

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 535.415

ИЗУЧЕНИЕ КОЛЕЦ НЬЮТОНА С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА

Бессонова Ирина Сергеевна, студент, направление подготовки 03.03.03 Радиофизика, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: iren.bessonova@mail.ru

Научный руководитель: **Налбандян Виктор Меружанович**, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры радиофизики и электроники, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: nalband1@yandex.ru

Аннотация. Кольца Ньютона (КН) являются классическим примером интерференционных полос и часто встречаются при использовании интерферометров. Интерферометрия играет ключевую роль в области оптических измерений. Как неразрушающий метод, он применяется в различных областях науки и техники для оценки качества отражающих оптических элементов, записи голограмм и др. Целью работы являлось определение радиуса кривизны собирающей линзы и оптической силы методом изучения колец Ньютона. Были рассчитаны такие параметры как: радиус кривизны и оптическая сила линзы в проходящем и отраженном свете. При сравнении радиуса кривизны, полученного разными методами (расчетным и графическим), было обнаружено, что из-за погрешности измерений радиус кривизны линзы в эксперименте и теории отличаются.

Ключевые слова: кольца Ньютона, линза, радиус кривизны, оптическая сила, интерференционная картина.

Для цитирования: Бессонова И. С. Изучение колец Ньютона с помощью оптического микроскопа // Шаг в науку. – 2023. – № 4. – С. 25–30.

STUDY OF NEWTON'S RINGS USING AN OPTICAL MICROSCOPE

Bessonova Irina Sergeevna, student, training program 03.03.03 Radiophysics, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: iren.bessonova@mail.ru

Research advisor: **Nalbandyan Viktor Meruzhanovich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Radiophysics and Electronics, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: nalband1@yandex.ru

Abstract. Newton's rings are a classic example of interference fringes and are often found when using interferometers. Interferometry plays a key role in the field of optical measurements. As a non-destructive method, it is used in various fields of science and technology to assess the quality of reflective optical elements, recording holograms, etc. The aim of the work was to determine the radius of curvature of the collecting lens and the optical force by studying Newton's rings. Parameters such as the radius of curvature and the optical strength of the lens in transmitted and reflected light were calculated. When comparing the radius of curvature obtained by different methods (computational and graphical), it was found that due to the measurement error, the radius of curvature of the lens in the experiment and theory differ.

Keywords: Newton's rings, lens, radius of curvature, optical force, interference pattern.

Cite as: Bessonova, I. S. (2023) [Study of Newton's rings using an optical microscope]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 4, pp. 25–30.

Для измерения физических параметров гладких поверхностей широко используются различные ме-

тоды анализа колец Ньютона. Некоторые методы основаны на анализе структуры полос в интерферо-

грамме. Например, метод для анализа каймы колец, описанный в [7], является классической техникой. Он основан на топологическом рассмотрении интерферограммы для определения положений светлых и темных полос, где значение интенсивности полос является максимальным или минимальным. Однако этот метод чувствителен к шуму; поэтому предложены различные методы фильтрации, такие как метод спиновой фильтрации, вейвлет-методы [4]. В. Насков и др. [3] предложили метод подбора наименьших квадратов (LSF) для анализа структуры полос; их метод реализован с помощью итерационной процедуры. В работе [6] предлагается улучшенный метод на основе дробного преобразования Фурье (FRFT) для анализа структуры колец Ньютона. Он сочетает в себе преимущества FRFT с алгоритмом LSF при анализе колец Ньютона.

В работе [5] представлен метод, основанный на анализе колец Ньютона, для мониторинга и количественной оценки толщины пленки твердой смазки во время трибологических исследований. Отслеживая относительное движение колец Ньютона за пределами зоны контакта по мере продвижения скольжения, толщина межфазных пленок определяется количественно в режиме реального времени.

С. И. Валянским, Е. К. Наими выявлена полезность и актуальность колец Ньютона в области нанотехнологий. В работе [7] рассмотрен оптический микроскоп RHYWE с разрешением нескольких нанометров, с помощью него возможно исследование низкоконтрастных объектов и нанометровых пленок.

В данной работе опыты проводились на установке для наблюдения колец Ньютона, показанной на рисунке 1.



Рисунок 1. Общий вид установки для наблюдения колец Ньютона

Источник: разработано автором

Основные части установки: 1) тубусодержательный микроскоп; 2) линза; 3) плоскопараллельная пластина; 4) окулярный микрометр; 5) объектив; 6) изме-

рительное устройство; 7) осветитель светодиодный; 8) зеркало, с помощью которого можно наблюдать КН в проходящем свете.

