POVĚTROŇ

Královéhradecký astronomický časopis

číslo 1/2010
ročník 18

Slovo úvodem. V lednovém Povětroni nejprve pojednáváme o velmi užitečné učební pomůcce, kterou jsme nedávno získali na hvězdárnu v Hradci Králové. Kroužkař Adam Zákravský stručně informuje o výpravě za prosincovými Geminidami. Z pozorovatelského hlediska byla sice výprava naprosto neúspěšná, nicméně jsme si při ní užili dosti legrace a mimochodem jsme objevili pěkné pozorovací stanoviště.

Další články jsou věnovány slunečním hodinám: jednak zvláštním byzantským a jednak hodnocení hodin 4. kvartálu. Nakonec přinášíme zprávu o činnosti našeho dalekohledu.

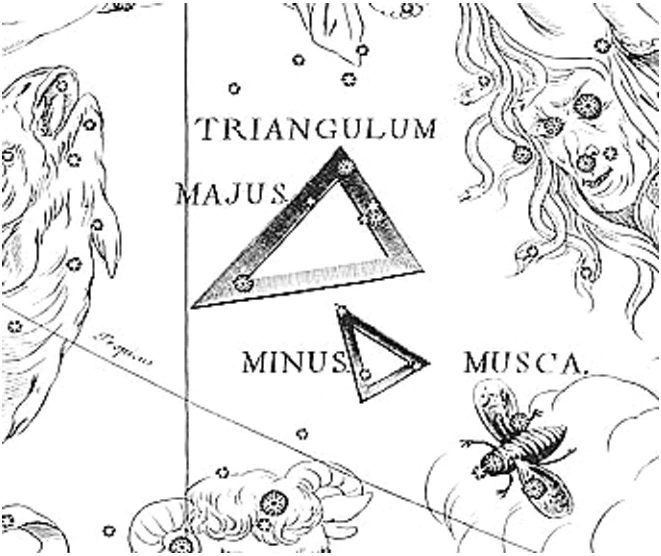
Miroslav Brož

Elektronická (plnobarevná) verze časopisu Povětroň ve formátu PDF je k dispozici na adrese:
⟨http://www.ashk.cz/povetron/⟩

Povětroň 1/2010; Hradec Králové, 2010.
Vydala: **Astronomická společnost v Hradci Králové** (6. 2. 2010 na 228. setkání ASHK) ve spolupráci s **Hvězdárnou a planetáriem v Hradci Králové**
vydání 1., 20 stran, náklad 100 ks; dvouměsíčník, MK ČR E 13366, ISSN 1213–659X
Redakce: Miroslav Brož, Martin Cholasta, Josef Kujal, Martin Lehký a Miroslav Ouhrabka
Předplatné tištěné verze: vyřizuje redakce, cena 35,– Kč za číslo (včetně poštovného)
Adresa: ASHK, Národních mučedníků 256, Hradec Králové 8, 500 08; IČO: 64810828
e–mail: ⟨ashk@ashk.cz⟩, web: ⟨http://www.ashk.cz⟩

Obsah

strana



Titulní strana: Gravitační trychtýř na hvězdárně v Hradci Králové, u kterého školní skupina sleduje spirálující kuličku. Experimentu přihlížejí v pozadí Kepler a Einstein, ale první se tváří zcela nezúčastněně a druhý má oči v sloup a splasknuté ruce. K článku na str. 4.

Gravitační trychtýř

Lenka Trojanová, Miroslav Brož, Miroslav Krejčí

Na hvězdárnu jsme nedávno pořídili „gravitační trychtýř“ (viz obrázek na titulní straně). O jeho funkci pojednává následující článek; začněme však zeširoka, fyzikálními souvislostmi...

Newtonův gravitační zákon a cesta k němu

Už od pradávna se naši předci pokoušeli pochopit pohyb planet. Nicméně až do 16. století byly tyto snahy spíše filozofického charakteru. Na svou dobu revoluční myšlenka dánského astronoma Tychona Brahe (∗ 1546, † 1601), tedy že pouze pravidelným a přesným měřením pohybu planet po obloze bude možné rozhodnout, jakou trajektorii planety opisují, odstartovala rozvoj nebeské mechaniky.

Naštěstí nezůstalo jen u myšlenky. Tycho Brahe po dlouhá léta zaznamenával polohy planet. Jeho měření byla natolik přesná, že když je studoval mladý matematik Johannes Kepler (∗ 1571, † 1630), dokázal z nich odvodit *tři zákony*:

1. planety obíhají kolem Slunce po eliptických drahách. Slunce se nachází v ohnisku těchto elips;
2. plochy opsané průvodičem planety za jednotkovou dobu jsou konstantní;
3. oběžné doby T_1, T_2 a velké poloosy a_1, a_2 drah dvou planet splňují vztah:

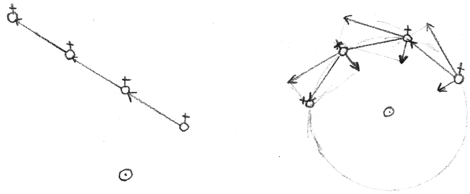
$$\frac{T_1^2}{a_1^3} \doteq \frac{T_2^2}{a_2^3}\,. \tag{1}$$

V té samé době Galileo Galilei (∗ 1564, † 1642) objevil pozoruhodnou vlastnost pohybu, *princip setrvačnosti*. Těleso setrvává v pohybu rovnoměrném (nemění velikost rychlosti) a přímočarém (nemění směr svého pohybu). Samozřejmě pokud na těleso nepůsobí žádné síly, které by případně měnily jeho rychlost nebo směr. Proč pohyb neustane, to nevíme. Víme však, že to tak je.

Celou tuto dosavadní práci, tedy tři zákony Keplerovy a Galileiho princip setrvačnosti, dokonale pochopil a rozšířil Isaac Newton (∗ 1643, † 1727), což mu ve svém velkolepém důsledku umožnilo formulovat gravitační zákon. Myšlenku Galileovu, princip setrvačnosti, chápal tak, že síla je potřebná k změně velikosti rychlosti nebo směru pohybu tělesa. Tato síla $\boldsymbol{F}$ je úměrná součinu hmotnosti m a zrychlení $\boldsymbol{a}$ tělesa:

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}\,. \tag{2}$$

Máme-li tedy pohybující se planetu, její „přirozeností“ je pohybovat se přímočaře. Pohybovat se přímočaře ale znamená odletět od Slunce pryč. K tomu, aby planeta kolem Slunce kroužila, musí existovat síla směřující ke Slunci, která působí kolmo ke směru pohybu planety (obr. 1).



