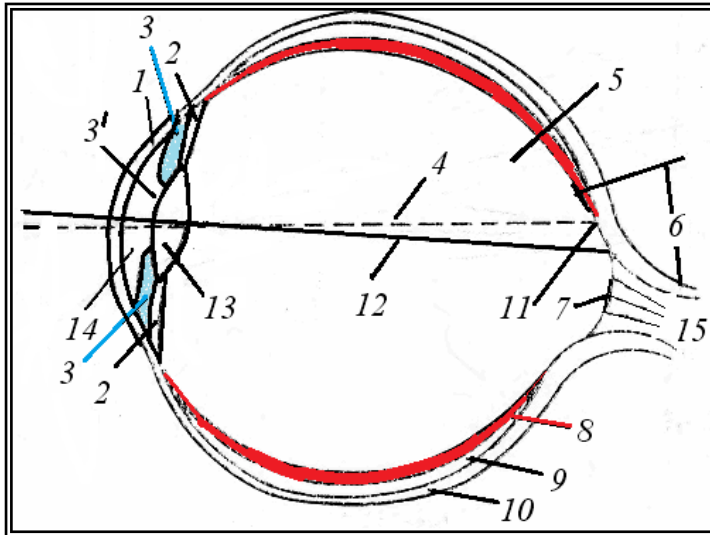


ОКОТО КАТО ОПТИЧНА СИСТЕМА. ВИЗУАЛНИ ОПТИЧНИ ПРИБОРИ - ЛУПА, МИКРОСКОП, ТЕЛЕСКОПИ.

1. Устройство на човешкото око



- 1 - роговица
- 2 - мускули
- 3 – ирис
- 3' - зеница
- 4 - зрителна ос
- 5 - стъкловидно тяло
- 6 - жълто петно
- 7 - сляпото петно
- 8 - ретина
- 9 - съдовата обвивка
- 10 - склера
- 11 - очното дъно
- 12 - оптична ос
- 13 - кристалин
- 14 - предна камера
- 15 - зрителен нерв

Човешкото око е природен оптичен инструмент със сложна структура. Приблизителната форма на очната ябълка е сферична с диаметър около 24mm. Отвън окото е покрито с трислойна стена.

Най-външният слой е твърда белтъчна обвивка – **склера (10)**, дебелината на която е (0,4 -1,1) mm. Предната част на склерата е по-изпъкнала, прозрачна и се нарича **роговица (1)**. Роговицата има постоянна кривина с радиус 7-8 mm и показателят на пречупване е 1.37.

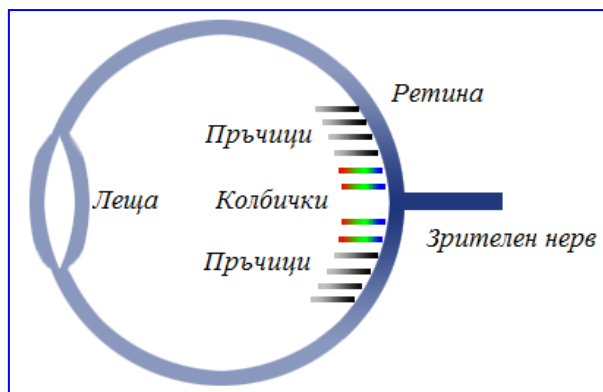
Вторият слой е разположен под склерата и представлява **съдовата обвивка – хороидеята (9)**, която представлява система от кръвоносни съдове, от които се подхранва окото. Отпред съдовата обвивка преминава в оцветена дъгова обвивка (синя на фиг.) – **ирис (3)**, която определя цвета на очите у хората. Отворът по средата на ириса е **зеницата (3')**. Диаметърът ѝ може да се променя от мускулни влакна, управлявани от централната нервна система.

Между роговицата, ириса и предната повърхност на лещата е разположена **предната камера (14)**, която е запълнена с водниста течност. Показателят ѝ на пречупване е близък до този на водата 1.33. Налягането ѝ е по-високо от атмосферното с около 20 mm Hg. Тази разлика в наляганията се нарича вътреочно налягане.

