

SV2801586

АКАДЕМИЯ НАУК УССР



ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Препринт КИЯИ-86-55

Киї -- 86 - 55

З.М.Биган, В.М.Мазур, И.В.Соколюк

ФУНКЦИЯ ОТКЛИКА АБСОЛЮТНОЙ ИОНИЗАЦИОННОЙ  
КАМЕРЫ ПРИ НАЛИЧИИ В ГАММА-ПУЧКЕ  
ПОГЛОТИТЕЛЯ

КИЕВ

Э.М.Биган, В.М.Мазур, И.В.Соколюк  
 ФУНКЦИЯ ОТКЛИКА АБСОЛЮТНОЙ ИОНИЗАЦИОННОЙ  
 КАМЕРЫ ПРИ НАЛИЧИИ В ГАММА-ПУЧКЕ  
 ПОГЛОТИТЕЛЯ

Сделан расчет для области энергий 1-30 МэВ функции отклика  $F(E_{\gamma M})$  абсолютной алюминиевой толстостенной ионизационной камеры с толщиной передней стенки 7,5 см с учетом наличия в тормозном гамма-пучке ожегителей из бериллия, алюминия различной толщины (9,2 г/см<sup>2</sup>, 18,4 г/см<sup>2</sup> и 13,55 г/см<sup>2</sup>, 27,1 г/см<sup>2</sup> соответственно) и графита (толщиной 8,4 г/см<sup>2</sup>, 11,76 г/см<sup>2</sup> и 16,8 г/см<sup>2</sup>), так и без ожегителей.

Корректность расчетов проведена путем изучения на тормозном пучке реакции  $^{63}\text{Cu}(\gamma, n)^{62}\text{Cu}$ .

The calculation is made for energy ranges of 1-30 MeV of the response function  $F(E_{\gamma M})$  of absolute aluminium thick-layered ionization chamber with front wall thickness equal to 7.5 cm taking account of absorbers in bremsstrahlung gamma-beam made of beryllium, aluminium with different thickness 9.2, 18.4 and 13.55, 27 gm/cm<sup>2</sup> correspondently and of graphite with a thickness of 8.4, 11.76 and 16.8 gm/cm<sup>2</sup> so as without absorbers.

A correctness of estimates is made by studying on the bremsstrahlung beam the reaction  $^{63}\text{Cu}(\gamma, n)^{62}\text{Cu}$ .

A Response Function of Absolute Ionization Chamber  
 in the Presence of an Absorber in a  
 Gamma-Beam

АКАДЕМИЯ НАУК УССР

З.М. Биган, В.М. Мазур, И.В. Соколюк

ФУНКЦИЯ ОТКЛИКА АБСОЛЮТНОЙ ИОНИЗАЦИОННОЙ  
КАМЕРЫ ПРИ НАЛИЧИИ В ГАММА-ПУЧКЕ  
ПОГЛОТИТЕЛЯ

Киев, Институт ядерных исследований, 1986

Ключевые слова:

фотоядерные реакции, тормозное излучение, фотоны, выходы ядерных реакций, функции отклика,  $^{63}\text{Cu}$ , мишень, нейтроны, нейтронные сечения, ионизационная камера, монохроматическое излучение, графит, бериллий, алюминий;

photonuclear functions, copper 63 target, neutrons, photons, monochromatic radiation, graphite, beryllium, aluminium.

В экспериментальной ядерной физике для исследования различных процессов широко используют вторичное излучение электронов – пучки тормозных гамма-квантов.

