

14. ročník, úloha IV. E ... změřte ho! (8 bodů; průměr ?; řešilo 48 studentů)

Ledová královna žije v říši, kde je všechno kromě lidí, živočichů, rostlin a několika málo dalších věcí z ledu. Chudinka královna zjistila, že potřebuje nové brýle. Jenže její dvorní brusič brýlí umí jenom brýle ze skla a snad by si vzpomněl, jak je udělat z ledu, ale potřeboval by na to znát jeho index lomu. A jelikož všechny MF tabulky v království jsou z ledu, nejde z nich nic přečíst, a tak mu nezbyvá, než ho změřit, jenže neví jak. A tak vás prosí o pomoc. Poradte mu a pro jistotu i danou veličinu změřte sami, neboť on je nešika a nic jiného než brousit brýle neumí.

Úlohu navrhl Milan Berta, pohádku vymyslela Lenka Zdeborová.

Teorie

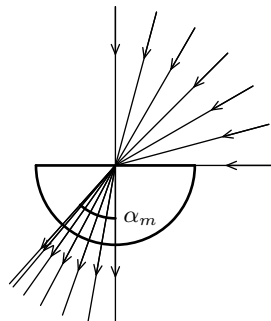
Pro index lomu světla platí Snellův zákon lomu

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2},$$

kde n_1 a n_2 jsou indexy lomu světla jednotlivých materiálů (pro vzduch $n_1 = 1$) a α_1 a α_2 jsou úhly, pod kterým paprsek na rozhraní vchází a vychází.

My jsme použili Abbeův polokulový refraktometr. Jeho základ tvoří průhledná polokoule o známém indexu lomu (většinou ze skla). Měří se ním mezní úhel, pro který, po položení kousku neznámého materiálu s indexem n_2 na polokouli, platí ($\alpha_1 = 90^\circ$)

$$n_2 = n_1 \sin \alpha_m.$$



Obr. 1

Dalekohled se pohybuje po kružnici tak, aby byl vždy namířený na bod O, který je středem polokoule, a my tak vidíme jenom paprsky, které z něj vycházejí. Zjistíme průchod tmy a světla, právě tehdy se budeme dívat na rozhraní materiálů pod úhlem α_m .

Nezáleží na čírosti materiálu. Jediné, co potřebujeme, je jedna hladká plocha. Ta se zajistí ponecháním ledové kostky chvíli na skle. To je velká výhoda, protože s přípravou pravidelného ledového tělesa jsou velké potíže. Když bychom chtěli měřit úhel dopadu a lomu na rozhraní vzduch – led klasickou metodou, potřebujeme čirý exemplář ledu s hladkými a rovnoběžnými stěnami, jinak se dopustíme chyby. Protože my se do toho ledu budeme z některé strany i dívat.

Vybíráme z dalších metod, které byly v experimentálce použity. Vezmeme si na pomoc učebnici fyziky třetího ročníku – proto k sestavě jen krátce. Vyrobit si ledový půlkruh a úhly α_1 a α_2 vyznačujeme špendlíky, přičemž všechny mají být při pohledu z boku na půlkruh v zákrytu. Záleží na tom s jakou přesností byl vyroben ten půlkruh. Nejpřesněji se dá vyrobit, když máme přesnou půlkruhovou formu. I tady se dal měřit mezní úhel.

Měříme tzv. Brewsterův úhel. Pro něj platí $\text{tg } \alpha_p = n$. Je to úhel, při kterém se světlo (např. ze svíčky) úplně zpolarizuje. Jsou alespoň dva způsoby převedení. Rovná ledová plocha a polarizační skličko nebo dvě ledové plochy. To druhé je složitější. Potřebujeme zajistit, aby nám světlo dopadalo na led pod úhlem α_p a odtud odražené na druhou ledovou plochu taky pod úhlem α_p . V každém případě hledáme úhel, při kterém se nám světlo ze svíčky po odrazu(ech) ztratí.

„Jak vyrobit čirý led?“ se ptali někteří z vás. Nejčirější led se dá vyrobit podchlazením vody a následným drbnutím do nádoby s ní. Pomalé mražení je taky řešením, ale nejjednodušší snad je zajít si k některému rybníku nebo koupališti a poohlédnout se tam. Led bude zaručeně čistý, ale zpracovat ho na pravidelný útvar nám dá nemalou práci.

Naměřené a získané hodnoty

Index lomu skla, ze kterého byla vyrobená polokoule $n_1 = 1,737 \pm 0,002$.

č. m.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
α_m	49° 41'	49° 45'	49° 40'	49° 45'	48° 30'	50° 00'	49° 50'	49° 42'	49° 35'	49° 40'
n_2	1,324	1,326	1,324	1,326	1,301	1,331	1,327	1,325	1,322	1,324
$\Delta n_2 / 10^{-3}$	1	3	1	3	22	8	4	2	1	1
$(\Delta n_2)^2 / 10^{-6}$	1	9	1	9	484	64	16	4	1	1

průměrná hodnota: $\bar{n}_2 = 1,323$

standardní odchylka: $\sigma_{\text{stand}} = 8 \cdot 10^{-3}$ (ke hrubé chybě dle $3\sigma_{\text{stand}}$ kritéria nedošlo)

statistická odchylka: $\sigma_{\text{stat}} = 3 \cdot 10^{-3}$

systematická odchylka: $\sigma_{\text{syst}} = 1 \cdot 10^{-3}$, což můžeme zanedbat

celková chyba: $\sigma_{\text{celk}} = 9 \cdot 10^{-3}$

hledaná hodnota: $n_2 = 1,32 \pm 0,01$

Diskuse

Chyb jsme se dopouštěli, když jsme určovali přechod mezi tmou a světlem. Totiž to rozhraní někdy nebylo ostré, vadila tam voda, která se tála z ledu a stékala skrz hranu polokoule. To by se dalo obejít, kdybychom jsme pracovali při teplotách pod nulou, nejlepší tedy venku (získat dostatečně veliký mrazák by byl docela problém).

Závěr

Hodnota indexu lomu ledu, kterou jsme naměřili pro žluté světlo, je $1,32 \pm 0,01$. Chyba měření vyšla 0,7 %, což je velice dobré.

Milan Berta