

Optické úkazy na obloze

Duha, koróna, gloriola, halo,
polární záře, rozptyl světla,
astronomická refrakce,
vzdušné zrcadlení, zelený paprsek.



Duha:

hlavní oblouk 42° a vedlejší 51°
obrácené pořadí barev

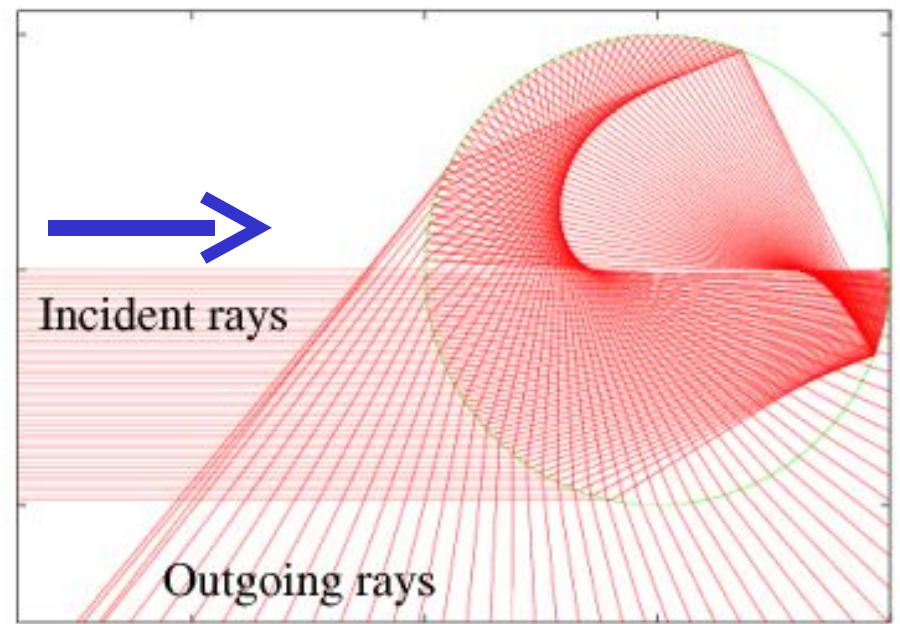
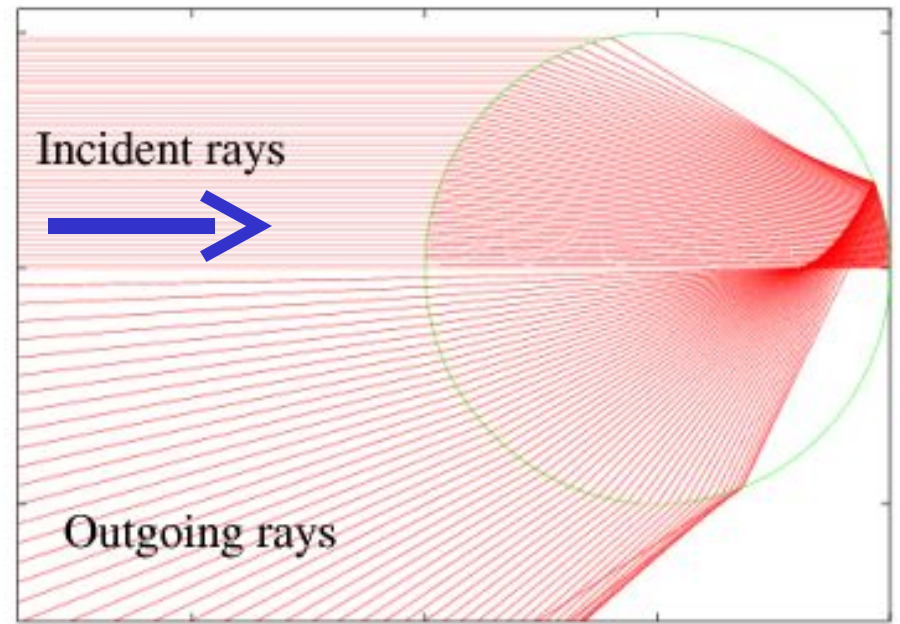
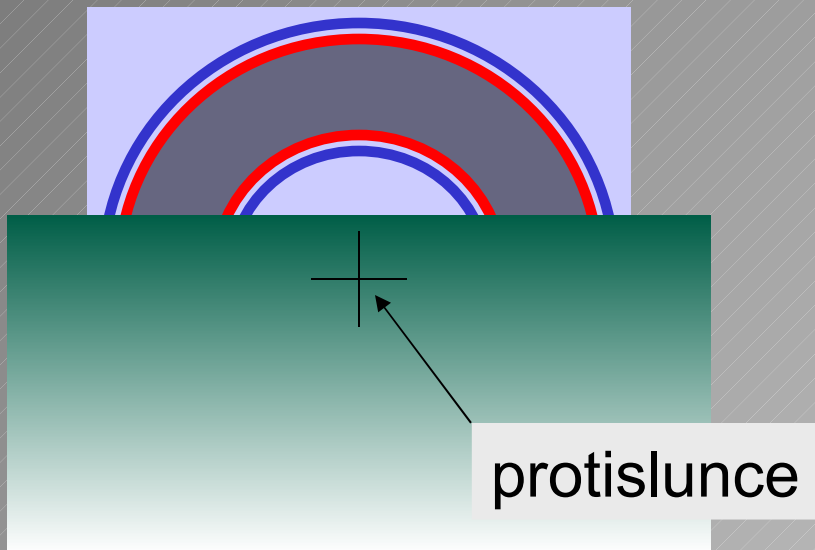
Duha ve vodní tříšti



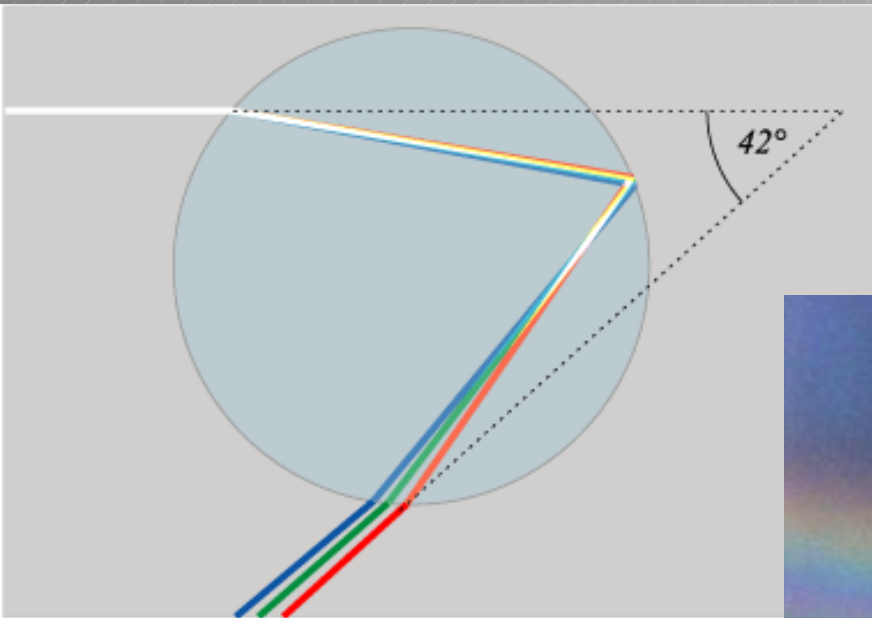
červená
duha

Vnitřek duhy je světlejší





Isaac Newton 1670,
proč je duha barevná, pořadí barev
 $n=1.33$ (červená) a $n=1.34$ (fialová)



George Airy 1820,
podružné oblouky duhy
závislost na velikosti kapek



Minimální resp. maximální deviace

$$\delta = 2(\alpha - \beta) + m(180 - 2\beta)$$

kde

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{(1 + m)^2 - 1}}$$

$$\sin \alpha = n \sin \beta$$

α úhel dopadu

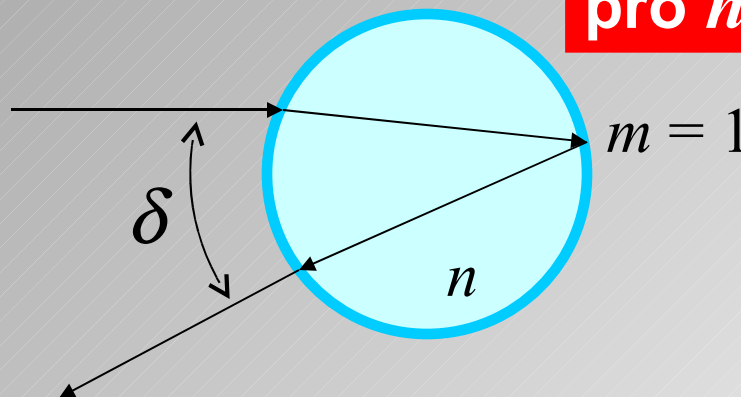
β úhel lomu

m počet vnitřních odrazů

n index lomu

pro $n=1.33$ je $\delta = 42.5^\circ$

pro $n=1.34$ je $\delta = 41.5^\circ$





duha s loukotěmi

velehorská duha



Rainbows usually span less than a semi-circle. From mountains they can be increasingly complete. Bill Kindred of the MMT Observatory imaged this primary and secondary from the observatory at the summit of Mt. Hopkins, Arizona. The tip of the shadow of Mt. Hopkins cast by the low sun on the distant mountains neatly marks the antisolar point and the centre of the rainbows. Image©Bill Kindred, shown with permission.

duha v Grand kaňonu



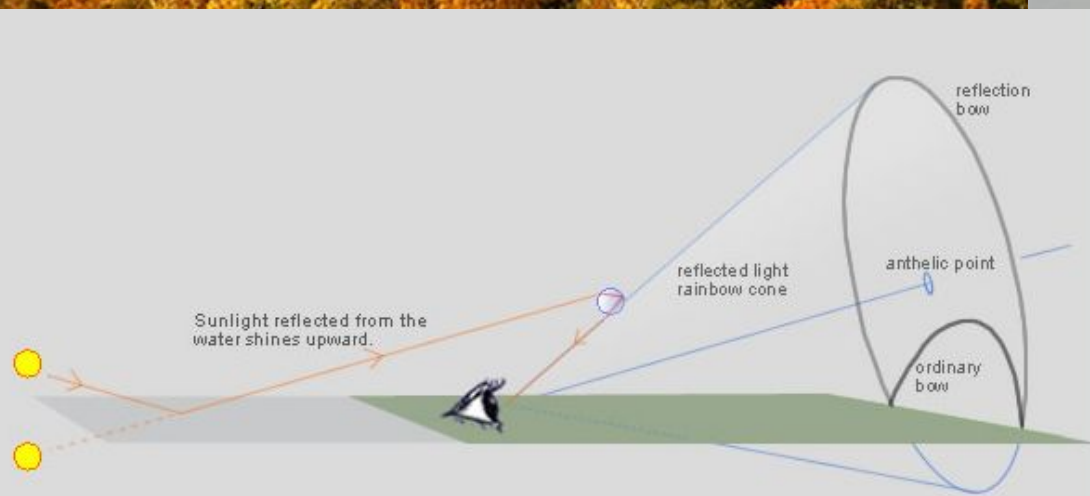
duha v údolí



noční duha (měsíční) & Venuše



odražená duha



Two suns

duha v tříšti mořské vody
42° (sladká voda)
41° (slaná voda)



Rozštěp duhy:

