



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

**«ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ВОЛЬФРАМА НА ПРОХОЖДЕНИЕ
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ»**

Студент: А. М. Торохов

Научный руководитель: д. ф-м. н., проф. Г. Х. Салахутдинов

Введение

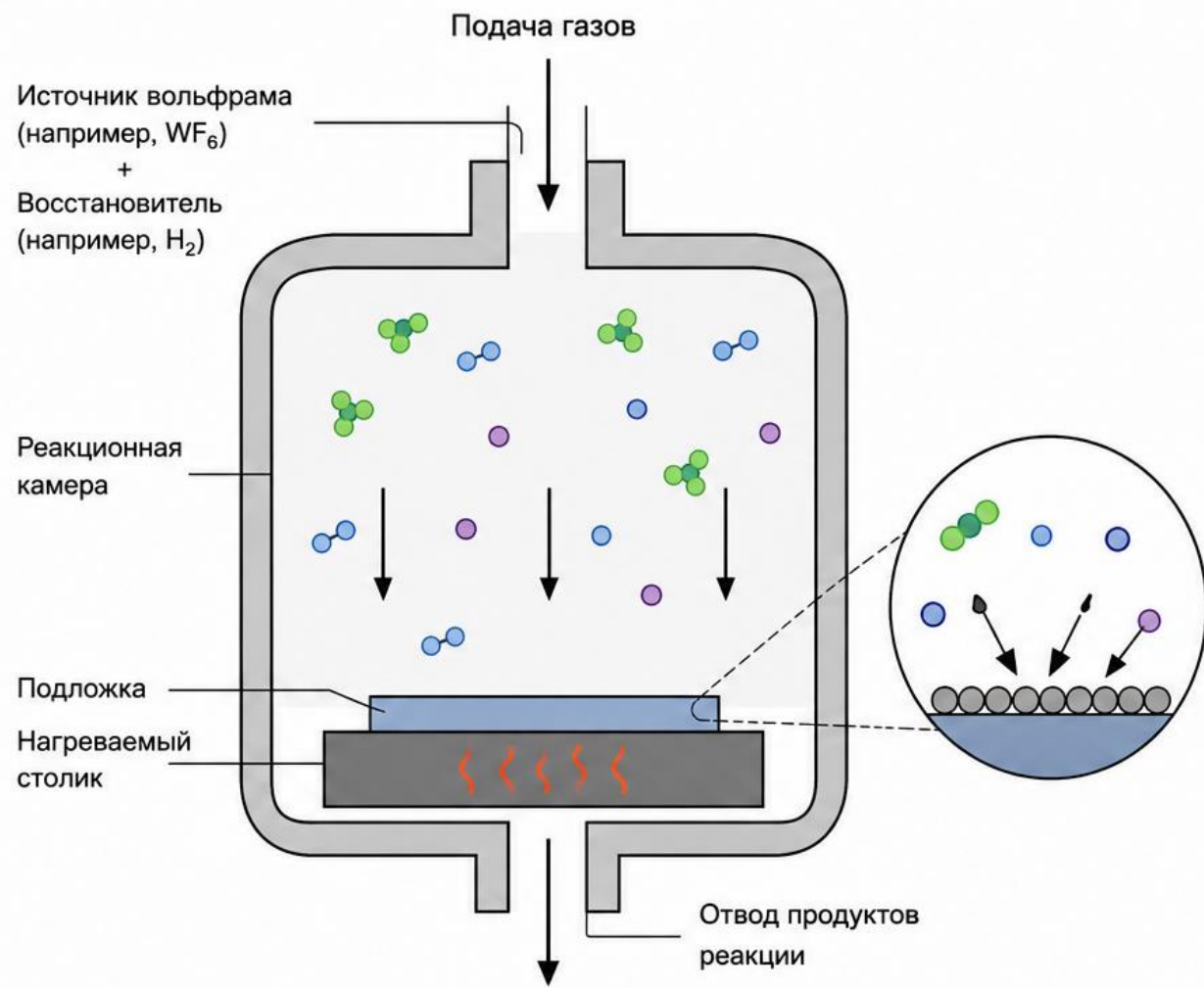
- Целью данной работы является изучение пропускной способности вольфрама для рентгеновского излучения, а так же излучения от Cs-137, Co-60 и U-235.

- Поставленные задачи:
 1. Провести литературный обзор по теме;
 2. Провести эксперимент
 - I. Получить образцы
 - II. Снять кривую ослабления для каждого из источников
 3. Обработать данные эксперимента;
 4. Сравнить полученные результаты для вольфрама с данными по ослаблению для свинца;
 5. Сделать выводы.

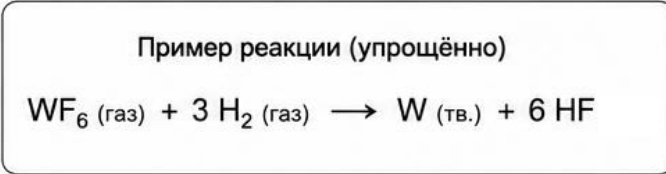
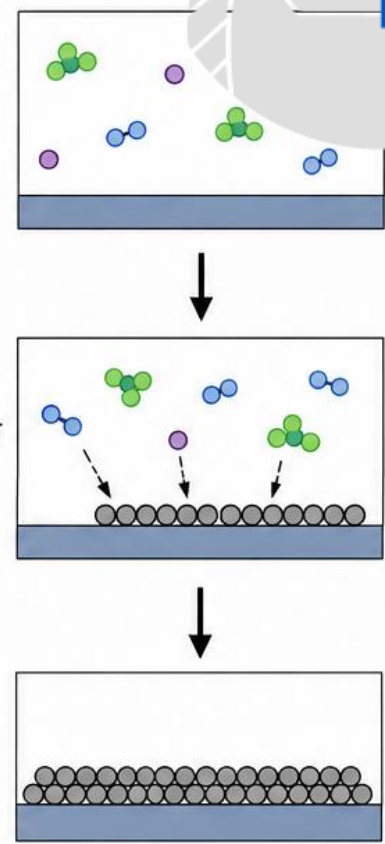
CVD осаждение вольфрама



Национальный
исследовательский
ядерный университет



- ### Этапы процесса
1. **Подача газов**
Источник WF_6 и восстановитель H_2 поступают в камеру
 2. **Перенос к поверхности**
Молекулы диффундируют к нагретой подложке
 3. **Рост плёнки**
Атомы W осаждаются на подложке, формируя плёнку вольфрама

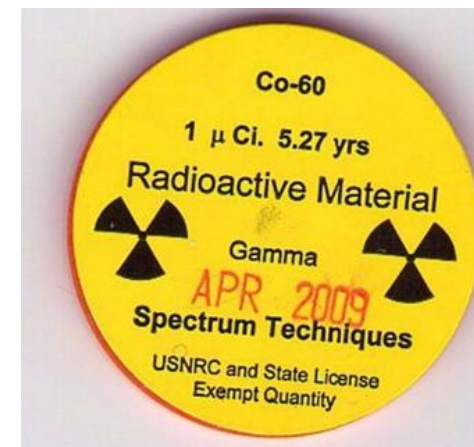


	WF_6
	H_2
	HF (побочный продукт)
	W (атом вольфрама на поверхности)

- ### Условия процесса (типично)
- Температура: $\sim 300\text{--}600\text{ }^\circ\text{C}$
 - Давление: низкое / атмосферное

