

# Přesný goniometr-spektrometr S Go 1.1

## 1 Popis přístroje

### 1.1 Uspořádání

Na podstavci (1) je připevněna svislá osa přístroje, kolem které se otáčí rameno (2) s dalekohledem (3) a mikroskopem (4). Nastavení přístroj do vodorovné polohy umožňují dva stavěcí šrouby (5) a libela (6). Nad pevným hrotem (7) je nosný sloupek kolimátoru (8) s kolimátorem (9). Na podstavci (1) je ještě zásuvka pro transformátor (10), vypínač (12) a potenciometr (13) pro regulaci osvětlení v kolimátoru (9).

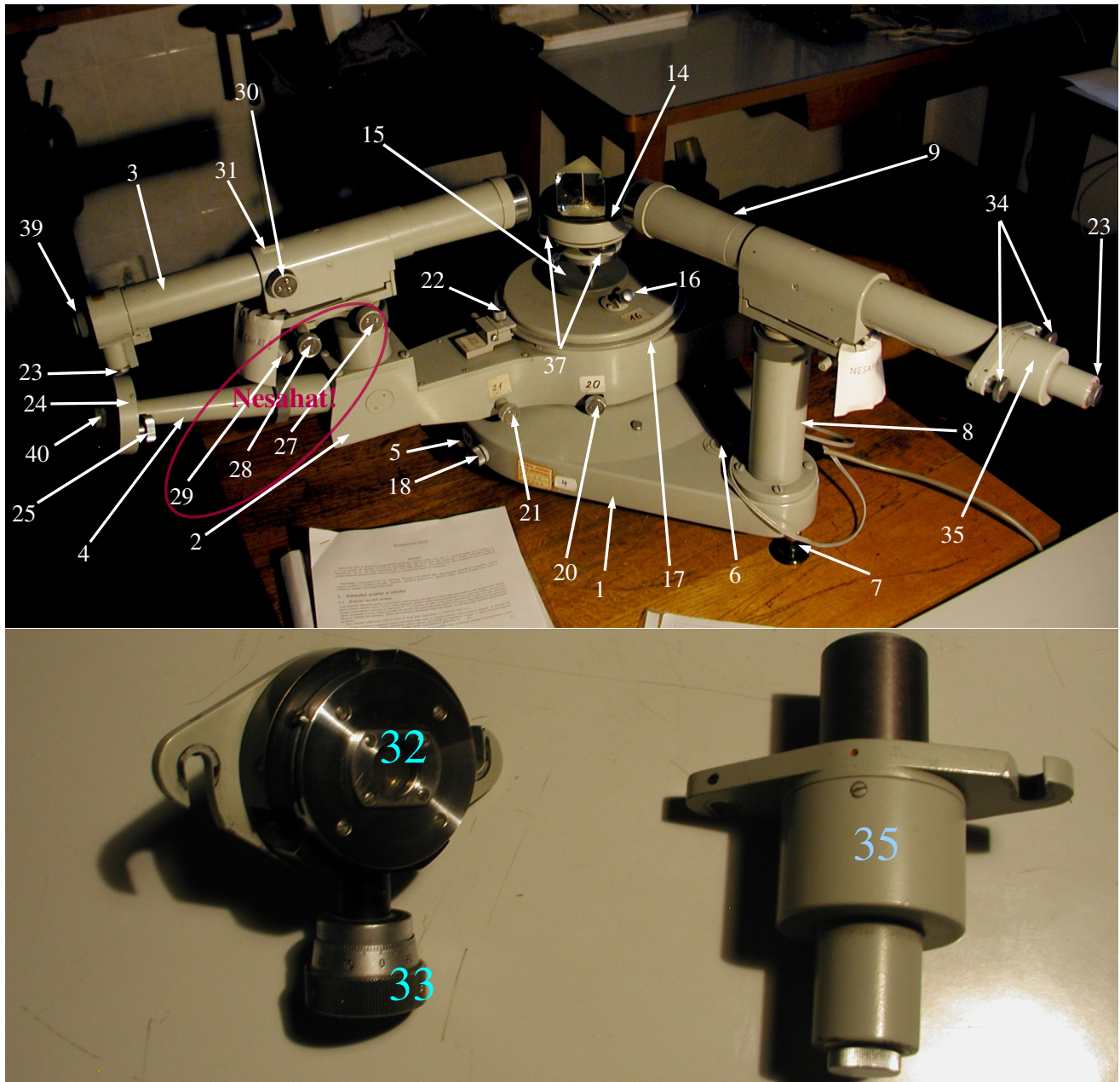
- |  |  |
|--|--|
| 1 Podstavec  | 23 Objímka pro žárovku (6 V; 0.3 A)  |
| 2 Otočné rameno  | 24 Přesné optické odečítací zařízení   |
| 3 Autokolimační dalekohled   | 25 Prstenec k jeho jemnému nastavení   |
| 4 Mikroskop pro dečitání z děleného kruhu  | 27 Šrouby pro upevnění dalekohledu. NESAHAT! Na kolimátoru je to analogické.         |
| 5 Stavěcí šrouby   | 28 Jemný posuv pro otáčení dalekohledem. NESAHAT! Na kolimátoru analogicky.          |
| 6 Libela   | 29 Šrouby pro sklánění dalekohledu. NESAHAT! Na kolimátoru analogicky.               |
| 7 Hrot   | 30 Šroub pro posouvání zaostřovací čočky   |
| 8 Nosný sloupek pro kolimátor  | 31 Stupnice pro nastavení zaostřovací čočky  |
| 9 Kolimátor  | 32 Štěrba  |
| 14 Stolek (Nezávisle otočný na děleném kruhu)  | 33 Mikrometr pro nastavení šířky štěrby, vzdálenost rysek 0.01 mm.                   |
| 15 Upínací kužel pro nastavení výšky stolu   | 34 Matky pro upevnění osvětlovacího zařízení (35) nebo štěrby (32,33) ke kolimátoru. |
| 16 Šroub pro spojení střední osy se skleněným děleným kruhem   | 35 Osvětlovací zařízení pro kolimátor  |
| 17 Prstenec pro otáčení kruhovou deskou resp. se skleněným děleným kruhem, pokud je šroub 16 utažený | 37 Stavěcí šrouby otočného stolku  |
| 18 Šroub pro upevnění osy děleného kruhu   | 38 Šroub určený k otáčení stolku   |
| 19 Jemný posuv skleněného děleného kruhu   | 39 Zaostření na stupnici v dalekohledu   |
| 20 Šroub k upevnění otočného ramene  | 40 Zaostření mikroskopu na skleněný kruh   |
| 21 Jemný posuv otočného ramene   |  |
| 22 Šroub ke spojení střední osy s otočným ramenem  |  |