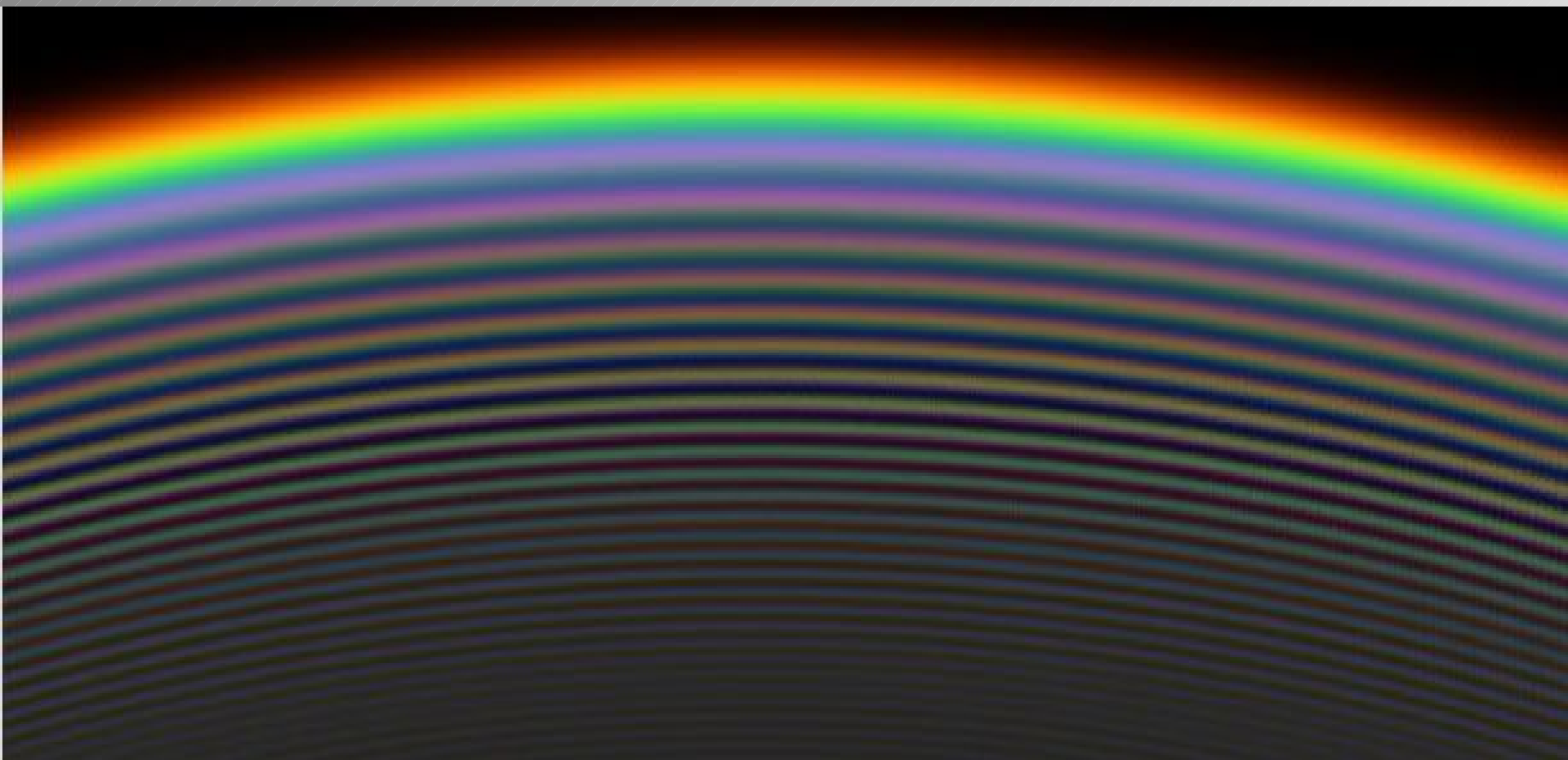
velké asférické kapky, silný déšť



Duhová pavučina

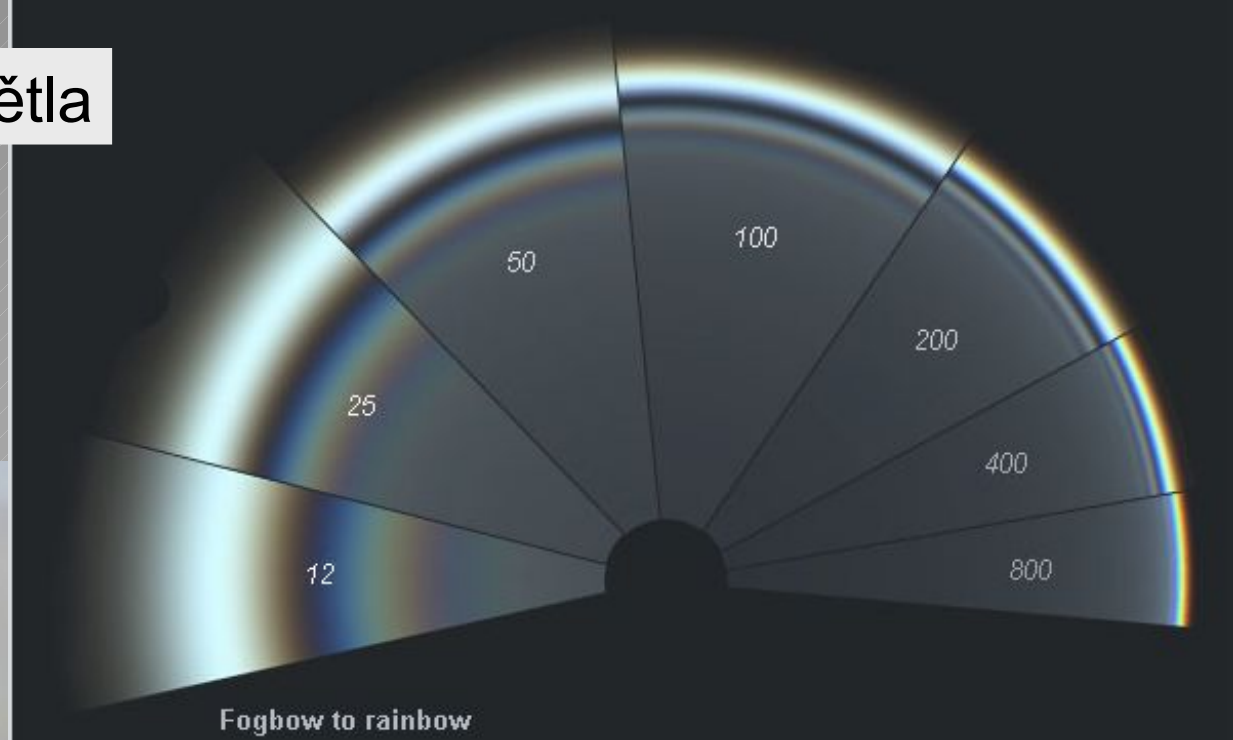


Ideální duha: (počítačová simulace)
bodový zdroj a sférická kapka 0.75 mm



ohyb světla

Bílá duha:
mlha, kapky $< 50 \mu\text{m}$



Koróna:

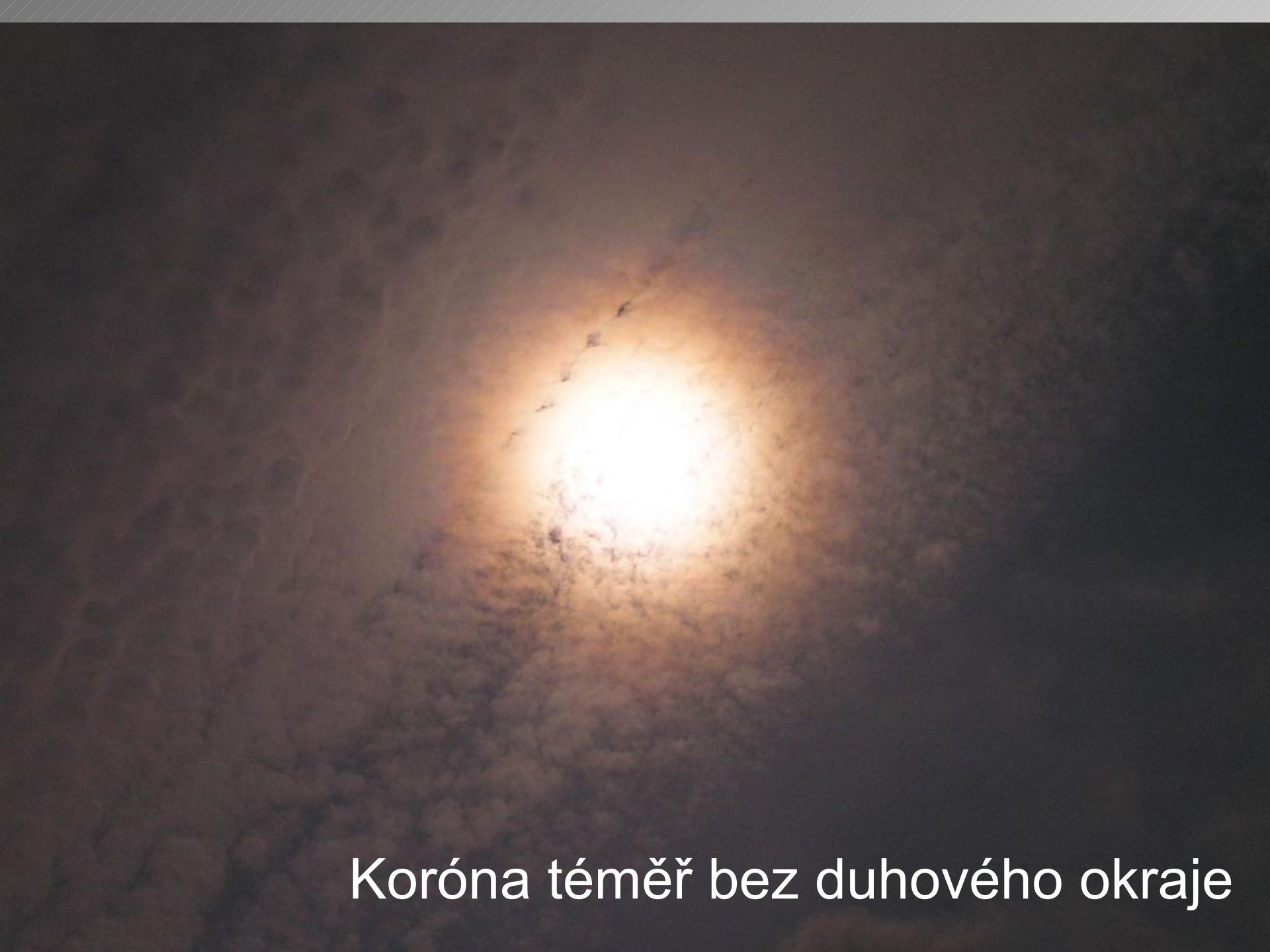
ohyb na vodních kapkách
pro kapku $10\text{ }\mu\text{m} \rightarrow 3^\circ$
obvykle 0° až 10°

