Arnošt Dittrich

Přechod Luny přes Spiku

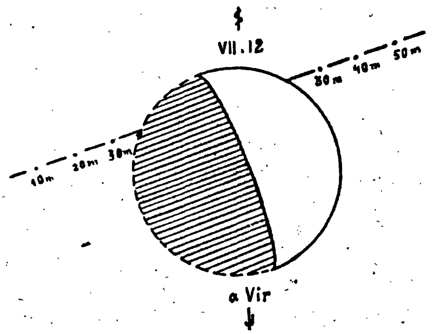
Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 61 (1932), No. 3, R37--R44

Persistent URL: http://dml.cz/dmlcz/124119

Přechod Luny přes Spiku.

Dr. *Arnošt Dittrich.*

V Almagestu Ptolemaiově zachovalo se nám velmi staré pozorování přechodu Luny přes stálici prvé velikosti Spiku, jinak Alfa Virginis zvanou. Zase Timocharis zapsal pozorování v Alexandrii, že v 36. roce první periody Kallippovy dne 15. elafebolia v 5. den měsíce tybi, když (noční) hodina 3. začínala, Luna středem okraje k východu rovnodennostnímu obrácená Spiky dosáhla a prošla Spika (za měsícem), odtínajíc z jeho průměru přesně třetí díl směrem k severu. A čas ten je v 454. roce od Nabonassara v den 5/6 egyptského tybi (dne 9. března 294 př. Kr.) 4 občanské a tedy skoro i aequinoktiální hodiny před půlnocí (v 8^h večer



Obr. 1.

Alexandrinského času), protože slunce stálo v 15° znamení Ryb. Stejný počet hodin před půlnocí dá i přesný počet se stejnoměrnými dny slunečními. V onu pak hodinu přesně střed Luny opět dosáhl délky v 21° 21′ znamení Panny, to jest vzdálenost od bodu letního slunovratu ve směru znamení činí 81° 21′, a jižněji byl od ekliptiky o 1° 50′, je pak zdánlivá délka od slunovratu letního 82° 5′ a jižně od ekliptiky velmi přibližně 2°; vrcholil pak střed znamení Kozoroha (t. j. 15° znam. Kozoroha). A Spika tedy pro to, co bylo dříve řečeno (protože je ještě o 15′ napřed proti středu Luny) má délku od bodu slunovratu letního čítanou 82° 20′, jižněji od ekliptiky pak byla asi o 2°.

Úryvek ten přeložen z řeckého vydání Ptolemaiova Almagestu od J. L. Heiberga, sv. II., str. 28—29, z r. 1903. Jen délku jsem opravil podle překladu K. Manitia, sv. II., str. 25, z r. 1913 82° 12′ na 82° 5′. — Manitius poznamenává, že zákryt byl brzo po úplňku, ježto Luna diametrální polohu k slunci teprve o 7° překročila. Stála asi 64° či 4^h 16^m východně od meridiánu.

Dne 21. července 1931 zase šla Luna přes Spiku. Viz obr. 1. schema zjevu podle astron. ročenky. Hledám soustavně prosté astronomické úlohy. Vyučování astronomie má se opírati o pozorování a propočítání, ne o sdílení cizích výsledků. Proto jsem pozoroval neozbrojeným okem, tak jako kdysi Timocharis. Jen kapesní hodiny nařízené radiosignálem na středoevropský čas (SEČ) jsem si povolil a nákresnu ke grafickému zachycení zjevu. Pozoroval jsem ze Staré Ďaly, z ohražené plošiny na meteorologické observatoři. V nákresně jsem si udělal kruh s průměrem. Když se Spika již blížila tmavému okraji měsíčnímu, zakreslil jsem k průměru eliptické vnitřní omezení srpu měsíčního. Poloelipsa ta byla velmi táhlá, protože Luna se blížila k první čtvrti. Spodní roh byl nakloněn k východu. Zakreslil jsem vertikálu veda ji horním rohem. Abych neztrácel čas čekáním, odhadoval jsem již půl hodiny před zákrytem relativní polohu Spiky proti rohům Luny a zakreslil jsem její polohu v 8^h, 18^m, 25^m, 35^m. Body nepadly nijak aeqidistantně do přímky, — jako na schematu z obr. 1. — protože jsem pracoval poctivě. Bylo již tak tma, že jsem záznamů dřívějších neviděl. Jen silný obrys Luny byl ještě patrný. Když jsem podle konfigurace Luny a hvězdy soudil, že zmizení je nedaleko, odhadl jsem, že vzdálenost Spiky od horního rohu má se ke vzdálenosti od dolního rohu jako 1 : 2. — V tom letěla pěkná létavice k severu se sklánějíc. Poznamenal jsem si, že to bylo v 8^h 42^m. Dopsav, podívám se zase po Spice. Je pryč! Rychle hodinky. Ukazují 8^h 43^m.

