



SZÉCHENYI ISTVÁN
EGYETEM
GYŐR

Optika

Horváth András
SZE, Fizika és Kémia Tsz.

2006. szeptember 29.

Magyarország célba ér



Készült a HEFOP 3.3.1-P.-2004-09-0102/1.0 pályázat támogatásával



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A fény fontosabb tulajdonságai



A fény fontosabb tulajdonságai

- **Bevezetés**

- A fény és az elektromágneses spektrum

- A színek keletkezése

- A fény sebessége

- A fényhullámok interferenciája

- A fény polarizációja

- Polarizált fény előállítása

- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Bevezetés

A fény igen összetett jelenség. Jelen tudásunk csak sok kötetben lenne összefoglalható.

A jelenségek egy széles körén a **fény transzverzális hullámként viselkedik.**



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés

- A fény és az elektromágneses spektrum

- A színek keletkezése

- A fény sebessége

- A fényhullámok interferenciája

- A fény polarizációja

- Polarizált fény előállítása

- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Bevezetés

A fény igen összetett jelenség. Jelen tudásunk csak sok kötetben lenne összefoglalható.

A jelenségek egy széles körén a **fény transzverzális hullámként viselkedik**.

Mi hullámozik a fényben? az elektromos és a mágneses tér, ezért **a fény elektromágneses hullám**.

Ennek részleteivel most nem foglalkozunk. A lényeg:

A fényre alkalmazhatók a hullámtani megfontolások. (Interferencia, Huygens-Fresnel elv, stb.)

Néhány specialitás: A terjedéshez nincs szükség közegre, rendkívül nagy sebesség ($c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s), és kicsi hullámhossz ($\lambda < 10^{-6}$ m).



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A fény és az elektromágneses spektrum

Az elektromágneses hullámok közül csak egy szűk tartományt érzékel szemünk, ezt nevezzük fénynek.

Látható tartomány: $3,8 \cdot 10^{-7} - 7,6 \cdot 10^{-7}$ m, azaz a 380–760 nm.



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

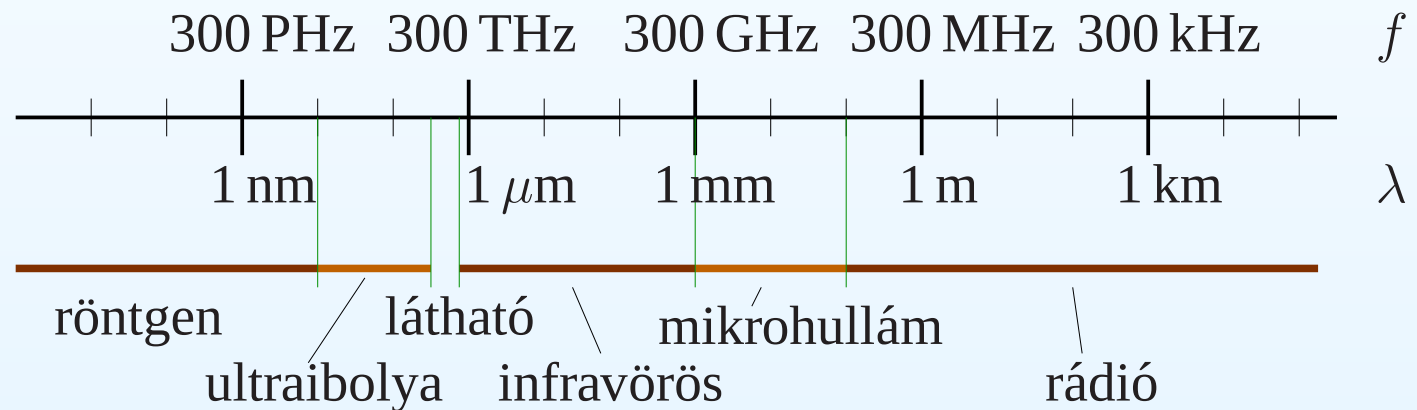
A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A fény és az elektromágneses spektrum

Az elektromágneses hullámok közül csak egy szűk tartományt érzékel szemünk, ezt nevezzük fénynek.

Látható tartomány: $3,8 \cdot 10^{-7} - 7,6 \cdot 10^{-7}$ m, azaz a 380–760 nm.



Azt itt látható elektromágneses hullámokkal az élet számtalan területén találkozunk.



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- **A színek keletkezése**
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

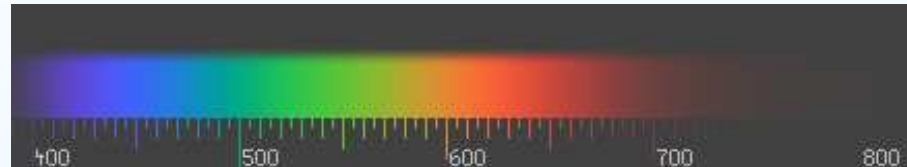
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A színek keletkezése

A látható tartományon belül az egyes hullámhosszak a tiszta színeknek felelnek meg:



szín neve	közelítő hullámhossz
-----------	----------------------

ibolya	430–380 nm
kék	500–430 nm
ciánkék	520–500 nm
zöld	565–520 nm
sárga	590–565 nm
narancs	625–590 nm
vörös	760–625 nm

A nem tiszta színek (pl. lila, barna) több hullámhossz keverékekén állnak elő.



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A fény sebessége

A fény légüres térben (vákuumban) terjed a leggyorsabban, és ez a sebesség jelen tudásunk szerint **az elérhető legnagyobb sebesség**.

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- **A fény sebessége**
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A fény sebessége

A fény légüres térben (vákuumban) terjed a leggyorsabban, és ez a sebesség jelen tudásunk szerint **az elérhető legnagyobb sebesség**.

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

A hétköznapi életben érzékelhetetlenül kicsi a fény terjedéséhez szükséges idő.

Közegekben a fény lassabban terjed ennél. A sebességek aránya a **törésmutató**. (Lásd a hullámtanban.)

anyag	törésmutató
levegő (0° C)	1,0002926
jég	1,31
víz (20° C)	1,333
üvegek	1,5–1,9
gyémánt	2,419



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése



A törésmutatót a fény esetén a vákuumra szokás vonatkoztatni. Pl. a

víz törésmutatója 1,333, ezért ott a fénysebesség

$$c_{viz} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} / 1,333 = 2,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$$



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése



A törésmutatót a fény esetén a vákuumra szokás vonatkoztatni. Pl. a

víz törésmutatója 1,333, ezért ott a fénysebesség

$$c_{viz} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} / 1,333 = 2,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$$

Pontos mérések szerint a törésmutató (így az anyagbeli fénysebesség is) kissé függ a hullámhossztól.

A jelenség neve: **diszperzió**.

Pl. üvegek esetén az ibolya színre vonatkozó törésmutató általában 1–3%-kal nagyobb, mint a mélyvörös szín esetében.



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- **A fényhullámok interferenciája**
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

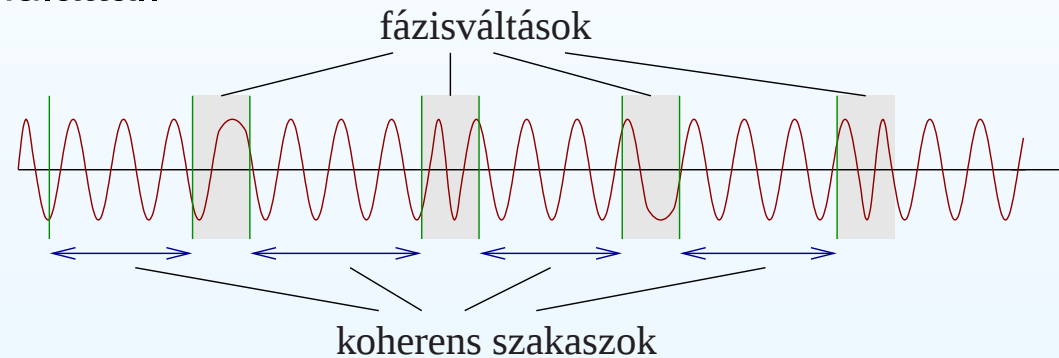
A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A fényhullámok interferenciája

Alapvetően minden ugyanolyan, mint amit az általános hullámtanban tanultunk.

Specialitás: A fényhullámok nem jellemezhetők egyetlen hullámvonulattal.



A jelenség oka: a fénykibocsátás különálló atomokból, molekulákból egymástól függetlenül történik.

Koherenciahossz: Az a távolság, amin belül egy adott fényforrás fénye egyetlen harmonikus hullámmal jellemezhető.



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A fényhullámok interferenciája

Ha két fényforrás fénye találkozik, az erősítés feltétele:

$$s_1 - s_2 = n\lambda$$

ahol n egész szám, s_1 és s_2 a két forrástól mért távolság.

Ezt ki kell egészíteni azzal, hogy $|s_1 - s_2| < l_k$. (l_k a koherenciahossz.)

Nagyobb útkülönbség esetén a véletlen fázisugrások elrontják az interferenciát.



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A fényhullámok interferenciája

Ha két fényforrás fénye találkozik, az erősítés feltétele:

$$s_1 - s_2 = n\lambda$$

ahol n egész szám, s_1 és s_2 a két forrástól mért távolság.

Ezt ki kell egészíteni azzal, hogy $|s_1 - s_2| < l_k$. (l_k a koherenciahossz.)

Nagyobb útkülönbség esetén a véletlen fázisugrások elrontják az interferenciát.

Hagyományos fényforrásra $l_k < 0,1$ mm. Ezért a hétköznapi életben nem találkozunk fény interferencia-jelenségekkel.



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A fényhullámok interferenciája

Ha két fényforrás fénye találkozik, az erősítés feltétele:

$$s_1 - s_2 = n\lambda$$

ahol n egész szám, s_1 és s_2 a két forrástól mért távolság.

Ezt ki kell egészíteni azzal, hogy $|s_1 - s_2| < l_k$. (l_k a koherenciahossz.)

Nagyobb útkülönbség esetén a véletlen fázisugrások elrontják az interferenciát.

Hagyományos fényforrásra $l_k < 0,1$ mm. Ezért a hétköznapi életben nem találkozunk fény interferencia-jelenségekkel.

Lézerek esetén a l_k akár 10 m is lehet. Ezért lézerek esetén az interferencia könnyen megfigyelhető.



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- **A fény polarizációja**
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A fény polarizációja

A fény transzverzális elektromágneses hullám, ezért az elektromos tér benne merőleges a terjedési irányra.

Az interferenciát is befolyásolja az elektromos tér iránya, azaz a polarizáció.

A legtöbb fényforrás azonban össze-vissza változtatja polarizációját a másodperc törtrésze alatt, ezért nincs sokszor szerepe a polarizációnak.



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- **Polarizált fény előállítása**
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Polarizált fény előállítása

Polarizációs szűrő: speciális anyag, mely csak az egyik polarizációs irányt engedi át.



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- **Polarizált fény előállítása**
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Polarizált fény előállítása

Polarizációs szűrő: speciális anyag, mely csak az egyik polarizációs irányt engedi át.

Visszaverődés átlátszó felületekről: a visszavert fényben több az a komponens, melyben a polarizáció párhuzamos a felülettel. (lásd később)



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- **Polarizált fény előállítása**
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Polarizált fény előállítása

Polarizációs szűrő: speciális anyag, mely csak az egyik polarizációs irányt engedi át.

Visszaverődés átlátszó felületekről: a visszavert fényben több az a komponens, melyben a polarizáció párhuzamos a felülettel. (lásd később)

Az égbolt kékje: a napfény szóródása polarizációfüggő.



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- **Polarizált fény előállítása**
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Polarizált fény előállítása

Polarizációs szűrő: speciális anyag, mely csak az egyik polarizációs irányt engedi át.

Visszaverődés átlátszó felületekről: a visszavert fényben több az a komponens, melyben a polarizáció párhuzamos a felülettel. (lásd később)

Az égbolt kékje: a napfény szóródása polarizációfüggő.

Speciális fényforrások: bizonyos lézerek polarizált fényt bocsátanak ki.



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- **A Brewster-szög**

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

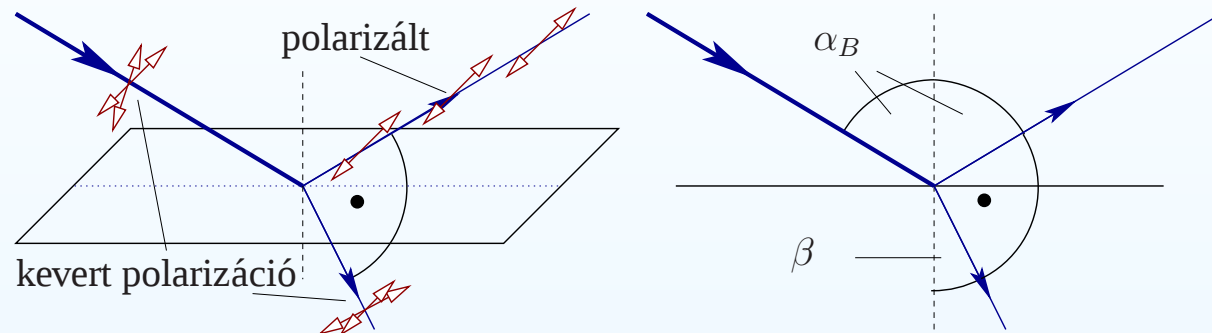
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A Brewster-szög

Amikor a visszavert és a megtört fénysugár épp derékszöget zár be egymással, a visszavert fény teljesen polarizált lesz.





A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- **A Brewster-szög**

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

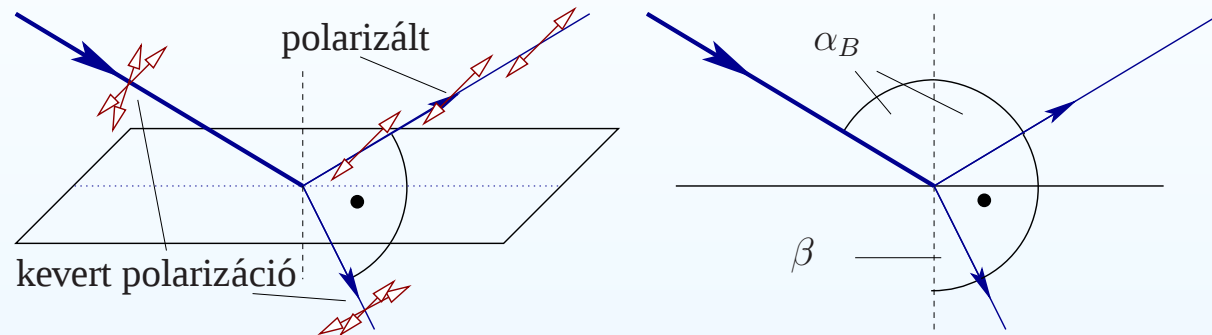
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A Brewster-szög

Amikor a visszavert és a megtört fénysugár épp derékszöget zár be egymással, a visszavert fény teljesen polarizált lesz.



$$\alpha_B + 90^\circ + \beta = 180^\circ \Rightarrow \alpha_B + \beta = 90^\circ$$



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

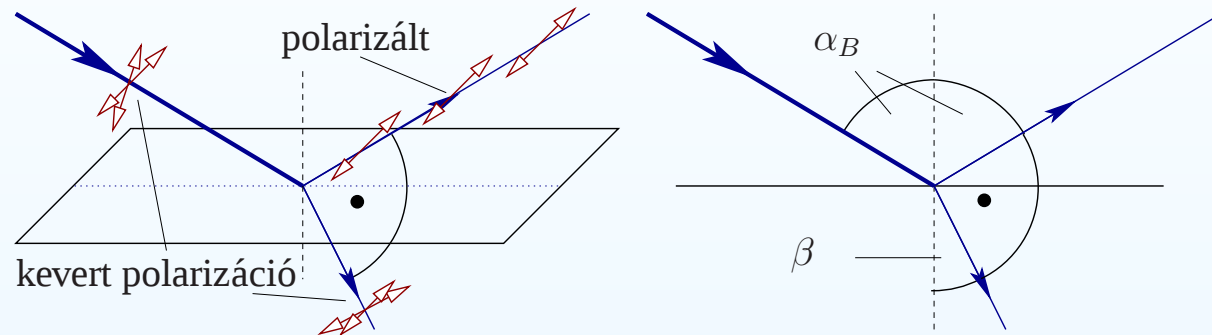
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A Brewster-szög

Amikor a visszavert és a megtört fénysugár épp derékszöget zár be egymással, a visszavert fény teljesen polarizált lesz.



$$\alpha_B + 90^\circ + \beta = 180^\circ \Rightarrow \alpha_B + \beta = 90^\circ$$

A Snellius-Descartes törvény szerint:

$$\sin \alpha_B / \sin \beta = n$$



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

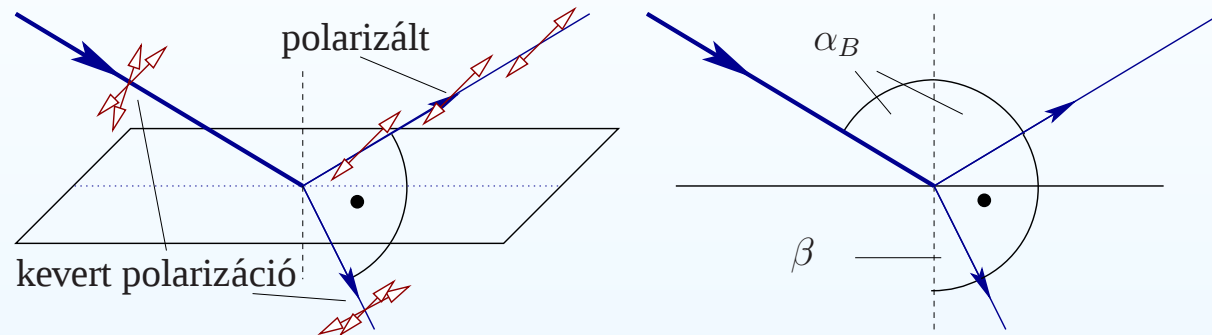
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A Brewster-szög

Amikor a visszavert és a megtört fénysugár épp derékszöget zár be egymással, a visszavert fény teljesen polarizált lesz.



$$\alpha_B + 90^\circ + \beta = 180^\circ \Rightarrow \alpha_B + \beta = 90^\circ$$

A Snellius-Descartes törvény szerint:

$$\sin \alpha_B / \sin \beta = n$$

$\beta = 90^\circ - \alpha_B$ alapján:

$$\frac{\sin \alpha_B}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha_B}{\sin(90^\circ - \alpha_B)} =$$