*

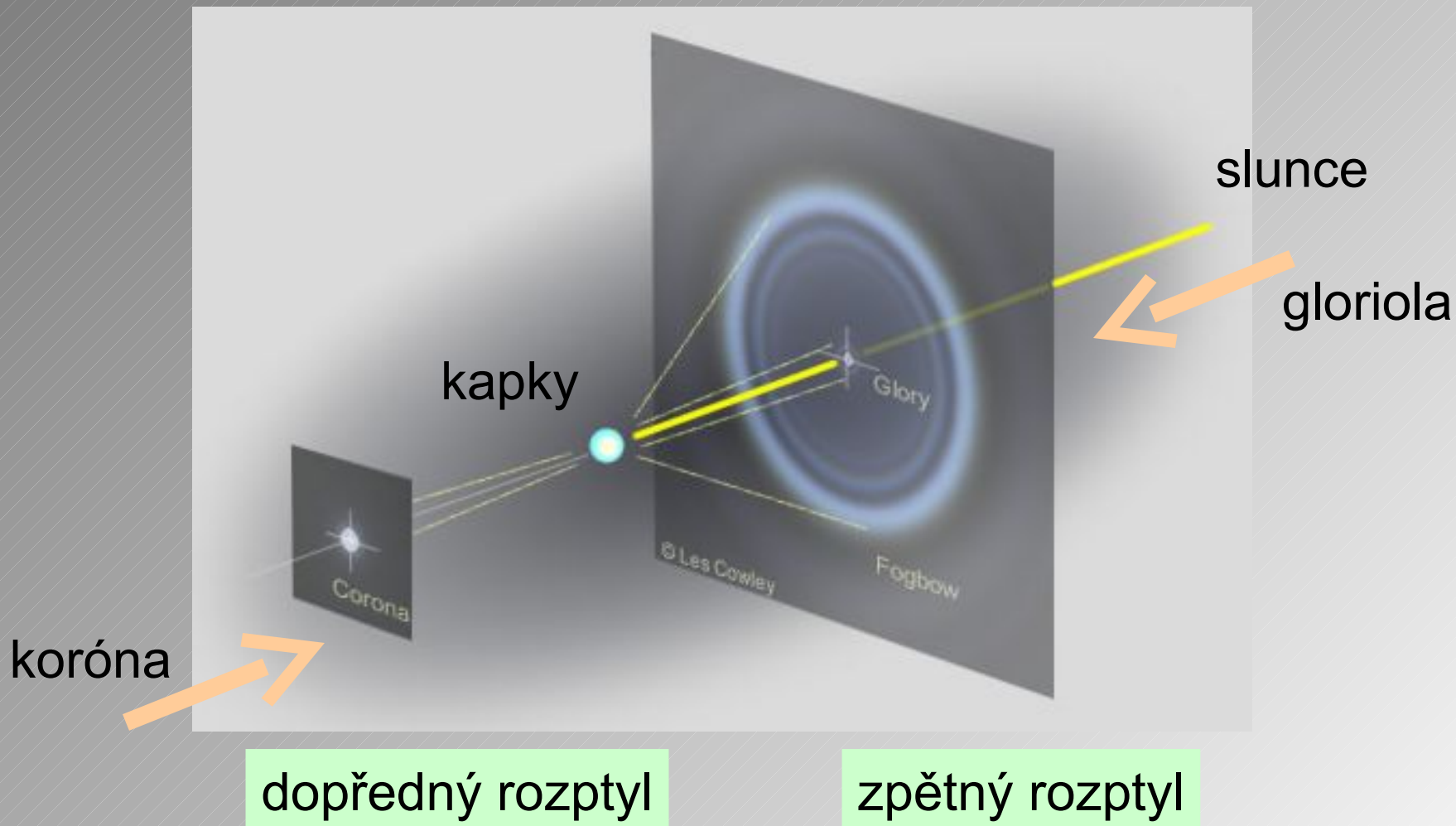
vysvětlil 1852 Emile Verdet



$$\sin \alpha \approx \frac{\lambda}{D}$$



Koróna téměř bez duhového okraje



Gloriola:
glorie, svatozář,
opoziční efekt,
Brockenský
přízrak





gloriola shora





gloriola v ranní rose



"Heiligenschein" (svatozář, opoziční efekt)
je dobře patrný i při letu s balonem.
Vypadá jako světlá skvrna kolem stínu
horkovzdušného balonu,
resp. jeho koše. Foto Jiří Dušek.

kondenzační čáry



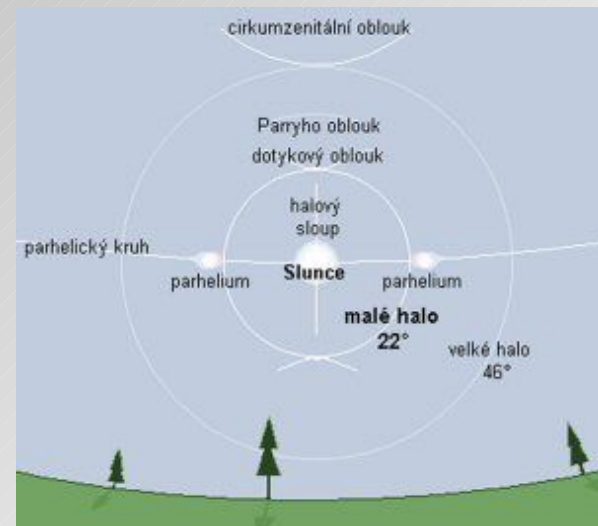
kondenzační čáry po US vojenské raketě Minotaurus





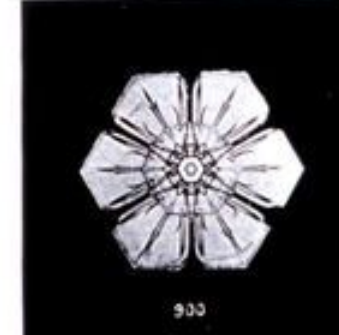
Halové jevy:



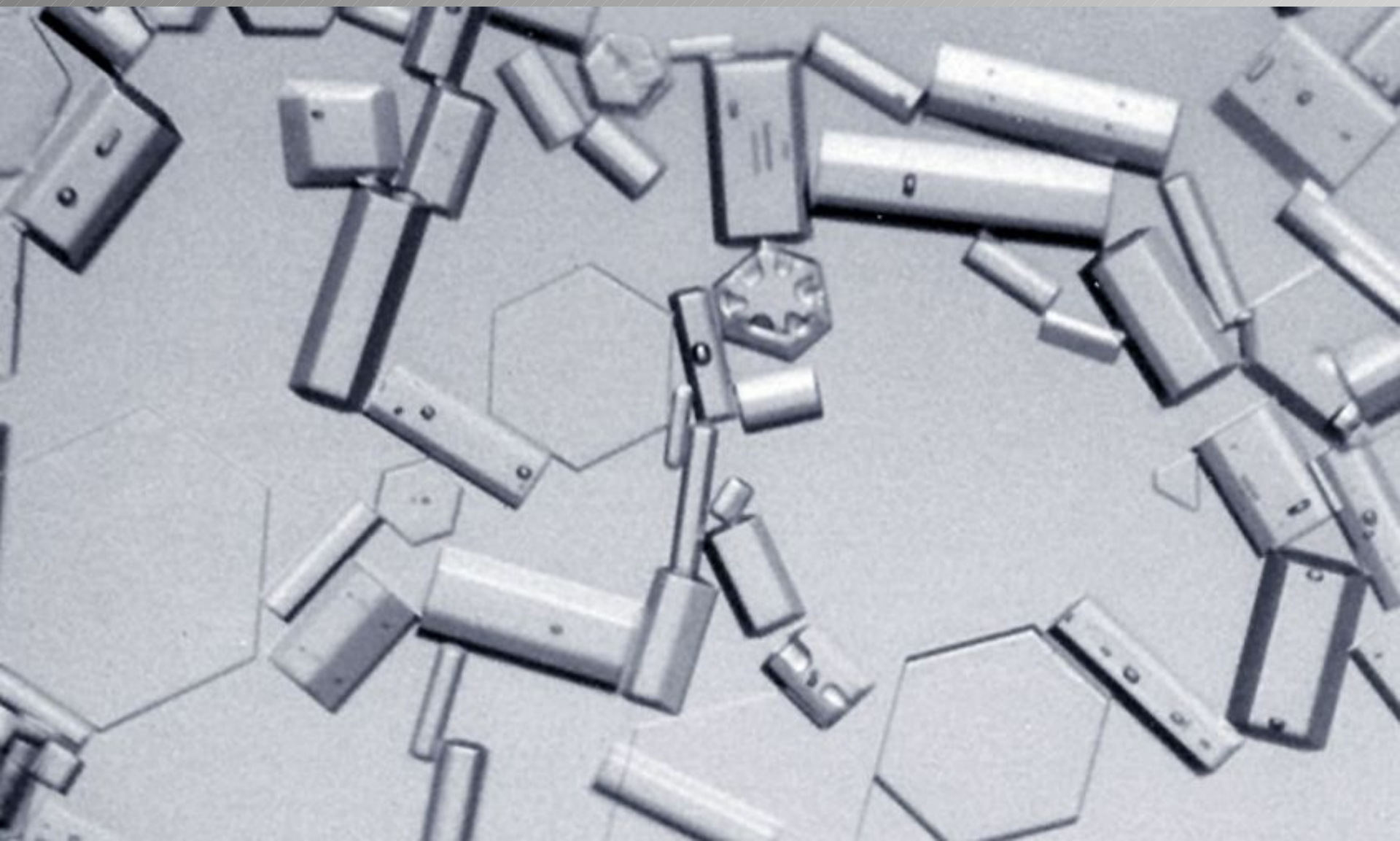




sněhové vločky,
šesterečná symetrie



krystalky ledu
~100 μm



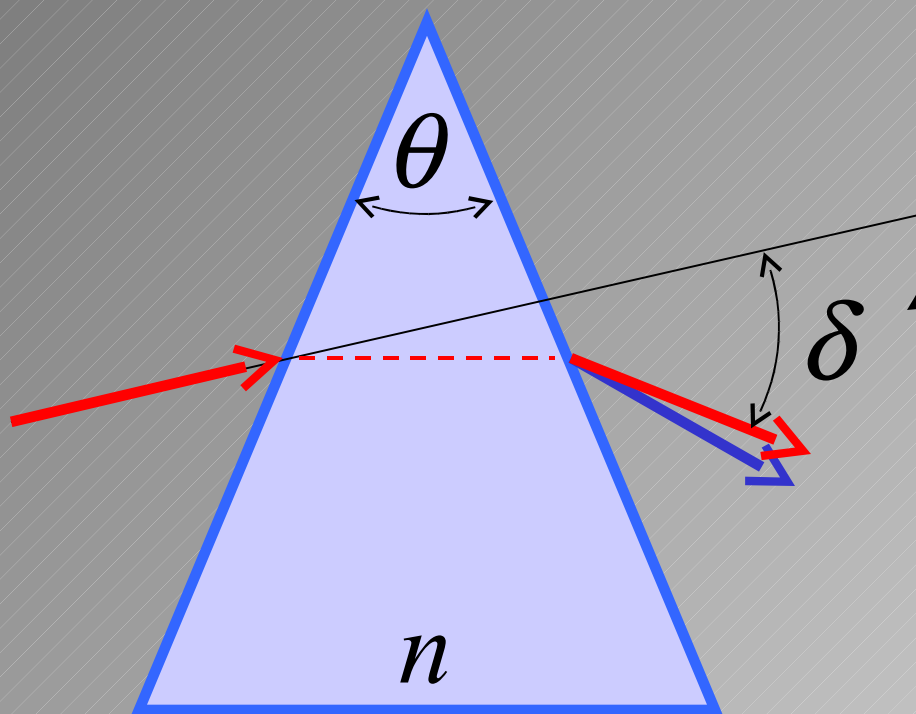


lom a odraz slunečních paprsků
na krystalcích ledu $\sim 100 \mu\text{m}$
v mracích typu cirrus 5-10 km vysoko