Střední část osy slouží k uchycení stolku (14), který má nastavitelnou výšku a je držen upínacím kuželem (15). Na stolku je orientační dělení (36). Stolek může být nastaven do vodorovné polohy pomocí stavěcích šroubů (37).

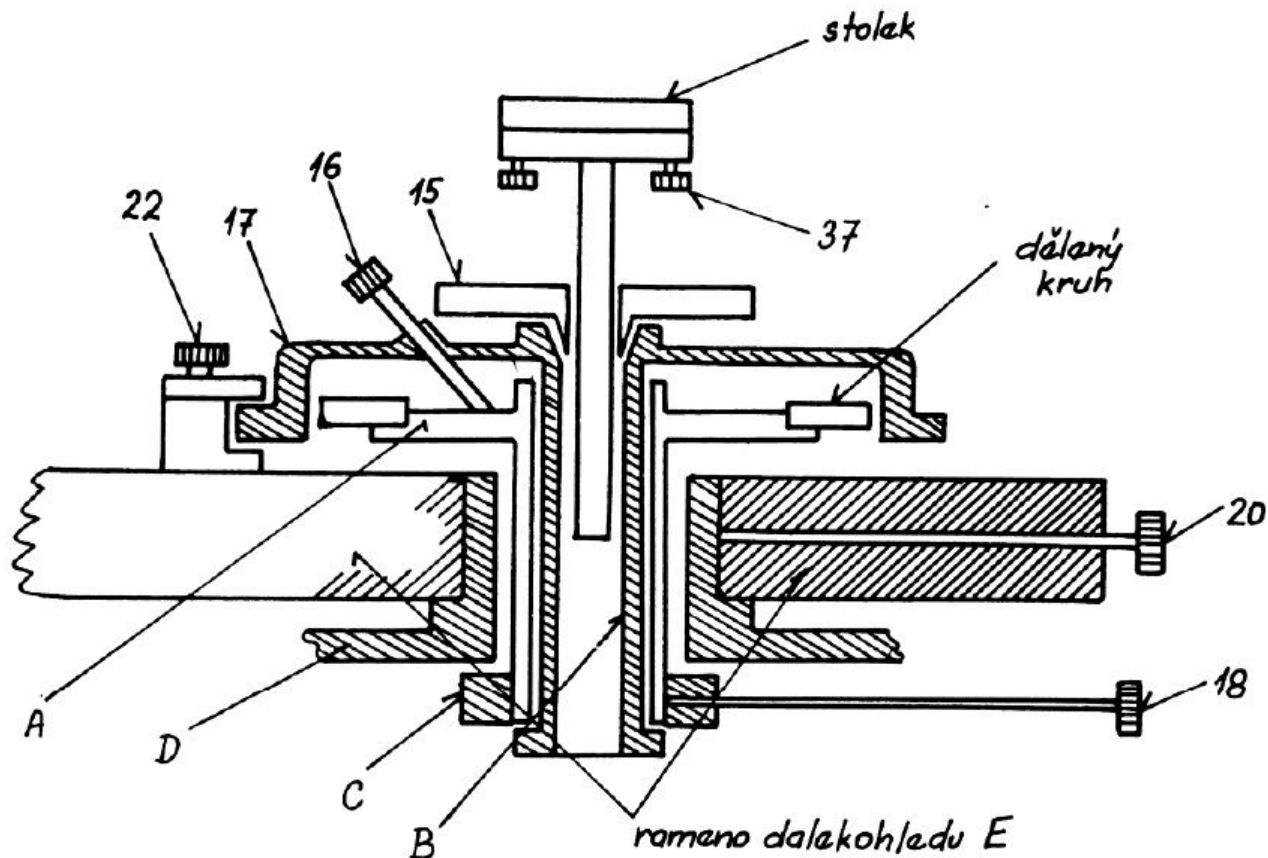
Dělený kruh, kolimátor a autokolimační dalekohled jsou osvětleny žárovkami 6 V/0.3 A (23). Hodnota úhlu se odečítá okulárem optického jemného měřícího zařízení (24), které se ovládá knoflíkem (25) a mikroskop se zaostřuje otáčením čočky (40).

Dalekohled je opatřen zaostřovací čočkou, která dovoluje měření delších ohniskových vzdáleností (12 m až  $\infty$ ). Zaostřovací čočka se ovládá knoflíkem (30), jehož posunutí se odečte na měřítku (31).

K určení lámavých a disperzních vlastností se užívá přesná štěrba (32) s jemným měřícím zařízením (33) (vzdálenost rysek je 0,01 mm).



