

Rozhledy matematicko-fyzikální

František Jáchim

Jacobus Cornelius Kapteyn, pohyby hvězd a tvar Galaxie

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 82 (2007), No. 3, 24–30

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/146206>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2007

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



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

Jacobus Cornelius Kapteyn, pohyby hvězd a tvar Galaxie

František Jáchim, ZŠ Volyně

Už jste někdy uprostřed lesa přemýšleli o tom, jaký tvar má jeho hranice a jak jsou v něm rozmístěny stromy? Pro houbaře divná otázka, pro astronoma jen analogie s hledáním tvaru Galaxie. Pozorujeme-li noční oblohu, zdá se nám, že jsme ve středu celého vesmíru. Ze školy víme, že pravda to není, a tak se můžeme ptát, jaký útvar vlastně vyplňují námi viděné hvězdy. Poznání tvaru a struktury Galaxie patří k vrcholům činnosti lidského ducha. Posuďte sami: Všechny objekty jsou velmi daleko; pokud je vidíme, jsme rádi, ale mlha mezihvězdné látky dohlednost v některých směrech velmi podstatně omezuje; a vše se ještě pohybuje – hvězdy i my.

Když zakladatel Hvězdné astronomie William Herschel vytvořil první model hvězdné soustavy se Sluncem přibližně uprostřed, měl zato, že modeluje celý vesmír. Všechny tři jeho předpoklady (hvězdy mají stejnou svítivost, prostorová hustota hvězd je všude stejná, v mezihvězdném prostoru neexistuje absorpce) se ukázaly nepravdivými, proto i jeho model na počátku 20. století vědecky dožil.

V tu dobu velmi významně zasáhl do vývoje hvězdné astronomie Holanďan Jacobus Cornelius Kapteyn (1851 Barneveld – 1922 Amsterdam). Vystudoval matematiku a meteorologii a od roku 1875 pracoval na observatoři v Leidenu. O tři roky později se stal profesorem astronomie na univerzitě v Gröningenu. Neměl tam ale žádné pozorovací možnosti, neboť malý astronomický ústav v rámci univerzity nebyl pro observační práci vůbec vybaven. Ke zkoumání hvězd se vydal tedy cestou prohlížení a proměrování fotografií.

Roku 1858 předpověděl velkou důležitost a tím i budoucnost hvězdné fotografie první ředitel Harvardovy hvězdárny v USA G. P. Bon. Uvědomil si, jak lidský zrak klame, a ve fotografii viděl zachycení skutečného stavu oblohy.

Když se Kapteyn dověděl o fotograficky dokumentovaných pozorováních na mysu Dobré naděje D. Gillem, vyžádal si od svého jihoafric-

kého kolegy snímky oblohy a začal na nich vyhledávat změněné polohy hvězd vůči údajům Bradleyova katalogu. Proměřování hvězd na Gilloových snímcích prováděl s jedním pomocníkem a po určitý čas s dvanácti půjčenými trestanci. Roku 1889 navrhl postup k stanovení vzdáleností hvězd prostřednictvím vyhodnocení fotografických desek, přičemž užil statistického vzorce vyjadřujícího vztah mezi jasností a vzdáleností.

Jako velice originální a užitečná se ukázala metoda, při níž se trigonometrická paralaxa určovala ze čtyř snímků na jedné desce. První snímek se provedl v době, kdy byl paralaktický posuv v rektascenzi největší. Za půl roku přibyl na desku další snímek zachycující opět nejvyšší, ale opačný posuv. Po této expozici se deska posunula podle rovnoběžky a zhotovil se další snímek. Celá série končila čtvrtým obrázkem – opět po šesti měsících.

Na konci 19. století se většinou užívaly astrografy s ohniskovou vzdáleností 3,4 m, což znamenalo, že na fotografii se zobrazila úhlová vzdálenost 60 vteřin do úsečky 1 milimetru.

