

# **Kompletní magnetická optická sada s magnetickou tabulí bez pětipaprskového diodového laseru**

**Stanislav Holec**

**Objednací číslo 107.5202**

## Obsah

Str.	Číslo exp.	Názov experimentu	SADA
1		<i>Úvod</i>	
2		<i>Zoznam prvkov</i>	
3	E1	<i>Odraz jedného lúča na rovinnom zrkadle</i>	GON/GON+
3	E2	<i>Odraz jedného lúča na dvoch rovinných zrkadlách</i>	GON+
3	E3a	<i>Odraz lúčov na dutom zrkadle – lúče rovnobežné s optickou osou</i>	GON
4	E3b	<i>Odraz lúčov na dutom zrkadle – lúče nerovnobežné s optickou osou zrkadla</i>	GON
4	E4a	<i>Odraz lúčov na vypuklom zrkadle – lúče rovnobežné s optickou osou zrkadla</i>	GON
4	E4b	<i>Odraz lúčov na vypuklom zrkadle – lúče nerovnobežné s optickou osou zrkadla</i>	GON
5	E5a	<i>Lom svetla na rovinnom rozhraní opticky redšieho a opticky hustejšieho prostredia</i>	GON
5	E5b	<i>Zdanlivá hĺbka objektov</i>	GON+
5	E6a	<i>Lom svetla na rovinnom rozhraní opticky redšieho a opticky hustejšieho prostredia</i>	GON
6	E6b	<i>Lom svetla na hrane skleneného hranola</i>	GON/GON+
6	E6c	<i>Medzný uhol, úplný odraz</i>	GON
6	E6d	<i>Úplný odraz – šírenie svetla v optickom vlákne</i>	GON
7	E7	<i>Prechod lúčov sklenenou planparalelnou platničkou</i>	GON/GON+
7	E8	<i>Prechod lúčov vzduchovou planparalelnou vrstvou</i>	GON+
7	E9a	<i>Prechod lúčov trojbokým hranolom</i>	GON/GON+
8	E9b	<i>Minimálny deviačný uhol optického hranola</i>	GON/GON+
8	E10a	<i>Prechod lúčov trojbokým hranolom zo vzduchu</i>	GON+
8	E10b	<i>Minimálna deviacia vzduchového hranola</i>	GON+
9	E11a	<i>Odraz lúčov na jednej hrane skleneného hranola</i>	GON+
9	E11b	<i>Odraz lúčov na dvoch hranách skleneného hranola</i>	GON+
9	E11c	<i>Sústava odrazných hranolov</i>	GON+
10	E11d	<i>Sústava odrazných hranolov</i>	GON+
10	E11e	<i>Sústava odrazných hranolov</i>	GON+
10	E12	<i>Odraz lúčov na vzduchovom hranole</i>	GON+
11	E13a	<i>Prechod jedného lúča guľovým vypuklým rozhraním z opticky redšieho do opticky hustejšieho prostredia</i>	GON+
11	E13b	<i>Prechod zväzku lúčov guľovým vypuklým rozhraním z opticky redšieho do opticky hustejšieho prostredia</i>	GON+

11	E14a	<i>Prechod jedného lúča dutým guľovým rozhraním z opticky redšieho do opticky hustejšieho prostredia</i>	GON+
12	E14b	<i>Prechod zväzku rovnobežných lúčov dutým guľovým rozhraním z opticky redšieho do opticky hustejšieho prostredia</i>	GON+
12	E15a	<i>Prechod jedného lúča guľovým vypuklým rozhraním z opticky hustejšieho do opticky redšieho prostredia</i>	GON+
12	E15b	<i>Prechod zväzku rovnobežných lúčov guľovým vypuklým rozhraním z opticky hustejšieho do opticky redšieho prostredia</i>	GON+
13	E16a	<i>Prechod jedného lúča guľovým dutým rozhraním z opticky hustejšieho do opticky redšieho prostredia</i>	GON+
13	E16b	<i>Prechod zväzku rovnobežných lúčov guľovým dutým rozhraním z opticky hustejšieho do opticky redšieho prostredia</i>	GON+
13	E17a	<i>Prechod lúčov dvojjvypuklou šošovkou, opticky hustejšou ako okolité prostredie – lúče rovnobežné s optickou osou</i>	GON/GON+
14	E17b	<i>Prechod zväzku rovnobežných lúčov dvojjvypuklou šošovkou z opticky hustejšieho prostredia ako okolité prostredie – zväzok nie je rovnobežný s optickou osou šošovky</i>	GON/GON+
14	E17c	<i>Prechod zväzku rovnobežných lúčov veľmi hrubou sklenenou dvojjvypuklou šošovkou</i>	GON+
14	E18a	<i>Prechod lúčov dvojdutou šošovkou, opticky hustejšou ako okolité prostredie – lúče rovnobežné s optickou osou</i>	GON/GON+
15	E18b	<i>Prechod lúčov dvojdutou šošovkou, opticky hustejšou ako okolité prostredie – zväzok nerovnobežný s optickou osou</i>	GON/GON+
15	E19a	<i>Prechod lúčov dvojjvypuklou šošovkou opticky redšou ako okolité prostredie – zväzok lúčov rovnobežný s optickou osou</i>	GON+
15	E19b	<i>Prechod lúčov dvojjvypuklou šošovkou opticky redšou ako okolité prostredie – zväzok lúčov nerovnobežný s optickou osou</i>	GON+
16	E20a	<i>Prechod lúčov dvojdutou šošovkou, opticky redšou ako okolité prostredie – zväzok rovnobežný s optickou osou</i>	GON+
16	E20b	<i>Prechod lúčov dvojdutou šošovkou, opticky redšou ako okolité prostredie – zväzok nerovnobežný s optickou osou</i>	GON+
16	E21a	<i>Základné parametre hrubých šošoviek – určenie polomerov krivosti lámavých a odrazových plôch</i>	GON/GON+
17	E21b	<i>Základné parametre hrubých šošoviek – určenie ohniskovej vzdialenosti šošovky</i>	GON/GON+
17	E22a	<i>Model zdravého oka</i>	GON
17	E22b	<i>Model krátkozrakého oka</i>	GON
18	E22c	<i>Model ďalekozrakého oka</i>	GON
18	E23a	<i>Korekcia otvorovej chyby zúžením priemeru zväzku</i>	GON/GON+
18	E23b	<i>Korekcia otvorovej chyby kombináciou šošoviek</i>	GON
19	E24a	<i>Keplerov ďalekohľad</i>	GON
19	E24b	<i>Galileiho ďalekohľad</i>	GON
19	E25	<i>Fotoaparát</i>	GON

GEOMETRICKÁ OPTIKA NÁZORNE .....GON  
GEOMETRICKÁ OPTIKA NÁZORNE PLUS.....GON+

V stĺpci „SADA“ je uvedené, ktorá sada zodpovedá danému experimentu (GON, GON+, alebo obe).

## Úvod

Súprava učebných pomôcok GON umožňuje veľmi názorne demonštrovať základné princípy javov geometrickej optiky a optických prístrojov. Pomocou diódového lasera, ako svetelného zdroja, môžu študenti ľahšie porozumieť, ako fungujú jednoduché i zložitejšie optické zariadenia. V tomto manuáli sa nachádza množstvo základných experimentov, ktoré sa dajú pomocou sady GON a GON+ realizovať. GON+ predstavuje rozšírenie sady GON o ďalšie optické prvky, ako vzduchové šošovky, vzduchové hranoly a iné. Každý experiment v tejto príručke pozostáva z troch častí:

1. Krátky slovný popis experimentu
2. Optická schéma
3. Obrázok rozloženia prvkov pri realizácii

V zátvorkách pod názvom experimentu sa môžete ešte pred začiatkom dočítať, či je experiment možné uskutočniť s prvkami sady GON, GON+, alebo s oboma. Ku niektorým experimentom je potrebné použiť súpravu GON, k iným dopĺňujúcu súpravu GON+.

Veľmi dôležitá súčasť experimentálnej zostavy je LASER RAY BOX, ktorý pozostáva z piatich laserových polovodičových diód, alebo tiež podobný LASER LINE BOX pozostávajúci len z jednej diódy. LASER RAY BOX je modelom zväzku rovnobežných lúčov. Pri práci s laserovým zdrojom svetla buďte opatrní. Nedovoľte, aby došlo k priamemu zásahu oka laserovým svetlom!

Ak vlastníte základnú sadu GON a máte záujem o ďalšie experimenty so sadou GON+, kontaktujte nás.

## Zoznam prvkov

### ***GON, základná sada***

- 1 dvojvypuklá šošovka č. 1
- 2 dvojvypuklá šošovka č. 2
- 3 dvojvypuklá šošovka č. 3
- 4 dvojvypuklá šošovka č. 4
- 5 dvojdutá šošovka č. 5
- 6 malá ploskovypuklá šošovka
- 7 veľká ploskovypuklá šošovka
- 8 malá ploskodutá šošovka
- 9 duté zrkadlo
- 10 vypuklé zrkadlo
- 11 rovinné zrkadlo
- 12 obdĺžniková planparalelná platnička
- 13 hranol
- 14 model optického vlákna

### ***Pracovné listy***

- A Ľudské oko
- B Fotoaparát
- C Galileiho ďalekohľad
- D Keplerov ďalekohľad
- E Korekcia otvorovej chyby šošoviek
- F Hartlov kruh

### ***GON+, dopĺňujúca sada***

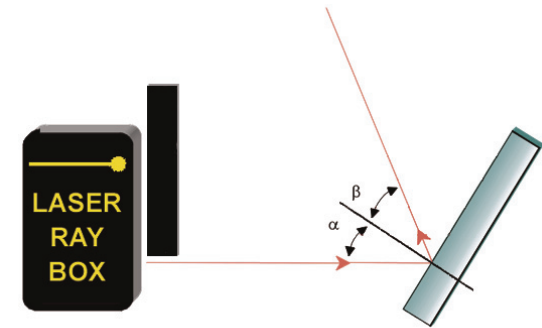
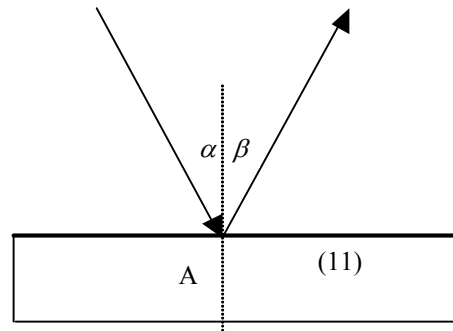
- 21 dvojvypuklá vzduchová šošovka, 2 ks
- 22 dvojvypuklá sklenená šošovka
- 23 dvojdutá vzduchová šošovka, 2 ks
- 24 dvojdutá sklenená šošovka
- 25 vzduchový hranol (rovnostranný trojuholník)
- 26 sklenený hranol (rovnostranný trojuholník)
- 27 sklenený hranol (pravouhlý trojuholník), 2 ks
- 28 štvorcová planparalelná platnička
- 29 obdĺžniková planparalelná platnička, 2 ks
- 11 rovinné zrkadlo, 2 ks

**E1 Odraz jedného lúča na rovinnom zrkadle**  
(GON/GON+)

Experimentom sa demonštruje zákon odrazu svetla. Pri dopade svetelného lúča na rovinné zrkadlo pod uhlom  $\alpha$  sa pod rovnakým uhlom  $\beta$  lúč odráža, t.j.

$$\alpha = \beta$$

Obidva uhly sú merané od kolmice dopadu.

