**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

**кафедра ЭТТ**

**РЕФЕРАТ на тему:**

**«Описание оптических систем»**

**МИНСК, 2008**

**Элементы оптических систем**

**Оптическая система** – это совокупность оптических сред, разделенных оптическими поверхностями, которые ограничиваются диафрагмами. Оптическая система предназначена для формирования изображения путем перераспределения в пространстве электромагнитного поля, исходящего из предмета (преобразования световых пучков).

Преобразование световых пучков в оптической системе происходит за счет преломления и отражения света поверхностями, а также за счет ограничения пучков диафрагмой. Кроме того, пучки света могут преобразовываться за счет дифракции.

В наиболее общем случае оптическая система может состоять из следующих **функциональных элементов:**

1. - оптические среды,
2. - оптические поверхности,
3. - зеркала,
4. - диафрагмы,
5. - дифракционные оптические элементы.

#### **Оптические среды**

**Оптические среды** – это прозрачные однородные среды с точным значением показателя преломления (с точностью до 4-6 знаков после запятой).

В качестве оптических сред в оптических системах в основном применяют:

1. - воздух (вакуум) (*n ≈ 1*),
2. - оптические стекла – точно известны их показатели преломления и различные оптико-физические свойства (n = 1,42 ÷ 2,0),
3. - оптические кристаллы – работают в более широком диапазоне длин волн, чем стекла.

Оптические системы используются в широком интервале длин волн (от УФ до ИК), поэтому важно знать показатели преломления стекол и кристаллов для разных длин волн. **Дисперсия оптических материалов** – это зависимость показателя преломления от длины волны. Она описывается дисперсионными формулами, называемыми **формулами Зельмейера**:

 (1)

 (2)

Все стекла отличаются друг от друга характером зависимости показателя преломления от длины волны. Можно описывать оптические материалы либо значениями коэффициентов дисперсионной формулы, либо непосредственно значениями показателя преломления для различных длин волн.

Оптические материалы могут работать только в определенном интервале длин волн (от *λ1* до *λ2*), в пределах которого показатель преломления хорошо описывается дисперсионной формулой. Вблизи границ этого интервала зависимость показателя преломления сильно отличается от описанного дисперсионной формулой (показатель преломления либо резко убывает, либо резко увеличивается). Пограничные интервалы длин волн называются **полосами поглощения.** У различных стекол эти полосы разные.

В видимой области спектра имеются **стандартные длины волн**, называемые **Фраунгоферовыми линиями:**

|  |  |
| --- | --- |
| *i* – 365 нм  |  *d* – 587 нм  |
| *h* – 404 нм  |  *D*– 589 нм  |
| *G΄* – 434 нм  |  *C΄* – 643 нм  |
| *g* – 436 нм  |  *C* – 656 нм  |
| *F΄* – 480 нм  |  *r* – 706 нм  |
| *F* – 486 нм  |  *A΄* – 768 нм  |
| *e* – 546 нм  |

Основными характеристиками стекол являются **показатель преломления для основной длины волны**  и **общая дисперсия** , где , – наибольшая и наименьшая длины волн, которые пропускает стекло.

В качестве опорных или основных длин волн для видимой области сейчас используются: центральная длина волны , крайние длины волн . Ранее в качестве основных длин волн использовались: .

Оптическое стекло характеризуется показателем преломления для основной длины волны  (или ), а также общей дисперсией  (или).

Еще одной важной характеристикой стекла является **число Аббе** (коэффициент относительной дисперсии):

 (3)

или

.

*Эрнст Аббе (Ernst Abbe) – немецкий ученый, основатель современной прикладной оптики, научный руководитель фирм Carl Zeiss и Schott (конец XIX века).*

Чем меньше число Аббе, тем больше дисперсия, то есть сильнее зависимость показателя преломления от длины волны. По числу Аббе оптические стекла делят на две группы:

**-**  **-** кроны,

**-**  - флинты.

Комбинация стекол, принадлежащих различным группам, дает возможность создавать высококачественные оптические системы. Кроны и флинты – это основные группы оптических стекол. Их названия сформировались в Англии в XVIII веке, когда впервые было основано промышленное производство оптических стекол.

