

Otto Seydl

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

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 48 (1919), No. 3-4, 271--279

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/121295>

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>

Od správné desky se na routingu zbytečné kraje odříznou, podobně se odvrtnají všechna vyšší místa, která nemají tisknouti a hotová deska přibije se na dřevěný špalíček. I se špalíčkem má míti výšku $23\frac{1}{2}$ mm.

(Dokončení.)

Jak astronom-počtář pátrá po zatmění.

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

(Dokončení.)

Kontrolu výpočtu provedeme opět tím způsobem, že vypočteme hodnoty obou délek pro $t = 0.83887$ a připojíme je s jich znameními k hodnotám pro duben 1. Je tedy třeba pouze násobiti difference $+ 6^{\circ} 54' 34''$ a $+ 29' 34''$ hodnotou 0.83887 ; (nejlépe převést nejprve na vteřiny, v součinu bráti z 1. desetin. místa opravu) tak dostaneme výsledky $+ 5^{\circ} 47' 46''$ a $+ 24' 48''$, které připočteny k délkám pro 1. duben dají $l_{\odot} = 191^{\circ} 48' 39''$, $l_{\odot} + 180^{\circ} = 191^{\circ} 48' 39''$ souhlas tedy úplný; difference $l_{\odot} - (l_{\odot} + 180^{\circ})$ musí býti pro tento okamžik nullová; i můžeme podobně hodnotu této difference zjistiti pro okamžik vypočtený; výsledek má míti velikost difference pro 1. duben, ale opačného znamení, takže hodnoty nullové je dosaženo.

Interpolujeme-li konečně pro vypočtený okamžik β_{\odot} , nabudeme hodnoty $\beta_{\odot} = + 0^{\circ} 53' 21''$, jež podmínce vyhovuje (což ostatně je zřejmo i z původního data). Na základě předešlého může čtenář vypočísti potřebná data i pro ostatní zatmění roku 1912. Data efemeridy k výpočtům nutná i výsledky, jež uvádíme pro kontrolu, jsou:

II. Zatmění Slunce, duben 16./17.

	l_{\odot}	l_{\ominus}	β_{\odot}
Duben 16.	$13^{\circ} 57' 52''$	$26^{\circ} 7' 28''$	$- 0^{\circ} 42' 2''$
16.5	20 35 14		$- 0 5 27$
17.	27 17 1	27 6 8	$+ 0 31 35$
17.5	34 3 5		$+ 1 8 35$
18.	40 53 9	28 4 46	$+ 1 44 56.$

Podmínka $t = \frac{l_{\ominus} - l_{\odot}}{\Delta l_{\odot} - \Delta l_{\ominus}}$. Okamžik konjunkce v délce jest duben 16, $23^h 38^m 57^s$.

III. Zatmění Měsíce, září 25./26.

	l_{\odot}	l_{\ominus}	β_{\odot}
Září 25.	350° 56' 24"	182° 2' 7"	— 1° 55' 58"
25.5	357 3 47		— 1 23 51
26.	3 13 45	183 0 57	— 0 50 30
26.5	9 26 27		— 0 16 18
27.	15 42 2	183 59 49	+ 0 18 22.

Okamžik opposice v délce jest září 25, 23^h 32^m 56^s.

IV. Zatmění Slunce, říjen 9./10.

	l_{\odot}	l_{\ominus}	β_{\odot}
Říjen 9.	181° 34' 4"	195° 49' 8"	+ 0° 59' 52"
9.5	188 45 32		+ 0 20 20
10.	195 53 43	196 48 30	— 0 19 13
10.5	202 58 2		— 0 58 8
11.	209 57 54	197 47 53	— 1 35 44.

Okamžik konjunkce v délce jest říjen 10, 1^h 39^m 57^s.

Veškerá čísla jsou tu udána tak, v jakém intervallu je udává N. A. Scházějící hodnoty je třeba doplniti pomocí interpolace, vypočísti i u ostatních prvu differenci i differenci délek a difference této hodnoty od jednoho intervalu ke druhému.

