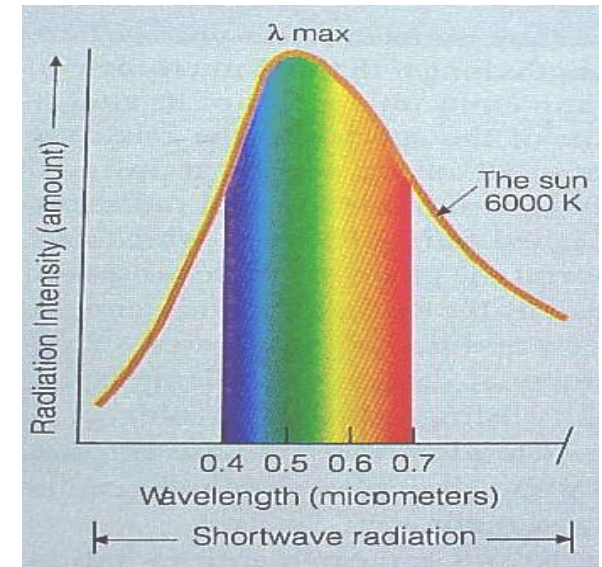


Optické jevy v atmosféře

Proseminář z optiky

Barvy a jas

- ~50% energie slunce vstupuje do atmosféry jako viditelné světlo
- To se může být v atmosféře
 - odrážet, lámat, rozptylovat
 - absorbovat
 - Nebo jí procházet (transmise)
- To co vidíme a jak to vypadá záleží na
 - Světlo stimuluje nervová zakončení v oku
 - Tyčinky reagují na všechny vlnové délky a měří jas
 - Čípky reagují na specifické vlnové délky mezi 0.4 and 0.7 μm
 - Bez čípků bychom viděli černobíle



**Jevy spojené s nehomogenitou indexu lomu
vzduchu:**

**a) rychlé změny na malé
prostorové škále**

**b)kvazistatické na velké prostorové
škále**

**Jevy spojené s odrazem, lomem a difrakcí
(rozptylem) na vodních kapičkách**

**Jevy spojené s odrazem, lomem a difrakcí
(rozptylem) na ledových krystalcích**

Index lomu vzduchu závisí na hustotě, tj. na teplotě a tlaku

$$\frac{n-1}{n_0-1} = \frac{\rho}{\rho_0} \quad \frac{p}{\rho} = RT$$

$$n(T, p) \quad \text{pomocí} \quad n_0(T_0, p_0)$$

$$\frac{n-1}{n_0-1} = \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T}$$

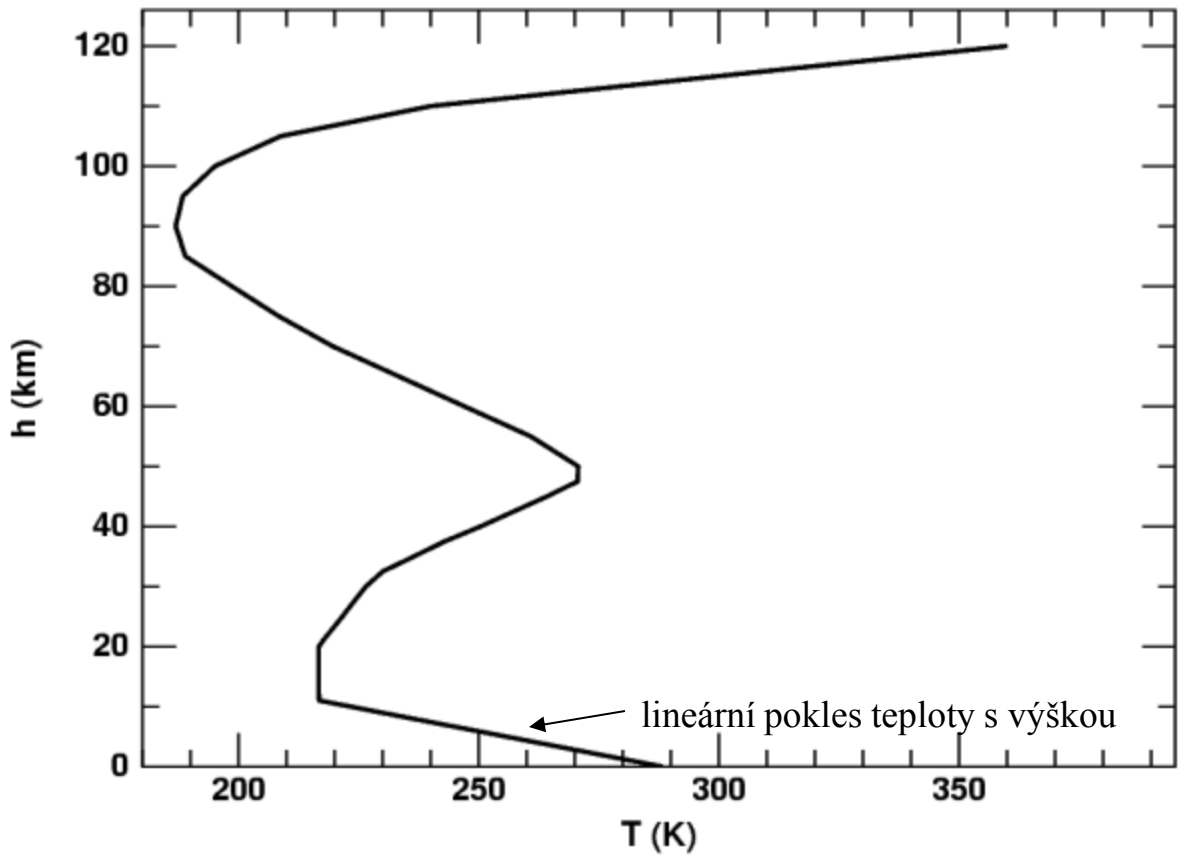
$$\frac{\partial p}{\partial h} = -g \rho$$

$$\frac{\partial n}{\partial h} = -(n_0 - 1) \frac{T_0}{T^2} \frac{p}{p_0} \left(\frac{g}{R} + \frac{\partial T}{\partial h} \right)$$

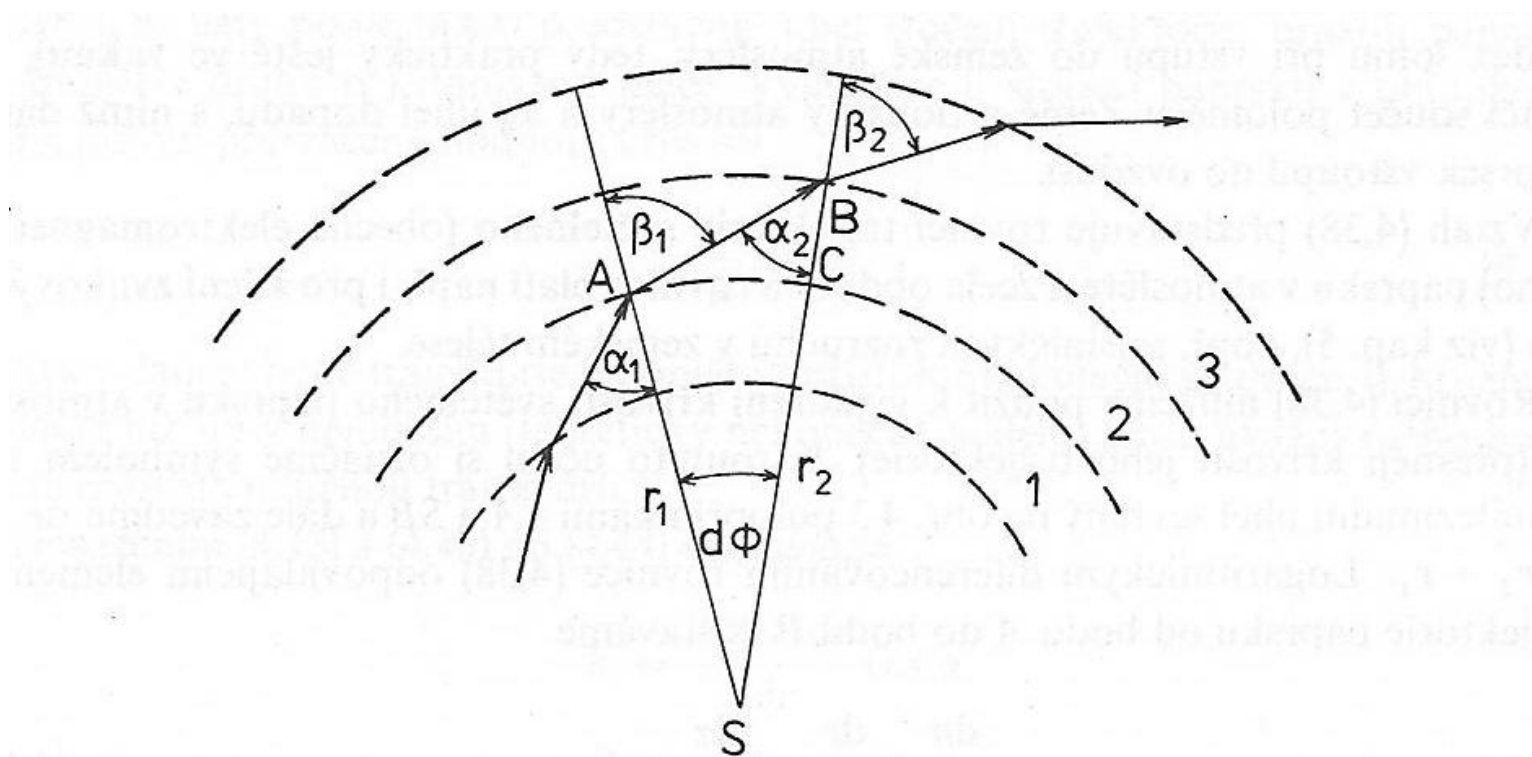
důležité pro ohýbání paprsku

$$g / R = 0,0342 \text{ K.m}^{-1}, \quad (3,42 \text{ K} / 100 \text{ m})$$

Teplotní profil „standardní atmosféry“

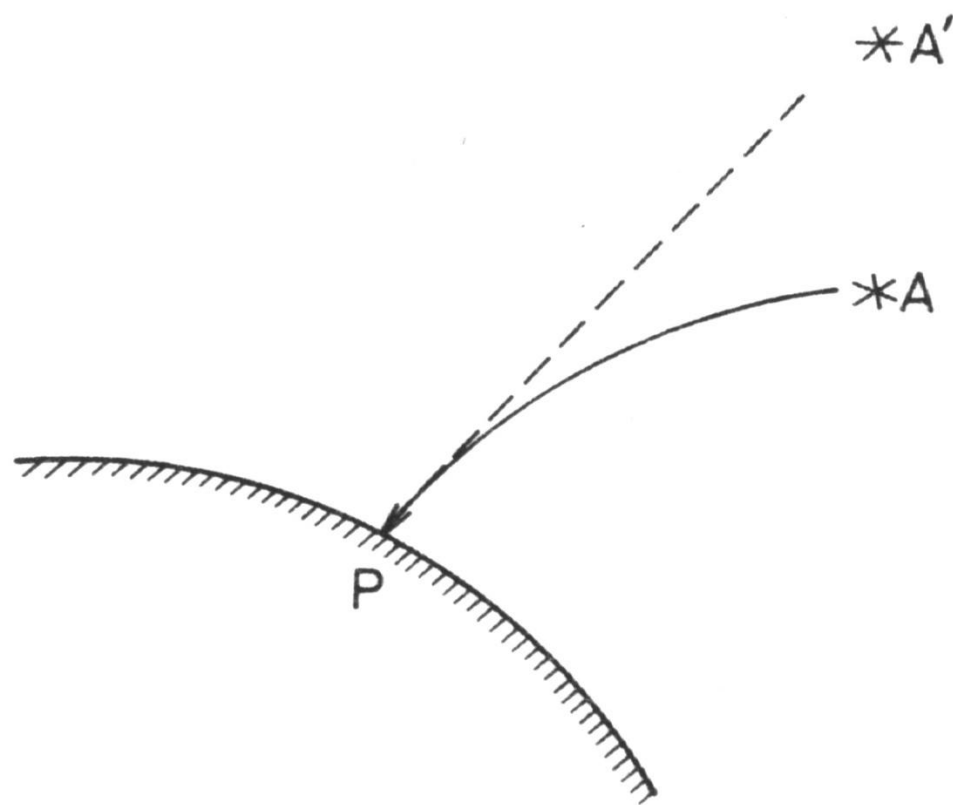


Standard Atmosphere



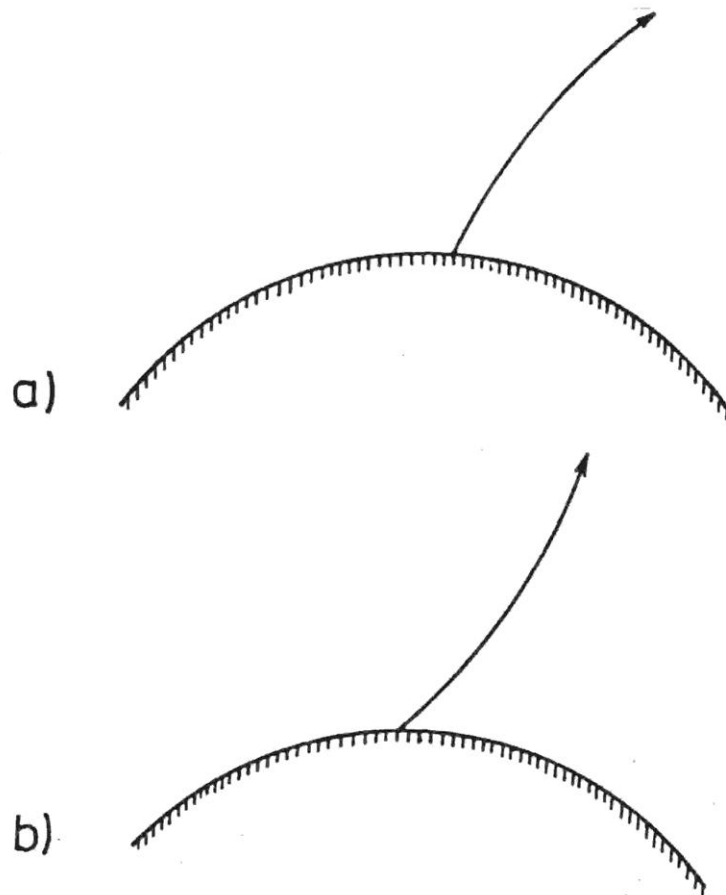
4.3 K odvození rovnice trajektorie elektromagnetického (světelného) paprsku v atmosféře.

Astronomická refrakce



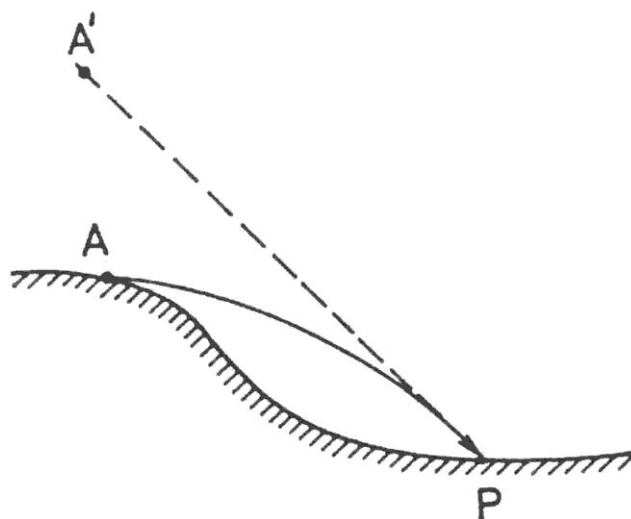
4.4 Vznik astronomické refrakce.

