

# СФЕРИЧНИ ЛЕЩИ

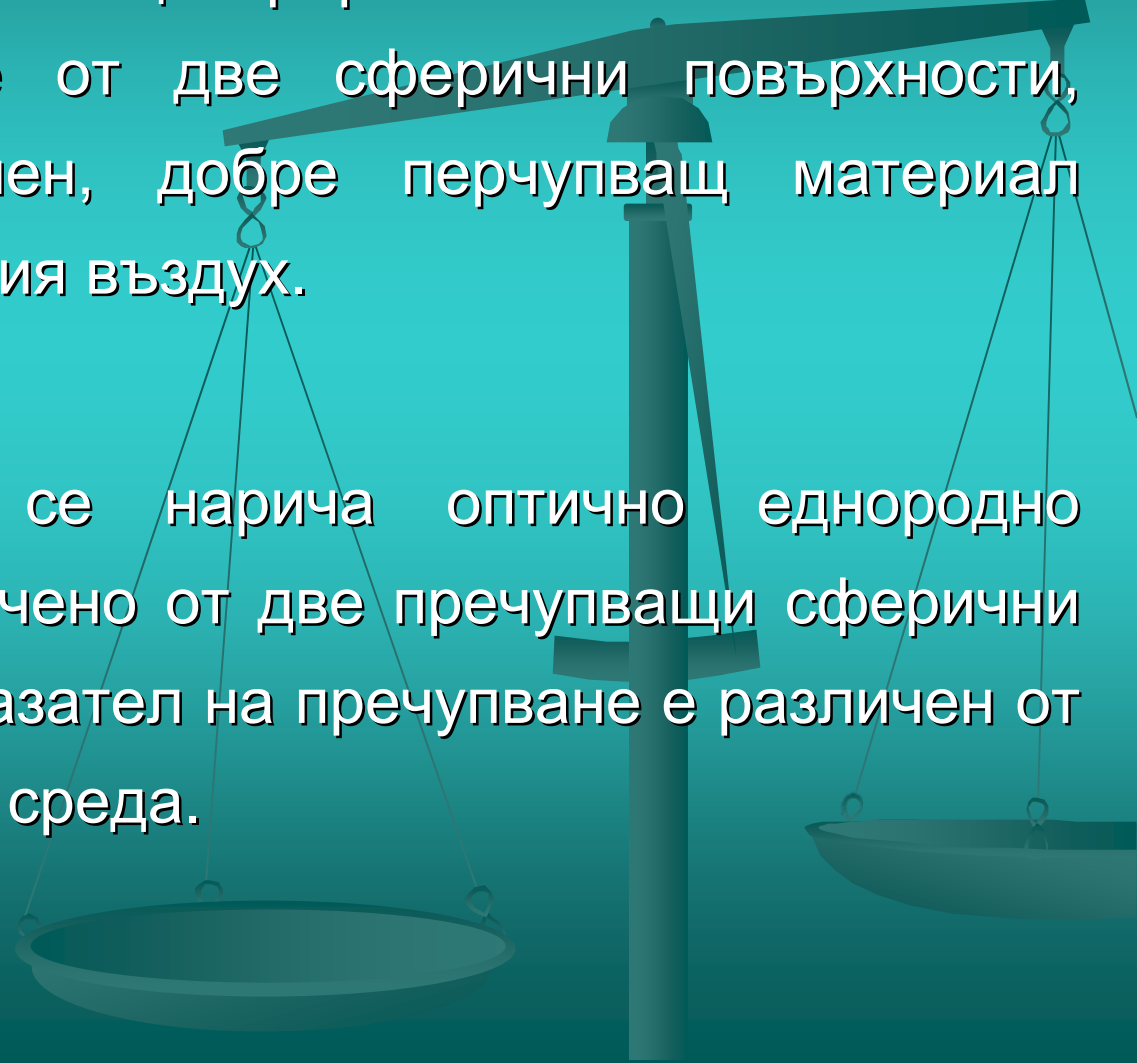


Лектор: проф. д-р Т. Йовчева

# 1. Лещи

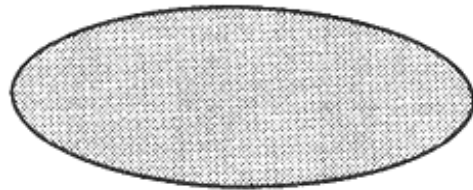
✧ Най-простият случай на центрирана оптична система е система, състояща се от две сферични повърхности, ограничаващи прозрачен, добре пречупващ материал (стъкло) от обкръжаващия въздух.

☞ *Сферична леща* се нарича оптично еднородно прозрачно тяло, ограничено от две пречупващи сферични повърхности, чиито показател на пречупване е различен от показателя на околната среда.

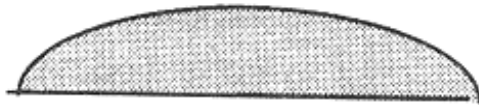


# Видове лещи:

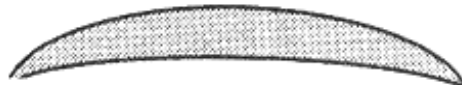
*Двойно  
изпъкнала*



*Плоско  
изпъкнала*



*Вдлъбната  
изпъкнала*



а) Изпъкнали (събирателни)

Дебелината на лещата в средата е по-голяма от тази в краищата.

Успоредни на оптичната ос лъчи, след пречупването от лещата се събират във втория фокус  $F'$ .

## б) Вдлъбнати (разсейвателни)

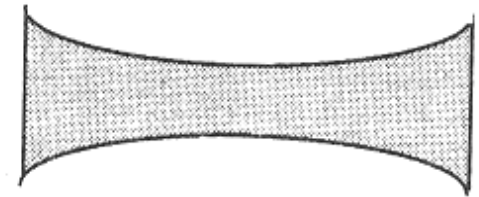
Дебелината на лещата в средата е по-малка от тази в краищата.

Лъчите, успоредни на оптичната ос след пречупване от лещата се разпространяват така, сякаш са излезли от първия фокуса  $F$ .

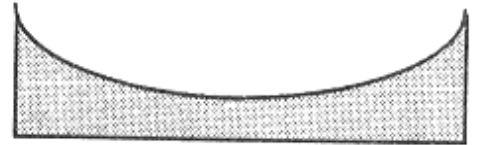
Ако  $n_{\text{лещата}} > n_{\text{средата}}$  - лещата пречупва по-силно от околната среда. Стъклена леща във въздух.

Ако  $n_{\text{лещата}} < n_{\text{средата}}$  - лещата пречупва по-слабо от околната среда. Въздушна леща във вода.

*Двойно  
вдлъбната*



*Плоско  
вдлъбната*



*Изпъкнало  
вдлъбната*



☞ **Фокусно разстояние -  $f$ .** Изразява се с отрицателно число и определя разсейващата способност на лещата.

☞ **Оптична ос** – правата, която минава през центровете ( $C_1$  и  $C_2$ ) на двете сферични повърхности.

