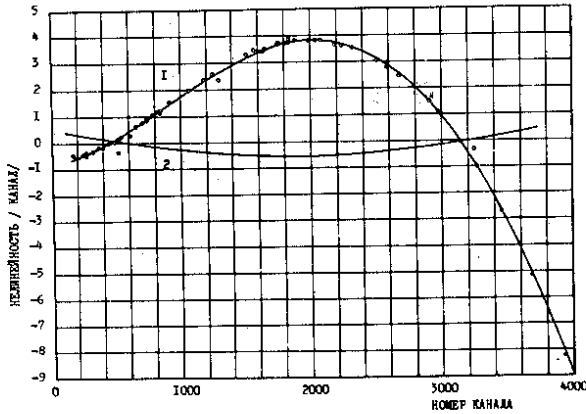


Рис.1. Нелинейность спектрометра с  $38 \text{ см}^3 \text{ Ge(Li)}$ -детектором (кривая I) и  $200 \text{ мм}^2 \times 5 \text{ мм Ge(Li)}$ -детектором (кривая 2). Точки - экспериментальные значения, непрерывная линия - аппроксимация полиномом (см. текст).

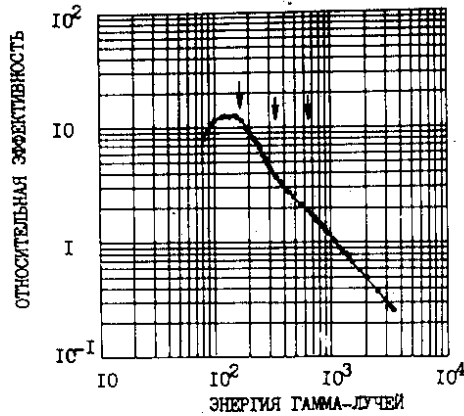


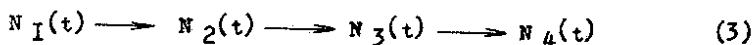
Рис.2. Эффективность спектрометра с  $38 \text{ см}^3 \text{ Ge(Li)}$ -детектором. Точки - экспериментальные значения, непрерывная линия - аппроксимация полиномом, стрелками обозначены границы областей аппроксимации (см. текст).



### 3. Планирование эксперимента.

План эксперимента для конкретного нуклида составляют по следующей схеме (рис. 3):

а) Выбор оптимального времени измерения. Анализ ведется с учетом соотношения периодов полураспада нуклидов в цепочках типа:



$$w_i(t) = \frac{N_i(t) \lambda_i}{\sum_{i=1}^n N_i(t) \lambda_i} \quad (4)$$

Здесь  $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$  - постоянная распада;  $N_i(t)$  - число ядер  $i$ -го изотопа в момент времени  $t$ ;  $w_i(t)$  - нормированная скорость распада  $i$ -го изотопа в момент времени  $t$ .

В качестве примера на рис. 4 показаны зависимости  $N_i(t)$  и  $w_i(t)$  для цепочки изобар с  $A = 140$ . Очевидно, что для того, чтобы примесь  $^{140}\text{La}$  в спектре  $^{140}\text{Ba}$  не превышала, например, 5%, необходимо применять либо методику непрерывного удаления  $^{140}\text{La}$ , либо многократную химическую очистку  $^{140}\text{Ba}$ .

б) Выбор спектрометра и исследуемого энергетического диапазона. Здесь следует разграничить два подхода. Случай, когда исследование спектра гамма-лучей уже проводилось, прост. В случае же неисследованного спектра измерения проводятся в энергетической области, определяемой расчетным значением разности масс ( $Q$ ), взятым, например, из [6]. В соответствии с  $Q$  выбирается и конкретный ППД. Приближенные значения энергий получаются с помощью метода внешней калибровки, т.е. в этом же аппаратном режиме измеряется известный спектр гамма-лучей и с помощью шести нормалей энергий из этого спектра проводится калибровка неизвестного спектра. В качестве примера на рис. 5 показан результат эксперимента с внешней калибровкой для  $^{82}\text{Br}$ : использованы данные о гамма-лучах  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{65}\text{Zn}$  и  $^{22}\text{Na}$ . Выбор энергетической области до 2200 кэВ связан с тем, что исследование спектра гамма-лучей  $^{82}\text{Br}$  уже проводилось и известно, что нет переходов с  $E > 2200$  кэВ.

