

Materiałoznawstwo optyczne

SZKŁO

**(pomiar własności i jakości
szkła)**

- NORMY BRANŻOWE
- Henc T., Pomiar optyczny, WNT Warszawa, 1964

Badania

Opis badań:

- sprawdzenie wymiarów
- sprawdzenie współczynnika załamania i dyspersji średniej (BN-65/6862-04)
- sprawdzenie współczynnika absorpcji (BN-64/6860-01)
- sprawdzenie stopnia zabarwienia szkła (BN-73/6860-04)
- sprawdzenie dwójłomności (BN-72/6862-03)
- Sprawdzenie pęcherzowatości (BN-76/6862-01)
- Sprawdzenie smużystości (BN-75/6861-05)
- Sprawdzenie odporności chemicznej na działanie wilgotnej atmosfery (BN-66/6860-03)
- Sprawdzenie odporności chemicznej na działanie roztworów kwaśnych (BN-71/6860-02)

Kształt szkła: bloki, taśmy, pręty.

Badania

Pobieranie próbek

Tablica 14

Przedmiot badania	Częstotliwość badania	Liczba próbek z wytopu
Wymiary (3.1.3, 3.1.4, 3.1.5)	każdy wytop	każdą sztukę szkła w postaci bloku, taśmy lub pręta
Współczynnik załamania światła n_d (3.1.7.2)		3
Dyspersja średnia $n_F - n_C$ (3.1.7.3)		3
Współczynnik absorpcji (3.1.3)		1
Dwójłomność (3.1.10)		5
Pęcherzowatość (3.1.11)		5
Smużystość (3.1.13)		każdą sztukę szkła w postaci bloku, taśmy lub pręta

Odporność na działanie wilgotnej atmosfery (3.1.14.1)	przy ustalaniu typu oraz każdorazowo przy zmianie składu chemicznego szkła	wg BN-66/6860-03
Odporność na działanie roztworów kwaśnych (3.1.14.2)		wg BN-71/6860-02
Stopień zabarwienia (3.1.9)	na specjalne żądanie odbiorcy	1
Jednorodność $J\Delta n_d$ w wytopie (3.2.1)		3 próbki z różnych miejsc wytopu
Jednorodność $J\Delta(n_F - n_C)$ w wytopie (3.2.2)		

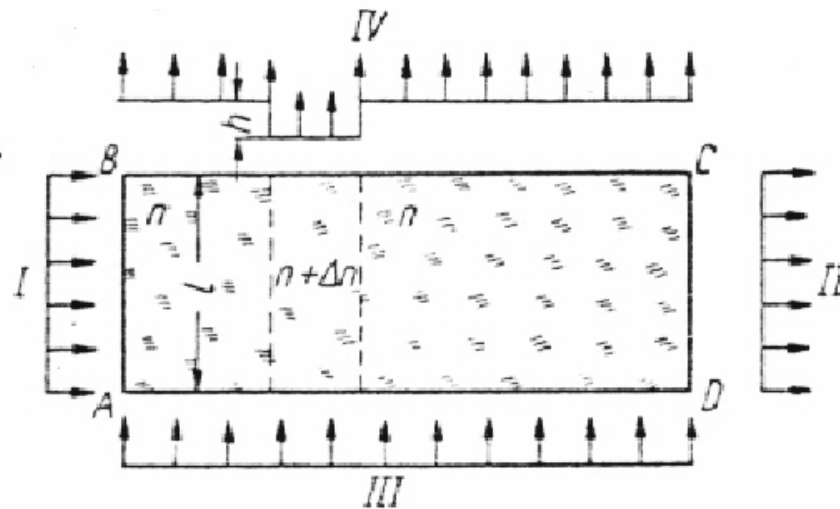
Pomiar jednorodności szkła

- Szkło używane do produkcji elementów optycznych powinno być optycznie jednorodne (stałość współczynnika załamania we wszystkich jego punktach)
- Różnica dróg optycznych, spowodowana niejednorodnością: $h = \pm \Delta n \cdot l$
powinna spełniać tzw. warunek Rayleigha:

$$h \leq \frac{\lambda}{4}$$

co daje ostatecznie warunek na niejednorodność n :

$$\Delta n = \frac{\lambda}{4l}$$



Rys. 112

Pomiar jednorodności szkła

- Odchyłka współczynnika załamania

Kategoria	Odchyłka
0	$\pm 3 \cdot 10^{-4}$
1	$\pm 5 \cdot 10^{-4}$
2	$\pm 7 \cdot 10^{-4}$
3	$\pm 10 \cdot 10^{-4}$
4	$\pm 20 \cdot 10^{-4}$

- Odchyłka dyspersji średniej

Kategoria	Odchyłka
0	$\pm 3 \cdot 10^{-5}$
1	$\pm 5 \cdot 10^{-5}$
2	$\pm 7 \cdot 10^{-5}$
3	$\pm 10 \cdot 10^{-5}$
4	$\pm 20 \cdot 10^{-5}$

Pomiar jednorodności szkła

- Jednorodność współczynnika załamania

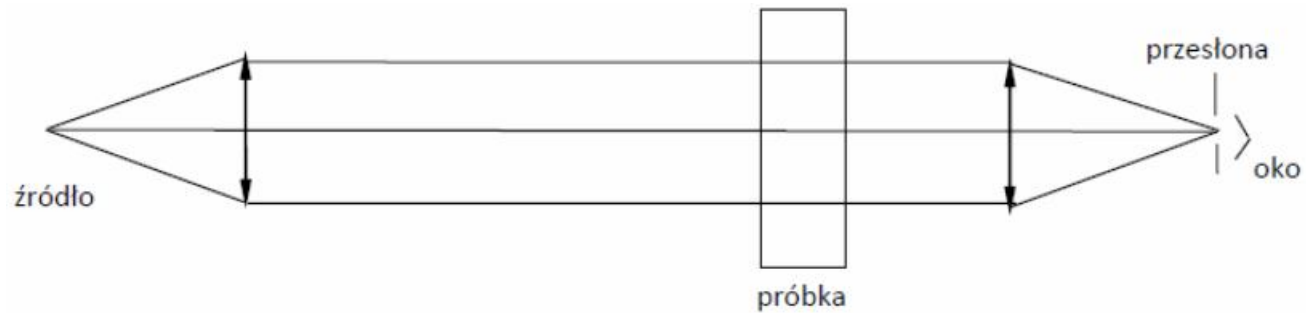
Kategoria	Odchyłka
A	$5 \cdot 10^{-5}$
B	$1 \cdot 10^{-4}$
C	$2 \cdot 10^{-4}$

- Jednorodność dyspersji średniej

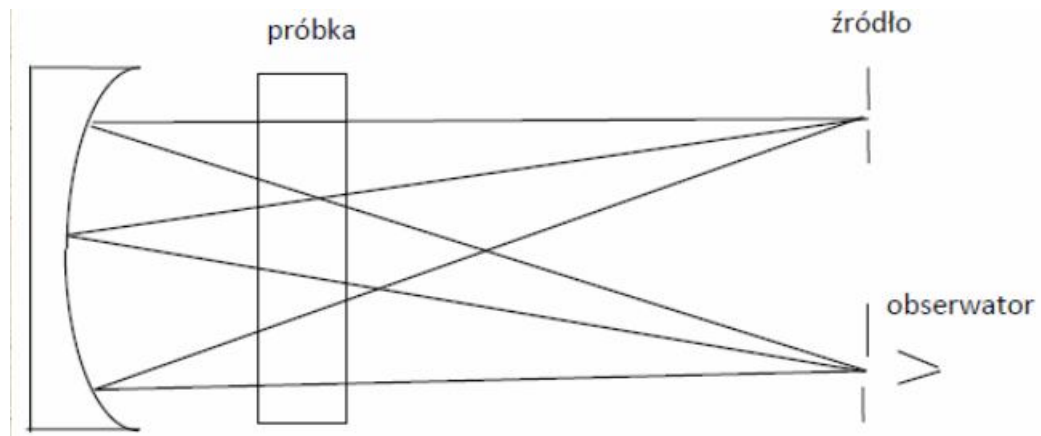
Kategoria	Odchyłka
A	$1 \cdot 10^{-5}$
B	$5 \cdot 10^{-5}$