Источники излучения

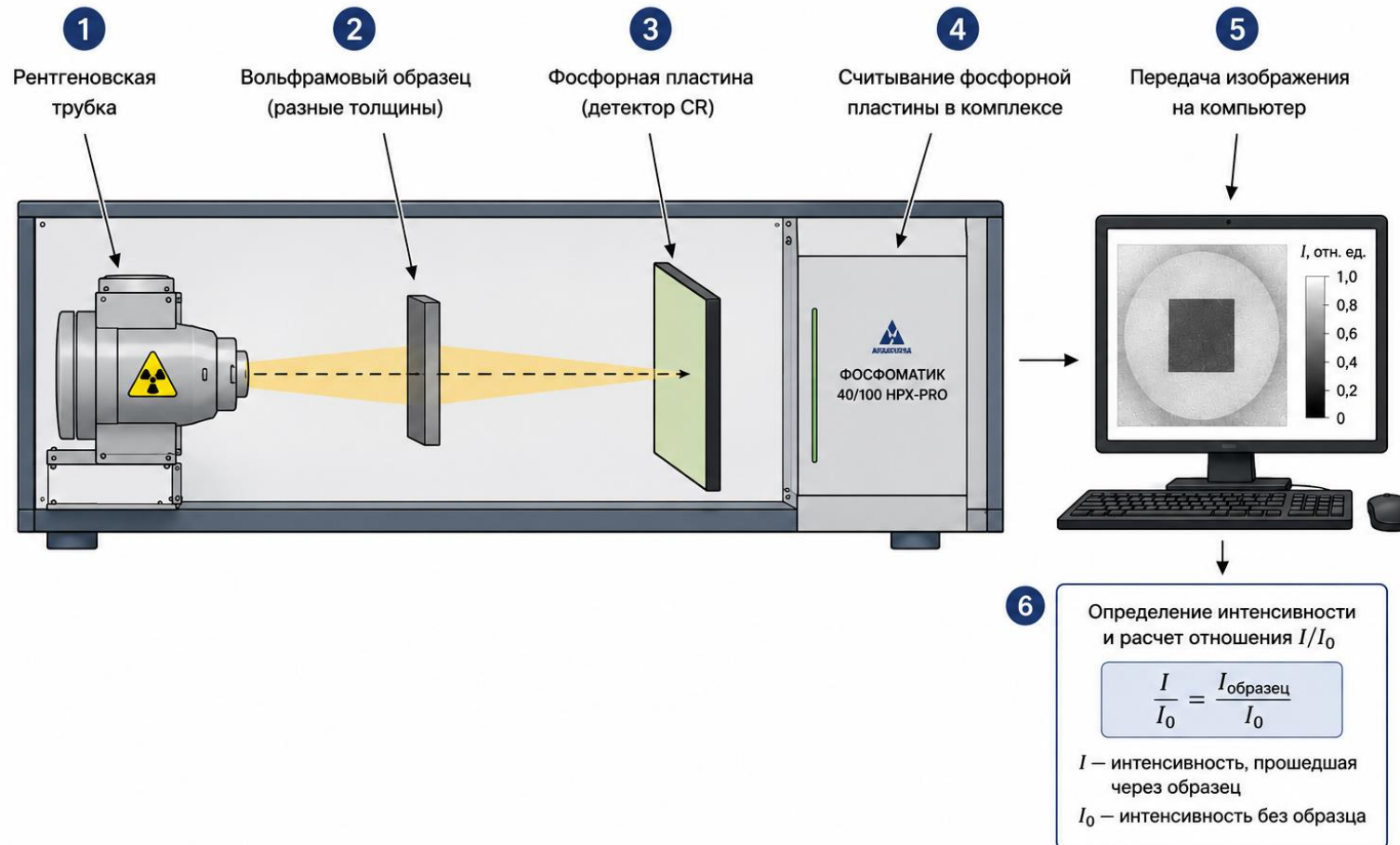
- Рентгеновская трубка (в комплексе цифровой радиографии, значение энергии - 160кэВ)
- Цезий – 137 (активность - 9кБк, фотопик – 662кэВ)
- Кобальт - 60 (активность – 9кБк, фотопики – 1173кэВ и 1333кэВ)
- Уран-235 (энергия – 185,7кэВ)



Ослабление рентгеновского излучения

Для изучения ослабления рентгеновского излучения использовался комплекс цифровой радиографии ФОСФОМАТИК-40 / 100-НРХ-ПРО

Схема эксперимента



Ослабление излучения Cs-137 и Co-60

В данном эксперименте использовался спектрометр Inspector 1000 с кристаллом NaI(Tl) 76×76 мм

Схема эксперимента



Анализ полученных данных

Для анализа прохождения излучения использовался закон Бугера - Ламберта - Бера (закон экспоненциального ослабления).

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

I - интенсивность пучка после прохождения через материал.

I_0 - начальная интенсивность пучка.

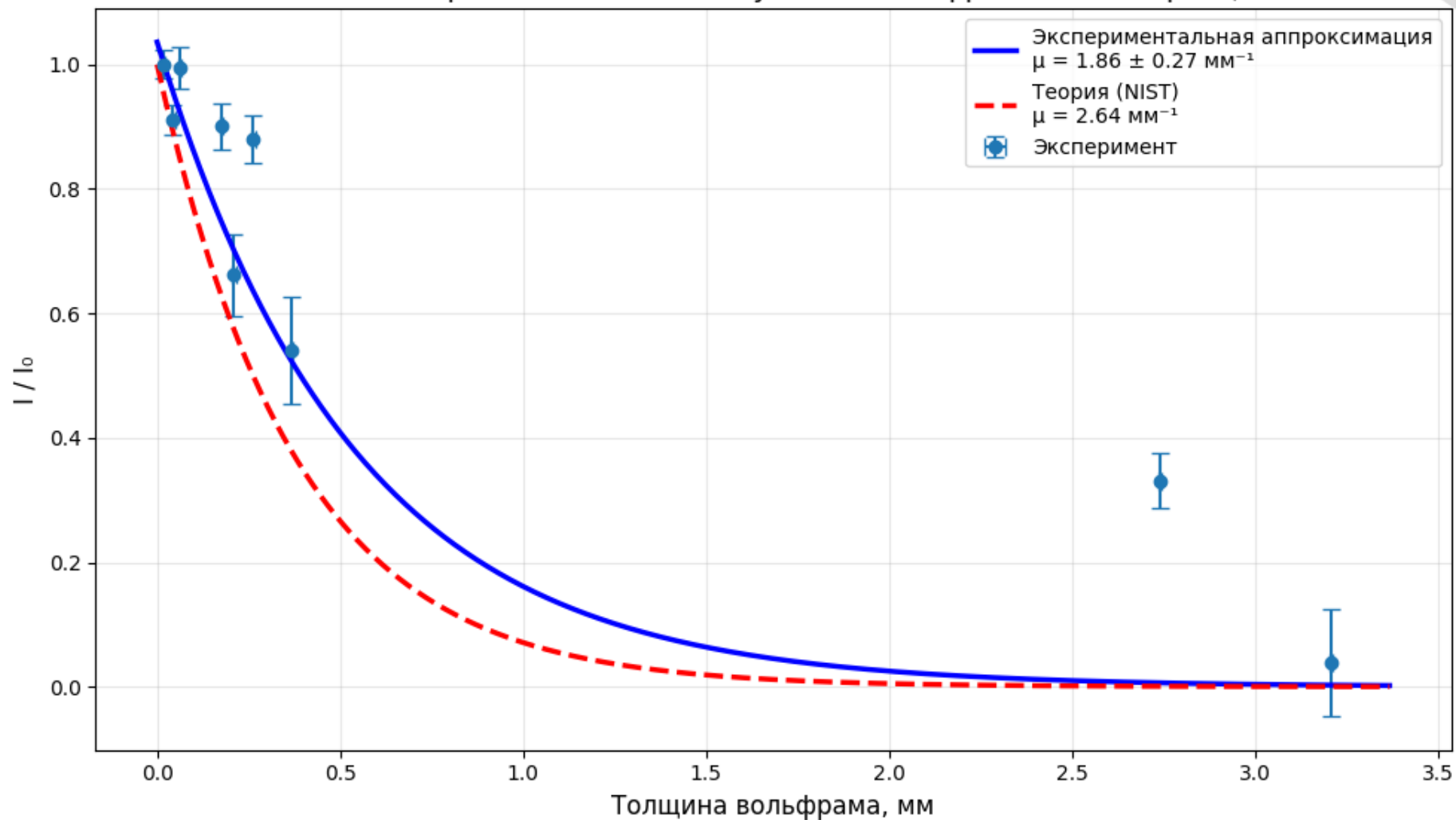
μ - линейный коэффициент ослабления.

x - толщина материала.