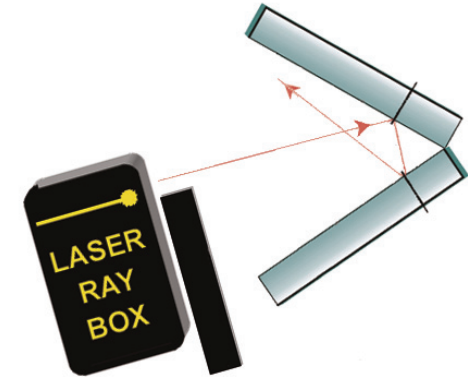
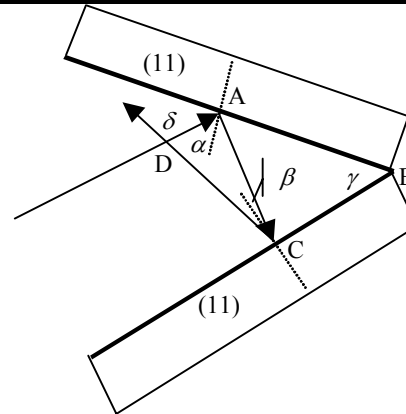


**E2 Odraz jedného lúča na dvoch rovinných zrkadlách**  
(GON+)

Experimentom sa demonštruje platnosť zaujímavého vzťahu

$$\delta = 2\gamma$$

platného medzi uhlom  $\delta$ , ktorý zvierajú dopadajúci s odrazeným lúčom a medzi uhlom  $\gamma$ , ktorý zvierajú obidve zrkadlá.

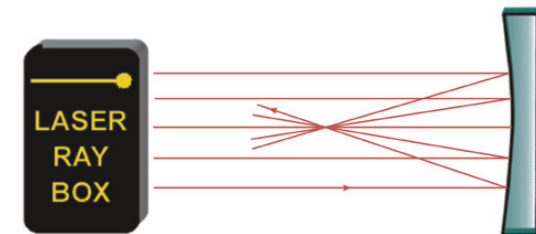
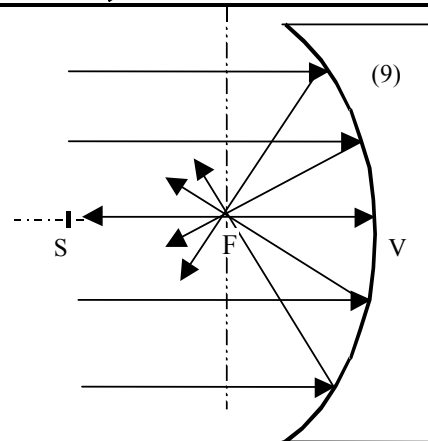


**E3a Odraz lúčov na dutom zrkadle – lúče rovnobežné s optickou osou**  
(GON)

Veľkosť úsečky VF určuje ohniskovú vzdialenosť zrkadla  $f$ . Polomer krivosti  $r$  dutého zrkadla určíme s využitím vzťahu

$$f = \frac{r}{2}$$

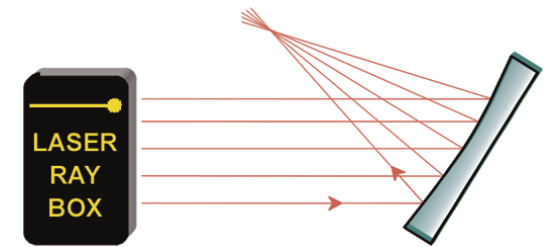
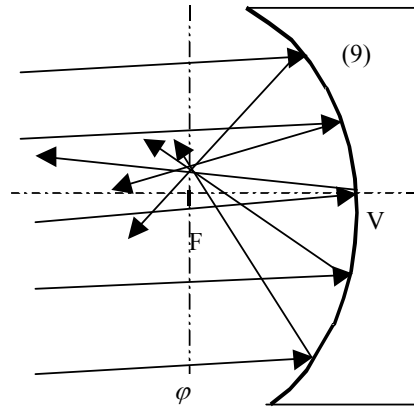
Stred krivosti  $S$  dutého zrkadla leží v dvojnásobnej vzdialenosti od vrcholu  $V$  zrkadla než ohnisko  $F$ .



**E3b Odrážanie lúčov na dutom zrkadle – lúče nerovnoběžné s optickou osou zrkadla**

(GON)

Rovina, kolmá na optickú os a prechádzajúca ohniskom, sa nazýva **ohnisková rovina**  $\varphi$  dutého zrkadla. Navzájom rovnoběžné lúče sa po odraze na dutom zrkadle pretínajú v jednom bode ohniskovej roviny. Tento bod leží na optickej osi v prípade lúčov rovnoběžných s optickou osou, resp. nad alebo pod osou v prípade lúčov, zvierajúcich s optickou osou nenulové uhly.



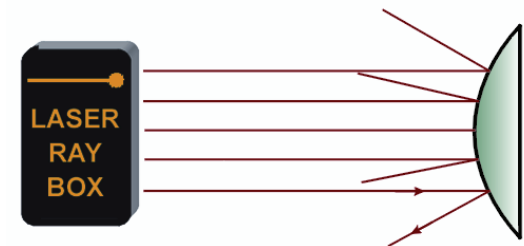
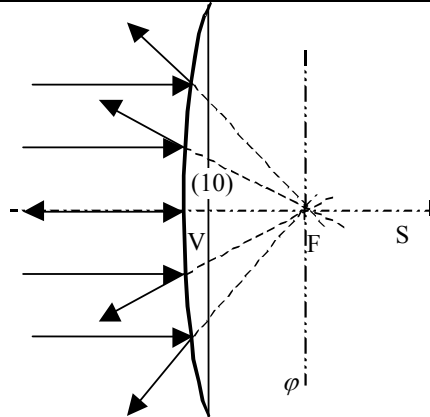
**E4a Odrážanie lúčov na vypuklom zrkadle – lúče rovnoběžné s optickou osou zrkadla**

(GON)

Lúče, rovnoběžné s optickou osou, sa po odraze na vypuklom zrkadle odrážajú tak, akoby vychádzali z bodu, ležiaceho na optickej osi vpravo za zrkadlom. Tento bod sa nazýva **obrazové ohnisko** F. Veľkosť úsečky VF určuje ohniskovú vzdialenosť zrkadla  $f$ . Polomer krivosti  $r$  vypuklého zrkadla určíme s využitím vzťahu

$$f = \frac{r}{2}$$

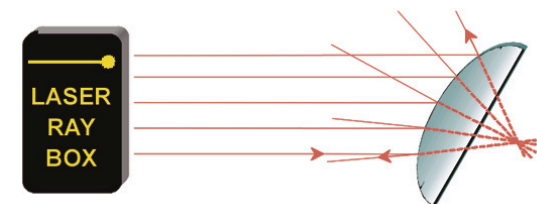
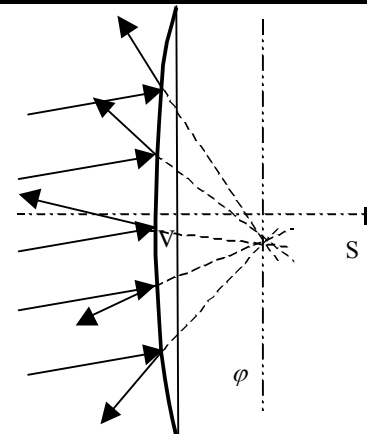
Stred krivosti S vypuklého zrkadla leží v dvojnásobnej vzdialenosti od vrcholu zrkadla než ohnisko.



**E4b Odrážanie lúčov na vypuklom zrkadle – lúče nerovnoběžné s optickou osou zrkadla**

(GON)

Rovina, kolmá na optickú os a prechádzajúca ohniskom, sa nazýva **ohnisková rovina**  $\varphi$  vypuklého zrkadla. Navzájom rovnoběžné lúče sa na zrkadle odrážajú tak, že sú rozptyľované, akoby vychádzali z jedného bodu ohniskovej roviny. Tento bod leží na optickej osi v prípade lúčov rovnoběžných s optickou osou, resp. leží nad alebo pod osou v prípade lúčov zvierajúcich s optickou osou nenulové uhly.



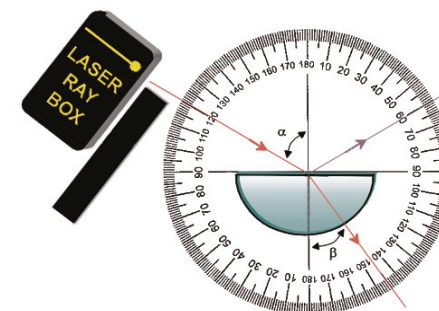
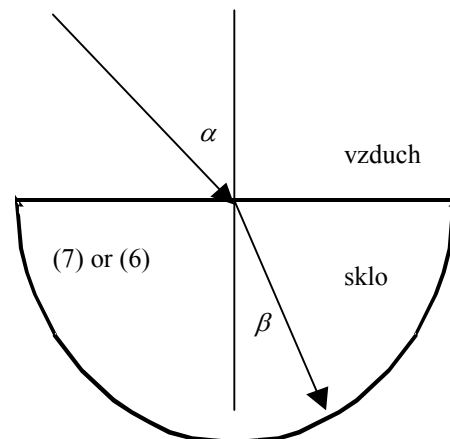
**E5a Lom svetla na rovinnom rozhraní opticky redšieho a opticky hustejšieho prostredia**

(GON)

Svetlo pri prechode rozhraním dvoch opticky rôznych prostredí lomom mení svoj smer podľa Snellovho zákona

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

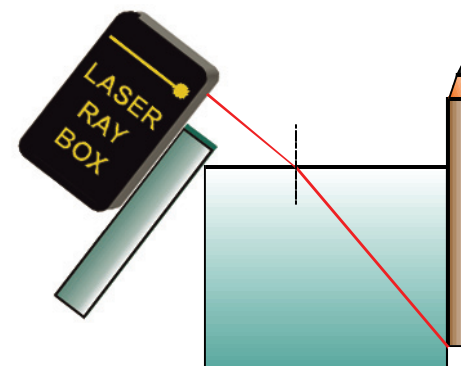
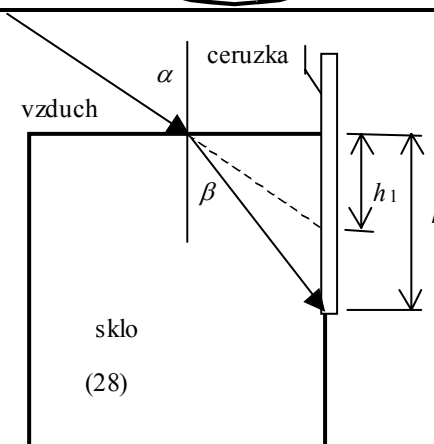
v ktorom uhol dopadu  $\alpha$  meriame v prvom prostredí s absolútnym indexom lomu  $n_1$  a uhol lomu  $\beta$  v druhom prostredí, skle, s absolútnym indexom lomu  $n_2$ .