Obrázek (1): Boční pohled na goniometr



Obrázek (2): Řez podél hlavní osy goniometru

## 1.2 Konstrukce goniometru

Konstruktivní uspořádání goniometru lze objasnit podle schématu na obrázku (2). V hlavní ose goniometru jsou tři soustředná uložení a to osa A, nesoucí dělený kruh a otáčející se v podstavci D. **Tuto osu je možné zafixovat šroubem (18) a potom jemně natáčet šroubem (19).** Uvnitř této osy se otáčí vnitřní osa B, nesoucí stolek pro hranol, pevně spojená s kruhovou deskou (17), kterou lze rukou otáčet. Obě osy A i B lze mechanicky spojit utažením šroubu (16).

Kolem obou os A i B se se ještě otáčí rameno dalekohledu E, které je možno zafixovat šroubem (20) a potom jemně natáčet šroubem (21). S ramenem dalekohledu E je možno utažením šroubu (22) pevně spojit kruhovou deskou (17) a tím i osu B.

## 1.3 Kombinace pro otáčení stolku, ramene s dalekohledem a děleného kruhu

Mezi jednotlivými částmi jsou možné následující kombinace:

1. Otáčí se jen střední osa se stolkem - vhodné pro justaci  
Šrouby (18) a (20) jsou utaženy, šrouby (16) a (22) povoleny.
2. Stolek a dělený kruh se otáčejí, rameno dalekohledu je pevné - vhodné pro měření lámavého úhlu hranolu autokolimací.

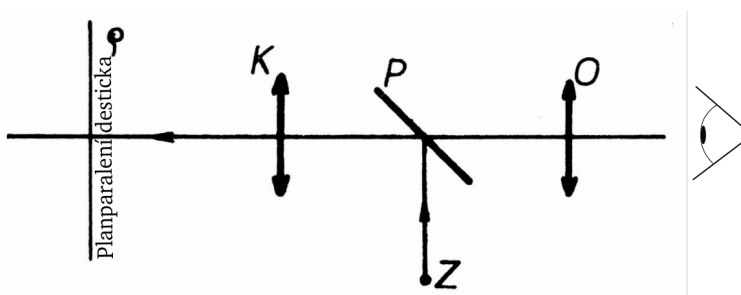
Šrouby (16) a (20) jsou utažené, šrouby (18) a (22) povolené. Je možný i jemný pohyb šroubem (19) po utažení šroubu (18).

3. Otáčí se jen rameno s dalekohledem, dělený kruh a stolek jsou pevné - vhodné pro měření lámavého úhlu hranolu metodou dělených svazků a měření indexu lomu hranolu.

Šrouby (16) a (18) utažené, šrouby (20) a (22) povolené. Po utažení šroubu (20) je možné dalekohledem jemně posouvat šroubem (21).

### 1.3.1 Autokolimační dalekohled

Možnosti měření na goniometru se rozšiřují, je-li dalekohled konstruován jako autokolimační, tj. je opatřen Gaussovým okulárem.

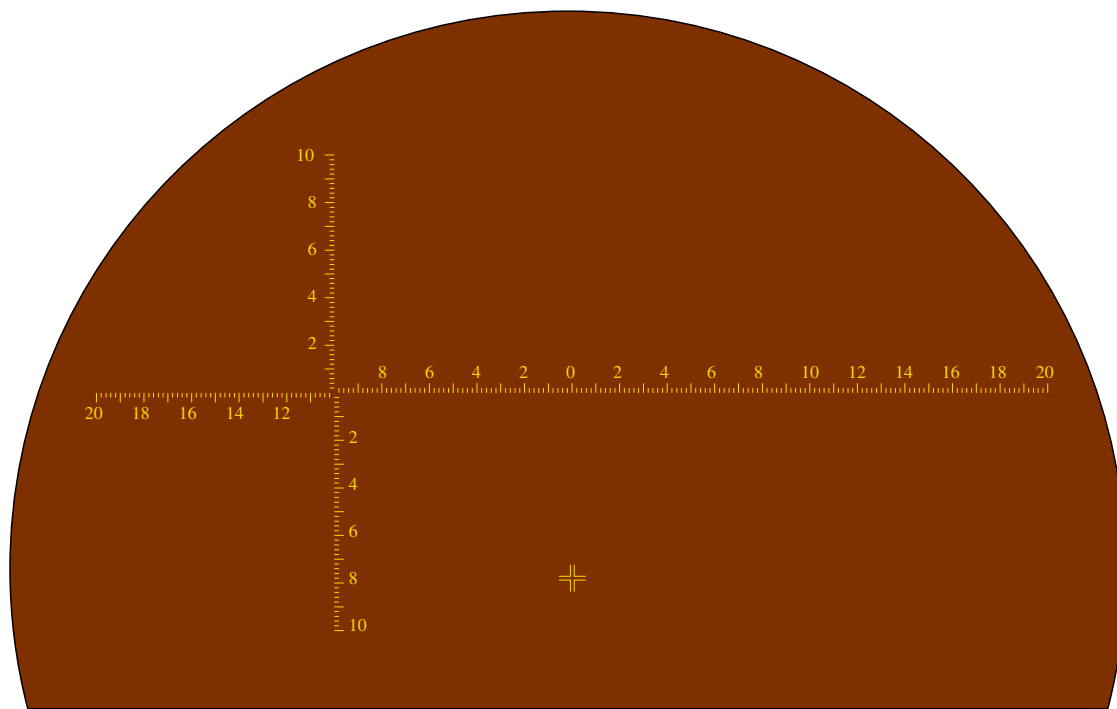


Obrázek (3): Schéma optické soustavy Gaussova okuláru

Gaussův okulár (viz obrázek 3) má mezi oční čočkou  $O$  a kolektivem  $K$  (kolektiv je od oka vzdálenější čočka okuláru) polopropustnou planparalelní desku  $P$ , svírající s optickou osou úhel  $45^\circ$ .

