

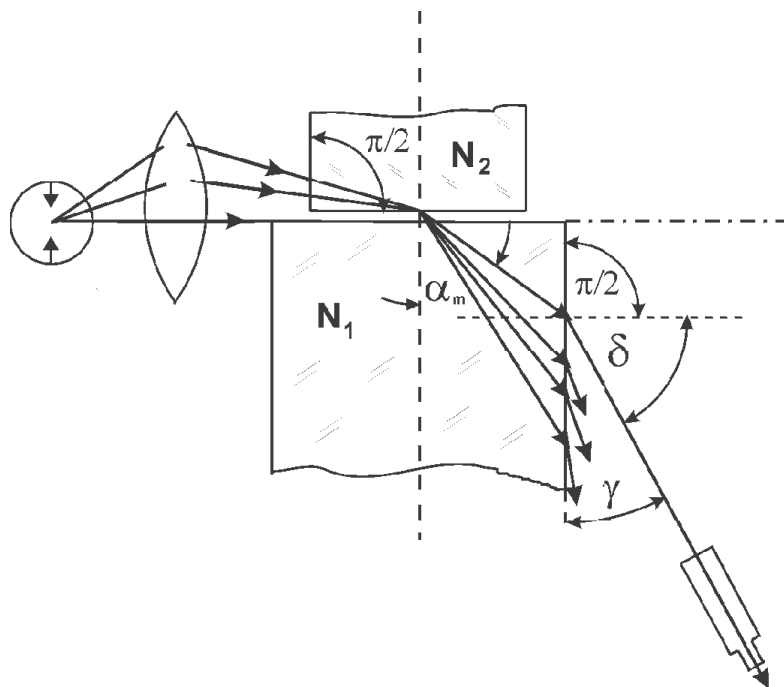
1.2 Měření indexu lomu pevných látek a kapalin Pulfrichovým refraktometrem

Postup měření

Pulfrichův refraktometr umožňuje měření indexu lomu pevných vzorků metodou mezního úhlu popsanou v kap. 1 a indexu lomu kapalin vychylovací metodou použitím V-hranolu.

Metoda mezního úhlu

V Pulfrichově refraktometru je prostředí o známém indexu lomu N_1 tvořeno měřicím hranolem, jehož vrchní stěna a jedna z bočních stěn jsou navzájem kolmé a jsou opticky opracovány (viz obr. 1.2–1).



Obr. 1.2–1 Schéma měření indexu lomu pevných látek Pulfrichovým refraktometrem

Na vrchní stěnu měřicího hranolu pokládáme vzorek materiálu, jehož index lomu N_2 chceme stanovit. Tento vzorek musí být upraven tak, že má též dvě přibližně kolmé ($90^\circ \pm 10'$) optické plochy, z nichž jedna je v optickém kontaktu s měřicím hranolem a druhou vstupuje do vzorku světlo z osvětlovací soustavy (kolimátoru) refraktometru.

Světlo, procházející měřicím hranolem pod mezním úhlem α_m , vstupuje do

vzduchu z boční stěny pod úhlem δ ke kolmici. Ze zákona lomu můžeme psát

$$N_1 \sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_m \right) = \sin \delta, \quad (1)$$

pokládáme-li index lomu vzduchu roven jedné. Protože $\sin(\frac{\pi}{2} - \alpha_m) = \cos \alpha_m$, můžeme z rovnic (1.4a) a (1) vyjádřit $\sin \delta$ jako funkci indexu lomu N_1 , N_2

$$\sin \delta = N_1 \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_m} = N_1 \sqrt{1 - \frac{N_2^2}{N_1^2}} = \sqrt{N_1^2 - N_2^2}. \quad (2)$$

Protože Pulfrichovy refraktometry jsou většinou konstruovány tak, že se neměří úhel δ , ale doplňkový úhel $\gamma = \frac{\pi}{2} - \delta$, má vzorec pro hledaný index lomu tvar

$$N_2 = \sqrt{N_1^2 - \cos^2 \gamma}. \quad (3)$$

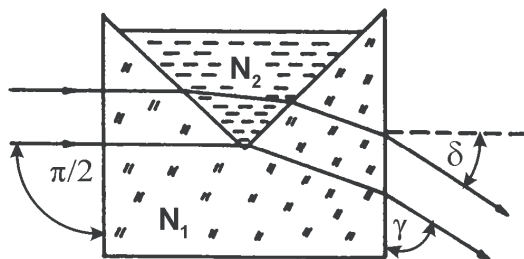
Ze vztahu (3) počítáme index lomu N_2 ze změřeného úhlu γ .