Зад зеницата и ириса е разположена очната леща, наречена **кристалин (13)**. Това е прозрачно еластично тяло, с форма подобна на двойно изпъкнала сферична леща, с различни радиуси на двете кривини. Кристалинът е нееднородно тяло, периферните части, на които имат коефициент на пречупване – 1,38, а централните – около 1,41. Формата и оптичната сила на кристалина могат да се изменят като се променят кривините на неговите повърхности, чрез свиване и разпускане на очните **мускули (2)**.

Зад кристалинът е разположена задната камера, запълнена със **стъкловидно тяло (5)**, чийто показател на пречупване е равен на този на водата.

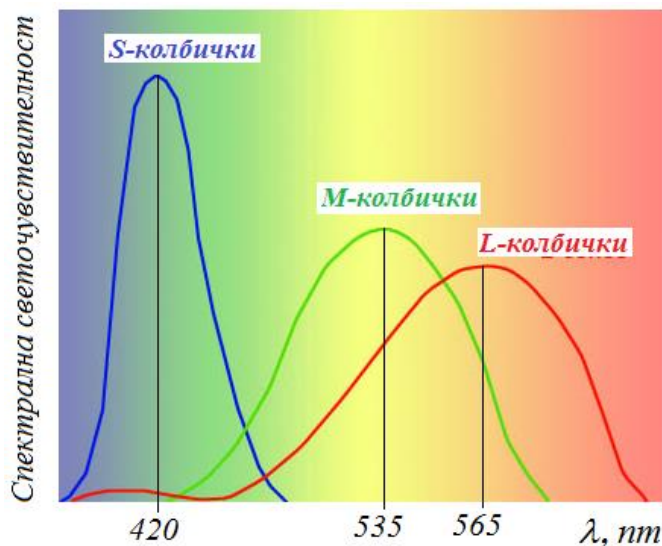
Най-вътрешният трети слой на очната обвивка има розова мрежеста структура и е наречен **ретина (8)**. Ретината има сложен строеж от 10 слоя. В нея са разположени фоточувствителните клетки, които заради формата си са наречени пръчици и колбички. Дължината на пръчиците е около 0,06 mm, а на колбичките – 0,035 mm. Броят на пръчиците достига $13 \cdot 10^7$, а колбичките – около $7 \cdot 10^6$. Тези фоторецептори са разпределени неравномерно в ретината. В областта, която лежи до мястото на влизане на зрителния нерв няма такива елементи и това място се нарича **сляпо петно (7)**. Диаметърът му е около 1,8mm. Над сляпото петно е разположено **жълтото петно (6)**, запълнено главно с колбички. В центъра на жълтото петно има вдлъбнатина - **очно дъно (11)**, в която се намират само колбички. Това е мястото на най-ясно виждане.



Пръчиците доминират в периферната част на ретината. Те са чувствителни към относителната осветеност на окото (светло – тъмно), докато колбичките определят чувствителността на окото към цветовете.

Следователно, пръчиците виждат черно и бяло, а колбичките – цветно

Съществуват три вида колбички, съдържащи специфични пигменти, чувствителни към различни дължини на вълните.



Максимумите на поглъщане на S-колбичките е 420 nm, на M-колбичките е 535 nm, а на L-колбичките е 565 nm. Накратко може да се каже, че колбичките са чувствителни към синята, зелената и червената светлина съответно. При осветяване на ретината се възбуждат и трите вида колбички. Ако възбуждането е най-силно за един вид колбички се получава цветно зрительно възприятие. Ако колбичките се възбудят еднакво, то зрительното възприятие е черно-бяло.

2. Оптична система на окото

Оптичната система на окото се състои от четири пречупващи системи:

- 1) роговица (пречупваща изпъкнала сферична повърхност);
- 2) водниста течност в предната камера;
- 3) кристалин (очна леща);
- 4) стъкловидно тяло в задната камера.