Malé halo 22°



minimální deviace



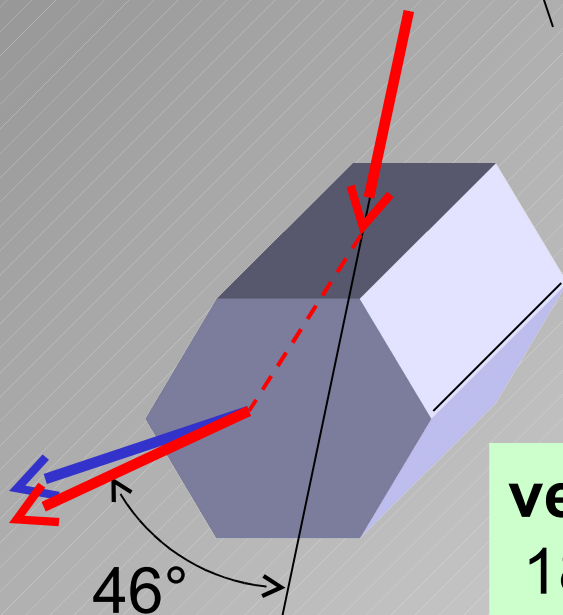
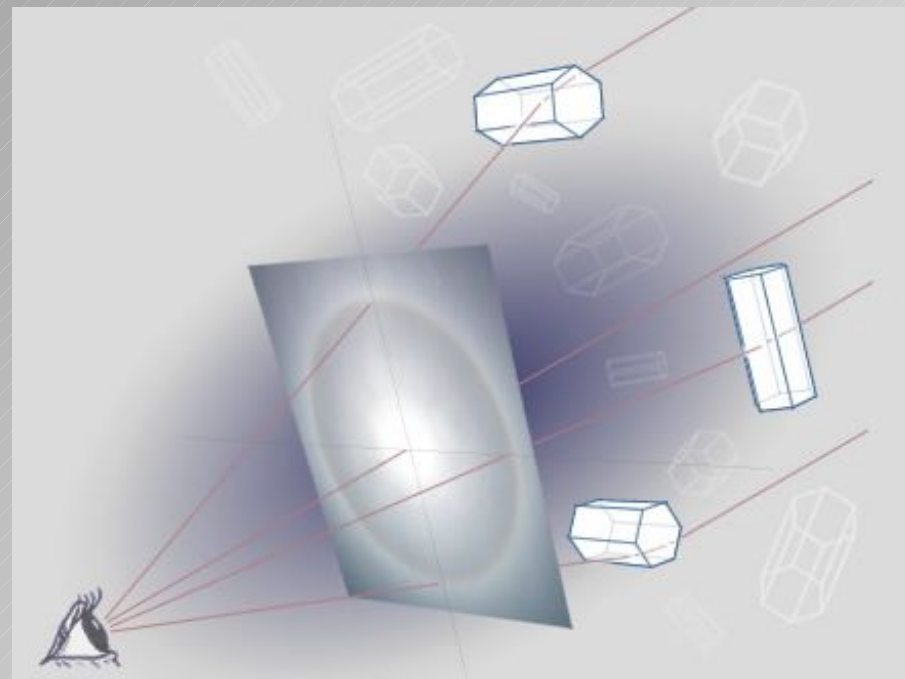
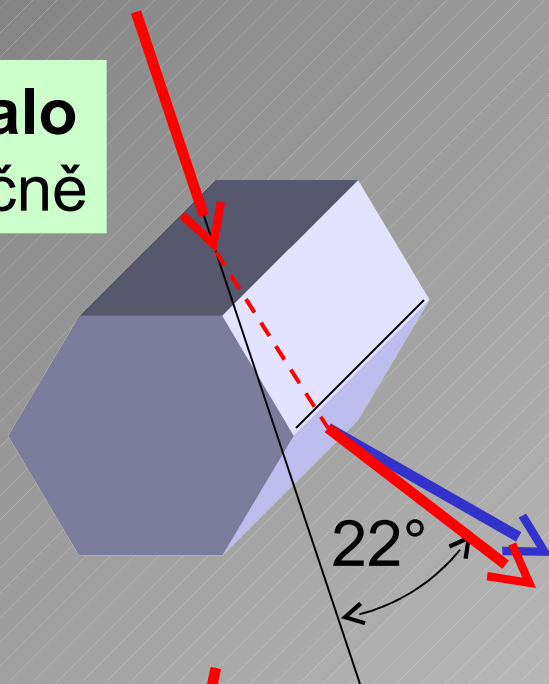
$$n \sin \frac{\theta}{2} = \sin \frac{\theta + \delta}{2}$$

Pro led $n=1.31$
dostaneme



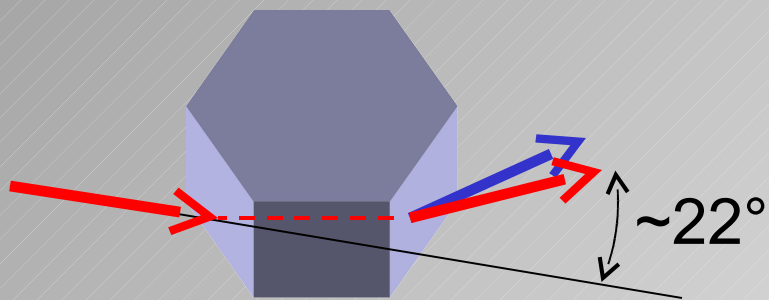
pro $\theta = 60^\circ$ je $\delta = 22^\circ$
pro $\theta = 90^\circ$ je $\delta = 46^\circ$

malé halo
209x ročně



velké halo
18x ročně

Parhelium: $>22^\circ$
(vedlejší slunce)
71x ročně



Poloha parhelia

$$\sqrt{\frac{n^2 - \sin^2 h}{1 - \sin^2 h}} \sin \frac{\theta}{2} = \sin \frac{\theta + \delta}{2}$$

Pro $\theta = 60^\circ$ dostaneme

**pro $h = 0^\circ$ je $\delta = 22^\circ$
pro $h = 20^\circ$ je $\delta = 23^\circ$
pro $h = 40^\circ$ je $\delta = 28^\circ$**

kde

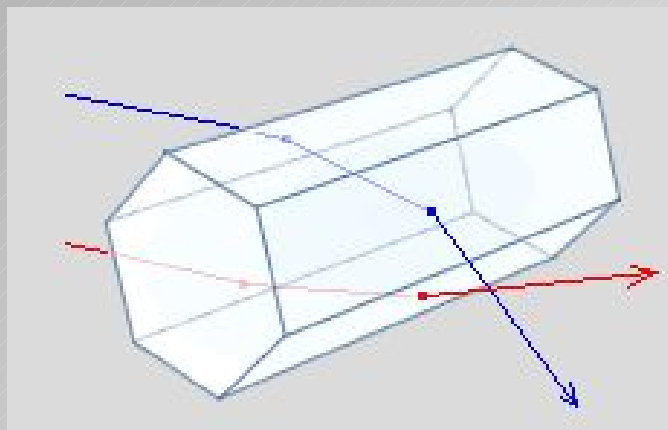
h - výška slunce

δ – poloha parhélia

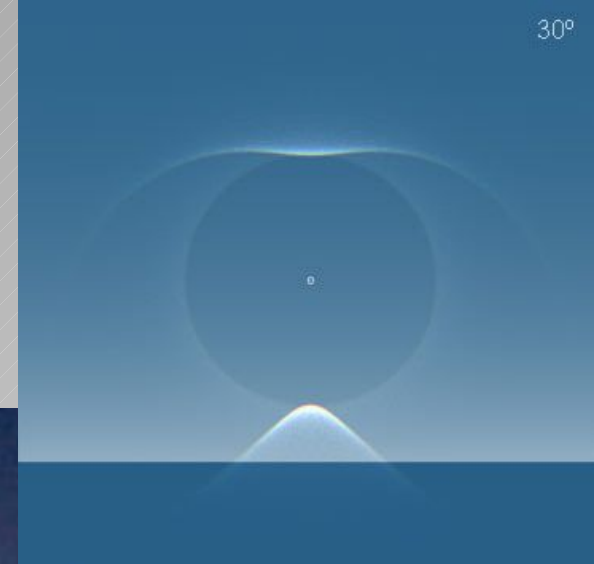
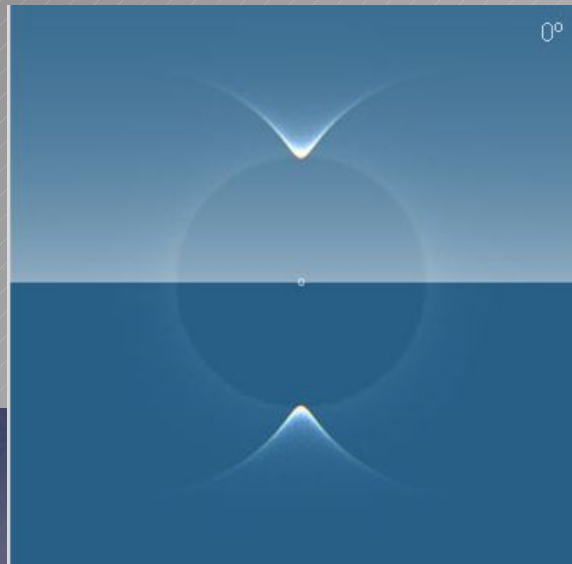
θ – lámavý úhel



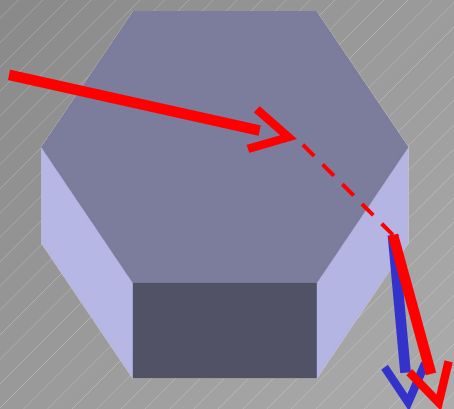
Horní a dolní dotykový oblouk:
59x ročně



