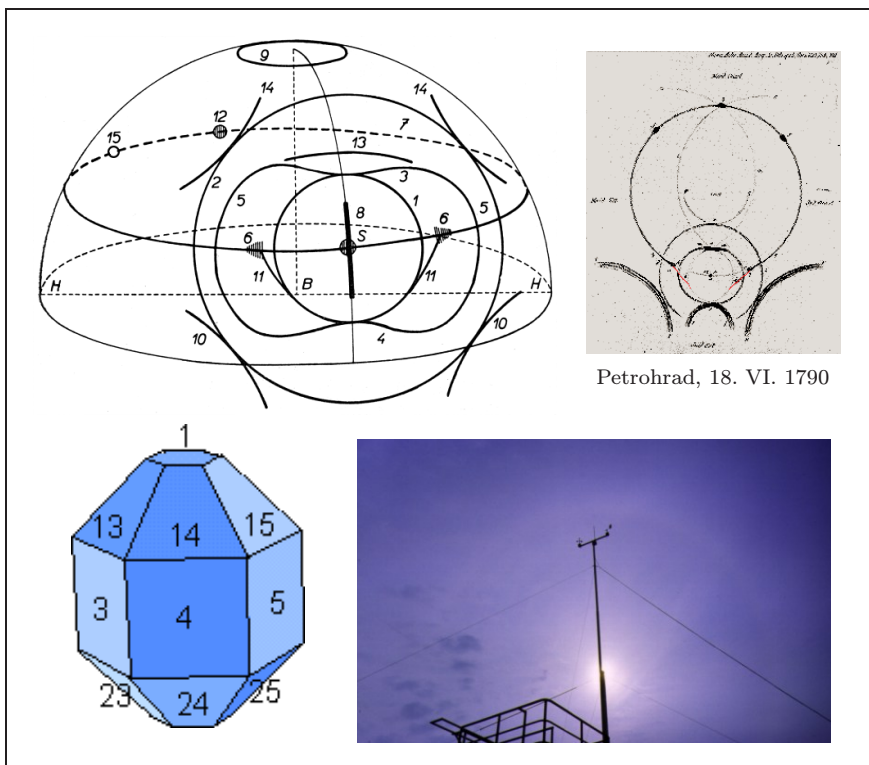


# POVĚTROŇ

Občasník Astronomické společnosti v Hradci Králové  
SPECIÁL 2000/2 ročník 8

---

## Halové jevy



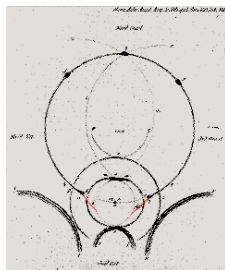
|  |   |
|--|---|
| Miroslav Brož: <i>Halové jevy</i> .....    | 1 |
| Miroslav Brož: <i>Parryho oblouk</i> ..... | 7 |

## Halové jevy

Miroslav Brož

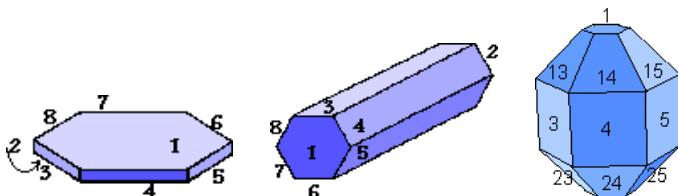
Halové jevy jsou fotometeory — optické úkazy v atmosféře, které vznikají odrazem a lomem slunečního nebo také měsíčního světla na ledových krystalcích rozptýlených ve vzduchu. Na obloze mívají vzhled světlých, bělavých nebo duhových oblouků, pruhů či kol. Často září nad našimi hlavami bez toho, abychom si jich povšimli.

První písemné záznamy o těchto atmosférických úkazech jsou ze 4. století př. n. l. od starověkého přírodovědce Aristotela (termín „halo“ pochází právě od něj). Na našem území byl poprvé písemně zaznamenán výskyt halového jevu 7. III. 1135 v Praze. Vysvětlení principu vzniku halových jevů pochází od René Descarta (1596–1650), souborná teorie základních jevů byla však podána v roce 1681 francouzským přírodovědcem Edme Marriottes (1620–1684).



V historii se také vyskytlo několik impozantních úkazů, které upoutaly pozornost široké veřejnosti. Takový úkaz se objevil např. v Petrohradu 18. VI. 1790, jak jej zachycuje kresba Thomase Lowitze.

