

Mavrica

Aleš Mohorič

Presekov seminar za matematiko, fiziko in astronomijo

DMFA

2022-23

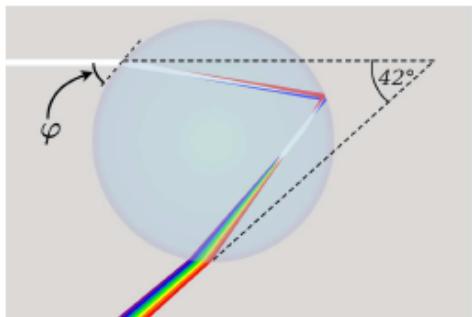
Množica mavric

↓↓↓
LUKA HAHL

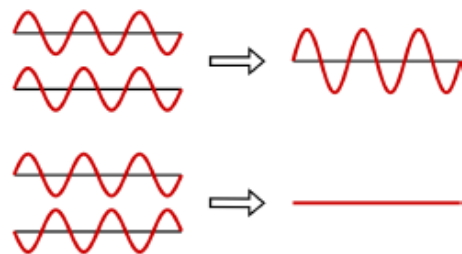
→ Mavrico smo videli že vsi, večina nas je videla tudi dvojno mavrico. Redkeje pa dobimo priložnost videti šest mavric hkrati. Najvišji mavrici na predstavljeni sliki (slika 5) sta »običajni« mavrici – čez celotno sliko se krivi primarna, v kotu nad njo najdemo sekundarno. A posebno pozornost pritegnejo štiri dodatne mavrice pod nižjim robom primarne. Imenujejo se interferenčne mavrice in njihovo ime že nakazuje način njihovega nastanka.

Oglejmo si, kako nastane primarni lok mavrice. Kadar je v zraku veliko kapljic vode in skozi nje povesi sončna svetloba, ta na poti skozi kapljice spremeni smer, kot prikazuje slika 1. Prvič se to zgodi ob vstopu svetlobe v kapljico; na meji zrak-voda se žarek lomi za kot, ki ga določata barva svetlobe (rdeča se lomi manj kot modra) ter kot med žarkom in vodno površino. V kapljico pa ne vstopi vsa svetloba, temveč se je na meji med snovema nekaj tudi odbije. Delež odbite svetlobe določata ista vpliva kot kot loma.

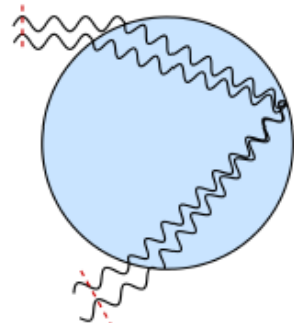
Lomljena svetloba spet zadene ob površino kapljice,



SLIKA 1. Nastanek mavrice. Kot φ označuje kot med žarkom in površino kapljice. Zaradi preglednosti skica prikazuje le svetlobo, ki prispeva k primarnemu lok mavrice.

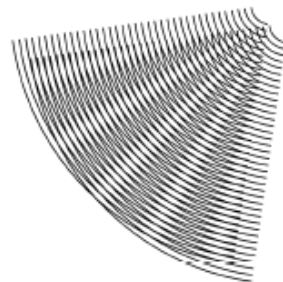


SLIKA 2. Interferenca: konstruktivna zgoraj, destruktivna spodaj. V obeh primerih sta na levi valovanji, ki se srečata, na desni rezultat.

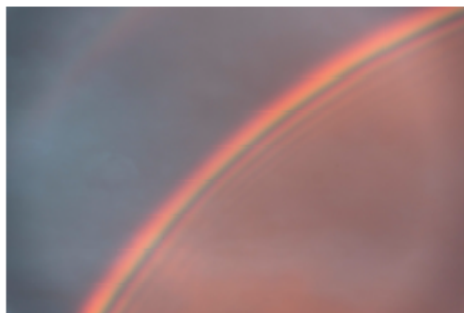


SLIKA 3. Zamik pri prehodu skozi kapljico. Rdeči črtkani črti sta pravokotni na smer potovanja valovanja.

ce, kjer se je del ponovno lomi ter pobegne iz nje in del odbije nazaj vanjo. Odbita svetloba se ob naslednjem stiku s površino spet delno lomi in delno odbije. Oglejmo si svetlobo, ki iz kapljice izstopi. Ker pot svetlobe skozi kapljico in intenzivnost odbojev določata ista parametra, svetloba različnih barv pod različnimi koti izstopi z različno intenziteto. Pri določenem izstopnem kotu tako prevladuje rdeča svetloba, pri drugem pa modra – dobili smo mavrični lok.



SLIKA 4. Vzorec pri interferenci valovanj iz dveh virov.



SLIKA 5. Množica mavric. Znotraj primarnega loka lahko opazimo zaporedje šibkejših interferenčnih mavric.

Ker je izstopna smer za svetlobo z največ rdeče barve bolj navpična kot za svetlobo z največ modre, jo v mavrici vidimo najvišje. Pri preostalih kotih med intenzivnostmi različnih barv ne bo velikih razlik in videli bomo belo svetlobo.

Če se svetloba na poti skozi kapljico odbije dvakrat, dobimo sekundarno mavrico, a seveda nikoli ne vidimo obeh mavric iz iste kapljice. Tudi raz-

lični pasovi iste mavrice izvirajo iz različnih kapljic. Oglejmo si zdaj le svetlobo, ki prispeva k mavričnim lokom.

Ko poskusimo razložiti zaporedje mavric pod primarnim lokom, naletimo na težave. Svetlobo zato opišemo kot valovanje, zaporedje hribov in dolin. Med dvema hriboma ali dolinama je vedno enaka razdalja, ki določa tudi barvo svetlobe in jo imenujemo valovna dolžina. Rdeča svetloba se ponaša z malce večjo valovno dolžino kot modra. Ko se srečata žarka svetlobe z enako valovno dolžino, se valovanji seštejeta in pride do interference. Če se seštejeta dva hriba ali dve dolini, dobimo močnejše valovanje (konstruktivna interferenca), če se seštejeta hrib enega žarka in dolina drugega žarka, pa se žarka izničita (destruktivna interferenca). Shematsko to prikazuje slika 2.

Žarka svetlobe iste barve, ki v kapljico vstopita na različnih mestih, bosta na poti skozi njo prepotovala različni razdalji in pri tem pridelala »zamik« drug glede na drugega, odvisen od vstopnih kotov (slika 3). A valovi se v resnici ne širijo le naprej, temveč tudi vstran. Če označimo vsak vrh valovanja, tako ne dobimo zaporedja pik, temveč ukrivljene loke. Loki dveh valovanj, ki iz kapljice izstopita na različnih točkah, se ponekod sekajo – tam dobimo konstruktivno interferenco –, drugod pa pade lok valovanja iz prve točke ravno na sredino med lokoma valovanja iz druge točke, kjer je dolina – dobimo destruktivno interferenco. Če bomo kapljico opazovali pod različnimi koti, bomo torej opazili močnejšo ali šibkejšo svetlobo iste barve (slika 4). Primarna mavrica predstavlja najmočnejši tako dobljeni žarek, interferenčne mavrice pa stranske žarke. Ker je zamik (kot) med žarki, nastalimi z interferenco odvisen tudi od velikosti kapljice, interferenčne mavrice vidimo le, kadar so kapljice dovolj majhne in podobne velikosti.