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

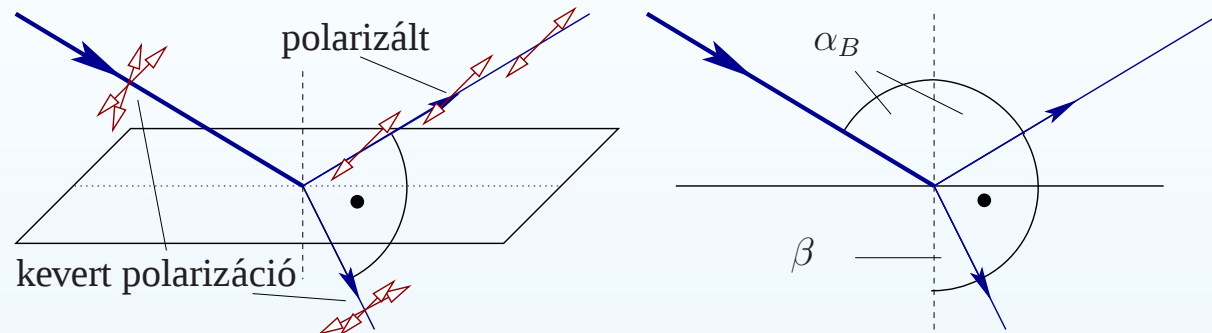
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A Brewster-szög

Amikor a visszavert és a megtört fénysugár épp derékszöget zár be egymással, a visszavert fény teljesen polarizált lesz.



$$\alpha_B + 90^\circ + \beta = 180^\circ \Rightarrow \alpha_B + \beta = 90^\circ$$

A Snellius-Descartes törvény szerint:

$$\sin \alpha_B / \sin \beta = n$$

$\beta = 90^\circ - \alpha_B$ alapján:

$$\frac{\sin \alpha_B}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha_B}{\sin(90^\circ - \alpha_B)} = \frac{\sin \alpha_B}{\cos \alpha_B} =$$



A fény fontosabb tulajdonságai

- Bevezetés
- A fény és az elektromágneses spektrum
- A színek keletkezése
- A fény sebessége
- A fényhullámok interferenciája
- A fény polarizációja
- Polarizált fény előállítása
- A Brewster-szög

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

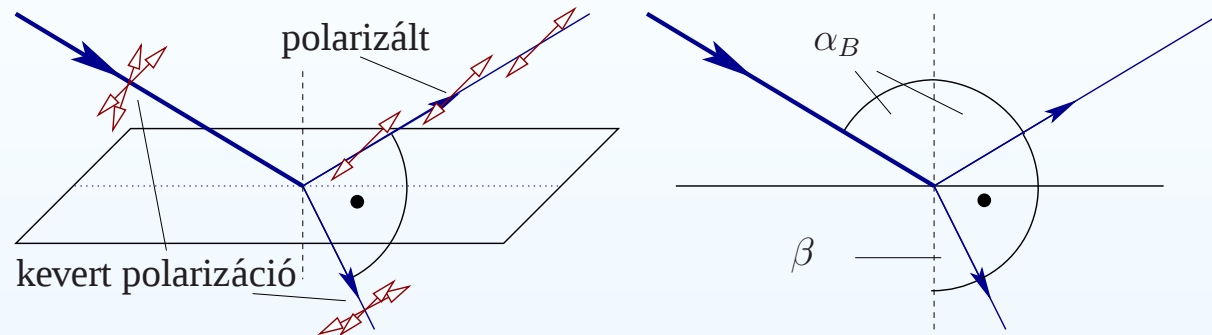
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A Brewster-szög

Amikor a visszavert és a megtört fénysugár épp derékszöget zár be egymással, a visszavert fény teljesen polarizált lesz.



$$\alpha_B + 90^\circ + \beta = 180^\circ \Rightarrow \alpha_B + \beta = 90^\circ$$

A Snellius-Descartes törvény szerint:

$$\sin \alpha_B / \sin \beta = n$$

$\beta = 90^\circ - \alpha_B$ alapján:

$$\frac{\sin \alpha_B}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha_B}{\sin(90^\circ - \alpha_B)} = \frac{\sin \alpha_B}{\cos \alpha_B} = \tan \alpha_B = n$$



A fény fontosabb
tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- A két rés esetének részletes vizsgálata
- Az optikai rács
- Fényelhajlás széles résen

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó
eszközök

Egyszerű optikai
berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp
működése

Hullámoptika



A fény fontosabb
tulajdonságai

Hullámoptika

● **Bevezetés**

- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- A két rés esetének részletes vizsgálata
- Az optikai rács
- Fényelhajlás széles résen

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó
eszközök

Egyszerű optikai
berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp
működése

Bevezetés

Az előzőek alapján megmutatjuk, milyen jelenségeket okoz a fény hullámtulajdonsága.

A hullámhossz kicsi volta miatt a fény hullámtulajdonsága csak kis méretű tárgyakkal való kölcsönhatás estén nyilvánul meg.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés

- Egy kis lyuk esete

- Két kis lyuk esete

- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása

- A két rés esetének részletes vizsgálata

- Az optikai rács

- Fényelhajlás széles résen

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

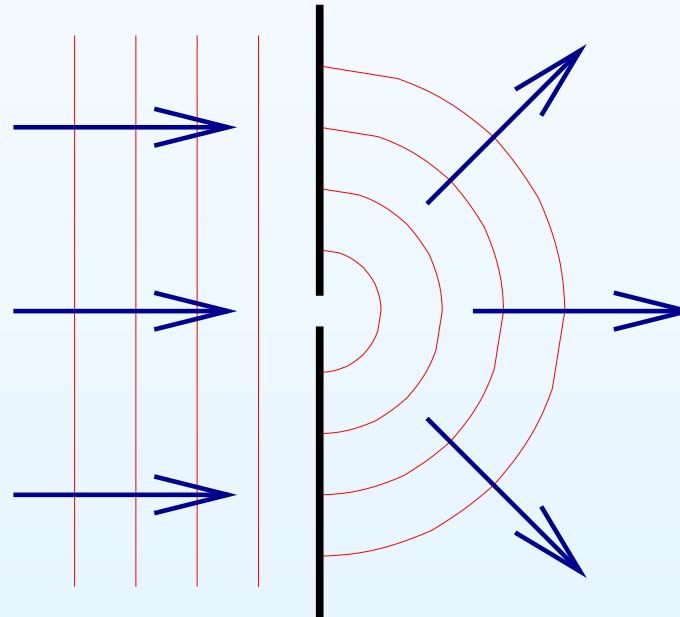
A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Egy kis lyuk esete

Essen a fény merőlegesen egy ernyőre, melyen egy kicsi ($< \lambda$) lyuk van.

A Huygens-Fresnel elv miatt az ernyő után egyetlen gömbhullám megy tovább.



A gyakorlatban ez nehezen megfigyelhető a kis lyukon átjutó gyenge intenzitás miatt. Ezért gyakran lyuk helyett rést alkalmaznak.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- **Két kis lyuk esete**
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- A két rés esetének részletes vizsgálata
- Az optikai rács
- Fényelhajlás széles résen

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

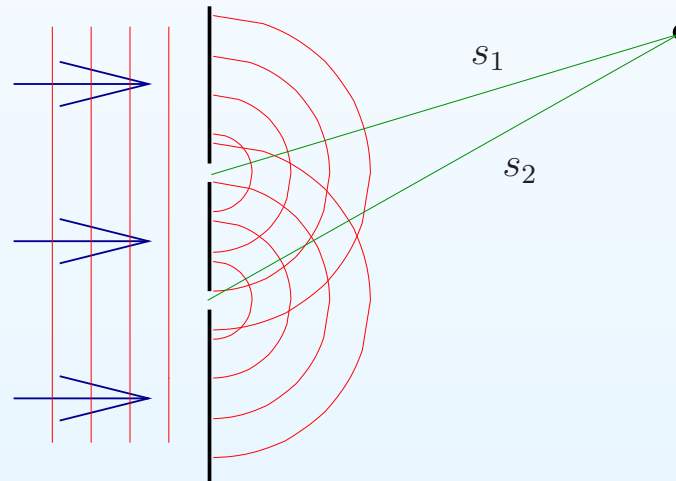
A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Két kis lyuk esete

Essen a fény merőlegesen egy ernyőre, melyen két kicsi ($< \lambda$) lyuk van.

A Huygens-Fresnel elv miatt az ernyő után két gömbhullám interferenciáját kapjuk



Az ernyő mögött tehát lesznek erősítési és kioltási helyek is.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- **1 és 2 rés esetének összehasonlítása**
- A két rés esetének részletes vizsgálata
- Az optikai rács
- Fényelhajlás széles résen

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

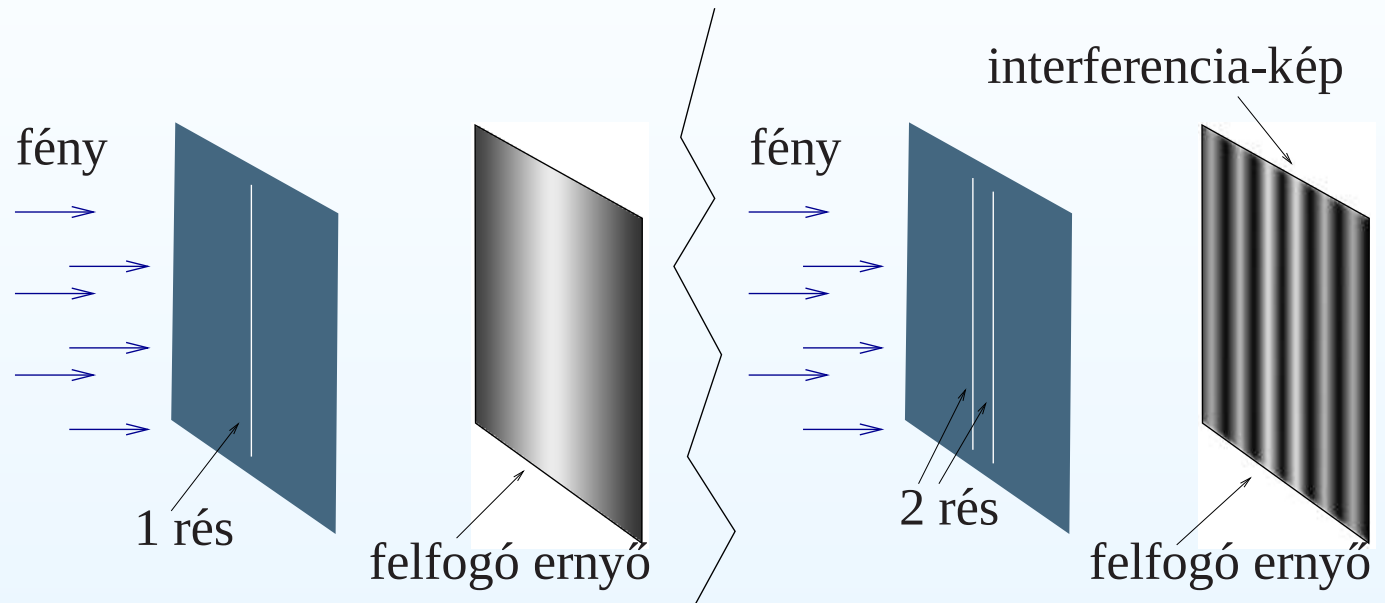
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

1 és 2 rés esetének összehasonlítása

Az előzőeket összefoglalva:





A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- **A két rés esetének részletes vizsgálata**
- Az optikai rács
- Fényelhajlás széles résen

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

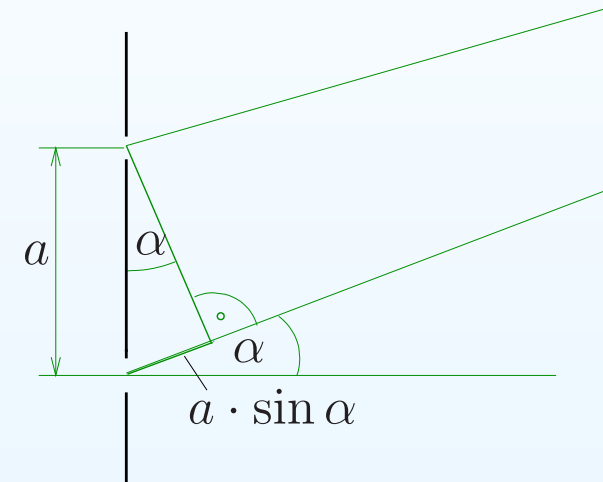
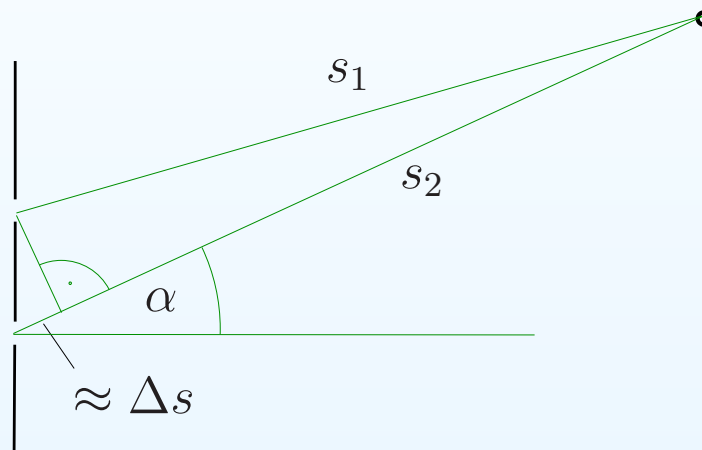
A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A két rés esetének részletes vizsgálata

Fényes csíkok a felfogó ernyőn ott lesznek, ahol a résektől mért távolságok különbségei λ egész számú többszöröse, azaz

$$s_1 - s_2 = n\lambda.$$





A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- **A két rés esetének részletes vizsgálata**
- Az optikai rács
- Fényelhajlás széles résen

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

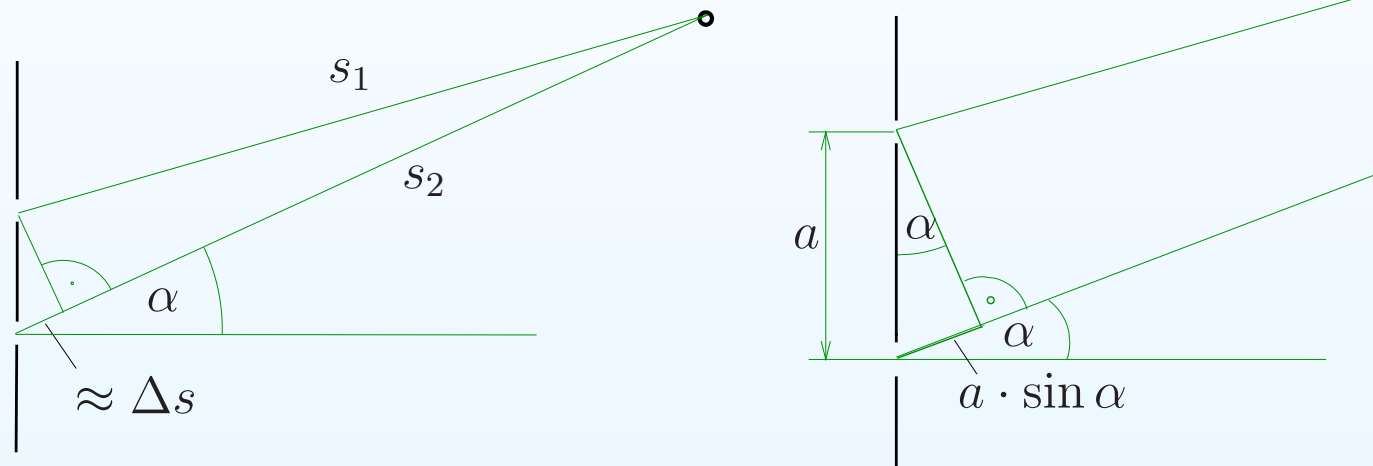
A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A két rés esetének részletes vizsgálata

Fényes csíkok a felfogó ernyőn ott lesznek, ahol a résektől mért távolságok különbségei λ egész számú többszöröse, azaz

$$s_1 - s_2 = n\lambda.$$



Az ábra szerint: $\Delta s = s_1 - s_2 \approx a \sin \alpha$.

Ezért:

$$\text{Erősítés: } \sin \alpha_n = n \frac{\lambda}{a} \quad \text{Kioltás: } \sin \beta_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{a}$$



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- **A két rés esetének részletes vizsgálata**
- Az optikai rács
- Fényelhajlás széles résen

Geometriai optika

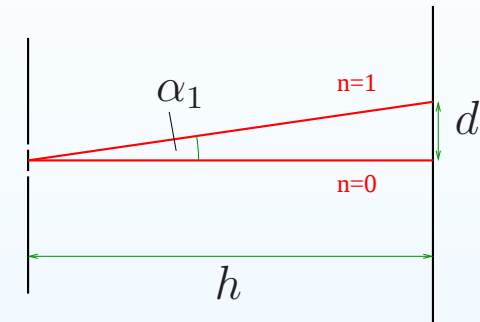
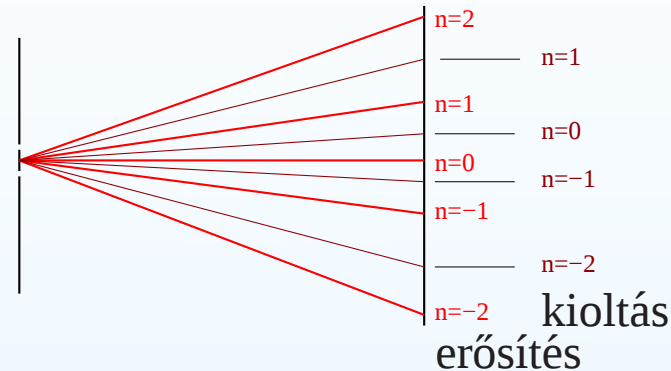
Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Erősítési irányok:



Pl. $\alpha_1 = \sin^{-1}(\lambda/a)$, azaz ha $a \gg \lambda$, akkor $\alpha_1 \ll 1$.

Tehát távoli réses esetén az erősítési irányok összefolynak.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- **A két rés esetének részletes vizsgálata**
- Az optikai rács
- Fényelhajlás széles résen

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Példa

Példa: Egy 700 nm hullámhosszúságú fény olyan réseken halad át, melyek távolsága $0,01\text{ mm}$. Milyen távolságra lesz a középvonaltól az első erősítési irány egy olyan felfogó ernyőn, melynek távolsága a résektől 3 m ?



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- A két rés esetének részletes vizsgálata
- Az optikai rács
- Fényelhajlás széles résen

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Példa

Példa: Egy 700 nm hullámhosszúságú fény olyan réseken halad át, melyek távolsága $0,01\text{ mm}$. Milyen távolságra lesz a középvonaltól az első erősítési irány egy olyan felfogó ernyőn, melynek távolsága a résektől 3 m ?

Megoldás: Középvonal? $n = 0$, $\alpha_0 = 0$, erősítés.

