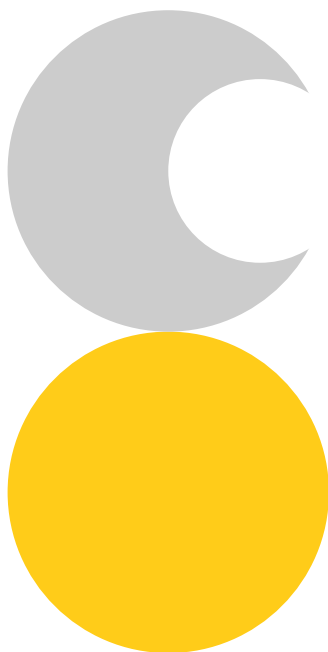


# Úskalí didaktiky astronomie

**Jan Hollan**

6. května 2009



Hvězdárna a planetárium Mikuláše Koperníka v Brně  
Kraví hora 2, 616 00 Brno

# Obsah

<b>1. Úvod</b>	<b>3</b>
<b>2. Vztažné soustavy</b>	<b>3</b>
<b>3. Obloha a nebe</b>	<b>5</b>
<b>4. Astronomická fotometrie</b>	<b>7</b>
4.1. Jas . . . . .	8
4.2. Zářivý výkon . . . . .	9
<b>5. Úhly kolem nás</b>	<b>9</b>
5.1. Azimut . . . . .	10
<b>6. Hvězdy, stálice a planety</b>	<b>10</b>
6.1. Stálice . . . . .	11
6.2. Planety . . . . .	11
<b>7. Zeus – u Dia, Regulus – u Regula, Arcturus – u Arktura</b>	<b>12</b>
<b>8. Astronomická přesnost</b>	<b>12</b>

Text je z roku 1998, v roce 2009 byly jen opraveny překlepy a zahrnuta definice planet.

# 1. Úvod

Astronomie je stará věda, dokonce múza. Je prvním vědeckým triumfem matematiky, přesněji geometrie — vlastně to byla v epochálním díle Claudia Ptolemaia aplikovaná matematika sama. Ostatně se do onoho díla [1] ponořte, budete fascinováni.

Klasická astronomie byla dokonale úspěšná: dokázala přesně předpovídat polohy Slunce a hvězd, a do značné míry i Měsíce. Novověká fyzika, iniciovaná Galileem a Keplerem a vystavěná Newtonem, umožnila sice předpovědi ještě přesnější, ale astronomie nikdy v širší míře nepřijala její základy, jen se smířila s novými metodami výpočtů. Hrdá astronomie zůstala disciplínou starověkou, pevně spojená se starověkou a středověkou fyzikou.

Odtud plyne první a téměř nepřekonatelné úskalí: běžná astronomie nezná *princip relativity*, nezná pojem *vztažné soustavy*. Dosud vážně spekuluje o skutečných a zdánlivých pohybech. Je to postoj schizofrenní, ale na rozdíl od skutečné schizofrenie je nakažlivý. Šfří se nezalostí novověké fyziky a opisováním z knih, opsaných ze starších knih, které byly opsány... atd. Jeho vymizení se ani v horizontu staletí nezdá být možné.

Další úskalí je proti tomu malicherné. Astronomové se neobtěžují *definováním pojmů, veličin a jednotek*, které používají.

Nápadným projevem toho je džungle astronomické fotometrie. To je oblast tak tajemná a zamotaná, že ani ti, co v ní pracují, nevědí, co jejich údaje vlastně znamenají.

Kuriozitou je astronomické vyjadřování úhlů. K sadě běžných úhlových jednotek přidali astronomové v novověku i hodiny (s minutami a vteřinami, ale jinými, než těmi, které jsou odvozeny z jednotky stupeň). Možná, že se to někomu v praxi kdysi hodilo. Ale skutečnost, že se takové údaje dosud opisují, je udivující. V tomto ohledu by pomohlo už to, kdyby se astronomie ke svým starověkým základům vrátila (a používala jako kdysi jen stupně a případně jejich šedesátinné zlomky).

Návrat ke kořenům je na místě i v rehabilitaci pojmu *stálice*.

Konečně, astronomové zhusta patří k těm negramotným vědcům, kteří své kvantitativní údaje nedoprovázejí údaji o jejich nejistotách.

Začínající hvězdáři se ale dědičným nemocem astronomie mohou ubránit, pokud je poznají a pokud se opřou o dobré fyzikální učebnice. Stojí to za to: dnešní astronomie je stále více chloubou fyziky nejen díky své tisícileté historii. Může být, pokud se budeme snažit, chloubou úplně bez pachuti. K poznání skrytého nepřítele v základech astronomie se snaží přispět i následující text. Nežádoucí (překonané, matoucí) pojmy a vyjádření jsou v něm vyznačeny tímto krkolomným písmem.

## 2. Vztažné soustavy

Galilea Galileiho napadlo, že když je někdy praktické vyjadřovat polohy těles vůči lodi místo vůči pevné zemi, tak i pohyb lze popisovat vůči lodi. Zkrátka, že každé těleso, které se pohybuje rovnoměrně a přímočaře vůči pevnině, dává pro popis fyzikálních dějů stejně dobrý rámec jako pevná zem. Každé může definovat *vztažnou soustavu*, a bez definice vztažné soustavy se o polohách a pohybech jednotlivých těles dá mluvit jen zmateně.

I předchozí fyzika, založená Aristotelem, po pravdě řečeno jistou vztažnou soustavu užívala. Ale jen jednu jedinou, totiž pevnou zemi. Polohy a pohyby v této soustavě považovala za skutečné, údaje zjištěné pozorováním například z plující lodi pro ni byly zdánlivé. Oba tyto pojmy jsou dnešní fyzice už docela cizí.

