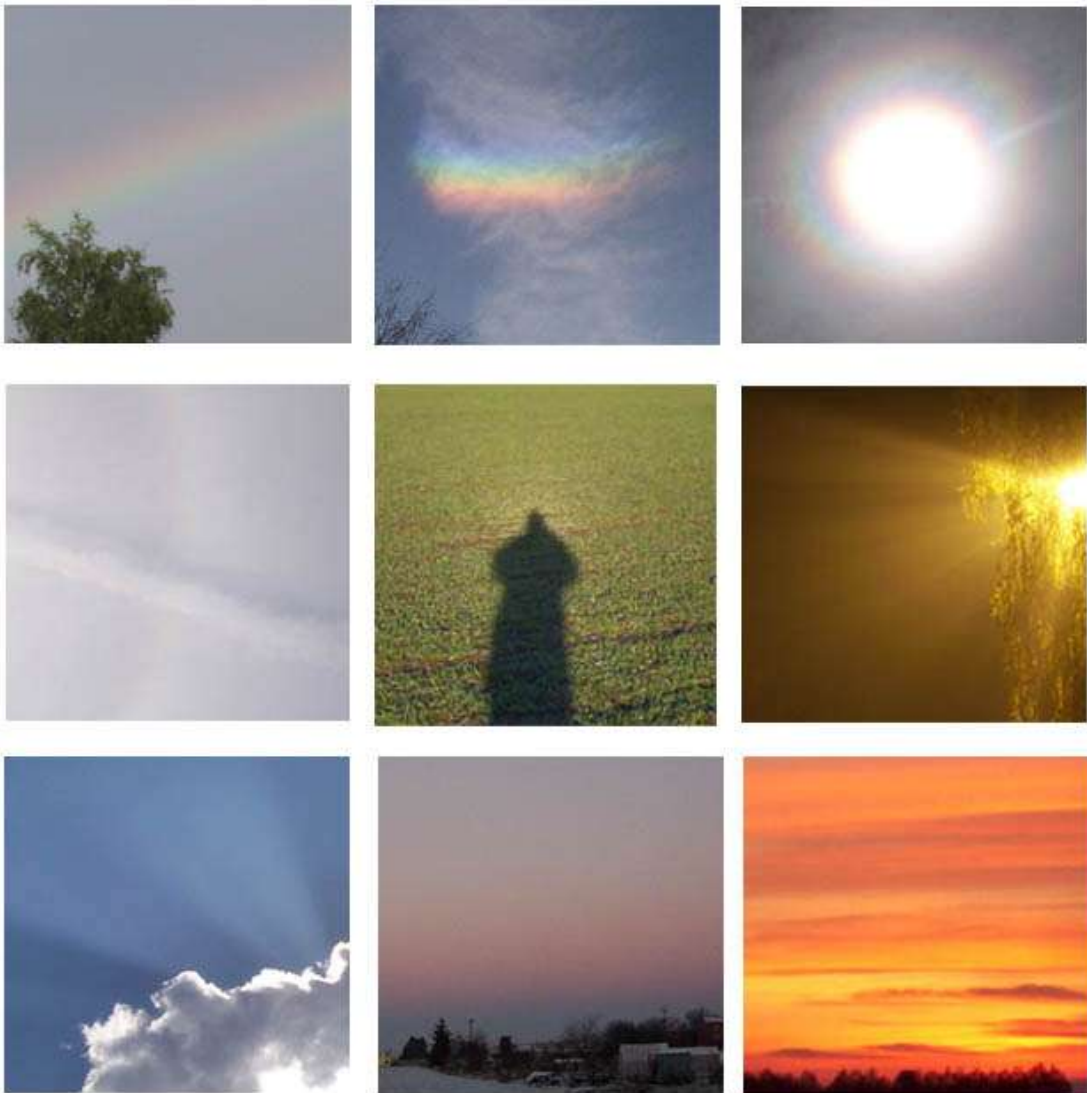


Patrik Trnčák

# Optické jevy



Projekt HOP 2006

Obloha mě fascinuje už nějaký ten rok. Když jsem začínal s astronomií, všiml jsem si i ostatních jevů jako blesky, koróny u Měsíce, hala, irizace a podobně, ale nijak zvlášť jsem jim nevěnoval pozornost. Byli pro mě jen pomůckou při určování počasí abych věděl, zda má cenu tahat těžký dalekohled k lesu nebo to raději zabalit a vrátit se.

Později jsem si ale uvědomil, že i meteorologické jevy jsou nádherné a že přes den si mohu čekání na hvězdy a planety ulehčit pozorováním denní oblohy. Jednoho dne jsem viděl halo u Slunce a tak jsem se o ně začal zajímat. Halo patří do jedné z kategorií optických, atmosférických jevů – Halové jevy. Po nějaké době jsem napsal i práci na toto téma, ale teď mi přišlo, že ostatní jevy jsou tak trochu v zapomnění a bylo by škoda o nich něco neseptat.

Proto zde předkládám toto skromné dílko, kde naleznete alespoň takový přehled všech optických jevů, které lze v přírodě pozorovat. Pokusil jsem se je zařadit do kategorií, aby v tom vznikl trochu pořádek. Všechny informace jsem většinou čerpal z internetu nebo odborných knih (viz. Seznam literatury), výjimečně jsou z mého vlastního pozorování. Moji hlavní vášní jsou totiž jevy halové. Nicméně i tak by měla tato práce přinést malou osvětu do problému ostatních jevů a snažil jsem se každý z jevů najít na fotografii buď od nás, od pozorovatelů nebo z internetu. České snímky jsou přímo v díle, na zahraniční odkazuje internetový odkaz.

Doufám, že se vám bude můj přehled optických jevů líbit alespoň tak jako Halové jevy. Pro všechny dotazy použijte prosím kontaktní údaje na konci publikace.

*Patrik Trnčák*

Optické jevy můžeme rozdělit do několika kategorií:

### 1. Duhy

- primární, sekundární a dalších řádů, reflexní, zdvojené a další
- mlhové, měsíční na vodopádech atd.

### 2. Ohybové jevy

- koróny
- koróny na pylech
- Bishopův prsten
- irizující oblaka
- glorie
- Brockenský přízrak

### 3. Halové jevy

- malé halo, parhelia, dotykové oblouky, cirkumzenitální oblouk a další
- tyto jevy jsem zahrnul do samostatné práce Halové jevy

### 4. Soumrakové jevy

- Venušin pás
- temný soumrakový oblouk
- jasný soumrakový oblouk
- fialová záře
- krepuskulární paprsky
- antikrepuskulární paprsky
- červánky, lávová oblaka
- zelený záblesk a zbarvení slunečního kotouče
- noční svítící oblaka
- perleťová oblaka

### 5. Světelné jevy

- blesky
- polární záře
- protonový oblouk

### 6. Paprsky a stíny

- heiligenschein, opoziční efekt
- Tyndallův jev
- oblačné stíny
- stíny na stopě od letadla
- stíny hory a zemské stíny
- paprsky v mlze

### 7. Zrcadlení v atmosféře

- svrchní zrcadlení
- spodní zrcadlení
- zrcadlení a deformace slunečního disku

## 1. Duhy

Duha vzniká lomem a odrazem na dešťových kapkách. Čím jsou kapky větší respektive stejnoměrné, tím je duha jasnější a barevnější a může se objevit i duha vedlejší popřípadě se ukáží i podružné duhové oblouky (supernumerary bows), které mohou být jak na hlavním tak i vzácně na vedlejším duhovém oblouku. Myslím, že opisovat zde podrobný vznik duhy by bylo nošením dříví do lesa, velmi hezky je to popsáno zde: <http://ukazy.astro.cz/duha.php> kde je vznik duhy doprovázen i obrázky. Zde chci spíše popsat vizuální prvky duhy.