Věděl jsem, že výstup v půl desáté neuvidím. Irradiace světlého okraje měsíčního ji ukryje. Ale počítal jsem na to, že si několikrát zakreslím její relativní polohu k rohům, jak se mi zdařilo před zákrytem. Pak jsem chtěl čas výstupu graficky interpolovati. To se mi nezdařilo. Čekal jsem do 9^h 48^m a výstup jsem neviděl. Ku konci se objevila mračna a Luna zašla za stromy. Vystoupil jsem na věž meteorologické observatoře, abych viděl přes stromy. Tam se nezdar můj vysvětlil: celý západ obzoru byl zakalen, nebylo tam hvězd a dlouhý vodorovný proužek mrakový šel právě přes měsíc.

Druhý den jsem slyšel, že pozorovatel (necvičený) u dalekohledu v malé hvězdárně určil zmizení na 8^h 44^m. Objevila se mu v 9^h 29^m, ale slabá a načervenalá.

Co lze vyvážiti z takového pozorování? — Nákres náš udává v určitý čas polohu Spiky k Luně, Luna svou fasí udává polohu srpu ke slunci. Lze tedy odhadnouti polohu Spiky k slunci, úhlovou vzdálenost obou těles nebeských. — Obzvláštní přesnost nečekejme; ale postup jest průhledný a jednoduchý.

Úhlová vzdálenost Luny od slunce rovná se, pro velkou vzdálenost jeho, skoro přesně fásovému úhlu. Viz obr. 2. Úhel ten t. zv.

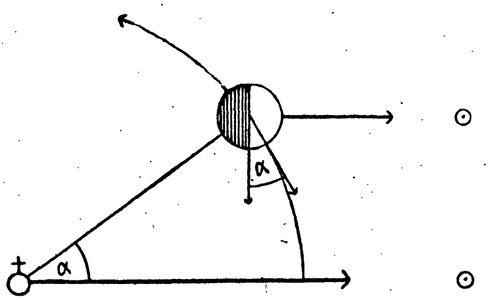
elongace, jest nulou při novu, 90⁰ při první čtvrti, 180⁰ v úplňku a 270⁰ při třetí čtvrti. Vykresleme si vzhled srpu lunárního v okamžik zákrytu tak přesně, jak jen dovedeme. Zevní ohraničení srpu je kruhovité, vnitřní eliptické. Na obr. 3. je nárys měsíce, jenž ukazuje, co vidíme, a půdorys, v němž souvislost fásového úhlu α s poloosami vnitřní elipsy nárysu (b, c) vyznačena. Čteme z něho, že

$$\cos \alpha = b : c.$$

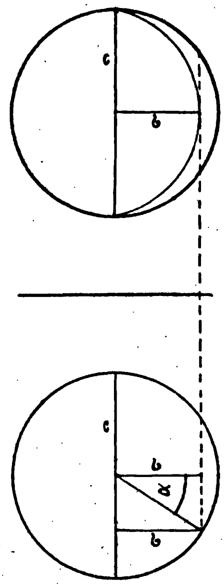
Ze svého nákresu dostávám vyměřením, že $\cos \alpha = 1 : 9 = 0{\cdot}111$ tak, že

$$\alpha = 83^0\,40' = 83{\cdot}7^0.$$

Spika v prvém dotyku je na tmavém okraji Luny, jenž jest od slunce odvrácen. Dám-li Luně 30′ jako průměr, je Spika podle mého nákresu o 10′ dále. Vzdálenost její od slunce měří tedy $83^0\,50' = 83{\cdot}8^0$.



Obr. 2.



Obr. 3.