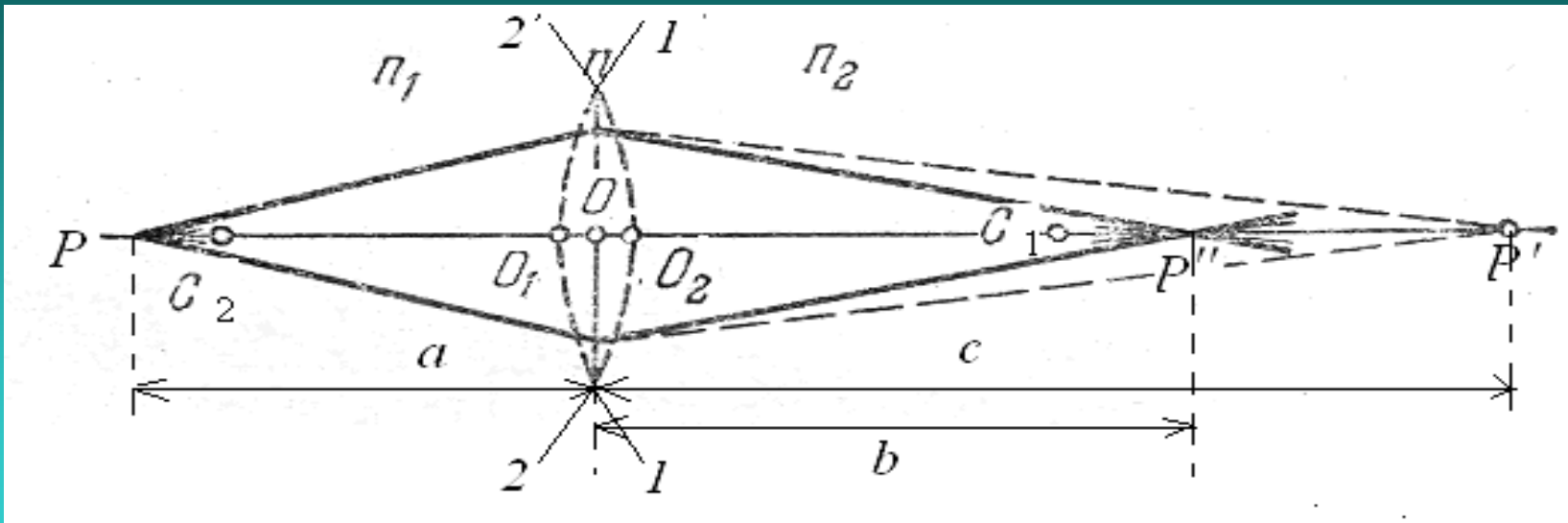
☞ **Дебелина на лещата** – разстоянието  $d = O_1O_2$  между двата върха на лещата.

Когато  $d \rightarrow 0$  – тънка леща

Когато  $d$  не може да се пренебрегне - дебела леща

В този въпрос ние ще анализираме тънка леща.

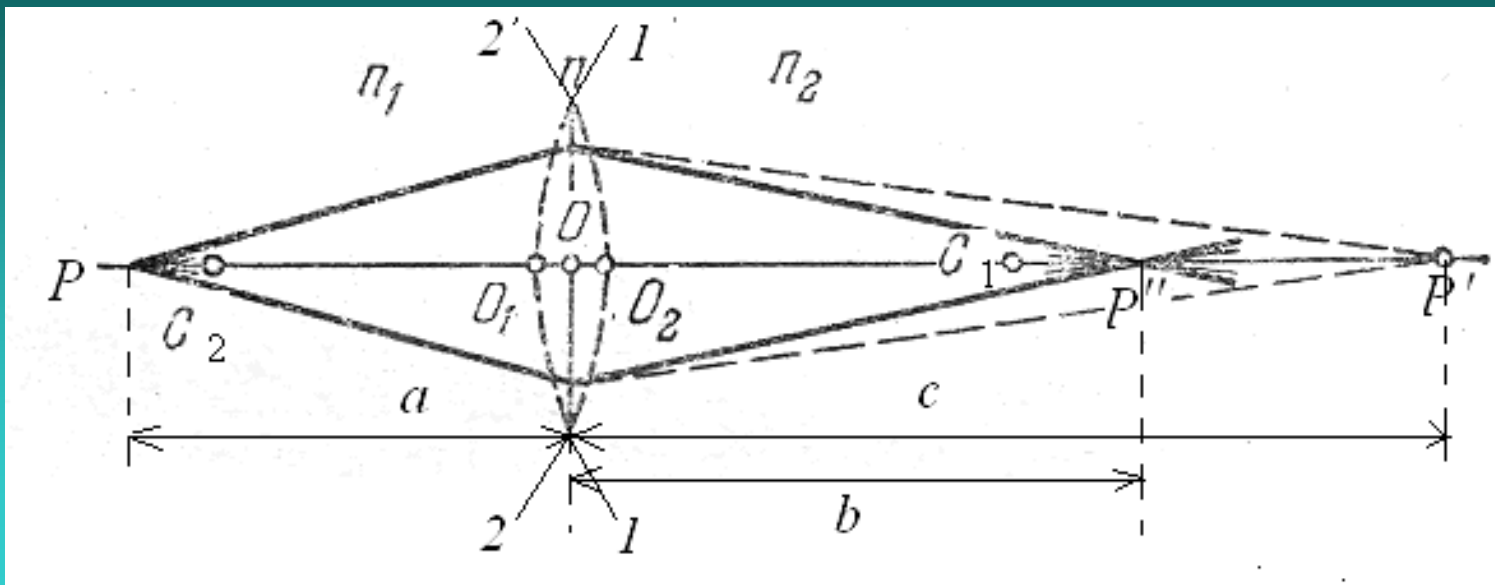
## 2. Обща формула на леща



Разглеждаме тънка леща, т. е. дебелината  $d$  е малка в сравнение с радиусите на кривините  $r_1$  и  $r_2$ . Тогава т.  $O_1$  и т.  $O_2$  се сливат в една точка  $O$  – *оптичен център*.

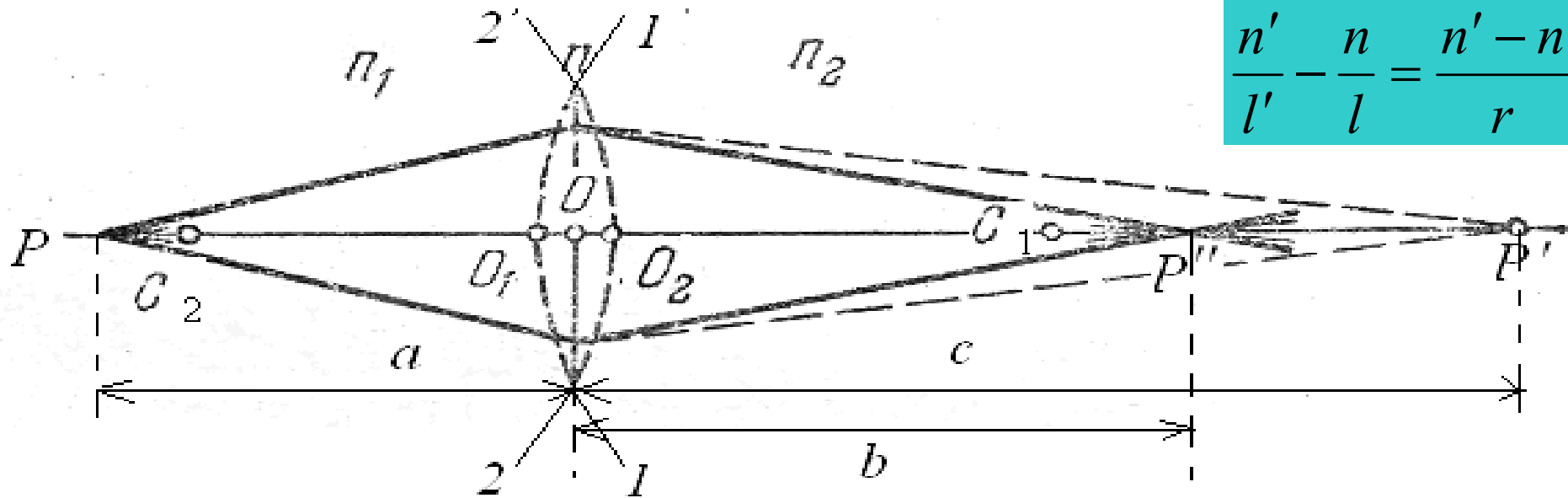
Двете главни равнини минават през нейния оптичен център – главна равнина на лещата. Всички разстояния  $a$ ,  $b$ ,  $f$  се отчитат от нея.