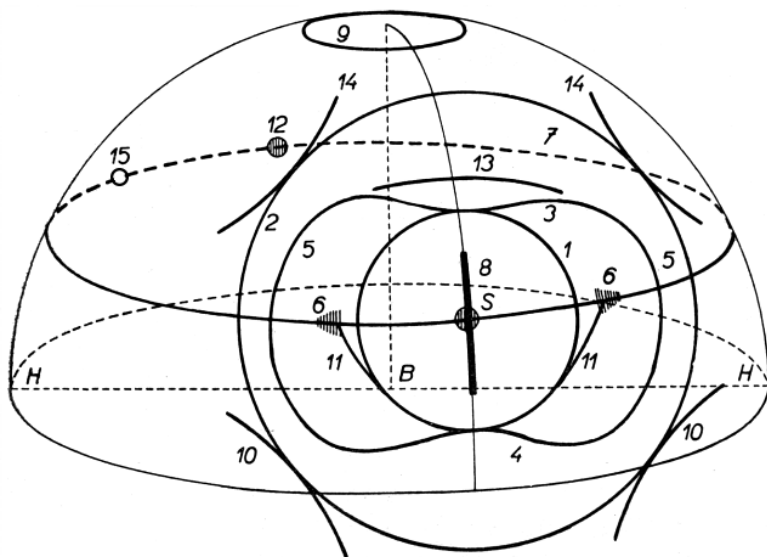
Krystalky ledu se mohou vyskytovat především v oblacích druhu cirrostratus a cirrus (viz tab. 1), někdy bývají rozptýlené v přízemní vrstvě, což je častá situace v arktických oblastech (viz obr. 6). Základním tvarem krystalu je pravidelný šestiboký hranol mající podobu sloupku, destičky, pyramidy (jehlanu), případně hvězdice (dendritu); viz obr. 1.



Obr. 1 — Základní tvary krystalu ledu: destička (D), sloupek (S) a pyramidální (P), stěny jsou očíslovány kvůli trajektoriím paprsků uvedených v tab. 2.

| druh          | zkr.      | patro/výška      | složení |
|---------------|-----------|------------------|---------|
| cirrus        | <i>Ci</i> | vysoké, 7–9 km   | L       |
| cirrostratus  | <i>Cs</i> |                  |         |
| cirrocumulus  | <i>Cc</i> |                  |         |
| altostratus   | <i>As</i> | střední, 2–7 km  | S, V    |
| altocumulus   | <i>Ac</i> |                  |         |
| stratus       | <i>St</i> | nízké, < 2 km    | V, S    |
| stratocumulus | <i>Sc</i> |                  |         |
| nimbostratus  | <i>Ns</i> | vertikální vývoj | S       |
| cumulus       | <i>Cu</i> |                  | V       |
| cumulonimbus  | <i>Cb</i> |                  | S       |

Tab. 1 — Morfologická klasifikace oblaků, 10 druhů. Slova cirrus, stratus a cumulus mají český překlad řasa, sloha a kupa. Oblaky podle složení dělíme na ledové (L), vodní (V) a smíšené (S).



Obr. 2 — Schéma halových úkazů, převzato z [3], popis v textu.

Halové jevy můžeme dělit podle toho, zda vznikají lomem světla či pouhým odrazem (takové jsou jen bělavé, podle barvy slunečního světla). Pro vznik určitých úkazů jsou potřeba speciální tvary ledových krystalků,

jejich orientace a pohyby. Vzhled a viditelnost úkazu může také záviset na výšce Slunce nad obzorem a výšce obzoru.

Základní přehled halových jevů uvádí tab. 2. Všimněte si, že na jedné straně existují halové jevy viditelné takřka každý týden (těmi se budeme zabývat v dalším textu), jiné jsou naopak velmi vzácné.