Vzdálenost Spiky od slunce má nám býti mostem k stanovení její polohy k ekliptice a bodu jarnímu. Musíme určit polohu Slunce na ekliptice. Datum pozorování našeho padne mezi letní slunovrat a podzimní rovnodennost. Zcela prostými prostředky, jako temná komora, lze okamžik těchto mezníků na 1^h přesně stanovit. Vezmeme proto číselné údaje z „Ročenky hvězdářské", 1931, kterou co nejvřeleji doporučuji každému, kdo by taková pozorování chtěl dělat a propočítávat. Podle ní byl letní slunovrat 22. VI. v $9^h\,28^m$, podzimní rodnodennost 24. IX. v $0^h\,24^m$ světového času (SČ). Odpočítáním dnů na nástěnném kalendáři shledáme, že interval činí $30 + 31 + 31 + 2$ dnů minus $9^h\,2^m$, tedy

$$93^d\,14^h\,58^m = 93{\cdot}624 \text{ dnů}.$$

Zákryt nastal 21. VII. v $19^h\,43^m$ SČ. — Jak daleko od slunovratu? — Do 22. VII. v $9^h\,28^m$ uplyne přesně 30 dnů. Do 21. VII.

v $9^h\ 28^m$ uplyne 29 dnů. Do hodiny kontaktu uplyne ještě $10^h\ 15^m$. Je tedy vzdálenost dotyku od letního slunovratu

$$29^d\ 10^h\ 15^m = 29{\cdot}427 \text{ dne.}$$

Intervaly zaokrouhlíme na dvě decimálky na 93·62, 29·43. Zaokrouhlení to vyjadřuje, že poslední cifra je nejistá. Kdybychom si vrat a rovnodennost určovali v temné komoře, je najisto v setinách dne nejistota, neboť 1% dne jest okrouhle čtvrt hodiny. Pro přibližnost našich prostých metod budeme také počítat, jako by slunce po 90° od slunovratu letního do rovnodennosti podzimní se pohybovalo rovnoměrně. Když slunce kvadrant urazí za 93.62 dne, kolik stupňů urazí za 29·43? — Sestavíme trojčlenku

$$x : 90 = 28{\cdot}43 : 93{\cdot}62, \quad x = 28{\cdot}3^0.$$

To je vzdálenost slunce od vratu letního v okamžiku kontaktu. Od bodu jarního je vzdálenost arci o kvadrant větší. Délka slunce v okamžik zákrytu Spiky měří tedy 118·3°. — Berliner Jahrbuch udává pro týž okamžik (interpolací) 118·1°, což jest uspokojivá shoda.

Jde nám o délku Spiky λ, měřenou od bodu jarního. Slunce má délku 118·3°, Spika jest od něho 83·8° vzdálena. Tuto trať musíme promítnouti na ekliptiku. Proto musíme znáti šířku Spiky β a její vzdálenost od ekliptiky.

Poprvé stanovil ji Timocharis. Určil λ i β ze zatmění Luny, jež se odehrávalo v bezprostředním sousedství hvězdy.[1]) Shledal, že je 8° v délce vzdálena od bodu podzimního proti postupu znamení, proti pohybu slunce na ekliptice. Je tedy délka Spiky čítána od slunovratu letního 82°. Čítáme-li, jak jsme zvyklí, od bodu jarního, dostaneme o kvadrant víc, tedy $\lambda = 172^0$. Šířku určil na 2° jižně, tedy $\beta = -2^0$.

Jak si Timocharis vedl, zaznamenáno není. Protože však podobný údaj nalezneme v Číně již z r. 1100 př. Kr., soudím, že šlo o velmi jednoduchou metodu, jež pracuje bez instrumentů, tedy něco, nač stačí prostředky obecné školy.

