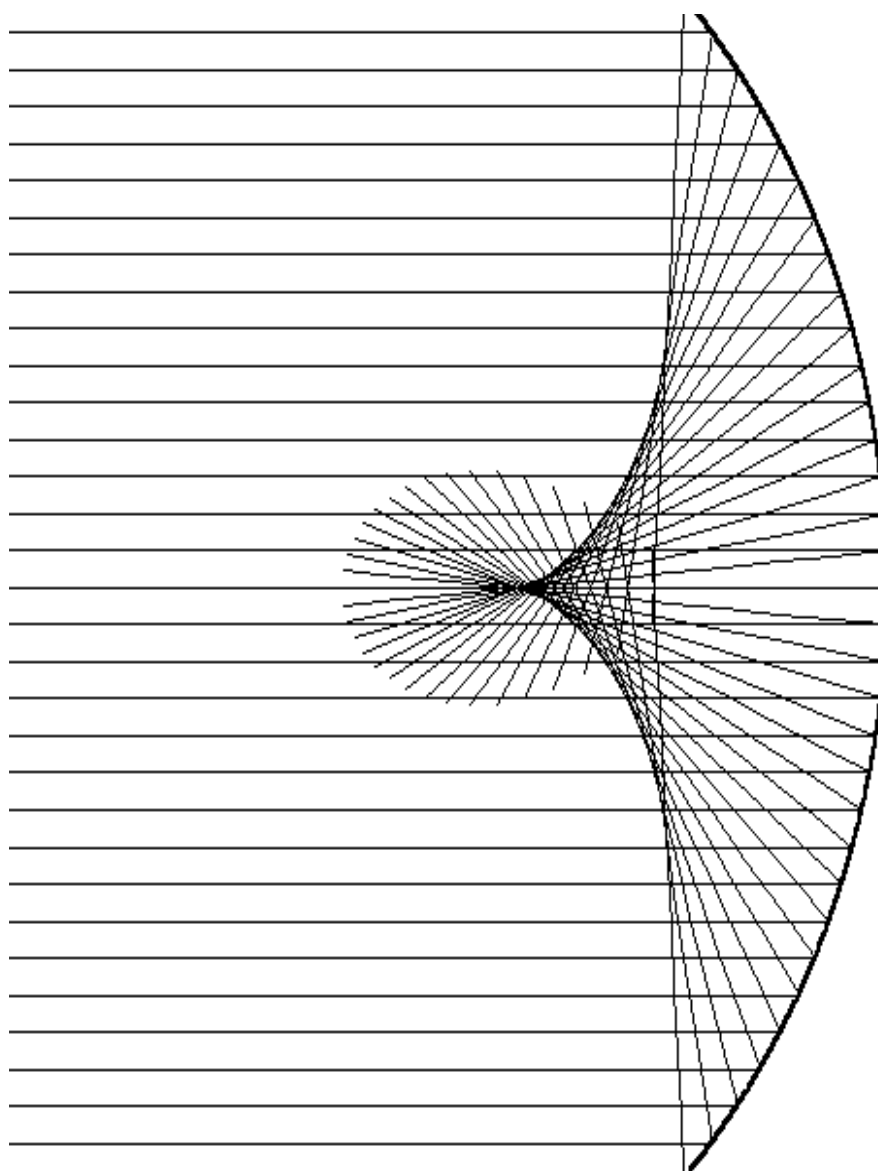


# Napake leč



Mentor: Zvonko Jagličić

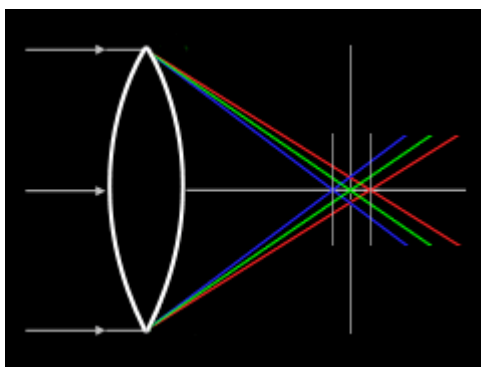
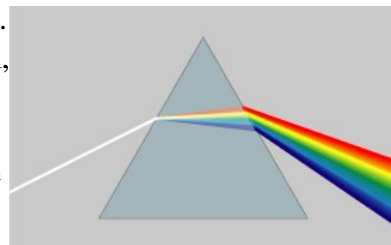
Blaž Vidmar