Obr. 1 — (a) Bez působení síly se těleso pohybuje po přímce. (b) Síla vhodné velikosti působící stále kolmo k vektoru rychlosti, způsobí pohyb po kružnici.

Newton dále rozpoznal, že druhý Keplerův zákon (opisování stejných ploch za stejnou dobu) znamená, že všechna odchýlení od přímočarého pohybu jsou přesně radiální, tzn. směřující k centrálnímu tělesu. Je-li totiž plošná rychlost $\frac{\mathrm{d}S}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{2}\,|\boldsymbol{r} \times \boldsymbol{v}|$ konstantní, její časová změna (derivace) musí být nulová, čili:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\frac{\mathrm{d}S}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{2}\left|\overbrace{\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}}^{=\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{v}=0} \times \boldsymbol{v} + \boldsymbol{r} \times \overbrace{\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}}^{=\boldsymbol{a}}\right| = \frac{1}{2}\,|\boldsymbol{r} \times \boldsymbol{a}| = 0\,.$$

Aby poslední rovnost předchozí rovnice byla platná, musí se vektorový součin $\boldsymbol{r}\times\boldsymbol{a}$ rovnat nule. To nastane pokud alespoň jeden z vektorů roven nule anebo pokud mají vektory stejný (nebo přesně opačný) směr. Při křivočarém pohybu je vektor zrychlení nenulový a vektor polohy (průvodič) je také nenulový. Zbývá tedy aby vektor zrychlení a průvodič obíhajícího tělesa ležely v jedné přímce.

Budeme-li hledat velikosti onoho radiálního zrychlení, vyjdeme pro jednoduchost z oběžného pohybu kruhového, nikoli eliptického — použijeme známý vztah pro dostředivé zrychlení (plynoucí jednoduše z geometrie kružnice):

$$a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = \frac{4\pi^2}{T^2} r\,, \tag{3}$$

kde T označuje oběžnou dobu. Z třetího Keplerova zákona (1) ovšem víme, že $T^2 \doteq \mathcal{C} r^3$, kde $\mathcal{C}$ je konstanta platná pro všechny planety. Zrychlení a síla, kterou působí Slunce na planetu, pak nabývají tvaru:

$$a = \frac{4\pi^2}{\mathcal{C}r^3} r = \frac{4\pi^2}{\mathcal{C}r^2}\,, \quad F = ma = \frac{4\pi^2 m}{\mathcal{C}r^2}\,.$$

kde m označuje hmotnost planety.

Pozor! Nezapomeňme na sílu F', kterou působí planeta na Slunce. Podle zákona akce a reakce bude platit:

$$\boldsymbol{F} = -\boldsymbol{F}'\,. \tag{4}$$

Zároveň ve výrazu pro F' musí nějak vystupovat hmotnost M Slunce:

$$F' = Ma' = -F = -\frac{4\pi^2 m}{\mathcal{C} r^2}\,.$$

To lze splnit tehdy, pokud se M „schovává“ v konstantě $\mathcal{C}$:

$$\mathcal{C} = \frac{4\pi^2}{GM}\,,$$

kde G je jiná konstanta, nazývaná gravitační. Dospěli jsme ke konečnému tvaru *Newtonova gravitačního zákona*:

$$F = \frac{GMm}{r^2}\,. \tag{5}$$

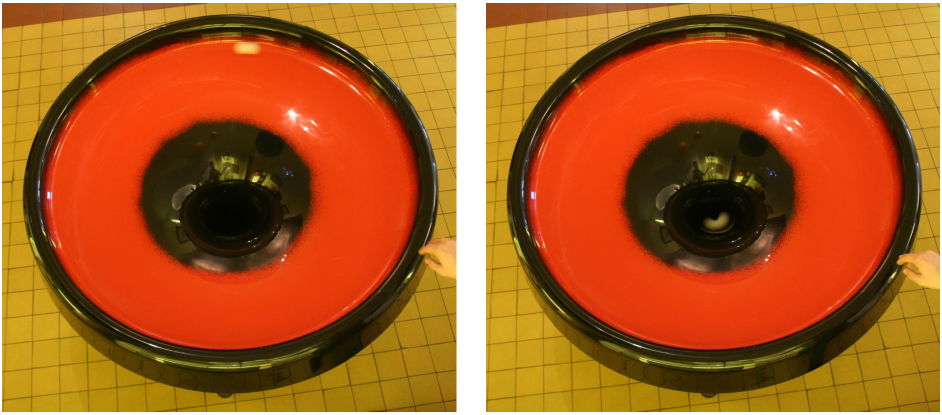
Odvození, která jsme doposud provedli, jsou tu pro to, abychom věděli z čeho je zakřivená plocha našeho trychtýře spočítána. Fyzika kterou používáme je docela jednoduchá. Nemusíme shodit z nebe vzoreček a suše prohlásit, že platí!

Model zakřiveného prostoročasu

Abychom pomohli naší pokulhávající představivosti, zakoupili jsme model gravitační síly ve tvaru hyperbolického trychtýře. Vyrobila jej pro nás společnost Labyrint Bohemia, která v Liberci provozuje velmi pěkné vědecko–zábavní centrum IQ park [1].

Většina vzdělávacích institucí vlastnících takový model ho prezentuje jako černou díru. Vhoďte minci a podívejte se, jakým způsobem je hmota černou dírou pohlcována. My však na černou díru zapomeneme a představíme si, že nálevka (trychtýř) zobrazuje *prostoročas*, zakřivený gravitačním polem Slunce. V dosahu gravitačního pole Slunce se pohybují po eliptických drahách s malou výstředností planety, po elipsách s větší výstředností planetky a po velmi protáhlých drahách (až hyperbolických) komety. Zkusme všechny tyto pohyby předvést na našem modelu.

