Инициатором этой работы была фраза Ричарда Фейнмана о том, что только поверхности 4-го порядка идеально фокусируют свет, падающий на них. Меня эта фраза очень заинтересовала, и я начал работать над подтверждением, либо опровержением ее.

На сегодняшний день влияние оптических приборов стремительно возрастает. Вследствие этого, актуален вопрос устранения дефектов линз. В погоне за увеличением точности, оптические системы «наращивают» линзы, становятся все больше и массивней. Потому остро стоит вопрос замены нескольких линз, устраняющих дефект, на одну, лишенной его. Эта замена способна начать новый этап использования асферических линз для создания более компактных, легких, точных оптических приборов.

Целью моей было нахождение формулы поверхности, свободной от сферической аберрации, ее формы, и ее геометрических свойств. Для этого поставил задачи в исследовании 2 физических моделей, в которых монохроматический свет падает на линзу. В первом случае падает параллельный пучок света, а во втором, свет точечного источника. Также, важной задачей была разработка программ, симулирующих эти физические модели. Объектом исследования были фокусирующие поверхности, а предметом исследования оптические аберрации.

Как мы знаем, время прохождения света через определенный материал рассчитывается по этой формуле (показываю на слайд). А одинаковое время прохождения путей до точки фокусировки как условие фокусировки лучей. Иными словами: для фокусировки в одну точку, оптические длины путей лучей должны быть равны.

Исходя из этого условия, составил условие фокусировки лучей параллельных оптической оси. И подставил в условие данные физической модели.

После ряда преобразований получил формулу эллипса, лежащего и смещенного на b вдоль оси Y, с F равным апофокусному расстоянию. Далее буду использовать уравнение эллипса без смещения, лежащего вдоль оси X.

Эллипс описан около двух точек, лежащих на большой оси, именуемыми фокусами. Расстояние от центра эллипса до этих точек называется фокальным. (, и равно…(показываю на слайд)).

Также эллипс, как и другие кривые второго порядка, характеризуется эксцентриситетом. Эксцентриситет эллипса - это характеристика, показывающая отклонение от формы окружности и равен отношению фокального расстояния к большой полуоси. Для эллипса эксцентриситет менее 1.

Для определения формы линзы, изготовленной из определенного материала, необходимо найти зависимость эксцентриситета от коэффициента преломления. Оказывается, эксцентриситет обратно пропорционален коэффициенту преломления.

Чтобы получить линзу максимального диаметра, радиус кривизны ее внутренней поверхности следует выбирать равным большой полуоси эллипса.

Тогда можно найти толщину линзы и расстояние от центра эллипса до внутренней стенки.

Эллиптическая линза способно идеально фокусировать монохроматические лучи, параллельные оптической оси. Однако при отклонении от условий модели, начнут появляться различные искажения.

Возможностями одной эллиптической линзы не ограничишься, поэтому необходимо рассмотреть случай со светом точечного источника света.

Чтобы получить эту поверхность, следует определить уравнение луча от угла его наклона к оптической оси в полярной системе координат. (формула на слайде)

С помощью компьютерного моделирования видно, что поверхностью, образуемой двумя уравнениями, является овоид.

Однако если этот овоид является лишь внутренним овалом, овала Декарта. Действительно, внешний овал не соответствует ни математической, ни физической модели. На основании этого могу сказать, что только внутренний овоид овала Декарта является поверхностью, свободной от сферической аберрации.

Программно установил: При n→ ∞, поверхность принимает форму окружности.

А при d→∞, то есть при отдалении линзы от источника света, и f постоянном, поверхность стремиться к форме эллипса, что подтверждает предположение о фокусировке параллельных лучей эллипсом.

Для возможности изучения оптических свойств поверхности, необходимо получить возможность моделирования преломления лучей. И первый шаг для этого – нахождение формулы нормали. Нормаль брал как прямую, перпендикулярную касательной. И произведение угловых коэффициентов равно -1 как условие перпендикулярности. После получения формулы, интегрировал ее в программу наряду с законом Снелла.

Далее нашел продольные размеры овоида, и его наиболее удаленную точку от начала системы координат. Видна аналогия с эллипсом.

Найду угловую ширину овоида (линзы) относительно начала координат. Угловая ширина будет равна удвоенному углу касательной к овоиду от начала координат. Касательная проведена к точке соприкосновения двух уравнений поверхности, а соприкосновение графиков уравнений достигается при нулевом дискриминанте (D=0), тогда угол легко выражается. (в формулу на слайде)

Уравнение для трехмерной поверхности выводится так же, для него же и подходят некоторые формулы двумерного варианта.

Данная линза идеально фокусирует монохроматический свет, излученный точечным источником света, в одну точку.

В этой точке свет фокусируется в бесконечно плотный поток света. Где S\_сег – площадь сферического сегмента, ограниченного овоидом. А R – касательная к овоиду от начала координат.

У меня получилось найти линзу, фокусирующую лучи, точечного источника света, в одну точку. Источник света должен находиться на одной прямой с оптической осью и на расстоянии d от линзы. Однако точность фокусировки реальной линзы, зависит от качества материала и точности изготовления.

Но это не единственный способ фокусировки света, излученного точечным источником, в одну точку. Рене Декарт, в своем труде «Рассуждения о методе и его приложения: Диоптрика, метеоры, геометрия» 1637г., описывал способ, при котором используются две эллиптические линзы, описанные мною ранее. «Если соединить две подобные по форме линзы DBQ и dbq, не равные по величине, или поставить их на произвольном расстоянии друг от друга, лишь бы только их оси были расположены на одной прямой, а эллиптические поверхности обращены друг к другу, то они соберут все лучи, идущие из фокуса одной из низ, помеченного буквой I, в другой фокус, также помеченный буквой I». Данный способ действительно позволяет фокусировать лучи, однако у него есть принципиальный недостаток – это система линз, а не одна линза. Для меня была цель − найти форму одной линзы, свободной от сферической аберрации, и я достиг этой цели.

В ходе работы были достигнуты следующие результаты:

1.Подтверждение факта идеальной фокусировки эллипсом монохроматических лучей, параллельных его большой оси;

2.Определение формы эллиптической линзы;

3.Выявление поверхности, идеально фокусирующей монохроматические лучи точечного источника света;

4.Определение формы и некоторых геометрических свойств овоидной линзы.

5.Разработка программ, моделирующих линзы.

Также были распечатаны на 3D принтере объемные модели линз и поверхности.

Работа в выбранном направлении может быть продолжена изучением геометрических и оптических свойств линзы.