Študijsko leto 2008/2009

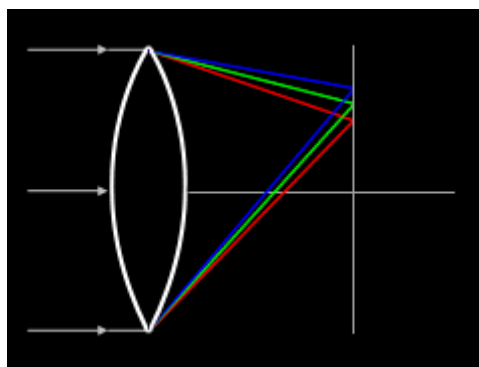
## Barvna aberacija

Že več kot pred dvesto leti nam je Newton s pomočjo prizme pokazal, da je bela svetloba sestavljena in več barv, vsaka od njih pa se pri prehodu skozi prizmo (optično sredstvo) lomi pod drugačnim kotom. Ta enostaven poizkus je bistven za razumevanje kromatične oziroma barvne aberacije (BA), ki jo lahko opazimo na marsikateri fotografiji.

Za primer vzemimo enostavno lečo in jo primerjajmo s prizmo. Nanjo z ene strani v isto točko na leči posvetimo z npr. modrim, rdečim in zelenim žarkom. Ker se v sredstvu z konstantnim lomnim količnikom barve različnih valovnih dolžin lomijo različno ne sekajo optično os na istem mestu - vsaka ima svoje gorišče. Če se žarki ne sekajo v isti točki na optični osi govorimo o vzdolžni barvni aberaciji, ko pa ta pojav opazimo na ploskvi, ki je pravokotna optični osi (npr. film) pa o prečni barvni aberaciji. Pojav je najbolj opazen na visoko kontrastnih robovih, kjer lahko pri velikih povečavah razločno vidimo različne barve. Velikost barvne aberacije je odvisna od lomnega količnika optičnega sredstva.



Osna barvna aberacija

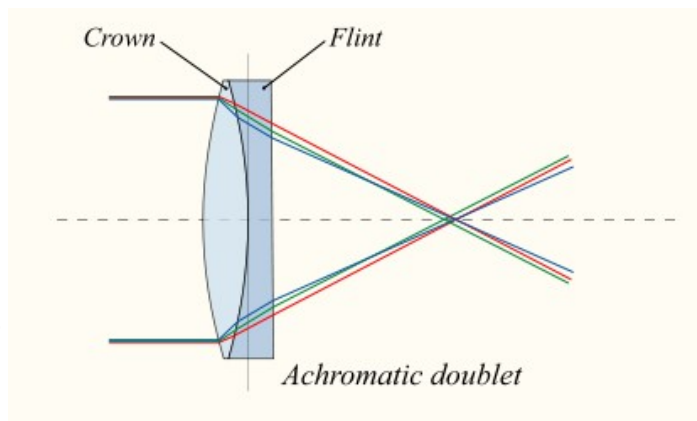


Prečna barvna aberacija

## Eliminacija barvne aberacije

Barvne aberacije ne moremo eliminirati s posebnim brušenjem leč, saj oblika leče ne vpliva na njen lomni količnik, torej se različne barve še vseeno različno lomijo. Za odpravljanje BA uporabljamo posebne optične sisteme, ki jih imenujemo „dvojice“ in „trojice“, te vsebujejo dva/ tri optična elementa z različnima lomnima količnikoma, ki skupaj privedeta različne valovne dolžine v isto gorišče, hkrati pa lahko na ta način delno poskrbimo tudi za sferično aberacijo in komo.