Mysleme si, že ob 10 minut při zatmění u Spiky vždy nakreslíme úplněk, zastíněnou část jeho a Spiku ve správné poloze. Tím pořizujeme vlastně film děje. Pak lze s přesností, jež spolehlivost ojedinělého nákresu převyšuje, vykresliti úplněk (interpolací), když je nejhlouběji zabořen do stínu země. Střed tohoto stínu je přesně diametrální proti slunci, je přesně o 180° dále. Střed ten dá nám pro okamžik zatmění jeden bod ekliptiky. Film dá nám dráhu Luny vůči Spice a ostatním stálicím. Sklon dráhy měsíční k ekliptice je 5°. Lze tedy do nákresu středem zemského stínu

---

[1]) Bylo poblíž $16{\cdot}4^d$ III — Takové zatmění bylo r. — 348, 16/III (z Alexandrie viditelné) a —329, 17/III (neviditelné).

ekliptiku zakresliti. Užívajíce průměru Luny — 30′ — jako míry, určíme polohu Spiky vůči ekliptice a středu zemského stínu. Ten postup není zcela přesný. Zanedbává na př. paralaxu Luny.

Jak to asi dělal Timocharis? — Staří astronomové určovali si polohu kruhů nebeských pamatujíce si stálice, jimiž procházejí, neb jež těsně míjejí. Tak máme od Eudoxa z Knidu fixované obratníky, rovník a kolury, od Hipparcha ještě 24 aequidistantních hodinových kruhů. Ale fixace nejdůležitějšího kruhu, ekliptiky, se nám nezachovala. Zajisté existovala. Timocharis znaje dobře běh ekliptiky, mohl si ji při začátku a konci totality realisovati napnutou bílou šňůrou a odhadnouti polohu Spiky vůči ní, bera měsíc za východisko a průměr jeho za míru. Do počtu vzala by se pak střední hodnota, počítaná z obou odhadů. — Realisace dráhy sluneční a snad i měsíční šňůrou je zapomenuta. Ale cosi takového asi existovalo, jak prozrazuje označení „uzel“ pro průsek obou.

Timocharis tedy dává Spice délku $\lambda = 172^0$, šířku $\beta = - 2^0$. Přepočítejme[2]) na rektascenci α a deklinaci δ. Dostaneme $\alpha = 171{\cdot}9^0$; $\delta = + 1{\cdot}36^0$. Interpolujeme si pomocí Neugebauerových tabulek hvězdných,[3]) jaká byla rektascense Spiky r. —293. Dostaneme $\alpha = 171{\cdot}9^0$, $\delta = 1{\cdot}47^0$, což slušně souhlasí s horními hodnotami. — Ptolemaios zachoval nám ostatně, že Timocharis kladl deklinaci Spiky rovnu $+ 1^0\,24' = + 1{\cdot}4^0$.

Když Hipparch znova určoval polohu Spiky z úplných zatmění Luny[4]) dne 21. III. r. —134 a 21. IV. r. —145, nalezl tutéž šířku jako Timocharis, ale délku o 2^0 asi větší. Týž zjev nalezl i na jiných stálicích. Zdálo se mu, že stálice vůči ekliptice rovnoběžně postupují ve směru, jenž souhlasí s postupem slunce. Proto nazval zjev ten postupem vpřed či precesí.

Pro pomalost precese mohl Hipparch rychlost tohoto pohybu jen odhadnouti. Je[5]) pro rok 1925 jen $50{\cdot}2619''$ a mění se za 100 let o $+ 0{\cdot}0222$.

Konstantu precesní můžeme kontrolovati, určíme-li z našeho zákrytu délku Spiky. Použijme šířky Timocharisovy, abychom pomocí pravoúhlého sférického trojúhelníka promítli $83^0\,50'$, vzdálenost Spiky od Slunce, na ekliptiku. V cosinové větě se nám objeví činitel $\cos 2^0 = 0{\cdot}9994$. Při našem hrubém počítání můžeme průmět klásti přímo na roveň $83^0\,50'$. Je to délka Spiky čítaná od Slunce, jež samo mělo délku $118{\cdot}3^0$. Měří tedy nynější délka Spiky celkem $83{\cdot}8^0 + 118{\cdot}3^0 = 202{\cdot}1^0$.

[2]) Takové počty lze prováděti na hladině výkonů obecné školy pomocí tabulek s návodem: Schoch, „Planetentafeln für jedermann“. 1927.
[3]) „Tafeln zur astronomischen Chronologie“. Sv. I. 1912.
[4]) Viz též Almagestu kniha III. kap. I. — Je tam metoda naznačena.
[5]) Valouch, 129, čís. 3, No 2.

