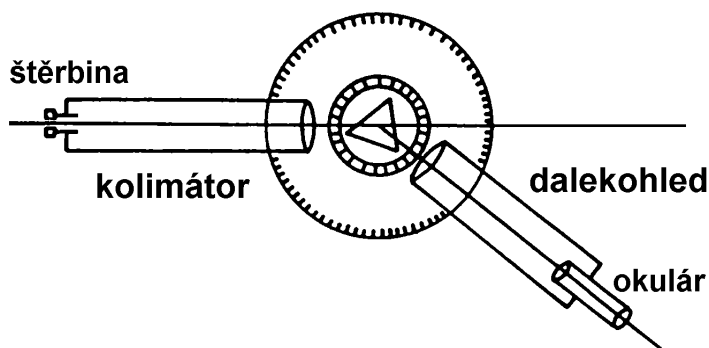


1.3 Měření indexu lomu Fraunhoferovou metodou

Postup měření

Princip Fraunhoferovy metody a potřebné vztahy jsou uvedeny v kap. 1, odd. 1.3.1. K praktickému provedení měření slouží goniometr. Goniometrem rozumíme zařízení, skládající se z kolimátoru a dalekohledu umístěných na otočném stolku tak, že se buď dalekohled, nebo dalekohled i kolimátor dají otáčet nezávisle okolo svislé osy. Na stolek lze umístit další optický prvek (v našem případě hranol či hranolovou kyvetu). Konstrukce stolku umožňuje nezávislé otáčení hranolu okolo výše zmíněné svislé osy (viz obr. 1.3–1).

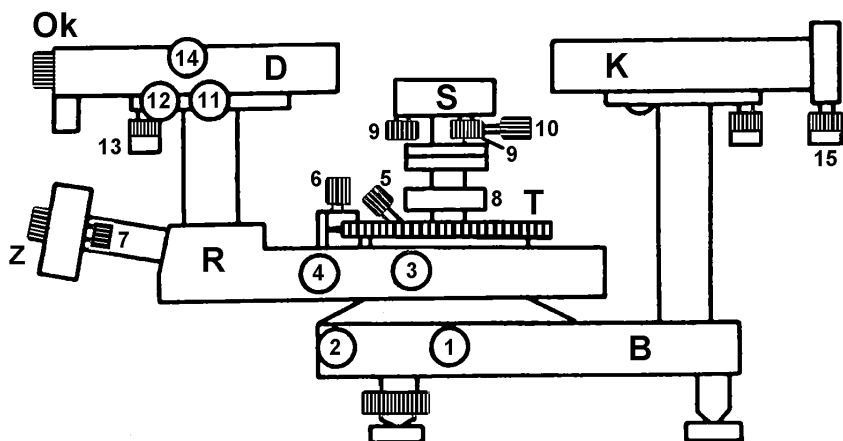


Obr. 1.3–1 Schéma goniometru

Kolimátorem nazýváme zařízení, skládající se ze spojné čočky a úzké štěrbinu rovnoběžné se svislou osou. Štěrbina je umístěna v ohniskové rovině spojné čočky. Paprsky procházející štěrbinou pak vycházejí z kolimátoru jako rovnoběžný svazek, který dopadá na hranol. Praktické provedení goniometru může být různé. V praxi máme k dispozici spektrometr – goniometr SGO 1.1 firmy Freiburger Präzisionsmechanik. Popis přístroje SGO 1.1, jeho seřízení a práce s ním

Schematický náčrt přístroje vidíme na obr. 1.3–2. Základnu přístroje tvoří stativ *B*, s nímž je pevně spojeno rameno nesoucí kolimátor *K*. Rameno *R* s dalekohledem *D* a deska *T* s vroubkovaným okrajem, která nese stolek *S*, jsou na stativu upevněny otočně kolem společné svislé osy. Ve stativu je dále vestavěn dělený kruh, otočný kolem téže osy. V rameni dalekohledu je zabudováno odečítací zařízení *Z*, kterým lze odečíst polohu dalekohledu relativně vzhledem k dělenému kruhu. Pro práci s přístrojem je třeba si zejména uvědomit funkci ovládacích prvků 1 až 6:

1. Dělený kruh lze spojit pevně se stativem *B* dotažením šroubu 1. Při jeho dotažení je možno dělený kruh vůči stativu jemně natáčet šroubem 2 v rozmezí asi 2.5° .
2. Rameno dalekohledu *R* lze spojit pevně se stativem *B* dotažením šroubu 3. Při jeho dotažení je možno rameno vůči stativu jemně natáčet šroubem 4 v rozmezí asi 3° .



