

Дозиметрия рентгеновского излучения



Цель этого эксперимента - исследовать принцип, лежащий в основе радиационной дозиметрии.

Физика	Современная физика	Ядерная физика и физика элементарных частиц	
Физика	Современная физика	Природа рентгеновского излучение и его применение	
Биология	Современные методы обработки изображений		
Прикладные науки	Медицина	Радиология и ультразвуковая диагностика	
		Компьютерная томография (КТ)	
Прикладные науки	Медицина	Ядерная медицина	
			
Уровень сложности	Кол-во учеников	Время подготовки	Время выполнения
тяжелый	2	45+ Минут	45+ Минут

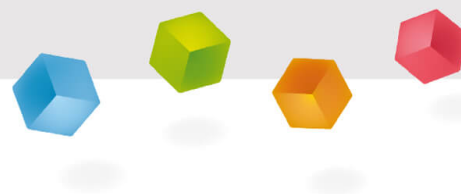
This content can also be found online at:



<http://localhost:1337/c/61765372dfbc420003782b8e>

PHYWE

Общая информация



Приложение

PHYWE



Экспериментальная установка

Радиационная дозиметрия в области физики здоровья и радиационной защиты - это измерение, расчет и оценка дозы ионизирующего излучения, поглощенной объектом, обычно телом человека. Это относится как к внутреннему (вследствие проглатывания или вдыхания радиоактивных веществ), так и к внешнему (из-за облучения источниками радиации) воздействию.

Оценка внутренней дозиметрии основывается на различных методах мониторинга, биологического анализа или радиационной визуализации, в то время как внешняя дозиметрия основывается на измерениях с помощью дозиметра или на выводах из измерений, сделанных другими приборами радиологической защиты.

Дополнительная информация (1/2)

PHYWE

Предварительные

знания



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

Принцип



Дозиметрия, как раздел медицинской физики, занимается определением и расчетом мощностей дозы, что также имеет большое значение с точки зрения директив по радиационной защите. Этот эксперимент демонстрирует принцип измерения и объясняет различные единицы поглощенной дозы, эквивалентной дозы и мощности поглощенной дозы. Объем воздуха между пластинами плоского конденсатора облучается рентгеновскими лучами. Полученный ионный ток используется для определения дозиметрических данных.

Дополнительная информация (2/2)

PHYWE

Цель обучения



Цель этого эксперимента - изучить принцип радиационной дозиметрии.

Задачи



1. Определите объем ионизированного воздуха в конденсаторе.
2. Определите с помощью двух диафрагменных трубок с разным диаметром отверстия ионный ток как функцию напряжения конденсатора. Рассчитайте дозу ионов и мощность поглощенной дозы на основе тока насыщения ионов и объема облученного воздуха.
3. Измерьте ионные токи I_C для различных анодных токов I_A при максимальном напряжении на аноде и конденсаторе.
4. Определите ионные токи I_C для различных анодных напряжений U_A при максимальном анодном токе и при максимальном напряжении на конденсаторе.

Теория (1/3)

PHYWE

Когда ионизирующее излучение падает на элемент массы Δm часть энергии излучения ΔE поглощается. Отношение поглощенной энергии к массе поглощающей излучение определяется как поглощенная доза D .

$$D = \Delta E / \Delta m \quad (1)$$

Единицей поглощенной дозы в системе СИ является "Грей" (Гр) [1 Гр = 1 Дж/кг]. Различные типы излучения с одинаковой поглощенной дозой имеют одинаковые физические, но разные биологические эффекты. Для обеспечения сопоставимости введена эквивалентная доза H с учетом так называемого фактора качества (параллельной добротности) Q .

$$H = D \cdot Q \quad (2)$$

Единицей измерения эквивалентной дозы является "Зиверт" (Зв): [1 Зв = 1 Дж/кг].

