



## Výfučtení: Astronomické souřadnice

Představme si naši oblíbenou hvězdu, kterou chceme ukázat našemu kamarádovi. Kamarád je ale zrovna na dovolené, a tak mu ji nemůžeme ukázat přímo. Rádi bychom mu tedy popsali, kde se naše oblíbená hvězda nachází, aby ji byl schopný najít. Jak to ale udělat?

### Obzorníkové souřadnice

Nejjednodušší způsob jak změřit polohu hvězdy na obloze je změřit její výšku nad obzorem  $h$  a azimut  $A$ . Obě tyto veličiny jsou úhlové a udávají se ve stupních. Výška nad obzorem nabývá od  $0^\circ$  pro horizont až po  $90^\circ$  pro zenit.<sup>1</sup> Azimut si zase bere za výchozí (referenční) směr sever a přibývá na východ kolem dokola rovnoběžně s horizontem. Tedy, co je od pozorovatele přesně na východ, má azimut  $90^\circ$ , co je na jih, tak má  $A = 180^\circ$ , atd.<sup>2</sup>

Představme si, že se naše hvězda nachází  $40^\circ$  nad obzorem přímo na jihu, tedy s azimutem  $180^\circ$ . Pokud náš kamarád bude pozorovat na stejné zeměpisné šířce ve „vhodný“ čas,<sup>3</sup> pak s těmito informacemi naši oblíbenou hvězdu správně nalezne. Pokud by se náš kamarád na oblohu podíval o něco později, dojde mezi tím k pootočení hvězdné oblohy a na místě, které jsme mu popsali, se bude nacházet úplně jiná hvězda. Neboť, stejně jako zapadá a vychází Slunce, tak se i noční obloha otáčí, a proto potřebujeme kromě toho, kam se má kamarád koukat, říci i kdy se koukat. Podobný problém nastává, pokud by se nacházel na místě s jinou zeměpisnou šířkou.

Obzorníkové souřadnice jsou sice relativně lehké na popis, ale zároveň jsou v čase i místě proměnné. Proto je nutné ke každému popisu přidávat informaci o místě a čase pozorování, abychom si mohli souřadnice přepočítat pro jiná pozorování s rozdílným místem na Zemi či časem. Jak jistě sami nahlédnete, takové souřadnice nejsou pro pozorování příliš praktické a bylo by dobré si zavést takové souřadnice, které se nebudou měnit s místem ani časem pozorování.

### Rovníková soustava souřadnic

Možná jste si všimli, že celá obloha se v noci točí kolem osy, která prochází velice blízko Polárky. Čím dále se pozorovaná hvězda nachází od Polárky, tj. čím větší je úhel mezi pozorovanou hvězdou a Polárkou, tím na obloze opisuje větší kružnici.

Chceme tedy v první řadě vymyslet něco jako analogii zeměpisné šířky, ale na obloze, protože takové souřadnice budou záviset na poloze pozorovatele. Obdobně jako na Zemi se měří zeměpisná šířka od rovníku, potřebujeme podobnou referenci i při měření na hvězdné obloze. Můžeme tedy zavést *nebeský rovník*, a to jako průmět zemského rovníku na nebeskou sféru. Představme si, že doprostřed Země umístíme žárovku a v místě, kde je rovník, bude tenká

<sup>1</sup> Zenit, neboli nadhlavník, je bod na obloze, který se nachází přímo nad pozorovatelem.

<sup>2</sup> Používají se i jiné systémy – v česky psané literatuře se často setkáme naopak s jihem jako referenčním směrem a pro něj je pak  $A = 0^\circ$ , nicméně ve zbytku Výfučtení i v úloze C budeme vycházet z dohody na směru výše uvedeném.

<sup>3</sup> Ve stejný místní astronomický čas. Tento pojem vysvětlíme později, zatím si tedy vystačíme s „vhodným“ časem.

