

Otto Seydl

Jak astronom-počtář pátrá po zatmění. [I.]

*Časopis pro pěstování matematiky a fysiky*, Vol. 48 (1919), No. 1-2, 129--137

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/121122>

## Terms of use:

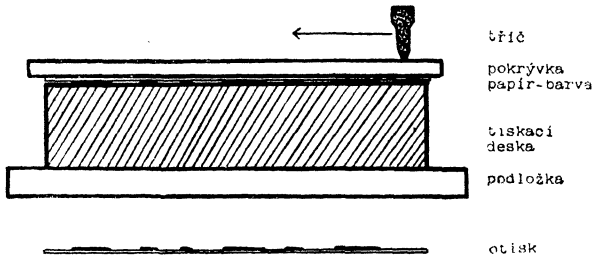
© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1919

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

z hloubky. V tomto přehledu jsme se dosud omezili na případy, kdy tiskací deska vzniká čistě ruční prací. V dnešní době se tak děje poměrně řídko, na př. při originálním dřevorytu, originálním kamenotisku nebo při umělecké rytině. Ve veliké většině případů se v grafické reprodukci užívá fotografie. Tím vznikají t. zv. *dotomechanické způsoby reprodukční*. O dvou z nich,



Obr. 3. Tisk s plochy.

kteří patří do skupiny tisku s výšky, pojednáme v tomto článku obšírněji. Jest to t. zv. *fotozinkografie a autotypie*, s kterými se v knihách nejčastěji setkáváme. V tomto ročníku probereme pouze tisk jednobarevný\*).

(Pokračování.)

## Jak astronom-počtář pátrá po zatmění.

Pro studující středních škol napsal prof. Otto Seydl, Č. Budějovice.

Ve výkladech školních, jichž známost budu zde v základě předpokládati, nabyli jste poučení o velkolepých zjvech zatmění Slunce a Měsíce, o podmínkách, za kterých mohou nastati, o průběhu jich i periodicitě. Myslím, že se nemýlím, domnívám-li se,

\*) „O fotomechanických způsobech reprodukčních“ pojednal ve spisku v r. 1907 nákladem Unie vydaném inž. J. K. Vilím.

Kdo by se zajímal o jiné způsoby, nalezne poučení v knize A. W. Ungra Die Herstellung von Büchern, Illustrationen, Akzidenzen u. s. w., Halle 1910, od něhož v daleko menším rozsahu vyšla knížka: Wie ein Buch entsteht, ve sbírce Aus Natur- und Geisteswelt. V českém jazyce bude se všemi těmito otázkami obíratí odborový časopis „Česká grafika“, který počátkem t. r. vychází péčí polygrafické skupiny při Technickém museu v Praze.

mnozí z Vás že by rádi poznali o těchto zjevech více, nežli je možno podati v hodinách fysiky, jež jsou této partii určeny. Myslím-li na léta svých středoškolských studií, nacházím v nich vzpomínky jak horoucně toužil jsem poznati zejména způsob a podrobnosti numerických výpočtů, pomocí kterých astronom předvídá zjev, jak sleduje průběh pomocí cifer, aby výsledky jeho výpočtů mohly býti, až zjev nastane, podkladem jinému hvězdáři u dalekohledu.

Pohled do dílny astronoma-počtáře je jistě velmi zajímavý. Tam teprve nabudeme přesného názoru o průběhu zjevu, který se má na nebeské kouli v budoucnosti odehrávati: poznáme, jak celý problém vyrůstá ze základních číselných údajů po částech, poznáme jak oceňovati různé početní metody vedou-li k cíli pomalu či rychleji, poznáme jaký význam pro pozorování má přesnější nebo méně přesné počítání a provedeme-li sami výpočet nějakého zjevu nebeského, pak teprve ovládneme látku a problém dokonale pochopíme.

V tomto článku chci Vám ukázati na příkladech předběžnou práci, již musí vykonati astronom nežli počne prováděti celý výpočet zatmění Slunce nebo Měsíce. —

1. Pátrá-li počtář po zatmění v daném roce, je prvou jeho úlohou zjistiti, kterého dne nastanou podmínky, jež jsou příznivy, aby zatmění — Slunce nebo Měsíce — nastalo. Jak je Vám známo, nastává zatmění Měsíce, vstoupí-li Měsíc do stínu zemského a zatmění sluneční, když Měsíc prochází mezi Zemí a Sluncem.