Mellette levő erősítési irányok az $n = 1$ ill. $n = -1$ szimmetrikusan. $n = 1$ -hez tartozó erősítési irány:

$$\alpha_1 = \sin^{-1} \frac{\lambda}{a} = \sin^{-1} \frac{7 \cdot 10^{-7}}{10^{-5}} = 4,01^\circ.$$

Az előző ábra alapján a felfogó ernyőn a középvonaltól való távolság:

$$d = h \tan \alpha_1 = 0,21\text{ m}$$

($h = 3\text{ m}$, a rések és a felfogó ernyő távolsága.)



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- A két rés esetének részletes vizsgálata
- **Az optikai rács**
- Fényelhajlás széles résen

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Az optikai rács

A nagyobb intenzitás végett nem 2 rést, hanem több százat vagy ezret szokás használni egymástól egyenletes távolságokban. Az ilyen berendezést **optikai rács**nak nevezzük.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- A két rés esetének részletes vizsgálata
- **Az optikai rács**
- Fényelhajlás széles résen

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

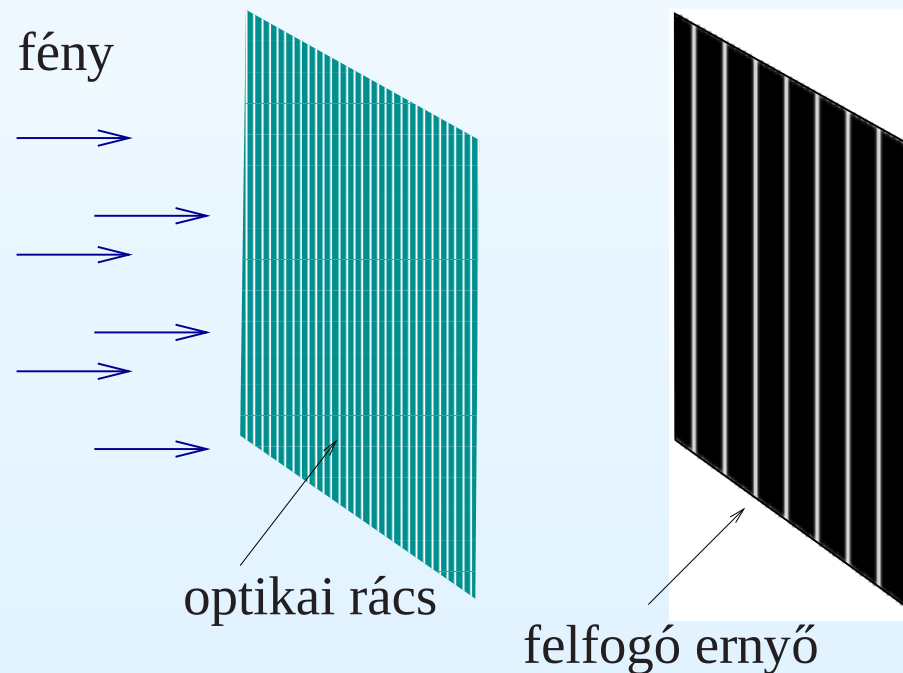
A mikroszkóp működése

Az optikai rács

A nagyobb intenzitás végett nem 2 rést, hanem több százat vagy ezret szokás használni egymástól egyenletes távolságokban. Az ilyen berendezést **optikai rács**nak nevezzük.

Könnyű belátni, hogy az erősítési irányok azonosak lesznek a 2 rés esetével.

Kicsit nehezebb belátni, hogy minden más irányban kioltás lesz.





A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- A két rés esetének részletes vizsgálata
- Az optikai rács
- Fényelhajlás széles résen

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Példa

Példa: Egy optikai rácsra ismeretlen hullámhosszúságú monokromatikus fény esik. A rács olyan, hogy centiméterenként 2000 rés van belekarcolva. A rács mögött $h = 2\text{ m}$ távolságban elhelyezett ernyőn fényfoltokat látunk. Az a fényfolt, ami a fény eredeti továbbhaladási irányában van, $d = 24\text{ cm}$ -re található a szomszédjától. Mekkora a használt fény hullámhossza?



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- A két rés esetének részletes vizsgálata
- **Az optikai rács**
- Fényelhajlás széles résen

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Példa

Példa: Egy optikai rácsra ismeretlen hullámhosszúságú monokromatikus fény esik. A rács olyan, hogy centiméterenként 2000 rés van belekarcolva. A rács mögött $h = 2\text{ m}$ távolságban elhelyezett ernyőn fényfoltokat látunk. Az a fényfolt, ami a fény eredeti továbbhaladási irányában van, $d = 24\text{ cm}$ -re található a szomszédjától. Mekkora a használt fény hullámhossza?

Megoldás: Első erősítési irány: α_1 , $\tan \alpha_1 = d/h = 0,12$.

Ebből $\alpha_1 = 6,84^\circ$.

$\sin \alpha_1 = 1 \cdot \lambda/a$, ezért:

$$\lambda = a \cdot \sin \alpha_1 = \frac{0,01\text{ m}}{2000} \cdot 0,12 = 6 \cdot 10^{-7}\text{ m} = 600\text{ nm}.$$

A fény hullámhossza tehát 600 nm. (Ez narancssárga színt jelent.)



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- A két rés esetének részletes vizsgálata
- Az optikai rács
- **Fényelhajlás széles résen**

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

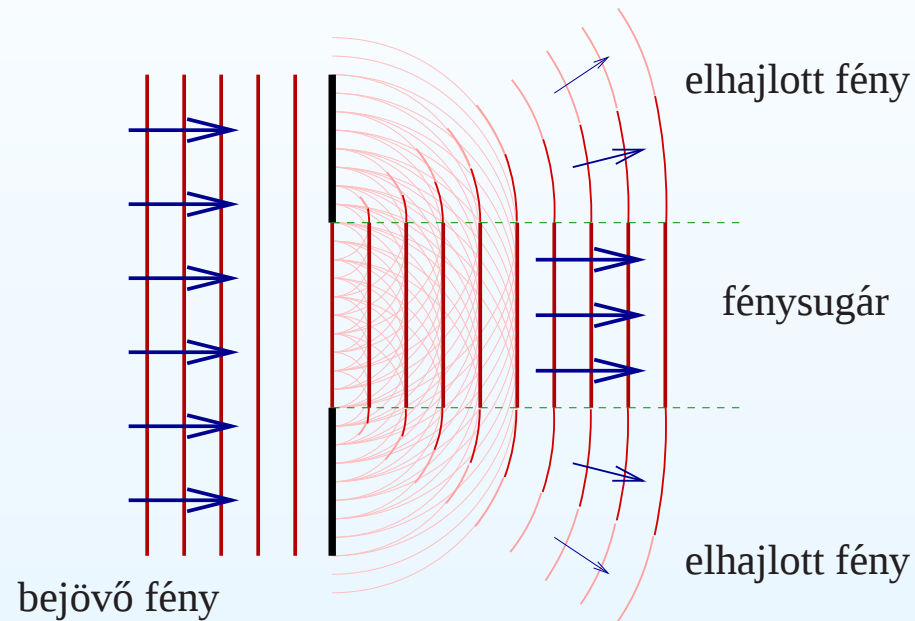
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Fényelhajlás széles résen

Ha a résméret nagyobb, mint λ , akkor a Huygens-Fresnel elv szerint több elemi gömbhullám összegzését kell elvégezni.



A nyaláb közepe síkhullám formájában terjed tovább, a széle kicsit eltér az eredeti iránytól.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- A két rés esetének részletes vizsgálata
- Az optikai rács
- **Fényelhajlás széles résen**

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

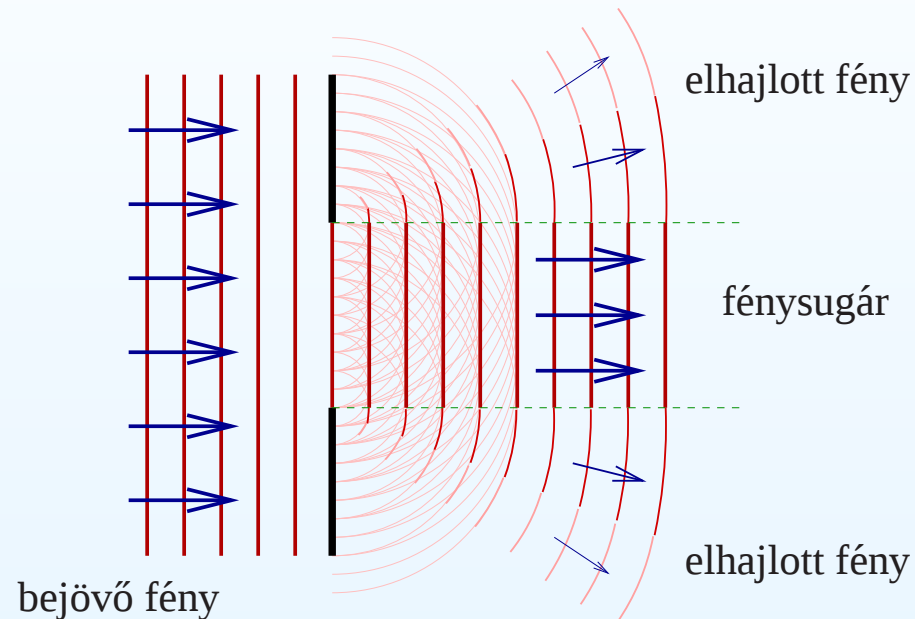
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Fényelhajlás széles résen

Ha a résméret nagyobb, mint λ , akkor a Huygens-Fresnel elv szerint több elemi gömbhullám összegzését kell elvégezni.



A nyaláb közepe síkhullám formájában terjed tovább, a széle kicsit eltér az eredeti iránytól.

A jelenség neve: **fényelhajlás**.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- A két rés esetének részletes vizsgálata
- Az optikai rács
- **Fényelhajlás széles résen**

Geometriai optika

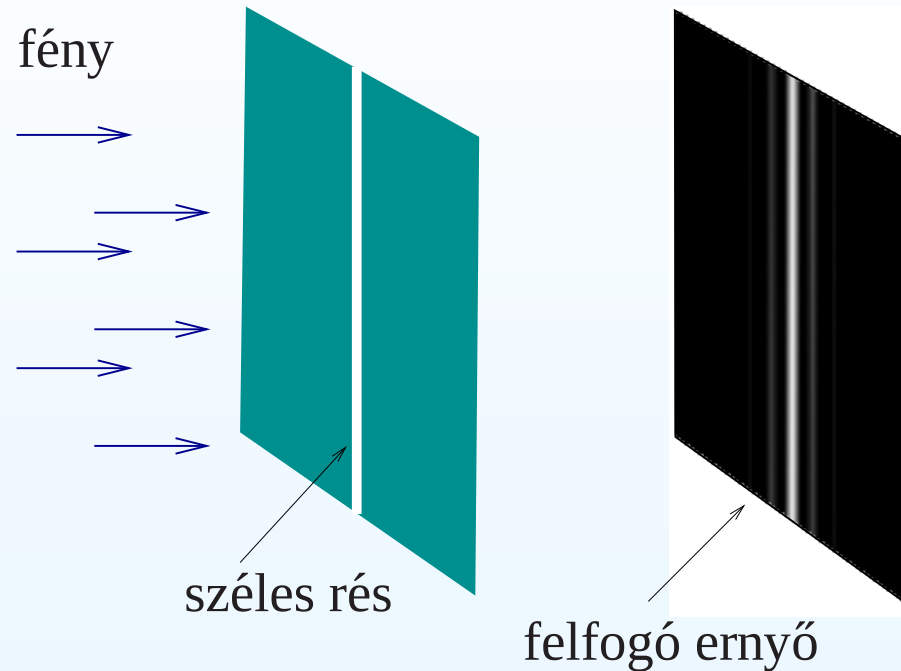
Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Fényelhajlás széles résen





A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- A két rés esetének részletes vizsgálata
- Az optikai rács
- **Fényelhajlás széles résen**

Geometriai optika

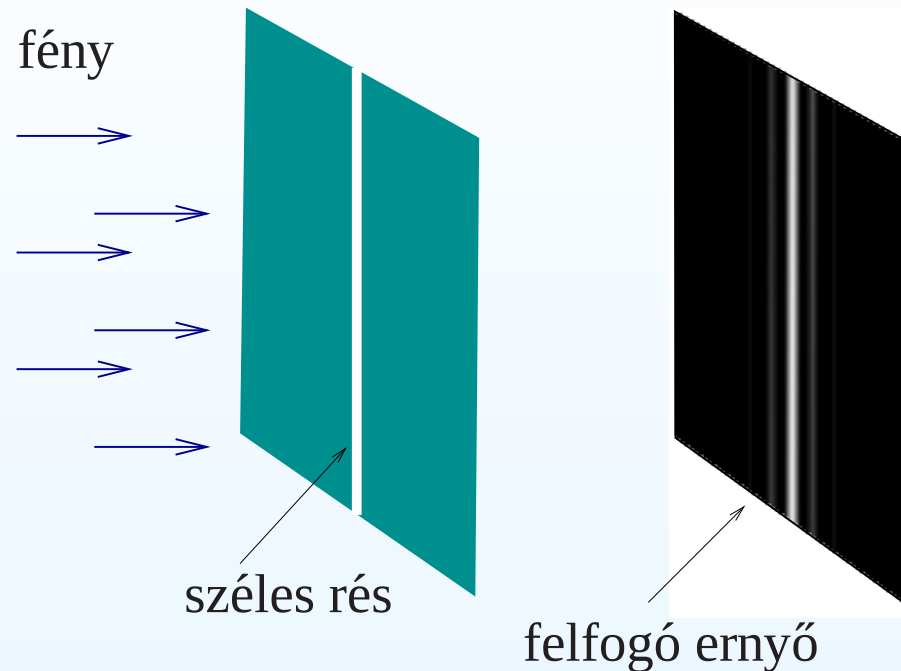
Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Fényelhajlás széles résen



Az első sötét csík és a középvonal szögtávolsága:

$$\sin \varphi = \frac{\lambda}{d}$$

Látszik, hogy ha $d \gg \lambda$, akkor $\varphi \ll 1$, azaz a jelenség nem látható nagyon széles résen.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- A két rés esetének részletes vizsgálata
- Az optikai rács
- **Fényelhajlás széles résen**

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Példa

Példa: Egy 600 nm hullámhosszúságú fény 2 cm széles résen halad át. Mekkora az elhajlás mértékét jellemző szögérték, mely a továbbhaladó fénynyaláb kiszélesedését jellemzi?



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

- Bevezetés
- Egy kis lyuk esete
- Két kis lyuk esete
- 1 és 2 rés esetének összehasonlítása
- A két rés esetének részletes vizsgálata
- Az optikai rács
- **Fényelhajlás széles résen**

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Példa

Példa: Egy 600 nm hullámhosszúságú fény 2 cm széles résen halad át. Mekkora az elhajlás mértékét jellemző szögérték, mely a továbbhaladó fénynyaláb kiszélesedését jellemzi?

Megoldás: Az előzőek szerint:

$$\sin \varphi = \frac{6 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 10^{-2}} = 3 \cdot 10^{-5},$$

ahonnan

$$\varphi = 0,0017^\circ = 0,10' = 6,2''.$$

A 2 cm-es résen tehát egy átlagos fénynyaláb elhajlás miatti szóródása elhanyagolhatónak vehető



A fény fontosabb
tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

- Bevezetés
- A képző és a képalkotás
alapfogalmai
- Valódi- és látszólagos
képző

Egyszerű képző
eszközök

Egyszerű optikai
berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp
működése

Geometriai optika



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

- **Bevezetés**
- A képképzés alapfogalmai
- Valódi- és látszólagos képképzés

Egyszerű képképző eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Bevezetés

Az előzőek szerint ha a tárgyak mérete sokkal nagyobb a fény hullámhosszánál, az elhajlási jelenségek elhanyagolhatóak.

Ekkor úgy vehetjük, mintha a fény fénysugarakból állna, melyek homogén közegben egyenesen terjednek, közeghatáron részben megtörnek, részben visszaverődnek a hullámtanban tanultak szerint.

A **fénysugár** tehát valójában síkhullám formájában terjedő fényt jelent.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

- **Bevezetés**
- A képképzés alapfogalmai
- Valódi- és látszólagos képképzés

Egyszerű képképző eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Bevezetés

Az előzőek szerint ha a tárgyak mérete sokkal nagyobb a fény hullámhosszánál, az elhajlási jelenségek elhanyagolhatóak.

Ekkor úgy vehetjük, mintha a fény fénysugarakból állna, melyek homogén közegben egyenesen terjednek, közeghatáron részben megtörnek, részben visszaverődnek a hullámtanban tanultak szerint.

A **fénysugár** tehát valójában síkhullám formájában terjedő fényt jelent.

A geometriai optika tehát csak közelítés, de jól működik a leképező rendszerek (lencsék, tükrök, távcsövek) működésének vizsgálatakor.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

- Bevezetés
- **A képképzés alapfogalmai**
- Valódi- és látszólagos képképzés

Egyszerű képképző eszközök

Egyszerű optikai berendezések

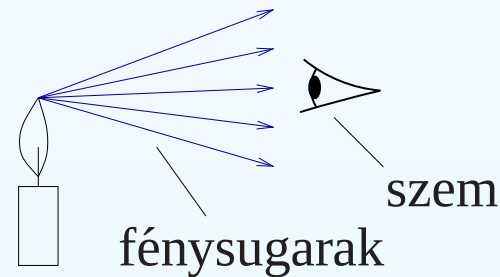
A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A képképzés alapfogalmai

A képképző eszközök jelentik az optika egyik legnagyobb alkalmazási területét.

Akkor látunk egy képpontot, ha vannak fénysugarak, melyek a szemünkbe érkezéskor egy pont irányából látszanak jönni.





A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

- Bevezetés
- **A képképzés alapfogalmai**
- Valódi- és látszólagos képképzés

Egyszerű képképző eszközök

Egyszerű optikai berendezések

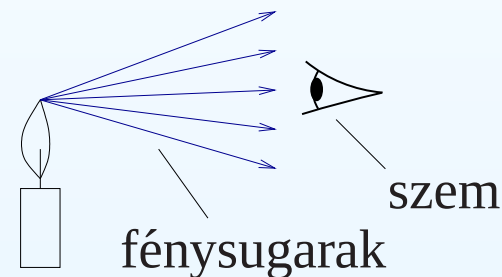
A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A képképzés alapfogalmai

A képképző eszközök jelentik az optika egyik legnagyobb alkalmazási területét.

