

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ ФРАУНГОФЕРА НА РЕШЕТКЕ С
ПЕРЕМЕННЫМ ПЕРИОДОМ: ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ФОКУСИРОВКИ
СВЕТА**

**INVESTIGATION OF FRAUNHOFER DIFFRACTION ON A
DIFFRACTION GRATING WITH A VARIABLE PERIOD: APPLICATION
FOR LIGHT FOCUSING**

Шиллер Михаил Павлович

Студент, УлГУ(Ульяновский государственный университет)

Россия, г. Ульяновск

Камалетдинова Алина Ильдаровна

Студент, УлГУ(Ульяновский государственный университет)

Россия, г. Ульяновск

Иванова Олеся Сергеевна

Студент, УлГУ(Ульяновский государственный университет)

Россия, г. Ульяновск

Салеев Илья Сергеевич

Студент, УлГУ(Ульяновский государственный университет)

Россия, г. Ульяновск

Трандин Семён Евгеньевич

Студент, УлГУ(Ульяновский государственный университет)

Россия, г. Ульяновск

Аннотация

В данной статье исследуется дифракция Фраунгофера на дифракционной решетке с переменным периодом. Предложен новый подход к применению таких решеток для фокусировки света. Выведены формулы, описывающие положение и форму фокальной области. Проведено сравнение с фокусировкой при помощи обычной линзы.

Abstract

This article investigates Fraunhofer diffraction on a diffraction grating with a variable period. A new approach to the application of such gratings for light focusing is proposed. Formulas describing the position and shape of the focal region are derived. A comparison with focusing using a conventional lens is carried out.

Ключевые слова: дифракция Фраунгофера, дифракционная решетка, переменный период, фокусировка света, фокальная область, оптические элементы.

Key words: Fraunhofer diffraction, diffraction grating, variable period, light focusing, focal region, optical elements.

Введение

Дифракция света – это явление огибания световыми волнами препятствий. Дифракционная решетка, оптический элемент, состоящий из большого числа параллельных щелей, широко применяется в спектроскопии. В данной работе мы расширяем классическую теорию дифракции Фраунгофера на случай решеток с переменным периодом и предлагаем новое применение таких решеток – для фокусировки света.

Теоретические основы дифракции Фраунгофера

Дифракция Фраунгофера наблюдается, когда и источник света, и экран находятся на большом расстоянии от дифракционной решетки. В этом случае падающие на решетку лучи параллельны друг другу, и дифрагированные лучи также параллельны друг другу.

Пусть на дифракционную решетку с периодом d падает плоская монохроматическая световая волна с длиной волны λ . Условие для максимумов дифракции имеет вид:

$$d \sin \theta = m \lambda, (1)$$

где θ – угол дифракции, m – порядок максимума ($m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$).

Интенсивность света в дифракционной картине определяется формулой:

$$I = I_0 \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}\right)}{\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}} \right)^2 \left(\frac{\sin\left(\frac{N \pi a \sin \theta}{\lambda}\right)}{\sin\left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}\right)} \right)^2, (2)$$

где I_0 - интенсивность центрального максимума, a - ширина щели, N - число щелей.

Фокусировка света решеткой с переменным периодом

Рассмотрим дифракционную решетку, период которой изменяется вдоль ее поверхности по закону:

$$d(y) = d_0 + \alpha y, (3)$$

где d_0 – период в центре решетки, α – коэффициент, характеризующий изменение периода.

Чтобы сфокусировать свет, мы хотим, чтобы дифрагированные лучи сходились в одной точке – фокусе. Это означает, что угол дифракции θ должен зависеть от координаты y таким образом, чтобы выполнялось условие фокусировки.

Для простоты рассмотрим случай фокусировки в первый порядок дифракции ($m=1$). Тогда условие максимума дифракции имеет вид:

$$(d_0 + \alpha y) \sin \theta(y) = \lambda$$

Выразим $\sin \theta(y)$:

$$\sin \theta(y) = \frac{\lambda}{d_0 + \alpha y}$$

Если мы хотим, чтобы свет сфокусировался на расстоянии F от решетки, то можно использовать приближение малых углов: $\sin \theta \approx \theta \approx y/F$. Подставляя это в предыдущее уравнение, получаем:

$$Fy = d_0 + \alpha y \lambda$$

Решая относительно α , находим:

$$\alpha = \frac{Fy - d_0}{y \lambda}$$

Это уравнение определяет необходимое изменение периода решетки для фокусировки света на заданном расстоянии F . В частности, если α линейно зависит от y , то есть $\alpha = Cy$, то мы получим параболическую зависимость периода от координаты:

$$d(y) = d_0 + Cy^2$$

Форма фокальной области

В отличие от линзы, которая фокусирует свет в точку (в параксиальном приближении), решетка с переменным периодом фокусирует свет в некоторую область. Форма этой области зависит от распределения интенсивности дифрагированного света и от изменения периода решетки.

Для решетки с параболическим изменением периода, как показано выше, фокальная область будет иметь форму вытянутого эллипса. Длина эллипса будет определяться дифракционным пределом и размерами решетки.

Сравнение с фокусировкой линзой

Фокусировка света решеткой с переменным периодом имеет ряд отличий от фокусировки с помощью обычной линзы:

- **Хроматическая aberrация:** Линза обладает хроматической aberrацией, то есть фокусное расстояние зависит от длины волны света. Решетка с переменным периодом также обладает хроматической aberrацией, но ее можно скорректировать, используя решетки сложной формы.
- **Дифракционная эффективность:** Линза фокусирует практически весь падающий свет, тогда как дифракционная решетка распределяет свет по разным порядкам дифракции. Эффективность фокусировки в заданный порядок определяется дифракционной эффективностью решетки.
- **Размер и вес:** Дифракционные решетки, особенно плоские, могут быть значительно тоньше и легче линз, что важно для компактных оптических систем.
- **Возможность создания сложных оптических элементов:** Решетки с переменным периодом позволяют создавать оптические элементы с более сложными функциями, чем обычные линзы, например, для формирования пучков света сложной формы или для коррекции aberrаций.

Заключение

В данной работе предложен новый подход к применению дифракционных решеток с переменным периодом для фокусировки света. Выведены формулы, описывающие зависимость периода решетки от координаты, необходимую для фокусировки на заданном расстоянии. Показано, что решетка с переменным периодом фокусирует свет в некоторую область, а не в точку, и что она обладает рядом отличий от обычной линзы. Полученные результаты могут быть использованы для создания новых компактных и функциональных оптических элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудман, Дж. Введение в Фурье-оптику / Дж. Гудман. - Москва: Мир, 1970. - 364 с.
2. Папини, С. Дифракционные решетки / С. Папини. - Москва: Машиностроение, 1982. - 240 с.
3. Займан, Дж. М. Принципы теории твердого тела / Дж. М. Займан. - Москва: Мир, 1966. - 432 с.