Zakřivení paprsku 1



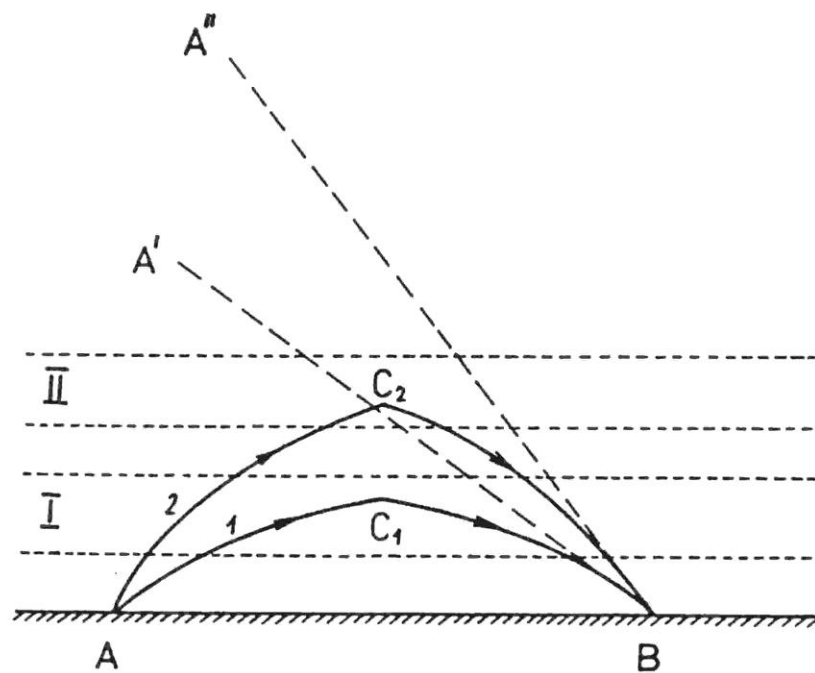
4.2 Zakřivení trajektorie světelného paprsku v atmosféře; a) v případě poklesu hustoty vzduchu s výškou; b) v anomálním případě inverze hustoty vzduchu.

Zvednutí obzoru



4.5 Zvednutí obzoru.

Svrchní zrcadlení



4.6 Svvrchní zrcadlení.

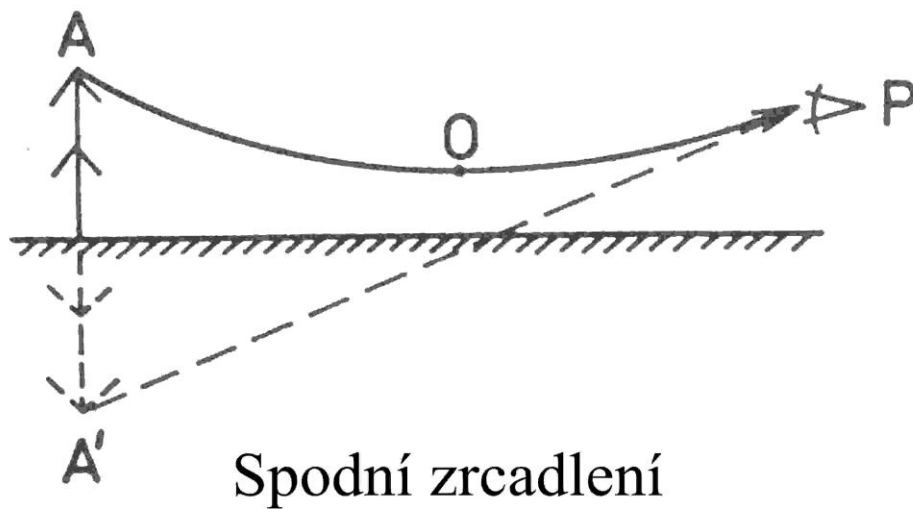
Svrchní zrcadlení

Pokud teplota stoupá s výškou pozorujeme invertované obrazy protože světelné paprsky se lámou dolů při průchodu teplejším vzduchem který má menší index lomu.

Někdy se těmto jevům říká **Fata Morgana**

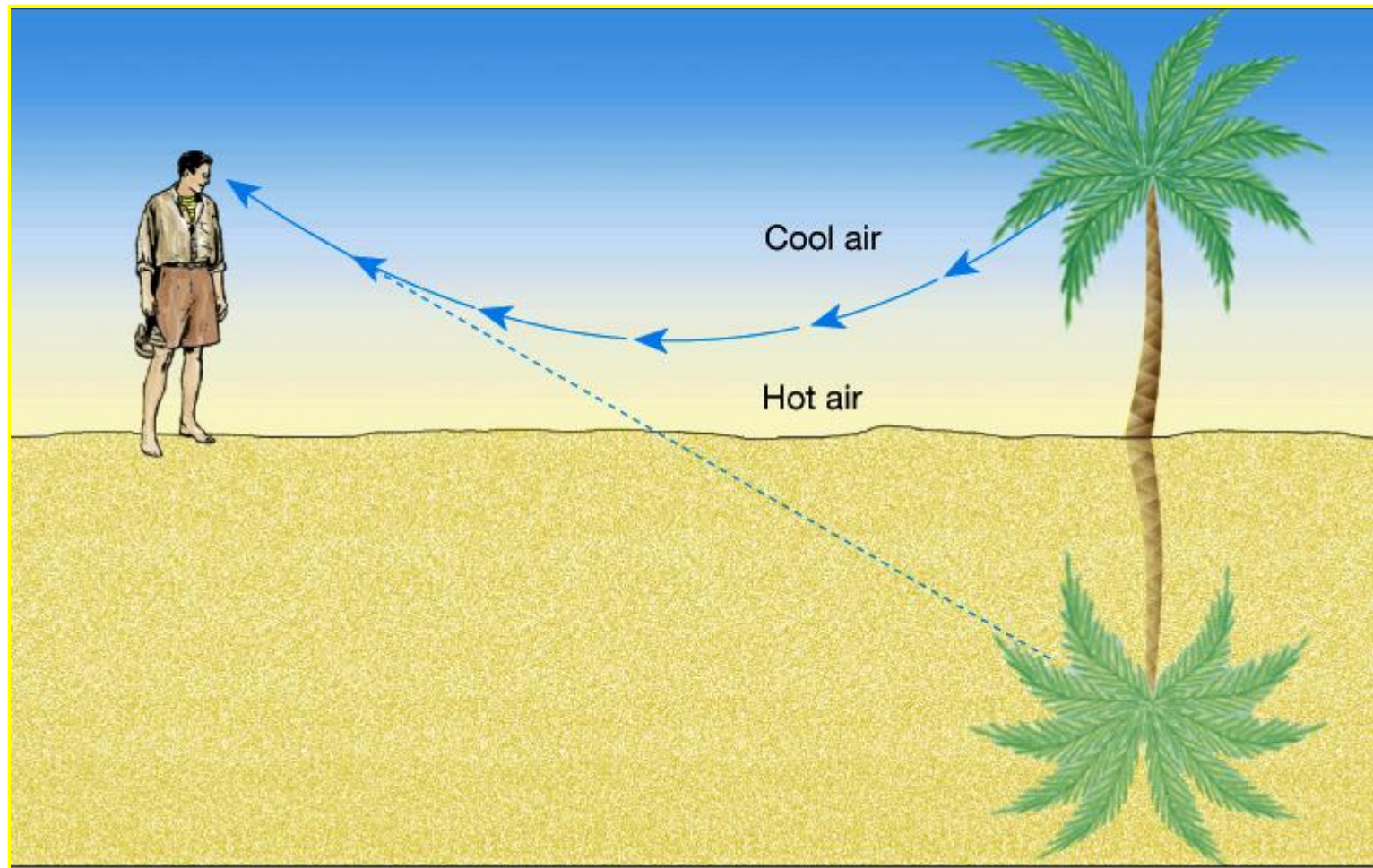


Spodní
zrcadlení



Nastává, když index lomu
s výškou roste.

Příklad spodního zrcadlení



Shrnutí

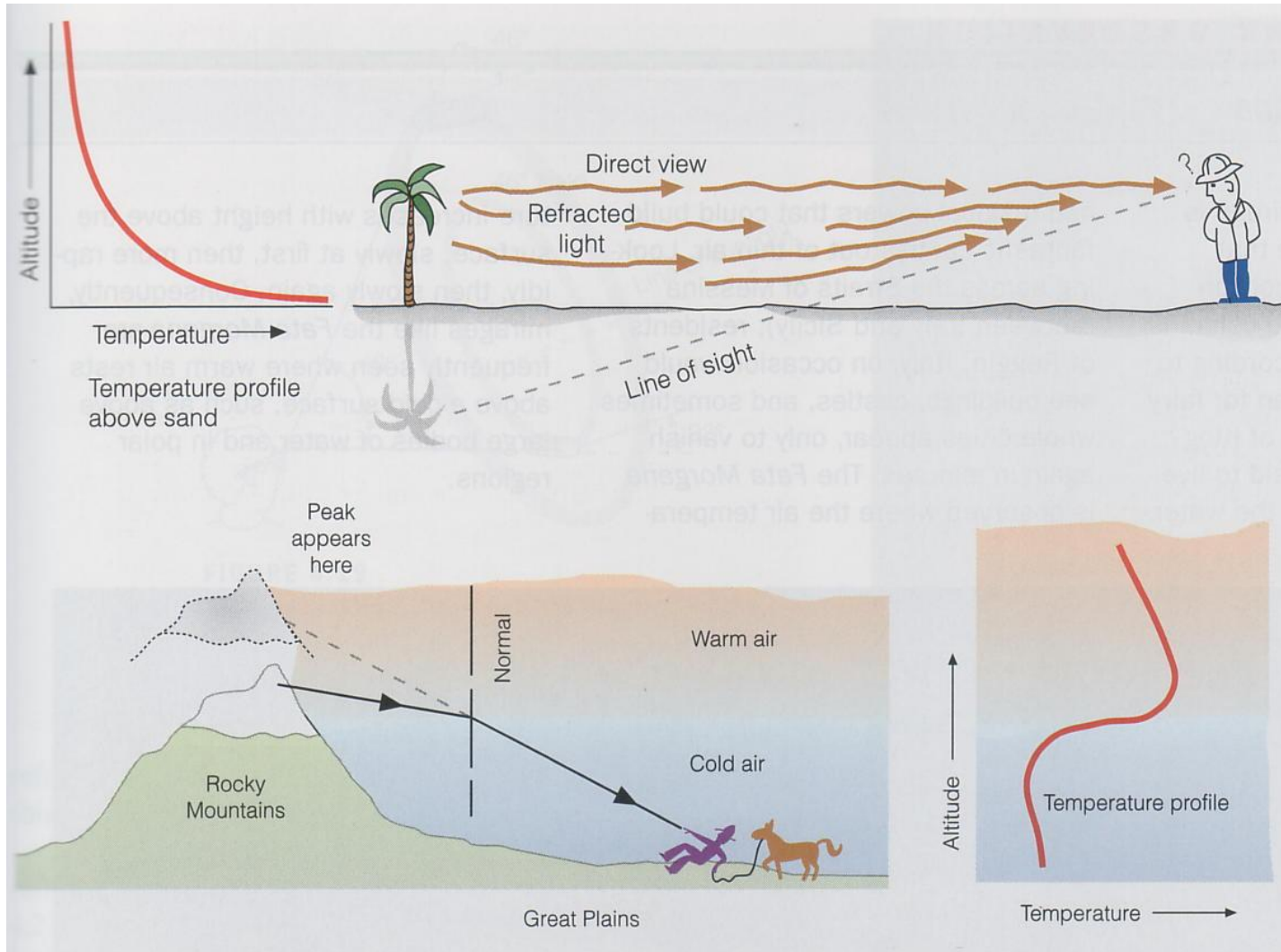


FIGURE 4.16

Inferior mirage over hot desert sand.

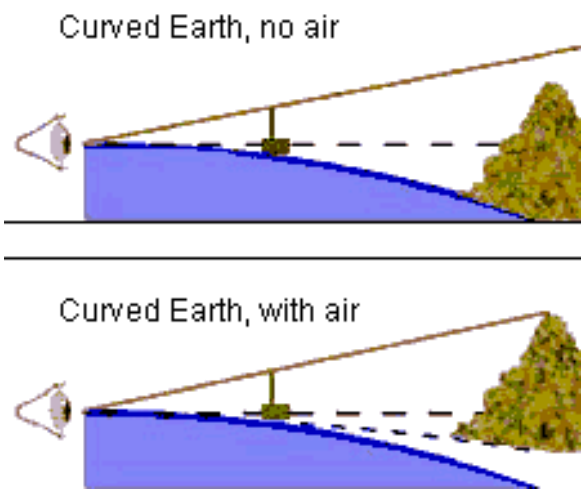
FIGURE 4.17

The formation of a superior mirage. When cold air lies close to the surface with warm air aloft, light from distant mountains is refracted toward the normal as it enters the cold air. This causes an observer on the ground to see mountains higher and closer than they really are.



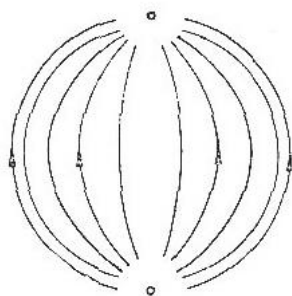
Pohled pod horizont

chladný vzduch pod teplým

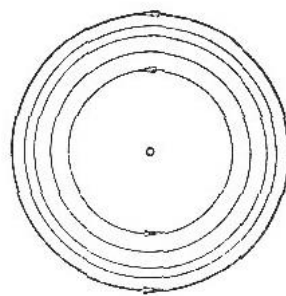


Rozptyly

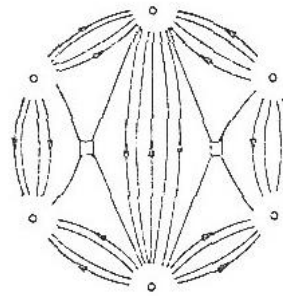
1. $\lambda \gg d$ dipólový model, Rayleighův rozptyl (molekuly)
2. $\lambda \geq d$ Mieho rozptyl (malé kapky)
3. $\lambda \ll d$ geometrický rozptyl (velké kapky, odraz, lom)



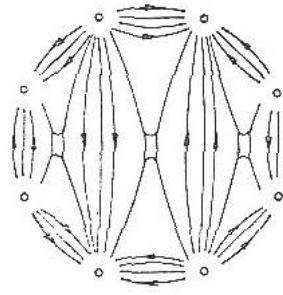
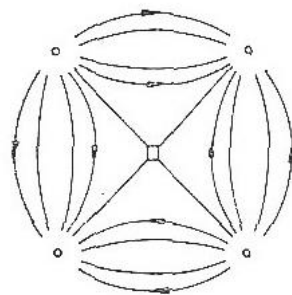
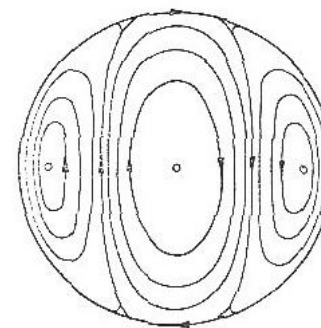
první vid



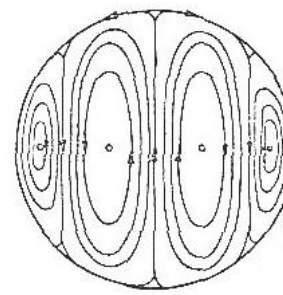
druhý vid



třetí vid



čtvrtý vid



silové čáry elektrického pole

silové čáry magnetického pole

Obr. 112. Silové čáry pole prvních čtyř elektrických vidů.

Modrá obloha

Rayleighův rozptyl na molekulách + fluktuace koncentrace molekul na prostorové škále $\sim \lambda$

$$I = I_0 \frac{8\pi^4 \alpha^2}{\lambda^4 R^2} (1 + \cos^2 \Theta)$$

Rayleighův rozptyl na jedné osamoceně molekule:

rozměr molekuly $\ll \lambda$

dopadající nepolarizované záření

polarizovatelnost

vzdálenost od molekuly

úhel rozptylu

Ideálně homogenní prostředí: rozptýlené vlny se navzájem vyruší a pokračuje pouze původní vlna s indexem lomu; žádný rozptyl.