Metoda vychylovací s použitím V-hranolu

Vysvětlení funkce V-hranolu je uvedeno v odst. 1.3. Protože v našem případě neměříme deviace paprsků δ , ale úhel γ , přejde vztah (1.22) na výraz

$$N_2 = \sqrt{N_1^2 - \cos^2 \gamma}. \quad (4)$$

Schéma chodu paprsků V-hranolem je na obr. 1.2–2.

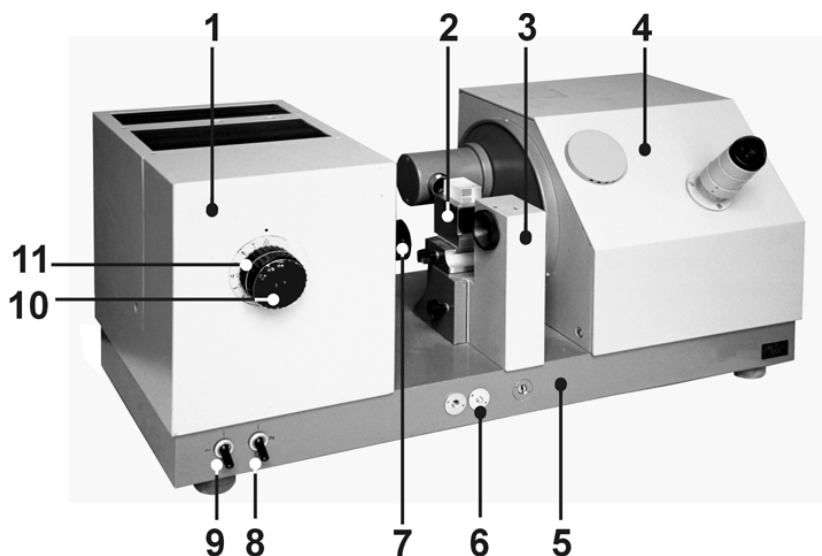


Obr. 1.2–2 Schéma měření indexu lomu kapalin Pulfrichovým refraktometrem (V-hranol)

Popis přístroje

Pro měření indexu lomu používáme Pulfrichova refraktometru PR2 vyrobeného firmou Carl Zeiss-Jena. Celkový pohled na přístroj je na obr. 1.2–3. Z obrázku je vidět, že přístroj je konstruován tak, že na *základním panelu* (5), ve kterém je elektrický rozvod, jsou namontovány následující celky:

1. *Světelný zdroj* (1). Obsahuje na otočném karuselu rtuťovou výbojku spolu s vodíkovými a heliovými Geisslerovými trubicemi. Tyto světelné zdroje,



Obr. 1.2–3 Pulfrichův refraktometr

spolu se sadou monochromatizačních filtrů, umožňují měřit index lomu při vlnových délkách uvedených v tabulce 1.2.1. Vypínač (9) na základním panelu (5) je hlavní síťový vypínač. K zapnutí rtuťové lampy slouží vypínač (8). Na krytu světelného zdroje jsou otočné knoflíky (10) a (11). Předním knoflíkem (10) zapínáme zvolenou Geisslerovu trubici, zatímco zadní knoflík (11) slouží k volbě filtru pro spektrální čáru. Aby nedošlo k chybné kombinaci lampy a filtru, je rtuťová výbojka označená na knoflíku (10) jednou tečkou, vodíková lampou dvěma a heliová třemi tečkami. Tytéž symboly jsou i na knoflíku (11) u jednotlivých filtrů spektrálních čar. Protože světlo Geisslerových trubic je málo intenzivní, je na

Tabulka 1.2.1. Vlnové délky čar používaných v Pulfrichově refraktometru

Vlnová délka λ	Označení čáry	Spektrum plynu
656,3 nm	C	červená čára H_{α}
587,6 nm	d	žlutá čára He
546,1 nm	e	zelená čára Hg
486,1 nm	F	modrozelená čára H_{β}
435,8 nm	g	indigová čára Hg
404,7 nm	h	fialová čára Hg