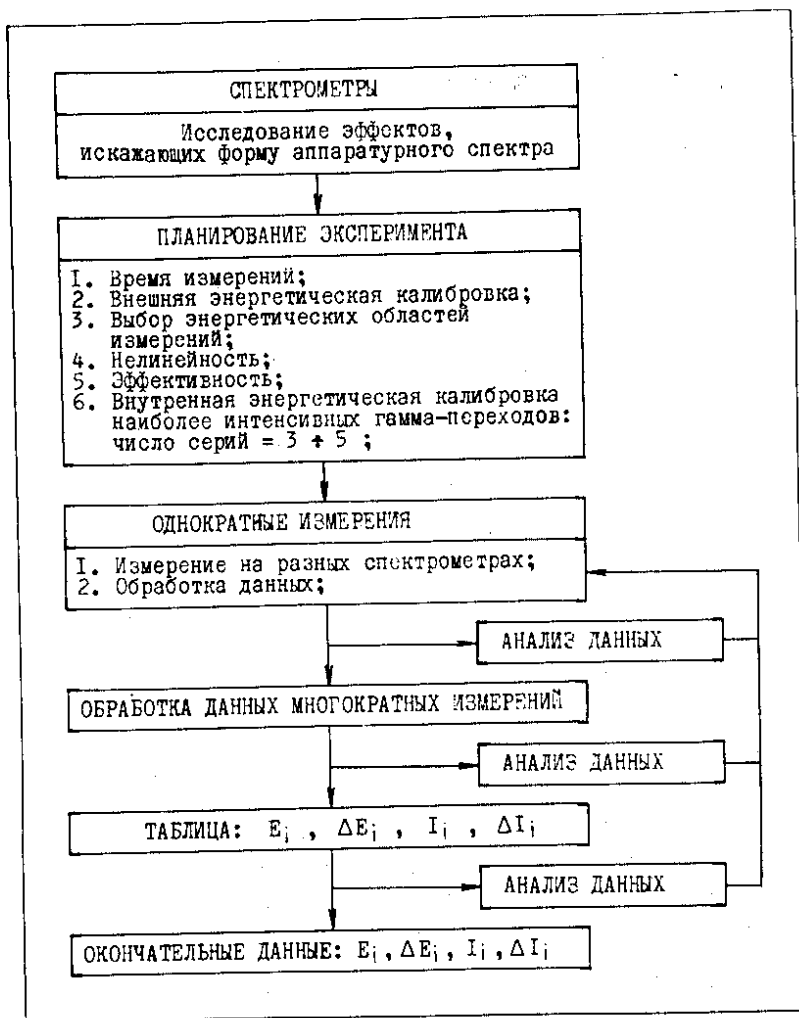


Рис. 3. Блок-схема организации эксперимента по измерению энергий и интенсивностей гамма-лучей радиоактивных нуклидов с помощью ППД.

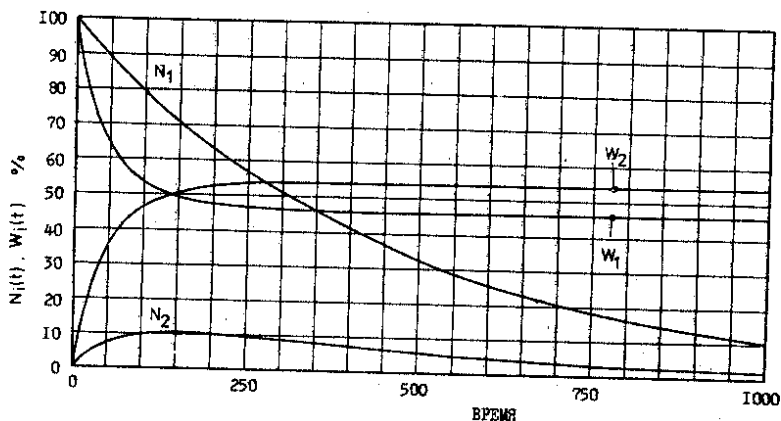


Рис. 4. Зависимость числа ядер  $N_i$  и величин  $w_i$  от времени для цепочки изобар  $^{140}\text{Ba}$  (12.79 д.)  $\rightarrow$   $^{140}\text{La}$  (40.2 ч.)  $\rightarrow$   $^{140}\text{Ce}$  (стаб.).

в) Измерение энергий наиболее интенсивных гамма-лучей, применяемых в дальнейшем в качестве шести нормалей для осуществления внутренней калибровки. Эту задачу решают с помощью методики внутренней калибровки. При этом нормали энергий выбирают так, чтобы пики находились на ровных участках комптоновского распределения, а энергетическое разрешение спектрометра позволяло разделить возможные мультиплеты. Коэффициент усиления выбирают с учетом того, что погрешность определения площади и положения максимума линии, а также устойчивость программы "Каток" при разделении сложных пиков зависит от ширины пика <sup>12/</sup>.

И наконец, по формулам (10) работы <sup>13/</sup> обрабатывают результаты определения энергий гамма-лучей в 3 - 5 сериях измерений. Аппаратурный спектр гамма-лучей с внутренней калибровкой показан на рис. 6. Результаты обработки четырех серий измерений приведены в табл. 3.

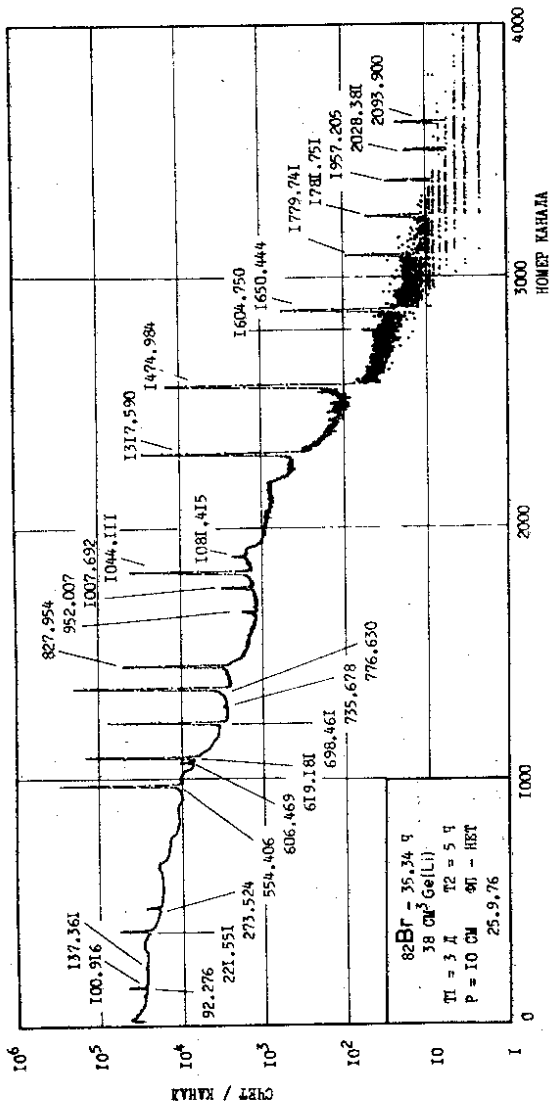


Рис. 5. Спектр гамма-лучей  $^{82}\text{Br}$ , измеренный с помощью  $38 \text{ cm}^2 \text{ Ge(Li)}$ -детектора. Приведенные значения энергий получены методом внешней энергетической калибровки.

