

### JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

### **Educational and Scientific Center**

# FINAL REPORT ON THE INTEREST PROGRAMME at Wave 12

"Pixel detector Medipix MX-10"

### **Supervisor:**

K.B. Gikal

**Teachers:** 

K.D. Timoshenko

L.A. Pavlov

**Student:** 

**Kholmatova Odina** 

Participation period:

03.03.2025 - 20.04.2025

### Содержание:

Благодарность	3
Аннотация	4
ЛР1 Изучение ионизирующего излучения	
ЛР2 Знакомство с детектором Medipix MX-10	8
ЛРЗ Знакомство с маломощными радиоактивными	
источниками	11
ЛР4 Знакомство с америциевым источником $^{241}_{95}Am$	13
ЛР5 Потери энергии альфа-частиц в воздухе	
ЛР6 Потери энергии альфа-частицы в полиэтилене	
и алюминии	20
ЛР7 Гамма-излучение от $^{241}_{95}Am$	
ЛР8 Применение гамма-излучения	
ЛР9 Естественная радиация	
Литературы	

### Благодарность

Я хотела бы выразить искреннюю благодарность команде INTEREST за предоставлиную мне невероятную возможность присоединиться к такому увлекательному научному проекту. Этот опыт углубил мои знания и дал мне ценные навыки, важные для моего развития как молодого исследователя.

Хотела бы выразить искреннюю благодарность Г.Кириллу, К.Тимошенко, Л.Павлову за их помощь и поддержку, они всегда были готовы ответить на мои вопросы, и благодаря их наставничеству мне удалось преодолеть трудности, возникшие во время работы над проектом INTEREST.

### Аннотация

Детектор Medipix Mx-10 представляет собой полупроводниковый прибор, созданный в рамках международного сотрудничества, организованного ЦЕРНом. Он способен регистрировать различные виды частиц, такие как  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ -частицы, путем их регистрации на пиксельной матрице. Этот детектор был использован для проведения экспериментов, направленных на изучение свойств частиц и их источников. С учетом активного использования радиоактивного излучения в медицине, энергетике и других областях жизни, важно иметь возможность работать с таким излучением и получать информацию о частицах и их происхождении, для чего и были использованы указанные детекторы.

### ЛР1 Изучение ионизирующего излучения

Целью данной работы является получение навыков и знаний по работе с пиксельным детектором Medipix-10.

Задачи, поставленные в данной работе:

- Изучение основ ионизирующего излучения
- Изучение типов детекторов, детектора Medipix MX-10 и программное обеспечение Pixelman
- Изучение используемых источников излучения и концепции коллимации пучков частиц
- Изучение распространения альфа-частиц по воздуху
- Изучение распространения гамма-излучения от источника америция
- Изучение естественного фонового излучения

**Ионизирующее излучение** — это потоки фотонов элементарных частиц или атомных ядер, способных ионизировать вещество. Из всех существующих типов такого излучения основными(значимыми) выделяют:

- 1. Коротковолновое электромагнитное излучение поток фотонов высоких энергий (гамма-излучение, рентгеновское излучение).
- 2. Потоки частиц (бета-частиц, нейтронов, протонов, мюонов, альфа-частиц и т.д).

На практике в качестве источников излучения будут использоваться радионуклиды. **Радиоактивный распад** - распад, в котором радиоактивные ядра распадаются независимо друг от друга и от времени. Вероятность распада данного ядра не зависит от времени, прошедшего с начала эксперимента, и от количества ядер, оставшихся в образце.

Закон радиоактивного распада: если в образце в момент времени t имеется N радиоактивных ядер, то количество ядер dN, распавшихся за время dt, пропорционально N:

$$dN = -\lambda Ndt$$

Проинтегрировав, получим закон радиоактивного распада:

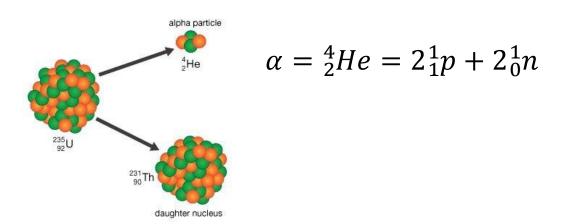
$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

где  $N_0$ - количество радиоактивных ядер в момент времени t=0,

λ-вероятность распада ядра в единицу времени

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \cong \frac{0.693}{\lambda}$$
 — период полураспада

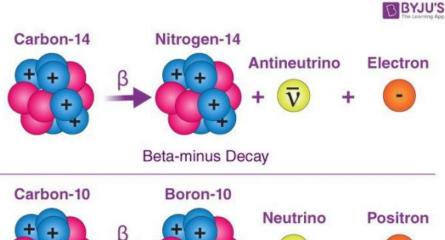
Альфа-распад - это самопроизвольное испускание атомными ядрами альфа-частиц (положительно заряженная частица, образованная двумя протонами и двумя нейтронами (ядро атома гелия)).



**Бета-распад** – это самопроизвольное испускание атомными ядрами электрона(позитрона) и электронного нейтрино (электронного антинейтрино), при котором номер Z становится на единицу большим или меньшим.