Zkouška ve všech případech dává exaktní souhlas a difference délek uvádí přesně na nullu. Je třeba připomenouti: kdybyste porovnávali vypočtené okamžiky s těmi, jež uvádí N. A. nebo jiná efemerida pro týž meridian nenalezli byste souhlasu, neboť efemerida udává v tabulkách zatmění okamžiky konjunkce a opposice v rektascensi a nikoliv v délce.

Takovýmto postupem zjistí počtář momenty, jež jsou pro výpočet zatmění závažné a jež mu slouží za východisko pro celý další výpočet. Pomocí toho okamžiku zjistí především přibližný okamžik konjunkce nebo opposice v rektascensi a podobnou cestou, jaká byla naznačena, vypočte tyto momenty přesně. Pro tyto okamžiky je třeba dále vypočísti všechny elementy zatmění, t. j. veličiny, jež podmiňují dobu trvání, velikost a pro zatmění Slunce obor viditelnosti celého zjevu na Zemi. Tyto elementy vedle uvedených okamžiků jsou: rektascense Měsíce pro zatmění měsíčné, rektascense Slunce a Měsíce pro zatmění sluneční (vzájemně sobě rovné), a pro oba druhy: deklinace

Měsíce a Slunce, hodinové změny pohybu v rektascensi a deklinaci obou těles, equatoriální-horizontální parallaxa obou těles a jejich pravé poloměry. Tak je dán výpočtu základ. Poněvadž zatmění Měsíce je zjev zcela objektivní, jehož velikost a průběh je týž pro všechna místa noční strany Země, kdežto zatmění Slunce jeví se pozorovateli různě dle toho, kde na Zemi se nalézá, je pochopitelné, že výpočet zatmění Slunce je nepoměrně složitější a delší. —

2. *Odvození délky synodického oběhu Měsíce.* To, co jsme poznali, a data, jež jsme vypočetli, umožní nám použití zatmění Měsíce k vypočtení délky jeho synodického oběhu. Poněvadž Měsíc za novu je neviditelný, nelze určití okamžik, kdy nov právě nastane pouhým pozorováním. Také přesný okamžik opozice nelze pozorovati, jelikož Měsíc jeví se nám plným delší dobu. Následkem toho není možno bezprostředně stanoviti dobu, za kterou Měsíc proběhne všemi fázemi čili dobu od jednoho novu neb úplňku k následujícímu, t. j. dobu synodického oběhu.

Přesné zjištění syzygií jest umožněno pouze pomocí zatmění a to proto, že průběh zatmění trvá několik hodin a počátek i konec zjevu (aspoň zatmění Slunce) lze konstatovati se značnou přesností.

Jak jsme již uvedli, jest střed zatmění, uváděný v efemeridách, okamžikem konjunkce neb opozice v rektascensi. Neodchýlíme se však nikterak od pravdy pro přibližný výpočet, použijeme-li k výpočtu dat pro okamžiky zatmění, jež jsme vypočítali a jež se vztahují k délce. Ta jsou:

- I. Zatmění ☾: Duben 1. 10^h 3^m 59^s
- II. „ ☉: Duben 16. 23 38 57
- III. „ ☾: Září 25. 23 32 56
- IV. „ ☉: Říjen 10. 1 39 57 střed. čas greenwichský.

Vypočteme-li interval, který uplyne od I. k III. a od II. k IV. dostaneme 177^d 13^h 28^m 57^s, 176^d 2^h 1^m 0^s. Měsíc vykonal během obou intervalů po šesti synodických obězích, i připadá na jeden synodický oběh dle prvního intervalu 29^d 14^h 14^m 49^s a dle druhého 29^d 8^h 20^m 10^s.

