

# Úloha 7

## Měření světla odraženého na povrchu dielektrika.

Na Obr. 1 je fotografie a popisky aparatury pro měření závislosti odrazivosti s- a p-polarizovaného světla na dielektriku. Laser je napájen ze zdroje dodávajícího napětí modulované s frekvencí 1kHz. Výběr s- a p- lineárně polarizovaného světla je proveden rotací polarizátoru umístěného mezi laserem a vzorkem do polohy S resp. P, které jsou označeny na kotouči pod polarizátorem. Signál z detektoru je pak zesilován selektivním zesilovačem, který zesiluje signál o frekvenci 1kHz. To umožňuje potlačení detekce světla z okolního prostředí. Signál ze zesilovače je vyveden na voltmetr a měřené foto-napětí je přímo úměrné intenzitě světla dopadajícího na detektor. To platí, pokud zesilovač není přesycen. Po zapojení zdroje a zesilovače do sítě probíhá měření v následujících krocích:

- Naměření foto-napětí  $U_{os}$  a  $U_{op}$  úměrného intenzitě přímého svazku (tj. svazku bez odrazu na vzorku – vzorek je vyjmut z goniometru) dopadajícího z laseru na detektor při nastavení polarizátoru do S resp. P polohy.
  - Nejdříve se nastavíme detektor rotací ramene goniometru do pozice proti laseru – jemné nastavení provedeme maximalizací foto-napětí.
  - Nastavíme napájení laseru a zesílení zesilovače tak, aby zesilovač nebyl přesycen (indikováno svítící červenou diodou na zesilovači)
  - Odečteme foto-napětí  $U_{os}$  a  $U_{op}$  při polohách polarizátoru S resp. P
- Najustování vzorku – nastavení kolmého dopadu dopadajícího svazku při úhlu dopadu na  $0^\circ$  na stupnici
  - Vzorek je vložen do držáku ve středu goniometru
  - Kruh rotace vzorku je nastaven na  $0^\circ$ , což by mělo odpovídat kolmému dopadu svazku na odrazový povrch vzorku. Rotace vzorku při pohybu stupnice se zaaretuje šroubem A.
  - Odaretuje se rotace vzorku bez pohybu stupnice šroubem B a vzorek se otočí tak, aby se odražený paprsek vracel zpět do laseru – odražený paprsek sledujeme na stínítku, jímž zakryjeme polovinu výstupní apertury laseru. Po docílení kolmého odrazu aretačními šrouby umožníme pouze rotaci vzorku při pohybu stupnice úhlu dopadu (šroub A povolen, šroub B utažen)
- Naměříme závislost foto-napětí  $U_s$  a  $U_p$ , úměrného intenzitě odraženého světla pro s- resp. p-polarizaci, na úhlu dopadu světla na dielektrikum. Provádím v rozsahu  $30^\circ$  až  $80^\circ$  s krokem  $5^\circ$ .
  - Nastavíme vzorek rotací goniometru na žádaný úhel dopadu při nastavení polarizátoru do polohy S
  - Nastavíme detektor oproti odraženému svazku – jemné nastavení provedeme při maximalizaci foto-napětí. Odečteme  $U_s^*$
  - Natočíme polarizátor do polohy P a odečteme na voltmetru  $U_p^*$
- V okolí minima odrazivosti v p-polarizaci naměříme detailněji, s krokem  $1^\circ$ , závislost intenzity odraženého s-polarizovaného světla na úhlu dopadu a identifikujeme minimum v průběhu, tj. určíme Brewsterův úhel
  - Zesílíme příkon laseru tak aby při s-polarizaci nebyl zesilovač přetížen a pro další měření necháme příkon konstantní
  - Pro požadovaný úhel dopadu vždy nastavíme detektor oproti odraženému svazku při poloze polarizátoru S
  - Polarizátor otočíme do polohy P a naměříme foto-napětí  $U_p$

**Příslušná data s vysvětlením dat v tabulkách jsou pro každého studenta ve složce DataProStudenty**

\* Při měření foto-napětí je vždy třeba na voltmetru nastavit rozsah měřeného napětí, aby nebyl rozsah měřenou hodnotou překročen, ale zároveň, aby bylo dosaženo max. přesnosti měření, tj. hledáme minimální rozsah voltmetru překračující měřenou hodnotu.