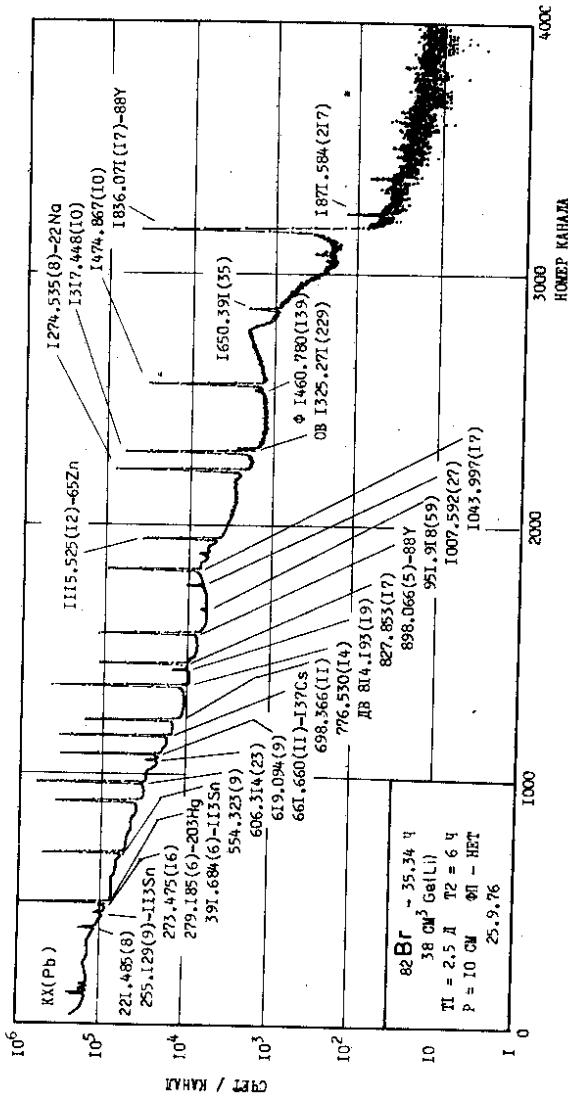


Рис. 6. Спектр гамма-лучей  $^{82}\text{Br}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{65}\text{Zn}$  и  $^{22}\text{Nd}$ , измеренный с помощью  $^{38}\text{Ge(Li)}$ -детектора. Приведены полученные в эксперименте значения энергий гамма-лучей (в скобках - погрешность)

Табл. 3. Энергии наиболее интенсивных гамма-переходов  $^{82}\text{Br}$ , определенные по внутренней калибровке с помощью нормалей из /4/. Обозначения /3/:  $\Phi 1 = \alpha_1$ ,  $\Phi 2 = \alpha_2$ ,  $\Phi 3 = \alpha_3$ ,  $\Phi 4 = \alpha_4$ ,  $\Delta E$  — относительная погрешность ( $\Phi 4 = 0$ ).

№	E	E + E0	$\Phi 1$	$\Phi 2$	$\Phi 3$	$\Phi 4$	$\Delta E$	$\Delta E$
1	221.488	221.489	0.005	0.007	0.001	0.004	0.008	0.008
2	554.330	554.332	0.004	0.005	0.003	0.009	0.006	0.011
3	606.334	606.336	0.013	0.027	0.003	0.010	0.027	0.029
4	619.100	619.102	0.004	0.009	0.003	0.011	0.009	0.011
5	698.361	698.364	0.004	0.003	0.003	0.012	0.005	0.013
6	776.516	776.519	0.004	0.002	0.004	0.013	0.006	0.014
7	827.828	827.832	0.005	0.007	0.004	0.014	0.008	0.016
8	1007.615	1007.622	0.017	0.025	0.005	0.017	0.026	0.031
9	1043.996	1044.003	0.005	0.008	0.005	0.018	0.010	0.020
10	1317.459	1317.469	0.007	0.007	0.007	0.022	0.010	0.025
11	1474.867	1474.881	0.007	0.009	0.007	0.025	0.012	0.028
12	1650.381	1650.398	0.017	0.029	0.008	0.028	0.030	0.041

## II. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОДНОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Вопросы энергетической калибровки и калибровки по интенсивности гамма-лучей рассмотрены в [3]. Отметим лишь тот факт, что в качестве  $\Delta E$  для энергетической калибровки используют большую из двух погрешностей  $-\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Опыт показал, что вклад пиков ОБ и ДВ в искажение формы аппаратного спектра удобнее учитывать на данном этапе. С этой целью в параметры режима спектрометра кроме коэффициентов полиномов аппроксимации нелинейности и эффективности по пикам полного поглощения вводят также коэффициенты полиномов для эффективностей образования пиков ОБ и ДВ. Ниже рассматриваются критерии оценки качества данных в одиночном измерении и вопросы отбора полезной информации по следующим признакам:

а) Параметры режима измерения. Спектральные линии, энергии которых лежат вне области аппроксимации нелинейности (вариант 1) и эффективности (вариант 2) по пику полного поглощения, отбрасываются и печатаются отдельным массивом.

б) Качество обработки спектральной линии с помощью ЭВМ. Для интенсивных одиночных пиков ( $I > 1$ ) зависимость полуширины линии  $h_{\text{экср}}(E)$  аппроксимируется полиномом

$$h(E) = a_1 + a_2 E + a_3 E^2 \quad (5)$$

В наших измерениях наиболее интенсивная линия принимается за 100 единиц. Спектральные линии,  $h_{\text{экср}}(E)$  которых не удовлетворяют неравенству

$$|h_{\text{экср}}(E) - h(E)| \leq \Delta h, \quad (7)$$

отбрасываются и печатаются отдельным массивом (вариант 3). Значения  $\Delta h$  зависят от качества спектрометра и, особенно, от энергетического разрешения. Выброшенные пики обрабатывают повторно с новыми начальными приближениями. Заметим, что завышенное значение может являться признаком мультиплетной структуры пика.