Изучение фотоядерных реакций с помощью тормозного излучения имеет свою специфику, связанную с тем, что тормозное излучение имеет непрерывный энергетический спектр. В связи с этим в такого рода экспериментах измеряется не посредственно не сечение реакции, а выход реакции  $Y(E_{\gamma M})$ , связанный с сечением  $\sigma(E)$  фотоядерной реакции следующим соотношением:

$$Y(E_{\gamma M}) = \eta \cdot k(E_{\gamma M}) \cdot \int_{E_{п}}^{E_{\gamma M}} \varphi(E_{\gamma M}, E) \frac{1}{E} \cdot \sigma(E) \cdot dE, \quad (1)$$

где  $E_{п}$  – порог изучаемой фотоядерной реакции;  $E_{\gamma M}$  – максимальная энергия спектра тормозных гамма-квантов;  $W(E_{\gamma M}, E) = \varphi(E_{\gamma M}, E) \frac{1}{E}$  – функция, описывающая форму энергетического спектра тормозного излучения;  $\eta$  – число ядер изучаемой мишени, находящихся в потоке гамма-излучения;  $k(E_{\gamma M}) = \frac{1}{A(E_{\gamma M})}$  – нормирующий множитель, определяемый выбором нормировки спектра  $\varphi(E_{\gamma M}, E)$ , зависит от типа используемого монитора (дозиметра) тормозного излучения.

При решении уравнения (1) возникает ряд трудностей. С одной стороны, соотношение (1) представляет собой интег-

ральное уравнение Вольтера первого рода. Решение данного уравнения относительно искомого сечения  $G(E)$  представляет собой некорректную задачу, характеризующуюся тем, что сравнительно малые изменения исходных данных могут приводить к существенным изменениям результата. Поэтому требования к точности измерения выходов  $Y(E, \mu, M)$  высоки. Для решения такого рода задач наиболее часто применяют метод Пенфольда-Лисса /1,2/, метод Кука /3/, метод Тихонова /4/. С другой стороны, необходимо иметь достаточно точные сведения о спектре тормозного излучения и нормирующем множителе  $K(E, \mu, M)$ .

Интенсивность потока гамма-квантов может быть определена путем мониторинга пучка толстостенной ионизационной камерой. В таком случае  $F(E, \mu, M)$  - функция отклика, которая обозначает интенсивность потока тормозных гамма-квантов, необходимых для того, чтобы вызвать единичный отсчет толстостенной ионизационной камеры.

Таким образом, чтобы успешно пользоваться абсолютной толстостенной ионизационной камерой, необходимо иметь максимально точные значения функции отклика  $F(E, \mu, M)$ , являющейся основной характеристикой камеры.

При измерении выходов ядерных реакций, имеющих малые сечения, зачастую возникает необходимость использовать максимальную интенсивность пучка тормозного излучения. Для этого исследуемые образцы помещают непосредственно у выводного окна ускорителя. Для очистки пучка гамма-квантов от электронов, а также для "ужесточения" спектра тормозного излучения /5/ используются поглотители с малым  $Z$ . Это приводит к искажению тормозного спектра, и использование для его мониторинга абсолютной толстостенной ионизационной камеры затруднено, поскольку требует знания ее функции отклика  $F(E, \mu, M)$  для случая деформированного тормозного спектра.

Расчету функции отклика  $F(E, \mu, M)$  абсолютной толстостенной алюминиевой ионизационной камеры с толщиной передней стенки 7,5 см при наличии в пучке гамма-квантов поглотителей из различных материалов различных толщин и

посвящена настоящая работа.

Расчет средней чувствительности и функций отклика абсолютных камер для "чистых" пучков гамма-квантов выполнен в ряде работ. Так, для графитовой камеры расчет проведен Усовой /6/, для алюминиевой - Флауэрсом и др. /7/, Каминским А.К. и др. /8,9/ и т.д. Точность упомянутых расчетов оценивается авторами в пределах 3-5%.

Под чувствительностью толстостенной ионизационной камеры подразумевают долю энергии гамма-квантов, затраченную непосредственно на ионизацию в единице объема стенки камеры на глубине газовой полости, при условии, что на 1 см<sup>2</sup> поверхности падает один гамма-квант в секунду.