Tvar dotyk. oblouku
závisí na výšce slunce



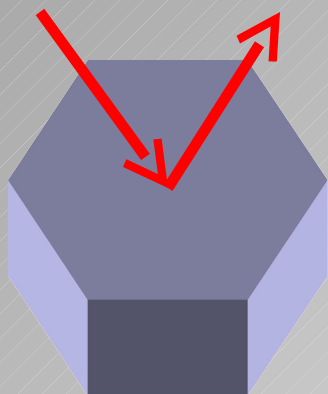
Cirkumzenitální oblouk: 31x ročně



Slunce $< 32^\circ$



Halový sloup:
34x ročně
odrazem na ledových destičkách



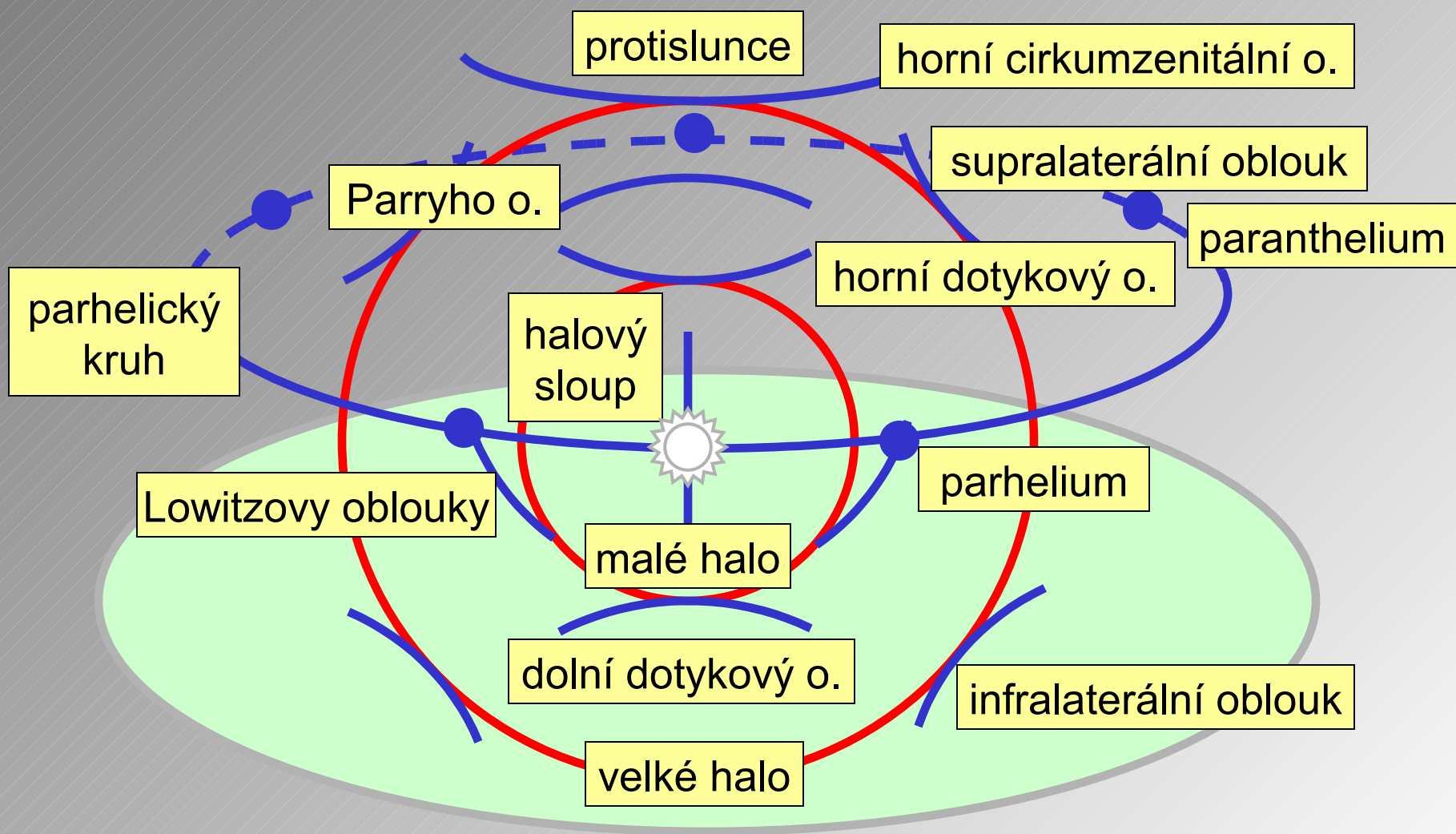


Rok 312, před bitvou Konstantina a Maxentia se na obloze objevily tři zářící kříže (halový sloup, parhélia a parhelický oblouk). Konstantin bitvu proti přesile vyhrál, sjednotil říši a povolil v ní vyznávat křesťanství.

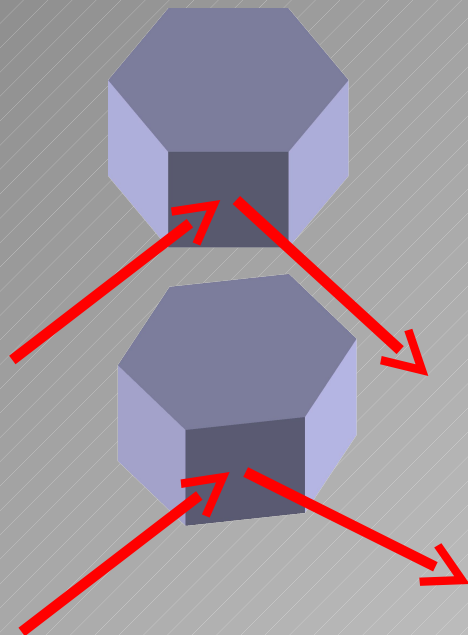
Z historie jevu:

Halo pojmenoval Aristotelés 3. st. př. Kr., ale znali již Asyřané v 7. st.

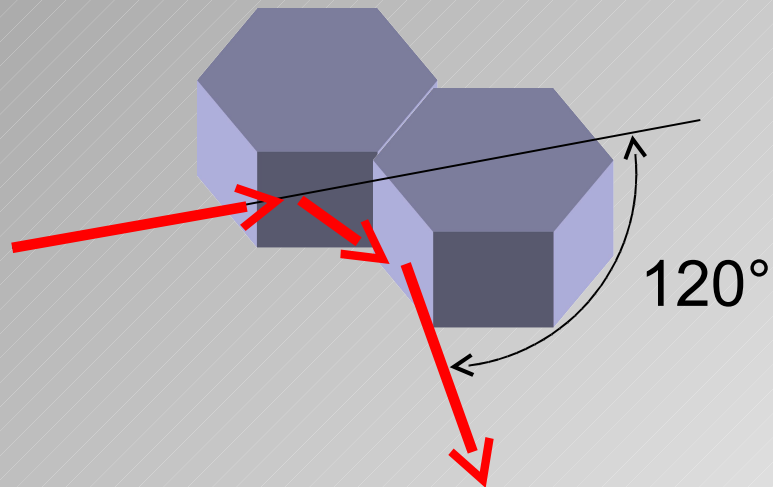
Malé halo vysvětlil Edme Mariotte 1681 stol.
Velké halo vysvětlil Henry Cavendish 17. stol.



parhelický kruh
13x ročně



paranthelium
1x ročně





Irizace Perleťové mraky



Rozptyl nebo interference
na kapkách vody nebo
krystalech ledu $\sim 2 \mu\text{m}$

Polární záře







Vznik polární záře:

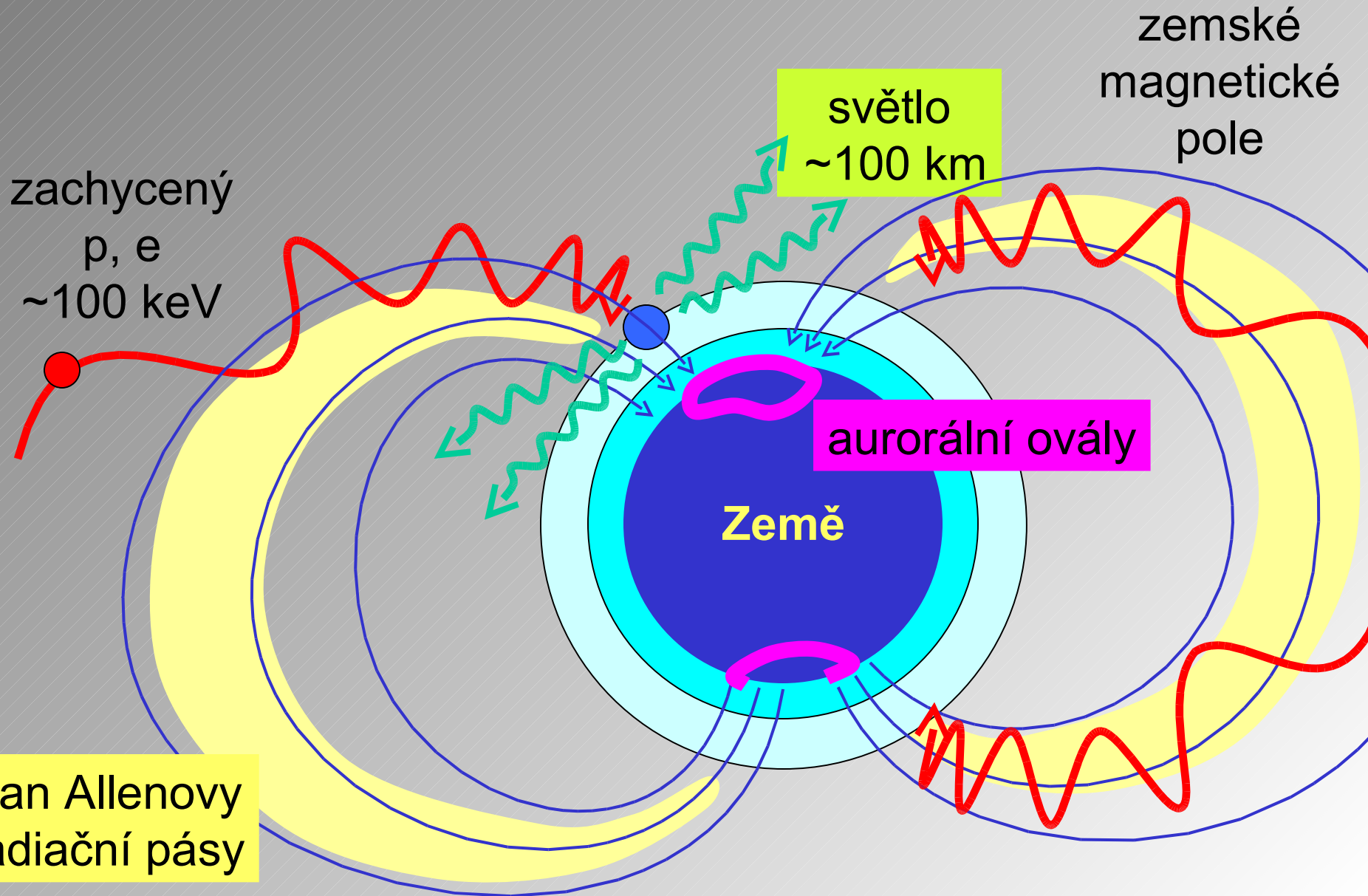
Sluneční a magnetická bouře, rovnodennost
11-letý cyklus sluneční aktivity, příště kolem roku 2011
obvykle jen kolem pólů (**aurorální ovál** asi $70^\circ \pm 5^\circ$)

Sluneční vítr ($\mathbf{p^+}$, $\mathbf{e^-}$) + magn. pole Země → **Van Allenovy pásy**
Ty někdy zasahují až do horní atm. → **ionizace** ve výšce 100 km

