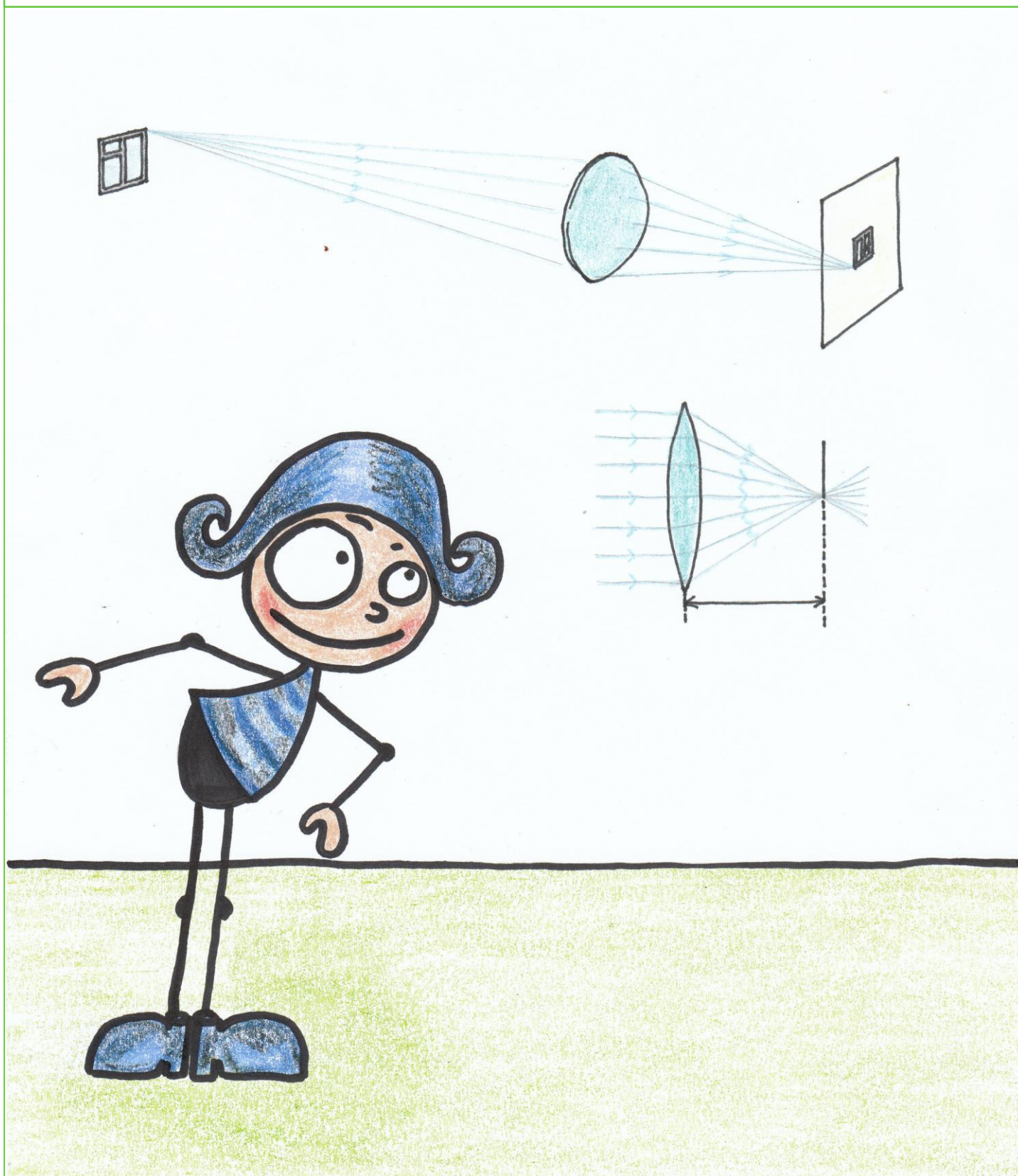


## Laboratorní práce č. 4: Úlohy z paprskové optiky





## Test k laboratorní práci č. 4: Úlohy z paprskové optiky

### Varianta A

1. Ze dvou prostředí je první opticky řidší; pak
- A) je v něm rychlost šíření světla větší než ve druhém prostředí
  - B) je v něm rychlost šíření světla menší než v druhém prostředí
  - C) je průhlednější než druhé prostředí
  - D) v něm platí zákon lomu přesněji než ve druhém prostředí
2. Světlo dopadá na rozhraní dvou prostředí; rychlost světla v prvním prostředí je  $v_1$ , v druhém  $v_2$  ( $v_1 < v_2$ ). Mezní úhel  $\alpha_m$  můžeme určit ze vztahu:
- A)  $\sin \alpha_m = \frac{v_1}{v_2}$
  - B)  $\sin \alpha_m = \frac{v_2}{v_1}$
  - C)  $\operatorname{tg} \alpha_m = \frac{v_1}{v_2}$
  - D)  $\operatorname{tg} \alpha_m = \frac{v_2}{v_1}$
3. Pomocí spojné čočky o ohniskové vzdálenosti 25 cm zobrazíme určitý předmět. Do které z uvedených vzdáleností od čočky umístíme předmět, aby jeho obraz byl skutečný, převrácený a zmenšený?
- A) 60 cm
  - B) 50 cm
  - C) 30 cm
  - D) 20 cm
4. Zobrazovací rovnice čočky má tvar:
- A)  $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{r}{2}$
  - B)  $\frac{1}{a} - \frac{1}{a'} = \frac{r}{2}$
  - C)  $\frac{1}{a} - \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$
  - D)  $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$

## Test k laboratorní práci č. 4: Úlohy z paprskové optiky

### Varianta B

1. Rychlost světla ve skle je
- A) stejná jako ve vakuu
  - B) menší než ve vakuu
  - C) nezávislá na frekvenci světla
  - D) nezávislá na barvě světla
