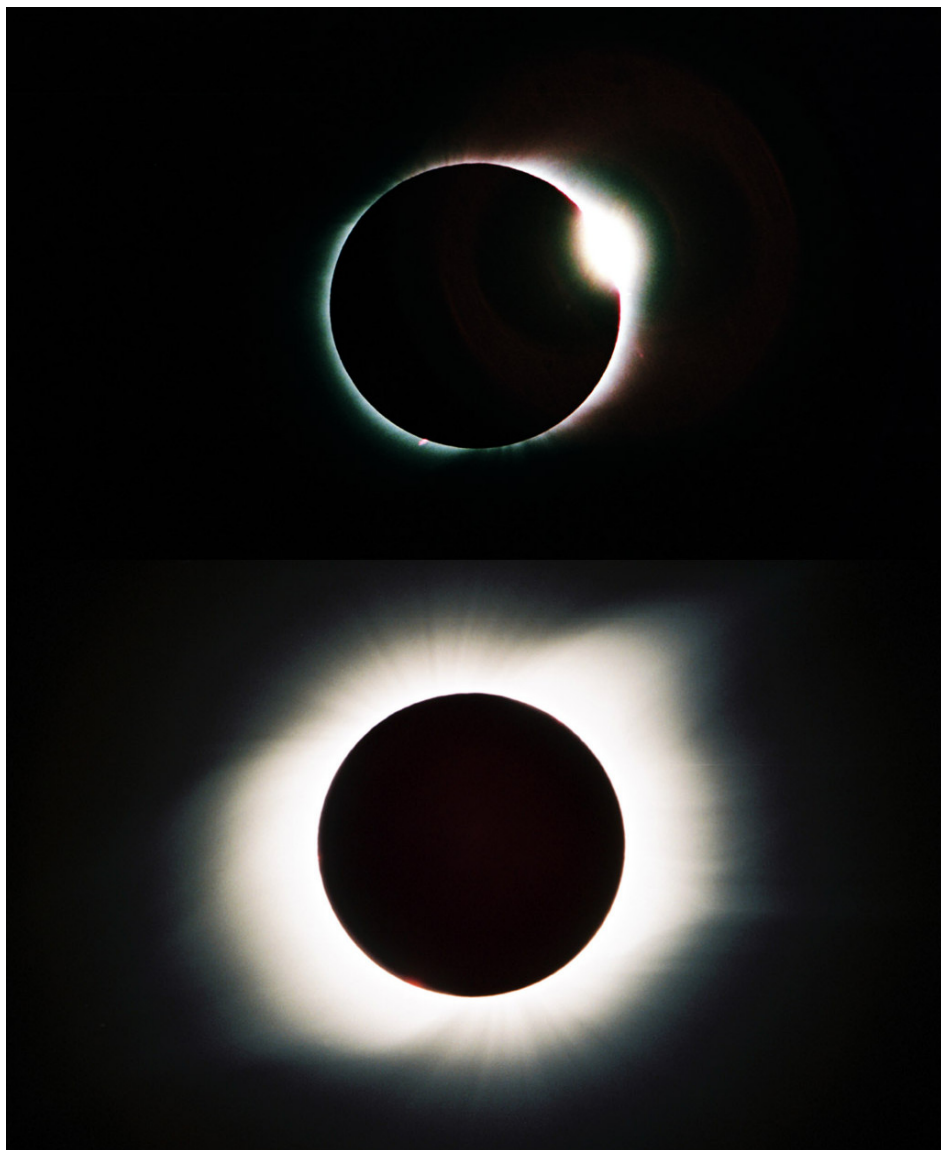


# POVĚTROŇ

Královéhradecký astronomický časopis

číslo 5/2008  
ročník 16



SLOVO ÚVODEM. V Astronomickém kurzu tentokrát podrobně diskutujeme problém tří těles a některé jeho aplikace ve sluneční soustavě, například obíhání komety ovlivněné planetou Jupiter.

Nešťastným pozorovatelům, jimž unikla srpnová zatmění Slunce a Měsíce, jsou určeny reportáže Petra Horálka, které vás přímo vtáhnou do děje. V Hradci na hvězdárně jsme viděli sice jen částečné sluneční zatmění, ale stálo za to! Viz alespoň obrázek na poslední straně obálky.

Na závěr je řazena krátká, ale úsměvná citace ze starých tisků.

Miroslav Brož

Elektronická (plnobarevná) verze časopisu *Povětroň* ve formátu PDF je k dispozici na adrese:

<http://www.astrohk.cz/ashk/povetron/>

---

Povětroň 5/2008; Hradec Králové, 2008.

Vydala: **Astronomická společnost v Hradci Králové** (6. 9. 2008 na 211. setkání ASHK)

ve spolupráci s **Hvězdárnou a planetáriem v Hradci Králové**

vydání 1., 28 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](mailto:ashk@ashk.cz), web: <http://www.ashk.cz>

## Obsah

strana

Miroslav Brož: <i>Astronomický kurz (7) — Problém tří těles</i> .....	4
Petr Horálek: <i>V. expedice SAROS</i> .....	18
Petr Horálek: <i>Tak jsem spatřil i třetí letošní zatmění</i> .....	25
Martin Lehký: <i>Ze starých tisků XVII</i> .....	27



**Obr. 1** — Úplné zatmění Slunce v Novosibirsku 1. 8. 2008. Snímek s krátkou expoziční dobou 1/250 s, vhodnou pro zachycení protuberancí. Použitý přístroj Canon Eos 300D s objektivem Rubinar 5,6/500. Foto Dalibor Hanzl.

---

Titulní strana: Bailyho perla a koróna při úplném zatmění Slunce 1. 8. 2008, v 10 h 46 min a 10 h 47 min UT. Pořízeno kamerou Nikon a objektivem Rubinar 10/1000, při expoziční době 1/500 s a 1/8 s na filmový materiál. Foto Martin Lehký. K článku na str. 18.

Naším cílem je nahlédnout, jak se pohybují Slunce, Jupiter a kometa (tělesa 1, 2, 3). Abychom si problém zjednodušili na únosnou úroveň, budeme předpokládat, že kometa má hmotnost  $m_3 = 0$  a že Jupiter se okolo Slunce pohybuje nerušeně po kružnici (jako v problému dvou těles s excentricitou  $e = 0$ ). Takovou úlohu nazýváme *kruhový omezený problém tří těles*. Omezený proto, že kometa nepůsobí gravitací na Jupiter a Slunce, pouze Slunce a Jupiter působí na kometu a na sebe navzájem. (Beztak by kometa neměla šanci obíhání Jupitera ovlivnit.)

Pro Slunce a pro Jupiter ani nemusíme psát pohybové rovnice, protože jejich řešení známe — v inerciální soustavě s počátkem v hmotném středu jsou to rovnice kružnic:

$$\mathbf{r}_1 = \left( -a_J \frac{\overbrace{m_2}^{\bar{\mu}}}{m_1+m_2} \cos nt, -a_J \frac{m_2}{m_1+m_2} \sin nt, 0 \right),$$

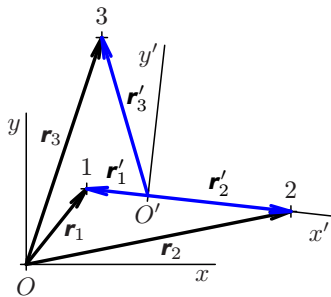
$$\mathbf{r}_2 = \left( a_J \frac{\overbrace{m_1}^{1-\bar{\mu}}}{m_1+m_2} \cos nt, a_J \frac{m_1}{m_1+m_2} \sin nt, 0 \right),$$

kde  $a_J \doteq 5,2 \text{ AU}$  je vzdálenost Slunce–Jupiter a  $n = \sqrt{\frac{G(m_1+m_2)}{a_J^3}} \doteq 0,00145 \frac{\text{rad}}{\text{den}}$  jeho střední pohyb (neboli úhlová frekvence vzájemného obíhání).

Pro kometu platí pohybová rovnice (odvozená z Newtonových zákonů):

$$\ddot{\mathbf{r}}_3 = -\frac{Gm_1}{|\mathbf{r}_3 - \mathbf{r}_1|^3} (\mathbf{r}_3 - \mathbf{r}_1) - \frac{Gm_2}{|\mathbf{r}_3 - \mathbf{r}_2|^3} (\mathbf{r}_3 - \mathbf{r}_2). \quad (1)$$

Bohužel, v těchto třech diferenciálních rovnicích 2. řádu vystupují explicitní funkce času  $\mathbf{r}_1(t)$ ,  $\mathbf{r}_2(t)$  a jejich průběh neznáme. Naštěstí se ale můžeme  $t$  zbavit. . .



**Obr. 2** — Nákres tří těles v inerciální vztažené soustavě  $O_{xyz}$  s počátkem ve hmotném středu a definice vektorů  $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3, \mathbf{r}'_1, \mathbf{r}'_2, \mathbf{r}'_3$ . Naznačena je též otočená souřadnicová soustava  $O'_{x'y'z'}$ .

## Otáčející se souřadnicová soustava. Coriolisovo a odstředivé zrychlení

Otočíme-li souřadnicovou soustavu okolo osy  $z$  o úhel  $\varphi = nt$ , Slunce a Jupiter se v nových čárkovaných souřadnicích nehnou z místa:

$$\begin{aligned}\mathbf{r}'_1 &= (-\bar{\mu}a_J, 0, 0), \\ \mathbf{r}'_2 &= ((1-\bar{\mu})a_J, 0, 0).\end{aligned}$$

Tuto transformaci souřadnic můžeme zapsat maticově jako  $\mathbf{r}' = \mathbf{R}_z(\varphi) \mathbf{r}$ , resp.  $\mathbf{r} = \mathbf{R}_z(-\varphi) \mathbf{r}'$ , čili ve složkách (viz Povětroň 3/2007, str. 12):