**E5b Zdanlivá hĺbka objektov**

(GON+)

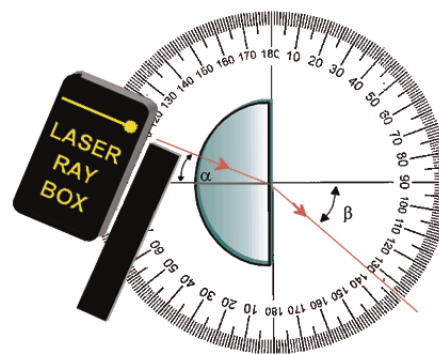
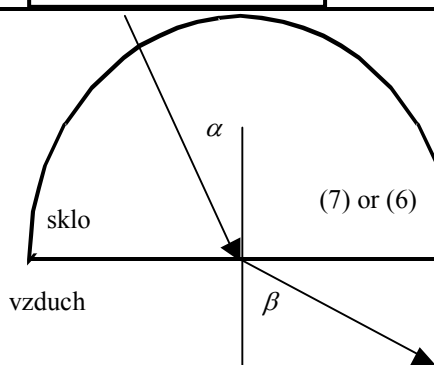
Model pozorovania hĺbky predmetov, nachádzajúcich sa v opticky hustejšom prostredí (skle, vode), pozorovateľom z opticky redšieho prostredia (vzduchu).



**E6a Lom svetla na rovinnom rozhraní opticky redšieho a opticky hustejšieho prostredia**

(GON)

Lúč po dopade pod uhlom  $\alpha$  na rozhranie skla a vzduchu sa láme v bode A do vzduchu pod uhlom  $\beta$ . Uhol lomu  $\beta$  je väčší ako uhol dopadu. Lomený lúč sa láme od kolmice dopadu.

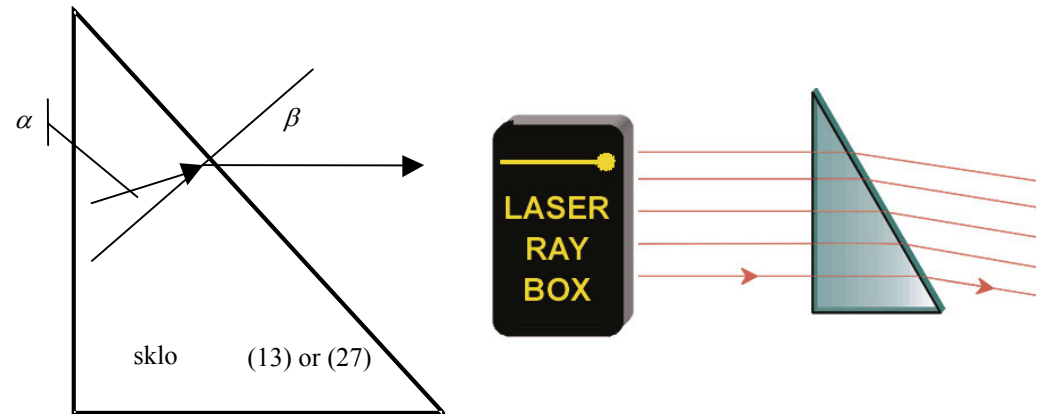




**E6b Lom svetla na hrane skleneného hranola**  
(GON/GON+)

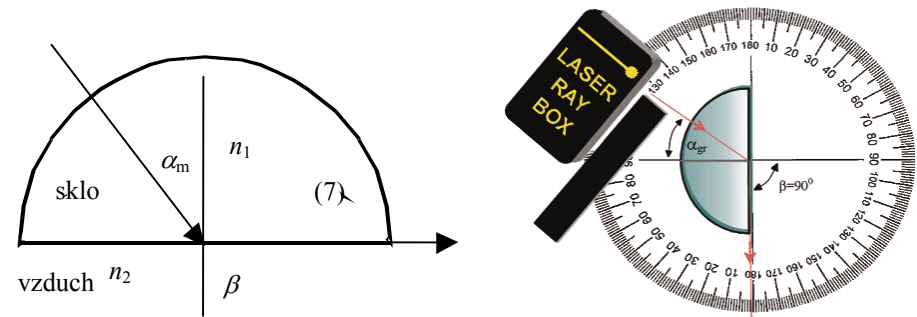
Snellov zákon pre lom svetla na rozhraní skla a vzduchu má pre index lomu skla  $n_1$  a index lomu vzduchu  $n_2 = 1$  tvar

$$n_1 \sin \alpha = \sin \beta$$



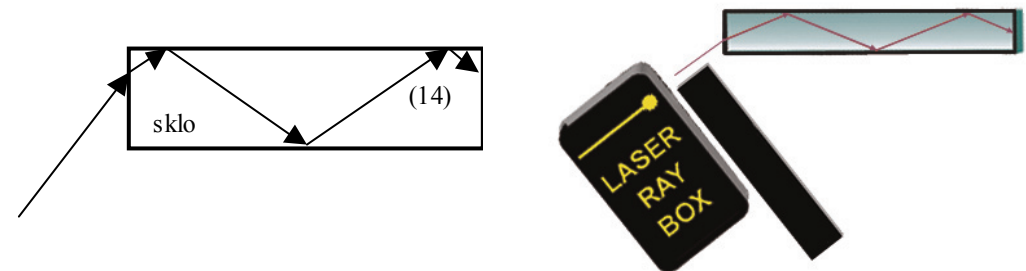
**E6c Medzný uhol, úplný odraz**  
(GON)

Ak zväčšujeme uhol dopadu  $\alpha$ , uhol lomu  $\beta$  sa postupne zväčšuje až po hodnotu  $90^\circ$ , t.j. lúč sa láme **v smere rozhrania**. V tomto prípade nazývame uhol dopadu  $\alpha_m$  **medzným uhlom**. Pre uhly dopadu väčšie ako medzný uhol sa lúč, dopadajúci na rozhranie skla a vzduchu neláme do vzduchu, ale sa odráža späť do skla. V tomto prípade má rozhranie vlastnosti rovinného zrkadla, nastáva **úplný odraz**.



**E6d Úplný odraz – šírenie svetla v optickom vlákne**  
(GON)

Úplný odraz nastane na stenách optického vlákna iba vtedy, ak svetlo vstupuje do vlákna pod určitým uhlom, ktorý nesmie presiahnuť hraničnú hodnotu. K tomu sa používa pre optické vlákna charakteristika **numerická apertúra**, ktorá je číselne rovná sinusu maximálneho uhla dopadu na vstupnú plochu optického vlákna, pri ktorom ešte dochádza k úplnému odrazu lúčov počas ich šírenia. Tento parameter určuje aj to, ako môže byť vlákno maximálne zakrivené, aby sa pri vedení signálu realizovali úplné odrazy a nedochádzalo tak k vysokým stratám v intenzite signálu.

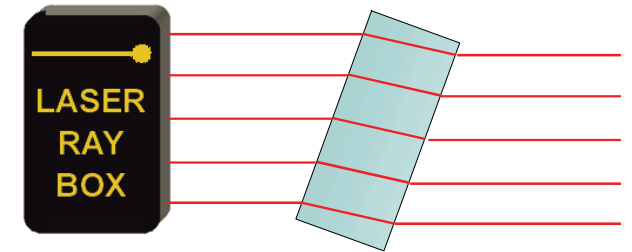
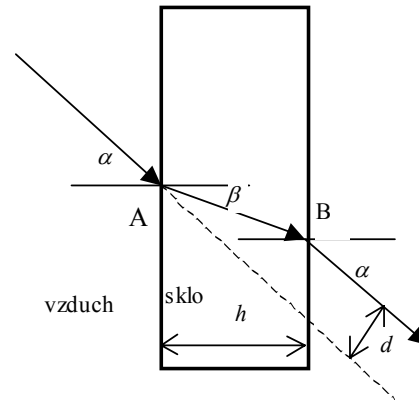


**E7 Prechod lúčov sklenenou planparalelnou platničkou**  
(GON/GON+)

Prechodom lúča planparalelnou sklenenou vrstvou **nedochádza k zmene jeho smeru**, ale len k **rovnobežnému posunutiu**  $d$  lúča vystupujúceho z vrstvy vzhľadom k vstupujúcemu do vrstvy, ktorej hrúbka je  $h$ .

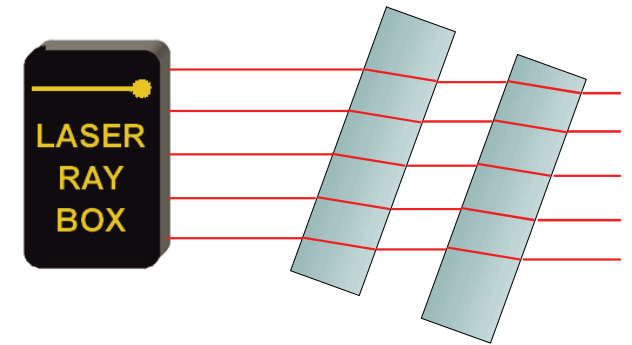
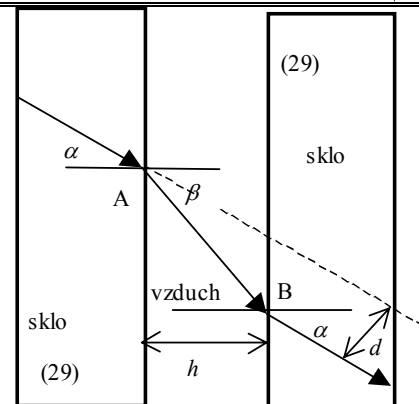
Veľkosť posunutia  $d$  vyjadrujeme vzťahom

$$d = h \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta}$$



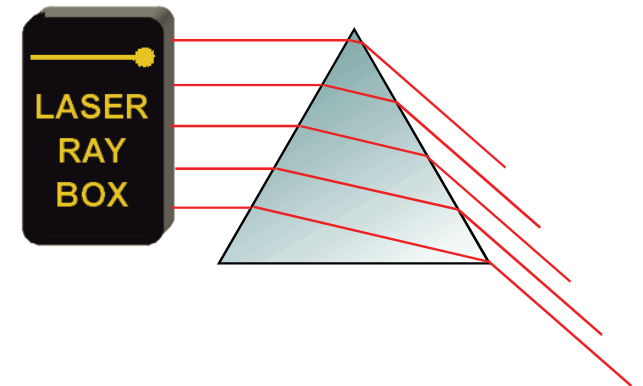
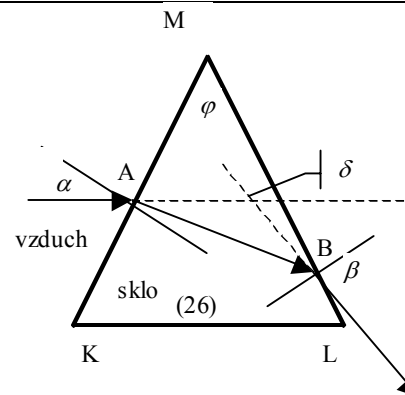
**E8 Prechod lúčov vzduchovou planparalelnou vrstvou**  
(GON+)

Prechodom lúča planparalelnou vzduchovou vrstvou môžeme pozorovať posun medzi dopadajúcim a vystupujúcim lúčom. Tento posun má opačný smer ako tomu bolo v prípade sklenenej planparalelnej platničky.



