

ЛЕКЦИЯ 10

ЭЛЕМЕНТЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ И ФОТОМЕТРИИ

1 Оптическое излучение.

В зависимости от частоты ν или длины волны в вакууме ($\lambda = c / \nu$), а также от способа излучения и регистрации различают несколько видов электромагнитных волн: радиоволны, оптическое

излучение, рентгеновское излучение и гамма-излучение. Оптическим излучением или светом называются электромагнитные волны (электромагнитное излучение), длины волн которых в вакууме лежат в диапазоне от 10 нм до 1 мм (границы условны). К оптическому излучению относятся инфракрасное, видимое и ультрафиолетовое излучение.

Инфракрасным излучением (ИК) называют электромагнитное излучение, испускаемое нагретыми телами, длины волн которого в вакууме лежат в пределах от 1 мм до 770 нм.

Видимым излучением, или видимым светом, называется электромагнитное излучение с длинами волн в вакууме от 770 нм до 380 нм, которое способно непосредственно вызывать зрительное ощущение в человеческом глазе.

Ультрафиолетовым излучением (УФ) называется электромагнитное излучение с длинами волн в вакууме от 380 до 10 нм

Оптика – раздел физики, изучающий природу света, закономерности его испускания, распространения и взаимодействия с веществом. Учение о свете принято делить на три части:

-геометрическую или лучевую оптику, в основе которой лежит представление о световых лучах;

-волновую оптику, изучающую явления, в которых проявляются волновые свойства света;

- квантовую оптику, изучающую взаимодействие света с веществом, при котором проявляются корпускулярные свойства света.

2 Природа света.

Хотя попытки дать объяснения природы света были сделаны еще в древности (Евклид и Лукреций Кар), первая стройная теория света была разработана И.Ньютоном в конце семнадцатого века. Ньютон считал, что свет – это поток мельчайших частиц – корпускул, поэтому его теория получила название корпускулярной. Одновременно с ним Гук и Гюйгенс развивали волновую теорию, которая представляла свет как упругие колебания среды. Однако, эта теория не получила широкого признания отчасти из-за высокого авторитета Ньютона и отчасти из-за недостатков самой теории. В первой половине XIX века были выполнены работы Юнга, Френеля и Пуассона,

которые обеспечили успех волновой теории. Работы этих исследователей позволили объяснить такие явления как интерференция и дифракция света. Д.Максвелл установил, что свет – это электромагнитные волны.

В тот момент, когда волновая теория стала общепризнанной, были установлены закономерности излучения света атомами и открыт фотоэффект. Эти факты противоречили волновой теории. Позднее была разработана новая теория – дуалистическая, где свету приписывались и волновые и корпускулярные свойства. Луи де Бройль высказал гипотезу о всеобщем дуализме материи: каждая частица обладает волновыми свойствами, и каждой волне могут быть приписаны определенная масса и импульс. Свет – лишь пример проявления дуализма в природе.

3 Геометрическая оптика

Основные законы геометрической оптики были известны задолго до установления физической природы света.

Закон прямолинейного распространения света: в оптически однородной среде свет распространяется прямолинейно. Опытным доказательством этого закона могут служить резкие тени, отбрасываемые непрозрачными телами при освещении светом источника достаточно малых размеров («точечный источник»). Другим доказательством может служить известный опыт по прохождению света далекого источника сквозь небольшое отверстие, в результате чего образуется узкий световой пучок. Этот опыт приводит к представлению о световом луче как о геометрической линии, вдоль которой распространяется свет. Следует отметить, что закон прямолинейного распространения света нарушается и понятие светового луча утрачивает смысл, если свет проходит через малые отверстия, размеры которых сравнимы с длиной волны. Таким образом, геометрическая оптика, опирающаяся на представление о световых лучах, есть предельный случай волновой оптики при $\lambda \rightarrow 0$. Границы применимости геометрической оптики будут рассмотрены при изучении [дифракции света](#).

На границе раздела двух прозрачных сред свет может частично отразиться так, что часть световой энергии будет распространяться после отражения по новому направлению, а часть пройдет через границу раздела и будет распространяться во второй среде.

Закон отражения света: падающий и отраженный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости (*плоскости падения*). Угол отражения γ равен углу падения α .

Закон преломления света: падающий и преломленный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости. Отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления β есть величина, постоянная для двух данных сред:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \quad (133)$$

Закон преломления был экспериментально установлен голландским ученым В. Снеллиусом (1621 г.).

Постоянную величину n называют *относительным показателем преломления* второй среды относительно первой.

Показатель преломления среды относительно вакуума называют *абсолютным показателем преломления*.