Существует три типа  $\beta$  — распада

$$^3_1H=^3_2He+^0_{-1}e+\widetilde{\vartheta_e}$$
 -  $\beta$  — распад  $^{22}_{11}Na=^{22}_{10}Ne+^0_{+1}e+\vartheta_e$  -  $\beta$  + распад  $^{22}_{11}Na+^0_{+1}e=^{22}_{10}Ne+\vartheta_e$  -  $\beta$  + распад



Carbon-10

Boron-10

Neutrino
Positron

$$+$$
 $+$ 
 $+$ 
 $+$ 
 $+$ 

Beta-plus Decay

**Гамма-излучение** — это поток электромагнитных волн (фотонов высокой энергии). Испускается при переходах между возбужденными состояниями атомных ядер, при ядерных реакциях, при взаимодействиях и распадах элементарных частиц.

$$_{1}^{1}H + _{1}^{3}H = _{2}^{4}He + \gamma$$

Для частиц, у которых собственная скорость близка к скорости света (или частица является безмассовой, или кинетическая энергия массивных частиц будет сопоставима или превышать энергию  $E=mC^2$ , необходимо перейти из классической механики в релятивистскую.В релятивистской механике события происходят в четырехмерном пространстве, объединяющем физическое трехмерное пространство и время. Действуют преобразования Лоренца, из которых мы получим

$$E = \gamma E_0 = mc^2 \gamma = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}}$$

Откуда следует формула для скорости:

Parent Daughter Gamma ray (excited nuclear state) 
$$Am_{Z}X \rightarrow Ax + 0 \\ \vartheta = c \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{{E_k}^2}{{E_0}^2}}}$$

Где  $E_0$ - энергия покоя,  $E_k$ - кинетическая энергия,

$$\gamma=rac{1}{\sqrt{1-eta^2}},\,eta=rac{artheta}{c}$$
 – факторы Лоренца.

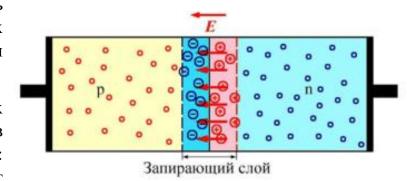
### **ЛР2** Знакомство с детектором Medipix MX-10

Физические возможности человека не позволяют увидеть или почувствовать частицы без помощи специальных устройств детекторов. Детекторы не только регистрируют частицы, но и позволяют определить их энергии и импульсы, траектории движения и другие характеристики. Регистрация заряженных частиц, как правило, основана на явлении ионизации или возбуждении атомов, которое они вызывают в веществе детектора. Нейтральные частицы, например нейтроны и гамма-кванты, должны сначала как-то провзаимодействовать с веществом, чтобы возникли заряженные частицы, на которые может реагировать детектор.

### р-п переход

р-п-переход это область контакта двух полупроводников с разными типами проводимости.

При контакте двух полупроводников п- и р- типов начинается процесс диффузии: дырки из р-области переходят

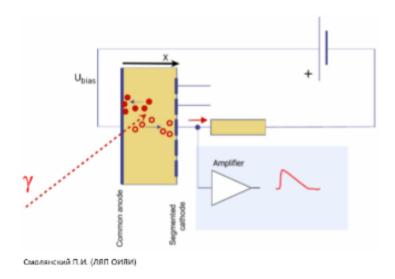


в п-область, а электроны, наоборот, из п-об- ласти в р-область.

Пограничная область раздела полупроводников с разными типами проводимости (так называемый запирающий слой) обычно достигает толщины порядка десятков и сотен межатомных расстояний.

### Простейшие полупроводниковые приборы

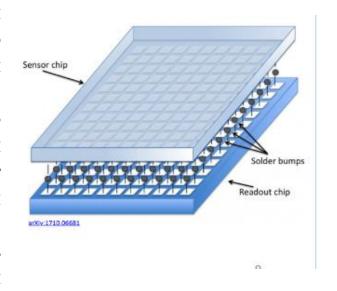
Принцип работы сцинтилляционных детекторов заключается следующем: при попадании заряженной частицы сцинтиллятор В нем возникает слабая вспышка Свет люминесценции. через вспышки световод поступает В фотоэлектронный умножитель, вырабатывающий



электрический импульс, амплитуда которого пропорциональна потере энергии налетающей частицы.

### Детектирование частиц. Гибридные пиксельные детекторы

Гибридный пиксельный полупроводниковый детектор представляет собой плоский полупроводниковый сенсор, электрод которого один сплошной покрыт металлизацией, а другой имеет металлизацию в виде матрицы из отдельных пикселей, что позволяет получать координатную И энергетическую информацию.

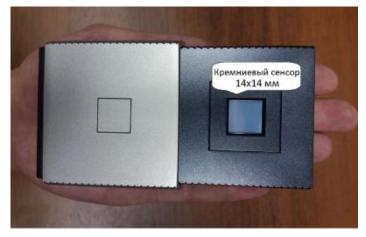


Основными характеристиками детекторов данного типа являются:

- эффективность регистрации отдельных частиц
- пространственное разрешение
- энергетическое разрешение (в некоторых детекторах)

### Комплектация детектора MEDIPIX MX-10



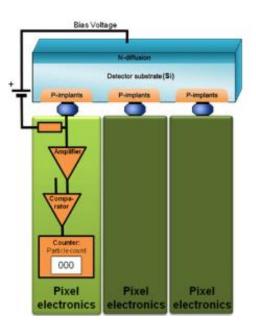


Это пиксельный полупроводниковый детектор ионизирующего излучения. Основными его элементами являются полупроводниковый кремниевый сенсор размером 14×14 мм и толщиной 300 MKM, И микросхема Тітеріх. 256×256 Детектор содержит квадратных пикселей размером 55 мкм, то есть прибор включает в себя более

65 000 отдельных каналов электроники, получающих сигнал из вещества полупроводника. Распознаются типы частиц  $(a, \beta, \gamma)$  по характерному следу на экране.

