

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

August Seydler

O vypočítání Neptuna

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 3 (1874), No. 4, 145--153

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/123173>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1874

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>

O vypočítání Neptuna.

(Podává dr. *Aug. Seydler*.)

Až do 13. března roku 1781 bylo známo pouze pět oběžnic, jež jsou viditelné prostým okem při samých počátcích astronomie již se uvádějí: Merkur, Venuše, Mars, Jupiter a Saturn. Téhož dne pozoroval *W. Herschel* dalekohledem hvězdu, která u porovnávání s jinými měla neobyčejně velký průměr, kdežto se stálice jeví v každém dalekohledu téměř co pouhé body. Takto upozorněn měřil *Herschel* její vzdálenost od sousedních hvězd a shledal, že se vzdálenost ta mění. Domníváje se, že našel kometu, podal o tom zprávu londýnské královské společnosti. Po mnohých nezdařených pokusech, určití na základě tohoto i pozdějších pozorování dráhu domnělé komety co parabolu, seznáno — neví se, kým dříve, zda *de Saronem*, *Lexellem* neb *Laplacem*, — že oněm pozorováním se nevyhoví parabolou leč kruhem čili ellipsou málo excentrickou, t. j. že nalezená hvězda není vlasatice, nýbrž oběžnice. Ustálil se pro ni název *Uranus*, ačkoli *Herschel* navrhoval na počest krále svého *Georgium sidus*, *Lalande* jméno nálezce a jiní jiné názvy.

Přímé určení dráhy *Uranovy* bylo velmi obtížné, poněvadž se děl pohyb jeho velmi pomalu, t. j. k určení celé velké ellipsy bylo dáno jen několik bodů blízko sebe umístěných. Na štěstí nalezena v seznamech stálic a rukopisech starších pozorovatelů *Flamsteeda*, *Bradley-e*, *Mayera* a *Lemonniera* v době od r. 1690 do r. 1781 mnohá pozorování hvězd, jež velmi dobře vyhověla přibližně určeným elementům dráhy *Uranovy*; z těchto hvězd, zanešených v seznamech co stálice, nenacházely se některé více na nebi, bylo tudíž patrné, že v takových případech oni astronomové pozorujíce skutečně oběžnici *Uranu*, mylně

zanesli polohu její mezi stálice. Takových pozorování objevilo se celkem 19; pomocí jejich mohla se dráha Uranova velmi přesně určit.

V úlohu tuto uvázal se mimo jiné hlavně *Al. Bouvard* r. 1821, sestrojiv na základě vzorků nacházejících se v Laplace-ově *Mécanique céleste* tabulky Uranovy. Podrobné určení dráhy oběžnice není totiž ukončeno vyhledáním příslušné elipsy; dlužno ještě v každém místě této *ideální* dráhy vzítí ohled na perturbace (potržky neb poruchy), jež vznikají působením ostatních oběžnic, zvláště obou největších: Jupitera a Saturna. Tím stává se úloha naše daleko složitější a možno jí vyhověti pouze na čas sestrojením obšírných tabulek. Tímto způsobem přehlíželi astronomové běh dosavadních oběžnic, majíce v četných a pečlivě provedených pozorováních stálou a přísnou oněch tabulek kontrolu. Materiálu měl Bouvard k spracování svých tabulek *s důstatek*: 40 ročníků pravidelných pozorování od r. 1781 počínajíc, a ještě oněch 19 nahodilých z r. 1690—1781. Vzdor tomu *nemohl nalésti dráhu eliptickou*, která by vzhledem k poruchám způsobeným Jupiterem a Saturnem vyhověla i novějším i starším pozorováním. Proto založil počet svůj jedině na novějších. „Jelikož jest nutno — praví v příčině té — rozhodnouti se buď pro starší buď pro novější pozorování, přidržel jsem se novějších, o nichž můžeme s větší pravdě podobností souditi, že jsou správné, a přenechávám to pozdější době rozhodnouti, zda-li má obtíž tato, uvésti obě skupení pozorování v souhlas, příčinu svou v nesprávnosti starších, aneb v nějakém cizím a neznámém vlivu, jemuž oběžnice ta jest podrobena.“ Doba, která v příčině té rozhodnouti měla, přiblížila se velmi brzo; hned po r. 1821 počaly se nové odchylky mezi výpočtem a pozorováním jeviti; odchylky ty obnášely ok. r. 1832 asi $\frac{1}{2}$ minuty, okolo r. 1840 přes minutu. *) Jsou odchylky ty následkem působení některého posud neznámého tělesa? Touto otázkou obfrali se pilně čelní astronomové oné doby, Bessel, Bouvard, Hansen; a Angličan *T. J. Hussey* navrhoval již r. 1834 vypo-