Ако  $n_1 = n_2$ , то възлите съвпадат с главните точки - с оптичния център  $O \Rightarrow$  всеки лъч, минаващ през т.  $O$  не променя посоката си.



При преминаване на лъчите през лещата, те се пречупват два пъти.

$$\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r}$$



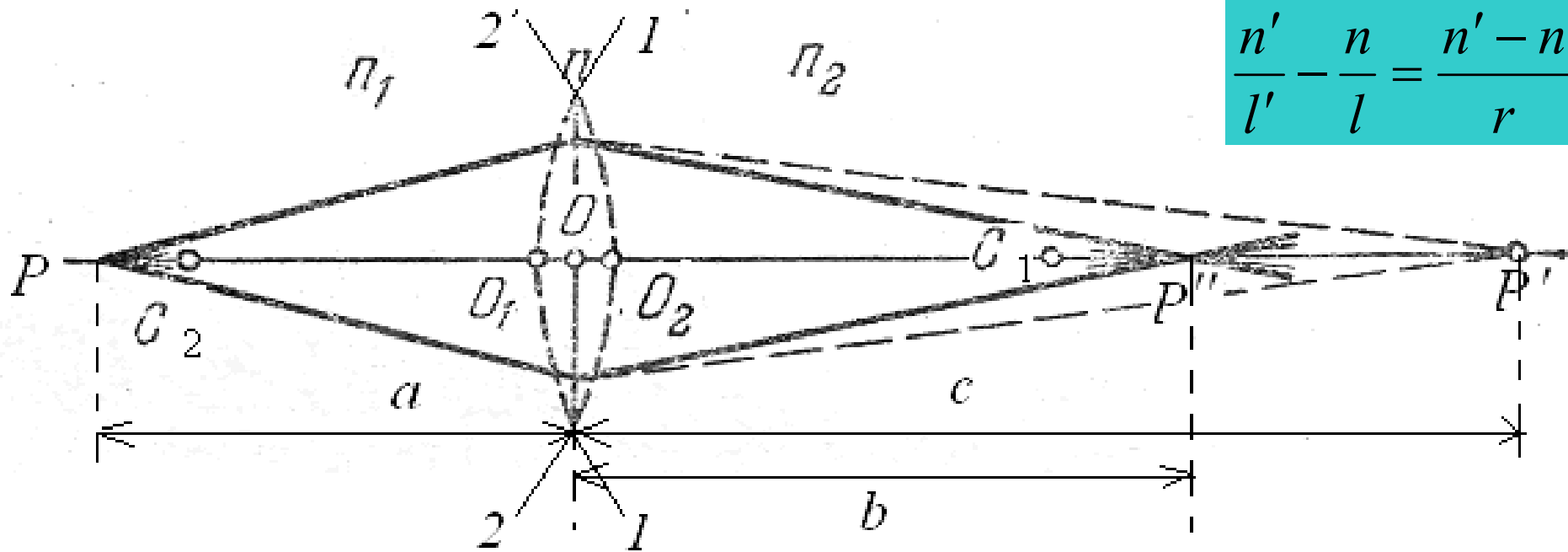
$$\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r}$$

Пречупването от първата сферична повърхност (1-1) на границата с еднородно стъкло с показател на пречупване  $n$  ще даде образ на т.  $P$  в т.  $P'$ , т. е.

$$\frac{n}{c} - \frac{n_1}{a} = \frac{n - n_1}{r_1} \quad (1)$$

$r_1$  – радиусът на първата сферична повърхност;  $a = OP$ , разстояние от главната равнина до обекта  $P$ ;  $c = OP'$ , разстояние от главната равнина до образа  $P'$





$$\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r}$$

За втората пречупваща повърхност (2-2),  $P'$  е мним източник на светлина, т. е. това е обектът. Построяването на образа на т.  $P'$  след пречупването от повърхност (22) дава т.  $P''$ .

$$\frac{n_2}{b} - \frac{n}{c} = \frac{n_2 - n}{r_2}$$

(2)

$r_2$  – радиусът на втората сферична повърхност  
 $b = OP''$ , разстояние от главната равнина до образа  $P''$ .

Тъй като от двете страни на лещата е въздух, то  $n_1 = n_2 = n_0$

$$\frac{n}{c} - \frac{n_0}{a} = \frac{n - n_0}{r_1}$$
$$\frac{n_0}{b} - \frac{n}{c} = \frac{n_0 - n}{r_2}$$

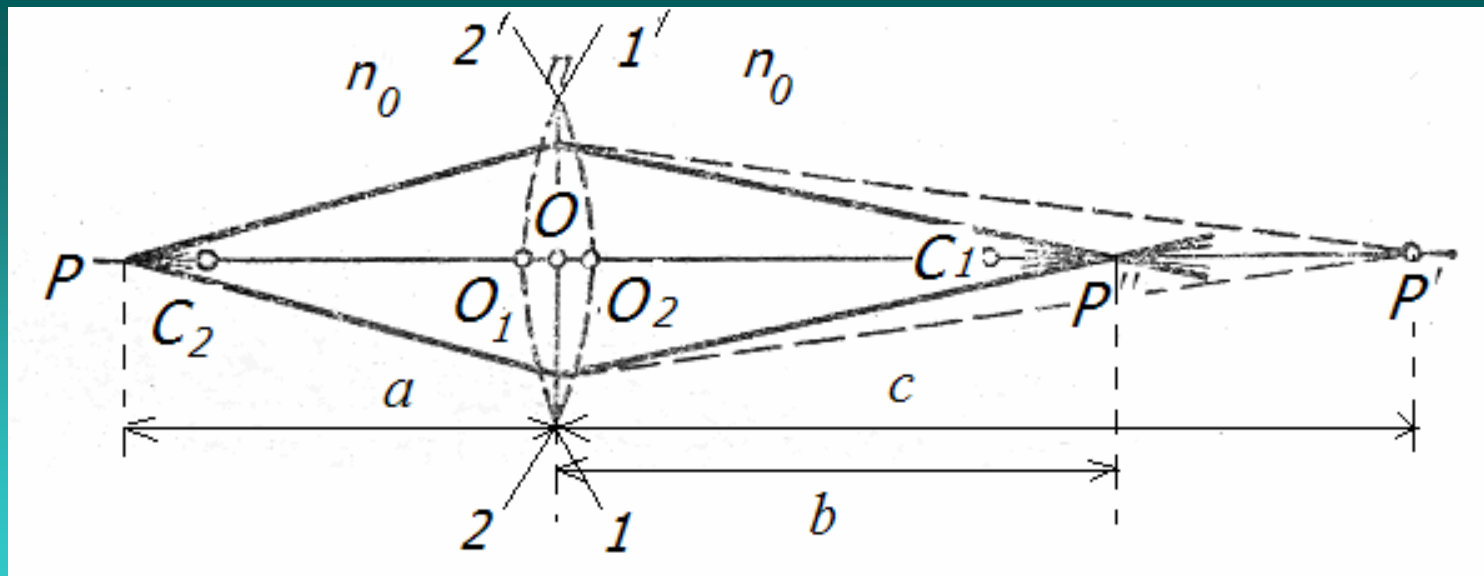
Събираме двете уравнения и получаваме:

$$n_0 \left( \frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right) = (n - n_0) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (3)$$