Определив абсолютную чувствительность камеры к монохроматическому гамма-излучению  $S(E)$  /7,8/, можно найти зависимость ионизационного тока  $i(E)$  от интенсивности монохроматического гамма-излучения  $I(E)$ , падающего на переднюю стенку в виде /7,8/:

$$i(E) = \frac{e \cdot \rho \cdot v}{w} \cdot I(E) \cdot \bar{z}(E) \cdot S(E), \quad (2)$$

где  $e$  - заряд электрона;  $w$  - энергия образования одной пары ионов в газе-наполнителе;  $\rho$  - плотность газа-наполнителя;  $v$  - объем газовой полости;  $\bar{z}(E)$  - усредненное по спектру электронов отношение тормозных особенностей газа-наполнителя и материала стенки камеры;  $S(E) = S_0(E) + S_1(E)$ ;  $S_0(E)$  - средняя доля энергии гамма-кванта, теряемая на единице толщины в стенке камеры вследствие единичных столкновений;  $S_1(E)$  - доля энергии гамма-кванта, теряемая на единице толщины в стенке камеры вследствие вторичных эффектов (за счет электронов, образованных гамма-квантами, комптоновски рассеянными при первом столкновении).

Выражение (2) для ионизационного тока камеры справедливо для случая, когда на камеру падает монохроматический пучок гамма-квантов. Но обычно используют тормозное излучение, энергетический спектр которого имеет непрерывный характер. Для данного случая ионизационный ток камеры будет:

$$J(E_{\gamma M}) = \frac{e \cdot \rho \cdot v}{w} \cdot S_{cp}(E_{\gamma M}) \cdot I(E_{\gamma M}), \quad (3)$$

где  $S_{cp}(E_{\gamma M})$  – средняя чувствительность абсолютной толстостенной ионизационной камеры к тормозному излучению и определяется соотношением:

$$S_{cp}(E_{\gamma M}) = \frac{\int_0^{E_{\gamma M}} S(E) \cdot \bar{\tau}(E) \cdot \Phi(E_{\gamma M}, E) dE}{\int_0^{E_{\gamma M}} \Phi(E_{\gamma M}, E) dE}, \quad (4)$$

а  $I(E_{\gamma M})$  – интенсивность тормозного излучения:

$$I(E_{\gamma M}) = \int_0^{E_{\gamma M}} \Phi(E_{\gamma M}, E) dE. \quad (5)$$

Функция отклика  $F(E_{\gamma M})$  камеры согласно работе [2] определяется следующим выражением:

$$F(E_{\gamma M}) = \frac{e \cdot \rho \cdot v}{w} \cdot \int_0^{E_{\gamma M}} S(E) \bar{\tau}(E) \cdot \Phi(E_{\gamma M}, E) \cdot \psi(E) dE. \quad (6)$$

Для случая, когда в тормозном пучке гамма-квантов находится поглотитель, функция отклика  $F(E_{\gamma M})$  имеет вид:

$$F(E_{\gamma M}) = \frac{e \cdot \rho \cdot v}{w} \cdot \int_0^{E_{\gamma M}} S(E) \bar{\tau}(E) \cdot \Phi(E_{\gamma M}, E) \cdot \psi(E) dE. \quad (7)$$

где функция  $\psi(E)$  учитывает деформацию спектра тормозного пучка гамма-квантов в поглотителе.

Для расчета функции отклика  $F(E_{\gamma M})$  необходимо знать абсолютную чувствительность  $S(E)$  толстостенной



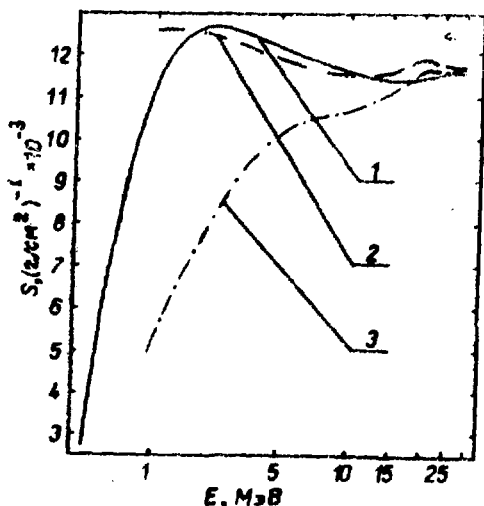


Рис.1. Абсолютная чувствительность  $S'(E)$  толстостенной алюминиевой ионизационной камеры с толщиной передней стенки 7,5 см к монохроматическому гамма-излучению

ионизационной камеры к монохроматическому излучению. В настоящее время имеются два расчета /7,8/ абсолютной чувствительности  $S(E)$ . Результаты этих расчетов для толстостенной алюминиевой ионизационной камеры с толщиной передней стенки 7,5 см показаны на рис.1 (кривая 1 – расчет работы /7/, кривая 2 – /8/, кривая 3 – чувствительность  $S_0(E)$  работы /8/ ).

