

POVĚTROŇ

Královéhradecký astronomický časopis * ročník 27 * číslo 1/2019



Obsah

	strana
Miroslav Brož: <i>Astronomicky správné řešení astrolábu Pražského orloje</i>	3
Miroslav Brož: <i>Podobný orloj v Bernu</i>	10
Michal Brixí: <i>Přechody Venuše počítané jednoduchou matematikou</i>	12
Miroslav Brož: <i>Aproximace přímkou v Bayesově statistice</i>	15
Martin Lehký: <i>Přehled CCD pozorování za rok 2018</i>	21
Martin Lehký: <i>Přehled vizuálních pozorování za rok 2018</i>	23

Titulní strana — Detail Pražského orloje s překreslenými provedeními (modrými čárkovanými) a teoretickými (zelenými) kružnicemi. K článku na str. 3.

Povětroň 1/2019; Hradec Králové, 2019.

Vydala: **Astronomická společnost v Hradci Králové** (6. 4. 2019 na 338. setkání ASHK)
ve spolupráci s **Hvězdárnou a planetáriem v Hradci Králové**

vydání 1., 24 stran, náklad 100 ks; dvoutměsíčník, MK ČR E 13366, ISSN 1213–659X

Redakce: Miroslav Brož, Miloš Boček, Martin Cholasta, Josef Kujal,

Martin Lehký, Lenka Trojanová 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>>

O světovém významu Pražského orloje asi nepochybuje nikdo. Otázkou však je, co je na něm správné, chybné, přesné, nepřesné? Jak jsou jeho jednotlivé prvky provedené? Jisté pochybnosti jsme zaznamenali i mezi astronomy a památkáři. V následujícím textu nám jde proto o ujasnění (ujednocení), co je správné, co je přesné, co je záměrně nepřesné, neboť všechno má svůj historický důvod. Musíme ovšem rozlišovat stav původní, minulý, současný a „kýžený“.

Mějme přitom na paměti obecné zásady památkové péče o technické památky. Zejména má jít o zachování stávajícího stavu, což vyžaduje zdrženlivost při zasahování, respektování historických událostí, respektování specifického vývoje, odlišností od jiných astrolábů, souladu mezi jednotlivými prvky orloje (astrolábu, kalendária, hodinového stroje, pohonů, regulátoru, aj.), dodržení úrovně přesnosti ukazování času a astronomických jevů, přiznání určitých nepřesností astrolábu, udržování čitelnosti číslic, stupnic a nápisů, nesnižování astronomické hodnoty a v neposlední řadě nesnižování výtvarné hodnoty.

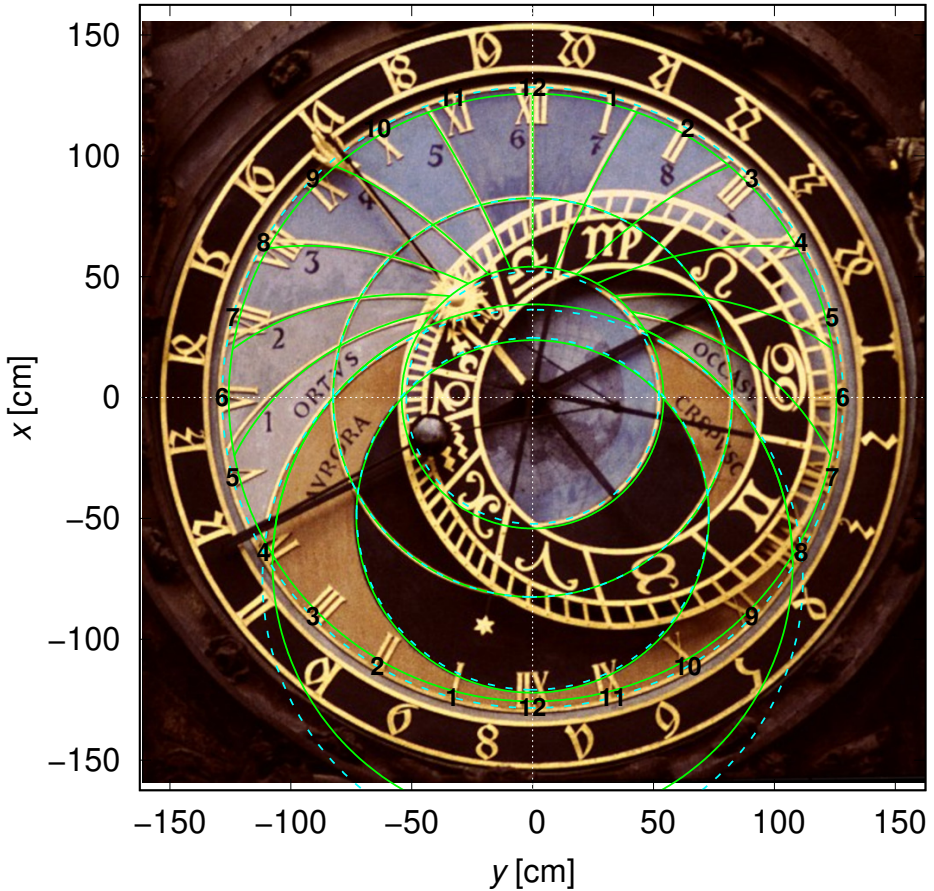
Správné řešení

*

Při popisu vycházíme ze stávajícího stavu po rekonstrukci r. 2018, avšak zmiňujeme i stav před ní, zejména je-li správnější. Kýžený stav je ve výčtu označen hvězdičkou. Pro posouzení přesnosti používáme výpočet teoretického astrolábu dle stereografické projekce, tzn. průmětu koule (oblohy) z pólu na rovinu (např. [2]). Pro porovnání s provedeným stavem je nezbytný ortoskopický (nezkreslený) snímek (viz obr. 1), abychom se vyvarovali posunutí prvků při pohledu zespodu, k němuž dochází kvůli jejich vzájemnému odstupu.

Nyní již k vlastnímu výčtu, co astroláb ukazuje nebo má ukazovat:

1. střeoevropský čas (SEČ), navázaný na světový koordinovaný čas (UTC), kde $SEČ = UTC + 1\text{ h}$, a pásmový poledník $\lambda = 15^\circ$ v. d. Na orloji se nenastavuje střeoevropský letní čas (SELČ) kvůli souvisejícím pohybům nebeských těles. Čas je ukazován na římských číslicích I–XII, I–XII rafí se zlacenou rukou. Hodinový stroj je řízený přesným regulátorem (Božkovým chronometrem), jehož přesnost činí 1 sekunda za 1 den, nikoliv původním lihýřem. Jde o nevyhnutelnou modernizaci, vzhledem k tomu, jaká je dnes dostupnost přesného měření času. Původně se na ciferníku ukazoval německý čas (viz níže).
2. staročeský čas, uplynulý od západu Slunce předchozího dne. Ukazuje jej opět rafíje s rukou, na gotických číslicích 1–24, přičemž číselník (čtyřřadvacetník) se natáčí tam a zpět dle ročních období. Odpovídá přibližně pohybu středního



Obr. 1 — Astroláb Pražského orloje. Podkladová ortoskopická fotografie byla pořízena teleobjektivem z dostatečně velké vzdálenosti a navíc byla lineárně korigována pomocí programu Gimp tak, aby základní kružnice byly kružnice. Měřené rozměry dle práce Křížek aj. (2010) jsou vyneseny jako modré čárkované kružnice; přesně odpovídají fotografii. Teoretický astroláb byl vyneseny zeleně. Při lícování na rovník vycházejí tři základní kružnice přesně (rovník, ekliptika, astronomická noc) a tři nepřesně (obratník Raka, obratník Kozoroha, obzor). Temporální hodiny odpovídají obzoru. Fotografie zachycuje stav před rekonstrukcí (r. 2003).

Slunce, avšak jsou zde nevyhnutelné odchylky způsobené použitím SEČ, rozdílem mezi místním a pásmovým poledníkem, nerovnoměrným pohybem pravého Slunce neboli časovou rovnicí, místním obzorem (není ideální), úhlovým rozměrem Slunce nebo refrakcí.