Pomiar jednorodności szkła

- Metoda Teplera

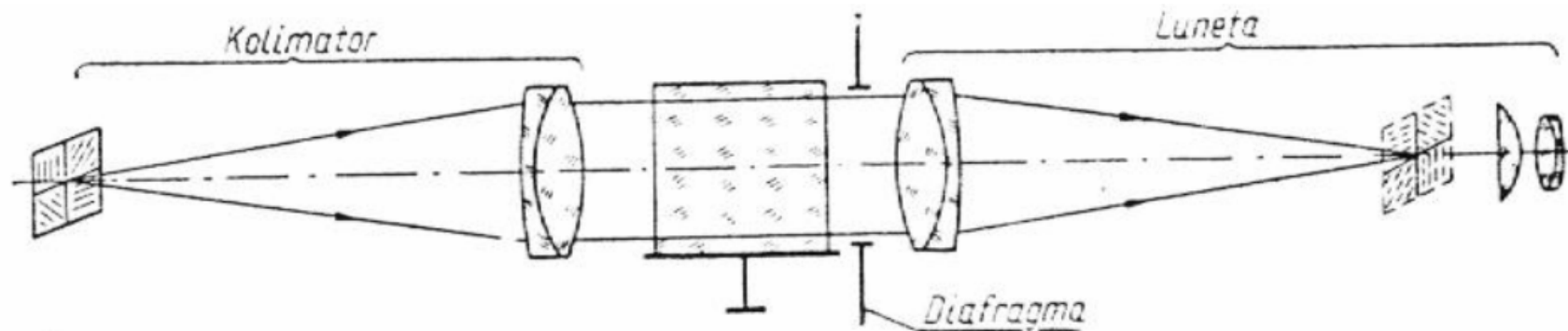


- Metoda Foucaulta



Pomiar jednorodności szkła

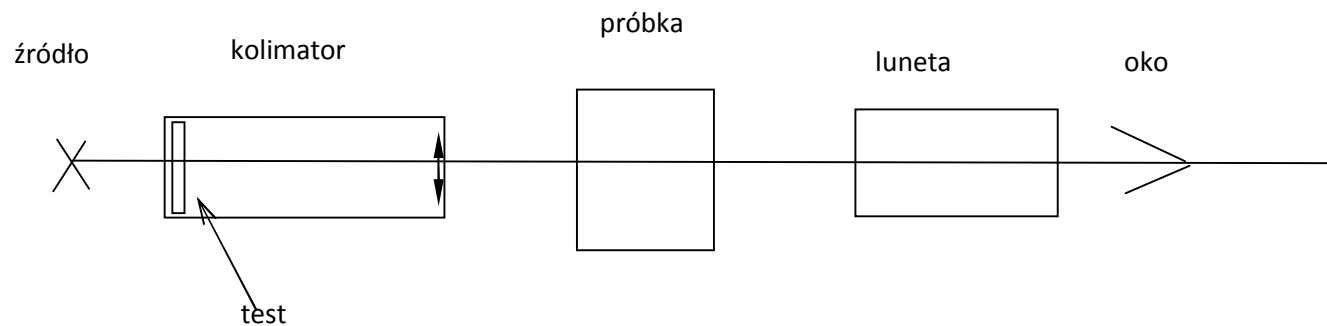
- Sprawdzanie niejednorodności szkła odbywa się drogą pośrednią przez zmierzenie zdolności rozdzielczej bloku szkła. Kontrolę przeprowadza się przez porównanie zdolności rozdzielczej płytki płasko-równoległej, wykonanej z badanego szkła z możliwa teoretyczną zdolnością rozdzielczą przyrządu kontrolnego.
- Do pomiaru niejednorodności szkła wykorzystuje się ogólnie układy kolimatorów z odpowiednimi testami zdolności rozdzielczej oraz lunety.



Pomiar jednorodności szkła

(pomiar zdolności rozdzielczej)

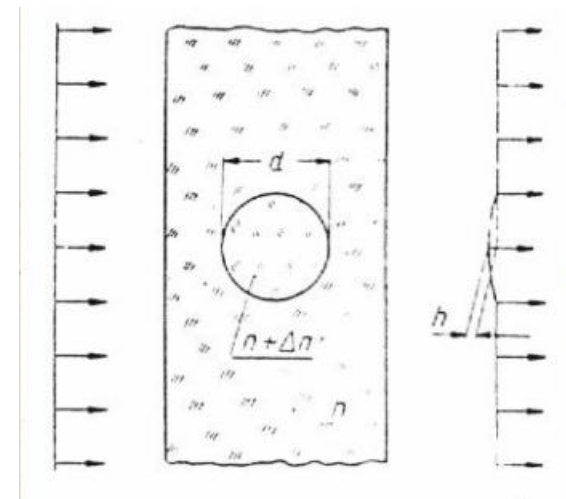
- Jakość szkła określa się współczynnikiem odpowiadającym stosunkowi granicznego kąta rozdzielczego ϕ , uzyskanego dla danego szkła, do teoretycznego kąta rozdzielczego ϕ_0



Kategoria zdolności rozdzielczej	a
1	1,0
2	do 1,1
3	do 1,2
4	do 1,4
5	do 1,7
6	do 2,0

Pomiar smużystości szkła

- Smugami nazywamy intensywne, miejscowe niejednorodności szkła, ostro wyróżniające się współczynnikiem załamania od otaczającej je masy.
- Smużystość szkła powstaje w wyniku procesu topienia masy szklanej i spowodowana jest niejednorodnością chemiczną niektórych warstw, posiadających wskutek tego odmienny współczynnik załamania. Smugi mogą tworzyć w szkłe np. oderwane kawałki donicy, mieszalnika, niejednorodność zestawu oraz wyparowanie najbardziej lotnych składników z powierzchni szkła stykających się w powietrzu w procesie wytopu.
- Średnice smug występujących w szkłe optycznym są zwykle małe, rzędu kilku dziesiątych części milimetra, długość natomiast może być znaczna, rzędu setek milimetrów.
- Z punktu widzenia optyki geometrycznej możemy więc potraktować smugę jako małą soczewkę cylindryczną, powodującą powstanie pasma świetlnego w płaszczyźnie obrazu.



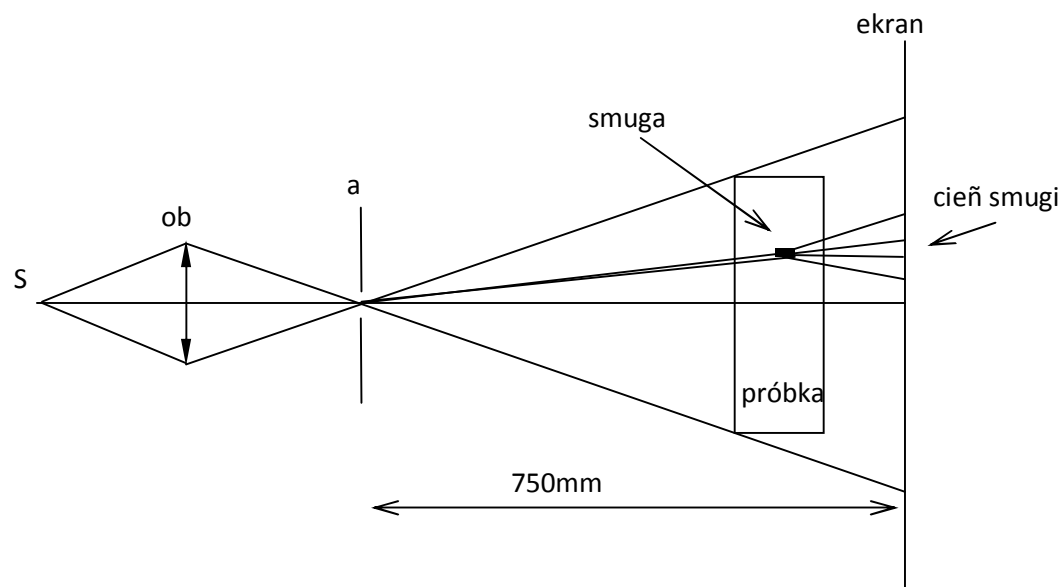
Pomiar smużystości szkła

- Warunki techniczne na szkło optyczne przewidują trzy klasy smużystości w zależności od ilości kierunków przeglądania badanego bloku szkła oraz sześć kategorii, różniących się warunkami badania.
- Podstawą tej klasyfikacji jest metoda badania smużystości polegająca na projekcji smug na ekran.