Obr. 1.3–2 Goniometr SGO 1.1

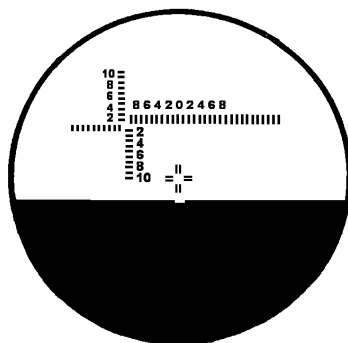
3. Desku T , která nese stolek S , lze dotažením šroubu 5 spojit pevně s děleným kruhem, dotažením šroubu 6 s ramenem dalekohledu R . Jsou-li oba tyto šrouby povoleny, můžeme desku volně otáčet, uchopíme-li ji za vroubkovaný okraj. Při otáčení ramene dalekohledu pak deska zůstává v klidu, při natáčení děleného kruhu šroubem 2 však sleduje pohyb kruhu. Při práci s přístrojem je třeba jisté opatrnosti: Dotáhneme-li šrouby $1, 3, 5, 6$, je dělený kruh přes desku a rameno dalekohledu pevně spojen se stativem. Nesmíme se pak pokoušet pohnout jím otáčením šroubu 2 !

S využitím uvedených možností může přístroj sloužit k řadě účelů. Pro měření v této úloze dostačí, ponecháme-li šroub 1 dotažený, šroub 6 povolený a šroub 2 v klidu. Pracujeme pak s pevným děleným kruhem, šrouby $3, 4$ slouží k ovládání dalekohledu, šroub 5 k upevnění stolku. Funkce dalších ovládacích prvků je většinou zřejmá z jejich umístění. Stolek S lze naklánět šrouby 9 a zvyšovat či snižovat, povolíme-li matici 8 . Při povoleném šroubu 10 lze stolek otáčet nezávisle na desce T a otočení odečíst na pomocné stupnici, nastavení je však poměrně hrubé a proto ho nabudeme používat. Šířka štěrby kolimátoru se mění otáčením bubínku 15 se stupnicí, jejíž jeden dílek odpovídá $0,01$ mm.

Seřízení dalekohledu a kolimátoru

Okulár dalekohledu Ok je opatřen autokolimačním zařízením v podstatě stejným jako Gaussův okulár popsáný v úloze 4.4 Mřížkový spektrometr. Namísto polopropustné destičky je však zde k osvětlení užito totálně reflektujícího hranolku, takže autokolimační nitkový kříž není přímo viditelný a spolu s hranolkem je umístěn poněkud pod optickou osu, aby nerušil při pozorování. Vzhled zorného pole je zjednodušeně znázorněn na obr. 1.3–3.

Neosvětlená dolní úseč, v níž je umístěn autokolimační kříž, je zacloněna osvětlovacím hranolkem. Dvojitý nitkový kříž uprostřed kruhového pole vyznačuje směr optické



Obr. 1.3–3 Zorné pole okuláru goniometru SGO 1.1

osy dalekohledu. Dále jsou v zorném poli umístěny dvě stupnice – vodorovná a svislá. Je-li proti dalekohledu umístěna odrazějící rovinná plocha přesně kolmá k jeho optické ose, vytváří se obraz autokolimačního kříže v místě nad osou tak, že rysky kříže procházejí nulovými body obou stupnic. Je-li odrazějící plocha poněkud odchýlena, je obraz kříže posunut a na stupnicích je možno odečíst úhly sklonu plochy ve vodorovném a svislém směru. Čísla na stupnicích udávají úhlové minuty.

K nastavení dalekohledu nejprve zapneme osvětlení vypínačem na stativu a šroubováním okuláru *Ok* zaostříme dvojitý kříž a stupnice. Na stolek goniometru postavíme planparalelní desku z příslušenství přístroje a nastavíme ji zhruba kolmo k dalekohledu tak, aby v zorném poli byl viditelný odraz autokolimačního kříže. (K hrubému nastavení sklonu desky ve svislém směru lze využít toho, že odraz je viditelný i pouhým okem, vytočíme-li planparalelní desku se stolkem poněkud do strany). Odraz autokolimačního kříže v dalekohledu zaostříme otáčením hlavičky *14*, čímž nastavíme dalekohled na nekonečno.