### Принцип работы MEDIPIX MX-10

Под влиянием ионизирующего излучения в кристалле полупроводника создаются электронно-дырочные (средняя пары необходимая ДЛЯ энергия, образования одной пары в кремнии, составляет 3,62 эВ). Под действием приложенного напряжения они перемещаются к электродам детектора, создавая во внешней цепи электрический импульс. Этот импульс усиливается обрабатывается.



### Эффективность регистрации частиц детектором МХ-10

ЧАСТИЦА	ЭНЕРГИЯ	ЭФФ-ТЬ	ЧАСТИЦА	ЭНЕРГИЯ	ЭФФ-ТЬ
Тяжелые заряженные частицы	> 1 MэB	100 %	Рентгеновские лучи	60 кэВ	1 %
Электроны (бета-частицы)	> 10 кэВ	100 %	Гамма-лучи	> 1 MэB	0,1 %
Рентгеновские лучи	6 кэВ - 10 кэВ	100 %	Медленные нейтроны	0,5 М∍В	1 %
Рентгеновские лучи	20 кэВ	25 %	Быстрые нейтроны	1 МэВ	0,1 %

# **ЛРЗ Знакомство с маломощными радиоактивными Источниками**

В лабораторной работе №3 проведен эксперимент с детектором Medipix MX-10 с использованием маломощных источников излучения (урановое стекло, ториевый стержень и сульфат калия).

 $Урановое \ стекло.$  Распад урана  $^{238}U$  и  $^{235}U$ .

В урановом стекле происходят все три типа радиоактивного распада, потому что в стекле содержатся все радионуклиды из рядов распада урана. Оба ряда (  $^{238}U$  и  $^{235}U$ ) заканчиваются изотоп свинца (  $^{206}Pb$  и  $^{207}Pb$ ). В веществах, содержащих уран, его количество со временем уменьшается, а количество свинца увеличивается.

*Ториевый стержень*. Распад тория  $^{232}Th$ .

В ториевом стержне также встречаются все три типа радиоактивности. Ряд распада заканчивается изотопов свинца  $^{208}Pb$ . Наряду с использованием тория в радиоизотопном датировании, его используют как ядерное топливное сырье, которое при поглощении нейтронов превращается в  $^{233}U$ , который, в свою очередь, является основой уран-ториевого топливного цикла.

Cульфат калия. Распад калия  $^{40}$ K

Сульфат калия- удобрение, в состав которого входит изотоп  $^{40}K$  (содержание в удобрении -0.05%). С вероятностью 89,28+-0,13% он распадается через бетараспад в кальций  $^{40}Ca$ .

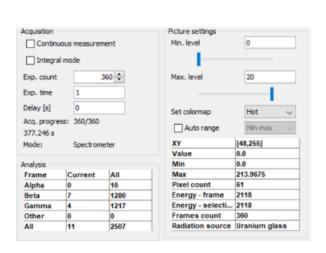
### Экспериментальная часть.

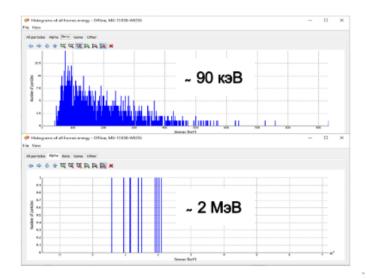
Был проведен эксперимент для сравнения полученной скорости альфа и бетачастиц со скоростью света для каждого источника.

Выберем параметры для проведения эксперимента:

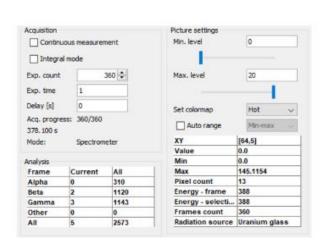
BIAS	Количество	Длительность	Мин.	Макс.
	кадров	экспозиции	уровень	уровень
20 B	360	1 c	0	20

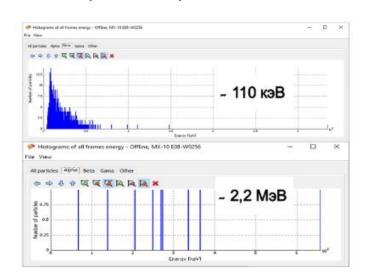
В эксперименте с урановым стеклом, были получены следующие данные:



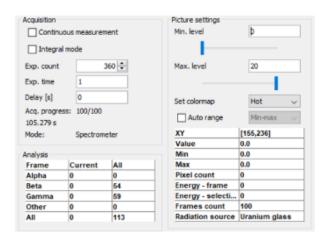


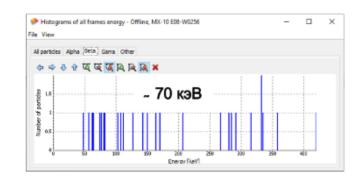
В эксперименте с ториевым стержнем, были получены следующие данные:





В эксперименте с сульфатом калия, были получены следующие данные:





### ЛР4 Знакомство с америциевым источником $^{241}_{95}Am$

Радиоактивный источник <sup>241</sup>Am расположен в цилиндре из дюралюминия. Вращающаяся латунная защитная крышка, прикрепленная к цилиндру, позволяет экранировать поток частиц или пропускать его. Экранирующая крышка имеет 4 положения. Отверстие в цилиндре обозначено точкой сверху. Когда измерение закончено и источник не используется, крышка должна находиться в положении 1.



Положение 1 Источник закрыт, частицы не выходят.



Положение 2
Частицы выходят через тринадцать отверстий диаметром 2 мм. Наиболее интенсивный поток частии.