в) Вклад процесса образования пар в ППД. Экспериментальные значения эффективностей по пикам ОБ и ДВ аппроксимируются полиномом:

$$\ln j(\text{ОБ}; \text{ДВ}) = \sum_{i=1}^M K_i (\ln E_j)^{i-1} \quad (8)$$

Затем каждому значению  $E > 1022$  кэВ ставится в соответствие:

$$\left[ E - E(\text{OB; ДВ}) \right] \pm \left[ (\Delta E)^2 + \Delta E(\text{OB; ДВ})^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

Если существует переход, энергия которого ( $E \pm E$ ) в пределах погрешностей совпадает с этой разностью, его интенсивность корректируется с помощью соответствующей эффективности

$$\left[ S_i - S_i(\text{OB; ДВ}) \right] \pm \left[ (\Delta S_i)^2 + (\Delta S_i(\text{OB; ДВ}))^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

Здесь  $S_i$  - площадь пика с энергией  $E_i$ ;  $S_i(\text{OB; ДВ})$  - расчетная площадь OB или ДВ пика;  $\Delta S_i$  и  $\Delta S_i(\text{OB; ДВ})$  - соответствующие погрешности. Погрешность  $\Delta S_i(\text{OB; ДВ})$  задается с помощью параметра, аналогичного  $\chi^{3,4/}$ . Очевидно, что при такой обработке имеет место переход интенсивность  $\rightarrow$  площадь  $\rightarrow$  интенсивность. Для контроля на АЦПУ печатаются массивы скорректированных интенсивностей гамма-лучей (вариант 4).

г) Вклад дочерних или примесных нуклидов в искажение интенсивностей исследуемых гамма-переходов. С помощью наиболее интенсивных линий дочернего или примесного нуклида находят коэффициент нормировки

$$q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{I_i} \quad (10)$$

Здесь  $I_i$  - интенсивности, полученные в данном эксперименте для переходов дочернего или примесного нуклида с относительными интенсивностями  $I'_i$ ;  $n$  - число заданных пиков. Для переходов, совпадающих в пределах

$$\left[ (\Delta E'_i)^2 + (\Delta E_i)^2 \right]^{1/2} \quad (11)$$

по энергии с переходом дочернего или примесного нуклида, проводится коррекция (вариант 5) интенсивностей по формуле:

$$\left[ I_i - I'_i / q \right] \pm \left[ (\Delta I_i)^2 + (\Delta I'_i / q)^2 \right]^{1/2} \quad (12)$$

Для контроля на АЦПУ печатают массивы корректируемых интенсивностей гамма-переходов.

д) "Ручной режим" отбора информации (вариант 6). С его помощью отбрасывают переходы, многократно обработанные с различными начальными приближениями, а также возможные фоновые, аппаратные и примесные пики. Технически отбор осуществляется путем задания номера гамма-перехода.



Программа организована так, что различные критерии можно применять многократно или вообще не применять. Данные первоначальной обработки, а затем скорректированные результаты записывают на магнитные ленты или перфорируют для последующей обработки.

В заключение проиллюстрируем форму полученных данных на этом этапе для  $^{82}\text{Br}$ . Проведены 4 серии измерений на различных спектрометрах. Энергетическая калибровка осуществлялась с помощью данных табл. 3. Пример обработки однократного измерения (см. рис. 5) приведен в табл. 4. Оценка экспериментальных данных по различным критериям приведена в табл. 5.

### III. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Обработка результатов многократных измерений<sup>/3/</sup> проводится последовательным считыванием с магнитных лент (перфокарт, перфолент) данных одиночных измерений, причем, для контроля, на АЦПУ выводятся: номер измерения, его дата, Z и A нуклида, параметры ППД,  $\bar{\Delta}$  и  $B(2)$  режима измерения. Заметим, что для случая, когда энергия гамма-перехода определена только в одном измерении, в формулу (10) работы<sup>/3/</sup> для расчета погрешности добавляется еще член  $\alpha_5$ , где

$$\alpha_5 = \left[ \frac{\bar{\Delta}}{\sqrt{3}} B(2) \right] I/2 \quad (13)$$

Это означает, что погрешность аппроксимации нелинейности выступает уже в роли систематической, а не случайной погрешности. Пример обработки данных многократных измерений для  $^{82}\text{Br}$  показан в табл. 6. Значения энергии, не совпадающие в пределах погрешности, взвешиваются отдельно с помощью специальной программы, позволяющей расширить область перекрытия путем умножения погрешности на коэффициент.



Табл. 5. Оценка экспериментальных данных табл. 4 по различным критериям ( см. текст ).