### 1.1. Hlavní a vedlejší duha

Hlavní duha má poloměr přibližně  $42^\circ$  a vedlejší duha asi  $51^\circ$ . Slunce musí být níže než  $42^\circ$  aby duha vůbec vznikla. Pokud je Slunce v této mezní hranici, duha je vidět pouze těsně na obzoru, což je patrnější například u moře, kdežto je li Slunce blízko horizontu, duhu vidíme jako půlkruh. Duhu pod obzorem lze vidět z letadla nebo z vysoké hory, kdy může mít podobu téměř celého kruhu.



Obr. 1. Hlavní a vedlejší duha (foto: Patrik Trnčák)

### 1.2. Duhy vyšších řádů, terciální a další duhy

Třetí a čtvrtá duha ještě nikdy nebyly vyfotografovány, přičemž je zatím známé asi jen jediné pozorování terciální duhy, které uskutečnil D. E. Pegley v Nairobi v roce 1986. Třetí i čtvrtou duhu by bylo možné vidět okolo Slunce ve vzdálenosti přibližně  $42,5^\circ$ . O těchto duhách spolu s popisem pozorování v Nairobi je možné se dočíst zde: <http://www.sundog.clara.co.uk/rainbows/ord34.htm>

Pátá a šestá duha je již spíše teoretická, protože aby vznikla, bylo by potřeba extrémních podmínek a byly by vidět všechny duhy (hlavní, vedlejší, třetí a čtvrtá). Pátá i šestá duha by se nacházely opět naproti Slunce a doplňovali by tak obě hlavní duhy. Více o těchto vzácných duhách spolu se simulacemi je zde: <http://www.sundog.clara.co.uk/rainbows/ord56.htm>

### 1.3. Podružné oblouky hlavní nebo vedlejší duhy

Jsou to oblouky, které se objevují pod hlavním obloukem duhy. Může se objevit jen jeden nebo i třeba 5 podružných oblouků, a také se tyto oblouky mohou ukázat jen v určité části duhy.



Podružné oblouky tedy můžeme vidět u velmi jasné duhy, popřípadě u jejího zjasnění, například blízko obzoru, kde duha „začíná“ lze vidět často jasnější barvy a tedy i podružné oblouky. U primární duhy jsou supernumerary bows poměrně časté, ale u sekundární duhy už vzácné, neboť by musela být velmi jasná, aby podružné oblouky byly patrné.

Obr. 2. Podružné oblouky u hlavní duhy (foto: Jan Kondziolka)

Snímek podružných oblouků u vedlejší duhy naleznete zde:

<http://www.sundog.clara.co.uk/rainbows/supsecs.htm>

### 1.4. Zdvojené duhy

Zdvojenou duhu pozorujeme většinou primární (nevím zda je to možné u sekundární, ale asi ano, jen je potřeba její velká jasnost). Podle zahraničních pozorování můžu říci, že není ani potřeba aby byla duha (primární) nějak moc jasná a přitom je vidět ona zdvojená duha. Každopádně jde o vzácný jev a může být někdy zaměněn s podružnými oblouky. Můžete porovnat sami: <http://epod.usra.edu/archive/images/triple-rainbow.jpg>

### 1.5. Reflexní duhy

Jsou mé nejoblíbenější duhy, protože můžeme pozorovat až čtyři duhy najednou! Prakticky hlavní a vedlejší duhy mají své odrazy na vodních kapičkách a působí tak dojmem čtyř duh. A jako vždy platí i zde, že čím je duha jasnější, tím jsou zřetelnější i reflexní oblouky. Tato duha je sice vzácná, ale pokud žijete v blízkosti vodní plochy (jezero apod.) mohli byste ji sem tam uvidět. Neznám zatím případ kompletních reflexních oblouků, ale mě by stačili i ty „klasické“. Protože je to opravdu nádhera, uvádím zde více odkazů. Čtyři duhy najednou: <http://www.spacew.com/gallery/image000106.jpg> . Několik nádherných fotografií: [http://www.meteoros.de/spiegel/sp\\_b.htm](http://www.meteoros.de/spiegel/sp_b.htm) .

### 1.6. Duha na kapičkách rosy

Jak již název napovídá, lze ji zahlédnout brzy po ránu. Může mít více podob, málokdy je však jasná. Pokud stojíme na kopci nebo alespoň na vyvýšeném místě, lze vidět celý (větší část) oblouk. Někdy může mít narůžovělou barvu, ale většinou působí bezbarvě a sotva ji uvidíme. Velmi často je doprovázena opozičním efektem, který působí jako odrazka a vidíme jej jako bělavé místo kolem našeho stínu. Jako dewbow se také označuje duhové zbarvení na pavučinách (někdy zvané spider net bow). Na tomto snímku lze vidět duhu napravo od pozorovatele: <http://www.meteoros.de/tau/tau05.jpg> a uprostřed je právě onen opoziční efekt. I na tomto snímku ji lze vidět vpravo jako slabě duhový oblouček:

<http://www.kolumbus.fi/jukka.ruoskanen/Valoilmiot/slides/Rainbow.jpg> Všimněte si také extrémně jasného heiligenschein efektu okolo stínu pozorovatele.

### 1.7. Červená duha

je klasická duha, jen je více červená (červená barva převládá) a vypadá to, jakoby byla jen z odstínů červené. Ostatní barvy jsou slabě zastoupeny. Tato duha vzniká při západu nebo



východu Slunce a jednou jsem mohl pozorovat, jak se s klasicky barevné duhy stává červená (redbow), když duha trvala delší dobu a Slunce zapadalo.

Obr. 3. Červená duha pozorovaná při západu Slunce (foto: Patrik Trnčák)

### 1.8. Mlhová duha

Vzniká na malých kapičkách v mlze a proto má většinou slabé barvy, kde převažuje slabě červená a modrá. Vesměs je tato duha známá jako bílá duha. Nejčastěji vzniká na horách nebo



ji můžeme vidět v údolí při východu Slunce. Fogbow má větší šířku oblouku a znám pouze několik případů, kdy byla vidět i sekundární duha. Každopádně lze na hlavní duze pozorovat i podružné oblouky.

