

# Úloha 1

## Měření vlnových délek relativní metodou goniometrem

### 1.1 Úkol měření

1. Pečlivě prostudujte návod k použití goniometru v dodatku F na straně 179.
2. Změřte lámavý úhel hranolu.
3. Proměřte goniometrem s daným hranolem minimální deviace alespoň tři barevných čar ve spektru sodíkové výbojky.
4. Vyneste do grafu disperzní křivku hranolu  $N = N(\lambda)$  v rozsahu vlnových délek 400-650 nm.
5. Určete charakteristickou disperzi pro každou naměřenou spektrální čáru. Pro příslušné vlnové délky stanovte rovněž rozlišovací schopnost a úhlovou disperzi hranolu.

### 1.2 Obecná část

#### 1.2.1 Index lomu, disperze

Důležitou optickou vlastnost látek popisuje *absolutní index lomu*  $N$ . Je dán podílem rychlosti světla ve vakuu  $c$  a rychlosti světla v dané látce  $v$  jako

$$N = \frac{c}{v}. \quad (1.1)$$

Index lomu definovaný rovnicí (1.1) představuje charakteristickou veličinu dané látky<sup>1</sup>. Všechny látky vykazují *disperzi*, tj. jejich index lomu je závislý na vlnové délce světla  $N = N(\lambda)$ . Při měření disperzních závislostí ve viditelné oblasti se obvykle užívá vhodných spektrálních čar prvků.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Platí v tomto jednoduchém tvaru pouze pro *izotropní látky*, tj. látky jejichž index lomu je nezávislý na směru šíření světla. V dalším textu předpokládáme izotropní látky.

<sup>2</sup>Některé spektrální čáry vybraných prvků jsou uvedeny v tabulce 1.2 na straně 141.

Pro mnohé účely (např. stanovení rozlišovací schopnosti hranolu) je třeba znát tzv. *charakteristickou disperzi* látky  $dN/d\lambda$ , kterou je možné určit derivováním disperzní závislosti  $N = N(\lambda)$ , je-li známé její analytické vyjádření. Průběh disperzní závislosti se aproximuje různými vzorci. Velmi užívaný a pro běžné účely vyhovující je vzorec

$$N = N_n + \frac{C}{\lambda - \lambda_n}, \quad (1.2)$$

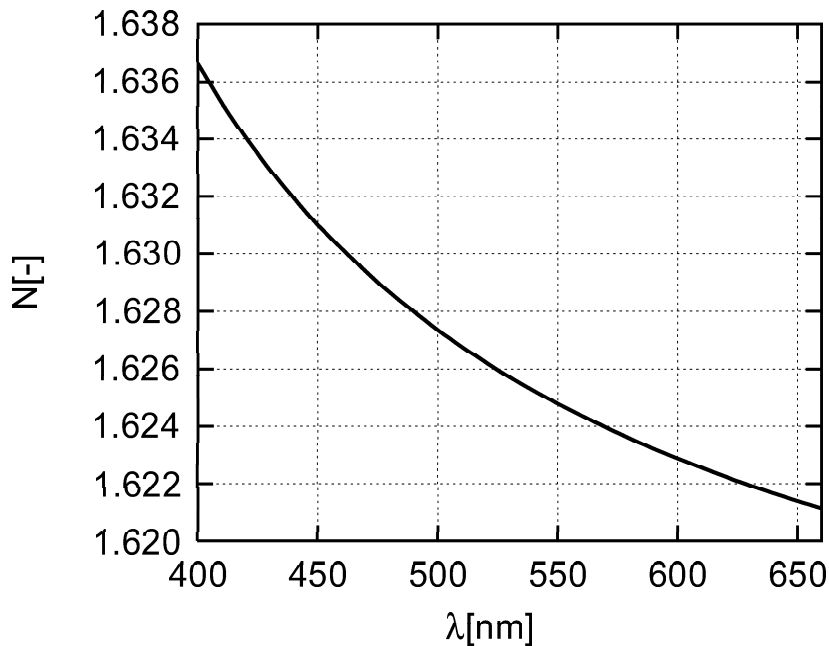
kde  $N_n$ ,  $C$  a  $\lambda_n$  jsou konstanty, které je možno určit z měření indexu lomu pro tři různé vlnové délky pomocí vztahů

$$C = \frac{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)(-N_1 + N_2)(N_1 - N_3)(N_2 - N_3)}{(-\lambda_2 N_1 + \lambda_3 N_1 + \lambda_1 N_2 - \lambda_3 N_2 - \lambda_1 N_3 + \lambda_2 N_3)^2}, \quad (1.3)$$

$$N_n = \frac{\lambda_1 N_1 N_2 - \lambda_2 N_1 N_2 - \lambda_1 N_1 N_3 + \lambda_3 N_1 N_3 + \lambda_2 N_2 N_3 - \lambda_3 N_2 N_3}{-\lambda_2 N_1 + \lambda_3 N_1 + \lambda_1 N_2 - \lambda_3 N_2 - \lambda_1 N_3 + \lambda_2 N_3}, \quad (1.4)$$