Kdybychom kombinovali zatmění z jiných let, našli bychom hodnoty jiné, jež se vzájemně liší tak jako naše o celé

hodiny. Difference tyto mají původ jednak v nepravidelnostech pohybu Slunce, více však v nepravidelnostech pohybu Měsíce. Podmínky žádných dvou zatmění nejsou totožné; následkem toho není určité, pevné doby pro synodický oběh Měsíce a lze určití pouze střední délku oběhu z dlouhých period.

V Ptolomeově *Almagestu* (Lib. IV. Cap. 6.) je uvedeno zatmění velmi staré (z těch, jež Ptolomeus uvádí, je to nejstarší).

Dle naší chronologie nastalo 19. března 720 před Kr. v $6^h 48^m$ střed. času pařížského*) a bylo totální. Zatmění novodobé, velmi podobné bylo 9. září 1717 po Kr. v $6^h 2^m$ stř. času pařížského.

Mezi oběma uplynulo 2437 roků, 609 dní přestupných, $173^d 23^h 14^m$ čili 890287·968055 dní. Poněvadž dle Metonova cyklu má 19 roků přibližně 235 synodických měsíců (6939^d.69) bylo v udaném intervale 30148 synodických oběhů Měsíce, takže doba jednoho synod. oběhu jest $\frac{890287 \cdot 968055}{30148}$ dní neboli

$29^d 12^h 44^m 2^s$. Tato hodnota je velmi blízká hodnotě stanovené se zřetelem ke všem nepravidelnostem měsíčního pohybu a která činí $29^d 12^h 44^m 2^s \cdot 8$.

Tak jsme současně poznali, jak starých pozorování Ptolomeových bylo užito moderní astronomií. Kdyby údaje *Almagestu* byly jen o něco přesnější než jsou, poskytovaly by moderní vědě důležitý materiál pro korekce pohybu Měsíce. Ptolomeus uvádí hodnotu synod. měsíce číslem $29^d 12^h 44^m 3\frac{1}{3}^s$ a její určení přisuzuje svému předchůdci Hipparchovi. V posledních létech tvrdí však hollandský jezuita F. X. Kugler na základě studia astronomie Babyloňanů jak je obsažena v klínových nápisech, že poslední číslo a jiná ještě pro pohyb Slunce a Měsíce důležitá znali již před Hipparchem Babylonci a že jejich čísel užil Hipparch jako základu pro svoje výpočty.

3. *Saros*. Přibližný okamžik zatmění (počátku, konce nebo středu) může se však určití také na základě známé periodicity těchto zjevů. Řekli jsme ihned na počátku, že uzly měsíčné dráhy proběhnou 360° asi za dobu 18 roků 7 měs. Po té době

*) Dle údaje prof. dra V. Lásky v díle »Lehrbuch der sphärischen u. theoretischen Astronomie u. d. mathem. Geographie«. Stuttgart, 1889.

saisona zatmění připadne na týž měsíc. Kdyby délka synodického oběhu (29.530589 dne) byla rovna délce dračího oběhu Měsíce (27.21222 dne), přišel by každý nov i úplněk do téže polohy vzhledem k uzlům; pak by pro každý nov a úplněk nenastalo vůbec zatmění nebo by nastalo zatmění vždy stejné. Poněvadž však tomu tak není, nastane periodičita těchto zjevů v takových intervalech, jež obsahují celistvý počet oběhů synodických a dračích. Intervaly ty vyjádříme takto:

Aby Slunce po průchodu ůzlem měsíčné dráhy dospělo znovu do téhož uzlu, potřebuje 346.6201 dní (dračí oběh Slunce); Měsíc k tomu potřebuje jak víme 27.21222 dne. Tázeme-li se, po kolika dračích obězích Měsíce x a Slunce y obě tělesa se setkají v uzlu, hledáme patrně řešení neurčité rovnice $27.21222 x = 346.62010 y$ čísly celistvými. Rovnice tato řeší se vhodně tak, že proměníme zlomek $\frac{27.21222}{346.62010}$ ve zlomek řetězový a stanovíme sblížené hodnoty jednotlivých zlomků.