3. hvězdný čas (ST), vztažený k jarnímu bodu, jehož ekliptikální délka $l = 0^\circ$ odpovídá začátku znamení Berana. Ukazuje jej hvězda spojená s ekliptikou, na římských číslicích. Přesnost je omezena počty zubů hodinového stroje (366, resp. 365).
4. rovník, dělicí oblohu na severní a jižní, reprezentuje kružnice o poloměru $R_2 = 165$ cm [6], znázorněná zlaceným prutem. Jedná se o jednu ze základních kružnic astrolábu. Pro teoretický astroláb je užito **lícování na rovník**, což je velmi důležité, neboť právě pro toto lícování bylo spočteno a *provedeno* několik následujících prvků.
5. ekliptika je provedena v souladu s rovníkem pro správnou hodnotu vzájemného sklonu $\varepsilon = 23,5^\circ$. Její poloměr je $R_e = 180,2$ cm (střed pásku), dotýká se teoretických obratníků, avšak nedosahuje až k provedeným obratníkům (viz níže).¹ Její dělení je rovnoměrné po 30° od středu rovníku, se symboly znamení. Po opravě poloměru je na vnějším okraji „žebříček“, s dílky po 5° , který je dnes charakteristickým znakem Pražského orloje. Dle stereografické projekce by dělení mělo být nerovnoměrné od pólu ekliptiky. Zjednodušení je ovšem nezbytné s ohledem na rovnoměrný chod hodinového stroje.
- 6.* astronomická noc, obecně almukantarát pro výšku $h = -18^\circ$, je také provedena v souladu s rovníkem pro správnou hodnotu zeměpisné šířky $\varphi = 50^\circ$. Kružnice má poloměr $R_a = 145,6$ cm [6]; není soustředná s jinou kružnicí. Vnitřní část kruhu je černá, znázorňuje totiž tmavou noc. Doba trvání astronomické noci má vycházet 43 dní, tj. jako ve skutečnosti. Provedená kružnice proto musí být posunuta o 1 cm směrem dolů.² Pro čtení je samozřejmě nezbytná **ostrá hranice**, čili okolní oblast soumraku musí být světlejší (původně oranžová). Stav po rekonstrukci (černý soumrak, rozmazaná hranice) je nutné opravit.
7. obratníky Raka a Kozoroha, mající poloměry $R_1 = 256,8$ cm, $R_3 = 104,5$ cm [6], odpovídají odlišnému sklonu $\varepsilon \doteq 25^\circ$, což znamená nesoulad s rovníkem a zároveň nesoulad s ekliptikou. Tento je na astrolábu přiznaný, neboť provedená ekliptika nedosahuje až k provedeným obratníkům.
- 8.* obzor, mající poloměr $R_o = 223,5$ cm [6], odpovídá odlišné šířce $\varphi \doteq 47^\circ$, čili je v nesouladu s rovníkem a také s astronomickou nocí. Odchylna není rušivá, není totiž patrná na první pohled. Obzor zvýrazňuje zlacený prut. Oblast soumraku mezi obzorem a astronomickou nocí je vyplněna barevným přechodem od červené do černé, ve které zcela zanikají černé nápisy „AVRORA“, „CREPVSCVLVM“. Stav je nutné napravit jiným přechodem (do karmínové červené).
9. temporální hodiny, vyznačené arabskými číslicemi 1–12, odpovídají obzoru ($\varphi \doteq 47^\circ$). S ohledem na jejich provedení zlacenými pruty jsou ponechávány

1. to by musela být posunuta o 5 cm ven

2. lze ověřit sestrojením pomocné kružnice, $O = (0; 0)$, $R = R_a - y_a$, a průsečíku s ekliptikou

beze změn. Barevnost podkladu je zde bledě modrá. Barevnost před rekonstrukcí byla okrová až modro-šedá, po úsecích jednotlivých temporálních hodin. Na světlém podkladu vynikají čitelné nápisy „ORTVS“, „OCCASVS“.

- 10.* Zeměkoule, respektive její symbol umístěný uvnitř obratníku Kozoroha, vytváří se Sluncem a Měsícem geocentrickou soustavu. Nelze ji znázornit ve stereografické projekci, proto je použita ortoskopická, se středem $\lambda = 15^\circ$, $\phi = 50^\circ$, aby byla Praha uprostřed.³ Poledníky a rovnoběžky jsou vyneseny atypicky po 18° a jsou zlacené, což Zeměkouli činí až příliš výraznou. Původní modro-šedé provedení, s tenkými tmavšími liniemi po 10° , bylo uměřené. Povrch může být znázorněn bez kontinentů. Dodejme, že uvnitř obratníku Kozoroha astroláb nemůže nic ukazovat, žádná rafije, resp. ukazatel, sem nezasahuje.
- 11.* Slunce, přesněji střední Slunce, znázorňuje rovnoměrný pohyb po obloze a po ekliptice, vztažený k $\lambda = 15^\circ$ (viz SEČ). Správně má pohyb probíhat po vnějším okraji ekliptiky (žebříčku), což vyžaduje prodloužení vodící rafije. Pak se zároveň bude přesně ukazovat astronomická noc.⁴
- 12.* Měsíc jakožto těleso, pro nějž platí totéž co pro Slunce. Správný pohyb po ekliptice vyžaduje prodloužení vodící rafije. Přesnost je dána počty zubů (366, resp. 379); doplňkový mechanismus tento pohyb ještě zpřesňuje.
13. fáze Měsíce, ukazované otáčením okolo osy při pohybu rafije nahoru–dolů pomocí unikátního mechanismu uvnitř Měsíce. Nevyžaduje žádných změn, kromě pravidelných korekcí dle kalendáře (pro střední Měsíc).
- 14.* kalendárium, které vytvořil Mánes (1866). Ukazatelem je zlacená šipka v horní části⁵, ukazující den v měsíci (gotické číslice), nedělní písmeno, jméno světce a slabiku cisiojánu. Není sice součástí astrolábu, nicméně by s ním měl být v dobovém a výtvarném souladu. Po rekonstrukci je na obvodu použita problematická lesklá tmavomodrá barva pozadí, která způsobuje, že v odlescích jsou jména zcela nečitelná. Je proto třeba navrátit původní bílou.
- 15.* dvojí sluneční hodiny byly prokazatelně umístěny na věži radnice. Mají mít šikmý ukazatel (polos) rovnoběžný se zemskou osou, bez nodu, s podpěrrou kolmou ke stěně, tvořící dvě strany trojúhelníku. Azimut kolmice ke stěně $A = -(27 \pm 2)^\circ$, kde $0^\circ \equiv J$, prozatím odměřený dle katastrální mapy, délka ukazatele $d = (65 \pm 2)$ cm dle fotografie z r. 1860. Číselník byl obdélníkový, obsahoval hodinové úsečky, snad půlhodinové značky, poloorlojní číslice, gotické nebo římské (odpovídající astrolábu), ukazující pravý místní sluneční čas (PMSČ). Hodiny byly umístěny na obou rozích věže, pravý číselník ukazoval

3. alternativně lze promítat se středem v severním pólu, což by vytvářelo kruhové rovnoběžky a Praha by byla vyznačena jako bod nahoře (Teicher 1735)

4. avšak uvědomíme-li si tuto skutečnost, můžeme odečítat pomocí žebříčku, což přesnost naopak zvyšuje

5. původně anděl vlevo, aby byl čtený nápis vodorovně, což ale bylo v rozporu s Mánesovým pojetím malby

dopolední hodiny VI–XII, levý odpolední XII–VI. Vlevo se nacházela hvězda okolo paty ukazatele (Koch 1791; [13]).⁶ Číselníky byly patrně bez datových hyperbol. Hodiny by měly být obnoveny vzhledem k jejich značnému historickému významu pro řízení orloje.

- 16.* nápisy „CIRCVLVS CANCRI“, „CIRCVLVS AEQVINOCII“, „CIRCVLVS CAPRICORNI“ na astrolábu nejsou, ale snad by je bylo možné provést jakožto vysvětlivky tří základních kružnic. Jsou však dosti dlouhé, mezery mezi číslicemi XI, XII, I naopak úzké, tudíž by muselo být použito problematické malé písmo.

Shrňme, že ze základních kružnic astrolábu jsou tři provedeny jako přesné (rovník, ekliptika, astronomická noc) a tři jako nepřesné (obratník Raka, obratník Kozoroha, obzor), jak můžeme vidět dle teoretického astrolábu lícovaného na rovník.⁷ Přesto pokládáme za správné je takto ponechat.

S čím je v souladu

*

Většina prvků byla na astrolábu patrně od jeho vzniku r. 1410, tzn. všechny základní kružnice, všechny rařije. V dané době lze také předpokládat znalost přesné hodnoty sklonu ekliptiky ε a zeměpisné šířky φ , stejně jako znalost správného postupu konstrukce astrolábu (viz Křišťan; Šindel).

Zlacené pruty, použité pro obratníky, rovník, obzor, temporální hodiny a ekliptiku, představují ostré stupnice. Stejně tak byl proveden přechod mezi soumrakem a nocí (Teicher 1735).

Kruh obratníku Kozoroha od 16. st. vyplňovala pukla (Táborský 1570; [5]), později Zeměkoule (Teicher 1735; či ve své poslední podobě Böhm 1866). Jde o dobrý a smysluplný nápad našich předků, který je na orloji již 448 let, respektive 283 let. Proto zde není ani průběžný obzor ani průběžná noc.