Spolupráce s D. Gillem v oblasti kosmické fotografie vyústila roku 1900 vydáním velkého katalogu se 450 tisíci hvězd *Cape Photographic Durchmusterung*. Tak rozsáhlé dílo si samozřejmě vyžádalo velké množství fotografií, mnoho hodin jejich proměřování, několikanásobné vzájemné porovnávání snímků. Vlastní pohyb hvězd byl již mimo pochybnost, otázkou pouze zůstávalo, jak jej popsat, jak rozptýly rychlostí utřídit a odhalit zákonitost. Spolu s van Rhijnem našel Kapteyn v roce 1920 vztah závislosti paralaxy π na vlastním pohybu μ a zdánlivé velikosti hvězdy m ve tvaru $\log \pi = -0,690 - 0,0713m + 0,646 \log \mu$.

Motivem k úvahám nad pohybem hvězd byla Kapteynovi domněnka, asi 30 let stará, že pohyby hvězd nejsou nahodilé, nýbrž podléhají nějaké zákonitosti. Tento odhad se ukázal jako správný.

V roce 1904 učinil J. C. Kapteyn objev dvou hvězdných proudů, přičemž ten mohutnější obsahuje asi 60 % hvězd a pohybuje se k bodu (vertexu) se souřadnicemi v rektascenzi 6h 04m a deklinaci -15° , druhý proud asi 40 % hvězd má vertex o souřadnicích 19h 12m a -64° . K objevu dospěl sledováním 2 400 hvězd v jednotlivých sektorech oblohy a studiu obou proudů přizpůsobil další svůj vědecký program. Oblohu rozdělil do 28 sektorů a v každém pruhu (sférickém dvojuhelníku s vrcholy ve světových pólech) proměřoval změnu polohy hvězd. Zjistil převahu určitých směrů a když pohlédl na pozorování jako na celek, byly oba proudy velmi zřetelné.

Směry k vertexům neležely v přímce, nýbrž svíraly úhel 120° . S ohledem na vlastní pohyb Slunce ale situace vypadala trochu jinak. Oba vertexy, k nimž se pohybovaly jednotlivé proudy hvězd, byly přesně opačné (měly souřadnice $\alpha_1 = 91^\circ$, $\delta_1 = -11^\circ$, $\alpha_2 = 271^\circ$, $\delta_2 = -13^\circ$). Později, v roce 1922, určil Kapteyn směr ke středu Galaxie jako kolmý na spojnici vertexů.

Současně se zabýval i vzdálenostmi hvězd. Hvězdy rozdělil na rychle pohybuující se a na pomalé a zdálo se mu logické, že ty nejrychlejší by mohly být nejbližší. Na základě tohoto předpokladu odvodil empirický vzorec spojující zdánlivou rychlost s jejich vzdáleností od Slunce.

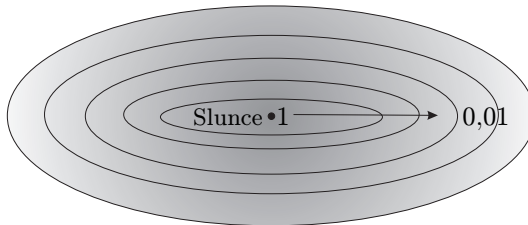
Pokud hovoříme o dvou hvězdných proudech, máme na mysli skutečně nejobecnější vyjádření pohybů hvězd jako shrnutí přeprsté škály směrů i rychlostí jednotlivých těles. Rozptyl směrů pohybů je ovšem velký. Také informace o rychlostech různých hvězd nebyly zjištěny se stejnou spolehlivostí. Přímou pozorovatelný je pouze pohyb příčný a měřitelná je jen složka radiální. Její velikost se snáze stanoví u hvězd jasnějších (Dopplerovým posuvem). Proto i zjištěné prostorové rychlosti hvězd jsou zatíženy značnou chybou. Roli v problému hraje i vlastní rychlost Slunce, která dost závisí na tom, k jak rozsáhlému souboru hvězd ji vztahujeme.