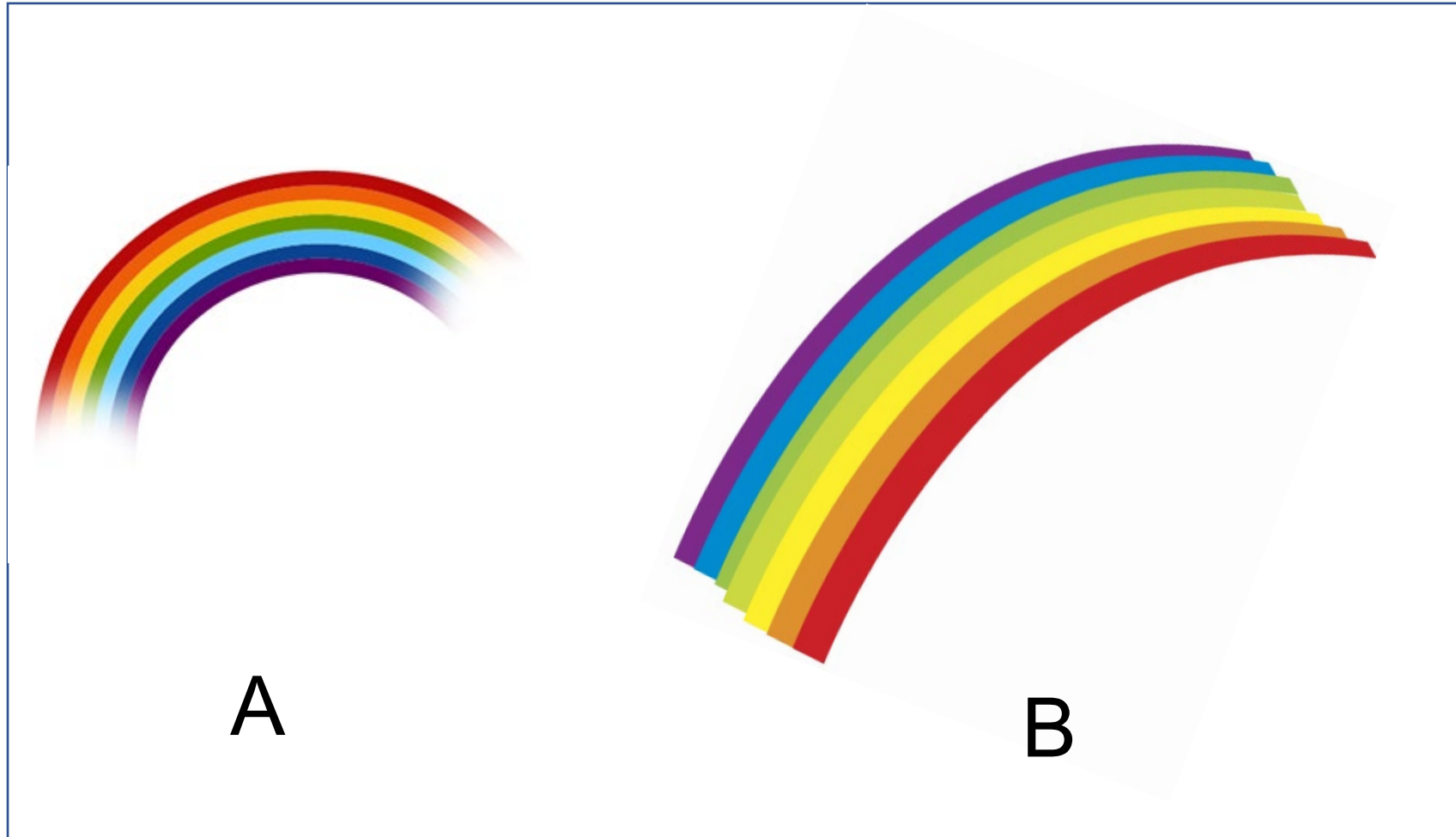
Zdaj torej razumemo, od kod množica mavric na sliki in vidimo, kako kompleksne izvore imajo lahko. Če enostavno opazljivi pojavi. Za razmislek pa naj ostane, h koliko loncem zlata te mavrice vodijo.

Literatura

[1] *Atmospheric Optics*, dostopno na <https://atoptics.co.uk>, ogled 5. 2. 2023.

× × ×

Kako so razvrščene barve?



Polmer? Debelina?



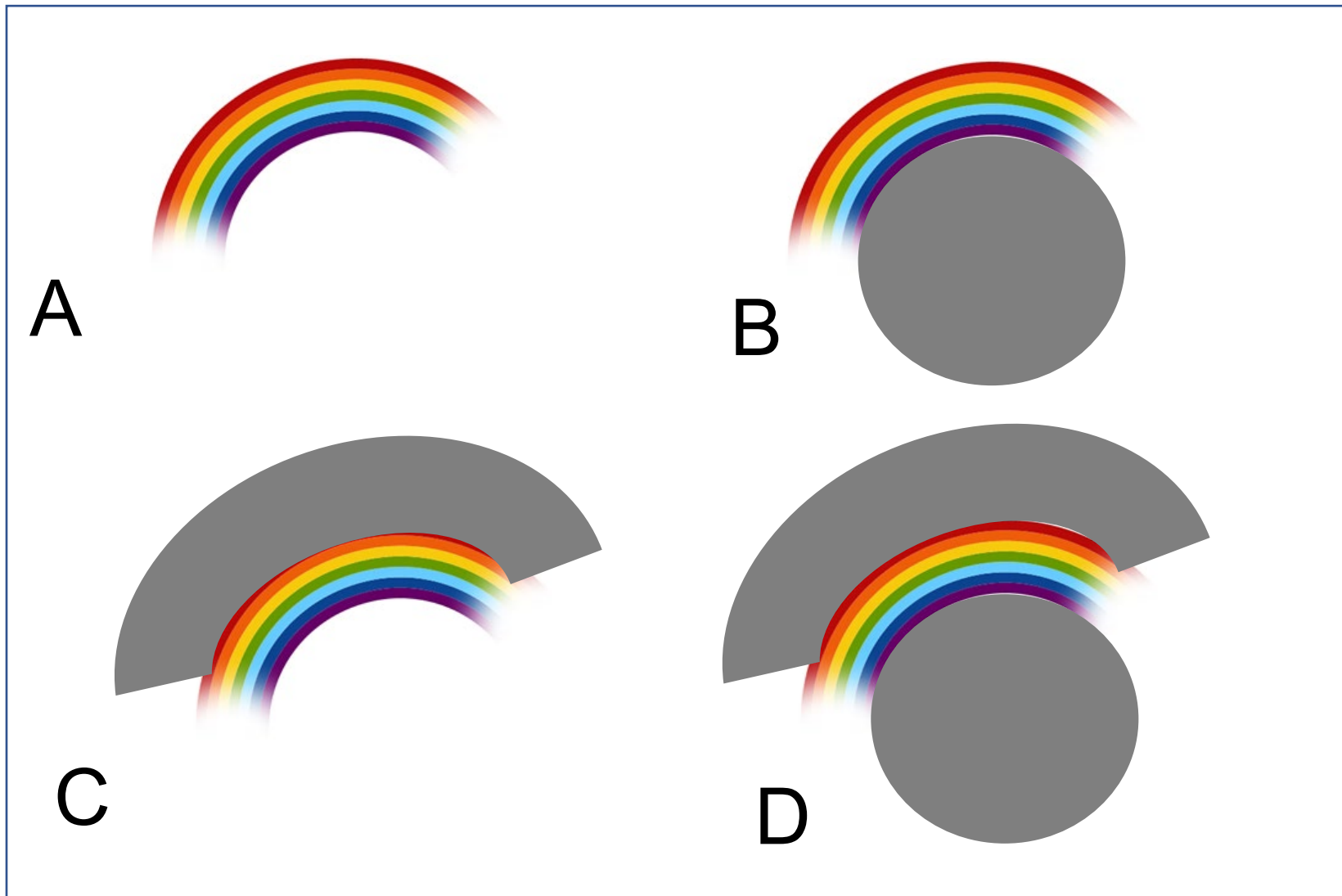
A vsakič enako velik in debel lok

B velikost loka različna, debelina vsakič enaka

C debelina različna, velikost vsakič enaka

D debelina in velikost loka sta odvisna od razmer

Svetlost zunaj/znotraj?



Kdaj v dnevu? Kje je Sonce?

A



www.shutterstock.com · 91163159

B



www.shutterstock.com · 161400380

C



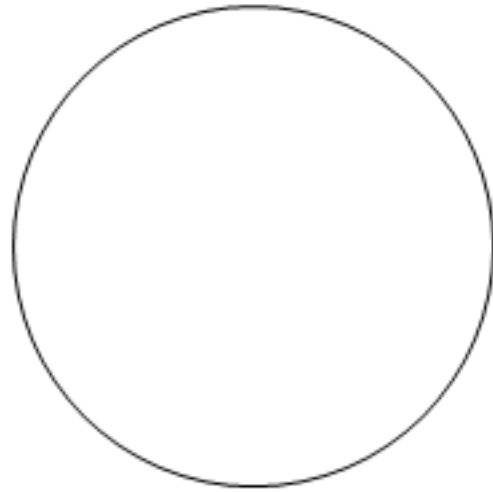
D



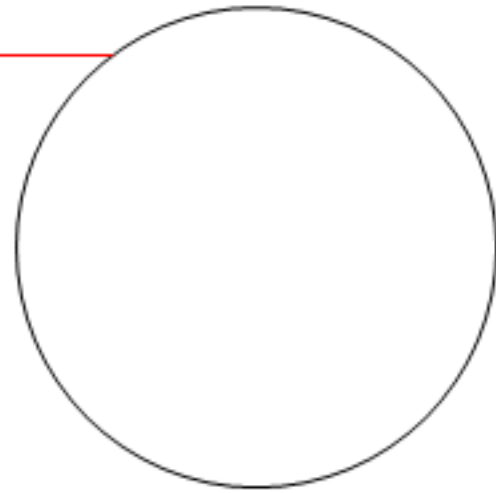
En, dva loka?

