**ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА НА СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ.**

**План**

1. Преломление (и отражение) света на сферических поверхностях

. Тонкие линзы. Формула тонкой линзы

. Построение изображений предметов с помощью тонкой линзы

**1.** **Преломление (и отражение)** **света на сферических поверхностях**

Сферические преломляющие поверхности часто встречаются в практике. Они ограничивают оптические стекла (линзы) - основные детали оптических приборов.

Предположим, что две прозрачные однородные среды с показателями преломления n1 и n2 разделяются сферической поверхностью с радиусом r. Введем понятие **главная оптическая ось**, под которой будем подразумевать прямую, проходящую через источник света (точка А1) и центр кривизны (точка С) преломляющей поверхности ВD, рис.1.

Рассмотрим, как преломляются оптические лучи, падающие из источника света на поверхность раздела двух сред.

Для определения значений углов и длин направленных отрезков воспользуемся следующим правилом. Расстояния будем считать положительными, если они отложены от точки О в направлении распространения светового луча, и отрицательными, если они отложены в сторону, противоположную световому лучу, рис.1.



Рис.1.

Значения всех углов отсчитываются от направления оптической оси или нормали к поверхности ВD, причем углы, откладываемые по ходу часовой стрелки, считаются положительными, в обратном направлении - отрицательными.

Предполагаем, что пучок лучей очень узкий и образует очень малые углы с оптической осью или нормалями к разделяющим поверхностям. Такой пучок лучей называется **параксиальным**. В этом случае можно приближенно заменять синусы и тангенсы значениями этих углов в радианах.

Величина которая зависит только от коэффициентов преломления сред и радиуса поверхности их раздела, называется оптической силой поверхности.

= (n2 - n1)/r, (1)

Из треугольников А1LK, KLC и KLA2 на рис.1 можно получить, что

-n1/S1 + n2/S2 = (n2 - n1)/r,(2)

или

n1/S1 + n2/S2 = D. (3)

Выражение (3) - **формула для сферической преломляющей поверхности**.

Из формулы (3) следует, что при заданных значениях D, S1 и S2 все параксиальные лучи, испускаемые точечным источником света А1, сойдутся в одной точке А2, т.е. преломляющая сферическая поверхность дает точечное (или стигматическое) изображение источника А1. Если учитывать и непараксиальные лучи, то изображение точечного источника А1 будет размытым.

Формула для сферической преломляющей поверхности показывает, что при прохождении лучей через оптическую систему в обратном направлении будет сформировано изображение, в точности совпадающее с исходным источником, т.е. если бы источник света был в точке А2, то его изображение было бы в А1 (взаимность). Выражение (3) охватывает все случаи преломления лучей на сферической поверхности. Используя установленное выше правило знаков для углов и длин направленных отрезков, можно рассмотреть случаи выпуклой (r > 0) и вогнутой (r < 0) поверхности.

Найдем место, где сойдутся параксиальные лучи от бесконечно удаленного источника А1, рис.2а. В этом случае учтем, что S1 = - ∞, a S2 ≡ f2, и, подставив их в формулу (3), получим значение величины f2, определяющей положение точки F2, т.е **второго главного фокуса преломляющей поверхности:**

n2/ f2 = (n2 - n1)/r,

откуда

f2 = n2 /D = r n2/( n2 - n1). (4)

Определим положение **первого главного фокуса** F1, поместив источник света А1 на расстоянии S2 = + ∞, т.е справа от поверхности BD, рис.2б. Для f1 = S1 при S2 = ∞ получим

f1 = - r n1/( n2 - n1). (5)

Используя формулы (4) и (5), определим отношение главных фокусных расстояний:

f2 / f1 = - n2 / n1.



Рис.2.

Преобразуем формулу для сферической преломляющей поверхности (3), введя в нее значения главных фокусных расстояний. Разделим ее левую и правую части на значение оптической силы D преломляющей поверхности (1) и учтем соотношения (4) и (5):

r n2/ S2( n2 - n1) - r n1/ S1( n2 - n1) = 1 → f2/S2 + f1/S1 = 1. (6)

Из формул (4-6) для преломления света на сферической поверхности можно получить формулу для отражения света в сферическом зеркале, если в этих соотношениях положить n2 = - n1 (так как углы меняют знак), тогда получим

f2 = f1 = r/2 (7)

и 1/S1 + 1/S2 = 2/r. (8)

**(8) - формула для отражения света в сферическом зеркале.**

Для плоского зеркала r = ∞, тогда из (8) следует, что S1 = S2 , т.е. изображение в плоском зеркале оказывается расположенным на том же расстоянии за зеркалом, что и предмет перед ним.

**. Тонкие линзы. Формула тонкой линзы**

Случай преломления света на одной сферической поверхности встречается сравнительно редко. Наиболее распространенным элементом оптических систем является линза. Оптические линзы представляют собой объем из однородного прозрачного вещества, ограниченного двумя плоскими, сферическими или цилиндрическими поверхностями. Чаще всего используют сферические поверхности постоянного радиуса кривизны. Реже используют цилиндрические линзы и астигматические линзы, у которых радиусы кривизны для двух ортогональных сечений поверхности разные. Сферические линзы бывают двояковыпуклые, плосковыпуклые, выпукловогнутые, двояковогнутые и др. Для видимого света используются линзы из стекла, для УФ - из кварца, для ИК - из монокристалла каменной соли или кварца.

