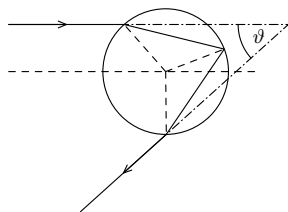


Úloha II.1 ... chromohrátky

2 body; průměr 0,64; řešilo 61 studentů

Jak by vypadala duha, kdyby místo deště ze sladké vody přšel třeba olej, kyselina sírová nebo sklo?
Domínika viděla duhu.

Nejdříve krátce popišme, jak duha vzniká. Většinou ji vidáme v dešti, na který svítí slunce. Za duhu je zodpovědná ta část světla, která se uvnitř kapky jednou odrazí zevnitř o stěnu a poté kapku opustí (viz obrázek 1). Budeme-li zkoumat úhel ϑ , který svírá paprsek vcházející do kapky a paprsek z ní vycházející, zjistíme, že nemůže překročit určitou hodnotu (ϑ_m) závislou na indexu lomu. Z každé kapky tedy vychází kužel takovýchto paprsků, který má vrcholový úhel ϑ_m . K pozorovateli pak tyto paprsky přicházejí pouze od kapek, které se nacházejí uvnitř kužele o vrcholovém úhlu ϑ_m odvráceného od slunce. Intenzita přicházejících paprsků závisí na úhlu, ze kterého přicházejí. Jak se úhel blíží k ϑ_m , roste intenzita k nekonečnu. Graf na obrázku 2 schematicky znázorňuje tuto závislost. Hranice tohoto kužele je tedy velice jasná. Jelikož je voda (jako v podstatě každý materiál) prostředí opticky disperzní, závisí index lomu na vlnové délce. Čím je vlnová délka větší, tím je menší index lomu. Duha vzniká proto, že kužel, ze kterého přichází odražené modré světlo, je menší než kužel, ze kterého přichází červené světlo. Výrazná hranice je jinde pro každou barvu, a proto vidíme duhu.



Obr. 1: Odraz a lom paprsku v kulové kapce

Protože vnější barva duhy je červená (s nejmenším indexem lomu), můžeme usoudit, že čím menší je index lomu, tím větší je kužel. Pokud by přšel materiál o jiném indexu lomu, byl by daný kužel a tedy úhlový poloměr duhy jiný. Pro vyšší index lomu by byla duha menší.

Vzorec pro ϑ_m není příliš složitý a nadšenci si jej mohou odvodit.

$$\vartheta_m = 4 \arcsin \sqrt{\frac{4 - n^2}{3n^2}} - 2 \arccos \sqrt{\frac{n^2 - 1}{3}},$$

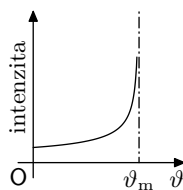
kde n je index lomu.

Pro vodu, která má index lomu 1,33, je $\vartheta_m \approx 42^\circ$. Šedesátiprocentní roztok kyseliny sírové má index lomu 1,41 a $\vartheta_m \approx 32^\circ$. Kdyby přšely kuličky běžného skla o indexu lomu 1,5, byla by duha téměř poloviční – $\vartheta_m \approx 23^\circ$.

Pro upřesnění dodejme, že vzorec výše udává úhel, ve kterém intenzita diverguje a tedy tam vzniká duha. Pro index lomu větší než 1,55 je kužel širší než ϑ_m a duha není na hranici.

Zajímavé je, že pro index lomu větší než 2 již maximum tohoto typu nenastává a duha nevzniká. Kdybychom tedy donutili diamant, aby se zformoval do kuliček a začal přšet, duhu bychom neviděli, protože diamant má index lomu 2,4.

V našem řešení se zabýváme pouze duhou prvního řádu, vznikající díky jednomu odrazu uvnitř kapky. Paprsky, které se uvnitř kapky odrazí vícekrát, dávají vzniknout duhám vyšších řádů, které jsou ale mnohem méně zřetelné. Pro zajímavost uvedeme, že duha



Obr. 2: Závislost intenzity na úhlu pozorování

druhého řádu (dva odrazy) vzniká pro materiály, jejichž index lomu je menší než 3, tedy i pro diamant.

Jáchym Sýkora
jachym@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported. Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.