Až od roku 1912 byly poblíž orloje umístěny sluneční hodiny, nebo alespoň jejich ukazatele, jak dokumentují četné rytiny a fotografie ([13], [3]).

Astronomická noc je na astrolábu prokazatelně vyznačena již 107 let. I když ne vždy byla provedena správně, poslední nápravu r. 1979, kdy byla jen trochu zvětšena a posunuta [7], je možno považovat za správný a uměřený zásah.

Co se týká porovnání s obdobnými přístroji v Evropě, musíme bohužel připustit, že **analogie s jinými astroláby jsou neplatné**. Jednak jich existuje pouze několik a jednak by jakékoliv přenášení prvků z astrolábu na astroláb nerespektovalo specifický vývoj každého z nich. Neznamená to samozřejmě, že nemohou

6. na této rytině jsou chybné hodinové úsečky, sbíhající se k patě podpěry, nikoliv ukazatele

7. při lícování na obratník Raka by byl přesně pouze *jediný* prvek (obratník Raka), ostatních pět by bylo nepřesných (rovník, ekliptika, astronomická noc, obratník Kozoroha, obzor)

podobné prvky mít — konkrétně kružnici blízkou astronomické noci (je na astrolábu v Bernu); ostré stupnice (Lund, Doberan, Bern); ekliptiku sladěnou s rovníkem (Bern); nezlacenou hranici noci (Lund, Doberan, Bern); oranžově barvené plochy (Lund); nebo nápisy u obratníků a rovníku (Doberan, Stralsund). Stav před rekonstrukcí (obr. 1) se také vyznačoval lepším barevným souladem (jako mají Lund, Doberan, Bern, Stralsund).⁸

S čím je v rozporu

*

Současný ani kýžený stav nemůže zcela odpovídat stavu minulému, natož původnímu. V minulosti se například na orloji ukazoval německý čas, který odpovídal pravému místnímu slunečnímu času (PMSČ), nastavovanému dle zmiňovaných slunečních hodin. Původně byl hodinový stroj lihýřový, bez dalšího regulátoru, s nízkou přesností chodu (řádově 15 min/1 den).

Připouštíme, že odlišnost sklonu ekliptiky pro obratníky i odlišnost zeměpisné šířky pro obzor není jednoduché vysvětlit, obzvláště, pokládáme-li konstruktéra orloje za kvalifikovaného v oboru astronomickém. Snad k odchýlkám došlo při pozdějších rekonstrukcích.

Na rozdíl od současného stavu na astrolábu původně býval průběžný obzor (Táborský 1570) a almukantarát býval pro výšku $h \doteq -10^\circ$ (Teicher 1735). Takové provedení by ale bylo v nesouladu s jinými prvky orloje. Asi nikdo neuvažuje o nahrazení Mánesova kalendária, „žebříčku“ ekliptiky či použití lihýře pro regulaci.

Navzdory neplatným analogiím zmiňme, že na jiných astrolábech jsou následující prvky: přechodová barevnost (Stralsund); průběžný obzor, průběžná noc (Lund, Doberan, Bern, Stralsund); odlišná zeměpisná šířka (Lund, Bern); odlišný sklon ekliptiky (Lund); základní kružnice bez nápisů (Lund, Bern). V Praze se neukazuje jméno dne v týdnu (Bern); není zde ani dračí rafije (Bern). Na druhou stranu staročeský čas ukazovaný naklápěným čtyřřadvacetníkem není nikde jinde.

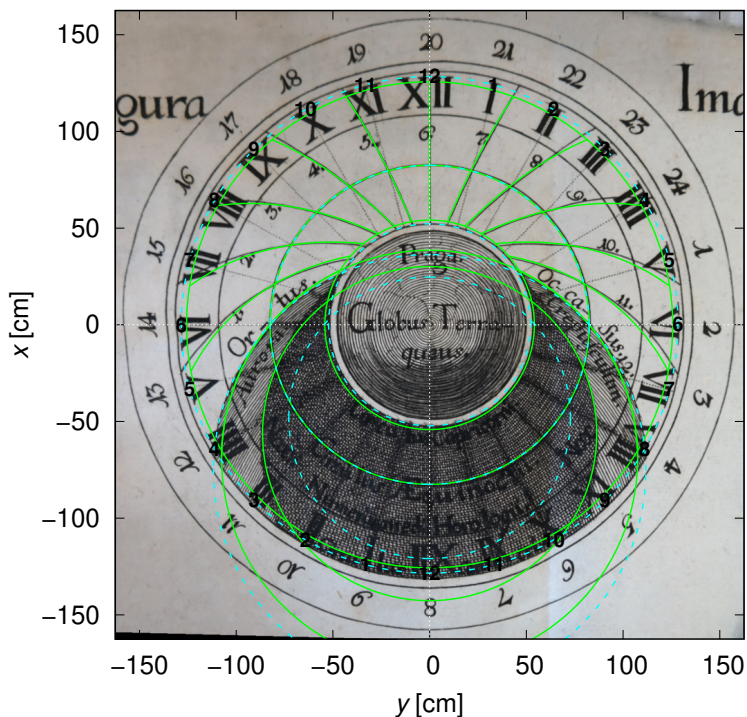
Nakonec poznamenejme, že tento text je v zásadním rozporu s [8].

- [1] BÖHM, J. G. *Beschreibung der alterhümlichen prager Rathaus-Uhr*. Prag, 1866.
- [2] BROŽ, M. *K rekonstrukci Pražského orloje*. *Povětroň*, **26**, 1, s. 3–8, 2018.
- [3] BROŽ, M., NOSEK, M. A. J. (EDS.) *Katalog slunečních hodin*. [online] [cit. 2018-12-12]. <http://astro.mff.cuni.cz/mira/sh/sh.php>.
- [4] HADRAVA, P., HADRAVOVÁ, A. *Křišťan z Prachatic: Stavba a Užití astrolábu*. Praha: Filosofía, 2001. ISBN 8070071486.
- [5] KRÁL, P. *Pražský orloj*. [online] [cit. 2018-10-09]. <http://orloj.eu/>.

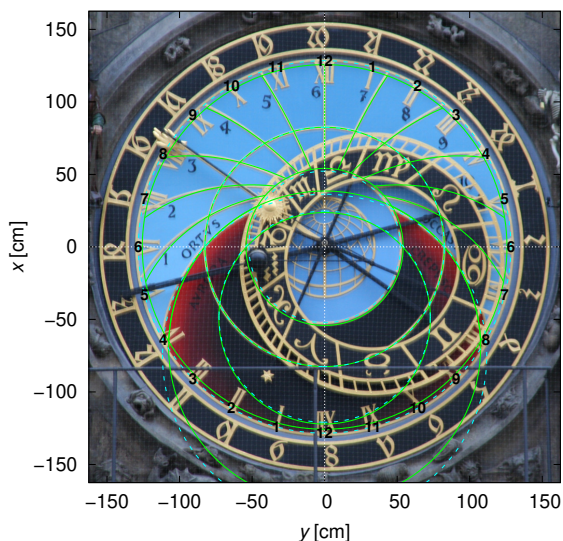
8. viz <http://sirrah.troja.mff.cuni.cz/~mira/tmp/orloj/orloj.html>

*

- [6] KRÍŽEK, M., KRÍŽEK, P., ŠOLC, J. *Astronomické omyly provádějící pražský orloj*. Čs. čas. fyz., **60**, 6, 337–340, 2010.
- [7] PATKA, M. *Pražský orloj. Byl jsem při tom*. [online] [cit. 2018-10-09]. <http://orloj.eu/cs/patka.htm>.
- [8] SKÁLA, P. *Návrh rekonstrukce středověké omalby astrolábu Pražského orloje*. [online] [cit. 2018-12-12]. <http://www.orloj.eu/download/Astrolab/NavrhRekonstrukceOmalby-DeskyAstrolabu.pdf>.
- [9] ŠOLC, M. *Evropské astronomické orloje*. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, **54**, 4, s. 325–356, 2009.
- [10] ŠOLCOVÁ, A. *Mistr Jan Šindel — pravděpodobný tvůrce matematického modelu pražského orloje*. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, **54**, s. 307–317, 2009.
- [11] TÁBORSKÝ, J. *Správa o orlogi Pražském*. 1570.
- [12] TEICHER, A. G. *Beschreibung der kunft-reichen Uhr-Herds auf dem Rath-Haus der Königlich Alt-Stadt Prag*. Prag, 1735.
- [13] *Wikipedia*, *Staroměstský orloj*. [online] [cit. 2018-12-12]. http://cs.wikipedia.org/wiki/Staroměstský_orloj.