Nejširší podmínkou jest, že Slunce současně s Měsícem musí se nalézati v některém z dvou průsečíků zdánlivých drah Slunce a Měsíce, t. j. v některém z uzlů měsíčné dráhy nebo poblíže něho V jednom uzlu — uzlu výstupný  $\Omega$  — Měsíc vystupuje nad ekliptiku, v druhém — sestupný uzel  $\vartheta$  — vede dráha měsíčná se severní strany na jih od ekliptiky. Je-li Slunce právě v uzlu výstupném, padá střed zemského stínu právě do protilehlého uzlu sestupného a naopak. Jenom v blízkosti těchto dvou okamžiků může nastati zatmění. Doba, ve které tato podmínka může dojiti splnění, je pro zatmění Slunce 36 dní (18 dní před a 18 po průchodu uzlem), pro zatmění Měsíce 23 dny.

Dobu tuto nazval americký astronom S. Newcomb *saisonom* zatmění. Středem *saisony* jest okamžik, v němž Slunce právě prochází uzlem čili řečeno počtářsky, když Slunce má tutéž astronomickou délku jako je délka uzlu. Uzlům totiž tak jako jiným bodům sféry nebeské přisuzujeme souřadnice. Uzly nejsou, jak je Vám známo, na sféře pevné, ale pohybují se proti vlastnímu pohybu Měsíce na západ; následkem toho setkání se těles v blízkosti uzlů je závislé na tomto pohybu. Proto *saisona* zatmění objevuje se v každém následujícím roce v jinou dobu, asi o 20 dní dříve. Asi po 18 létech objeví se v témže měsíci v němž byla ta, od které jsme vyšli. Poněvadž Slunce projde každým uzlem jednou za rok, jsou v každém roce dva středy *saison* zatmění; doba poloviny roku je odděluje. Tyto středy *saison* musí počtář zjistiti předem. I obrátí se k základní své pomůcce, k astronomickému kalendáři či efemeridám. *Astronomické efemeridy* podávají čísla přehled všech těch zjevů nebeských během roku, jež jsou funkcemi času; jinými slovy, podávají čísla skutečný stav nebeské sféry pro dané okamžiky, t. j. pro tyto okamžiky udávají numerické hodnoty souřadnic hlavních nebeských těles se zřetelem ke kruhům nebeské koule, jichž poloha je nezávislá na denním pohybu Země: rektascense-deklinace, délka-šířka. Vedle toho udávají čísla, z nichž lze odvoditi jak se mění souřadnice hvězd, změní-li pozorovatel svou posíci na povrchu Země (zejména parallaxu), udávají zdánlivou úhlovou velikost poloměru Slunce, Měsíce a planet, seznamy planetoid, komet, jistých stálic a některé pomocné tabulky. Přehled úkazů otiskovaný pravidelně v tomto časopise je vyňat také z efemerid.

Intervaly, v nichž se udává efemerida (slovo toto značí i sbírku těch údajů pro celý rok i tabulku pohybu jediného tělesa), řídí se dle velikosti úhlového pohybu, t. j. v podstatě dle distance tělesa od Země. Efemeridy Slunce a bližších planet jsou dány den po dni, pro vzdálenější planety po 2 dnech.

Efemeridy bývají vydávány na několik roků (3—4) napřed. Téměř každá důležitější hvězdárna vydává takovou ročenku se zřetelem k poledníku na němž leží. Nejdůležitější efemeridy pro vědecké práce nutné jsou:

*The Nautical Almanac (Greenwich), The American Ephemeris and Nautical Almanac (Washington), Berliner Astronomisches Jahrbuch (Berlin), Connaissance des Temps a Annuaire publié par le Bureau des Longitudes (Paříž).*

Vedle těchto ročníků jsou vydávány i četné publikace pro poučení širšího obecnstva, jež vedle stručných tabulek pohybu Slunce, Měsíce a planet a nápadnějších úkazů na nebi mívají i populární výklady z astronomie. Z nich nejznámější jest Annuaire Astronomique et Météorologique vydávaný C. Flammarionem v Paříži a Sternbüchlein vyd. R. Henselingem ve Stuttgartě. \*)