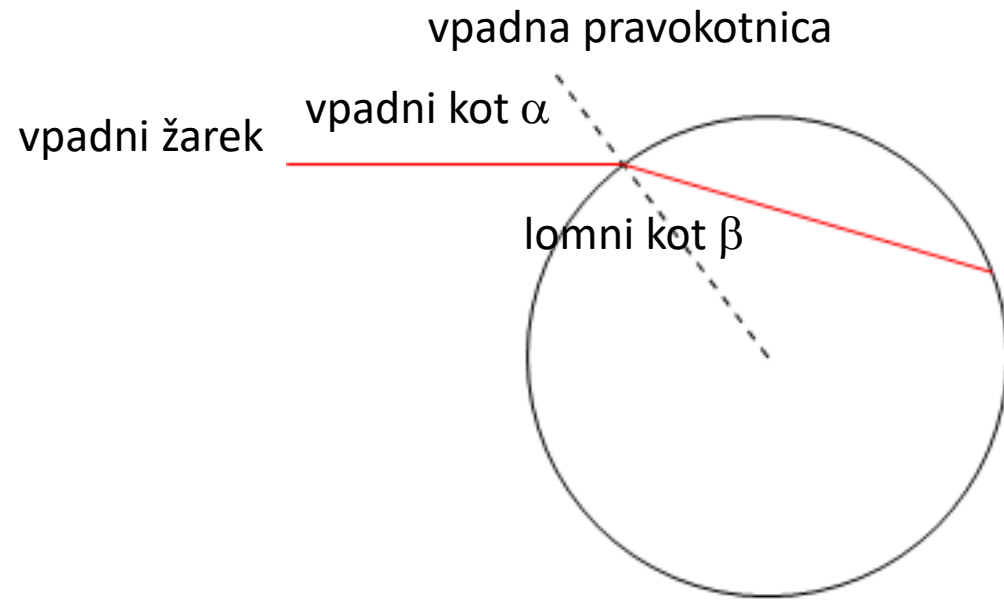
- Kje je drugi lok, če je opazen?
- Kako si v njem sledijo barve?
- Polmer, debelina drugega loka?