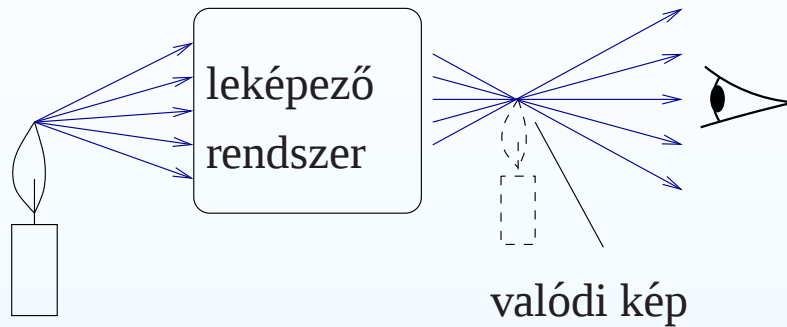
Akkor látunk egy képpontot, ha vannak fénysugarak, melyek a szemünkbe érkezéskor egy pont irányából látszanak jönni.



A leképező rendszerek megváltoztatják a fénysugarak irányát. Képet akkor látunk, ha a megváltoztatott fénysugarak is valóban egy pontból jönnek, amikor a szemünkhöz érnek, vagy egy pontból látszanak jönni.

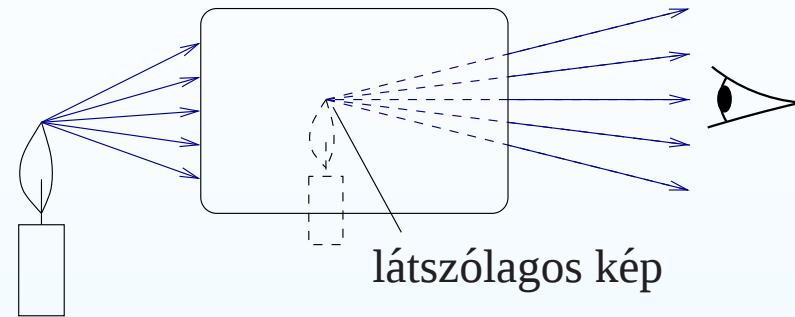
Ez a két eset sok szempontból különbözik.

Valódi- és látszólagos képalkotás



Valódi képalkotás

a fénysugarak valóban találkoztak



Látszólagos képalkotás

a fénysugarak nem találkoztak

A két eset az alkalmazások szempontjából eltérő: pl. valódi kép kivetíthető egy vászonra, a látszólagos pedig nem.



A fény fontosabb
tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

**Egyszerű képalkotó
eszközök**

- A lyukkamera
- Síktükör képalkotása
- Lencsék képalkotása
- A nevezetes
sugármenetek
- Valódi képalkotás
gyűjtőlencsével
- Látszólagos
képalkotás
gyűjtőlencsével
- Szórólencsék
- Gömbtükrök
képalkotása
- A képalkotó eszközök
korlátai
- A fényelhajlás hatása
a leképezésre

Egyszerű optikai
berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp
működése

Egyszerű képalkotó eszközök



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

● A lyukkamera

● Síktükör képképzése

● Lencsék képképzése

● A nevezetes sugármenetek

● Valódi képképzés gyűjtőlencsével

● Látszólagos képképzés gyűjtőlencsével

● Szórólencsék

● Gömbtükrök képképzése

● A képképző eszközök korlátai

● A fényelhajlás hatása a leképezésre

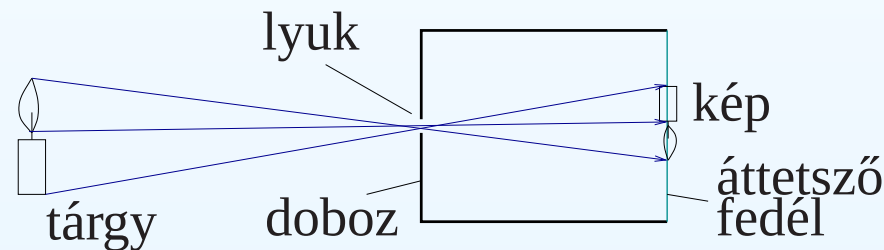
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A lyukkamera

A lyukkamera lényegében egy doboz, melynek egyik oldala áttetsző, matt fedővel (pl. zsírpapír) rendelkezik, és az ezzel szembeni oldalon egy kicsi lyuk van fúrva a doboz átlátszatlan falába.



Ez nem is igazi képképzés, inkább speciális árnyékvetési jelenség.

Az egy pontból induló sugarak nem találkoznak, csak egy kis foltot képeznek az ernyőn.

Ha kicsi a lyuk, kevés a fény, ha nagy, akkor életlen a kép. Alkalmazása korlátozott, inkább csak történeti érdekesség.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

- A lyukkamera
- **Síktükör képképzése**
- Lencsék képképzése
- A nevezetes sugármenetek
- Valódi képképzés gyűjtőlencsével
- Látszólagos képképzés gyűjtőlencsével
- Szórólencsék
- Gömbtükör képképzése
- A képképző eszközök korlátai
- A fényelhajlás hatása a leképezésre

Egyszerű optikai berendezések

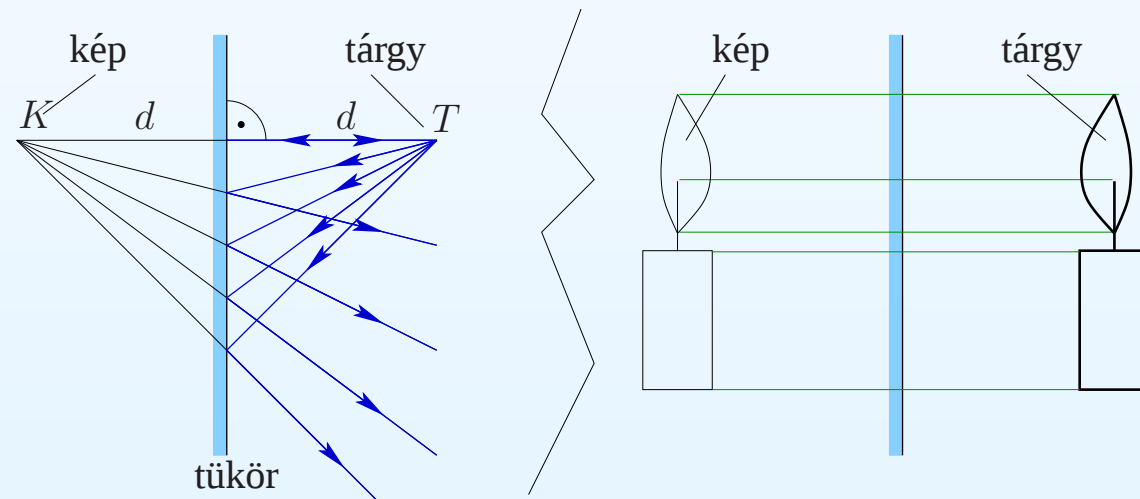
A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Síktükör képképzése

Visszaverődési törvény: sík felületről visszaverődő fénysugarak a beesési merőlegessel azonos szöget zárnak be, mint a beesők.

Ez alapján megszerkeszthető, hogy egy pontból kiinduló fénysugarak a sík tükörről való visszaverődés után egy pontból látszanak jönni, azaz **látszólagos képképzés**ről van szó. (bal oldali ábra)



Kiterjedt tárgy tükörbeli képét pontonként szerkeszthetjük meg. (jobb oldali ábra)



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

- A lyukkamera
- Síktükör képalkotása
- **Lencsék képalkotása**
- A nevezetes sugármenetek
- Valódi képalkotás gyűjtőlencsével
- Látszólagos képalkotás gyűjtőlencsével
- Szórólencsék
- Gömbtükrök képalkotása
- A képalkotó eszközök korlátai
- A fényelhajlás hatása a leképezésre

Egyszerű optikai berendezések

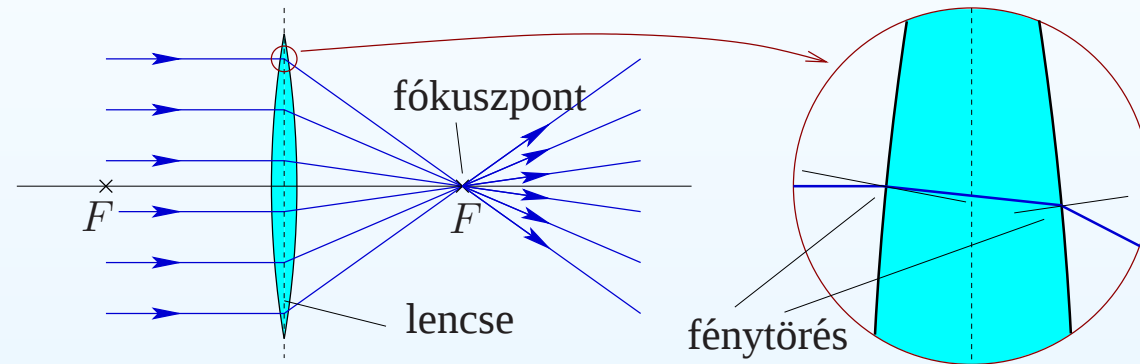
A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Lencsék képzalkotása

Lencse: két gömbsüveg által közrefogott térrészben átlátszó anyag.

A törési törvény miatt ez gyűjti a fénysugarakat, ha a lencse környezetre vonatkozó törésmutatója 1-nél nagyobb.





A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

- A lyukkamera
- Síktükör képalkotása
- **Lencsék képalkotása**
- A nevezetes sugármenetek
- Valódi képalkotás gyűjtőlencsével
- Látszólagos képalkotás gyűjtőlencsével
- Szórólencsék
- Gömbtükrök képalkotása
- A képalkotó eszközök korlátai
- A fényelhajlás hatása a leképezésre

Egyszerű optikai berendezések

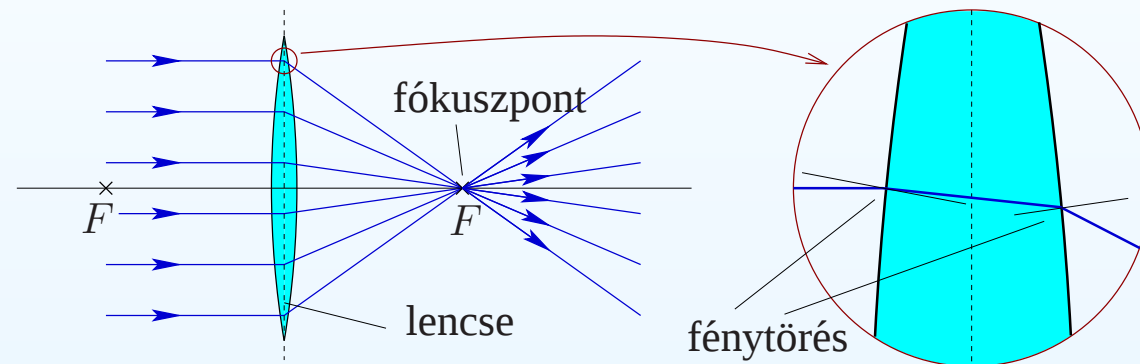
A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Lencsék képzalkotása

Lencse: két gömbsüveg által közrefogott térrészben átlátszó anyag.

A törési törvény miatt ez gyűjti a fénysugarakat, ha a lencse környezetre vonatkozó törésmutatója 1-nél nagyobb.



Bebizonyítható, hogy az összes, eredetileg a tengellyel párhuzamos sugár egy pontban fog egyesülni. Ezt a pontot a lencse **fókuszpontjának** nevezzük.

A fókuszpont és a lencse távolságának elnevezése: **fókusz távolság**, szokásos jele f .



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

- A lyukkamera
- Síktükör képképzése
- **Lencsék képképzése**
- A nevezetes sugármenetek
- Valódi képképzés gyűjtőlencsével
- Látszólagos képképzés gyűjtőlencsével
- Szórólencsék
- Gömbtükrök képképzése
- A képképző eszközök korlátai
- A fényelhajlás hatása a leképezésre

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

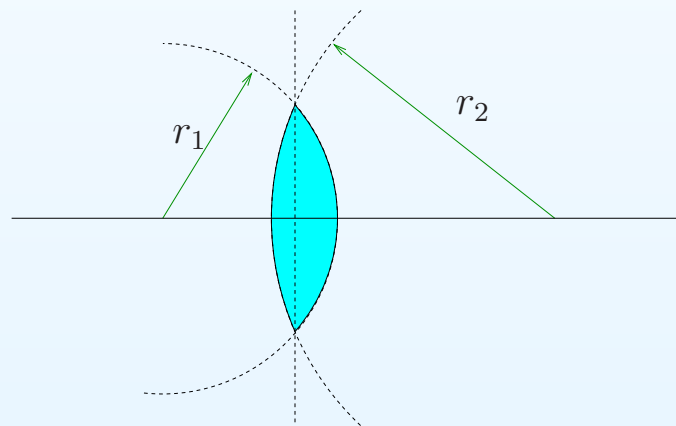
A mikroszkóp működése

A fókusz távolság számítása

Bebizonyítható, hogy

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

ahol n a lencse anyagának a környezetre vonatkozó törésmutatója, r_1 és r_2 a két oldal görbületi sugara.



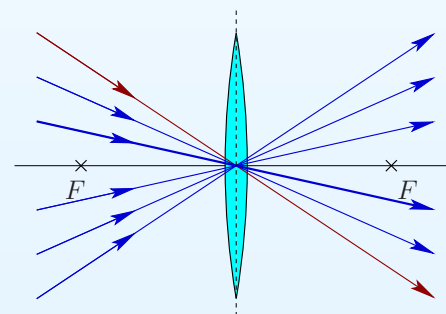
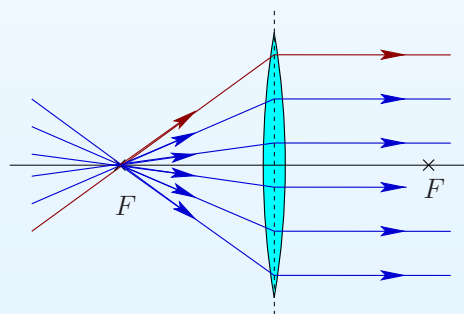
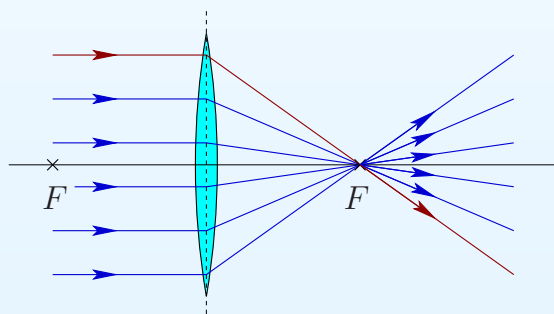
A fenti formula helyes eredményt ad $n < 1$ esetben is, vagy ha homorú a lencse valamelyik oldala. Ekkor $f < 0$ lehet, ami szórólencsét jelent. (Lásd később.)

Ha ez egyik oldal sík, akkor a görbületi sugarat olyan nagynak vehetjük, hogy $1/r$ közel 0-nak vehető.

A nevezetes sugármenetek

Bebizonyítható, hogy **vékony lencsék** esetén 3 nevezetes esetben a sugármenetek egyszerűen végigkövethetők. Ezek a **nevezetes sugármenetek**.

1. A gyűjtőlencse tengelyével párhuzamosan érkező fénysugarak a lencse után a fókuszponton fognak áthaladni.
2. A gyűjtőlencse fókuszpontjának irányából érkező (a fókuszponton átmenő) fénysugarak a lencse után a tengellyel párhuzamosan fognak haladni.
3. A gyűjtőlencse középpontján áthaladó fénysugarak az eredeti irányban haladnak tovább.



Ha a nevezetes sugármenetek egy pontban találkoznak, akkor a többi, lencsén átmenő is.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

- A lyukkamera
- Síktükör képképzése
- Lencsék képképzése
- A nevezetes sugármenetek
- Valódi képképzés gyűjtőlencsével
- Látszólagos képképzés gyűjtőlencsével
- Szórólencsék
- Gömbtükrök képképzése
- A képképző eszközök korlátai
- A fényelhajlás hatása a leképezésre

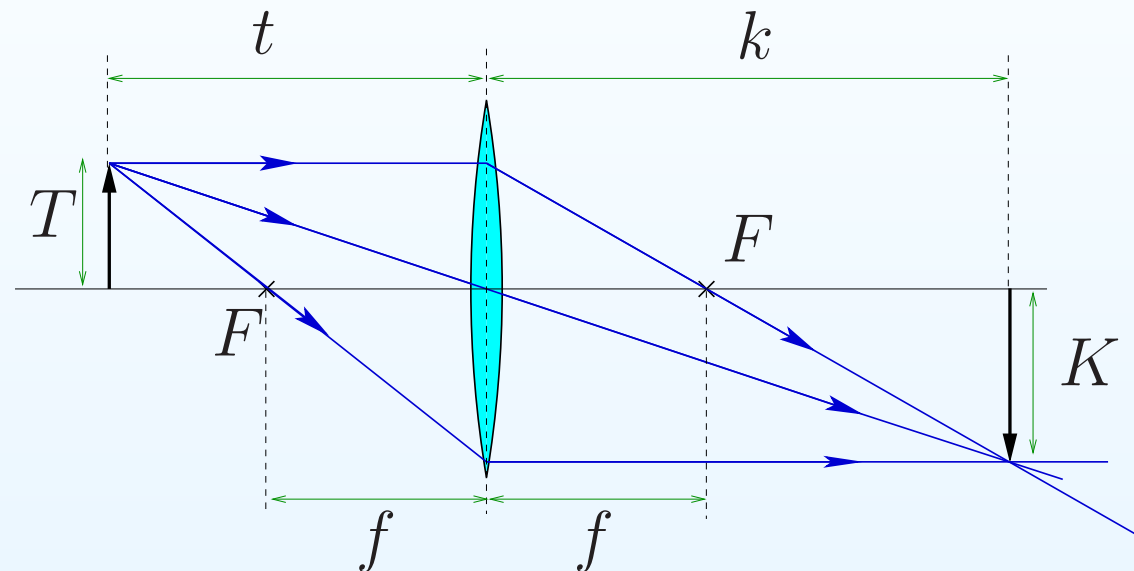
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Valódi képképzés gyűjtőlencsével

Legyen a tárgy távolabb a lencsétől, mint a fókuszpont. Ekkor a nevezetes sugármeneteket megszerkesztve:



fókusz távolság: f ; a fókuszpontok és a lencse távolsága,

képtávolság: k ; a kép és a lencse távolsága,

tárgytávolság: t ; a tárgy és a lencse távolsága,

képméret: K ; a kép mérete,

tárgyméret: T ; a tárgy mérete.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

- A lyukkamera
- Síktükör képképzése
- Lencsék képképzése
- A nevezetes sugármenetek
- Valódi képképzés gyűjtőlencsével
- Látszólagos képképzés gyűjtőlencsével
- Szórólencsék
- Gömbtükörök képképzése
- A képképző eszközök korlátai
- A fényelhajlás hatása a leképezésre

Egyszerű optikai berendezések

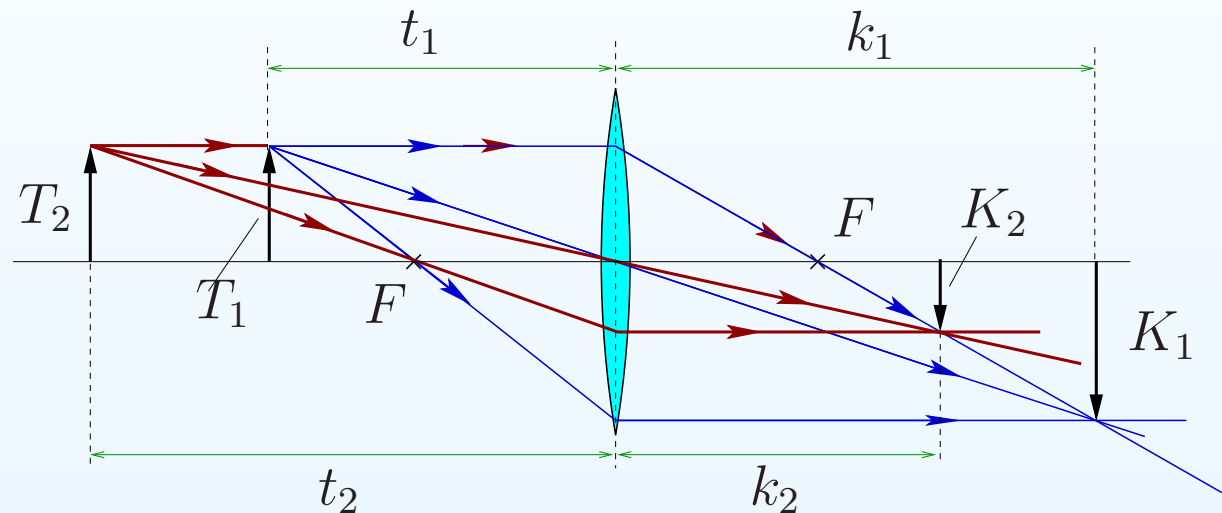
A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Valódi képképzés gyűjtőlencsével

Ezek a paraméterek kapcsolatban állnak egymással.