Pro „makroskopický“ rozptyl nutná nehomogenita = fluktuace v koncentraci molekul = fluktuace indexu lomu Δn
Z hlediska modelu spojitého prostředí: přidání „zdroje“ do vlnové rovnice

$$v_0^2 \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0$$

neporušená vlnová rovnice

$$v^2 \equiv v_0^2 \left(1 - 2 \frac{\Delta n}{n} \right)$$

zdroj úměrný k^2 pro intenzitu pole,

$$v_0^2 \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 2v_0^2 \frac{\Delta n}{n} \frac{\partial^2 E}{\partial x^2}$$

pro intenzitu záření úměrnost $\frac{1}{\lambda^4}$

Fluktuace indexu lomu $\sim$ fluktuace koncentrace molekul $\sim$ odmocnina koncentrace molekul:

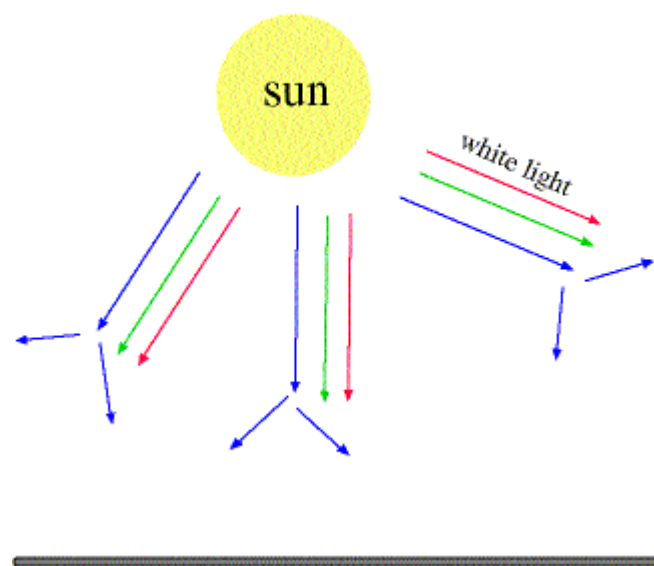
3×10^{25} molekul / m^3 , tj. 3×10^7 molekul / μm^3 ,
fluktuace v tomto objemu 5×10^3 molekul
relativní fluktuace indexu lomu 10^{-4}

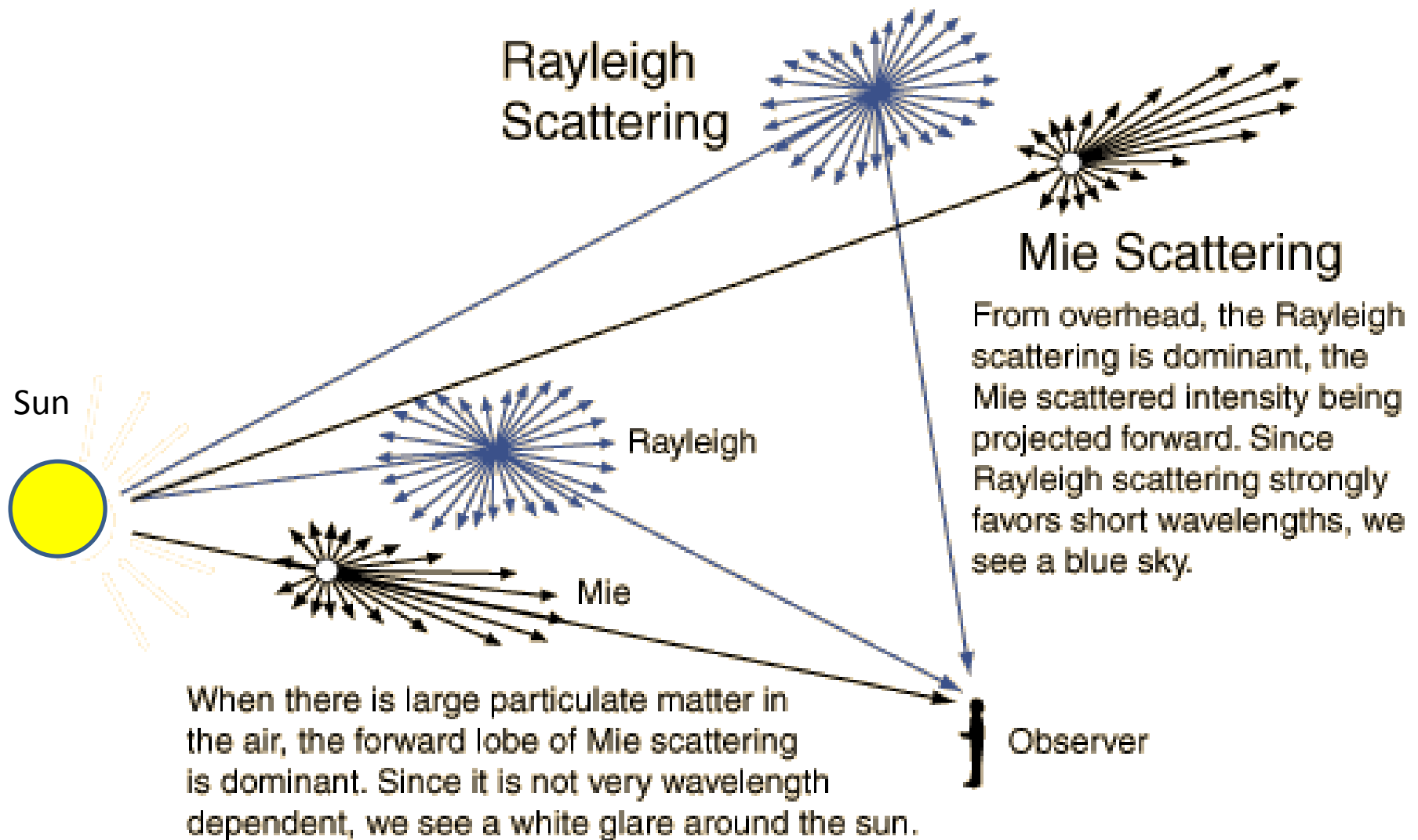
doba trvání takové fluktuace v mikronovém objemu určená rozplýváním daném difuzí
difuzní „konstanta“ $D(300 \text{ K}, 1 \text{ atm}) = 1,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
difuzní vzdálenost $\langle x^2 \rangle = 2Dt$

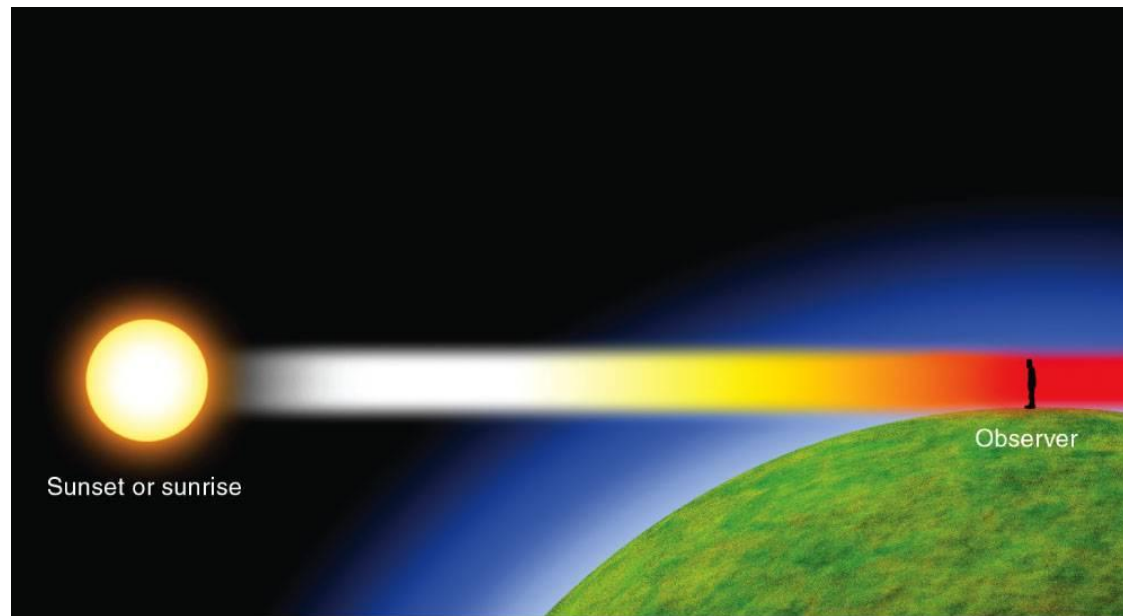
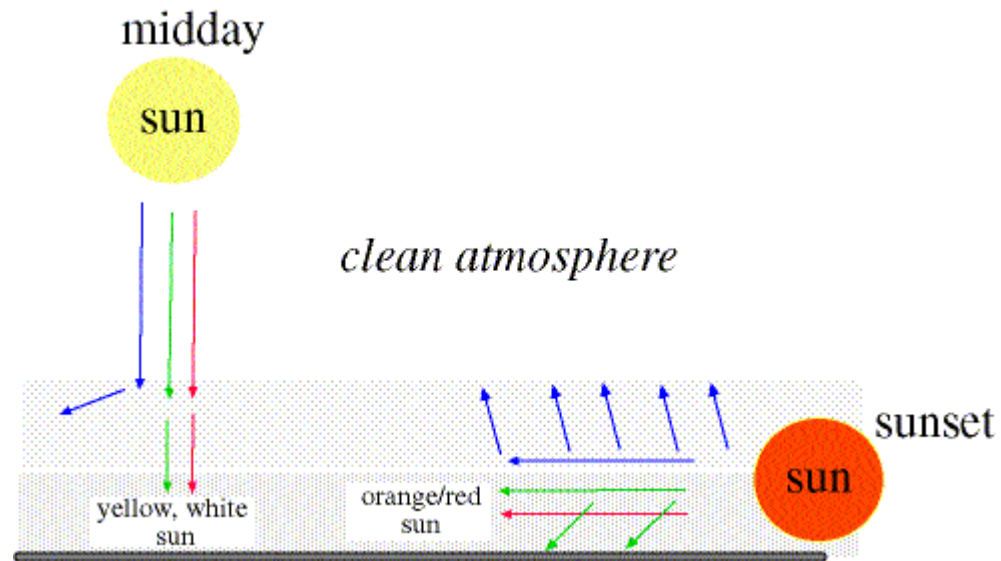
časť pro rozplynutí dané fluktuace a vytvoření jiné $10^{-8} \text{ s} \gg \gg$ doba kmitu vlny $< 10^{-15} \text{ s}$

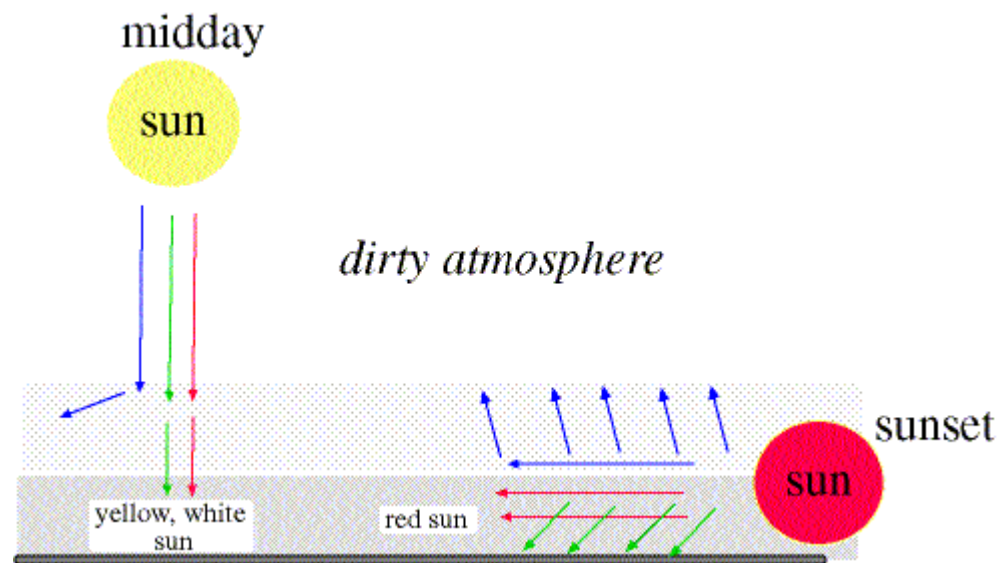
Fluktuace indexu lomu jsou z hlediska světla statické.

Rayleigh Scattering









Proč jsou mraky bílé/šedé/černé?

- Kapky v mraku $\sim 5\text{-}50\ \mu\text{m}$
 - Geometrický rozptyl
 - Všechny viditelné λ 's se rozptylují s podobnou účinností
- Při pohledu shora jsou mraky jasné bílé
 - Zpětný rozptyl slunečních paprsků
- Při pohledu zdola vypadají mraky buď bílé, šedě nebo černě
 - Transmitované a dopředu rozptýlené světlo způsobí, že tenké mraky vypadají bílé
 - Tlustší mraky
 - Rozptylují a absorbují více světla
 - Mohou vypadat černě
 - Velké kapky více absorbují

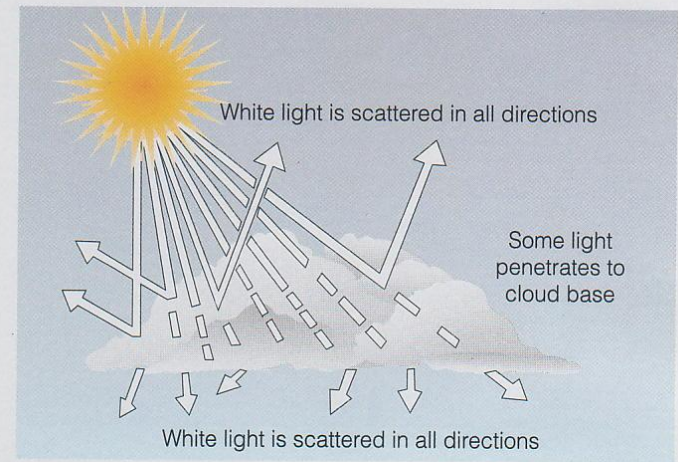


FIGURE 4.2

Since tiny cloud droplets scatter visible light in all directions, light from many billions of droplets turns a cloud white.

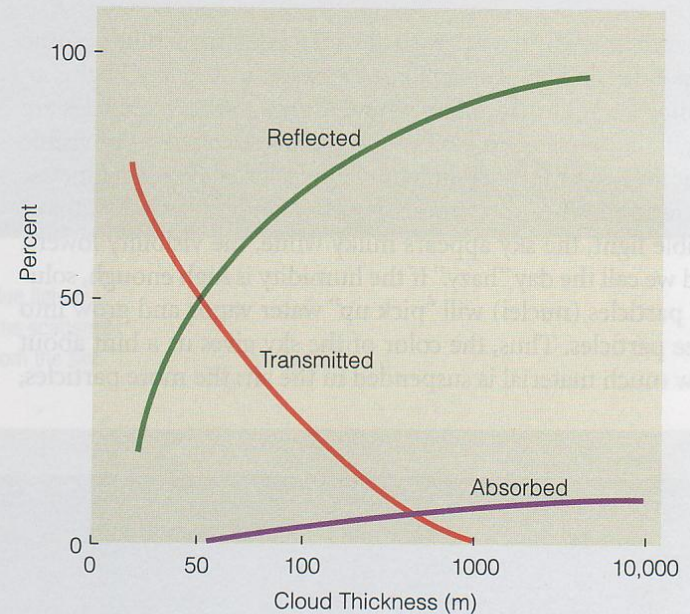


FIGURE 4.3

Average percent of radiation reflected, absorbed, and transmitted by clouds of various thickness.

Modré nebe - shrnutí

WHY SKIES ARE BLUE

- 1 More than 20 miles above the Earth, the sky is black.
- 2 "White" light is coming from the sun. It is composed of all the colors of the rainbow.
- 3 Around 18 miles up, light begins encountering air molecules.
- 4 Air molecules are the right size to scatter blue and violet light wavelengths.
- 5 While other colors continue more or less unimpeded to the surface...
- 6 ...blue light is scattered from molecule to molecule until it's coming at you from all parts of the sky.

WHY CLOUDS ARE WHITE

- 1 Cloud droplets, which are much bigger than air molecules, scatter all colors...
- 2 ...making sunlight scattered by clouds white.
- 3 Light is scattered in all directions, including through the cloud.
- 4 But if the cloud is thick enough, only a little light gets through and the cloud looks dark from below.

WHY SUNSETS ARE RED

- 1 At sunset and sunrise, sunlight is traveling farther through the atmosphere.
- 2 The longer trip means more and more light at the blue end of the spectrum is scattered.
- 3 This leaves red, yellow, orange light to reach our eyes or reflect off clouds.