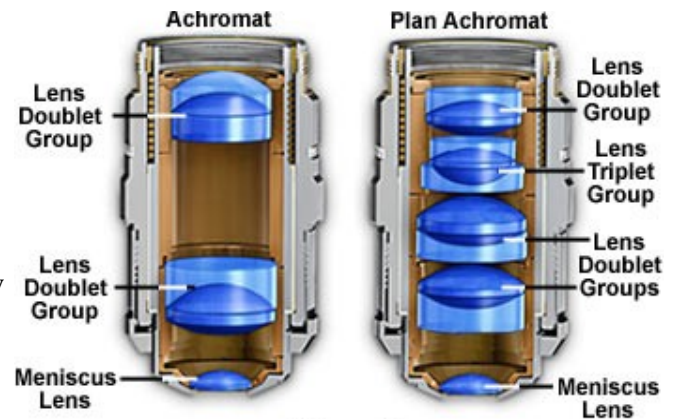
Podrobneje si oglejmo t.i. Fraunhoferjevo akromatično fiksno dvojico, ki se uporablja predvsem pri portretnih objektivih. Na zunanji strani dvojice je bikonveksna leča iz optičnega stekla z majhnim lomnim količnikom (npr. 1,52) in velikim (npr. 60)



Abbe-jevimi številom<sup>1</sup> na notranji pa plankonkavna leča iz kremenca, ki pa ima v nasprotju s prednjo lečo relativno velik lomni količnik (npr. 1,63) a nizko Abbe-jevo število (npr. 35). Tako z uporabo dveh leč z enakima a nasprotnima barvnima aberacijama privedemo dve različni spektralni barvi v isto gorišče – dobili smo akromatično lečo. Razlog zakaj je na zunanji strani leča iz navadnega optičnega stekla je povsem praktičen – to steklo je bolj odporno na vremenske vplive.

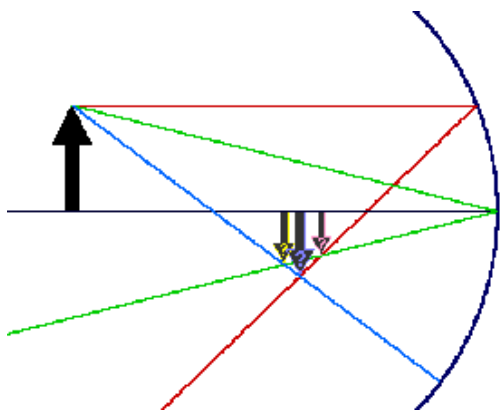
Za odpravljanje barvne aberacije preostalih barv (t.i. secondary specter oz. preostal spekter) lahko uporabimo podoben sistem, le da namesto akromatske kombinacije (pozitivne in negativne leče) uporabim apokromatsko ali superakromatsko kombinacijo.

Prvi enostavni akromatični sistemi so bili izdelani že v 18. stoletju.

