

BÍLÝ TRPASLÍK

Číslo 125

2005

červen/červenec

Chcete změřit rychlost světla?

O podstatě světla bylo napsáno mnoho. Vlastně se o tomto tématu vedly sáhodlouhé filosofické debaty. Snad prvním, kdo se světlem jako fyzikálním jevem zabýval, byl v prvním století před naším letopočtem římský filosof Lukrécius ve čtvrté knize svého díla *O povaze věcí*. Tvrdil, že objekty kolem sebe vidíme proto, že samy emitují své vlastní repliky. Přirovnával tento jev ke svlékání kůže hadů, jen podotýkal, že tento jev probíhá u všech věcí kontinuálně a tyto nové repliky jsou geometricky tenké.

Isaac Newton byl přesvědčen, že světlo se chová jako proud částic. Z jeho pokusů vyplývalo, že světlo se pohybuje po křivkách, které bylo možné odvodit z „balistické“ teorie světla. V následujících staletích však byl částicový pohled přebyt teorií vlnovou, tedy že světlo se chová jako vlnění. Tyto vlastnosti jasně vyplývaly z elektromagnetických rovnic postulovaných Jamesem Clerkem Maxwellem (1831–1879). Objev, že světlo jako vlnění nepotřebuje k šíření žádné prostředí a tudíž vlastně musí mít částicový charakter, přišel na počátku 20. století. Pak už šlo vše ráz na ráz. V roce 1905 vysvětlil Albert Einstein fotoelektrický jev, z něhož je patrné, že z jistého pohledu se světlo chová jako částice, které mají diskrétní energie závislé na své frekvenci. Do počátku 20. století lze též zařadit vznik teorie vlnově-korpuskulárního dualismu, z níž vy-

plývá, že nejen světlo, ale i jiné částice se chovají současně jako vlny. Pro elektrony tuto vlastnost předpověděl v roce 1920 Luis de Broglie a záhy byla experimentálně potvrzena C. J. Davissonem a L. H. Germerem. Bylo tedy jasné, že vlastně všichni měli pravdu – světlo se chová i jako vlna, i jako částice.

Otázkou konečné rychlosti světla se zabýval jako první anglický filosof Francis Bacon na přelomu šestnáctého a sedmnáctého století. Ve své práci *Novum Organum Scientiarum* (1620) navrhl, že „blikající hvězdy“ již dávno nemusí existovat, i když my stále ještě vidíme jejich světlo. První pokusy o exaktní určení rychlosti světla prováděl na začátku 17. století Galileo Galilei. Galilei použil dva asistenty s lucernami, které poslal na vzdálené kopce a nechal je světlo lucerny zakrývat. Galileův nápad narazil na fakt, že reakční doba obou jeho asistentů byla podstatně větší, než doba, za kterou světlo urazilo vzdálenost mezi oběma vrchy. Aby uspěl, museli by mít jeho asistenti reakční dobu ve zlomkách mikrosekund.

Nicméně rychlost světla má svoji konečnou hodnotu a s první rigorózní metodou jejího měření přišel před Francouzskou akademií věd 22. listopadu 1675 dánský hvězdář Ole Rømer (1644–1710). Ten využil faktu, že

úklady jupiterových měsíčků se často zpožďovaly oproti předpovědi až o 17 minut. Zvláště bylo toto zpoždění patrné poblíž konjunkce Jupiteru se Sluncem. Rømerovi došlo, že v době konjunkce je Jupiter od Země fakticky o dvě astronomické jednotky dále, než v době opozice. Při přijetí předpokladu, že světlo se šíří konečnou rychlostí, v době konjunkce potřebuje více času k letu mezi Jupiterem a Zemí, a úklady proto logicky musí být zpožděné oproti předpovědi.

Rømerova práce je ukázkou pečlivé práce astronomického pozorovatele. S ohledem na mnoho nepříliš příznivých jevů, které se do celého pozorování promítají, je spíše zázkakem, že mu vyšla smysluplná hodnota. Rømer na již zmíněné přednášce publikoval rychlost světla s hodnotou 227 000 km/s, což je sice nižší, ale řádově zcela správná hodnota, při porovnání s dnešní tabulkovou hodnotou: $c = 299\,792$ km/s.