Tato deska odráží část světla přicházejícího od zdroje  $Z$  a osvětluje nitkový kříž v rovině  $\rho$ , který v okuláru vidíme jako světlý kříž na tmavém pozadí. Dalekohled s Gaussovým okulárem můžeme zaostřit na nekonečno pomocí rovinné zrcadlicí plochy, umístěné kolmo k optické ose dalekohledu. Touto zrcadlicí plochou může být i jedna lámavá stěna hranolu, nicméně lepší je užít planparalelní destičku. Pak pozorujeme obraz nitkového kříže vytvořený po odrazu na této ploše. Dalekohled je zaostřen na nekonečno, leží-li nitkový kříž ve stejné rovině jako jeho obraz. V tomto případě je nitkový kříž i jeho obraz vidět ostře.

## 1.4 Obraz v dalekohledu

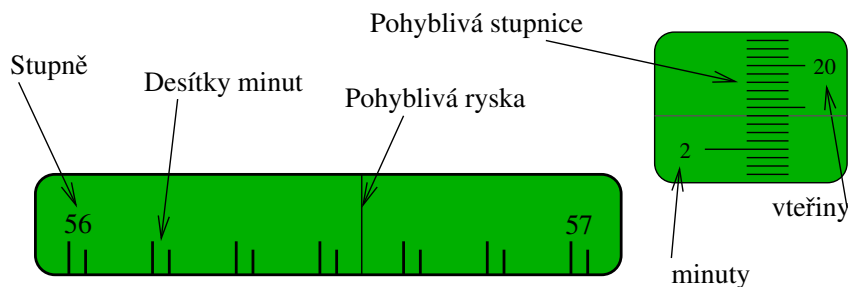


Obrázek (4):  
V temné místnosti pokud dalekohled natočíme tak, aby do něj nemířil žádný světelný zdroj, uvidíme v něm po zapnutí vnitřního osvětlení goniometru dvě světelné stupnice tvořící kříž a malý dvojitý kříž uprostřed dole. Bod 0 na vertikální světelné stupnici je vhodné použít jako referenční bod při měření úhlů (vlastní odečítání úhlu se pak provádí na skleněném kruhu pomocí přesného optického odečítacího zařízení (24).

Na kolimátor je možné připevnit buď štěrbinu (32),(33) nebo objímku s osvětlovacím zařízením (35). Uvnitř objímky je skleněná destička, na které je nitkový kříž. Ten vidíme jako tmavý kříž na světlém pozadí a slouží jako referenční bod pro justaci goniometru a pro měření lámavého úhlu hranolu s výjimkou metody autokolimací, kde kolimátor není potřebný. Výměna štěrbinou (32) za objímku (33) se provádí uvolněním matek (34) a otočením držáku s nitkovým křížem, resp. štěrbinou. Při otáčení držáku pozor na poškození přívodových kontaktů. Při výměně dbejte na to, aby červená tečka na objímce kolimátorového kříže resp. štěrbinou byla nahoře.

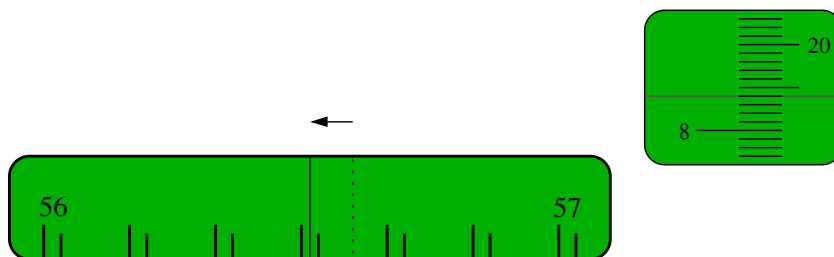
## 1.5 Odečítání z děleného kruhu

V momentě, kdy dalekohledem zaměříme nějaký objekt na referenční bod (např. zmiňovaná 0 vertikální světelné stupnice), je potřeba dalekohled (nebo skleněný kruh - viz podkapitola 1.3) zafixovat a odečíst ze skleněného kruhu úhel. Následující odstavce pojedná o tom, jak to provést.



Obrázek (5):

Na obraze děleného kruhu v mikroskopu (24) vidíme dvě stupnice. Větší vodorovná stupnice nám dává údaje o stupních a desítkách minut. Menší svislá potom jednotky minut a vteřiny, kde **rozdíl mezi ryskami činí 2''**. Otáčením šroubu (25) (nachází se na mikroskopu 24) pohybujeme ryskou na vodorovné stupnici (posunujeme se v rozmezí 10') a zároveň se posouvá celá vertikální stupnice (všimněte si, že posun o celou vertikální stupnici odpovídá posunu o jeden dílek na vodorovné stupnici).



Obrázek (6):

Na vodorovné stupnici znázorněné na obrázku (5) vidíme, že měřený úhel leží někde mezi  $56^{\circ}30'$  a  $56^{\circ}40'$ . Jednotky minut a vteřiny zjistíme tak, že šroubem (25) posuneme rysku na vodorovné stupnici přesně doprostřed nejbližší dvojčárky (viz. obrázek 6). Poté odečteme na svislé stupnici jednotky minut (číslo vlevo - např. osmá minuta se nachází mezi 8 a 9) a vteřiny (číslo vpravo - vzdálenost mezi ryskami odpovídá úhlové vzdálenosti  $2''$ ,  $0''$  odpovídá rysce s číslem minuty,  $20''$  a  $40''$  jsou očíslovány). V našem případě máme tedy úhel  $56^{\circ}38'8''$ .