Въвеждаме относителен показател на пречупване:

$$N = \frac{n}{n_0}$$

$$\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = (N - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{1}{f_2} = -\frac{1}{f_1} \quad (4)$$

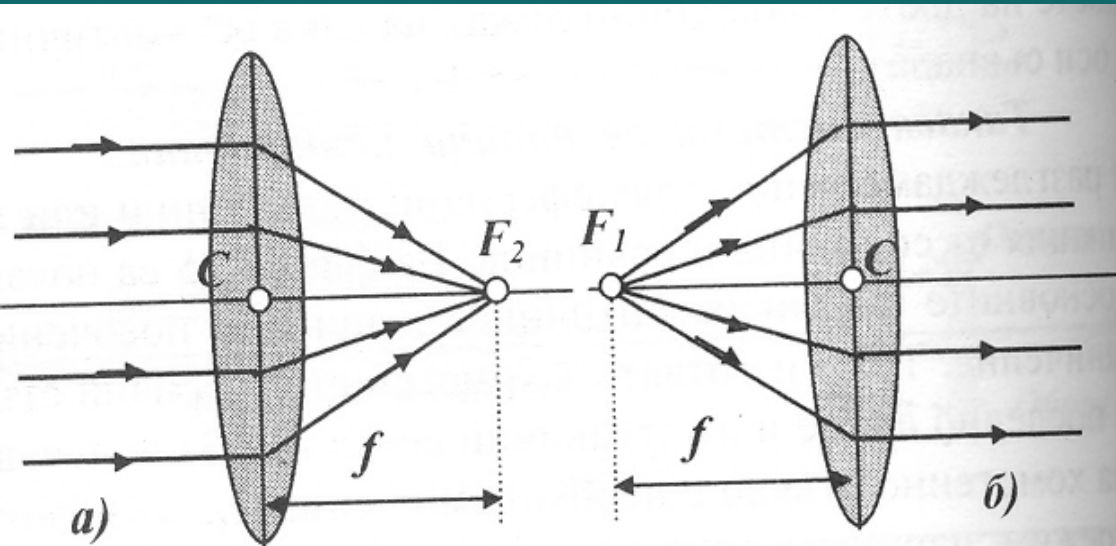


$$\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = (N - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{1}{f_2} = -\frac{1}{f_1}$$

$$N = \frac{n}{n_0}$$

Тази обща формула е приложима за всяка леща при каквото и да е разположение на източника (т. P) и фокуса на лещата, ако от двете страни на лещата има една и съща среда  $n_0$ .

### 3. Фокусни разстояния и оптична сила



**Фокус на лещата** – образът на т.Р, лежаща върху оптичната ос и безкрайно отдалечена от лещата  $\Rightarrow$  фокусът е точка спрегната с  $\infty$

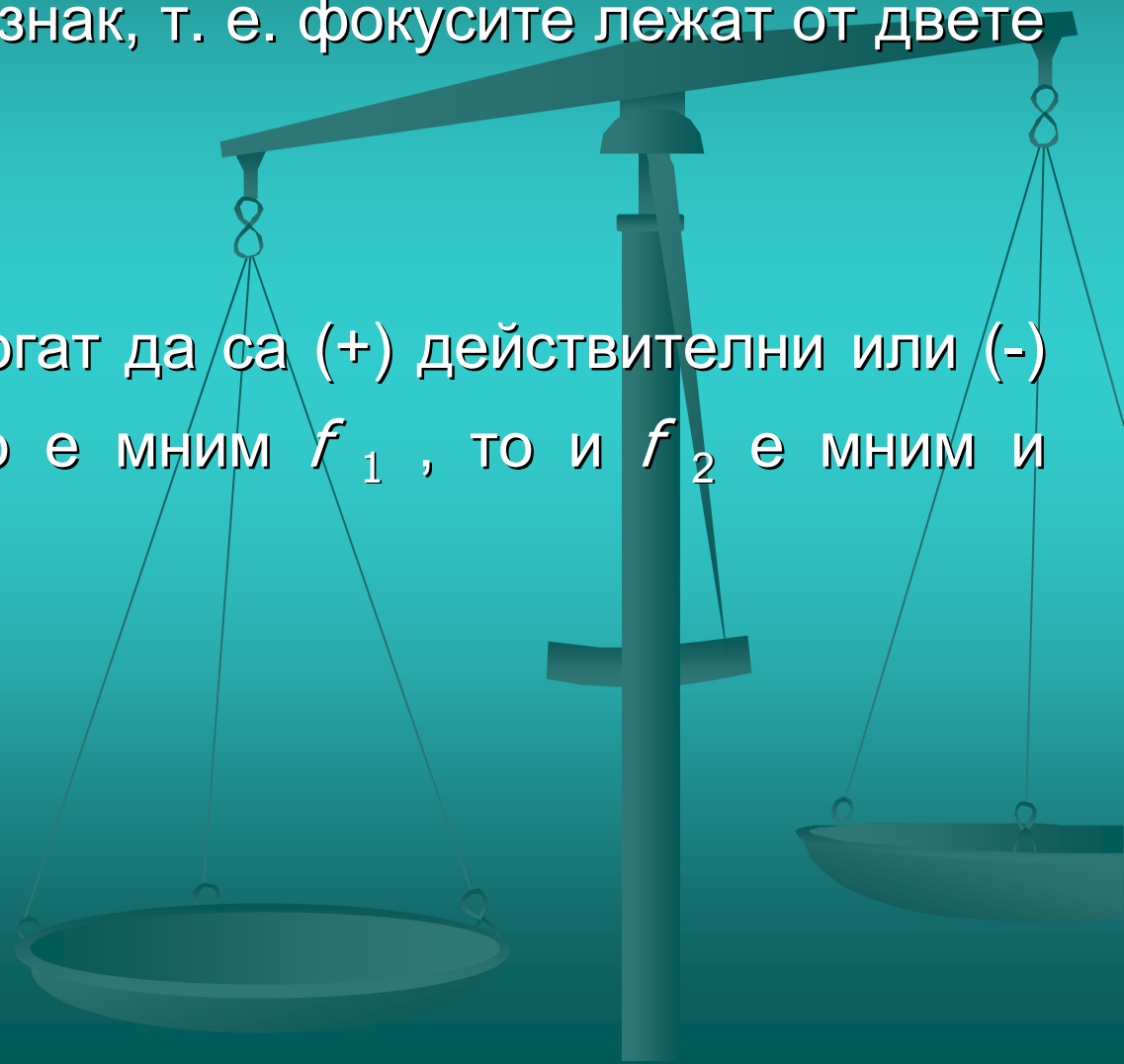
точка от главната ос или мястото на пресичане на лъчите, които преди лещата са били успоредни на оптичната ос – фокус.

