

ТЕМА 8_ГЕОМЕТРИЧНА ОПТИКА

1. Геометрична оптика. Общи положения.

Всеки обект може да стане видим по два начина:

- ако самият той е източник на светлина;
- ако отразява падащата върху него светлина.

За положението на предметите ние съдим по предположението, че светлината от обекта до наблюдателя се разпространява праволинейно. Този дял от оптиката, в който се пренебрегва факта, че дължината на вълната е крайна величина, се нарича геометрична или лъчева оптика. Основно понятие в нея е „светлинен лъч“ – безкрайно тесен сноп светлина.

В голяма част от наблюденията на хората светлината се разпространява праволинейно и нашите възприятия са се формирали според този факт – фиг. 7.1.



Фиг. 7.1. Примери за праволинейно разпространение на светлината.

Закони на геометричната оптика:

Първи закон: Закон за праволинейното разпространение – в еднородна среда светлината се разпространява праволинейно.

Втори закон: Закон за независимост на светлинните лъчи – лъчите при пресичане не си взаимодействат един с друг. (Това е вярно при не много големи интензитети на светлината – при мощни лазерни лъчения се нарушава.)

2. Скорост на светлината и показател на пречупване.

Във вакуум всички електромагнитни вълни, в това число и светлината, се разпространяват с една и съща скорост $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s. В дадена материална среда светлината се разпространява със скорост v , която е по-малка от тази във вакуум. Скоростта ѝ зависи от физичните свойства на средата и от честотата на вълната.

Беличината, която показва колко пъти скоростта на светлината в дадена среда е по-малка от скоростта ѝ във вакуум, се нарича показател на пречупване на средата:

$$n = c/v \quad (7.1)$$

Показателят на пречупване на всички среди е число, по-голямо от единица, т.е. няма такава среда, в която скоростта на светлината да е по-голяма от скоростта на светлината във вакуум. За въздух $n = 1,0003$; за стъкло $n \sim 1,5$; за водата $n \sim 1,33$; за диамант $n \sim 2,42$.

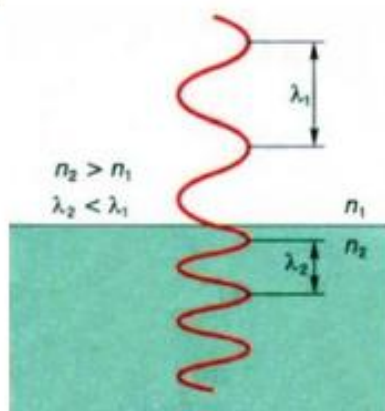
Оптически по-плътна среда - средата с по-голям показател на пречупване се нарича оптически по-плътна, а тази среда, която има по-малък показател на пречупване, се нарича оптически по-рядка.

Честотата на светлинните вълни f се определя от източника и **не зависи** от свойствата на средата, в която се разпространява вълната.

Като се има предвид връзката между честотата, дължината на вълната и скоростта на една вълна: $v = \lambda \cdot f$, за дължината на вълната в различни среди се получава:

$$\lambda = c/n \cdot f \quad (7.2)$$

Следователно дължината на вълната зависи от показателя на пречупване на средата. Когато светлината навлиза в оптически по-плътна среда, дължината на вълната намалява, тъй като намалява скоростта на разпространение – фиг. 7.2.



В среда с по-голям показател на пречупване, дължината на вълната намалява

Фиг. 7.2. Зависимост на дължината на вълната на светлината от показателя на пречупване на средата.

3. Отражение на светлината. Принцип на Ферма.

Когато светлината достигне границата на две оптични среди, в които скоростите на разпространение са различни, се наблюдават явленията отражение и пречупване. На границата на двете среди се получават два нови лъча. Единият лъч се връща в първата среда и се нарича **отразен лъч**, а другият преминава във втората среда и се нарича **пречупен лъч**.



Фиг. 7.3 Отражение на светлината.