*) Zevrubnost pozorování astronomických dovedeme lépe posouditi, uvážíme-li, že půl minuty jest 60. díl průměru měsíce. Tento tak nepatrný rozdíl dostačil pro vypočítání nové oběžnice!

čítati přibližnou polohu onoho tělesa a pak je velkým dalekohledem vyhledati. Airy považoval takový pokus za nemožný, domnívaje se, že by bylo zapotřebí stopovati běh Uranu v několika oběžích, z nichž každý trvá asi 84 let. R. 1840 podniknul *Bessel* z nova počet Bouvardem již jednou provedený, leč dospěl vyjma některé nepatrné u Bouvarda nalezené chyby k týmž výsledkům. R. 1842 vypsala král. společnost nauk v Göttingách co cennou úlohu úplný rozbor theorie pohybu Uranova, se zvláštním ohledem na příčinu velké a ještě rostoucí odchylky tabulek Bouvardových. *Bessel* jal se řešiti úlohu tu, leč téhož roku zemřel, a od té doby jen dva matematikové se obírali předmětem tím, *Adams* v Cambridge a *Leverrier* v Paříži.

Adams byl přesvědčen, že příčina oněch odchylek jest těleso pohybující se dle zákonů planetárních kolem slunce, zkrátka, že jest to neznámá posud oběžnice. R. 1843 obdržel co první výsledek těleso obíhající v kruhu v dvojnásobné vzdálenosti Uranu kolem slunce; v příštím roce počal úlohu svou řešiti důkladněji a obdržel v září r. 1845 přibližnou dráhu, kterýž výsledek sdělil *Challisovi* řediteli hvězdárny v Cambridge, později též *Airy-mu*.

Později počal pracovati o úloze té *Leverrier*, byv k tomu vyzván od Araga v letě r. 1845; za to ji řešil úplněji. Nejprv přepočítal ještě jednu dráhu Uranu ze známých až dosud podmínek; výledek, k němuž dospěl, byl záporný, t. j. z těchto podmínek nebylo mu lze určití dráhu vyhovující všem dosavadním pozorováním. Sdělení tohoto výsledku (dne 10. list. 1845) mělo za následek volbu *Leverriera* do akademie na místo zemřelého *Cassiniho*. — Nyní hledal *Leverrier* soustavně příčinu této neshody. Newtonův zákon přitažlivosti mohl býti snad jen přibližně platný; leč k tomuto krajnímu prostředku nechtěl *Leverrier* sáhnout dříve, než zkusil všechny ostatní. Či snad jevílo se zde působení jakéhos celým prostorem světovým rozšířeného media, odpor étheru? Pohyb žádných jiných oběžnic nejevil stopy podobného odporu. Kdyby příčinou nepravidelného běhu Uranova byla neviditelná jakás velmi velká družice, tož by nepravidelnosti ony měly krátkou periodu; leč tomu tak není, nehledě k tomu, že by pak rozměry této družice byly dostatečně velké, aby byla našemi dalekohledy viditelnou. •