**E9a Prechod lúčov trojbokým hranolom**  
(GON/GON+)

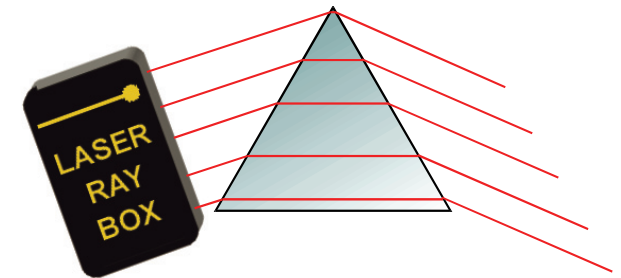
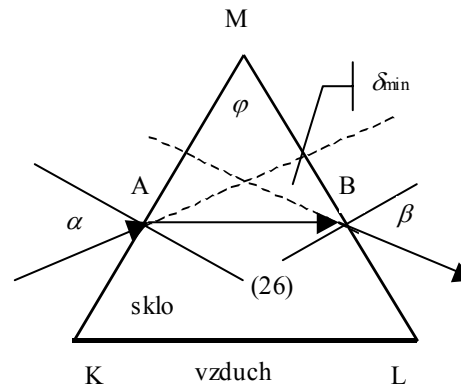
V prípade hranola zo skla nastáva na prvej lámavej ploche v bode A lom svetla ku kolnici. Na druhej lámavej ploche v bode B sa lúč láme od kolnice. Súčet uhlov, o ktoré sa odchyľuje lúč pri lome v bodoch A i B od smeru pôvodných lúčov, je rovný deviácii  $\delta$  od pôvodného smeru, určeného dopadajúcim lúčom na hranol.



**E9b Minimálny devičný uhol optického hranola**  
(GON/GON+)

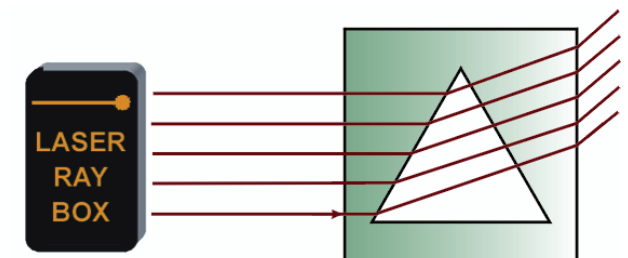
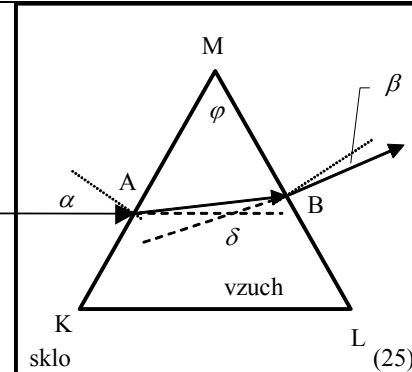
V prípade minimálnej deviácie  $\delta_{\min}$  vidíme, že lúč dopadá na hranol v bode A a vychádza z neho v bode B pod rovnakým uhlom. Lúč v tomto prípade prechádza hranolom medzi bodmi A a B tak, že je rovnobežný s tou stenou hranola, ktorú nepretína. Pre index lomu skla hranola platí vzťah

$$n = \frac{\sin \frac{\delta_{\min} + \varphi}{2}}{\sin \frac{\varphi}{2}}$$



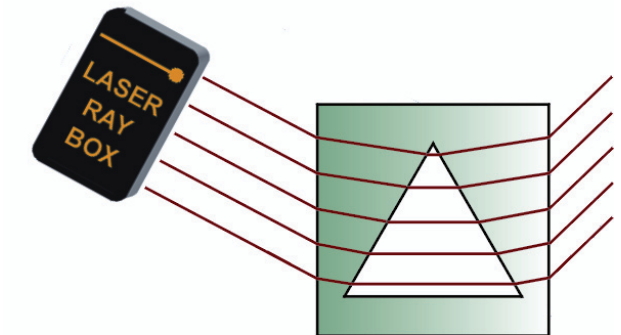
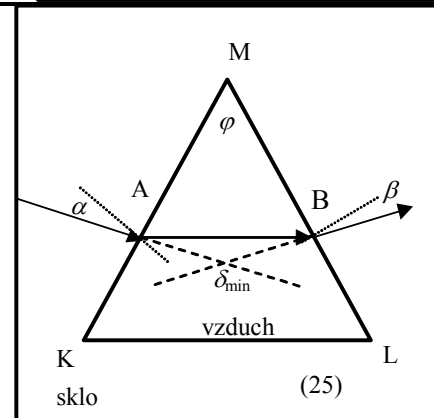
**E10a Prechod lúčov trojbokým hranolom zo vzduchu**  
(GON+)

V prípade hranola zo vzduchu a okolitého prostredia zo skla nastáva na prvom rozhraní – na prvej lámavej ploche v bode A – lom svetla od kolmice. Na druhej lámavej ploche v bode B sa lúč láme ku kolmici. Súčet uhlov, o ktoré sa odchyľuje lúč pri lomoch v bodoch A i B od smeru pôvodných lúčov, je rovný deviácii  $\delta$  od pôvodného smeru, ktorý je určený dopadajúcim lúčom na hranol.



**E10b Minimálna deviácia vzduchového hranola**  
(GON+)

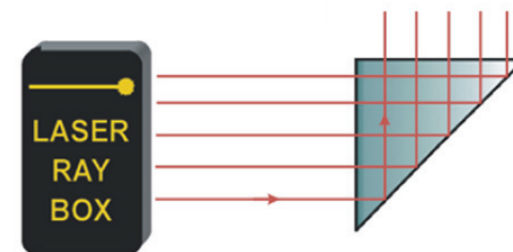
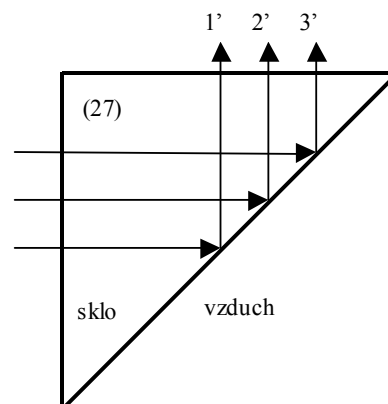
V prípade prechodu lúča hranolom za dosiahnutia minimálnej deviácie vidíme, že lúč dopadá na hranol v bode A a vychádza z neho v bode B pod rovnakým uhlom. Lúč v tomto prípade prechádza hranolom medzi bodmi A a B tak, že je rovnobežný so spodnou stenou hranola, t.j. tou, ktorú nepretína. Lúč sa vychyluje na **opačnú stranu**, než pri tradičnom experimente s hranolom zo skla.



### E11a Odraz lúčov na jednej hrane skleneného hranola

(GON+)

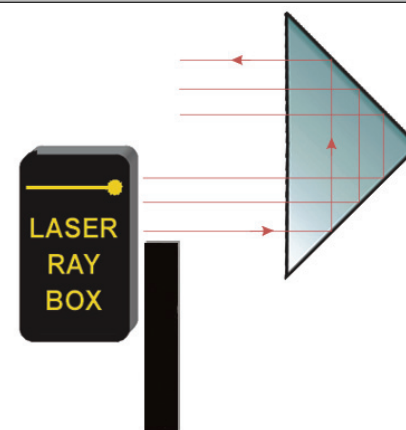
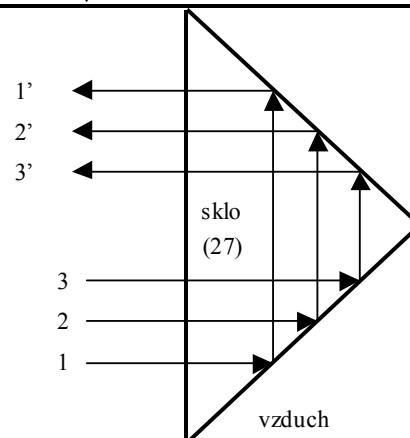
Po dopade lúčov nastáva ich **úplný odraz** podľa zákona odrazu. Pootočením hranola doľava okolo priesečníka zvislej odvesny a prepony pozorujeme, že od určitého uhla dopadu nastáva lom aj odraz lúčov, dopadajúcich na túto hranu hranola.



### E11b Odraz lúčov na dvoch hranách skleneného hranola

(GON+)

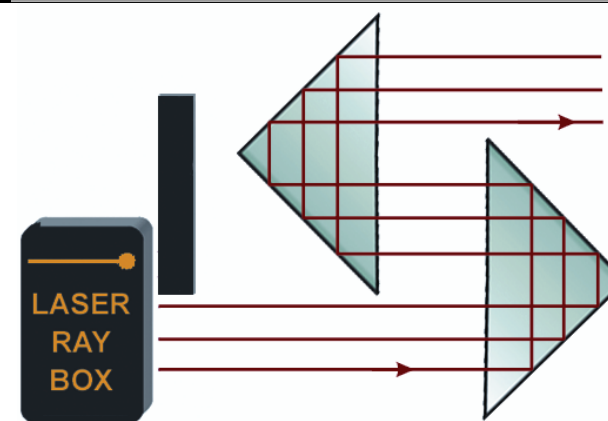
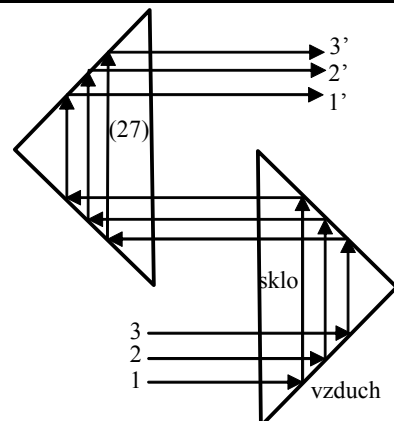
Na oboch odvesných pravouhlého hranola dochádza k úplnému odrazu zväzku lúčov. Prekrytím lúča č. 1 prstom možno napr. ukázať, že obraz je po prechode hranolom otočený o 180 °.



### E11c Sústava odrazných hranolov

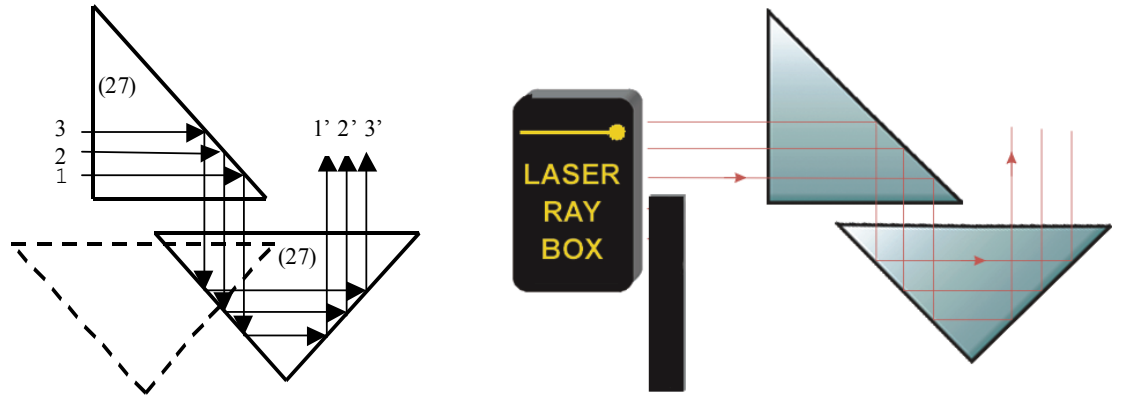
(GON+)

Modely sústav odrazných hranolov. Na všetkých hranách po dopade lúčov dochádza k ich úplnému odrazu.