Obrátíme-li se k naší úloze — vypátrati z efemerid středy saison zatmění pro r. 1912, t. j. okamžiky, kdy délka Slunce je rovna délce uzlu dráhy měsíčné — a nahlédneme do Nautical Almanacu (N. A.), pro ten rok najdeme na 1. stránce tato data: (délku Slunce značme  $l_{\odot}$ , délku výstupného a sestupného uzlu  $l_{\Omega}$ ,  $l_{\varphi}$ )

|           | $l_{\odot}$  | $l_{\Omega}$ | $l_{\odot}$ | $l_{\varphi}$         |
|-----------|--------------|--------------|-------------|-----------------------|
| Duben 10. | 18°. 3480    | 21°. 7878    | Září 27.    | 185°. 9080 192°. 7857 |
|           | 20. 28. 2045 | 21. 2583     | Ríjen 7.    | 195. 7645 192. 2562   |

N. A. udává pouze délku výstupného uzlu;  $l_{\varphi}$  v druhé serii dat jsme obdrželi přičtením  $180^{\circ}$  k hodnotě efemeridy, neboť podruhé v roce Slunce prochází uzlem sestupným.

Zjednáme-li si rozdíl obou hodnot  $l_{\odot}$  a  $l_{\Omega}$  v druhé serii  $l_{\odot}$  a  $l_{\varphi}$  toho druhu, že hodnotu horní (starší) odečteme od dolní (mladší) obdržíme v obou seriích difference: pro pohyb Slunce  $+9^{\circ}.8565$ , pro pohyb uzlu  $-0^{\circ}.5295$ . Tyto difference udávají oč se změní hodnota příslušné souřadnice během 10 dnů.

Jednoduchým výpočtem nabudeme výsledku, že celý kruh na nebi čili  $360^{\circ}$  uzly proběhnou asi za 6798 dní, t. j. okrouhle 18 roků 7 měsíců. O tomto čísle mluvili jsme již na počátku; bude mít pro nás důležitost i později.

Získané difference poučují nás o tomto: 1) pohyb Slunce je značně rychlejší než pohyb uzlů; 2) pohyb uzlů se děje směrem proti směru pohybu Slunce, zatím co délky Slunce vzrů-

\*) Také naše Jednota Českých Matematiků a Fysiků miní po návrhu profesorů Nušla a Maška až vnější poměry tomu dovolí vydávati podobnou ročenku. (Red.)

stají, délky uzlu ubývají; 3) data dubnová ukazují, že délka Slunce mezi dnem 10. a 20. nabyla hodnoty  $21^\circ$ , již v některém okamžiku toho intervalu měla délka uzlu; podobně průběh hodnot ostatních ukazuje, že v období podzimním nastal okamžik, v němž délka Slunce byla rovna délce uzlu  $192^\circ$ . V udaných intervalech leží tedy patrně střed dvou saison zatmění.

Tyto okamžiky najdou se takto:

N. A. udává data uvedená tak jak jsou udána zde — v intervalu 10 dnů. Poněvadž pro naši úlohu potřebujeme průběh těchto hodnot v intervalu těsnějším, nejméně 1 dne, musíme další potřebná čísla získati interpolací. K tomu stačí jednoduchá úvaha: Denní změna daných souřadnic je desetinou změny plynoucí z dat efemeridy. Pro přesné řešení tato zásada obecně neplatí. I můžeme pomocí postupného přičítání desetiny vypočtených diferencí, t. j. čísel  $+0^\circ.98565$  a  $-0^\circ.05295$  nabýti hodnot:

|           | $l_\odot$        | $l\Omega$        |
|-----------|------------------|------------------|
| Duben 10. | $18^\circ.34800$ | $21^\circ.78780$ |
| 11.       | $19.33365$       | $21.73485$       |
| 12.       | $20.31930$       | $21.68190$       |
| 13.       | $21.30495$       | $21.62895$       |
| 14.       | $22.29060$       | $21.57600$       |

