Duha

Duha patří mezi optické úkazy, které vznikají v atmosféře Země rozkladem slunečního světla na kapičkách vody. Opticky je to jev velmi složitý, přesto ho lze stručně (a správně) vysvětlit na základě průchodu světla vodní kapkou. Vodní kapka má, navzdory vžité představě, kulový tvar, což je dáno povrchovým napětím vody a minimem povrchové energie.

Tento tvar mají zejména malé kapky. Větší kapky jsou výrazněji deformované vlastní tíhovou silou, takže se od kulového tvaru odlišují.

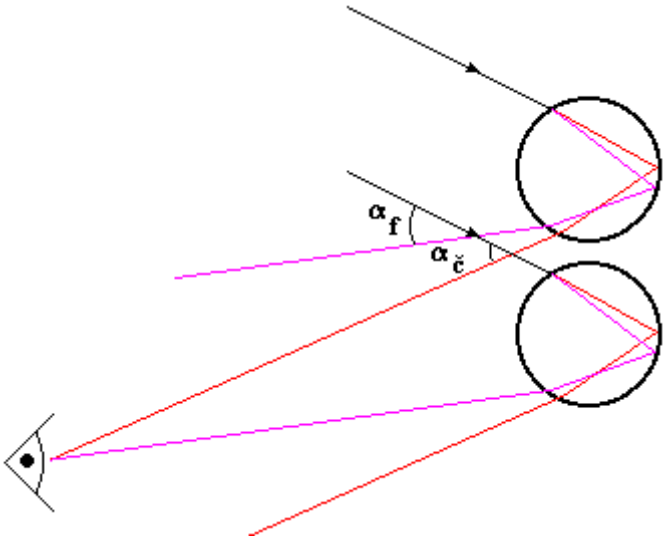
Světlo přicházející od Slunce vstupuje do vodní kapky (tedy do opticky hustšího prostředí než je vzduch), přičemž se láme a nastává jeho rozklad na barevné spektrum. Na vnitřní stěně kapky pak nastává totální odraz a světlo pak vystupuje ven. Každá kapka tedy funguje vlastně jako optický hranol.

Podle počtu odrazů rozlišujeme:

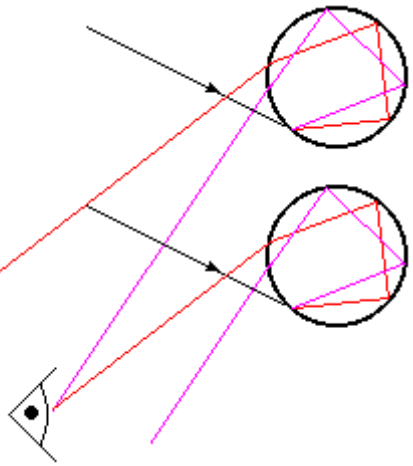
1. hlavní duhu (primární duhu) - v kapce nastává jeden totálnímu odrazu (viz obr. 32). Fialové světlo vychází z kapky pod ostřejším úhlem než světlo červené, přesto se však červená barva objevuje nahoře. Je to způsobeno tím, že červené světlo, které vnímáme naším okem, přichází z kapiček, které „jsou výše“. Duha má tvar kružnice se středem v protislunci, tj. v bodě, který se nachází proti Slunci. My z ní vidíme vždy jen část (celou lze spatřit na kapkách rozprašovače stojíme-li zády ke Slunci, nebo vysoko v horách při pohledu do údolí, kde prší). Úhlový poloměr červené barvy je $\alpha_č = 42° 22'$ (tj. kapičky vzdálené od protislunce o tento úhel se nám tedy jeví červeně), úhlový poloměr fialové barvy pak $\alpha_f = 40° 36'$.
2. vedlejší duhu (sekundární duhu) - v kapce nastávají dva totální odrazy světla (viz obr. 33). Důvod, proč vidíme v sekundární duze „nahoře“ fialovou a „dole“ červenou, je analogický jako u duhy primární. Liší se pouze úhlové poloměry barevných kružnic, které jsou přibližně $53°$. Navíc je sekundární duha méně intenzivní; paprsky totiž urazily ve vodní kapce delší dráhu.

Většina paprsků vychází z kapky právě pod uvedenými úhly a proto mohou vytvořit na obloze duhu. Kdyby nebylo dalších odrazů, byl by pás mezi primární a sekundární duhou tmavý.

Na velkými vodními plochami může být vidět velmi málo intenzivní duha, která vzniká od světla Slunce odraženého od hladiny této vodní plochy. Její střed je vždy nad obzorem.