Теория (2/3)

PHYWE

Так как продолжительность действия ионизирующего излучения играет важную роль в оценке радиационного повреждения была введена мощность ионной дозы P . Для мощности поглощенной дозы, которую необходимо отличать от мощности эквивалентной дозы, применяется следующее:

$$P = dD/dt \quad (3)$$

Соответствующая единица измерения в системе СИ составляет: 1 Гр/с = 1 Дж/кг с

Поскольку поглощенную энергию измерить непросто, измеряют ионы, которые образуются в объеме воздуха в результате излучения. Для этого ионная доза I определяется как отношение генерируемого заряда ΔQ аналогичного знака и массы Δm элемента объема воздуха ΔV в нормальных условиях.

$$I = dQ/dm [\text{Клкг}^{-1}] \quad (4)$$

Теория (3/3)

PHYWE

Для соответствующей мощности дозы ионов j применяется следующее:

$$j = \frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dQ}{dm} \right) = \frac{di}{dm} [\text{Акг}^{-1}] \quad (5)$$

Принцип измерения:

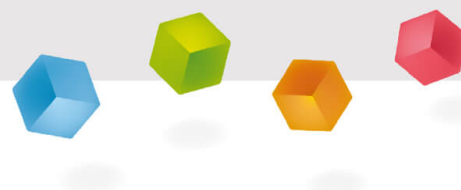
Рентгеновское излучение генерирует ток в конденсаторе, когда прикладывается напряжение. Измерительный усилитель постоянного тока обнаруживает этот ток и выдает сигнал напряжения U_{sig} , пропорциональный току. Затем этот сигнал отображается подключенным цифровым измерительным прибором. Преобразование происходит следующим образом:

$$I_c = \frac{U_{sig}}{1G\Omega}$$

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 X-ray Дозиметрия рентгеновского излучения, расширение	09175-88	1

PHYWE



Подготовка и выполнение работы

Подготовка (1/4)

PHYWE

Подключение электрических компонентов показано на рисунках 2-4. На рисунке 6 показана принципиальная электрическая схема. Один цифровой вольтметр используется для определения напряжения на конденсаторе U_C , а другой подключается к измерительному выходу усилителя. При напряжении на конденсаторе $U_C > 300$ В, соответствующие выходы источника питания подключаются последовательно (см. рис. 4а и 4b).

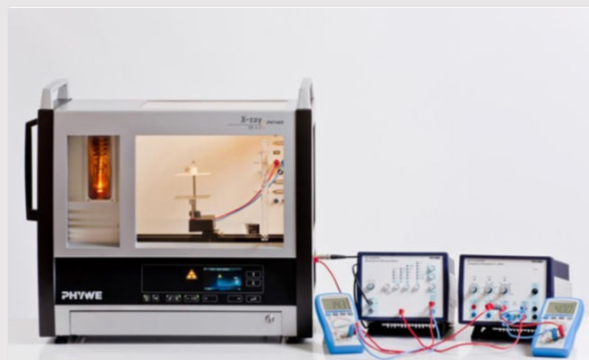


Рис. 1: Экспериментальная установка

Подготовка (2/4)

PHYWE

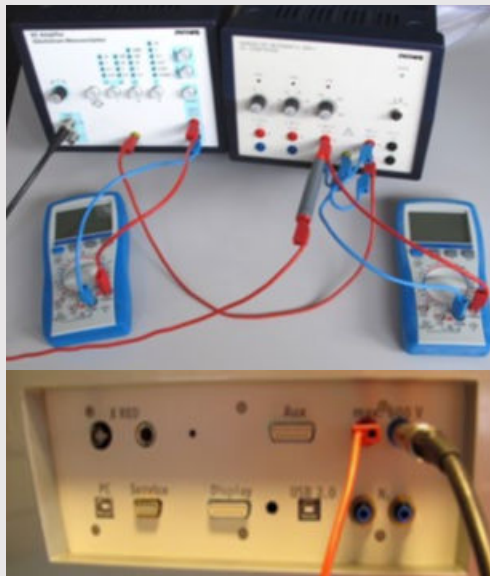


Рис. 2:
Подключение
электрических
компонентов

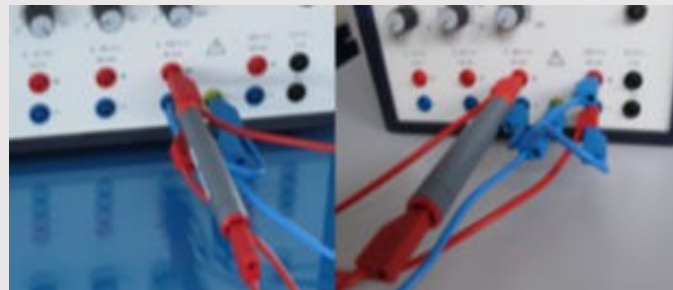


Рис. 4а: Детальное подключение к источнику
питания для измерений до 300 В.

