

Принципы рентгеновского ослабления и контраста



Физика

Современная физика

Природа рентгеновского излучения и его применение



Уровень сложности

твёрдый



Размер группы

2



Время подготовки

45+ Минут



Время выполнения

45+ Минут

PHYWE
excellence in science

Общая информация

Описание

PHYWE
excellence in science

Экспериментальная установка

Большинство применений рентгеновских лучей основано на их способности проходить сквозь вещество. Поскольку эта способность зависит от плотности вещества, становится возможным получение изображений внутренних частей объектов и даже людей. Это находит широкое применение в таких областях, как медицина или безопасность.

Дополнительная информация (1/2)

PHYWE
excellence in science

Предварительные

знания



Предварительные знания, необходимые для этого эксперимента, приведены в разделе "Теория"

Принцип



В рентгеновской визуализации контрастность является важным фактором. Она определяет различия в образце, которые можно наблюдать. В данном эксперименте изучается контрастность и определяющие его факторы.

Дополнительная информация (2/2)

PHYWE
excellence in science

Обучение

цель

Цель этого эксперимента - познакомиться с принципами ослабления (затухания) и контрастности цифрового рентгеновского излучения.



Задачи

1. Вычислите контрастность и влияние максимального напряжения кВ.
2. Вычислите разницу контрастности для различной толщины образца.

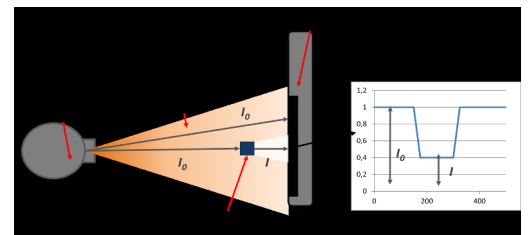
Теория (1/6)

Пропускание и затухание

При рентгеновской визуализации измеряется пропускание или ослабление рентгеновских лучей через определенный объект.. В зависимости от настроек источника, луч с определенной интенсивностью I_0 измеряется детектором, когда между источником и детектором нет других объектов. Когда на пути луча помещается объект, этот объект ослабляет луч так, что детектор измеряет меньшую интенсивность I вместо I_0 . Оставшаяся интенсивность I по сравнению с исходной I_0 называется пропусканием (T), что является противоположностью ослабления (A) объекта. Для откалиброванного детектора интенсивность луча масштабируется до значения от 1 до 0. При $T = 1$ для луча без объекта перед детектором (I_0).

$$T_{\text{obj}} = \frac{I}{I_0} = 1 - A_{\text{obj}}$$

$$A_{\text{obj}} = \frac{I_0 - I}{I_0} = 1 - T_{\text{obj}}$$



Теория (2/6)

Определение контраста

Контрастность - это разница в яркости, которая делает объект различимым. Существует множество возможных определений и способов расчета контраста, которые используются в различных ситуациях. В рентгеновской визуализации контрастность также может иметь разные значения и измеряться по-разному.

В целом, наиболее показательным способом выражения контраста (C) между двумя объектами на рентгенограмме является абсолютная разница в их пропускании:

$$C = T_{\text{obj1}} - T_{\text{obj2}}$$

где T_{obj1} - пропускание объекта 1 и T_{obj2} - пропускание объекта 2.

Теория (3/6)

Наилучший контраст существует, когда один объект не имеет поглощения ($T = 1 - A = 1$), а другой объект не имеет пропускания ($T = 1 - A = 0$). Значение C может быть выражено как значение от 0 до 1 или в процентах (0 - 100).

В этих экспериментах поглощение воздуха учитывается при калибровке детектора, поэтому воздух не имеет поглощения ($T_{\text{air}=1-A_{\text{air}}} = 1$).

Влияние напряжения кВ и материала

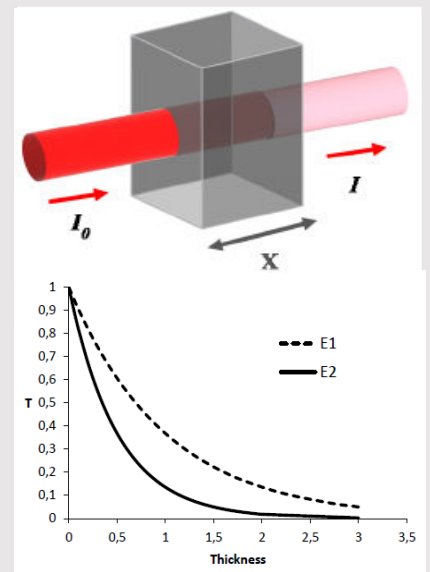
Пропускание определенного объекта (T_{obj}) определяется его химическим составом, плотностью и толщиной, что описывается законом Ламберта-Бира:

$$T_{\text{obj}} = \frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

Теория (4/6)