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos nt & -\sin nt & 0 \\ \sin nt & \cos nt & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \cos nt - y' \sin nt \\ x' \sin nt + y' \cos nt \\ z' \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Pro dosažení do pohybové rovnice (1) budeme ovšem potřebovat také druhé derivace souřadnic podle času, které teď musíme vypočítat. Nejprve rychlosti:

$$\begin{aligned}\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \dot{x}' \cos nt - x' n \sin nt - \dot{y}' \sin nt - y' n \cos nt \\ \dot{x}' \sin nt + x' n \cos nt + \dot{y}' \cos nt - y' n \sin nt \\ \dot{z}' \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} (\dot{x}' - ny') \cos nt - (\dot{y}' + nx') \sin nt \\ (\dot{y}' + nx') \cos nt + (\dot{x}' - ny') \sin nt \\ \dot{z}' \end{pmatrix}, \quad (3)\end{aligned}$$

poté zrychlení:

$$\begin{aligned}\begin{pmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} (\ddot{x}' - n\dot{y}') \cos nt - (\dot{x}' - ny') n \sin nt - (\ddot{y}' + n\dot{x}') \sin nt - (\dot{y}' + nx') n \cos nt \\ (\ddot{y}' + n\dot{x}') \cos nt - (\dot{y}' + nx') n \sin nt + (\ddot{x}' - n\dot{y}') \sin nt + (\dot{x}' - ny') n \cos nt \\ \ddot{z}' \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \underbrace{(\ddot{x}' - 2n\dot{y}' - n^2x')}_{\mathbf{a}_{\text{Coriolisovo}}} \cos nt - (\dot{y}' + 2n\dot{x}' - n^2y') \sin nt \\ (\dot{y}' + 2n\dot{x}' - n^2y') \cos nt + \underbrace{(\ddot{x}' - 2n\dot{y}' - n^2x')}_{\mathbf{a}_{\text{odstředivé}}} \sin nt \\ \ddot{z}' \end{pmatrix}. \quad (4)\end{aligned}$$

Vidíme, jak se nám zde „vyloupla“ dvě nová zrychlení: *Coriolisovo* a *odstředivé*; první závisí na rychlosti jako  $-2\mathbf{n} \times \mathbf{v}$  (zde je vektorový součin) a druhé na souřadnicích jako  $n^2 \mathbf{r}_\perp$  od osy otáčení — přesně jak jsme u odstředivé síly zvyklí. Jejich podstatou není nějaké fyzikální působení (jako je třeba gravitace), ale objevují se pouze z důvodu transformace souřadnic do neinerciálního systému. Proto jim ostatně říkáme zrychlení *zdánlivá*.

Dosazení provedeme nejprve pro složku  $x$  (vzdálenosti se při otáčení zachovávají, tudíž jsme je ve jmenovatelích napsali rovnou v nových souřadnicích):

$$\begin{aligned} & (\ddot{x}'_3 - 2n\dot{y}'_3 - n^2x'_3) \cos nt - (\dot{y}'_3 + 2n\dot{x}'_3 - n^2y'_3) \sin nt = \\ & = -\frac{Gm_1}{[(x'_3 + \bar{\mu}a_J)^2 + y_3'^2 + z_3'^2]^{3/2}} \cdot [(x'_3 + \bar{\mu}a_J) \cos nt - y'_3 \sin nt] - \\ & -\frac{Gm_2}{[(x'_3 - (1-\bar{\mu})a_J)^2 + y_3'^2 + z_3'^2]^{3/2}} \cdot [(x'_3 - (1-\bar{\mu})a_J) \cos nt - y'_3 \sin nt]. \end{aligned}$$

Použijeme teď dva triky:

1. sdružíme členy s  $\cos nt$  a členy se  $\sin nt$  a uvědomíme si, že mají-li rovnice platit pro *libovolné*  $t$ , musejí se rovnat koeficienty u těch sínů a kosínů;
2. vynecháme čárky a index  $_3$ , abychom se z nich nezbláznili (beztak tam nic jiného než  $x'_3$ ,  $y'_3$  a  $z'_3$  nevystupuje).

Výsledkem jsou tyto *pohybové rovnice pro kometu v korotujícím systému*:

$$\ddot{x} - 2n\dot{y} - n^2x = -G \left[ m_1 \frac{x + \bar{\mu}a_J}{R_1^3} + m_2 \frac{x - (1-\bar{\mu})a_J}{R_2^3} \right], \quad (5)$$

$$\ddot{y} + 2n\dot{x} - n^2y = -G \left[ \frac{m_1}{R_1^3} + \frac{m_2}{R_2^3} \right] y, \quad (6)$$

$$\ddot{z} = -G \left[ \frac{m_1}{R_1^3} + \frac{m_2}{R_2^3} \right] z, \quad (7)$$

kde relativní vzdálenosti jsou:

$$\begin{aligned} R_1 &= [(x + \bar{\mu}a_J)^2 + y^2 + z^2]^{1/2}, \\ R_2 &= [(x - (1-\bar{\mu})a_J)^2 + y^2 + z^2]^{1/2} \end{aligned}$$

a  $\bar{\mu} = \frac{m_2}{m_1+m_2}$  (tj. malý parametr řádu  $10^{-3}$  pro Jupiter a Slunce). Žel, ani tyto rovnice neumíme obecně řešit (tzn. najít 6 skalárních funkcí  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$ ,  $\dot{x}(t)$ ,  $\dot{y}(t)$  a  $\dot{z}(t)$ ). Zdálo by se, že jsme si otáčením příliš nepomohli, nicméně...

## Jacobiho integrál

Alespoň můžeme najít jeden velmi užitečný integrál pohybu: rovnice (5), (6), (7) vynásobíme po řadě  $\dot{x}$ ,  $\dot{y}$ ,  $\dot{z}$ , sečteme:

$$\begin{aligned} \dot{x}\dot{x} + \dot{y}\dot{y} + \dot{z}\dot{z} - n^2(x\dot{x} + y\dot{y}) &= -G \left[ m_1 \frac{x + \bar{\mu}a_J}{R_1^3} + m_2 \frac{x - (1-\bar{\mu})a_J}{R_2^3} \right] \dot{x} - \\ &- G \left[ \frac{m_1}{R_1^3} + \frac{m_2}{R_2^3} \right] (y\dot{y} + z\dot{z}) \end{aligned}$$

a jednou integrujeme podle času:<sup>1</sup>

$$\frac{1}{2}(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) - \frac{n^2}{2}(x^2 + y^2) = G \left[ \frac{m_1}{R_1} + \frac{m_2}{R_2} \right] + C,$$

kde  $C$  je integrační konstanta. Nakonec násobíme dvěma a značíme  $-2C = C_J$  jako *Jacobiho integrál*:

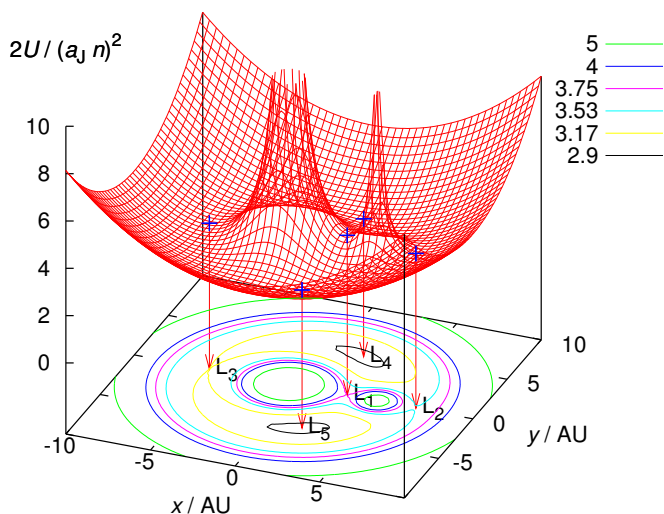
$$C_J = \overbrace{n^2(x^2 + y^2) + 2G \left[ \frac{m_1}{R_1} + \frac{m_2}{R_2} \right]}^{2U} - \overbrace{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2)}^{v^2}, \quad (8)$$

kde  $U(x, y, z)$  označuje efektivní potenciál (funkci souřadnic) a  $v$  rychlost komety vzhledem k neinerciální rotující soustavě (v níž jsou Slunce a Jupiter v klidu). Hodnotu  $C_J$  pro danou kometu můžeme vypočítat z počátečních podmínek (souřadnic a rychlostí) komety prostým dosazením do (8).

Užitečnost Jacobiho integrálu spočívá v tomto:  $v^2$  je pochopitelně nezáporné, čili musí vždy platit:

$$v^2 = 2U - C_J > 0.$$

To ale znamená *omezení pro pohyb komety* — když si nakreslíme „vrstevnice“ funkce  $U$  (obr. 3), tak pouze v místech, kde  $2U > C_J$ , je pohyb dovolen!



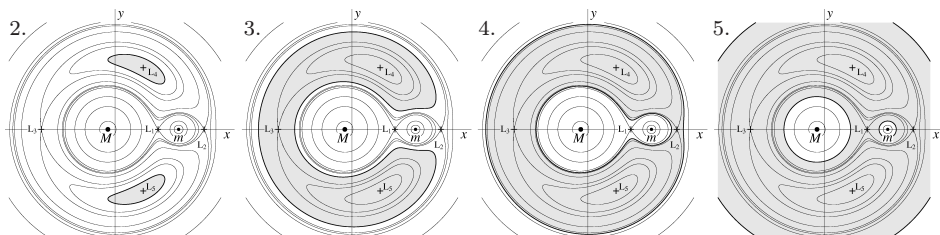
**Obr. 3** — Graf efektivního potenciálu  $2U(x, y, 0)$  a příslušné izočáry; pro systém s poměrem hmotností  $\bar{\mu} = 0,2$ . Hodnoty  $2U$  jsou uváděny v jednotkách  $(a_J n)^2$ .

<sup>1</sup> S vědomím, že derivace výrazu  $\frac{1}{R_1} = [(x + \bar{\mu}a_J)^2 + y^2 + z^2]^{-1/2}$  je rovna  $-\frac{1}{2}[(x + \bar{\mu}a_J)^2 + y^2 + z^2]^{-3/2} \cdot [2(x + \bar{\mu}a_J)\dot{x} + 2y\dot{y} + 2z\dot{z}]$  a podobně pro  $\frac{1}{R_2}$ .

Pro určitou dráhu komety, tedy určité  $C_J$  lze nakreslit *křivku nulové rychlosti*. Když se bude kometa přibližovat k příslušné křivce, mohu si být jist, že ji nepřekročí, ale kolmo se od ní „odrazí“.

