

А. А. ГРИГОРЬЕВ

УО БГУИР (г. Минск, Беларусь)

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДИФРАКЦИИ ФРЕНЕЛЯ В СРЕДЕMAPLE

Информационные технологии дают возможность использовать компьютерные системы не только как средство обучения, но и как средство усиления интеллекта обучаемых, улучшения их развития.

При обучении естественнонаучным дисциплинам необходимо использовать программное обеспечение, которое может являться средой общения, редактирования математических объектов, моделирования процессов и средством презентации материала в лекционном режиме.

Компьютерные модели позволяют получить наглядные и запоминающиеся иллюстрации изучаемых физических процессов, воспроизвести тонкие детали явлений, обычно ускользающие или вовсе недоступные при непосредственном наблюдении. При этом важную роль играют возможности изменять в широких пределах параметры и условия проведения эксперимента.

В качестве примеров использования дифракции можно назвать электронографию и рентгеноструктурный анализ, которые позволяют определить атомное строение исследуемого вещества. Одним из перспективных современных направлений высокоэффективного анализа эритроцитов является лазерная дифрактометрия – методика, позволяющая оценивать качественные и количественные свойства малых частиц по анализу дифракционной картины [1].

Рассмотрим, как в средеMaple можно построить физическую модель явления дифракции Френеля на диске. При моделировании дифракции возникает серьёзная проблема по вычислению математических выражений большой сложности, решение которых требует затрат времени. В данной работе была использована система компьютерной алгебры Maple для оптимизации расчётов. Здесь существенно расширены возможности решения физических задач, ранее не доступных вследствие сложности математического аппарата. Преимущества Maple не ограничиваются только расчётами, здесь можно построить необходимые графики, и сделать исследуемое физическое явление более наглядным.

Разместим источник света S , от которого идёт сферическая волна, на расстоянии a от непрозрачного диска, как модели эритроцита. Исследуем результат дифракции в точке M , расположенной на экране на расстоянии b от диска.

Принцип Гюйгенса-Френеля позволяет заменить источник S на множество вторичных источников, лежащих на фронте волны, идущей из S . Для упрощения вычислений, разобьём вторичную поверхность на зоны, расстояние от границ которых до точки M отличается на половину длины

волны. Таким образом, колебания, возбуждаемые соседними зонами, будут противоположны по фазе и взаимно ослабляют друг друга.

Разобьём поверхность зоны на элементарные площадки ds . Для этого введём α – угол определяющий положение площадки в горизонтальной плоскости, который отсчитывается от оси Ox вправо.

$$ds = \frac{ab\lambda_0}{2(a+b)} d\alpha \quad (1)$$

Запишем формулу расстояния от элементарной площадки до рассматриваемой точки на плоскости с координатами:

$$R_m(\alpha) = \sqrt{\left(b + \lambda_0 \frac{m}{2}\right)^2 - r_m^2 + (x - r_m \cos(\alpha))^2 + (y - r_m \sin(\alpha))^2} \quad (2)$$

Определим действие m -ой зоны Френеля на рассматриваемую точку.

$$A_m = \int_0^{2\pi} A_0 \cos(kR_m(\alpha)) \frac{ab\lambda_0}{2(a+b)} d\alpha \quad (3)$$

Ввиду высокой сложности поиска аналитического решения, для нахождения приближённого значения воспользуемся методом трапеций.

$$A_m = A_0 \frac{\pi ab\lambda_0}{n(a+b)} \left[\sum_{j=1}^{n-1} \cos\left(kR_m\left(\frac{2\pi j}{n}\right)\right) + \cos(kR_m(0)) \right] \quad (4)$$

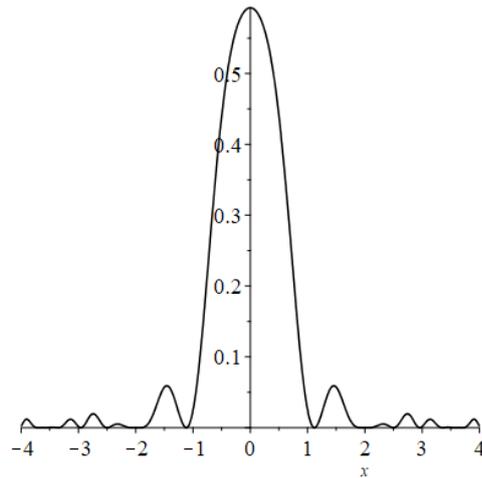
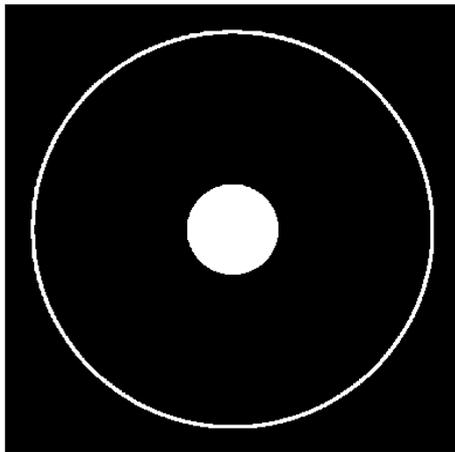


Рисунок 1 – Дифракция на диске при пяти закрытых зонах Френеля

Пусть диском закрыты 4 первых зон Френеля, тогда обозначим интенсивность в рассматриваемой точке как квадрат суммы N первых A_m :

$$I = \left(\sum_{i=1}^N A_i \right)^2. \quad (10)$$

Для визуализации полученных данных воспользуемся такими возможностями среды Maple, как построение графиков плотности функции, в которых при меньших значениях функции в точке, изображение точки становится темнее [2]. Тогда интенсивность в точке на экране в случае пяти зон, открытых после диска, представляется в следующем виде (рис.1).

С точки зрения геометрической оптики в центре дифракционной картины от диска находится тень, однако независимо от размеров диска в этой области наблюдается светлое пятно. Этот, парадоксальный на первый взгляд, результат исторически послужил экспериментальным доказательством волновой теории света.

В ходе работы была построена численная модель процесса дифракции сферической волны на круглом отверстии и на диске.

Интерес представляет собой визуализация результатов моделирования дифракции при различном количестве зон. На основе модели, в среде Maple были построены графики плотности функции интенсивности, которые призваны схематически отображать дифракционные картины, возникающие при заданных условиях. При дифракции на диске в центре геометрической тени наблюдается яркое пятно. Построенная модель позволяет изменять число зон Френеля, которые помещаются в отверстие и такие параметры системы, как расстояния между экранами и длину волны.

Наблюдается совпадение результатов численного моделирования дифракционных процессов с визуальными образами, полученными опытным путём. Это позволяет говорить о хорошем согласовании результатов работы с экспериментальными данными. Результаты данной работы являются легко воспроизводимыми, вследствие доступности среды Maple.

В связи с продолжением исследований в направлении разработки и изучения новых применений элементов дифракционной оптики, данная модель может быть дополнена и применена в дальнейших научных изысканиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин С.Ю. Связь видности дифракционной картины с дисперсией размеров частиц в эктацитометре / С.Ю. Никитин, А.Е. Луговцов, А.В. Приезжев, В.Д. Устинов // Квантовая электроника. – 2011. – Т. 41, № 9. – с. 843-846.
2. А. Матросов. Maple 6. Решение задач высшей математики и механики / А.В. Матросов – СПб.: ВHV-Санкт-Петербург, 2001, с.229