где μ - коэффициент линейного ослабления (1/см) и x - толщина (см). Коэффициент линейного ослабления различен для каждого вещества и изменяется в зависимости от энергии рентгеновских фотонов. Для одного и того же материала, но с разной толщиной и двумя разными энергиями фотонов E_1 и E_2 , пропускание будет уменьшаться с увеличением толщины и увеличиваться с увеличением энергии. Например, если E_1 выше, чем E_2 это может выглядеть следующим образом:

При меньшей энергии легче определить присутствие материала.



Теория (5/6)

С другой стороны, когда необходимо обнаружить различия в толщине материала, важно, чтобы энергия была достаточно высокой. Например, когда определенная толщина материала может иметь разброс в несколько процентов, лучшие результаты дает энергия E_1 или E_2 :

Material Thickness	E1	Deviation		
		5%	10%	20%
0,2		0,008	0,017	0,033
0,4		0,014	0,027	0,056
0,6		0,017	0,034	0,070
0,8		0,018	0,037	0,078
1		0,019	0,039	0,081
1,2		0,019	0,038	0,082

Material Thickness	E2	Deviation		
		5%	10%	20%
0,2		0,014	0,027	0,056
0,4		0,018	0,037	0,078
0,6		0,019	0,038	0,082
0,8		0,017	0,035	0,076
1		0,014	0,030	0,067
1,2		0,012	0,025	0,056

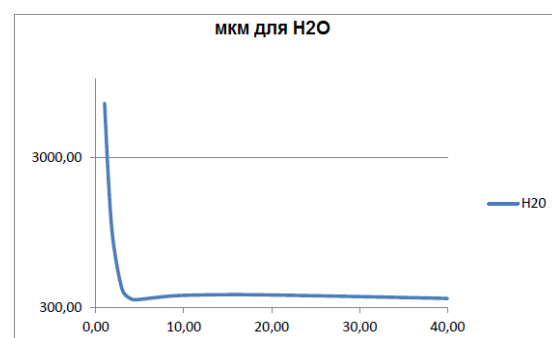
Линейный коэффициент ослабления отражает удаление рентгеновских фотонов из пучка за счет взаимодействия с электронами материала. Чем выше плотность электронов в веществе, тем сильнее взаимодействие рентгеновских фотонов с материалом образца. Электронная плотность вещества определяется его химическим составом и плотностью, поэтому линейный коэффициент ослабления можно записать как комбинацию массовый коэффициент ослабления (μ_m) и плотности ρ :

Теория (6/6)

$$\mu = \mu_m \cdot \rho$$

Сам массовый коэффициент ослабления (мкм) полностью зависит от химического состава материала и средней энергии рентгеновских фотонов пучка. Как правило, рентгеновские фотоны с более низкой энергией имеют более высокую вероятность взаимодействия. Поскольку рентгеновская установка производит фотоны в широком диапазоне энергий, фактически необходимо учитывать пропускание для всего диапазона энергий.

Например, массовый коэффициент ослабления для воды в зависимости от энергии:



Оборудование

Позиция	Материал	Пункт No.	Количество
1	XR 4.0 X-ray Базовая рентгеновская установка, 35 кВ	09057-99	1
2	XR4 Съёмная рентгеновская трубка Plug-in Cu tube	09057-51	1
3	XR 4.0 XR 4.0 X-ray Рентгеновская компьютерная томография, расширение	09185-88	1

PHYWE
excellence in science

Подготовка и выполнение работы

Подготовка

PHYWE
excellence in science

Присоедините XRIS к его рабочему столу.

Установите цифровой рентгеновский детектор XRIS на направляющую рейку оптической скамьи на расстоянии 25 см. Задняя сторона столика XRIS соответствует его положению на направляющей рейке. Это положение называется SDD "расстояние от источника до детектора" (мм).

