

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ КАРТИН КОЛЕЦ НЬЮТОНА

Владимир Станиславович Корнеев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630180, Россия, Новосибирск, ул. Плахотного, 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, Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)343-91-11, e-mail: vreichert@yandex.ru

Рассмотрены примеры компьютерной обработки изображений интерференционных картин (колец Ньютона), получаемых цифровой видеокамерой. Описана последовательность компьютерной обработки полученных изображений интерференционных картин, и показана возможность их сравнения с теоретической моделью распределения интенсивности, для которой предложена интерполяционная формула. Для сравнения распределений был разработан программный продукт, представляющий собой серию, так называемых «движков», каждый из которых изменяет один из параметров интерполяционной формулы. Изменяя положение «движков» можно приблизить параметры теоретической модели к распределению интенсивности излучения в реальной интерференционной картине. Компьютерная обработка получаемых цифровой видеокамерой изображений, может быть использована в последующих курсах изучения специальных дисциплин, при выполнении научно-исследовательских работ, при обработке результатов измерений и построении моделей физических явлений.

Ключевые слова: интерференция, интерференционная картина, программа, цифровые видеокамеры, фотоприёмная матрица, функция распределения интенсивности излучения, интерполяционная формула.

COMPUTER MODEL OF INTERFERENCE PICTURES OF THE NEWTON RINGS

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. Reichert

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Teacher, Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (383) 343-91-11, e-mail: vreichert@yandex.ru

Examples of computer processing images of interference patterns (Newton rings) obtained by digital video camera are considered. The sequence of computer processing of the obtained images of interference patterns is described and the possibility of comparing them with a theoretical model of the intensity distribution, for which an interpolation formula is proposed, is shown. To compare the distributions, a software product was developed, a series of so-called «sliders», each of which changes

one of the parameters of the interpolation formula. By changing the position of the «sliders», it is possible to approximate the parameters of the theoretical model to the distribution of the radiation intensity in a real interference pattern. Computer processing of images obtained by a 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: interference, interference pattern, software program, digital video cameras, photo-detector, radiation intensity distribution function, interpolation formula.

Введение

При изучении раздела «Волновая оптика» курса общей физики явлениям интерференции уделяется существенное внимание, в том числе при проведении лабораторных занятий. Натурные эксперименты, связанные с наблюдением явлений интерференции доступны и легко воспроизводимы на учебном лабораторном оборудовании.

Важной задачей при изучении явлений интерференции является выявление закономерностей интерференционных картин и математического аппарата, применяемого для их описания. Успешному решению этой задачи способствует использование в лабораторном практикуме цифровых видеокамер, позволяющих получать информацию о распределении световой энергии в области локализации интерференционных картин и дальнейшая компьютерная обработка этой информации [1]. Данная работа направлена на улучшение учебного процесса и помогает обучающимся оценить влияние параметров компьютерного моделирования на качество интерференционных картин.

Краткая теория

В учебно-методической литературе, предназначенной для подготовки обучающихся к лабораторным занятиям по физике [2-4], 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.

При интерференции двух частично-когерентных волн, интенсивность в выбранной точке интерференционной картины равна [2]:

$$I = I_1 + I_2 + 2\gamma\sqrt{I_1 I_2} \cos(\delta - \delta_0), \quad (1)$$

где I_1 , I_2 - соответственно интенсивности первой и второй световых волн, γ - степень когерентности волн, δ - разность фаз интерферирующих волн в произвольной точке, δ_0 - разность фаз в выбранной точке области наложения волн.

В лабораторном эксперименте по изучению интерференции колец Ньютона 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 по-

верхности пластины. Интерференционная картина возникает на поверхностях воздушного клина переменной толщины и представляет собой чередующиеся темные и светлые концентрические кольца (кольца Ньютона). Картину в отраженном свете можно наблюдать визуально или получить её изображение с помощью фото или видеокамеры. Данные изображения интерференционных картин содержат информацию о падающем излучении, а также о форме кривизны поверхности плосковыпуклой линзы. Цветная интерференционная картина, полученная при использовании в качестве излучателя белого светодиода, представлена на рис. 1. Для полихроматического излучения, источником которого является белый светодиод, степень когерентности в общем случае лежит в диапазоне $0 < \gamma < 1$, причем, чем выше степень когерентности, тем большее количество цветных колец наблюдается в поле изображения.