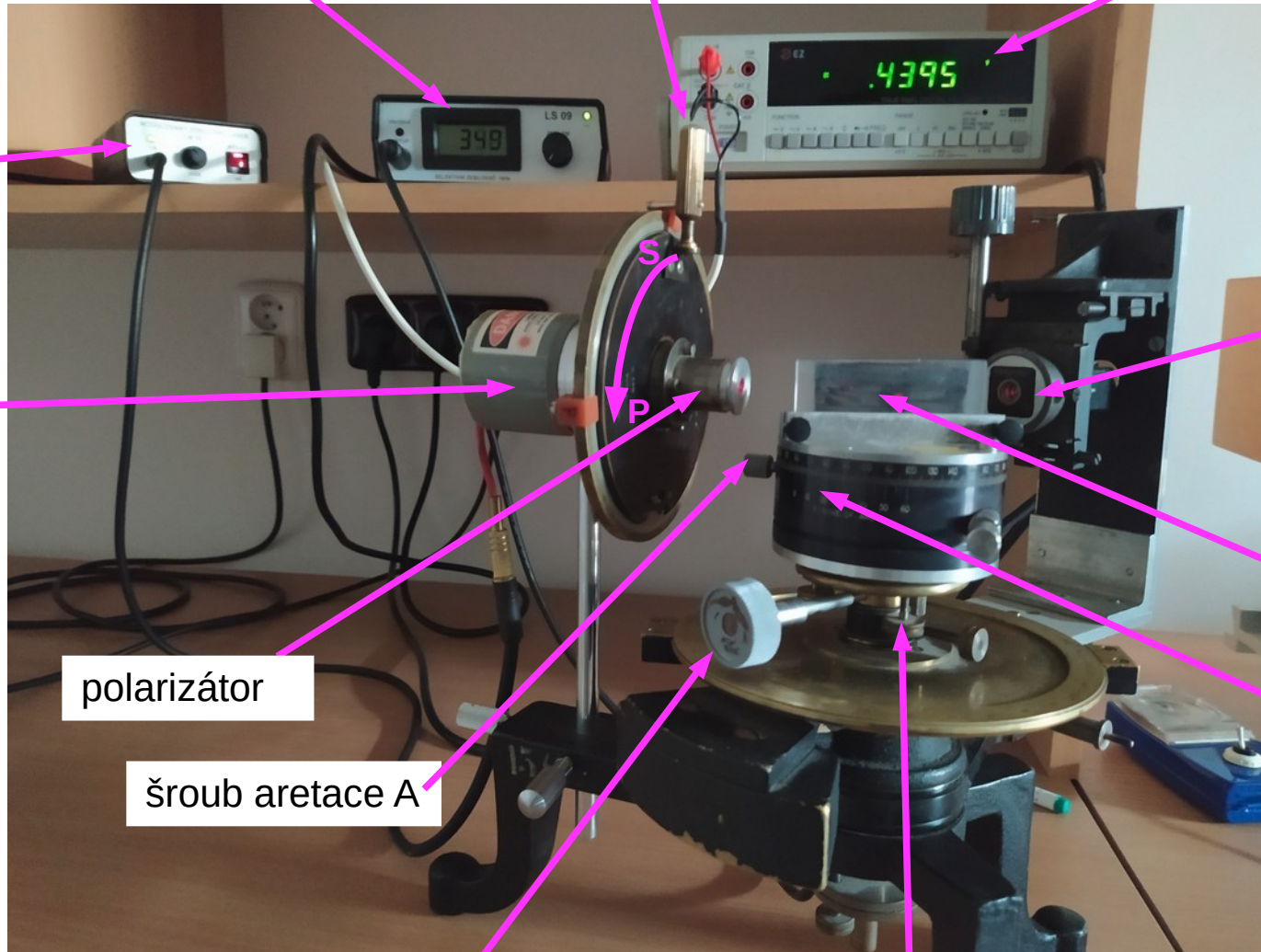
# Úloha 7

Měření světla odraženého na povrchu dielektrika.  
Experimentální uspořádání pro měření odrazivosti na povrchu dielektrika

zesilovač fotonapětí z detektoru

úchyt pro otáčení polarizátorem

multimetr měřící fotonapětí



napájení laseru

polovodičový laser

polarizátor

šroub aretace A

Obr. 1

šroub aretace B

goniometr s kruhem pro otáčení vzorkem a detektorem

fotodetektor

měřený vzorek

stupnice pro odečítání úhlu dopadu

# Úloha 7

Obr. 2 Napájení laseru



regulace výkonu LASERu

spínač frekvenční modulace zdroje (frekvence modulace 1 kHz)

