

## Лабораторная работа № 571. Определение коротковолновой границы тормозного излучения и постоянной Планка.

### Цели и задачи:

- Определить предельную длину волны  $\lambda_{\min}$  непрерывного спектра тормозного излучения в зависимости от высокого напряжения на рентгеновской трубке.
- Подтвердить отношение Дуэйна-Ханта;
- Определить постоянную Планка.

### Замечания по технике безопасности

Этот рентгеновский аппарат выполнен по всем правилам дизайна рентгеновской аппаратуры, это полностью защищенное устройство для учебного использования, этот аппарат одобрен для использования в школах Германии.

Встроенные защитные и экранированные приспособления уменьшают мощность дозы вне рентгеновского аппарата до  $1 \mu\text{Sv/ч}$ , которая имеет порядок величины естественного фона.

- Перед вводом в эксплуатацию рентгеновского аппарата, проверьте, нет ли повреждений его конструкции (смотрите в инструкции рентгеновского аппарата);
- Не допускайте посторонних лиц к рентгеновскому аппарату;

Не допускайте перегрева рентгеновской трубки.

- Перед включением высокого напряжения, проверьте, работает ли вентилятор, охлаждающий рентгеновскую трубку;

Гониометр позиционируется исключительно шаговым электродвигателем.

- Не блокируйте ручку мишени и ручку датчика и не прикладываете силу, чтобы переместить их.

### Теоретическая часть

Непрерывный спектр тормозного излучения в спектре излучения рентгеновской трубки характеризуется предельной длиной волны  $\lambda_{\min}$  (см. Рис. 1), которая уменьшается при увеличении высокого напряжения на трубке. В 1915 г. американские физики Вильям Дуэйн и Франклин Л. Хант обнаружили обратно пропорциональную зависимость между предельной длиной волны и высоким напряжением трубки:

$$\lambda_{\min} \sim \frac{1}{U} \quad (\text{I})$$

Объяснение отношения Дуэйн-Ханта может быть получено при рассмотрении основных квантово-механических представлений: Поскольку длина волны  $\lambda$  и частота  $\nu$  для любого электромагнитного излучения связаны отношением

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (\text{II}), \quad c = 2.9979 \times 10^8 \text{ м/с: скорость света,}$$

то минимальная длина волны  $\lambda_{\min}$  соответствует максимальной частоте  $\nu_{\max}$ , соответственно, максимальной энергии излучения рентгеновских квантов

$$E_{\max} = h \times \nu_{\max} \quad (\text{III}), \quad h: \text{ постоянная Планка}$$

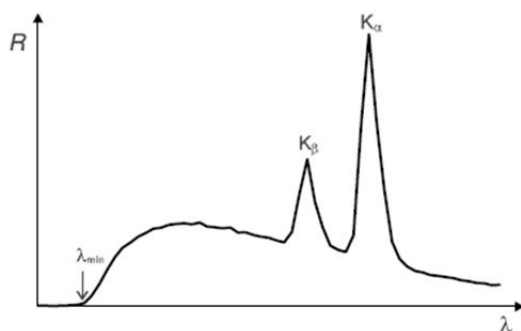


Рис. 1 Спектр излучения рентгеновской трубки с предельной длиной волны  $\lambda_{\min}$  непрерывного спектра тормозного излучения и характеристическими линиями  $K_\alpha$  и  $K_\beta$ .

Однако рентгеновский квант получает максимум энергии именно в тот момент, когда он приобретает полную кинетическую энергию

$$E = e \times U \quad (\text{IV})$$

$e = 1.6022 \times 10^{-19}$  Кл: элементарный заряд электрода. Из этого следует, что

$$v_{\max} = \frac{e}{h} * U \quad (\text{V})$$

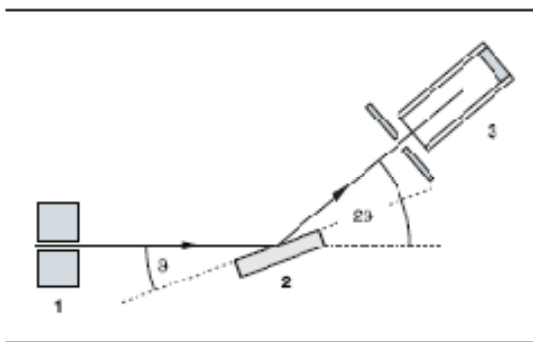
соответственно,

$$\lambda_{\min} = \frac{h * c}{e} * \frac{1}{U} \quad (\text{VI})$$

Уравнение (VI) соответствует закону Дуэйн-Ханта. Коэффициент пропорциональности

$$A = \frac{h * c}{e} \quad (\text{VII})$$

может быть использован для определения постоянной Планка  $h$ , когда известны величины  $c$  и  $e$ . Гониометр с кристаллом NaCl и счетчиком Гейгера-Мюллера в Брэгговской конфигурации вместе составляют спектрометр в данном эксперименте. Кристалл и счетчик поворачиваются относительно падающего рентгеновского пучка в  $2\theta$  связи (см. Рис. 2).