Podívejme se tedy společně s konkrétními údaji (vztažená k pozorováním z pozdějších let), jak Rømer postupoval.

V první řadě je třeba sledovat jeden konkrétní úkaz. Nejsnáze jsou pozorovatelné vstupy a výstupy měsíčků ze stínu vrženého do prostoru Jupiterem, zatímco přechody stínů nebo měsíčků přes Jupiterův disk jsou z pozorovatelských důvodů velmi nevhodné, protože jejich přesné okamžiky jsou obtížné zjistitelné. Vyberme si tedy třeba vstup měsíce Io do stínu. Pak je jasné, že z geometrických důvodů tento úkaz můžeme pozorovat vždy jen polovinu synodické periody Jupiteru. V tomto případě od konjunkce k opozici (ale už ne od opozice ke konjunkci, protože díky blízkosti oběžné roviny jupiterových měsíčků k ekliptice tento úkaz zůstává při pohledu ze Země skryt za planetou).

Rozhodujícími budou krajní úklady, tedy poslední zatmění Io před opozicí a první zatmění Io po konjunkci. Zatímco čas prvního

z úkazů je stanovitelný poměrně přesně (a jeho pozorování je limitováno pouze počtím), pozorovatelnost druhého z úkazů je velmi omezena blízkostí Jupiteru u Slunce na zemské obloze. Proto si postačíme s prvním pozorovatelným zatměním Io po konjunkci.

V prvním kroku je třeba určit efektivní (synodickou) periodu tohoto úkladu. Ta se určí ze dvou po sobě následujících posledních zatmění před opozicí. Mezi těmito okamžiky vykoná Io přesně známý počet siderických oběhů planety (perioda byla v Rømerově době známa – 42,48 hodin), tento počet oběhů nebude však celočíselný. Důvodem je různá orientace stínu v těchto dvou časech (tyto dva konkrétní úklady nenastávají s periodou totožnou se synodickou periodou oběhu Jupiteru) a s tím související různá pozice Jupiteru na synodické dráze v obou okamžicích. Tedy konkrétně:

Dvě po sobě jdoucí poslední zatmění Io před opozicí byla pozorována 13. 6. 1960 v 23.23 a 18. 7. 1961 v 23.05. Mezi těmito okamžiky je časový interval 9599 hodin a 42 minut a Io vykonal 225,98164 siderických oběhů. Ale vstupů do stínu nastal celkem určitě celočíselný počet. Z faktu, že maximální zpoždění úkladu oproti předpovězenému je 17 minut, což je výrazně menší hodnota, než je siderická oběžná perioda, vyplývá, že obě periody (siderická i efektivní) si musí být velmi blízké. Je tedy jasné, že mezi těmito dvěma posledními zatměními Io před opozicí nastalo 226 vstupů Io do stínu Jupiteru.

Efektivní periodu úkladu získáme prostým dělením časového odstupu mezi těmito dvěma úklady jejich počtem, tedy v našem případě $P_{\text{eff}} = 1,769856$ dne. Je to určité číslo s dobrým smyslem, neboť je „vytředováno“ přes celý synodický oběh Jupiteru.

Teď přijde ke slovu pozorování prvního možného zatmění po konjunkci, které již máme napozorováno, neboť nastalo mezi oběma použitými posledními zatměními před opozicí. Řekněme, že tento úkaz nastal v $T_p = 8.3.1961$ v 5.31. Je třeba podotknout, že konjunkce nastala o dva měsíce dříve, 5. 1. 1961, ale dříve prostě nebylo možné pozorovat.

Toto konkrétní zatmění předpovíme na základě získané efektivní periody. Použijeme vzoreček

$$T_n = T_0 + nP_{\text{eff}},$$

kde T_0 je okamžik předchozího zatmění před opozicí a n je celé číslo, které musíme uhádnout. Je totiž jasné, že zatmění mezi okamžikem T_0 a T_n musel nastat celý počet a současně T_n musí být těsně menší než T_p , protože jde o zpoždování (předpovězené musí nastat dříve, než pozorované). Krátce řečeno musí hodnoty T_p a T_n splňovat relaci:

$$0 < T_p - T_n < P_{\text{eff}}.$$

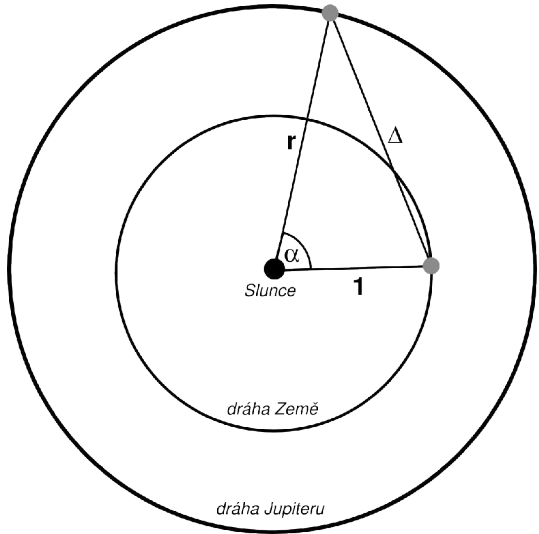
Hrátkou s kalkulačkou nalezneme číslo $n = 151$ a vypočtený okamžik úkazu tedy:

$$nP_{\text{eff}} = 267 \text{ dní, } 5 \text{ hodin } 58 \text{ minut,} \\ \text{tedy } T_n = 8.3.1961 \text{ v } 5.21.$$

Nalezli jsme zpoždění tohoto konkrétního úkazu, $\delta t = T_p - T_n = 10$ minut. Zbývá určit drahový rozdíl v obou okamžicích.

Ten určíme na základě předpokladu, že pohyb Jupiteru po zemské obloze je rovnoměrný. Jednoduše pak odhadneme úhel Země-Slunce-Jupiter pro daný okamžik, vztažený vůči okamžiku opozice. Více snad napoví obr. 1.

$$\alpha = 360^\circ / P_{\text{syn,J}} (T - T_{\text{opp}}),$$



Obr. 1: Geometrické schéma pro výpočet dráhy světla od Jupiteru k Zemi v daný časový okamžik.

kde $P_{\text{syn,J}} = 398,87$ dne je synodická perioda oběhu Jupiteru. Z geometrie pak můžeme (pomocí kosinové věty) určit vzdálenost Země-Jupiter (Δ) v daném okamžiku T :

$$\Delta^2 = r^2 + 1^2 - 2r \cos \alpha,$$

kde r je střední vzdálenost Jupiteru od Slunce ($r = 5,2$ AU).

Pak můžeme odvodit drahový rozdíl $\delta\Delta$ pro okamžiky opozice a T :

$$\delta\Delta = (\Delta - 4,2) \text{ AU}.$$

Pro náš případ vyjdou hodnoty:

$$\alpha = 241,2^\circ, \\ \Delta = 5,75 \text{ AU}$$

$$\delta\Delta = 1,549 \text{ AU} = 231\,569\,431 \text{ km.}$$

Výpočet rychlosti světla je pak již dílem okamžiku:

$$c = \delta\Delta/\delta t,$$

tedy v našem případě $c = 385\,949$ km/s.

Na nepřesnosti určení se v zásadě podílejí čtyři faktory:

- Stín Jupiteru jakožto plynného objektu není zcela ostrý, satelity díky konečné oběžné rychlosti a konečnému rozměru ve stínu mizí postupně a okamžik „zmizení“ je tak závislý i na pozorovacích podmínkách a kvalitách dalekohledu. Zde se mohou vnášet až minutové chyby.
- Úkaz nemůžeme sledovat po celou dobu oběhu (hlavně v období konjunkce).
- Oběžné dráhy satelitů nejsou zcela přesně v rovině ekliptiky, a tak s ohledem na kuželovitý tvar stínu Jupiteru „stráví“ ve stínu různé doby v závislosti na konkrétní geometrické situaci.
- Dráhy satelitů nejsou přesně keplerovské, projevuje se zde jednak silné sla-

pové ovlivnění Jupiterem, ale také vzájemné rezonance mezi satelity (zvláště mezi Io, Europou a Ganymedem), které se na svých drahách vzájemně různě „postrkují“.