Směr dalekohledu ve vodorovném směru můžeme hrubě nastavit při povoleném šroubu *11*, po jehož dotažení lze směr ještě jemně dostavit šroubem *12*. Toto nastavení není kritické a dostačuje, míří-li dalekohled přibližně na střed stolku. Při měření ovšem nesmíme se šrouby *11*, *12* manipulovat. Sklon dalekohledu ve svislém směru je třeba šroubem *13* nastavit tak, aby optická osa dalekohledu byla kolmá k hlavní ose goniometru, kolem níž se otáčí dalekohled a stolek. K tomu využijeme opět planparalelní desky, kterou nastavíme užitím autokolimačního zařízení přesně kolmo k ose dalekohledu. Otočíme-li nyní stolek o 180° , musí kolmost zůstat zachována. Není-li to splněno, je třeba polovinu odchyly korigovat otočením šroubu *13*, druhou polovinu změnou sklonu stolku šrouby *9*. Opětovnou korekcí odchyly střídavě v obou polohách stolku dosáhneme rychle správného nastavení.

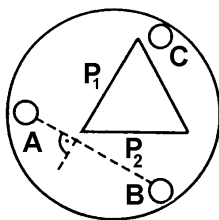
Směr kolimátoru se seřizuje podobným způsobem jako u dalekohledu. Nastavení ve vodorovném směru opět není kritické. Ani sklon ve svislém směru v běžném provozu v praxi nenastavujeme. Je toho zapotřebí pouze výjimečně při hrubě porušeném nastavení přístroje, například po jeho novém sestavení. Pak je třeba vyměnit v kolimátoru šterbinu za pomocný nitkový kříž a jeho obraz ztotožnit s dvojitým křížem v zorném poli dalekohledu. Osvětlení pomocného kříže lze regulovat reostatem umístěným ve stativu goniometru. Při nasazování a zejména při snímání pomocného kříže

je třeba postupovat opatrně, aby se nezdeformovaly kontakty sloužící k osvětlení kříže.

Vzdálenost mezi štěrbinou a čočkou kolimátoru je pevně nastavena a nelze ji měnit. Při neostřím obrazu je proto třeba opravit zaostření dalekohledu hlavici 14. Zaostření dalekohledu je někdy třeba změnit i při vlastním měření, nejsou-li stěny hranolu či kyvety dostatečně přesně rovinné.

Nastavení hranolu, měření lámavého úhlu

Na stolek seřízeného spektrometru položíme měřený hranol. Sklon stolku je třeba trojicí šroubů 9 nastavit tak, aby každá z lámavých stěn byla při vhodném natočení dalekohledu přesně kolmá k jeho optické ose, potom je lámavá hrana rovnoběžná s hlavní osou přístroje. Užijeme opět autokolimačního kříže, jehož vodorovná ryska musí po odrazu na jedné či druhé lámavé stěně procházet nulou svislé stupnice.



Obr. 1.3–4 Nastavení měřeného hranolu na stolek goniometru

Aby nastavení jedné stěny nerušilo dřívější nastavení stěny druhé, je účelné umístit hranol na stolek podle obr. 1.3–4; alespoň jedna lámavá stěna (stěna P_1 na obr. 1.3–4) má být přibližně kolmá na spojnici dvou nastavovacích šroubů A , B . Kolmost stěny P_2 k ose dalekohledu je pak třeba nastavovat šroubem C , neboť přitom se stolek otáčí kolem osy AB a rovina P_1 , kolmá k této ose, svou orientaci nemění. Z podobných důvodů stěnu P_1 nastavujeme šroubem A . Opakujeme-li několikrát po sobě střídavě nastavení jedné a druhé stěny, najdeme poměrně rychle správnou polohu hranolu. Nyní upevníme stolek dotažením šroubu 5 a dalekohled postupně nastavíme — nejprve hrubě, pak po dotažení šroubu 3 jemně šroubem 4 — do polohy kolmé k oběma stěnám. Odečteme-li na děleném kruhu příslušné úhly α_1 , α_2 , je lámavý úhel

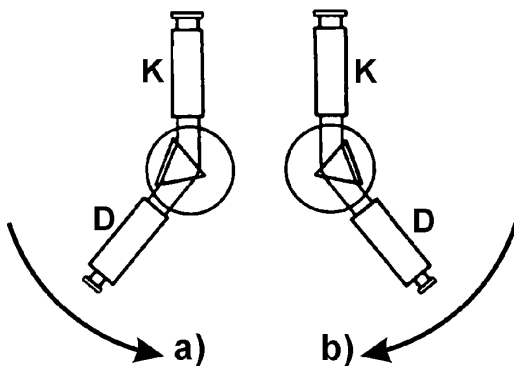
$$\varphi = |180^\circ - |\alpha_2 - \alpha_1||. \quad (1)$$