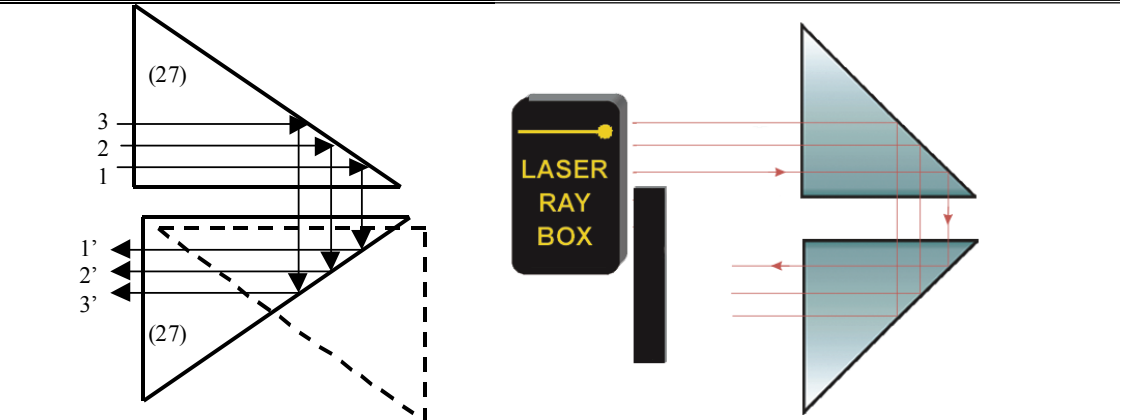
**E11d** *Sústava odrazných hranolov*  
(GON+)

Modely sústav odrazných hranolov. Na všetkých hranách po dopade lúčov dochádza k ich úplnému odrazu.



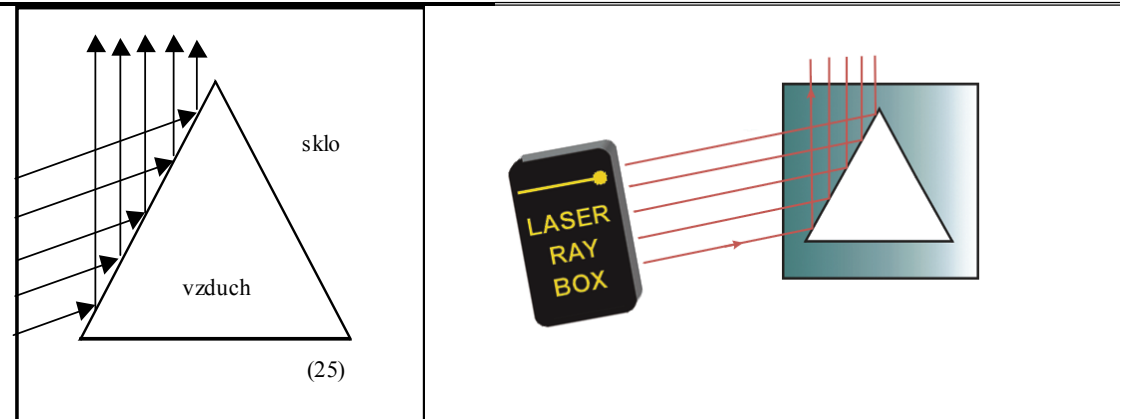
**E11e** *Sústava odrazných hranolov*  
(GON+)

Modely sústav odrazných hranolov. Na všetkých hranách po dopade lúčov dochádza k ich úplnému odrazu.



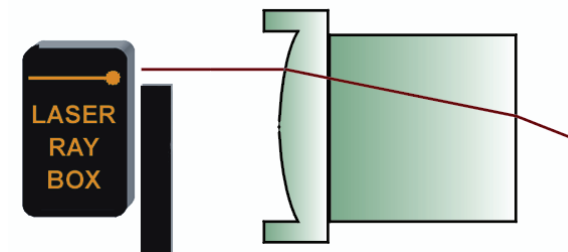
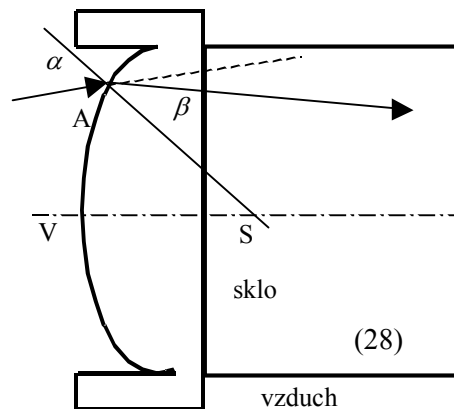
**E12** *Odras lúčov na vzduchovom hranole*  
(GON+)

Keď je uhol dopadu na lámavú hranu v prípade použitia hranola (25) zo vzduchu menší, ako medzný uhol ( $42^\circ$ ), na lámavej hrane vzduchového trojuholníka nastáva lom do priestoru hranola. Ak zväčšíme uhol dopadu tak, že úplný odraz nenastáva, lúče sa lámu do vnútra hranola zo vzduchu.



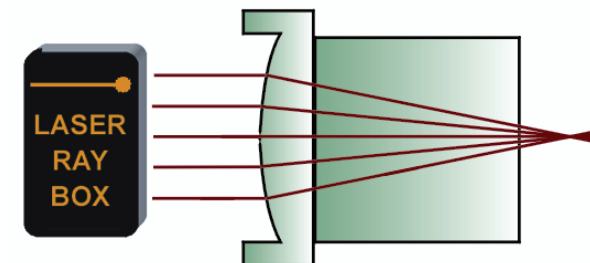
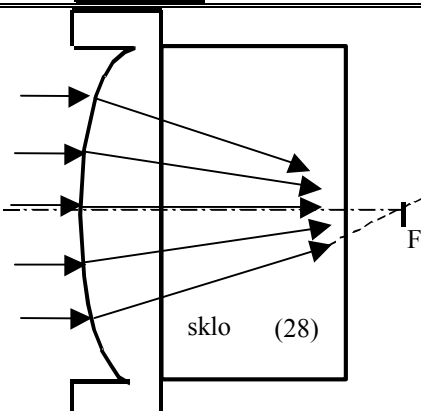
**E13a** *Prechod jedného lúča guľovým vypuklým rozhraním z opticky redšieho do opticky hustejšieho prostredia*  
(GON+)

Pri dopade lúča do bodu A pozorujeme jeho lom ku kolmici dopadu. Kolmicu dopadu môžeme nájsť ako spojnicu stredu krivosti S lámavej plochy a bodu dopadu lúča a zakresliť ju na tabuľu.



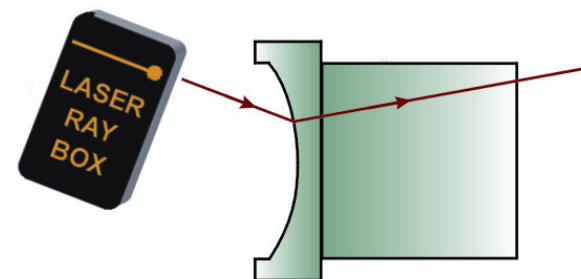
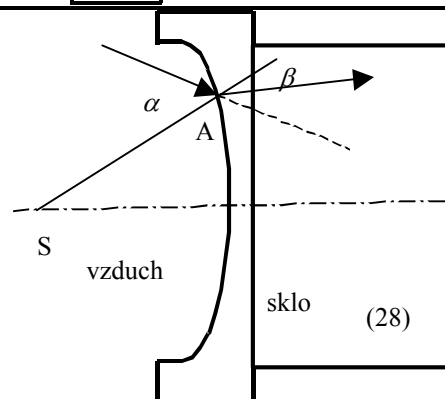
**E13b** *Prechod zväzku lúčov guľovým vypuklým rozhraním z opticky redšieho do opticky hustejšieho prostredia*  
(GON+)

Ak použijeme rozhranie s dostatočne malým polomerom krivosti a rozmer skleného prostredia v smere optickej osi, do ktorého sa lúče lámu, je dostatočne veľký, získame na optickej osi bod, v ktorom sa po lome všetky lúče pretínajú. Je to obrazové ohnisko  $F'$ .



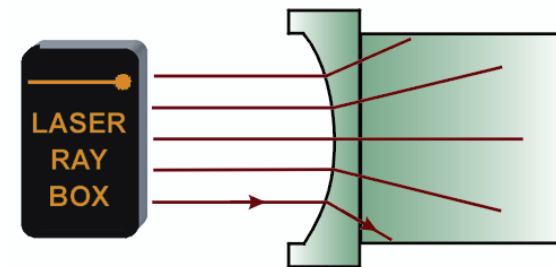
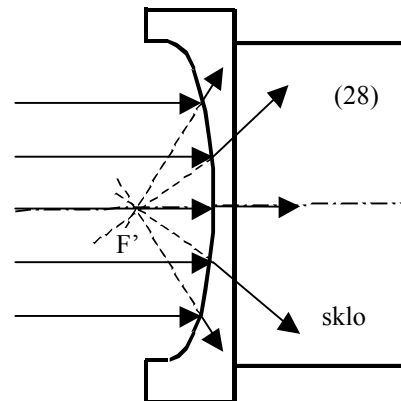
**E14a** *Prechod jedného lúča dutým guľovým rozhraním z opticky redšieho do opticky hustejšieho prostredia*  
(GON+)

Pri dopade lúča do bodu A pozorujeme jeho lom ku kolmici dopadu. Kolmicu dopadu nájdeme ako spojnicu stredu krivosti S lámavej plochy a bodu dopadu lúča a zakreslíme ju na tabuľu.



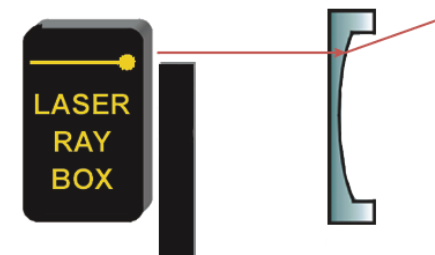
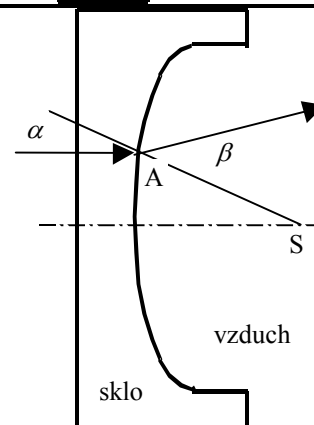
**E14b** *Prechod zväzku rovnobežných lúčov dutým guľovým rozhraním z opticky redšieho do opticky hustejšieho prostredia*  
(GON+)

Vidíme, že zväzok rovnobežných lúčov je po lome na dutej sklenenej ploche rozbiehavý. Predĺžením lomených lúčov na opačnú stranu, na stranu predmetovú (z ktorej dopadajú lúče na rozhranie), získame na optickej osi bod. Týmto bodom akoby zdanlivo prechádzali lúče lomené do prostredia zo skla – je to **obrazové ohnisko**  $F'$ .



