

Sudium povrchového profilu čočky

V rámci této úlohy budeme studovat geometrický profil jednotlivých stěn brýlové čočky. Zařízení, které k tomuto účelu použijeme, je profilometr. Jedná se o podstatně vylepšenou a automatizovanou variantu sférometru. Výhoda profilometru oproti klasickému sférometru spočívá především ve skutečnosti, že dokáže proměřovat i asférické povrchy a má vyšší rozlišení (desítky až stovky nanometrů) - umožňuje tedy i posoudit, zda je povrch lokálně opticky vyhovující (tedy s přesností lepší než čtvrtina vlnové délky světla).

Pro naše potřeby budeme proměřovat vybrané plochy na povrchu čočky, jejichž velikost bude řádově 1 cm x 1 cm. Takové plochy jsou dostatečné pro prozkoumání, zda měřený povrch je skutečně koule, nebo v různých směrech oplývá různými poloměry křivosti. Pro zpracování naměřených dat použijeme volně šiřitelný program Gwyddion.

Na základě získaných hodnot můžeme vyhodnotit Gullstrandovu rovnici pro mohutnost φ tlusté čočky,

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 - \frac{d}{n} \varphi_1 \varphi_2,$$

kde φ_i jsou mohutnosti jednotlivých jejích povrchů, d její tloušťka a n její index lomu. Pro čočku umístěnou na vzduchu platí

$$\varphi_1 = \frac{n-1}{r_1} \quad \varphi_2 = \frac{1-n}{r_2}.$$

Pro oba poloměry přitom platí znaménková konvence, udávající, že kladný je takový poloměr, který leží vpravo od příslušné lámavé plochy.

Chceme-li posoudit, zda se v konkrétním případě bude jednat o čočku přibližně tenkou, musíme zkoumat hodnotu posledního členu v Gullstrandově rovnici. Pokud tato hodnota bude proti prvním dvěma členům zanedbatelná, můžeme třetí člen vypustit a jedná se o tenkou čočku. V praxi zpravidla postačuje podmínka $d \ll r_1 r_2$, vycházející z dosazení mohutností jednotlivých povrchů do Gullstrandovy rovnice. Všimněme si několika zcela obecných pozorování:

1) u dvojdutých i dvojevypuklých čoček jsou oba poloměry opačných znamének. Proto se v přiblížení také čočky jejich mohutnosti skládají a třetí člen mohutnost tlusté čočky posouvá vždy ke kladným dioptriím

2) u menisku jsou oba poloměry stejného znaménka. Proto se v přiblížení tenké čočky jejich mohutnosti kompenzují a třetí člen mohutnost tlusté čočky posouvá vždy směrem k záporným dioptriím

3) čočka s alespoň jednou stěnou plochou je vždy tenká, neboť formálně pro plochou stěnu musíme klást $r_i \rightarrow \infty$.

Úkoly:

1. Pro vybranou čočku změřte pomocí automatizovaného profilometru topografii jejích povrchů. Alespoň na jedné ze stěn proveďte měření jak u vrcholu čočky, tak u jejího okraje.
2. Z naměřených dat určete poloměry křivosti jednotlivých stěn čočky.
3. Vypočítejte mohutnost čočky, a to jak v přiblížení tlusté, tak tenké čočky. Pro oba výpočty zvolte vhodnou velikost indexu lomu a realistickou tloušťku čočky.
4. Diskutujte reálnost použití přiblížení tenké čočky. Posuďte asféricnost čočky, způsobenou oploštěním stěn čočky.

Měření

Čočky proměříme v profilometru Dektak firmy Veeco v bezprašných laboratořích Ústavu fyziky kondenzovaných látek. Je proto potřeba před vstupem do laboratoří obléknout kombinézu, rukavice a návleky, a vzorky přinášené na měření řádně očistit od prachu. Ze stejného důvodu nelze vstupovat do laboratoří s onemocněním rýmového typu a je také bezpodmínečně potřeba vyhnout se před vstupem do čistých prostor použití make-upu.