Obr. 3 Zesilovač signálu z detektoru (selektivně zesiluje jen signál frekvence 1kHz)



kontrolka přesycení (když svítí, je třeba snížit zesílení)

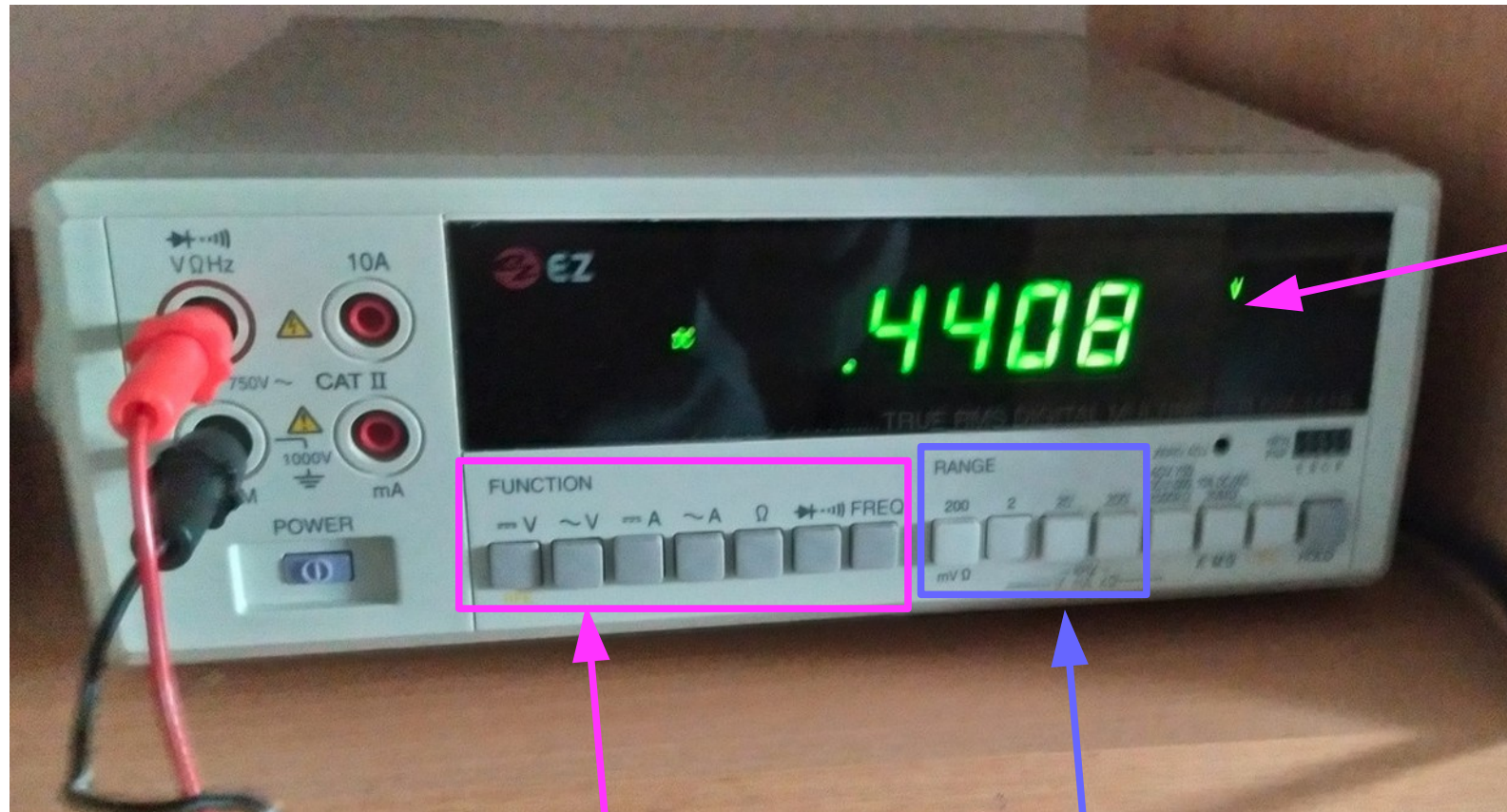
regulace zesílení



# Úloha 7

Obr. 4

Multimetr užívaný k měření fotonapětí úměrného intenzitě světla dopadajícího na detektoru



jednotky

volba měřené veličiny  
(zde měříme stejnosměrné  
(DC) napětí)

volba měřicího rozsahu  
pro dosažení optimální  
přesnosti měření

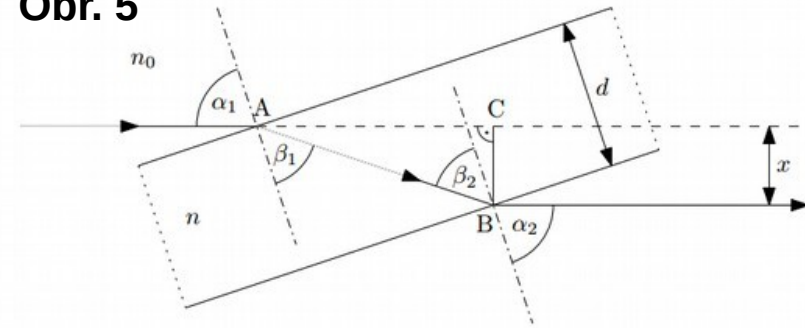
# Úloha 7 – volitelné části

Obr. 4 A - průchod světla planparalelní deskou



Schéma průchodu světla planparalelní deskou - dochází k transverzálnímu posunu paprsku, tj. posunu vystupujícího paprsku ve směru kolmo na směr chodu primárního a vystupujícího paprsku

Obr. 5

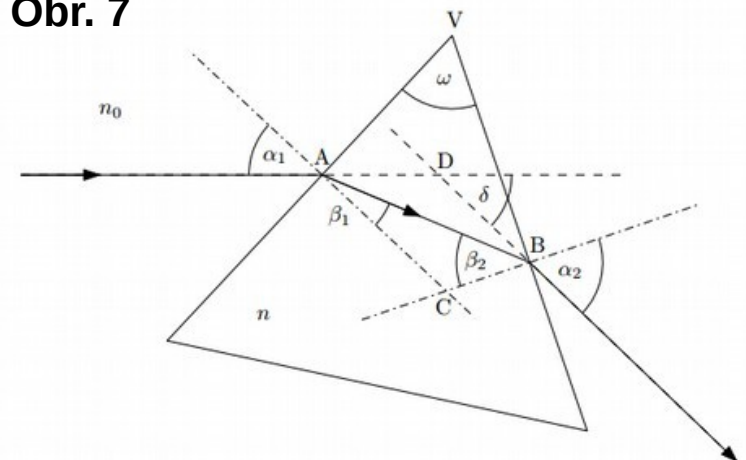


Obr. 6 B - průchod světla hranolem



Schéma průchodu světla hranolem – dochází k změně směru paprsku vystupujícího z hranolu oproti směru paprsku vstupujícímu

Obr. 7



# Úloha 7 – volitelné části

Schéma aparatury používané pro obě volitelné části s popisky je na následující straně.

## A - průchod světla planparalelní deskou

Při průchodu paprsku světla z laseru planparalelní deskou dochází k transversálnímu posunu, tj. posunu kolmému na směr dopadajícího paprsku, vystupujícího paprsku vůči paprsku dopadajícího. Směr vystupujícího paprsku je stejný jako směr paprsku dopadajícího. Posun paprsku se měří na úchylkoměru v bodu, kdy je štěrbina fotodiody oproti prošlému paprsku. Posun fotodiody v objímce se štěrbinou je zajištěn mikrometrickým šroubem. Přesné nastavení štěrbinu diody do laserového paprsku identifikujeme nalezením maxima fotoproudu z fotodiody při posouvání mikrometrického šroubu.