škvíra, kterou bude moct světlo vycházet ven, čímž se na hvězdné obloze vykreslí nebeský rovník. Budeme-li tedy na Zemi na jednom z pólů, uvidíme nebeský rovník přímo na horizontu, naopak, budeme-li na Zemi stát přímo na rovníku, nebeský rovník nám bude procházet přímo nad hlavou a bude kolmý k horizontu.

Nyní můžeme zavést **deklinaci**, tedy analogii zeměpisné šířky. Měříme ji ve stupních vůči nebeskému rovníku a značí se  $\delta$ . Body na nebeském rovníku mají tedy deklinaci  $\delta = 0^\circ$ , severní nebeský pól má deklinaci  $\delta = +90^\circ$  a jižní  $\delta = -90^\circ$ . Nebeské póly jsou myšlené body na obloze, kterými prochází osa rotace. Leží přímo nad zemskými póly – budeme-li na severním pólu, přímo nad hlavou budeme mít severní nebeský pól s Polárkou. Otáčení hvězdné oblohy vnímáme kvůli rotaci Země, takže osa otáčení Země je doopravdy shodná s osou otáčení nebeské sféry. Podotkneme, že podobně jako Zemi můžeme rozdělit na severní a jižní polokouli, i hvězdnou oblohu rozdělujeme podle nebeského rovníku na severní a jižní.

Pojďme se podívat, jaké hvězdy nám prochází přímo nad hlavou v závislosti na tom, odkud pozorujeme. Budeme-li stát přímo na rovníku, nebeský rovník budeme mít přímo nad sebou, za 24 hod nám tedy zenitem projdou úplně všechny hvězdy, které na něm leží. Tyto hvězdy, jak jsme si již řekli, mají deklinaci  $\delta = 0^\circ$ . Pokud budeme stát na severním pólu, v zenitu budeme mít pouze hvězdy s deklinací  $\delta = 90^\circ$ . Není tedy složité si domyslet, že budeme-li stát na zeměpisné šířce  $\varphi$ , můžeme v zenitu pozorovat hvězdy s deklinací  $\delta = \varphi$ .

Abyste naše souřadnice byly kompletní, musíme zavést ještě analogii zeměpisné délky, kterou nazveme **rektascenze** a značíme ji  $\alpha$ . Samozřejmě budeme používat poledníky, které budou kolmé k nebeskému rovníku, ale jak určíme ten nultý?

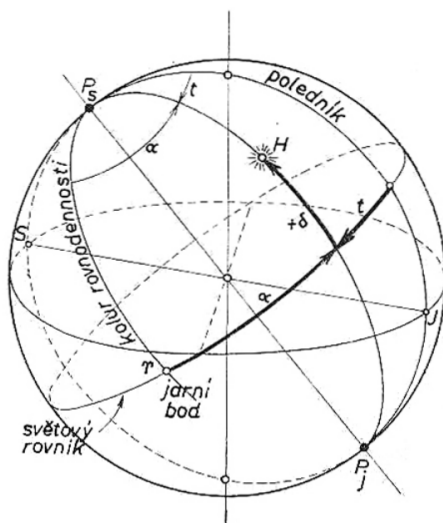
Zatím jsme si definovali rovinu nebeského rovníku, nicméně ta není jediná významná. Jak možná víte, zemská osa otáčení je vůči rovině oběhu Země okolo Slunce pootočena o  $23,5^\circ$ . Pokud bychom celý rok zaznamenávali každý den ve stejný čas polohu Slunce na hvězdné obloze vůči ostatním hvězdám, zjistili bychom, že se vůči nim pohybuje po kružnici, která je oproti nebeskému rovníku pootočena o  $23,5^\circ$ , stejně jako je vychýlení zemské osy. To mimo jiné znamená, že deklinace Slunce se v průběhu roku mění v rozmezí  $-23,5^\circ$  a  $23,5^\circ$ . Kružnice, kterou na obloze opisuje, se nazývá ekliptika. Ta má s nebeským rovníkem dva průsečíky – jarní a podzimní bod. Pokud na Zemi nastává jarní rovnodennost, nachází se Slunce přímo v jarním bodě, a protože se tak děje na jaře, je zřejmé, odkud pochází označení tohoto bodu. Jelikož se poloha těchto dvou bodů vůči ostatním hvězdám nemění, tak nebeský poledník, který prochází jarním bodem, se volí jako *ten referenční*, tedy nultý.