Určili jsme elongaci Luny na základě nákresu měsíčního srpu pořízeného od oka. Od takového postupu nelze čekati zvláštní přesnosti. Přepočítejme si proto $\lambda = 202{\cdot}1^0$, $\beta = 2^0$ na α a δ. Dostaneme $\alpha = 199{\cdot}6^0$, $\delta = -10{\cdot}5^0$; Ročenka pro 1931 dává pro Spiku na str. 47 hodnoty $\alpha = 200{\cdot}4^0$ a $\delta = -10{\cdot}8^0$. Souhlas vzhledem ke skromným prostředkům jest uspokojivý.

Měření Timocharisovo je z r. —293, naše z r. 1931. Uplynulo 2224 let. Zatím narostla délka Spiky o $202{\cdot}1^0 - 172^0 = 30{\cdot}1^0$. Násobíce 3600, přepočítáme změnu na sekundy a dělíme 2224 léty. Pak je roční změna délky, konstanta precese, rovna

$$\frac{108.360}{2.224} = 48{\cdot}72''.$$

Číslo to je průměrnou hodnotou pro interval od Timocharise až k nám. Středem tohoto intervalu je rok 1112 po Kr. Vypočítejme si z Valouchových dat precesi pro tento rok. Tu třeba sestoupiti do minulosti od r. 1925 o 8·13 století. Precese klesne o

$$0{\cdot}0222 \times 8{\cdot}13 = 0{\cdot}1805.$$

Odečteme od hodnoty pro 1925, totiž od 50·2619″, a dostaneme 50·08″. — Udělali jsme tedy chybu o 1·36″, což činí 2.7%.

Lépe je zajisté určiti precesi z vlastního pozorování, třeba jen na 3%, než jen memorovat, co o ní je v knize.

Jiné úlohy uvolní se nám, když určíme přesný počet dnů mezi pozorováním Timocharisovým a naším. Praktické jest vyjádřiti dobu pozorování t. zv. juliánským dnem. Čítají se prostě dny, jak za sebou jdou, od počátku, jenž zvolen v 5. tisíciletí před Kr. Začáteční den, totiž 1. leden r. —4712 označuje se nulou, následující 2. leden jednotkou atd. Čítání to má výhodu, že můžeme udati hodinu a minutu přičtením příslušného zlomku dne. Přesná nula, tedy 0.000, značí půlnoc, jíž se 1/I začíná. Poledne tohoto dne se značí 0.500, 18^h dne 2/I se značí 1.750 a p. Vypočítejme nejprve juliánský den, číselné označení půlnoci, jíž 21. VII. 1931 začíná. Použijeme *Valouchových tabulek 141 čís. 23 „Juliánská perioda“.*[6]) (Pozor na přesné použití návodu!) Vypíšeme

1920	2422325
11 (viz I.)	4018
1/VII (obyč.)	181
+ 20 = 21/VII	+ 20
Půlnoc, jíž začíná 21/VII. 1931	2426544·000

[6]) Kolegům, kteří by takové úkoly zařadili do fysikálního praktika, doporučuji: R. Schramm: „Kalendariographische und chronologische Tafeln“. 1908.

Jaké číselné označení přísluší půlnoci, kterou začíná 9. III. r. —293? Valouchova tabulka je zařízena jen pro kladná léta. Pomůžeme si tím, že odstoupíme od našeho data o 400 juliánských let, t. j. o 400 × 365·25 = 146100 dnů, čímž dorazíme k 9. III. 107. Nyní jako dříve určíme, že

půlnoc, jíž začíná 9. III. 107	1760207·000
odečteme zas	— 146100·000
půlnoc, jíž začíná 9. III. —293	1614107·000.

Opatřme si nyní zlomky, jež vyjadřují hodinu a minutu pozorování. Náš dotyk byl v $20^h\,43^m$, což přepočítáme na zlomek dne 0·822. Dotyk Timocharisův byl v 8^h večer alexandrinského času. Ten se liší právě o 1^h od SEČ. V tomto čase padlo tedy pozorování Timocharisovo na 7^h večer, či na 19^h, což značí zlomek 0.792. Nalezení těchto zlomků ulehčí tabulky, Valouch 138, čís. 18.

Vyjádří se tedy oba dotyky Spiky s Lunou v juliánských dnech takto:

náš	2426544·822
Timocharisův	1614107·792
Interval	812437·030 dnů

uplynul mezi oběma pozorováními.

