

ПРЕДМЕТ НА ОПТИКАТА.
ОСНОВНИ ЗАКОНИ НА ГЕОМЕТРИЧНАТА ОПТИКА.
РАЗВИТИЕ НА ВЪЗГЛЕДИТЕ ЗА ПРИРОДАТА НА СВЕТЛИНАТА.

ПРЕДМЕТ НА ОПТИКАТА

Оптика – раздел от физиката, който изучава свойствата и физичната природа на светлината, взаимодействието на светлината с веществото, възникването и получаването на образи в оптичните прибори.

Светлината е електромагнитно излъчване с дължина на вълната във видимия, инфрачервения и ултравиолетовия диапазон на електромагнитния спектър.

Електромагнитен спектър се нарича диапазонът на всички възможни електромагнитни излъчвания. Той условно се разделя на радиовълни, инфрачервено, видимо, ултравиолетово и гама излъчване. Тези участъци от спектъра се различават не по физическата си природа, а по дължината на вълната λ и честотата ν , както и по начина на генерация и регистрация.

Между дължината на вълната и честотата на електромагнитните вълни съществува следната зависимост: $\lambda = c/\nu$, където $c = 3.108 \text{ m/s}$ и е скоростта на светлината във вакуум.

Видимото, инфрачервеното и ултравиолетовото излъчване образуват оптичната област на спектъра на електромагнитните вълни.

- Видима част на електромагнитния спектър - обхваща следния диапазон от дължини на вълната и честоти: λ - (400 - 760) nm; ν - $7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ - $4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$.



Видимата светлина най-често се излъчва от: Слънцето, различни видове газонапълнени лампи, различни лазери, светодиоди и др.

- Инфрачервена част на електромагнитния спектър - обхваща следния диапазон от дължини на вълната и честоти: λ - 760 nm - 1 mm; ν - $4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ - $3 \cdot 10^{11} \text{ Hz}$.

Тази част от спектъра може да се раздели на три области:

- далечна инфрачервена област;
- средна инфрачервена област;
- близка инфрачервена област.
- Ултравиолетова част на електромагнитния спектър - обхваща следния диапазон от дължини на вълната и честоти: λ - (400 - 10) nm; ν - $7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ - $3 \cdot 10^{16} \text{ Hz}$.

ФИЗИЧНА И ГЕОМЕТРИЧНА ОПТИКА

- Физична оптика - разглежда оптичните явления във връзка с физичната природа на светлината. Тя позволява да се установят границите на приложимост на геометричната оптика.
- Геометрична оптика - раздел от оптиката, в който се пренебрегва крайната стойност на дължината на вълната, съответстващо на граничния преход $\lambda \rightarrow 0$, тъй като в това приближение оптичните закони могат да се формулират на езика на геометрията и най-простите оптични явления и получаването на образи в оптичните прибори могат да се получат от чисто геометрични съображения.

ОСНОВНИ ЗАКОНИ НА ГЕОМЕТРИЧНАТА ОПТИКА

- **Закон за праволинейното разпространение на светлината** – в оптично еднородна среда светлината се разпространява праволинейно.
Експериментално доказателство на този закон е получаването на сянка с резки граници при осветяване на непрозрачни предмети от точкови източници.

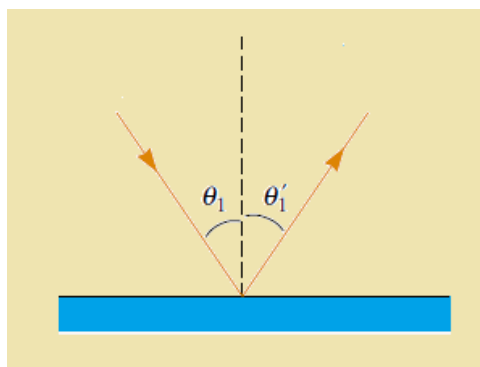
При преминаване на светлината през малки отвори приблизително $1\mu\text{m}$, не се наблюдава образ, екранът е равномерно осветен. При това условие законът се нарушава и отклонението от праволинейното разпространение е толкова по-голямо, колкото по-малък е отворът. Нарушението на закона се обяснява от учението за дифракцията.

- **Закон за независимостта на светлинните снопове** - разпространението на всеки светлинен сноп в дадена среда не зависи от това дали в тази среда се разпространяват или не други светлинни снопове.
Чрез разделяне на светлинния поток на отделни светлинни снопове може да се покаже, че действието на отделните снопове е независимо.

Експерименталното доказателство за независимостта на светлинните снопове се изразява в това, че осветлението на екрана, създавано от няколко светлинни снопа е равно на сумата от осветленията, създавани от всеки сноп поотделно и нараства пропорционално при включване на нови източници.