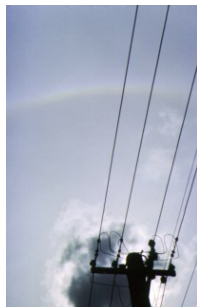
| jev – viz obr. 2        | dny           |     | krystal/orientace              | trajekt. | pozn. <sup>2</sup> |
|-------------------------|---------------|-----|--------------------------------|----------|--------------------|
| malé halo 22°           | 1             | 209 | DS, náhodná                    | 3–7      |                    |
| velké halo 46°          | 2             | 18  |                                | 3–1      |                    |
| parhelia                | 6             | 71  | D, základna horiz.             | 3–7      |                    |
| halový sloup h./d.      | 8             | 34  | D, přibližně horiz.            |          | 1                  |
| cirkumzenitální oblouk  | 9             | 31  | D, základna horiz.             | 3–1      | 2                  |
| parhelický kruh (části) | 7             | 13  | DS                             |          | 3                  |
| cirkumhorizont. oblouk  |               |     | D, základna horiz.             | 3–2      | 4                  |
| parhelia 120°           | 15            | 1   |                                | 1–3–8–2  | 5                  |
| spodní slunce           |               |     |                                |          | 6                  |
| subparhelia             |               |     |                                | 3–2–7    | 7                  |
| dotykový oblouk h./d.   | $\frac{3}{4}$ | 59  | S, hlavní osa horiz.           | 3–7      | 8                  |
| protislunce             | 12            | 1   |                                | mnoho    | 9                  |
| h./d. dotykový oblouk   | 14            | 1   |                                | 3–2/3–1  | 10                 |
| velkého hala            | 10            | 1   |                                | 2–3      | 11                 |
| Wegenerův oblouk        |               |     | S, hlavní osa přesně horiz.    | 3–2–7    |                    |
| Parryho oblouk          | 13            | 2–6 | S, hlavní osa a 2 stěny horiz. | 3–7      |                    |
| Lowitzův oblouk         | 11            | 3   | D rotující, horiz. základna    | 3–7      |                    |
| halo 9°                 |               |     | P, náhodná                     | 3–26     |                    |
| halo 18°                |               |     |                                | 13–25    |                    |
| halo 24°                |               |     |                                | 3–25     |                    |

Tab. 2 — Halové jevy, číslo na obr. 2, průměrný počet dnů výskytu v roce<sup>1</sup>, tvar krystalu a jeho orientace, trajektorie paprsku (viz obr. 1) a doplňující poznámky<sup>2</sup>.

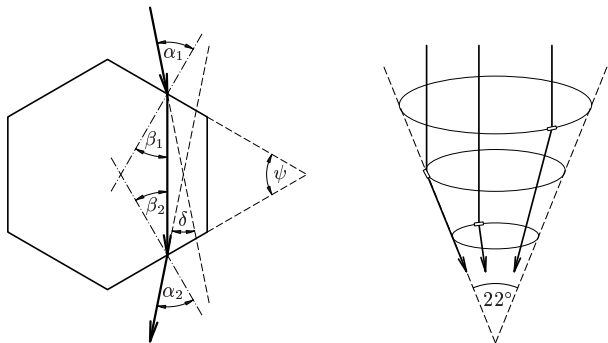
<sup>1</sup> podle [1], jiní autoři na jiných stanovištích uvádějí nižší počty; prázdné pole značí frekvenci výskytu menší než jednou za rok

<sup>2</sup> Vysvětlení poznámek v tab. 2: <sup>1</sup> odraz od d./h. základny, <sup>2</sup> pouze když  $h_{\odot} < 32^{\circ}$ , <sup>3</sup> odraz od vert. stěn, <sup>4</sup> jen pro  $h_{\odot} > 57,8^{\circ}$ , <sup>5</sup> tlusté D, <sup>6</sup> odraz od h. základny, často z letadla, <sup>7</sup> jen pod horizontem, <sup>8</sup> mění se podle  $h_{\odot}$ , anglicky „tangent arc“, pro  $h_{\odot} > 32^{\circ}$  opsané halo, <sup>9</sup> vysvětlení jevu nejednotné, <sup>10</sup> „supralateral arc“, <sup>11</sup> „infralateral arc“.

**Malé halo** [1]. Nejčastěji je pozorovatelné malé halo — bělavá kružnice kolem Slunce v úhlu asi  $22^\circ$ , na vnitřní straně zbarvená do červena, uvnitř kruhu bývá obloha tmavší než okolo. Vzniká lomem světla v šestibokých krystalcích s lámavým úhlem  $\psi = 60^\circ$  (viz obr. 3), není třeba žádné zvláštní orientace krystalků v prostoru.



