

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



СЗУ1.16
К-787

2015-75

P15 - 8202

О.Е.Крафт, Ю.В.Наумов, И.В.Сизов

170/2-75

ГАММА-РАСПАД $P_{1/2}$ И $f_{5/2}$

АНАЛОГОВЫХ РЕЗОНАНСОВ В ^{61}Cu

1974

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

P15 - 8202

О.Е.Крафт, Ю.В.Наумов, И.В.Сизов

ГАММА-РАСПАД $p_{1/2}$ И $f_{5/2}$

АНАЛОГОВЫХ РЕЗОНАНСОВ В ^{61}Cu

В последние годы особый интерес вызывает изучение гамма-распада аналоговых резонансов. Этот интерес вызван в основном теми физическими проблемами, которые могут быть решены при анализе данных о гамма-распаде ИАР. В частности, привлекает внимание проблема сравнения величин f_1 для гамов-теллеровских β -переходов и величин $B(M1)$ распада аналогов, анализ интенсивностей переходов типа аналог-антианалог. Наибольший интерес вызывает изучение состояний типа поляризации остова, которые, как недавно выяснено ^{/1/}, должны интенсивно заселяться при гамма-распаде аналогов. Подробное изложение основных особенностей гамма-распада аналогов приведено в ^{/2/}.

Основное внимание в настоящее время привлечено к изучению распада аналогов в ядрах $2p1f$ оболочки. В работах ^{/3, 4/} получены данные о распаде $g_{9/2}$ -аналогов в некоторых изотопах Cu и Ga. В работе ^{/5/} представлены результаты изучения переходов типа аналог-антианалог и сравнение β и γ -распадов для $p_{3/2}$, $p_{1/2}$, $f_{5/2}$ -аналогов в ^{61}Cu . В работе ^{/6/} изложены результаты изучения гамма-распада компонент тонкой структуры $p_{3/2}$ -аналога в ^{61}Cu . Гамма-распад аналогов $p_{3/2}$ и частично $p_{1/2}$ и $f_{5/2}$ в ^{61}Cu изучался в работе ^{/7/}. Наконец, в работах ^{/8, 9/} изучался гамма-распад $p_{1/2}$ и $p_{3/2}$ -аналогов в ^{63}Cu .

В настоящей работе представлены результаты экспериментов по гамма-распаду $p_{1/2}$ и $p_{5/2}$ -аналогов в ^{61}Cu .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

ИАР возбуждались в реакции $^{60}\text{Ni}(p, \gamma)^{61}\text{Cu}$. Мишень ^{60}Ni /95% обогащения/ толщиной 20 мкг/см^2 облучалась протонами, ускоренными на электростатическом генераторе / $E_{p \text{ max}} = 5 \text{ МэВ}$ / ЛНФ ОИЯИ. Токи составляли $5-10 \text{ мкА}$. Монохроматичность пучка лучше чем $5 \cdot 10^{-4}$. При изучении $p_{1/2}$ -аналога функция возбуждения измерялась в диапазоне энергий протонов /лабораторная система /1830-1880 кэВ, в области $f_{5/2}$ -аналога - 1650-1680 кэВ. При измерении функции возбуждения гамма-лучи с энергией больше 3 МэВ регистрировались кристаллом $\text{NaJ}(\text{Tl})$ /100 x 100 мм/.

После обнаружения и идентификации ИАР гамма-спектры его распада измерялись $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором объемом $\approx 40 \text{ см}^3$ и регистрировались 4000-канальным анализатором. Энергетическое разрешение составляло 10 кэВ для гамма-линий с энергией 6,6 МэВ. Стабильность системы - ± 1 канал / $\approx 2 \text{ кэВ}$ / за 100 час работы. Время измерения одного спектра составляло от 10 до 20 час. В процессе измерений спектров осуществлялся контроль за тем, чтобы энергия протонов соответствовала максимуму резонанса.