Na začátku měření nastavíme mikrometrickým šroubem posun na úchylkoměru na 0 mm a rotací ramene detektoru na goniometru štěrbinu fotodiody oproti primárnímu paprsku z laseru a po té vložíme planparalelní desku na stojan vzorku. Při uvolnění šroubu svazujícího otáčení podstavce vzorku s goniometrem nastavíme stěnu planparalelní desky kolmo na směr chodu primárního paprsku. Pomocí aretačního šroubu opět svážeme otáčení goniometru s otáčením vzorku a provedeme měření závislosti posunu svazku (odečítaného na úchylkoměru) na úhlu dopadu primárního paprsku na stěnu hranolu. Úhel dopadu zvyšujeme s krokem 5 deg.

## B - průchod světla hranolem

Při průchodu paprsku světla z laseru dochází k úhlovému odchýlení vystupujícího paprsku vůči paprsku dopadajícímu. Odchylka vystupujícího paprsku od paprsku dopadajícího se měří na stupnici goniometru při nastavení štěrbinu fotodiody oproti paprsku vystupujícímu z hranolu. Přesné nastavení štěrbinu diody do laserového paprsku identifikujeme nalezením maxima fotoproudu z fotodiody při otáčení kruhu goniometru s detektorem.

Na začátku měření nastavíme rotací ramene detektoru na goniometru štěrbinu fotodiody oproti primárnímu paprsku z laseru a po té vložíme hranol na stojan vzorku. Při uvolnění šroubu svazujícího otáčení stojanu vzorku s goniometrem nastavíme rotací vzorku jednu ze stěn hranolu kolmo na směr chodu primárního paprsku. Pomocí aretačního šroubu opět svážeme otáčení goniometru s otáčením vzorku. Odečteme referenční polohu ramene dalekohledu  $\delta_0$  a referenční polohu kruhu rotace vzorku  $\alpha_0$ , které budou sloužit jako počátky souřadnicové soustavy, tj. budou odečítány od čtených hodnot na příslušných stupnicích při měření. V rozsahu úhlů dopadu pro které jsme schopni detekovat paprsek vstupující z hranolu proměříme závislost odchylky výstupního paprsku  $\delta$  na úhlu dopadu  $\alpha$  s krokem úhlu dopadu 2 – 3 stupně. Pro každý úhel dopadu je samozřejmě třeba nastavit štěrbinu fotodiody oproti vystupujícímu paprsku tak, abychom detekovali maximální fotoproud.