Tak najdeme pro x a y hodnoty:

$$\begin{array}{l} x \quad 13, \quad 38, \quad 51, \quad 242, \quad 777, \dots \\ y \quad 1, \quad 3, \quad 4, \quad 19, \quad 61, \dots \end{array}$$

a zjistíme, že 242 dračí oběhy Měsíce mají 6585.357 dne, což je velmi přibližně tolik jako 19 dračích oběhů Slunce, t. j. 6585.780 dne. Vyjdou-li tedy Měsíc a Slunce v jistém okamžiku společně z uzlu, setkají se v témž uzlu velmi přibližně znovu za 6585 dní. Během tohoto intervalu setkají se obě tělesa 223krát, nastane tedy 223 lunací (novů a úplňků). Přesná doba pro 223 lunací jest však 65.5.3212 dne (223 synod. oběhy), což jest o $51^m 50^s \cdot 4$ méně nežli 242 dračí oběhy Měsíce. Následkem toho konjunkce dvoustádvacátátřetí nastane dříve nežli Měsíc dostihne uzlu; distance, o kterou Měsíc v ten okamžik jest ještě před uzlem je dána výrazem

$$\frac{360^\circ}{27^d \cdot 321582} \cdot 51^m 50^s \cdot 4 = 28' 27'' \cdot 6,$$

kde jmenovatelem zlomku jest tropický oběh Měsíce. Jsou-li obě tělesa v tom okamžiku, kdy začneme čítati začátek periody nikoliv v uzlu, ale v nějaké distanci od něho, na př. 2° východně nebo západně, setkají se po uplynutí uvedeného počtu dní také

o oblouk $28^{\circ}27''.6$ východně nebo západně od tohoto bodu distancí 2° stanoveného.

Takto stanovená perioda sluje Saros, byla známa již astronomům chaldejským před 2400 lety a tito i astronomové řečtí dovedli jí užívat. Aby se pomocí této periody vypátralo zatmění, pokračuje se takto:

Poznamená se přesný okamžik počátku neb středu zatmění známého, přičte se $6585^d 7^h 42^m 33^s.58$ a najde se tak velmi přibližné datum jiného zatmění, jež je původnímu velmi podobné. Interval vyjádřený roky a dny jest 18 roků 10 nebo 11 dní dle toho zdali se tu vyskytuje 29. únor 5krát nebo 4krát, $7^h 42^m 33^s.58$.

Poznamenejme-li všechna zatmění v době 18 roků, spatříme vraceti se tuto serii po 18 letech ale o 10 nebo 11 dní později; zatmění nové serie nebudou všeobecně na týchž místech jako zatmění původní, aspoň ne v touž hodinu dne, neboť střed zatmění nastává o $7^h 42^m$ později. Teprve na konci 3 period vyrovná se tento zlomek dne do té míry, že zatmění nastanou s větší přibližností v týž čas jako zatmění počáteční. Jelikož pak po každém cyklu zatmění zůstává před uzlem o oblouk $28^{\circ}27''.6$, musí během doby konjunkce nastávat tak daleko od uzlu, že podmínkám pro existenci zatmění vyhovuje se postupně menší a menší měrou, až konečně pro některou konjunkci neb opozici zatmění nebude již možné — úplněk nebo nov padne mimo meze zatmění. Zatmění před uzly každým cyklem Saros se zmenšují, zatmění za uzly se zvětšují. Je pozoruhodno, že i délka měsíčního perigea (onoho bodu dráhy měsíčné, v němž Měsíc je Zemi nejbliže) je po 18 letech skoro táž, také Slunce nalézá se v mezích 11° poblíže původního místa, následkem toho všechny elementy zatmění, parallaxy, poloměry, deklinace, hodinové změny pohybu budou velmi přibližně tytéž jako byly před 18 roky; proto zatmění bude velmi podobné.