**Фокусно разстояние** – разстоянието от главната равнина до фокуса.

**Фокална равнина** – равнината минаваща през фокуса, перпендикулярно на оптичната ос.

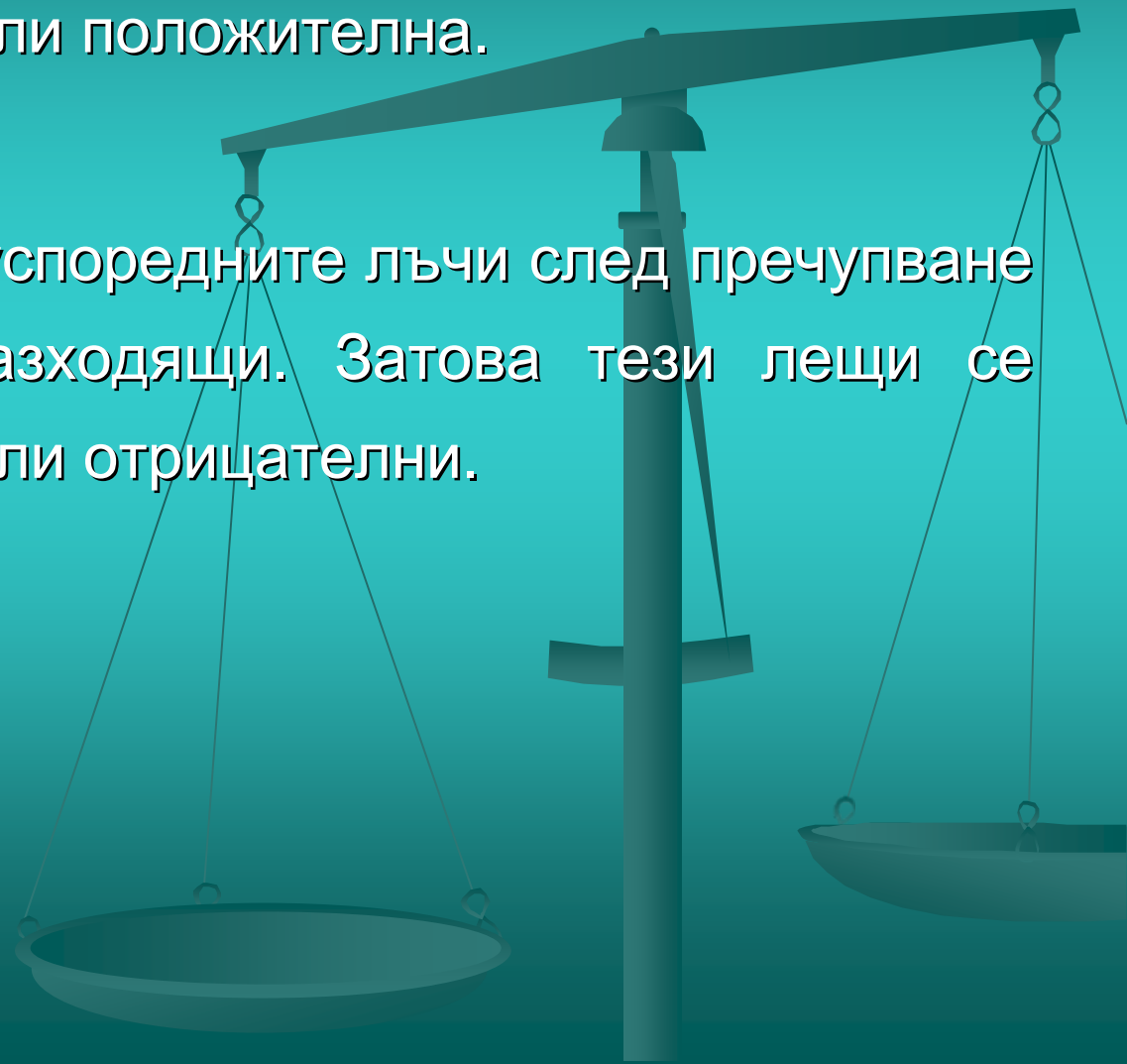
Фокусните разстояния на лещата са равни по големина (ако от двете страни на лещата има една и съща среда) и противоположни по знак, т. е. фокусите лежат от двете страни на лещата.

Фокусите  $f_1$  и  $f_2$  могат да са (+) действителни или (-) мними, при това, ако е мним  $f_1$ , то и  $f_2$  е мним и обратно.



Ако фокусите са действителни, т. е. успоредните лъчи след пречупване от лещата се събират, то лещата се нарича събирателна или положителна.

При мнимите фокуси успоредните лъчи след пречупване от лещата стават разходящи. Затова тези лещи се наричат разсейващи или отрицателни.



## Оптична сила $\Phi$

Вижда се, че лещата с по-малко фокусно разстояние  $f$  по-силно пречупва светлината. Способността на лещата да пречупва светлината се дефинира с величината оптична сила, която е обратнопропорционална на задното фокусно разстояние на лещата.

$$\Phi = \frac{1}{f} = (N - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (8)$$

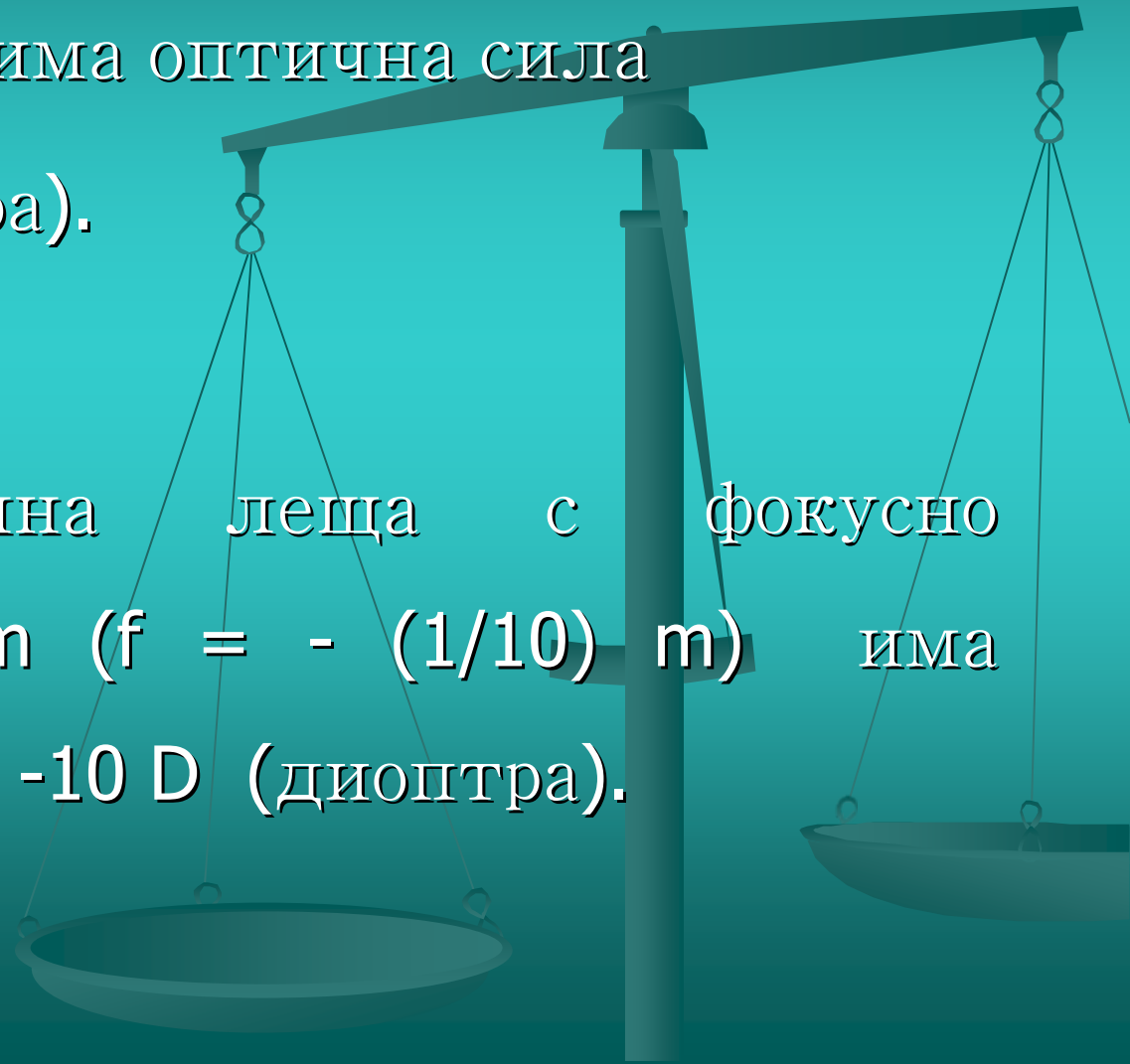
Ако фокусното разстояние се измерва в метри, то оптичната сила се измерва в диоптри, като  $\Phi > 0$  – за събирателна леща;  $\Phi < 0$  за разсейвателна леща.