Рис. 4b: Последовательное подключение для
измерений до 600 В

Подготовка (3/4)

PHYWE

Подключите пластины конденсатора к соответствующим гнездам переходника. Затем подключите последний к гнездам в экспериментальной камере с помощью двух кабелей длиной 25 см. Следите за тем, чтобы кабели не соприкасались друг с другом (рис. 5)! В целях безопасности положительный (красный) выход внешнего соединительного блока должен быть подключен к положительному выходу напряжения источника питания через резистор 50 Ом. Другой выход необходимо подключить к измерительному усилителю постоянного тока через адаптер BNC и кабель BNC (см. рис. 1 и 3). Установите измерительный усилитель постоянного тока в режим "измерение тока". Диапазон измерения: 10 мА (регулируется с помощью кнопок со стрелками; см. также инструкцию по эксплуатации измерительного усилителя).

При максимальном напряжении конденсатора и без работающей рентгеновской трубки не должно быть тока (при необходимости отрегулируйте это с помощью нуля регулятора усилителя).

Подготовка (4/4)

PHYWE

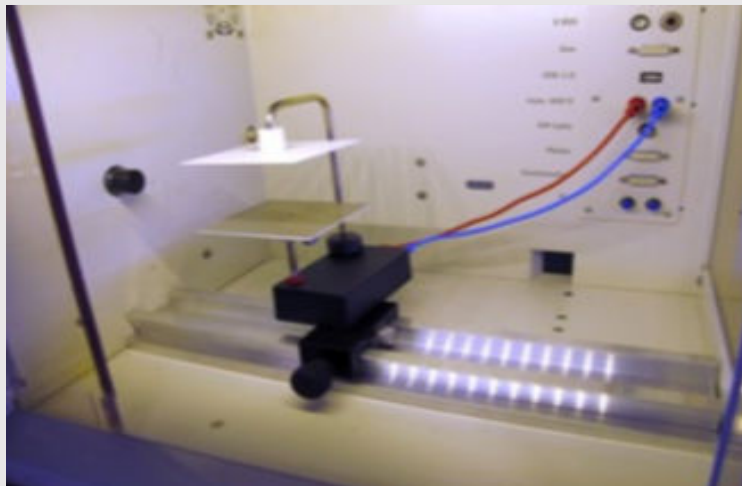


Рис.5: Установка и подключение обкладок конденсатора внутри экспериментальной камеры.

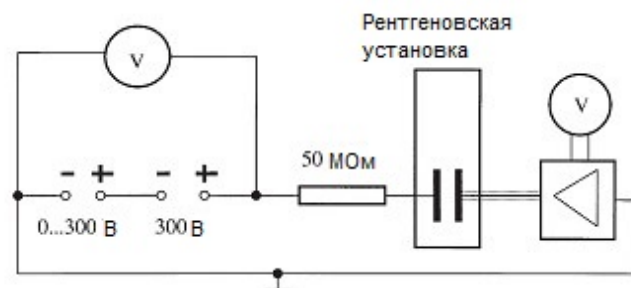


Рис. 6: Принципиальная электрическая схема для определения ионных токов

Выполнение работы (1/2)

PHYWE

Для приблизительного определения облучаемого объема конденсатора необходимо косвенно определить недоступное расстояние x_0 (см. рис. 7). Для этого необходимо снять конденсатор и использовать различные диафрагменные трубки для измерения диаметров соответствующих диаграмм на флуоресцентном экране ($U_A = 35$ кВ и $I_A = 1$ мА). Для этого необходимо затемнить экспериментальную камеру. Остальные расстояния должны быть определены при установленном конденсаторе.