Линейный коэффициент ослабления зависит от плотности вещества, для его расчета был использован массовый коэффициент ослабления μ_m .

Результаты (ослабление рентгеновского излучения)

Ослабление рентгеновского излучения вольфрамовыми образцами



Результаты (ослабление рентгеновского излучения)

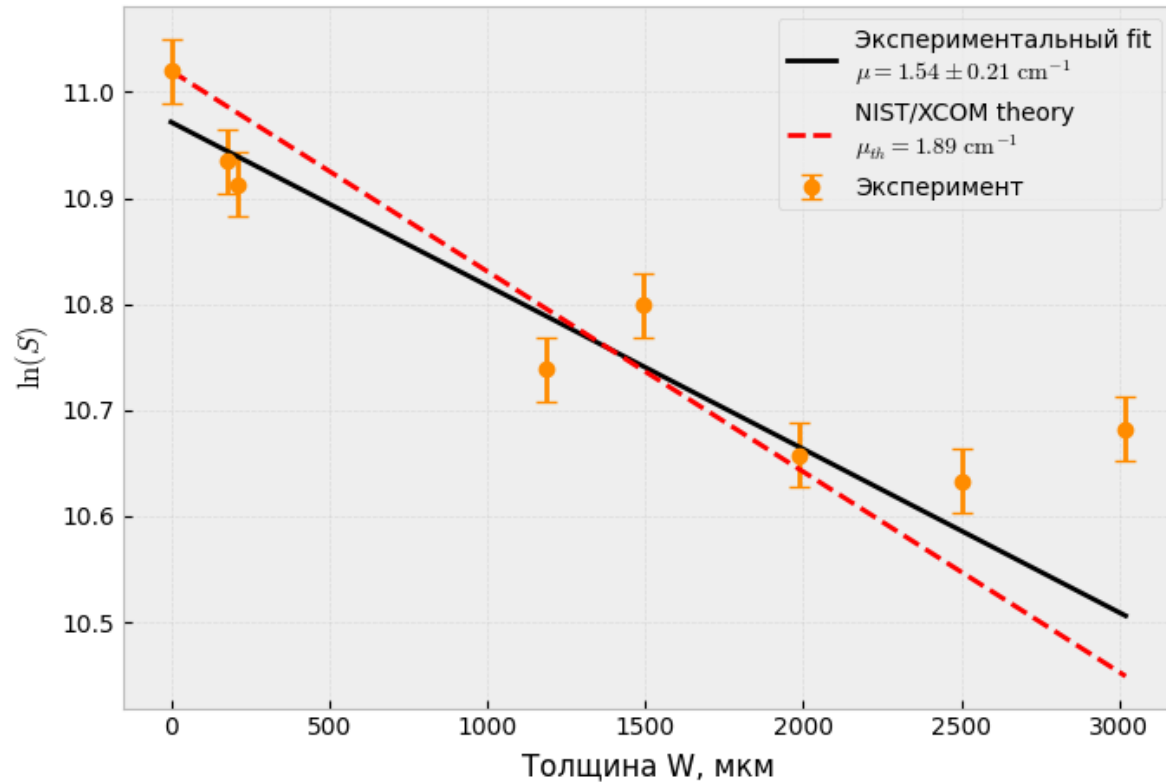
- Экспериментальное и теоретическое значения коэффициентов ослаблений:

$$\mu_{\text{theor}} = 2,64 \text{ мм}^{-1}, \mu_{\text{exp}} = 1,86 \pm 0,27 \text{ мм}^{-1}$$

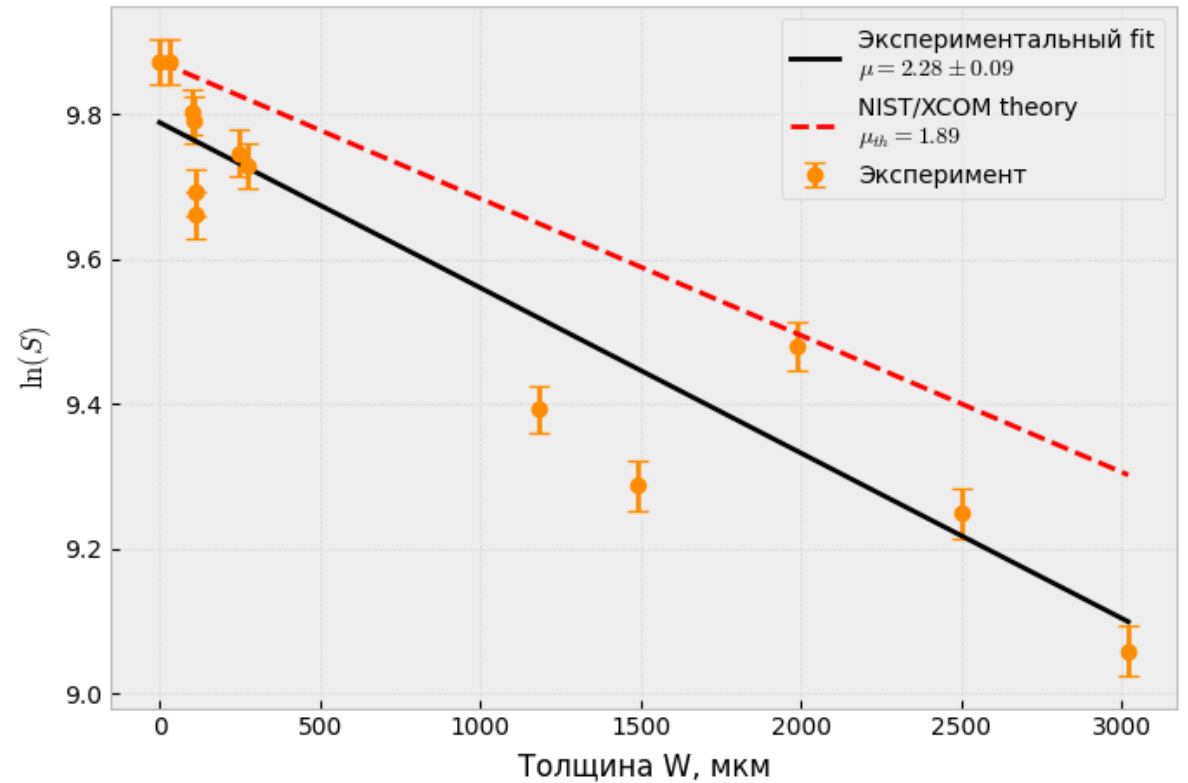
- Полученное значение коэффициента, в пределах погрешности, не сходится с теоретическим.
- Значение критерия детерминации: $R^2 = 0,83$

Результаты (ослабление излучения от цезия)

Cs-137 FULL spectrum (semi-log scale)



Cs-137 photopeak (semi-log scale)



Результаты (ослабление излучения цезия)

- Экспериментальные и теоретические значения коэффициентов ослаблений:

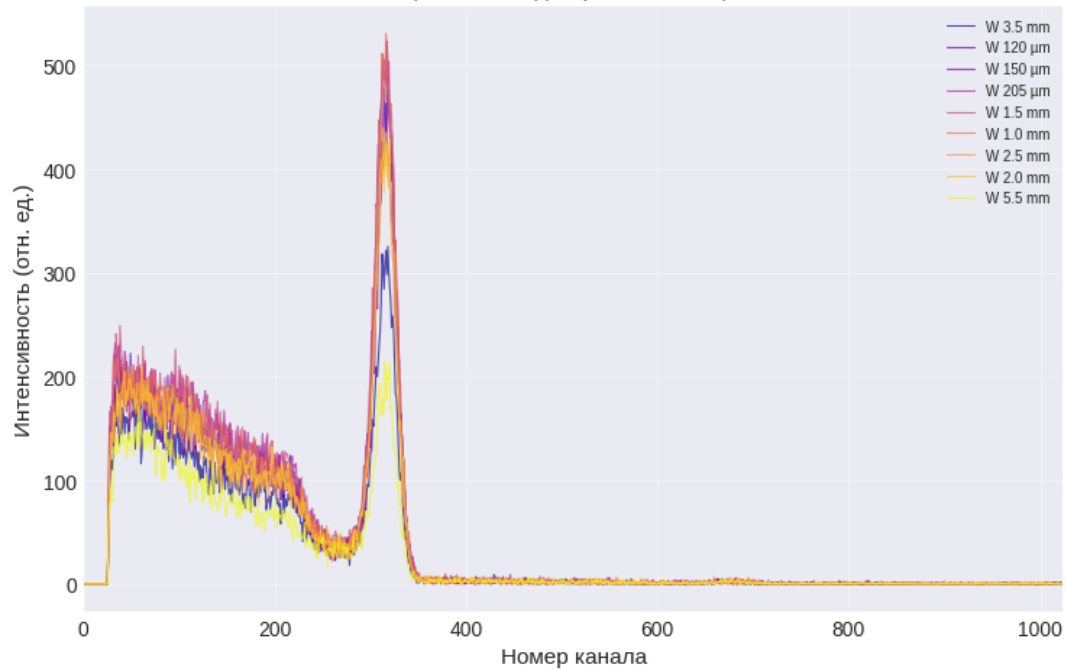
$$\mu_{\text{Cs}} = 1,89 \text{ см}^{-1}$$

$$\mu_{\text{Cs,Full}} = 1,54 \pm 0,21 \text{ см}^{-1}$$

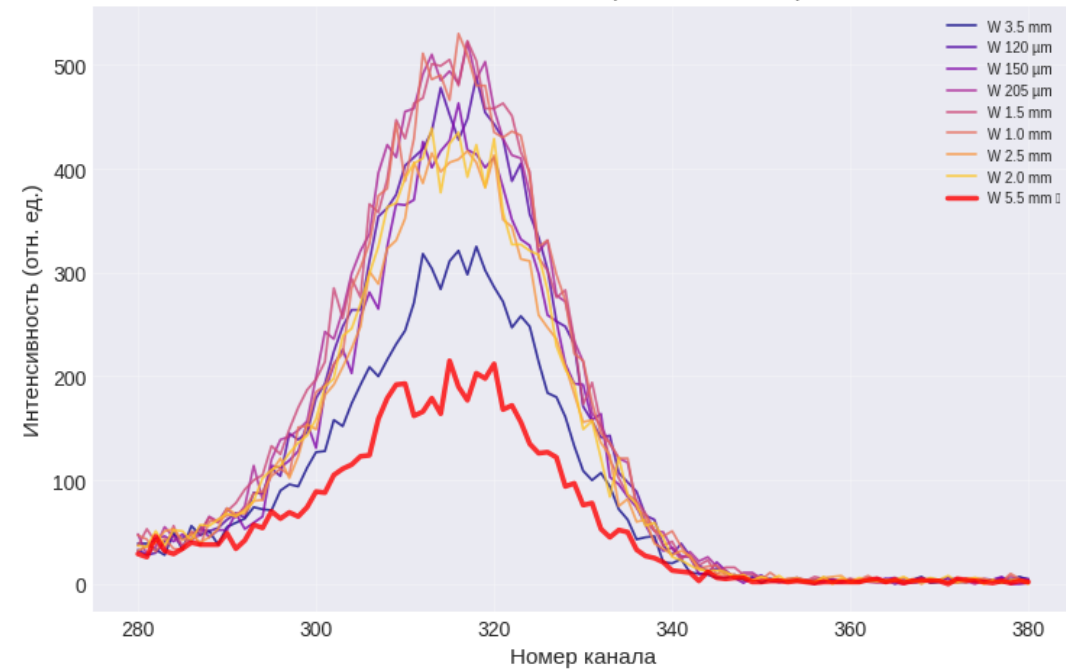
$$\mu_{\text{Cs,Peak}} = 2,28 \pm 0,09 \text{ см}^{-1}$$