snad Uranus srazil s kometou nějakou, čímž se změnil tvar dráhy jeho? V tom případě dostačily by dvě dráhy (elipsy): jedna před sražením a druhá po něm; leč odchylky v dráze Uranově jeví se *ustavičně*, a bylo by zapotřebí více ellips než dvě, aby se odstranily, což by předpokládalo, že sražení takové se vícekrát opakovalo; a to jest velmi pravdě nepodobné. Zbývá tudíž jen vliv neodkryté posud oběžnice a jedná se nyní o to, určití blíže polohu dráhy její. Uvnitř dráhy Saturnovy nemůže být umístěna, poněvadž by měla pak větší vliv na Saturna než na Urana, což se nepozorovalo. Kdyby dále byla umístěna mezi dráhou Saturnovou a Uranovou, musela by se z příčiny právě uvedené nalezati blíže dráhy Uranovy, pak ale musela by hmota hledané oběžnice býti malá, jelikož by jinak příliš velký vliv měla na pohyb Urana. Jsouc velmi malá, působila by ona oběžnice na Urana jen v malé od něho vzdálenosti, tedy jen na určitém místě jeho dráhy, nikoli však po celé této dráze, jak se přec pozorovalo. Z toho následuje, že hmota způsobující ony nepravidelnosti musí být umístěna mimo dráhu Uranovu, a z příčiny právě uvedené v dosti značné vzdálenosti. Jelikož jest vzdálenost každé z větších oběžnic od slunce téměř dvakrát tak velká jako vzdálenost oběžnice předcházející, tož soudil Leverrier, že podobný zákon bude platiti i pro neznámou onu oběžnici, a poněvadž hlavní poruchy běhu Uranova se děly v rovině ekliptiky, musela býti dráha hledané oběžnice k ekliptice velmi málo nakloněna. Položil si tudíž Leverrier následující problém:

„Mohou se nepravidelnosti běhu Uranova vysvětliti působením oběžnice umístěné v rovině ekliptiky v dvojnásobné vzdálenosti od slunce? A jaká by pro tento případ musela býti nynější poloha oběžnice, její hmota a elementy její dráhy?“

Nebude snad zbytečno, přihlédnouti k zvláštním obtížím, s nimiž spojeno jest řešení této úlohy. Abychom dokonale seznali dráhu elliptickou, jakou by některá oběžnice opisovala za vlivem jediného slunce, musí nám býti *šest* veličin dáno, jež nazýváme *elementy* této dráhy, totiž: *sklon* roviny její k základní rovině, na př. k ekliptice, *délka* jejího *uzlu*, t. j. úhel, jež tvoří průřez obou rovin (procházející nutně sluncem) s přímkou vedenou od slunce, k *jarnímu bodu*; *střední vzdálenost* oběžnice od slunce; čili *velká polosa* ellipsy, *výstřednost* její a *délka*

perihelia, t. j. vzdálenost bodu nejbližšího u slunce od bodu jarního, měřená ovšem jako délka uzlu obloukem či úhlem; konečně *místo* oběžnice *v určitý čas*, od kterého začínáme počítati, čili t. zv. *epocha*.

První dvě veličiny určují polohu roviny dráhy, následující tři tvar a rozměry dráhy v její rovině, poslední polohu oběžnice v dráze. Vlivem jiné oběžnice bude skutečná dráha od elliptické se odchylovati, a chceme-li tyto odchylky čili poruchy vypočítati, musíme znáti jiných *sedm* veličin, t. j. elementy oné rušící oběžnice, a mimo ty ještě její *hmotu*. Známe-li těchto *třináct* veličin, jest vypočítání skutečné dráhy oběžnice vždy ještě úlohou velmi obtížnou a rozsáhlou; jak obtížná jeví se teprv úloha opačná z poruchů (poměrně nepatrných) vypočítati oněch *třináct* veličin, totiž *sedm* elementů (počítáme-li sem i *hmotu*) neznámé oběžnice a *šest členů* opravujících elementy Uranovy jen přibližně známé. Neboť jest patrné, že z oněch odchylek, jevících se při běhu Uranově, jen část připadá na poruchy způsobené vlivem hledané oběžnice, kdežto ostatek má svou příčinu v tom, že právě následkem těchto poruchů nebylo možno určití zcela správně elementy dráhy Uranovy.