Pošleme-li malou kuličku přiměřenou rychlostí tečným směrem k největšímu spádu (je ukázáno na obr. 2), začne kulička kroužit a pomalu spirálovat do jámy. Právě tento pohyb nejlépe odpovídá pohybu planet sluneční soustavy, ovšem s tím rozdílem, že planety *nespirálují*, protože se pohybují ve vakuu bez tření. To, že naše kulička nesetrvává na jedné stabilní dráze je způsobeno třením kuličky o povrch trychtýře a o okolní vzduch. Přesto je jeden oběh docela pěkná kružnice.



Obr. 2 — Pohyb kuličky po kruhové trajektorii: (a) ve velké vzdálenosti od centra (Slunce); (b) těsně u centra. Při stejné expoziční době je zřejmé zvýšení rychlosti kuličky a samozřejmě podstatné zkrácení periody oběhu, neboť se postupně zmenšuje obvod trajektorie.

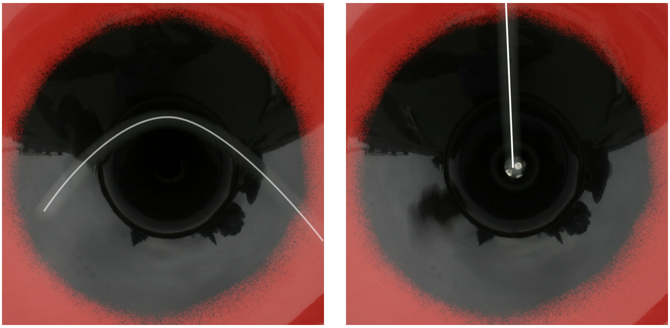
Zkusme poslat kuličku znovu, tentokrát trochu větší rychlostí nebo trochu zešikma. Kulička se pohybuje po velice „šišaté" elipse, říkáme, po elipse s velkou excentricitou.

Nyní se přesvědčme, že je možné z gravitačního pole Slunce uniknout a odletět pryč do vesmíru. Udělme kuličce ještě větší rychlost a pusťme ji pod ještě strmějším úhlem (obr. 3a). Kulička se bude velkou rychlostí přibližovat dnu jámy (ke Slunci) a ejhle, v jednom okamžiku začne z jámy unikat směrem vzhůru, až ji úplně opustí, i když v jiném směru než do ní padala. Dráha, po které se kulička pohybovala při tomto pokusu, byla hyperbolická. Vidíme, že stačí mít dostatečnou rychlost a správný směr k tomu, abychom se přiblížili těsně ke Slunci, a přesto na něj nespadli.

Čeká nás poslední pokus s trajektoriemi. Položme kuličku na horní okraj, aniž bychom ji udělili jakoukoliv rychlost. Kulička po přímce zmizí v jámě (obr. 3b).

Právě popsané pokusy jsou nejjednodušší a ukazujeme je nejčastěji. Naši návštěvníci, kteří pozorují svět nadšenýma očima, dokáží vidět pozoruhodné věci. Pojďme se tedy podívat na další zajímavosti.

Co kdybychom použili dvě kuličky a nechali je obíhat po skoro kruhových dráhách s různými poloměry? Pomocí fixu a kruhových šablon nakreslíme na stěnu trychtýře kružnice. Až se spirálující kulička dotkne 1. kružnice, spustíme stopky a změříme dobu jednoho oběhu. Poloměr dráhy změříme jednoduše na šabloně. Počkáme až kulička „dospiráluje" k druhé namalované čáře a měření zopakujeme. Poměry oběžných dob a poloměrů by měly splňovat 3. Keplerův zákon (1). Při provádění experimentu nezapomeňme měřící nástroje rozdat mezi dobrovolníky z přihlížejícího davu, určitě se je tak povede do pokusu vtáhnout.



Obr. 3 — Fotografovaný pohyb kuličky: (a) po hyperbole, (b) po přímce. Trajektorie byla zvýrazněna tenkou linkou přidanou v počítači.

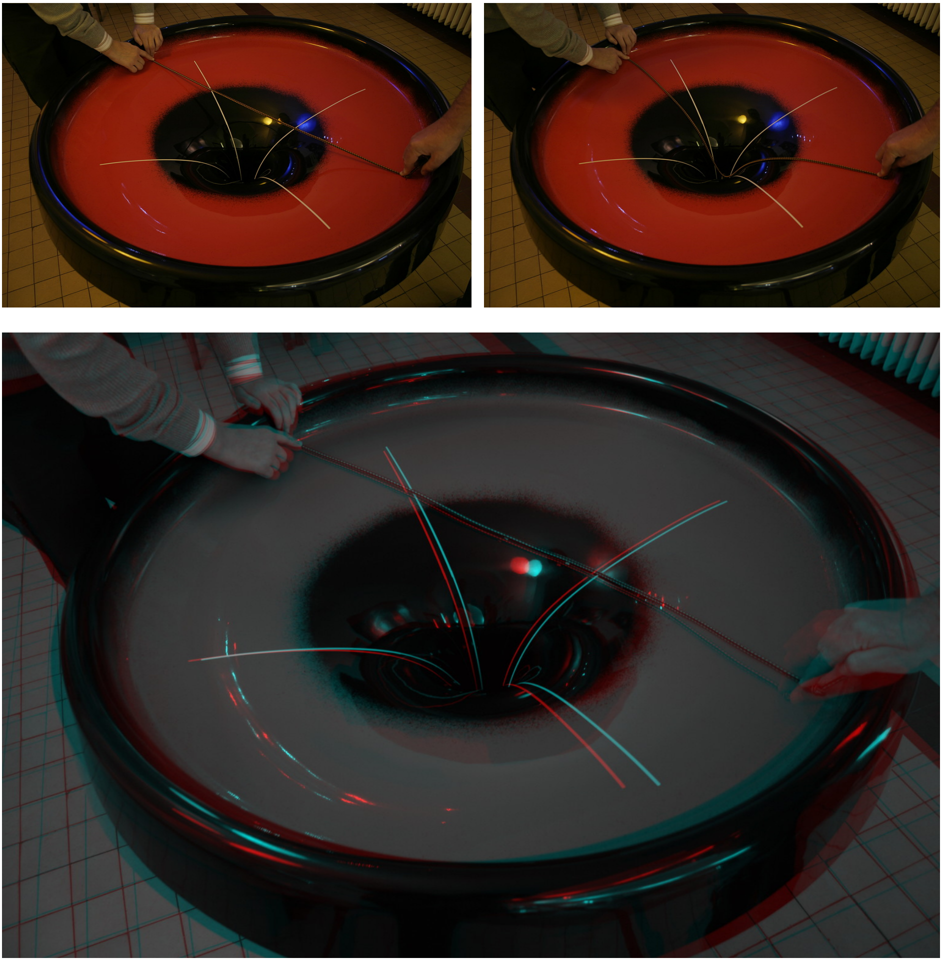
Další problém hodný diskuse je celková mechanická energie kutálející se kuličky. Tření kuličky o povrch trychtýře a o vzduch evidentně způsobuje, že energie kuličky klesá (zvyšuje se teplota kuličky i jejího okolí). Rychlost kuličky se ale během spirálování očividně zvětšuje! Kinetická energie $E_\mathrm{k} = \frac{1}{2}mv^2$ sice roste, ale gravitační potenciální energie $E_\mathrm{p} = mgh$ se naopak zmenšuje (úměrně zmenšující se výšce h kuličky), a to více než E_k.

