

20.9.2012

11. Úloha

I. Zadání

Fingerprints

Fill a glass with a liquid and hold it in your hands. If you look from above at the inner walls of the glass, you will notice that the only thing visible through the walls is a very bright and clear image of patterns on your fingertips. Study and explain this phenomenon.

II. Úvod

Úloha po nás žádá teoreticky vysvětlit a experimentálně potvrdit jev, kdy při držení sklenice naplněné vodou „prosvítají“ skrz stěnu naše otisky prstů. V našem řešení se jev pokusíme vysvětlit pomocí optické fyziky. Krom toho daný jev ověříme.

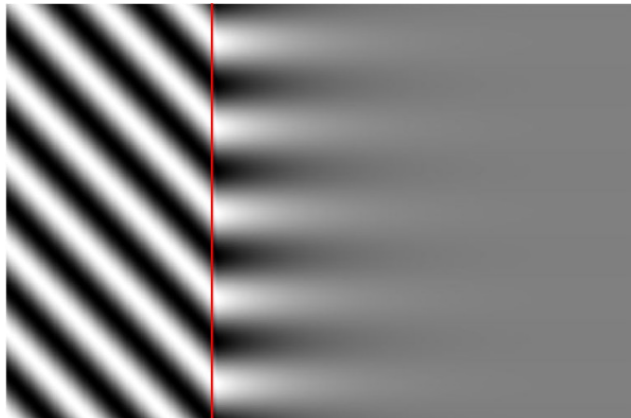
III. Teorie

Jev, ke kterému dochází na rozhraní dvou optických různých prostředí při průchodu světla je nám dobře znám. Jedná se o lom světla. V extrémním případě dochází k úplnému odrazu, ten nastane, pokud úhel od kolmice, pod kterým světelný paprsek dopadá na rozhraní, splňuje

$$\alpha = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

Úloha říká, že krom otisků prstů by na rozhraní kapaliny a stěny sklenice nemělo být vidět nic. Proto úhel, pod kterým se na danou stěnu díváme, by měl být $\varphi \geq \alpha_m$.

Otázkou nyní je, proč při úplném odrazu je vůbec něco za stěnou vidět. Mohli bychom uvažovat teorii evanescentní vlny. Evanescentní vlna je elektromagnetická vlna na rozhraní dvou prostředí s různými optickými vlastnostmi. Šíří se podél rozhraní a kolmo na rozhraní ubývá exponenciálně. Z hlediska řešení vlnových rovnic jde o pole krátkého dosahu, které zajišťuje spojitost normálových složek polí. Vzniká při průchodu světla rozhraním, tedy v našem případě při úplném odrazu.



Obrázek 2: Evanescenční vlna za rozhraní při úplném odrazu

Hloubka, do které tato vlna pronikne je dána vztahem,

$$d = |k_{tz}|^{-1} = \frac{1}{\frac{\omega}{c} \sqrt{n_1^2 \sin^2 \alpha - n_2^2}} = \frac{\lambda_i}{2\pi \sqrt{n_1^2 \sin^2 \alpha - n_2^2}} \quad (2)$$

kde d je charakteristická míra průniku pro daný úhel dopadu v řádu vlnové délky. Takže například, pokud se budu koukat na rozhraní voda-sklo (náš případ – $n_1=1,33$, $n_2=1,52$) pod úhlem 65° dostaneme pro $\lambda=400$ nm $d=84$ nm, pro $\lambda=700$ nm dostaneme $d=148$ nm.

Bříška prstů obsahují rýhy stopu – otisky. Nicméně rozdíl mezi rýhami hřebeny v otiscích je v řádu setin až desetin milimetru. Proto nás zde evanescentní vlna neuspokojuje – nemohl by na takovou vzdálenost učinit rozdíl mezi viditelností rýh. Vysvětlení musíme hledat jinde. Zkusíme si daný jev vyzkoušet a zdokumentovat.

IV. Experimenty

Nejprve jsme si chtěli ověřit, že opravdu jediná věc viditelná za stěnou sklenice s vodou jsou otisky prstů.



Obrázek 3: Otisk prstu viditelný za sklenicí naplněnou vodou

Na obrázku 2 si tedy můžeme povšimnout hned několika věcí. Zprvée, opravdu nic krom otisku za sklenicí není vidět – resp. prst, který je za sklenicí není vidět – pouze odraz dna, který odpovídá naší teorii o úplném odrazu. Zadruhé si můžeme povšimnout, že to co je vidět je tmavší – to je ta část, kde jsou na prstu hřebeny, které se dotýkají stěny sklenice. Zatřetí, tmavší – viditelná část je v barvě prstu – lehce oranžová.