Явлението на границата на две оптични среди, при което светлинният лъч се връща в първата среда се нарича **отражение на светлината**.

Закони за отражението:

Първи закон - падащия лъч, отразеният лъч и перпендикулярът, издигнат към граничната повърхност в точката на падане, лежат в една равнина, наречена равнина на падане.

Втори закон: **Ъгълът на падане е равен на ъгъла на отражение, т.е. $\alpha = \beta$** – фиг. 7.3. Ако лъчът пада перпендикулярно на границата на две среди (ъгълът на падане е 0°), то ъгълът на отражение също ще бъде 0° .

Ъглите се измерват между перпендикуляра към граничната повърхност в точката на падане и съответния лъч, като и стойностите им са в интервала от 0° до 90° .

Видове отражение:

Огледално отражение - отражение, при което успореден сноп светлинни лъчи, променяйки посоката си на разпространение след отражението остава отново успореден, се нарича **огледално отражение** – фиг. 7.4.



Фиг. 7.4. Огледално отражение.

Дифузно отражение – отражение от грапава повърхност, при което успореден сноп светлина нарушава своята успоредност след отражението, се нарича **дифузно отражение** – фиг. 7.5.

Дифузно отражение – отражение от грапава повърхност, при което успореден сноп светлина нарушава своята успоредност след отражението, се нарича дифузно отражение – фиг. 7.5.



Фиг. 7.5. Дифузно отражение.

Коефициент на отражение - отношението между интензитета I на отразената светлина и интензитета I_0 на падащата светлина се нарича коефициент на отражение:

$$R = I/I_0 \quad (7.3)$$

Коефициентът на отражение R е безразмерна величина, която показва каква част от интензитета на падащата вълна се отразява от граничната повърхност.

При нормално падане ($\alpha = 0^\circ$) и малки ъгли на падане коефициентът на отражение се дава с израза:

$$R = (n_1 - n_2)^2 / (n_1 + n_2)^2 \quad (7.4)$$

Коефициентът на отражение зависи от разликата в показателите на пречупване на двете среди, като не зависи от посоката на разпространение на лъчите (от първата към втората среда или обратно).

За границата въздух – стъкло при нормално падане $R = 4\%$ и $T = 96\%$.

Принцип на Ферма:

Светлината се разпространява по такъв път, за изминаването на който ѝ е необходимо минимално време.

$$t = S/v = n \cdot S/c \quad (7.5)$$

Където S е дължината на пътя, изминат от светлината, t е времето, n е показателят на пречупване, а c е скоростта на светлината във вакуум.

Произведението от геометричната дължина на пътя по показателя на пречупване на средата се нарича оптична дължина на пътя:

$$L = n \cdot S \quad (7.6)$$

Тогава принципът на Ферма може да се формулира и по следния начин:

Светлината се разпространява по такъв път, оптичната дължина на който е минимална.

От принципа на Ферма следва и закона за обратимостта на светлинните лъчи: ако светлината се разпространява от точка 1 до точка 2 по един път, то в обратна посока – от точка 2 до точка 1 тя ще се разпространява по същия път, тъй като ако оптичният път е минимален при разпространението от точка 1 до точка 2, то същият оптичен път ще бъде минимален и в обратната посока.

4. Пречупване на светлината. Закон на Снелиус.

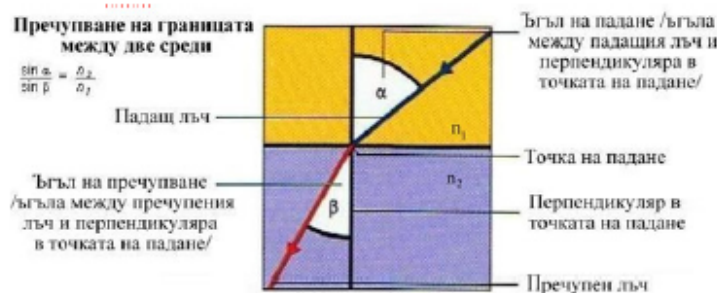
При преминаване на светлината през граничната повърхност между две среди с различни показатели на пречупване светлината изменя посоката на разпространение си при навлизане от една среда в друга. Това явление се нарича **пречупване на светлината**.