Obr. 2 — Totéž jako na obr. 1, ale pro kresbu orloje z práce Teicher (1735). Patrná je velmi dobrá shoda se současnými fotografiemi. Použitá hodnota výšky je zde ovšem $h = -10^\circ$.



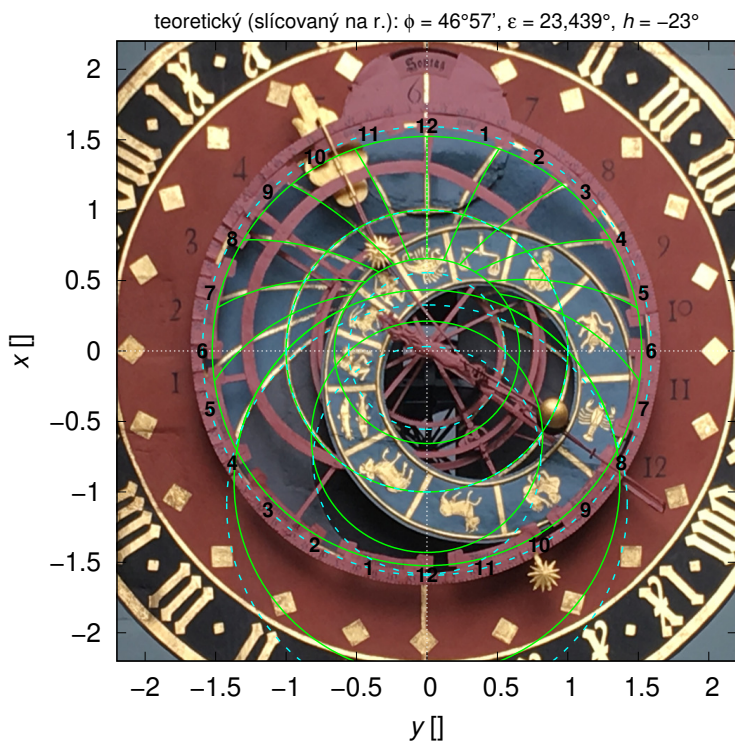
Obr. 3 — Totéž jako na obr. 1, ale ve stavu po rekonstrukci (r. 2018).

Podobný orloj v Bernu

Miroslav Brož

V návaznosti na Povětroně 1 a 3/2018 se podíváme do Bernu na Zytglogge, význačnou věž v centru historického města. Najdeme na ní totiž celkem tři ciferníky, přičemž východní dolní je unikátním astrolábem. Vročení prokazuje jeho vznik roku 1405.

Astroláb je konstruován stereografickou projekcí ze severního pólu [1]. Poloorlojní hodiny v rozsahu I–XII, I–XII jsou doplněné půlhodinovými ryskami a ukazuje na nich zlacená ručka. Temporální hodiny jsou v obvyklém rozsahu 1–12. Ekliptika se otáčí jednou za hvězdný den a rafie se Sluncem na ní ukazuje jeho polohu vzhledem ke znamením zvěrokruhu. Měsíc je další rafíí udržován pod ekliptikou, pomocí pastorku se na něm ukazuje i fáze. Nechybějí základní kružnice astrolábu, čili rovník, obratník Raka (velký) a obratník Kozorooha (malý). Horizont rozděluje nebe na modrý den, tmavě šedý soumrak; černě je vyznačena tmavá noc. V horní části se ukazuje den v týdnu. Rete je stupnicí pro 365 dnů v roce, s číslicemi po 5 dnech a názvy měsíců. Příslušná červená obruč téměř zakrývá zlacený obratník Raka. Na rete ukazuje hvězda (druhé Slunce), umístěná naproti Slunci. V neposlední řadě je před ekliptikou dračí rafie, otočná okolo středu ekliptiky, kde hlava draka ukazuje polohu výstupného uzlu dráhy Měsíce a ocas sestupného. Když se Měsíc sejde se Sluncem poblíž uzlu, lze očekávat zatmění, resp. zakrytí.



Obr. 4 — Orloj v Bernu, ortoskopické foto a teoretický astroláb, který byl spočten pro zeměpisnou šířku $\varphi = 46^{\circ} 57'$, sklon ekliptiky $\varepsilon = 23^{\circ} 26'$, výšku $h = -23^{\circ}$ a slícován na provedený rovník.

Funkce červené excentrické obruče naproti ekliptice je nejasná; slouží snad pro zpevnění. Na rozdíl od Pražského orloje jsou některé mechanické části umístěné v popředí, výhled na astroláb je proto poněkud omezený. Samotný střed vyplňuje okno.

Srovnání s teoretickým astrolábem (obr. 4) ukazuje následující pozoruhodné odchylky. Užijeme-li lícování na rovník, provedený obratník Raka je velký, avšak teoretickému obratníku odpovídá okraj rete. Obratník Kozoroha je naopak příliš malý. Pozoruhodné je, že ekliptika se dotýká teoretických obratníků, čili odpovídá provedenému rovníku.⁹ Obzor se zdá být příliš nízký. Křivky temporálních hodin, dělicích bílý den na 12 úseků, jsou posunuté úměrně obzoru. Mohou se zdát nesprávně zakřivené poblíž okna, ale to je zřejmě způsobené prolomením a zakreslením na šikmé ploše. Průměr výškové kružnice odpovídá $h \doteq -23^{\circ}$, což

9. tj. obdobný případ jako na Pražském orloji

je dosti podezřelá hodnota (blízká ε). Navíc je nesprávně posunutá mezi obratník Raka a střed. V porovnání s Pražským orlojem je tedy odchylek vícero.

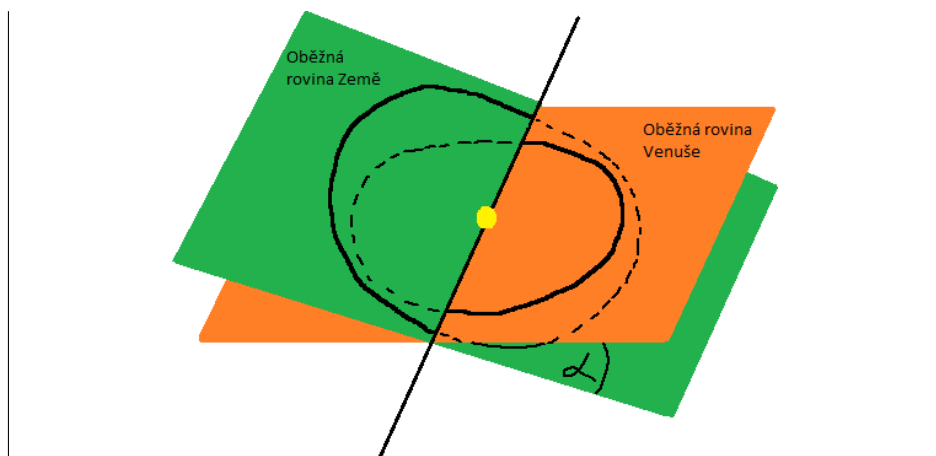
[1] BROŽ, M. *K rekonstrukci Pražského orloje*. *Povětroň*, **26**, 1, s. 3–8, 2018.

[2] ŠOLC, M. *Evropské astronomické orloje*. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, **54**, 4, s. 325–356, 2009.

Přechody Venuše počítané jednoduchou matematikou Michal Brixí

Po pozorování přechodů Venuše v roce 2004 a 2012 všichni litovali, že se dalšího už asi nedočkájí. Není divu, následující přechod Venuše přes sluneční kotouč nás čeká až v roce 2117. Ne všichni si ale položili otázku, proč se tyto přechody neopakují logičtěji? Pokud by se přechody opakovaly v pravidelném cyklu, po roce 2004 a 2012 by měl logicky následovat rok 2020. Tak to ale není, a následují až roky 2117 a 2125. V tomto článku se pokusím objasnit, jaká jednoduchá matematika za tím stojí. Začneme s objasněním dlouhé periody, která trvá více jak jedno století.

Budeme uvažovat následovně: v prostoru si představíme dvě roviny, které budou reprezentovat oběžnou rovinu Venuše a oběžnou rovinu Země (viz obr. 5).



Obr. 5 — Náčrt rovin oběžných drah Venuše a Země, uzlové přímky a vzájemného sklonu α .

Roviny oběžných drah jsou vzájemně skloněné o úhel $\alpha = 3,4^\circ$. Je důležité, že průnikem těchto dvou rovin je přímka procházející Sluncem. Pouze na této přímce může dojít k přechodu Venuše přes střed kotouče Slunce při pohledu z planety Země. Pro zjednodušení budeme tuto přímku považovat za nehybnou v prostoru. Výsledek proto nemusí být zcela přesný.