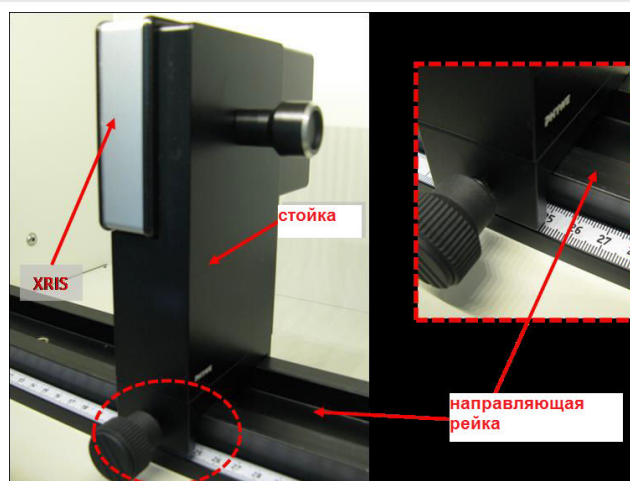


Рис. 1: Установка XRIS

Выполнение работы (1/2)

PHYWE
excellence in science

- Подключите рентгеновскую установку через USB-кабель к USB-порту компьютера (нужный порт рентгеновской установки отмечен на рис. 2).
- Подключите USB-кабель детектора к компьютеру
- Запустите программу **measureCT**. На экране отобразится виртуальная рентгеновская установка, поворотный столик и детектор. Зеленый светодиодный индикатор слева от каждого компонента указывает на то, что его присутствие было обнаружено (рис.3).
- Вы можете изменить высокое напряжение и ток рентгеновской трубки в соответствующих окнах ввода или вручную на установке (рис. 3).
- При нажатии на пиктограмму установки можно получить дополнительную информацию о ней (рис. 3)



Рис. 2: Подключение компьютера

Выполнение работы (2/2)

PHYWE
excellence in science

- Пиктограмма состояния указывает на состояние устройства и может также использоваться для управления устройством, например включения и выключения света или рентгеновских лучей (рис. 3).
- Положение цифрового детектора можно отрегулировать в соответствии с его реальным положением, перемещая пиктограмму XRIS или вводя правильное значение в окно ввода. (Рис. 3).
- Настройки XRIS можно регулировать с помощью окон ввода. Время экспозиции контролирует время между получением двух кадров с детектора, количество кадров определяет, сколько кадров усредняется, а в режиме биннинга усредняется заряд соседних пикселей для уменьшения общего количества пикселей в одном кадре.

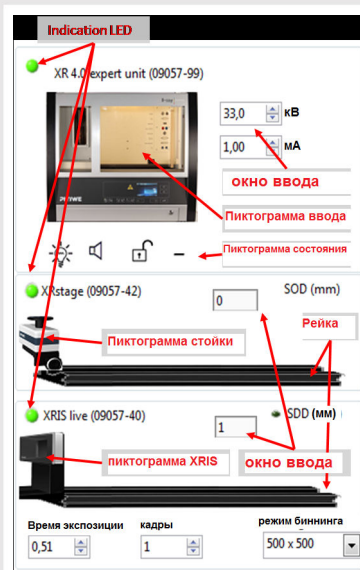
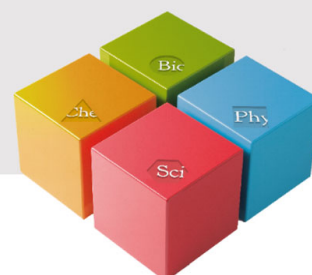


Рис. 3: Часть интерфейса программного обеспечения



Проведение эксперимента

Определение контрастности (часть 1)

- Отрегулируйте настройки XRIS и рентгеновской установки в соответствии с рис. 4 или загрузите конфигурацию из заранее определенного файла СТО 'Эксперимент 2' (см. рис. 5).
- Начните новый эксперимент, дайте ему уникальное имя и введите свои данные (рис. 5). В качестве альтернативы можно также загрузить этот эксперимент с предварительно записанными изображениями и открыть это руководство. Правильная конфигурация будет загружена автоматически, но функциональные возможности программы будут ограничены, чтобы избежать перезаписи существующих данных.

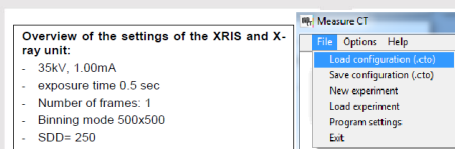


Рис. 4:

Настройки для этого эксперимента (левая панель), а также метод загрузки и корректировки параметров (правая панель)

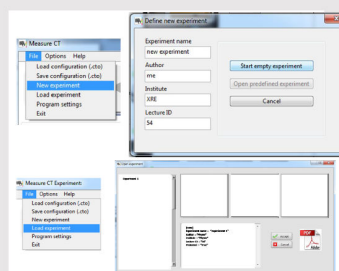


Рис. 5: Как создать новый или открыть существующий эксперимент

Определение контрастности (часть 2)

- Включите рентгеновскую установку и активируйте режим "Просмотр в реальном времени" (см. рис. 6). Когда активирован режим просмотра в реальном времени, отображается каждое новое изображение, полученное с рентгеновского детектора. Полоса экспозиционной нагрузки детектора (см. Рис. 7) указывает среднюю степень заполнения для каждого пикселя. Очень важно оставаться ниже максимальной степени заполнения детектора. В противном случае детектор будет насыщен и не будет работать должным образом. Если уровень насыщенности достигнут, полоса загрузки станет красной (Более подробное объяснение см. в теории).