Abychom eliminovali různá další zjednodušení, která byla v této úloze použita, je vhodné výsledky získat pro více opozic a konjunkcí (což v podstatě znamená pro více let) a soubor vhodně statisticky zpracovat. Pak se i touto metodou dá velmi přiblížit dnes oficiální hodnotě c .

Dnes jsou předpovědi úkazů Jupiterových satelitů uvedené např. v Hvězdářské ročence samozřejmě o rozdíl způsobený konečnou rychlostí světla opraveny. A zvláště s jejich využitím by mělo být určení rychlosti světla starou Römerovou metodou mnohem jednodušší. Nechcete to zkusit?

– Michal Švanda –

Zajímavá pozorování

Dnešní rubriku opět po kratší přestávce zcela vyplní pozorování Báry Nedomové. Podle kreseb, které poslala, to vypadá, že se stala již zkušenou kreslířkou povrchových útvarů na Měsíci. A že apačský dobson u ní rozhodně nazahálí. Pozorování ponechávám v původní úpravě.

Sinus Iridium

Datum: 20. 3. 2005

Čas kresby: 20.24 UT
20.40 UT

Colongitudo: 33,7°

Dalekohled: Dobson (Newton) 200/1200 mm s okulárem 25 mm

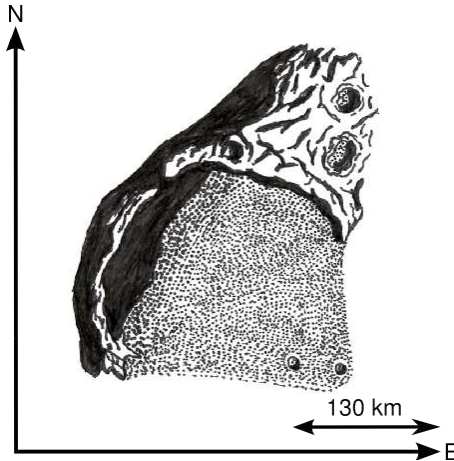
Místo: Ostrava–Vítkovice

Podmínky: 2

Hodnocení: 2

Poznámky:

I když jsem měla vcelku výtečné podmínky, Měsíc byl v době kresby velice vysoko nad obzorem, což mi dost ztížilo možnost vůbec kresbu nakreslit. Ale díky dobrému počasí jsem se rozhodla, že to nějak přetrpím a kresbu nakreslím. První objekt, který jsem se rozhodla nakreslit, byl Sinus Iridium (Záliv duh). Byl opravdu úžasný, jak přes jeho okraj procházel terminátor. Jeho okrajové částičky se doslova koupaly ve tmě. Myslím si, že tento obraz se mi jen tak z hlavy nevytratí! Vřele všem doporučuji, ať se někdy na něj podívají!

Orientace:

Záliv duh se nachází v severozápadní části Mare Imbrium (Moře deště). Nemůžete ho přehlédnout. Je opravdu impozantní. Sinus Iridium má průměr (ve skutečnosti) 260 km. Pro srovnání Mare Imbrium zaujímá plochu 830 000 km². Západní okraj, který se topí ve tmě terminátoru, se nazývá Montes Jura. Spodní výběžek tohoto pohoří se jmenuje Promontorium (mys) Heraclides od kterého jižně přistála Luna 17, která dopravila na Měsící pojízdnou laboratoř Lunochod 1. Proti němu (severovýchodně) se nalézá druhý mys Promontorium Laplace. Nad ním se nalézají dva krátery Maupertuis (46 km) a La Condamine (37 km). Za poslední zmínku stojí dva malé krátery Helicon (25 km) a Le Verrier (20 km), které se nalézají v pravém dolním rohu kresby.