Pohyby hvězd signalizující určité uspořádání těchto těles vyvolaly velký zájem astronomů, zejména po Kapteynem vyhlášeném průzkumu oblohy nazvaném *Plán vybraných polí* (*Plan of Selected Areas*), ke kterému jeho autor přizval astronomy z různých částí světa. Celý projekt předpokládal měření vlastního pohybu hvězd, jejich paralaxy, radiálních rychlostí, vizuální i fotografické magnitudy a stanovení spektrální třídy. Astronomové od roku 1906 sledovali oblohu a proměřovali hvězdy ve 206 polích o rozměrech 1,5 čtverečního stupně. Nešlo o žádnou maličkost. Celá akce probíhala řadu let na mnoha hvězdárnách celého světa. Měřilo se např. na Harvardské observatoři, samozřejmě na Mt. Wilsonu, Yerkesově observatoři ve Williams (USA), v Greenwich, také v Pulkovu, bolivijském La Paz, Hamburku i Alžíru. Projekt se neminul účinkem. Spoluprací ředitele Harvardské hvězdárny E. Ch. Pickeringa, van Rhijnna a J. C. Kapteyna vznikl fotodokument všech polí s hvězdami do velikosti 16^m . Za přispění profesora Serease z hvězdárny na Mt. Wilsonu byl druhým výsledkem *Mount Wilson Catalogue of Photographic Magnitudes in Selected Areas (1930)* s hvězdami do velikosti 18^m pro severní oblohu.

Zájem o pohyby hvězd rostl a přinášel mnoho dílčích poznatků i teorií, a to už na samém počátku uskutečňování projektu. Roku 1908 německý fyzik a astronom Karl Schwarzschild dokázal, že stejnému pozorování

bude vyhovovat i předpoklad jediného proudu hvězd, ve kterém pohyby rovnoběžné s určitým směrem jsou častější než v jiném směru. Turner zase předpokládal pohyb hvězd po velmi protáhlých elipsách s převládajícími pohyby ve směru průvodiče ke Slunci nebo ve směru opačném. Kapteyn naopak preferoval dráhy kruhové. Někdy v roce 1910 Boss a Campbell našli rozdíly v pohybech hvězd různých spektrálních tříd.

Poněkud pestrou mozaiku poznatků o pohybech hvězd Kapteyn ještě doplnil korigujícím členem K . Jeho význam spočíval ve vyjádření vzdalování hvězd od Slunce, když byl uvažován i jeho vlastní pohyb prostorem. Kdyby Slunce bylo v klidu, měly by se radiální rychlosti okolních hvězd při vektorovém součtu rovnat nule, to však neplatilo. Např. ve směru kolmém na oba Kapteynovy proudy se hvězdy spektrální třídy B vzdalovaly rychlostí $4,8 \text{ km s}^{-1}$. Příčinou není rozpínání Galaxie, nýbrž nesouměrné rozmístění těchto hvězd, které vytvářejí tzv. Gouldův pás mírně nakloněný vůči galaktické rovině.



Obr. 1: Kapteynův model Galaxie ve tvaru sféroidu. Hustota hvězd uprostřed je 1, u okraje disku klesla na $1/100$.

Z úvah a z pozorování souvisejících s pohybem hvězd se Kapteynova práce orientovala k další otevřené otázce – tvaru Galaxie. Průzkum oblohy v Herschelovském stylu – tj. přehlídkou již zmíněných 206 polí – zcela potvrdil předpoklad, že Galaxie není bez tvaru útvar. Nová koncepce modelu hvězdné soustavy měla nosnou myšlenku v souměrném rozdělení hvězd v ní. Kapteynův model z roku 1922 vycházel z centrální polohy Slunce obklopeného hvězdami, jejichž prostorová hustota s rostoucí vzdáleností od Slunce klesá. Na obr. 1 je model zakreslen pomocí izochar spojujících místa stejné prostorové hustoty hvězd. V okolí Slunce jich připadalo na 1 kpc asi 45, ve vzdálenosti kolem 8 kpc ve směru velké osy sféroidu poklesla jejich prostorová hustota na setinu hustoty ve středu soustavy. Ve směru kolmém byl pokles hustoty ještě mnohem

větší. Galaxie měla tedy podle astronomů poprvé tvar rotačního tělesa s průměrem 16,8 kpc v galaktické rovině a středovou tloušťku asi 3,3 kpc. Podle Kapteynova odhadu ji tvořilo 1,5 miliardy hvězd.