Ilość kierunków przeglądania	Klasa smużystości	Kategoria smużystości	Odległość od ekranu	Wyniki
3 2 1	A	1	125mm	Brak smug
		2	150mm	Brak smug
	B	3	500mm	Brak smug
	C	1s	125mm	Obecne smugi
		2s	250mm	Obecne smugi
		3s	500mm	Obecne smugi
BN-76/6862-06				

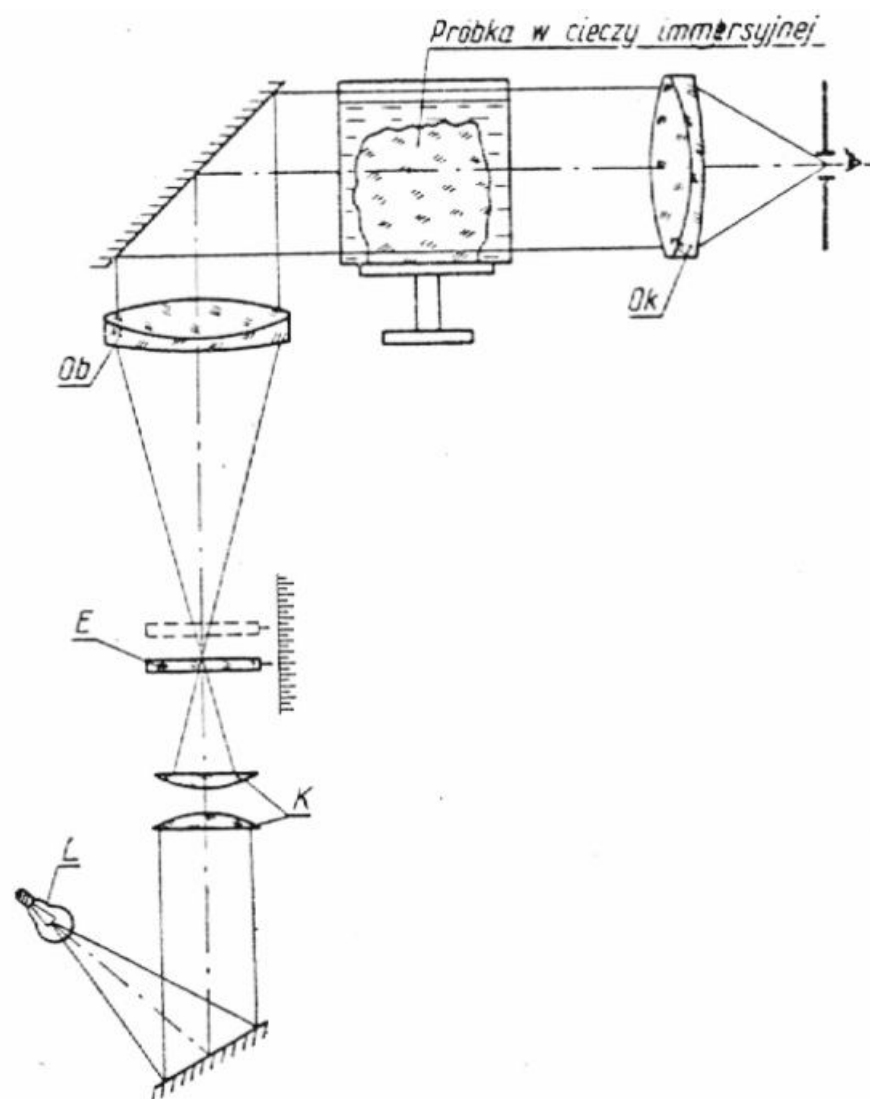
Pomiar smużystości szkła

- Widoczność smug na ekranie zależy od wielkości średnicy otworka przesłony a i od odległości próbki od ekranu.
- Im mniejszy jest otworek średnicy przesłony i im mniejsza ta odległość, tym lepiej widoczne są drobniejsze smugi.
- W przypadku badania bryłek szkła o kształtach nieregularnych należy zanurzyć je w specjalnych naczyniach, wypełnionych cieczą immersyjną, której współczynnik załamania nie powinien różnić się więcej niż $n=1 \cdot 10^{-3}$ od współczynnika załamania badanej bryłki



Pomiar smużystości szkła

- W przypadku badania bryłek szkła o kształtach nieregularnych należy zanurzyć je w specjalnych naczyniach, wypełnionych cieczą immersyjną, której współczynnik załamania nie powinien różnić się więcej niż $n=1 \cdot 10^{-3}$ od współczynnika załamania badanej bryłki.

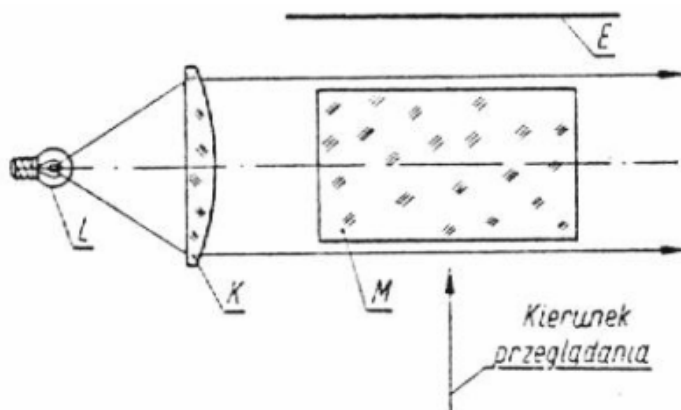


Pomiar pęcherzowości

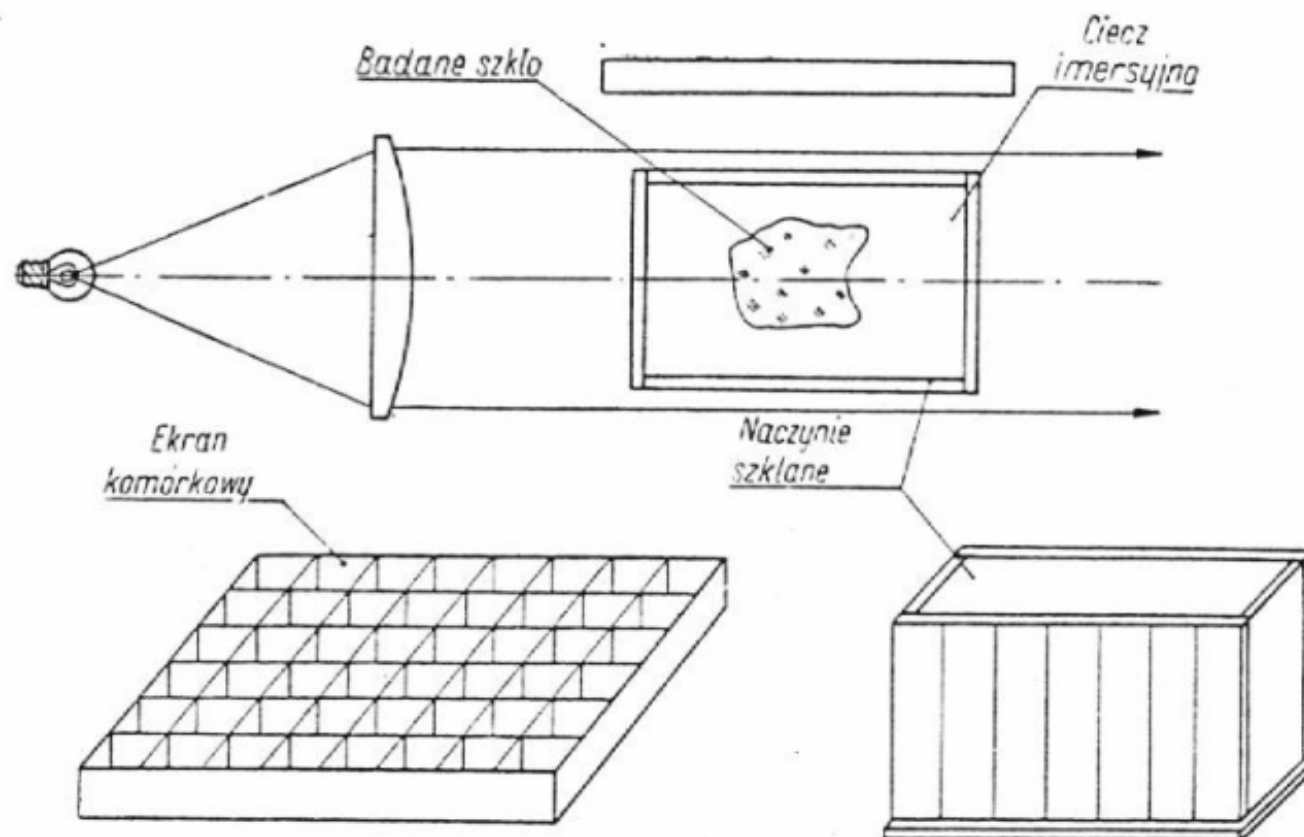
- W czasie wytopu dostają się do szkła wtrącenia ciał stałych oraz powstają pęcherze gazowe. Wtrącenia mogą stanowić również cząstki materiałów donicy i mieszadła oraz cząstki zestawu, które nie rozpuściły się w czasie wytopu. Wszystkie te wtrącenia powodują ogólnie wadę zwaną pęcherzowością szkła.
- Warunki techniczne dotyczące jakości szkła optycznego pod względem pęcherzowości dzielą je na 7 klas i 11 kategorii.