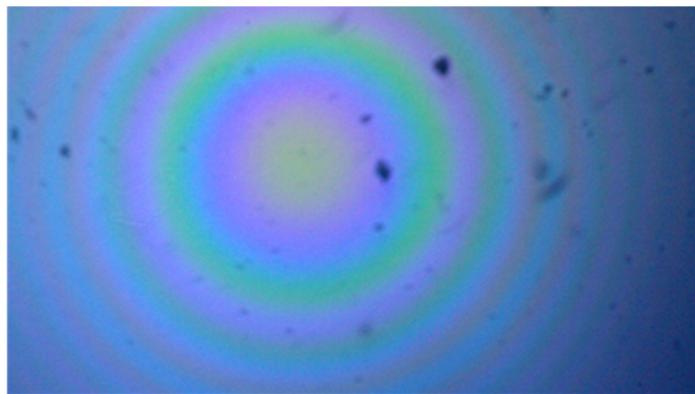


Рис. 1. Фото интерференционной картины в отраженном свете, полученное цифровой видеокамерой

Распределение интенсивности излучения I в интерференционной картине в отраженном монохроматическом свете вдоль радиальной координаты r , относительно центра колец (при равенстве интенсивностей интерферирующих двух волн $I_1 = I_2 = I_0$ и степени когерентности $\gamma = 1$) задается выражением [3]:

$$I = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi nr^2}{\lambda R} + \frac{\pi}{2} \right), \quad (2)$$

где: I_0 – исходная интенсивность обеих волн, R – радиус кривизны поверхности линзы, λ – выбранная длина волны излучения, n – номер светлого кольца.

Методы обработки изображений интерференционных картин

Полученные с помощью цифровой видеокамеры изображения интерференционных картин (колец Ньютона) сохраняются в виде отдельных файлов, и в дальнейшем подвергаются компьютерной обработке программой на основе «Mat lab» [4]. Предварительная обработка изображений включает следующие этапы:

- 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.

На рис. 2. представлены интерференционные картины и графики распределения интенсивности излучения для двух монохроматических компонент.

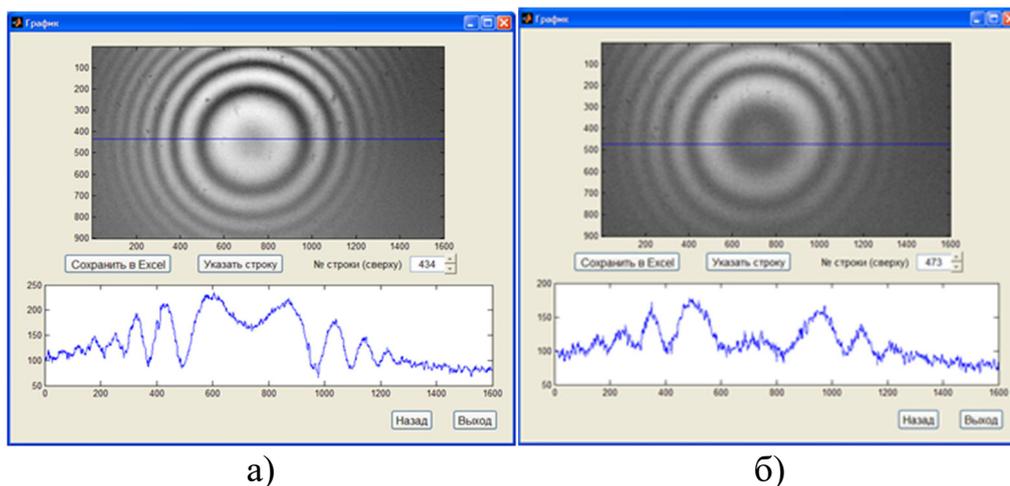


Рис. 2. Интерференционные картины и графики распределения интенсивности излучения:

а) B – компонента, б) R – компонента

Дальнейшая обработка изображений интерференционных картин и построение компьютерной модели проводится средствами «MS Office Excel».