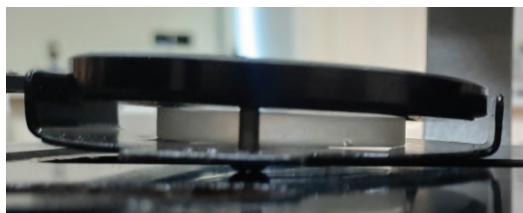


Рисунок 2. Система из линзы и стеклянной пластины, прижатых друг к другу

Источник: разработано автором

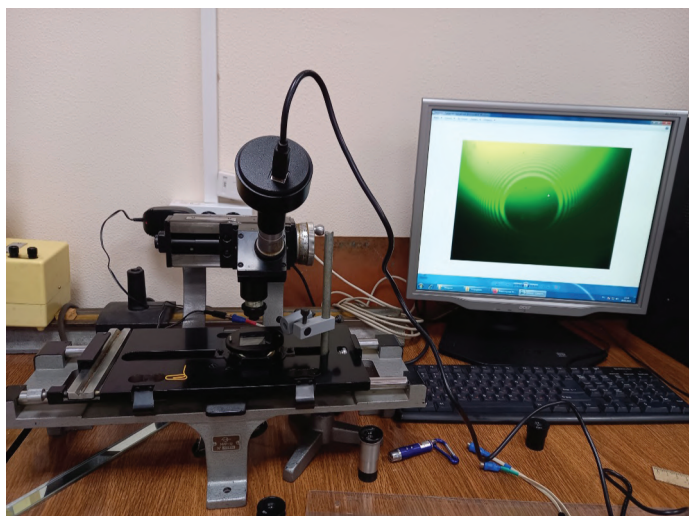


Рисунок 3. Вспомогательный метод изучения КН с помощью персонального компьютера
Источник: разработано автором

Опыты проведены с системой, состоящей из плосковыпуклой линзы и плоскопараллельной пластины. Рассмотрены два возможных случая: анализ радиусов колец Ньютона в проходящем и отраженном свете.

Измерение радиусов колец в отраженном и проходящем свете, используя видеоокуляр для фиксации колец Ньютона

Ход опыта: на столик микроскопа устанавливалась система из линзы и стеклянной пластины, прижатых друг к другу таким образом, чтобы возникла точка соприкосновения диаметром около двух мил-

лиметров, вокруг которой будут наблюдаться кольца. С помощью зеленого светодиода, закрепленного в держателе, освещалась поверхность линзы. Длина волны излучения светодиода $\lambda = 525$ нм. Настроив на резкость окуляр и объектив, добивались максимальной четкости наблюдаемых колец в отраженном свете. Для наблюдения КН в проходящем свете необходимо освещать линзу с нижней стороны, например, используя для этого зеркало. Измерили диаметр d центрального круга:

$$d = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м} - \text{ в отраженном свете};$$
$$d = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} - \text{ в проходящем свете}.$$

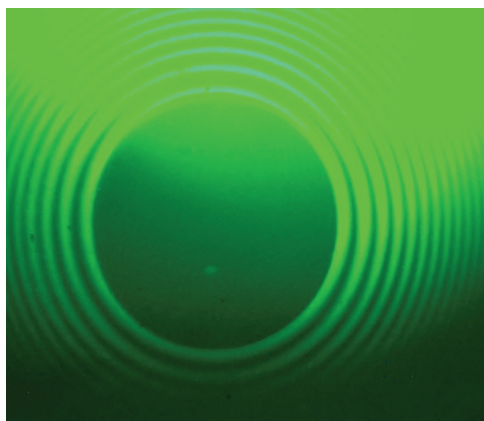


Рисунок 4. Кольца Ньютона в отраженном свете
Источник: разработано автором

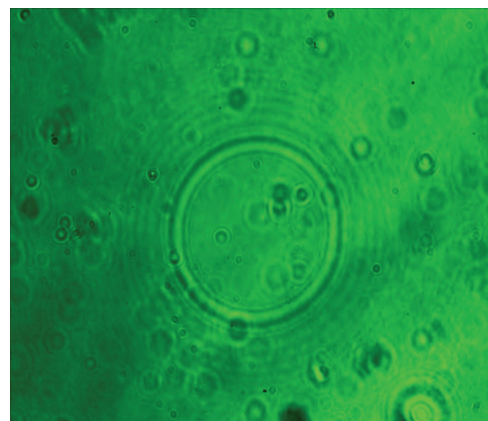


Рисунок 5. Кольца Ньютона в проходящем свете
Источник: разработано автором

Результаты измерений и дальнейших расчетов занесли в таблицу 1.