Klasę pęcherzowości określa się średnią ilością pęcherzy w 1 kg szkła.

Kategorię pęcherzowości określa się średnicą największego dopuszczalnego pęcherza w półfabrykacie.



Pomiar pęcherzowości

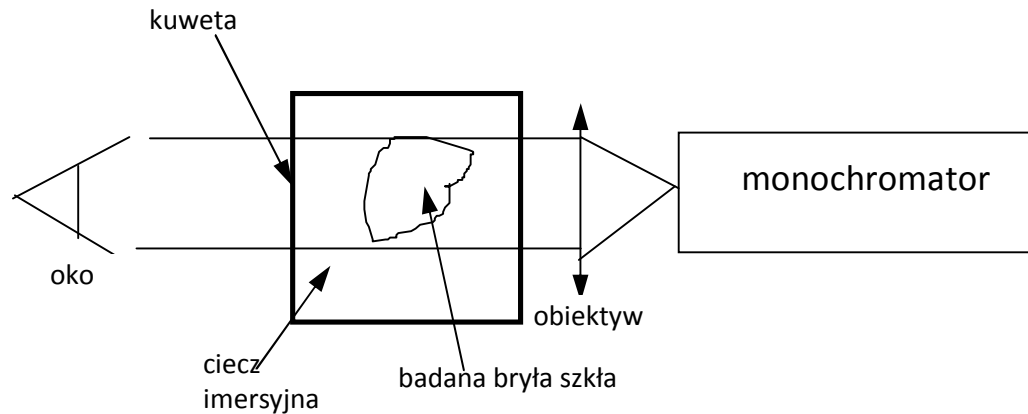


Pomiar pęcherzowatości

Kategoria szkła	Średnica największego pęcherza lub kamienia [mm]	Klasa szkła	Przeciętna ilość pęcherzy lub kamieni
1	0.02		
1a	0.05		
2	0.1	AA	10
3	0.2	A	30
4	0.3	B	100
5	0.5	C	300
6	0.7	D	1000
7	1.0	E	3000
8	2.0	F	10000
9	3.0		
10	5.0		

Pomiar współczynnika załamania

pomiar w bryłach szklanych

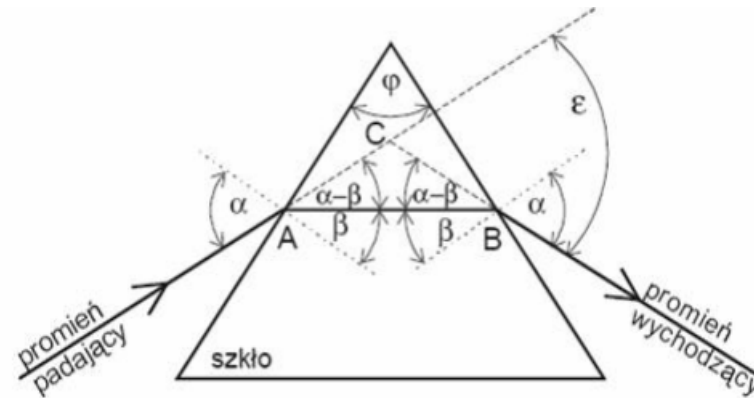


- ciecz immersyjna o znanym wsp. zał. i zbliżonym do wsp. zał. szkła
- znajduje się taką długość fali, przy której nie można odróżnić szkła od cieczy
wówczas współczynniki załamania są sobie równe

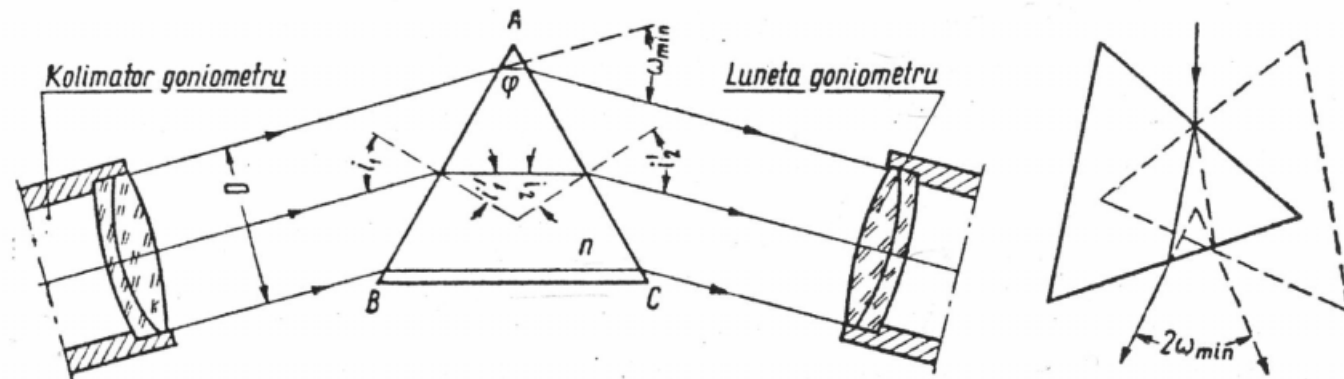
Pomiar współczynnika załamania

- Przy spektrometrycznych pomiarach współczynnika załamania materiał badany musi mieć kształt pryzmatu o dwuciennym kącie łamiącym φ .
- Pryzmat
 - kąt łamiący pryzmatu
 - kąt minimalnego odchylenia