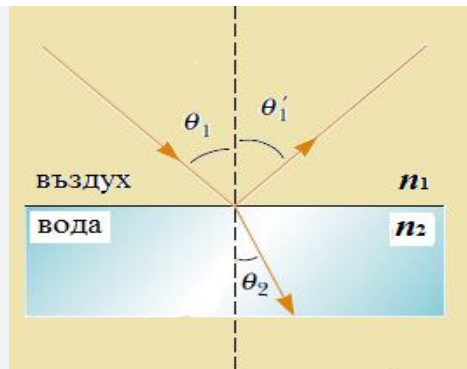
Нарушението на закона се изяснява от учението за интерференция на светлината.

- **Закон за отражение на светлината** - падащият лъч, отразеният лъч и нормалата в точката на падане лежат в една равнина.



Ъгълът на падане е равен на ъгъла на отражение, т.е. $\angle \theta_1 = \angle \theta'_1$

- **Закон за пречупване на светлината** – падащият лъч, нормалата към повърхността и пречупеният лъч лежат в една и съща равнина.



Отношението на синусите на ъгъла на падане и ъгъла на пречупване за дадена среда може да се представи по следния начин:

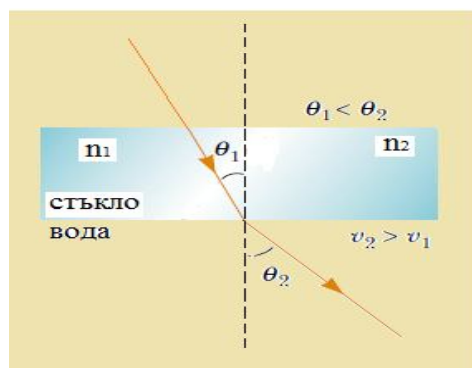
$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (1)$$

Уравнение (1) е известно като закон на Снелиус.

$n_{21} = n_2 / n_1$ се нарича относителен показател (коефициент) на пречупване на втората среда (вода) спрямо първата (въздух). В случаите когато първата среда е вакуум, т.е. $n_1 = n_0$, то показателят (коефициентът) на пречупване се нарича абсолютен.

Ако светлината се разпространява от среда с по-голям показател на пречупване n_1 (оптически по-плътна среда) в среда с по-малък показател на пречупване n_2 (оптически по-рядка среда), т.е. $n_1 > n_2$, например от стъкло към вода се получава:

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{n_1}{n_2} > 1 \quad (2)$$



От уравнение (2) се вижда, че ъгълът на пречупване θ_2 ще бъде по-голям от ъгъла на падане θ_1 . Следователно при преминаване на светлината от оптически по-плътна в оптически по-рядка среда пречупеният лъч се отдалечава от нормалата. При увеличаване на ъгъла на падане се увеличава и ъгълът на пречупване и при дадена стойност на ъгъла на падане θ_1 ъгълът на пречупване θ_2 става равен на 90° . При това условие пречупеният лъч ще се плъзне по граничната повърхност между двете пречупващи среди. Ъгълът на падане, при който ъгълът на пречупване става 90° , се нарича граничен ъгъл.

Когато светлинният лъч пада от оптически по-плътна в оптически по-рядка среда под ъгъл по-голям от граничния, той ще се отрази напълно в по-плътната среда. Това явление се нарича *пълно вътрешно отражение*.

РАЗВИТИЕ НА ВЪЗГЛЕДИТЕ ЗА ПРИРОДАТА НА СВЕТЛИНАТА

Първите представи за природата на светлината са създадени още от древните гърци и египтяни. Научните открития и усъвършенстването на различните оптични прибори спомагат за по-нататъшното им развитие и видоизменение. Така в края на XVII век се оформят две основни теории – корпускулярна (Нютон) и вълнова (Хюйгенс).

- **Корпускулярна теория** – светлината представлява поток от светлинни частици (корпускули), излъчени от светещите тела, които се разпространяват праволинейно.

Движението на корпускулите Нютон описва чрез законите на механиката.

Например:

- обяснява отражението на светлината аналогично на отражението на еластично топче при удара му в дадена плоскост, където също е в сила законът за равенство на ъглите на падане и отражение;
- обяснява независимостта на светлинните лъчи с това, че корпускулите не взаимодействат помежду си;
- обяснява праволинейното разпространение на светлината със закона за инерцията;
- не обяснява правилно законът за пречупване на светлината.

Пречупването на светлината Нютон обяснява с привличането на корпускулите от пречупващата среда, вследствие на което скоростта им се променя при прехода от едната в другата среда. Следствие от теорията на Нютон е, че отношението на синусите на ъгъла на падане и на пречупване е постоянна величина:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v}{c} = n$$

Тъй като показателят на пречупване на средата винаги е по-голям от единица, то от теорията на Нютон следва, че $v > c$, т.е. скоростта на разпространение на светлината в дадена среда трябва да бъде винаги по-голяма от скоростта на разпространението и във вакуум, което не е вярно.

- **Вълнова теория** – светлината представлява еластична вълна, разпространяваща се в еластична хипотетична среда – етер, запълващ цялото пространство и проникващ във всички тела.