Všimněme si vzhledu grafu funkce  $2U$  z hlediska topologického: je na něm pět inflexních bodů, označených  $L_1$  až  $L_5$ . Podle hodnoty  $C_J$  můžeme rozlišit pět případů, jak vypadají dovolené a zakázané oblasti (obr. 4):

1.  $C_J < \text{potenciál } 2U(\text{v bodě } L_4) = 2U(L_5)$ : pohyb je dovolen v celé rovině  $x, y$ . To je ostatně přirozené — když kometě udělím obrovskou rychlost (a  $C_J$  pak vychází malé), doletí kamkoliv.
2.  $2U(L_4) = 2U(L_5) < C_J < 2U(L_3)$ : dvě zakázané oblasti jsou v okolí bodů  $L_4$  a  $L_5$ , jinde je pohyb dovolen.
3.  $2U(L_3) < C_J < 2U(L_2)$ : zakázané oblasti obepínají body  $L_3, L_4$  a  $L_5$  ve tvaru podkovy; kometa může letět pryč od Slunce pouze kolem Jupitera.
4.  $2U(L_2) < C_J < 2U(L_1)$ : kometa může létat v blízkosti Slunce i Jupitera, ale nemůže se odtud dostat za bod  $L_2$ . Také se zpoza bodu  $L_2$  nemůže dostat dovnitř.
5.  $C_J > 2U(L_1)$ : kometa může buď obíhat Slunce, nebo Jupiter, anebo obíhá tuto dvojici ve velké vzdálenosti, nemůže však mezi orbitami přecházet.



**Obr. 4** — Tvary dovolených (bílých) a zakázaných (šedých) oblastí v problému tří těles. Obrázky odpovídají případům 2., 3., 4. a 5. diskutovaným v textu. Porovnejte též s obr. 3. Převzato z [1].

Dva zvláštní tvary drah dostaly svoje názvy: pokud se těleso pohybuje pouze v okolí bodu  $L_4$  (nebo  $L_5$ ), jedná se o orbitu typu „pulec“ (angl. tadpole); například Trojané mají takové dráhy. Obíhá-li těleso body  $L_4, L_3$  a  $L_5$  tam a zpět, jde o typ „podkova“ (horseshoe); pěknými komplikovanými příklady ze sluneční soustavy mohou být asteroid (3753) Cruithne v rezanci 1/1 se Zemí nebo ko-orbitální satelity Saturnu Janus a Epimetheus.

### Tisserandův parametr

Při obíhání samotné komety okolo Slunce (v problému dvou těles) by byly keplerovské orbitální elementy ( $a, e, I, \varpi, \Omega$ ) konstantami. Při blízkém přiblížení komety k Jupiteru (v problému tří těles), ale evidentně konstantní nebudou —



Jupiter může zcela změnit velkou poloosu, excentricitu i sklon její dráhy (viz obr. 7).

I při výrazně odlišné dráze před přiblížením a po přiblížení však můžeme poznat, že se vlastně jedná o tutéž kometu, a to s využitím Jacobiho integrálu, který se v problému tří těles zachovává vždy, i při blízkých přiblíženích. Potřebujeme pouze vyjádřit  $C_J$  v inerciálních (nečárkovaných) souřadnicích a pak jako funkci  $a, e, I$ .

Nejprve opišme Jacobiho integrál v neinerciálních (čárkovaných) souřadnicích:

$$C_J = n^2(x'^2 + y'^2) + 2G \left[ \frac{m_1}{R_1} + \frac{m_2}{R_2} \right] - (\dot{x}'^2 + \dot{y}'^2 + \dot{z}'^2).$$

Provedme zpětnou transformaci souřadnic (v (3) stačí zaměnit  $n$  za  $-n$ ):

$$\begin{pmatrix} \dot{x}' \\ \dot{y}' \\ \dot{z}' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \overbrace{(\dot{x} + n y)}^a \cos nt + (\dot{y} - n x) \sin nt \\ \underbrace{(\dot{y} - n x)}_b \cos nt - \underbrace{(\dot{x} + n y)}_{z'} \sin nt \end{pmatrix}.$$

První dva členy  $C_J$  jsou vůči rotaci invariantní, pouze u třetího musíme počítat:

$$\begin{aligned} \dot{x}'^2 + \dot{y}'^2 + \dot{z}'^2 &= a^2 \cos^2 nt + 2ab \sin nt \cos nt + b^2 \sin^2 nt + \\ &+ b^2 \cos^2 nt - 2ab \sin nt \cos nt + a^2 \sin^2 nt + \dot{z}^2 \\ &= a^2 + b^2 + \dot{z}^2 = \dot{x}^2 + 2\dot{x}ny + n^2 y^2 + \dot{y}^2 - 2\dot{y}nx + n^2 x^2 + \dot{z}^2 \end{aligned}.$$

Jacobiho integrál v inerciálních souřadnicích je tedy:

$$C_J = n^2(x^2 + y^2) + 2G \left[ \frac{m_1}{R_1} + \frac{m_2}{R_2} \right] - (\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) + 2n(xy - yx) - n^2(x^2 + y^2).$$

Nyní využijeme dva známé vztahy z problému dvou těles — integrál „živé síly“ a integrál momentu hybnosti (představujeme si přitom, že daleko od Jupitera bude pohyb komety dobře aproximovaný keplerovskou elipsou; zde  $\mu = G(m_1 + m_2)$ ):

$$v^2 = \mu \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right),$$

$$h = |\mathbf{r} \times \dot{\mathbf{r}}| = |(0, 0, x\dot{y} - y\dot{x})| = \sqrt{a(1 - e^2)\mu}.$$

Vzhledem k tomu, že dráha komety může být skloněná k dráze Jupitera o úhel  $I$ , musíme pro naše souřadnice vzít:

$$x\dot{y} - y\dot{x} = h \cos I.$$

Po dosazení je:

$$C_J = 2G \left[ \frac{m_1}{R_1} + \frac{m_2}{R_2} \right] - Gm_1 \left[ \frac{2}{R_1} - \frac{1}{a} \right] + 2n\sqrt{a(1-e^2)Gm_1} \cos I.$$

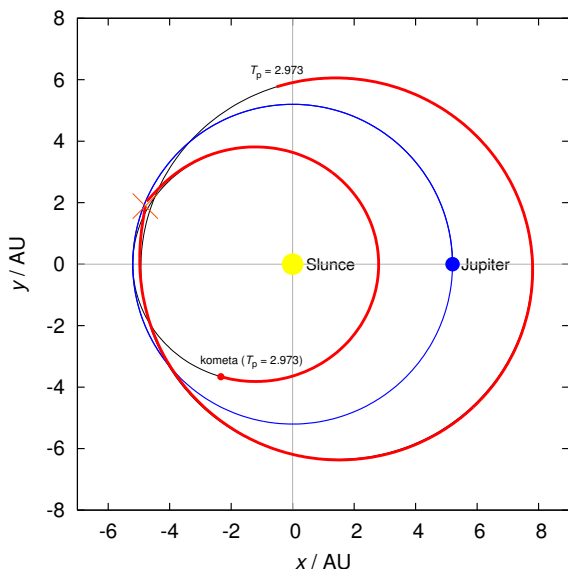
Budeme-li ještě předpokládat, že  $m_2 \ll m_1$  (to je pro Jupiter–Slunce dobře splněno) a zároveň  $R_2 \neq 0$  ( $C_J$  pro kometu počítáme, když jsme daleko od Jupitera), platí přibližně:

$$C_J \doteq \frac{Gm_1}{a} + 2n\sqrt{a(1-e^2)Gm_1} \cos I,$$

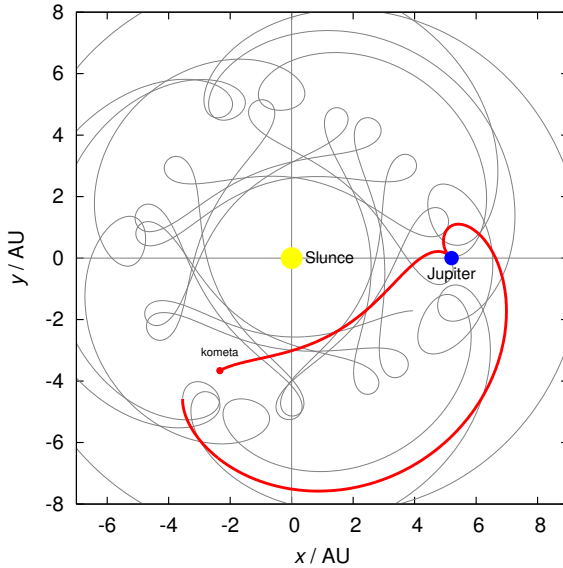
Nakonec dosadíme za  $n \doteq \sqrt{\frac{Gm_1}{a^3}}$  a označíme  $T_p = C_J \frac{a_J}{Gm_1}$  jako *Tisserandův parametr*:

$$T_p = \frac{a_J}{a} + 2\sqrt{\frac{a}{a_J}(1-e^2)} \cos I \doteq \text{konst.}$$

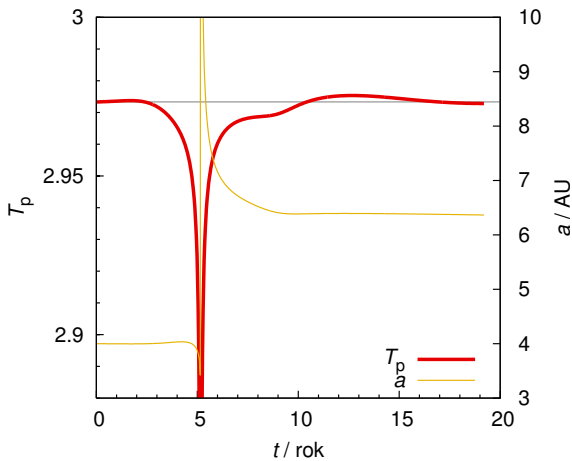
Ať už kometa prodělá přiblížení k Jupiteru kolik chce, hodnota  $T_p(a, e, I)$  se pro její dráhu (přibližně) zachovává (viz příklady na obr. 5 až 7 a v tab. 1).



**Obr. 5** — Orbita komety před přiblížením k Jupiteru a po něm, přičemž Tisserandův parametr je pro obě dráhy přibližně stejný. Tenkou čarou jsou naznačeny také oskulační elipsy platné pro začátek a konec skutečné trajektorie; mimo blízké přiblížení k Jupiteru jsou velmi dobrou aproximací pohybu. Oskulační sklon je po celou dobu roven nule (tedy  $z = 0$ ). Výpočet numerickým integrátorem `swift_bs`.



**Obr. 6** — Tatáž trajektorie jako na obr. 5, ale v korotujícím systému. Tenkou čarou je znázorněný další vývoj po dobu 300 let; namísto elips v inerciálním systému jsou patrné typické „kličky“ v korotujícím. (Slunce a Jupiter stále zůstávají v téže poloze, v jaké je vidíme na obrázku.)