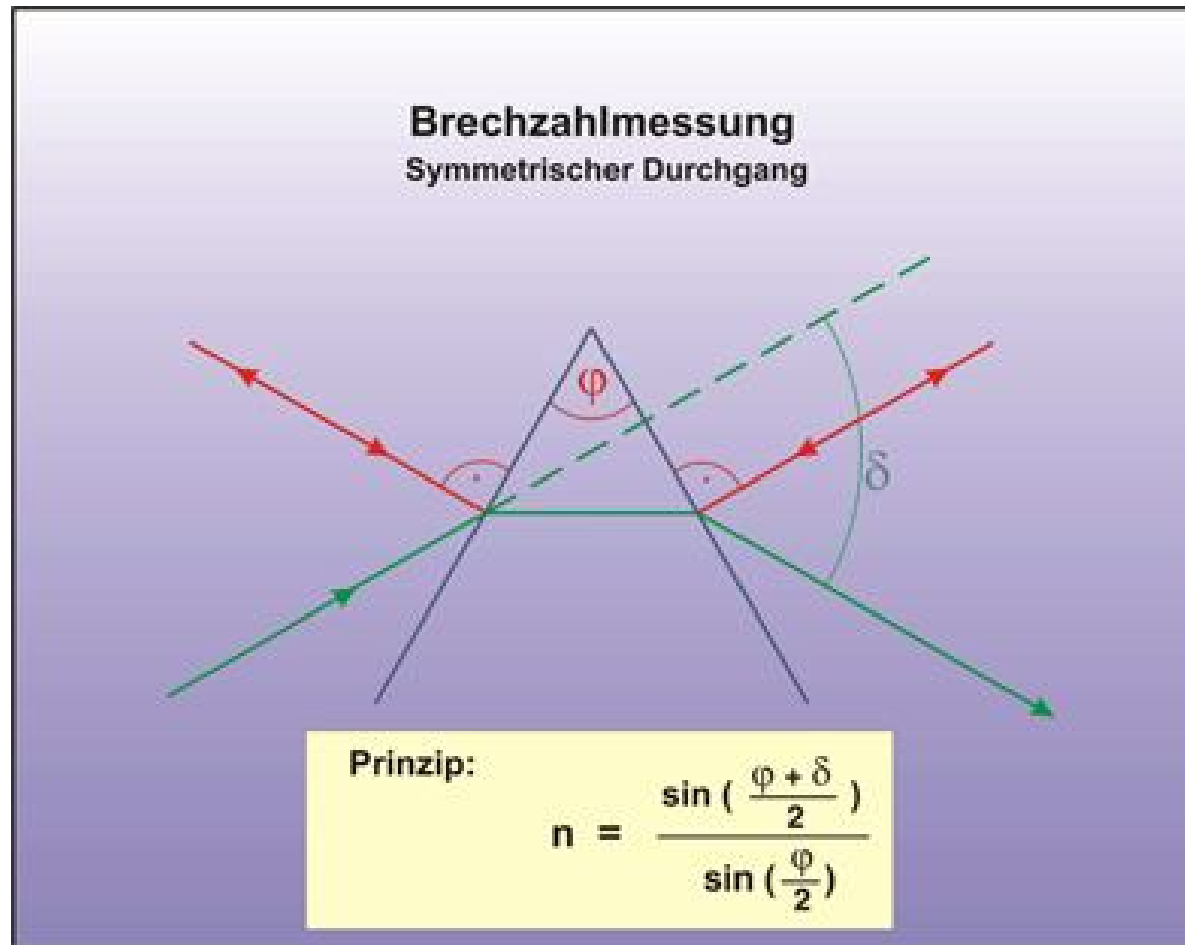
$$n = \frac{\sin \frac{\varphi + \varepsilon_{\min}}{2}}{\sin \frac{\varphi}{2}}$$



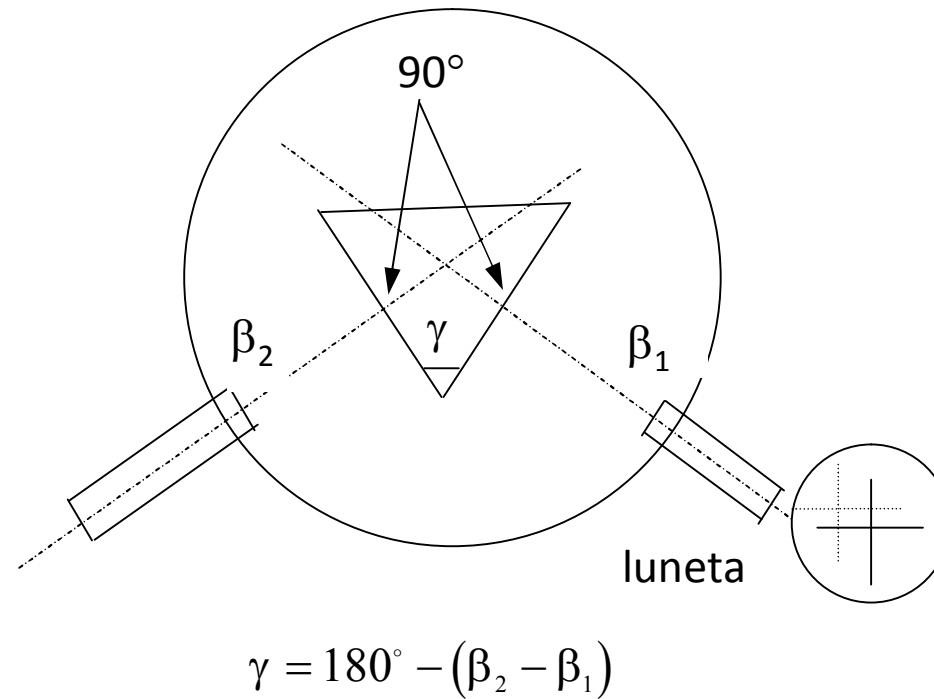
Metoda
Fraunhofer



Pomiar goniometrem

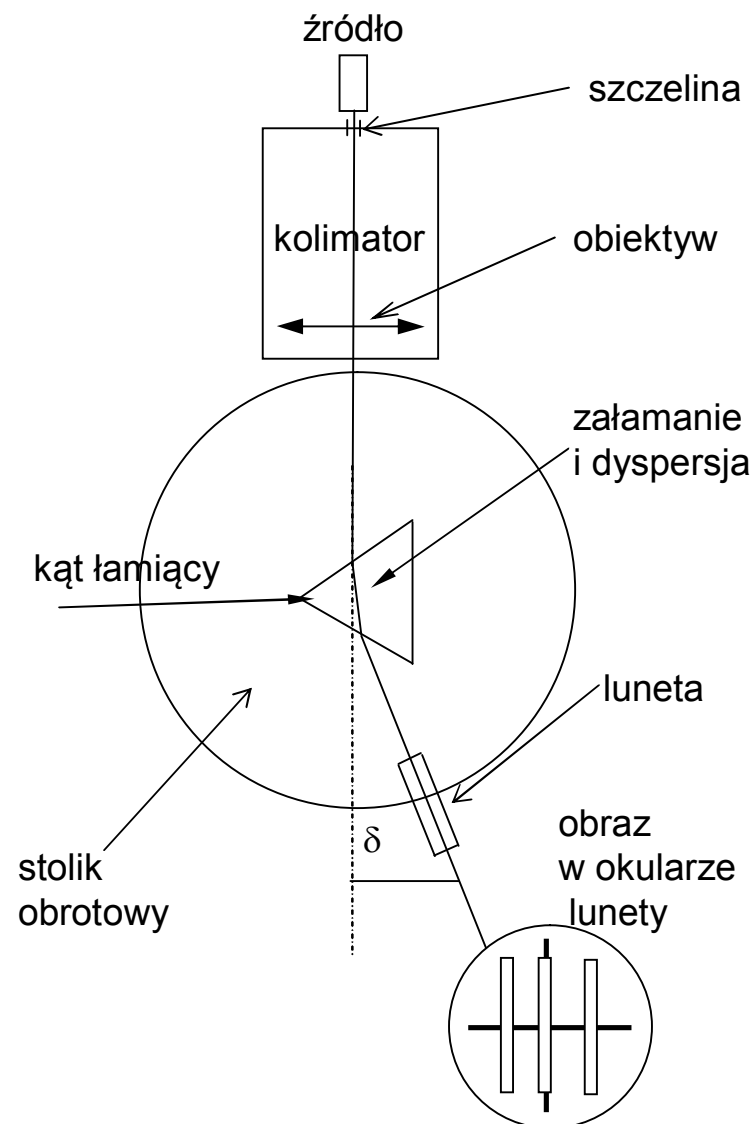


pomiar kąta łamiącego

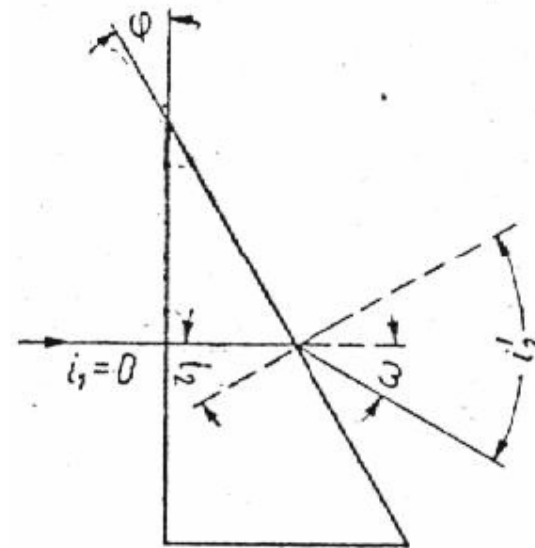
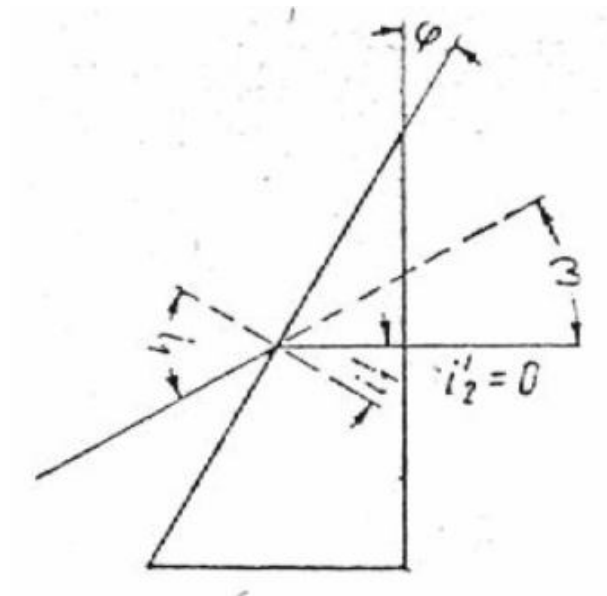


pomiar kąta minimalnego odchylenia

- należy tak obracać pryzmat, aby prążki obserwowane w lunecie były jak najbliżej kierunku pierwotnego (linia przerywana) wiązki; wówczas kąt odchylenia będzie najmniejszy
- źródła: np. lampy He, Ne, Hg, Cd, Na o znanych liniach widmowych (długościach fal)