Положение 3 Частицы выходят через одно отверстие в форме короткого цилиндра диаметром 2 мм.



Положение 4
Частицы выходят через одно отверстие в форме длинного цилиндра диаметром 2 мм.

### Америций – 241

Период полураспада - 432,6 года

• Распадаясь, испускает альфа-частицы (энергия большинства из которых составляет 5,5 МэВ) и мягкие гамма-кванты с энергией 60 кэВ.

### Применение:

- Контрольно-измерительные и исследовательские приборы (в частности, для измерения толщины различных материалов)
- Снятие электростатических зарядов при производстве пластмасс, синтетических пленок и бумаги

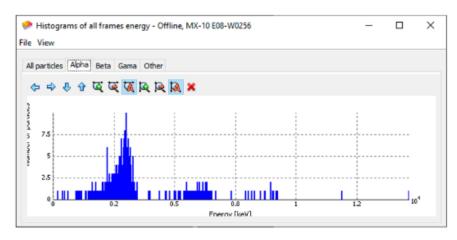
# Probable and the second of the

Задание 1

Провожу измерение с соответствующими параметрами

BIAS	Количество	Длительность	Мин.	Макс.
	кадров	экспозиции	уровень	уровень
20 B	360	0.3 с	0	100

### E ~ 2,8 МэВ



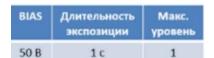
### Задание 2

Провожу эксперимент по определению угла расхождения пучка альфа-частиц для каждого из двух коллиматоров



Для нахождения угла расхождения альфа-частицы используем те же параметры эксперимента, что и в предыдущем, кроме:

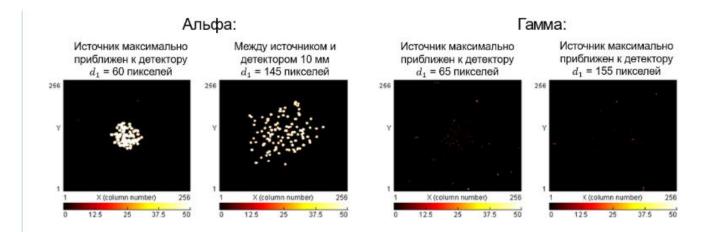
Чтобы правильно определить угол необходимо набрать статистику из всех кадров.



Для нахождения угла расхождения гамма-частицы используем также параметры предыдущего эксперимента, кроме:

- 1) Так как диффузия вносит большой вклад в увеличении облака носителей заряда, учитывая особенности регистрации пиксельными детекторами гаммаквантов, след от квантов может занимать несколько соседних пикселей, что плохо влияет на энергетическое и пространственное разрешение. Уменьшить влияние диффузии мы можем повысить напряжение смещения до 50В, что является оптимальным значением BIAS для данного излучения.
- 2) Следы гамма-квантов занимают меньше пикселей, чем альфа-частицы, так как источник излучает гамма-лучей меньше, чем альфа. Чтобы увеличить следы в кадре необходимо увеличить длительность экспозиции.
- 3) Без альфа-частиц диапазон энергий будет невелик, поэтому нужно уменьшить диапазон уровней яркости.

### Результаты эксперимента:



Нахожу угол расхождения по следующей формуле:

$$\alpha = 2 \arctan g \frac{d_2 - d_1}{2X}$$

где X — разница расстояния между детектором и источником во 2-ом положении от 1го положения.

d – диаметр следа пучка.

### ЛР5 Потери энергии альфа-частиц в воздухе

В лабораторной работе №5 были изучены распространение альфа-частицы по воздуху и концепция средней дальности и ее расчет.

Для того, чтобы приступить к экспериментам необходимо изучить такие понятия как: ионизационное торможение, средние удельные ионизационные потери энергии, средний пробег и другие связанные с этим явления.

При прохождении через вещество заряженная частица за счет кулоновского взаимодействия неупруго рассеивается на электронах и ядрах атомов. Энергия, передаваемая в результате такого неупругого кулоновского рассеяния частицы идет на возбуждение и ионизацию атомов среды. Так, процесс потери частицей энергии за счет ионизации и возбуждения атомов среды при неупругом рассеянии называется ионизационным торможением.

Количественный параметр, характеризующий ионизационное торможение: удельные ионизационные потери энергии  $(-\frac{dE}{dx})_{HOH}$ , т.е. потери энергии на единицу пути, происходящие вследствие ионизации и возбуждения атомов. По-другому этот параметр называется **тормозной способностью вещества**:

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{HOH} = \frac{4\pi e^4 z_a^2}{m_e v^2} n_a B$$

где  $n_a$  — атомная плотность (объемная концентрация атомов), В — тормозное число.

Для релятивистского иона: 
$$B=Z_a(ln\frac{2m_ev^2}{I_{\mu\rho\mu}(1-\beta^2)}-\beta^2)$$

Полуэмпирически показано: средний потенциал ионизации атома вещества -  $I_{\mu\nu} = I_{\mu} \times Z_{a} \left[ \mathcal{I}_{\mu} \right]$ ,  $I_{\mu} = 13,55 \ \mathcal{I}_{\mu} = 10,55 \ \mathcal{I}_{\mu} = 10,5$ 

Подставив тормозное число для релятивистского иона в формулу удельной ионизационной потери энергии, получим формулу Бете-Блоха:

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{\tiny MOH}} = \frac{4\pi e^4 z_a^2}{m_e v^2} n_a Z_a \left(ln \frac{2m_e v^2}{I_{\text{\tiny MOH}} (1-\beta^2)} - \beta^2\right)$$

### Эксперимент №1. Расчет начальной энергии альфа-частиц

Необходимо установить крышку источника в положение 2. Параметры эксперимента:

BIAS			Длительность экспозиции		Макс. уровень
20 B	Да	100	0,3 c	0	10

Так как альфа-частицы теряют большую часть своей энергии в воздухе, то необходимо уменьшить диапазон уровня яркости.