S trochou nadsázky by se dalo říct, že náš model je „topením“. Výkon tohoto topení dokážeme určit z celkové doby trvání pohybu při spirálování, neb platí:

$$P = -\frac{\Delta E_\mathrm{k} + \Delta E_\mathrm{p}}{t} = -\frac{\frac{1}{2}m\Delta(v^2) + mg\Delta h}{t}\,. \tag{6}$$

Rychlost kuličky v nejvyšším a nejnižším místě spirálního pohybu je možno odvodit z měření oběžné doby. Přírůstek kinetické energie je $\Delta E_\mathrm{k} \doteq 0{,}05\,\mathrm{J}$. Celkovou změnu výšky při pohybu dokážeme změřit přímo a úbytek potenciální energie pak je $\Delta E_\mathrm{p} \doteq -0{,}15\,\mathrm{J}$. Nakonec je třeba změřit, jak dlouhou dobu to kuličce trvá než zmizne v kasičce, $t \doteq 50\,\mathrm{s}$. A dostáváme výkon našeho topení, $P \doteq 0{,}002\,\mathrm{W}$.

Pamatujete na doby, kdy se pořádaly expedice za zatměním Slunce, za účelem měření polohy hvězd v blízkosti slunečního kotouče, motivovány snahou o potvrzení Einsteinovy teorie relativity, která předpovídala změnu směru šíření světla vlivem zakřivení prostoročasu v blízkosti hmotných těles? My na to nepamatujeme, protože nejsme dostatečně staří. Tím spíše zkusíme následující pokus. V každé učebnici optiky najdeme poučku, že světlo se z bodu A do bodu B šíří po *nejkratší* spojnici těchto dvou bodů. Máme-li body A a B namalovány na tabuli (rovině) je jejich nejkratší spojnicí přímka. Ale zde jsou body A a B na stěnách trychtýře a světlo tak musí postupovat s určitou úchylkou (obr. 4).



Obr. 4 — Pokus na šíření světla: (a) bez zakřivení prostoročasu by postup světla zobrazovaly přímočaré paprsky. Ale to zde není možné; (b) pokud paprsek (gumičku) prohneme rovnou dolů, je cesta světla příliš dlouhá; (c) nejkratší cesta, po které se světlo skutečně šíří, získáme pokud změníme směr do strany. Poslední obrázek je „trojrozměrný“ — jde o stereoskopický snímek (anaglyf) pro pozorování červeno–modrými brýlemi.

Na začátku jsme si předsevzali dívat se na trychtýř jako na model gravitačního pole Slunce. Nakonec si ale přece jen představme černou díru. Kdybychom do ní padali po spirále, ohromný gravitační spád by nás roztrhal. Na naše nohy, které by byly k černé díře blíž, by působila mnohem větší gravitační síla než na naši hlavu, od černé díry poněkud dále. Obdobný osud čeká hvězdu, která se náhodou dostane do těsné blízkosti černé díry. Vyzkoušejme, jak se několik kuliček, představující jedno těleso a vypuštěných stejnou rychlostí těsně vedle sebe, v průběhu oběhu od sebe vzdálí (roztrhají se). Takto vznikají akreční disky okolo černých děr, které ve vesmíru skutečně pozorujeme.

Výpočet tvaru trychtýře

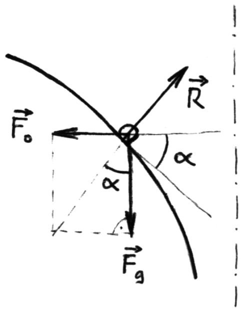
Naším cílem je vypočítat tvar trychtýře tak, aby se pohyb kuličky podobal pohybu planet okolo Slunce. Nejprve budeme uvažovat pohyb kuličky po kružnici, bez valení a bez tření; kulička bude pouze klouzat po trychtýři. Chceme, aby se pohyb kuličky řídil třetím Keplerovým zákonem (v přesném znění):

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G(M_{\text{Slunce}} + M_{\text{planety}})}{4\pi^2}\,, \tag{7}$$

kde a označuje velkou poloosu dráhy, T oběžnou periodu. Pro naše účely to můžeme zjednodušit ($\omega = \frac{2\pi}{T}$ označuje úhlovou frekvenci a K_0 konstantu):

$$r^3\omega^2 \doteq GM_{\odot} = K_0\,. \tag{8}$$

V neinerciální vztažné soustavě spojené s středem kuličky jsou v rovnováze tři síly působící na kuličku: gravitační, reakce podložky a odstředivá (obr. 5).



Obr. 5 — Roviný „řez jámou“: síly působící na kuličku (bodovou hmotnost) v neinerciální soustavě spojené se středem kuličky.

