

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

УДК 539.165.2

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
**КОРРЕЛЯЦИЯ МЕЖДУ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЕМ В**  
**ПЛАСТИКОВОМ СЦИНТИЛЛЯТОРЕ И**  
**ТОРМОЗНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ЭЛЕКТРОНОВ ОТ**  
**ИСТОЧНИКА  $^{90}Sr$**

Научный руководитель  
(старший преподаватель) \_\_\_\_\_ Ф. А. Дубинин

Студент \_\_\_\_\_ М. А. Палехов

Москва 2025

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Экспериментальная часть</b>	<b>3</b>
2.1	Экспериментальная установка . . . . .	3
2.2	Снятие спектров ${}^{90}Sr$ при различных поглотителях . . . . .	4
2.3	Тормозное излучение . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Заключение</b>	<b>9</b>

# 1. ВВЕДЕНИЕ

При движении заряженной частицы в веществе возникает тормозное излучение.  $\beta$ -частицы, возникающие в результате радиоактивного распада испускают  $\gamma$ -кванты, которые можно регистрировать с помощью сцинтиляционных детекторов. При этом испущенные источником электроны активно теряют энергию по мере прохождение сквозь вещество.

Один из возможных способов использовать это явление для практических задач – электронная каллимация. Так, например, в этой работе была проведена попытка установить, можно ли использовать тормозное излучение для тестирования тайлов из системы Beam-Beam Counter (BBC)[3], используемой в SPD (Spin Physics Detector). Данные тайлы представляют из себя пластины из сцинтилирующего пластика, соединённые с кремниевыми фотоумножителями (SiPM) через спектросмещающее волокно.

Если разместить под тайлом используемый в данной работе источник в виде  $^{90}Sr$ , то ввиду достаточной толщины тайла испущенные в результате радиоактивного распада электроны потеряют в пластике практически всю свою кинетическую энергию и не будут проходить дальше. Поэтому второй детектор, расположенный за тайлом будет регистрировать только  $\gamma$ -кванты, возникающие в результате тормозного излучения. При этом по траектории  $\gamma$ -кванта можно примерно определить траекторию электрона. То есть с помощью второго детектора можно установить, как именно двигался электрон.

Также наличие поглощающей пластинки влияет на энергию испускаемых источником электронов. Электроны с низкой энергией практически не будут проходить через пластинку и, соответственно, регистрироваться тайлом. А электроны с высокими энергиями будут терять энергию на тормозное излучение, и в результате форма спектра будет скорректирована, и спектр будет локализован в области средних энергий. Ожидается, что после коррекции у спектра появится некий пик. Тогда по положению максимума можно будет понять, насколько хороший отклик у тайла. Именно это предположение проверялось в данной работе.

# 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

## 2.1 Экспериментальная установка

Была собрана установка, состоящая из источника радиоактивного излучения (стронций), на котором располагалась пластина из поглотителя. Над этой пластинкой находился тайл. Стронций претерпевает  $\beta$ -распад, переходя в  $^{90}Y$ , который в свою очередь распадается с энергией 2.28 МэВ. Электроны, проходя через поглотитель теряют в нём энергию, в результате чего возникает тормозное излучение. Это излучение регистрируется с помощью сцинтиляционного детектора на NaI или GaGG (гадолиний-алюминиево-галлиевый гранат) и SiPM.

В таблице ниже представлены характеристики пластинок и материалов, из которых они состоят.

	Свинец	Алюминий	Сталь
Толщина пластиинки $d$ (mm)	0.3	1.2	0.5
Плотность $\rho$ ( $\frac{g}{cm^3}$ )	11.3	2.7	7.8
Тормозная способность $S(E)$ [2] ( $\frac{MeV \times cm^2}{g}$ )	1.036	1.485	1.362
Радиационная длина $L_r$ (cm)	0.5612	8.897	1.757
Критическая энергия $E_{crit}$ (MeV)	7.43	42.7	21.68

## 2.2 Снятие спектров $^{90}Sr$ при различных поглотителях

Были сняты три спектра  $^{90}Sr$ , находящегося за поглотителем в виде тонкой пластиинки, а также спектр без поглотителя. Использовались пластиинки из свинца, алюминия и нержавеющей стали. Измерения проводились на устройстве CAEN FERS-5202[1]. Данные снимались с тайла.