## 2 Justace přístroje

Justaci goniometru provádějte vždy pouze ve spolupráci s asistentem.

### 2.1 Nastavení osy dalekohledu kolmo k hlavní ose goniometru

Toto provádí asistent pomocí planparalení destičky. Využívá se při tom autokolimace dalekohledu o které se zmíníme později. Dalekohled se při tom nastaví přesně kolmo k hlavní ose goniometru. Potom se podle dalekohledu nastaví kolimátor - viz následující odstavec. V momentě, kdy je nastaven dalekohled a kolimátor kolmo k hlavní ose goniometru, se nesmí ani dalekohled ani kolimátor natáčet (šroub 29, na kterém je cedulka NESAHAT!). Pokud se s některým z nich pohne, je měření další měření nepřesné a musí se justovat znovu.

### 2.2 Nastavení osy kolimátoru kolmo k hlavní ose goniometru

Toto rovněž provádí asistent. Na vás je, abyste před měřením správné nastavení zkontrolovali. Postup je následující:

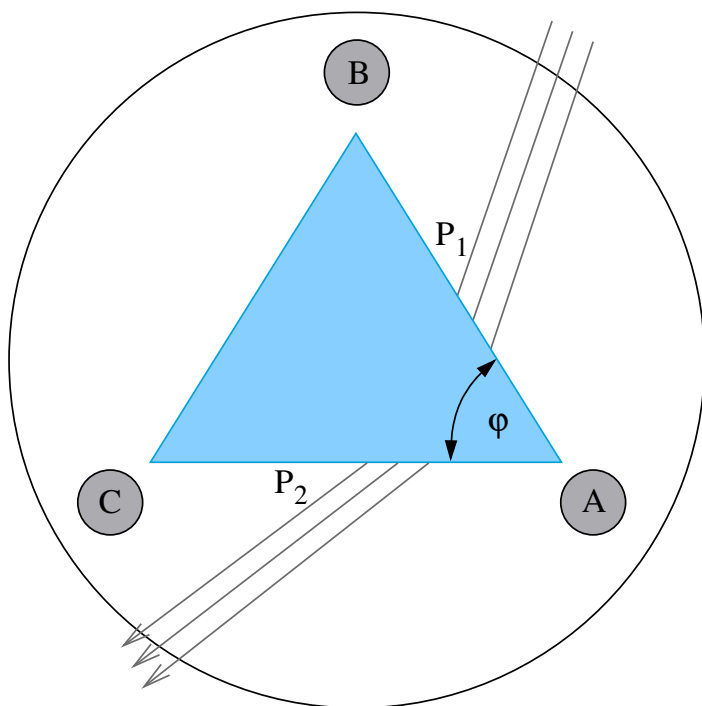
Na kolimátor připevněte objímku s osvětlovacím zařízením (35) - viz. odstavec 1.4. Dalekohled natočte tak, aby s kolimátorem byli v jedné ose. Pokud není kolimátor úplně vychýlený, tak by měl být v dalekohledu vidět tmavý nitkový kříž na světlém pozadí. Zkontrolujte, zda je vodorovná osa nitkového kříže je na hodnotě  $-10$  svislé stupnice v dalekohledu -viz obrázek v odstavci 1.4. Pokud to tak není, zavolejte asistenta.

### 2.3 Nastavení zkoumaného vzorku

Při některých měřeních (např. disperze světla v optickém hranolu u Balmerovy série) je pro přesnost nutné, aby byl i zkoumaný vzorek správně natočen - viz. dále. Nastavování vzorku se provádí autokolimačně, tj. nepotřebujeme k němu kolimátor. Při autokolimaci se využívá Gaussova okuláru, kterým je dalekohled vybaven.

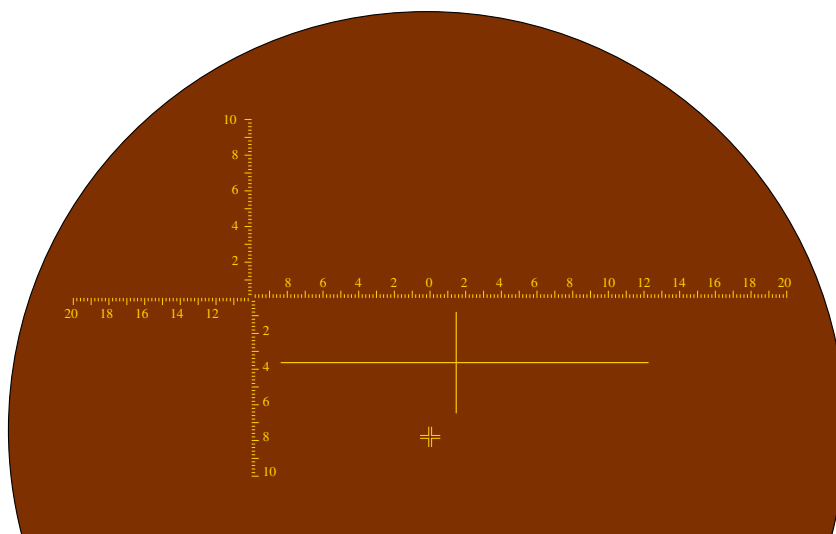
Obrázek (7):

Jak je vidět na obrázku (7), lámavé stěny hranolu  $P_1$  a  $P_2$  se protínají a jejich průsečíkem je lámavá hrana, která musí být rovnoběžná s hlavní osou goniometru. Jinak by totiž v hranolu docházelo k prostorové disperzi. Tj. nejen v rovině kolmé na osu otáčení, ale i v jiných rovinách a samozřejmě, že každá čára jinak (dle disperzní závislosti) a výsledkem by bylo, že některé spektrální čáry by byly ve svislé rovině mimo dalekohled a my bychom je tak nemohli dalekohledem vidět. Lámavá hrana hranolu bude rovnoběžná s hlavní osou goniometru tehdy, pokud světelný paprsek vycházející z dalekohledu (který je kolmý na hl. osu goniometru) je odražen oběma lámavými stěnami (jejichž průsečnice je právě ona lámavá hrana) do stejného místa (myšleno ve svislé rovině).