☺ Пример:

Разсей вателна леща с фокусно разстояние  
20cm ( $f = -\frac{1}{5}$  m) има оптична сила

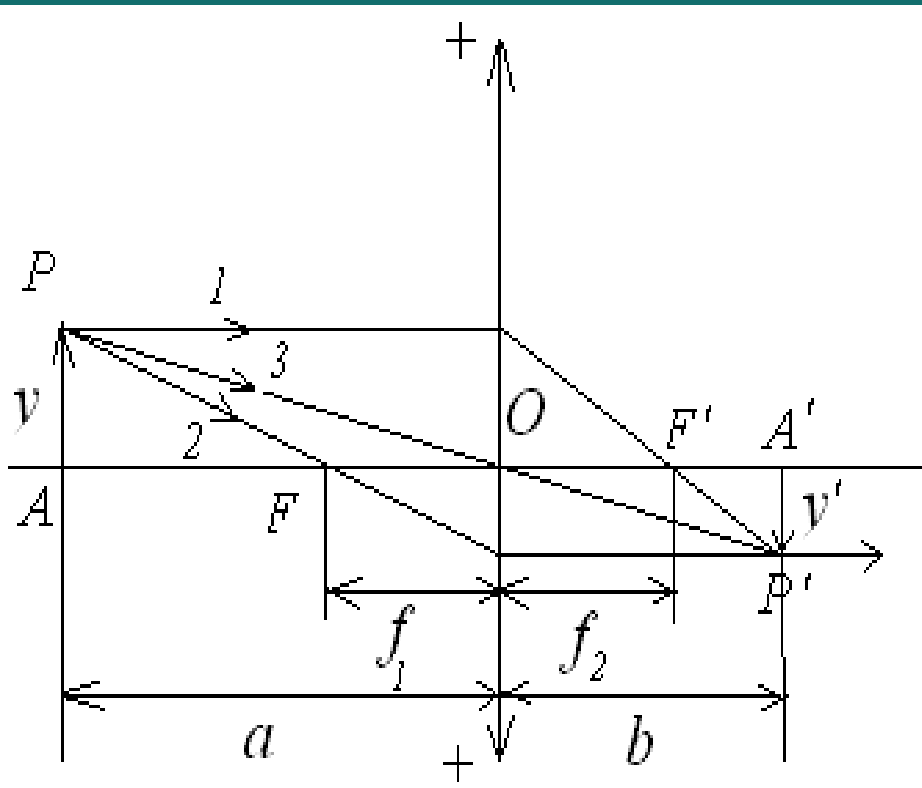
$\Phi = -5D$  (диоптра).

Разсей вателна леща с фокусно  
разстояние 10 cm ( $f = - (1/10)$  m) има  
оптична сила  $\Phi = -10 D$  (диоптра).





## 4. Построяване на образи от тънка леща

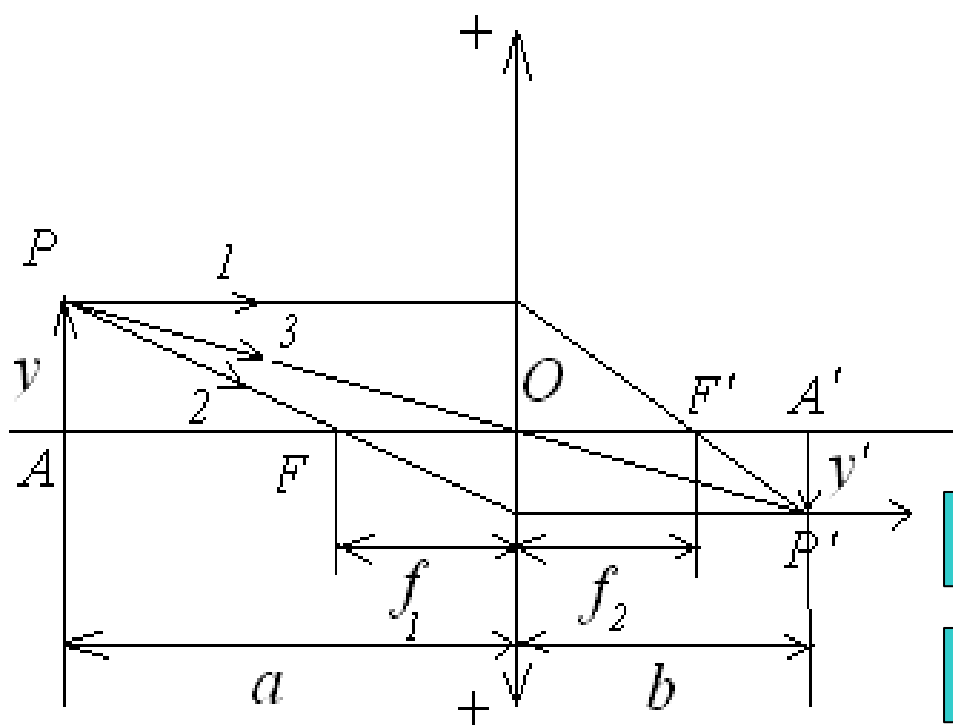


Използват се поне два лъча от следните три:

**Лъч 1:** лъч успореден на главната оптична ос се пречупва от лещата и преминава през нейния фокус  $F'$ ;

**Лъч 2:** фокален лъч: лъч, който преминава през фокуса  $F$  и след пречупване от лещата е успореден на главната оптична ос;

**Лъч 3:** лъч, който минава през оптичния център на лещата и не променя посоката си.



Използваме формулата за тънки лещи:

$$\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f}$$

$$f = f_2 = -f_1$$

$$f > 0$$

- за събирателна леща

$$f < 0$$

- за разсейвателна леща

$a$ ,  $b$  са алгебрични величини, т. е. имат съответния знак:

+ надясно от оптичния център т. О

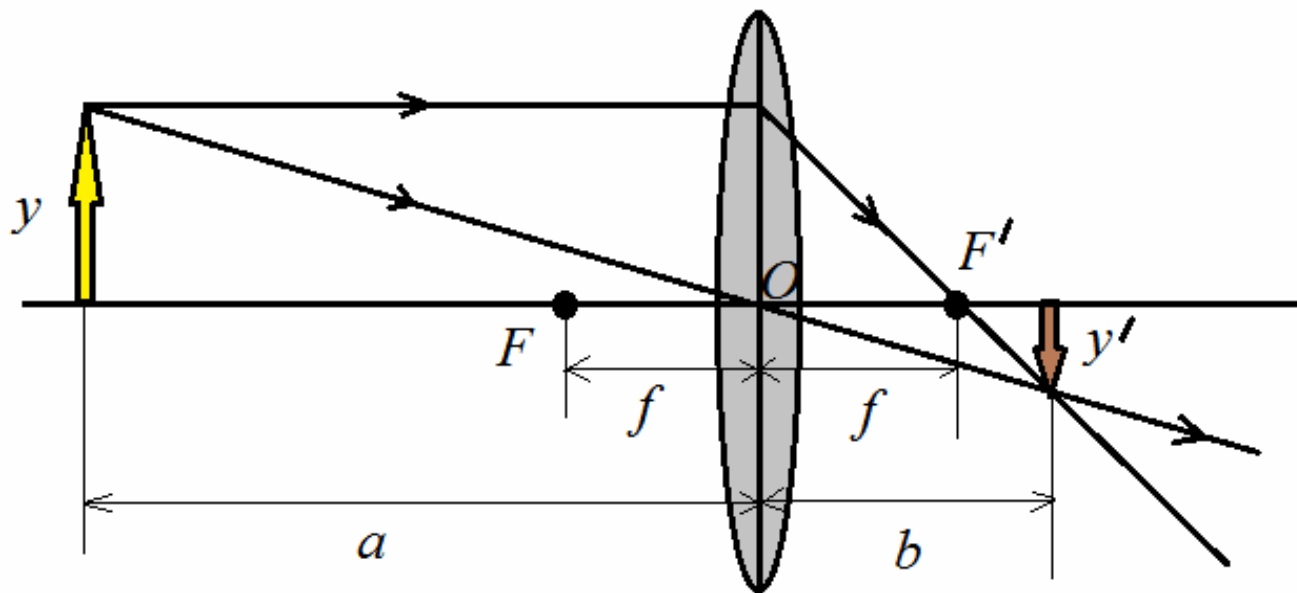
- наляво от оптичния център т. О

$a$  - разстояние от О до предмета

$b$  - разстояние от О до образа

Ще разгледаме няколко типични случаи на образи от тънки лещи.

**Задача 1.** Начертайте образа от тънка двойно изпъкнала леща на линеен предмет с височина  $y$ , разположен перпендикулярно на оптичната ос. Предметът се намира на разстояние  $a$  от оптичния център (т.  $O$ ) на лещата, като разстоянието  $a$  е по-голямо от двойното фокусното разстояние  $2f$ . Намерете линейното увеличение на предмета, ако разстоянието от т.  $O$  до образа е  $b$ . Характеризирайте получения образ.

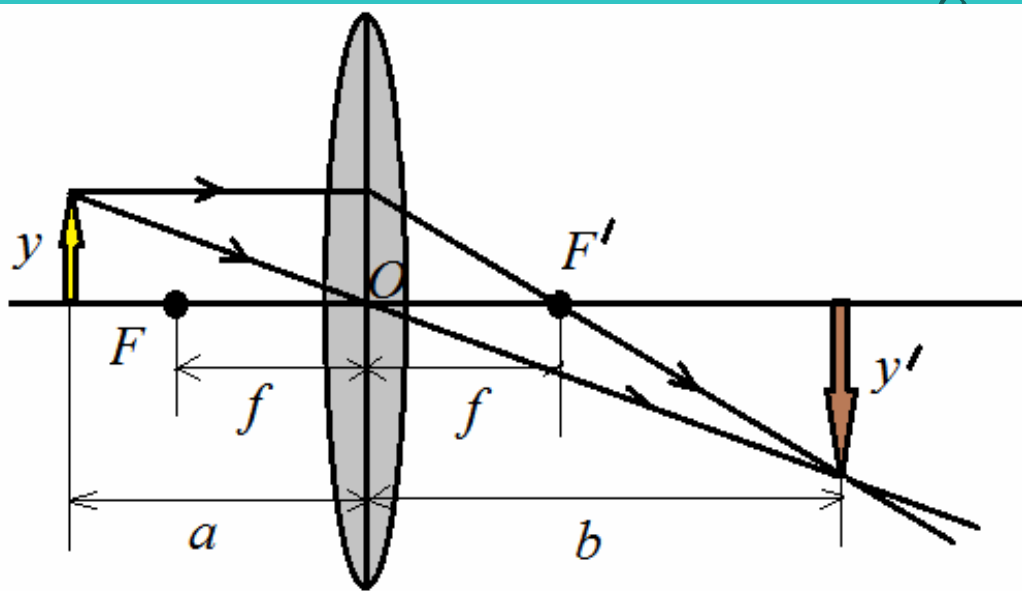


Образът е умален, т.к. линейното увеличение е:

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{b}{a} < 1$$

Образът на далечен предмет ( $a > 2f$ ), получен от тънка двойно изпъкнала леща е действителен, обърнат и умален. Действителните образи от двойно изпъкналата леща се наблюдават върху екран.

**Задача 2.** Начертайте образа от тънка двойно изпъкнала леща на линеен предмет с височина  $y$ , разположен перпендикулярно на оптичната ос. Предметът се намира на разстояние  $a$  от оптичния център (т.  $O$ ) на лещата, като разстоянието  $a$  е по-голямо от фокусното разстояние на лещата  $f$  и по-малко от двойното фокусно разстояние  $2f$ . Намерете линейното увеличение на предмета, ако разстоянието от т.  $O$  до образа е  $b$ . Характеризирайте образа.

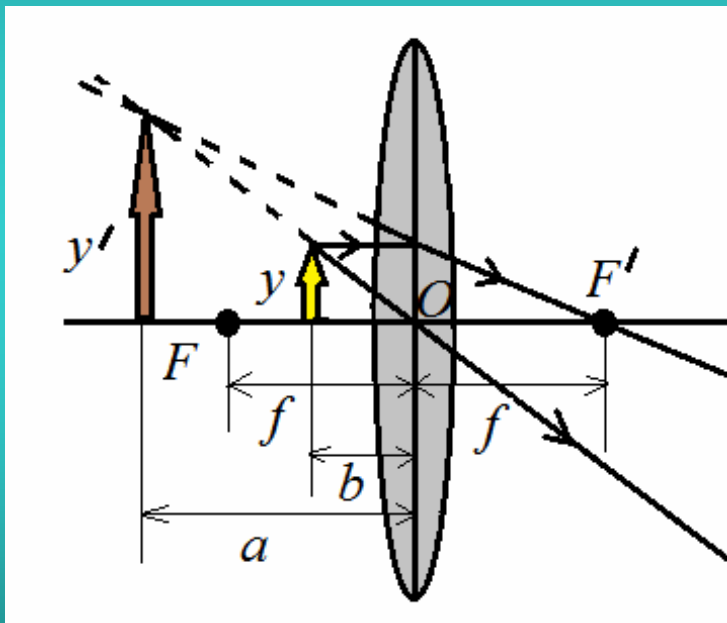


Образът е увеличен, т.к. линейното увеличение е:

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{b}{a} > 1$$

Образът на предмета е действителен, обрнат и увеличен. Действителните образи се наблюдават върху екран.

**Задача 3.** Начертайте образа от тънка двойно изпъкнала леща на линеен предмет с височина  $y$ , разположен перпендикулярно на оптичната ос. Предметът се намира на разстояние  $a$  от оптичния център (т.  $O$ ) на лещата, като разстоянието  $a$  е по-малко от фокусното разстояние  $f$ . Намерете линейното увеличение на предмета, ако разстоянието от т.  $O$  до образа е  $b$ . Характеризирайте образа.