Таблица 1. Радиусы КН в отраженном и проходящем свете

Номер кольца	$r, 10^{-3}$ м (отражен.)	$r, 10^{-3}$ м (проходящ.)
1	1,3	1,2
2	1,5	1,3
3	1,65	1,65
4	1,8	1,8

Источник: разработано автором

Вычисление радиуса кривизны линзы и оптической силы в отраженном и проходящем свете экспериментальным путем

Для расчета радиуса кривизны линзы воспользовались формулой [2]:

$$R = \frac{r_m^2 - r_k^2}{(m-k)\lambda}, \quad (1)$$

где

R – радиус кривизны линзы;
 m, k – номера кольца (1, 2, 3, 4);
 λ – длина волны света;
 r_m, r_k – радиусы соответствующих колец.

Формула для расчета радиуса светлых колец:

$$r_{cs} = \sqrt{(2m-1)\frac{R\lambda}{2}}, \quad (m = 1, 2, 3, \dots). \quad (2)$$

Формула для расчета радиуса темных колец:

$$r_{mm} = \sqrt{mR\lambda}, \quad (m = 1, 2, 3, \dots). \quad (3)$$

Также были проведены расчеты оптической силы линзы по формуле:

$$D = (n-1) \frac{(m-k)\lambda}{r_m^2 - r_k^2} = \frac{n-1}{R}, \quad (4)$$

где

n – относительный показатель преломления среды.

Расчет радиуса кривизны по формуле (1) проводили несколько раз, используя разные наборы радиусов r_m и r_k . Далее рассчитали средний радиус кривизны в отраженном и проходящем свете, подставляя в формулу

$$\langle R \rangle = \frac{\sum_{x=1}^i R_x}{i},$$

где

i – предел суммирования.

Таблица 2. Результаты расчетов в отраженном свете

Пара колец		$r_m, 10^{-3}$ м	$r_k, 10^{-3}$ м	$m-k$	λ , нм	R , м	D , м ⁻¹
1	3	1,3	1,65	2	525	1	0,5
1	4	1,3	1,8	3		1	0,5
2	3	1,5	1,65	1		0,9	0,55
3	4	1,65	1,8	1		1	0,5
3	2	1,65	1,5	1		0,9	0,55
4	2	1,8	1,5	2		0,94	0,53
Радиус кривизны $\langle R \rangle = 0,96$ м; оптическая сила $\langle D \rangle = 0,52$ м ⁻¹ .							

Источник: разработано автором

Определив радиус кривизны, смогли найти оптическую силу линзы с помощью формулы (4), приняв показатель преломления $n = 1,5$. Рассчитали среднюю оптическую силу в отраженном и проходящем свете, подставляя в формулу $\langle D \rangle = \frac{\sum_{x=1}^i D_x}{i}$

Таблица 3. Результаты расчетов в проходящем свете

Пара колец		$r_m, 10^{-3}$ м	$r_k, 10^{-3}$ м	m-k	λ	R, м	D, м ⁻¹
1	3	1,2	1,65	2	525	1,22	0,4
1	4	1,2	1,8	3		1,14	0,44
2	4	1,3	1,8	2		1,48	0,34
3	4	1,65	1,8	1		1	0,5
4	2	1,8	1,3	2		1,48	0,34
Радиус кривизны $\langle R \rangle = 1,05$ м; оптическая сила $\langle D \rangle = 0,34$ м ⁻¹ .							

Источник: разработано автором

Определение радиуса кривизны линзы графическим способом

По результатам измерений построили графики за-

Результаты измерений и дальнейших расчетов занесли в таблицу 2.

Аналогичные расчеты провели, перенастроив установки для измерения радиусов КН в проходящем свете. Полученные результаты внесли в таблицу 3.

висимостей квадрата радиуса r_m^2 от номера m кольца $r_m^2 = f(m)$ (таблица 4).

Таблица 4. Радиусы колец линзы в отраженном свете

m	$r_m^2, 10^{-3}$ м
1	1,69
2	2,25
3	2,72
4	3,24

Источник: разработано автором

Согласно формуле для радиуса колец в отраженном свете $r_m^2 = m\lambda R$, график зависимости r_m^2 от m имеет вид прямой, угловой коэффициент которой равен

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta r_m^2}{\Delta m} = \lambda R.$$

После того, как определили $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1 \times 10^{-6}}{2} = 5 \times 10^{-7}$,

нашли теоретическое значение радиуса кривизны линзы в отраженном свете по формуле:

$$R = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\lambda} = \frac{5 \times 10^{-7}}{525 \times 10^{-9}} = 0,95 \text{ м.}$$