#### **Оптические поверхности**

**Оптическая поверхность** – это гладкая регулярная поверхность точно известной формы.

Поверхности могут быть:

1. - плоские,
2. - сферические,
3. - асферические.

Чаще всего в оптике применятся плоские поверхности и сферические поверхности. Для сферических поверхностей задается один параметр поверхности – радиус кривизны *R*. Плоской поверхностью можно считать сферическую поверхность с радиусом кривизны равным бесконечности. Для плоскости R = ∞, но условно принято считать, что R = 0.

При компьютерных расчетах удобно использовать не радиус кривизны, а **кривизну поверхности:**

 . (4)

Форма оптических поверхностей должна выдерживаться с точностью меньше длины волны. В идеальных оптических системах отклонения от идеальной формы поверхности не должны превышать , при этом допуск не зависит от размера поверхности.

Плоские и сферические поверхности изготавливаются достаточно просто (методом притирки), и поэтому именно их чаще всего используют в оптических системах. Асферические поверхности используются редко из-за сложности их изготовления и контроля, так как у них различная величина радиуса кривизны по различным направлениям. В настоящее время существуют технологии изготовления асферических поверхностей на станках с программным управлением. Получение точного профиля асферической поверхности возможности возможно только методом ретуши.

#### **Диафрагмы**

**Диафрагма** – это металлический экран с круглым отверстием. На оптических схемах диафрагмы могут быть заданы явно – диафрагма является самостоятельным элементом оптической системы (рис.1.а), или неявно – роль диафрагмы играет край или оправа линзы (рис.1.б).

*а) б)*

*Рисунок 1 – Диафрагмы*

### ***Взаимное расположение элементов в оптической системе***

#### **Центрированная оптическая система.**

**Центрированная оптическая система** – это оптическая система, которая имеет ось симметрии (оптическую ось) и сохраняет все свои свойства при вращении вокруг этой оси.

Для центрированной оптической системы должны выполняться следующие условия:

1. - все плоские поверхности перпендикулярны оси,
2. - центры всех сферических поверхностей принадлежат оси,
3. - все диафрагмы круглые, центры всех диафрагм принадлежат оси,
4. - все среды либо однородны, либо распределение показателя преломления симметрично относительно оси.

Центрированные оптические системы могут включать в себя плоские зеркала и отражающие призмы, ломающие оптическую ось, но по сути не влияющие на симметрию системы (рис.2).

*Рисунок.2 – Центрированная оптическая система с изломом оптической оси*

Нумерация элементов оптической системы ведется по ходу луча (рис.3). Все расстояния между поверхностями (толщины линз или воздушные промежутки) откладываются по оси.

*луч*

1

2

3 4

0 1 2 3 4

*Рисунок 3 – Нумерация элементов оптической системы*

#### **Правила знаков**

Для удобства чтения оптических схем и компьютерных расчетов в оптике приняты единые правила знаков.

Положительным **направлением света** считается распространение слева направо.

**Осевые расстояния** между преломляющими поверхностями считаются положительными, если они измеряются по направлению распространения света (слева направо) (рис.4).

**Радиус кривизны поверхности** считается положительным, если центр кривизны находится справа от поверхности (поверхность обращена выпуклостью влево) (рис. 4).

**Угол между лучом и оптической осью** считается положительным, если для совмещения оси с лучом ось нужно вращать по часовой стрелке (рис. 4).

**Отрезки, перпендикулярные оптической оси** считаются положительными, если они располагаются над осью (рис.4).

*y* 0

*луч*

α0

*R* 0

*d* 0

*Рисунок 4 – Правила знаков*

На чертежах и рисунках всегда указывают знак отрезков и углов. При оптических расчетах считается, что после каждой отражающей поверхности показатель преломления, осевое расстояние и угол отражения меняют знак на противоположный.