**Obr. 7** — Tisserandův parametr  $T_p$  a velká poloosa  $a$  v závislosti na čase  $t$  pro dráhu komety zobrazenou na obr. 5. S výjimkou blízkého přiblížení (kdy neplatí použité aproximace) je Tisserandův parametr (alias Jacobiho integrál) prakticky konstantní, i když u velké poloosy (alias celkové energie) je evidentní skok.

datum	$q/\text{AU}$	$e$	$I/^\circ$	$T_J$
31. 12. 1918	5,789	0,160	3,08	3,024
16. 7. 1950	3,405	0,143	3,98	3,035
18. 6. 1983	5,471	0,243	1,95	3,005

**Tab. 1** — Vzdálenost pericentra  $q = a(1 - e)$ , excentricita, sklon a Tisserandův parametr pro kometu 39P/Oterma. Přestože kometa během 20. století prodělala dvě těsná přiblížení k Jupiteru, 27. října 1937 na 0,165 AU a 12. dubna 1963 na 0,095 AU, zůstává její  $T_J$  přibližně zachována.

**Kometry Jupiterovy rodiny.** Velmi pěknou aplikací problému tří těles je vysvětlení původu komet Jupiterovy rodiny (JFC), tj. komet, které mají afélium (nebo perihélium) v blízkosti Jupitera. Původem se totiž jedná o tělesa Kuiperova pásu (KBO), která se díky blízkým přiblížením k velkým planetám přesouvají z vnější do vnitřní části sluneční soustavy. Právě popis tohoto mechanismu nyní provedeme.

Zvolme počáteční elementy komety v Kuiperově pásu:  $a = 39,5 \text{ AU}$ ,  $I = 0^\circ$  a excentricitu takovou, aby se kometa v periheliu přibližovala k Neptunu, tzn.  $q = a(1 - e) = a_{\text{Neptunu}} = 30,1 \text{ AU} \Rightarrow e \doteq 0,24$ . Co se bude dít při blízkém přiblížení komety k Neptunu? Jak se dráha komety může změnit? Především, podle *principu kauzality*, musí i „rozptýlená“ trajektorie stále procházet v blízkosti Neptunu! (Nemůže přilíš „odskočit“; představíme-li si pohyb komety v minulosti, nikdy by Neptun nepotkala.) V nejpříznivějším případě bude pozměněný afel komety u Neptunu:

$$Q' = a'(1 + e') = a_N. \quad (9)$$

Zároveň ale musí zůstat zachována hodnota Tisserandova parametru *vzhledem k Neptunu*:

$$T_N = T'_N = \frac{a_N}{a'} + 2 \overbrace{\cos I'}^{\simeq 1} \sqrt{\frac{a'}{a_N}(1 - e'^2)}, \quad (10)$$

kterou spočteme z počátečních elementů  $a$ ,  $e$  komety ( $T_N \doteq 2,99$ ). Vztahy (9) a (10) tvoří soustavu dvou nelineárních rovnic pro proměnné  $a'$ ,  $e'$ . Když vyjádříme z první rovnice  $\frac{a_N}{a'}$  a dosadíme do druhé, obdržíme kvadratickou rovnici pro  $e'$ :

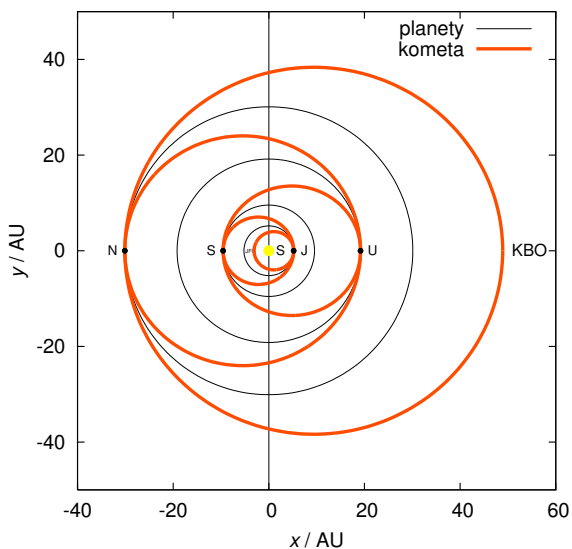
$$e'^2 + (-2T_N + 6)e' + (T_N^2 - 2T_N - 3) = 0,$$

jejímž řešením v oboru kladných reálných čísel je:

$$e' = T_N - 3 + 2\sqrt{3 - T_N} \doteq 0,21. \quad (11)$$

Snadno pak dopočteme, že  $a' = \frac{a_N}{(1+e')} \doteq 24,8 \text{ AU}$  a perihélium  $q' = a'(1 - e') \doteq 19,5 \text{ AU}$ . Vidíme, že Neptun je schopen rozptýlit kometu *nanejvýš k Uranu* ( $s_{a_U} = 19,2 \text{ AU}$ ), nikoli k Saturnu ( $a_S = 9,6 \text{ AU}$ ), natož rovnou k Jupiteru ( $a_J = 5,2 \text{ AU}$ ).

Co se bude dít dál? Jakmile se dráha komety začne přibližovat Uranu, může ji Uran začít rozptylovat stejným mechanismem. Jako počáteční  $a$ ,  $e$  pro výpočet rozptylu Uranem *nevezmeme* konečná  $a'$ ,  $e'$  po rozptylu Neptunem, ale taková, že  $q = a_U$  a  $Q = a_N$ , konkrétně  $a = 24,6$  AU a  $e = 0,22$ . Stejně jako předtím spočteme Tisserandův parametr, ale tentokrát vzhledem k Uranu ( $T_U = 2,99$ ), a z rovnice (11) zjistíme, že  $e' = 0,20$ ,  $a' = 16,0$  AU,  $q' = 12,8$  AU. Dráha se již přibližuje Saturnu dosti těsně.



**Obr. 8** — Dráhy čtyřech velkých planet a komety postupně „poskakující“ z Kuiperova pásu mezi komety Jupiterovy rodiny.

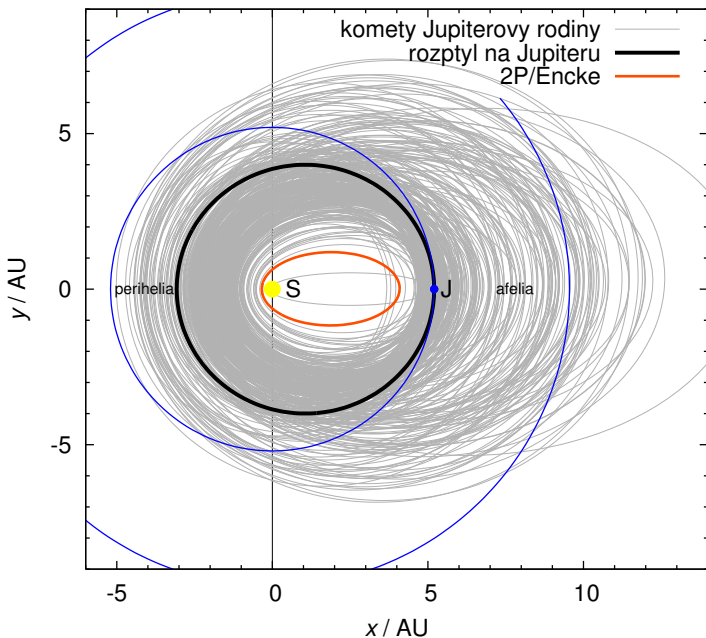
Asi je zřejmé, jak bychom pokračovali: stejně bychom popsali rozptylování na Saturnu a na Jupiteru. Konečná trajektorie komety, po rozptýlení na Jupiteru, vypadá takto:

$$e' = 0,27, \quad a' = 4,14 \text{ AU}, \quad q' = 3,07 \text{ AU}.$$

Podle obr. 9 vidíme, že se jedná o dráhu komety Jupiterovy rodiny. :)

Tělesa Kuiperova pásu tedy „poskakují“ od Neptunu k Uranu, od Uranu k Saturnu, od Saturnu k Jupiteru<sup>2</sup>, kde skončí, protože žádná velká planeta uvnitř dráhy Jupitera není. Komety pak mohou po tisíce oběhů vykazovat aktivitu — tvořit komu a ohon v menších vzdálenostech od Slunce. Neaktivní komety se nám jeví jako asteroidy (na typicky kometárních dráhách).

<sup>2</sup> Kentauři, tj. pozorované asteroidy křížící dráhy velkých planet, jsou zřejmě právě takováto tělesa „na cestě“.



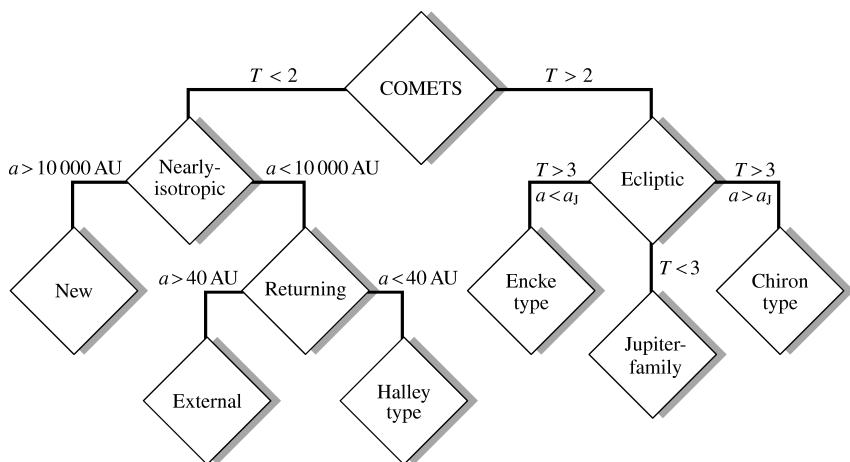
**Obr. 9** — Orbity komet Jupiterovy rodiny (skloněné do roviny dráhy Jupitera a otočené tak, že všechna perihélia jsou vlevo a afélia vpravo) v porovnání s typickou dráhou rozptýlenou na Jupiteru (odvozenou z problému tří těles). Záhadou je původ *aktivní* komety 2P/Encke, která má orbitu od Jupitera oddělenou. Vývoj na takovou dráhu přitom trvá miliony let, během kterých by se měla kometa dávno vyčerpát.

### Klasifikace komet podle $T_p$

Hodnota Tisserandova parametru  $T_p$  vzhledem k Jupiteru může být užitečná pro klasifikaci drah komet (obr. 10). Komety s  $T_p > 2$  se nazývají *ekliptikální*, protože vždy mívají malé sklony drah. Dále se člení na komety Jupiterovy rodiny, je-li  $T_p < 3$ , a komety typu Encke a Chiron, které mají  $T_p > 3$ , což znamená, že se nepřibližují ke dráze Jupitera, ale leží celé uvnitř, respektive vně.<sup>3</sup>

Důležitou vlastností komet s  $T_p < 2$  je, že mají sklony *téměř izotropní*, přilétají k nám prakticky ze všech směrů. Mají-li velkou poloosu  $a > 10\,000$  AU, pokládáme je za nové, pokud ne, jsou zřejmě vracející se. Z těch můžeme ještě vyčlenit komety Halleyova typu s  $a < 40$  AU.