Obr. 32

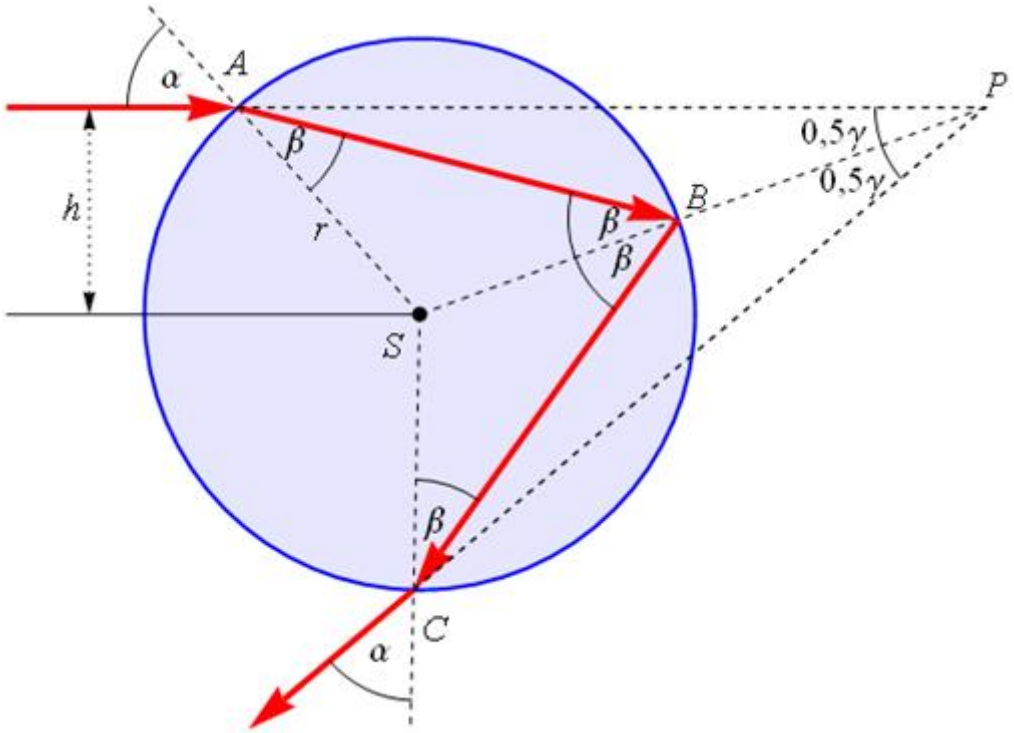


Obr. 33

Jak bylo uvedeno výše, duha je opticky poměrně komplikovaný jev: duhové světlo je polarizované, kolem duhy vznikají interferenční proužky, ...

Preciznější vysvětlení duhy je možné podat s využitím tzv. **duhové funkce**. Tuto funkci, o které se zmiňuje jako první francouzský matematik a fyzik René Descartes (1596 - 1650), můžeme v případě vzniku primární duhy odvodit pomocí obr. 34. Na něm je zobrazená vodní kapka, na kterou dopadá světelný paprsek. Na rozhraní vzduch - voda nastává lom světla a uvnitř kapky pak totální odraz (úplný odraz) světla. Na výstupu z kapky se světelný paprsek znovu láme.

Bez újmy na obecnosti můžeme předpokládat, že světelný paprsek dopadá na kapku vodorovně ve vzdálenosti *h* od vodorovné osy kapky o poloměru *r*; veličina h se nazývá **srážkový parametr**. Paprsek dopadá na povrch kapky pod úhlem α, který je definován vztahem $\sin\alpha = \frac{h}{r}$. Do kapky se pak láme pod úhlem β, který je definován Snellovým zákonem lomu ve tvaru $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n}{n_0}$, kde n_0 je index lomu vzduchu a *n* je index lomu vody. Pro sinus úhlu β tak dostáváme vztah $\sin\beta = \frac{n_0}{n}\sin\alpha$ a po dosazení získáme vztah $\sin\beta = \frac{n_0}{n} \cdot \frac{h}{r}$.