С целью проверки этих расчетов в работе /10/ были сделаны измерения отношения величин заряда  $Q$ , собираемого на камере, при разных толщинах передней стенки, а также сделана теоретическая оценка этих отношений по результатам работ /7,8,9/. В этой работе авторы сделали вывод, что экспериментальные результаты при энергии выше 10 МэВ хорошо согласуются с расчетами работ /8,9/, а ниже – с расчетами

17/. Поэтому в данной работе для расчета средней чувствительности  $S_{cp}(E)$  и функции отклика  $F(E_{\gamma M})$  использовалась комбинированная абсолютная чувствительность  $S(E)$ . Так как в области энергий 11 МэВ расчеты /7,8/ практически совпадают, в расчетах настоящей работы в области энергий до 11 МэВ использовалась абсолютная чувствительность, рассчитанная в работе /7/, а выше 11 МэВ - из работы /8/.

В данной работе сделан расчет  $S_{cp}(E_{\gamma M})$  и  $F(E_{\gamma M})$  для "чистого" тормозного пучка и для пучка тормозного излучения, в котором находится графитовый поглотитель толщиной 16,8, 11,76 и 8,4 г/см<sup>2</sup>. В расчетах численное интегрирование проводилось методом Симпсона с шагом 0,1 МэВ начиная с 0,1 МэВ. Спектр тормозного излучения рассчитывался по формуле Шиффа /2/, а отношение  $\bar{\tau}(E)$  тормозных особенностей газа-наполнителя к тормозным особенностям материала передней стенки камеры брали из работы /9/. Расчет проводился для объема газовой полости 1 см<sup>3</sup>.

Результаты расчетов представлены на рис.2 и 3. На рис.2 представлен расчет средней чувствительности  $S_{cp}(E_{\gamma M})$ . На этом рисунке кривая 1 - расчет работы /2/, кривая 2 - расчет с использованием только  $S_0(E)$ , кривые 3,4 - расчеты для "чистого" тормозного излучения и для деформированного тормозного пучка графитовым поглотителем толщиной 16,8 г/см<sup>2</sup>. Расчет функции отклика  $F(E_{\gamma M})$  представлен на рис.3. На рис.3 кривая 1 - результат расчета работы /2/, кривые 2,3,4,5 - результаты расчета настоящей работы для "чистого" тормозного пучка и тормозного пучка деформированного графитовым поглотителем толщиной 8,4, 11,76, 16,8 г/см<sup>2</sup> соответственно. Численные значения кривых 2,3,4,5 из рис.3 представлены в виде табл.1.

Нами также сделан расчет функции отклика  $F(E_{\gamma M})$  абсолютной камеры для случая, когда в тормозном пучке находится бериллиевый или алюминиевый поглотитель толщиной 5 и 10 см, результат этого расчета представлен в табл.2.

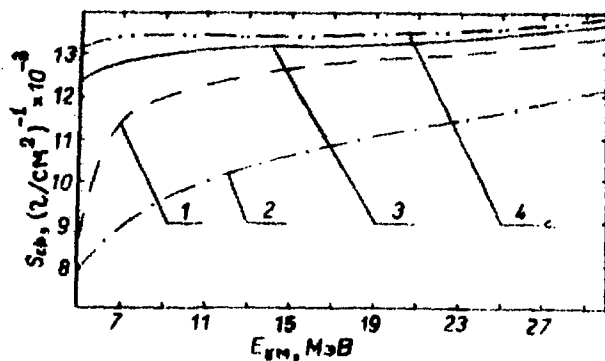


Рис.2. Средняя чувствительность  $S_{cp}(E_{\gamma M})$  толстостенной алюминиевой ионизационной камеры с толщиной передней стенки 7,5 см к "чистым" и деформированным тормозным пучкам