Lom v okrogli kaplji

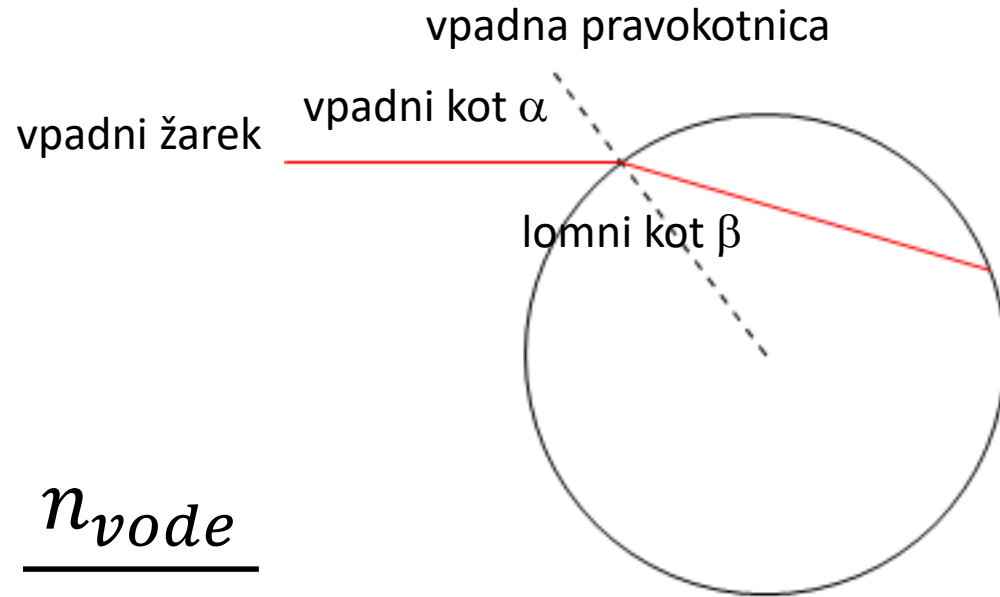


vpadni žarek



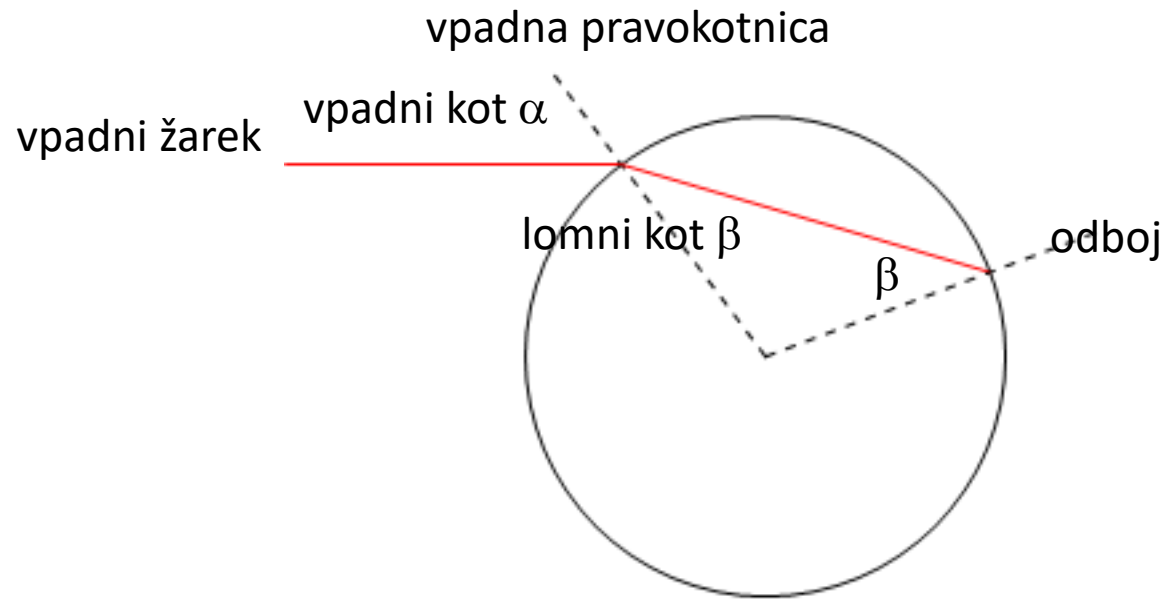


lomni zakon

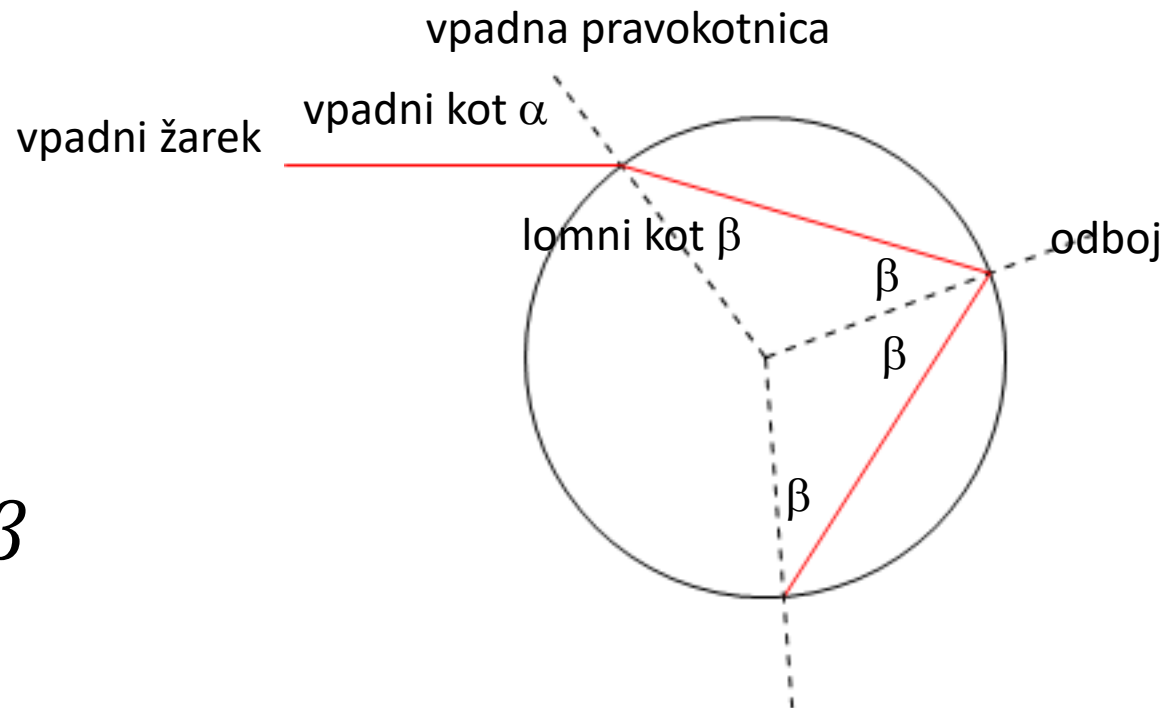


$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_{vode}}{n_{zraka}}$$

$$n_{zraka} \approx 1 \quad n_{vode} \approx 4/3$$

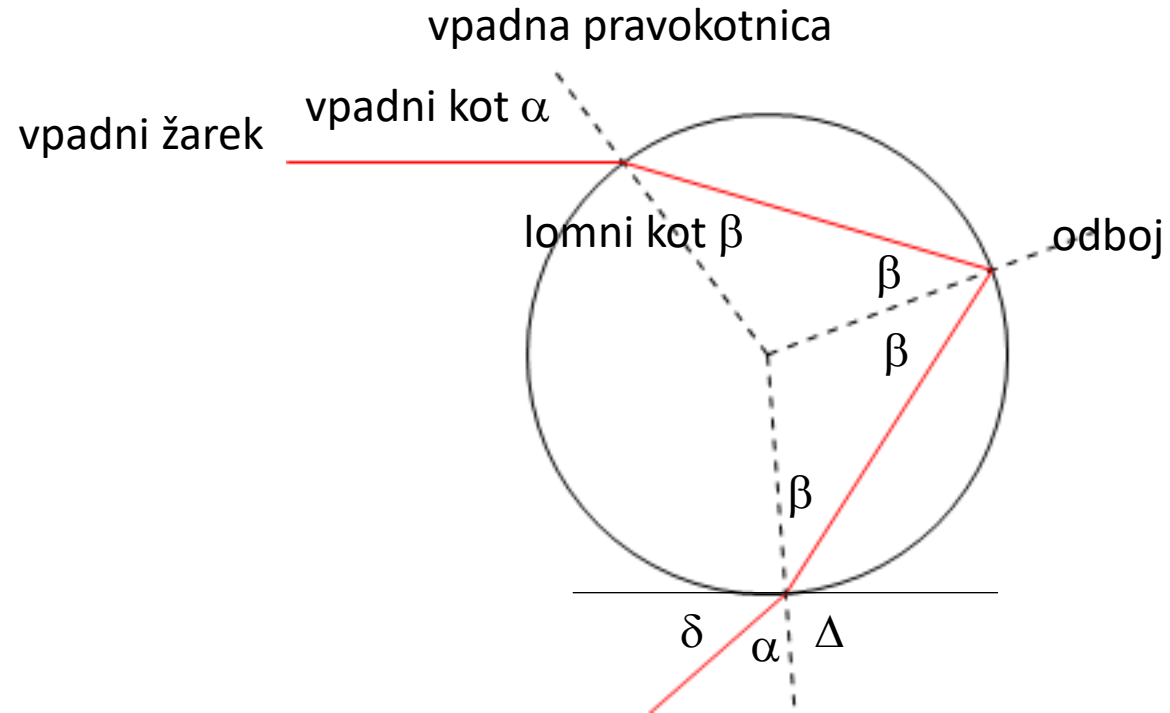


odbojni zakon

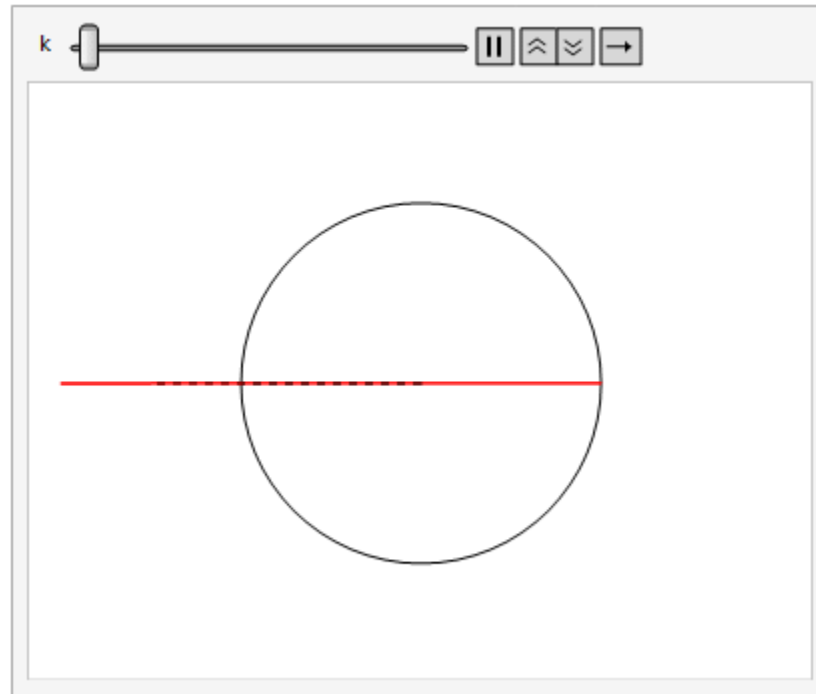


$$\beta = \beta$$