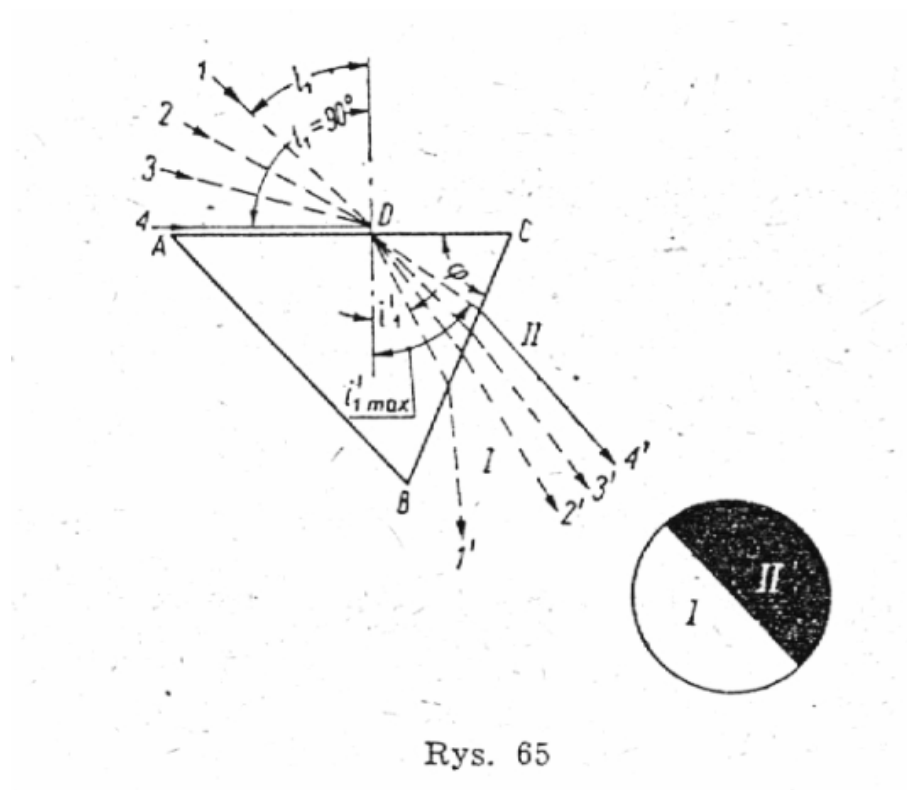


metoda promienia prostopadle wychodzącego
(wchodzącego) z pryzmatu



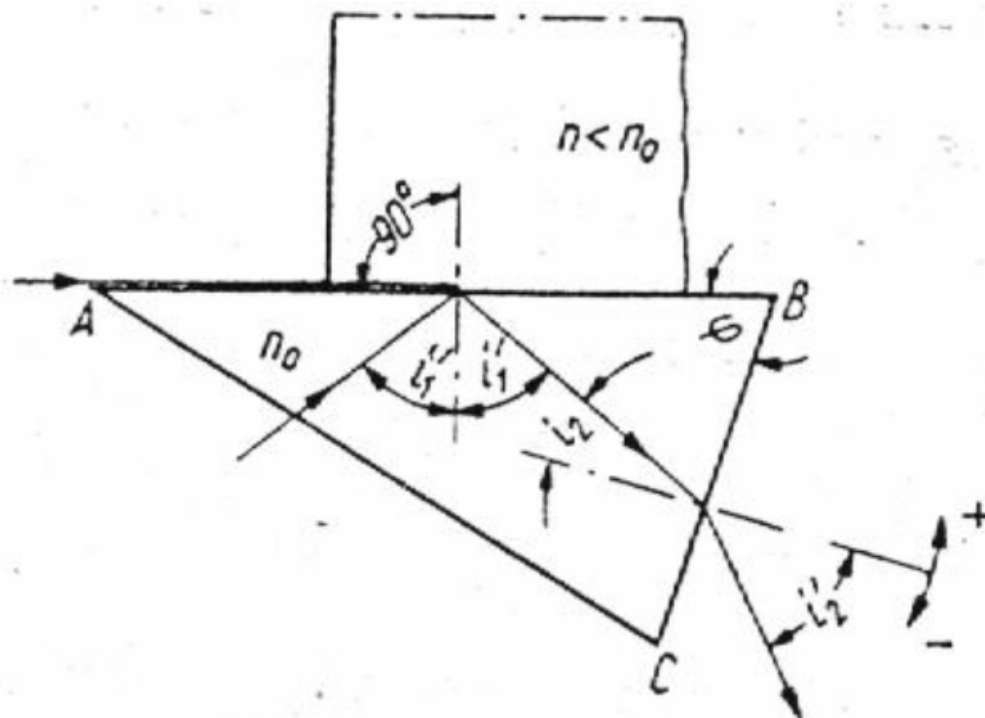
$$n = \frac{\sin(\varphi + \omega)}{\sin \varphi}$$

