

Школьный эксперимент, исходя из наличествующих лабораторных аксессуаров, удобно выстраивать по методу регистрации угла отклонения от направления первоначального движения по результатам падения шаров на калькированную бумагу. Изменяя высоту скатывания ударяющего шара и высоту падения после столкновения целесообразно выбрать оптимальные режимы использования пространства для регистрации углов рассеяния. По результатам измерений углов рассеяния, значений масс, размеров шаров, возможно исследовать степень выполнения законов сохранения энергии и импульса, восстановить с применением соотношения (1) значение прицельного параметра, сопоставить его с ожидаемой величиной по расчетам из первых принципов. В реальном лабораторном эксперименте вполне доступно получить острые углы рассеяния и установить корреляции с фундаментальными соотношениями (1) и (2).

Заключение. Физическая исследовательская лаборатория учреждений общего среднего образования по профилю механики может быть существенно расширена в направлении изучения закономерностей взаимодействия и динамики тел на примере классической задачи о столкновении-рассеянии металлических шаров. Вполне доступное техническое дополнение традиционного центрального взаимодействия позволяет выйти на новые характеристики и особенности упругого столкновения и мотивировать учебно-познавательную деятельность учащихся на исследовательском творческом уровне.

Список использованных источников

1. Ландау, Л. Д. Механика. Электродинамика. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. М., 1969 г., 272 с.
2. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: Механика / Д. В. Сивухин. – М.: Физматлит, 2005. – 559 с.
3. Яковенко, В. А. Общая физика : сборник задач : учеб. пособие / В. А. Яковенко [и др.] ; под общ. ред. В. Р. Соболя. – Минск : Вышэйшая школа, 2015. – 455 с.

УДК 535.41(07)

В. Р. Соболя, А. Н. Ярошенко, К. Р. Шевчик

V. Sobol, A. Yaroshenko, K. Shevchik

УО «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка» (Минск, Беларусь)

АБЕРРАЦИИ СФЕРИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОРА И ИХ ЭМПИРИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ

ABERRATIONS OF A SPHERICAL REFLECTOR AND THEIR EMPIRICAL STUDY

Обсуждается техника постановки и проведения численного и эмпирического эксперимента по закономерностям геометрической оптики на примере выявления aberrаций сферического зеркала, обусловленных непараксиальностью светового пучка.

The technique of setting up and conducting numerical and empirical experiments on the laws of geometric optics is discussed using the example of identifying aberrations of a spherical mirror caused by the non-paraxiality of the light beam.

Ключевые слова: закон отражения; фокус; параксиальность; апертура; зеркало.

Keywords: law of reflection; focus; paraxiality; aperture; mirror.

Вводные замечания. Постановка проблемы. Для построения телескопических систем, как известно, более предпочтительно применение отражательной оптики, которую выбирают либо в параболическом, либо в сферическом формате. При всех преимуществах параболических зеркал, в ряде случаев отдают предпочтение сферическим отражателям, которые, однако, в силу самой геометрии склонны искажать создаваемое изображение.

В сообщении представлены особенности действия зеркал сферического типа в плане их неидеальности при формировании стигматического изображения широкими пучками, требуемыми для обеспечения светосилы оптических приборов. По существу, методом принципа обратимости при графическом рассмотрении задачи по расчету параметров лучей, исследовано построение изображения объекта-точки, находящейся в фокусе при различных уровнях непараксиальности. Обсуждаются вопросы эмпирического моделирования процесса в лабораторном практикуме посредством применения зеркала в виде кругового полуцилиндра.

Методология исследования и обсуждение. Астигматизм непараксиальных пучков, как сказано, рассмотрен на примере действия системы типа прожектор, у которого источник-предмет точечного вида расположен в фокусе, а ожидаемый поток, который в соответствии с классическими выражениями должен был бы формировать изображение на бесконечности, на самом деле не является плоскопараллельным (рисунок 1).

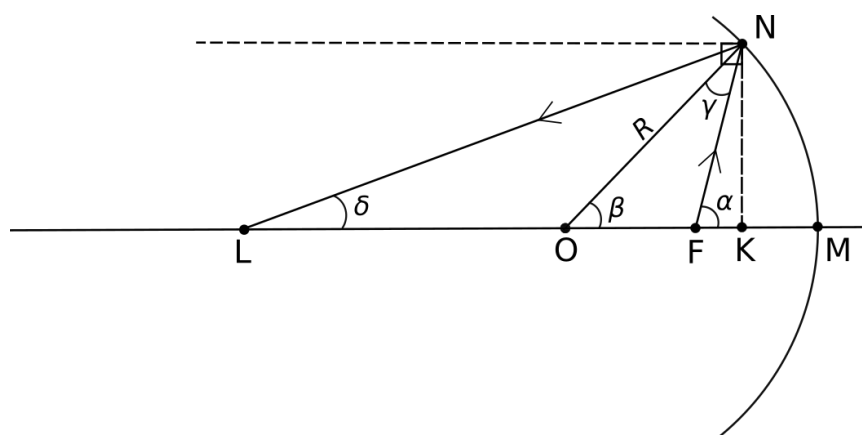


Рисунок 1 – Общая схема исследования хода лучей после отражения для пучков конечной апертуры (угол α). Светящаяся точка – источник в фокусе (F) на оптической оси; OM , ON – радиус зеркала (R).