Явлението на границата на две оптични среди, при което светлинния лъч преминава във втората среда като променя посоката на своето разпространение се нарича **пречупване на светлината**.

Първи закон на пречупването:

Падащият лъч, пречупеният лъч и перпендикулярът, издигнат към граничната повърхност в точката на падане, лежат в една равнина.

Закон на Снелиус (втори закон на пречупването):



Фиг. 7.6. Пречупване на светлината.

Отношението на синуса на ъгъла на падане α към синуса на ъгъла на пречупване β не зависи от големината на ъгъла на падане и е равно на показателя на пречупване на втората среда n_2 към показателя на пречупване на първата среда n_1 – фиг. 7.6.

$$\sin \alpha / \sin \beta = n_2 / n_1 \quad \text{или} \quad n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta \quad (7.7)$$

От закона на Снелиус следва, че когато светлината навлиза от оптически по-рядка среда в оптически по-плътна среда ($n_1 < n_2$), ъгълът на пречупване β е по-малък от ъгъла на падане α ($\beta < \alpha$).

Както бе изяснено по-горе за светлината е валиден принципът за обратимост на светлинните лъчи, т.е. ако разпространението е в обратна посока светлината ще мине по същия път. Следователно при преминаване на светлинен лъч от оптически по-плътна в оптически по-рядка среда ъгълът на пречупване е по-голям от ъгъла на падане.

При преминаване на светлината от оптически по-рядка в оптически по-плътна среда винаги има отразен и пречупен лъч – фиг. 7.7.



Фиг.7.7. Отражение и пречупване на границата между две среди с различна оптична плътност.

Примери:

- „Счупването“ при наблюдение на обекти в течност се дължи на пречупването на светлината. Мозъкът възприема светлинните лъчи така, сякаш се движат по права линия, но всъщност те са променили посоката си поради пречупването. Оттук следва, че предметът всъщност не се намира там, където изглежда, че е – фиг.7.8, фиг. 7.9.

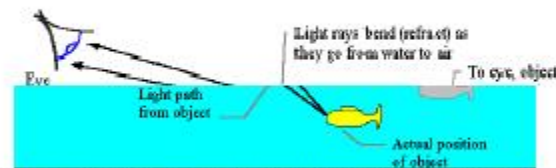
- С тъмната стрелка стрелка на фиг. 7.8 е означено реалното положение на сламката във водата, а със светлата – това, което вижда окото от страната

на въздуха. Краят X изглежда за окото на дълбочина Y – доста по-плитко от реалната X.



Фиг.7.8. Наблюдение на сламка във вода.

Refraction at Surface of Water

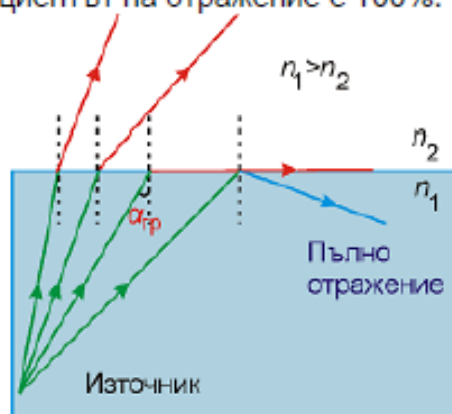


Фиг. 7.9. Подводната лодка се вижда на различно място и на по-малка дълбочина.

5. Пълно вътрешно отражение. Приложения.

Граничен ъгъл - ъгълът на падане, при който при преминаване от оптически по-плътна среда в оптически по-рядка среда ъгълът на пречупване става 90° , се нарича граничен ъгъл – фиг. 7.10.