Spor mezi pohledem Koperníkovým a Ptolemaiovým byl z pohledu dnešní fyziky především nedorozuměním. Koperník odvážně zvolil jinou vztažnou soustavu, totiž takovou, kde bylo Slunce na místě a která nerotovala vzhledem ke stálícím. O pohybech v této soustavě mluvil jako o skutečných. Jeho vztažná soustava je skutečně ta nejvhodnější k úvahám o Sluneční soustavě — nejnázna tak se dění ve Sluneční soustavě dá porozumět a případně vypočítat, jaké budou polohy těles v určitém okamžiku. Koperník díky jejímu užití došel ke správné představě o vzájemných vzdálenostech planet, a především přišel na hlavní společnou příčinu složitého pohybu planet, jak jej znali hvězdáři po tisíciletí. Šlo o pohyb v jiné vztažné soustavě, totiž v nerotující soustavě, kde je na místě Země. Nerotující znamená, že stálíce jsou stále ve stejných směrech, a planety se pohybují jen zvolna. Složitost jejich pohybu je v tom, že občas se pohybují opačným směrem než po většinu doby: Koperníkovo vysvětlení bylo, že je to důsledek jejich a našeho oběžného pohybu kolem Slunce.

Tvrdit ale, že vztažná soustava se Sluncem na místě je správná a druhá špatná, je z dnešního hlediska nesmysl. Přesto se takové hodnocení v astronomii houževnatě drží. Přesněji řečeno, drží se v případě, že mluvčí má na mysli Slunce či planety. V jiném případě bez varování může mít na mysli druhou z uvedených soustav (tedy nerotující vztažnou soustavu se Zemí na místě), nebo i vztažnou soustavu denního života (tedy takovou, kde je Země v klidu). Ta poslední se samozřejmě velmi hodí při popisování dějů na zemském povrchu či v ovzduší, prostřední ze vztažných soustav je praktická při pozorování vesmíru a pro úvahy o pohybu Měsíce a umělých družic Země. Spor o to, která je „ta správná“ či který pohyb „je skutečný“ je důkazem, že mluvčímu je pojem vztažné soustavy cizí.

Přesto dnes cítíme, že tvrzení „Země obíhá kolem Slunce“ je nějak lepší než věta „Slunce obíhá kolem Země“. Tím spíše dáváme přednost tvrzení „Země rotuje“ před tvrzením „vesmír se otáčí okolo Země“. Každé z těchto tvrzení ale skutečně v nějaké běžně používané vztažné soustavě platí. Dáváme dnes zjevně přednost vztažným soustavám, které jsou jaksi inerciálněji. Inercie znamená setrvačnost. Inerciálněji soustava je zřejmě ta, kde se tělesa, která máme zrovna na mysli, pohybují setrvačněji, tedy s menším zrychlením. Většinou přitom bereme zřetel hlavně na tělesa větších hmotností.

Sám jsem užil výše označení „nerotující vztažná soustava“. Nerotující vůči čemu? Tedy, nerotující v jaké výchozí vztažné soustavě? Ve shodě s Ernstem Machem bychom mohli říci „nerotující vůči stálícím“, dnes se raději opíráme o nejvzdálenější známé objekty a říkáme třeba „nerotující vůči kvasarům“. *Nerotující vztažná soustava* je tedy taková, ve které se „většina pozorované hmoty vesmíru“ nepohybuje tak, že bychom to mohli popsat jako rotaci kolem nějaké společné osy.

Ještě větší omezení volby vztažné soustavy znamená sousloví *inerciální vztažná soustava*. Každá inerciální vztažná soustava je nerotující, a navíc je v ní průměrné zrychlení pozorované hmoty ve vesmíru nulové. Podmínku, že je nerotující, můžeme vyjádřit i tak, že zrychlení pozorované hmoty ve vesmíru je v takové soustavě stejné na všechny strany od libovolného jejího vybraného místa (tedy rovné nule, pokud jde o navíc o soustavu inerciální).

Jiná definice inerciální soustavy je praktická: inerciální je taková vztažná soustava, kde je fyzika zvláště jednoduchá, tj. kde se pohyb těles řídí Newtonovými zákony a silami, jejichž původ známe. Není divu, že takovým soustavám dáváme přednost. Proč je možné používat obě definice, nevíme. Ernst Mach v minulém století navrhl, že právě to, že vzdálená tělesa ve vesmíru ve zvolené vztažné soustavě nemají žádné zrychlení, vede k jednoduchosti fyziky v takové soustavě. *Machův princip* říká, že prohnutí vodní hladiny v rotujícím vědru (slavný Newtonův pokus) působí vzdálené vesmírné hmoty. Je to dosud jen myšlenka filozofická, a nestala se (zatím?) součástí fyziky (tedy dnes obecné teorie relativity).

Můžeme dát dokonce přednost jedné inerciální vztažné soustavě mezi všemi. Totiž té, kde známá hmota vesmíru má v úhrnu nejen nulové zrychlení, ale i nulovou rychlost. Jak rychle se v takové inerciální soustavě pohybuje střed hmotnosti Sluneční soustavy, víme dnes s přesností řádově jednoho kilometru za sekundu — to díky pozorování tzv. reliktního záření, které má (v inerciální soustavě, kde je naopak střed hmotnosti Sluneční soustavy v klidu) v jednom směru poněkud vyšší teplotu než ve směru opačném.