Při odvození výše zmíněného úhlu, pod kterým se pozoruje malé halo, využijeme *principu minimální odchylky* — nejvíce světla je koncentrováno do toho směru, který odpovídá minimální odchylce  $\delta$  směru vystupujícího paprsku od směru paprsku dopadajícího. Protože při obráceném průchodu paprsku hranolem zůstává stejná odchylka  $\delta$ , musí v případě  $\delta = \delta_{\min}$  platit  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_{\min}$ .



Obr. 3 — Trajektorie paprsku při průchodu hranolem s lámavým úhlem  $\psi = 60^\circ$ , schéma vzniku jevu halo  $22^\circ$ .

Pro lom světla platí Snelliův zákon

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \beta_2} = n'_r, \quad (1)$$

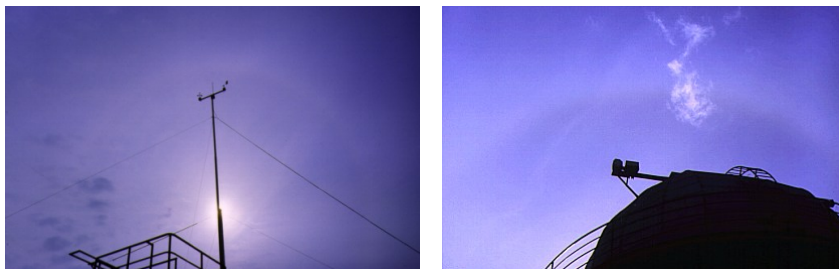
kde  $n'_r$  je relativní index lomu ledu vůči vzduchu. Z jednoduché geometrie na obr. 3 vidíme, že

$$\beta_1 + \beta_2 = \psi, \quad \delta = (\alpha_1 - \beta_1) + (\alpha_2 - \beta_2) = \alpha_1 + \alpha_2 - \psi \quad (2)$$

Pro případ minimální odchylky pak platí  $\delta_{\min} = 2\alpha_{\min} - \psi$ ,  $2\beta_{\min} = \psi$ . Vyjádřením  $\alpha_{\min}$ ,  $\beta_{\min}$  z (2) a dosazením do (1) dostaneme

$$\sin \frac{\delta_{\min} + \psi}{2} = n'_r \sin \frac{\psi}{2} \quad (3)$$

Do (3) zbývá dosadit za index lomu  $n'_r \doteq 1,31$  (červené světlo 1,307, fialové 1,317) a dostaneme hodnotu  $\delta_{\min} = 22^\circ$ . V případě souvislé vrstvy cirrostratu tvořeného náhodně orientovanými krystalky ledu, jsou tedy paprsky v krystalcích odchylovány pod tímto úhlem a některé dopadají do oka pozorovatele (viz obr. 3 vpravo).



Obr. 4 — [VLEVO] Malé halo prosvítající za slabou vrstvou altostratu, širokoúhlý objektiv. [VPRAVO] Část hala  $22^\circ$  nad kopulí hvězdárny v Hradci Králové, 6. IV. 2000, fotografie autora článku.

**Velké halo** [2] vzniká velmi podobně jako malé halo — paprsky vstupují do krystalku podstavou a vystupují pláštěm, lámavý úhel je pak  $90^\circ$  a dle (3) je  $\delta_{\min} \doteq 46^\circ$ . Jedná se však o podstatně slabší a vzácnější jev.

**Parhelia** [6] (též vedlejší, boční slunce). Velmi jasným úkazem mohou být vedlejší slunce, jsou přítom pozorovatelná 60 – 80 krát do roka. Jsou-li plně rozvinutá, vidíme zřetelné barvy (červená je jako vždy směrem ke Slunci) a bílý ohon směřující od Slunce. Úhlová vzdálenost parhelií závisí na výšce Slunce nad obzorem — na horizontu je pouze  $22^\circ$  (koincidují s malým halem), s rostoucí výškou se vzdalují. Pokud pozorujeme velmi jasná boční slunce, je pravděpodobný výskyt i vzácných parhelií v úhlové vzdálenosti  $120^\circ$  od Slunce.



Parhelia vznikají lomem světla na vodorovně orientovaných destičkách. Často spolu s nimi pozorujeme **cirkumzenitální oblouk** [9], který předpokládá stejnou orientaci. Malé halo bývá naopak při výrazných bočních sluncích slabé nebo vůbec není viditelné, protože většina destiček má zřejmě základnu vodorovně a nezbytvají žádné náhodně orientované.