**Příslušná data s vysvětlením dat v tabulkách jsou pro každého studenta ve složce DataProStudenty**

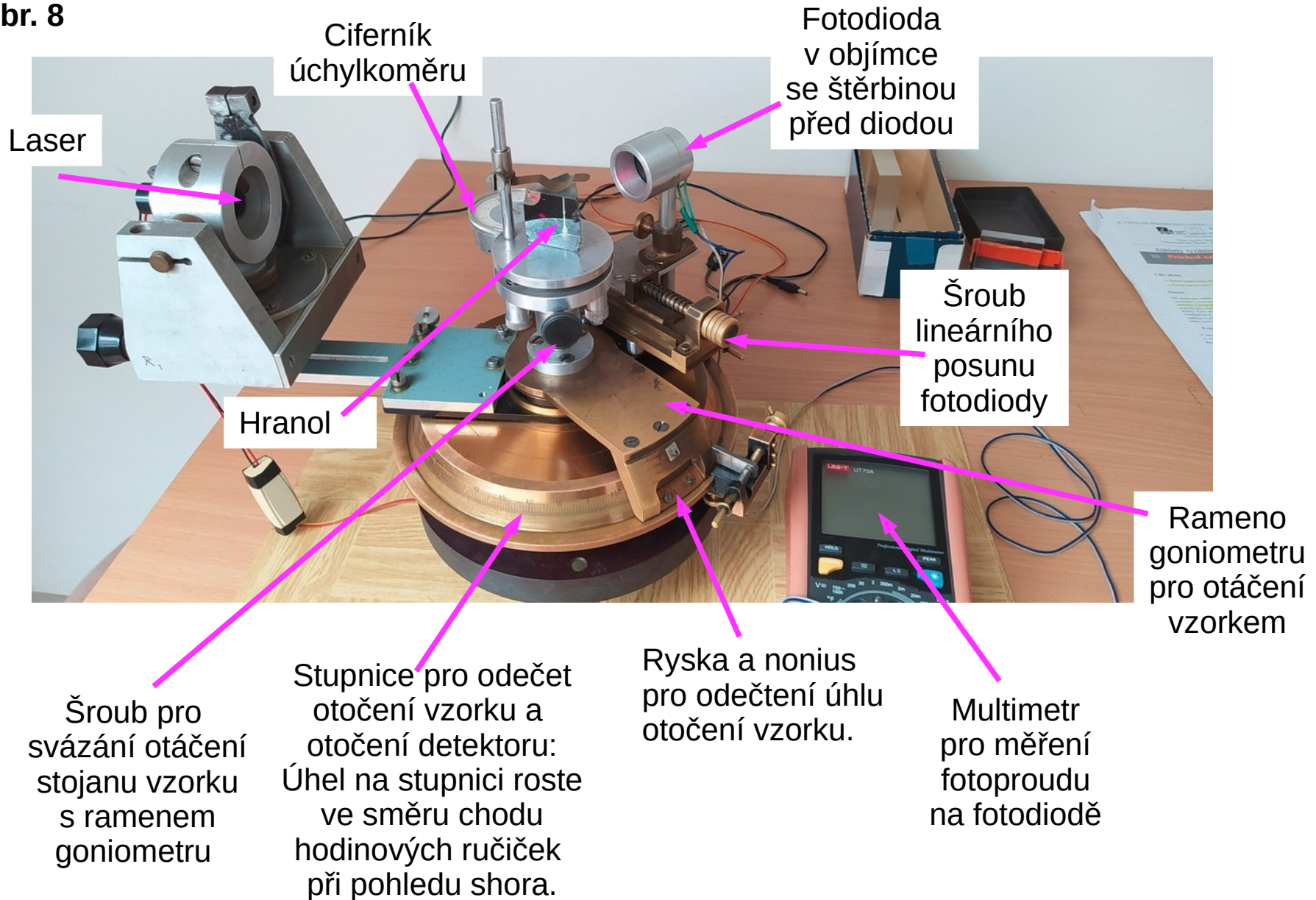


# Úloha 7 – volitelné části

## Průchod světla planparalelní deskou a hranolem

### Měřicí aparatura

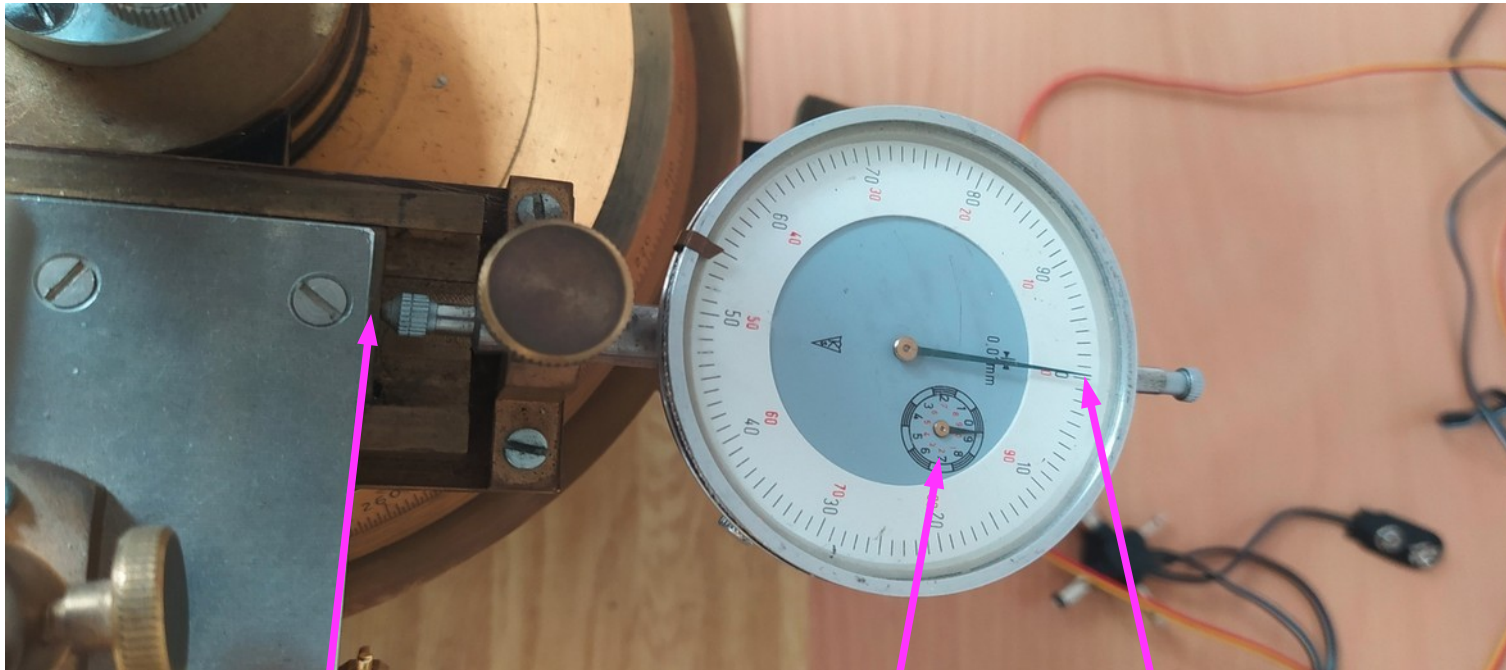
Obr. 8



# Úloha 7 – volitelné části

Obr. 9

Úchylkoměr pro měření lineárního posunu fotodiody při měření posunu paprsku po průchodu planparalelní deskou



Kontakt hrotu  
úchylkoměru  
s nosnou  
deskou držáku  
fotodiody

Odečet celých  
milimetrů

Odečet setin milimetru



# Úkoly

## Odraz a lom světla.

- Vyneste závislosti odrazivosti dielektrika v s- a p- polarizaci a odrazivosti nepolarizovaného světla na úhlu dopadu do grafu.
- Z odrazivosti s- a p-polarizace určete index lomu dielektrika z měřených hodnot pro dva úhly pod Brewsterovým úhlem a pro dva úhly nad Brewsterovým úhlem.
- Určete index lomu a nejistotu určené hodnoty z měření Brewsterova úhlu.
- V grafu porovnejte naměřené závislosti odrazivostí s vypočtenými s tím, že budete uvažovat index lomu stanovený z Brewsterova úhlu.

## Volitelná část A – průchod světla planparalelní deskou

- Vykreslete závislost posuvu vystupujícího paprsku z planparalelní desky na úhlu dopadu.