$$\lambda_n = \frac{\lambda_1 \lambda_2 N_1 - \lambda_1 \lambda_3 N_1 - \lambda_1 \lambda_2 N_2 + \lambda_2 \lambda_3 N_2 + \lambda_1 \lambda_3 N_3 - \lambda_2 \lambda_3 N_3}{\lambda_2 N_1 - \lambda_3 N_1 - \lambda_1 N_2 + \lambda_3 N_2 + \lambda_1 N_3 - \lambda_2 N_3}, \quad (1.5)$$

kde  $N_1$ ,  $N_2$  a  $N_3$  jsou změřené indexy lomu a  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  a  $\lambda_3$  odpovídající vlnové délky.



Obrázek 1.1: Typický průběh disperzní křivky.

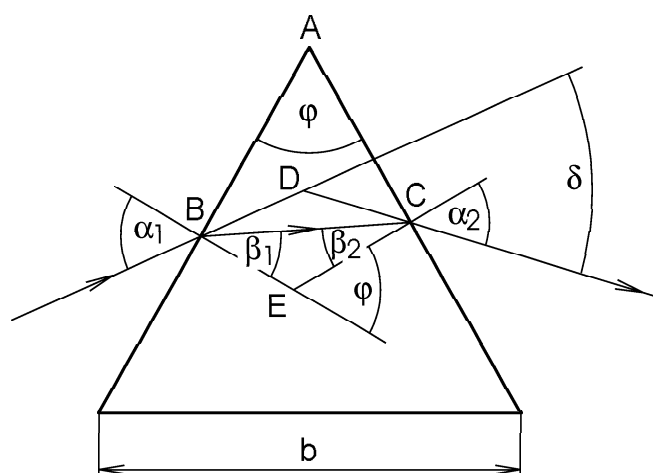
## 1.2.2 Lom světla hranolem

Použití hranolu jako disperzní soustavy je umožněno tím, že index lomu látek je závislý na vlnové délce světla (viz odstavec 1.2.1).

Na obr. 1.2 je znázorněn chod paprsků hranolem. Dvě stěny, které se protínají v hraně A, jsou lámavé stěny hranolu. Úhel, který svírají, je *lámavý úhel* hranolu  $\varphi$ . Paprsek monochromatického světla dopadá na první stěnu pod úhlem  $\alpha_1$ , láme se do hranolu pod úhlem  $\beta_1$ , dopadá na druhou stěnu pod úhlem  $\beta_2$  a láme se ven pod úhlem  $\alpha_2$ . Paprsek vycházející do hranolu svírá s paprskem vycházejícím z hranolu úhel  $\delta$ . Tento úhel se nazývá *deviace*. Pro funkci hranolu ve spektrálním přístroji je výhodné, aby  $\delta$  bylo minimální. Je známo, že tato podmínka je splněna, jestliže paprsek uvnitř hranolu se šíří kolmo k ose lámavého úhlu hranolu  $\varphi$ . Pro index lomu hranolu  $N$  pak platí

$$N = \frac{\sin \left[ \frac{1}{2}(\delta_{min} + \varphi) \right]}{\sin \left( \frac{\varphi}{2} \right)}, \quad (1.6)$$

kde  $\delta_{min}$  je minimální deviace, která přísluší studované vlnové délce. Tento vztah umožňuje stanovit index lomu průhledné látky, z níž je zhotoven hranol tak, že goniometrem změříme jeho lámavý úhel a stanovíme minimální deviaci pro několik vybraných spektrálních čar. Jak bylo výše řečeno, index lomu (a tedy i minimální deviace) závisí na použité vlnové délce světla.



Obrázek 1.2: Průchod světelného paprsku hranolem.

### 1.2.3 Úhlová disperze hranolu

*Úhlová disperze* charakterizuje disperzní vlastnosti soustavy ve sledované spektrální oblasti. Označme symbolem  $\delta$  odchylku paprsku určité vlnové délky  $\lambda$  od původního směru po průchodu soustavou. Bude-li soustavou procházet světlo obsahující všechny vlnové délky z určitého intervalu, bude možné vyjádřit hodnoty úhlu příslušející jednotlivým vlnovým délkám pomocí funkční závislosti  $\delta = \delta(\lambda)$ . Úhlová disperze je veličina, která udává, jak rychle se mění úhel  $\delta$  s vlnovou délkou. Je definována jako derivace

$$\frac{\delta}{\lambda}. \quad (1.7)$$

Pro úhlovou disperzi hranolu v minimální deviaci lze tuto definici rozepsat do tvaru

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{2 \sin \left( \frac{\varphi}{2} \right)}{\sqrt{1 - N^2 \sin^2 \left( \frac{\varphi}{2} \right)}} \frac{N}{\lambda}. \quad (1.8)$$

Z tohoto vztahu vidíme, že úhlová disperze hranolu závisí na vlnové délce jednak přes charakteristickou disperzi materiálu hranolu  $dN/d\lambda$  a rovněž přes index lomu  $N$  ve jmenovateli prvního členu. Úhlová disperze hranolu je tedy poměrně složitou funkcí vlnové délky.