Západ se zeleným paprskem

March 30, 1998

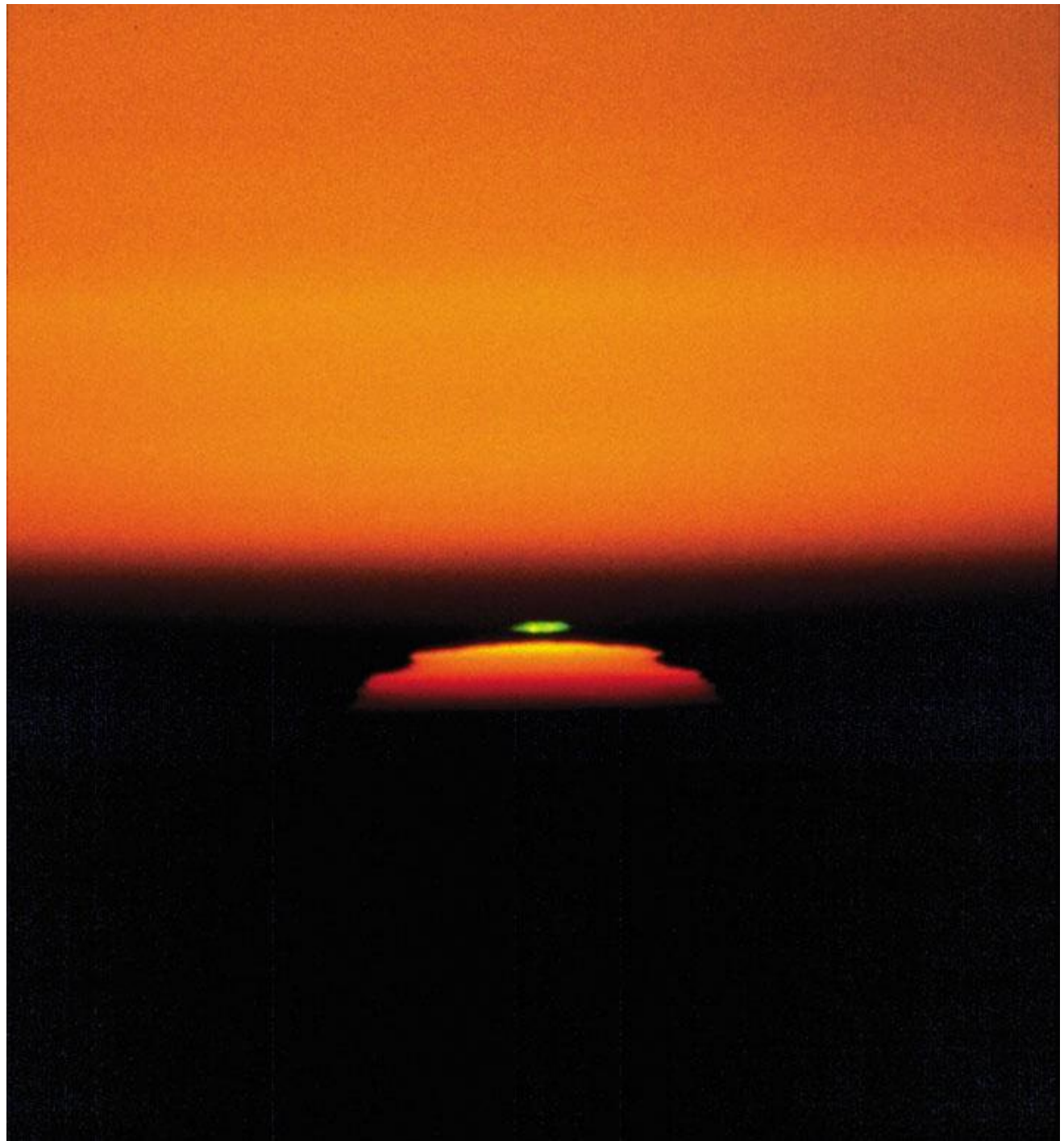


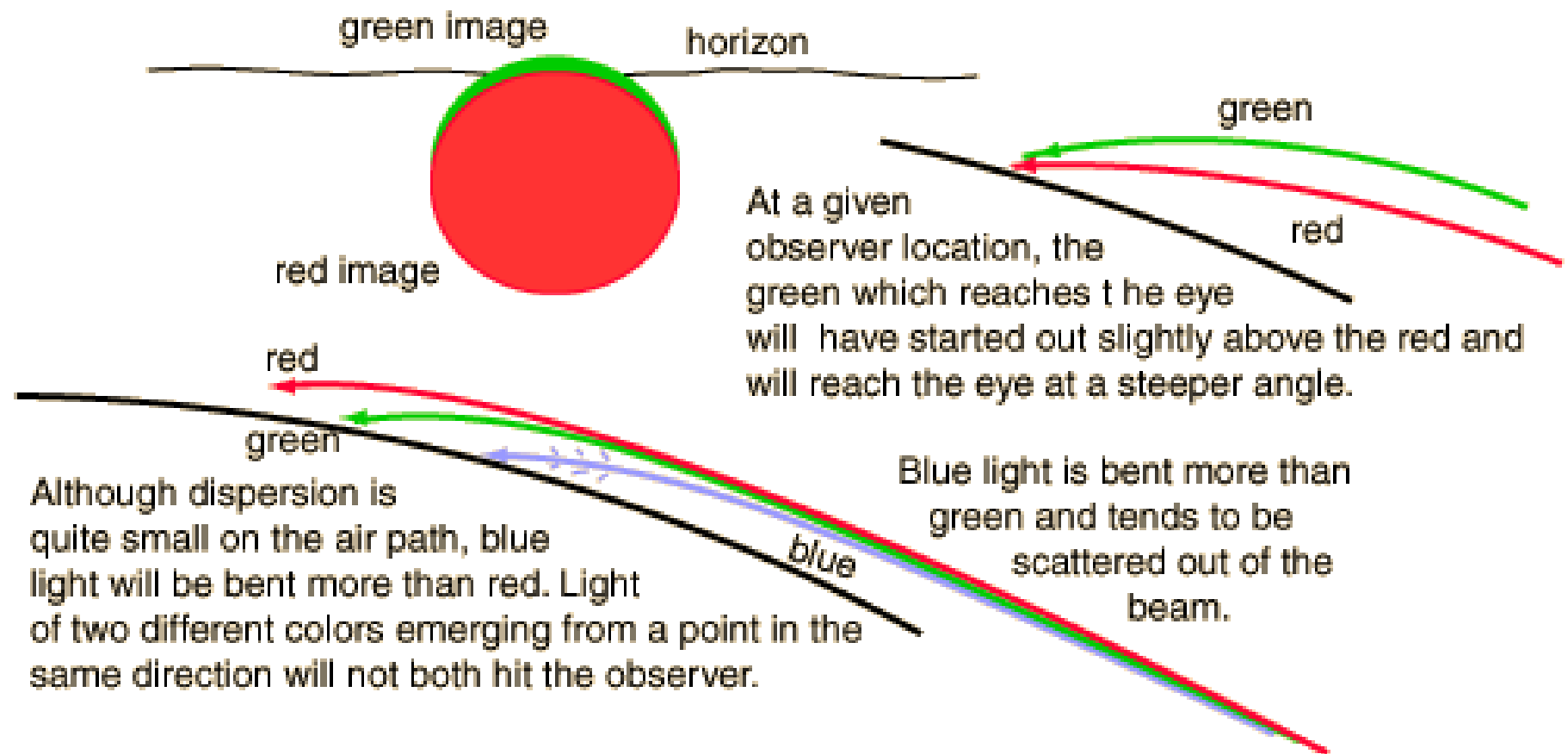
6:05:33



6:08:05

Západ se
zeleným
paprskem





Jevy způsobené odrazem a lomem na krystalcích ledu



FIGURE 4.24

A sun pillar produced by the reflection of sunlight off ice crystals.

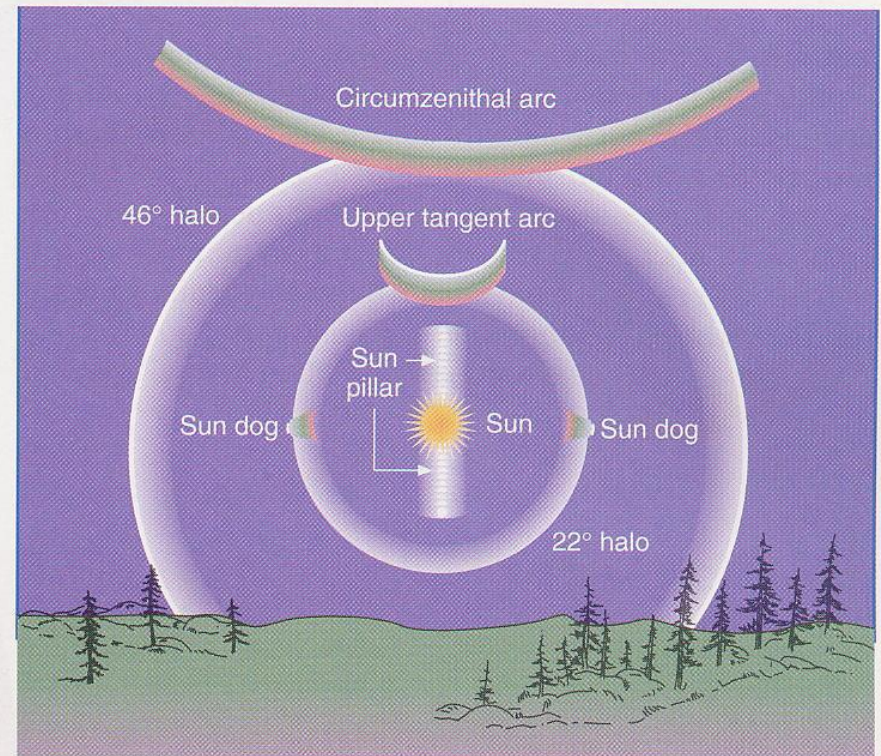
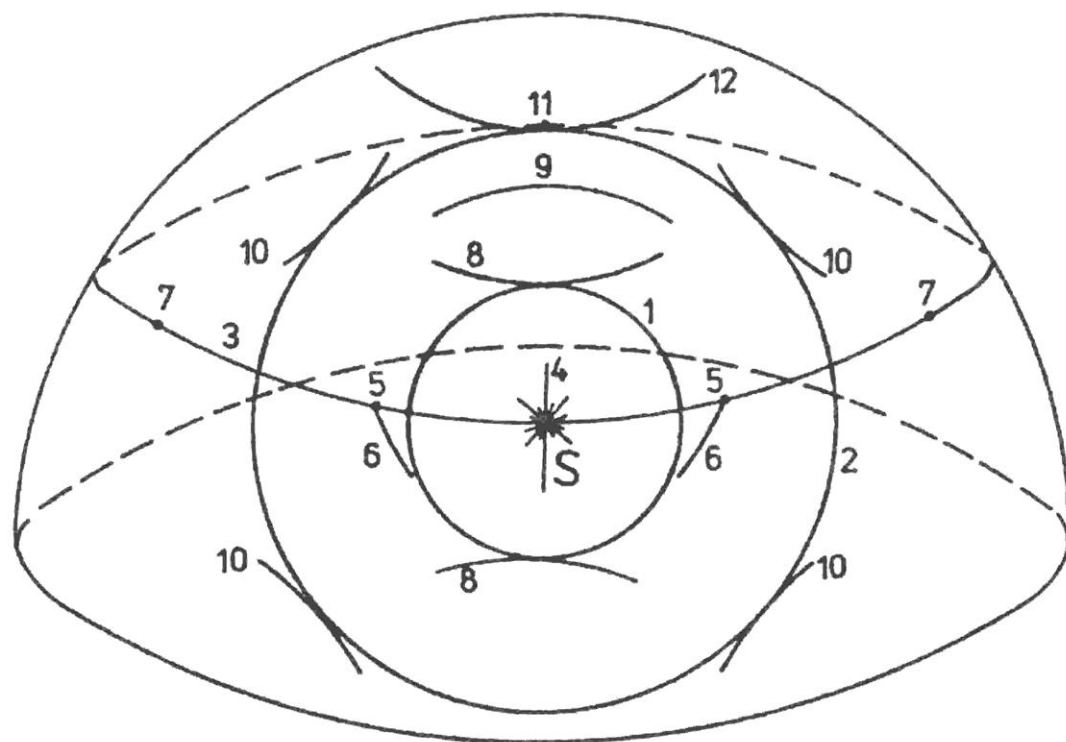


FIGURE 4.25

Ice crystal phenomena. (A picture of the circumzenithal arc is in Fig. 2 on p. 98.)

Hlavní halové jevy

odraz a lom na ledových krystalcích



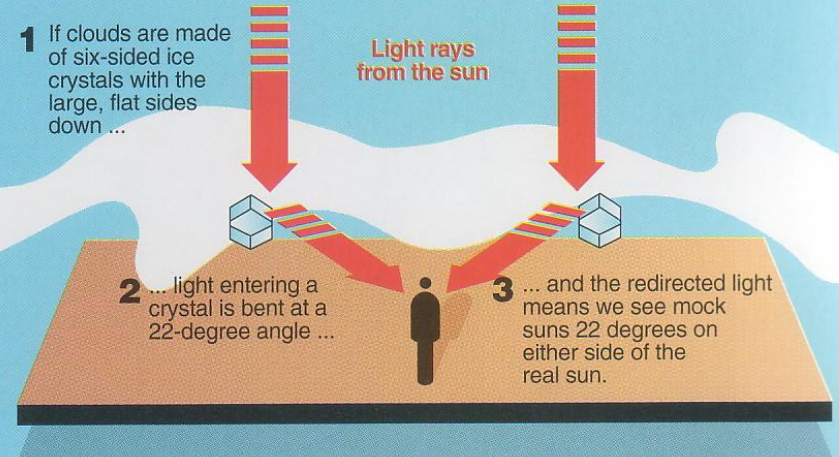
- 1 malé halo 22°
- 2 velké halo 46°
- 3 horizontální kruh
- 4 halový sloup
- 5 parhelia (boční slunce malého hala)
- 6 Lowitzovy oblouky
- 7 paranthelia 120°
- 8 dolní a horní dotykový oblouk
- 9 Parryho oblouk
- 10 dotykové oblouky velkého hala
- 11 antihelium (protislunce na zadní straně horizontálního kruhu)
- 12 cirkumzenitální oblouk

4.20 Hlavní halové jevy.

Parhelia a sloupy

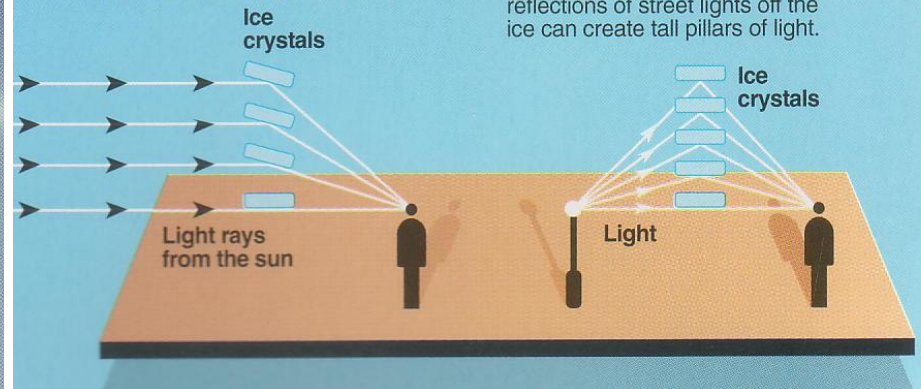
How ice crystals create 'sun dogs'

One of the most common ice crystal displays is what appears to be copies of the sun on either side, often both sides, of the sun when it's low in the sky. These are known as sun dogs, mock suns or parhelia. Here's how ice crystals create them:



Sun pillars

Light reflecting off small ice crystals causes sun pillars, which can be above or below the sun.

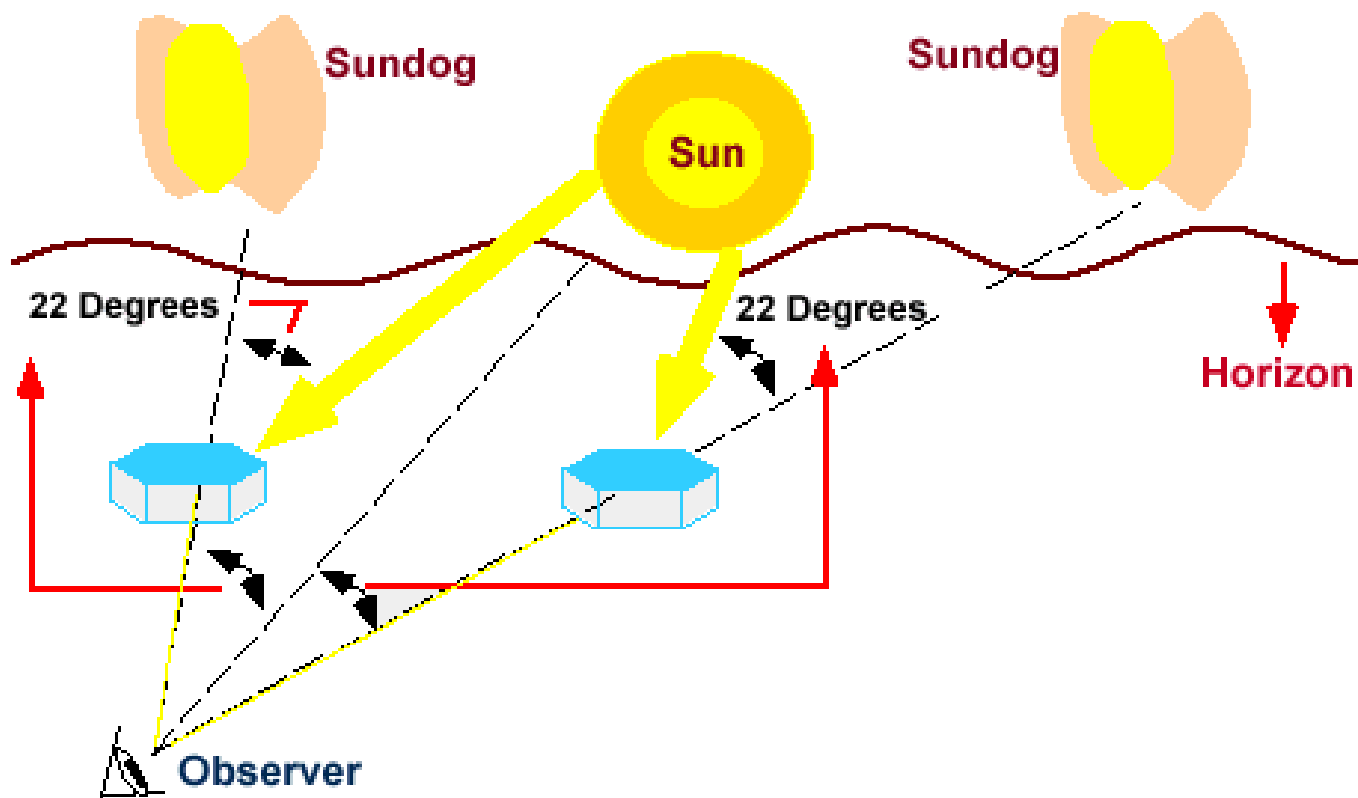


Diamond dust

On very cold nights when small ice crystals — sometimes called diamond dust — are in the air, reflections of street lights off the ice can create tall pillars of light.