Окото е центрирана оптична система с **оптична ос (12)**, определена от оптичните центрове на роговицата и лещата. Правата, която свързва оптичния център на лещата с жълтото петно е **зрителната ос (4)** и определя направлението, в което окото има най-голяма разделителна способност. Зрителната ос пресича ретината в точката на най-ясно виждане. Оптичната ос пресича ретината в друга точка - точката на задния фокус. Така, че линията на зрителната ос не съвпада с оптичната ос, а сключва с нея ъгъл, приблизително равен на 5° .

Образът в окото се получава във вещество (стъкловидно тяло), различно от веществото, в което се намира обектът (въздух). Затова първото и второто фокусни разстояния за окото са различни.

Осреднен модел за „приведеното” око:

Оптична сила:	$\Phi_{\text{норм.}} = 58.64 \text{ D}$
Предно фокусно разстояние:	$f \rightarrow -17.1 \text{ mm}$
Задно фокусно разстояние:	$f' \rightarrow +22.8 \text{ mm}$

Образът се фокусира върху ретината чрез изменение на оптичната сила на кристалина. При наблюдаването на едни или други предмети човешкото око като, че ли опипва всички контури, като последователно ги довежда в центъра на жълтото петно. Човешкото око притежава свойството **акомодация**, което се състои в способността му да се приспособява към ясно наблюдаване на различно отдалечени предмети. Това се постига чрез промяна формата на кристалина. В резултат на акомодацията човешкото око може да променя оптичната си сила в границите от 58.64 до 70.57 диоптъра. Разстоянието на най-ясно виждане на окото е 25cm. Крайните точки, между които е възможна акомодация се наричат далечна и близка точка.

Далечна точка – в безкрайност.

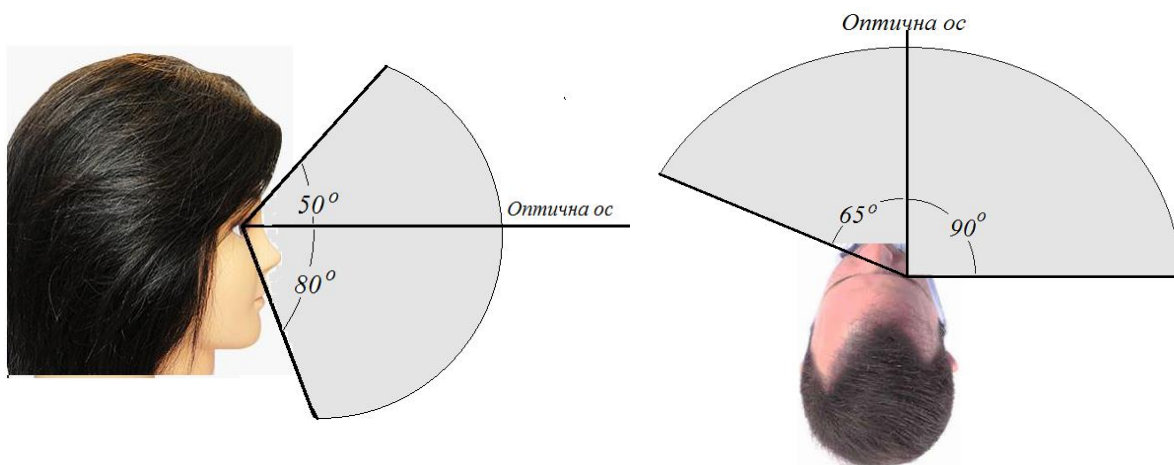
Близка точка – на около 20cm от окото. В по-млада възраст е (10-15) cm. С възрастта способността към акомодация (фокусиране) на близки предмети намалява.