Jak otázka na hoře položena zní, vidíme, že jest poněkud zjednodušena: tím že předpokládán pohyb hledané oběžnice v ekliptice odpadá *sklon* a *délka uzlu* její dráhy, a tudíž i korekce příslušných elementů dráhy Uranovy. Počet zbývajících 9 neznámých zmenšen ještě tím, že volena pro první pokus dvojnásobná vzdálenost Uranova co střední vzdálenost nové oběžnice. Zvláštní methodou, která má velkou podobnost se známou „*regula falsi*“, určil Leverrier ono místo v ekliptice, kde se v určitý čas oběžnice musela nalézati, (tedy jaksi její epochu), pro které jedině poruchy na základě tohoto určení vypočítané souhlasily s pozorováním. V červnu r. 1846 udal přibližnou délku oběžnice pro příští rok na 325° , což se jen as o 1° liší od udání Adamsova.

Teprv tento souhlas s výsledkem obdrženým již dříve od *Adamse* přiměl *Airy-ho*, že s menší nedůvěrou než dříve na celou tu otázku pohlížel. On vyzval profesora *Challise* v Cambridge, kde se nachází jeden z nejlepších dalekohledů v Evropě, aby podniknul vyhledání nové hvězdy. Challis se ochotně uvázal

v tuto práci, i jal se pozorovati okolí naznačeného místa. Chtěl zaznamenati všechny hvězdy nacházející se na ploše, jež měla 10° šířky a 30° délky (ve směru ekliptiky); pozorování to mělo se opakovati třikráte a způsobem tím mělo se určití, zda-li některá z hvězd pozorovaných nezměnila zatím místo své na důkaz, že jest hledanou oběžnicí.

Zatím oznámil *Leverrier* 31. srpna další výsledek svých prací, totiž elementy hledané oběžnice, a udal pro týž čas její místo. Měla býti asi 8. velikosti a místo zdánlivý průměr tří sekund. Výsledek tento zjevil *Leverrier* příležitostně i astronomi *Galle* v Berlíně. Pomocí výtečných berlínských map, vydaných tamější akademií, v nichž zanešeny byly všechny hvězdy až do 10. velikosti, našel *Galle* novou oběžnici téhož dne, kdy zprávu o ní obdržel totiž 23. září, a to o necelý stupeň od místa vypočítaného vzdálenou; zdánlivý průměr její obnášel asi 3 sekundy. Tento šťastný výsledek oznámil *Galle* ihned *Leverrierovi*, který sám byl nad shodou tak velkou překvapen; neboť dříve byl udal co meze, v nichž se nová oběžnice dle pravděpodobnosti nacházeti měla, 321° až 335° délky, tudíž prostor 14° stupňů. To bylo také příčinou, proč nehledal on sám nebo jeho kollegové na hvězdárně pařížské novou oběžnici; nemajíce dostatečně mohutný dalekohled, netroufali si ji v naznačených mezích mezi tolika stálicemi naléztí.

Zatím *Challis* pilně pokračoval v soustavném svém hledání; od 29. července až do 29. září zanesl polohu 3000 hvězd. Téhož dne obdržel poslední pojednání *Leverrierovo* obsahující nejurčitější dáta, i odhodlal se změnití dosavadní způsob pozorování a vyhledati oběžnici na místě přesně vytknutém pomocí zdánlivého průměru jejího. Téhož večera pozoroval vytknutou *Leverrierem* část oblohy, přihlížeje se zvláštní pečlivostí ku hvězdám jasnějším. Z 300 hvězd, jež pozoroval, shledal, že jedna zdála se míti značnější průměr, i byla to skutečně hledaná oběžnice. Leč 1. října obdržel zprávu o pozorování *Gallové*, a prohledav četná svá pozorování shledal, že byl již dříve *dvakrát* viděl novou oběžnici, totiž 4. a 12. srpna; neměl však dříve dosti času prozkoumati svá pozorování, a tím byl připraven o čest prvního pozorovatele Neptuna. Velmi dobře porovnává *Loomis Challise* s rozvášlivým vojevůdcem, chystajícím se k dlouhému obléhání

neprátelské pevnosti, kdežto *Galle* jí vydobyl při prvním útoku, ač se tak šťastného výsledku sám nenadál.