Čočky umísťujeme pod měřicí hrot profilometru poblíž jejich vrcholu (s výjimkou měření, které záměrně budeme provádět u okraje čočky). Využijeme možnosti náklonu měřicího stolku tak, aby střed oblasti zvolené k získání povrchové mapy profilu čočky byl co nejvíce vodorovný. V případě, že měříme vypuklou stranou čočky dolů, podložíme ji vhodným měkkým materiálem, abychom zabránili poškrábání jejího vrcholu o kovový stolek profilometru.

Po nastavení vhodné úrovně osvětlení zvolíme v měřicím menu vhodný rozsah proměřované oblasti. Profilometr vždy měří nejprve podél čáry ve směru od pozorovatele (hrot sám stojí, vzorek je přisouván dopředu), následně se vrátí na její začátek, přesune měřicí hrot směrem vlevo (resp. vzorek směrem vpravo) a měří další sken ve směru od pozorovatele. Musíme proto na začátku nechat program vycentrovat měřicí stolek a čočku položit vrcholem mírně dozadu a vlevo od měřicího hortu. Přítlak hrotu na povrch čočky je vhodné volit tak, aby nedošlo k poškrábání povrchu čočky, možné hodnoty leží mezi jedním a deseti miligramy.

Dvěma hlavními parametry, ovlivňujícími délku měření jsou trvání jednoho skenu (směrem od uživatele) a počet skenů (směrem doleva) na zvolený rozsah proměřované plochy. Je vhodné nejprve vykonat přípravné měření na zvolené ploše, ale v rychlejším sledu a s menším počtem skenů, během něhož ověříme, že profil čočky nikde neleží mimo měřitelné rozpětí přístroje. Teprve potom přistoupíme k hlavnímu měření. Přitom je třeba dbát na to, aby po dokončení (případně přerušení) každé mapy byl stolek softwarově vrácen do vycentrované polohy.

Zpracování měření

Naměřená data zobrazíme ve volně šiřitelném programu Gwyddion. Po jejich otevření nejprve použitím pravého tlačítka opravíme zbytkový sklon čočky při měření (nástroj 'plane level') a následně data posuneme pro lepší čitelnost tak, aby minimální výšková hodnota ležela v počátku souřadnic (nástroj 'fix zero'). Žádná z těchto operací následný výpočet křivostí neovlivňuje.

Takto upravená data je již vhodné zkoumat nástrojem 'level>curvature' z hlavního menu. Výstupem tohoto nástroje jsou dvě hodnoty poloměru křivosti pro danou plochu: nejmenší a největší ze všech zjištěných. Tyto hodnoty se nazývají hlavními křivostmi, a lze ukázat, že přestože má libovolná plocha v daném místě v obecném případě v každém směru jinou křivost, nejmenší a největší z nich (hlavní křivosti) jsou na sebe navzájem kolmé. Právě tyto křivosti vydává uvedený nástroj. Jsou-li stejné v obou kolmých směrech, jedná se o kulový povrch, různí-li se, jedná se o povrch asférický.

V rámci bližšího zkoumání aplikujeme na data ještě nástroj 'level>fit sphere', který vydává pouze jedinou hodnotu: je to poloměr, jaký by musela mít koule, která by nejvěrněji změřený povrch vystihla. V případě, že obě hlavní křivosti splývají, jedná se více méně o kontrolu předchozího výsledku - všechny získané poloměry by si měly odpovídat. V případě, že pomocí prvního nástroje byla zjištěna asféricita, bude zřejmě poloměr ideální koule ležet mezi oběma hlavními křivostmi. Právě hodnotu poloměru ideální koule je potřeba dosazovat do Gullstrandovy rovnice. Při samotném fitování tohoto poloměru je potřeba správně nastavit přepínač horní/dolní koule podle toho, zda měříme dutý či vypuklý povrch a zároveň musí být uvolněny všechny parametry pro fitování (je třeba odstranit zaškrtnutí všech čtverečků fitovacího okna).