- Значение критерия детерминации: $R^2 = 0,94$

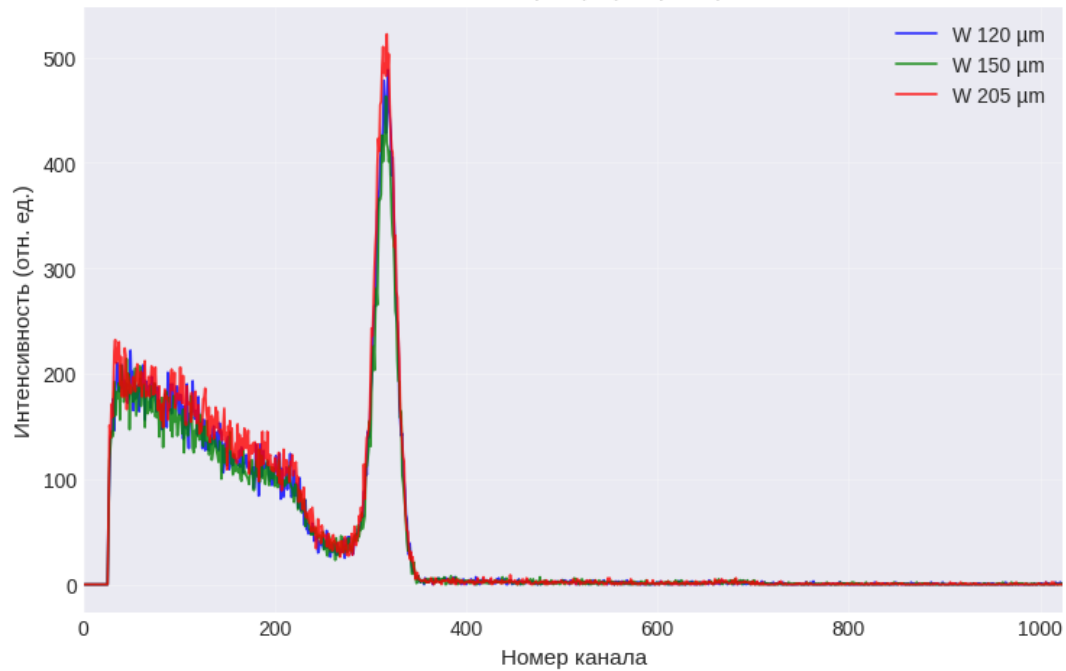
Спектры Cs-137 для разной толщины W



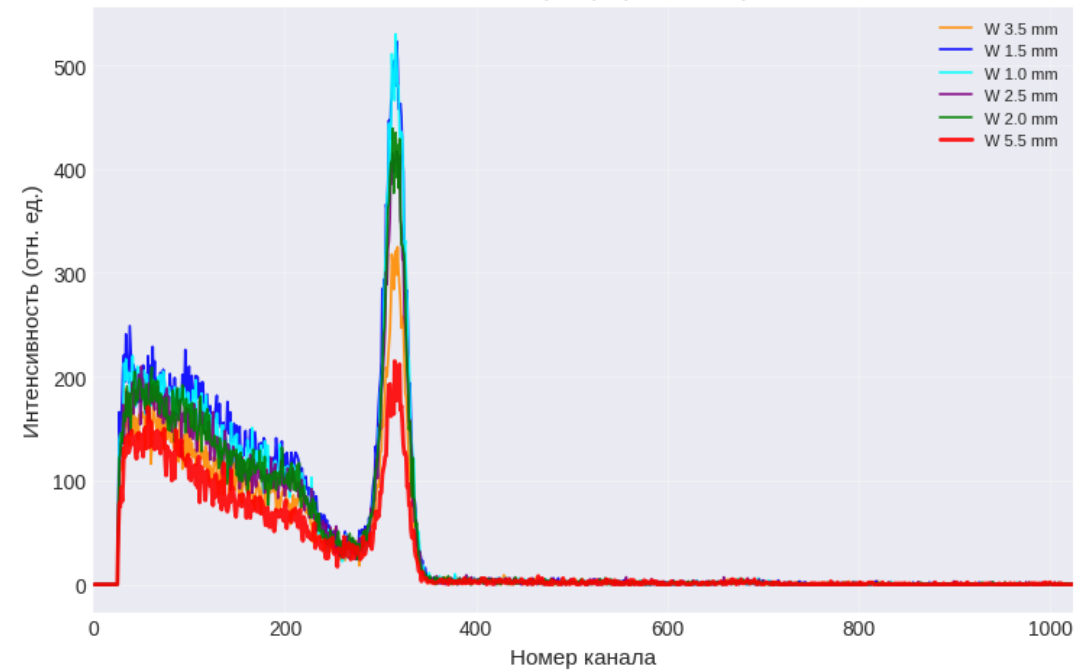
Основной пик Cs-137 (каналы 280-380)



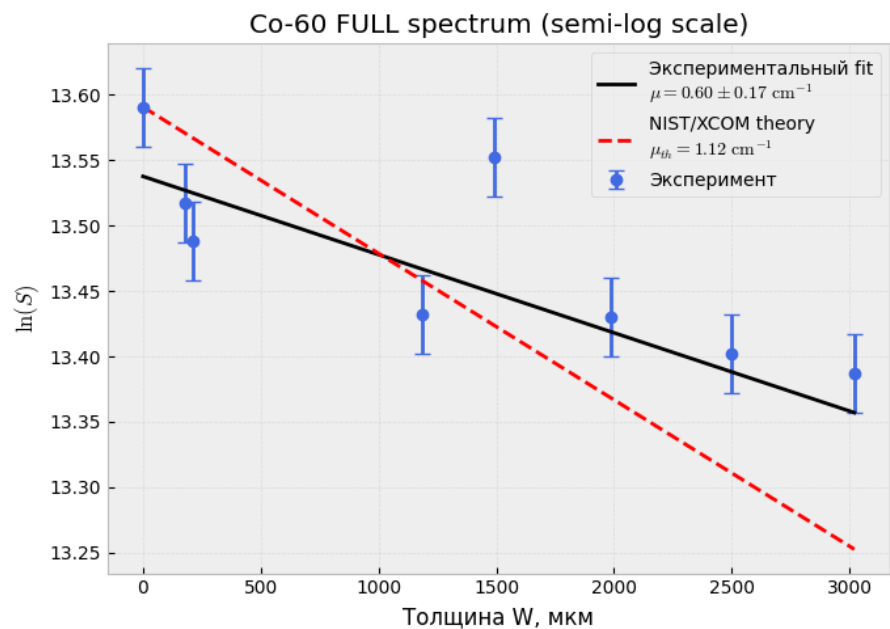
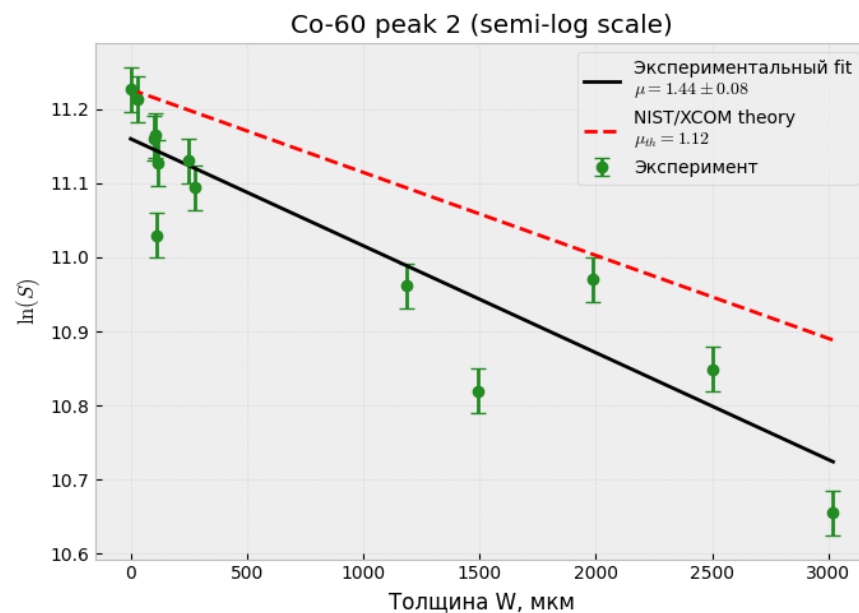
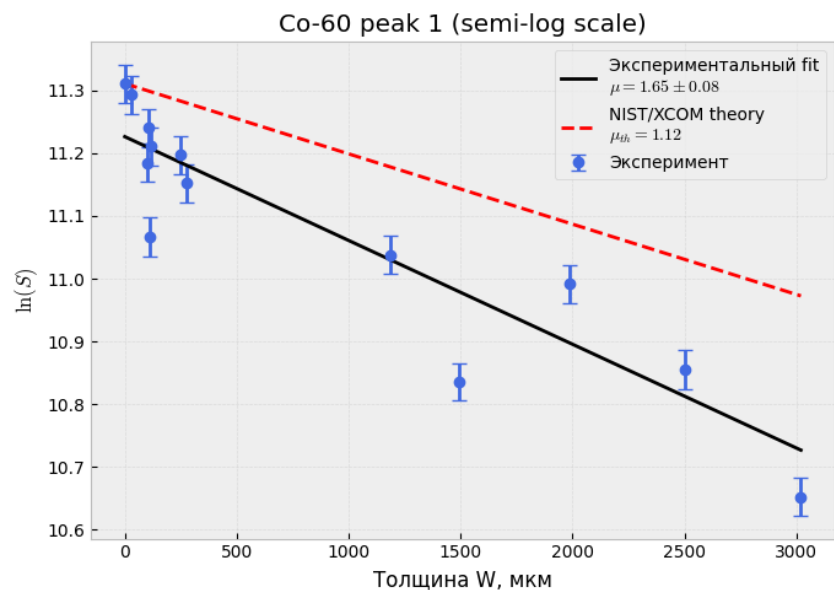
Тонкие образцы (микроны)



Толстые образцы (1.0-5.5 мм)



Результаты (ослабление излучения от кобальта)



Результаты (ослабление излучения кобальта)

- Экспериментальные и теоретические значения коэффициентов ослаблений:

$$\mu_{\text{Co}} = 1,12 \text{ см}^{-1}$$

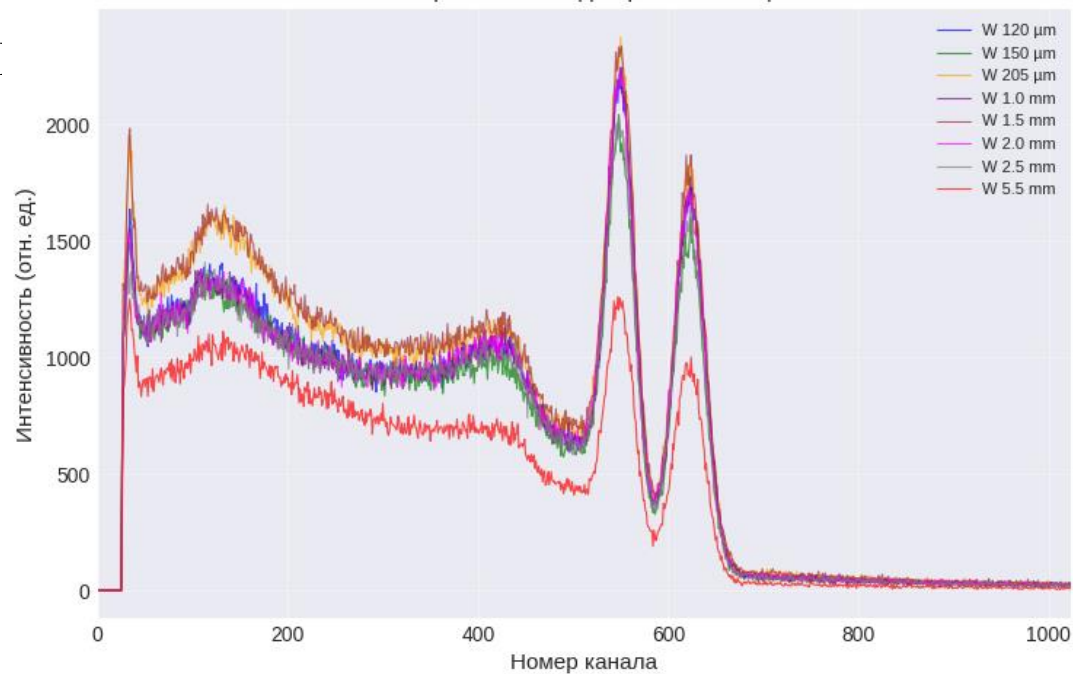
$$\mu_{\text{Co,Full}} = 0,60 \pm 0,17 \text{ см}^{-1}$$

$$\mu_{\text{Co,Peak 1}} = 1,65 \pm 0,08 \text{ см}^{-1}$$

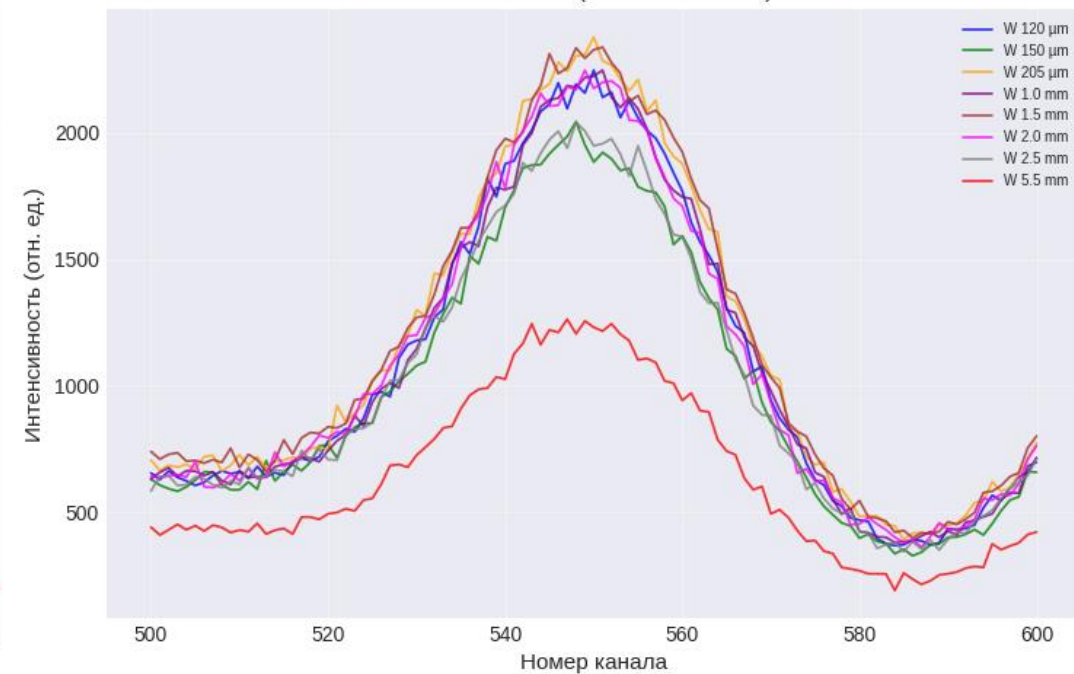
$$\mu_{\text{Co,Peak 2}} = 1,44 \pm 0,08 \text{ см}^{-1}$$

- Значение критерия детерминации: $R^2 = 0,75$

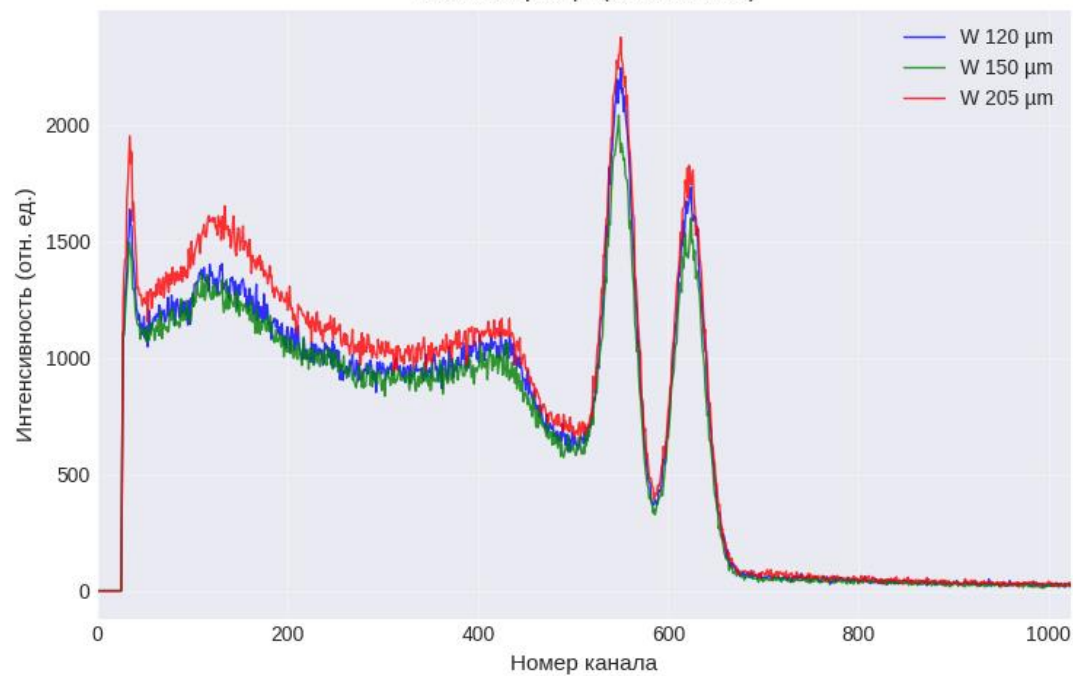
Все спектры кобальта для разной толщины W



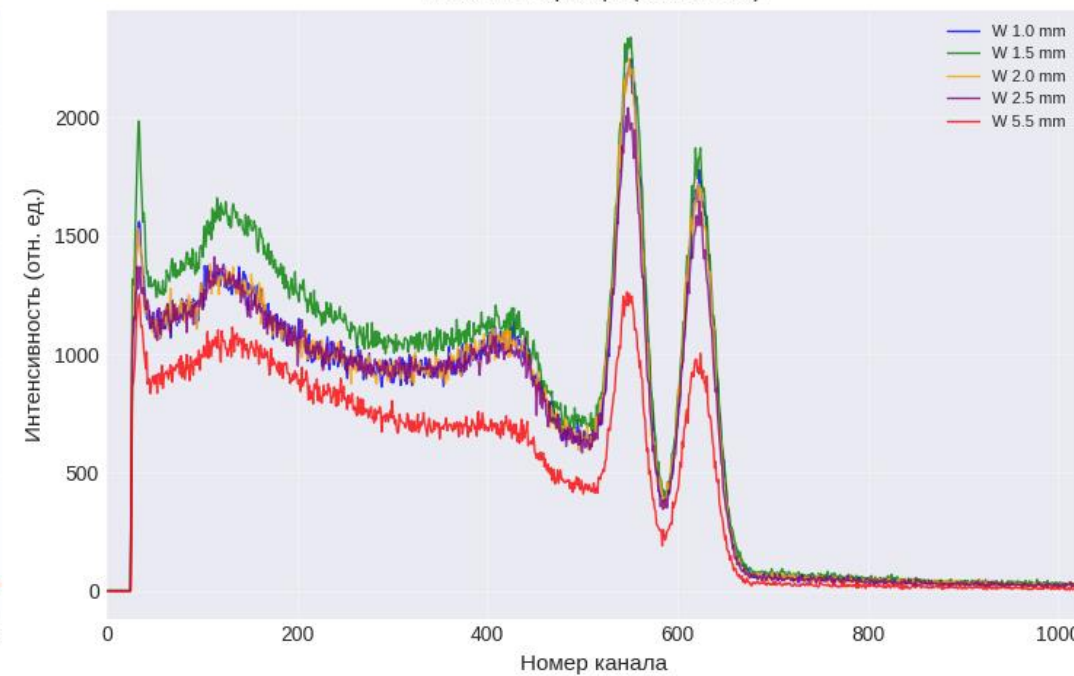
Основной пик (каналы 500-600)