Функция возбуждения в реакции $^{60}\text{Ni}(p, \gamma)$ в области $f_{5/2}$ -аналога была измерена в 1957 году в работе /10/. Идентификация аналоговых резонансов в этой работе не проводилась. В области $p_{1/2}$ -аналога ранее функция возбуждения в реакции $^{60}\text{Ni}(p, \gamma)$ не измерялась, однако известны измерения функции возбуждения в реакции $^{60}\text{Ni}(p, p_0)$ с высоким разрешением по протонам /11/. В этой работе было установлено, что при энергиях протонов $E_p = 1856$ и 1875 кэВ возбуждаются две компоненты тонкой структуры аналога $p_{1/2}$, несущие основную силу $T_{>}$ -состояния. Положение $f_{5/2}$ -аналога определялось следующим образом. В работах /5, 6/ было установлено, что аналог основному состоянию $^{61}\text{Ni}(p_{3/2})$ расположен на высоте 6,4 МэВ и что четыре резонанса при $E_p = 1588, 1599, 1605$ и 1620 кэВ представляют собой компоненты тонкой структуры этого аналога. Аналог первому

возбужденному состоянию ^{61}Ni /68 кэВ, $f_{5/2}$ / должен возбуждаться при энергиях протонов $E_p \approx 1670 \text{ кэВ}$. В этой области энергий известно два резонанса с энергиями протонов $E_p = 1669$ и 1674 кэВ . Мы измерили гамма-спектры распада обоих резонансов. Оказалось, что они имеют различный характер: в распаде резонанса $E_p = 1669 \text{ кэВ}$ доминирует переход на основное состояние /3,2 %/, а в распаде резонанса $E_p = 1674 \text{ кэВ}$ самым сильным является переход на состояние 1310 кэВ /7,2 %/. Мы считаем, что резонанс $E_p = 1674 \text{ кэВ}$ несет основную часть $T_{>}$ -компоненты $f_{5/2}$ -аналога.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 изображена функция возбуждения (p, γ) реакции в области $p_{1/2}$ -аналога. Кроме двух резонансов с $E_p = 1856$ и 1873 кэВ , наблюдавшихся в реакции (p, p_0) /11/, виден еще один резонанс при энергии $E_p = 1849 \text{ кэВ}$, который не возбуждается с заметным сечением в реакции (p, p_0) . Мы измерили спектры гамма-распада этих трех резонансов. Распад резонанса $E_p = 1849 \text{ кэВ}$ характерен доминирующим переходом на основное состояние, в отличие от распада других двух резонансов, где гамма-ширина перехода на основное состояние составляет 10-20% от полной гамма-ширины. Учитывая эти данные, мы приходим к выводу о том, что резонанс $E_p = 1849 \text{ кэВ}$ не является компонентой тонкой структуры $p_{1/2}$ -аналога. Полные гамма-ширины резонансов, указанные на рис. 1, получены из анализа спектров гамма-лучей распада резонансов.

В табл. 1 приводятся энергии, относительные интенсивности /для фотолиний/ и идентификация всех гамма-пиков для распада резонансов $E_p = 1856$ и 1873 кэВ . Подобные данные для распада резонанса $E_p = 1674 \text{ кэВ}$ приведены в табл. 2. Для спектра каждого резонанса нами построена схема распада, сбалансированная по энергии и интенсивности. Схема разрядки низколежащих состояний, полученная из распада этих резонансов, такая же, как и полученная из распада $p_{3/2}$ -резонансов /6/, и здесь не приводится. Схемы прямого заселения состоя-