Obr. 4. Mlhová duha vzniklá na kapičkách odcházející mlhy. (Foto: Patrik Trnčák).

### 1.9. Mlhová duha při umělém osvětlení

Například reflektory automobilu. Je to vlastně mlhová duha, jen je možná jasnější, protože vzniká blíže k pozorovateli a může mít i více podružných oblouků. Pokud je někde v údolí mlha, můžete zajet na kopec a zkusit své štěstí, jako například na těchto fotografiích:

<http://www.sundog.clara.co.uk/droplets/fogcar.htm> nebo zde:

<http://www.kolumbus.fi/jukka.ruoskanen/Valoilmiot/slides/Fogbow%202.jpg> .

### **1.10. Duha na kapičkách vody na oblacích**

Neboli „cloud bow“ vypadá jako klasická mlhová duha, může být viditelná jak ze země tak z letadla. Určitě patří k vzácnější podívané, hlavně z letadla, kde vidíme spíše klasickou duhu. <http://www.sundog.clara.co.uk/rainbows/images1/7574m67.jpg>.

### **1.11. Duha na fontáně, vodopádu, vodotrysku aj.**

Je obyčejná duha, jen vznikne na umělých zdrojích vody (vodní tříště). Ke spraybow patří také duha, kterou si můžete sami vytvořit v létě na zahradě pomocí hadice s vodou. Jak duha vzniká na kapičkách vody, můžeme krásně vidět zde: [http://www.romanviridi.com/brasil/2\\_10301.jpg](http://www.romanviridi.com/brasil/2_10301.jpg) . Část duhy na vodní tříšti je například zde: [http://natsci.capecod.edu/Tours/DSCN0253\\_600.jpg](http://natsci.capecod.edu/Tours/DSCN0253_600.jpg) .

### **1.12. Duha společně s antikrepuskulárními paprsky**

Poměrně vzácné jsou právě antikrepuskulární paprsky, kdy vidíme na opačné straně než je Slunce sluneční paprsky a ještě k tomu je doplňuje duha (při odcházející přeháňce). Krásně to lze vidět například zde: <http://www.sundog.clara.co.uk/rainbows/images1/storm1a.JPG> popřípadě na tomto obrázku: <http://freepages.family.rootsweb.com/~maureenbryson/1948aa80.jpg> .

### **1.13. Alexandrův tmavý pás**

Pokud je duha opravdu jasná a lze vidět i sekundární, můžeme si všimnout, že je mezi nimi tmavší oblouk. Více o tomto efektu si můžete přečíst například zde: <http://www.sundog.clara.co.uk/rainbows/adbnd.htm> .

### **1.14. Duhy u Měsíce**

Jsou většinou slabší a velmi vzácné. Dlouho se věřilo, že duha u Měsíce není vůbec možná. Je třeba si uvědomit, že musí nastat několik podmínek pro tuto duhu. Tak především musí být Měsíc co nejbližší k úplňku, aby byl nejjasnější. Pak musí také přeháňky mít kvalitní kapky a konečně musí oblak s přeháňkou odcházet směrem na který svítí Měsíc. Kromě primární jsou známé pozorování i sekundární a mlhové duhy. Příklad měsíční mlhové duhy: <http://www.sundog.clara.co.uk/droplets/images1/me87d.jpg> .

### **1.15. Duhy vykazující různé anomálie**

Tyto duhy patří k nejzáhadnějším a nejvzácnějším vůbec. Jsou podobné duhám reflexním, ale vypadají poněkud jinak. Jejich vznik (pokud je vůbec znám) je také podobný reflexní duze ovšem může se trochu odlišovat. Takové duhy nejsnáze pozorujeme v okolí vodopádů, jezer a moří. Velmi zřídka vznikne anomální duha také za běžné dešťové přeháňky. Krásný příklad je na snímku zde: [http://www.ursa.fi/sirius/sivut/upkuvat/IMG\\_1604c.jpg](http://www.ursa.fi/sirius/sivut/upkuvat/IMG_1604c.jpg) Všimněte si podivného oblouku nad sekundární duhou.

### **1.16. Duhy u blesků**

Dokonce i blesky mohou vytvořit duhu. Jednu takovou podivnou můžete vidět zde: [http://www.nealras.com/pics/misc/200306xx\\_LightningBow\\_2\\_C.jpg](http://www.nealras.com/pics/misc/200306xx_LightningBow_2_C.jpg)

## 2. Ohybové jevy

Do této kategorie patří jevy vznikající na vodních kapičkách v oblacích, mlze, kouřmu či na pevných částicích poletující v atmosféře. Jsou to koróny, glórie, irizace oblaků, Bishopův prsten a další. Zde je jejich přehled.

### 2.1. Koróna

Koróna vzniká ohybem světla na drobných kapičkách vody, které jsou obsaženy v oblacích, mlze či kouřmu. Při ohybovém jevu se tvoří kolem zdroje světla soustavy prstenců barev spektra, jejichž poloměr závisí na velikosti kapiček a vlnové délce světla (červené paprsky mají delší vlnovou délku než modré paprsky - proto se maxima jednotlivých barev zobrazují v



různých poloměrech kolem světelného zdroje). Pokud jsou kapičky mezi jimiž světlo prochází nestejně veliké, pak se ohybový jev slévá jen ve slabě zbarvený či bělavý kruh světla, v němž se světlo Měsíce nebo jiného zdroje rozpíjí. Vysvětlení tohoto jevu na základě ohybu světla podal v roce 1852 francouzský fyzik Emile Verdet (1824-1866).

Obr. 5. Koróna u Slunce, které zakrývají listy stromu (foto: Patrik Trnčák).

### 2.2. Pylové koróny

Ohyb světla způsobující vznik koróny mohou vyvolat také drobné pevné částice vznášející se v ovzduší; například pyl. V jarním období unáší vítr celé oblaky malých pylových zrněk a při jejich vysoké koncentraci můžeme vzácně pozorovat pylové koróny kolem jasných světelných zdrojů; tedy nejčastěji kolem Slunce a Měsíce. Sled barev je v takové koróně stejný jako u koróny vznikající na vodních kapkách, avšak vzhled nemusí vždy nabývat podoby zcela pravidelných prstenců. Ten totiž také závisí na tvaru a orientaci pylových zrněk. Častým zdrojem pylových korón bývá pyl borovic a dalších dřevin. Snímek této koróny s polu s dalšími odkazy je zde: <http://www.meteoros.de/pollen/pollene.htm>

### 2.3. Bishopův prsten

je zvláštní a ojedinělým optickým jevem. Lze jej pozorovat za jasné oblohy jako červenohnědý prsteneček kolem Slunce, jehož vnitřní okraj má rozměry kolem  $10^\circ$  a vnější kolem  $20^\circ$ . Při snižování výšky Slunce nad obzorem se oba poloměry zvětšují. Vzniká ohybem světla na pevných částicích, obvykle vulkanického původu. Úkaz je nazván podle Sereno Edwardsa Bishopa (1827 až 1909), který jej poprvé pozoroval a popsal 5. září 1883 v