Parheliium



sloup

odraz na krystalcích



Plate-like ice crystals

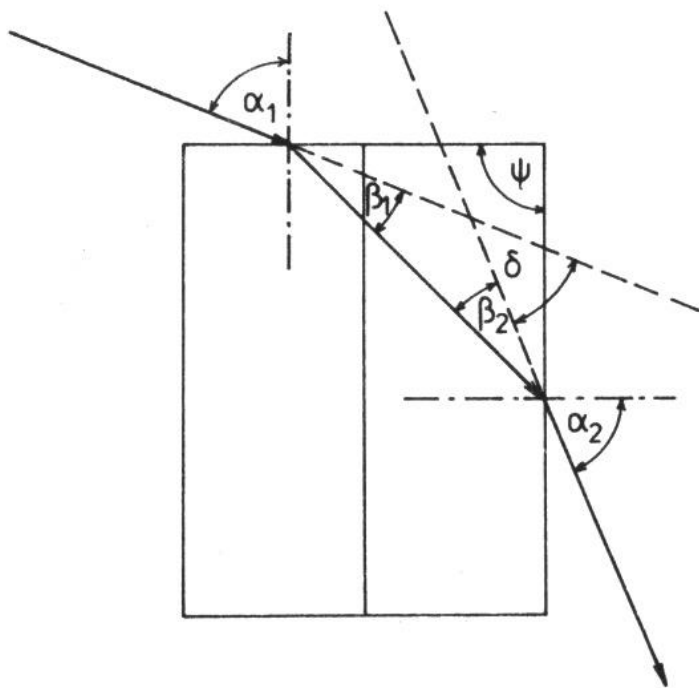


spodní slunce

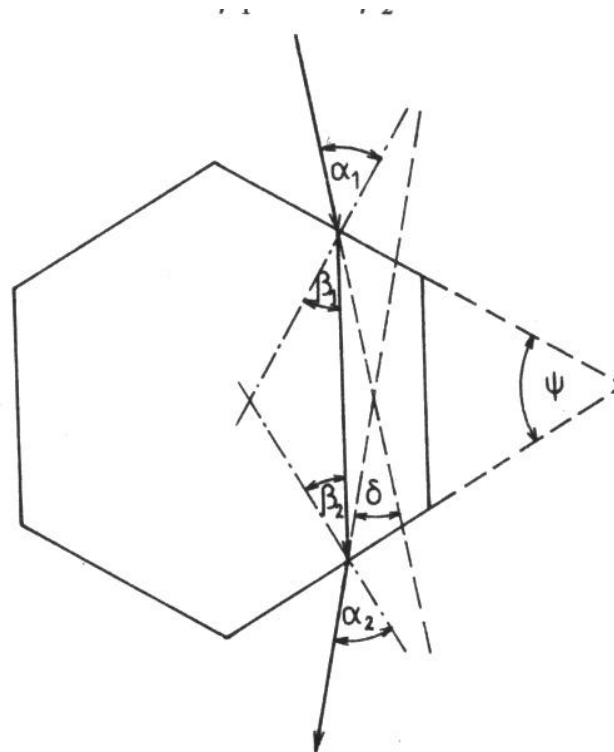


odraz na ledových krystalcích

Velké halo



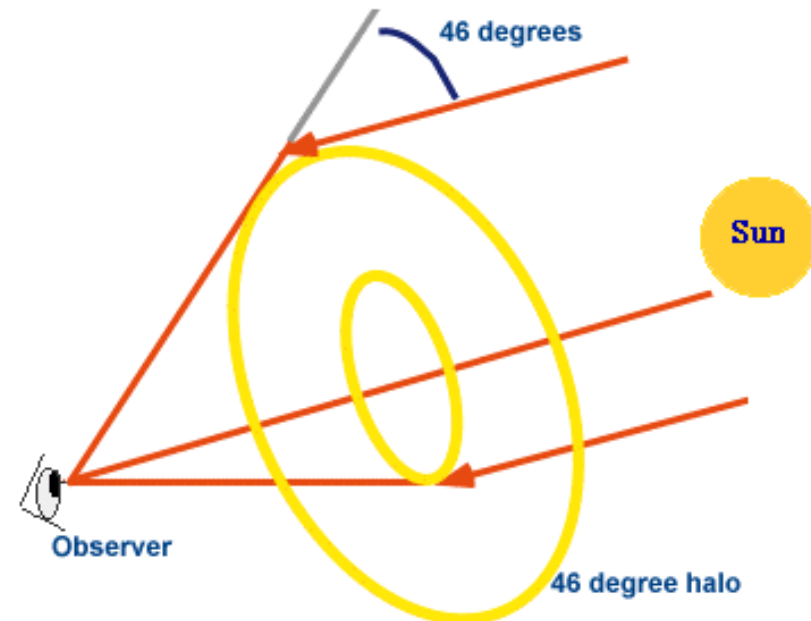
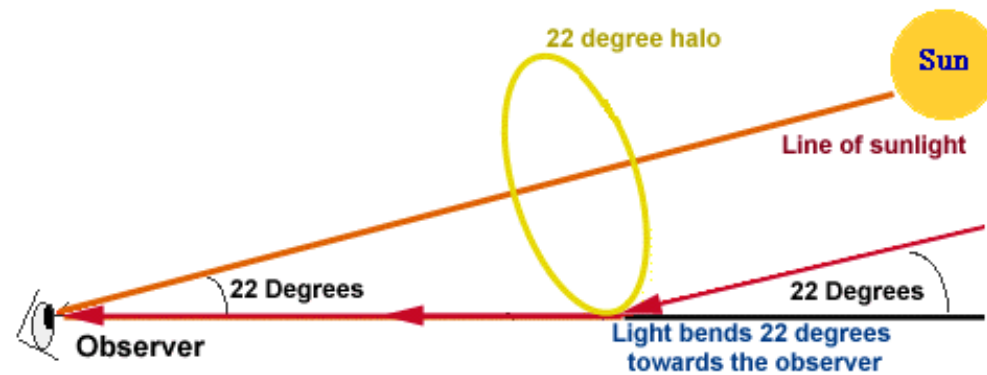
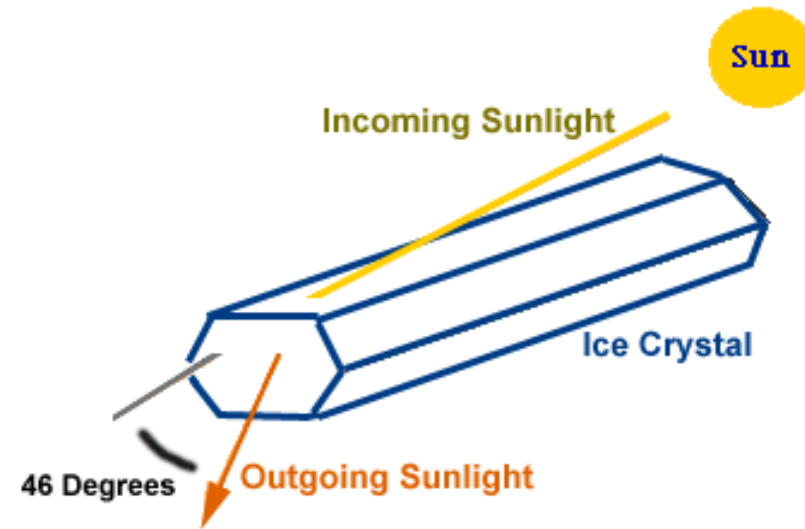
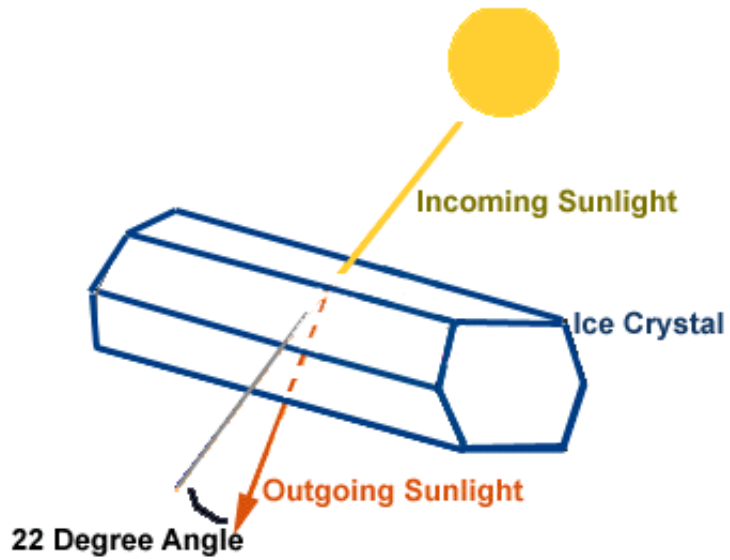
4.24 Lom slunečních paprsků podílejících se na vzniku velkého hala.



4.23 Lom slunečních paprsků podílejících se na vzniku malého hala.

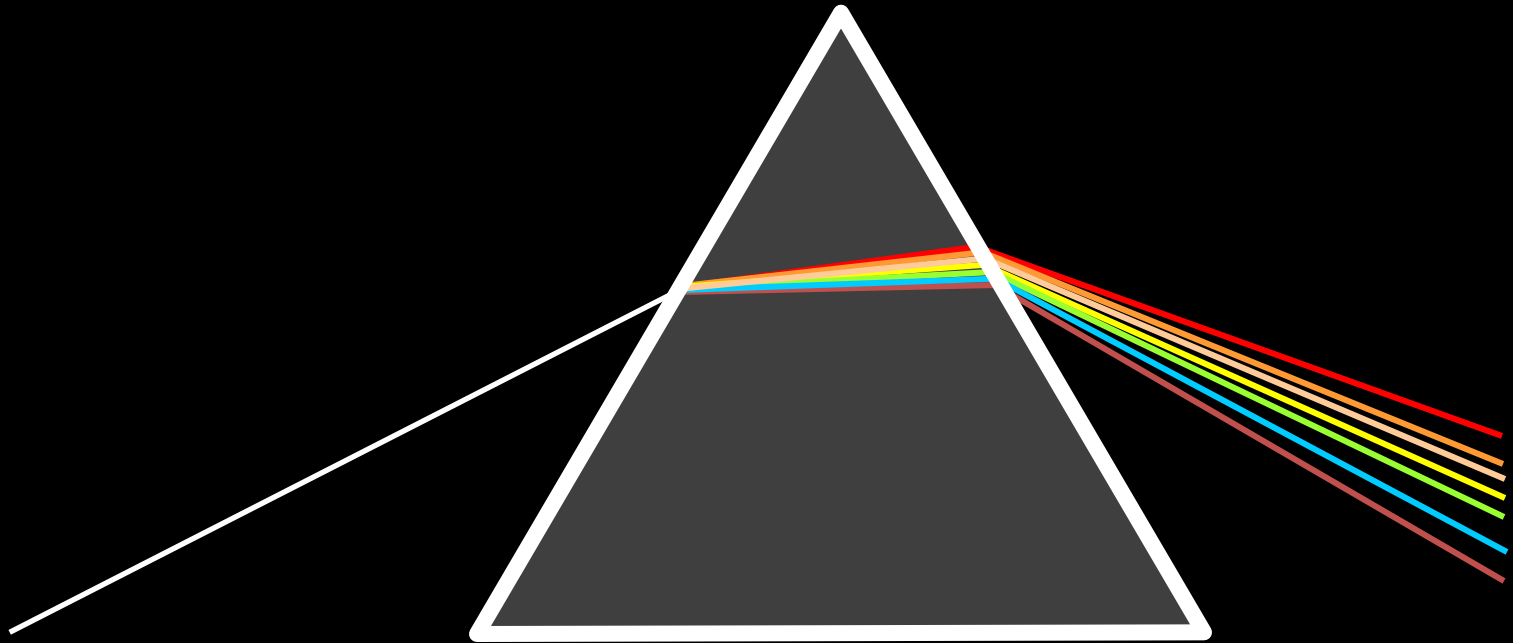
Malé halo

Malé a velké halo



REFRAKCE SVĚTLA

Spectrální barvy vidíme když světlo prochází hranolem, protože každá vlnová délka se láme pod jiným úhlem.