Reakce podložky (stěny trychtýře) směřuje vždy *kolmo* k povrchu. (Jedná se vlastně o elektromagnetickou odpudivou sílu mezi molekulami podložky a molekulami kuličky.) Úhel α, který stěna trychtýře svírá s vodorovnou rovinou, tedy musí být dán poměrem:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}r} = \frac{F_{\text{odstředivá}}}{F_{\text{gravitační}}} = \frac{m\omega^2 r}{mg} = \frac{\omega^2 r}{g}\,.$$

Dosadíme náš požadavek z Keplerova zákona (8) a obdržíme:

$$\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}r} = \frac{K_0}{gr^2}\,, \tag{9}$$

což je obyčejná diferenciální rovnice 1. řádu pro funkci $z(r)$, popisující tvar stěny trychtýře. Jejím obecným řešením je:

$$z(r) = -\frac{K_0}{gr} + K_1\,, \tag{10}$$

tzn. rovnice hyperboly. Konstanty K_0 a K_1 mohu volit podle požadavku na oběžnou periodu kuličky a na výšku trychtýře. Všimněme si, že sklon stěny trychtýře mi vlastně předepisuje rychlost, jakou musím kuličku vyslat, aby se udržela na kruhové dráze:

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \sqrt{\frac{K_0}{r}}\,. \tag{11}$$

To odpovídá rychlosti, kterou by kulička získala při volném pádu z výšky:

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{K_0}{2gr}\,.$$

Případ valení kuličky

Valení je takový pohyb, při kterém je v souladu posuvný a otáčivý pohyb: kulička posouvající se rychlostí v se musí otáčet úhlovou rychlostí $\omega = \frac{v}{R}$ okolo středu, přičemž R označuje poloměr kuličky.

Rozdíl mezi kuličkou valící se a klouzající se je v jejich kinetických energiích ($E_{\mathrm{K\ klouzání}}$ je $\frac{1}{2}mv^2$):

$$E_{\mathrm{K\ valení}} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}\,\frac{2}{5}mR^2\left(\frac{v}{R}\right)^2 = \frac{7}{5}\,\frac{1}{2}mv^2\,. \tag{12}$$

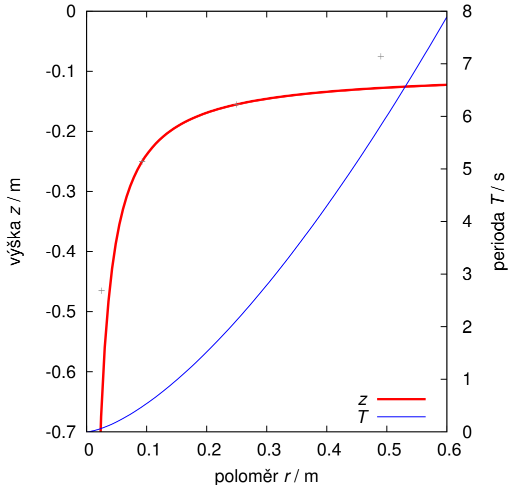
Hybnosti jsou naproti tomu stejné, $\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v}$, (protože otáčející se body kuličky „nahoře“ mají opačnou rychlost než ty „dole“).

Budeme-li analyzovat pohyb kuličky valící se v trychtýři, obdržíme pro tvar trychtýře totožný vztah jako (10) — lineární hybnost kuličky totiž na rotaci kuličky nezávisí. Pro změnu směru stejné hybnosti (neboli zakřivování trajektorie v inerciální vztažné soustavě) je třeba stejná dostředivá síla ($\boldsymbol{F} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{p}}{\mathrm{d}t}$).

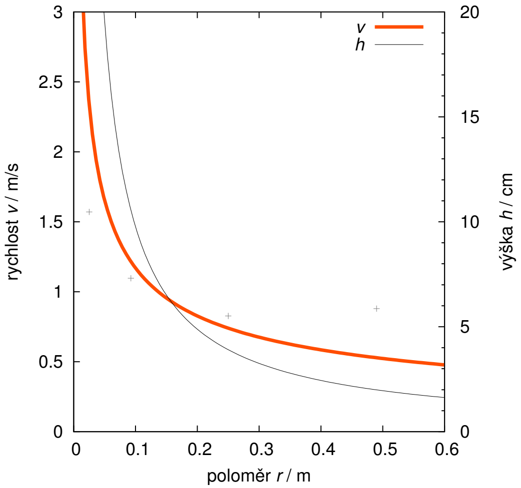
Lišit se ovšem bude vztah pro potřebnou startovací výšku, protože urychlování valící se kuličky je obtížnější: gravitační potenciální energie se musí přeměnit nejen na kinetickou energii posuvného pohybu, ale také na kinetickou energii otáčivého pohybu ($\Delta E_{\mathrm{G}} = mgh = E_{\mathrm{K}} = \frac{7}{5}\frac{1}{2}mv^2$), čili:

$$h = \frac{7}{5}\,\frac{v^2}{2g} = \frac{7}{5}\,\frac{K_0}{2gr}\,. \tag{13}$$

Konkrétní příklad pro trychtýř o poloměru 60 cm a výšce 65 cm je ukázán na obr. 6 a 7. Konstanty byly voleny takto: $K_0 = 0{,}3\,\mathrm{m}^3{\cdot}\mathrm{s}^{-2}$, $K_1 = 0{,}7\,\mathrm{m}$.



Obr. 6 — Tvar trychtýře v souřadnicích (r, z) a odpovídající perioda $T(r)$ oběhu kuličky. Tvar vyrobeného trychtýře (křížky) těmto výpočtům neodpovídá zcela přesně.



Obr. 7 — Rychlost $v(r)$ kuličky v závislosti na poloměru r trajektorie v trychtýři a výška $h(r)$, potřebná pro udělení takové rychlosti (v případě valivého pohybu).

[1] *IQ park* [online]. [cit. 2009-01-12]. ⟨http://www.iqpark.cz⟩.

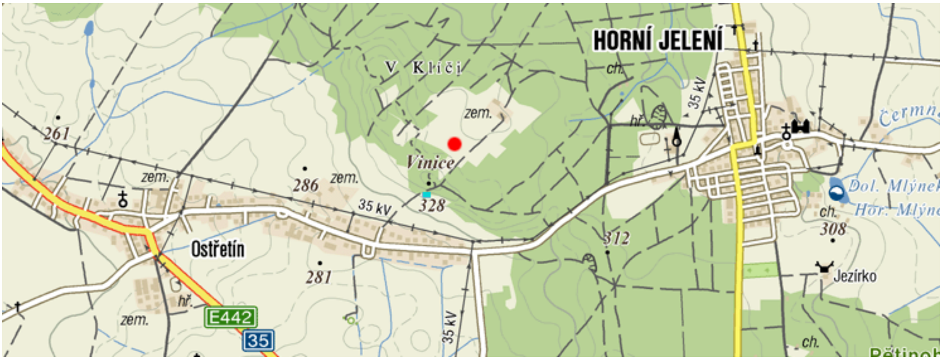
Geminidy 2009

Adam Zákravský

Dne 13. 12. 2009 proběhlo pozorování meteorického roje Geminid. V 18:00 se na hradecké hvězdárně sešlo několik členů ASHK a také pár astronomických kroužkařů. Ovšem počasí nám nepřálo, a proto jsme se po posouzení meteorologických snímků dohodli, že pojedeme do nedalekého Ostřetína. V této vesnici mělo být snad jasno.