После начала измерений нужно отодвигать источник от детектора до тех пор, пока количество альфа-частиц в кадре не будет между 0 и 1. Зафиксировав это положение, замерить расстояние между источником и детектором. Это расстояние будет средним пробегом альфа-частицы в воздухе (R=1.5см).

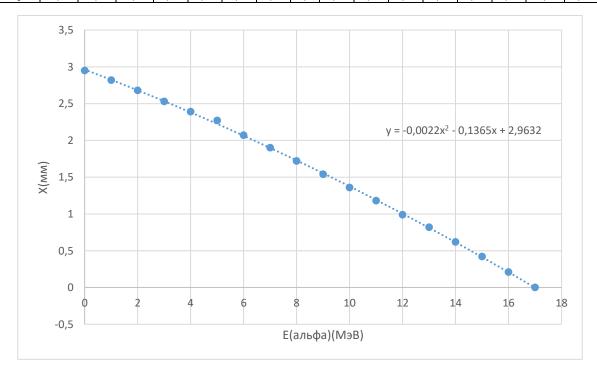
По эмпирической формуле Гейгера получим, что начальная энергия альфачастиц была 2,8 МэВ.

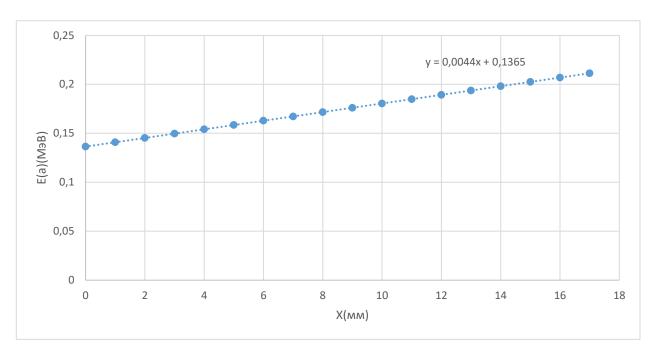
Эксперимент №2. Зависимость длины пробега от кинетической энергии частиц. Параметры с предыдущего эксперимента, кроме:

Непрерывное	Количество
измерение	кадров
Нет	5 000

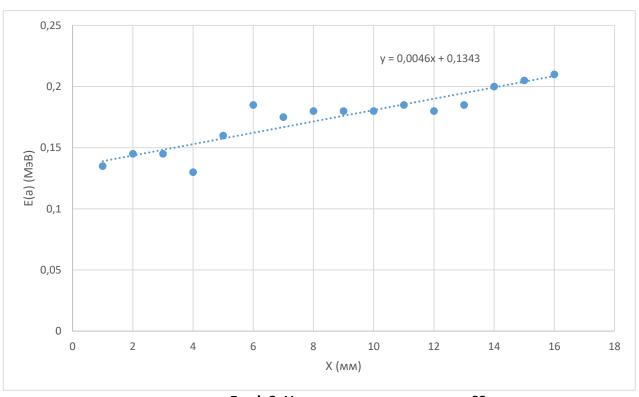
Производится 20 измерений. После каждого увеличиваем расстояние между источником и детекторов на 1мм.

X[mm]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Е(альфа)[МэВ]	2,95	2,82	2,68	2,53	2,39	2,27	2,07	1,9	1,72	1,54	1,36	1,18	0,99	0,82	0,62	0,42	0,21	0



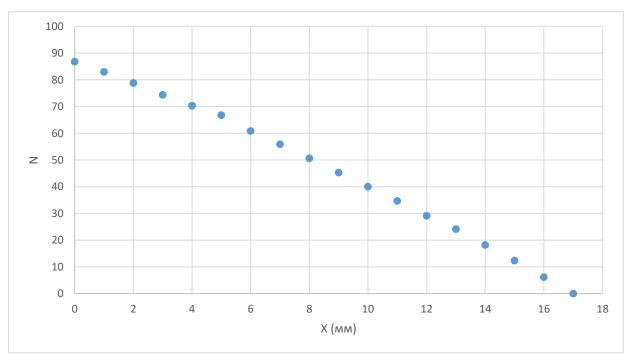


Граф.1. Удельные потери энергии S1



Граф.2. Удельные потери энергии S2

X (mm)	N	E(a)(MэB)
0	86,7647059	2,95
1	82,9411765	2,82
2	78,8235294	2,68
3	74,4117647	2,53
4	70,2941176	2,39
5	66,7647059	2,27
6	60,8823529	2,07
7	55,8823529	1,9
8	50,5882353	1,72
9	45,2941176	1,54
10	40	1,36
11	34,7058824	1,18
12	29,1176471	0,99
13	24,1176471	0,82
14	18,2352941	0,62
15	12,3529412	0,42
16	6,17647059	0,21
17	0	0



Граф.З. Зависимость количества образованных ионов от расстояния между источником и детектором

## ЛР6 Потери энергии альфа-частицы в полиэтилене и алюминии

В лабораторной работе №6 было изучение поглощение альфа-частицы в полиэтиленовой пленке и алюминиевой фольге.