Rektascenze se typicky neměří ve stupních, ale udává se v hodinách, minutách a sekundách. Měří se proti směru otáčení oblohy a za předpokladu, že máme jarní bod, resp. nultý poledník, v nějakém bodě na obloze, nám říká, za jak dlouho nám daným bodem na obloze projde i naše hvězda. Přepočítání rektascenze na stupně je jednoduché, neboť za 24 hod se opíše celý kruh ( $360^\circ$ ), a tak jedné hodině odpovídá  $15^\circ$ .

Rovníková soustava souřadnic se tedy velice podobá té, kterou používáme pro popis na Zemi. Má dvě souřadnice – **deklinaci**, která je ekvivalentem zeměpisné šířky, a **rektascenzi**, která je ekvivalentem zeměpisné délky. Její největší výhodou je, že oproti azimutálním souřadnicím jsou tyto souřadnice absolutní, což znamená, že se nemění v závislosti na místě ani času pozorování.

## Hodinový úhel a místní hvězdný čas

Poledník, který prochází místem odkud pozorujeme, lze vyznačit i na obloze. Jedná se o nebeský poledník, který prochází zenitem a označuje se jako *meridián* neboli místní poledník. **Hodinový**



Obr. 1: Rovníkové souřadnice. Vyznačen jarní bod, meridián (v obr. jen jako *poledník* (tento pojem vysvětlíme později), rektascenze  $\alpha$ , deklinace  $\delta$  a hodinový úhel  $t$  pozorované hvězdy  $H$ . Podotkněme, že pozorovatel se nachází ve středu této nebeské sféry a nemůže ji pozorovat celou, neboť část je zakrytá Zemí. Zdroj obrázku: Základy astronomie v příkladech, J. Široký, M. Široká

**úhel  $t$**  je úhel mezi meridiánem a poledníkem, který prochází měřeným bodem. Stejně jako rektascenze se měří v hodinách a říká nám, před jakou dobou měřený bod procházel meridiánem. A protože hvězdy na obloze opisují kružnice, dokážeme lehce nahlédnout, že při průchodu meridiánem budou nejvýše nad obzorem.

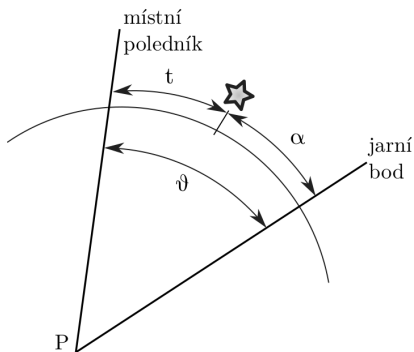
**Místní hvězdný čas** je hodinový úhel jarního bodu a budeme jej značit  $\vartheta$ . To znamená, že nachází-li se jarní bod přímo nad jihem, tedy na místním poledníku, je místní hvězdný čas 0 h. Jarní bod leží na rovníku, takže když zapadá, tak je místní hvězdný čas 6 h (šest hodin poté, co prošel meridiánem), a když vychází, tak je 18 h (tedy za šest hodin projde meridiánem).