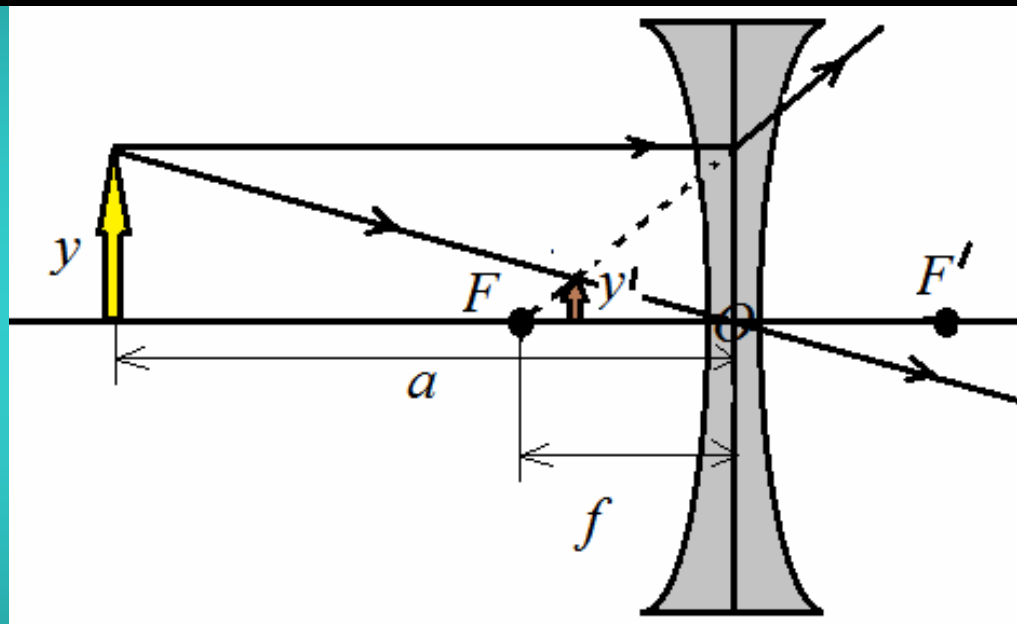


Образът е увеличен, т.к. линейното увеличение е:

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{b}{a} > 1$$

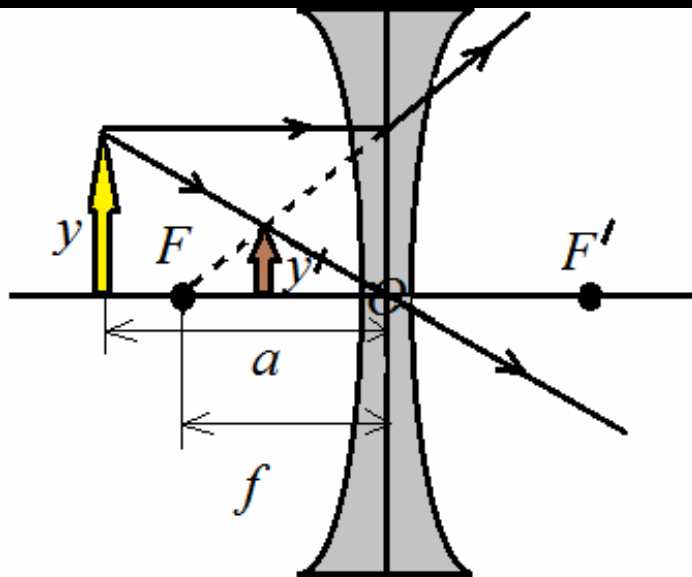
Образът на предмет, разположен между тънка двойно изпъкнала леща и фокуса ѝ, е недействителен, прав и увеличен. Недействителните образи не се наблюдават на екран, но могат да се виждат от окото.

**Задача 4.** Начертайте образа от тънка двойно вдлъбнатата леща на линеен предмет с височина  $y$ , разположен перпендикулярно на оптичната ос. Предметът се намира на разстояние  $a$  от оптичния център (т.  $O$ ) на лещата, като разстоянието  $a$  е по-голямо от двойното фокусно разстояние  $f$ .



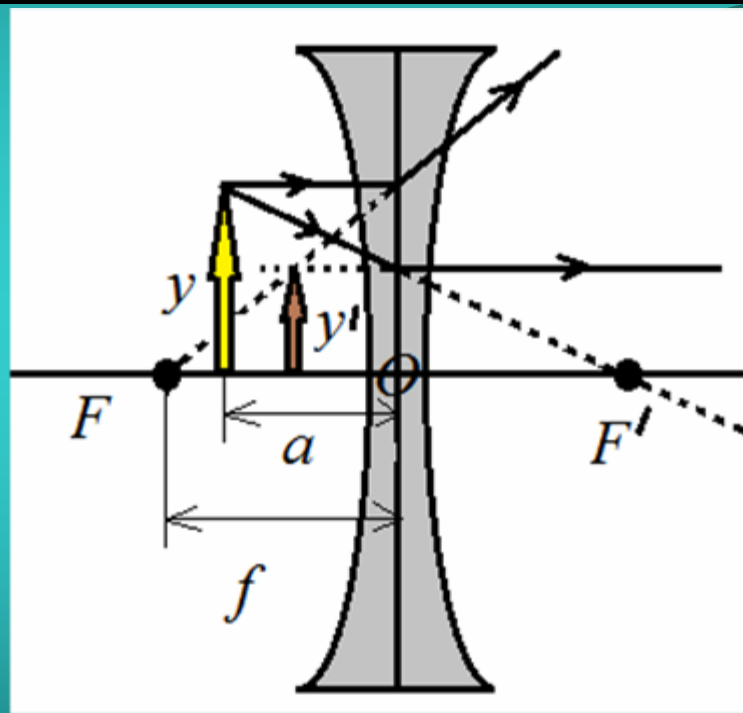
Образът на далечен предмет, който се намира на разстояние по-голямо от двойното фокусно разстояние ( $a > 2f$ ), получен с тънка двойно вдлъбнатата леща е недействителен, прав и умален. Недействителните образи не се наблюдават на екран, но могат да се виждат от окото.

**Задача 5.** Начертайте образа от тънка двойно вдлъбнатата леща на линеен предмет с височина  $y$ , разположен перпендикулярно на оптичната ос. Предметът се намира на разстояние  $a$  от оптичния център (т.  $O$ ) на лещата, като разстоянието  $a$  е по-голямо от фокусното разстояние на лещата  $f$  и по-малко от двойното фокусно разстояние  $2f$ .



Образът на предмета, който се намира на разстояние, по-малко от двойното фокусно и по-голямо от фокусното разстояние ( $f < a < 2f$ ), получен с тънка двойно вдлъбнатата леща е недействителен, прав и умален. Недействителните образи не се наблюдават на екран, но могат да се виждат от окото.

**Задача 6.** Начертайте образа от тънка двойно вдлъбнатата леща на линеен предмет с височина  $y$ , разположен перпендикулярно на оптичната ос. Предметът се намира на разстояние  $a$  от оптичния център (т.  $O$ ) на лещата, като разстоянието  $a$  е по-малко от фокусното разстояние  $f$ .



Образът на предмет, разположен между тънка двойно вдлъбнатата леща и фокуса ѝ, е недействителен, прав и умален. Недействителните образи не се наблюдават на екран, но могат да се виждат от окото.