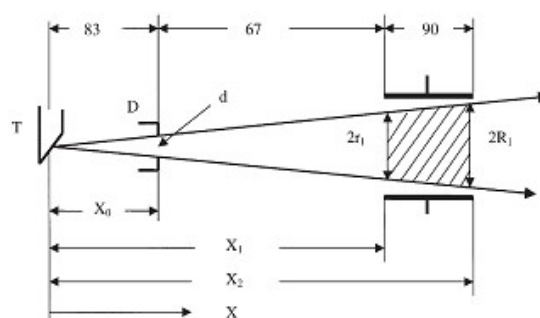


Рис. 7: Схематическое изображение геометрии пучка для определения объема облученного воздуха (значения в мм)

Выполнение работы (2/2)

PHYWE

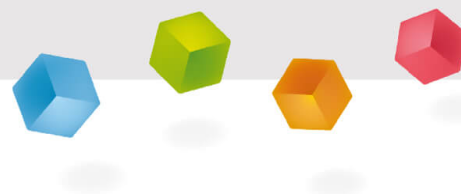
Измерьте ионные токи I_C с помощью диафрагменных трубок с $d = 2$ мм и $d = 5$ мм в зависимости от напряжения на конденсаторе U_C . Для этого анодное напряжение $U_A = 35$ кВ и анодный ток $I_A = 1$ мА поддерживаются постоянными, а напряжение конденсатора повышается ступенчато от 30-40 В. Измерения, проводимые без ограничительных диафрагменных трубок, приводят к ложным результатам, поскольку в этом случае рентгеновские лучи также попадают на пластины конденсатора, где они высвобождают вторичные электроны.

Измерьте ток ионизации I_C в зависимости от анодного тока I_A с помощью диафрагменной трубки с $d = 5$ мм. Для этого анодное напряжение $U_A = 35$ кВ и напряжение на конденсаторе $U_C = 500$ В поддерживаются постоянными, а анодный ток I_A увеличивается от 0,1-1 мА с шагом 0,1 мА.

Измерьте ток ионизации I_C в зависимости от анодного напряжения U_A с помощью диафрагменной трубки с диаметром $d = 5$ мм. Для этого анодный ток $I_A = 1$ мА и напряжение на конденсаторе $U_C = 500$ В поддерживаются постоянными, а анодное напряжение U_A увеличивается от 10-35 кВ с шагом в 5 кВ.

PHYWE

Оценка



Задание 1 (1/2)

PHYWE

Излучение, испускаемое анодом Т рентгеновской трубки (см. рис. 7), ограничено диафрагменной трубкой с диаметром диафрагмы d . Оно облучает объем воздуха между пластинами плоского конденсатора в форме конуса. Объем облучаемого воздуха показан на рисунке 7:

$$V = \frac{\pi(X_2 - X_1)}{3} (R^2 + rR + r^2) \quad (6)$$

с радиусами

$$r = \frac{X_1 \cdot d}{X_0}; R = X^2 \cdot dX_0 \quad (7)$$

x_0 можно определить с помощью теоремы о пересекающихся прямых, исходя из диаметров светящихся рентгенограмм, которые были измерены в задаче 1.

Задание 1 (2/2)

PHYWE

В нашем случае среднее значение составляет:

$$x_0 = 6,65 \text{ см}, x_1 = 12,95 \text{ см}, x_2 = 20,85 \text{ см}$$

Для $d = 2 \text{ мм}$ (2-мм диафрагм. трубка) получены следующие результаты:

$$r = 0,39 \text{ см}, R = 0,63, V = 6.57 \text{ см}^3$$

Для $d = 5 \text{ мм}$ (2-мм диафрагм. трубка) получены следующие результаты:

$$r = 0,97 \text{ см}, R = 1,57, V = 40.76 \text{ см}^3$$

Задание 2 (1/3)

PHYWE

На рисунке 8 показан ток конденсатора I_C в зависимости от напряжения на конденсаторе U_C для двух различных облученных объемов.

Расчет ионной дозы

Чтобы определить мощность ионной дозы рентгеновского излучения, облучается объем воздуха, заключенный в плоский конденсатор. Генерируемые электроны и положительные ионы создают ток на конденсаторе. Этот ток увеличивается с увеличением напряжения, прежде чем он достигнет зоны насыщения, где все сгенерированные носители заряда вносят вклад в ток.

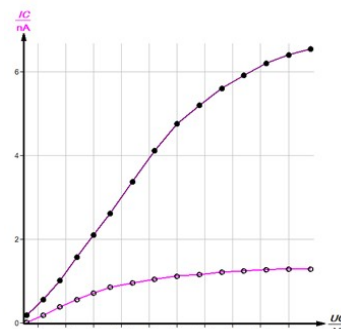


Рис. 8: Ток ионизации I_C как функция напряжения на конденсаторе U_C . Рентгеновская трубка: $U_A = 35$ кВ; $I_A = 1$ мА. Кривая А: диафрагменная трубка $d = 5$ мм. Кривая В: диафрагменная трубка $d = 2$ мм.