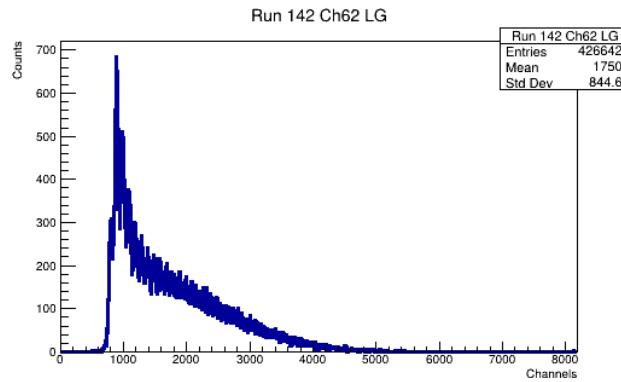


Рисунок 1 — Спектр при отсутствии поглотителя

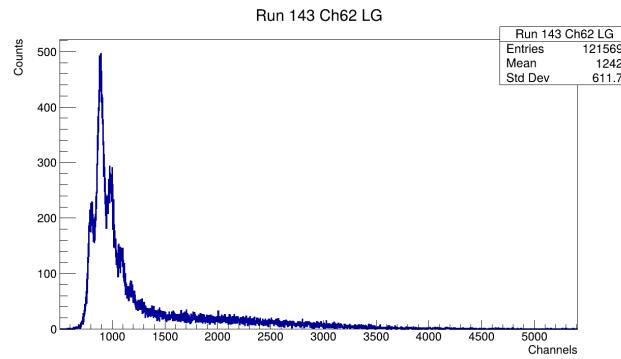


Рисунок 2 — Спектр при поглотителе из свинца

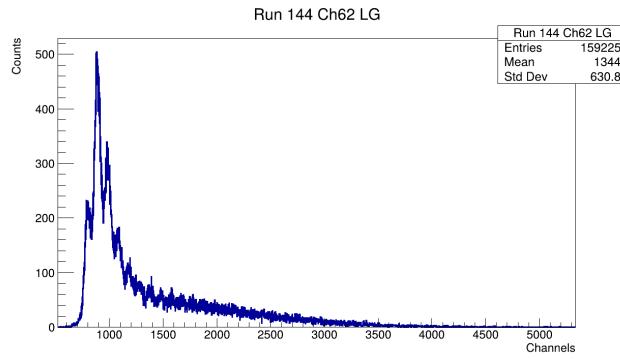


Рисунок 3 — Спектр при поглотителе из алюминия

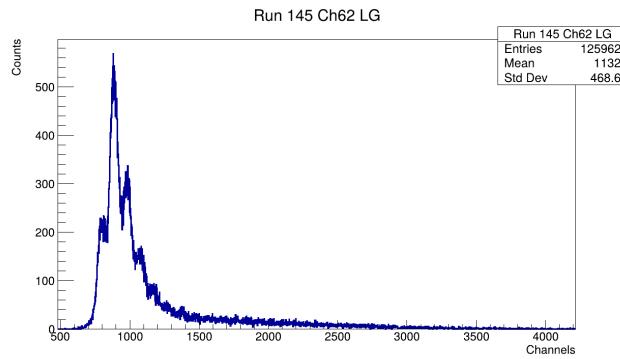


Рисунок 4 — Спектр при поглотителе из стали

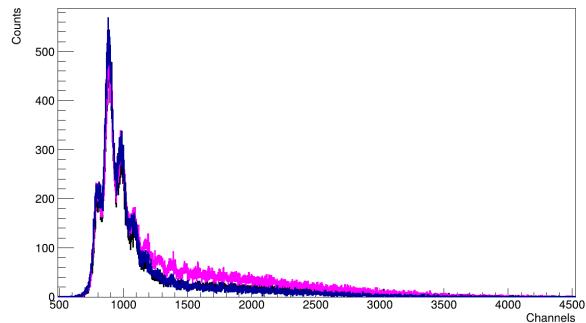


Рисунок 5 — Сравнение спектров. Чёрный - свинец, розовый - алюминий, синий - сталь

Как можно заметить, наличие поглотителя заметно урезает спектр. Гистограммы, построенные для свинца и стали практически совпадают, в то время как спектр при поглотителе из алюминия находится выше. Очевидно, в зависимости от материала, электроны претерпевали разные по величине потери энергии. Был произведён пересчёт этих потерь.

	Свинец	Алюминий	Сталь
Иоизационные потери ( $MeV$ )	0.35	0.48	0.53
Радиационные потери (теоретический расчёт) ( $MeV$ )	0.089	0.0016	0.037
Радиационные потери (из эксперимента) ( $MeV$ )	0.35	0.00137	0.0648
Суммарные потери (теория) ( $MeV$ )	0.44	0.48	0.57
Суммарные потери (эксперимент) ( $MeV$ )	0.7	0.48	0.59

Полученные потери соответствуют ожидаемым для поглотителей в виде алюминия и стали, однако для свинца наблюдается несоответствие, причина которого не ясна.