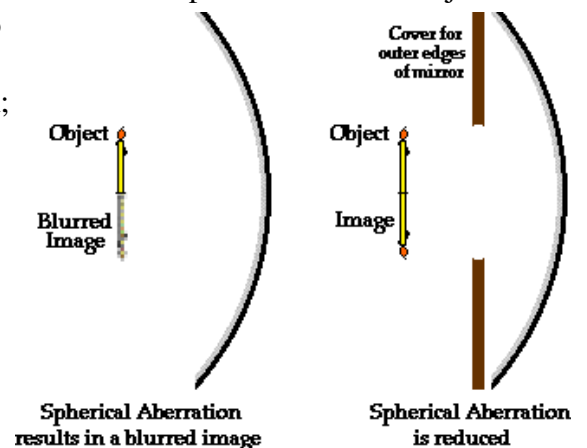


## Sferična aberacija

Sferična aberacija (ang. spherical aberration) je pojav pri katerem se vzporedni žarki svetlobe, ki padajo na rob leče ali zrcala, ki je del krogelnega odseka (sferična leča ali zrcalo) odbijejo drugače kot tisti, ki se odbijejo blizu optične osi. Zaradi tega se žarki med seboj ne sekajo v isti točki in zato dobimo motno in neostro sliko. Pojav je najbolj viden, če opazujemo odboje čisto zunanjih in notranjih žarkov, saj se žarki, ki padajo na lečo blizu sredine srečujejo dlje na optični osi kot tisti, ki padajo v lečo na robovih. Tako se izkaže, da goriščnica ni neka strogo definirana točka, ampak bolj predel na optični osi – zato se film ali tipalo postavi v lego, ki je neka najboljša rešitev. To je v točki, kjer velikost neostrinskih križcev še vedno omogoča dovolj ostro sliko. Sferična aberacija povzroči predvsem zmanjševanje ostrine proti robovom slikovne površine, medtem ko je slika v sredini ostra. Vpliv sferične aberacije lahko lepo ilustriramo s preprostim fizikalnim poizkusom;

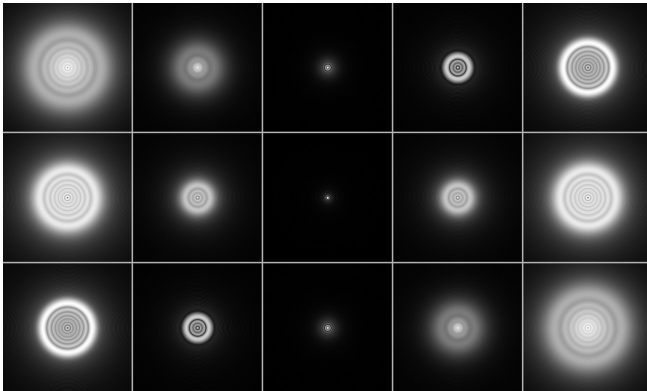


pred veliko sferično zrcalo postavimo nek svetel element (svetel glede na okolico) in opazujemo njegovo sliko v zrcalu. Ko opazujemo sliko nastalo s pomočjo celega ogledala, opazimo rahlo neostro sliko. Ko pa robne dele ogledala zastremo, s tem preprečimo, da bi žarki prišli na robove ogledala in tvorili sliko, dobimo veliko bolj ostro sliko. Pojav je lepo opazen tudi pri cenenihi širokokotnih objektivih brez zadostne korekcije, kjer se svetloba lomi na



<sup>1</sup> Abbe-jevo število: število, ki opisuje lastnost prozornega materiala in sicer razmerje med disperzijo in lomnim količnikom sredstva.

robovih pod največjim kotom.



Preglednica prikazuje kako se točkast izvor enobarvne svetlobe preslika na film. Zgornja vrsta je preveč popravljena (za polovico valovne dolžine), sredinska je pravilno popravljena, spodnja pa premalo popravljena (za polovico valovne dolžine).

Če pa opazujemo stolpce iz leve proti desni so na levi strani slike nastale pred fokusom, v sredini fokusirane, na desni pa slike nastale za fokusom.

### Eliminacija:

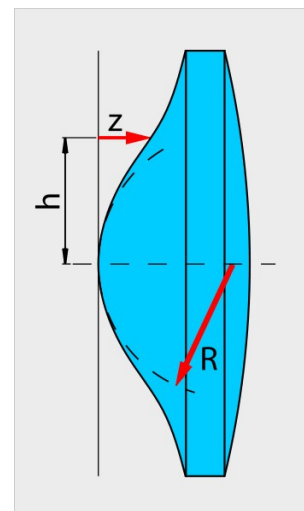
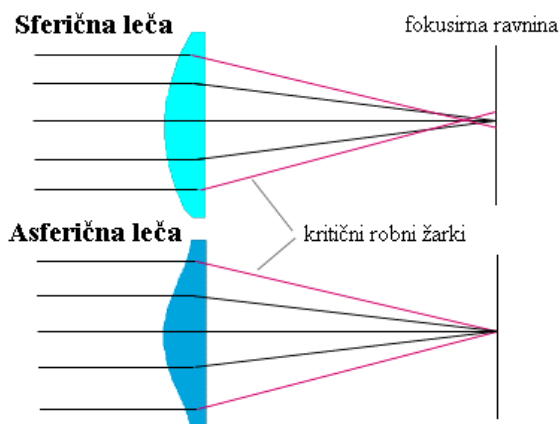
Največkrat sferično aberacijo popravimo z uporabo ogledal nesferne oblike. Ena najboljših rešitev je uporaba paraboličnih ogledal. Zunanji robovi paraboličnega ogledala imajo dovolj drugačno obliko glede na krogelnega, da naredijo sliko ostro.