2. Světlo dopadá na rozhraní dvou prostředí; index lomu světla prvního prostředí je  $n_1$ , druhého  $n_2$  ( $n_1 > n_2$ ). Mezní úhel  $\alpha_m$  můžeme určit ze vztahu:
- A)  $\sin \alpha_m = \frac{n_1}{n_2}$
  - B)  $\sin \alpha_m = \frac{n_2}{n_1}$
  - C)  $\operatorname{tg} \alpha_m = \frac{n_1}{n_2}$
  - D)  $\operatorname{tg} \alpha_m = \frac{n_2}{n_1}$
3. Pomocí spojné čočky o ohniskové vzdálenosti 25 cm zobrazíme určitý předmět. Do které z uvedených vzdáleností od čočky umístíme předmět, aby jeho obraz byl skutečný, převrácený a zvětšený?
- A) 60 cm
  - B) 50 cm
  - C) 30 cm
  - D) 20 cm
4. Pro ohniskovou vzdálenost čočky lze ze zobrazovací rovnice odvodit vztah:
- A)  $f = \frac{a \cdot a'}{a - a'}$
  - B)  $f = \frac{a + a'}{a \cdot a'}$
  - C)  $f = \frac{a \cdot a'}{a + a'}$
  - D)  $f = \frac{a - a'}{a \cdot a'}$

## Test k laboratorní práci č. 4: Úlohy z paprskové optiky

### Varianta C

1. Rychlost světla ve vodě je  
A) menší než ve vakuu  
B) stejná jako ve vakuu  
C) nezávislá na barvě světla  
D) nezávislá na frekvenci světla
2. Světlo prochází rozhraním vzduchu a skla. Index lomu skla je 1,5. Jaký je mezní úhel na rozhraní skla a vzduchu?  
A)  $25^\circ$   
B)  $30^\circ$   
C)  $42^\circ$   
D)  $75^\circ$
3. Pomocí spojné čočky o ohniskové vzdálenosti 12 cm zobrazíme určitý předmět. Do které z uvedených vzdáleností od čočky umístíme předmět, aby jeho obraz byl skutečný, převrácený a zvětšený?  
A) 10 cm  
B) 15 cm  
C) 24 cm  
D) 30 cm
4. Ohnisková vzdálenost čočky o optické mohutnosti 5 D je:  
A) 5 cm  
B)  $\frac{1}{5}$  cm  
C) 20 cm  
D) 5 cm