Po příjezdu a následném půlkilometrovém pochodu na naše vyhlédnuté stanoviště jsme zjistili, že se překvapení nekoná. Stanoviště bylo sice pěkné, ale i zde se zatáhlo. Rozhodli jsme se, že zůstaneme a uvidíme, zda se počasí vylepší. Nestalo se tak. Aby nám nebyla dlouhá chvíle, zkoušeli jsme různé experimenty s fotoaparáty, které jsme měli s sebou. Například jsme vytvářeli umělé meteory — viz fotografie na ⟨http://www.astrohk.cz/krouzkari/⟩. Odjížděli jsme domů bez jediného spatřeného meteoru, ale s přesvědčením, že příště pojedeme zas!

Obr. 8 — Účastníci výpravy do Ostřetína.



Obr. 9 — Mapa s vyznačeným pozorovacím stanovištěm. Na rozlehlé mýtině je dosti nízký obzor a přitom je zcela stíněné přímé světlo od okolních obcí. Převzato z ⟨http://www.mapy.cz/⟩.

Obr. 10 — Geminidy bývají občas tak jasné, že prosvítí i skrz mraky! Takhle by to mohlo vypadat...

Byzantské sluneční hodiny s kalendářem

Jaromír Ciesla

Z 5. až 6. století pocházejí přenosné sluneční hodiny s kalendářem poháněným ozubeným mechanismem. Tělo přístroje sestává z přední a zadní kruhové desky, po obvodu je spojené obrubou a opatřené závěsným okem.

Dochovala se pouze přední strana, na jejímž povrchu je vyryto několik stupnic a soustava třech ozubených kol. Středovou ryskou je tato deska rozdělena na severní a jižní polovinu. Podél této roviny jsou vynesené úhlové výseče pro výšky Slunce s vyznačenými měsíci pro leden až červen na levé straně a červenec až prosinec na straně pravé. Každý měsíc je navíc rozdělen na tři díly po deseti dnech. Ve zbývajícím prostoru nad a z části i pod touto stupnicí je seznam šestnácti měst s udáním zeměpisné šířky. Všechny texty jsou psány řeckými znaky.

Ve středu kružnice je na čepu otočně uchycen číselník s ukazatelem. Plocha číselníku je tvořena zakřivenou plochou a jednotlivé hodiny jsou vyznačené ryskami bez čísel. Na začátku stupnice je kolmý ukazatel, který při správném nastavení vzhledem ke Slunci vrhá stín na plochu číselníku. V levém horním kvadrantu je po obvodu vyryta stupnice v rozsahu 0 až 90°, s hrubým dělením po 5° a jemným dělením po 1°, sloužící k nastavení zeměpisné šířky stanoviště.

Ve spodní části se nachází stupnice se sedmi piktogramy. Jednotlivé piktogramy v mezikruží rozděleném na sedm dílů symbolizují jednotlivé dny. V otvoru ve středu kružnic je otočně zasazen čep s ručičkou, sloužící k nastavení dne v týdnu.

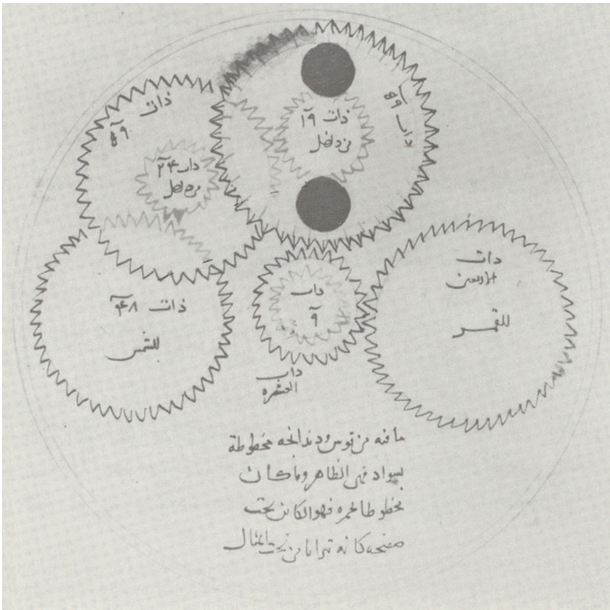
Před použitím slunečních hodin musíme nejdříve nastavit závěs na hodnotu příslušné zeměpisné šířky. Dále musíme natočit ukazatel s číselníkem podle aktuálního data.

Obr. 11 — Snímek dochovaných dílů byzantských hodin převzatý z [1].

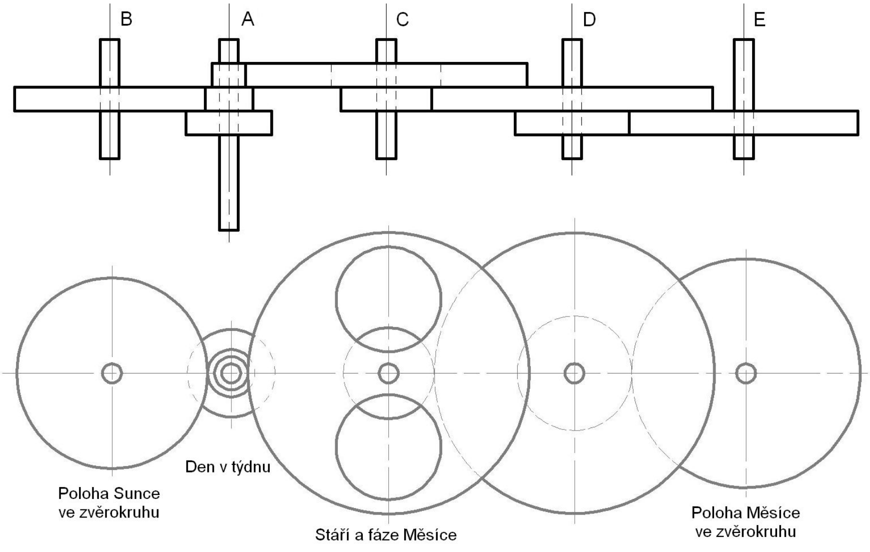
Nastavený přístroj svisle zavěsíme za úchyt a nasměrujeme vzhledem ke Slunci tak, aby stín vržený ukazatelem padal celou svou šířkou na plochu číselníku. Hodinu odečteme podle polohy konce stínu mezi hodinovými ryskami.

