ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ ПО ФИЗИКЕ

Владимир Станиславович Корнеев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры физики, тел. (383)343-29-33, e-mail: korneyv@mail.ru

Валерий Андреевич Райхерт

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ст. преподаватель кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)343-91-11, e-mail: vreichert@yandex.ru

Рассмотрены примеры выполнения лабораторных работ по волновой оптике, в которых с помощью программы «MS Office Excel» выполняется компьютерная обработка изображений интерференционных картин (колец Ньютона), получаемых цифровой видеокамерой. Описана последовательность компьютерной обработки полученных изображений и показана возможность сравнения экспериментально полученных данных с теоретическими моделями распределения интенсивности. Компьютерная обработка изображений, получаемых цифровой видеокамерой, может быть использована в последующих курсах изучения специальных дисциплин, при выполнении научно-исследовательских работ, обработке результатов измерений и построении моделей физических явлений.

Ключевые слова: волновая оптика, интерференция, интерференционная картина, функция распределения интенсивности, пакеты программ «MS Office Excel», цифровые видеокамеры, фотоприемная матрица, функция распределения интенсивности излучения.

DIGITAL TECHNOLOGIES FOR OPTICAL IMAGES PROCESSING IN LABORATORY PRACTICE IN PHYSICS

Vladimir S. Korneyev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Physics, phone: (383)343-29-33, e-mail: korneyv@mail.ru

Valery A. Raychert

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (913)959-15-44, e-mail: vreichert@yandex.ru

Examples of a laboratory work on wave optics are considered, in which, using the MS Office Excel program, computer processing of images of interference patterns (Newton's rings) obtained with a digital video camera is performed. The sequence of computer processing of the obtained images is described and the possibility of comparing the experimentally obtained data with theoretical models of the intensity distribution is shown. Computer processing of the images obtained with the digital video camera can be used in subsequent courses in the study of special disciplines, when performing research work, in processing measurement results and constructing models of physical phenomena.

Key words: wave optics, interference, interference pattern, intensity distribution function, MS Office Excel software packages, digital video cameras, photo detector, radiation intensity distribution function.

Введение

Явления интерференции занимают важную часть в разделе волновой оптики, для их описания применяется сравнительно несложный математический аппарат, при этом, эксперименты, связанные с наблюдением интерференционных картин, доступны и легко воспроизводимы на несложном лабораторном оборудовании.

В теории интерференции, изложенной в различных источниках [1–3], выделяют два основных способа получения когерентных волн:

- а) деление волнового фронта исходной световой волны;
- б) деление амплитуды, падающей на границу 2-х сред световой волны.

Оба этих способа реализованы в лабораторном практикуме по волновой оптике [2], а лабораторные работы данного практикума внедрены в учебный процесс преподавания дисциплины «Физика» по следующим направлениям подготовки бакалавров: 27.03.01 Стандартизация и метрология; 12.03.01 Приборостроение; 12.03.02 Оптотехника.

Краткая теория

В лабораторном эксперименте световая волна от осветителя падает на плоско-выпуклую линзу, лежащую выпуклой поверхностью на плоской поверхности прозрачной пластины, частично отражается от сферической поверхности линзы, а частично от прилегающей поверхности пластины. Обе отраженные световые волны с интенсивностями I_1 и I_2 соответственно, являются когерентными, так как являются двумя частями падающей на поверхность линзы световой волны.

Интерференционная картина представляет собой чередующие темные и светлые кольца (кольца Ньютона), вокруг центрального темного круга.

Распределение интенсивности интерференционной картины вдоль радиуса r задается формулой (при равенстве интенсивностей интерферирующих волн $I_1 = I_2$ и степени когерентности $\gamma = 1$) [3]

$$I = 4I_1 \cos^2\left(\frac{\pi\Delta}{\lambda}\right) = 4I_1 \cos^2\left(\frac{\pi nr^2}{\lambda R} + \frac{\pi}{2}\right) = 4I_1 \sin^2\left(\frac{\pi r^2}{R_1^2}\right), \quad (1)$$

где I_1 – интенсивность волны отраженной от выпуклой поверхности линзы;

I_2 – интенсивность волны отраженной от верхней поверхности прозрачной пластины;

R_1 – радиус первого темного кольца.