Při každém odečtení na děleném kruhu by měl být dalekohled upevněn dotažením šroubu 3. V zorném poli odečítacího zařízení vidíme jednak několik dvojitých rysek hlavní stupnice dělené po $10'$, dále odečítací rysku, kterou je možno posunovat otáčením hlavice 7 a konečně zcela vpravo pomocnou stupnici, jejíž pohyb je spřažen s posuvem odečítací rysky. Pomocná stupnice slouží k interpolaci: posuneme-li otáčením hlavice 7 odečítací rysku přesně do středu dvojice rysek hlavní stupnice, udává pomocná stupnice počet minut a vteřin, které je třeba k údaji hlavní stupnice přičíst. Abychom vyloučili vliv mrtvého chodu pomocné stupnice, je třeba při nastavování posouvat odečítací rysku vždy ve směru zleva doprava, tj. na pomocné stupnici postupovat od nuly k vyšším hodnotám. Ještě vysvětlíme, proč jsou rysky hlavní stupnice dvojité : vlastní rysky na děleném kruhu jsou totiž jednoduché a každá dvojice rysek

v zorném poli se získává optickým zobrazením ze dvou rysek umístěných v protilehlých místech děleného kruhu. Nastavením odečítací rysky na střed dvojice tedy vyloučíme vliv excentricity děleného kruhu podobně, jako se to provádí u spektrometru v úloze 4.4 Mřížkový spektrometr odečítáním na dvou protilehlých noniích.

Určení minimální odchylky

Štěrbinu kolimátoru poněkud rozšíříme a osvětlíme rtuťovou výbojkou. V příslušném uspořádání (obr. 1.3–5a) otáčíme dalekohledem, až najdeme obraz spektra. Štěrbinu kolimátoru potom vhodně zúžíme.



Obr. 1.3–5 Stanovení minimální deviace

Otáčíme desku T se stolcem takovým směrem, aby se odchylka vystupujícího paprsku od osy kolimátoru zmenšovala. Přitom synchronně otáčíme ramenem s dalekohledem D tak, aby sledovaná čára spektra neopustila zorné pole dalekohledu. Najdeme polohu, kde se při otáčení stolku stále stejným směrem čára zastaví a začne se vracet. Otáčením desky T přesně nastavíme čáru do její krajní polohy a otočením dalekohledu ji nařídíme do středu dvojitého nitkového kříže. Na děleném kruhu odečteme polohu dalekohledu β_1 . Stejně měření provedeme pro symetrickou polohu dalekohledu a hranolu podle obr. 1.3–5b a získáme hodnotu β_2 . Minimální odchylku lze vypočítat jako

$$\delta_{min} = \frac{|\beta_2 - \beta_1|}{2} \quad (2)$$

za předpokladu, že při otáčení dalekohledu z polohy 5a do polohy 5b jsme nepřešli přes nulu stupnice děleného kruhu. V opačném případě je třeba užít vztahu

$$\delta_{min} = 180^\circ - \frac{|\beta_2 - \beta_1|}{2}. \quad (3)$$

Pokyny k měření

- S ovládacími prvky je třeba manipulovat ohleduplně a nepoužívat násilí, abyste nepoškodili jemné závity a součástky přístroje.
- Otáčíte-li dalekohledem, uchopte jej za rameno R , nikoliv za jeho tubus.
- Před naplněním glycerinem je vhodné kyvetu vysušit. Jinak je třeba delšího míchání, než se kapky ulpělé na stěnách v glycerinu rozmíchají a kapalina se stane opticky homogenní.

TABULKA SPEKTRÁLNÍCH ČAR RTUTI

Barva	Relativní intenzita orientačně ¹⁾	Vlnová délka (nm)
červená	1	690.7
červená	0.8	671.6
červená	0.8	623.4
červená	0.3	612.3
červená	0.5	607.3
žlutá	10	579.1
žlutá	2	577.0
zelená	20	546.1
modrozelená	0.5	491.6
modrá	5	435.8
modrá	0.5	434.8
modrá	0.2	433.9
fialová	1.5	407.8
fialová	3	404.7

¹⁾ Čáry ve spektru identifikujeme především podle barvy a porovnáním jejich spektrálních poloh s hodnotami vlnových délek. Intenzity nemusí být zcela bezpečným vodítkem: vizuálně je lze pouze zhruba odhadnout, navíc mohou záviset na typu výbojky a na jejím pracovním režimu.