### 1.2.4 Rozlišovací schopnost hranolu

Rozlišovací schopnost určuje minimální diferenci vlnových délek  $\Delta\lambda$ , které mohou být přístrojem ještě rozlišeny. Jako rozlišovací schopnost spektrálního přístroje se obvykle definuje veličina  $R$ , daná vztahem

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}. \quad (1.9)$$

Pro rozlišovací schopnost hranolu v minimální deviaci platí

$$R = b \frac{N}{\lambda}, \quad (1.10)$$

kde  $b$  je šířka podstavy hranolu a  $dN/d\lambda$  charakteristická disperze materiálu hranolu.

### 1.2.5 Materiál hranolu

Při výrobě hranolu jde především o to, aby hranol měl co největší úhlovou disperzi a aby v něm docházelo k co nejmenším ztrátám světla absorpcí. Rovněž je zapotřebí, aby disperze nezávisela příliš na teplotě, aby látka byla dobře opracovatelná a opracovaný povrch byl odolný vůči vlivům atmosféry. Pro viditelnou oblast se zhotovují hranoly výhradně z optického skla. Různých druhů skla je možné použít v rozmezí vlnových délek 360 až 2000 nm. Používá se hlavně skla flintového, které má velkou disperzi. Pro ultrafialovou a infračervenou oblast je nutno volit jiné materiály. V tabulce 1.1 jsou uvedeny nejužívanější materiály spolu s udáním oblasti použitelnosti.

Název látky	Značka	Forma	Použitelná spektrální oblast [nm]
Tavený křemen		amorfní	200-320
Flintové sklo		amorfní	360-2800
Kamenná sůl	NaCl	krystalická	210-16000
Lithiumfluorid	LiF	krystalická	300-5700
Kaliumbromid	KBr	krystalická	1000-25000

Tabulka 1.1: Použitelné spektrální obory pro látky nejvíce používané k výrobě hranolů.

### 1.2.6 Srovnání hranolu a mřížky

Porovnejme nyní rozlišovací schopnosti hranolu a mřížky pro vlnovou délku 550 nm. Uvažujme hranol o základně 5 cm s charakteristickou disperzí  $dN/d\lambda = 10^3 \text{ cm}^{-1}$ , což odpovídá přibližně flintovému sklu. Rozlišovací schopnost je tedy  $5 \cdot 10^3$ , to znamená, že můžeme rozlišit vlnové délky o rozdílu  $\Delta\lambda = 5, 5 \cdot 10^{-5} (1/5 \cdot 10^{-3}) \text{ cm} = 1, 1 \cdot 10^{-8} \text{ cm} = 0, 11 \text{ nm}$ .

Rozlišovací schopnost mřížky je dána jako součin řádu a celkového počtu vrypů mřížky. Optická mřížka o celkové šířce ryté plochy 5 cm s hustotou čar 1100 čar/mm, tedy s celkovým počtem čar 55000, má v prvním řádu rozlišovací schopnost  $5,5 \cdot 10^4$ , v druhém  $1,1 \cdot 10^5$ . To znamená, že v prvním řádu můžeme teoreticky rozlišit diferenci vlnových délek  $\Delta\lambda = 5,5 \cdot 10^{-5} / (5,5 \cdot 10^4)$  cm = 0,01 nm a v druhém řádu 0,005 nm. To je desetkrát resp. dvacetkrát lepší rozlišovací schopnost nežli u hranolu srovnatelných rozměrů. V této souvislosti rovněž připomeňme, že kombinace mřížky na odraz se zrcadlovou optikou představuje soustavu použitelnou ve velkém rozsahu vlnových délek. Takto konstruované systémy dnes zatlačují jiné konstrukce.

### 1.2.7 Sodíková výbojka

Jako zdroje světla s čárovým spektrem se často používá sodíková výbojka. Tato výbojka dává charakteristické žluté světlo, obsahující především tzv. sodíkový dublet, který je tvořen dvěma čarami o vlnových délkách  $\lambda_1 = 589,0$  nm,  $\lambda_2 = 589,6$  nm. Vzhledem k tomu, že za pokojové teploty je sodík v pevné fázi, bývá sodíková výbojka plněna ještě neónem. Po zapnutí proudu se zapálí nejdříve výboj v neónu, čímž se výbojka zahřeje na teplotu nutnou k vytvoření takového tlaku sodíkových par, jakého je zapotřebí k udržení výboje. Aby se dosáhlo potřebné pracovní teploty baňky, která činí asi 270 °C, bývá výbojka opatřena ještě vnějším skleněným obalem. Provozní tlak ve výbojce bývá několik desetin pascalu.