<sup>3</sup> Komety typu Chiron jsou pravděpodobně ekvivalentní Kentaurům, jen vykazují aktivitu.



**Obr. 10** — Třídění drah komet podle hodnoty Tisserandova parametru  $T_p$ . Převzato z [1].

## Lagrangeovy librační body

Librační body jsou místa, kde se kometa nepohybuje (myšleno samozřejmě v korotující soustavě, tzn. vzhledem ke Slunci a k Jupiteru; kdyby se nepohybovala v nekorotující, spadne na Slunce). To znamená, že všechny derivace jsou nulové:

$$\ddot{x} = \ddot{y} = \ddot{z} = \dot{x} = \dot{y} = \dot{z} = 0. \quad (12)$$

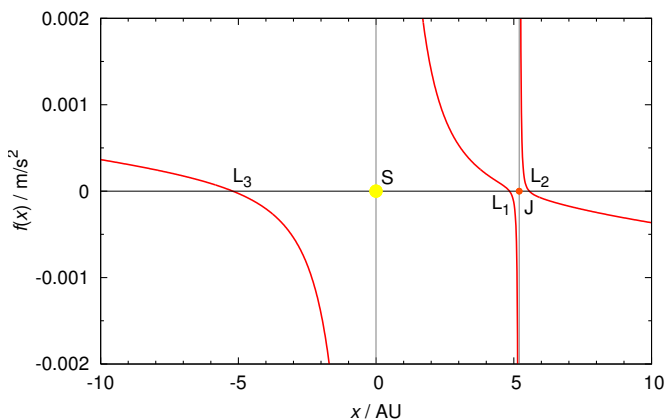
Dosazením této podmínky do pohybových rovnic (5) až (7) obdržíme:

$$\begin{aligned} -n^2 x &= -G \left[ m_1 \frac{x + \bar{\mu} a_J}{R_1^3} + m_2 \frac{x - (1 - \bar{\mu}) a_J}{R_2^3} \right], \\ -n^2 y &= -G \left[ \frac{m_1}{R_1^3} + \frac{m_2}{R_2^3} \right] y, \\ 0 &= -G \left[ \frac{m_1}{R_1^3} + \frac{m_2}{R_2^3} \right] z. \end{aligned}$$

Ze třetí rovnice okamžitě plyne, že  $z = 0$ , tedy všechny librační body nutně leží v rovině Jupiterovy dráhy kolem Slunce. Jedním z řešení druhé rovnice je  $y = 0$ , pak ovšem podle první rovnice:

$$f(x) \equiv -n^2 x + G \left[ m_1 \frac{\text{sgn}(x + \bar{\mu} a_J)}{(x + \bar{\mu} a_J)^2} + m_2 \frac{\text{sgn}(x - (1 - \bar{\mu}) a_J)}{(x - (1 - \bar{\mu}) a_J)^2} \right] = 0. \quad (13)$$

Kořeny této funkce  $f(x)$  jsou polohami libračních bodů (její průběh je obr. 11).



**Obr. 11** — Průběh funkce  $f(x)$  a odpovídající polohy kolineárních Lagrangeových bodů  $L_1$ ,  $L_2$  a  $L_3$  pro soustavu Slunce–Jupiter.

V případě nekolineárních bodů, když je  $y \neq 0$ , musí zřejmě platit soustava dvou nelineárních rovnic:

$$G \left[ \frac{m_1}{R_1^3} + \frac{m_2}{R_2^3} - \frac{n^2}{G} \right] x + G \left[ \frac{m_1 \bar{\mu} a_J}{R_1^3} - \frac{m_2 (1 - \bar{\mu}) a_J}{R_2^3} \right] = 0,$$

$$G \left[ \frac{m_1}{R_1^3} + \frac{m_2}{R_2^3} - \frac{n^2}{G} \right] y = 0.$$

Její řešení je možné zajistit tak, že výrazy v hranatých závorkách položíme identicky rovny nule, čímž obdržíme jednodušší soustavu, pouze pro  $R_1$  a  $R_2$  (navíc dosadíme za  $n^2 = \frac{G(m_1+m_2)}{a_J^3}$ ,  $\bar{\mu} = \frac{m_2}{m_1+m_2}$  a  $(1-\bar{\mu}) = \frac{m_1}{m_1+m_2}$ ):

$$\frac{m_1}{R_1^3} + \frac{m_2}{R_2^3} - \frac{m_1 + m_2}{a_J^3} = 0, \quad (14)$$

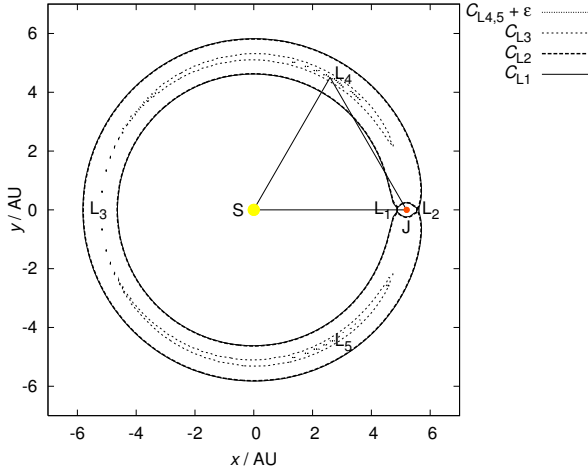
$$\frac{m_1 m_2 a_J}{R_1^3} - \frac{m_2 m_1 a_J}{R_2^3} = 0. \quad (15)$$

Řešení je evidentní:  $R_1 = R_2 = a_J$ , což znamená dva librační body  $L_4$  a  $L_5$  ve vrcholech *rovnoramenných trojúhelníků* Slunce–Jupiter–librační bod (viz obr. 12).

Bez odvození uvádíme vztahy pro výpočet poloh Lagrangeových bodů a příslušné hodnoty  $C_J$  (viz [2],  $\alpha \equiv \left(\frac{m_2}{3m_1}\right)^{\frac{1}{3}}$ ):



bod	$x/a_J$	$y/a_J$	$C_J/(a_J n)^2$
L <sub>1</sub>	$(1-\bar{\mu}) - \alpha + \frac{1}{3}\alpha^2 + \frac{1}{9}\alpha^3 + \frac{23}{81}\alpha^4 + \mathcal{O}(\alpha^5)$	0	$3 + 3^{\frac{4}{3}}\bar{\mu}^{\frac{2}{3}} - \frac{10}{3}\bar{\mu} + \mathcal{O}(\bar{\mu}^2)$
L <sub>2</sub>	$(1-\bar{\mu}) + \alpha + \frac{1}{3}\alpha^2 - \frac{1}{9}\alpha^3 - \frac{31}{81}\alpha^4 + \mathcal{O}(\alpha^5)$	0	$3 + 3^{\frac{4}{3}}\bar{\mu}^{\frac{2}{3}} - \frac{14}{3}\bar{\mu} + \mathcal{O}(\bar{\mu}^2)$
L <sub>3</sub>	$-\bar{\mu} - 1 + \frac{7}{12}\frac{m_2}{m_1} - \frac{7}{12}\left(\frac{m_2}{m_1}\right)^2 + \frac{13223}{20736}\left(\frac{m_2}{m_1}\right)^3 + \mathcal{O}\left(\frac{m_2}{m_1}\right)^4$	0	$3 + \bar{\mu} + \mathcal{O}(\bar{\mu}^2)$
L <sub>4</sub>	$\frac{1}{2} - \bar{\mu}$	$+\frac{\sqrt{3}}{2}$	$3 - \bar{\mu} + \mathcal{O}(\bar{\mu}^2)$
L <sub>5</sub>	$\frac{1}{2} - \bar{\mu}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$3 - \bar{\mu} + \mathcal{O}(\bar{\mu}^2)$



**Obr. 12** — Polohy Lagrangeových libračních bodů L<sub>1</sub> až L<sub>5</sub> v soustavě Slunce–Jupiter (s poměrem hmotností  $\bar{\mu} \doteq 10^{-3}$ ). „Kostrbatost“ izočar potenciálu  $2U$  je numerickým artefaktem.

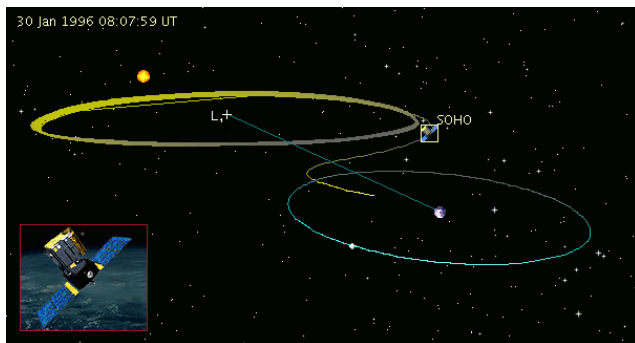
**Stabilita libračních bodů.** Podrobnější analýza ukazuje, že body L<sub>4</sub> a L<sub>5</sub> jsou lineárně stabilní, je-li  $\bar{\mu} \simeq 0,0385$ , což je pro Slunce–Jupiter splněno.<sup>4</sup> Znamená to, že těleso může okolí těchto bodů setrvat velmi dlouhou dobu. Ostatně pozorujeme početnou populaci Trojanů a Řeků v Lagrangeových bodech příslušejících Jupiteru.<sup>5</sup> Jednotlivé Trojanů známe i u jiných planet: 4 u Marsu a 5 u Neptunu.

Body L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> a L<sub>3</sub> jsou naproti tomu exponenciálně nestabilní. Nestabilita ale není tak „hrozná“ — pro systém Slunce–Země může těleso zůstat v jejich okolí řádově měsíc. Poblíž L<sub>1</sub> a L<sub>2</sub> jsou například umístěny kosmické sondy SOHO a WMAP<sup>6</sup>; jejich dráha se musí jen několikrát ročně korigovat raketovými motory, aby neodlétly pryč.

<sup>4</sup> Toto platí při současné konfiguraci planet. Pokud se ale Jupiter a Saturn nacházely v rezonanci středních pohybů 1:2, byla oblast okolo L<sub>4</sub> a L<sub>5</sub> v tu dobu zcela nestabilní.

<sup>5</sup> K 26. 8. 2008 bylo známo 1274 asteroidů v L<sub>4</sub> a 1272 v L<sub>5</sub>. Celá populace Trojanů, včetně malých, dosud nepozorovaných těles, je však nejpíší početnější než hlavní pás mezi Marsem a Jupiterem.

