

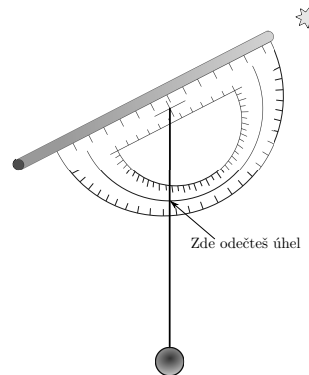
Úloha V.E ... Sextant

7 bodů; průměr 6,33; řešilo 18 studentů

V minulém Výfučtení jsme se bavili o různých způsobech, jak v astronomii stanovit polohu tělesa. Představili jsme si nebeský souřadnicový systém. Pro astronomii však nestačí jen popis oblohy – musíme být schopni ještě polohu těles na obloze změřit. Toto se dneska provádí pomocí všemožných komplikovaných dalekohledů a teleskopů, nicméně zvládnout doma to může alespoň na základní úrovni každý! Podle následujícího návodu si proto zkuste postavit vlastní sextant, zařízení na měření úhlů vzdálených objektů, jako například hvězd.

Ačkoliv se sextantem dokážeme naměřit docela dost věcí, k jeho výrobě potřebujeme jen pár lehce dostupných předmětů – úhloměr, provázek, nějaký středně těžký předmět, který poslouží jako závaží, a brčko. Na úhloměr do středu vodorovné části připojte provázek dlouhý alespoň 30 cm, na kterém je na konci zavěšeno malé závaží. Podél pravítka na úhloměru přilepte lepicí páskou brčko – to bude sloužit jako teleskop. Výsledek by měl potom vypadat podobně jako na obrázku vpravo. Odečet úhlové výšky provádějte tak, že namíříte brčkem na objekt, provázek volně visí k zemi (viz odkaz pod čarou). Úhel je vyznačen na (používejte hodnoty od 0° do 90°) stupnici úhloměru. Úhlová výška nad obzorem je hodnota po odečtení naměřeného úhlu φ od 90° .

Postavený sextant využijte k tomu, abyste zjistili, v jaké výšce nad obzorem se nachází Polárka. Dále kompasem změřte azimut hvězdy Castor ze souhvězdí Blíženci¹ (tj. úhlovou vzdálenost od severu) a zaznamenejte si čas měření. Změřenou hodnotu úhlů a další potřebné údaje zadejte do připravené kalkulačky na stránkách Výfuku.² Obdobně zkuste určit svoji pozici pomocí hvězdy Regulus ze souhvězdí Lva. Na závěr se zkuste zamyslet nad všemi možnými chybami, které do měření přispívají.



Při řešení této úlohy pro nás bude důležité vše, co jsme se naučili ve Výfučtení minulé série.³ Její motivací je využití astronomických měření poloh objektů na obloze pro stanovení naší vlastní polohy na Zemi. Něco takového vyžaduje znát způsob, jak obzorníkové souřadnice objektů (které jediné máme k dispozici k měření) převést na zeměpisné souřadnice pozorovatele. To jinými slovy znamená určit, pro které zeměpisné souřadnice pozorovatele daný objekt se známými rovníkovými souřadnicemi nabývá měřených obzorníkových souřadnic. Samotný výpočet provádí k úloze přiložená kalkulačka,⁴ jejíž metodiku výpočtu nastíníme po představení experimentálních výsledků jako doplňující vysvětlení.

K měření jsme si vybrali jeden z mála dubnových dnů s jasnou oblohou v Praze, které se ještě vešly před termín odevzdání série, a to 6. dubna. Měření jsme se rozhodli provést kolem 22. hodiny, protože tehdy byla noční obloha již zcela jasná.

Výšku nad obzorem jsme určovali za pomoci sextantu sestaveného podle návodu v zadání úlohy, vybaveného nejběžnějším kancelářským úhloměrem s délkou přímé stupnice 12 cm. Ten lze využít i k určování azimutu, i když je třeba jej na vodorovnou podložku nejdříve položit správně. K tomu můžeme využít i malý kompas bez úhlové stupnice. Pokud máme velký kompas

¹Mapu hvězdné oblohy můžete nalézt například na <http://bit.ly/2DyuL6S>.