Jak jsme již řekli, rektascenze hvězdy je její vzdálenost měřená po rovníku od jarního bodu, její hodinový úhel udává její vzdálenost k místnímu poledníku, a protože hodinový úhel jarního bodu udává místní hvězdný čas, je roven jejich součtu, tedy

$$\vartheta = t + \alpha.$$

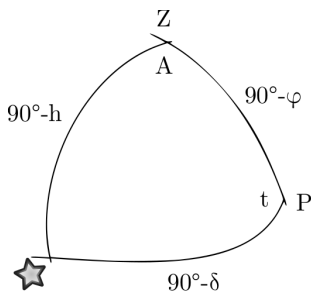
## Převod mezi obzorníkovými a rovníkovými souřadnicemi

Jak jsme si ukázali, obzorníkové souřadnice jsou velmi jednoduché a jednoduše se měří, ale závisí na tom, odkud a kdy měříme. Oproti tomu rovníkové souřadnice se špatně měří, ale mají tu výhodu, že jsou na celém světě stejné. Toho lze využít a z měření polohy hvězd lze určit, kde se na Zemi nacházíme.



Obr. 2: Místní hvězdný čas  $\vartheta$ , rektascenze  $\alpha$  měřené hvězdy a její hodinový úhel  $t$ . Pozorovatel se nachází v bodě P.

Základním prvkem pro převod mezi těmito souřadnicemi je tzv. nautický sférický trojúhelník, viz obrázek 3. Jedná se trojúhelník sestavený na hvězdné obloze, v jehož jednom vrcholu je Polárka, ve druhém je zenit pozorovatele a ve třetím je pozorovaná hvězda. Jak jsme již ukázali, pól je bod význačný pro souřadnice rovníkové, zatímco zenit je význačný pro ty obzorníkové.



Obr. 3: Nautický trojúhelník: Z je zenit, P je severní pól; ve třetím vrcholu pak leží pozorovaná hvězda.

Nesmíme zapomenout, že nebeská sféra je koule. Geometrie na kouli se zásadně liší od té v rovině, se kterou jsme dobře obeznámeni – např. pro tento trojúhelník neplatí, že součet jeho vnitřních úhlů je  $180^\circ$ . Obecně vzato, geometrie na kouli je mnohem složitější, a proto tu nebudeme odvozovat žádné vztahy. Pokud bychom ale taková odvození provedli, zjistili bychom, že ze známé polohy hvězd v rovníkových souřadnicích, ze změřených polohy stejných hvězd v obzorníkových souřadnicích a ze známého času dokážeme přesně určit svoji polohu. Toho hojně využívali mořeplavci, kteří si s sebou vždy vezli přesné hodiny a každou noc měřili polohu známých hvězd, aby věděli, kde se nachází. Od tohoto využití onoho trojúhelníku také pochází jeho název nautický, což znamená námořní. Stejný způsob lokalizace používali ještě v nedávné době dokonce i piloti během dlouhých letů přes moře.

## Závěr

Ukázali jsme si dva základní souřadnicové systémy používané v astronomii. Nejsou rozhodně jediné, existuje jich ještě několik dalších, nicméně my jsme si ukázali ty nejdůležitější. Jak jsme zmínili na konci Výfučení, znalost těchto dvou souřadnicových systémů byla do nedávné historie velmi důležitá, neboť jako jediná umožňovala přesné určování polohy v místech, kde poloha jinak určit nešla. Jednalo se o velmi přesnou metodu, která se používala od středověku až do druhé poloviny 20. století a byla překonána až příchodem GPS.

Podotkneme také, že Slunce se v průběhu roku vůči ostatním hvězdám pohybuje, avšak v krátkém časovém intervalu (typicky jeden den) je jeho pohyb vůči hvězdám tak malý, že ho můžeme zanedbat a předpokládat, že se během něj vůči nim nepohybuje. To ale pak znamená, že všechny výše zmiňované vztahy platí i pro Slunce.

Na závěr ještě upřesněme, že navigace pomocí hvězd tak, jak jsme ji popsali výše, je na Zemi možná jen díky tomu, že uražená vzdálenost na Zemi je v porovnání se vzdálenostmi ve vesmíru zanedbatelná, a tak se nám hvězdy jeví jako nehybné. Pokud bychom se pohybovali vesmírem na velké vzdálenosti vesmírnou lodí, polohy hvězd vůči sobě by se měnila a navigace pomocí nich by byla mnohem složitější, než jak jsme si ji popisovali v případě mořeplavců.

---

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.  
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.