Освен акомодацията за човешкото око е характерна и **адаптацията**, която представлява способността на окото да се приспособява към различни условия на осветеност. Потокът светлина към окото се регулира, чрез отваряне и затваряне на клепачите и чрез ириса, който променя диаметъра на зеницата от 2mm до 8mm. Различават се светлинна и тъмнинна адаптация на окото. При ярко осветяване пръчиците не действат. Образът се възприема от колбичките, които се защитават от ярката светлина с пигмент. Едновременно с това се свива и зеницата на окото. За пълна адаптация е необходимо време – 20-30 минути.

Интересни факти за човешкото око

- При нормално осветление окото различава най-много детайли, ако предметът се намира на разстояние приблизително 25 сантиметра – това е разстоянието на най-ясно виждане.

- Ако образът попадне в жълтото петно се различават най-много детайли. Жълтото петно има неголеми размери и върху него попадат образи на предмети видими под ъгъл $(6\div 7)^\circ$.
- Зрителният ъгъл на окото - ъгълът между крайните лъчи от наблюдавания предмет, които се пресичат в оптичния център на очната леща.
- Общото поле, възприемано от окото е около:
 - 130° във вертикално направление
 - 50° над оптичната ос
 - 80° под оптичната ос
 - около 155° в хоризонтално направление
 - 65° вляво от оптичната ос
 - 90° вдясно от оптичната ос.



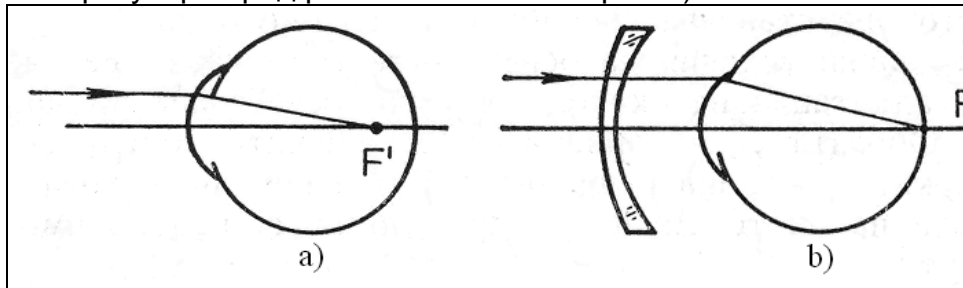
- Разделителната способност на окото е мярка за остротата на човешкото зрение и е около една ъглова минута ($1'$). Това означава, че две точки, намиращи се на ъглово разстояние $1'$ могат да се различат от окото, като точките са разположени на разстояние на най-ясно виждане.
- Зрителното възприятие има значителна инертност – образът се задържа в окото около 0.1 s след попадането на светлина в него. Затова, когато на киноекрана се прожектират 24 кадъра/снимки за една секунда, зрителят ги възприема като непрекъснато движещи се предмети.

3. Недостатъци на оптичната система на окото

Оптичните недостатъци на окото, свързани с неговите форма и размери се изразяват в това, че оптичната система на окото проектира предметите не върху ретината, а пред или зад нея, поради което образите са неясни.

а) Късогледство (миопия)

Изразява се в това, че окото има по-голяма оптична сила от нормалната, т.е. $\Phi > \Phi_{\text{норм}}$ и предметите се проектират пред ретината. Тогава успореден сноп светлина се фокусира пред ретината – като на фиг. а).

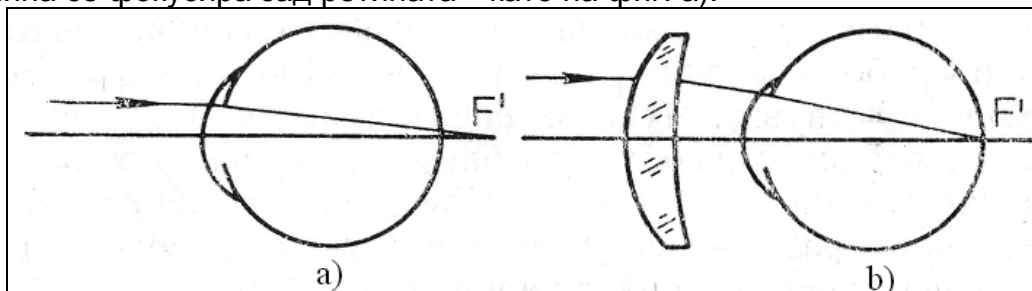


Този недостатък се коригира с разсейвателни лещи, които намаляват пречупващата способност на окото – показано на фиг. б).