*Рис.2. Принципиальная схема дифракции рентгеновских лучей монокристалла и  $2\theta$  связь между углом счетчика и углом рассеяния (углом скольжения)  
1 коллиматор, 2 монокристалл, 3 счетчик*

Согласно Брэгговскому закону отражения угол рассеяния  $\theta$  в первом порядке дифракции соответствует длине волны

$$\lambda = 2 * d * \sin \theta \quad (\text{VIII}).$$

$d = 282.01$  pm: расстояние между плоскостями решетки NaCl

### Экспериментальная установка

- Рентгеновский аппарат марки LD Didactic;
- Рентгеновская трубка с медным анодом;
- Гониометр;
- Столик для образцов;
- Торцевой счетчик;
- Ноутбук.

### Подготовительные работы

На рис. 3 показаны некоторые важные детали экспериментальной установки. Для подготовки экспериментальной установки, выполните следующие действия: (см. также инструкцию для рентгеновского аппарата):

- Установите коллиматор в отверстие (а) (обратите внимание на направляющий паз).
- Прикрепите гониометр к направляющим рельсам (d) таким образом, чтобы расстояние  $s_1$  между щелевой диафрагмой коллиматора и серединой столика составило около 5 см. Подключите ленточный кабель (с) для управления гониометром.
- Снимите защитный колпачок на торцевом счетчике, установите торцевой счетчик в гнездо (е) и подключите кабель счетчика к разъему, обозначенному GMTUBE.

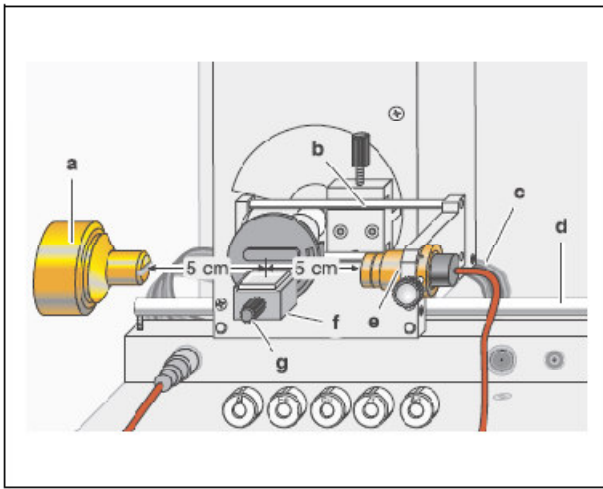


Рис. 3. Экспериментальная установка в Брэгговской конфигурации

- Перемещая крепление (b), установите расстояние  $s_2$  между серединой столика и торцевым счетчиком, равное приблизительно 6 см.
- Установите столик для мишени (f).
- Ослабьте винт с накатанной головкой (g), поместите кристалл NaCl ровно на столик для мишени, осторожно поднимите столик с кристаллом до упора и осторожно затяните винт с накатанной головкой (предотвратите перекос кристалла, слегка надавливая на него)
- При необходимости отрегулируйте нулевое положение гониометра (см. инструкцию для рентгеновского аппарата).

*Примечания:*

- Кристаллы NaCl гигроскопичны и чрезвычайно хрупки. Храните кристаллы в сухом месте; избегайте механического воздействия на кристалл; держите кристалл только за короткие грани.
- Если интенсивность слишком низкая, Вы можете несколько уменьшить расстояние  $s_2$  между образцом и датчиком. Однако расстояние не должно быть слишком маленьким, иначе угловое разрешение гониометра будет недостаточным.