Tato data nám stačí; průběh hodnot ukazuje, že úloha bude splněna kolem 13. dubna. Potřebujeme dále diferencí  $l_\odot - l\Omega$  od jednoho data ke druhému (vždy se odečítá horní číslo od dolního), t. zv. diferencí prvou  $A_1$ , a diferencí dat prvé difference, t. j. diferencí druhou  $A_2$  (ta je v tomto případě rovna nulle):

|           | $l_\odot - l\Omega$ | $A_1$            |
|-----------|---------------------|------------------|
| Duben 10. | $-3^\circ.43980$    | $+1^\circ.03860$ |
| 11.       | $-2.40120$          | $+1.03860$       |
| 12.       | $-1.36260$          | $+1.03860$       |
| 13.       | $-0.32400$          | $+1.03860$       |
| 14.       | $+0.71460$          | $+1.03860$       |

Podle průběhu hodnot  $l_\odot - l\Omega$  soudíme, že kritický okamžik, kdy  $l_\odot - l\Omega = 0$  je skutečně po 13. dubnu, neboť 14. dubna má tato difference změněné znamení, prošla tedy hodnotou nulovou.

Nyní nutno aplikovati Newtonovu interpolační formuli

$$t = \frac{-(a-b)}{\mathcal{A}_1 - \frac{1}{2}\mathcal{A}_2 + \frac{t}{2}\mathcal{A}_2},$$

jež praví: Je-li  $t$  okamžik, pro který hledáme rovnost dvou veličin  $a$  a  $b$  a jsou-li  $\mathcal{A}_1$ ,  $\mathcal{A}_2$  příslušné difference, pak je hledaný okamžik dán uvedeným vzorcem. Poněvadž  $t$  je zatím neurčeno, klade se za ně do jmenovatele přibližná hodnota

$$\text{takže} \quad t = \frac{-\frac{a-b}{\mathcal{A}_1}}{\mathcal{A}_1 - \frac{1}{2}\mathcal{A}_2 - \frac{1}{2}\mathcal{A}_2 \frac{a-b}{\mathcal{A}_1}}.$$

Protože v našem případě jest  $\mathcal{A}_2 = 0$ , máme jednoduše

$$t = -\frac{a-b}{\mathcal{A}_1}, \quad t = \frac{0.324}{1.03860},$$

při čemž  $t$  je vyjádřeno těmi jednotkami (intervaly), pro které jsme měli data efemeridy, t. j. dny. Výpočet dá  $t = 0^d. 31196$ , t. j.  $+ 7^h 29^m 13^s 33$ , což značí, že hledaný okamžik následuje o tuto hodnotu po východisku, za něž jsme zvolili 13. duben, tedy duben 13,  $7^h 29^m 13^s 33$ .

Zkoušku, jakou v podobných úlohách nutno provést vždy aspoň pro serii výpočtů, jež tvoří celek, snadno vykonáme.

Poněvadž denní změny souřadnic jsou  $+0^{\circ}.98565$ ,  $-0^{\circ}.05295$  najdeme pomocí násobení číslem  $0.31196$  změny souřadnic pro tento interval a připojíme je s jich znameními k souřadnicím pro duben 13. Je-li výpočet správný, musí býti  $l_{\odot} = l_{\Omega}$ . V našem případě obdržíme:  $l_{\odot} = 21^{\circ}.61243$ ,  $l_{\Omega} = 21^{\circ}.61244$ , což je souhlas uspokojující.

Týmž postupem, který nechť čtenář provede, získáme z dat druhé serie pro kritický okamžik říjen 3,  $14^h 55^m 48^s.58$ ; zkouška dá  $l_{\odot} = 192^{\circ}.43506$ ,  $l_{\mathcal{I}} = 192^{\circ}.43507$ .

Výsledek, kterého jsme nabyli, je: středy saison zatmění v roce 1912 připadají na data:

$$\begin{array}{ll} \text{Duben 13, } 7^h 29^m 13^s.33 & l_{\odot} = l_{\Omega} = 21^{\circ}.6124 \\ \text{říjen } 3, 14 55 48.58 & l_{\odot} = l_{\mathcal{I}} = 192^{\circ}.4350 \end{array}$$

Podle toho, co jsme řekli na počátku o rozpětí saison (36 resp. 23 dny) najdeme, že

|                                   |                            |
|-----------------------------------|----------------------------|
| saisona pro zatmění sluneční trvá | od března 26. do května 1. |
|                                   | od září 15. do října 21.   |
| pro zatmění měsíční               | od dubna 1. do dubna 24.   |
|                                   | od září 23. do října 15.   |