Hodiny ukazují *temporární* hodiny, které jsou nerovnoměrné a jejichž délka je závislá na délce světlé části dne. Chyba měření dosahuje v našich zeměpisných šířkách asi 20 minut. V době, kdy byly tyto hodiny používané, se jednalo o velice přesné zařízení, používané nejspíš učenci. Běžnému člověku na velké přesnosti nezáleželo.

Neméně zajímavá byla zadní strana a vnitřek tohoto přístroje. Jak bylo již uvedeno výše, dochovala se toliko přední strana a dvě soukolí. I přes tento nedostatek můžeme provést rekonstrukci celého zařízení, a to díky podrobnému popisu včetně náčrtku, který nám zanechal al-Biruni v knize přibližně z roku 1000. Vnitřek zařízení skrýval důmyslnou sestavu ozubených kol, která byla ovládaná prostřednictvím otočného knoflíku s ručkou, ukazující den v týdnu na přední straně. Tento knoflík je upevněn na osičce uchycené ve vnitřní části, kde je napevno spojená s rohatkovým mechanizmem A3 o sedmi zubech, umožňujícím otáčení jen v jednom směru, co zub to den. Pomocí dvou pastorků A1 a A2 je rozváděn točivý pohyb z hřídelky na dvě velká ozubená kola. Pastorek A2 s deseti zuby pohání kolo B se 40 zuby, jež ukazuje v otvoru na zadní stěně polohu Měsíce ve zvěrokruhu. Druhý pastorek A1 o 7 zubech otáčí velkým kolem C1 s 59 zuby. Po obvodu tohoto kola jsou vyryté znaky ukazující stáří Měsíce. Kolo se otočí jednou za dva synodické měsíce a prostřednictvím dvou kruhových otvorů v tomto kole, jež byly pravděpodobně vyplněné nějakou tmavou hmotou, znázorňují v kruhovém výřezu zadní strany fázi Měsíce. Přes kolo C2 s 19 zuby je další pohyb veden přes soukolí D1



Obr. 12 — Al-Biruniho mechanický kalendář (British Library, MS OR 5593) [4].



Obr. 13 — Schéma řazení ozubených kol [4].

a D2 s 59 a 24 zuby na sluneční kolo E s 48 zuby, jež se otočí jednou za 366,42 dne. Točicí se ukazatel na zadní straně ukazuje polohu Slunce ve zvěrokruhu.

Celková konstrukce, datována do 6. století svědčí o vysoké technické zručnosti a vzdělanosti v období Byzantské říše. Byzantské sluneční hodiny s ozubeným kalendářem jsou často přirovnávané k jinému objevu, k mechanismu z Antikythery, oproti kterému jsou ale podstatně jednodušší. Funkční repliku tohoto přístroje zhotovil dle dostupných pramenů pan Michael T. Wright z Londýna.

Obr. 14 — Zadní strana repliky od pana Michaela T. Wrighta [5]. Kruhová stupnice v levé části se znaky zvěrokruhu a symbolem Slunce a v pravé části stejná stupnice, ale se symbolem Měsíce, ukazují aktuální polohu těles na ekliptice. V kruhovém otvoru ve spodní části je vidět aktuální fázi Měsíce a v přilehlém okénku vlevo se zobrazuje stáří Měsíce. Obrázek přední strany je dostupný v [1].

[1] *Anonymous Byzantine sundial-cum-calendar* [online]. [cit. 2010-01-29]. ⟨http://brunelleschi.imss.fi.it/galileopalazzostrozzi/object/AnonymousByzantineSundialcumcalendar.html⟩.

[2] Field, J.V., Wright, M.T. *Gears from the Byzantines: a Portable Sundial with Calendrical Gearing. Annals of Science*, **42**, 2, s. 87–138, 1985.

[3] *History of Science and Technology in Islam* [online]. [cit. 2010-01-29]. ⟨http://www.history-science-technology.com/Articles/articles%2071.htm⟩.

[4] Koetsier, T. *Mechanical Modeling of Astronomical Phenomana.* in Yan, H.–S., Ceccarelli, M., International Symposium on History of Machines and Mechanisms, s. 270–274, 2008.

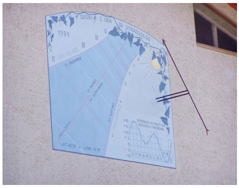
[5] Wright, M.T. *The Antikythera Mechanism and the early history of the Moon-Phase Display. Antiquarian Horology*, **29**, s. 319–320, 2006.

Sluneční hodiny 4. kvartálu

Jaromír Ciesla

Dnem 25. prosince 2009 skončilo další kolo soutěže o hodiny kvartálu, kterého se zúčastnilo sedm hlasujících. I tentokrát bylo opravdu z čeho vybírat, a to zejména zásluhou manželů Uhrinových, kteří nás stále ještě zásobují novými a mnohdy velice pěknými úlovky ze své dovolené. Za uplynulé období přibylo nebo bylo aktualizováno téměř sto záznamů, z nichž se do užšího výběru dostalo 15 domácích a 16 zahraničních.

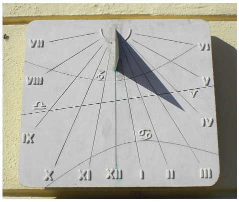
V zahraniční části tentokrát na čele tabulky bodovala výlučně Itálie, a to se svislými slunečními hodinami. Hned první nalezneme ve Strassoldo, Via Tagilio (IT XX 63). Tyto se umístily s osmi body na třetím místě. Nacházejí se na stěně domu mírně natočené k východu. Zajímavě řešené provedení číselníku na dvou rozvinutých svitcích, spojených rovnodennostní přímkou, ohraničeného obratníky a se Sluncem v pozadí. Číselník je navíc doplněn tabulkou s časovou rovnicí.



