

УДК 621.384.663

**Обработка изображений оптического переходного излучения  
и излучения Вавилова-Черенкова, полученных с ПЗС-матрицы**

М.И. Волков

Научный руководитель: к.ф.-м.н., Д.А. Шкитов  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [miv5@tpu.ru](mailto:miv5@tpu.ru)

**Image processing of optical transition radiation  
and Vavilov-Cherenkov radiation obtained from a CCD matrix**

M.I. Volkov

Scientific Supervisor: Ph.D., D.A. Shkitov  
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [miv5@tpu.ru](mailto:miv5@tpu.ru)

***Abstract.** This paper presents the features of a program implementation for processing images obtained using a CCD-camera during the generation of Vavilov-Cherenkov radiation and transition radiation in the optical wavelength range. This program is written in Python.*

***Key words:** Image processing, Vavilov-Cherenkov radiation, optical transition radiation.*

**Введение**

В настоящее время планируется строительство новых электронных ускорителей в России, не говоря о строящейся в настоящее время установке СКИФ. Например, обновление источника синхротронного излучения КИСИ в Москве, строительство источника синхротронного излучения СИЛА в Подмоскowie и РИФ во Владивостоке, источника комптоновского излучения в Сарове. В связи с этим потребуется использование методов и средств диагностики параметров пучков заряженных частиц, которые ранее в России практически не были востребованы. В том числе методы, основанные на оптической диагностике с помощью механизмов переходного излучения (ПИ) и излучения Вавилова-Черенкова (ИВЧ) [1]. Целью данной работы является разработка программы на языке Python, которая производит обработку изображения, полученного с ПЗС-матрицы оптической камеры.

**Экспериментальная часть**

Для реализации метода диагностики на пути пролета электронного пучка устанавливается мишень. Пучок электронов взаимодействует с материалом мишени в результате чего образуются различные виды излучений: переходное, ИВЧ, флюоресценция и т.д. ПИ возникает при взаимодействии заряженных частиц с различными мишенями на границе раздела сред (вакуум-металл, воздух-металл, и др.). ИВЧ возникает при движении заряженной частицы со скоростью, которая превышает фазовую скорость света в данной среде. Образующееся излучение, которое лежит в оптическом диапазоне, как правило, отражается от зеркала, фокусируется, и попадает на детектирующую систему, которая представляет из себя нейтральный фильтр, объектив и CCD-камеру. В нашем случае в качестве детектора выступает оптическая камера Arogee Alta U30-MB [2] с ПЗС-матрицей, дающей чёрно-белые изображения. В качестве исходных данных для обработки выбраны результаты, полученные нами при измерении свойств ИВЧ от пластины корунда на линейном ускорителе электронов ЛИНАК-200 (ОИЯИ, Дубна). Обработка включает в себя нахождение центра масс изображения, фильтрацию (нахождение выбросов и их замену) и аппроксимацию данных двумерным гауссовым распределением с целью определения базовых параметров сечений (положение максимума, ширина на полувысоте, амплитуда). Созданная программа позволяет

обрабатывать изображения в TIFF формате, полученные оптической камерой при детектировании оптического ИВЧ и ПИ. Однако отметим, что механизм излучения потенциально может быть любой, для проведения обработки оптического изображения созданной программой это не играет роли. Выбросы в данных определяются как точки, значения которых лежали вне диапазона  $[-3.5\sigma; 3.5\sigma]$ , где  $\sigma$  - среднеквадратичное отклонение. После обнаружения выбросов они заменяются на значения, которые получаются при аппроксимации данных формулой двумерного нормального распределения, которая выглядит следующим образом:

$$f(x, y) = B + A \cdot \exp \left( -\frac{(x-\mu_x)^2}{\sigma_x^2} - \frac{(y-\mu_y)^2}{\sigma_y^2} \right),$$

где  $B$  – значение фона,  $A$  – амплитуда сигнала,  $\mu_x$  и  $\mu_y$  – средние значения по осям  $x$  и  $y$ ,  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  – среднеквадратичские отклонения по осям  $x$  и  $y$ , соответственно. Двумерная аппроксимация проводится функцией `curve_fit` библиотеки SciPy [3], которая использует нелинейный метод наименьших квадратов для аппроксимации данных к заданной аналитической функции. После работы функция возвращает оптимальные значения для параметров функции исследуемых параметров и их дисперсию. После обнаружения и замены выбросов для аппроксимации программа использует все ту же функцию `curve_fit`. Для определения основных характеристик сечений в центре масс изображения программа использует функцию `center_of_mass` библиотеки SciPy.

### Результаты

Результаты работы программы для обработки экспериментальных результатов представлены на рис. 1.