Deska stolku, na němž je hranol postaven, je postavena na třech stavěcích šroubech  $A, B, C$  (viz obrázek 7). Je vhodné si hranol na stolku postavit tak, jak je uvedeno na obrázku (7).

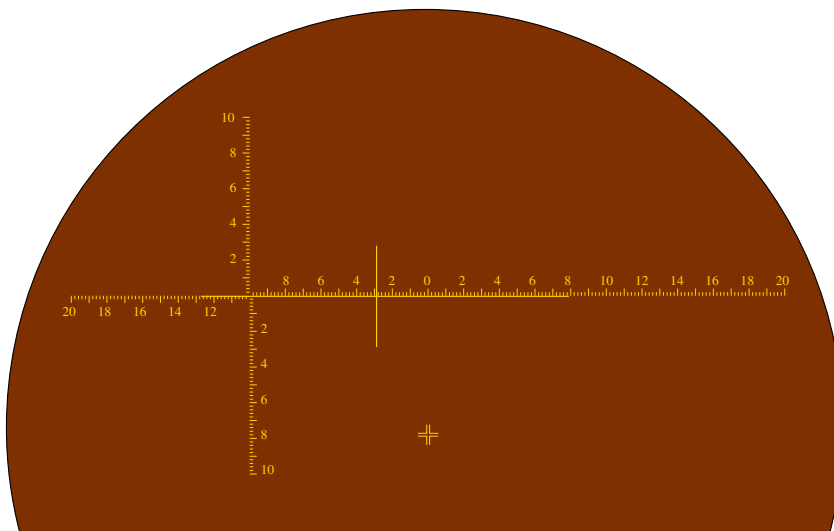
Na hranolu si vybereme jednu lámavou hranu a dále pracujeme už jen s ní. Jednotlivé úhly hranolu se totiž liší! Dále podstava hranolu není přesně kolmá na lámavou hranu. Na obr. 7 máme lámavé stěny  $P_1$  a  $P_2$ , které svírají lámavý úhel  $\varphi$  a jejich průsečnice je námi vybraná lámavá hrana, která musíme pomocí stavěcích šroubů na otočném stolku nastavit tak, aby byla rovnoběžná s hlavní osou goniometru.



Obrázek (8):

Světelný paprsek má tvar nitkového kříže. Máme-li dalekohled zaostřený na nekonečno, tak se nám vyslaný a přijatý kříž kryjí a výsledný obraz je ostrý. Odráží-li se ovšem paprsek od hranolu, vidíme v dalekohledu i odrazy kříže od vnitřních stěn. Nás ovšem bude zajímat pouze paprsek odražený od  $P_1$ , resp.  $P_2$  a to je ten nejostřejší kříž. Nejdříve budeme nastavovat polohu hranolu na základě odrazu světelného paprsku např. od stěny  $P_1$ .





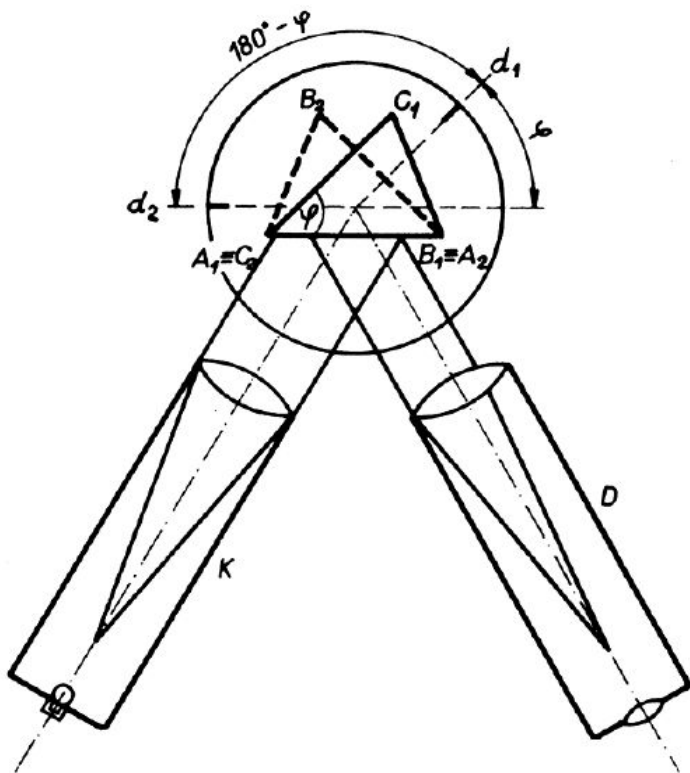
Obrázek (9):

Stavěcími šrouby  $A$ ,  $B$  a  $C$  (s každým asi o  $1/3$  odchylky) posuneme nitkový kříž do polohy 0 na svislé stupnici referenčního kříže. Pak otočíme stolkem na stěnu  $P_2$  a stavěcími šrouby stejným způsobem opět posuneme nitkový kříž do nulové svislé polohy referenčního kříže. Popsaný postup opakuje tak dlouho, až se nitkový kříž zobrazí při odrazu od jedné lámavé stěny ve stejném místě jako při odrazu od druhé stěny.