**Fotografie.** Fotografování halových jevů je poměrně obtížná záležitost — obyčejně se jedná o jevy málo výrazné, proti obloze mají malý kontrast. Často se fotografuje v protisvětle, hrozí tedy nežádoucí reflexy na optice. Velké úhlové rozměry si vynucují použití širokoúhlých objektivů (celé

malé halo se zachytí na kinofilm s objektivem  $f = 28\text{ mm}$ ), někdy bychom dokonce chtěli použít „rybí oko“ nebo náhradní techniku fotografování vypuklého zrcadla.

Osvědčily se mi expozice  $1/250 - 1/1000$  s a clonové číslo  $>16$  na materiál s citlivostí 100 ASA. Vyplatí se zakomponovat do snímku i nějaký další objekt, který může zakrývat sluneční disk, např. lampu, sloup s elektrickým vedením, budovy, stromy, oblaka.



Obr. 5 — [VLEVO] Pravé boční slunce nad JZ obzorem, v dubnu roku 2000. [VPRAVO] Jasný cirkumzenitální oblouk byl 30. V. 2000 pozorovatelný skoro z celého území České republiky.

Kdo by se rád dozvěděl o halových jevech více, nechť nahlédne do literatury, ze které jsem čerpal. Doporučuji navštívit [www stránky Atmospheric Halos](http://www.atmospheric-halos.com) [5] (zde je i program simulující halové jevy HALO 2.0), [Atlas of Halo Forms](#) [7] a také českou stránku [Tomáše Tržického](#) [6].

Co říci závěrem? Snad jen to, že vám upřímně přeji, abyste někdy v životě spatřili (a vyfotografovali) alespoň takové halo, jako na posledním obrázku.

[1] Bednář, J.: *Pozoruhodné jevy v atmosféře*. Academia, Praha, 1989

[2] Munzar, J. a kol.: *Malý průvodce meteorologií*. Mladá fronta, Praha, 1989

[3] Podzimek, J.: *Fysika oblaků a srážek*. ČSAV, Praha, 1959

[4] Sobíšek, B. a kol.: *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Academia, MŽP ČR, Praha, 1993

[5] Cowley, L., Schroeder, M.: *Atmospheric Halos*.

<http://dSPACE.dial.pipex.com/lc/halo/halosim.htm>

[6] Tržický, T.: *Halové jevy — optické úkazy v atmosféře*.

<http://www.volny.cz/trzicky/atmos/halo.htm>

[7] Vornhusen, M.: *Atlas of Halo Forms*.

<http://members.tripod.com/~regenbogen/englisch/atlas.htm>



Obr. 6 — Pohled z jižního pólu směrem na sever, dne 21. XII. 1980. Malá zrníčka patrná na snímku jsou krystalky ledu letící v přízemní vrstvě. Foto Cindy McFee, NOAA.

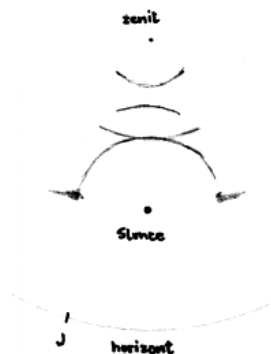
## Parryho oblouk

Miroslav Brož

Dne 16. X. 1993 okolo 15:15 odpoledne se mi poštěstilo pozorovat výjimečný halový jev — *Parryho oblouk*. Neměl jsem po ruce žádný fotoaparát, tak jsem si alespoň udělal malý nákres.

Postupně od zenitu byl viditelný cirkumzenitální oblouk, pak Parryho oblouk, polovina malého hala s horním dotykovým obloukem a nakonec se ještě objevila boční slunce. První oblouk byl zářivě duhový, ostatní byly bledší nebo bílé, intenzita se měnila podle přecházejících oblaků.