Сравнение радиусов кривизны линзы, полученные экспериментальным и теоретическим путем, позволило сделать вывод о том, что результаты практически совпадают:

$$\langle R_{\text{эк}} \rangle = 0,96 \text{ м, } R_{\text{теор}} = 0,95 \text{ м.}$$

В результате проведения опытов удалось изме-

рить радиус колец Ньютона как в проходящем, так и в отраженном свете. При этом удостоверились, что вне зависимости от метода наблюдения интерференционной картины, результаты получаются практически одинаковыми. Был рассчитан радиус кривизны линзы, используя экспериментально полученные данные. Их сравнили с теоретическим результатом, который получился при построении графика зависимости квадрата радиуса от номера кольца. Как неразрушающий метод – метод изучения КН, он применяется в различных областях науки и техники для оценки качества отражающих оптических элементов, записи голограмм и др.

В перспективе, на основе полученных измерений, мы проведем исследование по измерению радиусов колец плосковыпуклой линзы с просветляющим слоем.

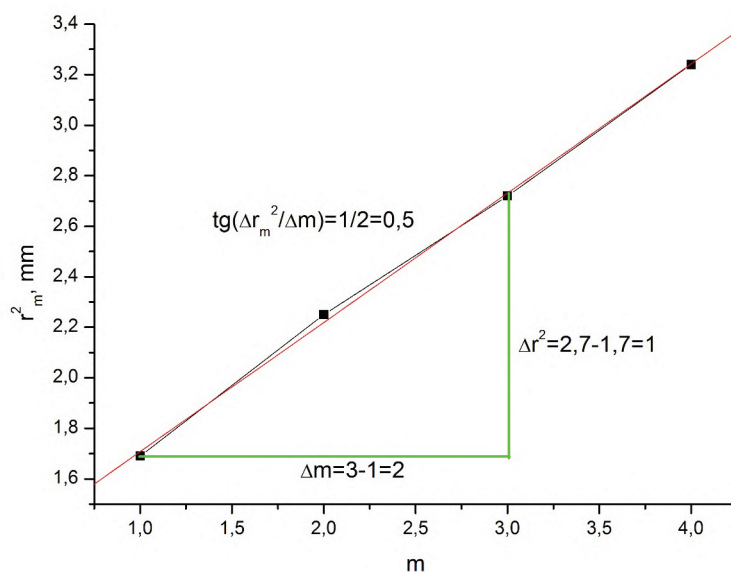


Рисунок 6. К расчету радиуса кривизны линзы графическим методом

Источник: разработано автором

Литература

1. Валянский С. И., Наими Е. К. Оптический поверхностно-плазмонный микроскоп на базе лабораторной установки РНУВЕ «Кольца Ньютона» // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. – 2009. – №. 2. – С. 65–68.
2. An P. et al. (2016) Measurement to radius of Newton's ring fringes using polar coordinate transform. *Journal of the European Optical Society-Rapid Publications*. Vol. 12, pp. 17. – <https://doi.org/10.1186/s41476-016-0019-3> (In Eng.).
3. Nascov V., Dobroiu A., Apostol D., Damian V. (2001) Automatic digital processing of Newton's rings fringe patterns. *ROMOPTO 2000: Sixth Conference on Optics*. Bucharest: Proc. SPIE, Vol. 4430, pp. 835–841. – <https://doi.org/10.1117/12.432814> (In Eng.).
4. Tang C., Wang L., Yan H., Li C. (2012) Comparison on performance of some representative and recent filtering methods in electronic speckle pattern interferometry. *Optics and Lasers in Engineering*. Vol. 50. No. 8, pp. 1036–1051. – <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2012.01.028> (In Eng.).
5. Wahl K. J., Chromik R. R., Lee G. Y. (2008) Quantitative in situ measurement of transfer film thickness by a Newton's rings method. *Wear*. Vol. 264. No. 7–8, pp. 731–736. – <https://doi.org/10.1016/j.wear.2007.04.009> (In Eng.).
6. Wu J.-M. et al. (2017) Improved FRFT-based method for estimating the physical parameters from Newton's rings. *Optics and Lasers in Engineering*. Vol. 91, pp. 178–186. – <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2016.11.021> (In Eng.).
7. Zhang F. et al. (2015) Skeleton extraction and phase interpolation for single ESPI fringe pattern based on the partial differential equations. *Optics express*. Vol. 23. No. 23, pp. 29625–29638. – <https://doi.org/10.1364/OE.23.029625> (In Eng.).

Статья поступила в редакцию: 15.05.2023; принята в печать: 20.11.2023.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.