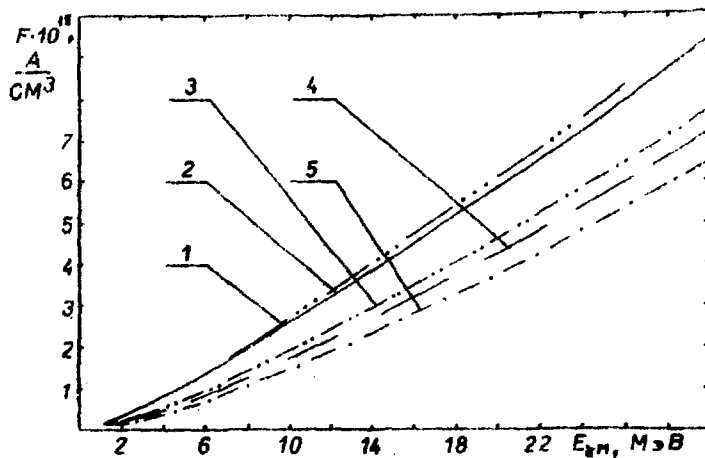


рис.3. Функция отклика  $S_{cp}(E_{\gamma M})$  толстостенной ионизационной алюминиевой камеры с толщиной передней стенки 7,5 см для тормозного пучка, в котором находится графитовый поглотитель толщиной 8,4, 11,76, 16,8  $\text{г}/\text{см}^2$  и без него

Таблица 1

Функция отклика  $F(E_{\gamma m})$  абсолютной алюминиевой толстостенной ионизационной камеры с толщиной передней стенки 7,5 см для "чистого" тормозного пучка и деформированного пучка графитовым поглотителем толщиной 8,4, 11,76, 16,8 г/см<sup>2</sup>

$E,$ МэВ	Без пог- лотителя	Графит, 16,8 г/см <sup>2</sup>	Графит, 11,76г/см <sup>2</sup>	Графит, 8,4 г/см <sup>2</sup>
4	0,8037	0,3258	0,4225	0,5048
5	1,9869	0,4779	0,6052	0,7115
6	1,3794	0,6455	0,8026	0,9321
7	1,6785	0,8255	1,0116	1,1633
8	1,9824	1,0156	1,2299	1,4029
9	2,2898	1,2136	1,4554	1,6490
10	2,5997	1,4180	1,6866	1,9002
11	2,9116	1,6280	1,9226	2,1556
12	3,2258	1,8430	2,1632	2,4150
13	3,5425	2,0629	2,4082	2,6785
14	3,8620	2,2873	2,6575	2,9459
15	4,1844	2,5165	2,9111	3,2174
16	4,5104	2,7507	3,1694	3,4933
17	4,8404	2,9899	3,4327	3,7740
18	5,1746	3,2339	3,7006	4,0593
19	5,5128	3,4826	3,9731	4,3490
20	5,8552	3,7357	4,2500	4,6431
21	6,2014	3,9930	4,5311	4,9414
22	6,5504	4,2537	4,8154	5,2428
23	6,9019	4,5171	5,1026	5,5469
24	7,2553	4,7831	5,3920	5,8533
25	7,6100	5,0508	5,6832	6,1612
26	7,9664	5,3205	5,9763	6,4711
27	8,3242	5,5921	6,2712	6,7827
28	8,6896	5,8702	6,5729	7,1013
29	9,0619	6,1544	6,8810	7,4265
30	9,4306	6,4364	7,1863	7,7488

Таблица 2

Функция отклика  $F(E_{\mu m})$  абсолютной алюминиевой толстостенной ионизационной камеры с толщиной передней стенки 7,5 см для деформированного тормозного пучка поглотителем из бериллия или алюминия толщиной 5 и 10 см