Относительный показатель преломления двух сред равен отношению их абсолютных показателей преломления:

$$n = n_2 / n_1 \quad (134)$$

Абсолютный показатель преломления равен отношению скорости света c в вакууме к скорости света v в среде:

$$n = \frac{c}{v} \quad (135)$$

Законы отражения и преломления находят объяснение в волновой физике. Согласно волновым представлениям, преломление является следствием изменения скорости распространения волн при переходе из одной среды в другую. Физический смысл показателя преломления – это отношение скорости распространения волн в первой среде v_1 к скорости их распространения во второй среде v_2 :

$$n = \frac{v_1}{v_2} \quad (136)$$

Рис 25 иллюстрирует законы отражения и преломления света.

Среду с меньшим абсолютным показателем преломления называют оптически менее плотной.

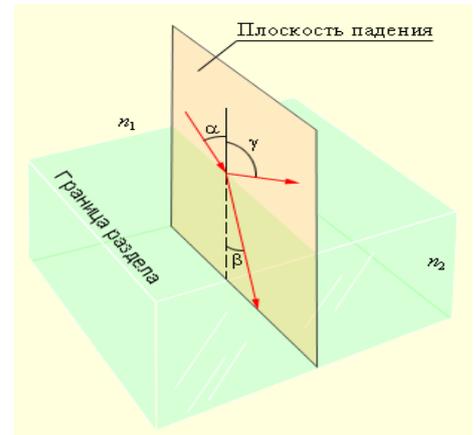


Рисунок 25

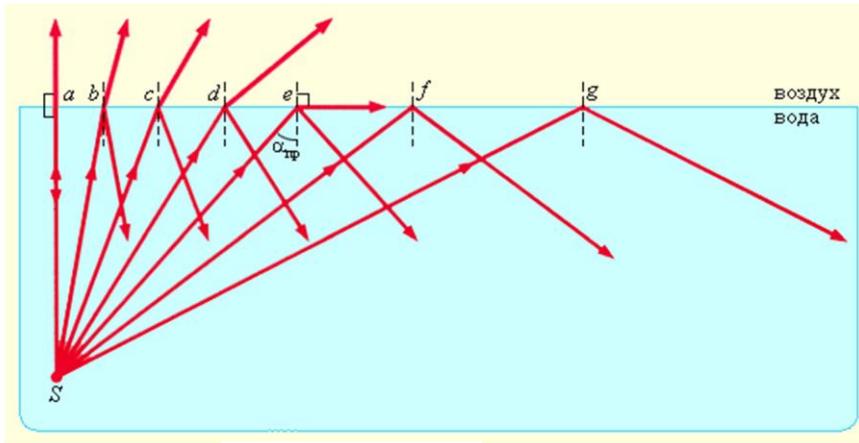


Рисунок 26

углах падения, превышающих некоторый критический угол $\alpha_{\text{пр}}$, который называется *предельным углом полного внутреннего отражения*. На рисунке 26 представлено полное внутреннее отражение света на границе вода–воздух; S – точечный источник света.

Для угла падения $\alpha = \alpha_{\text{пр}}$ $\sin \beta = 1$
 значение $\sin \alpha_{\text{пр}} = n_2 / n_1 < 1$.

Если второй средой является воздух ($n_2 \approx 1$), то формулу удобно переписать в виде

$$\sin \alpha_{\text{пр}} = \frac{1}{n} \quad (137)$$

где $n = n_1 > 1$ – абсолютный показатель преломления первой среды.

Для границы раздела стекло–воздух ($n = 1,5$) критический угол равен $\alpha_{\text{пр}} = 42^\circ$, для границы вода–воздух ($n = 1,33$) – $\alpha_{\text{пр}} = 48,7^\circ$.

Явление полного внутреннего отражения находит применение во многих

оптических устройствах. Наиболее интересным и практически важным применением является создание *волоконных световодов*, которые представляют собой тонкие (от нескольких микрометров до миллиметров) произвольно изогнутые нити из оптически прозрачного материала (стекло, кварц).

Свет, попадающий на торец световода, может распространяться по нему на большие расстояния за счет полного внутреннего отражения от боковых поверхностей (рис 51). При сильном изгибе волокна закон полного внутреннего отражения нарушается, и свет частично выходит из волокна через боковую поверхность. Научно-техническое направление, занимающееся разработкой и применением оптических световодов, называется *волоконной оптикой*.