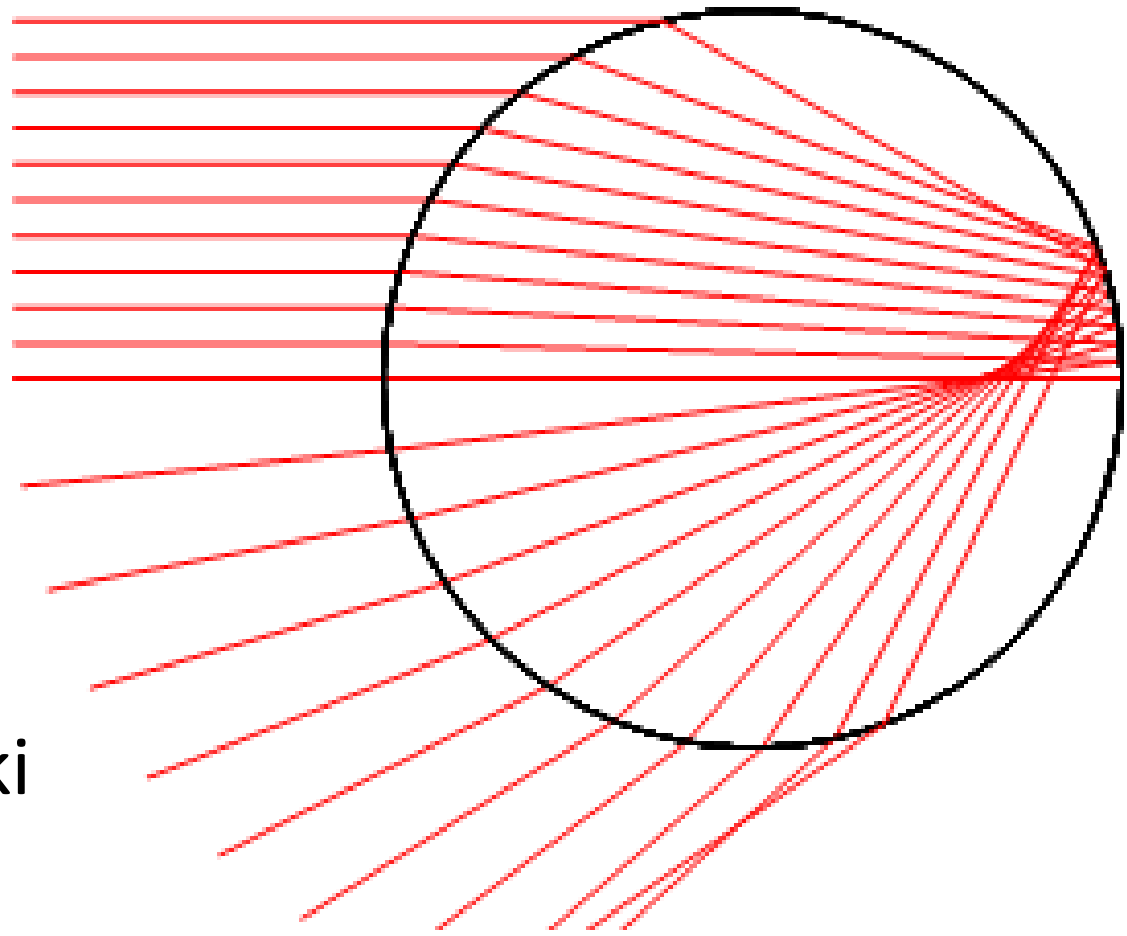
dodatni lom



lom za različne žarke

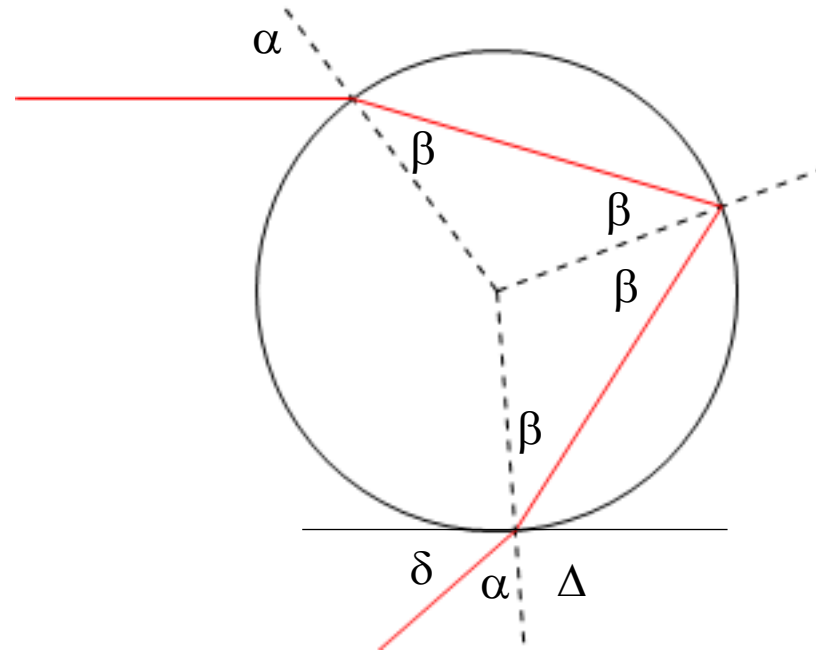
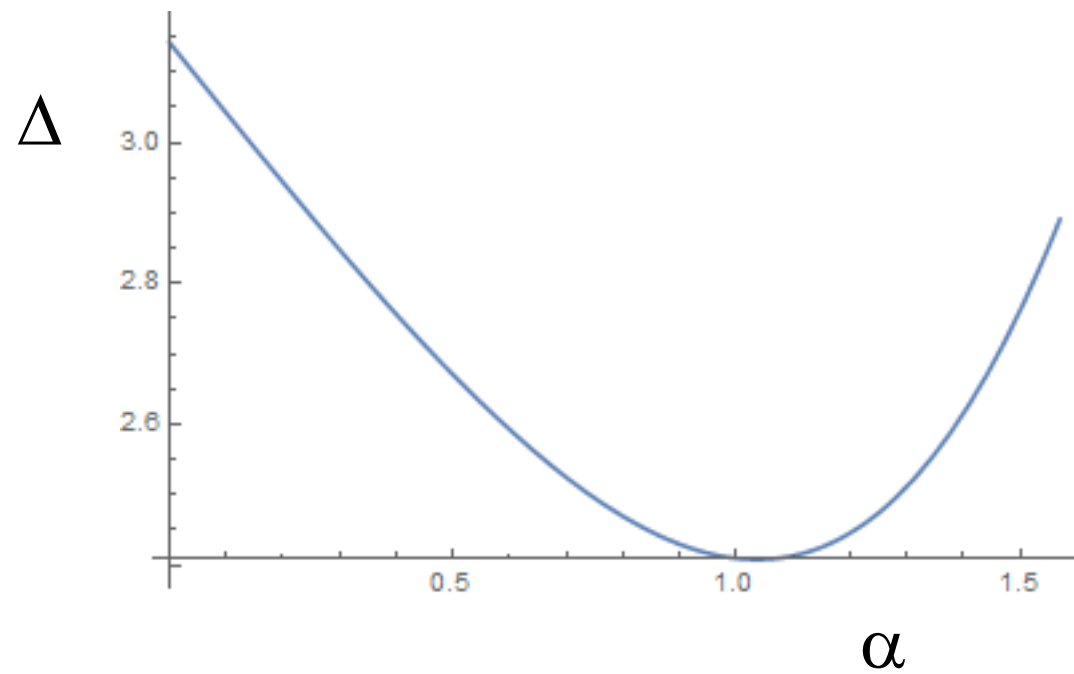


vpadni žarki

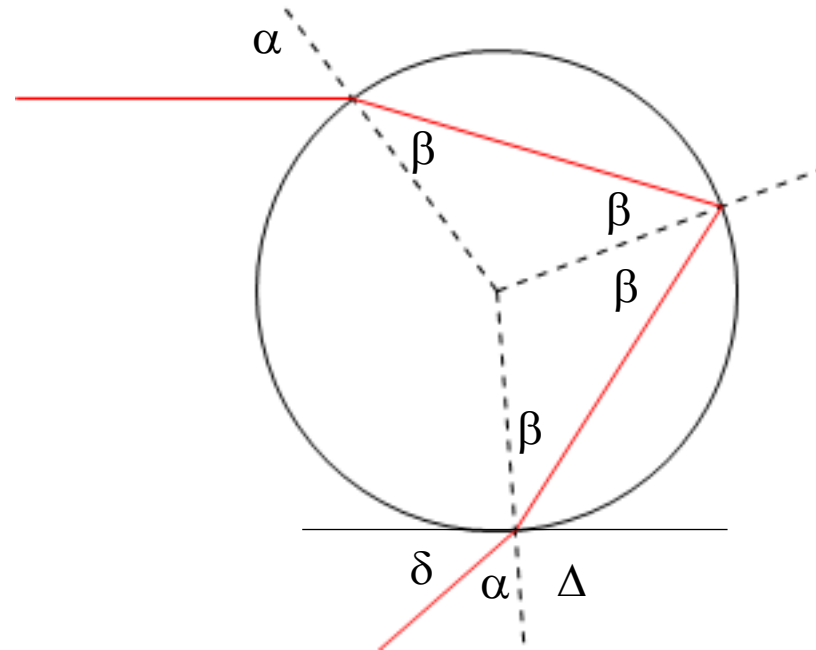


izstopni žarki

- $\Delta = \pi + 2\alpha - 4\beta$
- $\Delta = \pi + 2\alpha - 4 \arcsin\left(\frac{\sin \alpha}{n}\right)$

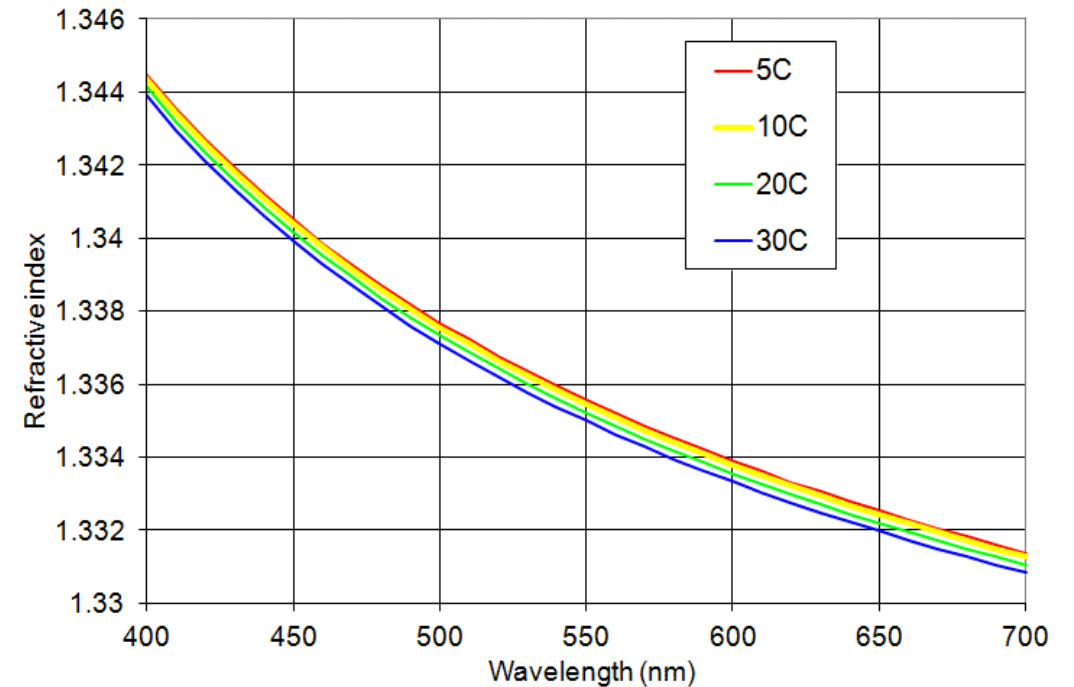


- $\Delta = \pi + 2\alpha - 4\beta = \pi$
- $\frac{d\Delta}{d\alpha} = 2 - 4\frac{d\beta}{d\alpha}$
- $\sin \alpha = n \sin \beta$
- $\cos \alpha = n \cos \beta \frac{d\beta}{d\alpha}$
- $\frac{d\Delta}{d\alpha} = 2 - 4\frac{\cos \alpha}{n \cos \beta} = 0$
- $\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}}$
- $n^2 - \sin^2 \alpha = 4 - 4 \sin^2 \alpha$
- $3 \sin^2 \alpha = 4 - n^2$
- $\alpha_c = \arcsin \sqrt{\frac{20}{27}} = 59,4^\circ$ in $\delta = \pi - \Delta = 42^\circ$