22 Degree Halo – Danson Festival

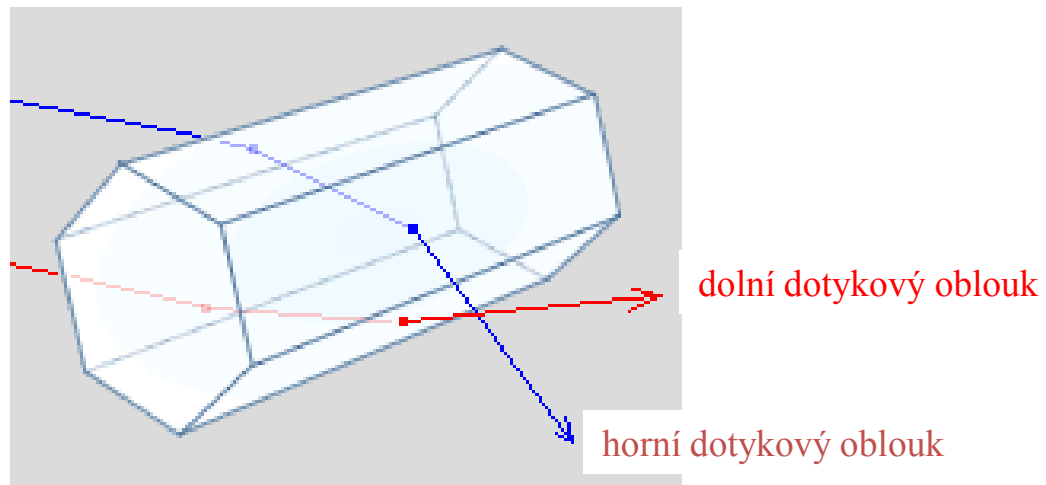


22 Deg Halo - Solar Observing Day





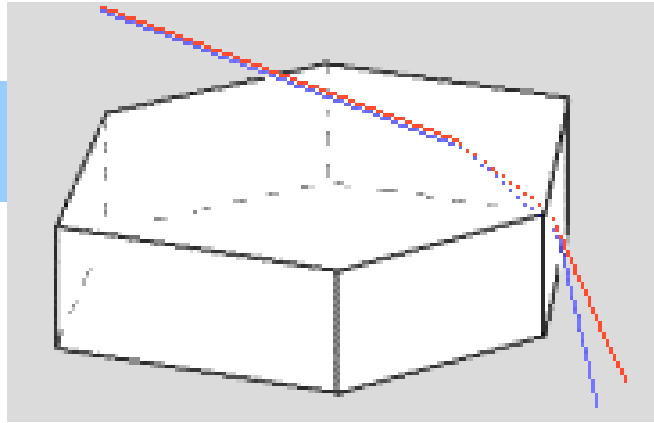
Horní dotykový
oblouk



Spodní
dotykový
oblouk



Cirkumzenitální halo



orientované ploché krystaly



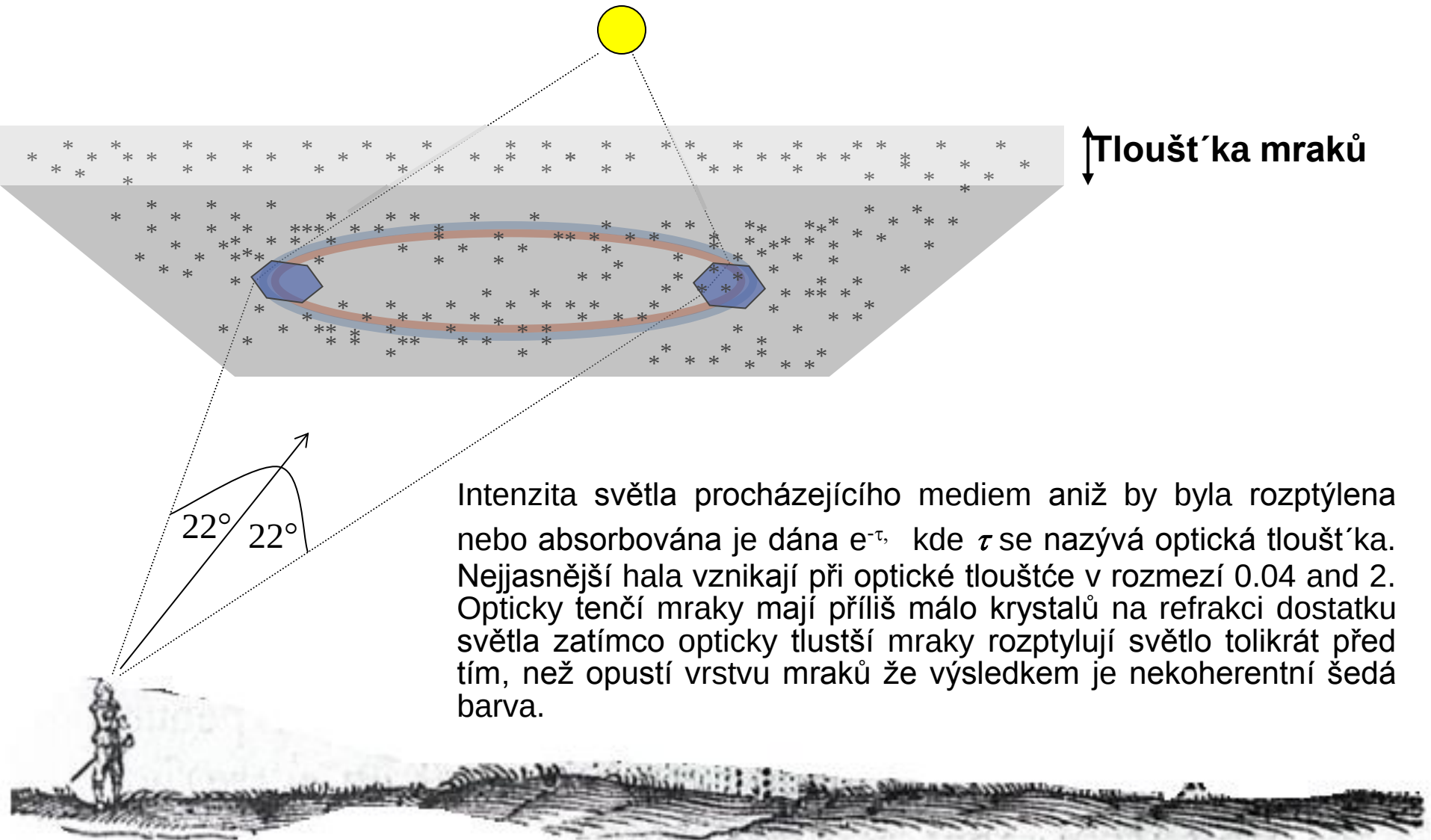
Několik hal



Parhelia



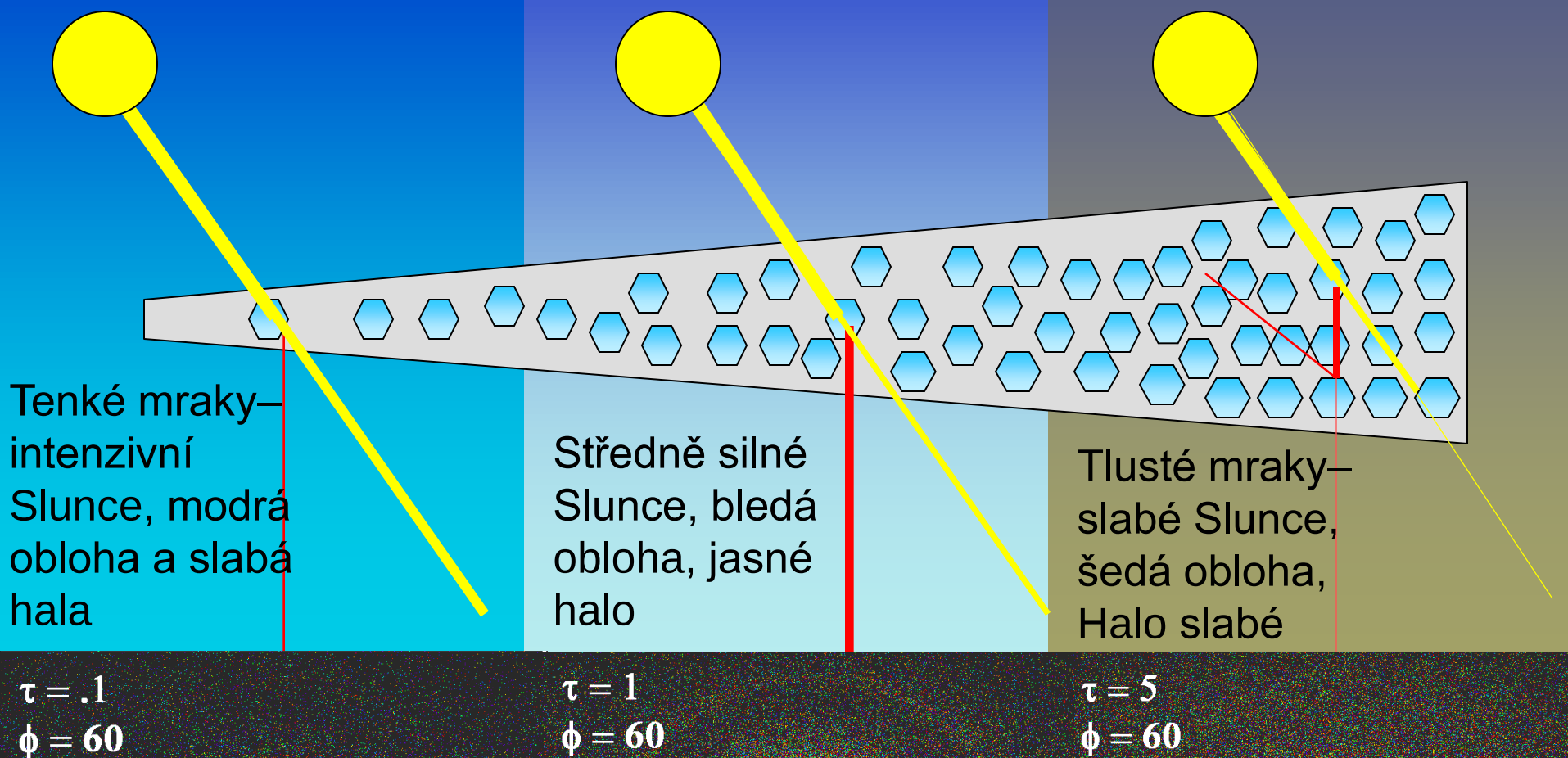
Hala a množství krystalů



Intenzita světla procházejícího médiem aniž by byla rozptýlena nebo absorbována je dána $e^{-\tau}$, kde τ se nazývá optická tloušťka. Nejjasnější hala vznikají při optické tloušťce v rozmezí 0.04 and 2. Opticky tenčí mraky mají příliš málo krystalů na refrakci dostatku světla zatímco opticky tlustší mraky rozptylují světlo tolikrát před tím, než opustí vrstvu mraků že výsledkem je nekoherentní šedá barva.

Při $\tau = 1$ ($\tau = 2$), jen $1/e \approx 36.8\%$ ($1/e^2 \approx 13.5\%$) světla proniká mraky bez rozptylu. Je-li $\tau < 0.02$ je mrak opticky příliš tenký aby byl vidět, ale protože ledové krystalky fokusují světlo, je možné vidět hala. Je-li $\tau > 10$ není vidět Slunce.

Vliv tloušťky mraků na jas hala





DUHY

**Duhy, korony, a glorie vznikají když
sluneční světlo dopadne na vodní kapky**

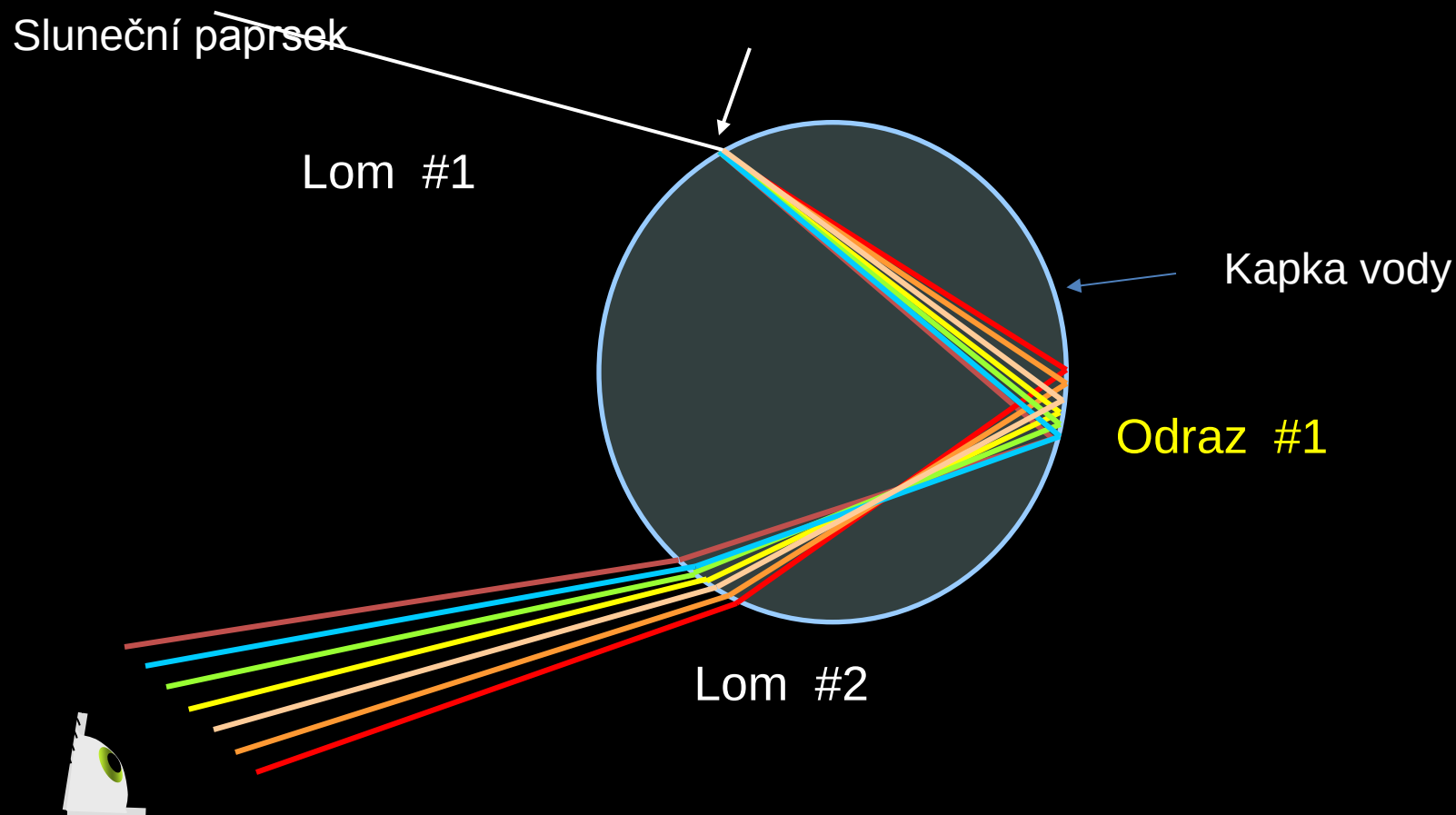
Duhy



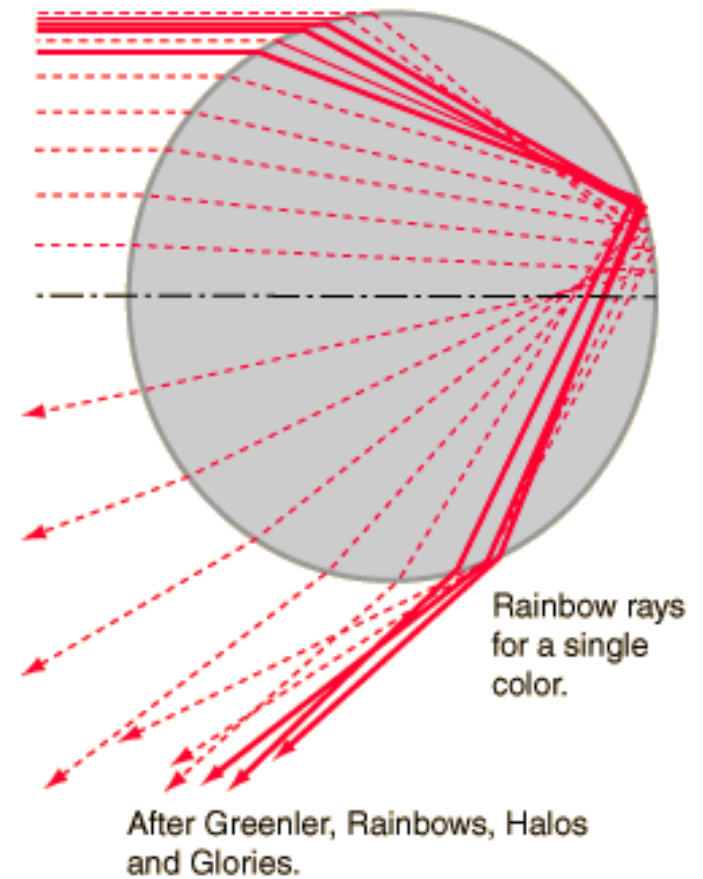
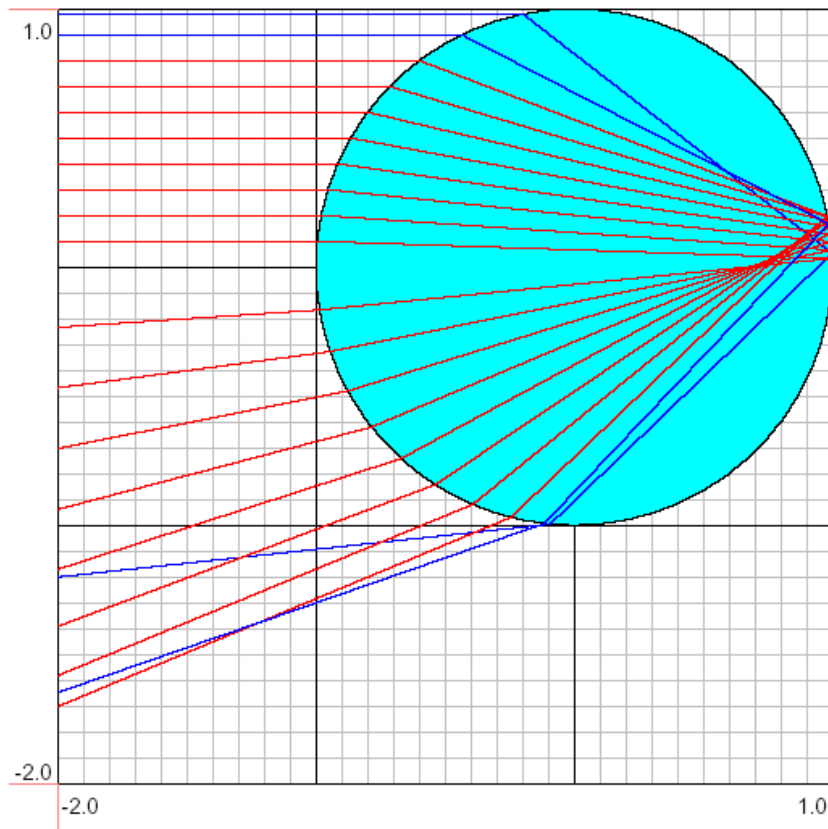
Není potřeba déšť