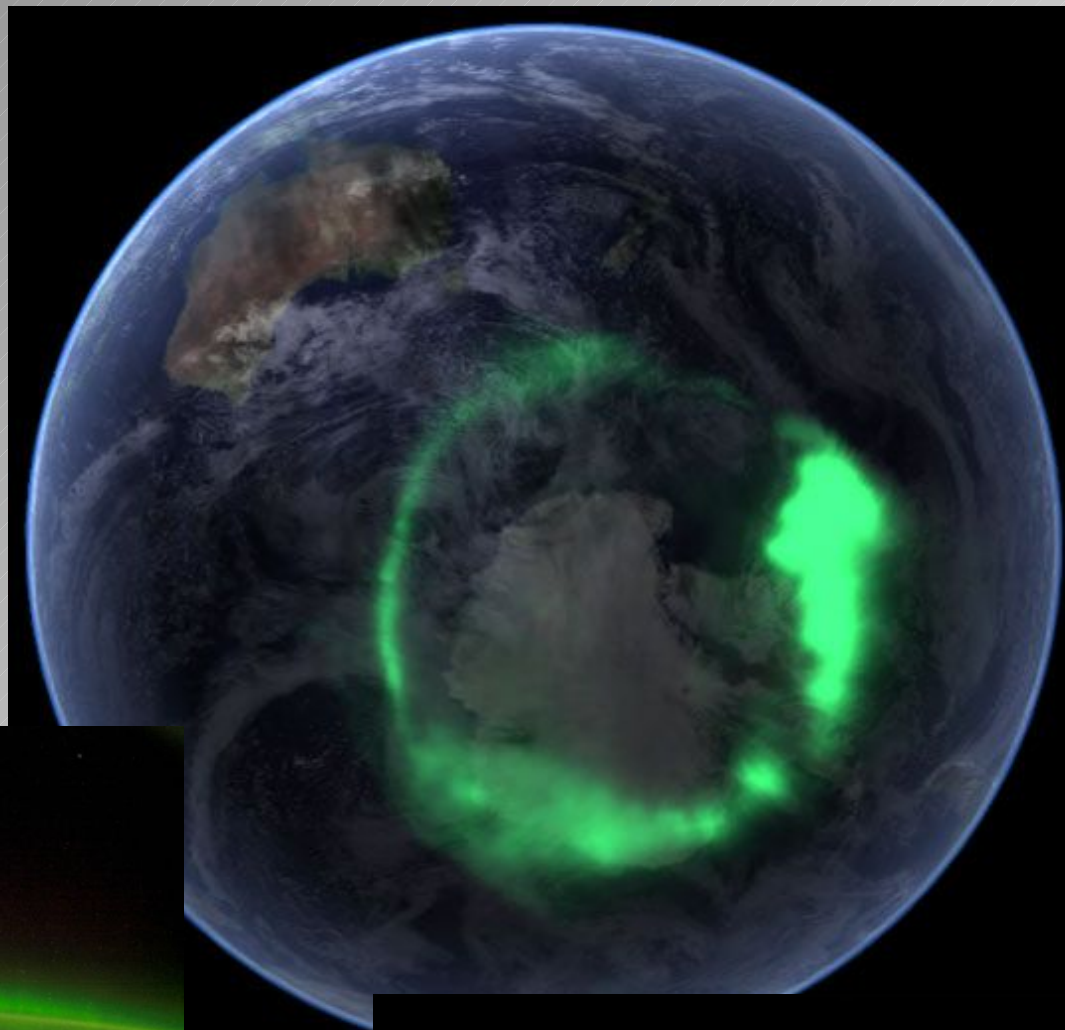
Luminiscence:

O (atomární kyslík) 630 nm a 558 nm (červená a zelená),
N₂ (ion. molekula dusíku) 391 nm a 428 nm (fialová a modrá)

Polární záře i u nás: 1989, 2000, 2001



Polární záře z kosmu:



Z historie:

8. stol. př. Kr. - **Hesiodes** popisuje v *Theogony*

„... nebe v plamenech a ohnivě draky na obloze ...“

1575 - **Cornelius Gemma**, první vědecká ilustrace

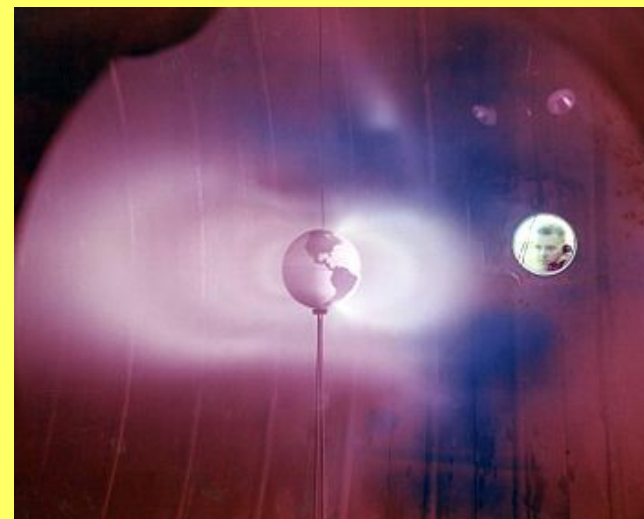
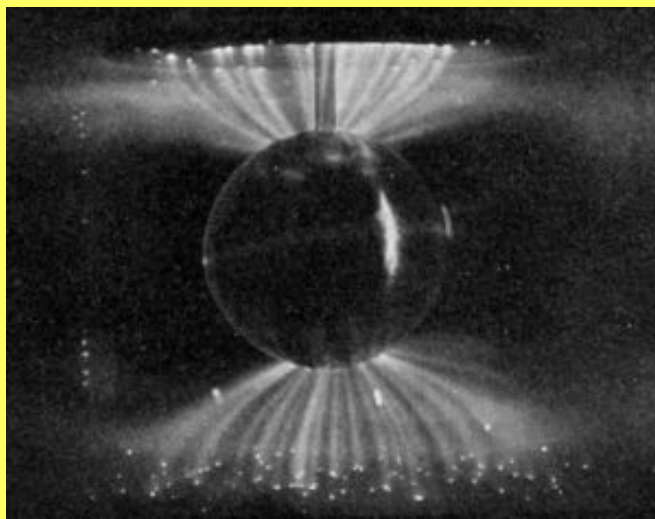
1620 - **Pierre Gassendi** dal jevu jméno **aurora borealis**

1741 - **Olof P. Hiorter** chvění střelky kompasu při polární záři

1745 - **Don Ulloa** pozoruje polární záře na mysu Horn 56° (**aurora australis**)

1896 - **Kristian Birkeland** objasňuje původ polární záře,
elektrony ze Slunce zachyceny magnetosférou Země,
tak vznikají el. proudy tekoucí podél silokřivek magnetického pole
(tzv. Birkelandovy proudy), experimenty s Terrellou.

1958 - **James Alfred Van Allen**, Explorer I a III, vnitřní **radiační pás**

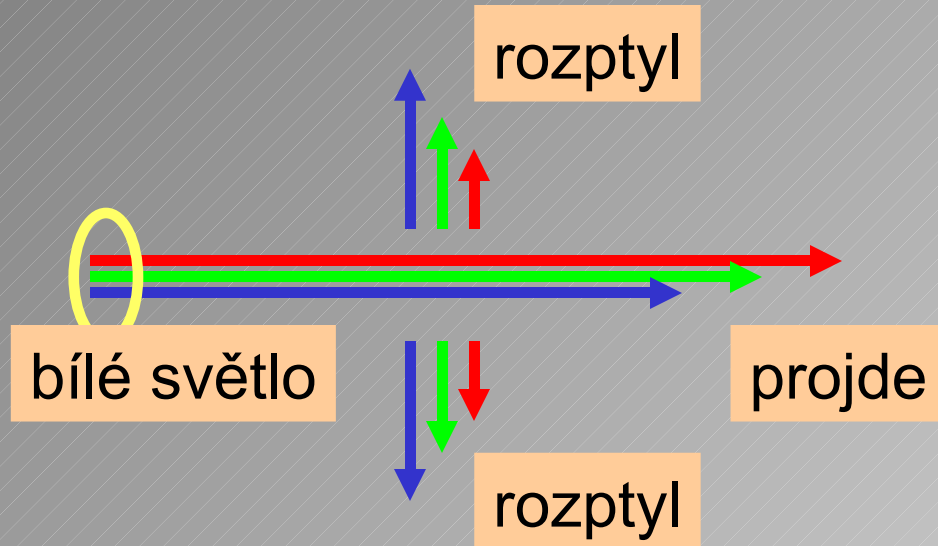




Proč je obloha modrá ?
Proč je slunce rudé ?



Rozptyl světla v atmosféře



Rayleighho zákon:

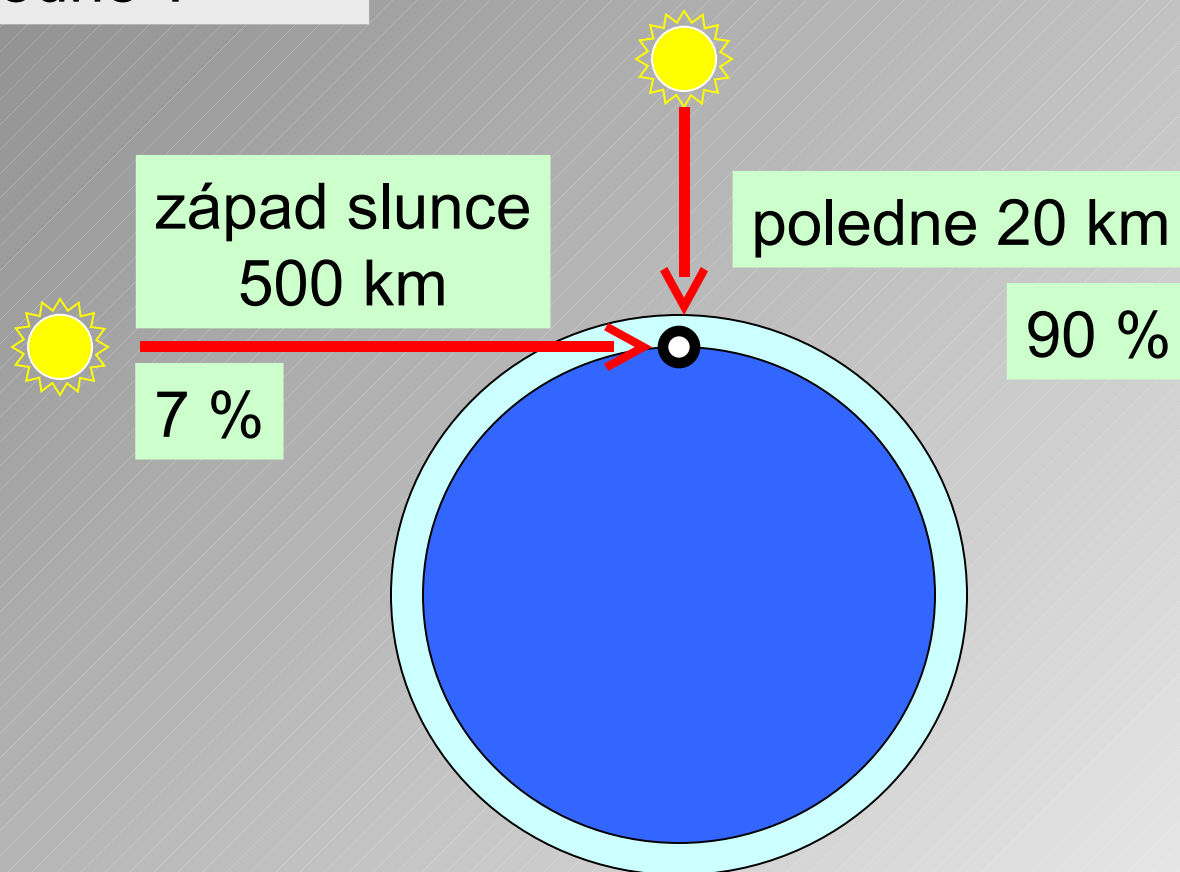
$$I_{\lambda} \sim \frac{1}{\lambda^4}$$

obloha je modrá
a
slunce červené

Projde 5x méně modrého
než červeného světla
a
rozptýlí se 5x více modrého
než červeného světla.