Honolulu po výbuchu sopky Krakatoa. Někaké snímky jsou například zde: <http://www.sundog.clara.co.uk/droplets/images1/bring4.jpg> a také zde (více snímků): <http://www.meteoros.de/bishop/bis03.htm>

## 2.4. Glorie a Brockenský přízrak

Tento jev je svojí podstatou blízký již zmíněné koróně. Vzniká však zpětným ohybem světelných paprsků a projevuje se jako slabé soustředné barevné prstence kolem stínů vržených do vrstvy oblačnosti či mlhy, případně se dá pozorovat i na zemi kolem stínu vrženého do kapek ranní rosy. Gloriolu lze zahlédnout například z letadla kolem jeho stínu



promítnutého do oblačné vrstvy, nebo v horách, kde je možné vidět i vlastní stín na níže ležící oblačnosti ověšený přízračnou gloriolou. Tento úkaz je též znám pod názvem Brockenský přízrak, podle hory Brocken nacházející se v pohoří Harz v Německu, kde byl často popisován. Zmíněný optický jev také zaznamenal francouzský astronom a meteorolog Camille Flammarion (1842-1925) při jednom ze svých letů balónem.

Obr. 6. Glorie okolo stínu letadla (foto: Tomáš Cihelka)



Obr. 7. Brockenský přízrak okolo stínu pozorovatele (foto: Jaroslava Fuksová).

## 2.5. Irizující oblaka

Na okrajích tenčích oblaků plujících nedaleko od oslnivého slunečního kotouče je občas možné pozorovat jejich irizaci - výrazné perleťové zbarvení, v němž převládají červenavé a zelenavé odstíny. Tento jev vzniká ohybem a interferencí světla při průchodu slunečních paprsků kapičkami oblačné vrstvy. Irizace často kopíruje po obvodu tenký oblak nebo má nepravidelný tvar a nabývá tak vzhled části nesymetrické či zdeformované koróny.



Obr. 8. Irizace (foto: Martin Popek)

### 3. Halové jevy

Protože jsem napsal na téma halových jevů samostatnou publikaci, uvedu zde jen přehled nejčastěji se vyskytujících halových jevů. Tyto jevy vznikají lomem či odrazem paprsku na ledových krystalcích většinou tvaru destičky nebo sloupku. Podrobnější informace naleznete právě v mé práci Halové jevy, kterou lze stáhnout zde: <http://ukazy.astro.cz/gal/halpt1.zip>

#### 3.1. Malé halo

Malé halo je bezesporu nejčastějším halovým jevem. Jde o kruhový prstenec, jehož pomyslný střed se nachází ve Slunci nebo Měsíci, a jehož vnitřní okraj je ve vzdálenosti asi  $22^\circ$  (přesná hodnota je o něco nižší než  $22^\circ$ ). Halo vzniká dvojnásobným lomem světla na náhodně orientovaných krystalcích tvaru destiček nebo sloupků. Někdy je bezbarvé s náznakem



ztmavnutí nebo zčervenání vnitřního okraje, ale někdy bývá duhové s červeným vnitřním okrajem. Vnitřní okraj je nejostřejší a nejjasnější, se zvětšující se vzdáleností od Slunce halo slábne a postupně přechází do okolí. S měnící se výškou Slunce nad obzorem se průměr hala nemění.

Obr. 9. Malé halo na oblacích cirrostratus (foto: Roman Maňák).

#### 3.2. Parhelia, vedlejší slunce

Parhelia jsou po malém halu nejčastějším halovým jevem. Jde o dvě skvrny, které se nacházejí vpravo a vlevo od Slunce. Někdy mohou být téměř bílá, ale většinou mají duhové barvy, z nichž nejvýraznější bývá červená na vnitřní straně. Jejich vzdálenost od Slunce kolísá. Jestliže je Slunce těsně nad obzorem, nacházejí se parhelia na malém halu a ve stejné výšce jako



Slunce. S tím, jak výška Slunce nad obzorem stoupá, posouvají se parhelia do větší vzdálenosti a zároveň do větší výšky nad obzorem než Slunce. Současně s tím dochází také k poklesu jejich jasnosti. Tato parhelia vznikají dvojnásobným lomem na krystalcích tvaru destiček, jejichž základna je orientována přibližně horizontálně.

Obr. 10. Parhelium (foto: Patrik Trnčák).

### 3.3. Halový sloup

Halový sloup patří mezi nejčastější halové jevy. Má tvar vertikálně orientovaného světelného sloupu, který vybíhá ze Slunce (respektive Měsíce, vzácně též jasných planet). Rozeznáváme u něj dvě odrůdy a to horní a dolní část, přičemž horní část je mnohem častější. Vzniká odrazem světla na destičkovitých krystalech, jejichž základna je orientována přibližně vodorovně. Rovněž může vznikat odrazem světla na sloupcích s jednou vodorovně



orientovanou stěnou (Parryho orientace), eventuálně dvojitým lomem s odrazem na destičkách, ale tyto dvě možnosti přispívají ke vzniku sloupu mnohem méně než první uvedený způsob. Právě díky tomu, že halový sloup vzniká nejčastěji jednoduchým odrazem, nemá duhové barvy a bývá zbarven pouze podle barvy slunečního světla.

Obr. 11. halový sloup (foto: Vladimír Odvářka).

### 3.4. Cirkumzenitální oblouk

Cirkumzenitální oblouk je duhově zbarvený oblouček, který jakoby opisoval zenit. Může vypadat jako tenký a nejasný oblouk, nebo jako široký a sytě barevný půlkruh, přičemž nikdy



nebude jako kompletní kruh kolem zenitu. Vzniká na hexagonálních hranolcích, destičkách, jenž mají horizontální základnu. Cirkumzenitální oblouk uvidíme nejlépe když je slunce blízko obzoru.

Obr. 12. cirkumzenitální oblouk vzniklý na kondenzačním pruhu od letadla (foto: Patrik Trnčák).

### 3.5. Dotykové oblouky malého hala

Neboli  $22^\circ$  dotykové oblouky patří mezi časté jevy. Jde o dva oblouky, které se dotýkají horní a dolní části  $22^\circ$  hala. Vznikají na sloupkovitých krystalcích s horizontálně orientovanou hlavní osou. Díky tomu, že při jejich vzniku dochází k lomu a rozkladu světla uvnitř krystalku, můžeme u nich pozorovat spektrální barvy, přičemž červená barva se nachází blíže Slunci. Často ale bývají bělavé. S tím, jak roste výška Slunce nad obzorem, dochází k výrazné změně tvaru oblouků, a to tak, že při rostoucí výšce Slunce dochází k rozevírání oblouků až se při výšce Slunce kolem  $35^\circ$  mohou spojit v tzv. circumscribed halo. Častěji bývá pozorovaný

horní dotykový oblouk, který se nachází mnohem výše nad obzorem než dolní dotykový oblouk.