№ 50-3 6.10.76 Z = 35 A=82 38.0 смЗ Ge(Li) Φ=0 Δ=0.041										
ВАРИАНТ:1 P МИН= 218.261 P МАКС=3729.025 B(1)= 3.563 B(2)= 0.545										
Е	ДЕ	И	ДИ	РАЗР.	Е	ДЕ	И	ДИ	РАЗР.	
72.896	.017	.333	.008	1.364	101.028	.051	.063	.007	1.306	
75.065	.012	.649	.010	1.364	121.918	.090	.088	.014	1.841	
84.872	.014	.425	.010	1.498	2094.045	.812	.013	.008	4.279	
87.499	.036	.154	.010	1.498	2102.955	.285	.050	.010	4.279	
92.272	.012	.652	.013	1.367	2117.566	.368	.014	.005	2.618	
ВАРИАНТ:2 E МИН= 78.0 E МАКС=3451.0										
Е	ДЕ	И	ДИ	РАЗР.	Е	ДЕ	И	ДИ	РАЗР.	
72.896	.017	.333	.008	1.364	75.065	.012	.649	.010	1.364	
ВАРИАНТ:3 Δh=0.41										
a1 = 1.661135-00 a2 = 8.894899-02 a3 = 3.284063-01										
Е	ДЕ	И	ДИ	РАЗР.	Е	ДЕ	И	ДИ	РАЗР.	
238.569	.056	.001	.005	2.135	1377.395	.152	.029	.008	1.402	
401.317	.152	.249	.091	2.432	1401.148	.227	.042	.017	3.085	
452.732	.220	.180	.056	2.589	1661.784	.251	.010	.004	1.449	
510.634	.074	.299	.036	2.431	1729.615	.193	.037	.006	3.233	
735.193	.165	.152	.034	3.230	2094.045	.812	.013	.008	4.279	
837.056	.104	.074	.017	2.430	2102.955	.285	.050	.010	4.279	
880.106	.181	.062	.019	2.820	2117.566	.368	.014	.005	2.618	
ВАРИАНТ:4 E ПОР.(ОВ)= 1500 E ПОР.(ДВ)= 1400 E(ОВ)= 511.020(50) E(ДВ)= 1021.860(50)										
D1=-1.893100 O1 E1=-1.773756 O1 D2= 2.600281-00 E2= 2.460060-00 D3=-1.084202-19 E3=-1.084202-19 D4=-1.084202-19 E4=-1.084202-19 D5=-1.084202-19 E5=-1.084202-19 M = 2 M = 2										
Е	ДЕ	И	ДИ	РАЗР.	Е	ДЕ	И	ДИ	РАЗР.	
452.782	.220	.180	.056	2.590						
КОРРЕКТИРОВАНИЕ ПИКОВ										
Е	ДЕ	И	ДИ	РАЗР.	Е	ДЕ	И	ДИ	РАЗР.	
1081.298	.029	.703	.029	1.886						
ВАРИАНТ:6										
Е	ДЕ	И	ДИ	РАЗР.	Е	ДЕ	И	ДИ	РАЗР.	
72.896	.017	.333	.008	1.364	964.352	.114	.207	.040	2.293	
75.065	.012	.649	.010	1.364	1377.395	.152	.029	.008	1.402	
84.872	.014	.425	.010	1.498	1401.148	.227	.042	.017	3.085	
87.499	.036	.154	.010	1.498	1460.809	.023	1.041	.022	2.339	
238.569	.056	.001	.005	2.135	1584.402	7.832	.001	.002	2.306	
295.320	.111	.116	.023	1.493	1592.755	.176	.050	.009	2.306	
351.935	.121	.189	.034	1.990	1729.615	.193	.037	.006	3.233	
510.634	.074	.299	.036	2.431	1764.508	.060	.183	.009	2.790	
609.412	.072	.241	.021	1.692	2102.955	.285	.050	.010	2.279	
911.225	.100	.125	.018	1.650						

Табл. 6. Результаты обработки многократных измерений энергий и относительных интенсивностей гамма-лучей  $^{82}\text{Br}$ .

№	E	E+SD	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	ΔE	ΔE	И	ΔИ1	ΔИ2	ΔИ
1	92,193	92,193	003	002	000	002	003	004	648	010	004	015
2	106,905	106,905	015	012	000	002	015	015	077	004	016	016
3	130,296	130,296	018	007	001	003	002	002	117	003	014	014
4	157,823	157,823	002	009	001	004	003	006	2586	012	019	028
5	221,476	221,476	006	009	002	005	009	010	1045	009	051	054
6	273,469	273,469	002	038	002	007	038	032	1102	016	032	032
7	401,313	401,313	066	009	002	009	006	011	891846	012	052	050
8	534,328	534,328	002	009	003	011	002	014	14659	013	052	050
9	606,344	606,344	006	012	003	011	006	012	53722	013	052	050
10	698,367	698,367	002	003	003	012	002	013	34132	013	052	050
11	776,523	776,523	008	003	004	013	002	013	100000	019	009	019
12	827,840	827,840	003	003	004	014	003	014	28062	009	009	009
13	806,496	806,496	004	005	004	014	006	015	28640	009	013	013
14	951,987	951,987	017	039	005	016	039	042	438	009	016	016
15	968,801	968,801	176	246	005	016	246	246	069	012	015	015
16	1007,582	1007,582	008	006	005	017	020	027	1203	015	039	047
17	1043,986	1043,986	004	020	005	018	008	020	32659	014	084	089
18	1081,257	1081,257	115	146	005	018	146	147	138	026	074	074
19	1072,827	1072,827	077	054	006	020	054	057	736	012	035	038
20	1173,570	1173,570	157	019	006	020	157	158	128	021	015	021
21	1180,144	1180,144	006	020	006	022	020	020	102	010	024	024
22	1317,442	1317,442	006	005	007	022	009	024	32195	0164	736	937
23	1330,565	1330,565	068	300	007	023	300	301	083	007	019	019
24	1395,637	1395,637	092	000	007	024	033	036	085	009	000	003
25	1474,855	1474,855	007	010	008	025	012	028	19821	0113	304	469
26	1604,079	1604,079	094	144	008	027	145	147	890	004	008	008
27	1650,339	1650,339	012	012	008	028	015	032	890	008	020	026
28	1779,675	1779,675	030	054	009	030	054	062	023	003	008	008
29	1820,156	1820,156	068	200	009	031	201	168	023	002	007	007
30	1847,533	1847,533	165	110	009	031	165	168	035	002	004	006
31	1871,942	1871,942	066	002	009	032	081	184	095	002	006	006
32	1956,699	1956,699	061	181	010	033	181	184	051	002	005	005
33	2029,154	2029,154	116	109	010	034	121	121	021	003	000	012
34	2081,037	2081,037	122	066	010	034	123	128	021	003	004	014
35	2094,037	2094,037	248	000	011	036	249	249	025	003	000	000
36	2101,768	2101,768	000	000	011	036	000	000	025	003	000	000
37	2117,595	2117,595	368	030	011	036	369	370	014	005	000	000

Полученные результаты подвергаются следующему анализу:

а) Вклад процесса образования пар в ППД. Этот эффект рассмотрен выше, где предполагалось измерение в энергетической области, охватывающей полный спектр гамма-лучей. С другой стороны, мы отмечаем, что каждый спектрометр должен быть использован в некоторой оптимальной области. Таким образом, программа автоматического учета вклада эффекта образования пар в ППД не будет работать эффективно в тех случаях, когда исследуется ограниченный энергетический диапазон. Поэтому после проведения процедуры обработки многократных измерений для  $E > 1022$  кэВ проводится расчет энергий пиков ОВ и ДВ. Затем снова анализируются данные однократных измерений и очистка ложных пиков (вариант 6).