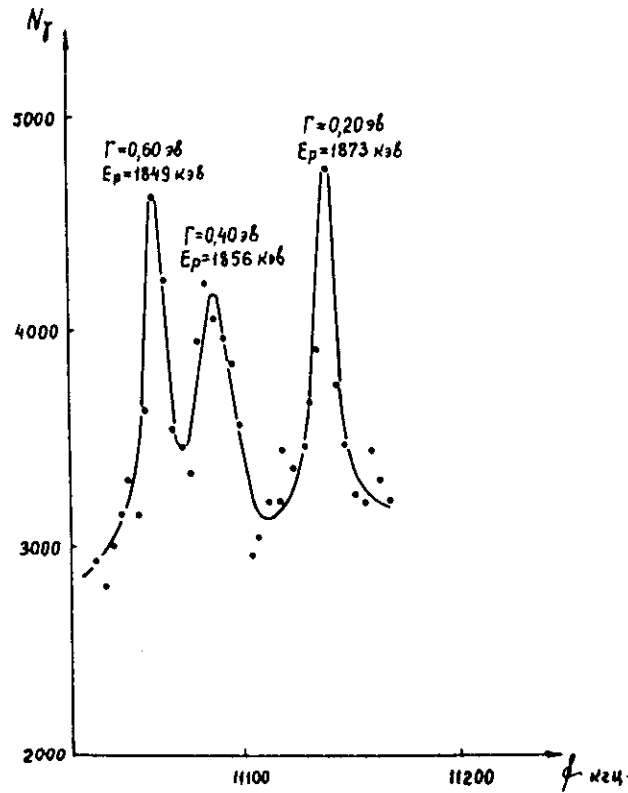


Рис. 1. Функция возбуждения $p_{1/2}$ -аналога в ^{61}Cu .

ний представлены на рис. 2 для $p_{1/2}$ -аналога и на рис. 3 для $f_{5/2}$ -аналога. В табл. 3 /для $p_{1/2}$ -аналога/ и в табл. 4 /для $f_{5/2}$ -аналога/ представлены: относительные интенсивности прямого заселения уровней, относительные интенсивности, рассчитанные на один протон, парциальные гамма-ширины и соответствующие величины $B(M1)$. Парциальные гамма-ширины получены из нормировки на результаты работы ^{6/} по изучению $p_{3/2}$ -аналога, которые в свою очередь нормированы на результаты работы ^{10/}. Погрешность полученных парциальных гамма-ширин мы оцениваем в 20-25%. Величины $B(M1)$, как и в работе ^{6/}, найдены в предположении, что

переходы - чистые $M1$. На рис. 4 и 5 представлены величины $B(M1)$ для $p_{1/2}$ - и $f_{5/2}$ -аналогов.

Таблица I

$E_p = 1856$ кэВ $E_x = 6624,2 \pm 2,1$ кэВ		$E_p = 1873$ кэВ $E_x = 6641,7 \pm 1,6$ кэВ		Идентификация
E_γ	J_γ	E_γ	J_γ	$E_1 - E_2; (Z - E_\gamma)$
422,7	6I	424,3	23	2357-1932
474,9	936	475,0	405	475 - 0
689,1	3I	691,1	48	1660-970
694,5	I4			2358-1660
751,9	I30			2840-2089
933,7	15,4	933,2	9,5	1904-970
969,5	278	971,2	207	970 - 0
1184,8	39	1185,4	7	1660-475
1309,8	74	1311,8	136	1310-0
		1343,3	3I	
1393,3	I22	1393,1	90	1394- 0
		1412,1	I4	
		1429,8	36	
1458,9	3I	1455,3	2I	1932-475
1501,9	34	1504,1	48	2473-970
		1537,3	I5	2933-1394
		1547,1	I5	
1612,2	23	1613,2	7I	2089-475
1637,4	3I	1640,4	76	
1659,4	II2	1661,7	78	1660-0
		1712,0	36	
1716,8	28			
		1733,3	55	1732-0
		1744,9	29	
1759,3	19			
1815,8				(2840-0)"
		1833,3		(2857-0)"
1872,8	52			
1881,0	22	1883,3	19	2358-475
		1896,7	19	
1906,1	I4			1904-0
1932,7	102	1930,2	29	1932-0
1995,7	6I	1998,5	8I	2473-475