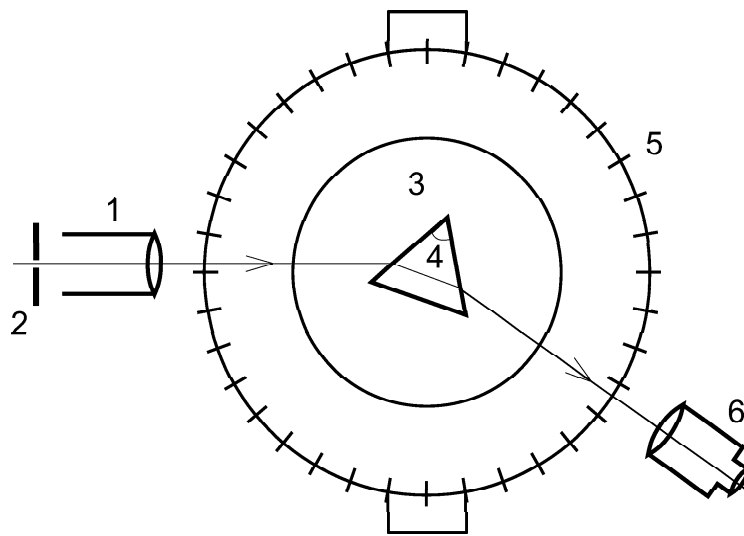
Vlnová délka [nm]	Prvek	Barva
768,5	K	tmavočervená
690,7	Hg	červená
656,3	H	červená
643,8	Cd	červená
640,2	Ne	jasně červená
589,0	Na	žlutá
589,6	Na	žlutá
587,6	He	žlutá
546,1	Hg	zelenožlutá
508,6	Cd	zelená
486,1	H	zelená
484,9	Ne	modrozelená
480,0	Cd	modrá
471,3	He	modrá
435,8	Hg	modrá
434,0	H	modrá
410,2	H	fialová
404,7	Hg	fialová
402,6	He	fialová

Tabulka 1.2: Některé spektrální čáry prvků.

## 1.3 Postup měření

### 1.3.1 Spektrometr s hranolem

Minimální deviace a lámavý úhel se nejsnáze stanoví na spektrometru (goniometru). Spektrometr (viz obr. 1.3) se skládá z podstavce, k němuž je pevně připojeno rameno nesoucí kolimátor 1 se štěrbinou 2. Na podstavci je umístěn otočný stolek 3 s hranolem 4. Tento stolek lze podle potřeby pevně spojit s otočnou úhloměrnou stupnicí 5, takže se otáčejí společně. Spektrometr obsahuje ještě dalekohled 6 s nitkovým křížem připevněný na otočném rameni spektrometru. Vzájemnou polohu dalekohledu a stolku s hranolem lze odečítat na úhloměrné stupnici, která je opatřena odečítacím mikroskopem. Kolimátor je trubice opatřená na jedné straně spojnou čočkou a na druhé straně v její ohniskové rovině je umístěna nastavitelná štěrbiná osvětlená zdrojem světla. Z kolimátoru vychází rovnoběžný svazek paprsků, které dopadají na hranol a lámou se. Po průchodu hranolem zůstává svazek paprsků téže vlnové délky rovnoběžný, a proto ho pozorujeme dalekohledem zaostřeným na nekonečno.



Obrázek 1.3: Schéma spektrometru.

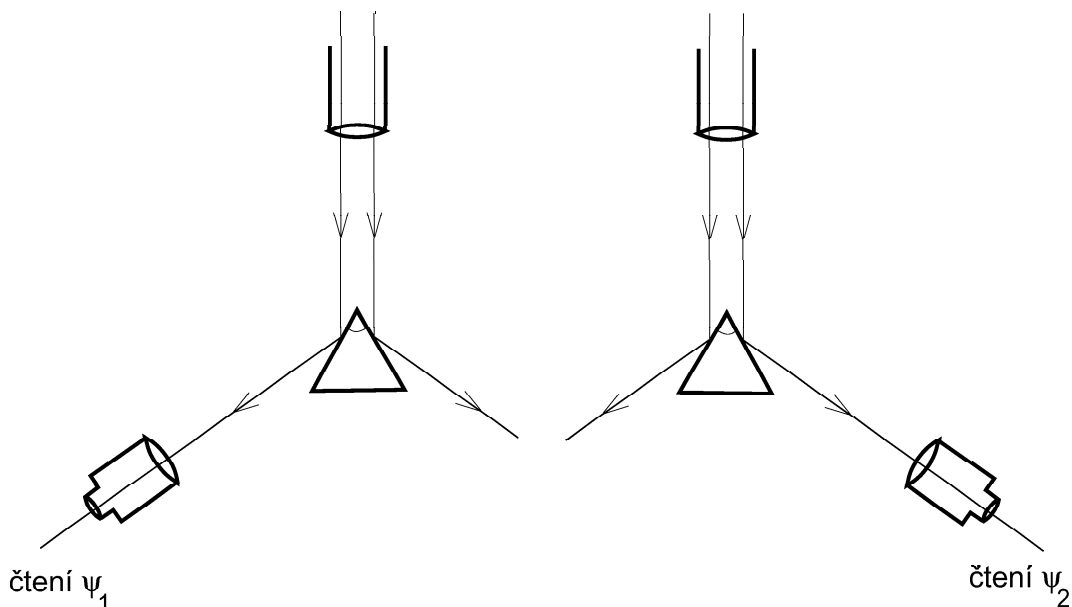
### 1.3.2 Stanovení lámavého úhlu hranolu zrcadlením štěrbin