Результаты

Для создания компьютерной модели интерференционной картины колец Ньютона нами была предложена интерполяционная формула, учитывающая распределения интенсивности излучения I от радиальной координаты r :

$$I = S \sin^2 \left(\frac{\pi r^2}{\lambda R} + \varphi \right) \left(1 - \frac{r}{r_m} \right) + C \cos \left(\alpha \frac{r}{r_m} \right), \quad (3)$$

где: S - амплитудный коэффициент, учитывающий степень когерентности интерферирующих волн; C – амплитудный коэффициент, учитывающий фоновое излучение, попадающее в объектив видеокамеры; φ - начальная фаза, обусловленная зазором между пластиной и линзой в области контакта ($r = 0$); α - фазовый коэффициент, учитывающий уменьшение вклада фонового излучения от центра плосковыпуклой линзы её к краям; r_m - максимальное значение радиуса, обусловленное размером зрачка объектива видеокамеры.

Представленная формула (3), в отличие от известного выражения (2), позволяет учитывать дополнительные особенности интерференционных картин, и построить компьютерную модель картины колец Ньютона максимально близкую к наблюдаемой в натурном эксперименте.

На рис 3. представлен «принтскрин» «MS Office Excel»-файла программного продукта, в основе которого лежит представленная выше интерполяционная формула (3).

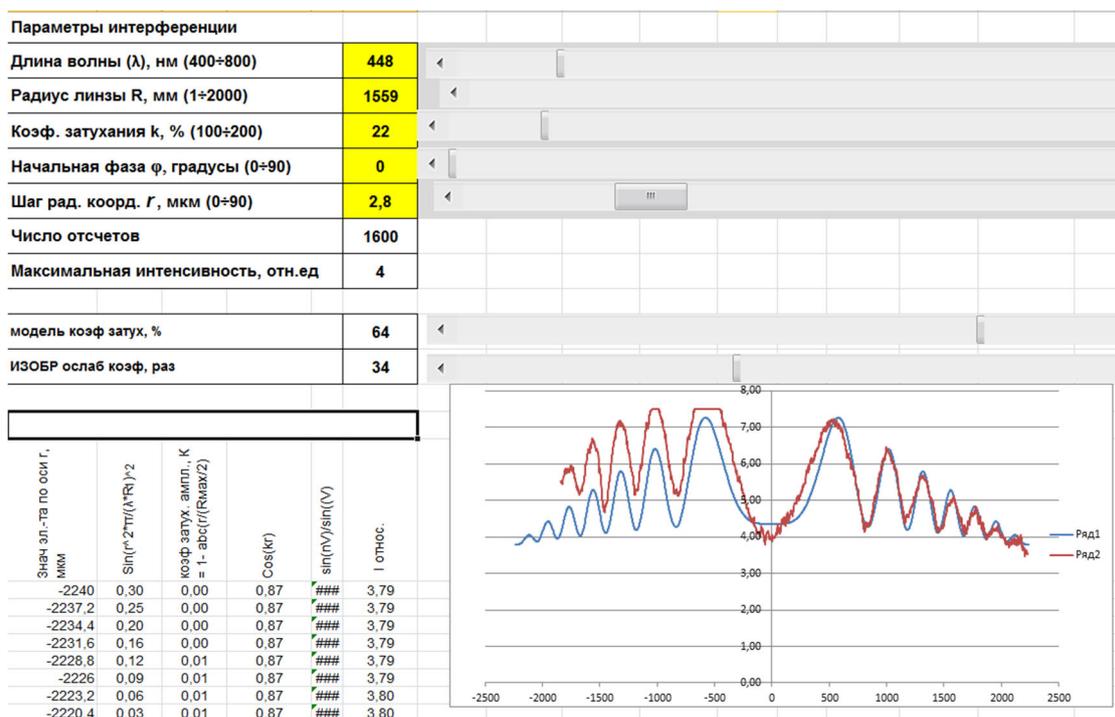


Рис. 3. «MS Office Excel»-файл программного продукта, с графиками теоретического (Ряд 1) и экспериментального (Ряд 2) распределения интенсивности излучения в интерференционной картине колец Ньютона

Обсуждение результатов

Представленный на рис. 3 (Ряд 1) график компьютерной модели хорошо вписывается в график натурального эксперимента (Ряд 2), полученного в процессе обработки изображений колец Ньютона в монохроматическом свете. Наблюдаемая на экспериментальном графике (Ряд 2), асимметрия относительно центра картины, объясняется неравномерностью интенсивности в световом пучке светодиода, а интенсивность затухания интерференционной амплитуды, от центра к краям картины, характеризует степень когерентности излучения светодиода.