Тонкие образцы (120-205 мкм)

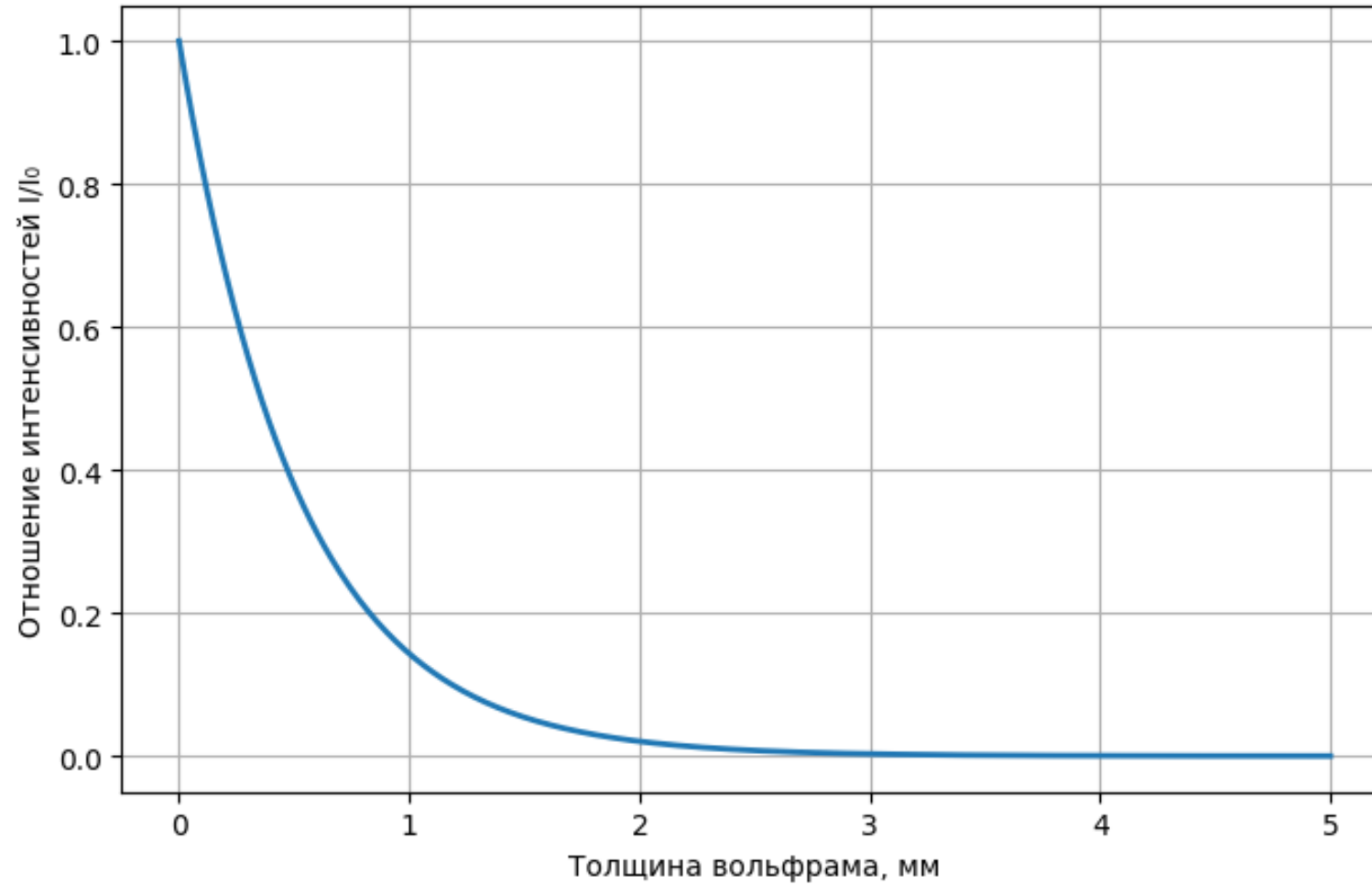


Толстые образцы (1.0-5.5 мм)



Результаты (ослабление излучения урана)

Ослабление гамма-излучения U-235 (185,7 кэВ) в вольфраме



Результаты (ослабление излучения урана)

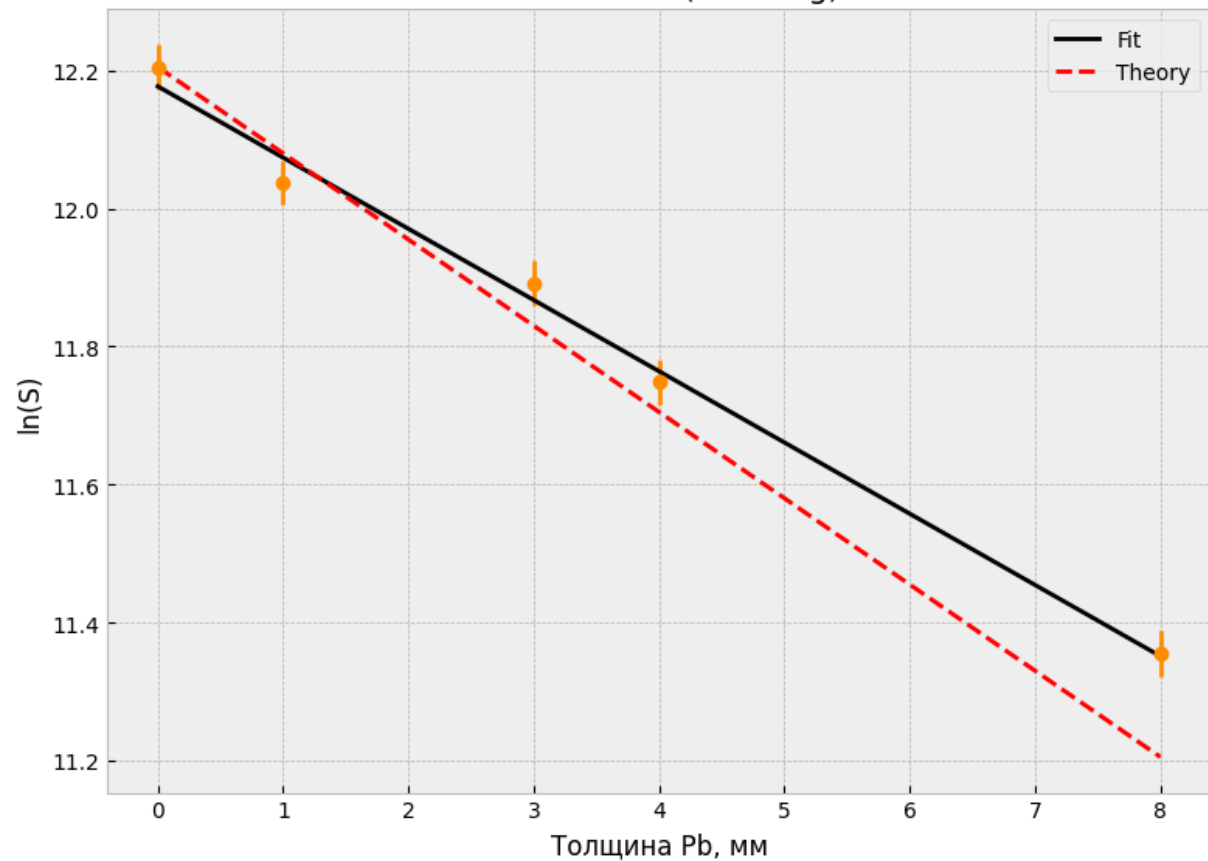
- Теоретическое значение коэффициента ослабления:

$$\mu_m = 1,01 \text{ см}^2/\text{г}, \quad \mu = 1,01 \cdot 19,3 = 19,5 \text{ см}^{-1}$$