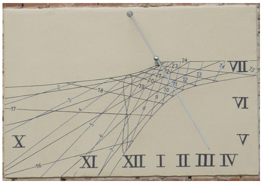
Za hodinami, které se umístily na druhém místě, jeli naší „lovci“ do městečka San Vito al Torre (IT XX 64); získaly 9 bodů. Zde jsou sluneční hodiny umístěné na východní stěně a navíc mají zajímavě řešený úchyt ukazatele. Číselník je ohraničen hyperbolami obratníků a je značen pro pravý i pro letní čas. Součástí číselníku je také graf časové rovnice.

Překvapivě se na první místo nedostaly hodiny mistrně zdobené či bohatě gnómonicky vybavené. Nicméně s přispěním třech hlasujících získaly deset bodů možná na první pohled obyčejné sluneční hodiny v Bressonne (IT BZ 27). Skloubení dvojích různých hodin je však opravdu neobvyklé. Podívejme se na to ale ještě jinak. Historie těchto hodin mohla být docela zajímavá. Původně se totiž na církevních budovách objevovaly výlučně hodiny sluneční. Až s rozvojem mechanických byly sluneční hodiny nahrazovány. Přesnost prvních mechanických hodin ale byla poměrně malá, tudíž mnohdy sluneční hodiny zůstaly z důvodu seřizování přesného času. Mechanické hodiny zde zajišťovaly přehled o čase v době, kdy nesvítilo Slunce. Na věži Dom zu Brixen můžeme vidět takovou zajímavou kombinaci velkých mechanických hodin, pod kterými se nachází menší číselník rozdělený po čtvrt hodinách. Tento malý ciferník, jenž zde zastupuje minutovou ručičku, je umístěn v ploše jižních svislých slunečních hodin.

V domácí části soutěže se umístily na třetím místě se ziskem deseti bodů hodiny z Vrchlabí, Vančurovy ulice čp. 1547 (TU 37). Svislé sluneční hodiny na JV stěně jsou konstruované tak, aby konec stínu ukazatele ukazoval polohu Slunce mezi obratníky. Hodiny jsou po grafické a gnómonické stránce velice dobře navržené a snadno čitelné.



Na druhém místě se umístily hned dvoje hodiny se stejným ziskem 11 bodů. Jedny díky své jednoduchosti, přehlednosti a celkovému provedení — nacházejí se v Prostějově (PV 18). Hodiny jsou provedené jako odlitek s rytými datovými a hodinovými čarami. Při porovnání číselníku s azimutem 10° západně, provedeném v programu Orologi Solari, vychází číselník velice přesně. Při hodnocení hodin se objevilo několik postesknutí, že jsou tak malinké. Spolu s nimi se na tomto místě „tísní“ ještě hodiny ve Svitavách (SY 56). Zčásti pro svojí originalitu, jelikož jsou řešené jako vitráž, která je u nás velmi neobvyklá, a také pro čisté a vkusné provedení.



Nejvíce hlasujících, celkem šest, dalo své hlasy hodinám v obci Libavské Údolí 9 (SO 17), jejichž autory jsou ing. Arch. P. Šváb a ing. K. Řezníček. Hodiny o rozměru 1,5 krát 1 m jsou situované na JZ štítu domu. Číselník upoutává pozornost použitím několika hodinových systémů. Tyto umožňují určit uplynulou dobu od západu Slunce předchozího dne a dobu zbývající do Slunce západu. Čísla po obvodu číselníku příslušejí hodinovým čarám pro místní sluneční čas, které jsou snad v plánu. Alespoň slabě znatelné rysky při okraji číselníku tomu nasvědčují. Hodiny jsou vybavené analemou a také sedmi datovými čarami.

Nejoriginálnějším nápadem, který se do katalogu dostal, je „Pták Šplhavec“ (PT 39) ve Svinné Ladě, kde je princip slunečních hodin použit jako didaktická pomůcka vysvětlující koloběh při obnově lesa.

A jak jsem hodnotil já? Z důvodů absence hodinových čar a nejasnému umístění analemy na hodinám SO 17, která patrně leží v poloze pro 12. hodinu SEČ jsem nakonec plný počet hlasů nedal, ač bych rád. Stejný počet, 4 body, jsem dal také hodinám PV 18 v Prostějově za gnómicky čisté a přesné provedení, s výhradou, že jsou trochu malé. Třetím kandidátem se třemi body byly vitrážové hodiny SY 56 ve Svitavách, pro netradiční provedení na jihovýchodní stěně. Pouze myslím, že hodinovou rysku pro třetí hodinu asi v našich polohách nevyužijí, ale jinak jsou opravdu pěkné.

Zpráva o činnosti JST za rok 2009

Martin Lehký

Pozorovací čas na automatizovaném Dalekohledu Jana Šindela (0,40 m, $f/5$) byl v roce 2009 věnován především zákrytovým dvojhvězdám. Většinou se jednalo o slabé a málo sledované objekty z projektu Sekce proměnných hvězd a exoplanet při České astronomické společnosti (SPHE). Do výběru se dostalo celkem 38 hvězd a výsledná fotometrie přinesla 53 okamžiků minim. Největším úlovkem se stala ztracená minima hvězd V430 Lac a V1060 Her.

Pokračoval i program astrometrie malých těles sluneční soustavy. V průběhu tří nocí bylo celkem sledováno 5 komet a pořízeno 35 přesných pozic. Kompletní statistiku a astrometrická měření pořízená na stanici 048 Hradec Králové je možno nalézt na stránce ⟨http://astro.sci.muni.cz/lehky/astrometry.html⟩.

Využití observačního času na JST se v letošním roce přiblížilo období předchozímu. Softwarové vybavení zůstalo beze změn. Ke zpracování fotometrických pozorování byl využíván CMunipack 1.1.26 Davida Motla. Ke zpracování astrometrických měření byl využíván profesionální program Aphot od Miroslava Velena a Petra Pravce z ondřejovské observatoře.

Okamžiky minim byly odeslány do SPHE a připraveny k publikaci v Open European Journal on Variable stars a astrometrická data byla publikována v cirkulářích Minor Planet Electronic Circulars.