Nemluvíme-li ale o vztažné soustavě (v níž polohy a pohyb hodláme popisovat), ale o pohybu nějakého konkrétního tělesa, pojmy jako *zrychlení* a *rotace* už chápeme v kontextu této vztažné soustavy. Pokud se o zrychlení či rotaci tělesa něco říká bez výslovného udání vztažné soustavy, pak by určitě mělo jít o soustavu inerciální. Bohužel, není úplně jedno o jakou. Vinou transformace času (podle speciální teorie relativity) je například rotační perioda tělesa v různých inerciálních soustavách poněkud různá. Nejkratší je v takové soustavě, kde těleso setrvává na místě (tedy rotuje, ale neposunuje se). Nejvhodnější proto je, vztažnou soustavu vždy výslovně uvést.

### 3. Obloha a nebe

I solidní astronom, který vztažnou soustavu pečlivě uvede, může ale zamlčet další okolnost. Mluví-li o „poloze Slunce“, nemá tím asi na mysli ono těleso, ale mluví o směru, odkud zrovna na jeho observatoř (nebo do jeho okna) dopadá sluneční světlo. To není totéž. Ve vztažné soustavě denního života, definované pevným povrchem Země, Slunce (jako těleso) rychle uhání, a opíše za den kolem Země kružnici o poloměru nějakých sto padesáti milionů kilometrů (tedy za sekundu urazí skoro dva tisíce kilometrů).

Ve skutečnosti v takovéto vztažné soustavě o pohybu Slunce jakožto tělesa nikdy neuvažujeme. Zabýváme se jen tím, jak se mění směr, kde Slunce vidíme. Polohou Slunce myslíme jen to, nad kterou světovou stranou je zrovna vidíme a jak vysoko. Nejde nám o vzdálenost onoho životodárného zdroje světla. Když Slunce vidíme na moři zapadat, přichází jeho světlo do našich očí zhruba vodorovně. Směr ke Slunci jako k tělesu ale v tu chvíli vodorovný není — za těch osm minut, které k nám světlo letělo, se Slunce v naší vztažné soustavě notně posunulo (skoro o milión kilometrů), a přímka oči–těleso Slunce míří o pěkný kousek dál doprava dolů (pokud jsme v severních mírných šířkách, v jižních šířkách by to bylo doleva dolů). Rozdíl mezi směrem, kde Slunce zrovna zapadá a kam míří přímka oči–těleso Slunce je vlastně ještě trochu větší, protože světlo se atmosférou nepohybuje přímočaře a láme se trochu dolů. Slunce je proto vidět o trochu (až o půl stupně) výš, než kdyby tohoto lomu (čili refrakce) nebylo.

Mluvíme-li o poloze Slunce, máme ve skutečnosti na mysli *polohu Slunce na obloze*. O těleso samotné vůbec nejde. Jde jen o směr, ze kterého do našich očí dopadá v danou chvíli sluneční světlo. Podobné je to s polohami Měsíce, planet a stálic. Ostatně, v případě stálic neznáme jejich vzdálenost ani zdaleka s přesností „jednoho světelného dne“, a tak o přímce spojující naše oko s (největším) tělesem dané stálice nemůžeme říci vůbec, kam zrovna míří (jen můžeme vymezit plášť kužele, ke kterému se musí přimykát).

Zbývá jen upřesnit, co vlastně myslíme oblohou. Protože poloha stálice na obloze je vlastně směr, v němž stálice zrovna vidíme, je přirozené oblohu považovat za všechny možné směry, kterými z daného bodu (středu čočky svého oka) hledíme. *Obloha je tedy dána vztahnou soustavou a jejím vybraným bodem, a představuje množinu směrů mířících od onoho vybraného bodu*. V užším, běžném slova smyslu jde o vztahnou soustavu danou pevným povrchem Země a jen o takové směry, které při pohledu ze zvoleného bodu (stanoviště) míří nad zemský povrch. Takto definovaná obloha přesně odpovídá hlavnímu významu tohoto slova v běžném jazyce. Pokud k pojmu obloha nepoužijeme žádný přívlastek, měli bychom jím rozumět právě toto.

Pro lepší pochopení pojmu se zamysleme nad dobře známou situací, kdy je vysoko nad námi letadlo. Letadlo je na dvou různých místech oblohy — na jednom je vidíme, na jiném slyšíme. Zvukové vlny k nám přicházejí z jiného směru než světlo. Letadlo jako zvukový signál je jinde, než jako optický signál. Ostatně na letadlo můžeme ukázat i šikmo dolů, pokud se zrcadlí ve vodní hladině. Slova „tam je letadlo“ vlastně znamenají „tam vidím letadlo“ nebo „tam slyším letadlo“. Slyšené i viděné letadlo se na obloze pohybuje rychle, družice (jen viděné, slyšet vinou vesmírného vakua nejsou) pomaleji a stálice ještě pomaleji: na stejné místo se vrátí za jeden den bez čtyř minut. Vlastně jedny družice jsou na obloze dokonale nehybné (ne, že bych nějakou někdy viděl, i když to je možné), totiž ty stacionární.

Je podivné, že v astronomii se precizování pojmu obloha objevilo asi až v osmdesátých letech dvacátého století. Astronomie ale i dříve znala a dosud užívá pojem, který měl podobný význam, totiž pojem *nebeská sféra*. Z takového sousloví přímo dýchá starobylost. Ještě přesněji vymezený starobylý pojem (s předchozím asi v praxi splývající) je *sféra stále*. To je ovšem křišťálová koule, na které jsou stálice připevněny. Stálice jsou na této kouli ve stálých polohách, odtud jejich označení. Jaká je fyzikálně přesná obdoba takového pojmu?