Задание 2 (2/3)

PHYWE

На основании значений тока насыщения из рис. 8 (для кривой А ток насыщения 6,7 нА найден путем экстраполяции), а также значений из задачи 1, получаем следующие значения мощности ионной дозы в соответствии с (5):

$$d = 0.5 \text{ см} : j_m = \frac{I_{Csaturation}}{m_{air}} = \frac{I_{Csaturation}}{\rho_{air} \cdot V} = \frac{6.7 \cdot 10^{-9} \text{ А}}{1.2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{см}^3} \cdot 40.76 \text{ см}^3} = 1.4 \cdot 10^{-4} \text{ А кг}^{-1} \quad (8)$$

$$d = 0.2 \text{ см} : j_m = \frac{1.29 \cdot 10^{-9}}{1.2 \cdot 10^{-6} \cdot 6.57} \text{ А кг}^{-1} = 1.6 \cdot 10^{-4} \text{ А кг}^{-1}$$

(Плотность воздуха при 20°C и 1,013 гПа: $\rho = 1.2 \cdot 10^{-6} \text{ кг см}^{-3}$)

Задание 2 (3/3)

PHYWE

Расчет мощности поглощенной дозы

Разделив среднее значение мощности ионной дозы (определенное выше) на элементарный заряд электрона можно получить количество ионов n , которое генерируется за время и единицу массы. Энергия ионизации Φ молекулы воздуха составляет приблизительно $\Phi \approx 33\text{эВ} = 52.8 \cdot 10^{-19}\text{Дж}$ В соответствии с (1) и (3) и на основании среднего значения величин для j , которые были рассчитаны выше, средняя мощность поглощенной дозы за время и единицу массы составляет:

$$P_m = \frac{D}{t} = \frac{W}{m \cdot t} = n \cdot \Phi = \frac{1.5 \cdot 10^{-4} \cdot 52.8 \cdot 10^{-19}}{1.6 \cdot 10^{-19}} \text{Джкг}^{-1} \text{с}^{-1} = 4.95 \cdot 10^{-3} \text{Джкг}^{-1} \text{с}^{-1} \quad (9)$$

Задание 3

PHYWE

На рисунке 9 показан линейный ход тока ионизации в зависимости от анодного тока ($U_A = \text{const}$ и $U_C = \text{const}$).

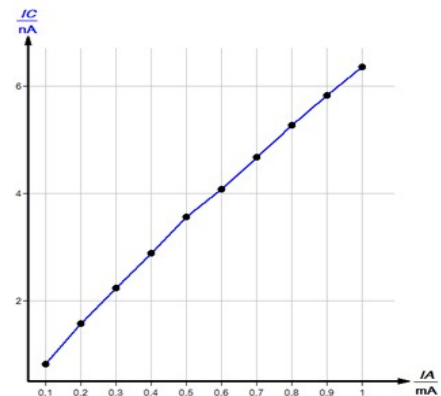


Рис. 9: Зависимость тока ионизации I_C от анодного тока I_A . Напряжение на аноде $U_A = 35\text{ кВ}$, напряжение на конденсаторе $U_C = 500\text{ В}$, трубка диафрагмы $d = 5\text{ мм}$

Задание 4

PHYWE

На рисунке 10 показан график функции $I_c = f(U_c)$ для различных анодных напряжений U_A . Экстраполяция кривой $I_c = f(U_A)$ в сторону меньших значений U_A (рис. 9) показывает, что для $U_A < 8$ кВ рентгеновское излучение не генерируется.

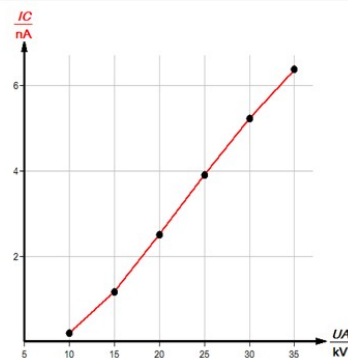


Рис. 10: Зависимость тока ионизации I_c от напряжения на аноде U_A .

Анодный ток $I_A = 1$ мА, напряжение на конденсаторе $U_c = 500$ В, трубка диафрагмы $d = 5$ мм.