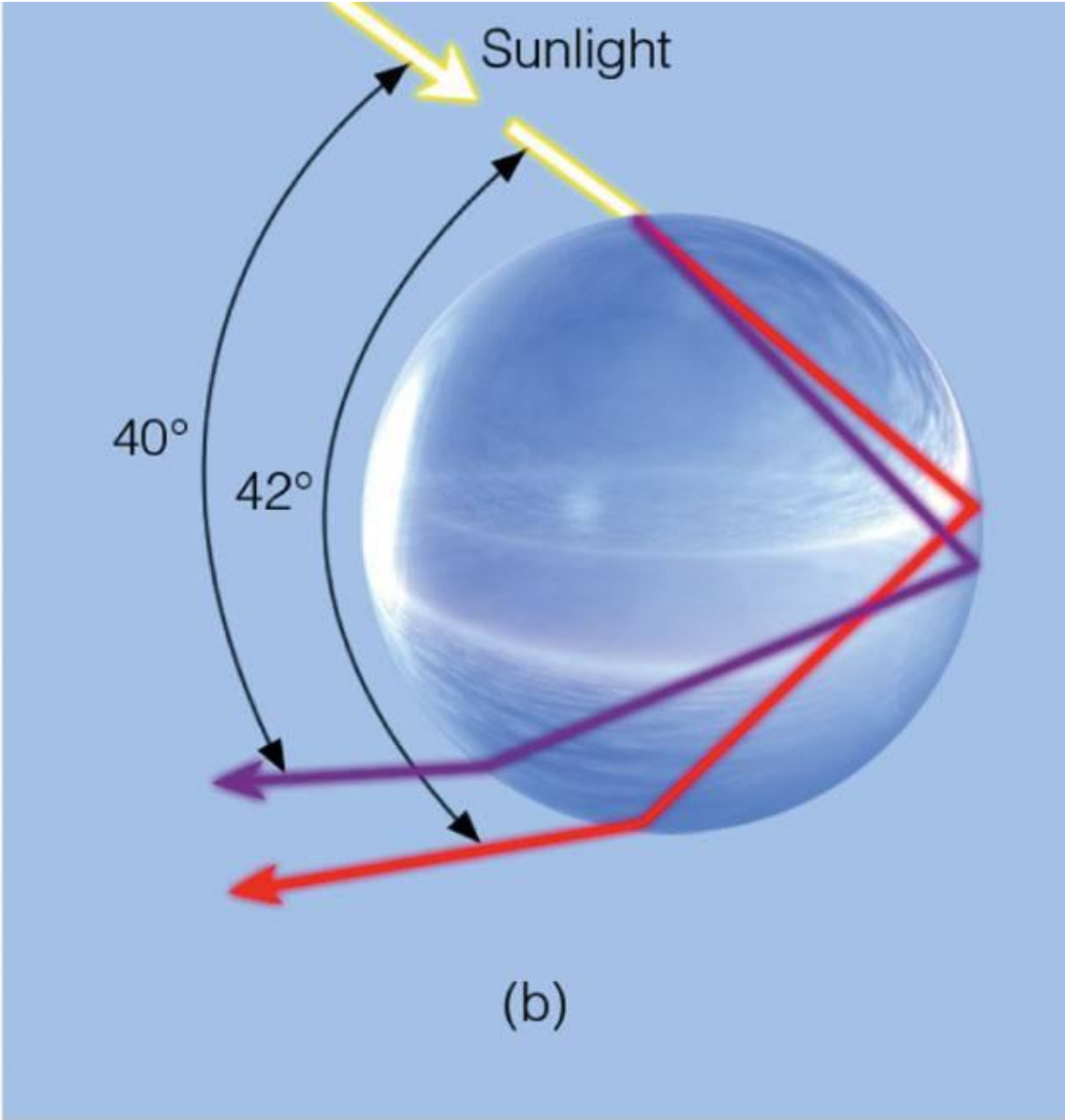
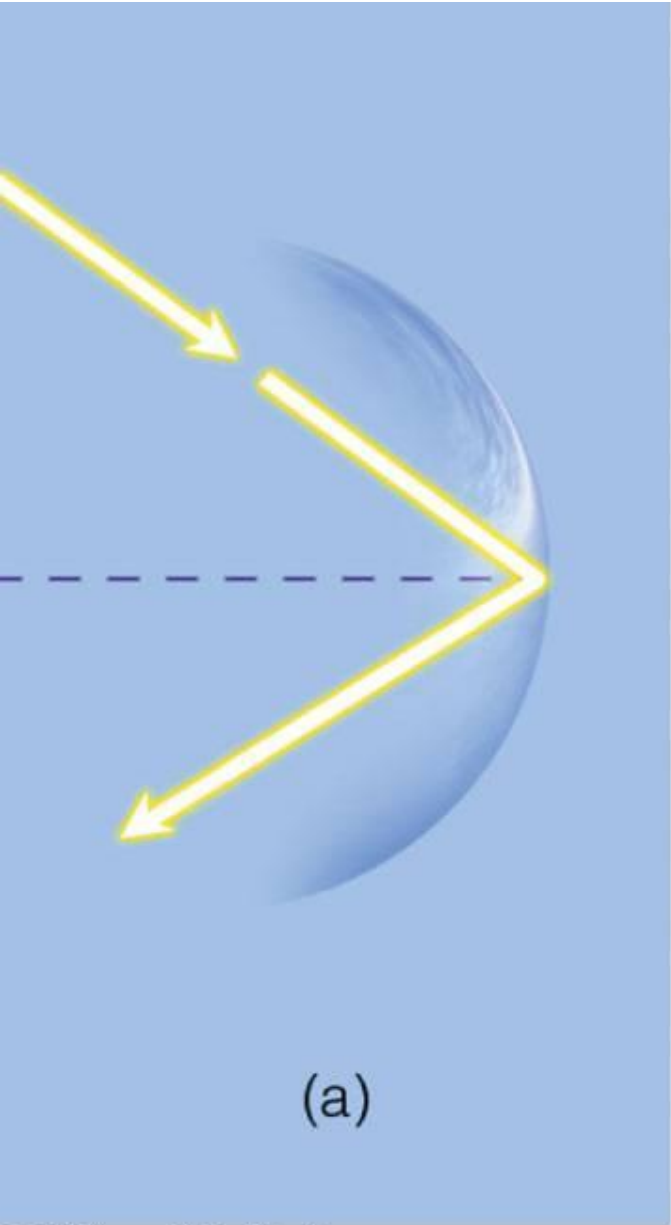