Также была снята гистограмма, соответствующая совпадениям срабатываний тай-ла и GaGG. Если оба детектора сработали одновременно, то можно говорить о том, что  $\gamma$ -квант, выпущенный в результате тормозного излучения дошёл до второго детектора. Использовавшийся поглотитель – свинец.

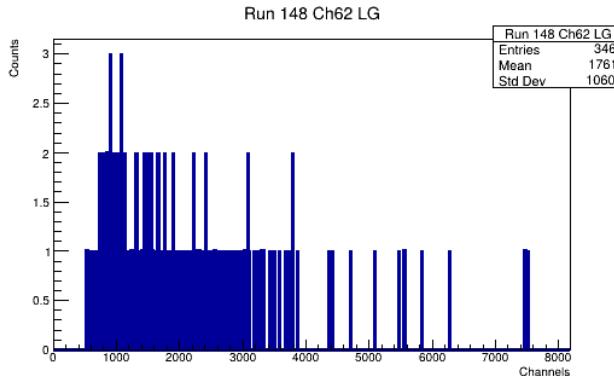


Рисунок 6 – Совпадения срабатываний детекторов

Однако за 2 часа работы детекторов набралось всего 346 событий, из-за чего анализ результатов не представляется возможным. Вероятнее всего это связано с малым размером кристалла GaGG (около 5 мм в диаметре), из-за чего большая часть излучения просто не попадала на детектор. В результате было решено повторить эксперимент, используя сцинтиллятор большего размера для увеличения охватываемого телесного угла.

### 2.3 Тормозное излучение

Повторные измерения, связанные с тормозным излучением проводились уже без помощью установки FERS: SiPM были подключены к осциллографу. Также вместо GaGG был использован кристалл NaI больших размеров. Вначале был измерен спектр  $^{137}Cs$  на NaI, и по расположению пиков на гистограмме был произведен пересчёт горизонтальной шкалы по энергии. (На гистограмме отчётливо видны пики для 662, 184 и 32 кЭв, но при этом пик для 662 кЭв находится дальше, чем это следовало ожидать, из-за чего на больших энергиях велико значение ошибки)

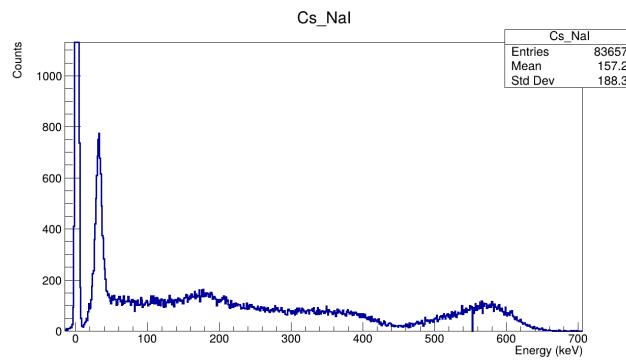


Рисунок 7 — Спектр  $^{137}Cs$

Далее были повторно сняты спектры стронция без поглотителя и с поглотителем в виде свинцовой пластины.