<sup>6</sup> V L<sub>3</sub> by bylo umístění sondy nepraktické, protože to je daleko za Sluncem.



**Obr. 13** — Trajektorie sondy SOHO a její poloha 30. 1. 1996 při transferu od Země k bodu  $L_1$ , okolo kterého dnes sonda obíhá. Pro názornost jsou zakresleny také Slunce, Země a oběžná dráha Měsíce. Převzato z <http://orbits.esa.int/>.

- [1] BERTOTTI, B., FARINELLA, P., VOKROUHLICKÝ, D. *Physics of the Solar System*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. ISBN 1402014287.  
 [2] MURRAY, C. D., DERMOTT, S. F. *Solar System Dynamics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. ISBN 0521575974.

## V. expedice SAROS

Petr Horálek

V. Expedice SAROS se stejně jako jiné expedice může chlubit úspěšným pozorováním novosibirského zatmění. Na serveru Expresních astronomických informací už vyšly všechny články o průběhu naší expedice a nyní přinášíme deníkovou formou popsané nejdůležitější momenty. Článek začíná v Moskvě a popisuje cestu Transsibiřskou magistrálou a pozorování slunečního zatmění v sibiřské metropoli Novosibirsk.

Ruské hlavní město se 29. července zahalilo do frontální oblačnosti. Poslední hygiena v koupelně hostelu Lenin mi přinesla zajímavý zážitek. Jak si tak čistím zuby, sahám pro legraci na lampu bez žárovky a hle, do rukou mi jde proud. Okamžitě to nahlašuji na recepci a pan recepční to jde kontrolovat. Nic necítí. Tak jsem v naší i hostelovské komunitě za blázna a poplašníka, načež až po půl hodině si Dalibor uvědomuje, že nemám boty — ráno jsem šel bos. Proto mnou to probíjí, ale jinými ne. Okamžitě to nahlašuji na recepci s vědomím, že pro člověka s mokřýma nohama by to mohlo být ještě víc nebezpečné, a pan recepční se zouvá. Sahá na zlatou lampičku a k mému strašnému překvapení neděkuje za upozornění, ale já sá, jak je to úžasné! Děkuje za ten zážitek sáhnout si na živou elektriku. No, říkám si, možná si na mě vzpomenou, až se jim objeví před vchodem záchranka. . .

Ve 13 h 11 min moskevského času odjíždí vlak číslo 76 z Kazaňskovo vakhzala a naše skupina po hodinovém čekání vesele skáče do vagonu číslo 12. A jedem směr Novosibirsk!



**Obr. 14** — Část naší skupiny na nádraží v Moskvě. Vlevo je mimochodem dvojičitá elektrická mašinka ČS 7-068, celkem osminápravový stroj o úctyhodném výkonu (3 080 + 3 080) kW, který vyvine maximální rychlost 180 km/h. Pro ruské železnice je vyráběla Škoda Plzeň po roce 1983, ve velké 285 kusové sérii.

Víte, dlouho jsem zvažoval, zda popisovat detail po detailu celou cestu, ale opravdu to nejde. Počkejte si, až někoho z nás třinácti potkáte, protože to je na knihu informací. Už první den, kdy jsme slavili větší čtyřmístná kupé a pravidelně otevřený záchod, bylo jasné, že o legraci nebude nouze. Dlouhé básně o soudružnosti ruských cestujících ve vlaku se nepotvrdily. Namísto abychom byli oběťmi příliš přátelských Rusů, byli jsme to my, kdo rozhoupal vlak. A to doslova. Ani Jirka Skála, který se svou ženou tak nějak jediný stál mentálně nohama na zemi, nás chvílemi nezkontroloval. První linii vedla dvojice Jana plus Jana (dále J+J), dvě učitelky a kamarádky z jižních Čech, které nás zásobily dětskými hrami a velkým zpěvníkem, což po večerech chytilo každého. Posuny přes časová pásma nás navíc utvářely nociodolnými, neboť každý den nám na konto přibyla jedna hodina navíc. Z vedlejšího kupé k nám nejdříve se studem, po necelých 24 hodinách s radostí, chodila na pravidelné návštěvy zhruba tříletá Tania. Její maminka byla vděčností bez sebe. Na každé zastávce vlaku nechyběly stánky s jídlem a zvolá-

vajíci bábůškami. Nervózní průvodčí musely každou zastávku oplodnit mnoha ruský krásně znějícími nadávkami, neboť cestující, včetně Čechů, zdržovali odjezd vlaku svými nerozhodnými obchodními choutkami. Právě k těm jsem patřil, a když jsem ještě nahluchlý, dokážete si představit to terno.

30. července se nad střechou vlaku konečně začalo vyjasňovat a nálada se o to víc povznepala. Zatímco skupinka Petr Skalák, J+J a Španěl Alex doháněla časové posuny spánkem, ostatní neváhali vstávat už kolem třetí hodiny po východu Slunce. Mezi námi se vlastně ani pořádně nevědělo, kolik je hodin. Když pak zmíněná skupinka vstala, začalo nové kolo trávení času: kupříkladu učit Alexe základní sprosté české fráze, hrát v angličtině v ruském vlaku „Hádej, kdo jsem“ v partě Čechů, Slováků a Španěla, či oprašovat největší hity z prvních stránek mnou nenáviděných zpívanek. Cesta samozřejmě naskýtala i očekávané pohledy typu „Koukej, les. . . les. . . pole. . . les. . . mrtvola. . . les. . .“ Čím více jsme se blížili k Novosibirsku (Ural byl překročen toho dne ráno), tím více pole zaplňovaly močály a občas přišel opravdu daleký pohled do krajiny. Stovky kilometrů lesů nepatřících nikomu. Rusko.

K večeru došlo i na očekávané načetí pravé ruské vodky, která kolovala v misce na žrádlo pro psy. Nejednou nám bylo personálem vlaku vytknuto, že bychom přeci jen mohli jít spát. Jak jsem říkal, kromě jistého mladíka Serjoži, který se okamžitě vrhnul k našim dvěma dívkám, jsme to byli my, kdo se tak vesele družil.

Čtvrtek 31. července byl ve znamení nervózních hlášek na adresu kazícího se počasí. Někteří dospávali, jiní pojídali a personál vlaku měl hygienickou pohotovost, neboť vlak v Novosibirsku čekala kontrola. Zpod nohou nám byly strhávány koberce, čistila se madla, okna, i zmíněný záchod. Se vzpomínkou na včerejší pokus o večeři v jídelním voze (který jako batolecká kaše s českým gulášem vyšel na 160 českých korun) jsem s radostí čekal na blížící se hlavní město Sibíře. Abych vás vyvedl z případného omylu, Sibíř = zima, nicméně Novosibirsk = pekáč. A to se potvrzuje s blížícím se výstupem. Můj osobní šok má ještě jeden důvod — okraje města jsou jak vystřižené z budovatelských dob socialismu, který tady nepochybně pokračuje. Už z dále je znát rozdíl proti Moskvě, to je město spíše západního typu a svými mrakodrapy i kulturou se blíží Americe. Ale neberte mě vážně, byl to jen první dojem. Abych reputaci města napravil, určitě má co do sebe. Nemalou mírou za to může městem protékající ruský veletok Ob.

Na nádraží nás už čeká jakási asistentka a posléze i pan Gusko, což je takový typ mladého talentovaného obchodníka, s velmi přátelskou povahou a neskutečnou ochotou. Ihned nás dělí do dvou bytů, které od sebe dělí jedna zastávka metra. Zatímco my s Makalakim, Petrem, Daliborem a Skálovými fasujeme ten horší (slíbený internet je tu blokován), zbytek skupiny je hoštěn v luxusu (i s krásně se kroutícími červíky lezoucími z kanalizace do vany). Hned se házím do gala po třech dnech ve vlaku a s radostí se sprchuji, jak dlouho to jde. Ostatní jsou v pohodě, ale já, typický pesimista, vidím vývoj počasí dost špatně. Po návštěvě

v druhém bytu se kolem druhé hodiny místního času (tj. kolem 21. hodiny českého času) ukládáme ke spánku. Zítra začíná den D.

A je to tu. První srpen, pátek, dva roky očekávaný den. Dle domluvy s Petrem Skalákem se v 11 hodin on a Alex ocitají před našim bytem, kterému ale nefunguje zvonek. Chudáky spolubydlící mate slovanský hlas řvoucí pod jejich okny. Ani to prý nezabírá a nakonec Petra pouští dovnitř nějaká paní místní. Jde se na internet do nějaké neznámé lokality (Makalaki je vůdcem), kde nám Petr ukazuje své bleskurychlé umění surfování po serverech s meteorologickým zaměřením. Předpověď je jasná: rozpadající se fronta ze západu přinese jasno a za ní se pak příhrne hradba nové oblačnosti. Se zbytkem se scházíme v domluvené stanici metra, odkud se jede k Obu, přímo na nábřeží.

To, co se dalo předpokládat, se potvrdilo ještě dvěstěnásobně. Tohle město o úkazu opravdu ví! Ale opravdu. Nábřeží zaplňují žlutotričkovci–brigádníci, kteří s radostí i neradostí štelují různé refraktory. Na ulicích chodí obchodníci s „bezpečnými“ brýlemi na Slunce (z čeho jiného, než z oblíbené diskety). Do zatmění zbývají tak čtyři hodiny a je provokativně krásně jasno. Fronta dorazí až zadlouho. Rovnice Novosibirsk = pekáč se opět potvrzuje, takže po vyhledání zdánlivě dokonalé lokality pod kamenným nábřežím přímo na břehu Obu (kam jsme úspěšně do smradlavého bahna zapáchli českou vlajku na stožáru z místí flóry), vyrazím já, Makalaki a J+J najít nějaký univermag s pitím. Nakonec se z toho klube příležitost ke snídani–obědu, neboť tu prodávají chot-dogy s neskutečně velkou dávkou kečupu, hořčice a tataruky. Po návratu z univermagu ale koukám na výklenek kamenného nábřeží, pod nímž je právě naše plánička a hle, voda krapet stoupá. A co voda, fučí děsný víchr. Počasí se začíná tvářit „jako že když už tak už“ a oblačnost zůstává na příjemném polojasnu. Poněkud směšně vypadá pohled na samotného Petra Komárka na opuštěném poloostřvku, který byl nedávnou součástí pláže a na kterém stála a ležela celá naše technika. Ostatní už zabírají zmíněný výklenek s výhledem na mosty (po jednom z nich jsme přijeli včera vlakem) a na pláž na druhé straně (jak vystřiženou ze seriálu Pobřežní hlídka, už tam chyběl jen Mitch Buchannon). Kráčím za jediným Čechem, který vydržel pod svou vlajkou na opuštěném poloostrově a po chvíli tlachání přeci jen uznáváme, že za hranou kamenného nábřeží bude foukat mív. S pomocí J (bez druhé J) vynášíme velikým obloukem naše věci do výklenku a Měsíc se nezastavitelně řítí před sluneční kotouč. Zbývá asi hodina a půl.