Nastavíme stolek s hranolem tak, aby na lámavou hranu  $A$  dopadal svazek paprsků z kolimátoru (obr. 1.4). Vyhledáme obrazy štěrbin odražené od stěn hranolu ve směrech 1 a 2, přičemž čtení polohy dalekohledu je  $\psi_1$  a  $\psi_2$ . Lámavý úhel hranolu  $\varphi$  pak vypočteme jako

$$\varphi = \frac{1}{2}(\psi_1 - \psi_2). \quad (1.11)$$

### 1.3.3 Stanovení minimální deviace

Pozorujeme-li obraz štěrbin prostým okem přes hranol, kterým pomalu otáčíme, zjistíme, že v určité poloze hranolu se pohyb obrazu štěrbin zastaví a při dalším otáčení hranolu



Obrázek 1.4: Stanovení lámavého úhlu hranolu zrcadlením štěrbinu.

v původním směru se začne obraz štěrbinu vracet. Při tomto postavení hranolu je deviace minimální. Najdeme tuto polohu, postavíme do tohoto směru dalekohled a přesně vymezíme polohu minimální deviace. Čtení na stupnici goniometru je  $\gamma_1$ . Přetočíme hranol do souměrné polohy vzhledem ke kolimátoru (obr. 1.5) a vyhledáme znovu polohu minimální odchylky  $\gamma_2$ . Minimální deviace je potom dána jako

$$\delta_{min} = \frac{1}{2}(\gamma_1 - \gamma_2). \quad (1.12)$$

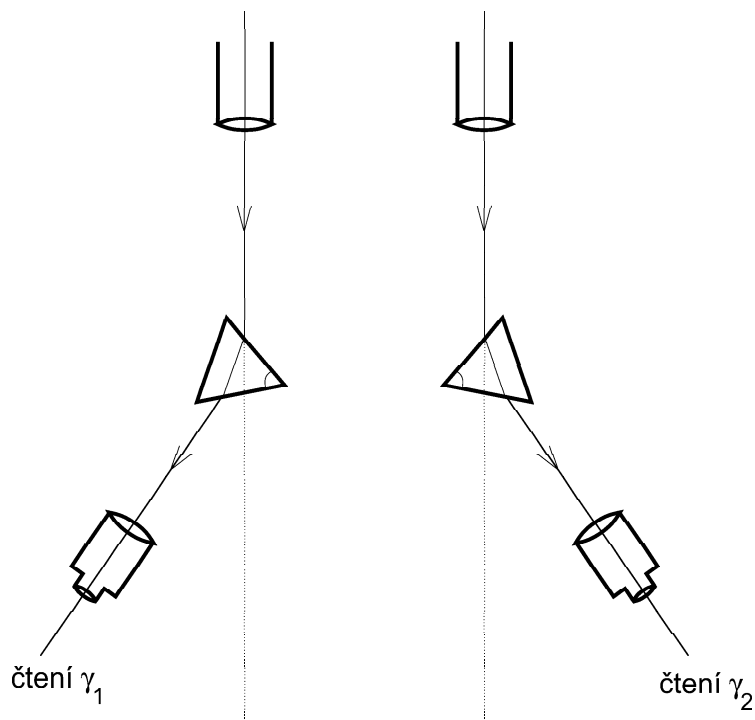
Popis funkce goniometru naleznete v dodatku F na straně 179.

### 1.3.4 Vlastní měření

Při měření postupujte takto:

1. **Při následujícím měření dbejte, abyste neznečistili nebo nepoškodili lámavé stěny hranolu !**
2. Zapněte výbojku a mikrometrickým šroubem rozšířte štěrbinu kolimátoru.
3. Stanovte lámavý úhel hranolu metodou zrcadlení štěrbinu postupem popsáním v odstavci 1.3.2. Měření proveďte alespoň pětkrát, vypočtěte aritmetický průměr a chybu měření.
4. Stanovte minimální deviaci pro nejméně tři barevné čáry ve spektru výbojky postupem popsáním v odstavci 1.3.3. Měření pro každou čáru proveďte pětkrát, z naměřených hodnot vypočtěte aritmetický průměr a chybu měření.
5. Vypočtěte index lomu materiálu hranolu pro změřené barevné čáry pomocí vztahu (1.6). Vlnové délky čar určete např. pomocí tabulky 1.2 na straně 141.<sup>3</sup> S užitím těchto hodnot vypracujte graf disperzní křivky hranolu.