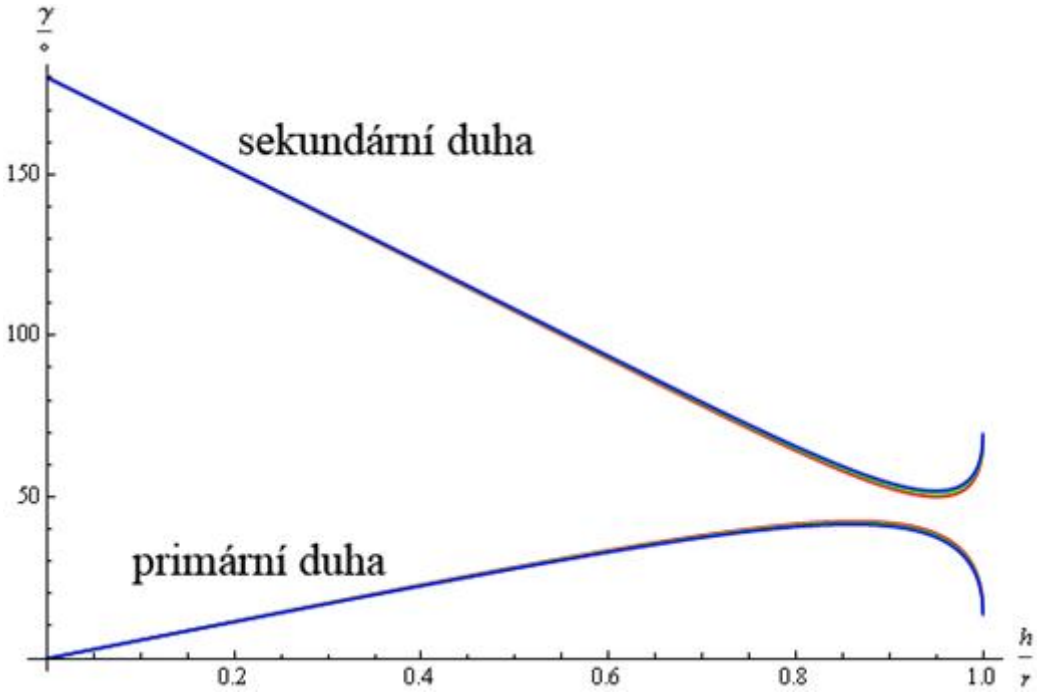


Obr. 34

Duhová funkce je vlastně závislost úhlu γ, který navzájem svírají paprsek dopadající na vodní kapku a paprsek vycházející po odrazu a lomech z kapky, na vzdálenosti *h*. Podle obr. 34 je trojúhelník *ABS* rovnoramenný, protože platí $|AS|=|BS|=r$. Hodnota jeho vnitřního úhlu u vrcholu *S* proto je $\delta=180°-2\beta$. Úhel γ (resp. jeho polovinu) určíme z trojúhelníku *APS*. Součet vnitřních úhlů v trojúhelníku je roven $180°$, a proto v trojúhelníku *APS* platí: $\alpha+180°-2\beta+\frac{\gamma}{2}=180°$. Odtud získáme vztah $\frac{\gamma}{2}=2\beta-\alpha$ a tedy pro úhel γ dostáváme vztah $\gamma=4\beta-2\alpha$. Vyjádříme-li úhly α a β z výše odvozených vztahů, dostaneme funkční závislost ve tvaru $f_1:\gamma=4\arcsin\left(\frac{n_0}{n}\cdot\frac{h}{r}\right)-2\arcsin\left(\frac{h}{r}\right)$. A to je tzv. **duhová funkce primární duhy**.

Duhovou funkci sekundární duhy by bylo možné odvodit analogicky a získali bychom funkci ve tvaru $f_2:\gamma=\pi-6\arcsin\left(\frac{n_0}{n}\cdot\frac{h}{r}\right)+2\arcsin\left(\frac{h}{r}\right)$.

Duhové funkce pro primární i pro sekundární duhu jsou zobrazeny v grafu na obr. 35 pro červenou barvu světla, zelenou barvu světla a modrou barvu světla.



Obr. 35

Duhová funkce primární duhy má svoje maxima:

1. pro červenou barvu světla v hodnotě $42{,}5°$;
2. pro zelenou barvu světla v hodnotě $41{,}9°$;
3. pro modrou barvu světla v hodnotě $41{,}5°$.

Proto má hlavní duha nejvýše červený a nejníže modrý pás.

Ostatní paprsky vycházející z kapky vody po jednom vnitřním odrazu vycházejí pod úhly $0°$ až $42°$. Proto je obloha uvnitř primárního duhového oblouku světlejší.

Naopak graf duhové funkce sekundární duhy nabývá svého minima:

1. pro světlo červené barvy v hodnotě $50{,}1°$;
2. pro světlo zelené barvy v hodnotě $51{,}2°$;
3. pro světlo modré barvy v hodnotě $51{,}9°$.

Proto je pořadí barev v sekundární duze obrácené ve srovnání s pořadím barev v primární duze.

Ostatní paprsky po dvou vnitřních odrazech vystupují z kapky vody pod úhlem od $51°$ do $180°$, a proto je i obloha vně oblouku sekundární duhy o něco světlejší. Pás mezi dvěma duhovými oblouky, jehož úhlový poloměr je v rozsahu $42°$ až $51°$, se nazývá **Alexandrův oblouk** a je viditelně tmavší, než ostatní části oblohy.

Vzhledem k tomu, že sluneční kotouč není bodovým zdrojem světla (úhlový průměr Slunce při pozorování ze Země je přibližně $0{,}5°$), je šířka duhového pásu větší, než ukazují hodnoty z grafu na obr. 35. Šířka duhového pásu hlavní duhy je asi $2°$, šířka pásu sekundární duhy asi $4°$.

Vzácně můžeme pozorovat duhy třetího řádu a údajně i čtvrtého řádu (tj. po třech resp. čtyřech vnitřních odrazech světla ve vodní kapce), ale tyto duhy jsou již velmi nevýrazné. Zatímco se primární duha a sekundární duha objevují na opačné straně od Slunce, duhy třetího řádu a čtvrtého řádu by se objevovaly kolem Slunce.

Předchozí vysvětlení vzniku duhy vycházelo pouze z geometrické optiky. Dále by bylo možné uvažovat vliv velikosti a deformace tvaru kapek vody na podobu duhy, popřípadě interferenci světla, pomocí níž lze vysvětlit střídající se světlejší a tmavší proužky občas pozorovatelné na vnitřní straně hlavní duhy nebo vnější straně vedlejší duhy - tzv. podružné duhové oblouky.

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.