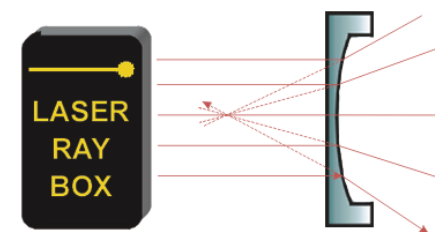
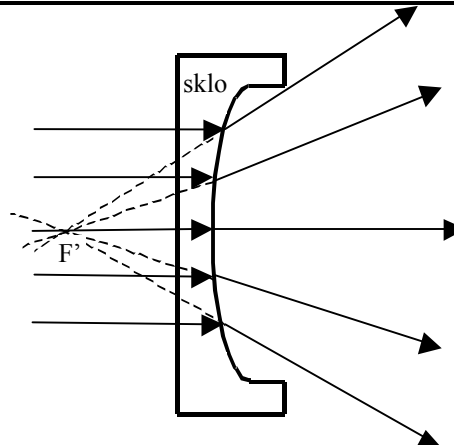
**E15a** *Prechod jedného lúča guľovým vypuklým rozhraním z opticky hustejšieho do opticky redšieho prostredia*  
(GON+)

Pri dopade lúča do bodu A pozorujeme jeho **lom od kolmice** dopadu. Kolmicu dopadu môžeme nájsť ako spojnicu stredu krivosti S lámavej plochy a bodu dopadu A lúča na lámavej ploche a zakresliť ju na tabuľu.



**E15b** *Prechod zväzku rovnobežných lúčov guľovým vypuklým rozhraním z opticky hustejšieho do opticky redšieho prostredia*  
(GON+)

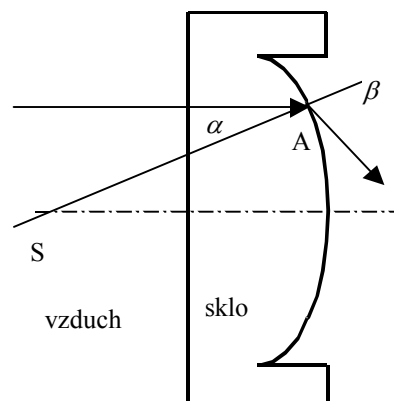
Zväzok rovnobežných lúčov je po lome na vypuklom rozhraní sklo-vzduch rozbiehavý. Predĺžením lomených lúčov na opačnú stranu, na stranu predmetovú (z ktorej dopadajú lúče na rozhranie), získame na optickej osi bod. Týmto bodom akoby zdanlivo prechádzali lúče lomené do prostredia zo skla – je to **obrazové ohnisko**  $F'$ .



**E16a** *Prechod jedného lúča guľovým dutým rozhraním z opticky hustejšieho do opticky redšieho prostredia*

(GON+)

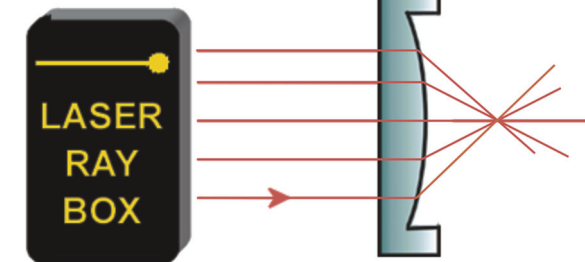
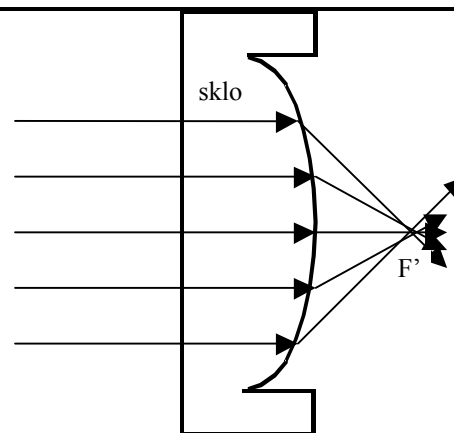
Pri dopade lúča do bodu A pozorujeme jeho **lom od kolmice** dopadu, pretože index lomu skla je väčší než index lomu vzduchu. Kolmicu dopadu nájdeme ako spojnicu stredu krivosti S lámavej plochy a bodu dopadu A lúča.



**E16b** *Prechod zväzku rovnobežných lúčov guľovým dutým rozhraním z opticky hustejšieho do opticky redšieho prostredia*

(GON+)

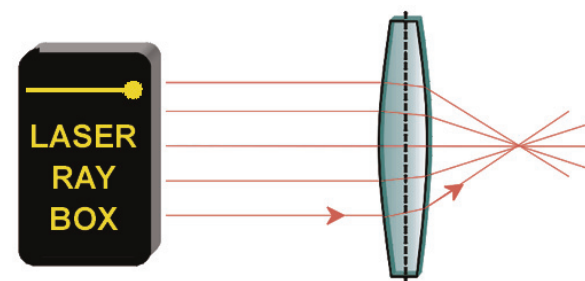
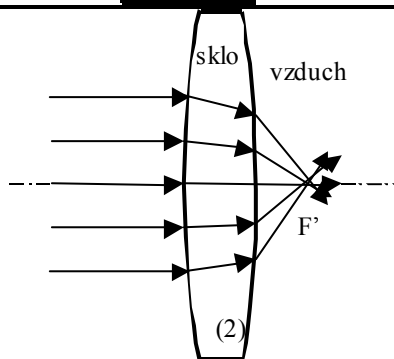
Zväzok rovnobežných lúčov je po lome na dutej vzduchovej vrstve (resp. na vypuklej sklenej vrstve) zbiehavý. Lúče sa pretínajú v jednom bode na optickej osi – v **obrazovom ohnisku F'**.



**E17a** *Prechod lúčov dvojpuklou šošovkou, opticky hustejšou ako okolité prostredie – lúče rovnobežné s optickou osou*

(GON/GON+)

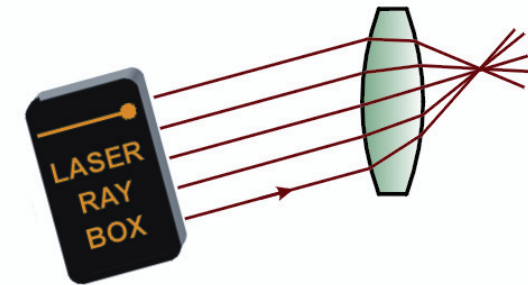
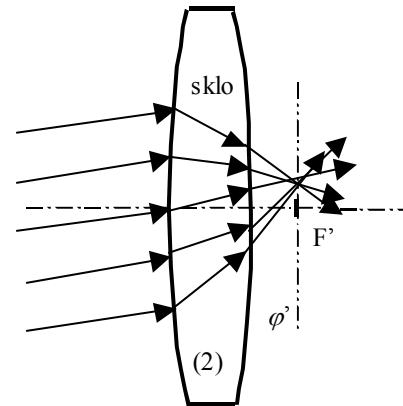
Dvojpuklá šošovka zo skla má vlastnosti **spojnej sústavy** a lúče sa po prechode šošovkou pretínajú na optickej osi v jednom bode - **obrazovom ohnisku F'**.





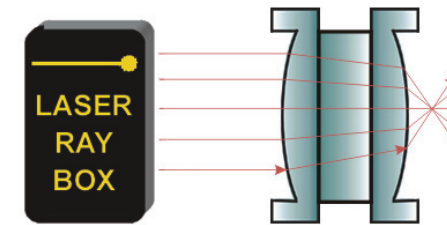
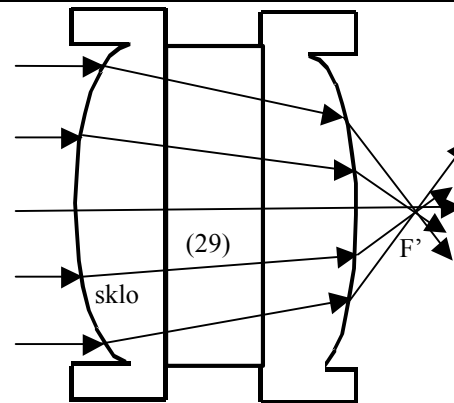
**E17b** *Prechod zväzku rovnobežných lúčov dvojvypuklou šošovkou z opticky hustejšieho prostredia ako okolité prostredie – zväzok nie je rovnobežný s optickou osou šošovky*  
(GON/GON+0)

Obrazovým ohniskom  $F'$  prechádza **obrazová ohnisková rovina** šošovky  $\varphi'$ , ktorá je kolmá na optickú os. Ak dopadá na sklenú šošovku zväzok navzájom rovnobežných lúčov, ktoré ale nie sú rovnobežné s optickou osou, po prechode šošovkou sa tieto lúče pretínajú v jednom bode obrazovej ohniskovej roviny.



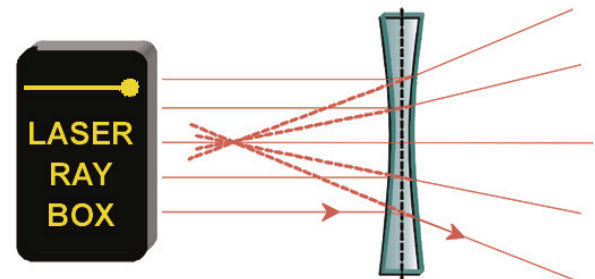
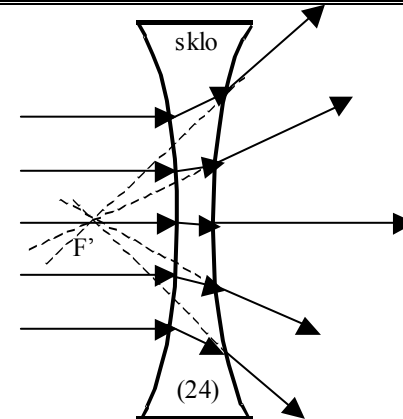
**E17c** *Prechod zväzku rovnobežných lúčov veľmi hrubou sklenou dvojvypuklou šošovkou*  
(GON+)

Vkladáním sklených planoparalelných vrstiev medzi dva prvky (29) vytvárame model hrubej šošovky a zväčšujeme postupne jej hrúbku  $d$  (hrúbka šošovky  $d$  je určená vzdialenosťou vrcholov jej lámavých plôch). Pozorujeme, že s rastúcou hrúbkou šošovky sa zmenšuje jej obrazová ohnisková vzdialenosť. Pri určitej hodnote hrúbky šošovky vidno, že lúče z nej vychádzajúce už nie sú zbiehavé, ale rozbiehavé – po dosiahnutí hraničnej hrúbky sa **mení charakter sústavy zo spojného na rozptylný**.



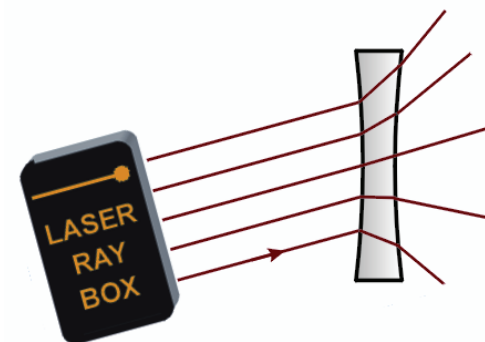
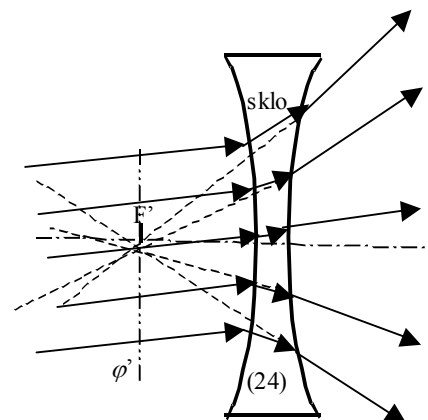
**E18a** *Prechod lúčov dvojdutou šošovkou, opticky hustejšou ako okolité prostredie – lúče rovnobežné s optickou osou*  
(GON/GON+)

Lúče sú po prechode sklenou dvojdutou šošovkou rozbiehavé – nevytvárajú reálny obraz. Získať môžeme iba ich zdanlivý priesečník, ak zakreslíme ich predĺženia do tej polroviny, z ktorej lúče na šošovku dopadajú. Tieto predĺženia lúčov vytvárajú na optickej osi neskutočný obraz (predmetu umiestneného v nevlastnom bode vľavo na optickej osi) – obrazové ohnisko  $F'$ .



