

МЕТОД ЦВЕТОВОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕНТГЕНОВСКИХ СПЕКТРОВ

¹НИИ ПФП им. А.Н. Сєвченко БГУ, Минск, Беларусь

A method for color visualization of X-ray spectra has been developed, which allows coloring the X-ray spectra correspondingly of energy spectra. The program "X-ray-RGB-tube" for summarizing and color visualization of X-ray spectra was developed. Simulation of the "white" source with the developed program are discussed.

Разработан метод цветовой визуализации рентгеновских спектров по энергетическим характеристикам. На основе метода разработана и создана программа «X-ray-RGB-tube» [1]. Для цветовой визуализации рентгеновского спектра и анализа спектра рентгеновского источника, каждой энергии спектра сопоставляется RGB вектор, который представляет собой значение интенсивности красного, зеленого и голубого цвета:

$$(X_1, X_2, X_3) \quad (1)$$

где X_1, X_2, X_3 – числа из диапазона от 0 до 255.

Первым шагом задавалась цветовая палитра, соответствующая рентгеновскому спектру. Диапазон энергий для рентгеновского излучения выбран от 0,1КэВ до 100 КэВ, и далее преобразован по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \min : \log_{10}(0,1\text{КэВ}) + 1 &= -1 + \log_{10}(\text{КэВ}) + 1 = 0 + \log_{10}(\text{КэВ}) \\ \max : \log_{10}(100\text{КэВ}) + 1 &= 2 + \log_{10}(\text{КэВ}) + 1 = 3 + \log_{10}(\text{КэВ}) \end{aligned} \quad (2)$$

Задана цветовая гамма для рентгеновского спектра. Диапазон энергий разбит на 7 интервалов, в соответствии с цветами радуги (оптическим спектром), которые описывают номер цвета в соответствии с интервалом. Минимальные значения RGB вектора, выходящие за диапазон, принимались за черный цвет, а максимальные – за белый.

Так как в раскладке RGB оранжевый цвет является смешением красного и желтого (оттенком), то всего основных интервалов будет меньше (рисунок 1А).

| Цвет | R | G | B |
|------------|-----|-----|-----|
| Черный | 0 | 0 | 0 |
| Красный | 255 | 0 | 0 |
| Желтый | 255 | 255 | 0 |
| Зелёный | 0 | 255 | 0 |
| Голубой | 0 | 255 | 255 |
| Синий | 0 | 0 | 255 |
| Фиолетовый | 255 | 0 | 255 |
| Белый | 255 | 255 | 255 |

А

| Интервал | Переход | Энергия, КэВ |
|----------|---------|--------------|
| 1 | Ч-К | 0,269 |
| 2 | К-Ж | 0,708 |
| 3 | Ж-З | 1,905 |
| 4 | З-Г | 5,129 |
| 5 | Г-С | 13,804 |
| 6 | С-Ф | 37,153 |
| 7 | Ф-Б | 100 |

Б

Рисунок 1 – RGB вектора цветов (А) и цветовые интервалы с их граничными энергиями(Б).

Как видно из рисунка 1А, при переходе от одного цвета к другому изменяется определённая координата RGB, тогда число шагов по оттенку составляет 255. Разбив энергетический диапазон рентгеновского излучения на интервалы в соответствии с переходами от цвета к цвету, получили граничные значения энергии, которые и будут сортировать спектральные линии по цветам (рисунок 1Б).

Рассмотрим задачу формирования «белого цвета» источника при использовании метода раскраски спектра. «Белый» источник может представлять собой либо источник со сложным анодом, либо источника, состоящего из нескольких источников, одновременно или последовательно облучающих объект в эксперименте.

Суммирование спектров как источника со сложным анодом, так и нескольких источников описывается следующим выражением:

$$I(\lambda) = \sum_i I_i(\lambda) = \sum_i k_i f(\lambda(U)) = f(\lambda(U)) \sum_i k_i = k^* \cdot \frac{(\lambda - \lambda_{\min})}{\lambda_{\min} \cdot \lambda^3}, \quad (3)$$

где k^* – константа, зависящая от параметров, не зависящая от длины волны.

Следовательно, суммируя спектральные интенсивности, получена интенсивность, которая и представляет собой суммирование функций $f(\lambda(U))$, зависящих от длины волны (от энергии), умноженную на константу k^* .

Тогда интегральный цвет спектра – цвет источника – будет задаваться условием смешения интенсивности. Интегрируя данный принцип в программу, получен следующий результат суммирования и цветовой визуализацией спектров с их общим цветом (цветом источника) (рисунок 2).