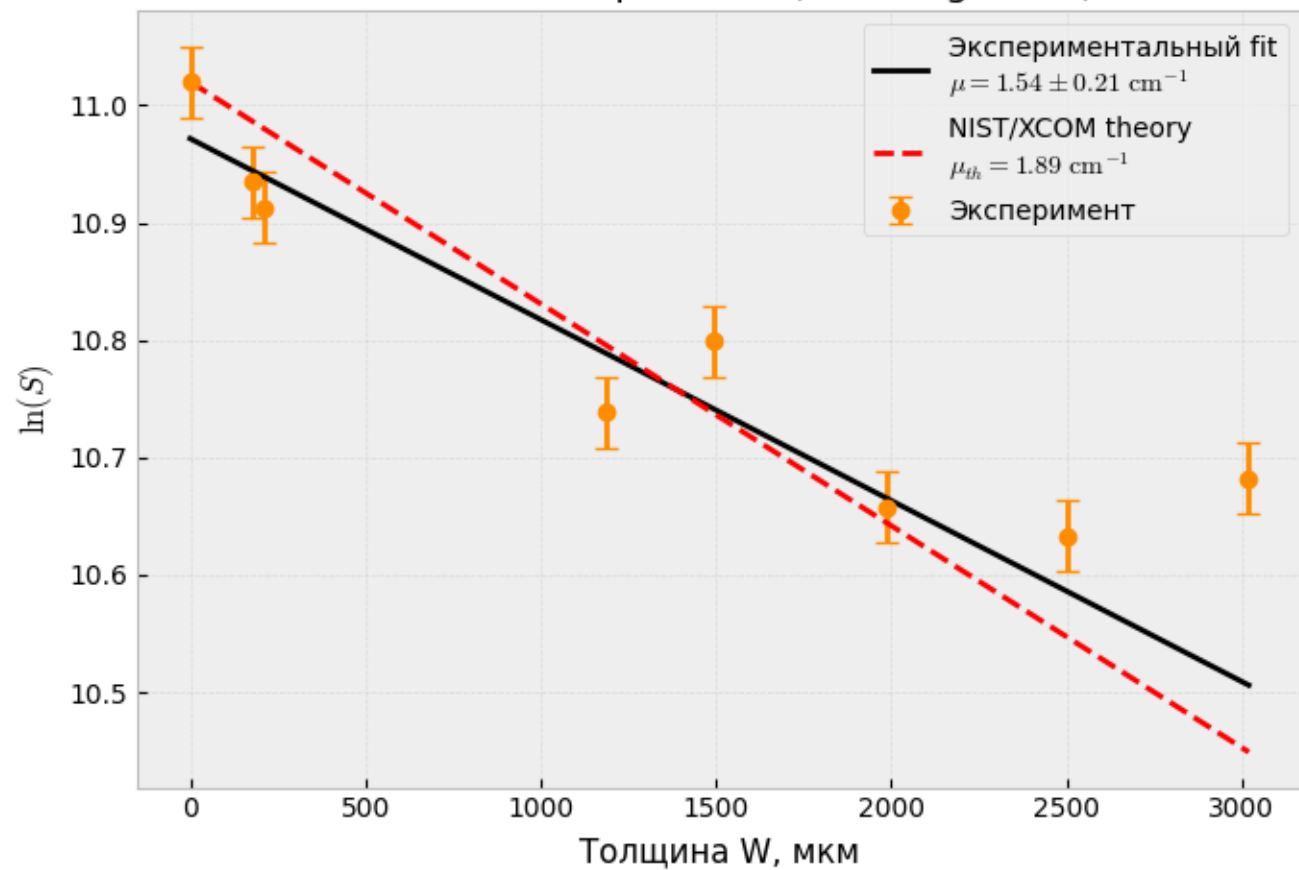
- В диапазоне 150-200 кэВ коэффициент ослабления для вольфрама меняется сравнительно плавно, поэтому его значение для урана получилось одного порядка со значением коэффициента для рентгеновской трубки.
- По полученному графику можно сделать вывод, что образцы, используемые в предыдущих экспериментах, будут так же хорошо ослаблять излучение U-235.

Сравнение вольфрама и свинца

Cs-137 in Pb (semi-log)



Cs-137 FULL spectrum (semi-log scale)



Сравнение вольфрама и свинца

- Сравнение проводилось для излучения Cs-137 (рассмотрен полный спектр)
- Экспериментальное значение коэффициента ослабления для свинца составило $\mu_{Pb, exp} = 1,03 \pm 0,05 \text{ см}^{-1}$
- Проведено сравнение отношений экспериментальных и теоретических коэффициентов для вольфрама и свинца. Отношение экспериментальных значений: $\frac{\mu_{W, exp}}{\mu_{Pb, exp}} = 1,5 \pm 0,2$
- Отношение теоретических значений: $\frac{\mu_W}{\mu_{Pb}} = 1,512$
- Эксперименты корректно воспроизводят различие в поглощающих свойствах исследуемых материалов
- Относительное соотношение коэффициентов совпадает с теоретическим в пределах погрешности.

Заключение

- В ходе выполнения данной научно-исследовательской работы была изучена пропускная способность вольфрама для рентгеновского излучения, а также для излучения Cs-137, Co-60 и U-235.
- С помощью CVD-метода получены образцы вольфрама различной толщины.
- Проведены эксперименты по ослаблению рентгеновского излучения с помощью комплекса радиографии и гамма-излучения Cs-137 и Co-60 с использованием сцинтилляционного спектрометра, а также теоретически рассчитана кривая ослабления для излучения урана.
- Обработка экспериментальных данных подтвердила действие закона Бугера — Ламберта — Бера.
- Для рентгеновского излучения диапазон толщин вольфрама от $0,8 \times 10^{-2}$ см до $3,0 \times 10^{-2}$ см является оптимальным с точки зрения баланса между пропусканием и защитными свойствами. При толщине более 1,5 мм отношение интенсивностей стремится к нулю, что означает практически полное поглощение излучения.
- Для излучения Cs-137 и Co-60 с энергиями выше 660 кэВ тонкие образцы практически не ослабляют излучение. Заметное ослабление наблюдается лишь при толщинах порядка нескольких миллиметров, что объясняется более высокой проникающей способностью гамма-излучения от цезия и кобальта.
- Кривая ослабления излучения урана -235 аналогична кривой, полученной в эксперименте по ослаблению рентгеновского излучения из-за близких значений энергий и их диапазона, в котором массовый коэффициент ослабления изменяется сравнительно плавно.
- Проведенное сравнение с ослаблением излучения при помощи свинца подтвердило, что вольфрам обладает более высокой ослабляющей способностью по сравнению со свинцом. При этом близость экспериментального и теоретического соотношений коэффициентов ослабления подтверждает достоверность проведённых измерений и правильность выбранной методики анализа данных.