б) Сравнение результатов эксперимента с результатами различных литературных источников. Рассматриваются переходы, энергии которых совпадают в пределах погрешности. В случае необходимости предусмотрен коэффициент перенормировки интенсивностей. Отдельными массивами печатаются энергии и интенсивности переходов, наблюдаемых либо только в наших экспериментах, либо только в литературных источниках. При противоречиях проводится повторный анализ одиночных измерений. Пример сравнения наших данных с литературными<sup>17/</sup> для  $^{82}\text{Br}$  показан в табл. 7.

в) Расчет спектра электронов внутренней конверсии (ЭВК). Для того чтобы правильно планировать и провести эксперимент по исследованию спектров ЭВК, предусмотрено построение расчетного спектра на основе данных об энергиях гамма-лучей. На АЩУ печатаются две таблицы: энергия гамма-перехода и энергии соответствующих конверсионных линий (к, L, M, и т.д.) с погрешностями; энергии конверсионных линий в порядке возрастания. Пример расчетного спектра ЭВК для  $^{82}\text{Br}$  приведен в табл. 8.

Табл. 7. Пример сравнения наших и литературных данных об энергиях и относительных интенсивностях гамма-лучей  $^{82}\text{Br}$  ( работа  $^{1/1/}$  - наши данные, работа  $^{2/2/}$  - данные работы  $^{17/1/}$ ).

E(1) ДБ		ИНТ(1) ДИИТ		E(2) ДБ		ИНТ(2) ДИИТ	
92.193	.004	.648	.015	92.184	.008	.900	.050
100.905	.015	.077	.016	100.900	.200	.090	.010
137.235	.077	.117	.014	129.290	.500	.036	.007
221.476	.006	2.586	.128	137.400	.200	.170	.030
273.469	.010	1.045	.054	179.800	.500	.012	.009
401.313	.138	.106	.032	221.450	.030	2.700	.100
554.324	.011	89.844	1.930	273.450	.010	.250	.050
606.344	.016	1.469	.060	740.700	.400	.015	.004
619.092	.012	53.622	1.122	332.900	.500	.108	.005
698.367	.013	34.192	.710	401.120	.200	.109	.009
735.510	.295	.144	.019	470.250	.500	.055	.023
776.523	.014	100.000	1.844	554.320	.020	84.700	.500
806.496	.196	.062	.019	599.500	.500	.016	.009
827.840	.015	28.640	.572	606.300	.509	1.400	.100
951.987	.042	4.338	.018	619.070	.023	51.700	.600
968.801	.246	.069	.015	625.500	.500	.090	.010
1007.582	.027	1.503	.047	698.330	.020	33.500	.500
1043.986	.020	32.659	.829	735.600	.200	.080	.020
1072.827	.147	.138	.074	776.490	.030	100.000	.300
1081.249	.057	.756	.038	827.810	.030	29.000	.300
1173.569	.158	.138	.021	835.200	.500	.030	.010
1180.144	.280	.102	.024	932.100	.500	.012	.005
1317.442	.024	32.195	.337	952.100	.200	.440	.030
1330.664	.301	.085	.015	1007.370	.030	1.370	.040
1395.637	.096	.075	.029	1043.970	.020	32.300	.400
1474.853	.028	19.821	.469	1072.600	.200	.100	.020
1604.078	.147	.034	.008	1081.400	.200	.750	.040
1650.338	.032	.890	.026	1174.000	.500	.020	.003
1779.675	.062	.128	.005	1280.200	.200	.110	.010
1820.135	.203	.029	.017	1317.470	.050	32.340	.500
1847.513	.168	.035	.006	1353.220	.500	.000	.000
1871.920	.074	.095	.026	1426.000	.500	.130	.050
1956.676	.184	.051	.005	1474.820	.080	19.900	.200
2029.129	.121	.015	.001	1650.300	.030	.950	.040
2094.067	.128	.021	.014	1779.600	.200	.140	.020
2101.681	.251	.025	.004	1871.600	.200	.040	.010
2117.565	.370	.014	.005	1956.500	.200	.040	.010