Reinhold, Lansberg a Montes Rhipaeus

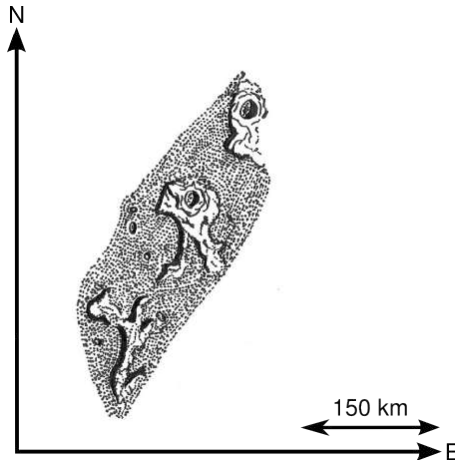
Datum: 20. 3. 2005

Čas kresby: 21.07 UT

21.20 UT

- Colongitudo: 34,1 °
Dalekohled: Dobson (Newton) 200/1200 mm s okulárem 25 mm
Místo: Ostrava–Vítkovice
Podmínky: 2
Hodnocení: 3
Poznámky: Strašně mě bolí v zádech!! Ale říkám si, že by to byla velká škoda, nechat si ujít takovou šanci ještě něco nakreslit. Teď mou pozornost získal zvláštní útvar (asi nějaké pohoří) a dva krátery. Nevím co to je, ale líbilo se mi to. Později se donutím nakouknout do mapy, ať vlastně vím, co jsem nakreslila. Nebylo to ani nějak zvlášť těžké najít, neboť objekt se nacházel kousíček od kráteru Copernicus. Je škoda, že nemůžu použít okulár 5 mm, protože by kresba měla určitě více detailu.

Orientace:



Krátery Reinhold (48 km) a Lansberg (39 km) se nacházejí jihozápadně od kráteru Copernicus. Velice blízko kráteru Lansberg přistála sonda Luna 5. Nevýrazné Montes Rhipaeus (s rozpětím 150 km) se nachází v dolní části kresby.

Bullialdus

- Datum: 20. 3. 2005
Čas kresby: 21.25 UT
 21.35 UT
Colongitudo: 34,4 °

Dalekohled: Dobson (Newton) 200/1200 mm s okulárem 25 mm

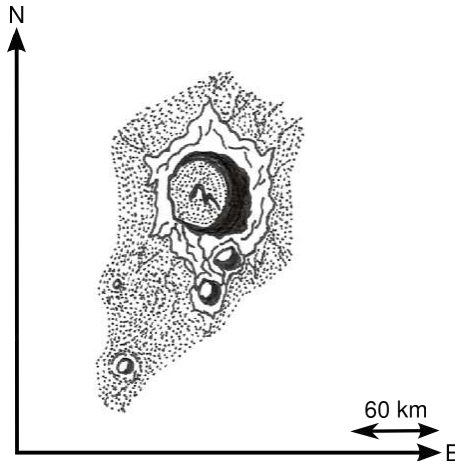
Místo: Ostrava–Vítkovice

Podmínky: 2

Hodnocení: 2

Poznámky: Po asi pětiminutové přestávce jsem se pustila do poslední dnešní kresby. Hledala jsem něco zajímavého a pěkného, co není až tak příliš známé, neboť mě nebaví neustále kreslit jen objekty na Měsíci, které všichni už moc dobře znají. Tento kráter je opravdu velice pěkný a dokonce se mi jevil dosti výrazněji než ostatní krátery kolem. Snad se mi podařilo vystihnout všechny detaily.

Orientace:



Kráter Bullialdus (61 km) se nachází v západní části Mare Nubium. Je to velmi výrazný kráter s terasovými valy a středovými horami. Na kresbě pod ním se nachází dva krátery Bullialdus A a B a pod nima poslední kráter této kresby je König (23 km).

Gassendi a Mare Humorum

Datum: 21. 3. 2005

Čas kresby: 19.24 UT

19.45 UT

Colongitudo: 45,0°

Dalekohled: Dobson (Newton) 200/1200 mm s okulárem 25 mm

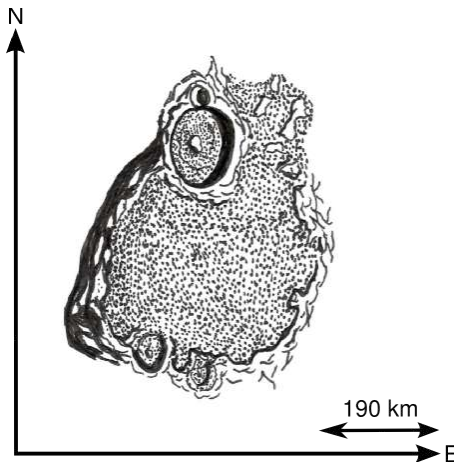
Místo: Ostrava–Vítkovice

Podmínky: 2

Hodnocení: 2

Poznámky: Dnes je opět jasno, ale jako naschvál mám Měsíc zase hodně vysoko nad obzorem. Proto musím zase použít okulár 25 mm a ne 5 mm, se kterým bych měla určitě hodně podrobností. Terminátor od minula dost postoupil a možnost si vybrat něco zajímavého se zmenšila. Avšak narazila jsem na moc pěkný kráter, který se podobal prstýnku, a když jsem se podívala trochu důkladněji zjistila jsem, že kráter leží na okraji Mare Humorum a spolu s ním tvoří další prstýnek. Bylo to opravdu úžasné.