**Проведение эксперимента**

- Запустите программу «X-ray Apparatus», убедитесь, что аппарат подключен правильно, и удалите все существующие данные измерений с помощью кнопки или клавиши F4.
- Установите высокое напряжение трубки  $U = 22$  кВ, эмиссионный ток  $I = 1.00$  мА, время экспозиции  $\Delta t = 10$  и угловой шаг  $\Delta\beta = 0.1^\circ$ .
- Нажмите клавишу COUPLED для активации 2  $\theta$  связи мишени и датчика и установите нижний предел угла мишени  $3^\circ$  и верхний предел  $6.2^\circ$ .
- После каждого измерения, дайте остыть трубке 2 минуты.
- Начните измерение и передачу данных на ПК, нажав клавишу SCAN.
- Кроме того, запишите серию измерений с высоким напряжением трубки  $U = 24$  кВ, 26 кВ, 28 кВ, 30 кВ.
- Для того что бы показать зависимость длины волны, откройте диалоговое окно “Settings” с помощью кнопки или F5 и введите расстояние плоскости решетки NaCl.
- Когда Вы закончите измерения, сохраните серию измерений под соответствующим именем, нажав кнопку или F2.

**Обработка данных**

**Определение предельной длины волны  $\lambda_{min}$  в зависимости от высокого напряжения трубки  $U$ :**

Для каждого записанного спектра дифракции (см. Рис. 4):

- Нажмите правой кнопкой мыши на диаграмме, чтобы получить доступ к оценочным функциям программы «Рентгеновский аппарат» и выберите команду “Best-fitStraightLine”.
- Отметьте диапазон кривой, на который Вы хотите наложить прямую линию для определения предельной длины волны  $\lambda_{min}$  с помощью левой кнопки мыши.
- Сохраните оценки под соответствующим именем с помощью кнопки или нажав F2.

## Подтверждение отношения Дуэйн-Ханта и определение постоянной Планка

- Для дальнейшей оценки предельной длины волны  $\lambda_{\min}$ , определенной в данном эксперименте, нажмите на регистр “Planck”.
- Установите курсор на диаграмме, нажмите правую кнопку мыши, наложите прямую через начало координат на кривую  $\lambda_{\min} = f(1/U)$  и угол наклона будет отражен в левом нижнем углу окна оценки (см. Рис. 5).

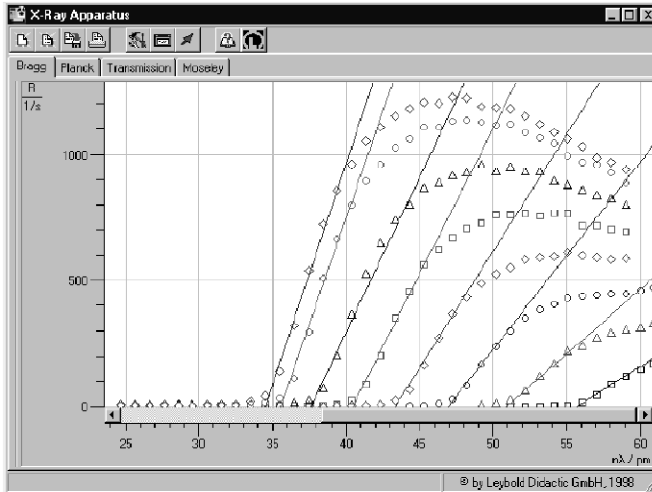


Рис. 4 Секции из дифракционных спектров рентгеновского излучения для высокого напряжения трубки  $U = 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34$  и  $35$  kV (справа налево) с прямой наилучшего соответствия для определения предела

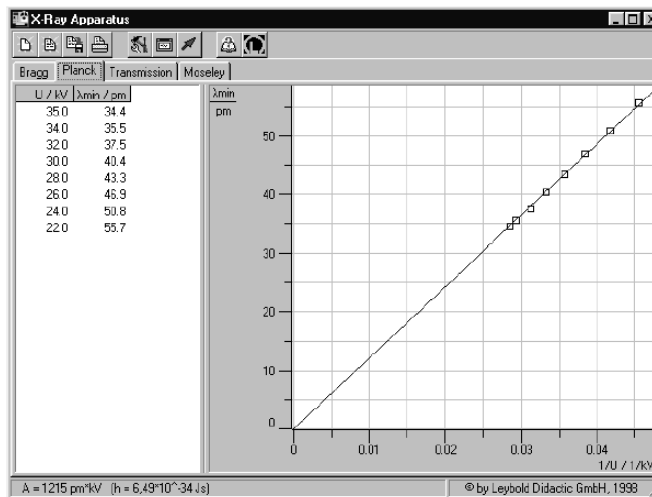


Рис. 5 Оценка данных  $\lambda_{\min} = f(1/U)$  для подтверждения отношения Дуэйн-Ханта и определения постоянной Планка

Литературное значение:  
 $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$  Дж\*с