Будем рассматривать **тонкие сферические линзы**, для которых расстояние между преломляющими поверхностями мало по сравнению с радиусами кривизны ограничивающих поверхностей. Тонкие сферические линзы делятся на собирающие (положительные) и рассеивающие (отрицательные). У собирающих линз середина толще, а у рассеивающих - тоньше, чем их края. Точки пересечения поверхностей с оптической осью линзы называются вершинами преломляющих поверхностей. Расстояние между ними - толщина линзы. Для тонких линз (рис.3) вершины О1 и О2 их сферических поверхностей расположены близко друг от друга и можно считать, что они совпадают с точкой О, которая называется **оптическим центром линзы.** Прямая линия, проходящая через геометрические центры ограничивающих поверхностей - **главная оптическая ось линзы**. Оптический центр линзы обладает тем свойством, что лучи проходят сквозь эту точку не преломляясь.

преломление свет фокус сферический линза



Рис.3.

Линза с показателем преломления n находится обычно в воздухе с

n0 = 1. Используя выражения, полученные выше для преломляющей сферической поверхности, несложно получить **формулу тонкой линзы**:

(n - 1)(1/R1 + 1/R2) = 1/a + 1/b, (9)

где R1 и R2 - радиусы кривизны поверхностей линзы, а и b - расстояния от предмета до центра линзы и от центра линзы до изображения, соответственно.

Радиус кривизны выпуклой поверхности линзы считается положительным, а вогнутой - отрицательным.

Если а = ∞, т.е. лучи падают на линзу параллельным пучком, то

(n - 1)(1/R1 + 1/R2) = 1/b (10)

Соответствующее этому случаю расстояние b = OF = f называется **фокусным расстоянием линзы,** определяемым по формуле

f = 1/(n - 1)(1/R1 + 1/R2). (11)

Если b = ∞, т.е. изображение находится в бесконечности и, следовательно, лучи выходят из призмы параллельным пучком, то a = OF = f. Таким образом, фокусные расстояния линзы, окруженной с обеих сторон одинаковой средой, равны. Точки F - **фокусы линзы**. Фокус - это точка, в которой после преломления собираются все лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси. Если же пучок параллельных лучей образует некоторый угол с главной оптической осью, то после прохождения оптической системы точка их пересечения будет лежать в плоскости, проходящей через фокус перпендикулярно главной оптической оси. Такая плоскость называется фокальной. Таким образом, каждая оптическая система имеет два фокуса и две фокальные плоскости.

(n - 1)(1/R1 + 1/R2) = 1/ f = Ф (12)

Величина называется **оптической силой линзы.** Ее единица измерения - диоптрия (дптр). **Диоптрия**- оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м: 1 дптр=1/м. Для собирающей линзы оптическая сила положительная, для рассеивающей - отрицательная.

Линзы с положительной оптической силой являются собирающими, а с отрицательной - рассеивающими. В отличие от собирающей рассеивающая линза имеет мнимые фокусы. В мнимом фокусе сходятся (после преломления) воображаемые продолжения лучей, падающих на рассеивающую линзу параллельно главной оптической оси. Мнимый фокус будет и у двояковыпуклой линзы, если ее поместить в среду с большим, чем у линзы показателем преломления. Значит, определение линзы как собирающей (с действительным фокусом) или рассеивающей (с мнимым фокусом) зависит как от ее параметров, так и от оптических свойств среды, в которую она помещена.

Учитывая (9), формулу линзы (12) можно записать в виде

/a + 1/ b = 1/f. (13)

Для рассеивающей линзы расстояния f и b считают отрицательными.

**. Построение изображений предметов с помощью тонкой линзы**

Оптическая система (в частности линза) лишь в идеальном случае (параксиальные лучи, n = const, λ = const) будет давать изображение светящейся точки в виде точки. Такое изображение называется **стигматическим**. В реальных оптических системах эти условия не выполняются, в них возникают искажения изображения, называемые **аберрациями** (или погрешностями). Различают **сферическую аберрацию, кому, дисторсию и хроматическую аберрацию.** Реальные оптические системы обладают также **астигматизмом** (погрешностью, обусловленной неодинаковостью кривизны оптической поверхности в разных плоскостях сечения падающего на нее светового пучка), т.е. изображение светящейся точки, полученное с помощью такой системы, имеет вид пятна эллиптической формы или отрезка линии. Для уменьшения этих искажений собирают группы линз, называемых **оптической системой.** Оптическая сила составной системы равна алгебраической сумме оптических сил отдельных линз.

Dопт. сист. = ∑Di.

Важным параметром линзы является линейное или поперечное увеличение Y, равное отношению линейных размеров изображения к размерам предмета:

Y = a/в.(14)

Увеличение положительно для мнимых изображений (изображение прямое), и отрицательно, если изображение предмета перевернутое (действительное изображение). Для плоского зеркала Y = 1, т.е изображение прямое и натуральной величины.

Кроме линейного увеличения оптическую систему можно также характеризовать угловым увеличением W, равным отношению тангенсов углов φ2 и φ1 , т.е.

W = tg φ2 /tg φ1.(15)

Существует простая связь линейного и углового увеличений. Если предмет и изображение находятся в одной среде, то

Y W = 1. (16)

Угловое и линейное увеличения оптической системы различны для разных точек оси, и чем больше линейное увеличение, тем меньше угловое.

Построение изображения предмета в тонких линзах осуществляется с помощью следующих лучей:

)луча, проходящего через оптический центр линзы и не изменяющего своего направления;

) луча, идущего параллельно главной оптической оси; после преломления в линзе этот луч (или его продолжение) проходит через второй фокус линзы;

) луча (или его продолжения), проходящего через первый фокус линзы; после преломления в ней он выходит из линзы параллельно ее главной оптической оси.