Pl. ha t nő, akkor k és K is csökken:



Bebizonyítható:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{k} + \frac{1}{t} \quad N = \frac{K}{T} = \frac{k}{t}$$

N neve: **nagyítás**.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

- A lyukkamera
- Síktükör képképzése
- Lencsék képképzése
- A nevezetes sugármenetek
- Valódi képképzés gyűjtőlencsével

• **Látszólagos képképzés gyűjtőlencsével**

- Szórólencsék
- Gömbtükrök képképzése
- A képképző eszközök korlátai
- A fényelhajlás hatása a leképezésre

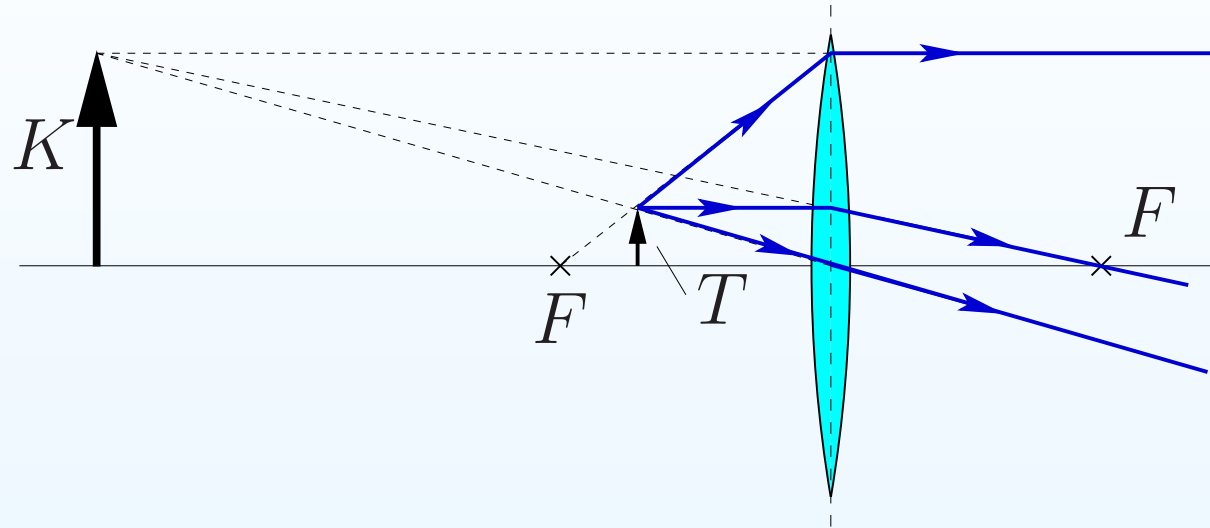
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Látszólagos képképzés gyűjtőlencsével

Ha $t < f$, akkor látszólagos kép jön létre.



A fenti egyenletek a valódi és a látszólagos kép esetét is tartalmazzák.

$t > f$ esetén $k > 0$ (valódi kép)

$t < f$ esetben $k < 0$ (látszólagos kép)



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

- A lyukkamera
- Síktükör képalkotása
- Lencsék képalkotása
- A nevezetes sugármenetek
- Valódi képalkotás gyűjtőlencsével
- **Látszólagos képalkotás gyűjtőlencsével**
- Szórólencsék
- Gömbtükrök képalkotása
- A képalkotó eszközök korlátai
- A fényelhajlás hatása a leképezésre

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Példa

Példa: Egy 10 cm fókusztávolságú lencsével egy tőle 80 cm-re levő izzószál képét állítjuk elő. Mekkora lesz a kép távolsága a lencsétől? Ha az izzószál hossza 30 mm, mekkora lesz képének a mérete?



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

- A lyukkamera
- Síktükör képképzése
- Lencsék képképzése
- A nevezetes sugármenetek
- Valódi képképzés gyűjtőlencsével
- **Látszólagos képképzés gyűjtőlencsével**
- Szórólencsék
- Gömbtükörök képképzése
- A képképző eszközök korlátai
- A fényelhajlás hatása a leképezésre

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Példa

Példa: Egy 10 cm fókusztávolságú lencsével egy tőle 80 cm-re levő izzószál képét állítjuk elő. Mekkora lesz a kép távolsága a lencsétől? Ha az izzószál hossza 30 mm, mekkora lesz képének a mérete?

Megoldás: A szokásos jelölésekkel: $f = 0,1 \text{ m}$, $t = 0,8 \text{ m}$, $T = 0,03 \text{ m}$.

$1/f = 1/k + 1/t$, f és t is ismert, k kifejezhető:

$$k = \frac{1}{1/f - 1/t} = \frac{tf}{t - f} = 0,114 \text{ m}.$$

Az izzószál képe tehát 11,4 cm-re lesz a lencsétől.

A kép ismeretlen K mérete $K/T = k/t$ alapján:

$$K = T \frac{k}{t} = 0,0043 \text{ m}.$$

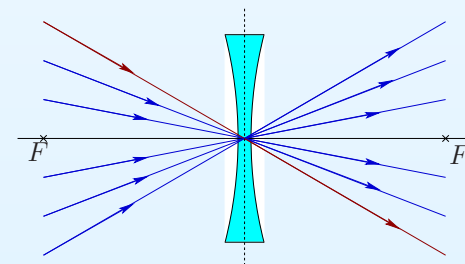
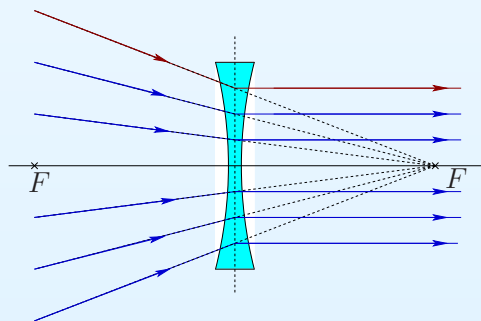
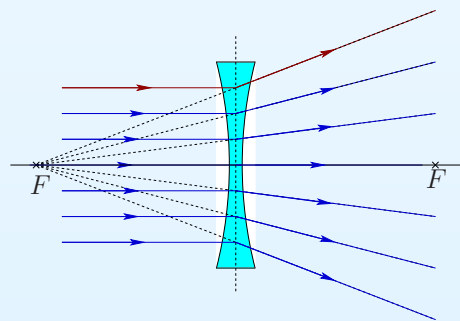
A vetített kép mérete tehát 4,3 mm.

Szórólencsék

$n < 1$ vagy $r_1 < 0$ és $r_2 < 0$ esetén $f < 0$ lesz, ami szórólencsét jelent.

A leképezés nagyon hasonlóan történik, mint a gyűjtőlencse esetében, csak a két fókuszpont szerepe cserélődik fel:

1. A szórólencse tengelyével párhuzamosan érkező fénysugarak a lencse után úgy mennek tovább, mintha a lencse azon fókuszpontjából indultak volna ki, amelyik a fény beérkezési oldalán van.
2. A szórólencse túloldali fókuszpontjának irányába érkező fénysugarak a lencse után a tengellyel párhuzamosan fognak haladni.
3. A lencse középpontján áthaladó fénysugarak az eredeti irányban haladnak tovább.





A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

- A lyukkamera
- Síktükör képalkotása
- Lencsék képalkotása
- A nevezetes sugármenetek
- Valódi képalkotás gyűjtőlencsével
- Látszólagos képalkotás gyűjtőlencsével
- **Szórólencsék**
- Gömbtükörök képalkotása
- A képalkotó eszközök korlátai
- A fényelhajlás hatása a leképezésre

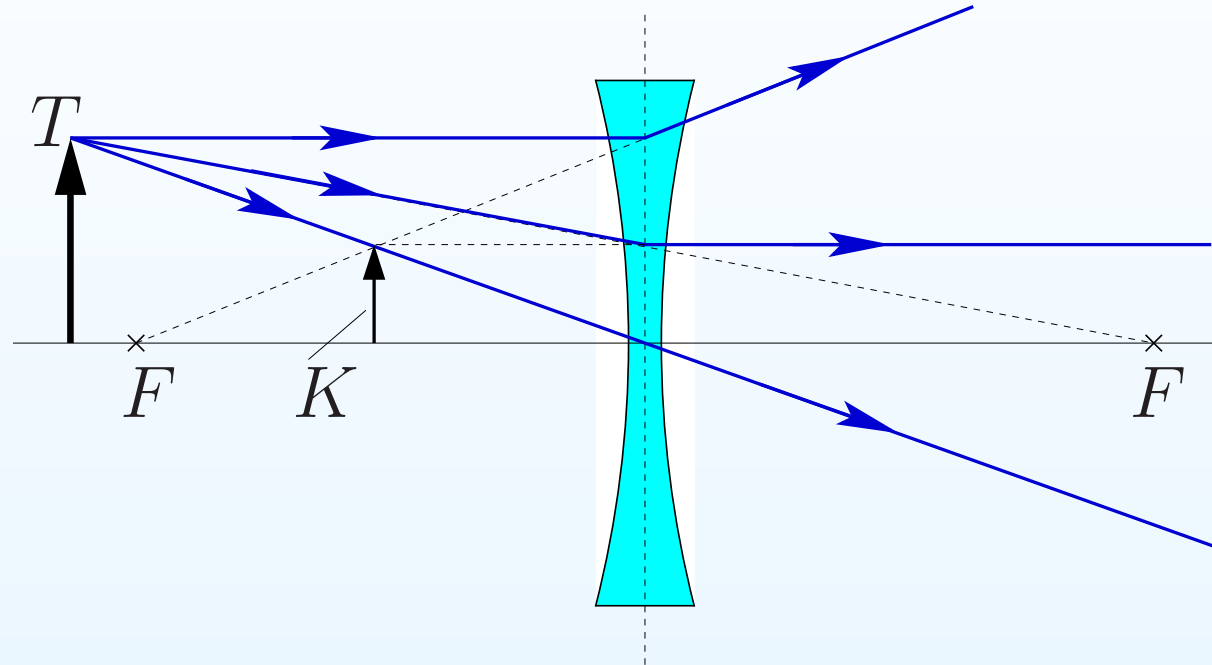
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Szórólencsék

Szórólencse egy valódi tárgyról csak látszólagos képet alkot:





A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

- A lyukkamera
- Síktükör képképzése
- Lencsék képképzése
- A nevezetes sugármenetek
- Valódi képképzés gyűjtőlencsével
- Látszólagos képképzés gyűjtőlencsével
- Szórólencsék
- **Gömbtükrök képképzése**
- A képképző eszközök korlátai
- A fényelhajlás hatása a leképezésre

Egyszerű optikai berendezések

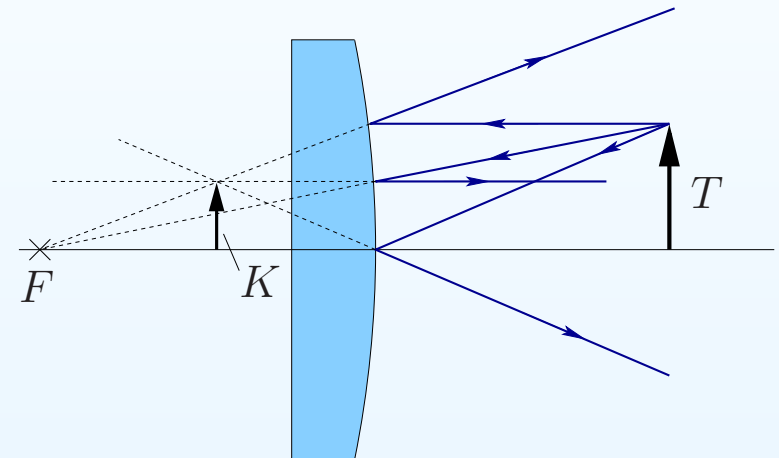
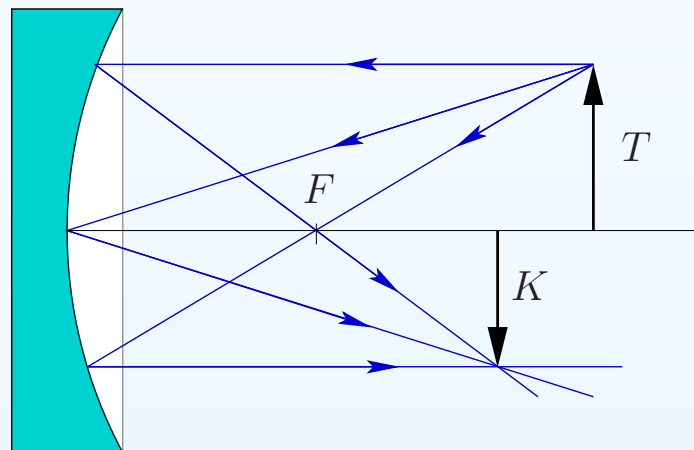
A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Gömbtükrök képképzése

A gömbtükrök nagyon hasonlóan viselkednek, mint a lencsék. Különbség: a fókuszpontok azonos helyen vannak.

Valódi és látszólagos képképzés:



A leképezést leíró egyenletek is azonosak. ($1/f = 1/k + 1/t$, $K/T = k/t$)

Fókusz távolság: $f = R/2$, ahol R a görbületi sugár.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

- A lyukkamera
- Síktükör képalkotása
- Lencsék képalkotása
- A nevezetes sugármenetek
- Valódi képalkotás gyűjtőlencsével
- Látszólagos képalkotás gyűjtőlencsével
- Szórólencsék
- Gömbtükörök képalkotása
- A képalkotó eszközök korlátai
- A fényelhajlás hatása a leképezésre

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A képalkotó eszközök korlátai

A valóságban a képalkotást sok tényező torzítja.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

- A lyukkamera
- Síktükör képalkotása
- Lencsék képalkotása
- A nevezetes sugármenetek
- Valódi képalkotás gyűjtőlencsével
- Látszólagos képalkotás gyűjtőlencsével
- Szórólencsék
- Gömbtükrök képalkotása
- A képalkotó eszközök korlátai
- A fényelhajlás hatása a leképezésre

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A képalkotó eszközök korlátai

A valóságban a képalkotást sok tényező torzítja.

Geometriai hibák:

- Gyártási pontatlanságok. ($\lambda/10$ hiba már észrevehető!)
- Tervezési hibák. (Az ideális alak nem pontosan gömbfelület, de nincs teljesen torzításmentes alak.)



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

- A lyukkamera
- Síktükör képalkotása
- Lencsék képalkotása
- A nevezetes sugármenetek
- Valódi képalkotás gyűjtőlencsével
- Látszólagos képalkotás gyűjtőlencsével
- Szórólencsék
- Gömbtükrök képalkotása
- A képalkotó eszközök korlátai
- A fényelhajlás hatása a leképezésre

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A képalkotó eszközök korlátai

A valóságban a képalkotást sok tényező torzítja.

Geometriai hibák:

- Gyártási pontatlanságok. ($\lambda/10$ hiba már észrevehető!)
- Tervezési hibák. (Az ideális alak nem pontosan gömbfelület, de nincs teljesen torzításmentes alak.)

Diszperzió: a törésmutató függ λ -tól, ezért a fókusztávolság is. Emiatt nem lehet minden színben éles a kép.

Védekezés: tükör vagy összetett lencserendszer (ragasztott lencse) használata.

Fényelhajlás: a fény hullámtulajdonsága miatt elkerülhetetlen jelenség.

Jelentős, ha kicsi a lencseméret, vagy a képet felnagyítjuk.