Луч может пройти одну и ту же поверхность несколько раз, поэтому физическое и расчетное число поверхностей может различаться. Например, на рис.5.5 показаны 8 физических и 12 расчетных поверхностей.

1 2

8

7

3 4

6

5

9 10 11 12

**3**

**4 5**

**6 7**

**1 2**

**8**

*Рисунок 5 – Физические и расчетные поверхности*

По составу оптические системы делятся на:

1. - линзовые (нет зеркал, кроме плоских для излома оптической оси),
2. - зеркальные,
3. - зеркально-линзовые.

#### **Меридиональная и сагиттальная плоскости**

При анализе оптической системы используются понятия меридиональной и сагиттальной плоскости. **Меридиональная плоскость** – это плоскость, проходящая через оптическую ось (например плоскость рисунка 5).

**Сагиттальная плоскость** – это плоскость, содержащая луч и перпендикулярная меридиональной плоскости (может быть ломаной и рассматривается по частям). Ее название произошло от слова “сагитта” (лат.) – стрела. Примером такой плоскости может служить воображаемая ломаная плоскость, содержащая луч на рис. 5.5 и перпендикулярная плоскости этого рисунка.

### ***Предмет и изображение в оптической системе***

#### **Основные положения**

Оптические системы в основном предназначены для формирования изображения (изображающие оптические системы). Для таких систем вводится понятие предмета и изображения. Для оптических систем, не строящих изображение, понятие предмета и изображения вводится условно.

В геометрической оптике **предмет** – это совокупность точек, из которых выходят лучи, попадающие в оптическую систему.

Из каждой точки предмета выходит гомоцентрический пучок лучей. Вся возможная совокупность точек (от +∞ до -∞) образует **пространство предметов**. Пространство предметов может быть **действительным** или **мнимым.**

Оптическая система делит все пространство на две части:

1. - пространство предметов,
2. - пространство изображений.

**Плоскость предметов и плоскость изображений** – это плоскости, перпендикулярные оптической оси и проходящие через предмет и изображение.

#### **Сопряженные точки**

В геометрической оптике любой точке пространства предметов можно поставить в соответствие сопряженную ей точку в пространстве изображений. Если из некоторой точки в пространстве предметов выходят лучи и эти лучи затем пересекаются в пространстве изображений в какой-либо точке, то эти две точки называются **сопряженными.**

**Сопряженные линии** – это линии, для которых каждая точка линии в пространстве предметов сопряжена с каждой соответствующей точкой линии в пространстве изображений (для идеальных оптических систем).

В реальных оптических системах лучи, выходящие из точки *A*, только приближенно сходятся в точке *A′.* Для идеальных оптических систем каждой точке пространства предметов обязательно соответствует идеально сопряженная ей точка в пространстве изображений.

#### **Типы предмета и изображения**

Существуют два типа предмета и изображения:

**Ближний тип** – предмет (изображение) расположены на конечном расстоянии, поперечные размеры измеряются в единицах длины.

**Дальний тип** – предмет (изображение) расположены в бесконечности, поперечные размеры выражены в угловой мере.

Термины “конечное расстояние” и “бесконечность” достаточно условны и просто соответствуют более или менее близкому расположению предмета (изображения) по отношению к оптической системе.

ЛИТЕРАТУРА

Бегунов Б.Н., Заказнов Н.П. и др. Теория оптических систем. – М.: Машиностроение, 2004 2004

Заказнов Н.П. Прикладная оптика. – М.: Машиностроение, 2002 2002

Дубовик А.С. Прикладная оптика. – М.: Недра, 2002 2002

Нагибина И.М. и др. Прикладная физическая оптика. Учебное пособие.- М.: Высшая школа, 2005 2005