2012,8				(3035-0)"					
2031,5	33								
2041,4		2045,5		(3065+0)"				3148,4	(Z -2473)"
2065,7		2068,3		(3092-0)"					(Z -2358)"
2085,1	61	2089,8	14	2089-0		3243,6			(Z -2840)'
2207,7	35			2684-475		3270,2		3291,1	
		2255,4		(3275-0)"				3273,4	50
2327,4	42							3366,7	62
		2347,5		(Z -3275)"		3516,9		3533,3	
2459,5	35	2457,7	62	2933-475		3530,5	77		
2481,1	10	2476,4	слаб.			3559,1	97	3580,1	45
2511,7				(Z -3092)"		3672,1			
2524,8				(3035-0)'				3704,8	33
2537,8		2554,5		(Z -3065)"		3732,6	18		
2550,2	43			3020-475				3798,3	67
2564,8				(Z -3035)"		3834,5	10		
2585,7				(Z -3020)"		3940,5			(Z -1660)"
2670,0				(Z -2933)"				4168,3	90
2684,4	85			2684-0				4217,4	33
		2684,1		(Z -2933)"		4493,9	30		
		2698,8	52			4535,6	17	4554,0	24
2712,2	56					4635,7			(Z -2089)"
2741,6	49					4693,5	48		(Z -970)"
		2763,3		(Z -2857)"		4973,9	55		(Z -1932)"
2759,8		2778,0		(Z -2840)"		5126,3		5143,9	(Z -475)"
2776,4	54					5606,8		5623,8	(Z -0)"
2811,6	20					5642,5			(Z -475)'
2822,6	20								
2837,3	100	2842,3	43	2840-0					
		2853,3	157	2857-0					
2888,7	47								
2923,2				(Z -2684)"					
2964,3	45								
3022,2	78			3020-0					
3034,9	78			3035-0					
3047,4	78								
3060,0	78	3064,9	38	3065-0					
3091,8	85	3092,2	31	3092-0					

Примечание: В графе "идентификация" обозначение (Z - E_{ур}) соответствует фотошкву X -перехода с резонанса на данный уровень, (Z - E_{ур})' - пику одиночного вылета для данного перехода и (Z - E_{ур})" - пику двойного вылета. Обозначения (E₁ - E₂), (E₁ - E₂)' и (E₁ - E₂)" соответствуют фотошкву, пикам одиночного и двойного вылета для перехода (E₁ - E₂).

Таблица 2

E _p = 1674 кэВ E _x = 6449 ± 3,5 кэВ		
E _γ	J _γ	Идентификация E ₁ - E ₂ ; (Z - E _{ур})
475,8	167	475 - 0
493,7	22	
631,1	81	1942 - 1310
796,3	27	3002 - 2203
835,2	30	
859,9	19	
892,7	31	2203 - 1310
932,6	44	1904 - 970
968,3	775	970 - 0
984,6	29	2295 - 1310
1184,8	20	1660 - 475
1206,0	27	
1234,9	72	2203 - 970
1280,1	30	
1291,0	30	
1309,6	184	1310 - 0
1332,6	25	
1365,2	54	2336 - 970
1394,1	72	1394 - 0
1407,9	27	
1427,8	18	2399 - 970
1508,5	40	2473 - 970
1608,5	42	3002 - 1394
1661,1	44	1660 - 0
1730,9	72	1732 - 0
1763,8	13	2728 - 970
1779,3	86	
1997,9	22	2473 - 475
2355,1		(Z - 3065) "
2430,0		(Z - 3002) "
2585,9	50	2584 - 0
2700,1		(Z - 2728) "
2950,3		(Z - 2473) "