Vhodný pojem je *hvězdná obloha*. Ta je dána inerciální vztahnou soustavou a jejím zvoleným bodem, například středem hmotnosti Sluneční soustavy (úplně přesně vzato bodem, který s ním v nějaké době splýval a časem se oddělí, vinou zakřivené pouti Sluneční soustavy Galaxií). Na krátkou dobu je možné za výchozí bod volit i nějaké místo na povrchu Země — ale jen dokud se vůči inerciální soustavě, kde byl zpočátku v klidu, nezačne pohybovat vinou otáčení Země. Pohled na hvězdnou oblohu, po níž se stálice nepohybují, tak poskytne plošina, kompenzující rotaci Země (či běžněji dalekohled, který je vhodným tempem nakláněn kolem rovnoběžky s osou Země). Přesněji, stálice se po takové hvězdné obloze při pohledu přes atmosféru poněkud vychylují ze svých středních poloh vinou sílicího či slábnoucího lomu světla v ovzduší.

Lze používat i jiné přívlastky, vhodně naznačující s jakou vztahnou soustavou a jakým jejím bodem je obloha spojena. Podrobněji viz text [3], kde je i matematicky definována

„množina směrů“ (vytvoří se z vektorového prostoru s vyňatým nulovým vektorem faktoriací podle rovnoběžnosti [4]).

Co ale když vytvoříme hvězdnou mapu? Čeho je to mapa? Hvězdné oblohy? To jistě ne, stejně jako mapa Země není mapa kulové plochy či rotačního elipsoidu. To by na ni nebylo co kreslit, byla by prázdná. Na mapu nezachycujeme kulovou plochu, ale například zemský povrch jako odchylky od oné kulové plochy. Nebo rozlišujeme i vodní hladiny a pevný povrch, různou vegetaci, mořské proudy atd. Obdobou pro pojem *zemský povrch* je pojem *hvězdné nebe*. Ten už neoznačuje geometrickou kulisu (čili hvězdnou oblohu), ale to, co na jejích různých místech vidíme. Hvězdná mapa je tedy mapou hvězdného nebe. Pokud pozorujeme vesmír v rádiovém oboru, vypadá hvězdné nebe o dost jinak — stejně jako zemský povrch. Hvězdná mapa může ovšem popisovat vzhled hvězdného nebe současně v různých oborech elektromagnetických vln — nehodí se pak sice tolik k orientaci na nočním nebi, ale zato může ukázat zajímavé souvislosti.

V poslední větě jsem užil pojem *nebe*. Ten ponechávám bez přesného vymezení. Hodí se pro zkrácené označení hvězdného nebe, ale i pro záměnu pojmu obloha, kdykoliv to nemůže způsobit nedorozumění. Ostatně v poslední větě minulého odstavce jsme mohli mít na mysli kterýkoliv z těchto pojmů. Mohli jsme chtít identifikovat jednotlivé stálice (tedy studovat hvězdné nebe) nebo naopak zjistit, kde je východ (a tedy orientovat se na obloze, abychom např. odhadli, kde se ráno objeví Slunce).

Populární vysvětlení těchto pojmů lze najít v [7] a [6].

## 4. Astronomická fotometrie

Více než před dvěma tisíciletími astronom Hipparchos nejen zaznamenal polohy tisícovky stálic na hvězdné obloze, ale také je roztřídil podle toho, jak byly jasné. Hipparchův katalog známe ale až z díla Ptolemaiova, upravený a rozšířený. Katalog užívá pro stálice šesti tříd jasnosti — nejjasnější jsou v první třídě, nejslabší v šesté. Staří astronomové je považovali za třídy velikosti, podobně, jako se (často dost nevhodně) dělí do tříd ovoce nebo zelenina: v první třídě jsou ty největší kusy.<sup>1</sup>

Doposud říkáme o jasných hvězdách, že jsou *první velikosti*, a o těch, které jsou vidět jen na bezměsíčné obloze, že jsou *šesté velikosti*. Máme pro to ale přesnější kritéria: hvězdy šesté velikosti jsou stokrát slabší než hvězdy první velikosti (to znamená, že sto hvězd šesté velikosti osvětluje naše oči zhruba stejně mnoho, jako jedna hvězda první velikosti). Hvězdy jedenácté velikosti jsou opět stokrát slabší než hvězdy šesté velikosti atd. — o pět tříd dále znamená vždycky stokrát méně světla dopadajícího do našich dalekohledů.

Hvězdy jsou ale různé jasné i v rámci jedné třídy, a tak vyvstala potřeba jemnějšího vyjadřování toho, jak jasné vlastně jsou. Nejprve je potřeba zavést veličinu *jasnost* — to je jednoduše hustota světelného toku od dané hvězdy, nebýt zemské atmosféry. Od ní lze pak odvodit veličinu *hvězdná velikost*, která se snaží vyhovět starověkému třídění. Pro tuto veličinu je konečně potřeba jednotka, a tu nazýváme *magnituda* (a zkracujeme mag).

<sup>1</sup>Ptolemaiovo třídění je ve skutečnosti jemnější: mnohé stálice mají u své třídy poznámku, že jsou větší či naopak menší, než je pro danou třídu obvyklé.

Hvězdná velikost je veličina bezrozměrná, a je úměrná logaritmu poměru jasností. Hvězdnou velikost přesně nula magnitud mají hvězdy, jejichž jasnost je  $2,54 \cdot 10^{-6} \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2}$ , hvězdy právě desetkrát slabší mají hvězdnou velikost právě 2,5 mag, atd. Je možné užívat i dílčích jednotek. Zeslabí-li se hvězda o jedno procento, *vzroste* její hvězdná velikost asi o 1 cmag (jednu centimagnitudu čili setinu magnitudy).

Přesnou definici veličin a jednotek specifických jen pro astronomii podává [5].