Po této proceduře je lámavá hrana rovnoběžná s hlavní osou goniometru, ale jenom ta jedna námi zvolená a to s hranolem na stolku nesmíme hnout. Pokud s ním pohneme, musíme ho zpět umístit na stolek přesně tak, jak byl umístěn při nastavování.

### 3 Měření lámavého úhlu hranolu

#### 3.1 Dalekohled a kolimátor



Obrázek (10):

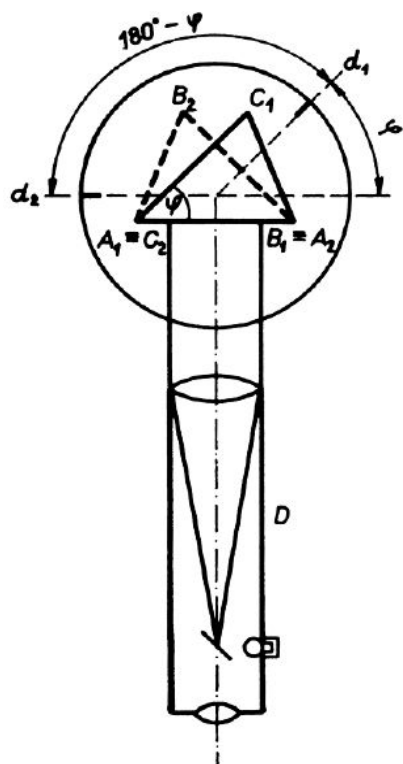
Dalekohled a kolimátor upevníme v co nejostřejším úhlu (kombinace otáčení 2 podle odstavce 1.3. Na kolimátor upevníme objímku s osvětlovacím zařízením (dbejte na to, aby červená tečka na objímce byla nahoře). V dalekohledu  $D$  budeme sledovat obraz z kolimátoru  $K$  odražený od lámavé stěny hranolu - tj. obraz tmavého nitkového kříže na světlém pozadí. Z obrázku (10) je patrné, že rozdíl mezi úhly  $d_1$  a  $d_2$ , které odečteme odečítacím zařízením (4) (v momentě, kdy máme zaměřen odraz odražený od jedné resp. druhé stěny hranolu), bude roven  $180^\circ - \varphi$ . Úhel  $\varphi$  se tedy vypočte podle

$$\varphi = 180^\circ - |d_1 - d_2|$$

Když odečítáte úhly  $d_1$  a  $d_2$ , tak se může stát, že skleněným kruhem přejedete dílek  $360^\circ$ . Mějte toto na zřeteli, abyste potom určili správné hodnoty úhlů. Toto platí pro všechny čtyři metody.



### 3.2 Autokolimace

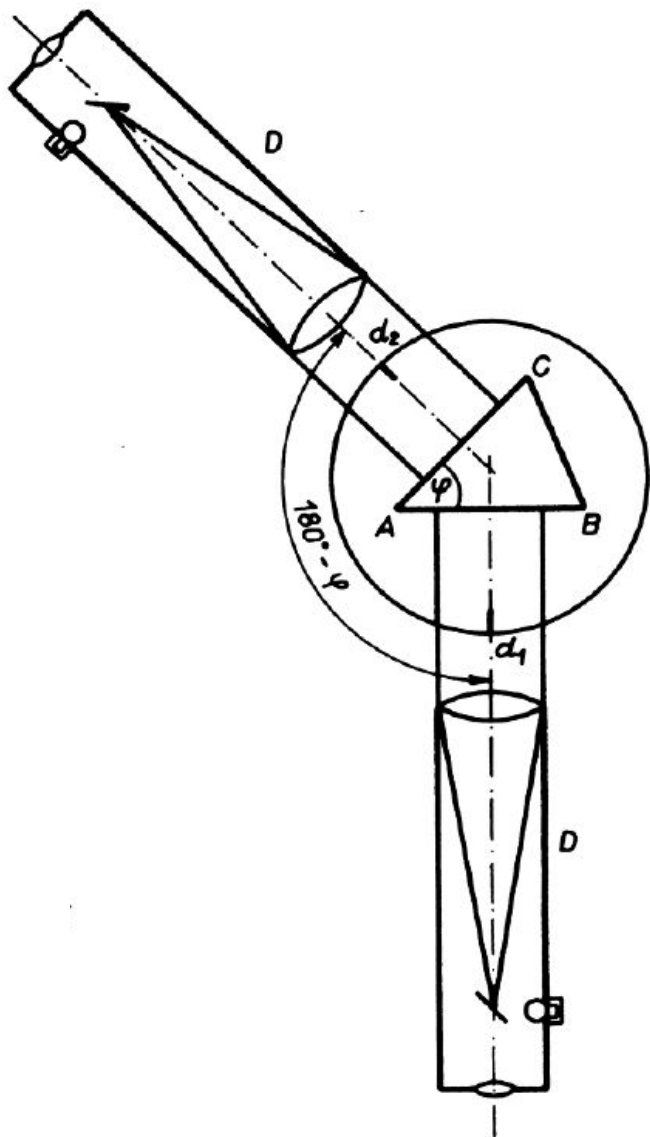


Obrázek (11):