Методы и материалы

Полученные с помощью цифровой видеокамеры интерференционные картины колец Ньютона сохраняются в виде отдельных файлов (рис. 1).

Рис. 1. Фото интерференционной картины, полученное с помощью видеокамеры

В дальнейшем эти файлы подвергаются следующей обработке:

- 1) выбор центра интерференционной картины;
- 2) разделение изображения на монохроматические компоненты (R-G-B);
- 3) выбор одной из монохроматических компонент;
- 4) проведение измерений диаметров темных колец;
- 5) построение графика распределения интенсивности по строке.

Затем из всего массива данных выбирается одна горизонтальная строка, данные которой заносятся в «MS Office Excel». На рис. 2 внизу представлены графики распределения интенсивности излучения в интерференционной картине, соответствующие разным длинам волн, спектральная характеристика матрицы видеокамеры представлена на рис. 3.

Рис. 2. Интерференционные картины после разложения на R-G-B компоненты в псевдомонохроматическом свете

Рис. 3. Спектральная характеристика КМОП-матрицы типа MT9B131

Для описания распределения интенсивности (I) от радиуса кольца (r) и построения теоретической модели нами была выбрана следующая зависимость:

$$I = S \sin^2 \left(\frac{\pi r^2}{\lambda R^2} + \varphi \right) \left(1 - \frac{r}{R_m} \right) + C \cos \left(\alpha \frac{r}{R_m} \right), \quad (2)$$

где S и C – амплитудные коэффициенты;

φ – начальная фаза, обусловленная зазором между пластиной и линзой;

R_m – максимальное значение радиуса;

α – фазовый коэффициент.

Для сравнения экспериментальной зависимости с теоретической моделью (2) был разработан программный продукт, описанный в [4], и представляющий собой серию так называемых «движков», каждый из которых изменяет один из параметров интерференционной картины. Изменяя положение «движков» можно приблизить параметры теоретической модели к экспериментальному распределению интенсивности излучения в интерференционной картине рис. 4.

Различие в графиках теоретической модели и экспериментального распределения интенсивности излучения объясняется следующими факторами:

- 1) расходимостью светового пучка, падающего на линзу;
- 2) неравномерностью освещенности по сечению пучка;
- 3) наличием фоновой засветки.

Рис. 4. Наложенное на модельную функцию (синий график) экспериментальное распределение энергии в интерференционной картине с кольцами Ньютона

Заключение

Отличительной особенностью данной работы является то, что графики распределения интенсивности излучения, полученные с помощью цифровой видеокамеры, сравниваются с математическими моделями, задаваемыми формулой (2), что дает возможность обучающимся детальнее изучить явление интерференции на примере колец Ньютона и проанализировать влияние различных параметров на характер интерференционной картины.

Практика использования видеокамер и компьютерная обработка изображений может быть успешно распространена на последующие курсы обучения бакалавров и магистрантов по перечисленным выше направлениям подготовки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Возможности применения компьютерных технологий в физическом практикуме по волновой оптике / В. В. Чесноков, Д. В. Чесноков, В. А. Райхерт, В. С. Корнеев, Ю. Ц. Батомункуев // Сборник трудов XIII Международной учебно-методической конф. под ред. Н. В. Калачёва и М. Б. Шапочкина г. Новосибирск, 23–25 сентября 2014 г. – Новосибирск : Изд. дом Московского физического общества, 2014. – С. 153.
2. Корнеев В. С., Батомункуев Ю. Ц., Райхерт В. А. Физика. Волновая оптика : практикум. – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – 43 с.

3. Батомункуев Ю. Ц. Курс лекций по волновой оптике : учеб. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – 143 с.
4. Компьютерная обработка дифракционных картин в лабораторных работах по физике / В. С. Корнеев, В. А. Райхерт, Д. М. Никулин, С. Л. Шергин // Физическое образование в вузах. – М., 2019. – Т. 4. – С. 3–9.

© В. С. Корнеев, В. А. Райхерт, 2020