Zkusil jsem si tuto situaci nasimulovat pomocí softwaru *HALO 2.0*. Autoři tohoto skvělého programu, Les Cowley a Michael Schroeder, používají techniky *raytracingu*,

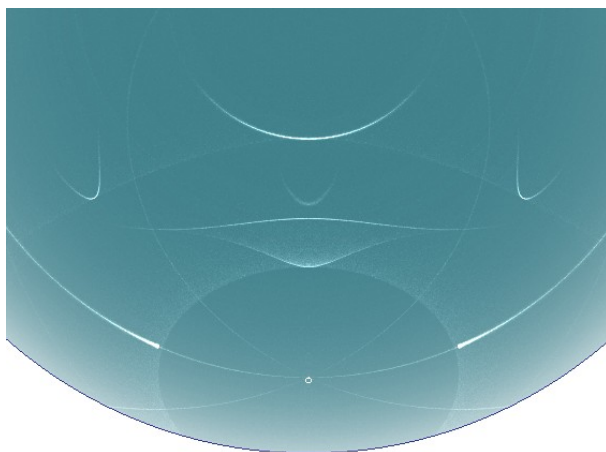




tj. sledování paprsku při průchodech a odrazech na nejrůznějších typech ledových krystalů. Nejprve se metodou Monte–Carlo zvolí orientace testovacích krystalků (podle definovaných úhlových rozsahů) a prvního dopadu paprsku. Poté se na každém rozhraní počítají Fresnelovy reflexní a transmisní koeficienty, které se porovnají s náhodným číslem a rozhodne se, zda paprsek rozhraním projde či se od něj odrazí. Algoritmus pokračuje, dokud paprsek neopustí krystal nebo se nepřekročí předem daný limit počtu průchodů a odrazů. Pokud paprsek úspěšně krystal opustí, je vynesena na obrazovku ve zvolené projekci. Pro vytvoření celého obrázku se postup opakuje  $10^4$  až  $10^7$  krát.

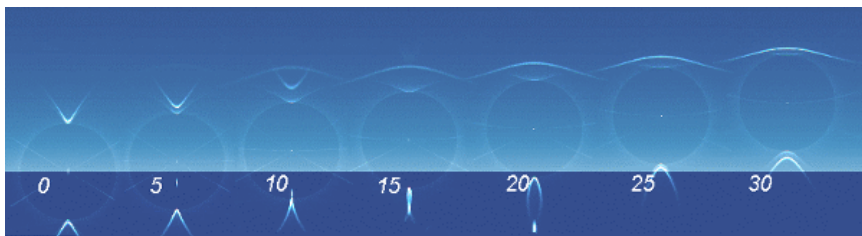
Pro vznik pozorovaného jevu jsem zvolil následující krystalky a orientace: 40 % náhodně orientovaných sloupků, 20 % horizontálních destiček a po 20 % sloupky v orientaci Parry a horizontální. Výška Slunce nad obzorem byla v inkriminovanou dobu asi  $15^\circ$ .

Výsledek simulace je na obr. 7 — vidíme, že vzhled oblouků dobře souhlasí s kresbou, pouze výška Slunce nad obzorem byla na kresbě přeceněna, což bývá častý problém nezkušených pozorovatelů. Na obr. 8 je pak vidět, jak by se vzhled Parryho oblouku s výškou Slunce měnil.



Obr. 7 — Simulace komplexního hala 16. X. 1993 programem HALO 2.0, výřez se záběru kamery „rybí oko“ směřující do zenitu,  $10^6$  paprsků.

Tento poměrně vzácný halový úkaz byl objeven Parrym 8. IV. 1820 v kanadské Arktidě během britské expedice, která hledala severozápadní cestu (průplav z Atlantského do Tichého oceánu). Dvě lodě zůstaly uvězněny v ledovém poli po celou dlouhou zimu blízko ostrova Melville.



Obr. 8 — Parryho oblouk a dotykové oblouky jsou příklady halo-  
vých jevů, jejichž tvar závisí na výšce Slunce nad obzorem. Pro  
porovnání je na obrázku také slabé malé halo. Pokud  $h_{\odot} = 0^{\circ}$   
je dotykový oblouk téměř totožný s Parryho, s rostoucí výškou  
se konvexní Parryho oblouk vzdaluje a slábne, objevuje se však  
konkávní oblouk přibližující se postupně k dotykovému. Dolní  
Parryho oblouk je možné spatřit až při  $h_{\odot} > 25^{\circ}$ .

POZNÁMKY:

---

Vydavatelem je Astronomická společnost v Hradci Králové  
Redakce: Miroslav Brož, Josef Kujal. Sazba systémem plain $\text{\TeX}$ .  
Vydáno dne 3. 6. 2000 na 112. setkání členů ASHK.  
Adresa: ASHK, Národních mučedníků 256, Hradec Králové 8, 500 08  
e-mail: [ashk@email.cz](mailto:ashk@email.cz), web: <http://www.astrohk.cz/ashk/>