Nyní uvažujme nejkratší možný interval, který uběhne od jednoho do následujícího setkání planet na této přímce. Venuše a Země protínají přímku periodicky každý jejich půlrok. Pro Zemi trvá siderický rok $T_{\oplus} = 365,256$ dne, pro Venuši $T_V = 224,7$ dne. Abychom dostali protnutí polopřímky oběma planetami najednou, musíme mezi sebou tato čísla vynásobit; najdeme tak číslo, které je dělitelné zároveň číslem 365,256 i 224,7.

Společný násobek nám vyjde ve dnech, ale jelikož ho potřebujeme v letech, podělíme jej pozemským rokem, čímž se opět vrátíme k hodnotě 224,7, tentokrát v pozemských letech. Protože přímka protíná dráhy na dvou místech, musíme tento mezivýsledek ještě dělit dvěma a dostaneme výsledek 112,35 let. Prakticky by se mělo jednat o dobu, která uplyne mezi přechody v letech 2004 a 2117, což je ale 113 let. Roční odchylka nám ukazuje, že jsme se spletli asi o 1%; zde se projevují jevy, které jsme zanedbali.

Pouhým vynásobením dvou čísel jsme objasnili, jaký je skutečný původ skoku z 21. do 22. století. Ještě však musíme objasnit důvod, proč jsme v tomto století mohli pozorovat dva přechody s osmiletým prodlením a proč se za dalších 8 let tento jev neopakuje znovu.

Potřebujeme vědět, za jak dlouho se Venuše a Země dostanou nejbližší k sobě, tedy za jak dlouhou dobu opět nastane dolní konjunkce, bez ohledu na to, jestli Venuše a Země budou na výše zmíněné uzlové přímce rovin oběžných drah. V astronomii se tato oběžná doba nazývá synodická a vypočítá se z rovnosti opsaných úhlů (v radiánech), které uběhnou Venuše a Země:

$$\frac{2\pi}{T_V} T_{\text{syn}} = \frac{2\pi}{T_{\oplus}} T_{\text{syn}} + 2\pi,$$

odkud plyne vztah:

$$\frac{1}{T_{\text{syn}}} = \frac{1}{T_V} - \frac{1}{T_{\oplus}}.$$

Po dosazení dostaneme $T_{\text{syn}} = 583,917$ dne.

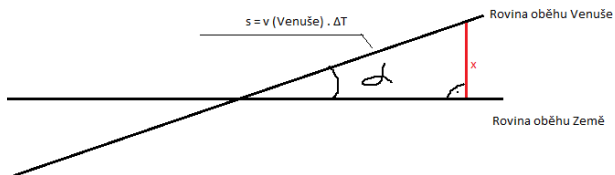
Jelikož se jedná o osmiletou periodu, zjistíme, že 8 pozemských let se rovná 2922,048 dnům. Pokud toto číslo podělíme periodou Venuše, dostaneme téměř přesně 13 Venušinyých let. Po dělení synodickou periodou dostaneme 5 synodických period. Vyjdeme tedy z rozdílu dvou hodnot, 13 Venušinyých let a 5 synodických period Venuše se Zemí:

$$\Delta T = 5T_{\text{syn}} - 13T_V = 2919,585 \text{ d} - 2921,1 \text{ d} = 1,515 \text{ d}.$$

Rozdíl zohledníme při pohybu Venuše na její dráze (obr. 6). Zjistíme, kam se Venuše posune, neboť Venuše a Země se nesejdou na přímce, ale o 1,515 dne dříve,

a vypočítáme příslušnou výšku x Venuše v kilometrech. Rychlost Venuše v její dráze je přitom přibližně 35 km/s:¹⁰

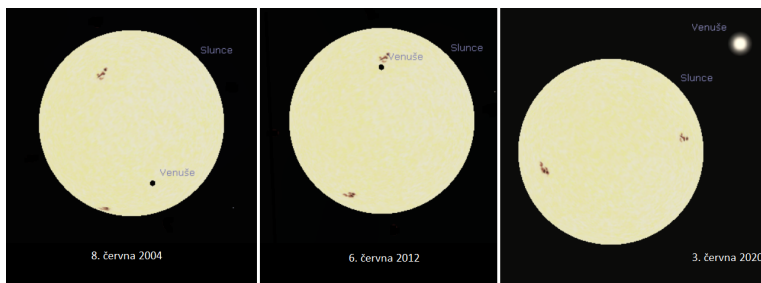
$$x = \sin \alpha v \Delta T = \sin 3,4^\circ \cdot 35 \cdot 1,515 \cdot 86\,400 \text{ km} \doteq 271\,800 \text{ km}.$$



Obr. 6 — Náčrt rovin oběhu Venuše a Země a výšky x .

Výsledek vynásobíme $\frac{10}{3}$, neboť se nám Venuše promítá na Slunce a objekty jsou vzdálené od Země v tomto poměru. Dostaneme číslo 906 200 km v případě, že by Venuše obíhala na Slunci. Toto číslo je menší než 1 391 016 km (průměr Slunce), což znamená, že se nám po 8 letech ještě Venuše na sluneční kotouč vejde. Po 16 letech však již nikoli, jelikož se tato odchylka zdvojnásobí, čímž bychom se dostali na 1 812 400 km. Čili i kdyby Venuše „lízla“ okraj Slunce, stejně bychom se po 16 letech dostali mimo kotouč Slunce.

Úhlová přiblížení Venuše ke středu Slunce v letech 2004, 2012 a 2020 ukazuje obr. 7. Potvrzuje, že pozice Země během přechodu skutečně nehraje velkou roli. Po přeměření pozic maximální fáze přechodu Venuše zjistíme, že hodnota 900 000 km je odpovídající.



Obr. 7 — Polohy Slunce a Venuše 8. června 2004, 6. června 2012 a 3. června 2020. Vypočteno programem Stellarium.

10. Vlastní pohyb Země během přechodu zanedbáme, jelikož ten bude pouze způsobovat určitou zakřivenost dráhy přechodu Venuše po Slunci.

Mějme jevy A, B . To není dobrý začátek. Jevy jsou velmi abstraktní, bude proto lepší představit si konkrétní jev A , např. hod kostkou, při němž padne šestka. Nastává s určitou pravděpodobností $p(A)$; např. zde $p(A) = \frac{1}{6}$. Podmíněná pravděpodobnost $p(A|B)$ je pravděpodobnost, že nastane jev A , když nastal jev B ; např. že při hodu padlo číslo větší nebo rovno čtyřem — pak je ovšem $p(B) = \frac{1}{2}$, $p(A|B) = \frac{1}{3}$ a $p(B|A) = 1$. Pravděpodobnost, že nastanou *současně* jevy A i B je zřejmě:

$$p(A \wedge B) = p(A|B)p(B) = p(B|A)p(A);$$

v našem hazardním příkladu vsutku $\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} = 1 \cdot \frac{1}{6}$. Zároveň odtud plyne vztah mezi podmíněnými pravděpodobnostmi:

$$p(A|B) = \frac{p(B|A)p(A)}{p(B)}, \tag{1}$$

neboli Bayesova věta, kterou hodláme využít pro následující úlohu, která se netýká hazardu.

Základní úlohou je totiž aproximace přímkou (srov. obr. 10):

$$y = ax + b, \tag{2}$$

kde a označuje směrnici přímky, b nulový bod (kde protíná osu \hat{y}). Měření nezávislé veličiny x_i a závislé y_i , které vždy vykazují nejistoty σ_i (příslušné y_i), tuto rovnici nemohou splňovat přesně, $y_i \neq ax_i + b$ pro $\forall i$. Otázkou je, jak nejlépe volit a, b , a především, jaké jsou jejich nejistoty σ_a, σ_b . V astronomii se s úlohou setkáváme neustále: při měření rychlosti, atmosférické extinkce, periody v diagramu $O-C$, radiometrického stáří, Hubblový konstanty, atd. atd.

Ztotožníme-li jev A .. a, b s parametry, B .. x_i, y_i, σ_i s měřeními, pak (1) přejde na:

$$p(a, b|x_i, y_i, \sigma_i) = \frac{p(x_i, y_i, \sigma_i|a, b)p(a, b)}{p(x_i, y_i, \sigma_i)}, \tag{3}$$

kde $p(x_i, y_i, \sigma_i)$ označuje pravděpodobnost, že při měření obdržíme právě tato měření¹¹, $p(a, b)$ a *priorní* (předchozí) pravděpodobnost parametrů, $p(a, b|x_i, y_i, \sigma_i)$ a *posteriorní* (následnou) pravděpodobnost parametrů při daných měřeních a konec konců $p(x_i, y_i, \sigma_i|a, b)$ pravděpodobnost měření při daných parametrech (věrohodnost, angl. likelihood).