A proč není slunce rudé
i v poledne ?



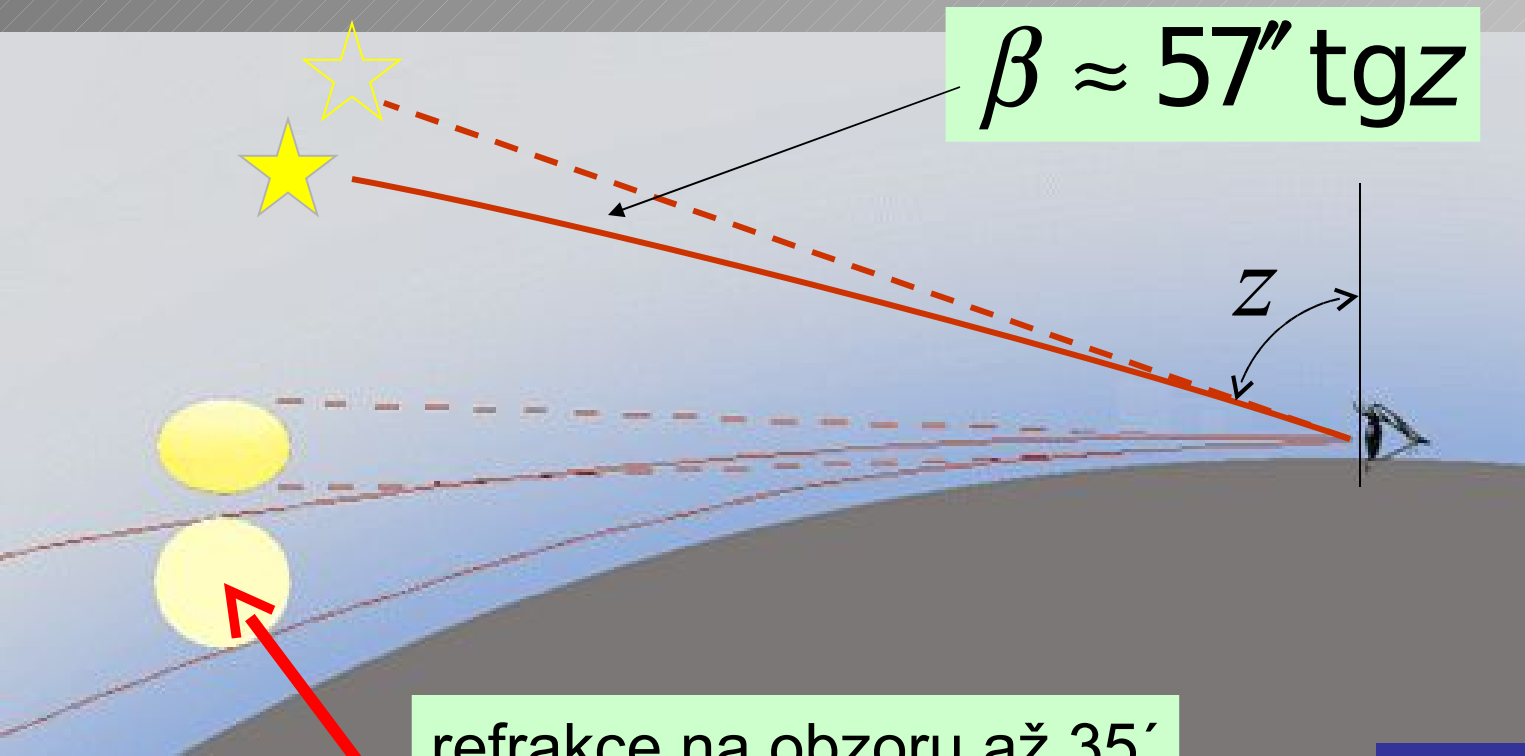
1871 Rayleigh předpokládá rozptyl
na kapkách vody nebo prachových zrnech.

Ale jak to, že

**čím čistší vzduch,
tím je obloha modřejší?!**

Ve skutečnosti jde o rozptyl
na termálních fluktuacích hustoty vzduchu.
Modrá obloha je důkazem molekulární hypotézy!
1905-1908 Einstein & Smoluchowski

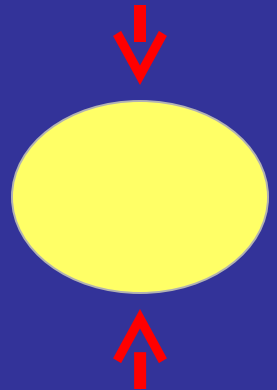
Atmosférická refrakce



refrakce na obzoru až $35'$

slunce již pod obzorem!

**deformace slunce
 $32' \times 26'$**



Západ Měsíce z kosmu

Moonset from the ISS. On 16th April 03 Don Pettit, the ISS science officer, imaged the full moon as it set behind the Earth's limb. In this montage the relative positions of the moon are computed from the image times and the ISS orbital period.

na zemi o 1/5

z kosmu o 1/2

Land/sea horizon

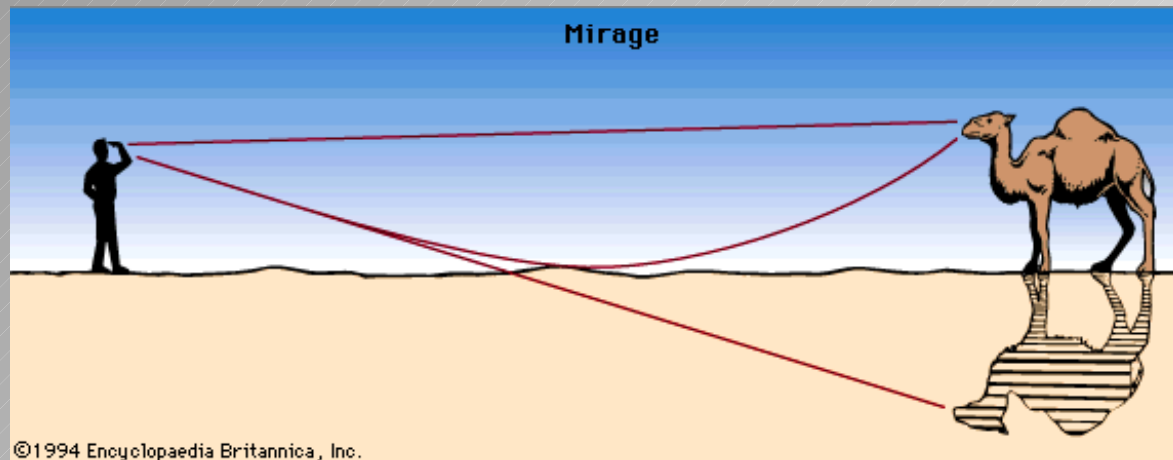
As the ISS spun, the moon's light dipped ever deeper into the earth's atmosphere before leaving again. The path length is double that the setting moon seen from earth's surface and the distortion by differential atmospheric refraction is correspondingly greater.

At first the lower limb is distorted most as the atmospheric lens pushes the lower limb upwards to create an egg shape (close-up). Finally the whole moon becomes an impossibly flattened oval. In the

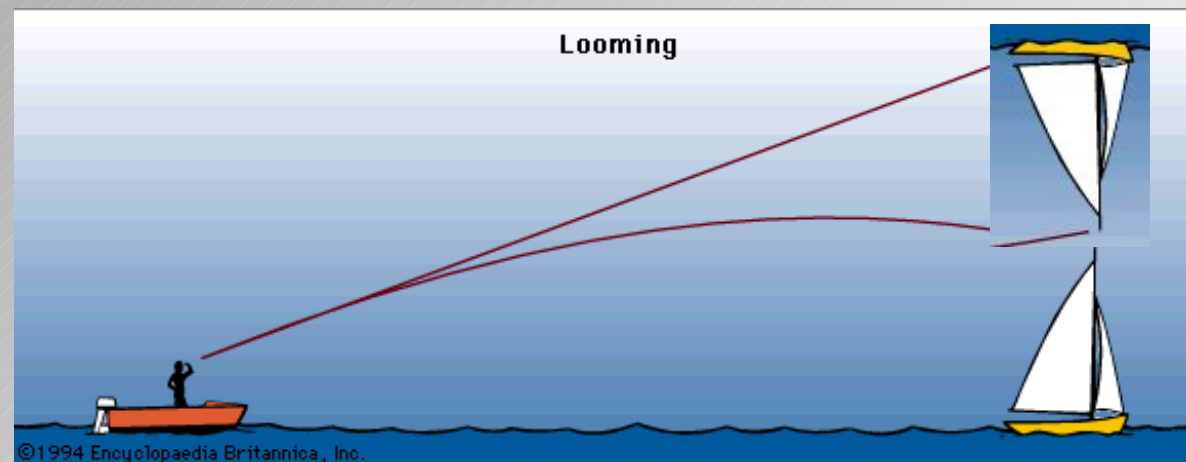
Vzdušné zrcadlení:

odraz světla od vrstvy teplejšího vzduchu

Spodní zrcadlení:



Svrchní zrcadlení:
známé také jako
Fata Morgána:
víla, nevlastní sestra
krále Artuše ovládající
vzdušné přeludy zjevující se
v Messinské úžině na Sicílii





spodní zrcadlení



spodní zrcadlení



neexistující ostrovy
&
vzdušné zámky



Copak je to za zvířata?