Fontossága miatt külön foglalkozunk vele.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

- A lyukkamera
- Síktükör képalkotása
- Lencsék képalkotása
- A nevezetes sugármenetek
- Valódi képalkotás gyűjtőlencsével
- Látszólagos képalkotás gyűjtőlencsével
- Szórólencsék
- Gömbtükrök képalkotása
- A képalkotó eszközök korlátai
- **A fényelhajlás hatása a leképezésre**

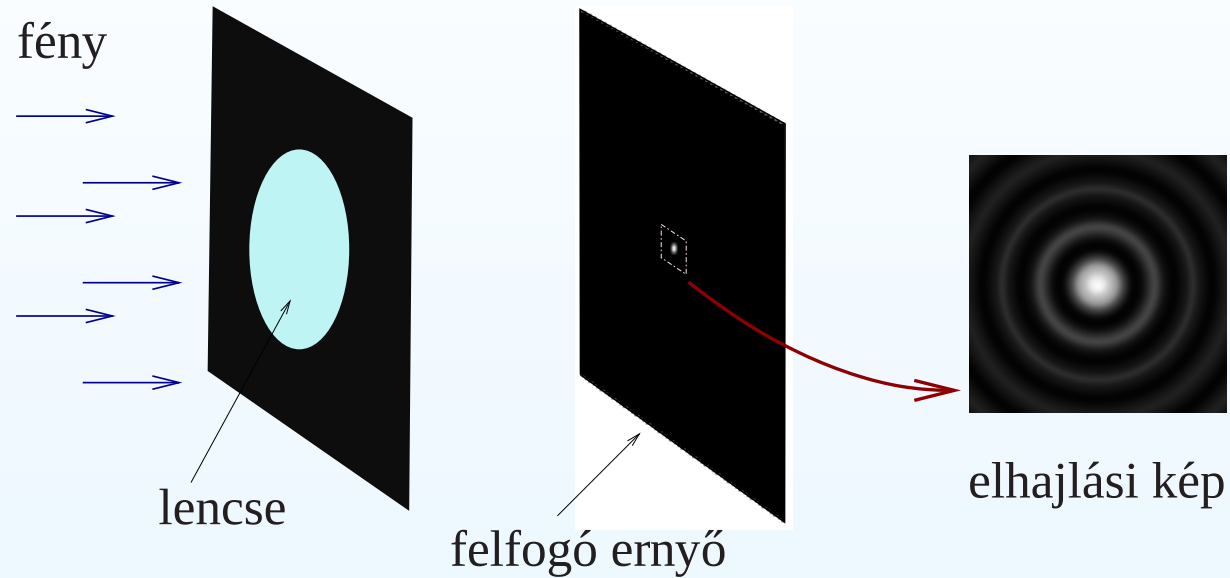
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A fényelhajlás hatása a leképezésre

A képpont körül halványuló koncentrikus körök jelennek meg.





A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

- A lyukkamera
- Síktükör képalkotása
- Lencsék képalkotása
- A nevezetes sugármenetek
- Valódi képalkotás gyűjtőlencsével
- Látszólagos képalkotás gyűjtőlencsével
- Szórólencsék
- Gömbtükrök képalkotása
- A képalkotó eszközök korlátai
- A fényelhajlás hatása a leképezésre

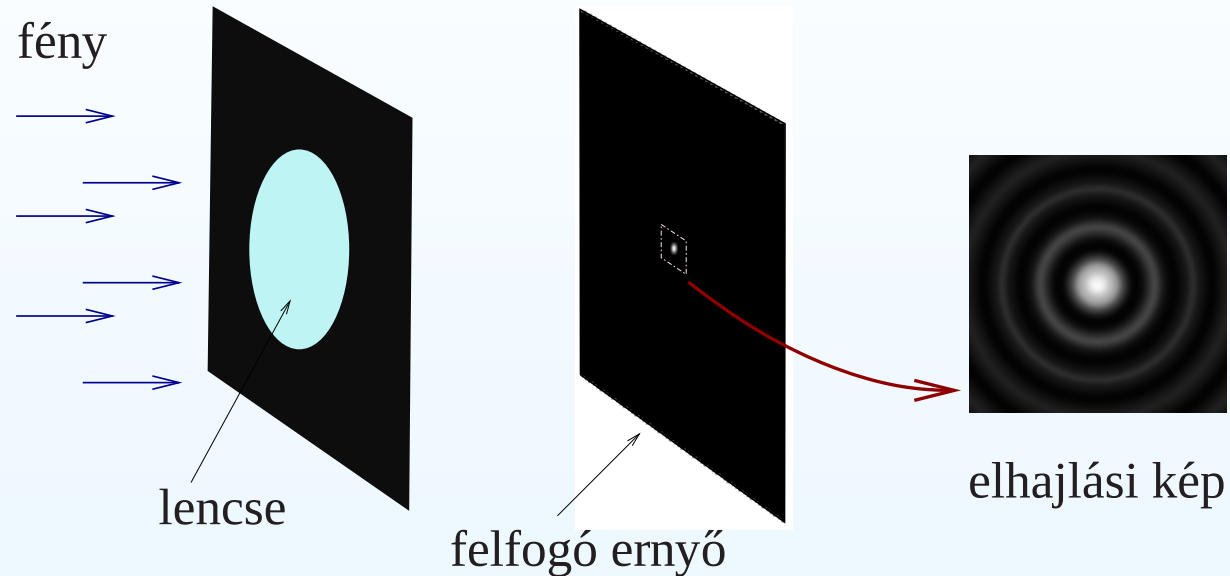
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A fényelhajlás hatása a leképezésre

A képpont körül halványuló koncentrikus körök jelennek meg.



Jellemzés: a középpont és az első kioltási kör szögtávolsága:

$$\sin \varphi = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

ahol D a lencse átmérője.

φ elnevezése: **felbontóképesség**.



A fény fontosabb
tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó
eszközök

**Egyszerű optikai
berendezések**

- Az emberi szem
képalkotása
- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- A vetítőgép
- Optikai háttértárolók
optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp
működése

Egyszerű optikai berendezések



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

Egyszerű optikai berendezések

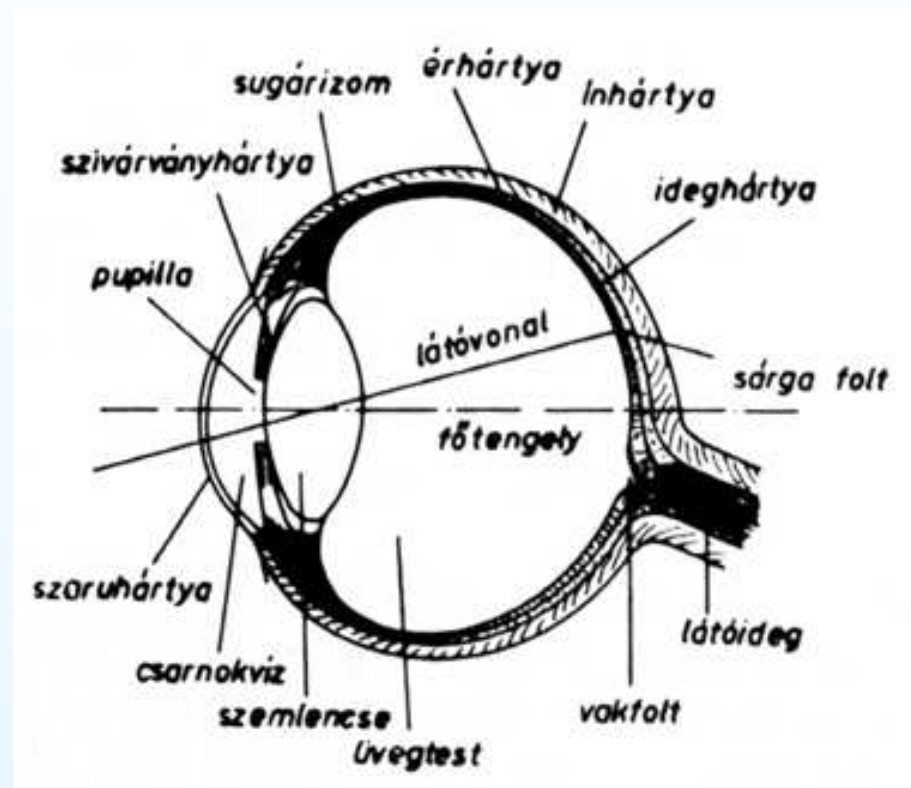
● Az emberi szem képképzése

- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- A vetítőgép
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Az emberi szem képképzése



Alapötlet: a szemlencse valódi képet alkot az ideghártyán (retina).



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

Egyszerű optikai berendezések

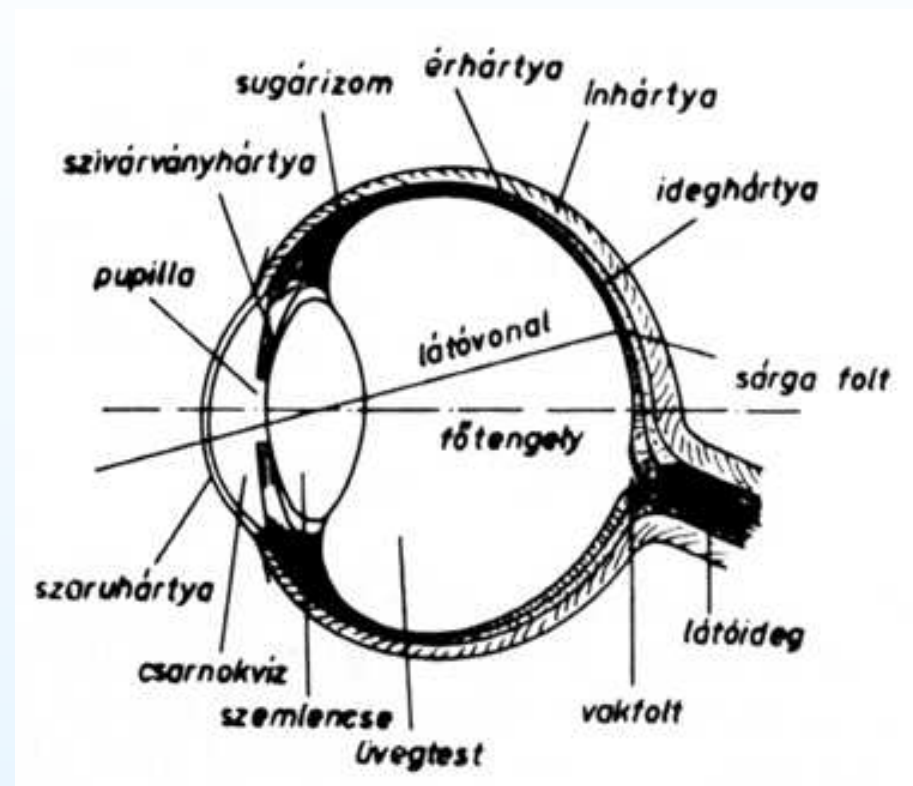
● **Az emberi szem képképzése**

- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- A vetítőgép
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Az emberi szem képképzése



Alapötlet: a szemlencse valódi képet alkot az ideghártyán (retina).

Fokuszálás: a szemlencse fókusztávolságának változtatásával.

Fényerő szabályzás: a szivárványhártya (írisz) segítségével 2–8 mm közti belépő nyálabméret és az érzékelők érzékenységének állítása.

Érzékenység: 550 nm körül maximális.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

● Az emberi szem képalkotása

- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- A vetítőgép
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Példa

Példa: Számoljuk ki az emberi szem elvi maximális felbontóképességét 2 mm pupillaátmérő esetén!



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

● Az emberi szem képalkotása

- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- A vetítőgép
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Példa

Példa: Számoljuk ki az emberi szem elvi maximális felbontóképességét 2 mm pupillaátmérő esetén!

Megoldás: A felbontóképesség: ($\lambda = 550 \text{ nm.}$)

$$\sin \varphi = 1,22 \frac{5,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{0,002 \text{ m}} = 0,000336,$$

ahonnan

$$\varphi = 0,0192^\circ = 1,15'.$$

Az emberi szem elvi felbontóképessége tehát nappali fény esetén mintegy 1 ívperc.

Érdekes, hogy szemünkben az érzékelő idegsejtek pontosan ennek megfelelő sűrűséggel helyezkednek el, így az 1'-es érték egyúttal az emberi szem tényleges felbontóképessége is.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása

- **Az egyszerű nagyító**

- A fényképezőgép

- A vetítőgép

- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Az egyszerű nagyító

Ekkor a gyűjtőlencsét látszólagos képalkotásra használjuk.

A látszólagos kép mérete $1/f/1/k + 1/t$ és $K/T = k/t$ alapján:
 $K = Tf/(t - f)$, ezért a nagyítás:

$$N = \frac{K}{T} = \frac{f}{t - f}$$

Ez nem jó, mert ha $t \rightarrow f$ ($t < f$), akkor $N \rightarrow -\infty$.

Hiába nő K , mivel k is nő, nem látjuk nagyobb szög alatt a képet.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása

- **Az egyszerű nagyító**

- A fényképezőgép

- A vetítőgép

- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Az egyszerű nagyító

Ekkor a gyűjtőlencsét látszólagos képalkotásra használjuk.

A látszólagos kép mérete $1/f/1/k + 1/t$ és $K/T = k/t$ alapján:
 $K = Tf/(t - f)$, ezért a nagyítás:

$$N = \frac{K}{T} = \frac{f}{t - f}$$

Ez nem jó, mert ha $t \rightarrow f$ ($t < f$), akkor $N \rightarrow -\infty$.

Hiába nő K , mivel k is nő, nem látjuk nagyobb szög alatt a képet.

A lencse „nagyító képessége” a kép látszó szögével kapcsolatos.

$$\tan \alpha = \frac{K}{k}$$



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása

- **Az egyszerű nagyító**

- A fényképezőgép

- A vetítőgép

- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Az egyszerű nagyító

Ekkor a gyűjtőlencsét látszólagos képalkotásra használjuk.

A látszólagos kép mérete $1/f/1/k + 1/t$ és $K/T = k/t$ alapján:
 $K = Tf/(t - f)$, ezért a nagyítás:

$$N = \frac{K}{T} = \frac{f}{t - f}$$

Ez nem jó, mert ha $t \rightarrow f$ ($t < f$), akkor $N \rightarrow -\infty$.

Hiába nő K , mivel k is nő, nem látjuk nagyobb szög alatt a képet.

A lencse „nagyító képessége” a kép látszó szögével kapcsolatos.

$$\tan \alpha = \frac{K}{k}$$



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása

- Az egyszerű nagyító

- A fényképezőgép

- A vetítógép

- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

...

Szabad szemmel akkor látjuk a legnagyobb szög alatt a tárgyat, ha a lehető legközelebbről nézzük, ahonnan még élesre tud állni a szemünk.

Ez a távolság átlagos felnőtt emberre $d_0 = 0,25$ m. Neve: **tisztánlátás távolsága.**

Ekkor a tárgy szögmérete: $\tan \alpha_0 = T/d_0$

Nagyítás:

$$N_l = \frac{\alpha}{\alpha_0} \approx \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_0} = \frac{K/k}{T/d_0} = \frac{T/t}{T/d_0} = \frac{d_0}{t}$$

t nem lehet akármilyen kicsi, mert $k > d_0$ kell az éles képhez. Ebből kiszámolható, hogy a maximális nagyítás:

$$N_{l,m} = 1 + \frac{d_0}{f}$$



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képképzése
- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- A vetítőgép
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

[

toc=]Példa

Példa: Mekkora fókusztávolságú lencse szükséges, ha egyszerű nagyító üzemmódban 8-szoros nagyítást szeretnénk vele elérni?



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képképzése

- Az egyszerű nagyító

- A fényképezőgép

- A vetítőgép

- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

[

toc=]Példa

Példa: Mekkora fókusz távolságú lencse szükséges, ha egyszerű nagyító üzemmódban 8-szoros nagyítást szeretnénk vele elérni?

Megoldás: $N_{l,m} = 1 + d_0/f$ átrendezésével a fókusz távolság kifejezhető:

$$f = \frac{d_0}{N_l - 1}$$

Ide $d_0 = 0,15$ m-t és $N_l = 8$ -at beírva:

$$f = 0,0214 \text{ m} = 21,4 \text{ mm}$$

adódik.

Tehát kb. 21 mm-es fókusz távolság szükséges a nyolcszoros nagyításhoz.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása
- Az egyszerű nagyító
- **A fényképezőgép**
- A vetítőgép
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A fényképezőgép

Alapötlet: egy gyűjtőlencse (vagy lencserendszer) valódi képet állít elő, amit fényérzékeny film vagy elektronika rögzít.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képképzése
- Az egyszerű nagyító
- **A fényképezőgép**
- A vetítőgép
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

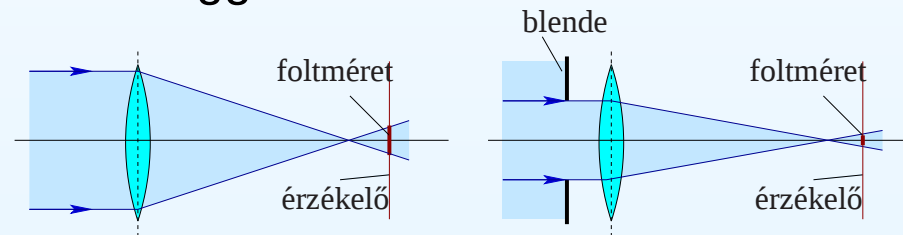
A mikroszkóp működése

A fényképezőgép

Alapötlet: egy gyűjtőlencse (vagy lencserendszer) valódi képet állít elő, amit fényérzékeny film vagy elektronika rögzít.

Fokuszálás: a lencsék és a film távolságának változtatásával.

Mélységélesség: egyszerre csak egy képtávolságra lehet élesre állni. A más távolságú tárgyak képének élessége az objektívtávolságtól is függ:



Igen összetett dolog megfelelő élességű, fényerejű és mélységélességű képet előállítani.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása
- Az egyszerű nagyító
- **A fényképezőgép**
- A vetítőgép
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Példa

Példa: *Fényképezőgépünk objektívje 35 mm fókusztávolságú. Ezt max. 38 mm-re tudjuk eltávolítani a filmtől az élességszabályzóval. Legalább milyen távol kell lenni a tárgynak a lencsétől, hogy éles legyen a kép? Ha egy tárgyat a lehető legközelebbről fényképezünk, mekkora része fér rá a 24 mm-es filmkockára?*



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képképzése
- Az egyszerű nagyító
- **A fényképezőgép**
- A vetítőgép
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Példa

Példa: *Fényképezőgépünk objektívje 35 mm fókusztávolságú. Ezt max. 38 mm-re tudjuk eltávolítani a filmtől az élességszabályzóval. Legalább milyen távol kell lenni a tárgynak a lencsétől, hogy éles legyen a kép? Ha egy tárgyat a lehető legközelebből fényképezünk, mekkora része fér rá a 24 mm-es filmkockára?*

Megoldás: Éles képet: lencse és a film távolsága épp a képtávolság. Ennem maximuma: $k_{max} = 38$ mm.
 $1/f = 1/k + 1/t$ miatt a t_{min} épp k_{max} esetén lép fel:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{k_{max}} + \frac{1}{t_{min}},$$

ahonnan:

$$t_{min} = \frac{k_{max} f}{k_{max} - f} = 443 \text{ mm}$$



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása
- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- A vetítőgép
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

...

$K/T = k/t$, ahol $K = 24$ mm. Innét:

$$T = K \frac{t_{min}}{k_{max}} = 280 \text{ mm.}$$

A legközelebbi tárgy tehát 443 mm-re van az objektívtől és legfeljebb 280 mm-es, hogy ráérjen a képre.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása
- Az egyszerű nagyító
- **A fényképezőgép**
- A vetítógép
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Még egy példa

Példa: Egy digitális fényképezőgép képe a hosszabbik oldal mentén 2200 képpontot tartalmaz. Ezzel a géppel tudunk olyan beállítással is képet készíteni, amikor ebbe a hosszabbik oldalba egy 20° -os látószögű terület fér bele.