<sup>3</sup>Při použití sodíkové výbojky předpokládejte, že ve výbojce jsou patrné čáry Na a H.



Obrázek 1.5: Stanovení minimální deviace.

6. Pro vlnové délky změřených čar vypočtete charakteristickou disperzi  $dN/d\lambda$  derivováním vztahu (1.2). Vypočtete úhlovou disperzi hranolu pomocí rovnice (1.8). Vypočtete rozlišovací schopnost hranolu pomocí vztahu (1.10).

## 1.4 Kontrolní otázky

1. Co je to minimální deviace?
2. Vypočítejte velikost podstavy hranolu, vyrobeného ze stejného materiálu jako hranol s kterým měříte, který je ještě schopen rozlišit sodíkový dublet.
3. Má hranolový spektrometr vyšší rozlišovací schopnost než mřížkový?
4. Za jakých podmínek lze použít hranolový spektrometr pro sledování spekter v ultrafialové oblasti?
5. Co je to disperze?
6. Jaký je princip sodíkové výbojky?

## 1.5 Použité přístroje

Horizontální goniometr S Go 2 a výbojka.



## 1.6 Literatura

- [1] Lego, J., Jelen, J.: Fyzika II. Praha, skriptum FEL ČVUT 1991.
- [2] Fuka, Havelka : Optika. Praha, SPN 1961.
- [3] Brož, J. a kolektiv: Základy fyzikálních měření I. Praha, SPN 1983.
- [4] Klier, E.: Optika. Praha, skriptum MFF UK 1980.

# Dodatek F

## Popis a návod k obsluze jednokruhového horizontálního goniometru S Go 2

Jednokruhový horizontální goniometr S Go 2 slouží k měření úhlů na optických hranolech a klínech. Používá-li se přístroje jako spektrometru, mohou se jím měřit lámavé a disperzní vlastnosti látek. S goniometrickou hlavicí ho lze použít k vyšetřování krystalů.

### F.1 Popis goniometru

Popis je zaměřen na úkony, které jsou zapotřebí při použití goniometru jako spektrometru.

Ve spodní pevné části, která se podle kulové libely nastaví do vodorovné polohy pomocí dvou podstavcových šroubů, se nachází systém os, kolem nichž se otáčí pohyblivé rameno s dalekohledem (5) a odečítacím mikroskopem (6). Toto rameno se dá pevně spojit se spodním dílem šroubem (7) a dále jemně otáčet šroubem (8). Kolem této osy se také při uvolněné aretaci (2) otáčí stolek s hranolem (9).

Se spodní částí je pevně spojeno rameno s kolimátorem (4). Součástí kolimátoru je symetrická štěrbina s mikrometrickým šroubem (3) pro nastavení šířky štěrby.

Poloha dalekohledu vzhledem k dělenému kruhu se určuje pomocí odečítacího mikroskopu (6), který míří na skleněnou úhlovou stupnici spojenou s osou goniometru. Stupnice je dělena po stupních, stupnice mikroskopu má dělení po 2', odhadem lze určit úhel s přesností na 1'.

### F.2 Měření na goniometru

#### F.2.1 Měření lámavého úhlu

Při měření lámavého úhlu na goniometru postupujeme následujícím způsobem:

1. Nastavíme hranol lámavým úhlem směrem ke kolimátoru (4).
2. Zaaretujeme stolek šroubem (2).
3. V dalekohledu (5) najdeme odraz štěrby vlevo od osy jdoucí kolimátorem a odečteme příslušný úhel v odečítacím mikroskopu (6).

4. Aniž bychom pohnuli otočným stolkem s hranolem, přesuneme otočné rameno s dalekohledem vpravo od osy jsoucí kolimátorem a změříme úhel odpovídající odrazu od druhé lámavé plochy hranolu.
5. Oba získané úhly dosadíme do vztahu (1.11) na straně 142 a vypočteme lámavý úhel hranolu.

## F.2.2 Měření minimální deviace

Při měření minimální deviace postupujeme následovně:

1. Nejprve povolíme aretace (2) a (7) aby bylo možné volně otáčet jak ramenem dalekohledu, tak stolkem s hranolem.
2. Paprskům procházejícím kolimátorem postavíme do cesty hranol tak, aby docházelo k jejich lomu.
3. Dalekohledem (5) vyhledáme jejich obraz.
4. Pak znovu otáčíme stolkem, až je deviace minimální.
5. V této poloze jej zaaretujeme šroubem (2).
6. Najedeme nitkovým křížem dalekohledu na vybranou spektrální čáru, přičemž pro jemné otáčení ramene slouží šroub (8), který je funkční pouze po dotažení aretace (7) a odečteme příslušný úhel v odečítacím mikroskopu (6).
7. Pro odečtení druhého úhlu je nutné otočit jak stolek s hranolem, tak rameno dalekohledu, před tím je nutné povolit aretace (2) a (7), jinak dojde k poškození goniometru!
8. Oba získané úhly dosadíme do vztahu (1.12) na straně 143 a vypočteme minimální deviaci, odpovídající příslušné čáře

