

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

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

1. ВВЕДЕНИЕ

При движении заряженной частицы в веществе возникает тормозное излучение. β -частицы, возникающие в результате радиоактивного распада испускают γ -кванты, которые можно регистрировать с помощью сцинтилляционных детекторов. При этом испущенные источником электроны активно теряют энергию по мере прохождения 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 сцинтиллирующего 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 γ -кванты, возникающие в результате тормозного излучения. При этом по траектории γ -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 пластинка из поглотителя. Над этой пластинкой находился тайл. Стронций претерпевает β -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 сцинтилляционного 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 пластинки d (mm)	0.3	1.2	0.5
Плотность ρ ($\frac{g}{cm^3}$)	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 пластинки, а также спектр без поглотителя. Использовались пластинки из свинца, алюминия и нержавеющей стали. Измерения проводились на устройстве CAEN FERS-5202[1]. Данные снимались с тайла.

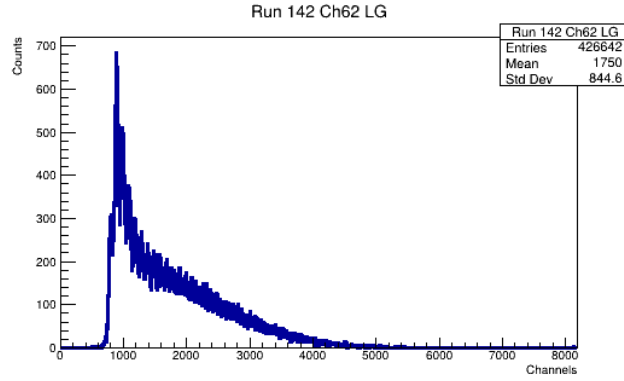


Рисунок 1 — Спектр при отсутствии поглотителя

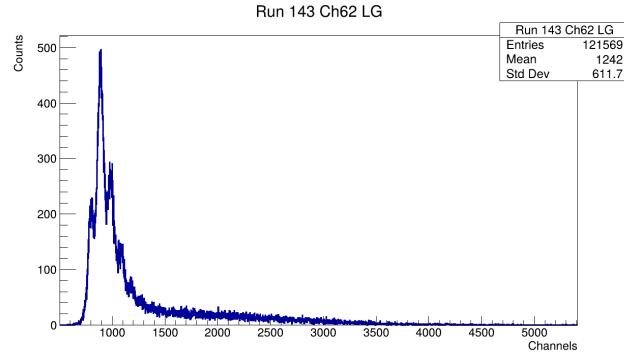


Рисунок 2 — Спектр при поглотителе из свинца

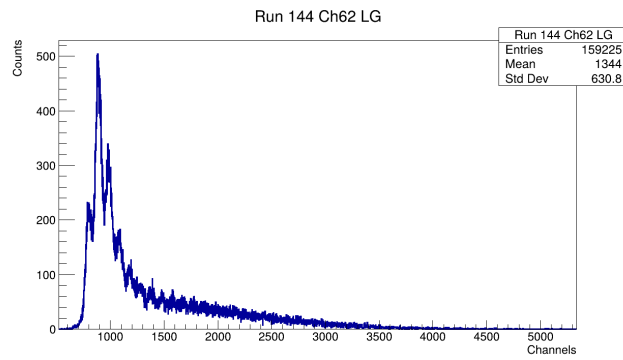


Рисунок 3 — Спектр при поглотителе из алюминия

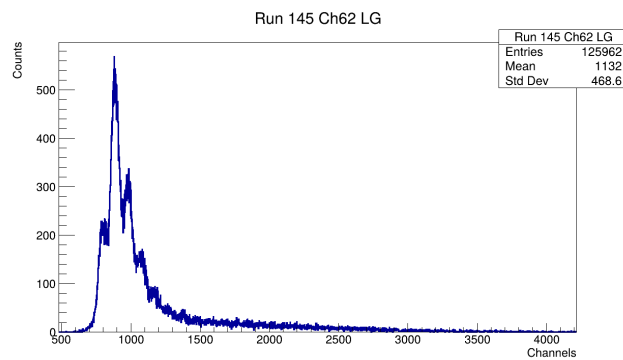


Рисунок 4 — Спектр при поглотителе из стали

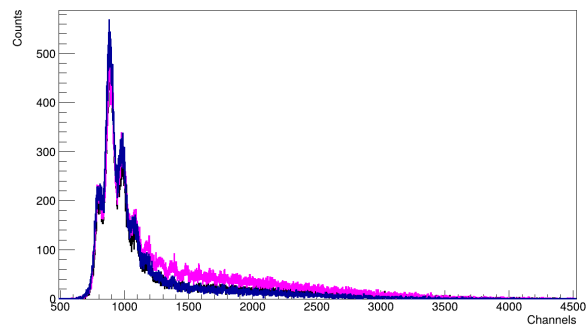


Рисунок 5 — Сравнение спектров. Чёрный - свинец, розовый - алюминий, синий - сталь

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
Ионизационные 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 тайла и GaGG. Если оба детектора сработали одновременно, то можно говорить о том, что γ -квант, выпущенный в результате тормозного излучения дошёл до второго детектора. Использувавшийся поглотитель – свинец.

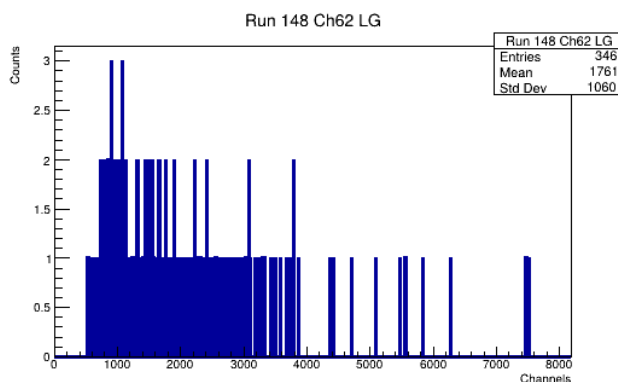


Рисунок 6 — Совпадения срабатываний детекторов

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 положению пиков на гистограмме был произведён 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)