E(1) ДБ		E(2) ДБ		ИНТ(1) ДИИТ		ИНТ(2) ДИИТ		И(1) - И(2)			
92.193	.004	92.184	.008	.648	.015	.900	.050	-.389	-.081		
100.905	.015	100.900	.200	.077	.016	.090	.010	-.169	-.245		
137.235	.077	137.400	.200	-.165	-.214	.170	.030	-.044	-.063		
221.476	.006	221.450	.030	.031	2.586	.28	2.700	.100	-.091	.070	
273.469	.010	273.450	.030	.019	.032	1.045	.054	.950	.050	.091	.070
401.313	.138	401.120	.200	.195	.243	.106	.032	1.109	.009	-.028	.314
554.324	.011	554.320	.020	.004	.023	89.844	1.930	84.700	.500	.057	.022
606.344	.016	606.300	.500	.044	.500	1.469	.050	1.400	.100	.047	.076
619.092	.012	619.070	.020	.022	.023	53.622	1.122	51.700	.600	.036	.024
735.510	.295	735.600	.200	-.090	.396	.144	.019	.080	.020	.444	.194
776.523	.014	776.490	.030	.033	.033	100.000	1.844	100.000	.300	.000	.018
827.840	.015	827.810	.030	.030	.034	28.640	.572	29.000	.300	-.013	.023
951.987	.042	952.100	.200	-.113	.204	4.338	.018	4.400	.130	-.065	.080
1007.582	.027	1007.370	.030	.012	.094	1.503	.047	1.570	.040	-.045	.041
1043.986	.020	1043.970	.030	.016	.036	32.659	.829	32.800	.400	-.004	.028
1072.827	.147	1072.600	.200	.228	.248	.138	.074	.100	.020	.273	.352
1081.249	.057	1081.400	.200	-.150	.208	.756	.038	.750	.040	-.019	.075
1173.569	.158	1174.000	.500	-.430	.524	.128	.021	.102	.009	.856	.178
1180.144	.280	1180.200	.200	-.048	.344	.102	.024	.110	.010	-.078	.255
1317.442	.024	1317.470	.050	-.028	.035	32.195	.337	32.340	.500	-.005	.033
1474.853	.028	1474.820	.080	.035	.085	19.821	.469	19.900	.200	-.004	.026
1650.338	.032	1650.300	.100	.039	.105	.890	.026	.950	.040	-.067	.063
1779.675	.062	1779.600	.200	.075	.099	.128	.005	.140	.020	-.094	.168
1956.676	.184	1956.500	.200	.176	.272	.051	.005	.040	.010	.216	.219

E(1) ДБ		ИНТ(1) ДИИТ		E(2) ДБ		ИНТ(2) ДИИТ	
698.367	.013	34.192	.710	129.290	.500	.036	.007
806.496	.196	.062	.019	179.800	.500	.012	.009
968.801	.246	.069	.015	280.700	.500	.015	.004
1330.664	.301	.083	.019	332.900	.500	.108	.005
1395.637	.096	.075	.029	470.250	.030	.025	.023
1604.078	.147	.034	.018	599.500	.500	.016	.009
1820.135	.203	.023	.007	625.500	.500	.030	.010
1847.513	.168	.035	.006	698.330	.020	33.500	.500
1871.920	.074	.095	.026	735.600	.200	.080	.020
2029.129	.121	.015	.002	776.490	.030	.030	.010
2094.067	.128	.021	.014	832.100	.500	.012	.005
2101.681	.251	.025	.004	1353.220	.500	.000	.000
2117.565	.370	.014	.005	1426.000	.500	.130	.050
				1871.600	.200	.040	.010

Табл. 8. Расчетный спектр ЭВК для <sup>82</sup>Вг (см. текст).

№	E	ΔE	K L M N			
			14.526	1.727	.214	.024
1	92.195	.004	77.867	90.466	91.979	92.169
2	100.905	.015	86.579	99.178	100.691	100.881
3	137.255	.077	122.909	135.508	137.021	137.211
4	221.476	.006	207.150	219.749	221.262	221.452
5	273.469	.010	259.143	271.742	273.255	273.445
6	401.313	.138	386.987	399.586	401.099	401.289
7	554.324	.011	539.998	552.597	554.110	554.300
8	606.344	.016	592.018	604.617	606.130	606.320
9	619.092	.012	604.766	617.365	618.878	619.068
10	698.367	.013	684.041	696.640	698.153	698.343
11	735.510	.295	721.184	733.783	735.296	735.486
12	776.523	.014	762.197	774.796	776.309	776.499
13	806.496	.015	792.170	804.769	806.282	806.472
14	827.840	.015	813.514	826.113	827.626	827.816
15	951.987	.042	937.661	950.260	951.773	951.963
16	968.801	.246	954.475	967.074	968.587	968.777
17	1007.582	.027	993.256	1005.855	1007.368	1007.558
18	1043.986	.020	1029.660	1042.259	1043.772	1043.962
19	1072.827	.147	1058.501	1071.100	1072.613	1072.803
20	1081.249	.057	1066.923	1079.522	1081.035	1081.225
21	1173.569	.158	1159.243	1171.842	1173.355	1173.545
22	1180.144	.280	1165.818	1178.417	1179.930	1180.120
23	1317.442	.024	1303.116	1315.715	1317.228	1317.418
24	1330.664	.301	1316.338	1328.937	1330.450	1330.640
25	1395.637	.036	1381.511	1393.910	1395.423	1395.613
26	1474.855	.028	1460.529	1473.128	1474.641	1474.831
27	1604.078	.147	1589.752	1602.351	1603.864	1604.054
28	1650.338	.032	1636.012	1648.611	1650.124	1650.314
29	1779.675	.062	1765.349	1777.948	1779.461	1779.651
30	1820.135	.039	1805.809	1818.408	1819.921	1820.111
31	1847.513	.168	1833.187	1845.786	1847.299	1847.489
32	1871.920	.074	1857.594	1870.193	1871.706	1871.896
33	1956.676	.184	1942.350	1954.949	1956.462	1956.652
34	2029.129	.121	2014.803	2027.402	2028.915	2029.105
35	2094.067	.128	2079.741	2092.340	2093.853	2094.043
36	2101.681	.231	2087.359	2099.354	2101.467	2101.657
37	2117.565	.370	2103.339	2115.838	2117.351	2117.541