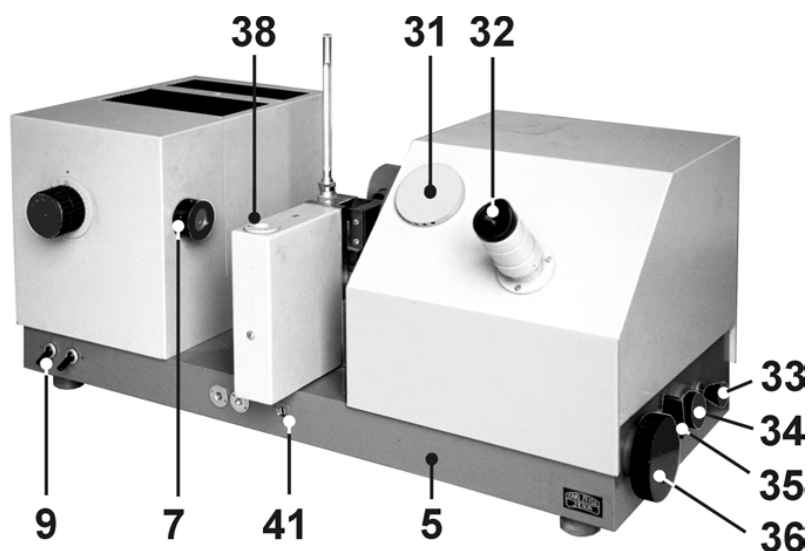
základním panelu (5) tlačítko (6), sloužící k přemostění předřadného odporu a tím ke krátkodobému zvýšení jasu Geisslerových trubic během vlastního odečtu. Výstupní objektiv (7) světelného zdroje je vybaven pásovým filtrem k regulaci intenzity osvětlení měřicího hranolu.

2. *Osvětlovací soustava (3).* Pro měření metodou mezního úhlu používáme

zařízení odchylovací světlo ze zdroje tak, abychom na rozhraní vzorku a měřicího hranolu získali klouzavý paprsek. Odchylovací hranol lze prstencem na vstupu osvětlovací soustavy nastavit tak, abychom dostali žádoucí osvětlení.

Měříme-li index lomu vychylovací metodou, musíme nahradit výše uvedenou osvětlovací soustavu kolimátorem, dávajícím na výstupu rovnoběžný svazek paprsků.

3. *Podstavec s výměnnými měřicími hranoly (2).* Měřicí hranoly, které tvoří sadu, jsou opatřeny kovovými přírubami, pomocí kterých je lze pevně uchytit k podstavci.



Obr. 1.2–4 Pulfrichův refraktometr

4. *Zaměřovací dalekohled s autokolimačním osvětlovacím zařízením (4).* Slouží k přesnému měření úhlu γ , je proto opatřen v zorném poli záměrným vláknovým křížem. Dalekohled je uložen na otočném rameni a směr zamíření lze odečíst na stupnici děleného kruhu. Hrubé dělení umožňuje odečíst úhlovou minutu a jemné dělení slouží k odečtu úhlových sekund. Ovládací prvky zaměřovacího dalekohledu jsou umístěny na pravém boku základního panelu (5), který je vidět na obr. 1.2–4. K otáčení dalekohledu slouží otočný šroub (36). Tímto šroubem ovládáme současně jak hrubý posuv umožňující projet celou oblast úhlů γ za 4 a 1/2 otočky, tak i otočením v opačném směru jemný posuv, kterým můžeme v intervalu 1° přesně dalekohled nastavit. Další šroub (34) ovládá jemnou stupnici pro nejpřesnější odečet úhlu.

Při měření nalezneme postupným otáčením dalekohledu polohu, při které vidíme zorné pole rozděleno na světlou a tmavou část s více méně ostrým rozhraním, na které navedeme střed záměrného vláknového kříže tak, že rozhraní pólí úhel jeho vláken. Škálu děleného kruhu úhlové stupnice dalekohledu osvětlíme páčkou (35). Tlačítko (33) slouží k zapojení autoko-

limačního osvětlovacího zařízení, které je určeno k zaměření dalekohledu do směru normály k boční stěně hranolu.

Příprava refraktometru k měření

1. *Nasazení a upevnění měřicího hranolu.* Podle charakteru měření zvolíme vhodný měřicí hranol a šroubem jej pevně uchytkujeme na podstavec. V-hranol po uchytení zaplníme měřenou kapalinou .
2. *Justáž měřicího hranolu.* Abychom mohli správně odečíst úhel γ , musíme pro nulovou polohu zaměřovacího dalekohledu nastavit výstupní optickou plochu měřicího hranolu přesně kolmo k optické ose dalekohledu. Při vypnutých spektrálních lampách (nebo při ztlumení jejich intenzity např. filtrem v (7)) to provedeme takto:
 - a) Při zapnutém vypínači (9) osvětlíme páčkou (35) stupnici a v okuláru (32) nastavíme dalekohled přesně na 90° otáčením knoflíku (36). Zdrojem pro osvětlení stupnice je žárovka umístěná pod krytem (31).
 - b) Vypneme osvětlení stupnice a zapneme tlačítkem (33) autokolimační zařízení. V okuláru (32) pozorujeme zobrazení části kříže a rysek.