## Test k laboratorní práci č. 4: Úlohy z paprskové optiky

### Varianta D

1. Ze dvou prostředí je prvé opticky hustší; pak
- A) je v něm rychlost šíření světla větší než ve druhém prostředí
  - B) je v něm rychlost šíření světla menší než ve druhém prostředí
  - C) je průhlednější než druhé prostředí
  - D) v něm platí zákon lomu přesněji než ve druhém prostředí
2. Světlo prochází rozhraním vzduchu a vody. Rychlost světla ve vodě je  $2,25 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ , rychlost světla ve vzduchu přibližně  $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ . Jaký je mezní úhel na rozhraní vody a vzduchu?
- A)  $32^\circ$
  - B)  $48,6^\circ$
  - C)  $70,5^\circ$
  - D)  $81,8^\circ$
3. Pomocí spojné čočky o ohniskové vzdálenosti 12 cm zobrazíme určitý předmět. Do které z uvedených vzdáleností od čočky umístíme předmět, aby jeho obraz byl skutečný, převrácený a zmenšený?
- A) 10 cm
  - B) 15 cm
  - C) 24 cm
  - D) 30 cm
4. Optická mohutnost čočky, která má ohniskovou vzdálenost 50 mm je:
- A) 5 D
  - B) 10 D
  - C) 20 D
  - D) 50 D

## Laboratorní práce č. 4: Úlohy z paprskové optiky

### Pomůcky:

půlválec ze skla, optická deska s úhloměrnou stupnicí, zdroj světla, clona se štěrbinou, optická lavice s příslušenstvím, clona s vyříznutým písmenem L (nebo svíčka), stínítko, spojná čočka, zdroj střídavého napětí.

### Teorie:

**Paprsková (geometrická) optika** je založena na přímočarém šíření světla (šířící se světlo pak lze znázornit pomocí přímek – světelných paprsků) a na principu nezávislosti chodu světelných paprsků (paprsky od zdroje vycházejí všemi směry, mohou se navzájem protínat, ale přitom se neovlivňují a prostředím procházejí nezávisle jeden na druhém). Paprsková optika zanedbává vlnovou povahu světla. Základními zákony paprskové optiky jsou zákon odrazu a zákon lomu světla.

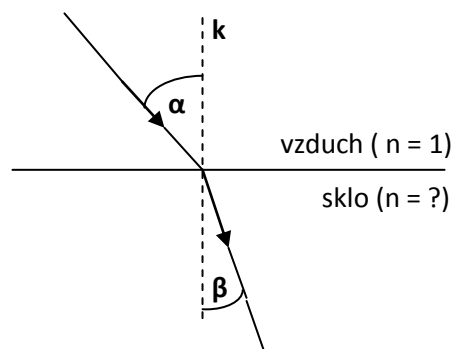
### 1. úloha: Měření indexu lomu skla

Index lomu  $n$  je fyzikální veličina, která charakterizuje optické prostředí. Nejjednodušší metody pro měření indexu lomu vycházejí ze zákona lomu. Měření indexu lomu skla na rozhraní se vzduchem provedte dvěma metodami: měřením úhlu dopadu a úhlu lomu a měřením mezního úhlu.

#### 1. metoda: Měření úhlu dopadu a úhlu lomu

Prochází-li světlo rozhraním vzduch – sklo (viz obr.), lze použít zákon lomu ve tvaru:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \quad (1)$$



### Provedení:

Na optickou desku s úhloměrnou stupnicí umístíte půlválec ze skla tak, aby střed křivosti jeho vypuklé plochy splýval se středem desky a rovná stěna půlválce splývala s jedním průměrem vyznačeným na desce. Druhý průměr tvoří kolmici dopadu. Zdroj světla opatříte štěrbinou a umístíte jej tak, aby na desce vznikl úzký světelný paprsek směřující do středu půlválce (viz obr. č.1 v příloze). Pomocí úhloměrné stupnice nastavte určitý úhel dopadu  $\alpha$  a změřte odpovídající úhel lomu  $\beta$ . Otáčením optické desky s půlválcem (paprsek přitom musí stále směřovat do středu půlválce) nastavujte postupně další čtyři hodnoty úhlu dopadu  $\alpha$  a určete k nim odpovídající úhel lomu  $\beta$ . Naměřené hodnoty zapište do tabulky:

Číslo měření	$\alpha$	$\beta$	$\sin \alpha$	$\sin \beta$	$n$
1					
2					
3					
4					
5					

Pomocí kalkulačky určete hodnoty  $\sin \alpha$  a  $\sin \beta$  a pro každé měření vypočítejte ze vzorce (1) index lomu skla.