Metoda Kohlrauscha – pomiar n metodą kąta granicznego



$$n = \frac{\sin 90^\circ}{\sin i'_{1 \max}} = \frac{1}{\sin i'_{1 \max}}$$

Metoda Wollastona-Kohlrauscha – pomiar n metodą kąta granicznego



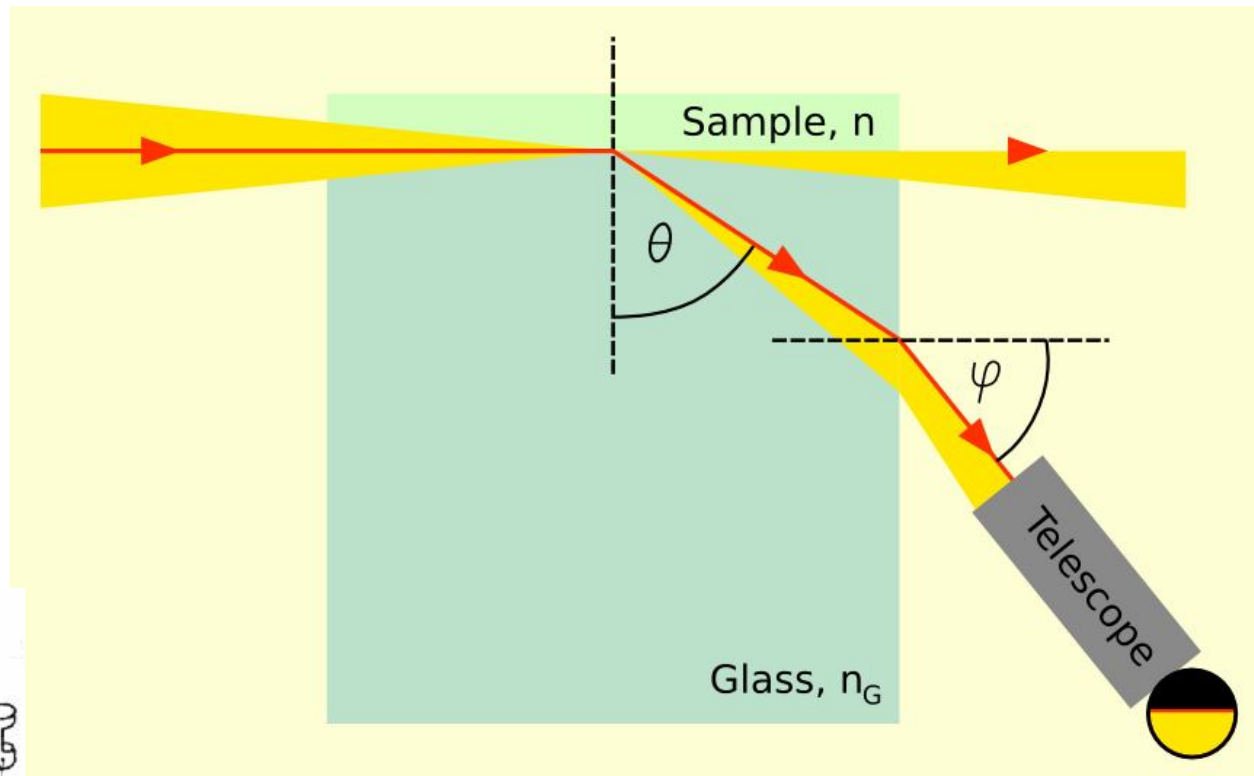
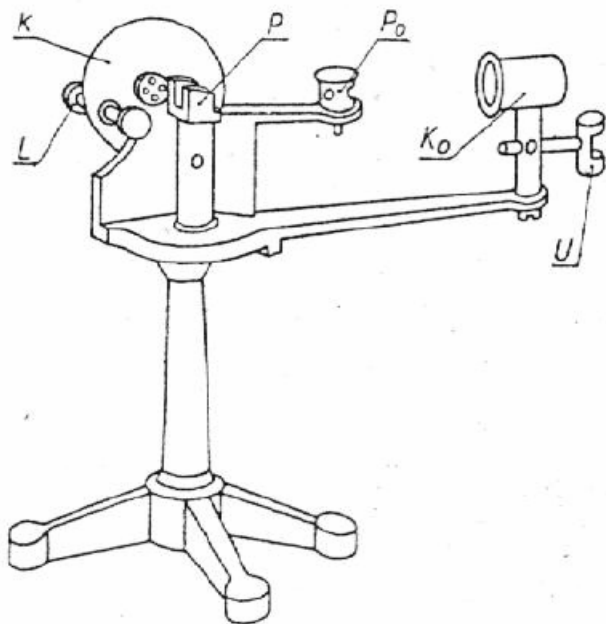
Dla $\varphi=90^\circ$

$$n = \sqrt{n_0^2 - \sin^2 i_2'}$$

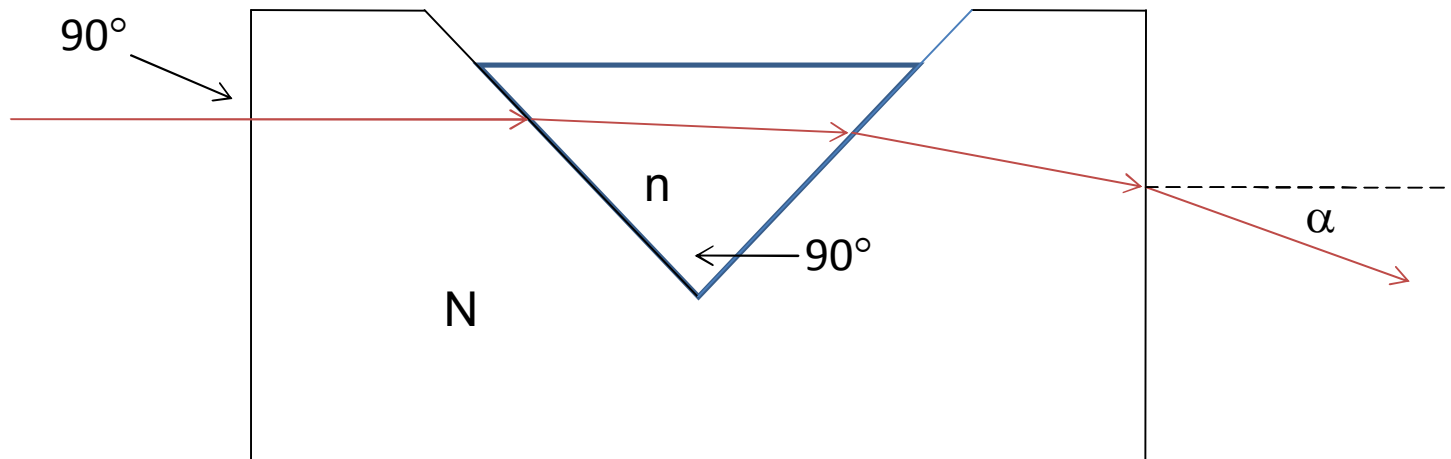
n_d mierzonej próbki	N pryzmatu refrakto-metrycznego	Rodzaj cieczy immersyjnej	n_d cieczy immersyjnej
poniżej 1,64	1,66	α -bromonaftalen	1,66
od 1,64 do 1,78	1,80	jodek metylenu	1,74
		nasycony siarką roztwór jodku metylenu	1,78

refraktometr Pulfricha

$$n = \sqrt{(n_G)^2 - \sin^2 \varphi}$$



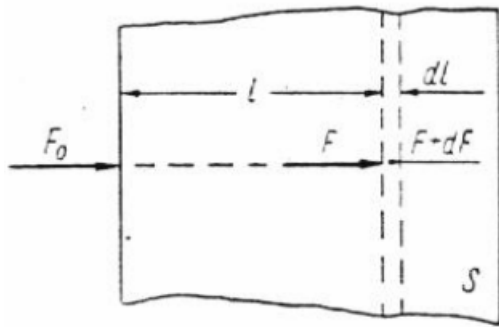
metoda pryzmatu prostokątnego – pomiar n
metodą spektrometryczną



$$n = \sqrt{N^2 - \sin^2 \alpha} \cdot \sqrt{N^2 - \sin^2 \alpha}$$

Pomiar współczynnika absorpcji

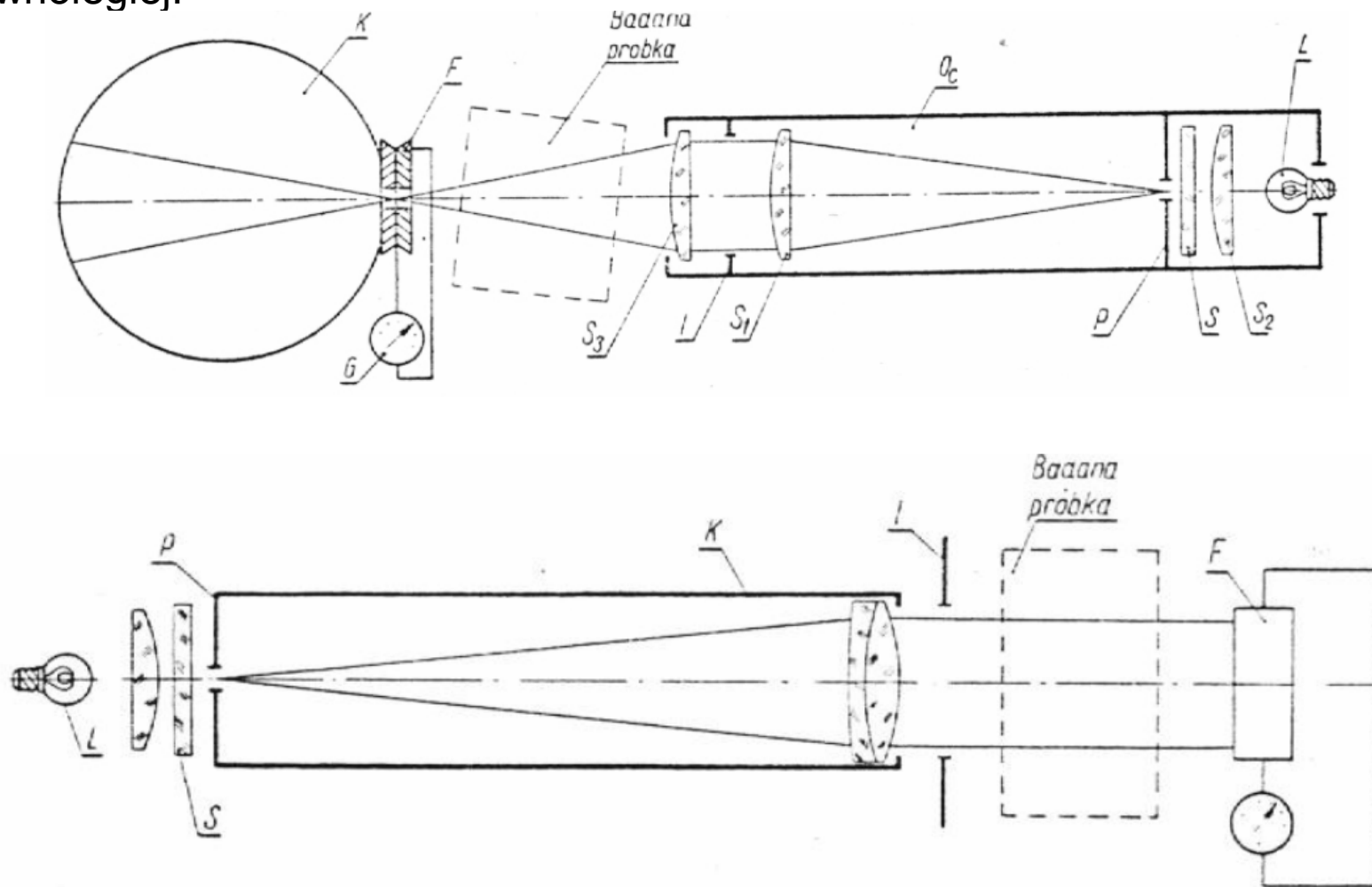
- Na przepuszczalność gotowego przyrządu optycznego wpływa w dużym stopniu ilości światła pochłoniętego w materiale (szkle). Ilość pochłanianego światła przez dany gatunek szkła charakteryzuje wielkość tzw. współczynnika absorpcji.
- Współczynnik absorpcji jest stosunkiem strumienia światła białego pochłoniętego w warstwie szkła o grubości 1 cm do strumienia świetlnego, padającego na tę warstwę.