Vlajku zarýváme mezi dvě mohutné masy betonového zábradlí. Fouká tak, že zanedlouho i můj batoh obsahuje čerstvé ruské listí. Nábřeží plní zvědaví lidé a krásné dívky, z nichž jedna — Anja, tu zůstává napořád. Nádherná dívka (dodnes mi Dano vyčítá, že jsem se o její srdce nesnažil víc, ale přeci jen 5 000 km je 5 000 km). V tom okamžení zjišťuji dvě věci — za prvé: to zatmění asi opravdu uvidíme, a za druhé: já umím konverzovat rusky (ne domluvit se, ale konverzovat). Krásná Anja mě k tomu nakopává všetečnými otázkami a postřehy z okolí.

Nejvíc ale návaly lidí postihují Dana, který jako jediný z nás tu má opravdový „balšoj teleskop“ (refraktor 0,1 m,  $f/10$ , speciálně upravený na šílené expedice za zatměními).

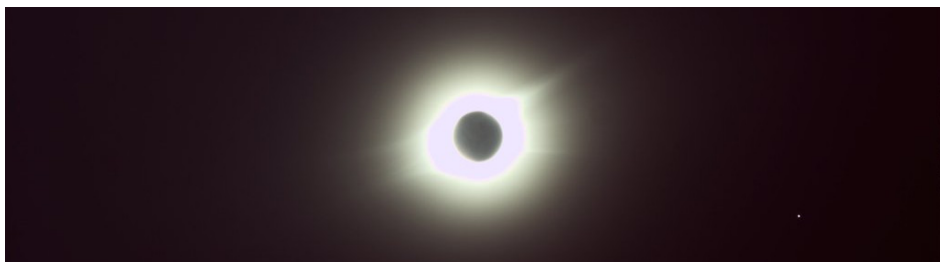
Nebudu napínat, neboť napjatí byli ti lidé dost, každopádně v 16 h 42 min místního času se konečně Měsíc zakusuje do žlutého Slunce. Díky společnosti krásné Anji (která mě mezi prvními dvěma kontakty zatmění stačila seznámit se svou rodinou i s kamarády), jde zatmění vcelku rychle. Nevím, jestli to je dobře, či nikoliv, ale i já začínám mít nemalý hlouček lidu okolo sebe, neboť Anje půjčuji svůj triedr opatřený filtry a ten budí opravdu silný zájem okolí. Občas ani nevím, kde ho mám a div se světe, že v tom „hypernováckém“ davu mi nikdo nic neukradl. Občas zapnu kameru, občas se pobavím s ostatními, občas mi připadá tohle město jako jeden veliký trh. Po půl hodince už se nedá ani pomalu projít z nábřeží do nedalekého parku, kde se možná pod stromy nacházejí stovky malých srpků na betonové ploše. Musím uznat, že tak rychle sunoucí se Měsíc jsem ještě neviděl. Do toho se mě Anja ptá, jak se v češtině říká „ty menja nraviša“ (tj. líbíš se mi) a s mým náhle vysokým sebevědomím se nám naskýtají pohledy na uzoučký srpek Slunce.

Je šero a začíná se ochlazovat. Vítr fučí čím dál víc a mraky už nejsou skoro žádné. Chaos. Jedna kamera na stativu, druhá v ruce, poblíž Anja s rodinou, triedr bůhví kde a u koho, a k dokonalosti zmatku přispívají vláční Rusové promenádující se před mojí kamerou. Tak je prosím o prostor, triedr má Matyáš Zetek a Anja kouká přes sklo. Venuše! Je vidět Venuše! Tak řvu „Veněra“ a zpozornělý dav lehkovážně míří oči do stále oslnivého Slunce 30° nad obzorem. Venuše jasná a zmatek houstne. Do zatmění zbývají čtyři minuty, a to safra krátké. Člověk by neřekl, jak ho to polapí — připadám si jako žena, typická hospodyňka, která umí v domácnosti dělat hned několik věcí najednou. Dvě minuty. Pátrám po triedru a ani nevnímám, že mám v ruce druhou kameru asi 4 minuty nahrávající záznam. Jedna minuta — triedr nalezen, lidi řvou, řeka tmavne, Slunce pomalu mizí. 17 h 44 min — objevuje se Merkur! Náznaky koróny lezou do kamery a druhou, běžící kamerou, natáčím řvoucí dav. Je to tady! Bailyho perly střídá skvostná nažloutlá koróna a přidávám se k řvu davu. Musím naladit výšky, falsety mi nejdou. Potlesk ze všech stran střídá utichlá řeka a svítící auta na mostě. Evidentně tam na tom mostě každé auto zastavilo. Jedna kamera jede, druhou snímám žlutý obzor. Nádherná scenérie protáhlého koronálního paprsku s Merkur a Venuší nad pláží „Baywatch“ a utichlou řekou Ob dojmá skutečně všechny. Krásná Anja jen s lehkostí mlčí a dojatě kouká. Půjčuji jí triedr, ale z povzdálí slyším hlas Petra Skaláka, který upozorňuje na zbývajících 20 vteřin. Opravdu, koróna zprava u kraje Měsíce bělá a objevují se první paprsky. Dav patričně sílí a já naplněn dokonalým prožitkem konečně stahuji nervozitu na minimum. Odchází stín, obloha zase modrá a jen co je nutné použít filtr, už mi běží Matyáš vzkázat, že musí jet příští rok do Číny (tam bude 22. července 2009 probíhat nejdelší zatmění v tomhle století, v Číně okolo pěti a půl minuty).





**Obr. 15** — Nábřeží řeky Ob přeplněné lidmi pozorujícími částečné zatmění. Foto Dalibor Hanžl.



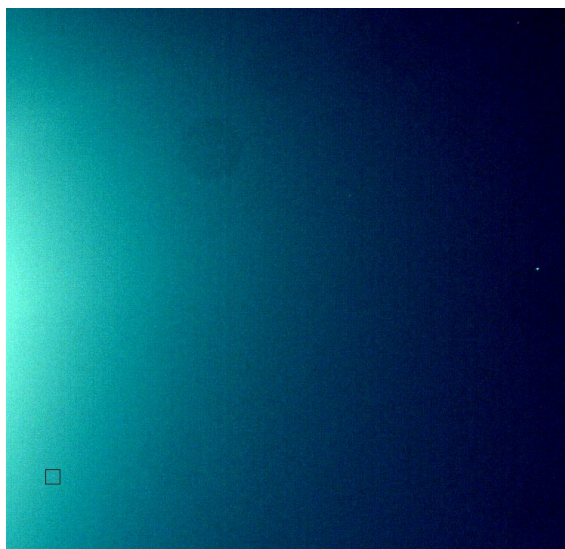
**Obr. 16** — Širokoúhlý snímek zatmění s dlouhou expozicí, na kterém vyniká vnější koróna. Foto Dalibor Hanžl.

A teď, když hodinky ukazují 2. srpna 3 h 51 min novosibirského letního času, posedávám jediný vzhůru v kuchyni pronajatého bytu a vzpomínám. Vzpomínám hořce i sladce, neboť silnější prožitek, než poblíž krásné Anji (přičemž jsem se konečně zapovídal rusky a vzpomněl si na dávná léta volitelné ruštiny na střední škole) jsem si nemohl přát a o to hůř (což mi Dano prostě nemůže odpustit — že toho já blbec nevyužiji), že mám její číslo a v hlavě mi pořád zní jejím krásným hláskem srozumitelně znějící ruská otázka „Co budeš dneska večer dělat?“ Ambice této krásky (i když spíš její zatemněné emoce) ji dovedly tak daleko, že slíbila

návštěvu v Čechách a že se pokusí naučit trochu česky. A mně tu pořád leží to číslo...

Vzpomínám i na dokonale sešranou partu lidí, kteří prožili zatmění naplno a hrdě s českou vlajkou tyčící se na nábřeží řeky Ob zpívali před posledním kontaktem naši českou hymnu. Samozřejmě přišla řada i na slovenskou a pouze Alex se o španělskou moc nepokusil. Česká vlajka byla nakonec slavnostně předána jedné J (potažmo i druhé J), která se vydává s Petrem Skalákem a Alexem dál do Mongolska. Malá česká i slovenská země uprostřed velkoměsta si díky této partě získala skutečně velkou přízeň, byli jsme pochváleni za naše expediční trička. Já byl dokonce donucen mluvit před kamerou místní televize. No, moc jsem toho neřekl, jen jméno, stát a pak pár slov okolo mých pocitů v anglickém jazyce. Teď už nás čeká cesta vlakem domů (se zastávkou v Moskvě) a jak to vidím, budu pod vlivem srdcervoucí hudby Enigmy koukat do své dlaně na papírek s telefonním číslem krásné Anji. . . Tolik k nejzajímavějším momentům cesty za zatměním Slunce do Ruska.

Nutno poznamenat, že i v rámci činnosti pro SMPH byla expedice úspěšná. Po zpracování snímků se Daliboru Hanzlovi totiž podařilo na dlouho exponované fotografii objevit avizovanou kometu C/2008 O1 (SOHO), jejíž jasnost se v době zatmění pohybovala okolo 5. magnitudy. Na obr. 17 je označena malým čtveřčkem vlevo dole. Snímek byl pořízen pomocí Canonu Eos 20Da s objektivem Sonnar 3,5/135, expozicí 8 s. Identifikace komety je zatím předběžná z dosud neredukovaného jednoho samostatného snímku (k datu 8. srpna 2008).



**Obr. 17** — Kometu C/2008 O1 (SOHO) během zatmění Slunce. Foto Dalibor Hanzl.



„A nezbláznil jsi se? Jet za zatměním Měsíce až někam bůhvíkam, když je to ke všemu jenom částečné? Zatmění Slunce chápu, ale tohle je trochu ujetý.“ Tak přesně tohle mi znělo v uších jako echo při cestě autem za jasným počasím do jižních Čech, když jsem se rozhodl, že to letošní třetí zatmění musím vidět.