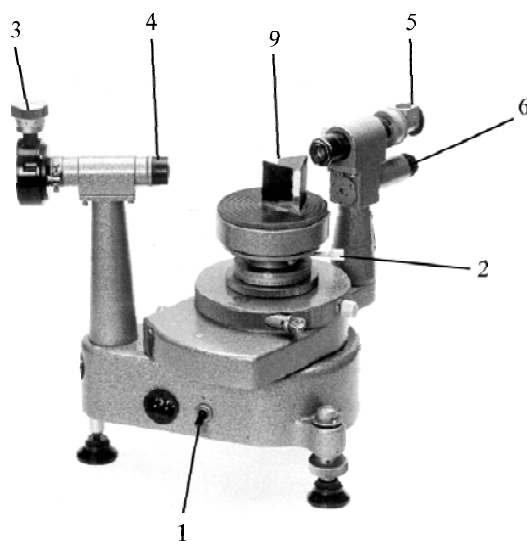
## F.3 Součásti přístroje

Popis k obrázkům F.1 a F.2 :

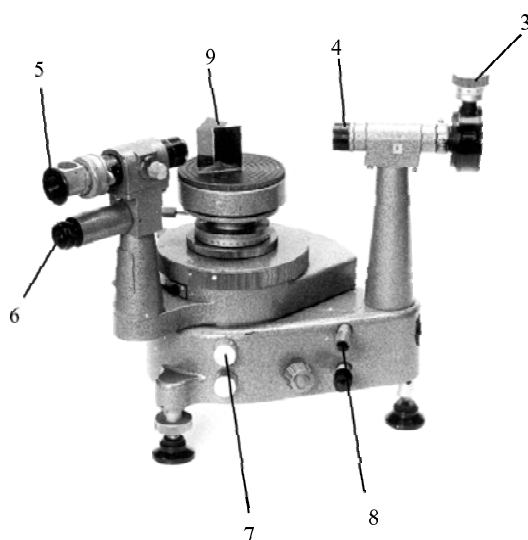
1. Vypínač osvětlení stupnice
2. Aretace stolku goniometru vůči úhломěrné stupnici goniometru
3. Mikrometr pro nastavení šířky štěrbin kolimátoru
4. Kolimátor
5. Dalekohled
6. Odečítací mikroskop
7. Aretace pohyblivého ramena dalekohledu

8. Jemný posuv ramene dalekohledu

9. Hranol na otočném stolku



Obrázek F.1: Goniometr S Go 2, boční pohled.



Obrázek F.2: Goniometr S Go 2, čelní pohled.

## Dodatek k úloze 16 – Měření vlnových délek relativní metodou goniometrem po rekonstrukci úlohy v roce 2007

### A. Výměna přístrojového vybavení *a její důsledky*:

- původní goniometr S Go 2 byl nahrazen upraveným studentským goniometrem PASCO SP-9268A.

***Princip přístroje i obsluhy je shodný, popis ovládacích prvků je přímo na goniometru.***

- původní velká lampová skříň se sodíkovou výbojkou byla nahrazena dvěma malými s výbojkou sodíkovou a rtuťovou a příslušným napájecím zdrojem.

Oba zdroje světla jsou umístěny v posuvném bloku pevně spojeném s goniometrem, umožňujícím jejich snadnou záměnu bez dalšího nastavování.

Výbojky se zapínají automaticky po zasunutí do příslušné krajní polohy.

Po zapnutí výbojky je třeba vyčkat 5 minut do jejího zahřátí na provozní teplotu.

***Zavedením dalšího zdroje světla se rozšiřuje úkol měření.***

***Měření je třeba zahájit se sodíkovou výbojkou. Dobu zapnutí rtuťové výbojky je vhodné omezit na nutné minimum z důvodů produkce ozonu.***

### B. Změny ve vlastním návodu k úloze:

#### 16.1 Úkol měření

1. Pečlivě prostudujte návod k použití goniometru v dodatku F na straně 199. ***Identifikujte součásti i ovládací prvky nového goniometru srovnáním i podle popisu na přístroji.***
2. Změřte lámavý úhel hranolu ***s využitím sodíkové výbojky.***
3. Proměřte goniometrem s daným hranolem minimální deviace alespoň tři barevných čar ve spektru sodíkové výbojky ***a tři barevných čar ve spektru výbojky rtuťové. Čáry vyberte tak, aby pokud možno rovnoměrně pokryly rozsah vlnových délek 400-700 nm. Dobu provozu rtuťové výbojky omezte přitom na nejnutnější minimum !***
3. Vyneste do grafu disperzní křivku hranolu  $N = N(\lambda)$  v rozsahu vlnových délek 400-700 nm ***(pro zpracování softwarem serveru Herodes vyberte tři hodnoty ze šesti naměřených).***
4. Určete charakteristickou disperzi pro 3 ***vybrané*** spektrální čáry. Pro příslušné vlnové délky stanovte rovněž rozlišovací schopnost a úhlovou disperzi hranolu.