3062,1	27	3065 - 0
3091,0	29	3092 - 0
3228,1		(Z - 2203) "
3380,2		(Z - 3065)
3409,6	22	
3430,8	16	
3450,0	18	(Z - 3002)
3608,3	20	
3696,7		(Z - 1732) "
3721,8	29	(Z - 2728)
3740,9		(Z - 2203) "
3770,5		(Z - 1660) "
3978,5	47	(Z - 2473) "
4035,0		(Z - 1394) "
4117,5		(Z - 1310) "
4244,0	47	(Z - 2203) "
4454,8		(Z - 970) "
4542,0	27	
4625,3		(Z - 1310) "
4794,7	25	(Z - 1660) "
4947,0		(Z - 475) "
4965,0		(Z - 970) "
5063,0	16	(Z - 1394)
5137,6		(Z - 1310)
5432,8		(Z - 0) "
5476,9	32	(Z - 970)
5936,2		(Z - 0) "

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Детальный анализ полученных результатов будет сделан позднее. В настоящей работе отметим следующее:

1. Из значений ft для β -переходов ${}^{61}\text{Cu} - {}^{61}\text{Ni}$ можно получить ^{/5/} величины $B(M1, \sigma)$, которые характеризуют вклад спиновой части в гамма-переход с соответствующего аналога на основное состояние ${}^{61}\text{Cu}$. Результаты даны в *табл. 5*. Видно, что наблюдается неплохое согласие между величинами $B(M1, \sigma)$, вычисленными из $\log ft$, и экспериментальными значениями $B(M1)$. Это свидетельствует о малом вкладе ℓ -части в оператор $M1$ гамма-перехода в согласии с одночастичными оценками ^{/2/}.

Таблица 3

Энергия ур. кэв	J П	Относит. инт.		Относ. инт. на 1 прот.		Г. 10 ² эв		В/МЛ/10 ² /μ ²	
		1856	1873	1856	1873	1856	1873	1856	1873
0	3/2 ⁻	100	100	7	6	4,0	4,0	1,2	1,2
475	1/2 ⁻	340	16	24	1,5	14,2	1,0	5,3	0,37
970	5/2 ⁻	57	-	4	-	2,2	-	-	-
1660	3/2 ⁻	17	-	1,2	-	0,7	-	0,5	-
1932	3/2 ⁻	37	-	26	-	1,5	-	1,2	-
2089	1/2 ⁻	20	30	1,4	2	0,8	1,2	0,7	1,1
2358	3/2 ⁻	39	-	3	-	1,6	-	1,8	-
2473	3/2 ⁻	-	76	-	5	-	3,0	-	3,6
2684	3/2 ⁻	35	-	2,5	-	1,4	-	2,0	-
2840	(1/2 ⁻)	46	65	3	4	1,8	2,6	4,2	4,0
2857	(1/2 - 5/2) ⁻	-	62	-	4	-	2,5	-	4,0
2933	3/2 ⁻	35	40	2,5	2,5	1,4	1,6	2,7	2,7
3020	(1/2 - 5/2) ⁻	70	-	5	-	2,8	-	5,2	-
3035	-	19	-	1,3	-	0,8	-	1,5	-
3065	(1/2 - 7/2)	85	40	6	2,5	3,4	1,6	6,5	3,0
3092	(1/2 - 5/2) ⁻	80	-	6	-	3,2	-	6,2	-
3275	(3/2 - 11/2)	-	62	-	4	-	2,5	-	5,6

Таблица 4

Энергия ур. кэв	J П	Относит. интенси.	Относит. интенси. на 1 прот.	Г. 10 ² эв	В(МЛ). 10 ² μ ²
0	3/2 ⁻	14	4	0,7	0,2
475	1/2 ⁻	7	2	0,35	-
970	5/2 ⁻	20	6	1,0	0,47
1310	7/2 ⁻	100	30	5,4	3,1
1394	5/2 ⁻	7	2	0,03	0,2
1660	3/2 ⁻	15	4	0,7	0,48
1732	7/2 ⁻	14	4	0,7	0,5
2203	5/2 ⁻	72	22	4,0	4,0
2473	3/2 ⁻	50	15	2,7	3,2
2728	(3/2 - 7/2)	27	8	1,4	2,0
3002	(7/2)	18	5	1,0	1,8
3065	(1/2 - 7/2)	20	6	1,1	2,0