№	E	ΔE	№	E	ΔE	№	E	ΔE	№	E	ΔE	№	E	ΔE	№	E	ΔE
1	77.867	.004	38	604.766	.012	75	951.987	.042	112	1315.715	.024	149	1820.111	.203			
2	86.579	.015	39	606.130	.016	76	954.475	.246	113	1316.338	.301	150	1820.135	.203			
3	90.466	.004	40	606.320	.016	77	967.074	.246	114	1317.228	.024	151	1833.187	.168			
4	91.979	.004	41	606.344	.016	78	968.801	.246	115	1317.418	.024	152	1845.786	.168			
5	92.169	.004	42	617.365	.012	79	968.777	.246	116	1317.442	.024	153	1847.299	.168			
6	92.195	.004	43	618.878	.012	80	968.801	.246	117	1328.937	.301	154	1847.489	.168			
7	99.178	.015	44	619.068	.012	81	993.256	.027	118	1330.450	.301	155	1847.513	.168			
8	100.591	.015	45	619.092	.012	82	1005.855	.027	119	1330.640	.301	156	1857.594	.074			
9	100.881	.015	46	684.041	.013	83	1007.368	.027	120	1330.664	.301	157	1870.193	.074			
10	100.905	.015	47	696.640	.013	84	1007.582	.027	121	1331.311	.096	158	1871.706	.074			
11	122.909	.077	48	698.153	.013	85	1007.582	.027	122	1333.910	.096	159	1871.920	.074			
12	135.508	.077	49	698.343	.013	86	1029.660	.120	123	1335.423	.096	160	1871.920	.074			
13	137.021	.077	50	698.367	.013	87	1042.259	.020	124	1335.613	.096	161	1942.350	.184			
14	137.211	.077	51	721.184	.295	88	1043.772	.020	125	1336.637	.096	162	1954.949	.184			
15	137.255	.077	52	733.783	.295	89	1043.962	.020	126	1460.529	.028	163	1956.462	.184			
16	207.150	.006	53	735.296	.295	90	1043.962	.020	127	1473.128	.028	164	1956.652	.184			
17	219.749	.006	54	735.486	.295	91	1058.501	.147	128	1474.641	.028	165	1956.676	.184			
18	221.452	.006	55	735.510	.295	92	1066.923	.057	129	1474.831	.028	166	2014.803	.231			
19	221.476	.006	56	762.197	.014	93	1171.100	.147	130	1474.855	.028	167	2027.402	.121			
20	259.143	.010	57	774.796	.014	94	1072.613	.147	131	1589.752	.147	168	2028.915	.121			
21	259.143	.010	58	776.309	.014	95	1072.803	.147	132	1602.351	.147	169	2029.129	.121			
22	271.742	.010	59	776.499	.014	96	1072.827	.147	133	1603.864	.147	170	2029.129	.121			
23	273.255	.010	60	776.523	.014	97	1079.522	.057	134	1604.054	.147	171	2079.741	.128			
24	273.469	.010	61	792.170	.196	98	1081.035	.057	135	1604.078	.147	172	2087.355	.128			
25	293.469	.010	62	806.262	.196	99	1081.225	.057	136	1636.012	.032	173	2092.340	.128			
26	386.987	.138	63	806.472	.196	100	1081.249	.196	137	1648.611	.032	174	2093.853	.128			
27	399.586	.138	64	806.472	.196	101	1159.243	.158	138	1650.124	.032	175	2094.043	.128			
28	401.099	.138	65	806.472	.196	102	1165.818	.158	139	1650.311	.032	176	2094.067	.128			
29	401.289	.138	66	813.514	.015	103	1171.842	.158	140	1650.338	.032	177	2094.067	.128			
30	401.313	.138	67	826.113	.015	104	1173.355	.158	141	1765.349	.062	178	2101.467	.251			
31	539.998	.011	68	827.626	.015	105	1173.545	.158	142	1777.948	.062	179	2101.657	.251			
12	552.597	.011	69	827.816	.015	106	1178.417	.280	143	1779.461	.062	180	2101.657	.251			
33	554.110	.011	70	827.840	.015	107	1178.417	.280	144	1779.652	.062	181	2103.299	.370			
34	554.300	.011	71	937.661	.042	108	1179.930	.280	145	1779.652	.062	182	2103.299	.370			
35	554.324	.011	72	950.260	.042	109	1180.120	.280	146	1805.809	.203	183	2115.838	.370			
36	592.018	.016	73	951.773	.042	110	1180.144	.280	147	1818.408	.203	184	2117.351	.370			
37	604.617	.016	74	951.963	.042	111	1303.116	.024	148	1819.921	.203	185	2117.565	.370			

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Этой публикацией мы подводим итог разработки методики измерения энергий и интенсивностей гамма-лучей радиоактивных нуклидов, которая проводилась в течение 6 лет. По мнению авторов, использование опубликованных материалов позволит организовать такие эксперименты в очень короткий срок. С нашей точки зрения, организация программы может меняться многократно в зависимости от параметров применяемых ЭВМ и вкуса экспериментатора. С физической же точки зрения, нам кажется, затронуты и решены все существенные проблемы, влияющие на точность и достоверность получаемых результатов. Все программы написаны на языке ФОРТРАН и отработаны на ЭВМ "МИНСК-22", СДС-6400 и БЭСМ-6.

Выражаем свою благодарность проф. К.Я.Грому и В.Г.Калинину за постоянный интерес к этим работам. Мы искренне благодарим Е.Б.Озерова, чью помощь при отладке и организации всех программ трудно переоценить.

### Литература:

1. Ц.Вылов, И.Н.Егошин и др. ОИЯИ, Р6-9071, Дубна, 1975.
2. Ц.Вылов, Л.А.Вылова и др. ОИЯИ, Р6-9072, Дубна, 1975.
3. Ц.Вылов, Л.А.Вылова и др. ОИЯИ, Р6-9073, Дубна, 1975.
4. Ц.Вылов, В.С.Александров и др. ОИЯИ, Р6-10414, Дубна, 1975.
5. Э.Сегре. В кн. "Экспериментальная ядерная физика", под ред. Э.Сегре, т.3, ИЛ, М, 1961.
6. В.А.Кравцов. Массы атомов и энергии связи ядер. Атомиздат, М, 1974.
7. Nucl.Data Sheets, v.15, No. 3, 315 (1975).

Рукопись поступила в издательский отдел  
3 февраля 1977 года.