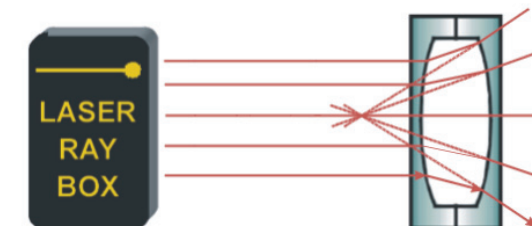
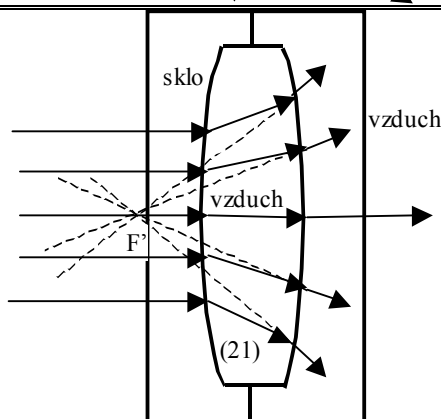
**E18b** *Prechod lúčov dvojdutou šošovkou, opticky hustejšou ako okolité prostredie – zväzok nerovnoběžný s optickou osou*  
(GON/GON+)

Obrazovým ohniskom, kolmo na optickú os, prechádza obrazová ohnisková rovina. V nej sa zdanlivo pretínajú predĺženia lúčov z rovnobežných zväzkov, reálne rozptýlených po dopade na šošovku.



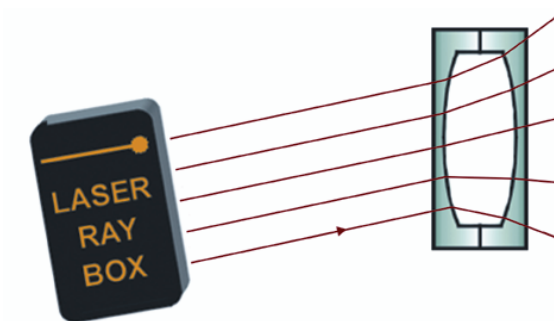
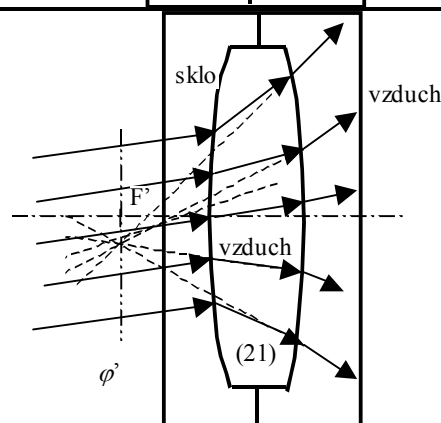
**E19a** *Prechod lúčov dvojevypuklou šošovkou opticky redšou ako okolité prostredie – zväzok lúčov rovnobežný s optickou osou*  
(GON+)

Dvojevypuklá šošovka zo vzduchu má vlastnosti **rozptylnej sústavy**, lúče sú po prechode šošovkou rozbiehavé. Ich predĺženia na opačnú stranu, než je smer ich šírenia, sa pretínajú na optickej osi v jednom bode – v **obrazovom ohnisku**  $F'$ . Na zväčšenie rozmerov priestoru zo skla, v ktorom sa šíria lomené lúče, môžeme použiť sklenenú štvorcovú stenu alebo sklenenú planparalelnú vrstvu.



**E19b** *Prechod lúčov dvojevypuklou šošovkou opticky redšou ako okolité prostredie – zväzok lúčov nerovnoběžný s optickou osou*  
(GON+)

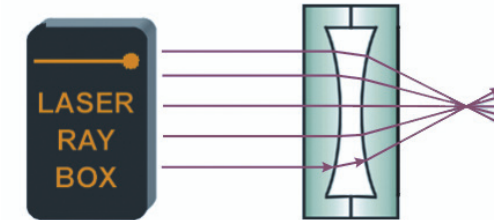
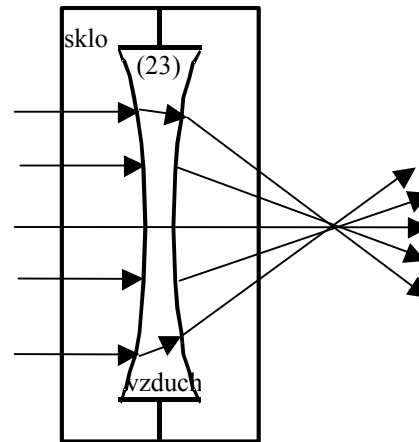
Obrazovým ohniskom  $F'$  prechádza obrazová ohnisková rovina šošovky  $\varphi'$ , ktorá je kolmá na optickú os. Ak necháme dopadať na vzduchovú šošovku (21) zväzok navzájom rovnobežných lúčov, ktoré nie sú rovnobežné s optickou osou, po prechode šošovkou sa predĺženia lúčov zdanlivo pretínajú v jednom bode **ohniskovej roviny**.



**E20a** *Prechod lúčov dvojduťou šošovkou, opticky redšou ako okolité prostredie – zväzok rovnobežný s optickou osou*

(GON+)

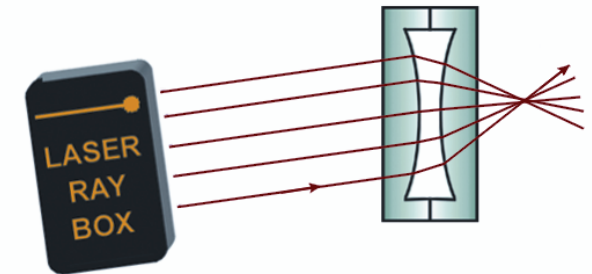
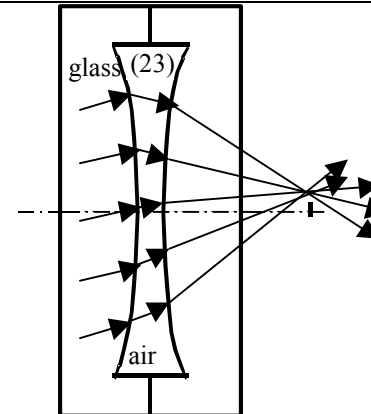
Dvojduťatá šošovka zo vzduchu má vlastnosti **spojnej sústavy** a lúče sa po prechode šošovkou pretínajú na optickú osi v jednom bode, v **obrazovom ohnisku  $F'$** . Kvôli zväčšeniu rozmerov obrazového priestoru zo skla je možné k pravej časti šošovky priložiť sklené planoparalelné vrstvy.



**E20b** *Prechod lúčov dvojduťou šošovkou, opticky redšou ako okolité prostredie – zväzok nerovnobežný s optickou osou*

(GON+)

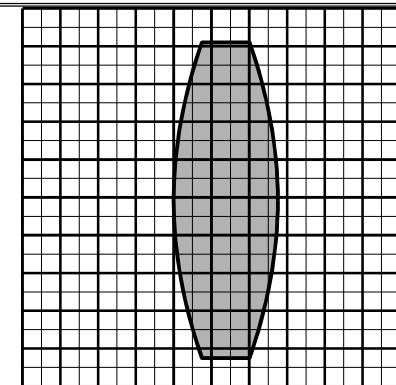
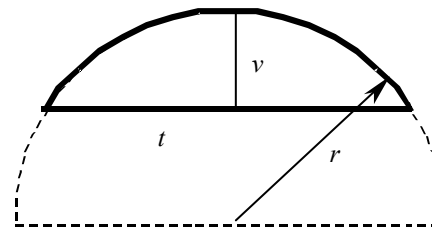
Obrazovým ohniskom  $F'$  prechádza **obrazová ohnisková rovina** šošovky  $\varphi'$ , ktorá je kolmá na optickú os. Ak necháme dopadať na šošovku (23) zväzok navzájom rovnobežných lúčov, ktoré ale nie sú rovnobežné s optickou osou, po prechode šošovkou sa tieto lúče sa pretínajú v jednom bode ohniskovej roviny.



**E21a** *Základné parametre hrubých šošoviek – určenie polomerov krivosti lámavých a odrazných plôch*

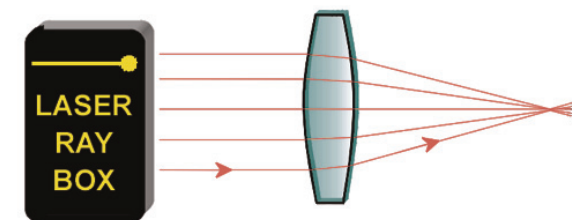
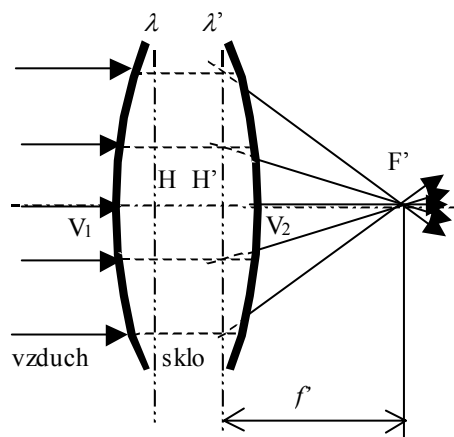
(GON/GON+)

Šošovky v súprave sú vytvorené tak, že ich lámavé plochy sú časťou **valcových plôch s kruhovými podstavami**, ktoré majú rovnaké polomery krivosti. Časť ich podstavy, premietnutá do roviny štvorcovej milimetrovej siete, vytvára kružnicový odsek.