Jakmile známe rozsah saison zatmění, máme zodpověděnu otázku, ve které době r. 1912 mohou zatmění nastati. V který okamžik nastanou a jakého druhu budou zodpovíme takto:

Druhou podmínkou pro existenci zatmění jest, aby Měsíc byl v ekliptice nebo nepřilíš od ekliptiky vzdálen. Jinak řečeno, šířka Měsíce  $\beta$  musí býti blízka nulle. Z dlouholetých pozorování bylo odvozeno kriterium, jež zní: Jestliže v okamžiku konjunkce v délce jest šířka Měsíce

$\beta < 1^{\circ} 24' 34''$  zatmění je jisté,

$\beta > 1^{\circ} 34' 47''$  zatmění je nemožné, a pro

$1^{\circ} 24' 34'' < \beta < 1^{\circ} 34' 47''$  zatmění je pochybné a pak nutno se obrátiti ke zkoumání podrobnějšímu.

Najdeme-li tedy v N. A. všechny dny uvnitř vyhledaných saison zatmění kdy  $\beta_{\odot}$  je blízka nulle, najdeme tak dny, kdy je splněna všeobecná podmínka pro existenci zatmění. Vedle toho však je třeba oba druhy zatmění rozlišiti. Je třeba jen vyjádřiti pomocí souřadnic příslušných těles nejjobecnější podmínky, za kterých zatmění může nastati:

1. zatmění Měsíce může nastati jen v oposici, t. j. když délka Slunce je rozdílná o  $180^{\circ}$  od délky Měsíce;

2. zatmění Slunce může nastati jen v konjunkci, t. j. když délka Slunce je rovna délce Měsíce (v těchto podmínkách samozřejmě jsou obsaženy podmínky o průchodu Slunce uzlem měsíčné dráhy, o nichž jsme mluvili na počátku).

Nautical Almanac pro r. 1912 má pro tyto podmínky hodnoty: ( $\beta_{\odot}$ ,  $\lambda_{\odot}$  značí šířku a délku Měsíce,  $\lambda_{\odot}$  délku Slunce)



|       | 1912 | $\beta_{\odot}$ | $l_{\odot}$   | $l_{\oplus}$  |
|-------|------|-----------------|---------------|---------------|
| Duben | 1.   | + 1° 24' 41"·5  | 186° 0' 53"·1 | 11° 23' 51"·5 |
|       | 2.   | + 0 9 40 ·5     | 199 45 35 ·3  | 12 22 58 ·9   |
|       | 16.  | - 0 42 2 ·0     | 13 57 52 ·2   | 26 7 28 ·1    |
|       | 17.  | + 0 31 35 ·6    | 27 17 1 ·9    | 27 6 8 ·1     |
|       | 29.  | + 0 35 24 ·9    | 195 7 43 ·4   | 38 47 26 ·4   |
|       | 30.  | - 0 38 1 ·7     | 208 28 12 ·0  | 39 45 39 ·5   |
| Září  | 25.  | - 1 55 58 ·8    | 350 56 24 ·6  | 182 2 7 ·5    |
|       | 26.  | - 0 50 30 ·5    | 3 13 45 ·4    | 183 0 57 ·5   |
| Říjen | 9.   | + 0 59 52 ·8    | 181 34 4 ·0   | 195 49 8 ·6   |
|       | 10.  | - 0 19 13 ·9    | 195 53 43 ·9  | 196 48 30 ·0  |

1. Podmínce  $\beta_{\odot}$  blízké nulle vyhovují všechna data.

2. Podmínce  $l_{\oplus} = l_{\odot}$  pro zatmění Slunce vyhovují data: Duben 16./17., říjen 9./10.

3. Podmínce  $l_{\oplus} = l_{\odot} + 180^{\circ}$  pro zatmění Měsíce vyhovují data: Duben 1./2. a září 25./26.

Serie dat duben 29./30. vyhovuje sice v rozsahu saisony podmínce 1., podmínka 3. však splněna není. Kdybychom prohlédli data pohybu Slunce a Měsíce na počátku května toho roku, poznali bychom, že této podmínce bude vyhověno teprve mezi 1. a 2. květnem; tehdy však  $\beta_{\odot}$  jest již mimo hodnotu předepsanou kriteriem ( $-1^{\circ}48'6''\cdot9$ ) zatmění tedy již nastati nemůže. Ostatně prvním květnem končí saisona, takže máme současně potvrzeno, že po tomto dnu nenastane konstelace, jež je příznivá existenci zatmění.