V češtině, němčině a asi i všech dalších nerománských jazycích takové vyjadřování nedělá žádné problémy a jeho dodržování může velmi projasnit astronomické texty — mohou se stát plně fyzikální. Problémem jsou jazyky románské, kde slovo „magnitude“ má běžný význam „velikost“.<sup>2</sup> Veličinu hvězdná velikost je tam potřeba označit jiným názvem. Např. pro angličtinu se velmi hodí jednoslovné *faintness*, čili slabost. Ta roste, když hvězda slabne, a nechová se tedy v rozporu se svým názvem.

Obtížnější je najít dobrý anglický překlad výrazu „hvězda třetí velikosti“, kterým se přesně vzato rozumí hvězda s hvězdnou velikostí v intervalu 2,5 mag až 3,5 mag. Nezbyvá než těžkopádnější „a star of the third brightness class“ nebo fyzikálnější „the star has three magnitudes“ či „the star is some 3 mag“. Ve skutečnosti asi zůstane slovo *magnitude* v angličtině dvojnásobné. Občas se vyskytne i ve smyslu starověké třídy jasnosti, už proto, že taková sousloví (jako „star of the first magnitude“) jsou součástí běžného jazyka a ze slovníků brzy nevymizí. Pokrokem bude, když se tak v angličtině nebude označovat veličina „hvězdná velikost“, a když se do češtiny slovo „magnitude“ bude důsledně překládat „velikost“, kdykoliv půjde o třídu jasnosti a ne o jednotku.

Populární vysvětlení těchto pojmů lze opět najít v [7] a [6], v níž je i hojnost příkladů jejich užívání. V jiných textech se mnohdy slova *velikost*, *jasnost*, *hvězdná velikost* a *magnituda* libovolně zaměňují.

## 4.1. Jas

Astronomové kromě toho vyjadřují podivným způsobem běžnou fotometrickou veličinu *jas*. Tu ostatně můžeme využít i k definici jasnosti: jasnost nějakého prostorového úhlu získáme jako integrál jasu přes tento prostorový úhel. Taková definice jasnosti se hodí například v případě mlhovin nebo galaxií, ale v případě stálic se těžko aplikuje: stálice dosud až na pár výjimek pozorujeme jako bodové, a jejich jas stěží známe.

Jas má běžnou jednotku *kandela na metr čtvereční* ( $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Astronomové ale místo stručného názvu *jas* (anglicky *luminance*) používají monstrózní anglické označení *surface brightness*, či české plošná jasnost. Myslí tím ovšem jasnost dělenou prostorovým úhlem, ne plochou. Hodnoty jasu pak vyjadřují dosti složitě prostřednictvím hvězdné velikosti prostorového úhlu zvolené velikosti: zpravidla velkého jednu čtvereční vteřinu, a ne jeden steradián. Tehdy ale není možné použít rovnítko: hvězdná velikost čtvereční vteřiny oblohy je bezrozměrná veličina, zatímco jas rozměr má. Lze ale například říci, že dokonale tmavá obloha s jasem  $1 \cdot 10^{-4} \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$  je taková, že jedna její čtvereční vteřina má hvězdnou velikost

<sup>2</sup>*Magnus* je latinsky *velký* a *magnitudo* znamená *velikost* (-tudo, v angličtině -tude je substantivní přípona). Cítíme i souvislost s obecným fyzikálním pojmem *veličina*.



22,58 mag. Anebo že kruh velký 5' (tedy kuželový svazek směřů o vrcholovém úhlu pět úhlových minut) má hvězdnou velikost asi 10,5 mag.

V dnešní astronomii se ale jasností i jasnem jen někdy rozumí veličina, závislá na lidské fyziologii. Častěji jde o veličiny definované prostřednictvím jiné „křivky citlivosti“, než je citlivost lidského zraku při denním vidění. Hovoří se pak například o V-jasnosti nebo B-jasnosti (viz [5]) a k nim lze přiřadit příslušné obdoby jasu, či přesněji *záře*. Jde totiž o energiové, nikoliv fotometrické veličiny.

## 4.2. Zářivý výkon

Poslední fotometrickou veličinou, s jejímž názvem se v astronomických textech často setkáte v nečekaném významu, je *svítivost* (anglicky *luminous intensity*, ale nedokonalý překlad z češtiny by snadno mohl užít výrazu *luminosity*, který vypadá jako zkrácené pojmenování téže veličiny). Astronomové tehdy obvykle nemají na mysli základní veličinu SI, ale něco docela jiného, totiž *zářivý výkon*. Tedy něco, co se neměří v kandelách, ale ve wattech, nebo „ve výkonech Slunce“. „Slunce“ se ostatně v astronomii vyskytuje nejen jako jednotka zářivého výkonu, ale především jako velmi praktická jednotka hmotnosti, případně i délky (mluví-li se o poloměru nebo průměru hvězd). Jakákoliv veličina, jejíž hodnotu známe pro Slunce jako celek, může v astronomii být vyjádřena pomocí jednotky „Slunce“, dokonce i skutečná svítivost (tehdy je „Slunce“ rovno asi  $2,8 \cdot 10^{27}$  cd).

## 5. Úhly kolem nás

Astronomie byla až do minulého století vlastně jen královstvím úhlů. Ty se totiž používají k popisu poloh na obloze či hvězdné obloze a nic jiného ani astronomové nemohli měřit. Zatímco v základní škole se za úhel považuje jen cosi v rovině papíru (s výjimkou zeměpisu) pro astronomy jsou úhly přirozeným jazykem pro popis světa kolem nás.