Obr. 13. Horní dotykový oblouk na malém halu. Roh domu zakrývá Slunce. (Foto: Patrik Trnčák).



Obr. 14. Dolní dotykový oblouk na malém halu (foto: Martin Popek).

### 3.6. Ostatní halové jevy

Halových jevů známe asi 200 odrůd. Zde je nechci všechny jmenovat, protože z větší části to jsou jevy velmi vzácné a nebo teoretické. Pokud jde o další jevy, které ještě můžeme pozorovat několik dní v roce, tak to je parhelický kruh, který ale uvidíme pouze v částech, nejčastěji pak jak vyběhá od parhelií směrem od Slunce a nebo také pár krát do roka spatříme Parryho oblouk nacházející se nad horním dotykovým obloukem (je patrný také na snímku číslo 13). Další jevy jsou opravdu už vzácné a věnuji se jim v mojí práci (odkaz ke stažení je v úvodu této kapitoly).

## 4. Soumrakové jevy

Když Slunce zapadá nebo vychází, můžeme pozorovat skupinu jevů, které bychom snad mohli rozdělit na soumrakové a posoumrakové jevy. Určitě každý z vás již viděl zapadat nebo vycházet Slunce a pokaždé byl jeden z jevů přítomný, ať již červánky nebo takzvaný Venušin pás. Zde je přehled všech jevů.

### 4.1. Temný soumrakový oblouk a Venušin pás

Pozorujeme-li bezoblačnou oblohu od okamžiku západu Slunce až do úplného setmění, můžeme brzy po západu Slunce pozorovat nad východním obzorem tmavý oblouk, vroubený nahoře načervenalým okrajem. Uvnitř má oblouk namodralý tón a postupem času se zvedá nad obzor. Je to stín Země



promítnutý do naší atmosféry. Horní načervenalý lem kopírující tento oblouk pak nazýváme Venušíným pásem .

Obr. 15. Temný soumrakový oblouk a Venušin pás (foto: Patrik Trnčák).

### 4.2. Jasný soumrakový oblouk

S klesajícím Sluncem stoupá čím dál rychleji hranice stínu nad obzor, stín se stává méně zřetelným a při poloze Slunce asi  $5^\circ$  pod obzorem prakticky mizí. Zatímco východní obzor v tuto chvíli již zcela potemněl, nad západním se vyvíjí jasný soumrakový oblouk, který je nahoře neurčitě ohraničený žlutozeleněmodrou obrubou, která přechází ve ztemnělou oblohu. Tento jasný oblouk vzniká rozptýleným slunečním světlem na těch částech atmosféry, které leží nad hranicí postupujícího zemského stínu. Ohraničení oblouku proto odpovídá těm výškám, kde je již hustota vzduchu zanedbatelná, a proto zde již vzduch rozptyluje přímé sluneční světlo jen velmi málo. Výpočtem lze odvodit, že touto hranicí je výška cca 80 kilometrů. Snímek je zde: [http://www.astronomie.cz/data/050329\\_soumrakovy\\_oblouk.jpg](http://www.astronomie.cz/data/050329_soumrakovy_oblouk.jpg)

### 4.3. Fialová záře

Je záře pozorovaná na bezoblačné obloze ve tvaru výseče velkého světelného kruhu. Šíří se vzhůru od obzoru, za nímž se nalézá Slunce. Její intenzita i velikost se zvětšují až do polohy Slunce  $3^\circ$  až  $4^\circ$  pod obzorem a mizí při poloze Slunce  $6^\circ$  pod obzorem. Celý jev trvá asi 20 až 30 minut a jeho intenzita vzrůstá s průzračností vzduchu a s nadmořskou výškou místa pozorování. Snímek: <http://www.meteoros.de/purpur/pur5.htm>

#### 4.4. Krepuskulární a Antikrepuskulární paprsky

Krepuskulární (soumrakové) paprsky jsou nápadné většinou při východu nebo západu slunce, kdy se mezi slunce a pozorovatele dostane mrak. Nejlepší podmínky nastávají, pokud je hradba mraků tvořená Cumuly. Tyto paprsky je možné také pozorovat v létě, když se po obloze potulují jednotlivé Cumuly a sem tam se nějaký dostane před slunce a my můžeme vidět, jak paprsky směřují z nebe na zemi a osvětlují například určitou část pole apod. Antikrepuskulární paprsky jsou přesně na opačné straně oblohy kde je Slunce a zdánlivě se sbíhají do takzvaného antislunečního bodu. Tyto paprsky patří mezi vzácné, protože na každý den vzniknou. Úplnou vzácností pak jsou antikrepuskulární paprsky společně s duhou, což se anglicky nazývá Rainbows wheels.



Obr. 16. Krepuskulární paprsky (foto: Patrik Trnčák)



Obr. 17. Antikrepuskulární paprsky (foto: Patrik Trnčák)

#### 4.5. Červánky a Lávová oblaka

Červánky jsou asi nejznámější soumrakový jev a můžeme je vidět jak ráno tak večer. Mohou trvat jen minuty nebo i desítky minut, podle pozorování bych řekl, že déle trvající jsou večer po západu Slunce. Barvy se mohou vystřídat od světle fialové až po krvavě rudou, záleží na čistotě ovzduší, druhu oblaků apod. Z letadel popřípadě vysokých hor lze pak v čase západu Slunce občas pozorovat i tzv. lávová oblaka. Jedná se o vrstvu kupovitých oblaků s menšími mezerami (zejména druhu Stratocumulus nebo Altocumulus), které při osvětlení červeným slábnoucím slunečním světlem ve směru zespod vytvářejí scénérii podobnou tuhnoucí lávě. V principu se tedy jedná o červánky, které pozorujeme seshora. Snímek lávových oblaků je například zde: [http://www.astronomie.cz/data/050329\\_lavova\\_oblaka.jpg](http://www.astronomie.cz/data/050329_lavova_oblaka.jpg)



Obr. 18. Červánky při západu Slunce v Holešově (foto: Patrik Trnčák).

#### 4.6. Zabarvení Slunečního kotouče při západu nebo východu

Pokud máme výhodné místo na pozorování západu Slunce (ale i Měsíce), můžeme pozorovat jak zapadá a mění svoji barvu. Vše je ale ovlivněno i čistotou ovzduší a oblaky, aby nám nebránili ve výhledu. <http://www.astronomie.cz/data/050325Obr2.jpg>

#### 4.7. Zelený záblesk

Když Slunce zapadá, můžeme pozorovat těsně po jeho západu krátký záblesk, většinou zelené barvy. To je ale velmi jednoduše řečeno. Pro pozorování je podmínkou několik faktorů. Tak za prvé je důležité místo odkud pozorujeme. Nejvhodnější jsou mořské oblasti, čistý vzduch a zapadající Slunce do oceánu. Pokud vytrváme a máme alespoň menší triedr, můžeme zelený záblesk vidět.