$E$ , МэВ	Бериллий, 5 см	Бериллий, 10 см	Алюминий, 5 см	Алюминий, 10 см
4	0,4461	0,2838	0,3604	0,1884
5	0,6461	0,4272	0,5314	0,2941
6	0,8604	0,5861	0,7177	0,4150
7	1,0858	0,7577	0,9159	0,5486
8	1,3200	0,9396	1,1239	0,6929
9	1,5609	1,1296	1,3394	0,8457
10	1,8070	1,3263	1,5609	1,0057
11	2,0575	1,5286	1,7875	1,1719
12	2,3123	1,7361	2,0188	1,3437
13	2,5711	1,9485	2,2547	1,5207
14	2,8339	2,1656	2,4950	1,7027
15	3,1009	2,3875	2,7398	1,8898
16	3,3724	2,6143	2,9893	2,0920
17	3,6487	2,8464	3,2439	2,2794
18	3,9296	3,0833	3,5032	2,4817
19	4,2169	3,3263	3,7688	2,6899
20	4,5490	3,6087	4,0767	2,9330
21	4,8594	3,8731	4,3646	3,1607
22	5,1667	4,1354	4,6500	3,3872
23	5,4738	4,3980	4,9353	3,6143
24	5,7814	4,6614	5,2214	3,8425
25	6,0899	4,9261	5,5085	4,0721
26	6,3993	5,1920	5,7968	4,3031
27	6,7098	5,4592	6,0861	4,5354
28	7,0217	5,7279	6,3770	4,7694
29	7,3351	5,9983	6,6695	5,0051
30	7,6503	6,2706	6,9638	5,2428

Для проверки корректности расчетов функции отклика  $F(E_{\mu})$  алюминиевой толстостенной ионизационной камеры проводилось изучение реакции  $^{63}\text{Cu}(\gamma, n)^{62}\text{Cu}$  активационной методикой. Определение выхода данной реакции осуществлялось на тормозном пучке микротрона М-30 ИЯИ АН УССР. Интенсивность линии 0,511 МэВ измерялась сцинтилляционным детектором. Измерения проводились при наличии в пучке графитового поглотителя толщиной  $11,76 \text{ г/см}^2$  и без него. Полученные сечения реакции  $^{63}\text{Cu}(\gamma, n)^{62}\text{Cu}$  для этих двух случаев показаны на рис.4 (треугольники - сечение реакции на деформированном тормозном пучке, а кружочки - сечение реакции на "чистом" пучке).

Реакция  $^{63}\text{Cu}(\gamma, n)^{62}\text{Cu}$  уже изучалась ранее с помощью квазимонохроматических  $\gamma$ - $\gamma$ -квантов [11,12,13]. Выход реакции  $^{63}\text{Cu}(\gamma, n)^{62}\text{Cu}$  измерялся путем регистрации нейтронов [11,12] и активационной методикой [13]. Результаты работ [11,12,13] представлены на рис.4 (соответственно кривые 1,2,3). Как видно из этого рисунка, сечения, полученные в данной работе на "чистом" тормозном пучке и при наличии в нем поглотителя, согласуются между собой и с сечениями работ [11,12,13], что указывает на корректность полученной в настоящей работе функции отклика  $F(E_{\mu})$ .

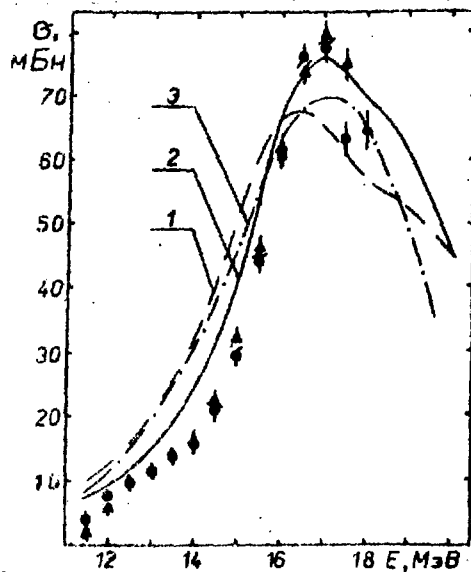


Рис.4 Сечения реакции  
12.