Otázkou je, kde je vzít? $p(x_i, y_i, \sigma_i)$ často neznáme, nicméně ji lze získat renormalizací. $p(a, b)$ obvykle známe z literatury, nevíme-li nic, jsme hloupí a volíme

11. rozlišujeme (nedostupný) celý soubor X_i od podmnožiny souboru x_i

konst., $p(a, b|x_i, y_i, \sigma_i)$ vypočítáme z (3). Pro $p(x_i, y_i, \sigma_i|a, b)$ ovšem potřebujeme nějaký věrohodný předpis.

Za předpokladu, že odchylky měření jsou pouze náhodné, se používá rozdělení pravděpodobnosti dle Gaussovy funkce:

$$p(x; \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad (4)$$

kde x dočasně označuje odchylku (od 0). V dalším budeme potřebovat též výraz $J \equiv -\ln p = \ln \sigma + \ln \sqrt{2\pi} + \frac{x^2}{2\sigma^2}$. V našem případě ztotožníme $x \dots y_i - ax_i - b$, $\sigma \dots \sigma_i$, čímž obdržíme funkcionál:

$$J = \sum_i \left[\frac{(y_i - ax_i - b)^2}{2\sigma_i^2} + \ln \sigma_i + \ln \sqrt{2\pi} \right]. \quad (5)$$

Minimalizace J vzhledem k a, b zajistí maximalizaci $p(x_i, y_i, \sigma_i|a, b)$. Numericky to můžeme provést např. metodou simplexu (Nelder a Mead 1965).¹²

Složitější úlohou je případ s nejistotami v obou osách:

$$J = \frac{1}{2} \sum_i \left[\frac{(y_i - ax_i - b)^2}{\sigma_{y_i}^2 + a^2\sigma_{x_i}^2} + \ln(\sigma_{y_i}^2 + a^2\sigma_{x_i}^2) + \ln(2\pi) \right],$$

kde minimalizace J vzhledem k a, b dá obecně odlišný výsledek.

Ještě složitější úlohou je případ s podceněnými nejistotami σ_i , obzvlášť když se mezi měřeními vyskytuje odlehlý bod. Užijeme proto faktor f , ovšem v kvadrátu:

$$J = \frac{1}{2} \sum_i \left[\frac{(y_i - ax_i - b)^2}{f^2\sigma_i^2} + \ln(f^2\sigma_i^2) + \ln(2\pi) \right] \quad (6)$$

a minimalizaci J provedeme vzhledem k a, b, f , přičemž optimální hodnoty označíme $\bar{a}, \bar{b}, \bar{f}$.

Nezajímá nás však $p(x_i, y_i, \sigma_i|a, b)$, nýbrž $p(a, b|x_i, y_i, \sigma_i)$! Zkusme si to ostatně říci slovně. Proto potřebujeme prior $p(a, b)$. Například se může jednat o výsledek dřívějších měření:

$$p(a; \mu_a, \sigma_a) = \frac{1}{\sigma_a\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(a-\mu_a)^2}{2\sigma_a^2}}, \quad (7)$$

12. metoda nejmenších čtverců, minimalizující $\chi^2 \equiv \sum_i (y_i - ax_i - b)^2/\sigma_i^2$, poskytuje pro a, b analytické řešení

nebo pouze o meze (připustné dle příslušných fyzikálních zákonů):

$$p(a) = \begin{cases} \frac{1}{a_{\max} - a_{\min}} & \text{pro } a_{\min} < a < a_{\max}, \\ 0 & \text{jinak.} \end{cases}$$

Obdobně pro b, f .

Zároveň potřebujeme nejistoty parametrů σ_a, σ_b . Nejistota σ_f také ovlivní σ_a, σ_b ! Nezbytné je proto vzorkování funkcionálu $J(a, b, f)$, pro což se používá: (i) metoda Monte Carlo; (ii) metoda Markovových řetězců. O tom, kam se posuneme v a, b nebo f , rozhoduje náhodné číslo $x \in \langle 0; 1 \rangle$; je-li menší než určitá pravděpodobnost, $x < p$, dojde k posunu. Pravděpodobnosti p jsou určeny výhradně ze současného stavu (a, b, f) , tzn., že se jedná o řetězec (angl. chain, zkr. MCMC). Pro efektivní vzorkování se užívá zároveň vícero řetězců. Počáteční podmínky se volí v okolí $\bar{a}, \bar{b}, \bar{f}$. Po určité době se statistické rozdělení zaznamenaných hodnot a, b, f již nemění, i když hodnoty oscilují (viz obr. 8). Vytvoří se rovnováha mezi $p(x_i, y_i, \sigma_i | a, b)$ a $p(a, b)$, což je právě hledané $p(a, b | x_i, y_i, \sigma_i)$. Vyřadíme-li počáteční přechodový stav, lze kreslit izočáry, počítat percentily nebo studovat korelace.

Pro naše účely je f *zbytný* parametr (angl. nuisance), nezajímavá hodnota. Proto se provádí součet přes všechny hodnoty f , čímž získáme dvourozměrné rozdělení a, b , nebo i součet přes b , resp. a , čili jednorozměrná rozdělení a , resp. b (obr. 9). Obvykle se píše na okraj tabulky a kreslí na okraj obrázku, proto se postupu říká *marginalizace*.

Prakticky postup naprogramujeme v Pythonu [1]:

```
#!/usr/bin/env python

"""
bayes.py
Aproximace prmkou, vc. vypoctu nejistot (Monte Carlo Markov Chain; MCMC)
"""

import numpy as np
import scipy.optimize
import matplotlib.pyplot as plt
import emcee
import corner

def minus_ln_likelihood(params, x, y, sigma):
    """Verohodnost -ln p(x_i, y_i, sigma_i | a, b, f)"""
    a, b, f = params
    model = a*x + b
    s2 = (f*sigma)**2
    J = 0.5*np.sum((y-model)**2/s2 + np.log(s2) + np.log(2.0*np.pi))
    print "J = ", J
    return J
```

```

def minus_ln_prior(params):
    """Prior -ln p(a,b,f)"""
    a, b, f = params
    if 0.1 < a < 2.0 and 0.0 < b < 2.0 and 0.5 < f < 5.0:
        return 0.0
    else:
        return -np.inf

def ln_posterior(params, x, y, sigma):
    """Posterior ln p(a,b,f|x_i,y_i,sigma_i)"""
    tmp = minus_ln_prior(params)
    if not np.isfinite(tmp):
        return -np.inf
    else:
        return -(minus_ln_prior(params) + minus_ln_likelihood(params, x, y, sigma))

def main():
    """Nacteni dat, maximalizace verohodnosti, vypočet MCMC, rohovy obrazek, ..."""
    x, y, sigma = np.loadtxt("xy.dat", usecols=[0,1,2], unpack=True)

    a = 1.0
    b = 0.0
    f = 1.0
    result = scipy.optimize.minimize(lambda *args: minus_ln_likelihood(*args), \
        [a,b,f], args=(x,y,sigma), method='Nelder-Mead', tol=1.0e-4)
    a, b, f = result.x
    print result

    ndim = 3
    walkers = 32
    position = [ result.x + 1.0e-4*np.random.rand(ndim) for i in range(walkers) ]
    sampler = emcee.EnsembleSampler(walkers, ndim, ln_posterior, args=(x,y,sigma))
    sampler.run_mcmc(position, 500)

    fig = plt.figure()
    plt.subplot(311)
    plt.plot(sampler.chain[:, :, 0].transpose())
    plt.xlabel("krok")
    plt.ylabel("$a$")
    plt.subplot(312)
    plt.plot(sampler.chain[:, :, 1].transpose())
    plt.ylabel("$b$")
    plt.subplot(313)
    plt.plot(sampler.chain[:, :, 2].transpose())
    plt.ylabel("$f$")
    plt.savefig("chain.png")

    samples = sampler.chain[:, 100:, :].reshape((-1, ndim))

    fig = corner.corner(samples, labels=["$a$", "$b$", "$f$"], truths=[a,b,f])
    fig.savefig("corner.png")

    fig = plt.figure()