Z naměřených hodnot vypočítejte průměrnou hodnotu  $n$  indexu lomu skla.

### 2. metoda: Měření mezního úhlu

Přechází-li světlo z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího, zvětšuje se s rostoucím úhlem dopadu i úhel lomu a při určitém, tzv. **mezním úhlu dopadu  $\alpha_m$**  je úhel lomu  $\beta = 90^\circ$ . Při větších úhlech dopadu ( $\alpha > \alpha_m$ ) se světlo jen odráží – nastává úplný odraz. Jestliže světlo prochází ze skla do vzduchu, lze pro tento případ zapsat zákon lomu ve tvaru:

$$\sin \alpha_m = \frac{1}{n}$$

kde  $n$  je index lomu skla. Odtud lze index lomu skla určit pomocí upraveného vztahu:

$$n = \frac{1}{\sin \alpha} \quad (2)$$

### Provedení:

Optickou desku otočte tak, aby světelný paprsek dopadal na vypuklou stěnu půlválce a procházel jejím středem (viz obr. č. 2 v příloze). Zvolna, po malých hodnotách, zvětšujte úhel dopadu až na hodnotu, kdy právě nastane úplný odraz (úhel lomu  $\beta = 90^\circ$ ). Odpovídající úhel dopadu je mezní úhel  $\alpha_m$ . Měření opakujte pětkrát a naměřené hodnoty zapisujte do tabulky:

Číslo měření	$\alpha_m$	$\sin \alpha_m$	n
1			
2			
3			
4			
5			

Pro každou hodnotu  $\alpha_m$  určete  $\sin \alpha_m$  a pomocí vztahu (2) určete index lomu. Potom vypočítejte průměrnou hodnotu indexu lomu skla a porovnejte ji s hodnotou určenou 1. metodou.

### 2. úloha: Měření ohniskové vzdálenosti čočky.

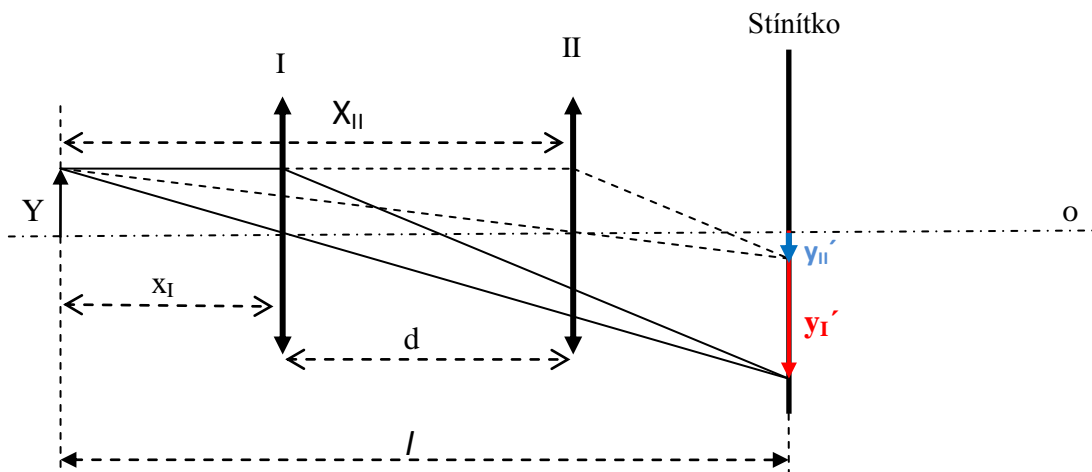
Ohniskovou vzdálenost  $f$  spojně čočky můžeme určit úpravou zobrazovací rovnice