Vlastně za tuhle vášeň může moje maminka, která mi řekla před zatměním v lednu roku 2000 (kdy bylo nad naším územím úplně jasno), že mám jít v osm večer domů a spát. Zatmění tehdy proběhlo nad střechou naší bytovky a já jen další den ráno smutně poslouchal od svých přátel, jak to bylo skvělé. Od té doby mám jakousi vnitřní potřebu dohnat tenhle nedohnatelný deficit a ženu se za každým dalším zatměním Měsíce, klidně i za hranice republiky.

Původně jsem měl v plánu pozorovat zatmění na chalupě s mým dědou a babičkou. Ostatně právě oni nemalou mírou mohou za to, že mě dnes hvězdy zajímají. Bohužel, podle nejnovější předpovědi meteorologického modelu Aladin, se měla oblačnost trhat na jihozápadě a největší šance na spatření úkazu byly v jižních Čechách. Naopak u Sečské přehrady se měla držet ještě dlouho do noci.

Zadní sedadla modrého Peugeota 306 (půjčeného od rodičů) zalehl tubus mého Dobsona (0,25 m,  $f/5$ ), sedadlo spolujezdce jeho montáž a kdesi na podlaze ležel stativ a kamera, bunda a nějaký přehrávač hudby do samoty. Z deštivé a zamlžené krajiny jsem vyrazil se smutnými vzpomínkami na zklamaného dědu. Cestu jsem volil přes Chotěboř do Havlíčkova Brodu směr Humpolec, Jindřichův Hradec a Český Krumlov. Už jsem ji dobře znal, neboť touto trasou jezdiváme několi-krát do roka s Pardubáky na vltavíny. Společnost mi dělalo poprvé v životě jen rádio. Naštěstí víc bláznů silnice nebrázdilo, tudíž jízda byla vcelku svižná. Úkaz mi pak kousek před Chotěboří připomenul Pavel Suchan z vln rádia Impuls, přičemž lidi zasvětil do principu zatmění při seřazení Slunce, Země a Měsíce. Vtom jsem si představil, jak se ta chladná, krátery rozvrášená koule rychle řítí do kuželovitého zemského stínu a jak nicotná je proti tomu rychlost Peugeota řítícího se za jasným nebem do jižních Čech. Čas se mi začal krátit, do startu částečné fáze zatmění zbývaly tři hodiny.

S koncem písniček na přání se párkrát ukázal v podélných mracích úplňkový Měsíc, ze spodního okraje už zjevně „začouzený“ zemským polostínem. Do úkazu zbývalo půl hodiny, takže jsem se za Českým Krumlovem otočil vlevo, pryč z hlavního tahu, a lesní silničkou hledal v polích a lesích nějakou vhodnější lokalitu k zastavení. Až za vískou Mezipotočí, nedaleko Slavkova, nacházím malou cestičku vedoucí k táborové základně. Auto stavím k okraji, rychle vytahuji Dobsona i kameru a žužlám přitom bagetu jak hladový vlk. Úplňkový Měsíc pomalu stoupá a je markantně oslaben zemským polostínem. Nad obzorem září také Jupiter a v Dobsonu, necelý stupeň od Měsíce, planeta Neptun. Mraky se sice táhnou, ale obloha je krásná, polojasná. Než zamknu auto je 21 h 35 min a začíná částečné zatmění.



**Obr. 18** — Částečná fáze zatmění Měsíce ve 22 h 14 min SELČ, fotografovaná u Slavkova.

V Dobsonu je patrné rudé zabarvení stínu už po prvních deseti minutách. Občas kolem projede auto a jakmile vidí na okraji silnice moje velké bílé „dělo“, vypíná dálková světla a pomalu projíždí. Experimentuji i s kamerou a zkouším nějaké statické snímky. Měsíc do stínu vplouvá poměrně rychle a kolem desáté večerní je znát barva stínu bez problému i pouhýma očima. Co je ovšem nemilé, jsou houstnoucí vrstvy oblaků, které jakoby chtěly nade mnou zpomalovat, zakrýt Měsíc a provokativně nechat škvíru jasného nebe jen nízko nad obzorem. Zprvu tomu nedávám příliš velkou váhu, ale postupně je to horší a horší. Do maximální fáze nezbyvá ani hodina a Měsíc definitivně mizí za neprůsvitnou oponou. Když se otočím za sebe, vidím Kletě a na spodní ploše oblaků jasně zářící žlutý koláč od Českého Krumlova. Oblačnost, zdá se, zahaluje skutečně velkou oblast. Tak se slovy: „Když už se sem táhnu takovou dálku. . .“ urychleně balím kameru i dalekohled a vyjždím poslepu za jasnem. Držíc směr k jasné obloze, vyhazuje mne to na jakousi lesní cestu, kde se snažím, aby se auto nerozsypalo. Po pěti kilometrech se konečně dostávám na nějaký hlavní tah a odbočuji na jih, kde je vidět ona škvíra. Z malého městečka Světlík pak pádím tak, že se sám sobě divím.

Do maximální fáze zbývá deset minut a dálková světla se občas odrážejí v mlze. Přesto se však na mne začíná usmívat štěstí a spatřuji kousek Mléčné dráhy u obzoru. Podle toho jsou mi jasné dvě věci — obloha jižních Čech musí být skvostná a Měsíc už musí zářit vážně málo. Samotný Měsíc ale pořád nevidím. Rádio Faktor místy šumí, takže nejspíš už budu hodně blízko Lipna. A je to tu! Srpek Měsíce prosvítá z mraků a zbytek oblohy je jasný. Vjíždím do temného lesa za vesničkou Blatnou.

Zastavuji, vytahuji kameru, Dobsona, šteluji, čekám. . . Je to nádhera. Mrak nejdřív osvobozuje osvětlenou část Měsíce a později i tu utopenou v zemském stínu. V Dobsonu je kontrastně červená a s mým podivem je stín velmi tmavý. Dokonce ani v Dobsonu nedokážu pořádně rozeznat menší útvary, jakoby se ta temná rudá barva slila s ještě tmavšími měsíčními moři. Zato okraj stínu je velmi kontrastní a plynule přechází do osvětlené části Měsíce. Na jižní straně kotouče

je jakási temně hnědá oblast. Chvíli to dávám za vinu orosenému primárnímu zrcadlu Dobsona, ale na fotografiích i videu vyniká to samé. Okem však vnímám něco jiného — kompletní obraz celého dějiště s nevinnou měsíční „čapkou“ na jihočeském hvězdném nebi. Dokonce mi ani nevadí, že pozoruji u hlavní silnice a občas mi projíždějící auto září reflektory přímo do očí. Přechod mezi stínem a světlem je podbarven úzký pásem šedomodrého zabarvení. Předností částečného zatmění je navíc vjem, jak rychle se Měsíc po obloze sune. I v případě maximální fáze to je znát, hlavně na místě, kde se rozmezí stínu a světla setkává s okrajem plného Měsíce. Je to nádhera, ačkoli cítím i zklamání při pomyšlení na mého dědu, kterému by se tohle určitě moc líbilo.

Po půl hodině, kdy se Měsíc pomalu vynořuje ze stínu, mě zase dohání oblačnost. Tentokrát není tak hustá, ale to nejlepší jsem už viděl, takže balím a jedu dál. Zářící město je Frymburk na břehu Lipna a silnice mě zavádí až k Lipnu nad Vltavou, odkud nevědomky mířím k hranicím. Nevědomky proto, že to tu neznám a všude vládne hustá mlha. Dostávám se až k Přední Výtoni (to, že se jedná o hraniční přechod, zjišťuji až nyní). Je čas se přeci jen podívat do mapy. A při pohledu do ní vzniká plán: jet na Vyšší Brod a odtamtud do Kaplice. Plán je to dobrý, ale má mouchu — mlhu.

Ještě jsem měl v plánu dospat v autě a nad ránem se projít po nějaké vltavínové lokalitě. V nestřeženém okamžiku jsem ale kdesi u Kaplice odbočil kamsi, a pak se táhl asi 20 km nepříjemnou lesní cestou do neznáma bez sebemenší možnosti to otočit. Ještě nepříjemnější to bylo ve chvíli, když jsem zjistil, že jde o cyklostezku a že není ani na mapě. Po úporném a stresujícím hledání nějaké regulérní silnice jsem na nejbližší odbočce zjistil, že jsem blíž k Třeboni, než k Ločenicím. Vyhlídky na klidnější silnice teď v noci než za denní špičky mne raději vedly rovnou zpět do Železných hor. Na cestu mi svítil úplněk. Však vltavíny, třešte se, já se vrátím!

Tolik k mé strastiplné cestě za posledním „pořádným“ zatměním do roku 2011. V Evropě spatříme příští rok na Silvestra večer skutečně chudé částečné zatmění o velikosti 8 %. V červnu 2011 nám to ale vynahradí velkolepé úplné zatmění, přičemž Měsíc bude nad obzor vycházet jako částečně zatmělý a pak projde středem zemského stínu, čili úplná fáze potrvá plných 101 minut.

## Ze starých tisků XVII

Martin Lehký

[...] Kdesi byl na strážní vojín na blízku hvězdárny v noci. S puškou na rameně dlouho procházel sem a tam, až najednou zpozoroval že se tam na hvězdárně něco pohnulo. To hvězdář namířil ohromný dalekohled k nebi. Statečný obránce vlasti dlouho se díval, ale ničeho zvláštního neviděl. V tom však letěl vzduchem povětroň. „Aha“, povídá si voják, „teď přece jednu trefil“. [...]

[1] JIRÁK, František *Přírodopisná čítanka: o hvězdách*. Brno: Benediktínská knihtiskárna, 1908. 166 s. Bibliotéka poučná a zábavná. Dědictvím sv. Cyrilla a Methoděje; sv. 60.



**Obr. 19** — Částečné zatmění Slunce z královéhradecké hvězdárny. Srovnej krásně hladký okraj Slunce, jen trochu rozmazaný seeingem, a hrozně „zubatý“ okraj Měsíce. Při projekci v kopuli byly na Měsíci občas viditelné hory ostré jako „žiletky“! Použitý přístroj: Canon Eos 350D, objektiv Rubinar 10/1000, chromový oranžový filtr, expoziční doba 1/250 s, citlivost 100 ASA. Orientace snímku je sever dole a východ vpravo. Foto Miroslav Brož.



**Obr. 20** — (a) Maximální fáze zatmění Měsíce 16. 8. 2008 pozorovaná ve Frymburku ve 23 h 20 min SELČ. (b) — závěr zatmění zachycený z Vyššího Brodu v 0 h 28 min. Pořízeno videokamerou Panasonic NV-GS500 a upraveno. Foto Petr Horálek. K článku na str. 25.