Vzhledem ke stálicím oběhne Luna kruh průměrně za 27·321661. (Valouch, 131, čís. 6.) Spolehlivost tohoto siderického oběhu lze na našem intervalu přezkoušet. Musí čítat celistvý počet takových oběhů. Přesvědčme se divisí

$$812437{\cdot}030 : 27{\cdot}321661 = 29736{\cdot}004.$$

Přibližná celistvost naznačuje se drobným zlomkem 0·004. — Jest od paralaxy, od toho, že oba dotyky nejsou rovnocenné, od vlastního skutečného pohybu Spiky během 2200 let a od nerovnoměrnosti měsíčního pohybu, jež uchyluje skutečné fáse až o 0·6 dnů od ideální hodnoty průměrné a p.

Již Hipparchovi bylo známo, že 126007 dnů 1^h čítá 4612 siderických oběhů minus 7·5°. Protože 7·5 : 360 = 0·021, čítá siderický oběh Luny přibližně

$$126007{\cdot}04 : 4611{\cdot}979 = 27{\cdot}32168\text{—}.$$

Z Hipparchovy přibližné hodnoty dostaneme divisí

$$812437{\cdot}030 : 27{\cdot}32168 = 29735{\cdot}983.$$

Poslední číslo přibližně celistvé poukazuje na 29736 oběhů. Dělíme-li náš interval tímto počtem oběhů:

$$812437{\cdot}030 : 29736 = 27{\cdot}321664,$$

zlepší se číslo Hipparchovo, jež se končilo 80, na 64. Má arci vyjít 61. Toho však nedosáhneme pro zanedbání nutných korrektur, jež taková jemnost vyžaduje.

Podobná kontrola je možná pro synodický oběh Luny. Podle Hipparcha čítá 126007 dnů 1^h dohromady 4267 lunací. Na jednu připadne tedy

$$126007{\cdot}04 : 4267 = 29{\cdot}530593.$$

Dělíce náš interval lunací Hipparchovou, získáme přibližné číslo

$$812437{\cdot}030 : 29{\cdot}530593 = 27511{\cdot}707.$$

Toto nebude celistvé, protože Timocharis pozoroval po úplňku, my před prvou čtvrtí. Timocharisův fásový úhel byl 186.3^0, náš je $83{\cdot}7^0$. Chybí nám tedy k návratu do fase Timocharisovy ještě $102{\cdot}6^0$, čili

$$102{\cdot}6^0 : 360 = 0{\cdot}285\text{-tý}$$

díl lunace. Přičteme-li jej ke zlomku 0·707, dostaneme 0·992, čímž jsme se celistvosti na 1% přiblížili. Hipparchova hodnota lunace je právě již velmi dobrá. Valouch, 131, čís. 6 udává 29·530588.

Nevyplatí se takové pozorování bohatě se stanoviska pedagogického? — Konstanta precese a čísla Lunární na 7 decimálek, prostředky tak jednoduchými, že jsou na každé vesnici přístupny.

Dva nezávislé důkazy rotace zemské při pokusu s Foucaultovým kyvadlem.

A. Zátopek.

V letošním ročníku německého časopisu „Naturwissenschaften“ je článek, kde se popisuje zajímavý zjev při pokusu se známým kyvadlem, jímž r. 1851 ukázal Foucault rotaci zemskou.

Pokus se zakládá na faktu, že volné kyvadlo zachovává směr svých kyvů v absolutním Newtonově prostoru, jejž si můžeme představiti definován třemi osami navzájem kolmými, které jsou v klidu vůči stálicím. Budeme-li tedy pracovati s takovým volným kyvadlem na otáčející se Zemi, můžeme očekávati, že rovina kyvu našeho kyvadla se jistým způsobem změní.

Všimněme si blíže pokusu. Země jest koule, jež se kolem své osy rovnoměrně otáčí tak, že za 24 hodiny vykoná právě jedno otočení. Tak se jeví pohyb naší Země pozorovateli, který je vzhledem k Newtonovu absolutnímu prostoru, t. j. k stálicím, v klidu, při čemž neuvažujeme oběh Země kolem Slunce. Tento pohyb ve