Nyní třeba vyšetřiti přesné okamžiky, v nichž uvedené podmínky budou splněny. Pro tyto okamžiky stanoví se pak  $\beta_{\odot}$ , aby bylo zřejmo, zda jeho velikost kriteriu vyhovuje.

Uvažujme nejprve měsíční zatmění duben 1./2.

Z efemerid je třeba vyjmouti délku Slunce a zvětšiti ji o  $180^{\circ}$ , délku i šířku Měsíce; z těchto hodnot vypočte se příslušná serie hodnot  $l_{\oplus} - (l_{\odot} + 180^{\circ})$ ; vedle toho se vypočte prvá difference pro všechny řady hodnot (*vždy* odečtením hodnoty horní od hodnoty dolní; pozor na znamení!), na druhou difference není třeba bráti zřetele. Délka i šířka Měsíce udána je v N. A. pro interval  $12^h$ , délka Slunce pro interval  $24^h$ ; délku Slunce pro interval poloviční získáme opět jednoduchou

interpolací: polovina difference dvou hodnot následujících v době 24<sup>h</sup> přičte se k hodnotě první.

Tak budeme mít k dispozici tento číselný materiál:

|          | $l_{\odot}$ | $\Delta_1$   | $l_{\odot} + 180^{\circ}$ | $\Delta_1$ |
|----------|-------------|--------------|---------------------------|------------|
| Duben 1. | 186° 0' 53" |              | 191° 23' 51"              |            |
| 1.5.     | 192 55 27   | + 6° 54' 34" | 191 53 25                 | + 29' 34"  |
| 2.       | 199 45 35   | 6 50 8       | 192 22 58                 | 29 33      |
| 2.5.     | 206 31 0    | + 6 45 25    | 192 52 31                 | + 29 33    |

|          | $l_{\odot} - (l_{\odot} + 180^{\circ})$ | $\Delta_1$  | $\beta_{\odot}$ | $\Delta_1$ |
|----------|---|-------------|-----------------|------------|
| Duben 1. | — 5° 22' 58"                            |             | + 1° 24' 41"    |            |
| 1.5.     | + 1 2 2                                 | + 6° 25' 0" | + 0 47 20       | — 37' 21"  |
| 2.       | + 7 22 37                               | 6 20 35     | + 0 9 40        | — 37 40    |
| 2.5.     | + 13 38 29                              | + 6 15 52   | — 0 27 42       | — 37 22    |

Zlomky sekund byly všude vynechány. Poněvadž je patrné, že rovné hodnoty délek připadají mezi duben 1. a 1.5 (t. j. duben 1, 12<sup>h</sup>), zvolíme východiskem duben 1. Je-li  $t$  doba (vyjádřená desetinným zlomkem onoho intervalu, pro který efemerida udává hodnoty, v našem případě tedy půldne), jež uplyne od 1. dubna 0<sup>h</sup> k okamžiku, v němž bude splněna žádaná podmínka, musí platit podobně jako na počátku:  $l_{\odot} + 180^{\circ} + t\Delta l_{\odot} = l_{\odot} + t\Delta l_{\odot}$ , z čehož

$$t = \frac{l_{\odot} - (l_{\odot} + 180^{\circ})}{\Delta l_{\odot} - \Delta l_{\odot}}, \quad t = \frac{-(l_{\odot} - (l_{\odot} + 180^{\circ}))}{\Delta l_{\odot} - \Delta l_{\odot}}.$$

Na základě uvedeného číselného materiálu máme

$$t = \frac{+ 5^{\circ} 22' 58''}{6^{\circ} 54' 34'' - 29' 34''}.$$

Výpočet je třeba provést pomocí logaritm. tabulek aspoň pětimístných (jinak obyč. dělením). Tak dostaneme  $t = 0.83887$  půldne čili  $t = 10^h 3^m 59^s.18$ . Hledaný okamžik opposice v délce nastane tedy dne 1. dubna v  $10^h 3^m 59^s.18$  středního času greenwichského. (Dokončení).