Tak se stane, že během téměř každé periody najdeme, že některé nové zatmění se objevuje, jiné že se vytratilo. Nové nastupující zatmění Měsíce je zprvu velmi malé; při každém následujícím návratu po 18 letech stává se větším následkem příznivějšího umístění v mezích zatmění až konečně asi při třináctém návratu bude totálním. Takovým se udrží 22—23krát, potom se zmenšuje, stává se částečným, ale stín objevuje se

nyní na opačné straně desky měsíčné nežli byl před totalitou. Pak následuje zase asi 13 postupně menších zatmění částečných až konečně zatmění se vytratí. Interval, v němž jedno zatmění Měsíce se udrží, jest asi 48 period čili $865\frac{1}{2}$ roku.

Sluneční zatmění udrží se asi 1200 let: 12—13 parcialních, 40—50 totalních. Příklad, jak se zmenšuje velikost zatmění, podává tabulka:

1848, březen 6,	0·269
1866, březen 16,	0·216
1884, březen 26,	0·141
1902, duben 8,	0·065
1920, duben 18,	— 0·011.

Číslo udávající velikost zatmění, je tu distance středu stínu Měsíce a středu Země; znamení minus ukazuje, že do r. 1920 zatmění se již vytratilo.

Přesnější následnost zatmění lze zjistiti porovnáme-li 777 dračích oběhů Měsíce s 61 dračími oběhy Slunce. Počet lunací je tu 716; období, v němž zatmění se opakují, jest 58 roků méně 40 až 41 dnů dle toho, případně-li v té době 15 nebo 14 přestupných let. Souhlas je tu bližší nežli při 18tileté periodě, poněvadž chyba tu činí pouze $9^m 46^s \cdot 1$ v neprospěch dračího oběhu Měsíce: 777 dračích oběhů měsíčných je o tuto veličinu kratší nežli 716 synodických oběhů. Proto vzhledem k této periodě zatmění před uzlem se k uzlu blíží a zvětšují se, zatmění za uzlem zmenšují se vzdalujíce se od něho.

Jakmile počtář stanovil pomocí periody Saros přibližný okamžik zatmění nastane mu úloha, kterou jsme již řešili, najíti přesný okamžik a pro tento vypočísti elementy.

Jakkoliv se jeví vyšetření okamžiku zatmění pomocí 18tiletého cyklu úlohou jednoduchou, mohou se i zde se zřetelem k různým možnostem — vymizení zatmění a nastoupení nového — objeviti obtíže a pochybnosti, které musí astronom odstraniti.

Proto hledá-li takto zatmění pro daný rok, musí vyšetřiti všechna zatmění lunární i solární, jež toho roku budou. Potom třeba zjistiti na základě dat roků předešlých, zdali zmenšování se některého zatmění nepokročilo tak přílišně, že v daném roce nastane jeho vymizení. Čísla uvedené tabulky ukazují, že solární

zatmění, jehož velikost byla aspoň 0.100, nevytizí během 18 let. Pracuje-li se na základě zatmění velmi malého, musí se zkoumat 2 neb 3 periody zpět, aby se případ osvětlil; k rozhodnutí může tu také přispěti kritérium pro velikost β_{\odot} . Konečně je třeba zjistiti, zdali v daném roce nevystupuje poprvé nová serie zatmění. Rozhodnutí tento případ je úkol nejobtížnější a počtář musí býti tu velmi přesný. Jako pomůcky užívá se v takových případech velkého díla vídeňského astronoma Th. v. Oppolzera: *Kanon der Finsternisse*, které obsahuje elementy a pomocné veličiny potřebné k výpočtu solárních zatmění od r. 1208 př. Kr. do 2163 po Kr. a 5200 měsíčních zatmění. Z díla tohoto lze zjistiti, které zatmění objeví se v budoucnosti. Vedle toho je však potřebí zkoumati o 18 roků ku předu, zdali se neobjevuje nová serie tam; v kladném případě počtář nesmí přejíti rok, pro který zatmění hledá, mlčením a důvěřovati zúplna tomuto dílu, neboť: metody početní, kterých Oppolzer užil, jsou pouze přibližné; i mohlo by se následkem toho státi, že zatmění, které kanon uvádí ku př. pro rok 1936 jako zcela nové, jeví se novým pouze následkem počítání přibližnými metodami, které jeho vstup oznamují pozdě a že toto zatmění jest novým již r 1918. Je-li však případ stále nejistý, nebo nemá-li počtář možnosti nahlédnouti do kanonu, je třeba postupovati na základě znalosti v jakém počtu a pořádku se zatmění během roku mohou vyskytovat. Tu platí:

1. pro zatmění Slunce: V každém roce o 12 synodických měsících (rok o 354 dnech) jsou buď 2 zatmění Slunce libovolné velikosti v době 5 nebo 6 synodických měsíců, nebo tři zatmění Slunce a to dvě částečná za sebou na jednom uzlu, třetí pak úplné nebo částečné o 5 měsíců dříve nebo později na uzlu druhém nebo konečně čtyři zatmění jen částečná a to na každém uzlu po dvou během jednoho měsíce; tyto páry zatmění jsou vzájemně odděleny dobou 5 synod. měsíců;

2. pro zatmění Měsíce: V každém roce o 12 synod. měsících je buď žádné nebo jedno částečné nebo dvě zatmění libovolné velikosti v intervalu 177 dnů (asi 6 měs. synodických).

Vzájemný vztah zatmění slunečních a měsíčních je pak dán takto: Každé zatmění Měsíce nastává 14 dnů před nebo po zatmění Slunce. Mezi dvě částečná zatmění Slunce při témž uzlu

případne vždy úplné zatmění Měsíce v druhém uzlu. Jen tři zatmění vůbec mohou nastati v každém uzlu: dvě solární a jedno lunární nebo naopak: veliké zatmění velmi blízko uzlu a dvě zatmění částečná každé na jedné straně uzlu 14 dní před a 14 dní po onom velkém zatmění.

Pro postup zatmění v následujících létech pak platí:

1. Objeví-li se saisona zatmění v prosinci, může nastati zatmění v příštím lednu a naopak: střed saisony objevivší se v lednu může býti následován zatměním v prosinci běžného roku: to vyplývá z toho, že saisona zatmění se může rozpínati z konce jednoho roku do počátku druhého.

2. Po každém zatmění Slunce před nebo nedaleko po uzlu následuje pravidelně po 12 synodických měsících (příštího roku, 10 nebo 11 dní dříve) opět zatmění Slunce; po každém zatmění Slunce, jež jest od uzlů vzdálenější, následuje po 11 synodických měsících, t. j. příští rok o 40 až 41 dnů dříve opět zatmění Slunce.

3. Po každém zatmění Měsíce před nebo blízko po uzlu následuje pravidelně po 12 synod. měsících čili v příštím roce 10 nebo 11 dnů dříve částečné nebo úplné zatmění Měsíce. Po malém zatmění Měsíce (tedy od uzlu vzdáleném) může po jedenácti synodických měsících, t. j. příštího roku 40—41 dnů dříve následovati malé zatmění Měsíce.

Případnou-li obě zatmění Měsíce v určitou distanci po uzlu, pak příští rok nemá žádného zatmění Měsíce.

To jsou zásady se zřetelem k nimž musí se pátrání díti. V pochybných případech však učiní počtář nejlépe, když opustí půdu kriterií, která v mezních případech mohou podati výsledky nejisté a počíná si tak, jakoby v supponovaném okamžiku bylo zatmění jisté; začne tedy prováděti výpočet zjevu na základě elementů, jež pro předpokládaný okamžik vypočetl; nenastane-li zatmění, je-li tu tedy chyba, objeví se brzy: určité funkce již na počátku výpočtu nabudou totiž hodnot, jež s teorií zatmění nejsou v souhlase a výpočet se dále prováděti nebude.