²Dostupné na adrese <http://vyfuk.mff.cuni.cz/ulohy/r7/s5>.

³http://vyfuk.mff.cuni.cz/_media/ulohy/r7/vyfucteni/vyfucteni_4.pdf

⁴<http://vyfuk.mff.cuni.cz/kalkulacka.html>

s 360° stupnicí, měření může být mnohem přesnější, protože jej můžeme k určení azimutů použít přímo.

Na základě minulého Výfučení a vlastních postřehů si rozmyslete, proč určení výšky Polárky nad obzorem skutečně postačuje k určení zeměpisné šířky. Jde o hvězdu, která leží osamocena velmi blízko severního pólu nebeské sféry s rektascenzí zhruba 2 h a 31 min a deklinací $89^\circ 16'$. S naším „úhloměrovým“ sextantem můžeme dosáhnout v odhadu nejlepší přesnosti okolo jednoho stupně. Pokud tedy položíme deklinaci polárky rovnou $\delta_{\text{Polaris}} = 90^\circ$, naměřenou výšku h nad obzorem můžeme považovat přímo za severní zeměpisnou šířku ($S\check{S} \approx \delta_{\text{Polaris}} \approx h_{\text{Polaris}}$). Proto také kalkulačka udává zeměpisnou šířku shodnou se zadanou výškou Polárky, a to nezávisle na zadaném datu.

S očima na hodinkách jsme počkali na čas 22:00 a podle postupu v zadání úlohy jsme namířili dlouhé brčko sextantu směrem k Polárce. Vzhledem k tomu, že všechna měření této úlohy je nutno provádět rychle (kvůli pohybu oblohy), všechny údaje jsme určovali prakticky na jeden pokus. Získaný údaj v tomto případě činil $50^{\circ 5'}$. Ten budeme používat i nadále, tedy budeme považovat dodatečné úhlové minuty za nulové.

Castor jsme pak měřili ve 22:05 a Regulus ve 22:10. Stanovené výšky obou hvězd jsou po zaokrouhlení:

$$h_{\text{Castor}} = 58^\circ, \quad h_{\text{Regulus}} = 52^\circ.$$

Pro dosažení do kalkulačky datum 6. dubna odpovídá 196 dnům⁶ od poslední podzimní rovnodennosti. Nakonec pomocí kompasu orientujeme položený úhloměr sextantu tak, aby jeho rovná stupnice směřovala severojižním směrem, a za pomoci tvrdé tenké desky z libovolného materiálu, kterou postavíme hranou přes střed křivosti úhloměru a oblouk stupnice, odečteme azimuty:

$$A_{\text{Castor}} = 250^\circ, \quad A_{\text{Regulus}} = 180^\circ.$$

Připomínáme, že azimut se měří od severu a přibývá na východ kolem dokola obzoru.

Z kalkulačky dostáváme z údajů pro Castor východní zeměpisnou délku $12^\circ 36'$ a pro Regulus $14^\circ 2'$. Průměr těchto výsledků je $13^\circ 19'$ a zeměpisnou šířku ponecháváme zmíněných $50^\circ 0'$. Pohled do map ukazuje, že co do zeměpisné šířky se sice pohybujeme na úrovni Prahy, zeměpisná délka však odpovídá Plzni. Naštěstí jsme ale stále uvnitř České republiky, a měřením jsme tak úspěšně demonstrovali použitelnost této metody.

Za skutečnou polohu Prahy se s přesností na minuty obvykle považují souřadnice $14^\circ 25'$ severní šířky a $50^\circ 5'$ východní délky. Pro ověření poloh hvězd můžeme použít například klasický volně dostupný program Stellarium.⁷ Podle jeho výpočtů jsme při měření azimutů pochybili nejvýše o půl stupně. Už tento rozdíl měl za následek zmíněnou nepřesnost výsledku. Abychom dosáhli přesnějších výsledků, bylo by potřeba použít přesnější sextant. Tedy, abychom mohli hvězdu zaměřit přesněji, bylo by potřeba použít místo brčka malý dalekohled, a pro přesnější odečet hodnot bychom potřebovali jednak přesnější stupnici, ale také aby byl sextant na pevné, vodorovné podložce.