```



```

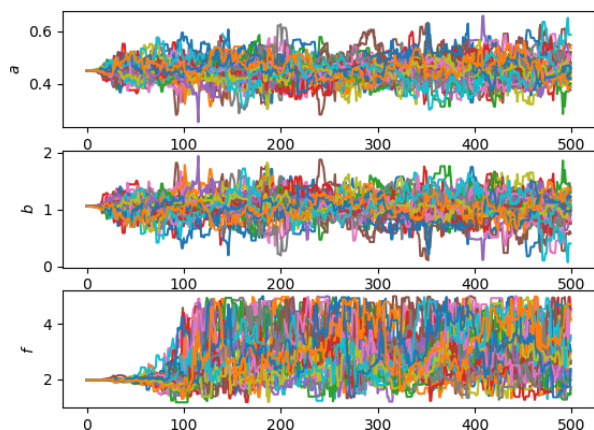
for a_tmp, b_tmp, f in samples[np.random.randint(len(samples), size=100)]:
    plt.plot(x, a_tmp*x + b_tmp, color='k', alpha=0.1)
plt.plot(x, a*x + b, color='r')
plt.errorbar(x, y, yerr=sigma, fmt='k+', ecolor='y', capsize=2.0)
plt.xlabel("$x$")
plt.ylabel("$y$")
plt.savefig("xy.png")

a, b, f = map(lambda x: (x[1], x[2]-x[1], x[0]-x[1]), \
               zip(*np.percentile(samples, [16,50,84], axis=0)))
print "a = ",
a print "b = ", b
print "f = ", f

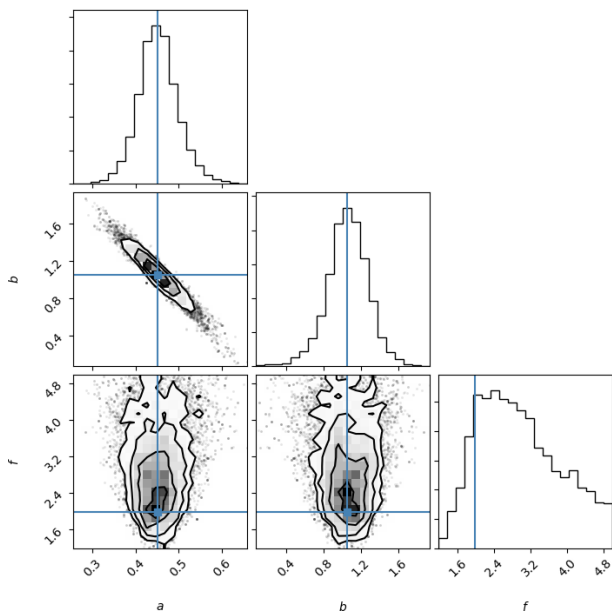
if __name__ == "__main__":
    main()

```

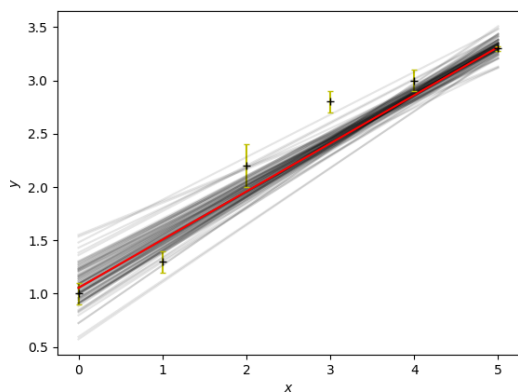
- [1] FOREMAN-MACKEY, D. AJ. *Example: Fitting model to data*. [online] [cit. 2018-12-03]. (<http://dfm.io/emcee/current/user/line/>).
- [2] NELDER, J. A., MEAD, R. *A simplex method for function minimization*. *Comput. J.*, **7**, s. 308–313, 1965.
- [3] SHAVER, B. *A zero-math introduction to Markov chain Monte Carlo methods*. [online] [cit. 2018-12-03]. (<https://towardsdatascience.com/a-zero-math-introduction-to-markov-chain-monte-carlo-methods-dcba889e0c50>).



Obr. 8 — Určování nejistot parametrů a, b, f pro aproximaci přímkou $y_i = ax_i + b$ pomocí Markovových řetězců, které vzorkují a posteriorní pravděpodobnost. Prvních 100 kroků bude následně vynecháno, neboť až poté je dosaženo rovnovážného stavu.



Obr. 9 — Rohový obrázek pro marginalizované pravděpodobnosti $p(a)$, $p(b)$, $p(f)$ na diagonále (tzn. jednorozměrné histogramy), a $p(a, b)$, $p(a, f)$, $p(b, f)$ pod diagonálou (dvourozměrné grafy s izočarami odpovídajícími četnosti). Zřejmá je negativní korelace mezi a, b . Nejistoty $\sigma_a, \sigma_b, \sigma_f$ se pak určují jako percentily. Modře jsou vyznačeny parametry a, b, f pro maximální věrohodnost $p(x_i, y_i, \sigma_i | a, b)$.



Obr. 10 — Data x_i, y_i a jejich nejistoty σ_i , spolu s aproximací přímkou $y = ax + b$ (červeně) a stovkou přímkou náhodně vybraných z Markovova řetězce, což naznačuje nejistoty σ_a, σ_b . Výsledné hodnoty parametrů jsou: $a = 0,450^{+0,044}_{-0,046}$, $b = 1,061^{+0,217}_{-0,198}$, $f = 2,90^{+1,09}_{-0,85}$. Je-li přímkový model vůbec platný, pak jsou nejistoty měření značně podceněné.

CCD měření byla získána pomocí tří různých přístrojů lokalizovaných na observatoři Ondřejov a na observační základně Astronomické společnosti v Hradci Králové (ASHK).

Pozorovací program dalekohledu Jana Šindela (JST; 0,40 m, $f/5$) byl zaměřen na sledování zákrytových dvojhvězd z projektu Sekce proměnných hvězd a exoplanet (SPHE) při České astronomické společnosti. Jejich výběr se stejně jako v letech minulých opíral o zajímavý diagram $O-C$ vykazující sinusoidální změny, stáčení přímky apsid nebo zkracování či prodlužování periody, případně se jednalo o zanedbané dvojhvězdné systémy. Všechny snímky z dalekohledu JST byly pořízeny CCD kamerou G2-1600 se sadou standardních filtrů BVRcIc. Do výběru se dostalo celkem 17 hvězd a výsledná fotometrie přinesla 90 okamžiků minim. Vedlejším produktem byla fotometrie jedné pulsující hvězdy typu RRab: ASASSN-V J182254.86+572354.6 Dra (449 měření), jedné pulsující hvězdy typu DSCT: GSC 4433-0827 Dra (446 měření) a jedné proměnné hvězdy bez určeného typu proměnnosti MISC: ASAS J175019+0429.1 Oph (225 měření). Za účelem astrometrie byla sledována kometa C/2017 S3 (PanSTARRS)(3 pozice).

Pod odsuvnou střechou domečku — pozorovatelný Astronomické společnosti — byla vedle hlavního dalekohledu JST po celý rok v činnosti sestava HK25: montáž EQ-6 nesoucí reflektor 0,25 m, $f/3,92$ vybavený CCD kamerou ST-7 se sadou filtrů BVRcIc. HK25 se zapojil do fotometrie 18 zákrytových proměnných hvězd z projektu SPHE a bylo získáno 25 okamžiků minim.

Pomocí VPN klienta jsem se během jasných nocí pravidelně připojoval k robotickému dalekohledu Blue Eye 600, který je umístěn na ondřejovské observatoři. Jedná se o ultra rychlou Alt/Az montáž nesoucí teleskop RiLA (0,60 m, $f/5$) typu Ritchey-Chrétien s CCD kamerou G4-4000BI osazenou citlivým senzorem e2v 42-40 NIMO. Právě díky ovládní přes internet může být pozorování spuštěno z libovolné lokace. Níže uvedená měření byla uskutečněna převážně z hvězdárny v Úpici a z pozorovatelný ASHK, část pozorování pak proběhla z tepla domova a z Českých Budějovic. Primárním úkolem teleskopu je fotometrie malých planetek. Získaná data pak slouží jako podklad pro modelování reálného tvaru těchto planetek metodou inverzní fotometrie. Z programu Astronomického ústavu MFF UK bylo sledováno celkem 37 objektů. Současně se do zorného pole dostaly další 4 objekty. Úhrnná doba fotometrie činí 170 hodin. Stovky pozic malých planetek nejsou zatím proměřeny. Za účelem astrometrie bylo sledováno 11 komet (126 pozic). Co se týká proměnných hvězd, bylo pomocí Blue Eye 600 pozorováno ve dvou nocích okolí proměnné hvězdy V430 Lac a současně V492 Lac (4 okamžiky minim).