Ve šlépějích Kapteynových kráčel i Němec Hugo von Seeliger. Ten dospěl v podstatě ke stejnému tvaru hvězdného systému, avšak menšímu (6,9 kpc průměr a 2 kpc tloušťka), také se Sluncem uprostřed. Oba byli přesvědčeni, že Galaxie je to jediné, co se ve vesmíru nachází.

Divadlo vědy má jen zřídkakdy jen jedno jeviště. Názory na stavbu, tvar a velikost Galaxie, odlišné od Kapteynových, mají svůj počátek v roce 1912, kdy se Henrietta Leavittová začala zajímat o cefeidy. Zjistila, že tyto pulsující hvězdy jsou velice zajímavé a že ty nejpomaleji kmitající jsou nejjasnější. Protože jich hodně našla v Malém Megallanově mračně, posloužila tato skupina hvězd (přibližně stejně od nás vzdálených) E. Hertzsprungovi a H. Shapleyovi jako výborný soubor pro stanovení vesmírných vzdáleností. Objevení vztahu mezi periodou pulsu a svítivostí a následně jeho užití pro převod zdánlivé jasnosti na svítivost skutečnou vedlo k prvním (alespoň přibližným) odhadům vzdáleností v hvězdném vesmíru. Přestože prozatím chyběl tzv. nulový bod vzdálenostní škály, jedna věc byla jistá: Vzdálenost k Malému Megallanovu mračnu je mnohem větší než Kapteynem později uvedené rozměry Galaxie.

H. Shapley opustil velmi brzy Kapteynův předpoklad, že Galaxie je celým vesmírem. Již první pozorování cefeid svědčila o nadgalaktické vzdálenosti některých objektů, což samozřejmě podpořilo myšlenku o mnohých hvězdných ostrovech ve vesmíru. Tyto úvahy časově předcházejí ohlášení Kapteynova modelu.

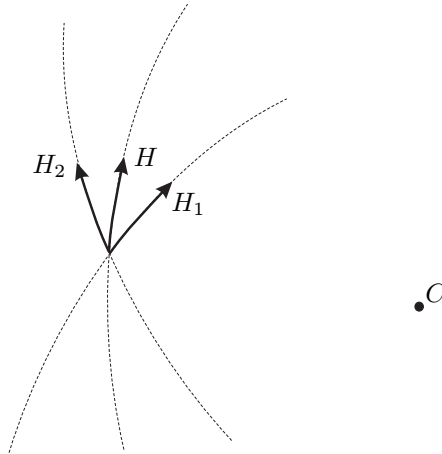
Jako první si Shapley všiml kulových hvězdokup a zcela samozřejmě je dával do souvislosti s Galaxií, a to tak, že vyplňují prostor kolem ní a jejich slupka vytváří přibližně kouli. Musel se ovšem vyrovnat s asymetrií pozorování, pokud jde o počty hvězd v různých směrech. Problém řešil tak, že Slunce „vyjmul“ ze středu Galaxie a „umístil“ je sice do galaktické roviny, avšak do zcela bezvýznamného místa. Čas dal zapravdu Shapleyovi.

Astronomové tu najednou stáli před určením další vesmírné vzdálenosti – jak je Slunce daleko od Galaktického středu. Kapteyn byl ochoten přijmout hodnotu 0,65 kpc, Seares (1928) přišel s hodnotou 1 kpc, Kukarin (1947) 7,2 kpc. Všichni hledali vzdálenost z rozložení hvězd. Pokud se užilo kulových hvězdokup, vycházely hodnoty jiné – Shapley (1928) 23 kpc, o 12 let později 16 kpc, Parenago (1941) 7,8 kpc. Po objevu

rotace Galaxie se i pomocí tohoto fenoménu pokusil Oort (1927 a 1938) stanovit vzdálenost Slunce od středu Galaxie na 6,3 (resp. 8) kpc. Dnes je uvažována hodnota asi 10 kpc.