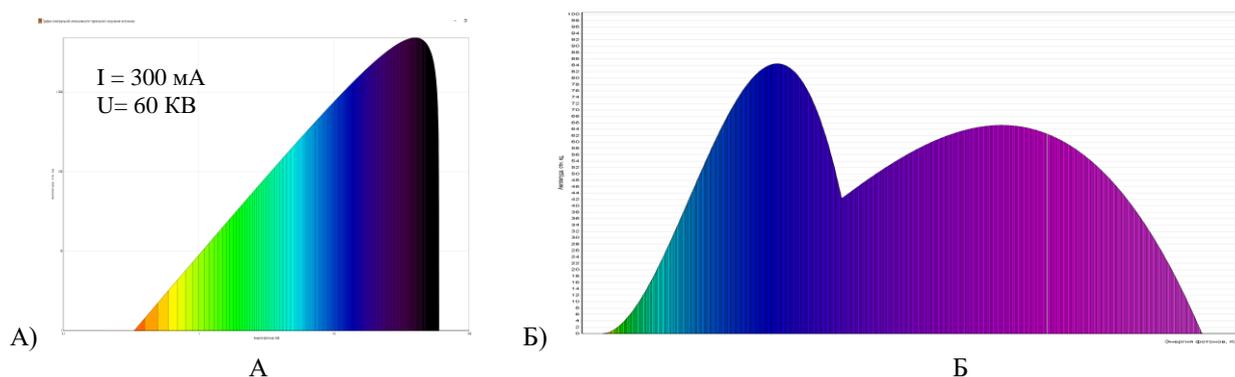


Рисунок 2 – Цветной график спектральной интенсивности тормозного спектра в логарифмическом масштабе (А) и цветной тормозной спектр модифицированной трубки (со сложным анодом) (Б).

Для создания «белого» источника, нужно получить спектр с равномерной интенсивностью. Учитывая все особенности построения и сложения спектров, в программе «X-ray-RGB-tube» было выполнено моделирование источника белого цвета (рисунок 3). Как видно из расчёта, за счёт сложения спектров интенсивностей разных источников можно получить спектр с «полочкой», где интенсивность квазилинейна.

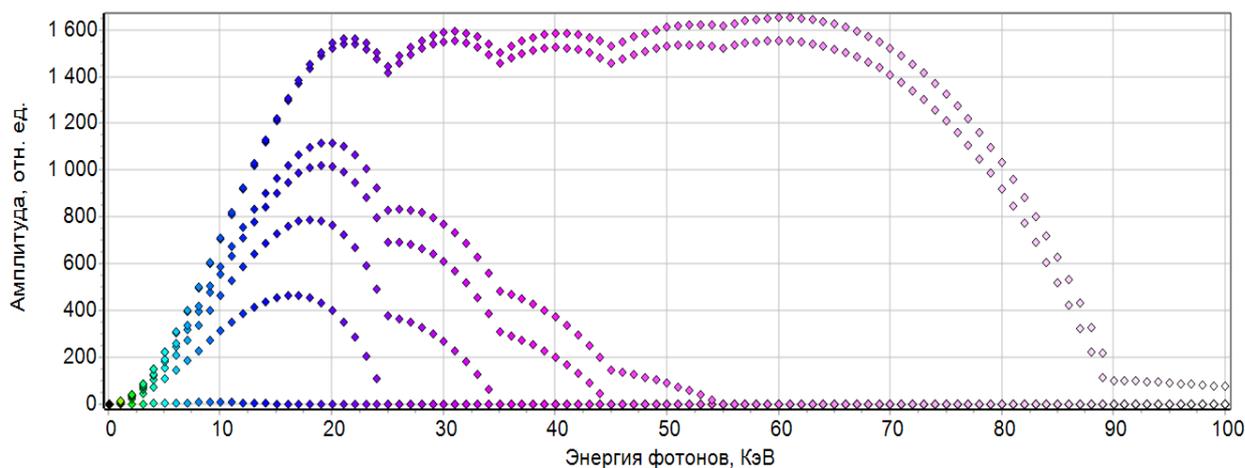


Рисунок 3 – Получение тормозного спектра «белого» источника

Список литературы

1. И. Н. Кольчевская, П. В. Петров, Н. Н. Кольчевский. Моделирование рентгенооптических систем// Компьютерные технологии и анализ данных (СТДА'2022) : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 21–22 апр. 2022 г. / БГУ ; редкол.: В. В. Скакун (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2022. – с. 217-219.