Vznik zeleného záblesku způsobuje lom přímého slunečního světla v atmosféře. Světlo se skládá ze spektra barev, jímž odpovídají různé vlnové délky. Při průchodu atmosférou se různé barvy spektra rozptylují v částicích prachu různou měrou. To je příčinou proměnlivé barvy oblohy, od modré po červenou. Podobným způsobem dochází ke změně barvy Slunce, když zapadá. V důsledku lomu přímého slunečního světla v atmosféře vznikne vertikálně uspořádané spektrum barev. Tyto barvy se ztrácejí za obzorem jedna po druhé, počínaje červeným koncem spektra. Když zmizí žlutá, oranžová a červená, je na okamžik vidět zelená barva, která je ale viditelná jen na velmi krátkou dobu a někdy opravdu jako jen záblesk. Pokud je ovzduší extrémně čisté, následuje záblesk modrý a fialový.

Barvy záblesků. Jak již bylo řečeno, kromě zelené lze pozorovat i modrou nebo fialovou barvu záblesku. Pokud je zelený paprsek vzácný, tak modrý je velmi vzácný a fialový extrémně vzácný. Myslím, že fialový záblesk vidělo jen pár lidí na světě a možná jej odhalili až na fotografiích či videu. Lidské oko nemusí ani tak kratičký okamžik zaznamenat. K těmto třem barvám ještě můžeme přiřadit červený nebo žlutý záblesk, kdy se jedná prakticky o lom světla ve vrstvách a vypadá to, že nad (pod) Sluncem je ještě kousek Slunce. Určitě vás napadá otázka, zda může být zelený záblesk viditelný i u jiných zdrojů světla. Ano může, již

jsou známé pozorování u Měsíce, Venuše, Jupiteru či Saturnu, což je určitě extrémně mega vzácný jev.

#### **Záblesky u Slunce:**

Zelený - <http://www.sundog.clara.co.uk/atoptics/gfim3.htm>

Modrý - [http://antwarp.gsfc.nasa.gov/apod/image/0201/blueflash\\_cogo\\_big.jpg](http://antwarp.gsfc.nasa.gov/apod/image/0201/blueflash_cogo_big.jpg)

Fialový - [http://www.exo.net/~pauld/physics/atmospheric\\_optics/violet%20flash.jpg](http://www.exo.net/~pauld/physics/atmospheric_optics/violet%20flash.jpg)

Žlutý - <http://www.meteoros.de/form/form3a.jpg>

Červený - [http://www.weather-photography.com/Photos/Atmospheric\\_Optics/Refraction/Red\\_flash/w-380-23.jpg](http://www.weather-photography.com/Photos/Atmospheric_Optics/Refraction/Red_flash/w-380-23.jpg)

#### **Záblesky u Měsíce:**

Zelený - [http://www.photoastronomie.net/grand/0507200018\\_green\\_flash.jpg](http://www.photoastronomie.net/grand/0507200018_green_flash.jpg)

Žlutý - <http://www.polarimage.fi/moon2/ku02412b.jpg>

Červený - [http://www.meteoros.de/flash/fl\\_03.jpg](http://www.meteoros.de/flash/fl_03.jpg)

### **4.8. Noční svítící oblaka**

Noční svítící oblaky (noctilucent clouds NLC) představují zvláštní typ oblačnosti, která nemá s běžnou oblačností mnoho společného. Zatímco běžné oblaky se v našich zeměpisných šířkách vyskytují do 12 kilometrů nad povrchem, tj. v části atmosféry, které se říká troposféra, noční svítící oblaky se vyskytují mnohem výše - v horní části mezoféry ve výškách kolem 80 - 85 km. Poprvé byly pozorovány v roce 1885, tehdy se také rozběhl program jejich sledování a podařilo se je také poprvé vyfotografovat. Tyto oblaky jsou velmi tenké a nejspíše je tvoří drobné ledové částice, i když dříve byly považovány za shluky částic kosmického či vulkanického původu. Na denní obloze se tento typ oblaků pozorovat nedá. Vhodné podmínky k jejich spatření nastávají na soumravné obloze v období kolem letního slunovratu a pozorují se na severní i jižní polokouli ze zeměpisných šířek 50 - 65°. Na naší polokouli je lze pozorovat od poloviny května do poloviny srpna, avšak hlavní doba výskytu spadá na červen a červenec. NLC se objevují v době, kdy je sluneční kotouč asi 6 - 16° pod obzorem a to mezi severozápadním a severovýchodním obzorem. Bývají nejlépe pozorovatelné před a po místní půlnoci. Vzdálené vysoké vrstvy atmosféry jsou za těchto podmínek ještě osvětlovány Sluncem a právě tehdy lze tyto vzácné oblaky na pozadí soumravného nebe spatřit. Snímek: [http://ukazy.astro.cz/obr/nlc\\_uvod.jpg](http://ukazy.astro.cz/obr/nlc_uvod.jpg)

### **4.9. Perleťová oblaka**

Irizaci podléhá vzácný druh tenkých oblaků vyskytujících se ve velkých výškách kolem 20 - 30 km, tedy již ve stratosféře (Nacreous Clouds – Polar Stratospheric Cloud PSC). Tato vrstva atmosféry leží nad vrstvou, v níž se utváří počasí a kde běžné oblaky zasahují nejvýše do 10-12 km. Tyto zvláštní oblaky tvořené kapičkami podchlazené vody se díky výrazné irizaci nazývají perleťové oblaky. Jejich perleťový jas se projevuje nejvýrazněji jsou-li na soumravné obloze ještě osvětlovány paprsky již zapadlého Slunce. U nás však perleťové oblaky spatřit nemůžeme, patří ke vzácným úkazům pozorovaným nejčastěji poblíž hornatých oblastí Skandinávie při rychlém vzdušném proudění. Snímek: <http://www.sundog.clara.co.uk/highsky/nacr1.htm>



## 5. Světelné jevy

Tento název jsem si dovolil použít pro skupinu jevů, jakými jsou například blesky a polární záře. Tyto jevy nespádají až tak ke klasickým optickým jevům, proto jsou uvedeny zvlášť. Tím ale nechci říct, že nemají společný vznik v atmosféře.

### 5.1. Polární záře

Se vyskytují na obou polokoulích a nazývají se buď Aurora borealis (severní záře) nebo Aurora australis (jižní záře). Polární záře vzniká, když se elektrony emitované Sluncem setkají s molekulami plynů ve vysoké atmosféře Země, ve výškách 80 až 1000 km. Tyto elektrony narážejí rychlostí zhruba 1600 km/s na atmosférické molekuli kyslíku a dusíku, způsobují jejich excitaci a vyzáření takzvaného světelného kvanta. Když se elektrony srážejí s molekulami kyslíku ve vrstvách atmosféry, kde je nízký tlak, vytvoří se žlutozelená polární záře. Červená vzniká při srážkách s kyslíkem v ještě vyšších vrstvách, při ještě nižším tlaku. Modré zabarvení pochází ze srážek s atmosférickým dusíkem.