- Pro každý úhel dopadu určete z hodnoty posunu paprsku index lomu a výsledky statisticky zpracujte.
- Ověřte souhlas vypočteného posuvu paprsku s naměřenými hodnotami.- vyneste teoretickou závislost spolu s experimentálními daty do jednoho grafu

## Volitelná část B – průchod světla hranolem

- Určete index lomu hranolu z minimální deviace lomeného paprsku
- Vyneste naměřenou závislost deviace paprsku na úhlu dopadu a ověřte souhlas s vypočítanou závislostí.

## Soubory s daty a komentáři pro „distanční“ praktikum:

- ul7\_BrewsteruvUhel.txt ... závislost fotonapětí na úhlu dopadu p-polarizovaného světla pro úhly v okolí Brewsterova úhlu, měření s malým úhlovým krokem
- ul7\_komentare\_odrazNaDielektriku.txt ... komentáře k měření fotonapětí v povinné části úlohy (odraz na dielektriku) a k zápisu fotonapětí v příslušných datových souborech
- ul7\_Zavislost\_SP\_Odrazivosti.txt ... závislost fotonapětí indukovaného odraženým světlem na úhlu dopadu s- resp. p-polarizovaného světla
- uloha7\_hranol.txt ... data k úloze „průchodu světla hranolem“
- uloha7\_planparalelni\_deska.txt ... data k úloze „průchodu světla planparalelní deskou“