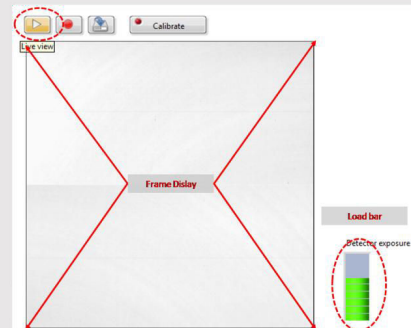


Рис. 6: Активация режима "Просмотр в реальном времени" и степень заполнения экспозиции детектора

Определение контрастности (часть 3)

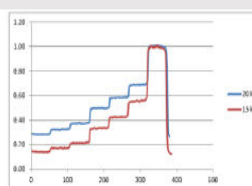
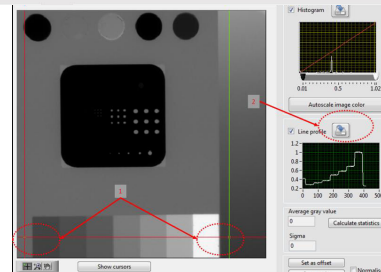
- Убедитесь, что детектор не насыщен (см. Эксперимент 1).
- Выключите "Просмотр в реальном времени" и откалибруйте детектор (см. эксперимент 1).
- Поместите объект_02 в детектор "цветной" стороной к источнику и включите рентгеновское излучение. Объект_02 имеет несколько особенностей, для данного эксперимента интерес представляет нижний ряд изменяемой толщины.
- Включите рентгеновские лучи и активируйте "Просмотр в реальном времени".
- Откройте программу просмотра изображений (см. эксперимент 1). В программе настройте курсоры, чтобы создать профиль линии через 5 контрастных областей (рис. 9). Сохраните профиль линии под названием «Объект 02_20кВ» и сохраните изображение под тем же именем.

Определение контрастности (часть 4)

PHYWE
excellence in science

- Закройте программу просмотра изображений, удалите объект и установите значение напряжения 15 кВ. Откалибруйте детектор и повторите предыдущие шаги, сохранив изображение и профиль линии как "объект 02_15кВ".
- Откройте файлы Excel и вычислите контрастность для каждой толщины по сравнению с областью с максимальной передачей для обеих настроек напряжения кВ. Толщина объекта 8, 7, 6, 4, 3, 2, 0 кВ слева направо.

Рис. 7: Настройка курсоров профиля линии и сохранение профиля линии



	T ₀	T ₂	T ₃	T ₄	T ₆	T ₇	T ₈
20kV	1	0.69	0.38	0.5	0.37	0.32	0.28
C _{20kV} (T ₀ /T ₄)	0	0.31	0.42	0.5	0.63	0.68	0.72
15kV	1	0.56	0.43	0.34	0.22	0.17	0.15
C _{15kV} (T ₀ /T ₄)	0	0.44	0.57	0.66	0.78	0.83	0.85

Рис. 8: Значения пропуска и контрастность для различных толщин

Разница в контрастности при изменении толщины

PHYWE
excellence in science

Рассчитайте разницу в контрастности при изменении толщины

- Составьте таблицу разности контрастов, чтобы сравнить контрастность между каждой из 6 толщин (см. Рис. 9).
- Определите, для каких разностей настройка напряжения кВ является наилучшей

20kV	T ₀	T ₂	T ₃	T ₄	T ₆	T ₇	T ₈
T ₀	0	0.31	0.42	0.5	0.63	0.68	0.72
T ₂		0	0.11	0.19	0.32	0.37	0.41
T ₃			0	0.08	0.21	0.26	0.3
T ₄				0	0.13	0.18	0.22
T ₆					0	0.05	0.09
T ₇						0	0.04
T ₈							0

15kV	T ₀	T ₂	T ₃	T ₄	T ₆	T ₇	T ₈
T ₀	0	0.44	0.57	0.66	0.78	0.83	0.85
T ₂		0	0.13	0.22	0.34	0.39	0.41
T ₃			0	0.09	0.21	0.26	0.28
T ₄				0	0.12	0.17	0.19
T ₆					0	0.05	0.07
T ₇						0	0.02
T ₈							0

Рис.9: Сравнение контрастности между разными толщинами