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f} \text{ na tvar: } f = \frac{a \cdot a'}{a + a'} \quad (3),$$

kde  $a$  je vzdálenost předmětu a  $a'$  je vzdálenost obrazu od středu čočky. Vzhledem k určité tloušťce čočky je přesné určení hodnot  $a$ ,  $a'$  obtížné. Proto se přímé měření vzdáleností obchází použitím různých metod. Například **Abbeova metoda** je založena na určování příčného zvětšení. **Besselova metoda**, kterou použijete v této úloze, je založena na tom, že při konstantní vzdálenosti  $l$  předmětu (clony s písmenem L nebo svíčky) a stínítka vznikne na stínítku ostrý obraz předmětu při dvou polohách čočky (v poloze I zvětšený, v poloze II zmenšený). Situaci schematicky znázorňuje obrázek:

Vyjádříme-li vzdálenosti  $a$  a  $a'$  v upravené zobrazovací rovnici (3) pomocí vzdálenosti  $l$  předmětu a stínítka a vzdálenosti  $d$  poloh I, II čočky, obdržíme po dosazení a úpravě vztah pro ohniskovou vzdálenost čočky ve tvaru:

$$f = \frac{l^2 - d^2}{4l} \quad (4)$$



### Provedení:

Na optické lavici sestavte zobrazovací soustavu tvořenou zdrojem světla s clonou s písmenem L (nebo hořící svíčkou), spojkou a stínítkem (viz obr. č. 3 v příloze). Polohu čočky upravte tak, aby její optická osa byla rovnoběžná s optickou lavicí ve výšce, v níž se nachází předmět. Zkusmo vyhledejte vhodnou vzdálenost  $l$  předmětu od stínítka, při níž najdete polohy I a II čočky. Změřte vzdálenost  $l$  předmětu od stínítka a vzdálenosti  $x_I$  a  $x_{II}$  čočky od předmětu (clony s písmenem L). Další měření opakujte pro změněnou vzdálenost  $l$  předmětu a stínítka. Naměřené hodnoty zapisujte do tabulky:

Číslo měření	$\frac{l}{mm}$	$\frac{x_I}{mm}$	$\frac{x_{II}}{mm}$	$\frac{d}{mm}$	$\frac{f}{mm}$
1					
2					
3					
4					
5					

Vzdálenost  $d$  poloh čočky v případech I a II pak určete ze vztahu  $d = x_{II} - x_I$ .

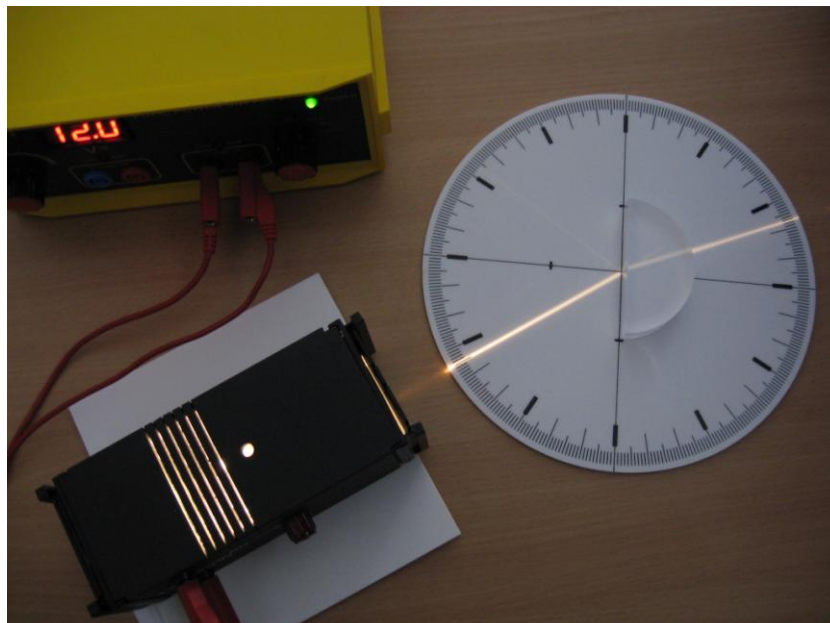
Dosažením do vztahu (4) vypočítejte v jednotlivých případech ohniskovou vzdálenost  $f$ .