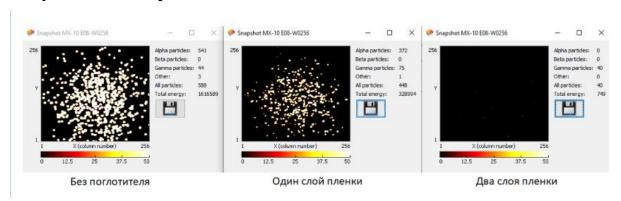
Эксперимент №1. Поглощение альфа-частицы в веществе.

Установив крышку источника в положение 2 (частицы выходят через 13 отверстий диаметром 2мм. Наиболее интенсивный поток частиц) настроили параметры для эксперимента:

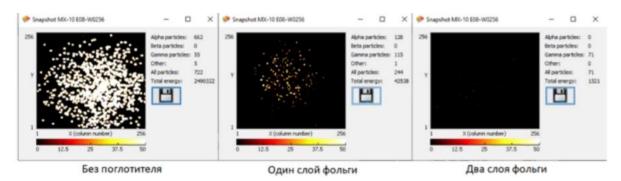
BIAS	Количество	Длительность	Мин.	Макс.
	кадров	экспозиции	уровень	уровень
20 B	50	0,3 с	0	100(10)

Сначала проводится измерение без поглотителя (макс. уровень яркости — 100). Далее добавляем по одному слою пленки или фольги до тех пор, пока альфа-частицы не перестанут долетать до детектора (макс. уровень яркости — 10).

### Результаты измерений с пленкой:



### Результаты измерений с фольгой:



Количество частиц на изображения, полученных от измерений, что с фольгой, что с пленкой уменьшается.

С добавлением первого слоя поглотителя (фольга или пленка) количество альфа-частиц уменьшается. На втором слое альфа-частицы уже полностью останавливаются. Плотность у воздуха меньше, чем у фольги (также как и количество атомов).

На первом слое альфа-частицы взаимодействуют с фольгой, теряют часть своей энергии (энергия идет на ионизацию вещества) и пролетают дальше, а некоторые частицы уже на этом слое полностью теряют свою энергию и пролететь дальше не могут. На втором слое уже всем альфа-частицам не хватает энергии для его преодоления и поэтому полностью останавливаются в веществе. Проходя через воздух альфа-частицы незначительно теряют энергию по сравнению с прохождением через поглотитель, поэтому их количество без поглотителя самое большое. Алюминиевая фольга более плотная, чем полиэтиленовая пленка. Поэтому требует больше энергии на ионизацию и возбуждение атомов.

Эксперимент №2. Потери энергии альфа-частиц в веществе.

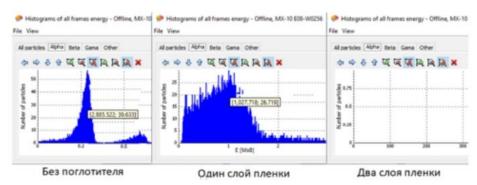
Установив параметры с прошлого эксперимента, кроме:

проводятся измерения также как и в предыдущем, сначала без поглотителя и далее добавляем по одному слою, пока альфачастицы не перестанут долетать до детектора. Но после каждого измерения необходимо построить гистограмму энергий альфа-частиц, где по пикам определим энергии частиц.

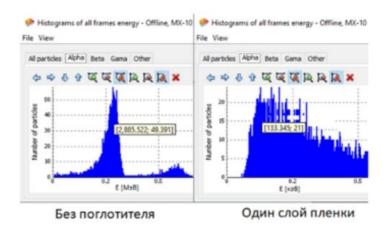
### Результаты измерений с пленкой:

Количество

кадров



### Результаты измерений с фольгой:



Энергия частиц уходит на ионизацию и возбуждение атомов вещества. В более плотном веществе альфа-частицы тратят больше энергии из-за ионизации вещества (электроны крепче "сидят" в атомах). Спектр энергии увеличивается из-за рассеивания. Альфа-частицы сталкиваются с атомами вещества и рассеиваются -> частицы меняют свое направление, поэтому мы получаем разброс в энергии. Чем больше атомов, тем больше частицы рассеивается.

### ЛР7 Гамма-излучение от $^{241}_{95}Am$

В данной лабораторной работе была изучена регистрация гамма-частиц и сечение реакции.

Распад 
$$^{241}_{95}Am$$
:  $^{241}_{95}Am \rightarrow ^{237}_{93}Np + ^{4}_{2}He$ 

После реакции, ядра  $^{237}_{93}Np$  находятся в возбужденном состоянии и переходят в основное состояние излучая фотоны с энергией 59,5 кэВ. Также мы можем наблюдать рентгеновские фотоны из электронной оболочки  $^{237}_{93}Np$  с энергиями 14-17 кэВ или 21кэВ (возникают при взаимодействии гаммаквантов энергии 59,5 кэВ с окружающим веществом). Гамма-лучи выбивают электроны с электронной оболочки  $^{237}_{93}Np$ . Эти электроны впоследствии ионизируют атомы кремния. Так, косвенно, детектором регистрируются фотоны.

Мы можем наблюдать два явления.

- 1. Фотоэффект. Взаимодействие, при котором фотон поглощается атомом, передает всю свою энергию орбитальному электрону и выбивает его из атома.
- 2. Эффект Комптона. Взаимодействие. При котором фотон неупруго рассеивается на свободном электроне атомной оболочки, передавая часть своей энергии электрону.