Pozastavme se ještě nad samotnou kalkulačkou a popišme alespoň stručně, jak pracuje. Již jsme si řekli, jak jednoduchým způsobem určuje naši zeměpisnou šířku. Délka je však obtížnější,

⁵Přesně provázek protínal oblouk úhloměru v hodnotě o malinko menší, nicméně jeho tloušťka byla srovnatelná s tloušťkou rýsky a navíc tuto rýsku překrýval. Není chybou se pak zdržet přesnějšího odhadu minutového úhlu.

⁶Pro tyto účely je užitečný nástroj <https://www.timeanddate.com/date/duration.html>.

⁷<http://stellarium.org/cs>

protože tu je nutno určit ze změřeného azimutu ostatních hvězd, a ten se neustále mění působením relativního pohybu oblohy. Začneme úvahou z Výfučení týkající se hodinového úhlu jarního bodu:

$$\vartheta = t + \alpha,$$

kde α je známá rektascenze hvězdy (do kalkulačky dosazena jako parametr) a t je hodinový úhel hvězdy (kladný směrem na západ od meridiánu po poledník hvězdy). Země rotuje během dne ze západu na východ, to znamená, že hodinový úhel hvězd – včetně jarního bodu – přibývá. Je-li například o půlnoci na greenwickském poledníku (0° zeměpisné délky) nulový, pak je jasné, že tam přibývá během prvního dne ve smyslu

$$\vartheta = t + \alpha - GMT,$$

kde GMT značí greenwickský čas,⁸ započítaný přímo jako hodinový úhel, a který je možno zjistit po přepočtu časového pásma na hodinkách.

Pokud by jarní bod ležel v našem meridiánu, měl by v tu chvíli (jakožto bod nulové rektascenze) nulové ϑ . Relativním pohybem hvězd (jarního bodu) v průběhu dne definujeme tzv. *siderický* (hvězdný) čas, podle kterého je délka dne zhruba 23 h 56 min 4,09 s, což je o téměř 4 minuty kratší než den *sluneční*, podle kterého nastavujeme naše hodiny a který je dlouhý téměř přesně 24 hodin.⁹ Dohoda je taková, že zhruba v okamžiku podzimní rovnodennosti počítáme siderický a sluneční čas jako shodné a od té doby se po celý rok odchyľují každý den o

$$\vartheta_{\text{kor}} \approx d \cdot (3' 56''),$$

kde d je počet dní od zimní rovnodennosti. Přesně bychom tedy měli výše ke GMT započítat i tuto korekci:

$$\vartheta = t + \alpha - GMT - \vartheta_{\text{kor}}.$$

Nakonec se pokládá, že při podzimní rovnodennosti je výše zmiňovaný greenwickský poledník postaven tak, že jarní bod má $t = 0$ h. Můžeme tedy ztotožnit ϑ se zeměpisnou délkou (LAT):

$$LAT = t + \alpha - GMT - \vartheta_{\text{kor}}.$$

Tento vztah můžeme pak použít i pro jakoukoli jinou hvězdu mimo jarního bodu. Posledním krokem je určit všechny veličiny na pravé straně. Mimo úhel t je lze snadno sepsat podle tabulek nebo časovým údajem. V t je totiž skryta měřená poloha hvězdy a jeho hodnota závisí na azimutu, výšce, ale i deklinaci. Ze vztahu, který je mezi nimi (pro stručnost jej zde neuvádíme), ho není možno jednoduše vyjádřit, a proto kalkulačka vychází z předprogramovaných dat o pohybu zkoumaných hvězd na obloze a přibližuje se tak k přesné hodnotě t v závislosti na zadaném azimutu za pomoci známého časového vývoje.

Daniel Slezák

dans@vyfuk.mff.cuni.cz

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci 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/>.

⁸Zdejší „letní čas“ je vůči němu o dvě hodiny větší a původní „zimní čas“ jen o jednu.

⁹Zastaralá definice sekundy ji ostatně zavádí jako čas odpovídající přesně 1/86 400 slunečního dne.