Legfeljebb mekkora lehet a lencsén való fényelhajlást jellemző φ szög, ha nem akarjuk, hogy az elhajlás miatt életlen képet kapjunk? Legalább mekkora objektívátmérő kell ennek biztosításához a teljes látható tartományban?



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása
- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- A vetítőgép
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Még egy példa

Példa: Egy digitális fényképezőgép képe a hosszabbik oldal mentén 2200 képpontot tartalmaz. Ezzel a géppel tudunk olyan beállítással is képet készíteni, amikor ebbe a hosszabbik oldalba egy 20° -os látószögű terület fér bele.

Legfeljebb mekkora lehet a lencsén való fényelhajlást jellemző φ szög, ha nem akarjuk, hogy az elhajlás miatt életlen képet kapjunk? Legalább mekkora objektívatmérő kell ennek biztosításához a teljes látható tartományban?

Megoldás: Egy képpont szögmérete:

$$\alpha = \frac{20^\circ}{2200} = 0,00909^\circ$$

Az elhajlás hatása nem látszódik, ha $\varphi < \alpha$:

$$\varphi < 0,00909^\circ \quad (= 0,55').$$



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása
- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- A vetítőgép
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

...

φ kifejezése szerint

$$1,22 \frac{\lambda}{D} < \sin(0,00909^\circ) = 1,59 \cdot 10^{-4},$$

ahonnt a keresett határ az objektívátmérőre:

$$D > \frac{1,22\lambda}{1,59 \cdot 10^{-4}} = 7690\lambda.$$

Ennek minden hullámhosszon, azaz a látható maximális 760 nm-es hullámhosszon is teljesülni kell, ezért a legkisebb objektívátmérő:

$$D > 7,6 \cdot 10^{-7} \cdot 7690 = 0,0058 \text{ m} = 5,8 \text{ mm}.$$

Tehát legalább 6 mm-es átmérőjű lencse kell a feltételek teljesítéséhez.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása
- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- **A vetítőgép**
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A vetítőgép

Alapötlet: egy gyűjtőlencse (vagy lencserendszer) valódi képet állít elő, amit egy vásznon fogunk fel.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása
- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- A vetítőgép
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A vetítőgép

Alapötlet: egy gyűjtőlencse (vagy lencserendszer) valódi képet állít elő, amit egy vásznon fogunk fel.

Sok technikai probléma:

- megfelelő fényerő biztosítása
- hűtés
- lencsehibák kiküszöbölése
- a vetítőgép sokszor a vászon közepénél lejjebb van
- stb.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása
- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- **A vetítőgép**
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

A vetítőgép

Alapötlet: egy gyűjtőlencse (vagy lencserendszer) valódi képet állít elő, amit egy vásznon fogunk fel.

Sok technikai probléma:

- megfelelő fényerő biztosítása
- hűtés
- lencsehibák kiküszöbölése
- a vetítőgép sokszor a vászon közepénél lejjebb van
- stb.

A működés fő vonala azonban a lencsék leképezése alapján megérthető.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása
- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- A vetítőgép
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

[

toc=]Példa

Példa: Olyan helyen kell vetítést rendezni diavetítővel, ahol a vetítőlencse és a vászon távolsága 9 m. A 36 mm-es diakockák képe 3 m-es kell hogy legyen, hogy mindenki jól lássa a képet. Mekkora legyen a vetítőlencse fókusztávolsága? Milyen messze legyen a lencse a filmtől?



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása
- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- A vetítőgép
- Optikai háttértárolók optikája

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

[

toc=]Példa

Példa: Olyan helyen kell vetítést rendezni diavetítővel, ahol a vetítőlencse és a vászon távolsága 9 m. A 36 mm-es diakockák képe 3 m-es kell hogy legyen, hogy mindenki jól lássa a képet. Mekkora legyen a vetítőlencse fókusztávolsága? Milyen messze legyen a lencse a filmtől?

Megoldás: A szöveg alapján: $k = 9 \text{ m}$, $T = 0,036 \text{ m}$, $K = 3 \text{ m}$. A lencse és a film távolsága az ismeretlen t tárgytávolság. Ez könnyen megkapható:

$$t = k \frac{T}{K} = 0,0108 \text{ m} = 108 \text{ mm}.$$

$1/f = 1/k + 1/t$ alapján:

$$f = \frac{tk}{k+t} = 0,1067 \text{ m} = 106,7 \text{ mm}.$$



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása
- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- A vetítőgép
- **Optikai háttértárolók optikája**

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Optikai háttértárolók optikája

Alapötlet: fókuszált fénynyaláb egy felületről visszaverődik. Ez és az eredeti nyaláb interferenciája megváltozik, ha a visszaverődés során $\lambda/2$ -nyi útkülönbség fellép.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása
- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- A vetítógép
- **Optikai háttértárolók optikája**

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Optikai háttértárolók optikája

Alapötlet: fókuszált fénynyaláb egy felületről visszaverődik. Ez és az eredeti nyaláb interferenciája megváltozik, ha a visszaverődés során $\lambda/2$ -nyi útkülönbség fellép.

CD-lemez: domborodó tükröző felület.

CD-R, CD-RW lemez: hő hatására (írás) megváltozó törésmutatójú műanyag réteg.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

- Az emberi szem képalkotása
- Az egyszerű nagyító
- A fényképezőgép
- A vetítőgép
- **Optikai háttértárolók optikája**

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

Optikai háttértárolók optikája

Alapötlet: fókuszált fénynyaláb egy felületről visszaverődik. Ez és az eredeti nyaláb interferenciája megváltozik, ha a visszaverődés során $\lambda/2$ -nyi útkülönbség fellép.

CD-lemez: domborodó tükröző felület.

CD-R, CD-RW lemez: hő hatására (írás) megváltozó törésmutatójú műanyag réteg.

Fokuszálás: kritikus pont.

- diszperzió ellen: monokromatikus fény (lézer)
- fényelhajlás ellen: a lehető legkisebb fókusztávolság és a legnagyobb lencseátmérő
- kisebb hullámhossz használata



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

- Az objektív képalkotása
- A Kepler-távcső
- A Kepler-távcső nagyítása
- A Galilei-távcső
- A Newton-rendszerű tükrös távcső
- A távcsövek felbontóképessége
- Távcsövek maximális nagyítása
- Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

A távcsövek működése



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

● Az objektív képalkotása

● A Kepler-távcső

● A Kepler-távcső nagyítása

● A Galilei-távcső

● A Newton-rendszerű tükrös távcső

● A távcsövek felbontóképessége

● Távcsövek maximális nagyítása

● Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

Az objektív képalkotása

A távcsőben az **objektív**, ami egy gyűjtőlencse vagy egy homorú tükör valódi képet alkot, majd ezt vizsgáljuk, nagyítjuk tovább.

Specialitás: $t \gg f$,



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

● Az objektív képalkotása

● A Kepler-távcső nagyítása

● A Galilei-távcső
● A Newton-rendszerű tükrös távcső

● A távcsövek felbontóképessége

● Távcsövek maximális nagyítása

● Távcsövek minimális célszerű nagyítása

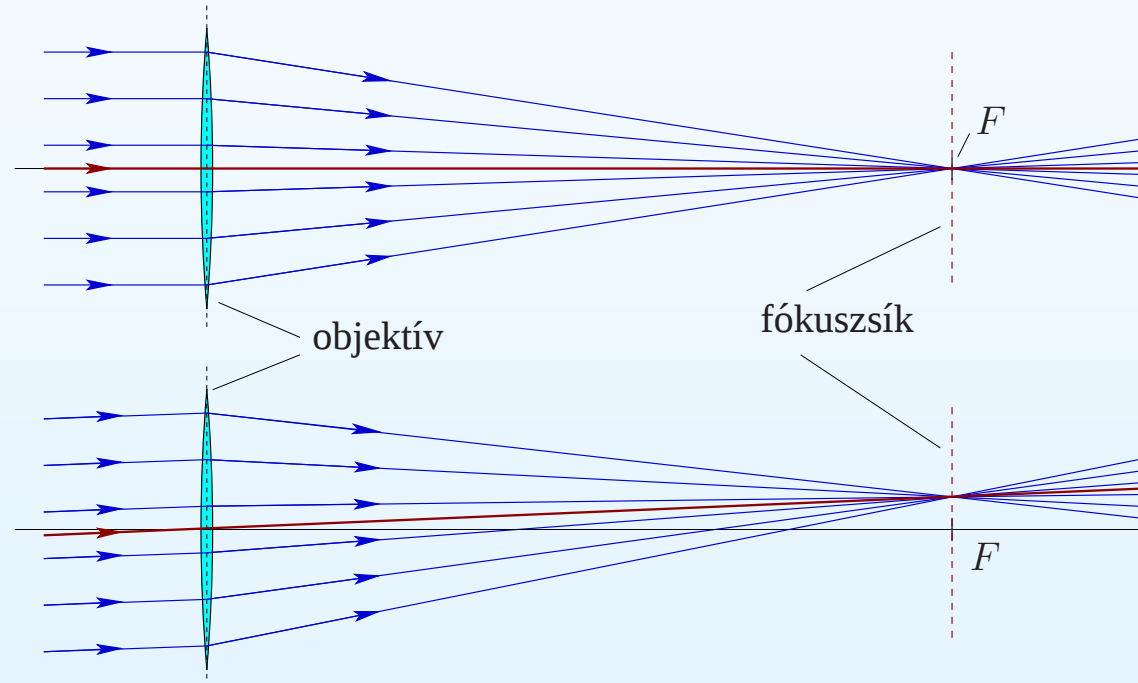
A mikroszkóp működése

Az objektív képalkotása

A távcsőben az **objektív**, ami egy gyűjtőlencse vagy egy homorú tükör valódi képet alkot, majd ezt vizsgáljuk, nagyítjuk tovább.

Specialitás: $t \gg f$, ezért $1/f = 1/k + 1/t$ miatt $f \approx k$.

A kép tehát (közel) a **fókuszsíkban** keletkezik.





A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

● Az objektív képalkotása

● A Kepler-távcső

● A Kepler-távcső nagyítása

● A Galilei-távcső

● A Newton-rendszerű tükrös távcső

● A távcsövek felbontóképessége

● Távcsövek maximális nagyítása

● Távcsövek minimális célszerű nagyítása

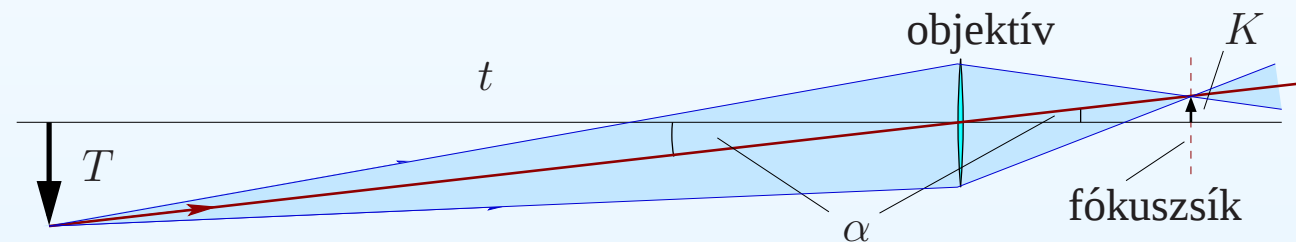
A mikroszkóp működése

Az objektív képalkotása

A képméret:

$$K = k \frac{T}{t} \approx f \frac{T}{t}$$

Általában t és T nem ismert, ha távcsövet használunk. Ezért inkább a tárgy iránya és az optikai tengely közti szöggel jellemezzük, mekkorának látszik a tárgy.



$$\tan \alpha = \frac{T}{t}$$

$$K = f \tan \alpha$$



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

● Az objektív képalkotása

● A Kepler-távcső

● A Kepler-távcső nagyítása

● A Galilei-távcső

● A Newton-rendszerű tükrös távcső

● A távcsövek felbontóképessége

● Távcsövek maximális nagyítása

● Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

Példa

Példa: A telihold $0,5^\circ$ látószög alatt látszik a Földről. Mekkora méretű képet alkot erről egy 1 m fókusztávolságú objektív?



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

● Az objektív képalkotása

● A Kepler-távcső

● A Kepler-távcső nagyítása

● A Galilei-távcső

● A Newton-rendszerű tükrös távcső

● A távcsövek felbontóképessége

● Távcsövek maximális nagyítása

● Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

Példa

Példa: A telihold $0,5^\circ$ látószög alatt látszik a Földről. Mekkora méretű képet alkot erről egy 1 m fókusztávolságú objektív?

Megoldás: Egyszerű behelyettesítéssel az előzőek szerint:

$$K = f \tan \alpha = 1 \cdot \tan 0,5^\circ = 0,0087\text{ m} = 8,7\text{ mm}.$$



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

- Az objektív képalkotása

- **A Kepler-távcső**

- A Kepler-távcső nagyítása

- A Galilei-távcső

- A Newton-rendszerű tükrös távcső

- A távcsövek felbontóképessége

- Távcsövek maximális nagyítása

- Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

A Kepler-távcső

A fókusz síkban képződő kép akár rögzíthető is elektronikusan vagy filmen. (A nagy csillagászati távcsövek többnyire így működnek.)

„Nézegetéshez” azonban ezt a képet általában tovább kell nagyítani. Erre szolgál az **ókulár**.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

- Az objektív képalkotása

- A Kepler-távcső

- A Kepler-távcső nagyítása

- A Galilei-távcső

- A Newton-rendszerű tükrös távcső

- A távcsövek felbontóképessége

- Távcsövek maximális nagyítása

- Távcsövek minimális célszerű nagyítása

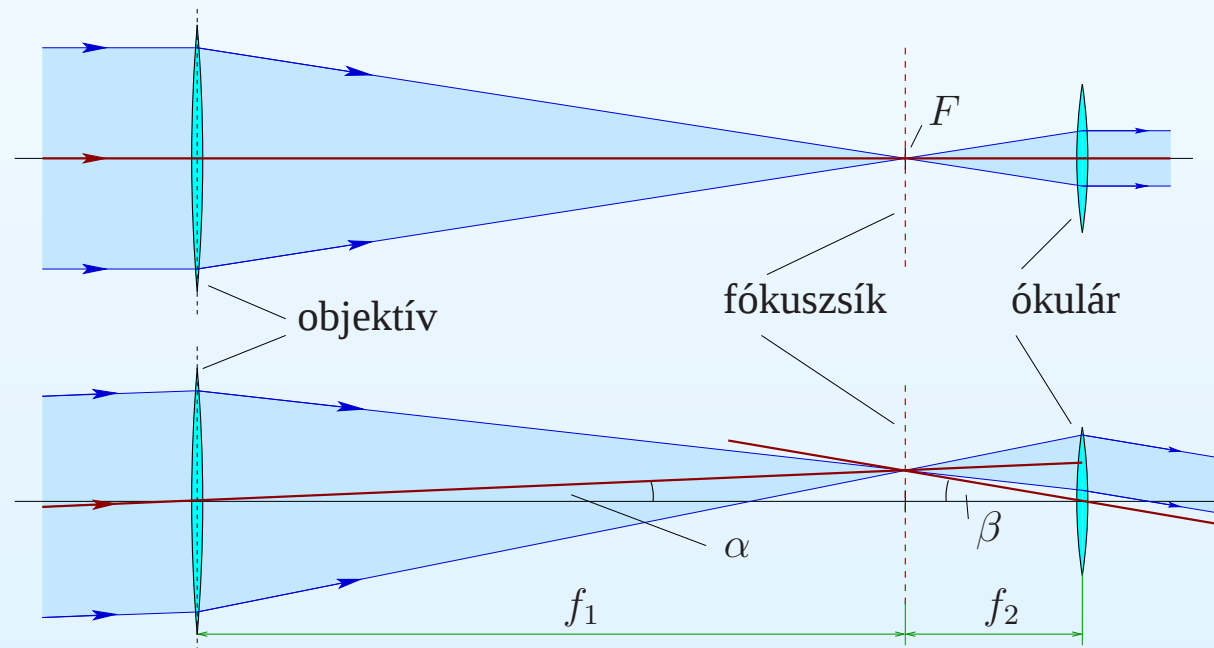
A mikroszkóp működése

A Kepler-távcső

A fókusz síkban képződő kép akár rögzíthető is elektronikusan vagy filmen. (A nagy csillagászati távcsövek többnyire így működnek.)

„Nézegetéshez” azonban ezt a képet általában tovább kell nagyítani. Erre szolgál az **ókulár**.

A **Kepler-távcsőben** az ókulár egy gyűjtőlencse vagy lencserendszer, mellyel, mint egyszerű nagyítóval nézzük a képet.





A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

- Az objektív képalkotása
- A Kepler-távcső
- **A Kepler-távcső nagyítása**
- A Galilei-távcső
- A Newton-rendszerű tükrös távcső
- A távcsövek felbontóképessége
- Távcsövek maximális nagyítása
- Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

A Kepler-távcső nagyítása

A távcső nagyításán szögnagyítást értünk, azaz azt, hányszoros szög alatt látszanak benne a tárgyak a szabad szemmel történő megfigyeléshez képest.

$$N = \frac{\beta}{\alpha}$$

Könnyű belátni, hogy kis szögek esetén:

$$N = \frac{f_1}{f_2}$$



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

- Az objektív képalkotása
- A Kepler-távcső
- **A Kepler-távcső nagyítása**

- A Galilei-távcső
- A Newton-rendszerű tükrös távcső
- A távcsövek felbontóképessége
- Távcsövek maximális nagyítása
- Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

A Kepler-távcső nagyítása

A távcső nagyításán szögnagyítást értünk, azaz azt, hányszoros szög alatt látszanak benne a tárgyak a szabad szemmel történő megfigyeléshez képest.

$$N = \frac{\beta}{\alpha}$$

Könnyű belátni, hogy kis szögek esetén:

$$N = \frac{f_1}{f_2}$$

Vigyázat! Ez csak elvi nagyítás, a gyakorlatban számtalan tényező korlátozhatja a ténylegesen elérhető nagyítást.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

- Az objektív képalkotása

- A Kepler-távcső
- **A Kepler-távcső nagyítása**

- A Galilei-távcső
- A Newton-rendszerű tükrös távcső
- A távcsövek felbontóképessége

- Távcsövek maximális nagyítása
- Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

A Kepler-távcső nagyítása

A távcső nagyításán szögnagyítást értünk, azaz azt, hányszoros szög alatt látszanak benne a tárgyak a szabad szemmel történő megfigyeléshez képest.

$$N = \frac{\beta}{\alpha}$$

Könnyű belátni, hogy kis szögek esetén:

$$N = \frac{f_1}{f_2}$$

Vigyázat! Ez csak elvi nagyítás, a gyakorlatban számtalan tényező korlátozhatja a ténylegesen elérhető nagyítást.

A legtöbb távcső Kepler-rendszerű.