Когато при преминаване на светлината от оптически по-плътна среда в оптически по-рядка среда ъгълът на падане е по-голям от граничния ъгъл, се наблюдава явлението пълно вътрешно отражение – фиг. 7.10. Тогава има само падащ лъч и отразен лъч, но няма пречупен лъч - светлината остава изцяло в първата среда като коефициентът на отражение е 100%.



Фиг. 7.10. Обяснение на явлението пълно вътрешно отражение.

Когато ъгълът на падане стане равен на граничния ъгъл, ъгълът на пречупване е 90° . Тогава от закона на Снелиус (7.7)

$$\begin{aligned} n_1 \cdot \sin \alpha_{cp} &= n_2 \cdot \sin 90^\circ = n_2 ; \\ \text{или } \sin \alpha_{cp} &= n_2 / n_1 \end{aligned} \quad (7.8)$$

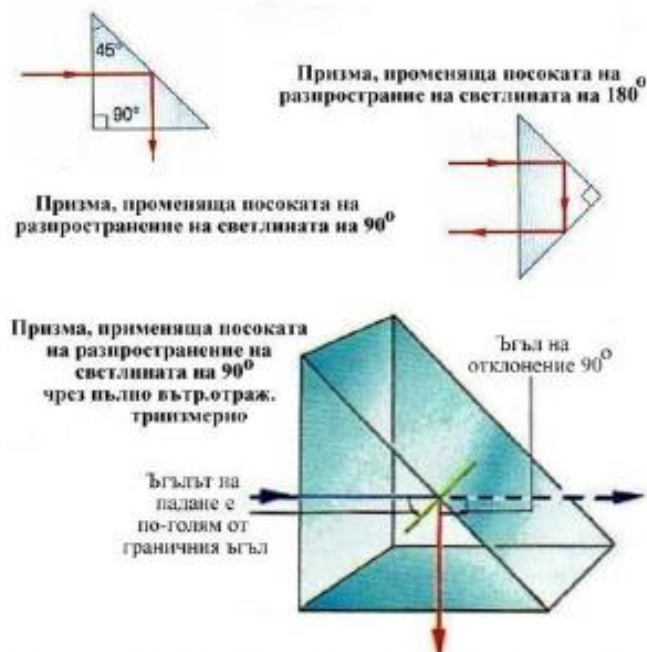
Пълно вътрешно отражение:

Явлението, при което се наблюдава само отражение на светлината при преминаването ѝ от оптически по-плътна среда в оптически по-рядка среда, когато ъгълът на падане е по-голям от граничния ъгъл се нарича **пълно вътрешно отражение**.

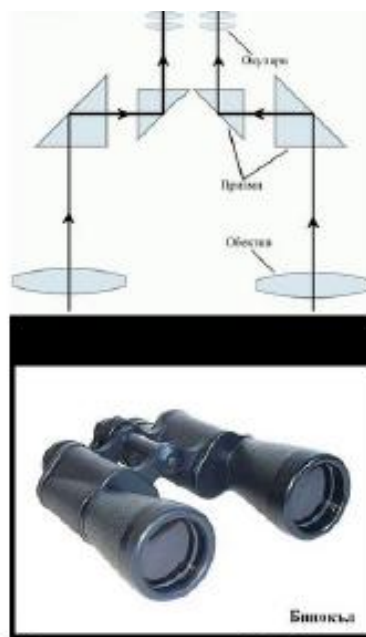
6. Приложения на пълното вътрешно отражение.

6.1 Приложения в оптичните уреди.

Пълното вътрешно отражение (ПВО) от призми – фиг. 7.11, фиг. 7.12 се използва в биноклите, перископите и други оптични прибори за промяна посоката на разпространение на светлината. Ако се използват огледала за подобни цели, при всяко отражение ще се губят най-малко 4% - 5% от интензитета на светлината. При сложни оптични уреди, при които има многократни отражения интензитетът на светлината ще намалее недопустимо. Припомняме, че при пълното вътрешно отражение коефициентът на отражение е 100%. Критичният ъгъл за стъкло е $41,8^\circ$; ъгълът на падане в призмите (фиг. 7.11) е 45° , което гарантира пълното вътрешно отражение на лъча.