Orientace:



Kráter Gassendi (100 km) se nachází v horní části kresby, na jeho dně se nachází četné brázdy, pahorky a centrální hory. Jeho val je přerušen kráterem Gassendi A (33 km). Mare Humorum nebo též Moře vláhy je kruhové měsíční moře o průměru 380 km a ploše 113 000 km² (pro představu, je o málo větší než ostrov Island na Zemi). Na obrázku jde vidět, jak se jeho západní okraj vynořuje z terminátoru. V jeho spodní části se nachází značně erodovaný kráter Doppelmayer (64 km) a dva malinké krátery Lee (41 km) a Vitello (42 km).

Schiller

Datum: 21. 3. 2005

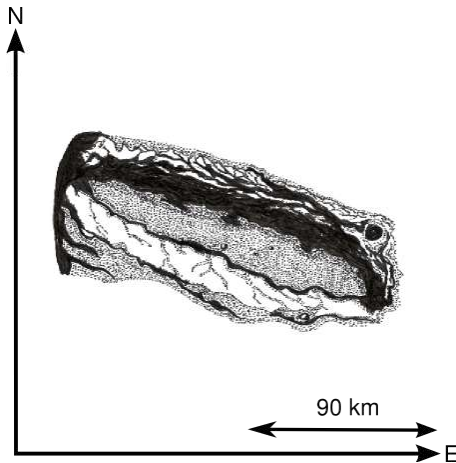
Čas kresby: 19.56 UT

20.35 UT

Colongitudo: 45,7°

Dalekohled: Dobson (Newton) 200/1200 mm s okulárem 5 mm
Místo: Ostrava–Vítkovice
Podmínky: 2
Hodnocení: 3
Poznámky: Musím přiznat, že jsem si přála, aby se už zatáhlo, neboť mě tak bolela ty záda, už ze včerejška. Ale nešlo to! Bylo tak skvěle jasno, že jsem prostě nemohla odejít a vykašlat se na to. Takže jsem se svými žádami uzavřela dohodu, že ještě dvě kresby a pak půjdu. Vrhla jsem se na první kráter Schiller který mě vždy něčím poutal. Dnes se jevil opravdu jasně a stín terminátoru tam vypadal moc dobře a zajímavě.

Orientace:



Kráter Schiller se nachází v jihozápadní části Měsíce. Je to značně protáhlý kráter, který svým tvarem připomíná botu. Jeho rozměry jsou 179×71 km. Nad ním se nachází menší kráter Bayer (47 km). Kráter Schiller je dost blízko terminátoru, tak stojí za povšimnutí, neboť to vypadá jakoby druhá polovička kráteru vůbec nebyla.

Clavius

Datum: 21. 3. 2005

Čas kresby: 20.38 UT

20.55 UT

Colongitudo: 45,8 °

Dalekohled: Dobson (Newton) 200/1200 mm s okulárem 25 mm

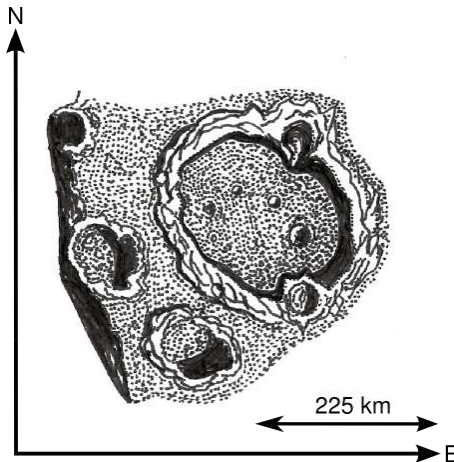
Místo: Ostrava–Vítkovice

Podmínky: 2

Hodnocení: 2

Poznámky: Tak tohle je konečně má poslední kresba za dnešek, takže se ji pokusím nezvorat. Vybrala jsem si Clavius, protože mi v té krajině hustě posetými krátery přišel nejvýraznější a nejzajímavější. Navíc mě zaujalo, jak jsou v něm ještě další malinkaté krátery. Vypadal opravdu úchvatně! Až se někdy budete dívat na Měsíc dalekohledem a bude poblíž Clavia terminátor, tak se stoprocentně na něj podívejte, protože je to opravdu podívaná.