Dále vypočítejte průměrnou hodnotu ohniskové vzdálenosti  $f$ , vyjádřete ji v  $cm$

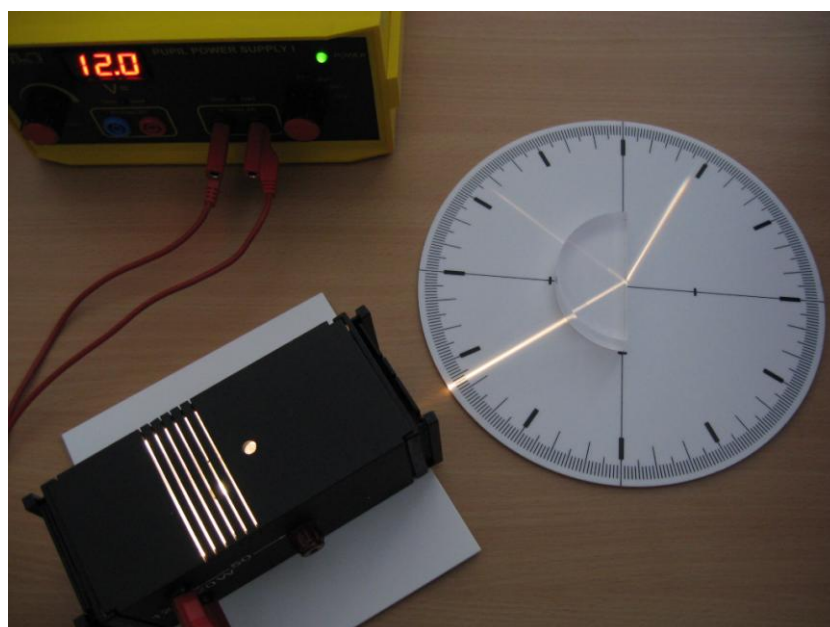
a porovnejte ji s hodnotou uvedenou na objímce čočky.

### Závěr:

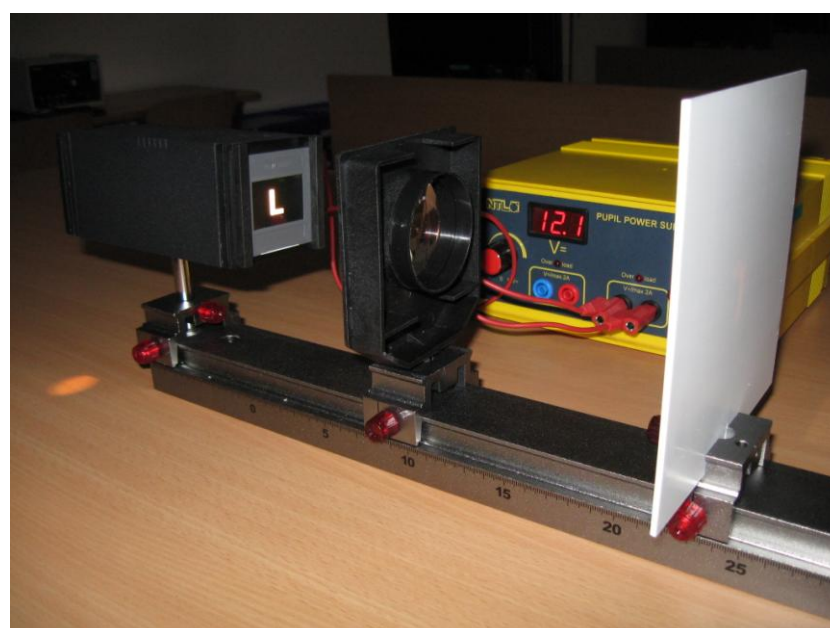
Obrázek č. 1



Obrázek č. 2



Obrázek č. 3



## Protokol č. 4

Pracoval:	
Spolupracoval:	
Třída:	
Hodnocení:	

Pracováno dne:	
Vlhkost vzduchu:	
Tlak vzduchu:	
Teplota vzduchu:	

### Název úlohy: **Úlohy z paprskové optiky**

#### Pomůcky:

půlválec ze skla, optická deska s úhloměrnou stupnicí, zdroj světla, clona se šterbinou, optická lavice s příslušenstvím, clona s vyříznutým písmenem L (nebo svíčka), stínítko, spojná čočka, zdroj střídavého napětí.