Дополнительную информацию о средней длине волны в компьютерной модели можно получить, если сравнивать значения, установленные «движкой - λ», со спектральными характеристиками RGB-светодиода и фотоприёмной матрицы, представленными на рис. 4.

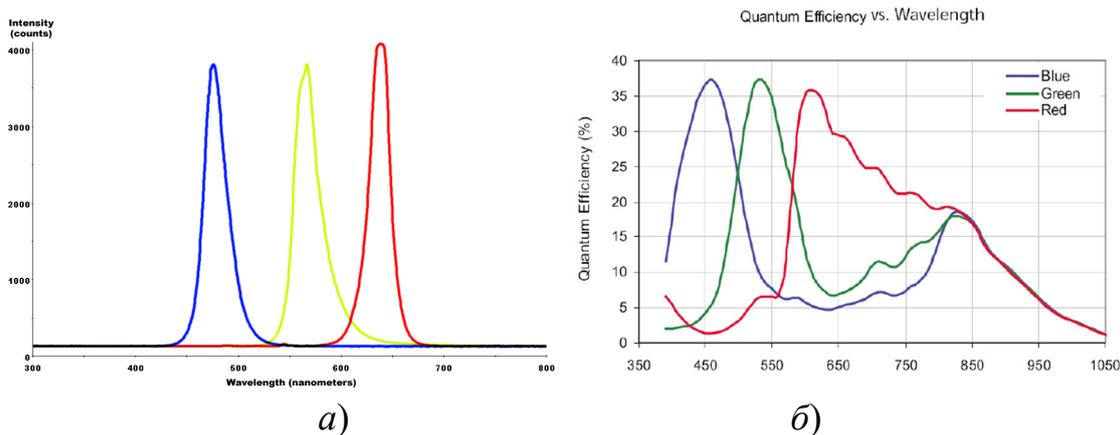


Рис. 4. Спектральные характеристики:
 а) RGB - светодиода; б) КМОП-матрицы типа MT9B131

Заключение

Компьютерная обработка изображений интерференционных картин в среде «Mat lab» и компьютерное моделирование с использованием «MS Office Excel» позволяет обучающимся освоить современные методы экспериментальных исследований и оптических измерений и успешно применять их на практике [5].

Практика использования видеокамер и последующая компьютерная обработка изображений может быть успешно распространена на последующие курсы подготовки бакалавров и магистров, а также при выполнении научно-исследовательских работ магистрантами и аспирантами Института оптики и технологий информационной безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чесноков В. В., Чесноков Д. В., Райхерт В. А., Корнеев В.С., Батомункуев Ю.Ц. Возможности применения компьютерных технологий в физическом практикуме по волновой оптике. Сборник трудов XIII Международной учебно-методической конф. под ред. Н.В. Калачёва и М.Б. Шапочкина г. Новосибирск, 23–25 сентября 2014 г. Издательский дом Московского физического общества с.153.
2. Стафеев С. К., Боярский К. К., Башнина Г. Л. Основы оптики: Учеб. пособие. — СПб.: Питер, 2006. — 336 с: ил. ISBN 5-469-00846-0. - С.78-82.
3. Батомункуев Ю.Ц. Курс лекций по волновой оптике: Учеб. пособие. – Новосибирск: СГУГиТ, 2019. – 143 с.
4. Корнеев В.С., Батомункуев Ю.Ц., Райхерт В. А. Физика. Волновая оптика: практикум. - Новосибирск: СГУГиТ, 2019. – 43 с.
5. Корнеев В.С., Райхерт В.А., Никулин Д.М., Шергин С.Л. Компьютерная обработка дифракционных картин в лабораторных работах по физике: Физическое образование в ВУЗАХ, М., 2019.Т.4 – С.3-9.

© В. С. Корнеев, В. А. Райхерт, 2020