В очилата се поставят вдлъбнати лещи. В рецептата се посочва оптичната сила на лещата, която е отрицателна: $\Phi < 0$. Например: $\Phi = -0.5 \text{ D}$ или $\Phi = -2 \text{ D}$.

б) Далекогледство (хиперметропия) :

Изразява се в това, че окото има по-малка оптична сила от нормалната, т.е. $\Phi < \Phi_{\text{норм}}$ и предметите се проектират зад ретината. Тогава успореден сноп светлина се фокусира зад ретината – като на фиг. а).



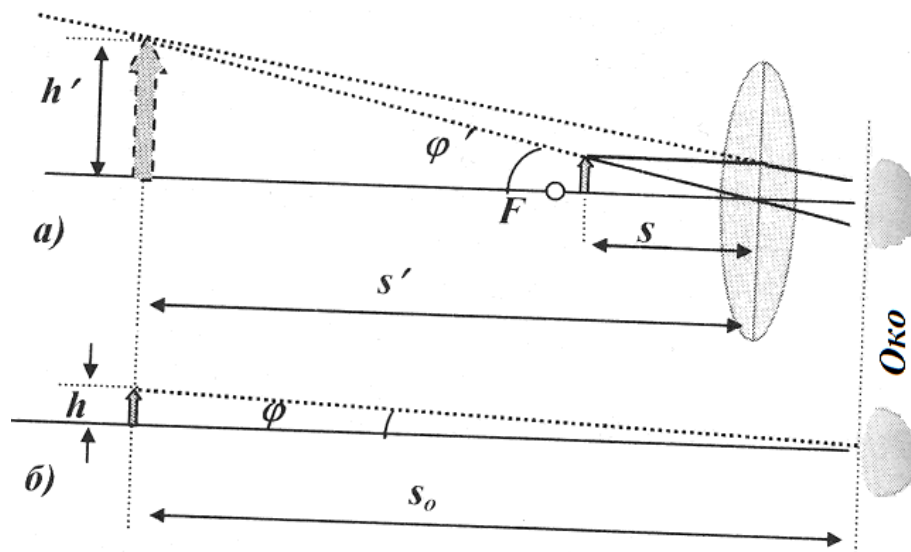
Този недостатък се коригира с със събирателни лещи, които увеличават пречупващата способност на окото – показано на фиг. б).

В очилата се поставят изпъкнали лещи. В рецептата се посочва оптичната сила на лещата, която е положителна: $\Phi > 0$. Например: $\Phi = +0.25 \text{ D}$ или $\Phi = +3 \text{ D}$.

в) Астигматизъм

- Формата на нормалната роговица е приблизително сферична, с еднакви кривина и оптична сила във всички меридиани.
- Асиметрията на роговицата (различната кривина на роговицата) е причина за астигматизма, което води до изкривяване на образа върху ретината.
- При простия астигматизъм, окото има нормална оптична сила в единия от двата взаимно перпендикулярни меридиана.
- Например, астигматичното око с вертикална аномалия, вижда ясно хоризонталните линии на предметите и неясно – вертикалните.
- Този недостатък се отстранява с цилиндрични лещи, чиято ос е ориентирана по меридиана с нормална оптична сила (в горния случай хоризонтално).
- Цилиндричната леща корегира оптичната сила на окото само в меридиана на аномалията и образите на предметите върху ретината стават ясни във всички направления.