Список использованной литературы

1. Penfold A.S., Leiss I.E. Analysis of photonuclear cross-sections.-Phys.Rev.,1959, v.114, 1332-1337.
2. Богданкевич О.В., Николаев Ф.А. Работа с пучком тормозного излучения, М.: Атомиздат, 1964.
3. Cook B.S. Least structure solution of photoneutron yield function.- Nucl.Instrum. and Meth.,1963, v.24,256-268.
4. Тихонов А.Н. О решении некорректно поставленных задач и методы регуляризации.-ДАН СССР,1963,т.151,с.501-504.
5. Elaine Toms M. Filtered bremsstrahlung for photonuclear reaction.- Nucl.Instrum. and Meth., 1972, v.99,45-48.
6. Усова И.Н. Абсолютная чувствительность толстостенной графитовой ионизационной камеры для фотонов с энергией до 1 ГэВ.-Труды ФИАН СССР,1968, т.40,с.85-94.
7. Flowers B.H.,Lawson J.D. and Fossey E.B. A thick-walled ionization chamber for measuring the intensity of X-radiation of energy up to 25 MeV.- Proc.Phys.Soc.,1952, v.65B, 286-295.
8. Каминский А.К., Лонский Э.С. Расчет чувствительности толстостенной ионизационной камеры.-Вестн. МГУ, серия физ., 1964, № 2, с.32-42.
9. Каминский А.К., Лонский Э.С. Чувствительность толстостенных ионизационных камер к тормозному излучению из ускорителя с  $E_{\text{ум}} \approx 100$  МэВ.-Вестн.МГУ, серия физ., 1964, № 5, с.38-45.
10. Гуревич Г.М., Дугин В.А., Запевалов В.А. и др. О чувствительности толстостенной алюминиевой ионизационной камеры в области энергий тормозного излучения спектра 4-27 МэВ.-Препринт ФИАН СССР, 141, М., 1970.
11. Fultz S.C., Bramblett R.L.,Caldwell J.T.,Harvey R.P. Photoneutron cross section for natural Cu,  $^{63}\text{Cu}$  and  $^{65}\text{Cu}$ .- Phys.Rev.,1964,v.133,1149-1154.
12. Sund R.E.,Baker M.P.,Kull L.A. and Walton R.B. Measurements of the  $^{63}\text{Cu}(\gamma,n)$  and  $(\gamma,2n)$  cross-sections.- Phys.Rev.,1968,v.176,1366-1376.

13. Джилавян Л.З., Кучер Н.П. Экспериментальная проверка системы получения квазимонохроматических аннигиляционных гамма-квантов на ЛУЭ ИЯИ АН СССР путем измерения сечения реакции  $^{63}\text{Si}(\gamma, n)$ . -Препринт ИЯИ АН СССР, П-0120, 1979.

Рукопись поступила в редакционную группу 8.12.1986 г.



Зоя Михайловна Биган  
Владимир Михайлович Мазур  
Иван Васильевич Соколюк

ФУНКЦИЯ ОТКЛИКА АБСОЛЮТНОЙ ИОНИЗАЦИОННОЙ  
КАМЕРЫ ПРИ НАЛИЧИИ В ГАММА-ПУЧКЕ ПОГЛОТИТЕЛЯ  
(Препринт КИЯИ-86-55)

Редакторы: Н.А.Солдатенко  
Л.П.Малашкина

Подписано к печати 25.12.1986 г.

БФ 25451	Бумага офсетная	Усл.-печ.л.-0,81
Изд.№ КИЯИ-86-55	Печать офсетная	Уч.-изд.л. -0,7
Тип.заказ 28	Формат бумаги	60x90/16
Тираж 200 экз.	Цена	5 коп.

---

СКТБ с ЭП Института ядерных исследований АН УССР  
252028, Киев-28, проспект Науки, 119