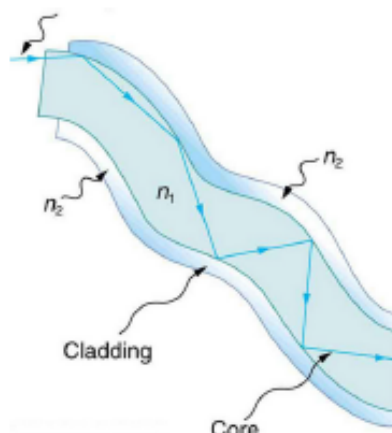
Фиг. 7.11. Промяна на посоката на разпространение на светлинни лъчи чрез призма.



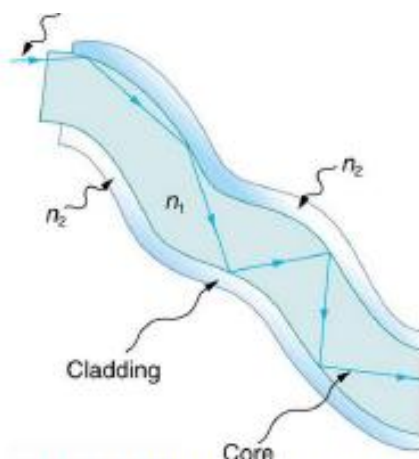
Фиг. 7.12. Приложение на ПВО при бинокъл.

6.2 Приложения на ПВО във влакнестата оптика и системите за предаване на информация

Пълното вътрешно отражение е в основата на влакнестата оптика. Оптичните влакна са изключително тънки нишки от кварцови стъкла с голяма прозрачност. Светлината претърпява многократно пълно вътрешно отражение от околната повърхност на влакното и се разпространява само вътре във влакното – фиг. 7.13.



Фиг. 7.13. Оптично влакно.

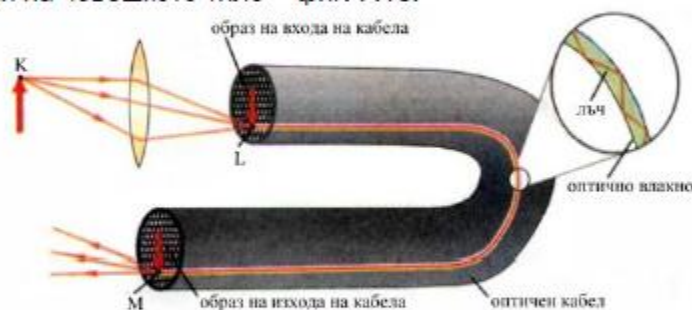


Фиг. 7.13. Оптично влакно.



- В съвременните телекомуникационни системи все по-широко се използва влакнестата оптика – фиг. 7.14. Почти целият трансфер на информация по кабели се реализира чрез влакестооптични линии за връзка. По оптични кабели се предават телевизионни програми, телефонни разговори, компютърна информация и др. Изградени са междуконтинентални оптични линии за връзка.

- Оптичните кабели, съставени от голям брой влакна, широко се използват в медицинската диагностика за пренасяне на оптични образи и наблюдаване на вътрешни органи на човешкото тяло – фиг. 7.15.



Пренасяне на образ чрез оптичен кабел (свои от оптични влакна). Лъчите, излизащи от точка К на предмета, се фокусират върху входа на едно от влакната (точка L). След това светлината преминава по влакното и на изхода му се наблюдава образът М на точката. Така всяко влакно пренася образа на различни точки от предмета.

Фиг. 7.15. Пренасяне на образ чрез оптичен кабел.

- Оптичните влакна могат да бъдат използвани и за декорация, включително за табели, за изкуствени коледни дръвчета, за осветление – фиг. 7.16.



Фиг. 7.16. Приложение на оптични влакна с декоративна цел.