A jó minőség elérése végett az objektív általában összetett lencse, az okulár meg lencserendszer.

Néha a hosszú fényutat tükrök segítségével „összehajtogatják”, hogy rövidebb legyen a távcső. (pl. a „vadásztávcső” esetében)



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

- Az objektív képalkotása
- A Kepler-távcső
- A Kepler-távcső nagyítása

● A Galilei-távcső

- A Newton-rendszerű tükrös távcső

● A távcsövek felbontóképessége

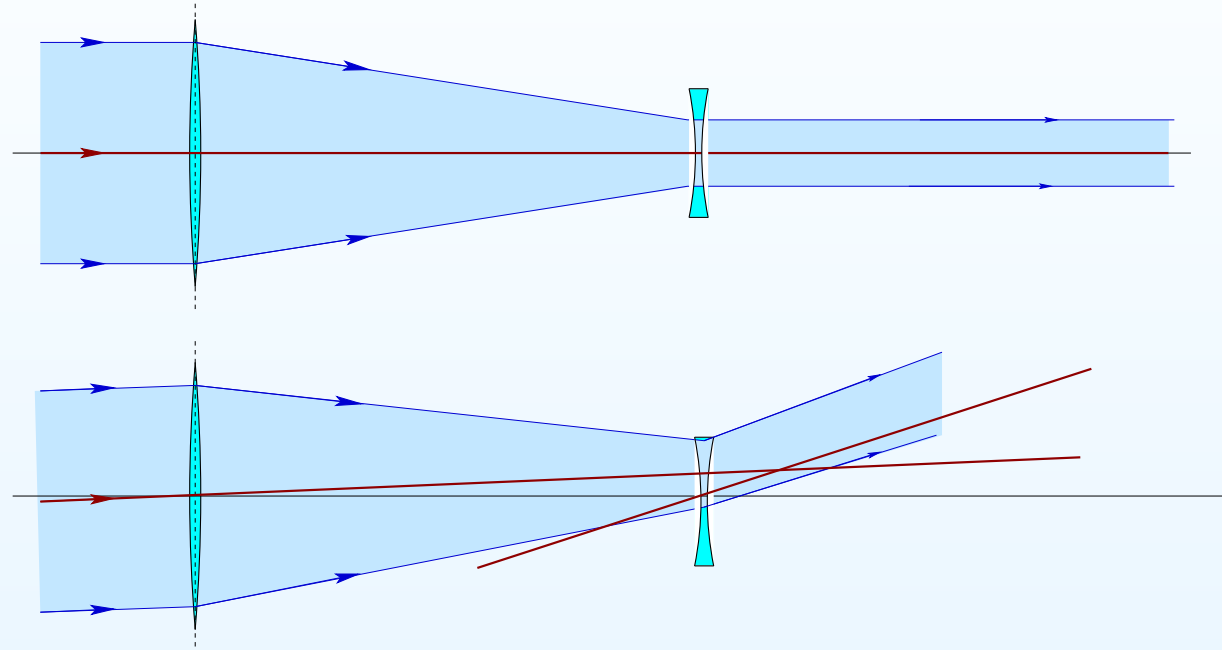
● Távcsövek maximális nagyítása

● Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

A Galilei-távcső

Történetileg az első távcsőtípus. Az ókulár szórólencse.



Nagy nagyításokra alkalmatlan, de egyenes állású képet ad. Pl. színházi látcsövekben alkalmazzák.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

- Az objektív képalkotása
- A Kepler-távcső
- A Kepler-távcső nagyítása
- A Galilei-távcső
- **A Newton-rendszerű tükrös távcső**
- A távcsövek felbontóképessége
- Távcsövek maximális nagyítása
- Távcsövek minimális célszerű nagyítása

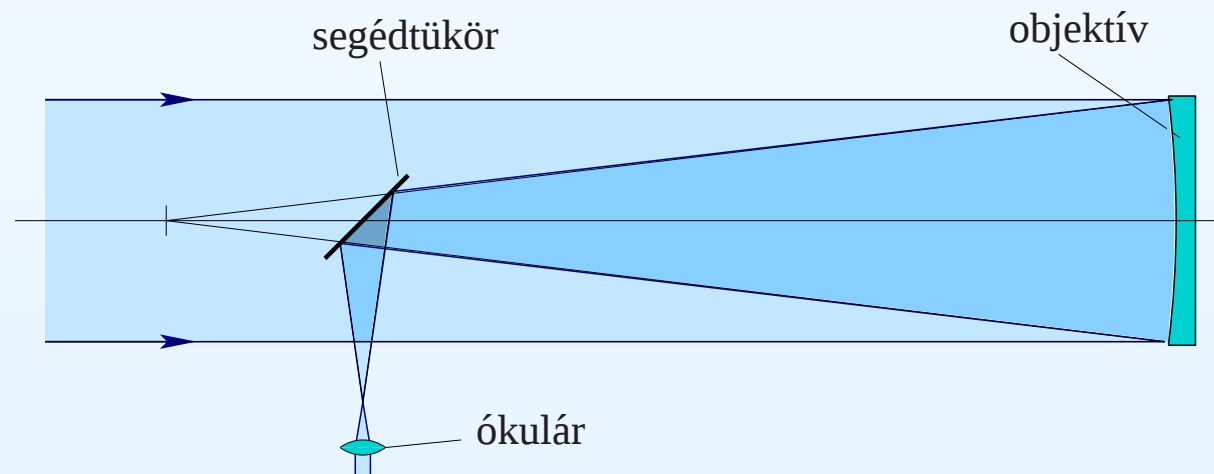
A mikroszkóp működése

A Newton-rendszerű tükrös távcső

Nagyméretű objektívet nehéz lencséből készíteni, ezért gyakran tükröt alkalmaznak. (Lencse: diszperzió, több felületet kell megmunkálni.)

Probléma: az okulár és az ember feje ne takarja ki az objektív elől a fényt.

Első megoldás Isaac Newtontól:



Nagyítás ugyanúgy számolható, mint a Kepler-távcső esetén.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

- Az objektív képképzése

- A Kepler-távcső
- A Kepler-távcső nagyítása

- A Galilei-távcső
- A Newton-rendszerű tükrös távcső

- **A távcsövek felbontóképessége**

- Távcsövek maximális nagyítása

- Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

A távcsövek felbontóképessége

A fényelhajlás a nagyítás miatt lényeges szerepet kap a távcsövekben.

A pontszerű fényforrások képe nem lesz pontszerű, hanem egy

$$\sin \varphi = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

szögmeretű korong lesz. (+ néhány halvány gyűrű)

Az emberi szem $\lambda = 550 \text{ nm}$ -en legérzékenyebb. Itt:

$$\sin \varphi = 1,22 \frac{5,5 \cdot 10^{-7}}{D} = \frac{6,71 \cdot 10^{-7}}{D}.$$

Ha $\alpha \ll 1$, akkor $\sin \alpha \approx \alpha$.

$$\varphi = \frac{6,71 \cdot 10^{-7}}{D} = \frac{0,138''}{D}$$

(Áttértünk ívmásodpercre.)



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

- Az objektív képalkotása
- A Kepler-távcső
- A Kepler-távcső nagyítása
- A Galilei-távcső
- A Newton-rendszerű tükrös távcső
- A távcsövek felbontóképessége
- Távcsövek maximális nagyítása
- Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

Távcsövek maximális nagyítása

Az előbbi φ szöget N -szeresre nagyítjuk. Probléma, ha ez a nagyított érték az emberi szem felbontóképessége, azaz $\varphi_0 = 60''$ fölé emelkedik. Azaz a maximális nagyításra igaz, hogy $N_{max}\varphi = \varphi_0$.

Ezért:

$$N_{max} = \frac{\varphi_0}{\varphi} \approx 430D$$



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

- Az objektív képalkotása

- A Kepler-távcső

- A Kepler-távcső nagyítása

- A Galilei-távcső

- A Newton-rendszerű tükrös távcső

- A távcsövek felbontóképessége

- **Távcsövek maximális nagyítása**

- Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

Távcsövek maximális nagyítása

Az előbbi φ szöget N -szeresre nagyítjuk. Probléma, ha ez a nagyított érték az emberi szem felbontóképessége, azaz $\varphi_0 = 60''$ fölé emelkedik. Azaz a maximális nagyításra igaz, hogy $N_{max}\varphi = \varphi_0$.

Ezért:

$$N_{max} = \frac{\varphi_0}{\varphi} \approx 430D$$

Néha ennek 2-szeresét is használják, hogy ne kelljen erőltetni a szemet, de még többszöröse pacákból álló képet eredményez.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

- Az objektív képalkotása
- A Kepler-távcső
- A Kepler-távcső nagyítása
- A Galilei-távcső
- A Newton-rendszerű tükrös távcső
- A távcsövek felbontóképessége
- Távcsövek maximális nagyítása
- Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

Távcsövek minimális célszerű nagyítása

Ha a kilépő nyaláb szélesebb, mint az emberi pupilla 8 mm-es maximális átmérője, fényt veszítünk. Ilyen nagyítás nem célszerű.

A kilépő nyaláb átmérője nyilván: $d = D/N$. $d < 8$ mm miatt:

$$N_{min} = \frac{D}{8 \text{ mm}}$$

Lehet ennél kisebb nagyítást használni, de nem célszerű.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

- Az objektív képalkotása
- A Kepler-távcső
- A Kepler-távcső nagyítása
- A Galilei-távcső
- A Newton-rendszerű tükrös távcső
- A távcsövek felbontóképessége
- Távcsövek maximális nagyítása
- Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

Példa

Példa: *Egy vadásztávcső objektívje 50 mm átmérőjű. Mennyi az ilyen objektívvel elérhető maximális- illetve a minimális célszerű nagyítás?*



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

- Az objektív képalkotása
- A Kepler-távcső
- A Kepler-távcső nagyítása
- A Galilei-távcső
- A Newton-rendszerű tükrös távcső
- A távcsövek felbontóképessége
- Távcsövek maximális nagyítása
- Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

Példa

Példa: Egy vadásztávcső objektívje 50 mm átmérőjű. Mennyi az ilyen objektívvel elérhető maximális- illetve a minimális célszerű nagyítás?

Megoldás: Az előzőek szerint: ($D = 0,05$ m.)

$$N_{max} = 430 \cdot 0,05 = 21,5$$

A minimális nagyítás:

$$N_{min} = \frac{50 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} = 6,25$$

(Ez a két érték összeeseng azzal, hogy a boltban kapható 50 mm objektívátmérőjű távcsövek közt szokásos nagyítások: 7, 10, 15 és 20-szoros, azaz ezen határok között maradnak az értékek.)



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

- Az objektív képalkotása
- A Kepler-távcső
- A Kepler-távcső nagyítása
- A Galilei-távcső
- A Newton-rendszerű tükrös távcső
- A távcsövek felbontóképessége
- Távcsövek maximális nagyítása
- Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

Még egy példa

Példa: Tőlünk 1,5 km-re elmenő autók rendszámát szeretnénk leolvasni egy távcső segítségével. A rendszám akkor olvasható biztonságosan, ha 1 cm-es részleteket el tudunk különíteni. Legalább mekkora objektívátmérő és nagyítás kell ehhez?



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képkalkáló eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

- Az objektív képkalkálása

- A Kepler-távcső

- A Kepler-távcső nagyítása

- A Galilei-távcső

- A Newton-rendszerű tükrös távcső

- A távcsövek

felbontóképessége

- Távcsövek maximális nagyítása

- Távcsövek minimális célszerű nagyítása

A mikroszkóp működése

Még egy példa

Példa: Tőlünk 1,5 km-re elmenő autók rendszámát szeretnénk leolvasni egy távcső segítségével. A rendszám akkor olvasható biztonságosan, ha 1 cm-es részleteket el tudunk különíteni. Legalább mekkora objektívátmérő és nagyítás kell ehhez?

Megoldás: Az 1 cm-es távolság 1,5 km-ről

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{1 \text{ cm}}{1,5 \text{ km}} = 0,000382^\circ = 1,38''$$

szög alatt látszik. A fentiek szerint:

$$1,38'' = 0,138'' / D \qquad D = 0,10 \text{ m}$$

A φ szöget $\varphi_0 = 60''$ értékig kell nagyítani:

$$N\varphi = \varphi_0 \qquad N = \frac{\varphi_0}{\varphi} = \frac{60''}{1,38''} = 43,5$$



A fény fontosabb
tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző
eszközök

Egyszerű optikai
berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp
működése

- Alapötlet
- A mikroszkóp
nagyítása
- A mikroszkóp
felbontóképessége

A mikroszkóp működése



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

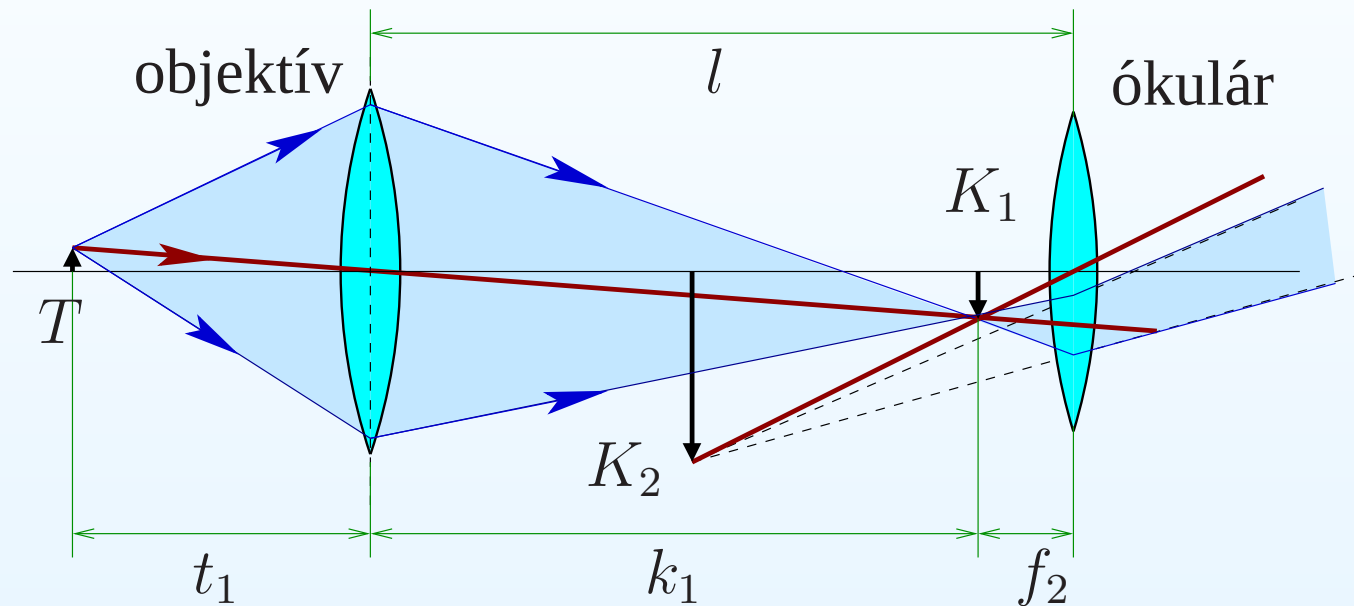
● Alapötlet

● A mikroszkóp nagyítása

● A mikroszkóp felbontóképessége

Alapötlet

A tárgyról az objektívvel egy nagyított valódi képet állítunk elő, amit az okulárral, mint egyszerű nagyítóval nagyítunk tovább.





A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

- Alapötlet
- **A mikroszkóp nagyítása**
- A mikroszkóp felbontóképessége

A mikroszkóp nagyítása

Itt is a szögnyagyításnak van értelme, mint az egyszerű lencsénél vagy a távcsőnél.

A levezetést mellőzve a nagyítás:

$$N = N_1 \cdot N_2 = \left(\frac{l - f_2}{f_1} - 1 \right) \left(1 + \frac{d_0}{f_2} \right) \approx \frac{d_0(l - f_2)}{f_1 f_2}$$



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képképző eszközök

Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

- Alapötlet
- A mikroszkóp nagyítása
- A mikroszkóp felbontóképessége

A mikroszkóp nagyítása

Itt is a szögnagyításnak van értelme, mint az egyszerű lencsénél vagy a távcsőnél.

A levezetést mellőzve a nagyítás:

$$N = N_1 \cdot N_2 = \left(\frac{l - f_2}{f_1} - 1 \right) \left(1 + \frac{d_0}{f_2} \right) \approx \frac{d_0(l - f_2)}{f_1 f_2}$$

Nagy nagyításhoz kicsi fókusztávolságok kellenek.

Korlátok: lencsehibák hatása felerősödik, nagy nagyításnál a kép fényereje kicsi lesz, diszperzió, fényelhajlás. Utóbbi kikerülhetetlen.



A fény fontosabb tulajdonságai

Hullámoptika

Geometriai optika

Egyszerű képalkotó eszközök

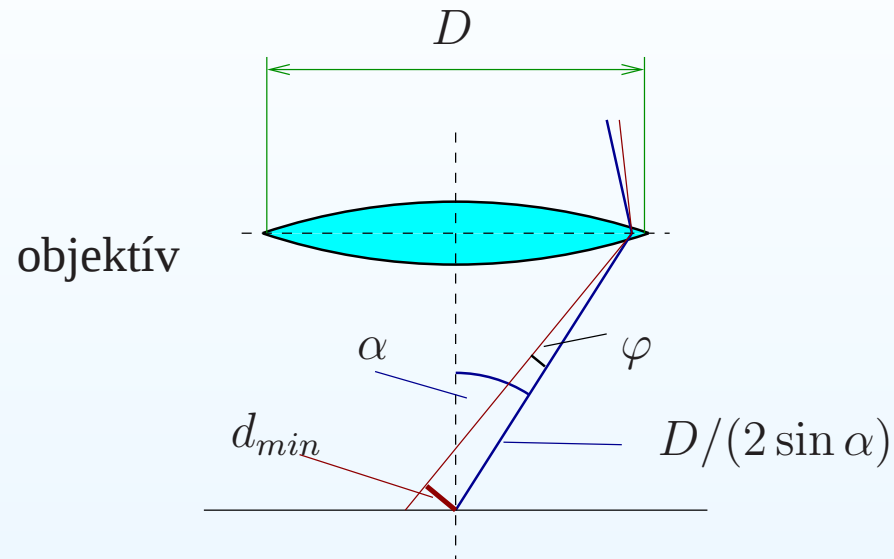
Egyszerű optikai berendezések

A távcsövek működése

A mikroszkóp működése

- Alapötlet
- A mikroszkóp nagyítása
- A mikroszkóp felbontóképessége

A mikroszkóp felbontóképessége



Könnyen belátható:

$$d_{min} = \frac{0,61\lambda}{\sin \alpha}$$

A gyakorlatban $\sin \alpha$ 0,5 és 0,8 körüli. Ekkor $d_{min} \approx \lambda$.