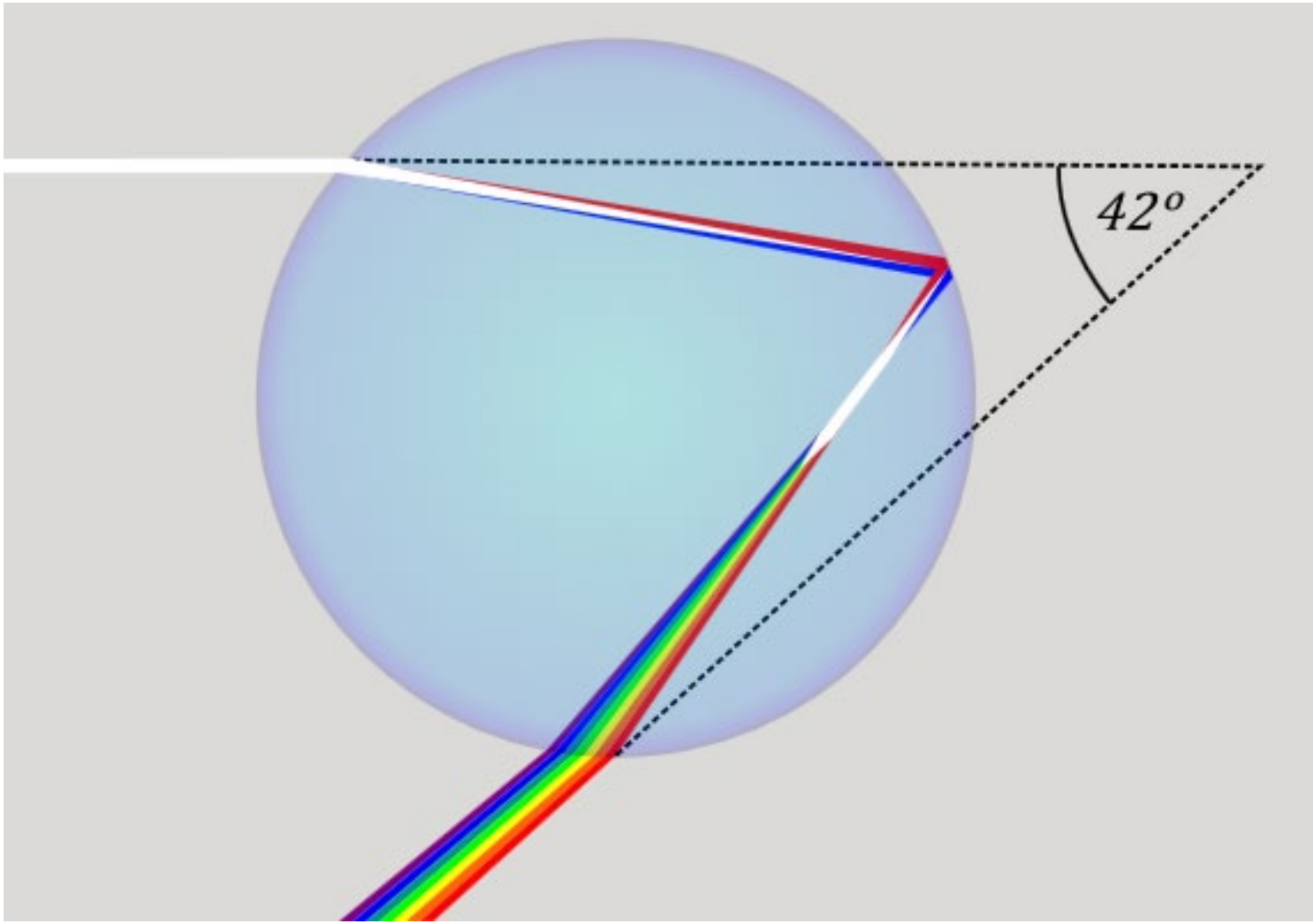


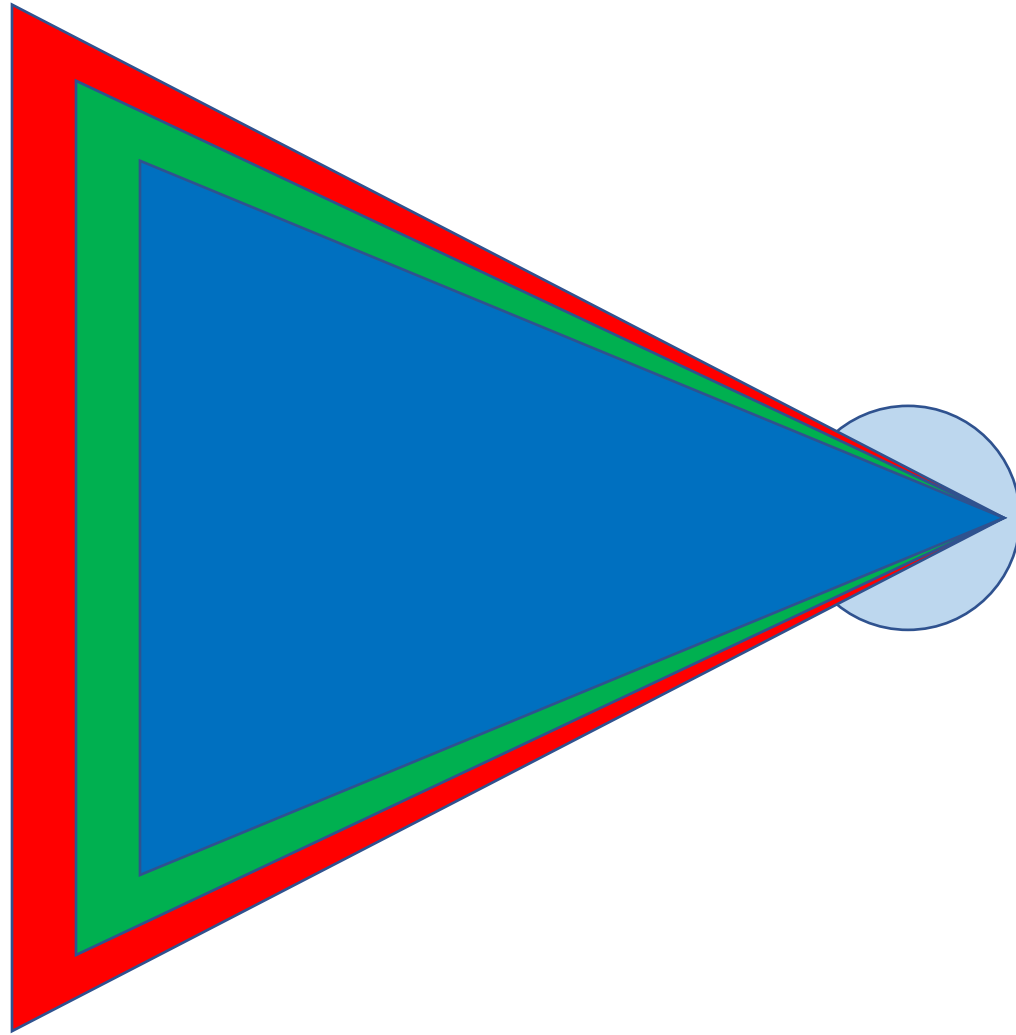
Disperzija

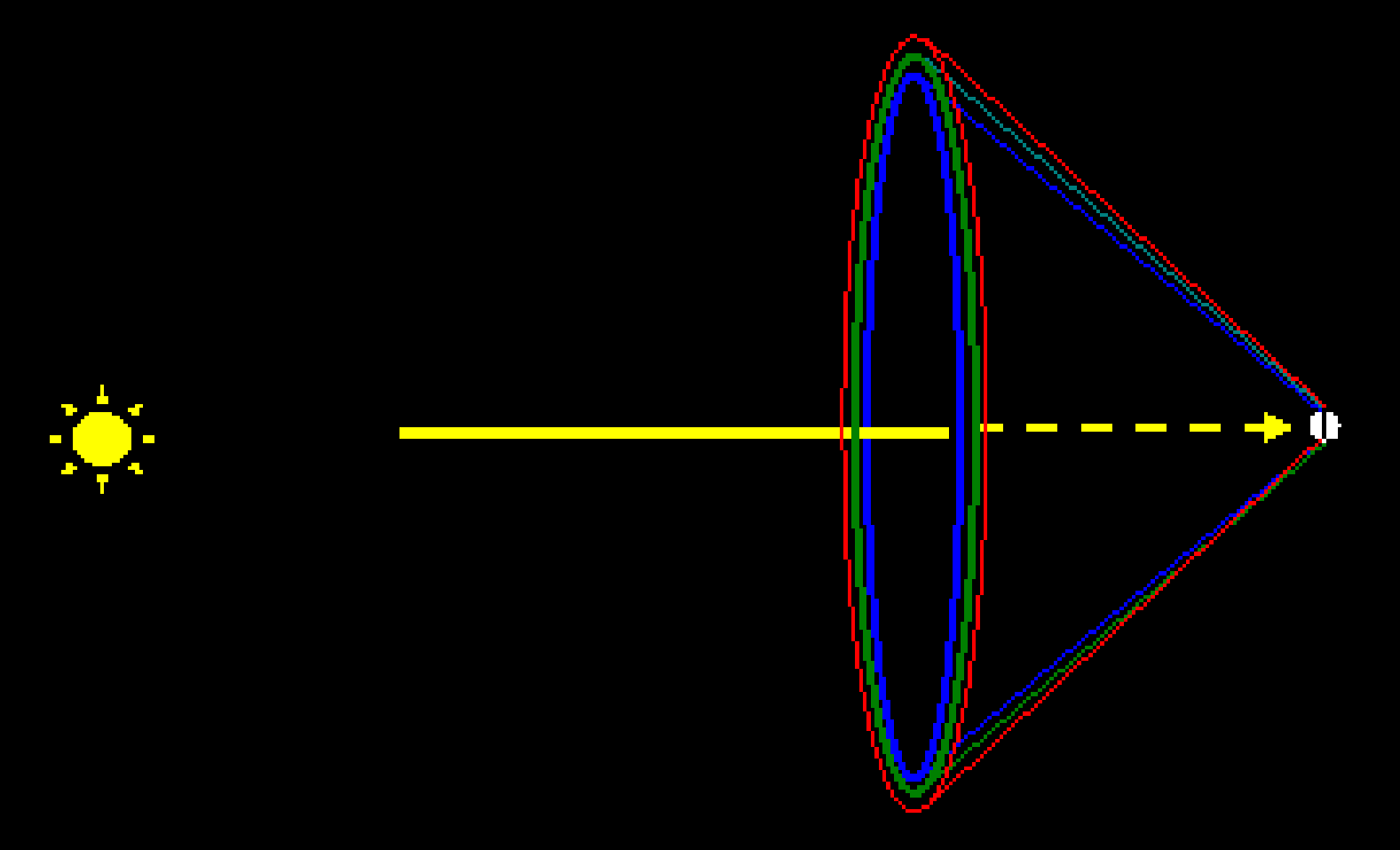
- $3 \sin^2 \alpha = 4 - n^2$
- $\alpha_c = \arcsin \sqrt{\frac{4-n^2}{3}}$
- $\delta_c = 4\beta_c - 2\alpha_c$
- $\delta_c = 4 \arcsin \sqrt{\frac{4-n^2}{3n^2}} - 2 \arcsin \sqrt{\frac{4-n^2}{3}}$
- $n_{vijolične} = 1,3435$
- $n_{rdeče} = 1,3318$
- $\delta_v - \delta_r = 1,7^\circ$