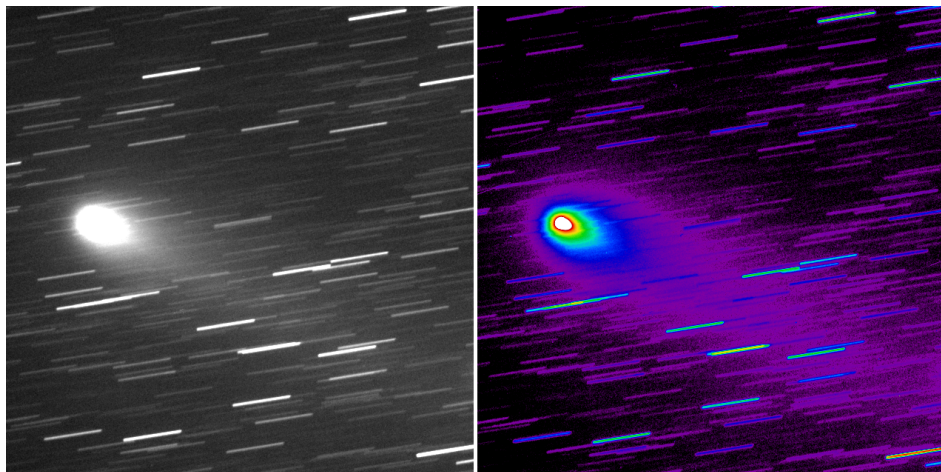
Rodinně nových proměnných hvězd (HKV) objevených na observační základně Astronomické společnosti v Hradci Králové bylo letos věnováno více pozornosti.

Dalekohled JST pozoroval HKV18 Boo (6 okamžiků minim) a několik dříve nalezených a prozatím neregistrovaných a nepublikovaných proměnných hvězd. V dlouhých fotometrických řadách pořízených dalekohledem Blue Eye 600 byly objeveny další desítky nových proměnných hvězd — avšak vzhledem k jejich velkému množství budou k dalšímu studiu vybrány pouze zajímavější případy.

Suma sumárum se během roku 2018 pozorovalo 68 nocí. Konkrétně 40 nocí na Blue Eye 600, 18 nocí na JST a 14 nocí na HK25. Ve výsledku bylo sledováno celkem 37 zákrytových proměnných hvězd (119 okamžiků minim), 3 fyzicky proměnné hvězdy (1140 měření) a fometrováno bylo 41 malých planetek (170 h).

Využití observačního času bylo maximální. Softwarové vybavení zůstalo bez větších změn. Ke zpracování fotometrických pozorování byl využíván CMunipack 1.1.26 a 2.1.6 (upravený pro matching pohybujícího se objektu) a Peranso 2.50. Velké poděkování patří za podporu především hvězdárně v Úpici, docentu Marku Wolfovi z MFF UK v Praze za zapůjčení CCD kamery G2-1600 se sadou filtrů BVRcIc, firmě ProjectSoft a celé řadě dalších lidí, bez jejichž příspěví by nemohla být výše uvedená pozorování uskutečněna.

Fotometrická pozorování byla publikována v databázích BRNO a MEDUZA SPHE nebo zaslána vedoucím daných projektů. Veškeré zpracování CCD pozorování bylo uskutečněno na hvězdárně v Úpici.



Obr. 11 — Kometu 21P/Giacobini-Zinner. Kompozice 60×30 s byla pořízena 12. 8. 2018 robotickým dalekohledem Blue Eye 600 + CCD G4-4000BI v Ondřejově. Zorné pole je 20×20 obloukových minut.

Vizuální pozorování probíhala podobným dílem na hvězdárně v Úpici a na observační základně Astronomické společnosti v Hradci Králové. Poslední dvě prosincové noci jsem pak vzhlížel k obloze z Pavlovic u Vyškova, kde se nachází dvojice hvězdáren MontePa a DATEL. Z přístrojového vybavení jsem využíval Cassegrain C 310/2750, Newton na dobsonově montáži 200/850, refraktor Mertz R 160/1785, binokulár Helios 20 × 100, Somet Binar 25 × 100 a triedr 10 × 50.

Primárním programem bylo tradičně vizuální pozorování komet, kde bývá úkolem určení celkové jasnosti komy, úhlového průměru komy a stupně centrální kondenzace.

Během roku 2018 jsem spatřil celkem 12 komet a získal 57 odhadů celkové jasnosti komy. Ve většině případů se jednalo o poměrně jasné komety. Pomyslný titul „Nejjasnější kometa roku“ bych osobně rozdělil v poměru 40 : 60 a zasluženě podělil dvojici krátkoperiodických komet 21P/Giacobini–Zinner a 46P/Wirtanen. První z nich dosáhla maxima jasnosti na počátku září. Prošla periheliem a zároveň se přiblížila k Zemi na 0,391 AU. Díky tomu byla snadným cílem pro malý triedr. Měla cca 7,3 mag a rychle se přesouvala na ranní oblohu přes Vozku a Blížence do Jednorozce. Závěr roku 2018 pak byl ve znamení druhé zmíněné komety. Wirtanen se prosmýkla kolem naší planety ve vzdálenosti pouhých 0,078 AU a velkou rychlostí „valila“ z Velryby přes Vozku směrem na Velkou Medvědici. Její jasnost stoupla natolik, že byla viditelná pouhým okem jako slabá rozmázlá hvězdička. Škoda jen, že jasnost byla rozprostřena na velké ploše, asi jako má Měsíc v úplňku, takže nebyla příliš nápadná a odhady celkové jasnosti komy velice závisely na pozorovacích podmínkách. Okraje měla vskutku přespříliš difuzní a určení průměru se stávalo úkolem téměř nadlidským. Nicméně byla to nejjasnější kometa roku 2018 a po dlouhé době vlasatice viditelná bez dalekohledu.

jméno a označení komety	interval pozorování	počet pozorování
21P/Giacobini–Zinner	2. 7. – 2. 10.	21
29P/Schwassmann–Wachmann 1	6. 11. – 29. 11.	2
38P/Stephan–Oterma	6. 11. – 18. 11.	3
46P/Wirtanen	6. 11. – 29. 11.	6
64P/Swift–Gehrels	4. 11. – 29. 11.	5
C/2015 O1 (PanSTARRS)	17. 4. – 20. 4.	3
C/2016 M1 (PanSTARRS)	18. 4. – 21. 4.	3
C/2016 N6 (PanSTARRS)	17. 4. – 20. 4.	3
C/2016 R2 (PanSTARRS)	8. 3. – 20. 4.	5
C/2017 S3 (PanSTARRS)	2. 7. – 6. 7.	3
C/2018 L2 (ATLAS)	6. 11. – 7. 11.	1
C/2018 V1 (M–F–I)	17. 11. – 19. 11.	2

Tab. 1 — Komety pozorované během roku 2018.

Zajímavostí je pojmenování komety C/2018 V1. Navzdory pravidlům platným v současnosti byla schválena výjimka a kometa nese jméno tří objevitelů, totiž (M–F–I) = (Machholz–Fujikawa–Iwamoto). A zcela zaslouženě! Mimochodem, Don Machholz i v dnešní době hledá komety vizuálně. Jak je vidět, jde to, ač je to časově náročné. Úspěšný byl po více jak osmi letech a 746 hodinách usilovného hledání. A ještě jedna zajímavost, jméno této komety je druhé nejdelsí v historii. Shodou okolností Machholz figuruje jako spoluobjevitel i u komety s nejdelsím jménem, C/1994 N1 (Nakamura–Nishimura–Machholz). Vzpomínám, že to byla docela pěkná letní kometa. Sledoval jsem ji od 12. července do 10. září 1994 celkem desetkrát, a to z terasy královhradecké hvězdárny pomocí binokuláru Somet 25 × 100. Maximální jasnost jsem odhadl v polovině srpna, to měla 7,7 mag.

Ale zpět do současnosti. Po započtení výše uvedených pozorování za rok 2018 ukazuje celková statistika, že od 11. 12. 1987 do 31. 12. 2018 jsem spatřil 249 různých komet a získal 3612 odhadů celkové jasnosti komy, plus 35 negativních pozorování a 10 samostatných popisů vzhledu komety, bez určení jasnosti.

Dále byly sledovány dvě aktivní galaktická jádra — NGC 4151 CVn, MKN 421 UMa — a získal jsem celkem 2 vizuální odhady jasnosti.

Pokračoval i doplňkový program — pozorování jasných fyzicky proměnných hvězd. Celkem jsem sledoval 15 pulsujících hvězd (293 odhadů jasnosti) a 3 erupzivní hvězdy (44 odhadů jasnosti). Suma sumárum 18 hvězd a 337 odhadů jasnosti.

Získaná pozorování komet byla tradičně odeslána do hlavní celosvětové databáze International Comet Quarterly (ICQ), dále do Comet Observation database (COBS) a poskytnuta několika lokálním databázím. Vizuální pozorování aktivních galaktických jader a fyzicky proměnných hvězd byla publikována v databázi MEDUZA Sekce proměnných hvězd a exoplanet při České astronomické společnosti (SPHE). K dispozici jsou také na webových stránkách spolu s CCD pozorováními. Veškeré zpracování vizuálních pozorování bylo uskutečněno na hvězdárně v Úpici.