Ve skutečnosti by měly být přirozené pro každého z nás, alespoň když mluvíme o takových předmětech, na které nedosáhneme, natož pak o takových, které jsou v dálce, kde už selhává prostorové vidění (tedy dále než dvacet až sto metrů). Pak totiž nevnímáme (trojrozměrné) polohy těles, ale jsme si jisti jen tím, ve kterém směru danou věc vidíme.

Pak by přišla ke slovu neobyčejná praktičnost základní jednotky úhlu, totiž radiánu, či jednotek dílčích, jako je centiradián a miliradián. Je-li něco daleko sto metrů a vysoké jeden metr, *vidíme to vysoké* jeden centiradián. Je to v tomto případě pohodlnější než používat stupně. Nemluvě o desítkově-šedesátkovém vyjadřování ve stupních, minutách a vteřinách, babylónskému dědictví. To přežívá asi jen díky námořním mapám, v nichž jedna minuta zeměpisné šířky odpovídá jedné námořní míli. Nebo možná spíše vinou podobného členění času. Kdo někdy musel z paměti odečítat dobu mezi dvěma časovými údaji, ví o čem hovořím.

Astronomové ale v nestřeženém okamžiku začali užívat ještě další soustavu jednotek úhlů. Vedlo je k tomu pohodlí při zjišťování přesného času pozorováním stálic, až někdy v době, kdy k tomu užívali dalekohledy. Úhly pak vyjadřovali v hodinách, jejich šedesátinách zvaných minuty, a sekundách. Tyto sekundy a minuty jsou patnáctkrát větší než obvyklé, a jedna hodina je rovna patnácti stupňům. Dosud lze najít případy, kde je taková úhlová

stupnice výhodná, je jich ale věru málo. Já jsem se s takovým případem ještě nesetkal. Naopak, tyto ojedinělé *časově-úhlové* jednotky mi už sebraly mnoho času. V jedné soustavě souřadnic se totiž pro úhly podél rovníku (tedy kolem přímky rovnoběžné se zemskou osou) někdy užívají tyto jednotky, a pro úhly kolmo k rovníku (této souřadnici se říká deklinace) jednotky obvyklé. Je to k nevěře. Možné je to asi jen proto, že v některých situacích hvězdáře druhá ze souřadnic nezajímala.

K tomu, aby se taková kuriózní soustava úhlových jednotek používala i dnes, není žádný dobrý důvod. Měly by co nejrychleji začít z nových knih a časopisů mizet. Ale protože v mnohých dosud uvedené jsou, měly by být v nějaké normě definovány — zahrnuje je proto návrh [5].

## 5.1. Azimut

Jeden úhel měříme doslova „kolem nás“, totiž azimut. Snad každý ví, že *sever má azimut nula*, východ devadesát a jih sto osmdesát stupňů. A ejhle, astronomové mívají pod azimutem na mysli přesný opak: počítají jej od opačného směru, totiž od jihu. Snad proto, že ve středověku mívaly i zeměpisné mapy jih nahoře. Označovat tímž slovem veličiny s opačným významem je matoucí. Pokud takový „astronomický azimut“ neodložíme k historickým kuriozitám, nezbyvá, než mu dát nematoucí název. Asi *azimut od jihu*: je to totiž azimut daného kopce či hvězdy mínus azimut jihu.

## 6. Hvězdy, stálice a planety

V jednom případě je starobylé vyjadřování přesnější než dnešní. Slovem *hvězda* se totiž odedávna rozuměl jakýkoliv světelný bod na obloze, a v běžném jazyce je to tak doposud. Jak dokázal Hipparchos a potvrdil Claudios Ptolemaios [1], většina takových bodů zůstává ve stálých vzájemných polohách (tedy jsou nehybné na hvězdné obloze<sup>3</sup>), a označují se proto jako *stálice* (řecky *ἀπλανῶν ἀστέρων*). Jen hrstka se chová jinak, a to jsou *bludice*, čili *planety* (řecky *πλανωμένων ἀστέρων*) [2]. Tu a tam nějaký světelný bod, který po obloze jen na okamžik rychle popoběhne a zmizí, je ovšem *padající hvězda*, čili meteor. Dnes k nim přistoupily hvězdy, které se pohybují méně nápadně, a často chvíli trvá, než je odhalíme, totiž *družice*, kterým se mohou podobat i vzdálená *letadla*.

Dnes má pro nás slovo *hvězda* ještě další význam: míníme jím horké, přibližně kulové těleso. Kdysi se místo toho užíval název *slunce*, což bylo docela vhodné: Slunce přece nevidíme jako bod, a je přirozené interpretovat jeho vzhled tak, že jde o horkou kouli. Mluvílo se tak o cizích sluncích: „a slunce jasná světů jiných / bloudila blankytnými pásky / planoucí tam co slzy lásky.“ [8]. Podobně dnes užíváme pro cizí hvězdné ostrovy slovo *galaxie*, a naši vlastní Galaxii pak označujeme velkým písmenem (je to její jméno, odpovídající řeckému označení Mléčné dráhy).

---

<sup>3</sup>Edmund Halley ale drobné pohyby u několika stálic srovnáním Flamsteedova a Hipparchova katalogu našel a později se tyto tzv. vlastní pohyby staly mohutným nástrojem studia Galaxie.

## 6.1. Stálice

Třetí význam slova *hvězda*, se kterým se dnes setkáváte, bývá ale už úplně matoucí. Vznikl zúžením původního významu pouze na označení *stálice* (anglicky *fixed star*, německy *Fixstern*). Vyvinul se zřejmě z představy, že stálice jsou cizí slunce, tedy že stálice  $\equiv$  horké kulové těleso, čili hvězda ve druhém (dnešním) smyslu tohoto slova. Ale tak to přece není! Taková první novověká domněnka o povaze všech stálic byla během druhé poloviny dvacátého století vyvrácena.