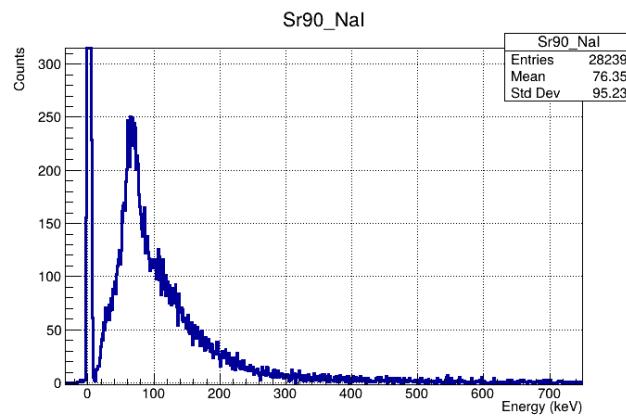


Рисунок 8 — Спектр  $^{90}Sr$

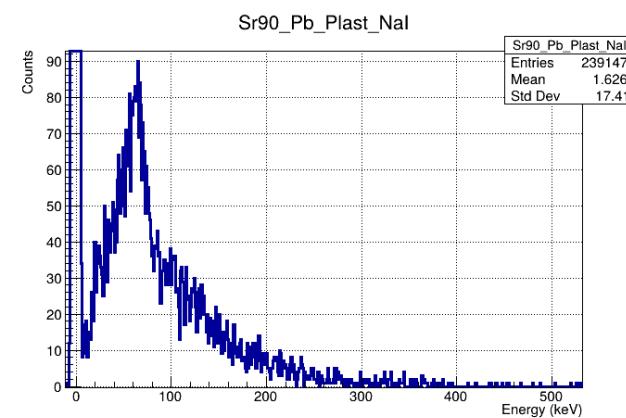


Рисунок 9 — Спектр, снятый с NaI при наличии свинцовой пластины и тайла

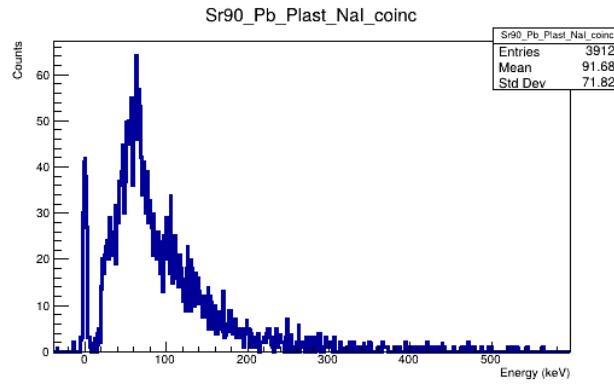


Рисунок 10 — Совпадения срабатываний тайла и NaI, сигнал с NaI

Спектры, показанные на рисунках 9 – 11, имеют схожую форму с незначительными различиями, но при этом частота событий становится намного более редкой.

Были также сняты спектры  $^{90}Sr$  с самого тайла:

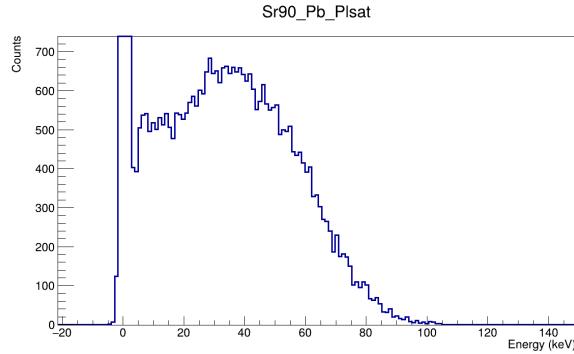


Рисунок 11 — Спектр  $^{90}Sr$ , снятый с тайла при наличии свинцовой пластиинки

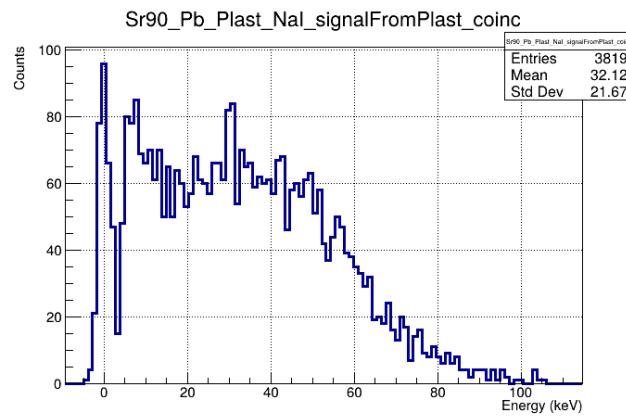


Рисунок 12 — Совпадения срабатываний тайла и NaI, сигнал с тайла

Предположение о том, что коррекция спектра с помощью свинцовой пластиинки позволит получить спектр с ярко выраженным пиком, оказалось не совсем верно. На рисунке 11 пик приходится на 32 кэВ, на рисунке 12 пик приходится на 37 кэВ, однако пики эти выражены слабо.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой части (измерения с тремя видами пластин) было показано, что электроны, испускаемые источником, действительно теряют энергию после прохождения через поглотитель и правая часть спектра срезается. Посчитаны соответствующие потери энергии, которые оказались максимальными для пластинки из свинца.

Предположение о возможности коррекции формы спектра с помощью тормозного излучения верно, однако при использовании пластинки из свинца пик не настолько выражен. Возможно, есть смысл повторить измерения с пластинками из других материалов и другой толщины.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] CAEN. *CAEN FERS-5200 Front-End Readout System*. URL: <https://www.caen.it/products/dt5202>.
- [2] National Institute of Standards и Tecnology. *ESTAR - stopping power and range tables for electrons*. URL: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Star/Text/ESTAR.html>.
- [3] Dubinin F. A. Tishevsky A. V. “Development of the SPD Beam–Beam Counter Scintillation Detector Prototype with FERS-5200 Front-End Readout System”. B: *Phys. Atom. Nucl.* 87.4 (2024), с. 451–458.