Novou oběžnici nazval *Leverrier* v soukromých dopisech *Neptunem*, později přenechal Aragovi právo určití název její. Arago volil velmi nevhodně jmeno vynálezce: *Leverrier*; z příčin snadno pochopitelných udržel se název prvnější.

Jednalo se nyní o to, určití *přesně* elementy dráhy Neptunovy; neboť resultáty *Leverrierovy* neb *Adamsovy* byly jen prvním velmi nedokonalým přiblížením. Určení to bylo však spojeno s ohromnými obtížemi; neboť pohyb Neptunův byl tak zdlouhavý, že mohla za základ výpočtů potřebných jen velmi malá část celé dráhy upotřebena býti. R. 1847 pokusil se *Valz* o určení hledaných elementů, leč se skrovným výsledkem; neboť nepodařilo se mu obdržeti spolehlivou hodnotu pro výstřednost dráhy. Bylo tudíž na nejvyšš důležité, vyzkoumati, zdali nebyl Neptun již za dob dřívějších pozorován a omylem zanešen mezi stálice. Na základě pečlivě provedené diskusse nalezl *Walker*, astronom americký v *Lalandově* „*Histoire Celeste*“ ohromném to katalogu obsahujícím 50.000 hvězd, jednu hvězdu pozorovanou 8. a 10. května 1795, která se na udaném místě nenacházela, na důkaz, že jen omylem byla považována za stálici, a jejíž místo dosti dobře souhlasilo s přibližně určeným během Neptunovým. *Walker* vypočítal dráhu Neptunovu na základě tohoto pozorování a shledal, že tomuto i pozorováním novějším z r. 1846 vyhovuje tatáž ellipsa. Později se nalezlo, že též *Lamont* v Mnichově dvakráte byl pozoroval Neptuna v domnění, že vidí stálici; i máme tudíž následující pozorování učiněné, ovšem nevědomky, ještě před *Gallem*:

1795, května	8.	. . . .	Lalande
1795, května	10.	. . . .	Lalande
1845, října	25.	. . . .	Lamont
1846, srpna	4.	. . . .	Challis
1846, srpna	12.	. . . .	Challis
1846, září	7.	. . . .	Lamont.

Na základě těchto dat bylo možno, určití dráhu Neptunovu již dosti přesně; a tu objevilo se, že se výpočet *Leverrierův*

a souhlasící s ním téměř úplně výpočet *Adamsův* od skutečnosti *značně liší*. Nehledíme-li ku *sklonu* a závislé od něho *délce uzlu*, k *výstřednosti* a závislé od ní *délce perihelia*, jež nebylo snadno určití s dostatečnou zevrubností, zbývá ještě *střední vzdálenost* a *hmota* Neptunova; a právě tyto různily se ve výsledcích *Leverrierových* od skutečnosti daleko více, než by se bylo mohlo očekávatí při souhlasu zbývajícího elementu, totiž *epochy*, která se různila, jak již uvedeno, pouze o 1° od pozorování. Střední vzdálenost, měřená vzdáleností země od slunce, obnáší skutečně as 30, kdežto ji *Leverrier* určil na 36; oběh skutečný trvá následovně 164 let, dle *Leverriera* však 217 let. Hmota obnáší as $\frac{1}{17000}$, dle *Leverriera* as $\frac{1}{9000}$ hmoty slunce, tedy téměř dvakrát tolik. Rozdíl ten jest velmi dobře znázorněn obrazem (18.) Připojené ku kruhům číslice značí rok, v kterém se oběžnice nacházela na příslušném místě, a vidíme tudíž, že na př. r. 1690 oběžnice *Leverrierova* téměř o čtvrt kruhu byla vzdálena od pravého místa *Neptunova*. Při tom nesmíme však přehlednouti důležitou tu okolnost, že okolo roku 1840, tedy pro ten čas, kdy oběžnice skutečně byla vynalezena, hypotetická dráha *Leverrierova* od skutečné *nejméně* se odchyluje.