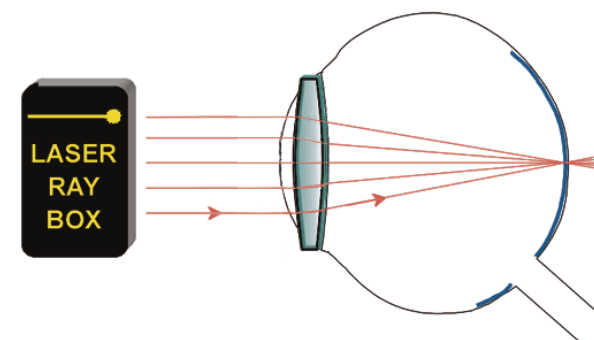
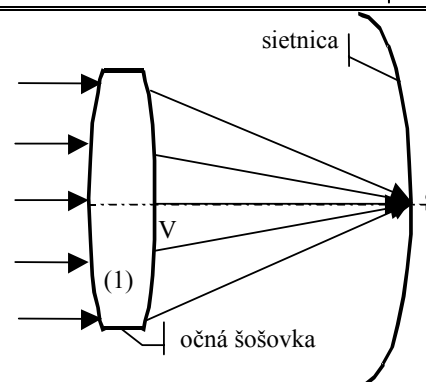
**E21b Základné parametre hrubých šošoviek – určenie ohniskovej vzdialenosti šošovky**  
(GON/GON+)

Pri hrubých šošovkách, t.j. takých, ktorých hrúbka nie je zanedbateľná, je potrebné pri presnejšom určovaní ich ohniskových vzdialeností rešpektovať definíciu ohniskovej vzdialenosti ako **vzdialenosti hlavných bodov H a H' a príslušných ohnisk.**



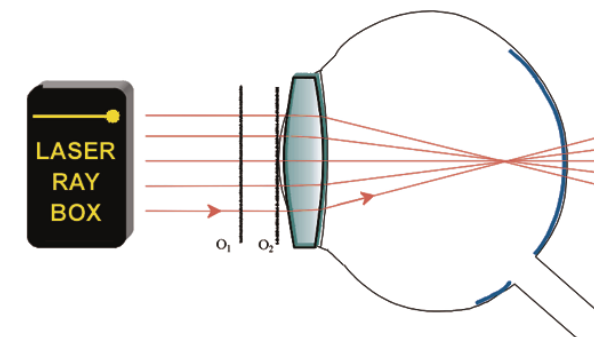
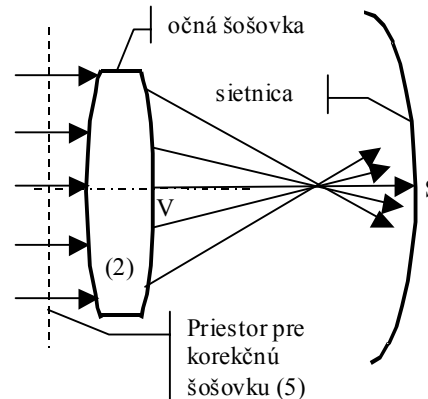
**E22a Model zdravého oka**  
(GON, Pracovný list A)

Zobrazovacie lúče, rovnobežné s optickou osou a „prinášajúce“ informácie o predmete umiestnenom v nekonečne, sa pretnú po prechode neakomodovanou očnou šošovkou zdravého oka v jednom bode na sietnici.



**E22b Model krátkozrakého oka**  
(GON, Pracovný list A)

Zobrazovacie lúče, rovnobežné s optickou osou a „prinášajúce“ informácie o predmete umiestnenom v nekonečne, sa pretnú po prechode neakomodovanou očnou šošovkou v jednom bode optickej osi pred sietnicou. Korekčnou šošovkou je v tomto prípade rozptylná šošovka (5).

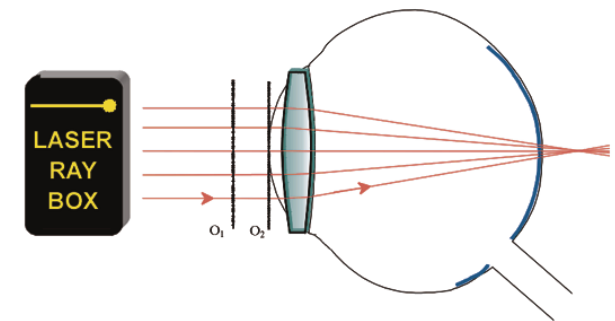
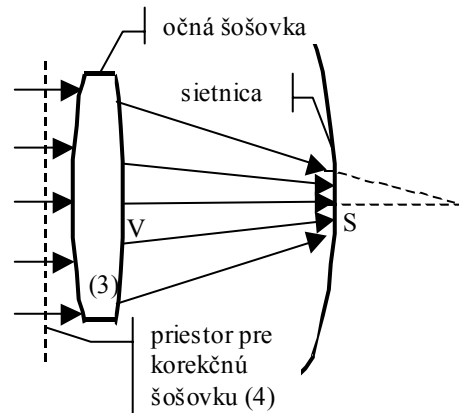


### E22c Model ďalekozrakého oka

(GON, Pracovný list A)

Zobrazovacie lúče, rovnobežné s optickou osou a „prinášajúce“ informácie o predmete umiestnenom v nekonečne, sa pretnú po prechode neakomodovanou očnou šošovkou v jednom bode optickej osi za sietnicou. Korekčnou šošovkou je v tomto prípade spojňá šošovka (4). Šošovka oka (s ohniskovou vzdialenosťou  $f_1'$ ) spolu s korekčnou šošovkou (okuliarmi s ohniskovou vzdialenosťou  $f_2'$ ) vytvárajú sústavu dvoch tenkých šošoviek, ležiacich tesne pri sebe. Ich výsledná ohnisková vzdialenosť  $f'$  je určená vzťahom

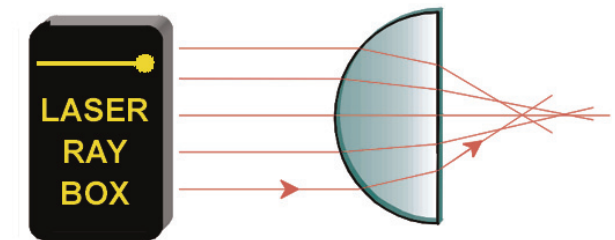
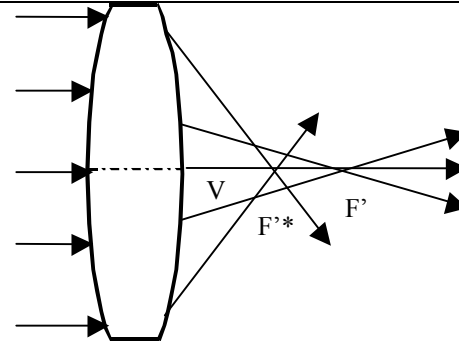
$$f' = \frac{f_1' f_2'}{f_1' + f_2'}$$



### E23a Korekcia otvorovej chyby zúžením priemeru zväzku

(GON/GON+, Pracovný list E)

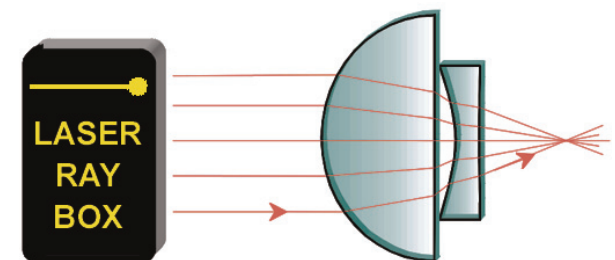
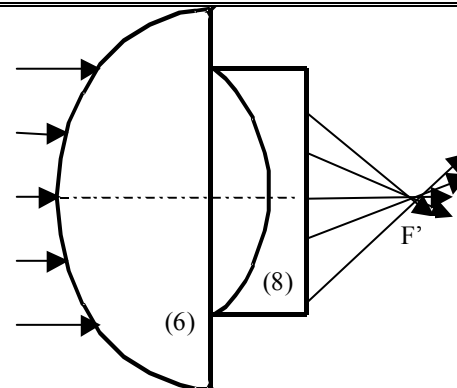
Nepresnosti zobrazovania v dôsledku otvorovej chyby možno obmedziť aj takým spôsobom, že zmenšíme priemer zväzku lúčov, dopadajúcich na šošovku. To sa dá dosiahnuť odclonením lúčov, ktoré sú najviac vzdialené od optickej osi.



### E23b Korekcia otvorovej chyby kombináciou šošoviek

(GON, Pracovný list E)

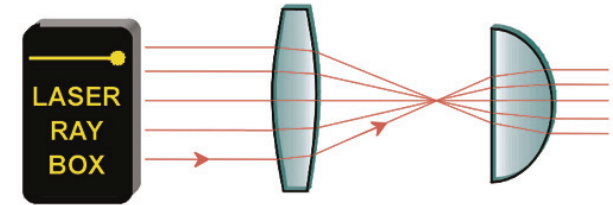
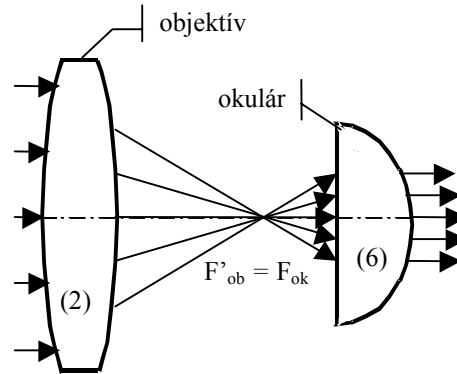
Priebeh otvorovej chyby spojňých a rozptylných šošoviek je opačný, preto je možné **korigovať** jej veľkosť vhodnou kombináciou spojňých a rozptylných šošoviek. Ak pre lúče najbližšie k optickej osi (**paraxiálne lúče**) má ohnisková vzdialenosť veľkosť  $f'$  a pre najvzdialenejšie lúče (**neparaxiálne lúče**) od optickej osi je veľkosť ohniskovej vzdialenosti  $f'^*$ , pozdĺžnu otvorovú chybu zistíme ako rozdiel  $\Delta f' = f'^* - f'$ . Pre spojňé šošovky má pozdĺžna otvorová chyba záporné znamienko, pre rozptylné šošovky nadobúda kladné znamienko.



### E24a Keplerov ďalekohľad

(GON, Pracovný list D)

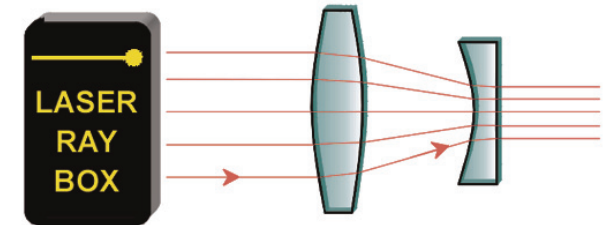
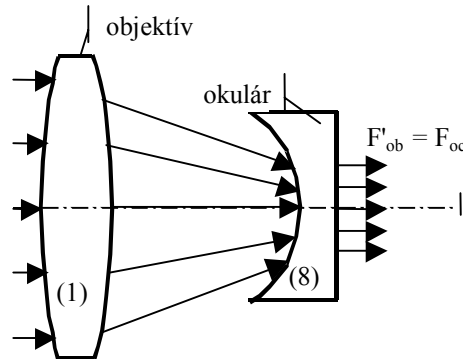
Keplerov ďalekohľad vytvára prevrätý obraz, o čom sa možno ľahko presvedčiť zatičením horného lúča zo zväzku rovnobežných lúčov, dopadajúcich na objektív. Na výstupe z okulára sa to prejaví na chýbajúcom spodnom lúči. Keďže zobrazovacie lúče sú rovnobežné, obraz vytváraný ďalekohľadom je neskutočný a zväčšený.



### E24b Galileiho ďalekohľad

(GON, Pracovný list C)

Pri experimente možno meniť uhol, pod ktorým vzhľadom na optickú os dopadá zväzok lúčov na objektív ďalekohľadu. Pozorujeme väčšiu zmenu uhla, pod ktorým vychádzajú lúče z ďalekohľadu (zväčšuje sa zorný uhol, obraz je zväčšený), stále však **zostávajú v rovnobežnom zväzku**. Vytváraný obraz je sprostredkovaný rovnobežným zväzkom lúčov, preto je neskutočný, zväčšený a priamy. O jeho priamosti sa možno presvedčiť zatičením horného lúča zo zväzku dopadajúcich lúčov na objektív – z lúčov vystupujúcich z okulára bude zatičený tiež horný lúč.



### E25 Fotoaparát

(GON, Pracovný list B)

Objektív fotoaparátu je spojná sústava, vytvárajúca skutočný a prevrätý obraz v priestore zadnej steny, kde býva umiestnený svetlочitlivý fotografický materiál.