Červená vzniká při srážkách s kyslíkem v ještě vyšších vrstvách, při ještě nižším tlaku. Modré zabarvení pochází ze srážek s atmosférickým dusíkem.

Obr. 19. Polární záře (foto Tomáš Tržický).

### 5.2. Protonový oblouk

Při jasné polární záři můžeme pozorovat i takzvaný protonový oblouk (z anglického Proton arc), který má podobu oblouku nebo pruhu a může být přes celou oblohu. Může mít také úplně jinou barvu než polární záře a většinou ji přezáří. Ukázkový snímek tohoto vzácného oblouku je například zde: <http://www.spacew.com/gallery/image000471.jpg>

### 5.3. Blesky

Blesky jsou výboje atmosférické elektřiny vznikající při bouřkách, jež spolu s hřměním provázejí. Bouřky rozlišujeme podle vzniku na bouřky frontální a místní – vznikající tzv. z tepla. Hlavním stavebním kamenem bouřky je mohutný oblak druhu Cumulonimbus. Výboje atmosférické elektřiny mohou probíhat uvnitř bouřkových oblaků nebo mezi jednotlivými oblaky navzájem, anebo mezi oblakem a zemí, která plní formu kladně nabitého kondenzátoru. Ve všech třech případech dochází k výboji mezi různě nabitými oblastmi formou rychle probíhajícího blesku. Blesky podle vzhledu dělíme na: **Čárový blesk** - Je to nejčastější forma blesku. Má tvar lomené nebo klikaté, jasně svítící jediné čáry, která je dráhou elektronů pohybujících se rychlostí blízkou rychlosti desetin rychlosti světla, tedy

3.104 km/s. Záblesk výboje trvá řádově tisíce sekundy. **Rozvětvený blesk** - Připomíná kořenový systém stromu s hlavní větví a postranními větvemi. Právě ve větvení proudového kanálu je spatřována nebezpečnost tohoto blesku, neboť má větší pustošící schopnost než blesk čárový. **Plošný blesk** - lidově nazývaný blýskavice, je bezhlučný bělavý záblesk části bouřkového oblaku, trvající zlomek sekundy. **Perlový blesk** – vzácný druh blesku, který se po výboji jakoby rozdělil na jednotlivé perly, to vše během vteřinky, takže jej lze většinou zaznamenat jen na videu. **Stuhový blesk** - Vyskytující se řídce, s výrazně širším opticky patrným kanálem, což bývá vysvětlováno ovlivněním kanálu silným větrem. **Kulový blesk** - Je zvláštní a dodnes ne zcela prozkoumanou formou blesku. Svou podobou připomíná kulatý svítící míček o průměru 3 až 20 cm. Vzniká zpravidla při silných bouřích, po četných výbojích běžných blesků, za deště, ale i při obloze bez mráčku. Doba jeho trvání je od několika sekund až do minuty. Rychlost jeho pohybu je nepatrná, několik sekund může setrvat i na místě. Nesvíí jasně, přibližně jako menší elektrická žárovka, barva je od nejasně červené přes oranžovou až po bílou. Někdy jiskří a točí se.



Obr. 20. Besky mezi oblakem a zemí (foto: Roman Maňák).

#### 5.4. Eliášův oheň

Předměty, které vyčnívají nad rovný povrch (anténové stojany, věže, stožáry lodí, hrany letadla, apod.), pozměňují značně normální rozložení elektrického pole ovzduší (zhuštění ekvipotenciál u hrotu). U vrcholků takových předmětů vzniká soustředěním siločar (kolmé na ekvipotenciály) gradient asi  $103 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ . Při tomto gradientu nastane trsový nebo doutnavý výboj délky několika centimetrů. Jde o slabé keříčkové fialové nebo modré světlo (podobné koróně) a říká se mu Eliášův oheň. Ve výjimečných případech, zejména na horách, se Eliášův oheň objevuje i na lidech (hlava, zvednutá ruka) a zvířatech. Eliášův oheň dělíme na dva druhy: Pokud je polarita elektrického pole kladná, tak je Eliášův oheň fialový a větší, a pokud je polarita záporná, tak je Eliášův oheň menší a má modrou barvu. Snímek je například zde:

<http://www2.webpark.cz/blesky/>

## 6. Paprsky a stíny

Paprsky a stíny mohou v přírodě vykouzlit nádherné divadlo. Jen si uvědomte, kolik zajímavostí je vidět z vysoké hory při západu Slunce nebo když je mlha a Slunce prosvítá mezi stromy. Táto kapitolka popíše právě všechny tyto úkazy.

### 6.1. Tyndallův jev

Určitě každý z vás už někdy viděl, jak na zcela modré obloze přejde přes Slunce cumulus a vytvoří tak nádherné paprsky, někdy se táhnoucí polovinou oblohy. Pokud budete pozorovat pečlivě, všimnete si několika typů těchto paprsků. Některé budou nazelenalé a některé jasně bílé. Ovšem někdy se podaří pozorovat další jev, který vytvoří paprsky jakoby tmavě modré, popřípadě světle modré a tmavá modrá bude jen obklopotvat oblak, což na první pohled vypadá jakoby stín vržený oblakem na modrou oblohu. Tento jev se jmenuje Tyndallův, podle



Johna Tyndalla (1820 – 1893). Tento jev je založen na difúzním rozptylu světla procházejícím opticky heterogenní soustavou, projevující se tím, že dráha paprsku procházejícího dispersí pozorovaná kolmo k jeho směru, je viditelná. Z bílého světla se rozptylují nejvíce záření o kratší vlnových délkách a rozptýlené světlo pak nese modrobílý nádech.

Obr. 21. Tyndallův jev u oblaku Cumulus (foto: Patrik Trnčák)

### 6.2. Oblačné stíny

Tyto stíny (z angličtiny clouds shadows) vznikají tak, že se paprsky slunce (například při západu nebo východu) dostanou mezi oblaky a pozorovatele. Mohou se někdy milně zaměnit



za takzvané Krepuskulární paprsky. Oblačné stíny jsou ale vzácnější a mohou více upoutat pozornost, jak mimochodem ukazuje snímek.

Obr. 22. Oblačný stín a červánky (foto Martin Vilášek).

### 6.3. Stín na kondenzační stopě od letadla

Podobně jako u předchozího jevu, i zde hraje roli oblačnost, světelný zdroj (tedy Slunce či Měsíc) a správně letící letadlo. Nejvíce pozorování doprovází právě halové jevy (jako na snímku) a podle toho můžeme usuzovat, že stopa letadla je níže než cirrostratus. Takovou stopu se stínem můžete vidět v noci u hala u Měsíce.