Orientace:

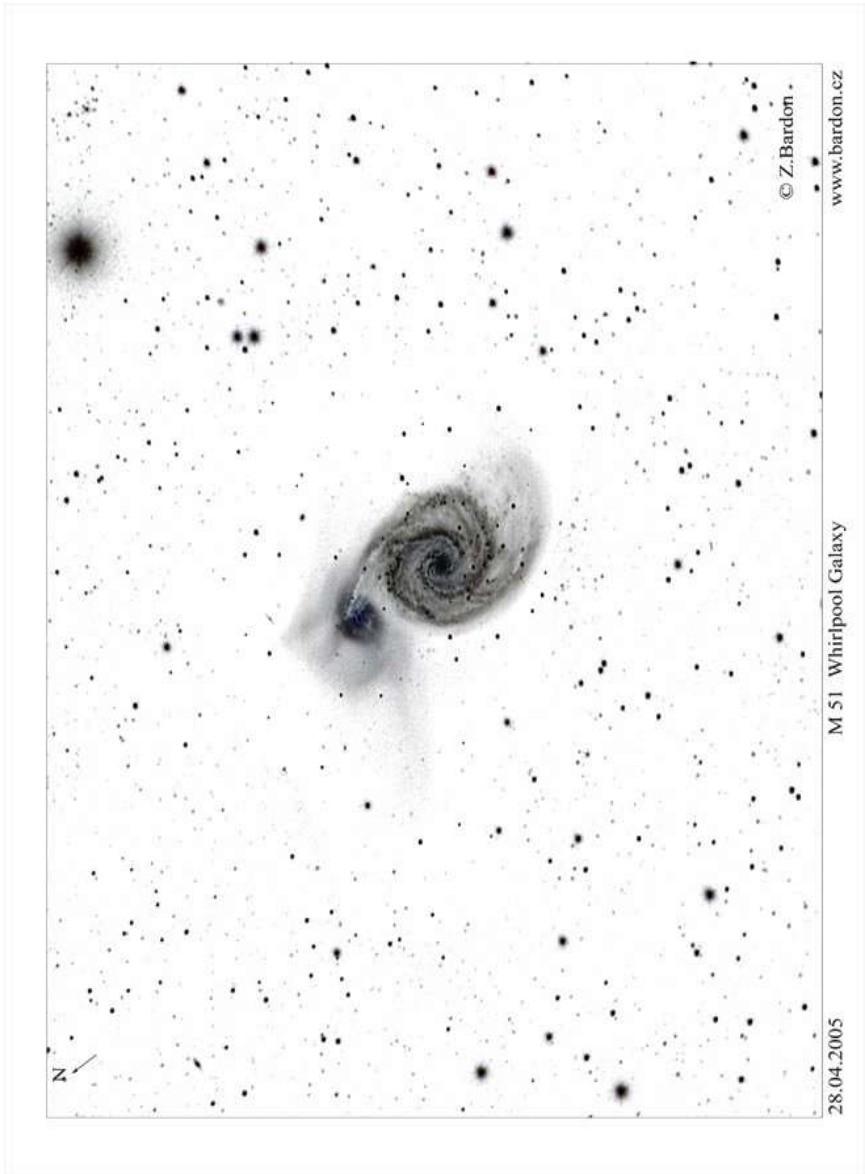


Clavius je jedna z neznámějších valových rovin (255 km). Malé krátery uvnitř se od Rutheforda (v pravém spodním vnitřním okraji Clavia) zmenšují a jsou označeny jako Clavius D, C, A a J. V horním pravém okraji je kráter Porter. Krátery nacházející se pod Claviem (zprava) jsou krátery Blancanus (105 km) a Scheiner (110 km).