4. Лупа



Лупата е най-простият оптичен уред. Това е единична двойноизпъкнала леща, но се използват и цилиндрични двойноизпъкнали лещи. Прилагат се за получаване на увеличен образ на различни обекти, наблюдавани от човека.

Големината на даден предмет, гледан от човешкото око зависи от разстоянието до предмета или изразено по друг начин от ъгъла под който се вижда.

По тази причина за наблюдаване на по-големи подробности, ние приближаваме предметите по-близо до окото.

Разстоянието на най-добро виждане средностатистически е $s_0 = 0.25 \text{ m}$.

От друга страна окото има и граница на виждане, която за нормално око може да се приеме за безкрайност. Приближаването на предмета на разстояние по-малко от s_0 е безмислено, защото очната леща не може да създаде образ на този предмет върху чувствителното жълто петно.

Тук помага лупата, която създава увеличен, прав, недействителен образ на разстояние s_0 . Характерен параметър на всяка лупа е ъгловото увеличение M , измерено с отношението между ъгъла φ' , под който се вижда образът и ъгъла φ , под който се вижда предметът на същото разстояние - разстоянието на най-добро виждане s_0

$$M = \frac{\varphi'}{\varphi}$$

Може да приравним това увеличение на напречното увеличение вследствие близостта на лупата до окото. Тогава $s_0 \approx s'$ и отношението между ъглите е равно на отношението между тангенсите им или между размерите на образа и предмета:

$$M = \frac{\varphi'}{\varphi} \approx \frac{\text{tg}\varphi'}{\text{tg}\varphi} \approx \frac{h'}{h} = \frac{s'}{s} \approx \frac{s_0}{s}$$

След тази уговорка можем да използваме уравнението на леща с фокусно разстояние f :

$$\frac{1}{s} - \frac{1}{s_0} = \frac{1}{f}, \quad M = \frac{s_0}{s} = 1 + \frac{s_0}{f}$$

Получената формула е валидна, при условие, че окото е настроено за разстоянието на най-добро виждане. Когато окото е настроено за виждане в безкрайността, предметът трябва да бъде във фокуса. Тогава

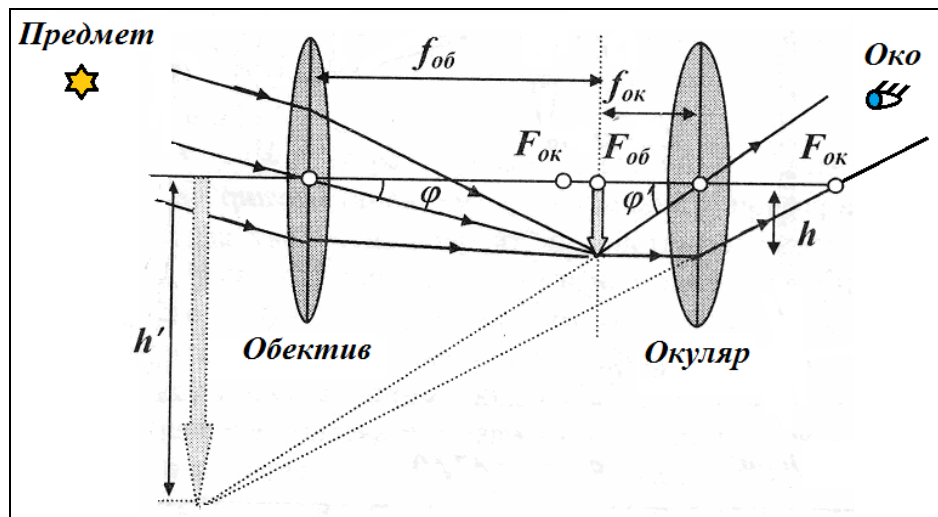
$$\varphi' = \frac{h}{f}, \quad \varphi = \frac{h}{s_0}, \quad M = \frac{s_0}{s}$$

5. Телескопи

Телескопите са оптични уреди, които дават увеличени образи на предмети отдалечени на големи разстояния понякога в безкрайност.