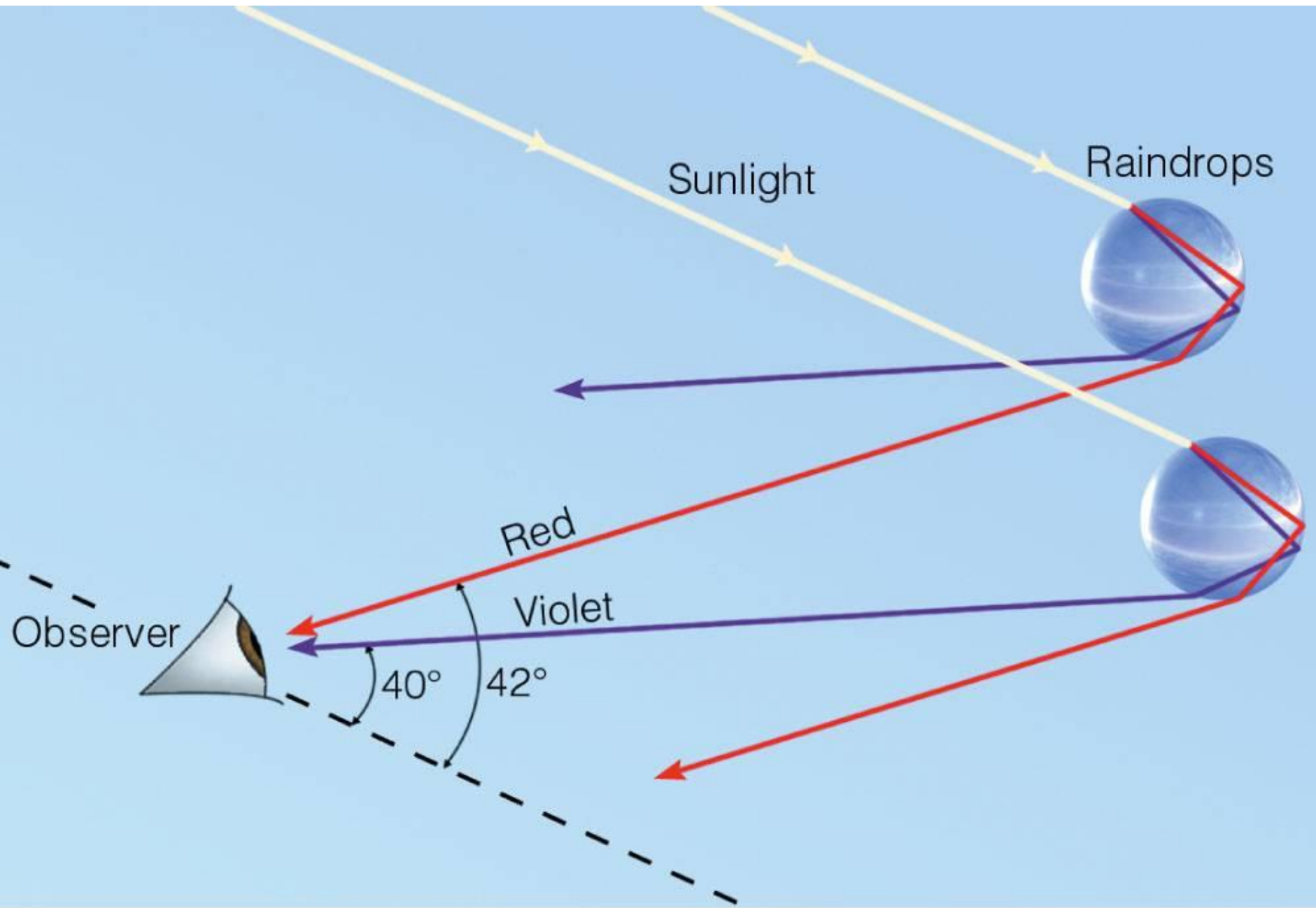
Vznik duhy



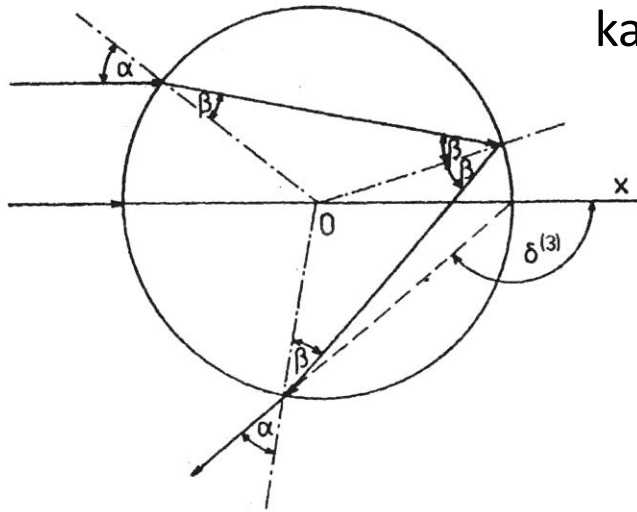
Naznačení role minimální deviace



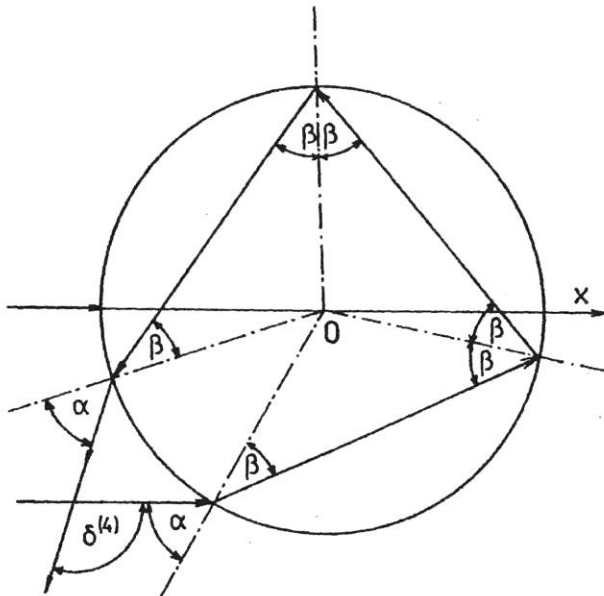




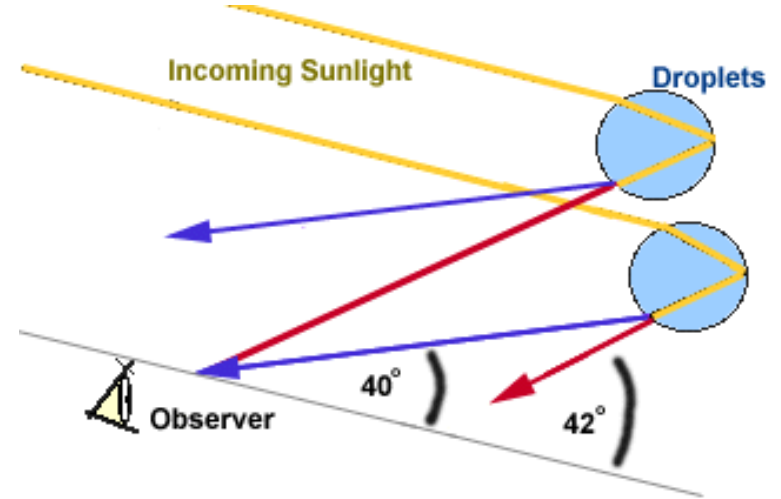
Odrazy na vodní kapce



4.18 Jeden vnitřní odraz světelného paprsku na vodní kapce.

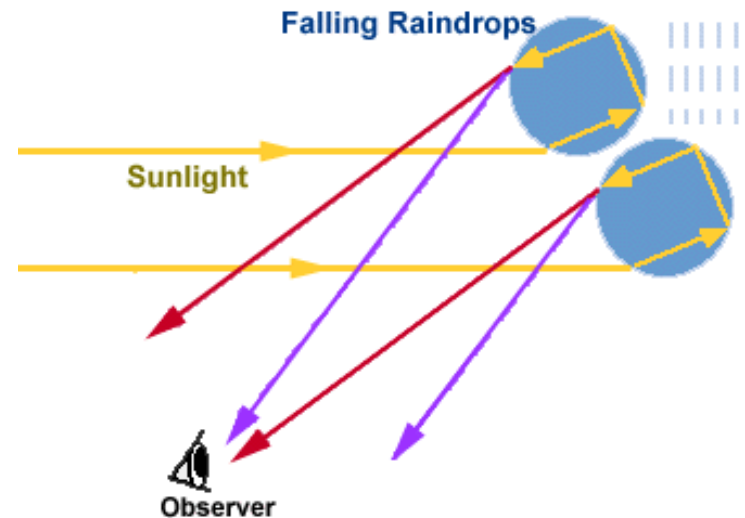


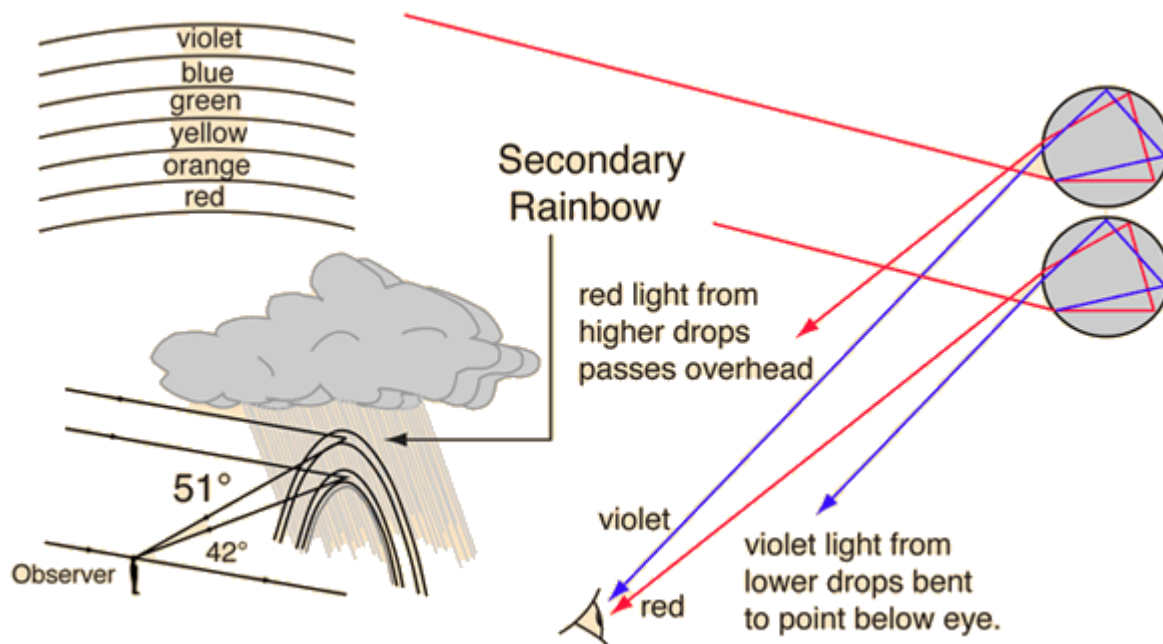
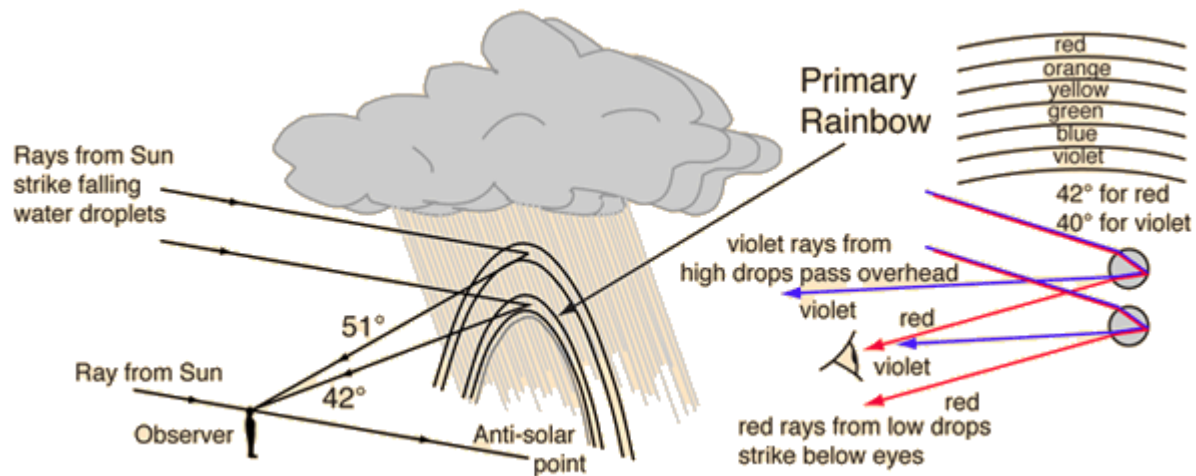
4.19 Dva vnitřní odrazy světelného paprsku na vodní kapce.



- Primární duha – 1 vnitřní odraz, paprsek dopadá na horní část kapky

Sekundární duha – 2 vnitřní odrazy, paprsek dopadá na spodní část kapky





Závislost parametrů duhy na velikosti kapek (lom, odraz, difrakce)

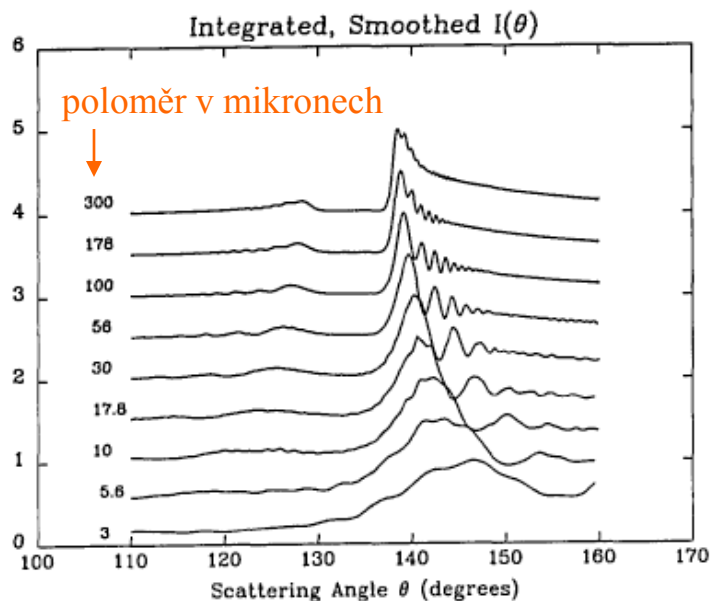


Fig. 2. $I(\theta)$ with drop radius a as a parameter.

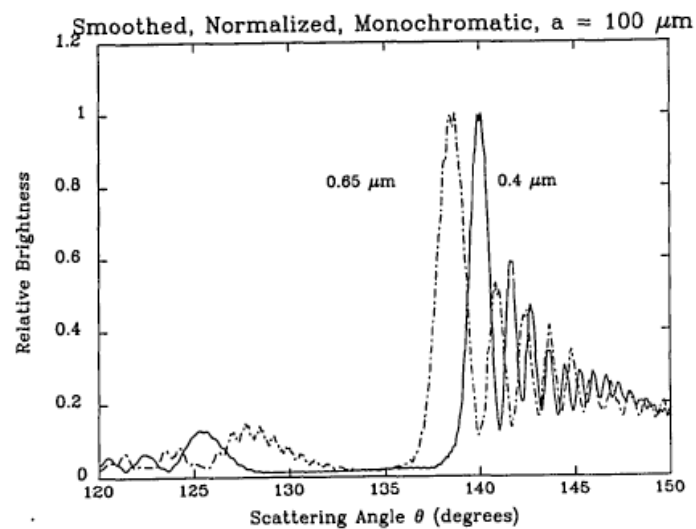


Fig. 7. Monochromatic bows at a wavelengths of 0.40 and 0.65 μm for $a = 100 \mu\text{m}$.

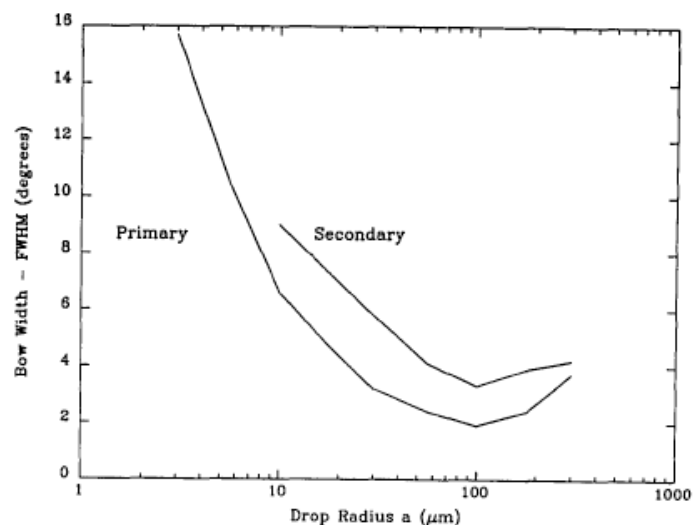


Fig. 5. Width of primary and secondary rainbows versus drop radius a .

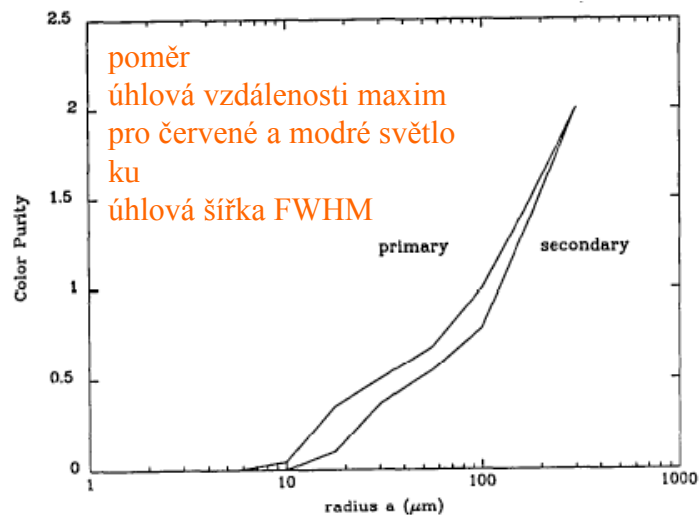
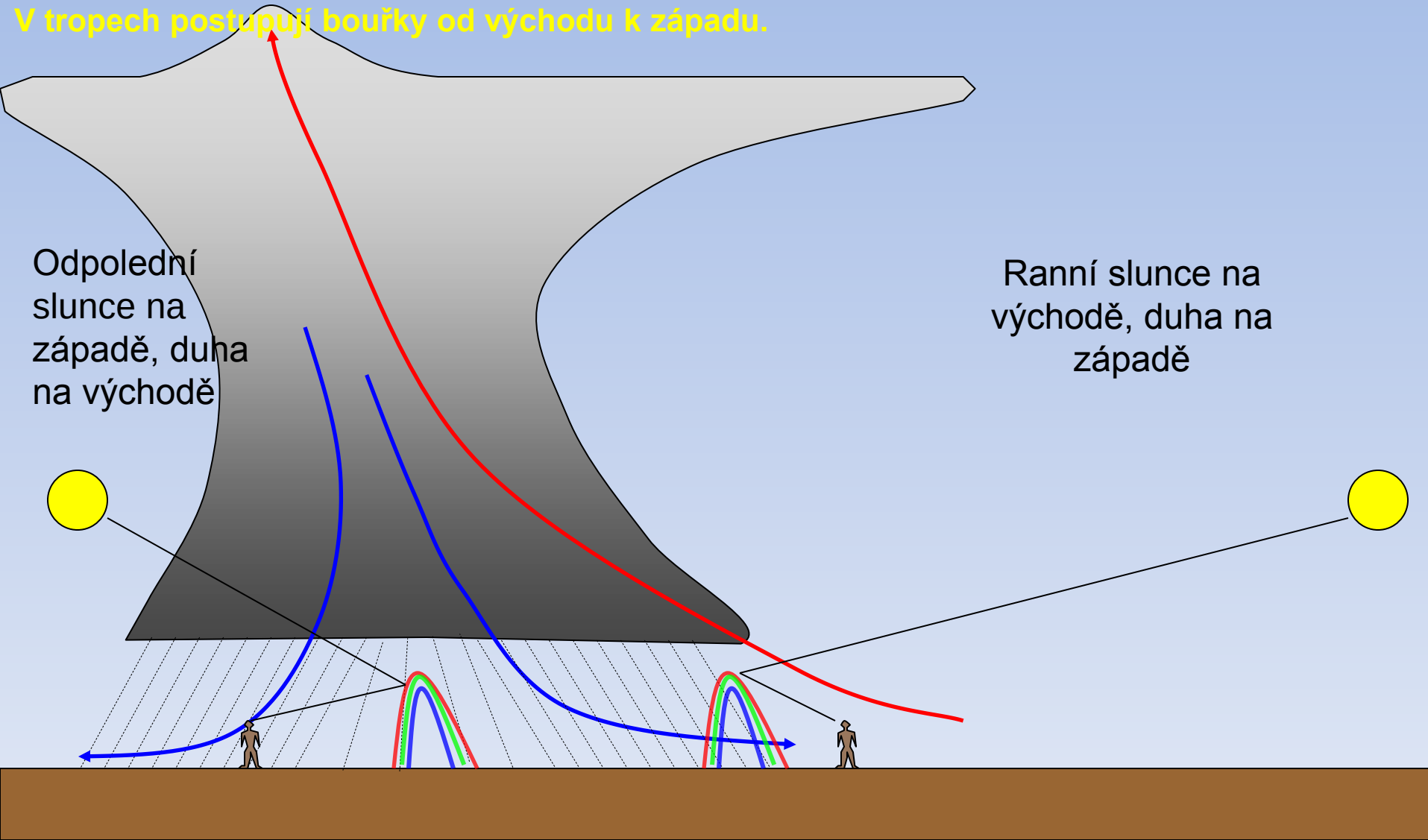


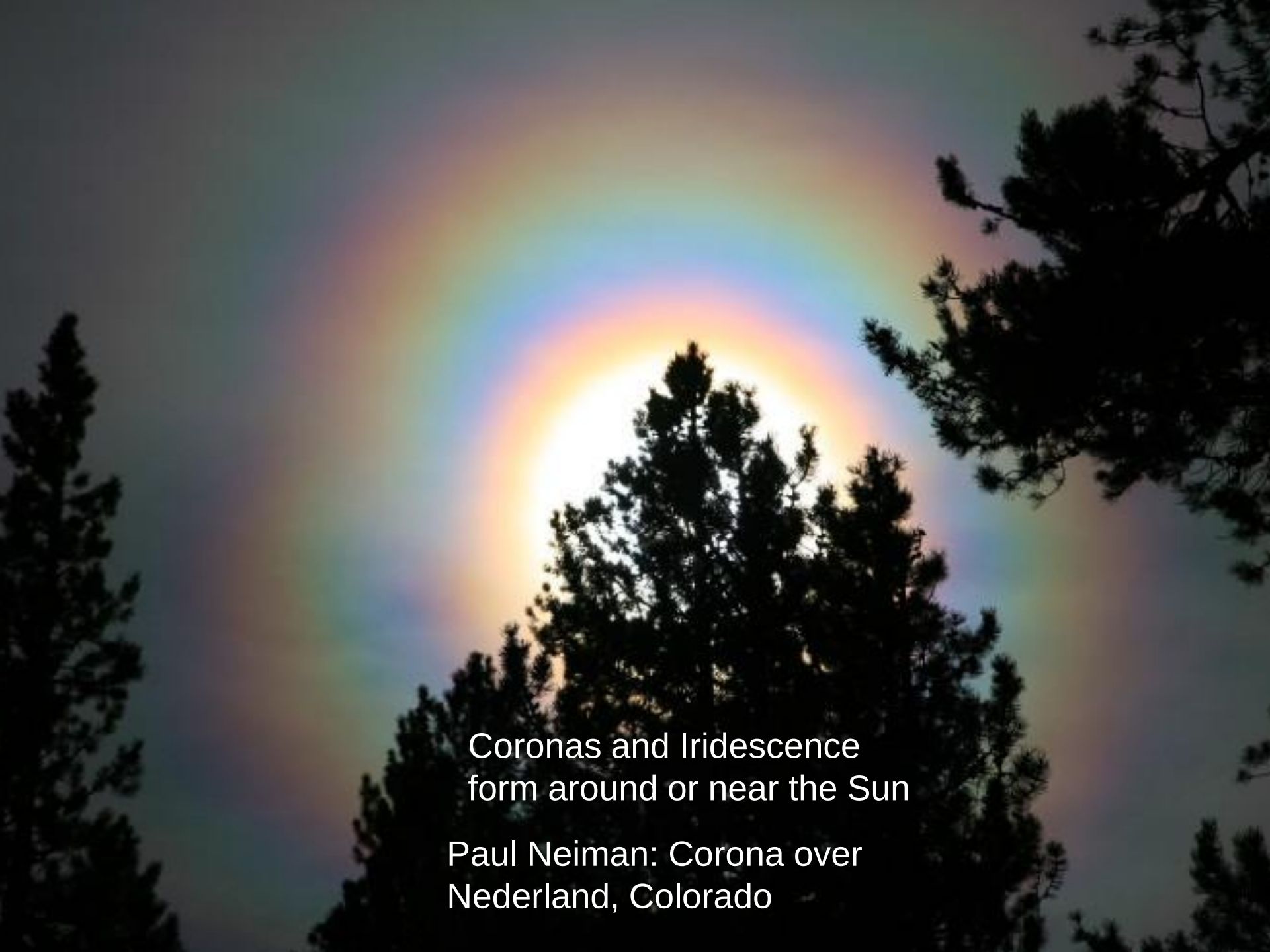
Fig. 8. Color purity parameter ϕ vs drop radius a .

Předpověď počasí pomocí duh

Při pozorování duhy je třeba stát zády ke slunci, tj. ráno směrem na západ a odpoledne směrem na východ.. Mimo oblast tropů postupují bouřky obvykle od západu k východu. Proto duha ráno znamená přibližující se bouřku, duha odpoledne vzdalující.

V tropech postupují bouřky od východu k západu.





Coronas and Iridescence
form around or near the Sun

Paul Neiman: Corona over
Nederland, Colorado

Korony a glorioly

Vznikají, když je světlo difraktováno vrstvou malých částíček. Korony vznikají kolem Slunce a Měsíce.