Díky Báře za pěkná pozorování. Další příspěvek zaslal Zdeněk Bardon, náruživý to astrofotograf. Snímek nepochybných kvalit stojí jistě za opublikování v plné kvalitě.

Protože se domnívám, že domácích astrofotografií je na Internetu velice málo, tak bych se rád podělil o pěkný astronomický snímek galaxie M 51, která se nachází v souhvězdí Honičích psů.

Dne 28. 4. 2005 jsem za excelentní noci a v naprosté tmě na Šumavě pořídil skvělý astronomický snímek s velkým množstvím detailů. Pro mne je až neuvěřitelné, jaké detaily jsou zobrazeny při použití jen 106mm refraktoru! Součet všech expozic je 3 hodiny a jen snímek



máním této galaxie jsem strávil celou noc. Snímky byly zpracovány v programech MaxIm DL a Photoshop 7CE. Hlavní podíl na výsledku má především klidná a tmavá obloha, která se bohužel stále obtížněji hledá.

Údaje o snímku: datum a čas: 28. 4. 2005, 19:46 UTC; dalekohled: refraktor 106/f5, GP-DX montáž; kamera: ST-2000XM/CFW-8A/A07, LRGB filtry; expozice: celkově 3 hodiny

A to je pro dnešek vše. Budu se těšit zase za dva měsíce, doufám, že s informačně bohatším Bílým trpaslíkem, než je tento. Ale do závisí spíše na vás, potenciálních autorech.

– *sesbíral Michal Švanda* –

Obsah čísla:

Chcete změřit rychlost světla?, Michal Švanda.....	1
Zajímavá pozorování.....	4

Také zaznělo ve Star Treku:

Scotty: „Nejlepší diplomat, kterého znám, je nabíječ phaser!“

Kirk: „Spocku, ženy na vaší planetě jsou logické. Žádná jiná planeta v Galaxii se tím chlubit nemůže.“

Spock: „Slova ‚Zemřete, klingonští psi!‘ v sobě nemají ducha smířlivosti.“

Sulu: „Jak strašný způsob smrti ...“ Kirk: „Není žádný dobrý způsob.“

Garak: „Polib dívku, seber klíč .. tak TOHLE nás nikdy v Obsidiánském řádu neučili!“

Riker: „Kdosi kdysi řekl: ‚Nebud hrdinou, ale člověkem. Nech historii, ať tě ohodnotí.‘ Zefram

Cochrane: „To je rétorický nesmysl. Kdo to řekl?“ Riker: „Vy, za deset let od teď.“

Kirk: „Kdo se tu vměšuje? Jen to tu ... přebíráme.“

McCoy (o tribblech): „Jsou milí, měkci, chlupatí a vydávají příjemné zvuky.“ Spock: „To i housle v kožené šině, a přesto nevidím důvod, proč je vlastnit.“

Kirk (pod žebříkem v turbošachtě): „Tak jo, beru to jako podporu kondice.“ McCoy: „Jo, nebo infarktu!“

McCoy: „Co jsem? Doktor nebo požární jednotka? Kdybych vyskočil pokaždé, když tu něco blikne, skončil bych jako svůj pacient.“



BÍLÝ TRPASLÍK je zpravodaj sdružení Amatérská prohlídka oblohy. Adresa redakce Bílého trpaslíka: Marek Kolasa, Točítá 1177/3, 736 01 Havířov-Podlesí, e-mail: marek@ready.cz. Najdete nás také na WWW stránkách <http://www.astronomie.cz>. Na přípravě spolupracují Hvězdárna a planetárium Mikuláše Koperníka v Brně, Hvězdárna a planetárium Johanna Palisy v Ostravě a Hvězdárna v Úpici. Redakční rada: Jana Adamcová, Jiří Dušek, Eva Dvořáková, Pavel Gabzdyl, Zdeněk Janák, Marek Kolasa, Lukáš Král, Rudolf Novák, Petr Scheirich, Petr Skřehot, Tereza Šedivcová, Petr Štátný, Michal Švanda, Martin Vilášek, Viktor Votruba.

Sazba Michal Švanda písmem Lido STF v programu OpenOffice.org

© APO 2005