#### Vypracování:

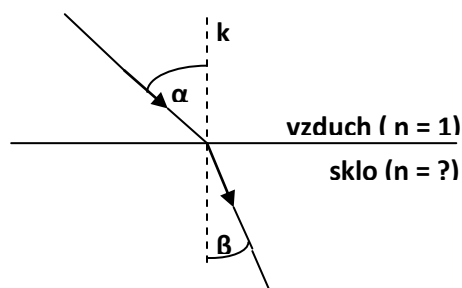
##### 1. úloha: Měření indexu lomu skla

Index lomu  $n$  je fyzikální veličina, která charakterizuje optické prostředí. Nejjednodušší metody pro měření indexu lomu vycházejí ze zákona lomu. Měření indexu lomu skla na rozhraní se vzduchem jsme prováděli dvěma metodami: měřením úhlu dopadu a úhlu lomu a měřením mezního úhlu.

##### 1. metoda: Měření úhlu dopadu a úhlu lomu

Prochází-li světlo rozhraním vzduch - sklo, lze použít zákon lomu ve tvaru:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \quad (1)$$



Na optickou desku s úhломěrnou stupnicí jsme umístili půlválec ze skla tak, aby střed křivosti jeho vypuklé plochy splýval se středem desky a rovná stěna půlválce splývala s jedním průměrem vyznačeným na desce. Druhý průměr tvoří kolmicí dopadu. Zdroj světla jsme opatřili štěrbinou a umístili jej tak, aby na desce vznikl úzký světelný paprsek směřující do středu půlválce. Pomocí úhломěrné stupnice jsme nastavili úhel dopadu  $\alpha$  a změřili odpovídající úhel lomu  $\beta$ . Otáčením optické desky s půlválcem (paprsek přitom stále směřoval do středu půlválce) jsme nastavili postupně další čtyři hodnoty úhlu dopadu  $\alpha$  a určili k nim odpovídající úhel lomu  $\beta$ . Naměřené hodnoty jsme zapsali do tabulky:

Číslo měření	$\alpha$	$\beta$	$\sin \alpha$	$\sin \beta$	n
1					
2					
3					
4					
5					

Pomocí kalkulačky jsme určili hodnoty  $\sin \alpha$  a  $\sin \beta$  a pro každé měření vypočítali ze vzorce (1) index lomu skla.

Z naměřených hodnot jsme vypočítali průměrnou hodnotu indexu lomu skla:

$n =$

## 2. metoda: Měření mezního úhlu

Přechází-li světlo z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího, zvětšuje se s rostoucím úhlem dopadu i úhel lomu a při určitém, tzv. **mezním úhlu dopadu  $\alpha_m$**  je úhel lomu  $\beta = 90^\circ$ . Jestliže světlo prochází ze skla do vzduchu, lze pro tento případ

zapsat zákon lomu ve tvaru: 
$$\sin \alpha_m = \frac{1}{n}$$

kde n je index lomu skla. Odtud lze index lomu skla určit pomocí upraveného vztahu:

$$n = \frac{1}{\sin \alpha} \quad (2)$$

Optickou desku jsme otočili tak, aby světelný paprsek dopadal na vypuklou stěnu půlválce a procházel jejím středem. Zvolna, po malých hodnotách, jsme zvětšovali úhel dopadu až na hodnotu, kdy právě nastal úplný odraz (úhel lomu  $\beta = 90^\circ$ ). Odpovídající úhel dopadu byl mezní úhel  $\alpha_m$ . Měření jsme opakovali pětkrát a naměřené hodnoty zapsali do tabulky:

Číslo měření	$\alpha_m$	$\sin \alpha_m$	n
1			
2			
3			
4			
5			

Pro každou hodnotu  $\alpha_m$  jsme určili  $\sin \alpha_m$  a pomocí vztahu (2) určili index lomu.