Приложенията им са в две направления:

- астрономични телескопи за наблюдаване на космически обекти;
- далекогледни тръби и бинокли – за наблюдаване на земни обекти.



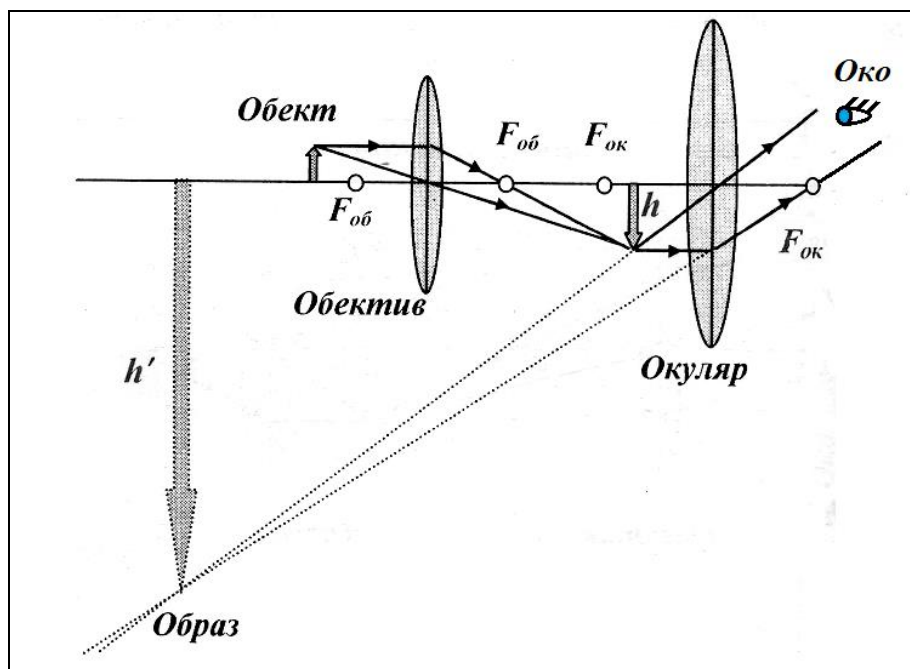
Лещов телескоп на Кеплер – този телескоп не е създаден от Кеплер, но е описан за първи път от него и е наречен в негова чест. Състои се от две двойно изпъкнали лещи.

- Лещата откъм наблюдавания обект се нарича обектив, а този към човешкото око – окуляр.
- Обектът (звездичка) е в безкрайно отдалечен и образът от обектива е умален, обърнат, действителен и разположен във фокуса му - $F_{об}$.
- Първият фокус на окуляра е разположен преди този на обектива.
- Образът от обектива (h) лежи между фокуса и лещата на окуляра. Тогава, образът (h') от окуляра е увеличен, обърнат (спрямо обекта (h)) и недействителен.

- Понеже двата фокуса са много близки, можем да ги разглеждаме като съвпадащи. Това на практика се получава, когато очите на наблюдателя са настроени за виждане в безкрайност.
- Ъглите φ и φ' са означени на фигурата. Ъгълът φ е този, под който се вижда обектът (звездичка) - ъгълът на падане на успоредния сноп. Ъгловото увеличение на телескопа е:

$$M = \frac{\varphi'}{\varphi} = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{h/f_{ok}}{h/f_{ob}} = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

6. Оптичен микроскоп



- Устройството на микроскопа е подобно на това на телескопа.
- Разликата е в отдалечеността на наблюдаваните обекти.
- При микроскопа те са в близост до обектива, който дава увеличен, действителен и обърнат образ (h), разположен между предния фокус на окуляра и самия окуляр.
- Образът от окуляра е увеличен, недействителен и обърнат (h').
- Увеличението на микроскопа M е равно на произведението от увеличенията на обектива M_{ob} и окуляра M_{ok} .

$$M = M_{ob} \times M_{ok}$$