Většina stálic jsou *soustavy*, často velmi složité. Jde tedy alespoň o dvojice hvězd, u spousty stálic ale známe hvězdných složek více, například u Castoru šest. Světlo některých stálic ale nemá svůj původ jen v jednotlivých hvězdách, ze kterých se stálice skládá. Z jedné hvězdy na druhou může téci proud plynu (který samozřejmě také svítí), a ten pak případně vytváří okolo druhé hvězdy (jde-li o husté malé těleso) plyný disk. Takový disk může svítit více než zúčastněné hvězdy. Pokud je uprostřed disku neutronová hvězda nebo černá díra, může z osy disku tryskat plyný paprsek, jehož rychlost může být blízká rychlosti světla. Takový paprsek může zářit nesmírně intenzívně. Vidíme-li nad sebou nebe posypané stálicemi, měl by se nám dnes tajit dech nad tím, jaké pozoruhodné děje v nich probíhají. Stálice tak můžeme chápat jako *procesy, které vydávají mnoho světla*, a přitom je vidíme jen jako světelné body.

I když uvažujeme o stálicích jen jako o soustavách těles, neměli bychom zapomínat na případné složky, které hvězdami nejsou: mají tak malou hmotnost, že v nich neprobíhaly a nebudou probíhat jaderné reakce. Můžeme jim říkat planety, ale planetám v naší Sluneční soustavě se mohou podobat jen docela málo. Jsou tam jistě i menší tělesa, tedy planetky, které v blízkosti hvězd mohou produkovat plynoprachové fontány, čili komety. A určitě i drobnější částice z nich uvolněné, nebo i původní plyn a prach, ze kterého celá soustava dosud vzniká. Takový prach známe z pozorování některých stálic v infračerveném oboru.

Přechodným případem mezi „pravými planetami“ a hvězdami jako složkami stálic jsou tělesa, kde nějaké jaderné reakce proběhly (zmizelo lithium), ale vodík se v nich nikdy na hélium měnit nebude. Pro ty se zatím užívá nepřilíš vhodný název „hnědí trpaslíci“. Na pohled se ale mladé planety hodně velké hmotnosti, tím spíše pak hnědí trpaslíci, určitě podobají hvězdám s malou hmotností: jsou to tělesa s horkou (svítící) vodíkovou atmosférou. Planeta nemusí být oběžnicí v nějaké soustavě, ale může tvořit největší těleso stálice — taková „stálice bez hvězdy“ může vzniknout jako uprchlík z větší stálice.

## 6.2. Planety

Zde se nám vynořují různé významy slova *planeta*. Ten původní je *bludná hvězda*, a příslušné světelné body byly dány výčtem (Merkur, Venuše, Mars, Jupiter, Saturn). K výčtu později přibyl Uran, Neptun, a později Ceres, Pallas, Juno, Vesta a další, kterým ale dnes říkáme planetky (anglicky *minor planets*). Ve dvacátém století pak ještě Pluto, vyřazené až roce 2006.

V Koperníkově pohledu na vesmír se objevil další význam slova *planeta*, označující nějaké *těleso*. Ona tělesa jsou definována tímž výčtem, ke kterému se ale přidává i Země. Takový rozšířený obvyklý výčet se dá charakterizovat vlastností, že jde o dostatečně velké

oběžnice Slunce. Teprve od roku 2006 existuje opravdová definice planety, viz <http://cs.wikipedia.org/wiki/Planeta>.<sup>4</sup>

Protiklad *hvězda – planeta* patří jen do uvažování o složení stálic, nebo o složení Sluneční soustavy, tedy do uvažování o tělesech. V případě světelných bodů na nebi je tím správným protikladem, dnes stejně jako kdysi, *stálice – planeta*!

## 7. Zeus – u Dia, Regulus – u Regula, Arcturus – u Arktura

Když jsme u stálic, přidám ještě jednu prosbu: skloňujte jejich názvy česky, ale první pád jednotného čísla pište prosím správně, nechte mu jeho nominativní příponu. S nesprávným „českým“ tvarem nominativu se setkávám nejčastěji u Arktura. To bychom pak mohli psát i Regul, Antar (nebo i Siri!), a souhvězdí nazývat Capricorn. Je to asi odkoukáno z němčiny: v překladu Almagestu[1] se ostatně i Hipparchos zpravidla uvádí zpravidla jako Hipparch. V případě souhvězdí se nominativní přípona vypouští jen u dvou z nich, které, jako známé bytosti řecké mytologie, dávno přešly do běžné češtiny: Kentaur a Pegas.

## 8. Astronomická přesnost

je pojem vzniklý pod dojmem neobyčejně velkého počtu číslic v některých astronomických údajích. Hlavně v těch klasických, týkajících se pohybů pevných těles ve Sluneční soustavě. Nověji pak period oběhů ve dvojhvězdných soustavách a rotace pulsarů.

Jindy jde ale spíše o „astronomickou nepřesnost“. To je případ údajů o vzdálenostech jiných soustav než nejbližších stálic, a podobně i hmotností a stáří hvězd a galaxií. Tam je někdy velmi nejistá i jediná uváděná číslice.

V obou případech je ale potřeba trvat na přesnosti vyjadřování. Ta spočívá v tom, že k odhadu každé veličiny se uvede i odhad jeho *nejistoty*. Někdy stačí údaj implicitní, skrytý v počtu uvedených cifer, ale v astronomii to často nejde. Například údaj o periodě mívá o několik cifer více, než je spolehlivě známo. Nic proti tomu, ale pak je potřeba odhad jeho nejistoty uvést výslovně.