Průměrná hodnota indexu lomu skla je:

n =

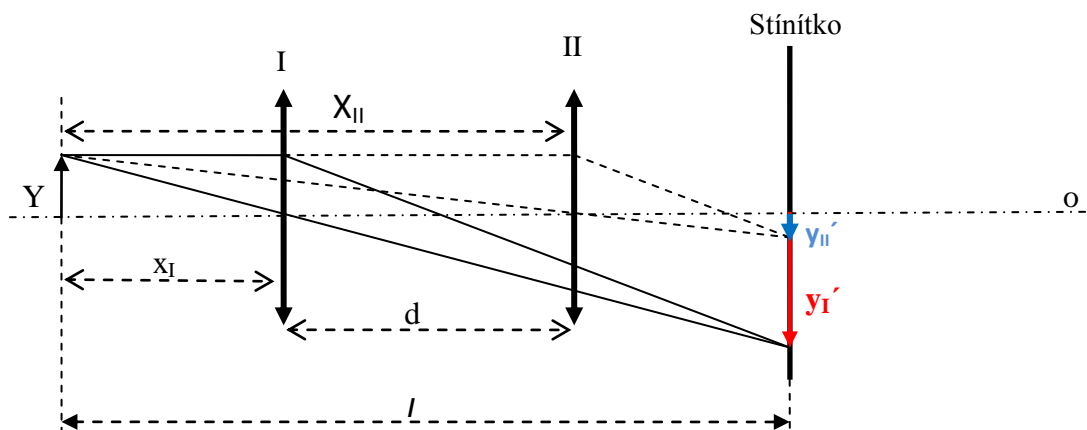
Porovnání s hodnotou určenou 1. metodou:

## 2. úloha: Měření ohniskové vzdálenosti čočky.

Ohniskovou vzdálenost  $f$  spojně čočky můžeme určit úpravou zobrazovací rovnice

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f} \text{ na tvar: } f = \frac{a \cdot a'}{a + a'} \quad (3),$$

kde  $a$  je vzdálenost předmětu a  $a'$  je vzdálenost obrazu od středu čočky. Vzhledem k určité tloušťce čočky je přesné určení hodnot  $a$ ,  $a'$  obtížné. Proto se přímé měření vzdáleností obchází použitím různých metod. **Besselova metoda**, kterou jsme použili v této úloze, je založena na tom, že při konstantní vzdálenosti předmětu (clony s písmenem L nebo svíčky) a stínítka vznikne na stínítku ostrý obraz předmětu při dvou polohách čočky. Situaci schematicky znázorňuje obrázek:



Vyjádříme-li vzdálenosti  $a$  a  $a'$  v upravené zobrazovací rovnici (3) pomocí vzdálenosti  $l$  předmětu a stínítka a vzdálenosti  $d$  poloh I, II čočky, obdržíme po dosazení a úpravě vztah

pro ohniskovou vzdálenost čočky ve tvaru:

$$f = \frac{l^2 - d^2}{4l} \quad (4)$$

**Provedení:**

Na optické lavici jsme sestavili zobrazovací soustavu tvořenou zdrojem světla s clonou s písmenem L (nebo hořící svíčkou), spojkou a stínítkem. Zkusmo jsme vyhledali vhodnou vzdálenost  $l$  předmětu od stínítka, při níž jsme našli dvě polohy I a II čočky (na stínítku vznikl ostrý obraz předmětu, v prvním případě zvětšený, ve druhém zmenšený). Změřili jsme vzdálenost  $l$  předmětu (clony s písmenem L) od stínítka a vzdálenosti  $x_I$  a  $x_{II}$  čočky od předmětu. Další měření jsme opakovali pro změněnou vzdálenost  $l$  předmětu a stínítka. Naměřené hodnoty jsme zapsali do tabulky:

Číslo měření	$\frac{l}{mm}$	$\frac{x_I}{mm}$	$\frac{x_{II}}{mm}$	$\frac{d}{mm}$	$\frac{f}{mm}$
1					
2					
3					
4					
5					

Vzdálenost  $d$  poloh čočky v případech I a II jsme pak určili ze vztahu  $d = x_{II} - x_I$ .

Dosazením do vztahu (4) jsme vypočítali v jednotlivých případech ohniskovou vzdálenost  $f$ .

Průměrná hodnota ohniskové vzdálenosti čočky:

Porovnání s hodnotou uvedenou na objímce čočky:

**Závěr:**