Pri lečah pa uporabimo različne sisteme konkavnih in konveksnih leč, kakor tudi asferične leče. V praksi se izkaže, da je uporaba asferičnih leč veliko bolj smotrna kot pa uporaba zapletenih sistemov večih leč, saj je slika ustvarjen s pomočjo asferične leče bolj ostro, hkrati pa so potem tudi optične naprave (npr. objektiv) veliko manjši, lažji in cenejši.

Obstajata dve različici asferičnih leč:

- prave asferične leče
- hibridne leče

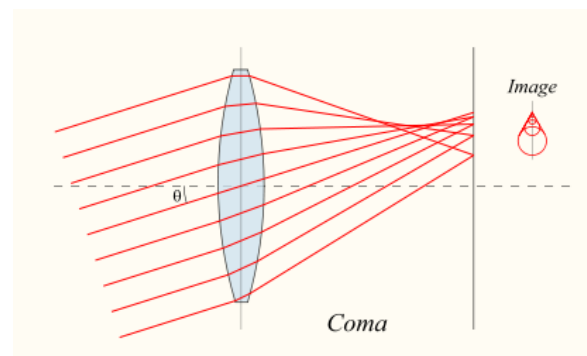
Hibridne leče so navadne leče s posebno plastično prevleko, ki da značilno asferično obliko. Prave asferične leče pa so steklene in so cele narejene v posebni obliki – proti robovom so tanjše. Pri hibridnih lečah napake pogosto niso povsem odpravljene, medtem ko dajejo prave leče zelo dobre rezultate. Poleg tega pa je tudi zelo pomembno, kje se nahaja asferična leča - najboljše v prednji skupini leč.



### **Koma:**

Koma (ang. comatic aberration) je pojav, ki nastane zaradi značilne zgradbe nekaterih optičnih sistemov ali pa nepravilnosti v lečah. Pogosto je označena kot najbolj težavna aberacija, saj je po svojem učinku asimetrična. Njeno ime izhaja iz zanjo značilne oblike – oblika komete.

Koma je najbolj opazna pri teleskopih. Svetloba iz točkastega telesa (npr. zvezde) pade v parabolično ogledalo, torej se slika ustvari točno v gorišču. Toda ko vir svetlobe ni na optični osi, različni deli ne odbijejo svetlobe v isto točko. Slika ni točka ampak zmazek. Bolj ko je vir vstran glede na optično os, večji je efekt tega pojava. To povzroči, da zvezde izgledajo kot kometi.



### **Eliminacija:**

Pojav kome lahko zmanjšamo ali v nekaterih primerih celo izničimo z uporabo pravilne ukrivljenosti površine leč. Leče pri katerih smo izničili tako sferično aberacijo, kot komo so imenovane aplanske leče.