svrchní zrcadlení



svrchní zrcadlení

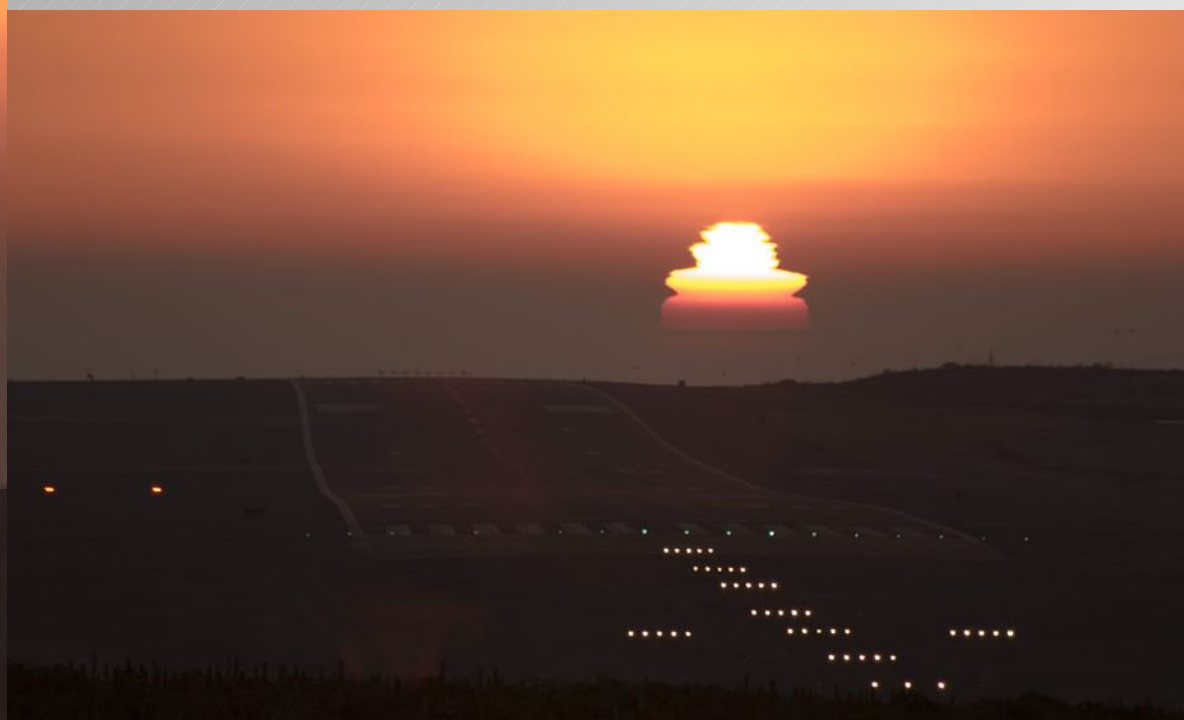




váza
číše
omega



káva se šlehačkou

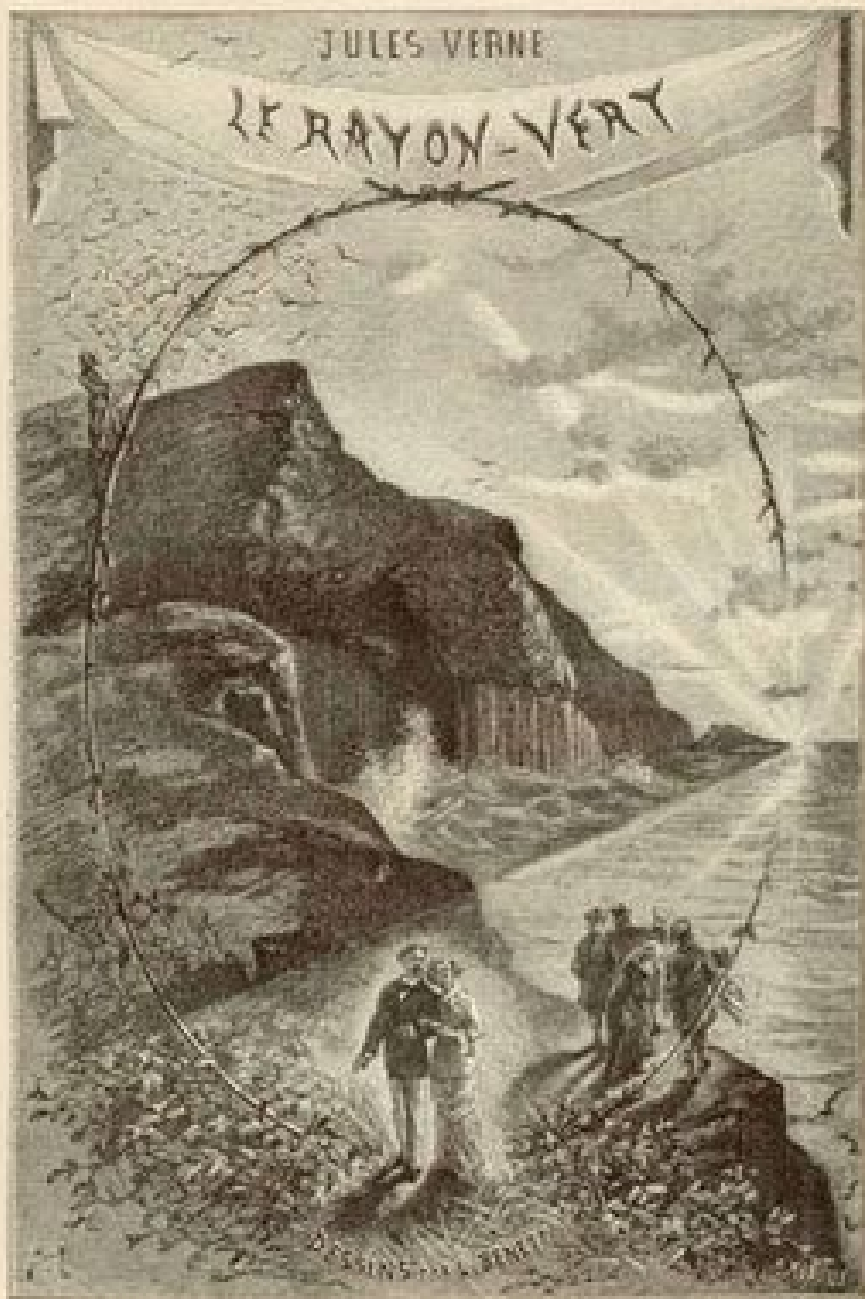


Dvojitý a trojitý západ slunce



Zelený paprsek





Zelený paprsek

proslavil 1882 Jules Verne

*

Hrdinka se odmítá provdat za muže,
kterého jí vybrali strýcové do té doby,
než s ním společně spatří zelený paprsek,
který je podle pověstí znamením věrné lásky.

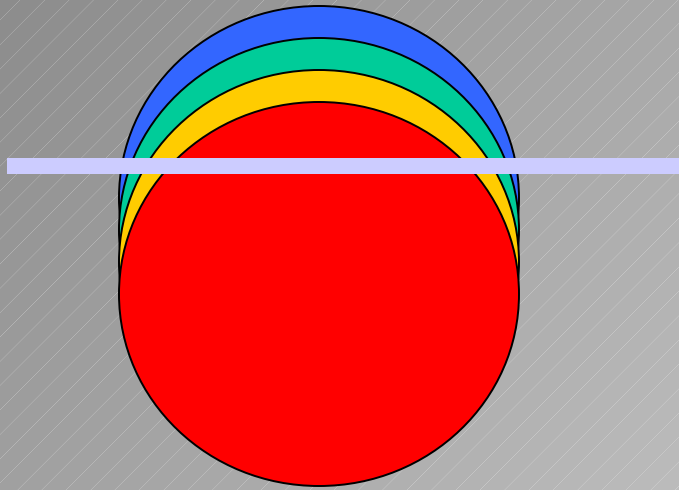
*

Záře nevšedně nádherná a
se žádnou zelení vyskytující se
na zemi srovnatělá.

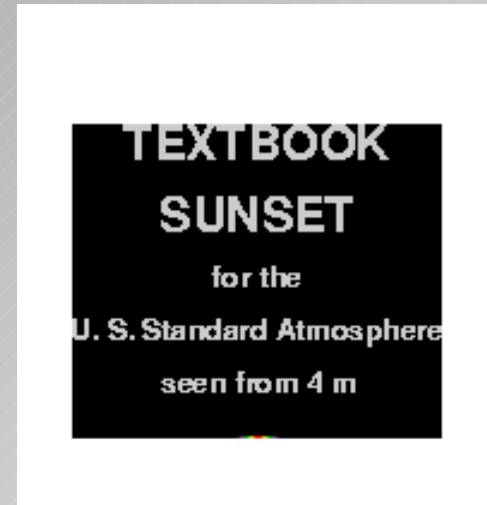
Zelený záblesk
objasnil 1955 Gerhard Dietze



zelený záblesk
podle učebnic



západ slunce
standardní atmosféra



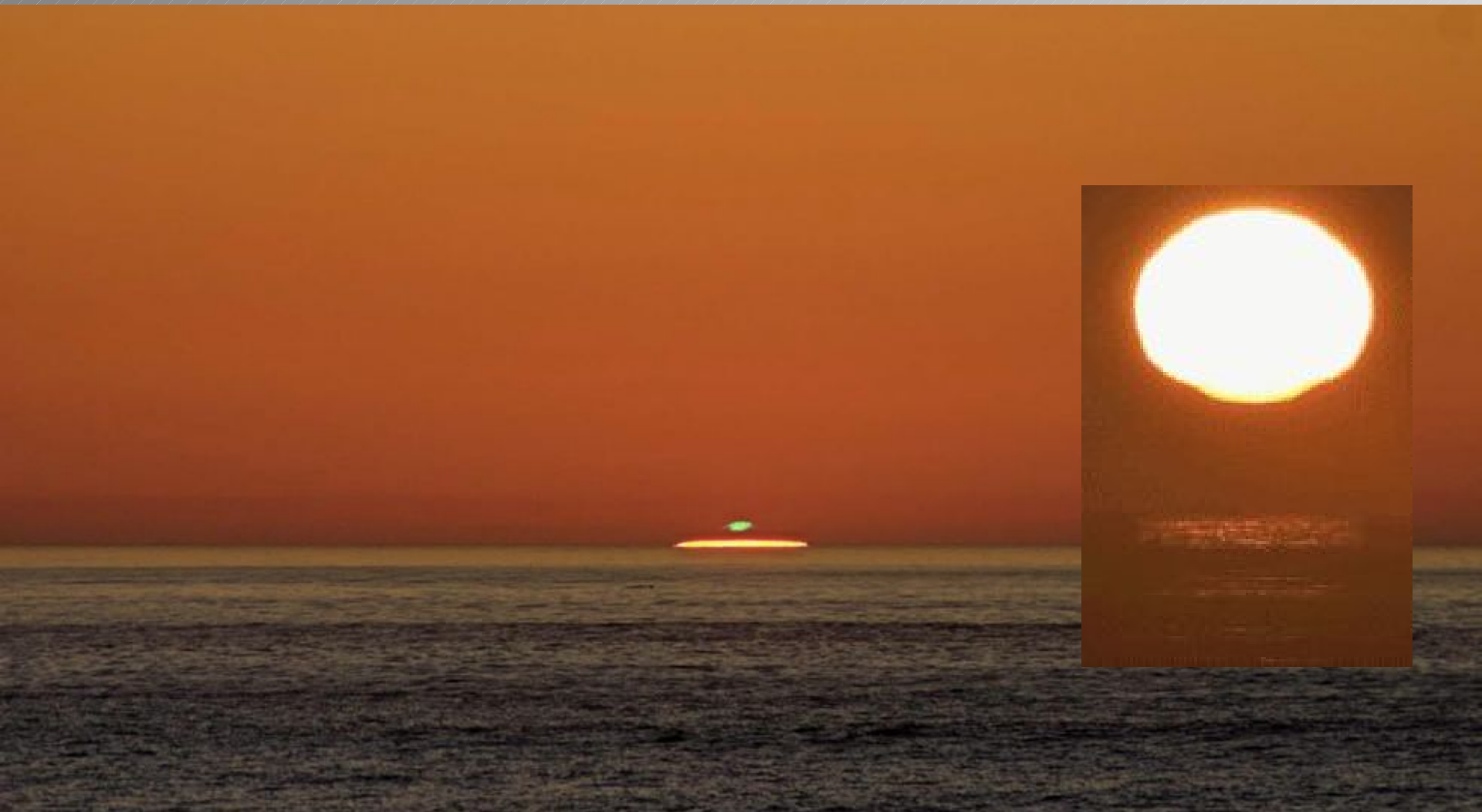
západ slunce
se spodním zrcadlením

INFERIOR-MIRAGE
SUNSET
for
 $L = -10 \text{ m}$
seen from 4 m



Obě animace: Andrew T. Young

Zelený záblesk na pobřeží Oregonu
foto: George Howard 2005



Děkuji za pozornost !

Literatura:

<http://www.atoptics.co.uk/>

<http://ukazy.astro.cz/halo.php>

<http://halo.kvalitne.cz/>

http://www.sysifos.cz/files/Bednar_opticke_jevy.pdf

Bednář, J.: Pozoruhodné jevy v atmosféře. Academia, Praha 1989