#### 16.3.4 Vlastní měření

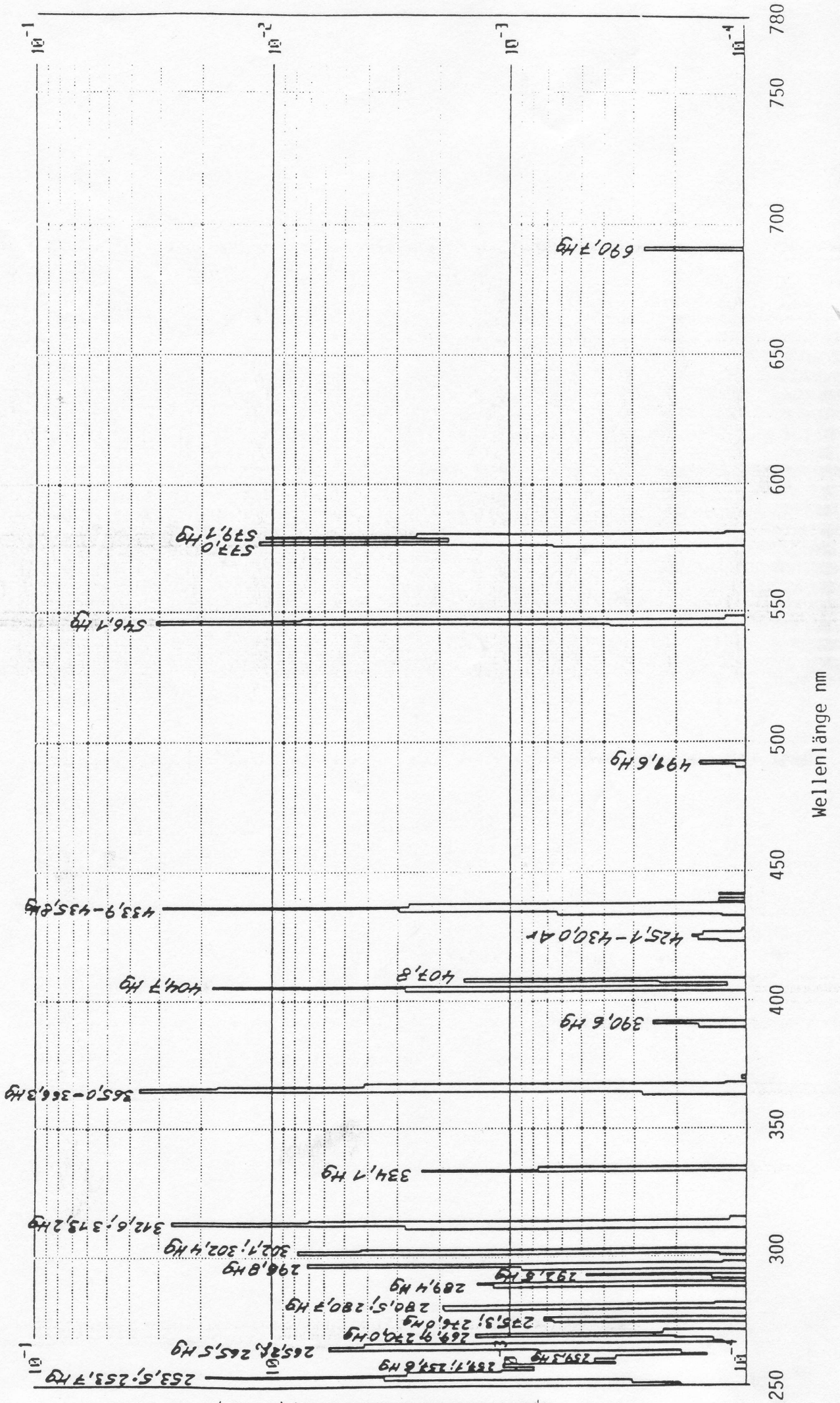
Změny v Úkolu měření se logicky promítnou do odstavce 4 – ***měří se 3 čáry z každé z obou výbojek.***

#### 16.4 Použité přístroje a pomůcky

***Horizontální goniometr SP-9268A, sodíková výbojka, rtuťová výbojka, napájecí zdroj.***

***Poznámka:*** Úloha je doplněna ručním mřížkovým spektrometrem. Prohlédněte si spektrum denního světla, zářivky, žárovky nebo jiných v laboratoři dostupných světelných zdrojů (LED diody, osvětlení stupnice goniometru atp.).

OSRAM SPEKTRALLAMPE Hg 100



Spektrale Strahlstärke  $W/(m^2 \cdot nm \cdot sr)$