Альфа-частицы, излучаемые америцием, поглощаются в кремниевом детекторе толщиной 300мкм почти со 100% вероятность. Вероятность регистрации фотонов ниже 100%. Доля зарегистрированных детектором фотонов зависит от их энергии. Мы можем определить вероятность регистрации фотонов по формуле:

$$P = \frac{N'}{N_0} * 100\%$$

где N' - число фотонов провзаимодействовавших с веществом детектора,  $N_0$  – число фотонов, попавших на сенсор детектора.

Зависимость вероятности регистрации фотона от его энергии в детекторе Medipix MX-10:

Е [кэВ]	10	15	20	30	40	50	60	80	100	150	200
P [%]	90,5	51,3	26,7	9,51	4,76	3,01	2,21	1,54	1,27	1,00	0,88

Важной частью при изучении взаимодействия гамма-квантов с веществом является сечение реакции. Сечение реакции – величина, характеризующая

взаимодействие двух частиц. Единица измерения – барн (1 барн= $10^{-28}$ м<sup>2</sup>). Число взаимодействий можно определить соотношением:

$$N' = N_0 \sigma n$$

 $\sigma$  – сечение реакции, n – количество ядер, находящихся на площади сенсора.

Если нам известна толщина сенсора - d, то количество частиц мишени на единицу площади можно рассчитать:

$$n = \frac{\rho dN_A}{A}$$

Эксперимент №1. Расчет и оценка количества частиц, попавших на детектор и провзаимодействовавших с веществом детектора.

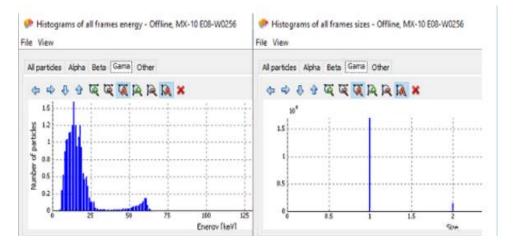
Крышку источника необходимо установить в положение 2 (частицы выходят через 13 отверстий диаметром 2мм. Наиболее интенсивный поток частиц). Так как мы изучаем гамма-излучение, то нужно экранировать альфа-частицы.

### Параметры эксперимента:

BIAS	Количество	Длительность	Макс.
	кадров	экспозиции	уровень
50 B	360	1 c	1

пик	1	2
Е [кэВ]	14	60
N′ [шт]	17 046	1 550

### Результаты измерений:



Зная активность источника (A=9,5 кБк), расстояние между источником и детектором (r=5 мм) и площадь сенсора (14\*14мм), считая источник точечным, мы можем рассчитать количество фотонов от источника, попавших на детектор. Так как источник точечный, то он излучает во все стороны, образуя сферу.

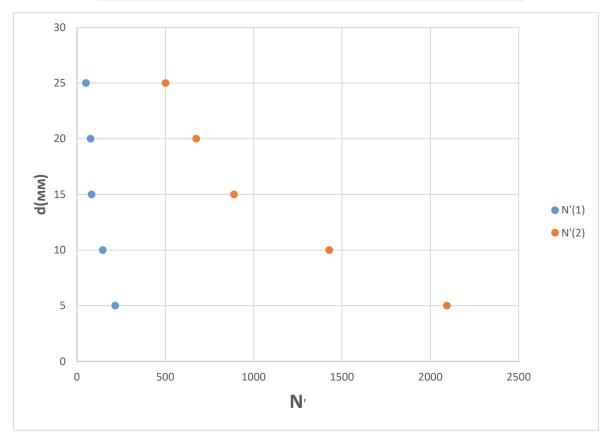
$$N_0(\text{pac}) = A \cdot t \cdot \frac{S_{\text{дет}}}{S_{\text{o}\phi}} = 2,24 \cdot 10^6$$

Эксперимент №2. Оценка зависимости энергии фотона и их количества от расстояния между источником и детектором.

Крышка источника установлена в положение 3 (частицы выходят через одно отверстие в форме короткого цилиндра диаметром 2мм). Используя параметры предыдущего эксперимента, проводится 6 измерений на различных расстояниях между источником и детектором (d). Начиная с 5мм, шаг 5мм.

### Результаты:

d [mm]	5	10	15	20	25
E <sub>1</sub> [кэВ]	14	14	14	14	14
$N_1'$ [ШТ]	2094	1428	889	675	502
E <sub>2</sub> [кэВ]	60	60	60	60	60
№ [шт]	217	146	83	77	51



Граф.4. Зависимости энергии фотона и их количества от расстояния между источником и детектором

### ЛР8 Применение гамма-излучения

В данной работе было изучено поглощение фотонов в металлах и применение рентгенофлуоресцентного анализа. Проникающая способность гамма-излучения уменьшается с увеличением числа электронов на единицу объема вещества. Поэтому чем тяжелее атомы и плотнее вещество, тем больше поглощение фотонов в нем.

Линейный коэффициент ослабления интенсивности фотона  $\mu$ :

$$N = N_0 e^{-\mu x}$$

где N — количество фотонов, прошедших через пластину,  $N_0$  — количество фотонов, регистрируемых детектором без пластины, х — толщина пластины.

Эксперимент №1. Изучение прохождения гамма-излучения через различные металлы: алюминий, стал, латунь, свинец. В ходе эксперимента было измерено количество фотонов, регистрируемых детектором от источника без металлических пластин. Далее измерения проводились с металлическими пластинами толщиной 1мм. Пластины из железа и свинца. Измерялось количество фотонов, проходящих сквозь эти пластины.