Obr. 1.2–5 K justáži Pulfrichova refraktometru

- c) Justačním šroubem (41) na základním panelu (5) (viz obr. 1.2–4) seřídíme polohu měřicího hranolu tak, abychom dosáhli symetrického nastavení obrazu kříže a rysek (viz obr. 1.2–5a).
3. *Justáž kolimátoru.* Měříme-li index lomu vychylovací metodou, musíme ještě zajistit kolmý dopad rovnoběžného svazku paprsků na vstupní stěnu V-hranolu. Proto po operacích popsanych v bodech 1. a 2. je třeba ještě navíc zjustovat kolimátor. K justáži slouží šroub (38) na horní stěně kolimátoru, který je vidět na obr. 1.2–4. Správně zjustovaný kolimátor poznáme podle toho, že poloha rysek pozorovaných okulárem dalekohledu odpovídá obr. 1.2–5b.
 4. *Justáž zdroje světla.* Justáž lamp provádíme justačními šrouby na krytu zdroje tak, aby plocha za výstupním objektivem zdroje světla byla osvětlena co nejlepe. (Provádějte pod dohledem vyučujícího.)

Měření refraktometrem a výpočet indexu lomu

1. Metoda mezního úhlu

Na očištěnou horní plochu měřicího hranolu položíme vzorek spodní optickou plochou tak, že čelní rovinná plocha je přivrácená k osvětlovací soustavě a je orientována kolmo k její optické ose. Pro dosažení dokonalého optického kontaktu použijeme imerzní kapaliny, tj. kapaliny jejíž index lomu N_i má velikost mezi hledaným indexem lomu N_2 a indexem lomu měřicího hranolu N_1 ($N_2 < N_i < N_1$). Jako měřicí hranol budeme používat hranol GoF3, který umožňuje měření indexu lomu v oboru 1,46 – 1,73. Hodnoty indexu lomu měřicího hranolu GoF3 pro jednotlivé vlnové délky jsou uvedeny v tabulce 1.2.2.

Tabulka 1.2.2. Hodnoty indexu lomu měřicího hranolu GoF3

	Vlnová délka [nm]	Index lomu GoF3 (N_1) (chyba $\pm 1.10^{-5}$)
C	656,3	1,73268
d	587,6	1,74042
e	546,1	1,74676
F	486,1	1,75955
g	435,8	1,77591
h	404,7	1,79060

Hodnoty indexu lomu N_1 uvedené v tabulce 1.2.2 odpovídají teplotě 20°C. Provádíme-li měření při jiné teplotě, musíme provést korekci dle teplotní závislosti $N_1(t)$ podle následující tabulky 1.2.3 (teplota označena t).

Tabulka 1.2.3. Teplotní korekce indexu lomu měřicího hranolu GoF3

	$\frac{dN_1}{dt} \cdot 10^5$					
t	C	d	e	F	g	h
15°	0,82	0,90	1,01	1,21	1,41	1,66
20°	0,81	0,89	1,00	1,19	1,39	1,64
30°	0,78	0,86	0,97	1,16	1,35	1,60
40°	0,76	0,84	0,93	1,12	1,31	1,55
50°	0,73	0,81	0,90	1,08	1,27	1,50
60°	0,71	0,78	0,88	1,05	1,23	1,46
70°	0,69	0,76	0,86	1,03	1,20	1,43
80°	0,68	0,75	0,84	1,01	1,19	1,41
85°	0,68	0,75	0,84	1,01	1,18	1,40

Jako imerzní kapalinu používáme α -bromnaftalen s indexem lomu $N_i = 1,6570$ při 20°C pro vlnovou délku čáry d.

Poznámka:

Vzorky pro měření jsou opticky opracovaná skla. Dbejte proto, aby při manipulaci s nimi a při jejich používání nedošlo k mechanickému poškození. Při nasazování hranolů a vzorků používejte speciálních rukavic.

Imerzní kapalina mezi styčnými plochami vzorku a měřicího hranolu musí vytvořit tenkou souvislou vrstvu a nesmí vystupovat přes okraj ostré vstupní hrany vzorku.