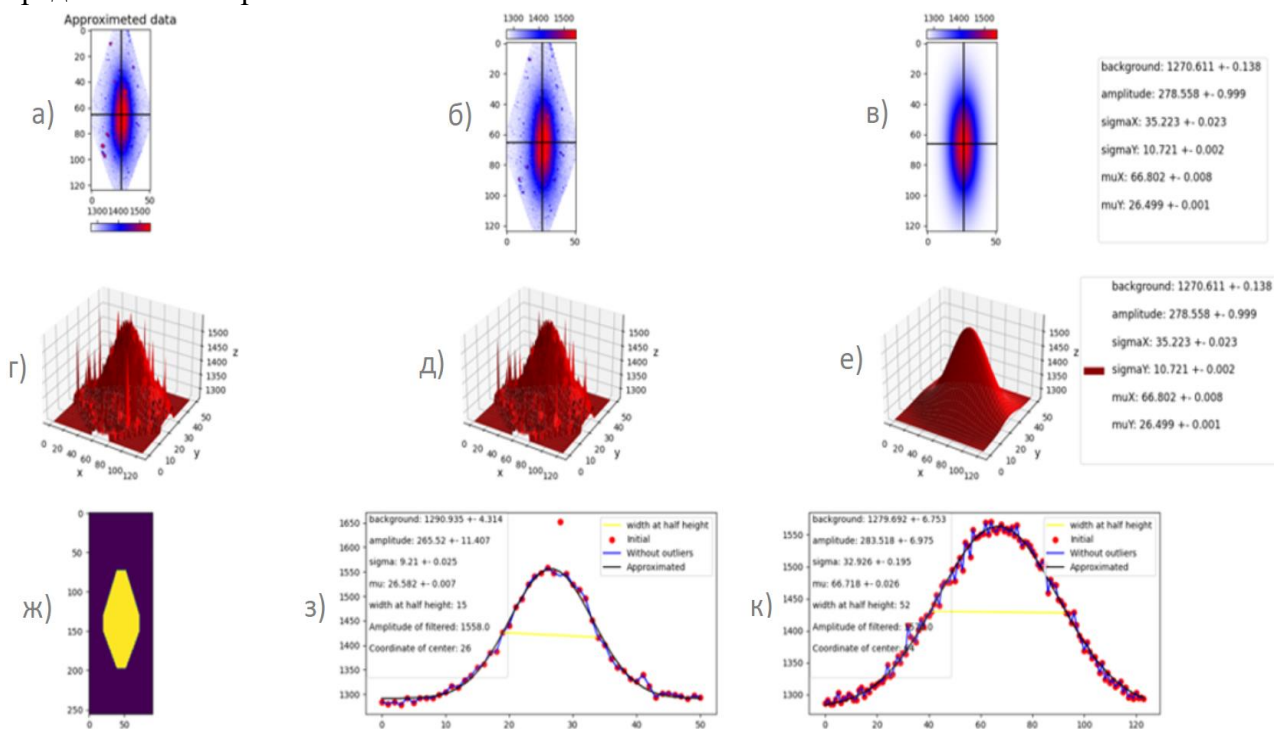


Рис. 1. Результаты работы программы (а, г – полученные 2Д и 3Д распределения после действия обрезки маской; ж – маска для обрезки изображения; б, д – распределения после фильтрации; в, е – распределения после аппроксимации; з, к – сечения в центре масс распределений)

Реализованная программа написана на языке Python. В качестве инструмента для построения графиков использована стандартная библиотека `matplotlib` языка Python. На вход

программе подавалось 16-битное черно-белое изображение в формате TIFF. На данный момент программа позволяет обрабатывать только черно-белые изображения. Перед фильтрацией и аппроксимацией распределений программа обрезает полученное изображение таким образом, чтобы оставить только центральную часть изображения пластины из корунда, где проходил пучок электронов. Для этого вручную необходимо подобрать точки (координаты пикселей), которые далее с помощью программы будут последовательно соединены, образуя замкнутую фигуру. Далее происходит обрезка изображения: всё, что находится вне этой фигуры – обрезается. Поступая так, мы избавляемся от влияния излучения от торцов пластины, которое может негативно повлиять на обработку интересующего излучения. Маска, использованная в этой работе, представлена на рис. 1ж. Полученное изображение после действия обрезки маской представлено на рис. 1а. После удаления и замены выбросов программа производит аппроксимацию полученного распределения. На выходе программа выдает экспериментальные (а), отфильтрованные (б) и аппроксимированные (в) двумерным гауссовым распределением «тепловые карты» (1 ряд сверху) и их трёхмерные распределения (2 ряд). Помимо этого, программа строит двумерные распределения по горизонтальной (з) и вертикальной (к) осям в точке центра масс изображения. После аппроксимации программа выдает значение фона, амплитуду сигнала, средние значения и среднеквадратические отклонения (по осям  $x$  и  $y$ ). Для двумерных распределений помимо этих величин программа выдает значение амплитуды отфильтрованного распределения, координату, в которой была найдена эта амплитуда, и ширину на полувысоте. Реализация программы позволяет строить такие двумерные распределения в произвольно выбранных точках. Координаты центра масс представлены на рис. 1 пересечением черных линий. Нахождение ширины на полувысоте (жёлтая линия на графиках в 3 ряду) пока сделано в нулевом приближении, и этот функционал не отлажен в программе.

### Заключение

В результате проделанной работы реализована программа по нахождению основных поперечных характеристик электронного пучка из изображений, которые могут быть получены при проведении экспериментов по регистрации оптического переходного излучения и излучения Вавилова-Черенкова. В дальнейшем планируется использование более продвинутых алгоритмов по фильтрации (медианный и средний фильтры, Non-locals mean, VM3D). Помимо этого, рассматривается возможность использования нейросетей для фильтрации выбросов. Выбор метода фильтрации будет осуществляться в реальном времени при работе программы. Планируется добавление отрисовки графиков с использованием программного пакета seaborn. Также планируется доработка программы, чтобы она учитывала особенности форматов сохранения файлов изображений с других оптических камер, в том числе обработку не только чёрно-белых, но и цветных изображений.

### Список литературы

1. Науменко Г.А., Потылицын А.П., Калинин Б.Н. [и др.]. Диагностика электронных пучков низких энергий на основе оптического переходного излучения // Известия ТПУ. – 2004. – Т. 307, № 2. – С. 15–19.
2. High Performance Cooled CCD Camera System ALTA U42. – Текст : электронный // ALTA. – 2010. – URL: <https://neurophysics.ucsd.edu/Manuals/Apogee/ALTA%20U42%20Specifications.pdf> (дата обращения: 02.03.2024).
3. Scipy.optimize.curve\_fit // SciPy v1.11.4 Manual: сайт. – 2024. – URL: [https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.optimize.curve\\_fit.html](https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.optimize.curve_fit.html).