Степень непараксиальности исходящих лучей определяется величиной угла δ между оптической осью и направлением для луча на отражающую поверхность. При практическом исследовании аберрацию легче определять по зависимости расстояния, на котором отраженный луч пересечет оптическую ось. Например, измеряя расстояния от точки пересечения до фокальной плоскости, до центра самой зеркальной поверхности, до проекции точки падения луча на оптическую ось.

Понятно, что близкие к оптической оси лучи, с апертурой в пределах сотых и тысячных долей радиана, следуя общим представлениям, должны пересекать ось на весьма больших расстояниях, соответствуя классическому выражению (1). Конечные значения угла апертуры приведут к искажению волнового фронта, вернее точка-объект будет отображаться не в плоскопараллельный пучок, а в линию на оптической оси.

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{2}{R}, \quad (1)$$

здесь, как общепринято, a_1 – расстояние до объекта (по сути, это источник в фокусе), a_2 – расстояние до изображения, R – радиус кривизны поверхности, все величины слева от зеркала считаем отрицательными при положительности длин отрезков.

Как следует из рисунка 1, отраженные от зеркала лучи при увеличении угла α становятся все в меньшей степени параксиальными и уровень отклонения можно определить как δ . Как упоминалось, с возрастанием угла α точка пересечения оптической оси отраженным лучом L изменяется, расстояния пересечения обозначены как LM и LK . Параметры отражения в зависимости от величины угла α связаны между собой простыми геометрическими соотношениям, следующими из теоремы синусов

$$2\text{Sin}\gamma = \text{Sin}\alpha, \alpha = \beta + \gamma, \delta = \beta - \gamma, KL = \frac{R\text{Sin}\beta}{\text{tg}\delta}, LM = R + \frac{R\text{Sin}\gamma}{\text{Sin}\delta}. \quad (2)$$

На основе полученных выражений выполнен численный эксперимент на платформе MathCad по моделированию зависимости длины пересечения отраженного луча от зеркала в функции апертурного угла α (рисунок 2).

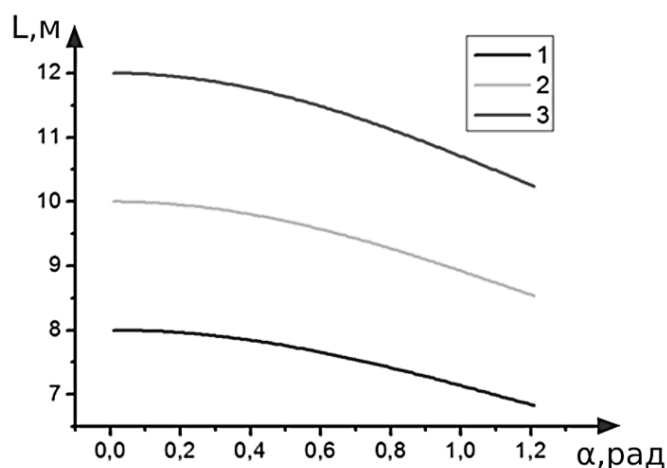


Рисунок 2 – Численный эксперимент для значений LM как расстояния от точки пересечения отраженного луча до зеркала в функции апертурного угла α в соответствии с соотношением (2) для значений радиуса зеркала в м: 4 (1), 5 (2), 6 (3).

Обычный натурный эксперимент по изучению аберраций сферического зеркала можно произвести на основе зеркала с отражающей поверхностью в виде кругового цилиндра, на которое направляется узкая полоска света через щель от обычного источника / светодиода. Падающий луч, наподобие преломления на полуцилиндрической пластинке при изучении закона Снеллиуса, достаточно просто направлять из точки фокуса на отражающую поверхность под различным углом, проводя линии вдоль него до зеркала и после отражения. Тем самым изменяя угол падения на внутреннюю отражающую поверхность полуцилиндра возможно получить базу эмпирических данных, связывающих угол наклона и расстояние от точки пересечения отраженного луча до зеркала.

Заключение. Изучение в учреждениях общего среднего образования законов геометрической оптики и их применения в том числе и на примере систем рефрактивной / рефлективной телескопии целесообразно расширить в формате анализа и схемных построений геометрии лучей на сферической поверхности, дополненных расчетами, данными численного моделирования в сопоставлении их с результатами вполне доступного реального эксперимента.

Список использованных источников

1. Лансберг Г. С. Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. – 6-е изд., стереот. – М. : Физматлит, 2003. – 848 с.
2. Родионов С. А. Основные законы геометрической оптики. // Основы оптики. Конспект лекций. – СПб.: СПб ГИТМО (ТУ), 2000. – 167 с.