$$k = \frac{1}{l} [2 \ln (1 - r_0) - \ln t]$$

Pomiar współczynnika absorpcji

Pomiarów absorpcji dokonuje się zarówno w świetle skolimowanym, jak i wiązce równoległej.



Pomiar współczynnika absorpcji

Podział szkła na kategorie ze względu na współczynnik absorpcji

Kategoria	Współczynnik absorpcji K
0	0.002
1	0.004
2	0.006
3	0.008
4	0.010
5	0.015
6	0.020

Właściwy obraz absorpcji światła dają pomiary spektrofotometryczne dla różnych długości fali.

pomiar stopnia zabarwienia

410nm

480nm

540nm

580nm

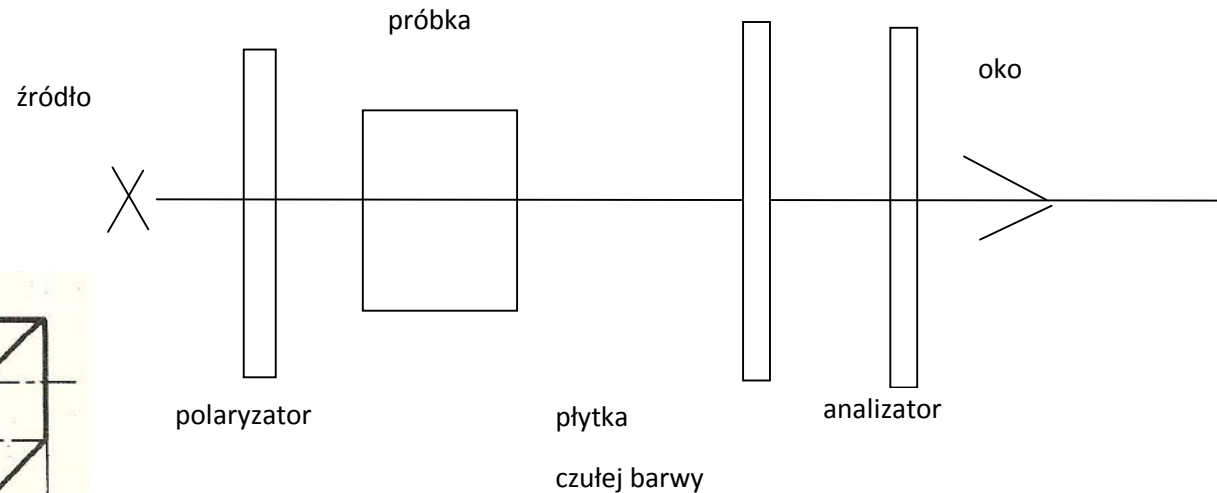
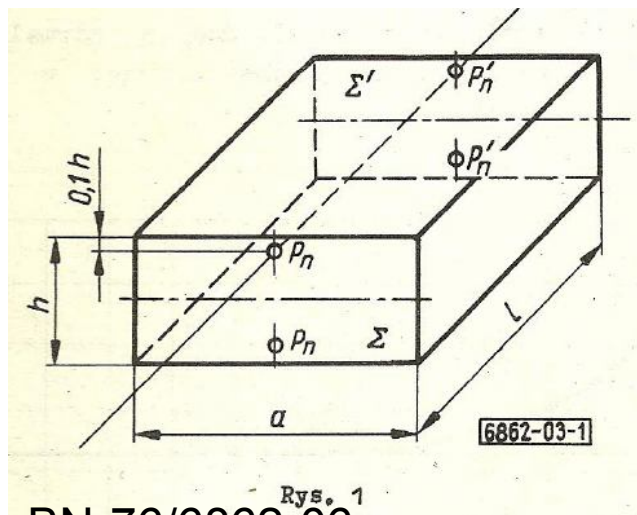
690nm

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^4 |t_{\max} - t(\lambda_i)|}{4}$$

Klasa zabarwienia	Zabarwienie	Kategoria zabarwienia	Stopień zabarwienia
		1	0.022
D	żółte	2	0.045
		3	0.080
		4	0.150
E	zielone	5	0.250
		6	powyżej 0.250

Pomiar dwójłomności

- Szkło stosowane w optyce powinno być materiałem izotropowym. W praktyce posiada zawsze pewne własności kierunkowe, spowodowane naprężeniami wewnętrznymi.
- Szkło posiadające naprężenia wewnętrzne staje się ciałem dwójłomnym. Do sprawdzenia dwójłomności prefabrykatów szklanych stosuje się polaryskopy i polarymetry.



Pomiar dwójłomności

Tablica 7

Różnice dróg optycznych w m μ	Barwa	Różnice dróg optycznych w m μ	Barwa
325	żółta	25	czerwona
275	żółtawozielona	130	pomarańczowa
200	zielona	200	jasnożółta
145	niebieskawozielona	260	żółta
115	niebieska	310	biała
0	purpurowofioletowa		

Kategoria dwójłomności	Różnica dróg optycznych nm/cm	Dwójłomność
00	do 3	Do $3 \cdot 10^{-7}$
0	Do 6	Do $6 \cdot 10^{-7}$
1	Do 10	Do $10 \cdot 10^{-7}$
2	Do 20	Do $20 \cdot 10^{-7}$
3	Do 40	Do $40 \cdot 10^{-7}$

pomiar odporności na działanie czynników kwaśnych

- 0.5n kwas azotowy lub roztwór kwaśny o pH=5,6
- temperatura 19÷20°C
- T: okres, po którym pojawiła się plama interferencyjna o barwie czarno-niebieskiej [godz.]

Kategoria	T [godz.]
1	ponad 100
2	100÷10
3	10÷1
4	1÷0.1
5	poniżej 0.1

Kategoria	Klasa	Czas [godz.]
5	a	Ponad 1
	b	1 - 0,1
	c	Poniżej 0,1

Pomiar współczynnika odbicia szkła

- Przy przejściu światła z jednego ośrodka do drugiego następuje na powierzchni rozdzielającej oba ośrodki zjawisko częściowego odbicia.
- Współczynnik odbicia szkła określa procentową ilość światła odbitego przy przejściu promieni z powietrza.
- Pomiar współczynnika odbicia na fotometrze fotoelektrycznym polega na porównaniu wskazań galwanometru (amperomierza, woltomierza) przy padaniu na fotokomórkę promieni świetlnych odbitych od badanej powierzchni i wzorcowej.