Таблица 5

Резонанс	log ft	В(МЛ). 10 ² μ ²	В(МЛ). 10 ² μ ² ИАР-осн.	В(МЛ). 10 ² μ ² ИАР - АА	В(МЛ). 10 ² μ ² ИАР - АА	В(МЛ). 10 ² μ ² ИАР - АА
ψ 5/2	6,3	0,3			0,47	1,4
ρ 1/2	5,5	2,8		2,4	5,7	9,0

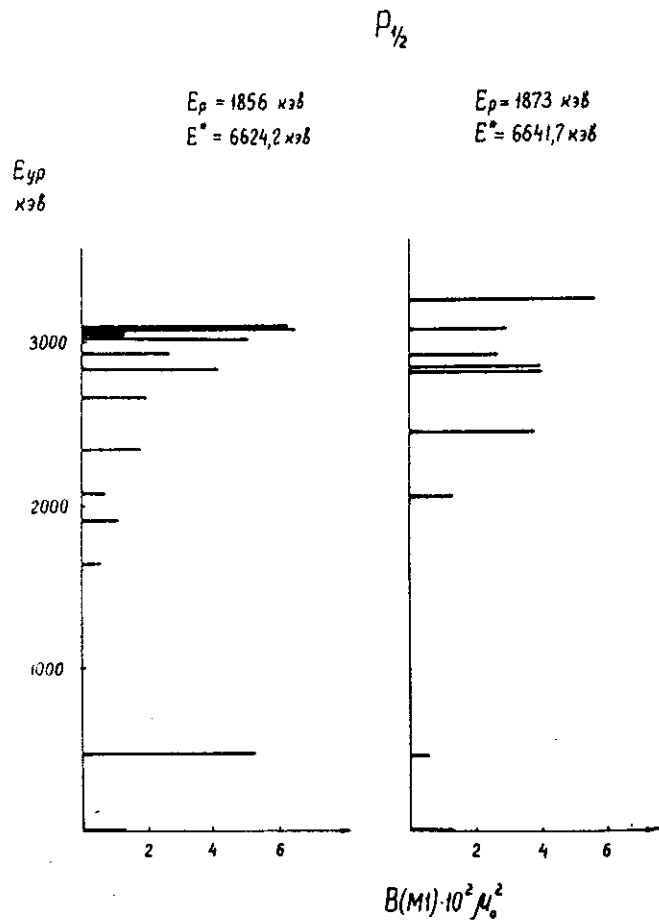


Рис. 4. Величины $B(M1)$ для ИАР $p_{1/2}$.

2. Представляет интерес сравнить переходы типа аналог-антианалог для $p_{1/2}$ - и $f_{5/2}$ -аналогов. Анти-аналогами могут считаться состояния $475,0 \text{ кэВ} (p_{5/2})$ и $970 \text{ кэВ} (f_{5/2})$ имеющие большие спектроскопические факторы. В пятой колонке табл. 5 приводятся экспериментальные величины $B(M1)$ для перехода аналог-антианалог. В шестой колонке приведены результаты расчета по формуле, приведенной в работе ^{/12/}. Результаты совпадают с точностью до множителя 2.