Вълновата теория се основава на принципа на Хюйгенс, според който всяка точка, до която е достигнал вълновият фронт е източник на елементарни сферични вълни, разпространяващи се във всички посоки. Обвивките на тези вълни представляват новият фронт на вълната. Отнася се до направлението на разпространение на вълновия фронт, който се отъждествява с геометрична повърхност, а не с разпространение на вълната, това по същество е принцип на геометричната оптика. Вълновата теория обяснява правилно четвъртия закон на геометричната оптика.

Принципът на Хюйгенс дава възможност да се анализира разпространението на светлината и да се изведат законите за отражение и за пречупване.

Вълновата теория има следните недостатъци:

- явленията интерференция, дифракция и поляризация могат да се обяснят само ако се допусне, че светлинните вълни са напречни;
- не предполага периодичност в разпространението на вълната, т.е сферичните вълни не следват една след друга на равни разстояния;
- не се използва понятието дължина на вълната;
- разглежда праволинейното разпространение на светлината, без да отчете явлението дифракция.

Развитие на вълновата теория – XIX век

- Нютон (XVII век) – наблюдава нютонови пръстени и предполага периодичност на светлинните процеси. Въвежда понятията за пристъп на леко отражение и леко преминаване;
- Юнг (1801 г.) – обяснява оцветяването на тънки пластинки, в следствие на интерференция на отражение;
- Френел (1815 г.) - допълва принципа на Хюйгенс с принципа за интерференция на Юнг. Обяснява не само праволинейното разпространение на светлината, но и разпространението на светлината при преминаването и покрай препятствие, т.е явлението дифракция;
- Френел и Араго – изучават поляризацията на светлината и интерференцията на поляризираната светлина. Допускат, че светлинната вълна е напречна;
- Фарадей (1846 г.) – открива въртенето на равнината на поляризация в магнитно поле;
- Максвел – теоретически доказва, че измененията на електромагнитното поле не са локализирани в пространството, а се разпространяват със скоростта на светлината във вакуум;
- Херц – (1888 г.) – потвърждава опитно това заключение.

Въз основа на натрупаните експериментални данни в областта на науката за светлината се установява, че между светлинните, електричните и магнитните явления съществува тясна връзка. Поради това през 70-те години на миналия век Максвел създава електромагнитната теория за светлината.

- **Електромагнитна теория** – светлината е електромагнитно явление, т.е тя е електромагнитна вълна с определена дължина и се разпространява с определена скорост.

Електромагнитната теория обяснява добре разпространението на светлината.

Недостатъци на електромагнитната теория:

- не обяснява взаимодействието на светлината с веществото;
- не обяснява явлението дисперсия на светлината (зависимостта на показателя на пречупване от дължината на вълната).

Според електромагнитната теория за отношението между скоростта на светлината във вакуум и скоростта в дадена среда с диелектрична проникваемост ϵ се получава:

$$\frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon\mu} = n$$

Този израз дава връзката между електричните, магнитните и оптичните константи на веществото.

Максуел предполага, че величините ε и μ не зависят от дължината на вълната на светлината, т.е. електромагнитната теория не може да обясни явлението дисперсия на светлината.

Този недостатък е бил решен в края на XIX век от Лоренц, който предлага електронната теория.

- **Електронна теория** – диелектричната проницаемост ε зависи от дължината на вълната. Явленията излъчване и поглъщане на светлината от веществото се обясняват чрез трептенията на електроните в атомите.

Недостатъци на електронната теория:

- не обяснява взаимодействието на светлината с веществото;
- не обяснява разпределението на енергията по дължини на вълните при топлинното излъчване на абсолютно черно тяло.

Въпреки големите успехи на електромагнитната теория на Максвел и на електронната теория на Лоренц те до известна степен са противоречиви и при прилагането им се срещат редица трудности.

Тези противоречия и трудности са преодоляни с хипотезата, изказана от Планк през 1900 г. Според нея светлината се излъчва не непрекъснато, а дискретно - на определени порции (кванти), чиято енергия се определя от честотата, съгласно израза:

$$E = h\nu,$$

където h е константата на Планк.

В теорията на Планк въвеждането на етер не е необходимо. Тази теория обяснява излъчването на абсолютно черно тяло.

През 1905 г. Айнщайн създава квантовата теория.

- **Квантова теория** – според нея не само излъчването, но и разпространението на светлината става във вид на поток от кванти – фотони, чиято енергия се определя от съотношението $E = h\nu$.

Квантовите представи за природата на светлината добре се съгласуват със законите за излъчване и поглъщане на светлината, както и със законите на взаимодействие на светлината с веществото.

Дългият път на развитие довежда до съвременните представи за двойствения корпускуларно-вълнов характер на светлината.

Корпускуларно-вълнов дуализъм – Светлината притежава едновременно както вълнови, така и корпускуларни свойства. Тази двойственост е присъща и за поток елементарни частици – атоми, електрони, позитрони и др.

Следователно може да се каже, че светлината представлява единство на дискретност и непрекъснатост.