Jak jsme již uvedli, Kapteyn a Seeliger se lišili v uváděných rozměrech Galaxie, přičemž Shapley se neshodl se žádným z nich. Rozhodnutí prozatímního sporu přinesl až objev rotace Galaxie v roce 1926, a to ve prospěch modelu Shapleyova.

Z rotace Galaxie se dá vysvětlit i Kapteynův objev dvou směrových proudů hvězd. Na obr. 2 je C střed Galaxie, tři nakreslené křivky pak trajektorie hvězd. Pro jednoduchost je hvězda H (a tedy pozorovatel) zvolena v perigalaktiku, hvězda H_1 se centru přibližuje, hvězda H_2 nejbližším bodem své dráhy již prošla. Pozorovatel z hvězdy H bude sledovat pohyb H_1 jako hvězdy vzdalující se jedním směrem, hvězda H_2 se bude vzdalovat přibližně směrem opačným.



Obr. 2: Pozorovateli z okolí hvězdy H se jeví pohyb hvězdy H_1 jako pohyb ke středu Galaxie, pohyb hvězdy H_2 jako pohyb od středu Galaxie. Tak lze vysvětlit pozorování dvou Kapteynových proudů.

Čtenáře samozřejmě může znepokojovat skutečnost, že jsme pozorovatele (prakticky Slunce) umístili zrovna v perigalaktiku. Nemusí tam být, postačí, když budeme jeho trajektorii považovat za kruhovou, což v malém úseku jeho dráhy lze. Sledovat pohyby hvězd na obloze je věc vždy složitá, protože se pohybuje i pozorovatel, proto se popis jevu neobejde bez statistických metod užitých na velké soubory.

Posuďme nyní Kapteynovy výsledky: Trvale platné zůstávají jeho poznatky o pohybu hvězd, resp. o pohybu jejich velkých skupin. Dokázal, že Galaxie má tvar rotačního sféroidu a z jiných východisek se pokusil určit její rozměry. Jako předchůdci i následovníci se také mýlil. Vesmír není jen Galaxie, ba naopak – náš hvězdný domov je jedním z mnoha. Neměl pravdu, pokud se týče galaktického heliocentrizmu.

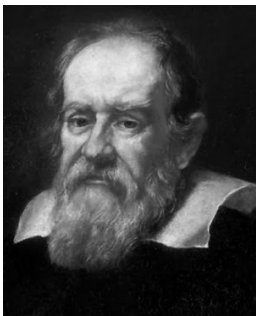
Literatura

- [1] Parenago, P. P.: *Hvězdná astronomie*. Praha, 1959.
- [2] Vanýsek, V.: *Základy astronomie a astrofyziky*. Praha, 1980.
- [3] Seydl, O.: Prof. J. C. Kapteyn. *Říše hvězd* **3** (1922), 92–94, 107–110.
- [4] Westaway, F. W.: *Objevy bez konce, II. díl*. Praha, 1938.

Listy z kalendára

Dušan Jedinák, Trnavská univerzita v Trnave

Galileo Galilei — (15. 2. 1564 – 8. 1. 1642)



Pochádzal zo starej váženej florentskej rodiny. Žil v dobe doznievajúcej renesancie, vo vlnách reformácie a protifeudálnych vzbúr. Spoznal, že matematika je prostriedok poznávania a presného popisu prírodných javov. Zistil (1583), že doba kyvu kyvadla nezávisí od jeho hmotnosti a veľkosti rozkyvu, ale mení sa iba s dĺžkou kyvadla. Vynašiel hydrostatické váhy a stanovil poučky o určovaní ťažiska niektorých pevných telies (1586). Skonstruoval termoskop ako prototyp teplomera i stroj na zdvíhanie vody (1593). Sám zostavil pomerne účinný ďalekohľad a ako prvý ho použil na astronomické pozorovanie (1610). Odhalil slnečné škvrny, objavil Venušine fázy i pohyb Jupiterových mesačikov. Svoje astronomické objavy uverejnil v spise *Sidereus nuntius – Hviezdný posol*. Galileo Galilei vydal (1632) svoj slávny spis *Dialóg o dvoch najväčších svetových sústavách*. Tam rozvinul nové myšlienky, definoval pojem