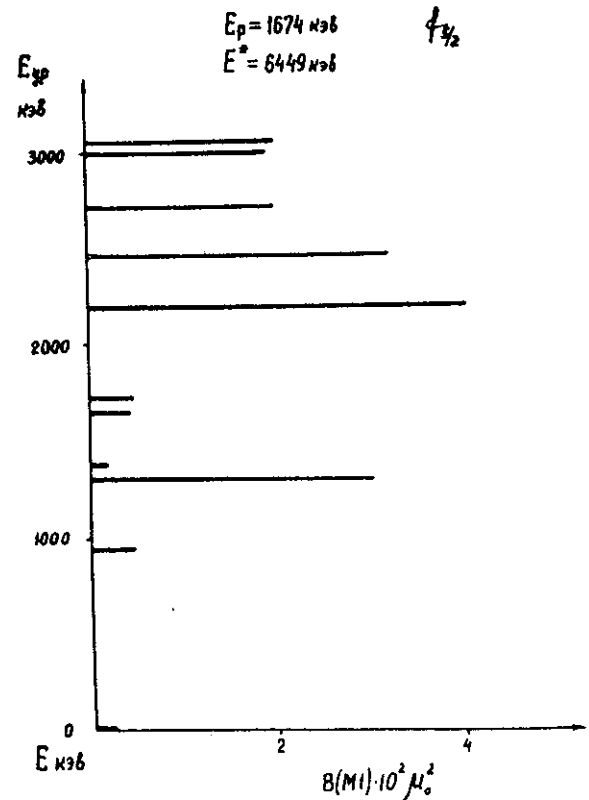


Рис. 5. Величины $B(M1)$ для ИАР $f_{5/2}$.

3. Из рис. 4 видно, что переходы с $p_{1/2}$ -аналога концентрируются на состояния в области энергий возбуждения около 3 МэВ . Если говорить о силовой функции для $M1$ гамма-переходов с аналога, то можно сказать, что в ней наблюдается максимум при этой энергии возбуждения. Подобный эффект был обнаружен в работе ^{/11/} и подтвержден в работах ^{/13, 14/}. Эффект объясняется тем обстоятельством, что при $M1$ гамма-распаде аналогов интенсивно заселяются состояния типа поляризации остова.

Авторы приносят искреннюю благодарность Я.Бжоско, А.Солтану, Э.Герлику, К.Вуйцеку за помощь в проведении

экспериментов, а также группе эксплуатации ЭГ-5 под руководством И.А.Чепурченко за хорошую работу ускорителя.

Литература

1. C.Gaarde, K.Kemp, Y.Naumov, P.Amundsen. *Nucl.Phys.*, A143, 497 (1970).
2. В.Ю.Наумов, О.Е.Крафт. *Изоспин в ядерной физике*. Изд. "Наука", Ленинград, 1972.
3. I.Fodor, I.Szentpetery, J.Szucs. *Phys.Lett.*, 32B, 689 (1970).
4. I.Szentpetery, J.Szucs. *Phys.Rev.Lett.*, 28, 378 (1972).
5. О.Е.Крафт, П.П.Лебедев, Ю.В.Наумов, И.В.Сизов. *Сообщение ОИЯИ, P15-7072, Дубна, 1973.*
6. О.Е.Крафт, Ю.В.Наумов, И.В.Сизов. *Сообщение ОИЯИ, P15-8201, Дубна, 1974.*
7. I.Trentelman, I.Leslie, W.Molatchie. *Nucl.Phys.*, A206, 393(1973).
8. О.Е.Крафт, Ю.В.Наумов, С.С.Паржицкий, Л.В.Романова, И.В.Сизов. *Программа и тезисы докладов на 24 Совещании по ядерной спектроскопии и структуре ядра, стр. 52, "Наука", Ленинград, 1972.*
9. О.Е.Крафт, Ю.В.Наумов, С.С.Паржицкий, Л.В.Романова, И.В.Сизов. *Программа и тезисы докладов на 24 Совещании по ядерной спектроскопии и структуре ядра, стр. 54, "Наука", Ленинград, 1972.*
10. J.Butler, C.Gossett. *Phys.Rev.*, 108, 1473 (1957).
11. J.Browne, H.Newson, E.Bilpuch, G.Mitchell. *Nucl.Phys.*, A153, 481 (1970).
12. S.Maripuu. *Nucl.Phys.*, A123, 357 (1969).
13. C.Gaarde, K.Kemp, C.Petresch, F.Folkman. *Nucl.Phys.*, A184, 241 (1972).
14. H.Klapdor. *Nucl.Phys.*, A213, 173 (1973).

Рукопись поступила в издательский отдел
14 августа 1974 года.