Výpočet indexu lomu pak provádíme podle vztahu (3) s ohledem na závislost N_1 na vlnové délce a se započtením teplotní korekce. Z hodnot indexů lomu pro

Tabulka 1.2.4. Výpis z katalogu optických skel

označení skla technické		F2 620/363	BK 7 516/640	SF 2 TF648/339	ST 4 TF752/275
index lomu n_d		1,6200	1,5163	1,6477	1,75520
Abbeovo číslo		36,3	64	33,9	27,5
střední disperze	F-C	0,01706	0,00806	0,01912	0,02743
	F-d	0,01206	0,00558	0,01323	0,01951
	F-e	0,00800	0,00367	0,00901	0,01304
	g-F	0,00997	0,00432	0,01127	0,01656
	d-C	0,00500	0,00248	0,00559	0,00792
relat. stř. disp.	F-d/F-C	0,707	0,692	0,692	0,711
	F-e/F-C	0,469	0,455	0,471	0,475
	g-F/F-C	0,584	0,536	0,589	0,604
	d-C/F-C	0,293	0,308	0,292	0,289

jednotlivé vlnové délky spočtete pro každý vzorek střední disperzi, relativní střední disperzi a Abbeovo číslo pro vlnovou délku 587,6 nm (viz kap. 1, odst. 1.4, kde ve vztazích (1.22*d*) a (1.22*e*) nahradíte n_D veličinou n_d). Takto získané hodnoty porovnejte s optickými skly uvedenými ve výpisu z katalogu optických skel (tabulka 1.2.4).

2. Metoda vychylovací

Pro měření indexu lomu metodou vychylovací použijeme V-hranol VoF4, který má při 20°C hodnoty indexu lomu pro jednotlivé vlnové délky uvedeny v tabulce 1.2.5.

Tabulka 1.2.5. Hodnoty indexu lomu V-hranolu VoF4

	Vlnová délka (nm)	Index lomu VoF4 (N_1) (chyba $\pm 1.10^{-5}$)
C	656,3	1,73329
d	587,6	1,74093
e	546,1	1,74724
F	486,1	1,75994
g	435,8	1,77620
h	404,7	1,79073

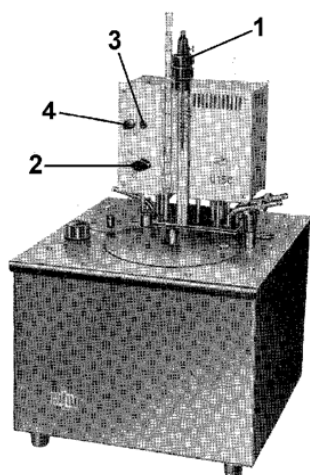
Teplotní závislost indexu lomu hranolu VoF4 je uvedena v následující tabulce 1.2.6 (teplota značena t).

Tabulka 1.2.6. Teplotní korekce indexu lomu hranolu VoF4

	$\frac{dN_1}{dt} \cdot 10^5$					
t	C	d	e	F	g	h
15°	0,62	0,68	0,77	0,92	1,08	1,29
20°	0,63	0,69	0,78	0,93	1,09	1,30
30°	0,64	0,71	0,81	0,96	1,12	1,33
40°	0,66	0,73	0,81	0,98	1,15	1,36
50°	0,67	0,74	0,83	1,00	1,17	1,39
60°	0,68	0,75	0,84	1,01	1,18	1,40

Příruba hranolu VoF4 je konstruována tak, že umožňuje vyhřívání hranolu připojením na kapalinový termostát. Pro temperování a regulaci teploty použijeme termostát konstrukční řady MLW (cirkulační termostát U 15 C) znázorněný na obr.1.2–6. Teplotu lázně nastavujeme teploměrem (1). Termostát zapínáme spínacím knoflíkem

(2) (do polohy SSS „zap“). Otočný knoflík (4) slouží k nastavení plynulého top-



Obr. 1.2–6 Cirkulační termostat

ného výkonu. Optimální regulace teploty je při poměru 1:1 v intervalech mezi svícením a tmou signální žárovky (3).

Poznámka:

Kapalinu naplňujeme téměř až do výše hranolu a hranol přikryjeme víčkem. Do příruby hranolu zasuneme teploměr, kterým měříme teplotu kapaliny a hranolu. Dále kontrolujeme uchycení hadic.

Při měření teplotní závislosti zvyšujeme teplotu cca po 5°C stupních. Měření v opačném směru při chladnutí kapaliny je časově nevýhodné, protože v důsledku velkého objemu temperovací kapaliny klesá teplota velice pomalu. Ze změřených úhlů γ pro jednotlivé vlnové délky spočteme index lomu kapaliny podle vzorce (4). Přitom musíme provést korekci indexu lomu N_1 hranolu VoF4 dle teplotní závislosti $N_1(t)$ pro jednotlivé vlnové délky. Po skončení měření vypneme termostat otočením spínacího knoflíku (2) (do polohy O „Vyp“). Pipetou odstraníme kapalinu z V-hranolu a teprve potom můžeme V-hranol sejmut.