### **Astigmatizem**

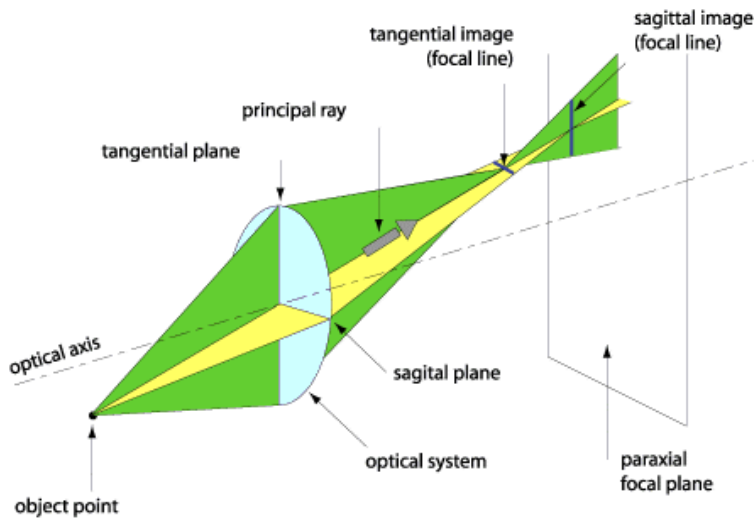
Do pojava astigmatizma pride, ko se prečna in navpična ravnina slike pojavita na različnih goriščnih razdaljah. Ko objekt, ki ni na optični osi, potem naravna asimetrija sferičnega optičnega sistema (leče, zrcala) privede do astigmatizma.

Pomagajmo si s spodnjo sliko.

Za lažje razumevanje si zamislimo dve posebni ravnini. Eno bomo poimenovali tangentno, po njej pa naj potekajo vzdolžni žarki – ti se širijo iz točkastega izvora po tangentni ravnini ter na osi simetrije sekajo optični sredstvo ter se v njem ustrezno lomijo, nadaljujejo pot in se sekajo na neki določeni razdalji. Druga pa naj bo, na tangentno pravokotna, navpična ravnina – tudi po tej potujejo žarki, ki jih bomo imenovali prečni žarki. Vidimo lahko, da se sliki točkastega predmeta ne ustvarita na obeh ravninah na istem mestu. Tako v točki kjer se sekajo vzdolžni žarki navpični žarki ustvarijo linijo in obratno. Med tema dvema linijama je slika točke eliptične oblike ali pa krožno zamegljena. Astigmatizem lahko na ta način definiramo kot razmik med tema linijama.

Kako velik bo pojav astigmatizma v leči je odvisno od oblike leče.

Astigmatizem je opazen tudi kot očesna napaka, ki je posledica neenakomerne ukrivljenosti roženice ali leče. Svetlobni žarki se po prehodu skozi roženico in lečo ne lomijo v vseh ravninah enakomerno in posledica tega je nejasna slika, ki nastane na mrežnici. Takšno napako popravimo s posebnimi stekli, ki se imenujejo cilindri. Astigmatizem se pojavlja pri vseh treh očesnih napakah: kratkovidnosti, daljnovidnosti in starovidnosti.



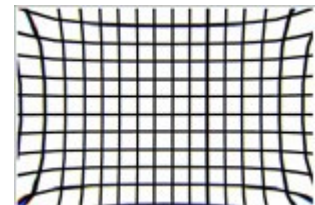
### Eliminacija:

Pri pravilnem astigmatizmu, kjer obstajata 2 krivini roženice, vid lahko izboljšamo s cilindričnimi očali ali s toničnimi mehкими lečami. Pri nepravilnem astigmatizmu, npr. keratokonus, kjer je več krivin roženice, pa je vid lahko boljši z rigidnimi kontaktnimi lečami. Cilindrična očala so tista, ki imajo v različnih ravninah različne radije.

### *Ostale napake leč*

Pogoste napake leč so še

- distorzija (blazinasta in sodčkasta)



- vinjetiranje



### ***Viri***

- Applied photographic optics; Sidney F. Ray; p.82-98
- Fotografiranje, snemanje; Drago Kocjančič; Mladinska knjiga; Ljubljana 1980
- Photography; Henry Horenstein; Prentice Hall; 2001
- [www.dpreview.com](http://www.dpreview.com) (dostopno maja 2009)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Optical\\_aberration](http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_aberration) (dostopno maja 2009)
- <http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/Phys/class/refln/u1313g.html> (dostopno maja 2009)