Odhad nejistoty údaje (odhad jeho *standardní nejistoty* [9], nejlépe) je ve skutečnosti velice podstatným sdělením o našich jistotách a nejistotách při poznávání vesmíru. Nebo o falešných jistotách, jak se časem namnoze ukáže.

Je-li údajů více, a nejsou nezávislé, řekněme jde o vzdálenosti galaxií, pak se hodí udat jejich nejistotu nadvakrát: ta druhá nejistota je ve volbě měřítka. I když je hodně jisté, že

---

<sup>4</sup>V roce 1998 obsahoval text i následující odstavec; ten je dnes terminologicky zastaralý: „Fyzikálně vzato se ale za planety dají označit i další tělesa, která jsou vhodně veliká. Kam položit spodní limit pro velikost planety je ale nejasné, asi jsou to desítky či spíše stovky kilometrů. Vhodnější je asi uvažovat o vývoji: jestliže planety musí být tak malé, aby v nich nemohly nastat termojaderné reakce, měly by být naopak tak velké, aby u nich došlo k rozdělení (diferenciaci) látek podle hustoty, tedy aby uprostřed měly jiné složení než u povrchu. Planetou je v tomto ohledu určitě i Vesta (dno velkého kráteru na ní má jiné složení než ostatní povrch), tím spíše asi Ceres a Pallas, a samozřejmě jsou planetami i všechny tisícikilometrové satelity známých planet. V tomto smyslu známe ve Sluneční soustavě alespoň devatenáct planet, a pravděpodobně jich je mnoho desítek.“

jedna galaxie je o pětinu dále od nás než druhá, docela dobře mohou být od nás obě společně o třetinu dále, než nyní soudíme.

Nešvar udávání hodnot nějakých veličin bez udání jejich nejistot není specialitou astronomů. Setkal jsem se s ním i ve vzdělávání budoucích učitelů fyziky. Elementární vzdělání v matematické statistice by konečně mělo proniknout i tam, když je samozřejmostí pro biology, sociology, lékaře. . . . Kdo jiný než astronomové (a fyzici vůbec) by měl používat přesného jazyka matematiky?

Ještě drobnou poznámku: slovní vyjádření, že hvězda je daleko dva tisíce světelných let, může být naprosto přesné. Myslí se jím zřejmě, že odhadujeme, že je dále než jeden a půl tisíce a blíže než dva a půl tisíce světelných let. Takový údaj *nelze* ale napsat jako 2000 ly, leda (2000±500) ly. Implicitní vyjádření nejistoty by mohl zahrnovat údaj 2 kly, jenom by v něm málokdo poznal jednotku „tisíc světelných let“ (proto astronomové užívají raději jednotky kiloparsek). Nejsrozumitelnější je asi ono slovní vyjádření. A případně si u něj pomůžeme ještě slovem *asi*. Je to často přesnější.

## Odkazy

- [1] Des Claudius Ptolemäus Handbuch der Astronomie (Mathematikes syntaxeos biblia 13, *Μαθηματικῆς Συναξέως βιβλία 13*). Z řečtiny přeložil a poznámkami opatřil Karl Manitius. B.G.Teubner, Leipzig 1912. 1., 6., 7.
- [2] Ptolemy Tetrabiblos  
(*Κλαυδίου Πτολεμαίου μαθηματικῆς τετραβίβλου συναξέως*).  
Zrcadlový překlad do angličtiny a poznámky F. E. Robbins. William Heinemann Ltd., London a Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1940. 6.
- [3] Hollan, J.: Co je obloha a co zas hvězdné nebe? Hvězdárna v Brně, 1993.  
Viz [http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan/a\\_papers/oblnebe/](http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan/a_papers/oblnebe/). 3.
- [4] Zindulka, O.: Matematická definice oblohy. Soukromé sdělení, asi 1985. 3.
- [5] Hollan, J.: Veličiny a jednotky v astronomii, zvláště v astronomické fotometrii. Hvězdárna v Brně, 1992.  
Viz [http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan/a\\_papers/si\\_fot/](http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan/a_papers/si_fot/). 4., 4.1., 5.
- [6] Dušek, J., Hollan, J., Gabzdyl, P.: Báječný svět hvězd. Hvězdárna a planetárium Mikuláše Koperníka v Brně, 1996. ISBN 80-85882-03-5 3., 4.
- [7] Dušek, J., Hollan, J.: Rady začínajícím pozorovatelům. Amatérská prohlídka oblohy, Brno 1997.  
Viz [http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan/a\\_papers/rady/](http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan/a_papers/rady/). 3., 4.
- [8] Mácha, K. H.: Máj. ř. 12–14. 6.

[9] The NIST Reference on Constants, Units and Uncertainty, <http://physics.nist.gov/cuu> 8.

# Rejstřík

úhlová hodina, 9

Arcturus, 12

azimut, 10

družice, 10

hvězda, 10

    padající, 10

hvězdná mapa, 7

hvězdná obloha, 6

hvězdná velikost, 7

hvězdné nebe, 7

jas, 8

jasnost, 7

Machův princip, 5

magnituda, 7

nebe, 7

    hvězdné, 7

obloha, 6

    hvězdná, 6

odhad nejistoty, 12

padající hvězda, 10

planeta, 10–12

poloha

    letadla, 6

    Slunce, 5

        na obloze, 6

    stálice

        na obloze, 6

slunce, 10

stálice, 10–12

svítivost, 9

velikost, 7

    hvězdná, 7

vztažná soustava, 3

    inerciální, 4

    nerotující, 4

zář, 9

zářivý výkon, 9