Metoda autokolimace, jak sám název napovídá, si vystačí pouze s dalekohledem. Vzpomeňme si na odstavec 2.3. Tam jsme sledovali obraz z dalekohledu odražený od lámavé stěny hranolu zpět do dalekohledu. Toho bylo možné dosáhnout díky Gaussovu okuláru, kterým je dalekohled vybaven. Kombinace otáčení bude 2 podle odstavce 1.3 a budeme tedy sledovat světlý kříž na tmavém pozadí, jako na obrázku (8). Princip výpočtu je stejný, jako u předchozího odstavce, tedy

$$\varphi = 180^\circ - |d_1 - d_2|.$$

### 3.3 Jiný způsob autokolimací

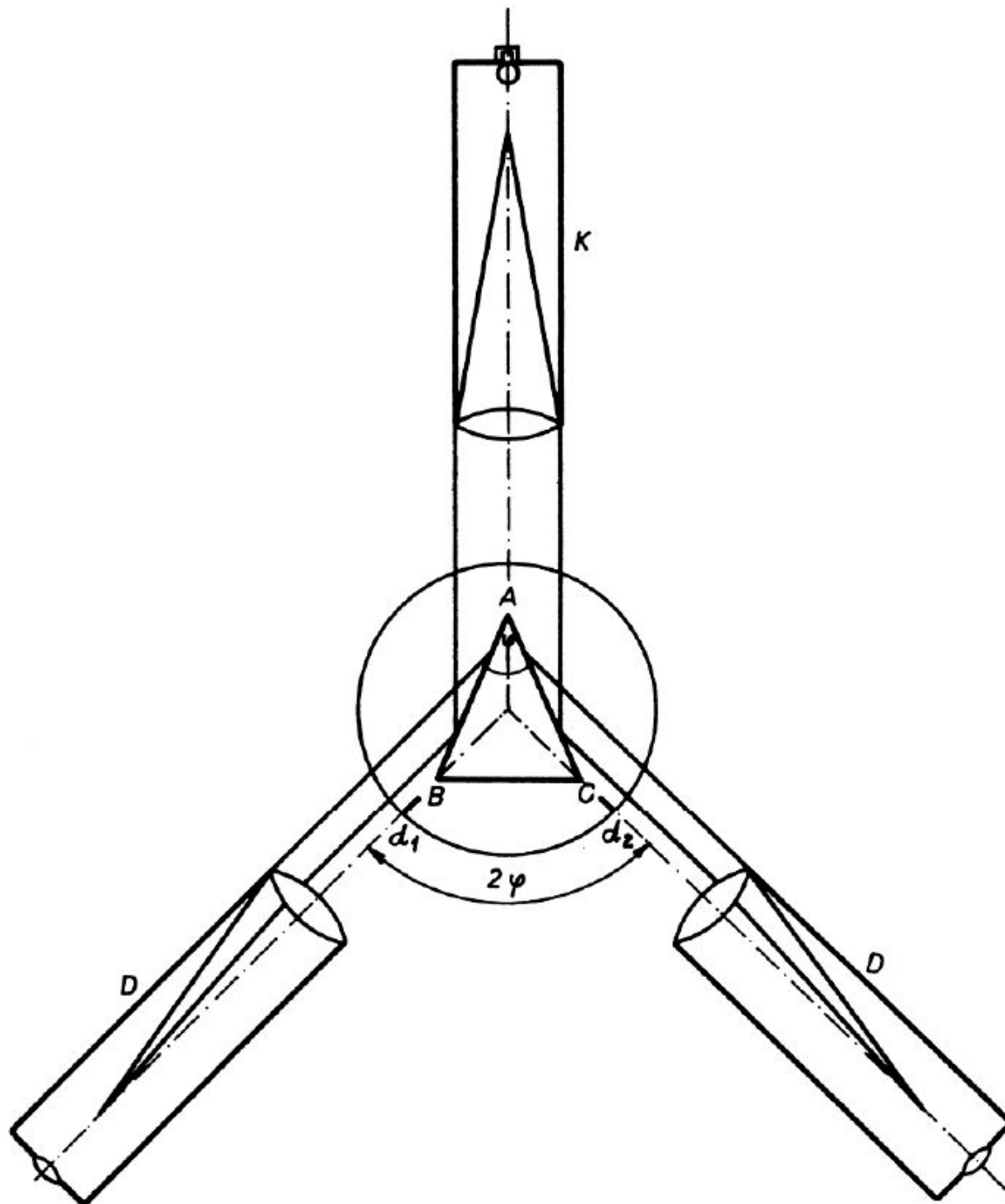


Obrázek (12):

Tato metoda je založena na stejném principu, jako ta v předchozím odstavci. Jediný rozdíl je v tom, že máme zafixovaný skleněný kruh šroubem č. 18 a otáčíme dalekohledem. Takže dle odstavce 1.3 budeme mít kombinaci otáčení číslo 3. Opět jako v předchozích dvou metodách bude

$$\varphi = 180^\circ - |d_1 - d_2|.$$

### 3.4 Metoda rozděleného svazku



Obrázek (13): Metoda rozděleného svazku

Zde použijeme kombinaci otáčení číslo 3 z odstavce 1.3. Využívá se zde kolimátoru a to tak, že hranol umístíme lámavou

hranou (tou, u které měříme úhel  $\varphi$  samozřejmě) čelem ke kolimátoru. Kolimovaný (rovnoběžný) svazek z kolimátoru (tmavý nitkový kříž na světlém pozadí) tak dopadá šikmo na obě lámavé stěny hranolu. Obě odražené poloviny svazku mezi sebou svírají úhel  $2\varphi$ . Úhel  $\varphi$  bude tedy

$$\varphi = \frac{|d_1 - d_2|}{2}$$

Každé odečítání úhlu z odečítacího zařízení (4) je zatíženo určitou chybou. Oproti předchozím třem metodám má tato metoda výhodu v tom, že případná chyba je dělena 2. Takže tato metoda je 2x přesnější, než tři předcházející metody.