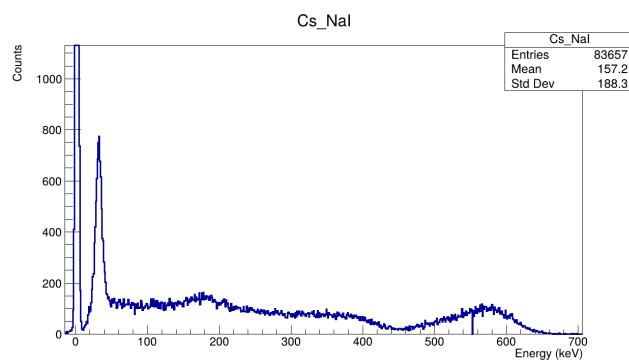


Рисунок 7 — Спектр ^{137}Cs

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

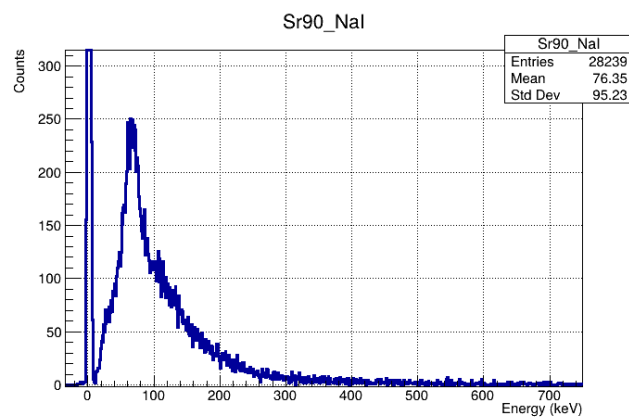


Рисунок 8 — Спектр ^{90}Sr

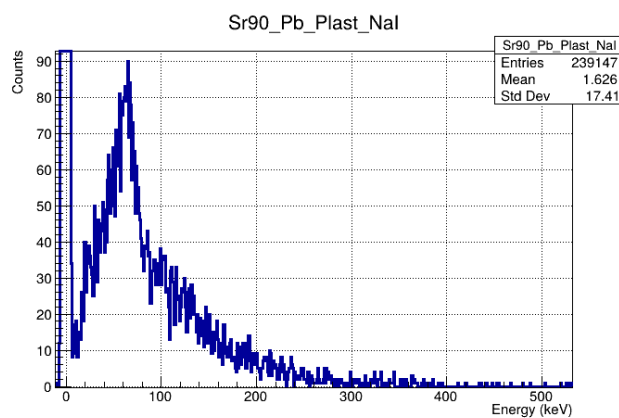


Рисунок 9 — Спектр, снятый с NaI при наличии свинцовой пластинки и тайла

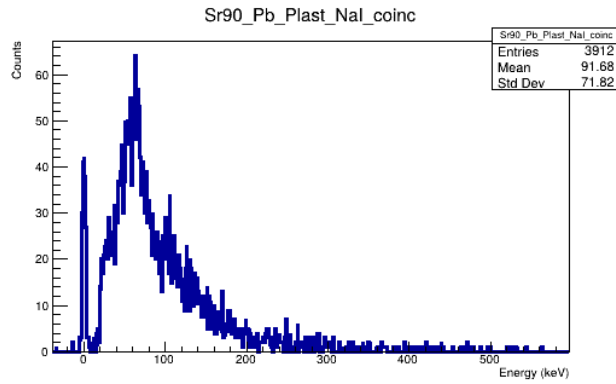


Рисунок 10 — Совпадения срабатываний тайла и NaI, сигнал с NaI

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:

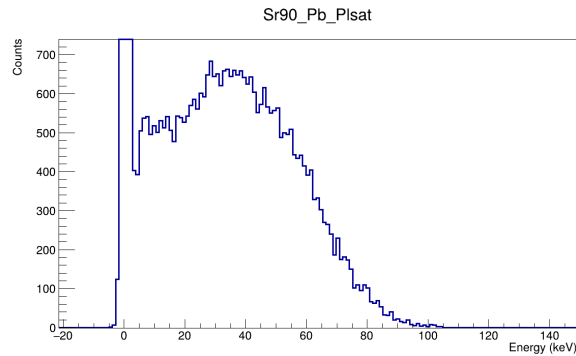


Рисунок 11 — Спектр ^{90}Sr , снятый с тайла при наличии свинцовой пластинки

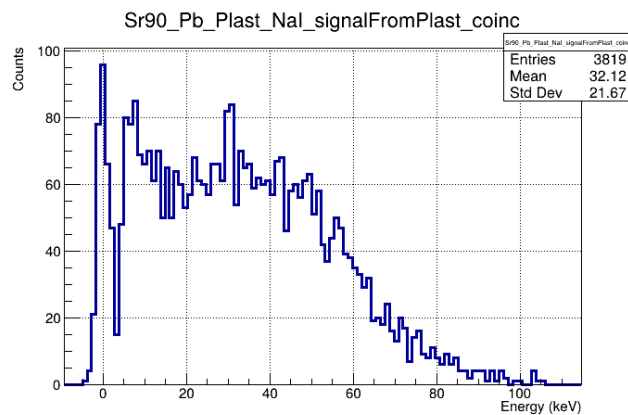


Рисунок 12 — Совпадения срабатываний тайла и NaI, сигнал с тайла

Предположение о том, что коррекция спектра с помощью свинцовой пластинки 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”. В: *Phys. Atom. Nucl.* 87.4 (2024), с. 451—458.