Tyto značné odchylky zavdaly příčinu k zvláštní rozepři. R. 1848 prohlásil *Peirce*, že všem pozorováním *Uranu*, i nejstarším z r. 1690 se úplně vyhovuje vlivem *Neptuna*, pohybuje-li se v dráze na základě skutečných pozorování vypočítané.

Volíme-li však dráhu udanou *Leverrierem*, zbývá mezi pozorováním a výpočtem místa *Uranova* pro onen rok rozdíl 20'', mající příčinu svou v tom, že oběžnici způsobující poruchy v dráze *Uranově* vykázáno nesprávné místo. Z té příčiny tvrdí *Peirce*, že *Neptun není ona oběžnice, jejíž jsoucnost Leverrier předpověděl*. V jistém smyslu má *Peirce* pravdu: při hlubším rozboru celé té věci dá se dokázati, že úloha, kterou si byl *Leverrier* položil, připouští více kořenů, pokud hledíme pouze k vysvětlení poruchů způsobených v kratší době, nikoli k celému oběhu. *Leverrier* a *Adams*, řídíce se hypotesou dvojnásobné vzdálenosti nové oběžnice, našli jeden kořen; skutečná dráha tvoří však kořen jiný. Ale ani tato okolnost, ani jiná námitka učiněna *Leverrierovi* vzhledem k tomu, že myšlenka jeho nebyla

původní, nýbrž vypěstována předními v tom oboru mysliteli jeho doby, nikterak jemu a *Adamsovi* zásluhy neubírá, které si vydobyli dokázavše vítěznou moc mathematické analyse na poli lidského vědění.*)

O symbolech analytické geometrie a jejich upotřebení.

(Píše *K. Zahradník*.)

(Pokračování.)

6. Rovnice dvou bodů b_1, b_2 buďtež

$$\begin{aligned} U_1 - \lambda_1 U_2 &= 0, \\ U_1 - \lambda_2 U_2 &= 0. \end{aligned}$$

Každému bodu přísluší určitý poměr, jímž poloha jeho vzhledem k dvěma pevným bodům na přímce je stanovena; dvěma bodům příslušetí budou dva poměry a podíl těchto poměrů nazýváme dvojpoměrem dvou bodů vzhledem k dvěma základním bodům.**). Jsouli tedy dány základní body a_1, a_2 , dále pak body b_1, b_2 příslušné poměrům λ_1, λ_2 , tu značí dvojpoměr

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = q = \frac{a_1 b_1}{a_2 b_1} : \frac{a_1 b_2}{a_2 b_2} = (a_1 a_2 b_1 b_2). \quad (9)$$

. Rovná-li se $\lambda_1 = -\lambda_2$, jest $q = -1$ a takové čtyři body na přímce, jejichž dvojpoměr rovná se -1 , nazýváme *harmonickými* body. Čtyři body, jejichž rovnice jsou

$$\begin{aligned} U_1 &= 0, \quad U_1 - \lambda, \quad U_2 = 0, \\ U_2 &= 0, \quad U_1 + \lambda, \quad U_2 = 0, \end{aligned}$$

jsou tudíž harmonické.

Dvojpoměr čtyř bodů řady bodové můžeme však i obecněji pojmuti a tázati se po dvojpoměru libovolných čtyř bodů řady bodové, daných rovnicemi

$$\begin{aligned} U_1 - \lambda_1 U_2 &= 0, \quad U_1 - \lambda_3 U_2 = 0, \\ U_1 - \lambda_2 U_2 &= 0, \quad U_1 - \lambda_4 U_2 = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

*) Obširnější vylíčení důležité události této nalezne laskavý čtenář v: *El. Loomis*, The recent progress of astronomy. Newyork 1856. *Schuhmacher*, astr. Nachrichten, různé svazky. zvlášt sv. 25—28.

**) Porovnej dr. Em. a dr. Ed. Weyr-a „Základové . . . Živa VIII. pg. 15.