Obr. 23. Stín vrhaný kondenzační stopou na cirrostratu současně s malým halem u Slunce (foto Patrik Trnčák)

### 6.4. Stín hory a stíny Země.

Zde patří všechny stíny, které můžeme pozorovat někdy na horách při západu (východu) Slunce. Když stojíme na vrcholu nějaké hory a máme slunce za zády, může se její stín promítat na vzdálenější oblačnost. Někdy tento stín doplní i Brockenský přízrak neboli Glorie. Stín Země je vidět nejlépe taky na horách, ale částečně jej spatříme i v nížinách. Více informací a snímky zde: <http://www.sundog.clara.co.uk/atoptics/mtshad.htm>

### 6.5. Paprsky v mlze

Tento jev je krásně patrný v lese, když je mlha a zároveň svítí Slunce, které svými paprsky prosvítá mezi stromy a větvemi a nám se zdá, že jdeme pod vějířem paprsků. Podobný jev může nastat i u pouličního osvětlení, pokud je v blízkosti lampy také strom nebo překážka, tvořící tyto paprsky.



Obr. 24. Paprsky pouliční lampy promítnuté přes blízké větve stromu (foto: Patrik Trnčák)

## 6.6. Heiligenschein

Pod tímto příšerným názvem se skrývá poměrně zajímavý jev. Když budete ráno pozorovat východ Slunce a bude dost rosy, může okolo vašeho stínu vzniknout zjasnění. Je to vlastně taková odrazka vznikající díky vodním kapičkám na trávě. Tento jev je nejvíce patrný při pohledu z kopce a pokud možno aby se váš stín promítal na posekanou trávu, kde se drží nejvíce kapiček rosy.



Obr. 25. Heiligenschein (foto: Patrik Trnčák).

## 6.7. Opoziční efekt

Je prakticky to samé jako Heiligenschein. Opoziční efekt ale vzniká na pevných površích, jako silnice a nebo asfaltová hřiště, kdy se kolem vašeho stínu také vytvoří jasnější oblast, podobně jako u Heiligenschein. Tento jev je znám i ze snímků astronautů z Měsíce nebo u sond na Marsu. Více informací a snímky zde:

<http://www.sundog.clara.co.uk/atoptics/oppim2.htm>

## 6.8. Ostatní hry paprsků a stínů

Pokud se budete pořádně rozhlížet v přírodě, když bude polojasná obloha a oblaka budou zakrývat Slunce, určitě uvidíte další zajímavé stíny nebo paprsky. Například, když se před slunce dostane menší cumulus, můžete pozorovat jak se stín rozšiřuje po okolí nebo naopak, když mrak odchází, tak jak se sluneční světlo přibližuje k vám a osvětluje tak větší a větší plochu, například na poli apod.

## 7. Zrcadlení v atmosféře

Zrcadlení, více známé jako Fatamorgána je specifickým jevem v atmosféře. Můžeme se s ním setkat kdekoliv na Zemi. Jak v létě u nás na rozpálené silnici, tak v Antarktidě v dálce nad ledovými pláněmi můžeme vidět odrazy nebo zrcadlové kopie předmětů. Do této kategorie jsem zařadil také zrcadlení slunečního (měsíčního) disku při západu a také jejich deformace, i když tyto úkazy by mohli patřit také mezi soumrakové jevy.

### 7.1. Svrchní zrcadlení

Neboli horní zrcadlení vzniklá v oblastech vyznačujícími se výskytem mohutných výškových inverzí teploty. Patří sem především polární oblasti a v některých případech oblasti suchých tropických pásů – pouští. V takovém případě vidíte vzdálený objekt zrcadlíci se o něco výše. Snímek zde: <http://www.polarimage.fi/mirages/sp01012b.jpg>

### 7.2. Vícenásobné svrchní zrcadlení

Je vznikem podobné, jen je potřeba, aby se v atmosféře nacházelo více vrstev s teplotní inverzí. Potom vidíme vzdálený objekt dvakrát nebo i vícekrát zrcadlíci se nad obzorem. To už je ale poměrně vzácná záležitost. Svrchní zrcadlení se u nás vyskytují především v zimních měsících než v létě. Snímek: <http://www.polarimage.fi/mirages/sp13b54b.jpg>

### 7.3. Spodní zrcadlení

Při velmi intenzivním ohřívání zemského povrchu Sluncem, se například nad asfaltovou silnicí zobrazují předměty (tedy auta) jakoby jeli v louži vody. Toto je právě klasická Fatamorgána, kdy se na pouštích jeví v dálce jakoby hladina oázy. Snímek například zde: <http://www.polarimage.fi/mirages/in01342b.jpg>

### 7.4. Zrcadlení Slunečního kotouče

Stejně jako u klasického zrcadlení, i tato vznikají podobným principem, jen objektem je zde Slunce (velmi výjimečně Měsíc). Když Slunce zapadá, může pod sebou vytvořit kopii, která se různě vlní podle toho jak Slunce rychle zapadá a také podle kvality a čistoty ovzduší. Snímek například zde: <http://www.polarimage.fi/mirages/sn02152b.jpg>

### 7.5. Deformace Slunečního kotouče

Když Slunce zapadá (nebo vychází), může se zdá poněkud zdeformované. Záleží na místě pozorování, například nad mořem nebo v Antarktidě. Každopádně platí, že čím ideálnější máte obzor, tím větší je šance na zdeformovaný kotouč slunce, který může klidně doplnit i zelený záblesk apod. Nádherné deformace Slunce a Měsíce najdete zde: <http://www.polarimage.fi/sun2/green1.htm>

Zde bych chtěl poděkovat všem, co mi pomohli sepsat tento malý přehled optických jevů. Především Petr Skřehot a Martin Vilášek za jejich články na APO ([www.astronomie.cz](http://www.astronomie.cz)), Martin Popek za přehled blesků a Eliášova ohně (<http://www2.webpark.cz/blesky/>), Tomáš Tržický za texty k Ohybovým jevům, Nočním svítícím oblakům, Polárním září a další (<http://ukazy.astro.cz/>), Romanu Maňákovi za snímky blesku a halových jevů (<http://top.astronomie.cz/>) a za snímky musím poděkovat: Tomáš Cihelka, Jaroslava Fuksová, Jan Kondziolka a Vladimír Odvářka.

**Webové stránky kde jsem čerpal informace:**

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

<http://www.meteoros.de/>

<http://www.sundog.clara.co.uk/atoptics/phenom.htm>

<http://www.polarimage.fi/>

**Použitá a doporučená literatura:**

[1] Meteorologie, Jan Bednář, Portál 2003

[2] Encyklopedie počasí, William Burroughs, Svojtka 2003

[3] Skřehot Petr – Atmosférické optické jevy, M.O.R., 2004

[4] Zpravodaj Parhelium projektu HOP, <http://halo.astronomie.cz>

**Patrik Trnčák**

[patrik.trncak@centrum.cz](mailto:patrik.trncak@centrum.cz)

<http://halo.astronomie.cz>

ICQ: 264039595