### Результаты измерений:

N <sub>0</sub>	$N_{Fe}$	$N_{Pb}$	По результатам мы можем видеть, что наиболее
28 560	10 507	192	эффективное поглощение гамма-излучения
			происходит в пластинке, состоящей из свинца. Так

как количество фотонов, проходящих сквозь эту пластину наименьшее. Рассчитаем линейный коэффициент ослабления интенсивности пучка фотонов для железа и свинца, по полученным данным в эксперименте из формулы:

$$N = N_0 e^{-\mu x}$$

Для железа:  $\mu \approx 1$ 

Для свинца:  $\mu \approx 5$ 

Из формулы видно, что чем больше этот коэффициент, тем количество фотонов, прошедших через пластину, меньше.

Эксперимент №2. Пучок фотонов из источника направлен на металлическую пластину и не попадает на сенсор детектора, но на сенсор попадают фотоны образовавшиеся в пластине в результате ее облучения фотонами из источника.



Был получен следующий набор энергий, по которому можно определить состав пластины:

Е <sub>1</sub> [кэВ]	E <sub>2</sub> [кэВ]	<b>Е</b> <sub>3</sub> [кэВ]
9,3	12,4	24,8

Табличные значения энергий фотонов образовавшихся в результате межуровневых переходов в атоме:

	Kα <sub>1</sub>	Kα <sub>2</sub>	Кβ1	La <sub>1</sub>	La <sub>2</sub>	Lβ <sub>1</sub>	Lβ <sub>2</sub>	Ly <sub>1</sub>	Mα <sub>1</sub>
Ерь[кэВ]	74,97	72,80	84,94	10,55	10,45	12,61	12,62	14,76	2,35
Еси[кэВ]	8,05	8,03	8,91	0,93	0,93	0,95			
E <sub>Fe</sub> [кэВ]	6,40	6,39	7,06	0,71	0,71	0,72			
E <sub>sn</sub> [κ∋B]	25,27	25,04	28,49	3,44	3,44	3,66	3,90	4,13	

Сопоставив значения, мы видим, что энергия  $9.3\,$  кэB соответствует меди,  $12.4\,$  кэB — свинец,  $24.8\,$  кэB — олово. Из этого можем сделать вывод, что пластинка состоит из сплава трех металлов: олово, свинца и меди.

### ЛР9 Естественная радиация

В лабораторной работе №9 мы изучали естественного фона и излучение продуктов распада радона.

Радиационный фон может быть как природным, так искусственным.

На природные источники радиации приходится 2,4 МэВ. В них входят космические лучи, радон, калий и др.

На искусственные источники радиации приходится 1,01 МэВ. Основным природным источником радиации является радон (55% от общего числа). На большей части России доля облучения от радона 1,5-2,5 МэВ/год.

Продукты распада изотопов радона:

В основном, в процессе радионуклидов возникают три изотопа радона. Больше всего в атмосфере содержится  $^{222}_{86}Rn$ , содержание  $^{220}_{86}Rn$ (торон) значительно меньше и реже всего встречается  $^{219}_{86}Rn$ (актинон).

Нуклид	Вид распада	Период Выделяемая		Продукт
		полураспада	энергия,	распада
			МэВ	
<sup>219</sup> <sub>86</sub> Rn	α	3,96 с	6,946	$^{215}_{84}Po$
<sup>220</sup> <sub>86</sub> Rn	α	55,6 с	6,404	<sup>216</sup> <sub>84</sub> Po
<sup>222</sup> <sub>86</sub> Rn	α	3,8235 с	5,590	<sup>218</sup> <sub>84</sub> Po

### Эксперимент№1.

Необходимо установить детектор в вертикальное положение и накрыть сенсор бумажной салфеткой. Параметры эксперимента:

Тип	BIAS	Количество	Длительность	Макс.
источника		кадров	экспозиции	уровень
Другой	20 B	20	15 c	20

### Результаты:

По числу частиц и времени мы можем определить активность салфетки.

t=15· 28 = 300 с, N=28 
$$A = \frac{N}{t} \approx 0.093$$
 Бк

### Эксперимент №2

Как было показано в предыдущих работах, альфа-частицы могут преодолевать дистанцию в несколько сантиметров. И для того, чтобы увеличить статистику и качество эксперимента, нам необходимо исследовать большой объем воздуха. Мы можем поместить на всасывающее сопло пылесоса бумажную салфетку, прогнать через нее большое количество находящегося в комнате воздуха. Продукты распада радона осядут на салфетке, и можно будет использовать ее, как радиоактивный источник.

Время работы пылесоса – 10 минут.

В непроветриваемом помещении активность A=N/t t=10\*60=600 (s) N=310 A=310/600=0,15 Бк

В проветриваемом помещении активность A=N/t t=10\*60=600 (s) N=189 A=189/600=0,315 Бк

Активность в проветриваемом помещении в два раза выше, чем в непроветриваемом.

В проветриваемом помещении активность выше, потому что новые радиоактивные частицы могут поступать в помещение из внешней среды через вентиляцию.

В непроветриваемом помещении активность ниже, так как радиоактивные вещества остаются в помещении на постоянном уровне и их количество постепенно снижается из-за взаимодействия с поверхностями или оседания частиц.

### Заключение

В ходе работы с пиксельным детектором Medipix MX-10 и программным обеспечением я приобрела полезный опыт и навыки. У меня была возможность изучить различные радиоактивные источники, что позволило мне лучше понять поведение частиц в веществе. Несмотря на ограниченное количество данных, полученные результаты расширили моё представление о работе детекторов и их применении в научных исследованиях. Благодаря этому проекту и проведённой работе, я значительно углубила свои знания и навыки в области работы с детекторами, что будет полезно для дальнейших исследований.