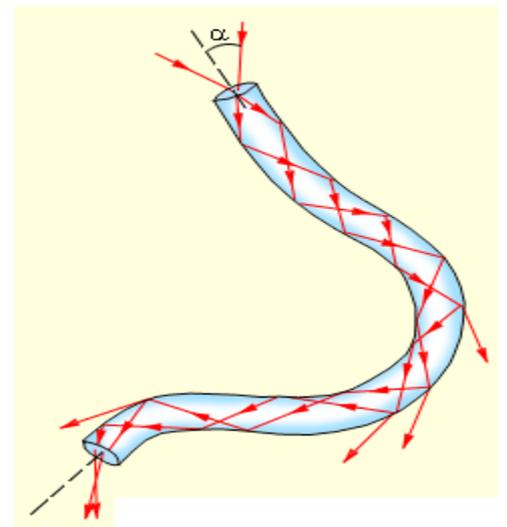


Рисунок 27

При переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную $n_2 < n_1$ (например, из стекла в воздух) можно наблюдать явление *полного отражения*, то есть исчезновение преломленного луча. Это явление наблюдается при

4 Основные фотометрические величины и их единицы

Фотометрия - раздел оптики, занимающийся вопросами измерения интенсивности света и его источников. В фотометрии используются следующие величины:

1) **энергетические** — характеризуют энергетические параметры оптического излучения безотносительно к его действию на приемники излучения;

2) **световые** — характеризуют физиологические действия света и оцениваются по воздействию на глаз (исходят из так называемой средней чувствительности глаза) или другие приемники излучения.

5 Энергетические величины

Поток излучения Φ_e — величина равная отношению энергии W излучения ко времени t , за которое излучение произошло:

$$\Phi_e = \frac{W}{t} \quad (138)$$

Единица потока излучения - **ватт (Вт)**.

Энергетическая светимость (излучательность) R_e — величина, равная отношению потока излучения Φ_e , испускаемого поверхностью, к площади S сечения, сквозь которое этот поток проходит:

$$R_e = \frac{\Phi_e}{S}, \quad (139)$$

т. е. энергетическая светимость представляет собой поверхностную плотность потока излучения. Единица энергетической светимости — **ватт на метр в квадрате (Вт/м²)**. **Энергетическая сила света (сила излучения)** определяется с помощью- понятия о точечном источнике света — источнике, размерами которого по сравнению с расстоянием до места наблюдения можно пренебречь. Энергетическая сила света I_e - величина, равная отношению потока излучения Φ_e источника к телесному углу Ω , в пределах которого это излучение распространяется:

$$I_e = \frac{\Phi_e}{\Omega} \quad (140)$$

Единица энергетической силы света — **ватт на стерадиан (Вт/ср)**. **Энергетическая яркость (лучистость) B_e** - величина, равная отношению энергетической силы света ΔI_e , элемента излучающей поверхности к площади

ΔS проекции этого элемента на плоскость, перпендикулярную направлению наблюдения:

$$B_e = \Delta I_e / \Delta S \quad (141)$$

Единица энергетической яркости — ватт на стерадиан-метр в квадрате ($Вт/(ср \cdot м^2)$).

Энергетическая освещенность (облученность) E_e характеризует величину потока излучения, падающего на единицу освещаемой поверхности. Единица энергетической освещенности совпадает с единицей энергетической светимости ($Вт/м^2$).

6 Световые величины

При оптических измерениях используются различные приемники излучения (например, глаз, фотоэлементы, фотоумножители), которые не обладают одинаковой чувствительностью к энергии различных длин волн, являясь, таким образом, селективными (избирательными). Каждый приемник излучения характеризуется своей кривой чувствительности к свету различных длин волн. Поэтому световые измерения, являясь субъективными, отличаются от объективных (энергетических), и для них вводятся световые единицы, используемые только для видимого света. *Основной световой единицей в СИ* является единица силы света — кандела ($кд$). Кандела – сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ $Вт/ср$.

Световой поток Φ определяется как мощность оптического излучения по вызываемому им световому ощущению (по его действию на селективный приемник света с заданной спектральной чувствительностью).

Единица светового потока — **люмен ($лм$)**: 1 $лм$ — световой поток, испускаемый точечным источником силой света в 1 $кд$ внутри телесного угла в 1 $ср$ (при равномерности поля излучения внутри телесного угла). 1 $лм = 1$ $кд \cdot ср$.

Светимость R физическая величина, равная световому потоку, испускаемому с единицы площади:

$$R = \Phi / S \quad (142)$$

Единица светимости—**люмен на метр в квадрате ($лм/м^2$)**.

Яркость B_ϕ , светящейся поверхности в некотором направлении ϕ есть величина, равная отношению силы света I в этом направлении к площади S проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению:

$$B_{\varphi} = I / S \cos \varphi \quad (143)$$

Единица яркости — кандела на метр в квадрате ($\text{кд}/\text{м}^2$).

Освещённостью E называется физическая величина, равная световому потоку Φ , падающему на единицу площади освещаемой поверхности:

$$E = \Phi / S \quad (144)$$

Единица освещенности—люкс (лк): 1 лк —освещенность поверхности, на 1 м^2 которой падает световой поток в 1 лм (1 $\text{лм} = 1 \text{ лм}/\text{м}^2$).