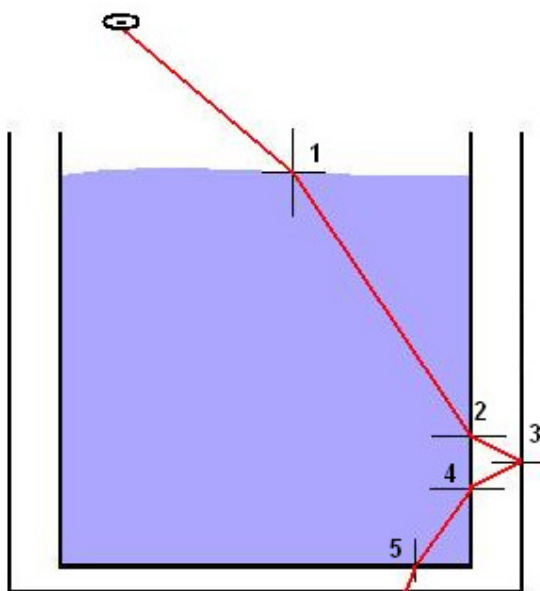
Při druhém pokusu jsem si jeden prst namočil a srovnal otisk prstu suchého (resp. normálně mastného) a mokrého.



Obrázek 4: Fotografie prstu, který byl suchý (pouze přirozeně mastný) a prstu, který byl mokrý

VYSVĚTLENÍ

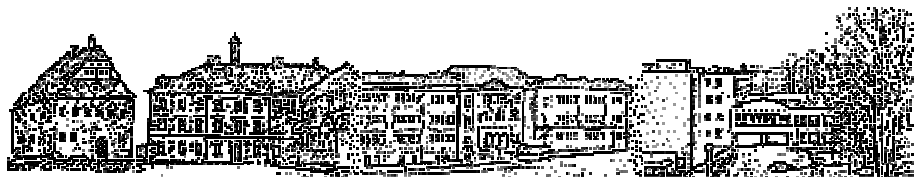
Teorii evanescentní vlny jsme tedy zavrhlí. Daný jev se nyní, díky provedeným pokusům, dá vysvětlit pomocí jednoduché optiky. Jak už jsme řekli, na hranici sklo-vzduch dochází k úplnému odrazu. Proto při pohledu shora vidíme vlastně podložku, na které je sklenice položena. Chod paprsku z podložky do oka znázorňuje následující schéma.



Obrázek 5: Pohled shora na libovolné místo na stěně sklenice s vodou

Na obrázku 4 vidíme, že úplný odraz nastává v bodě 3, přičemž v bodech 1,2,4,5 nastává lom světla. Výsledkem tedy je, že při pohledu shora na stěnu vidíme podložku. To je důvodem, proč nic za stěnou není vidět.

Pokud ovšem přiložíme ke stěně prst, prostředí přechodu sklo-vzduch se v místech, kde se prst těsně dotkne sklenice, mění na přechod prostředí sklo-prst. Dokonalý dotyk nastává ale pouze v místech, kde se dotýkají z bříšek prstů pouze hřebeny a to díky mazu, který na nich je. V tomto okamžiku ale nenastává úplný odraz – už nevidíme podložku (pouze v místech rýh prstů – ty se nedotýkají). V místech kde se prst dotýká těsně skla, nastává případ, kdy se vlastně ve skle díváme na prst. Je to stejný případ, jako když se díváme na prst ve vzduchu. Tedy vidíme ho normálně – to potvrzuje i to, že má barva zůstala zachována.



20.9.2012

V. Závěr

Shrneme-li tedy jevy, které nastávají, při pohledu na stěnu sklenice dochází k několika lomům, které nám usnadňují pohled, a na hranici sklo-vzduch dochází k úplnému odrazu, díky kterému za stěnou nevidíme to co za ní reálně je, ale podložku, na které je sklenice položena. Pokud přiložíme prst, nic se neděje, dokud se určité části těsně nedotknou stěny sklenice. K tomu pomáhá maz na rukách, který slouží jako lubrikant. Hřebeny bříšek prstů mohou tedy „přilnout“ ke sklenici. Tehdy už v místech dotyku nenastává úplný odraz, ale můžeme pozorovat otisky prstů – hřebenů stejně, jako bychom je pozorovali normálně. V místech, kde jsou rýhy bříšek prstů nebo se prst nedotýká těsně sklenice, nastává úplný odraz, proto jsou místa, kde jsou rýhy bříšek prstů, stejně světlá jako okolí – jedná se taky o obraz podložky.

ZDROJE

<http://www.coldatoms.com/en/research/evanescent-wave/23-waciwoci-fali-zanikajcej.html>