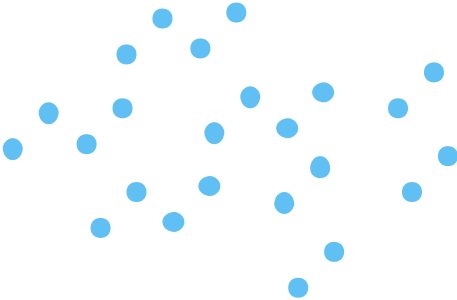


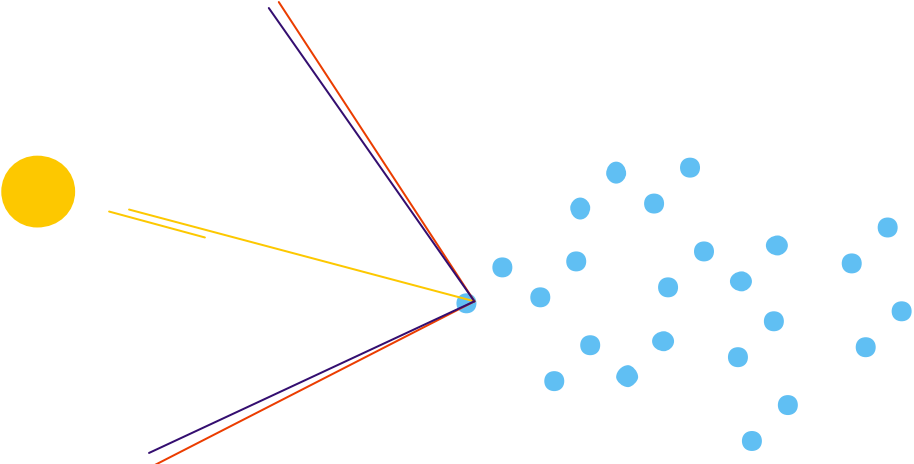
42,4° 40,7°

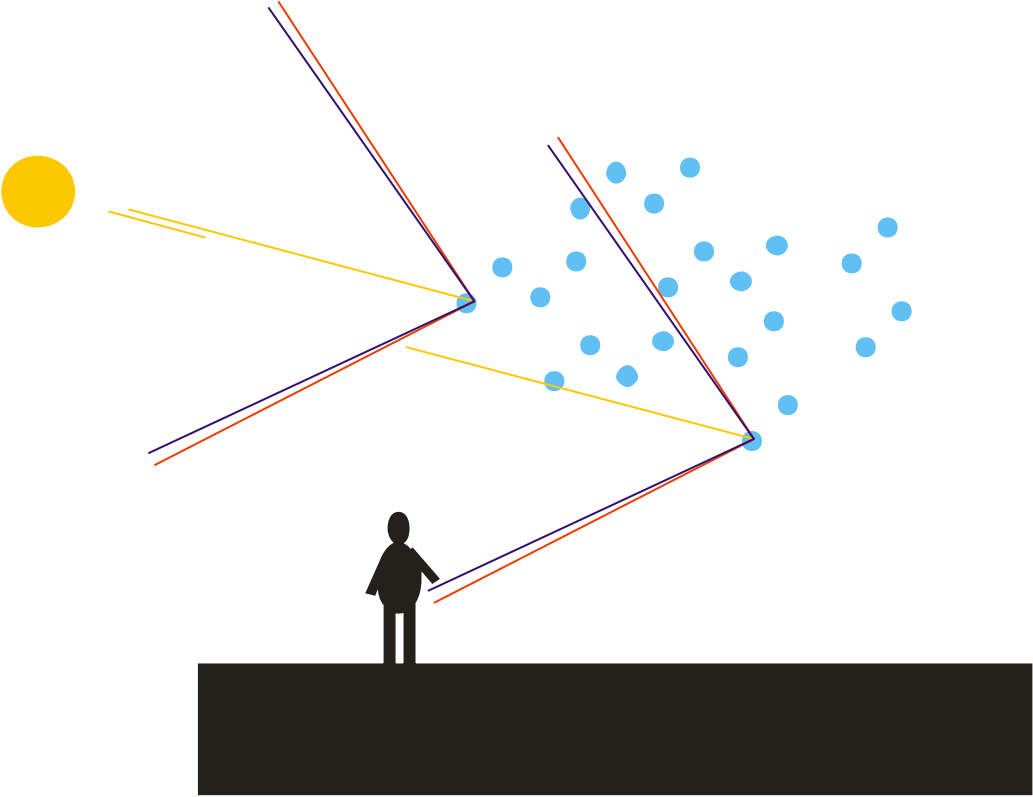


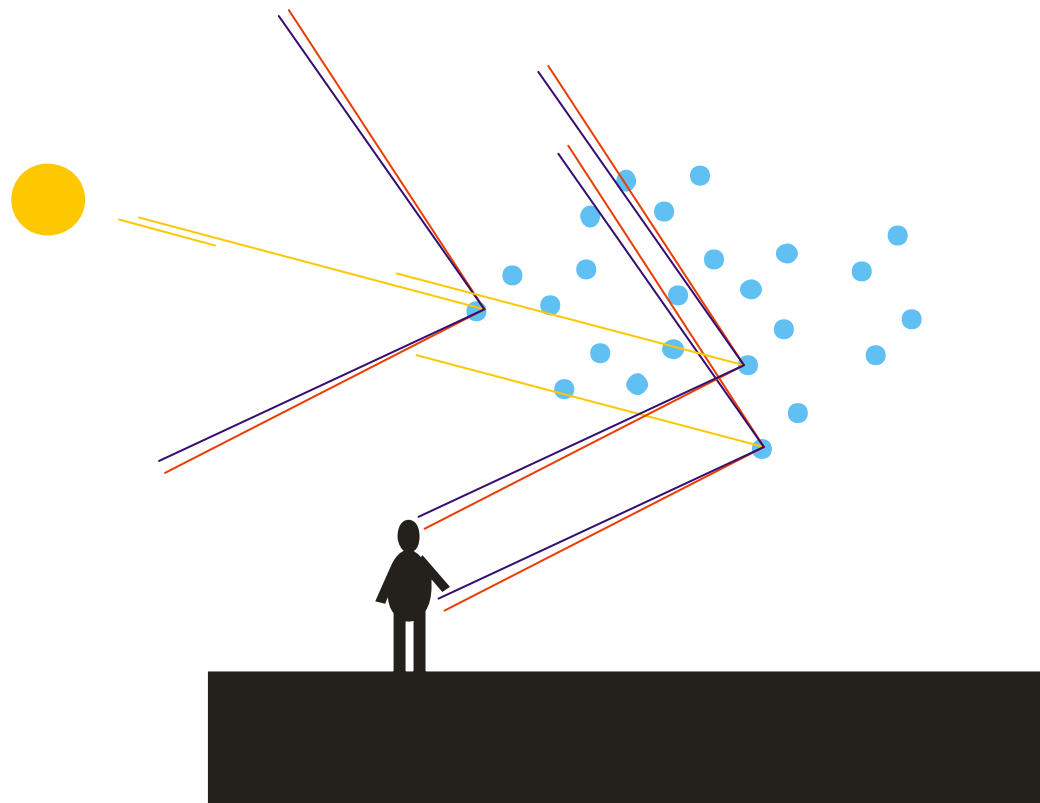












Svetleje pod primarnim lokom

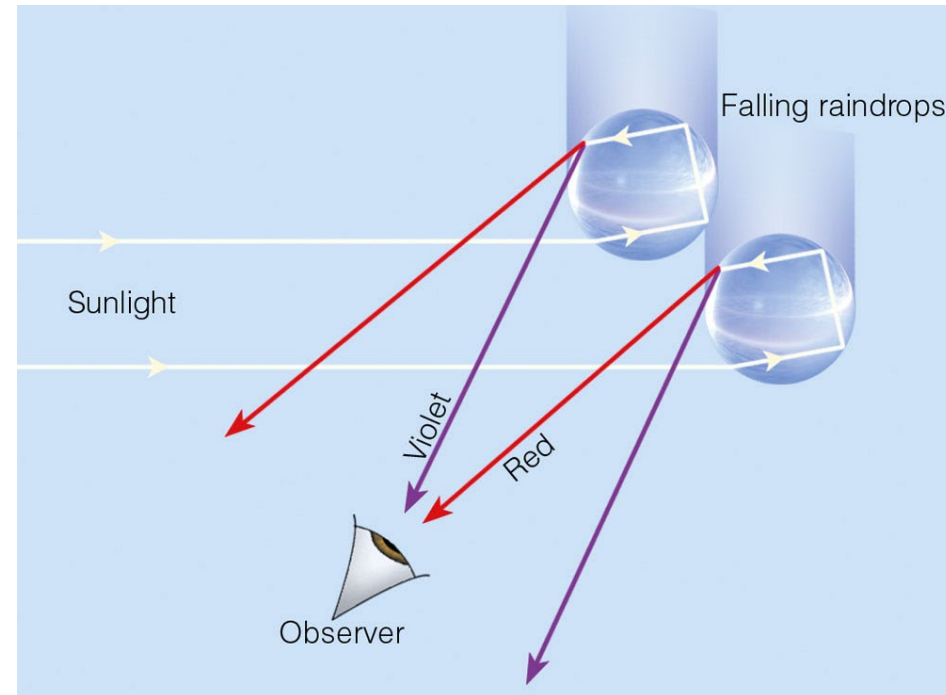


Sekundarni lok $50,4^\circ$ $53,5^\circ$

- Dva notranja odboja, obratni vrstni red barv
 - Terciarni prešibek za oči



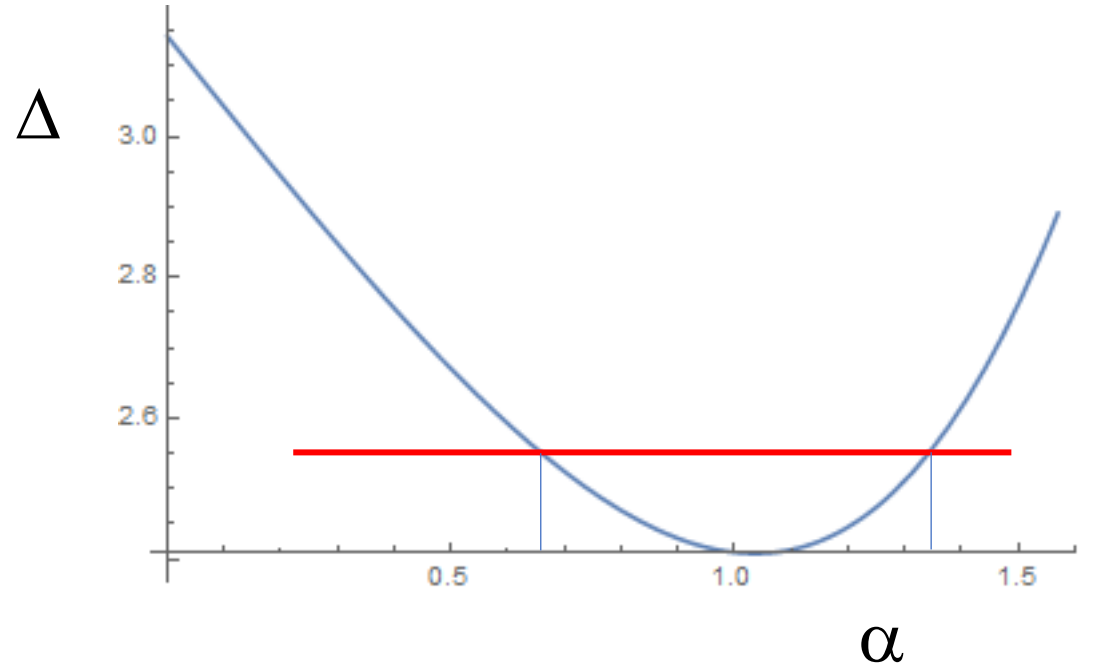
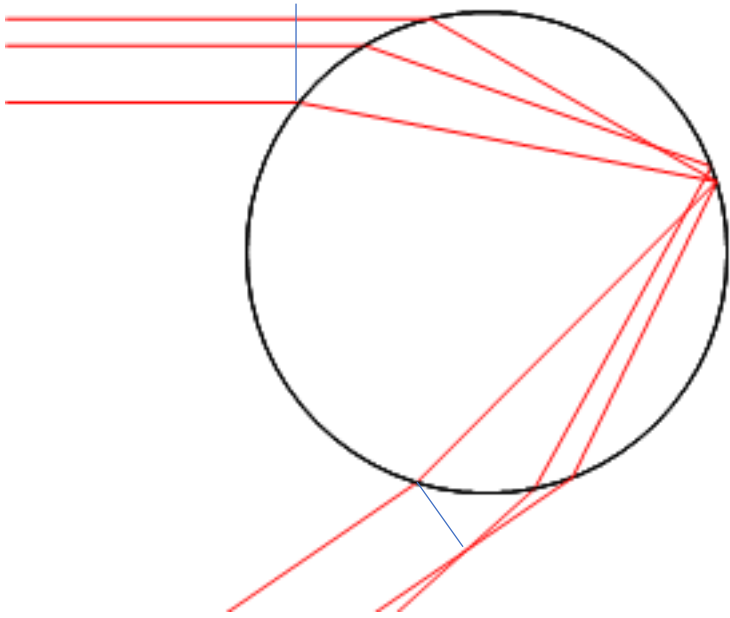
© 2007 Thomson Higher Education



© 2007 Thomson Higher Education

dodatna mavrica





ojačitev

$$\Delta l = N\lambda$$