



Krajské kolo 2023/24, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

A Přehledový test (online)

(max. 30 bodů)

POKYNY: Úvodní test se řeší online na <https://olympiada.astro.cz>. Přihlašovací údaje získají úspěšní řešitelé školního kola e-mailem nebo je dostanou od svého učitele. Velmi doporučujeme řešení testu neodkládat na poslední dny před uzávěrkou. U problémů s řešením testu oznámených po **15. 3. 2024** bohužel nemůžeme zaručit jejich včasné vyřízení. U každé otázky vyberte **právě jednu** správnou odpověď. Za správnou odpověď je **1 bod**. V případě špatné nebo žádné odpovědi je za otázku 0 bodů.

1. Prstence Saturnu jsou tvořeny převážně

- [a] zmrzlým metanem.
- [b] **zrny vodního ledu.**
- [c] plechem.
- [d] hypertrofovaným koagulátem.

2. Proč **NELZE** vizuálně pozorovat polární záři na Saturnu?

- [a] Protože tam žádné nejsou.
- [b] Protože jsou příliš chladné.
- [c] **Protože svítí ultrafialovým světlem.**
- [d] Protože je překrývá vysoká oblačnost.

3. Jak je přibližně dlouhý jeden sol?

- [a] 1 hodinu
- [b] **1 den**
- [c] 1 týden
- [d] 1 měsíc

4. Jak je přibližně dlouhá oběžná doba Marsu okolo Slunce?

- [a] 1 rok
- [b] **1,9 roku**
- [c] 2,5 roku
- [d] 3 roky

5. Na které planetě je nejvyšší průměrná povrchová teplota?

- [a] Merkur
- [b] **Venuše**
- [c] Země
- [d] Mars

6. Co je to CNO cyklus?

- [a] Perioda opakování dob ledových.
- [b] **Cyklus přeměny prvků ve hvězdách.**
- [c] Cyklus výměny organických látek při fotosyntéze.
- [d] Perioda opakování slunečních zatmění nad jedním místem na Zemi.

7. Která hvězda se nachází po celou noc poblíž severního světového pólu?

- [a] **Polárka**
- [b] Sirius
- [c] Slunce
- [d] Každou noc jiná.

8. Která hvězda se na 50° s.š. a 15° v.d. nachází po celou noc poblíž zenitu?

- [a] Polárka
- [b] Sirius
- [c] Slunce
- [d] **Žádná, hvězdy nacházející se v zenitu se v průběhu noci neustále mění.**

9. Jak se jmenuje místo na obloze nacházející se naproti zenitu?

- [a] severní světový pól
- [b] jižní světový pól
- [c] **nadir**
- [d] radar

10. Který astronom poprvé použil dalekohled pro pozorování oblohy?

- [a] **Galileo Galilei**
- [b] Tycho Brahe
- [c] Tadeáš Hájek z Hájku
- [d] Mikuláš Koperník



Krajské kolo 2023/24, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

11. Který astronom jako první publikoval metodu pro určení polohy hvězd na obloze stanovením přesné doby jejich průchodu meridiánem?

- [a] Tycho Brahe
- [b] Ptolemaios
- [c] Johannes Kepler
- [d] **Tadeáš Hájek z Hájku**

12. Jak se nazývají souhvězdí, která jsou z daného stanoviště vidět po celý rok?

- [a] cirkumplanární
- [b] **cirkumpolární**
- [c] cyklopedická
- [d] cyklická

13. Která planeta z výběru NEMÁ významné magnetické pole?

- [a] Jupiter
- [b] Saturn
- [c] Země
- [d] **Mars**

14. Polární záři primárně způsobuje sluneční

- [a] **vítr.**
- [b] světlo.
- [c] rotace.
- [d] skvrna.

15. Jaké pořadí barev hvězd odpovídá jejich rostoucí povrchové teplotě?

- [a] žlutá, modrá, červená
- [b] zelená, červená, modrá
- [c] modrá, žlutá, zelená
- [d] **červená, žlutá, modrá**

16. Co je příčinou zemského magnetismu?

- [a] podpovrchová ložiska magnetitu
- [b] pohyb hornin v důsledku slapového působení Měsíce
- [c] **proudění tekutého železa v zemském jádru**
- [d] naklonění zemské osy

17. Povrch Merkuru se od měsíčního na první pohled liší NEPŘÍTOMNOSTÍ

- [a] **moří.**
- [b] kráterů.
- [c] hor.
- [d] řek.

18. Na které planetě z výběru je tíhové zrychlení na rovníku VĚTŠÍ než na Zemi?

- [a] na Venuši
- [b] na Marsu
- [c] **na Neptunu**
- [d] na Saturnu

19. Které tvrzení je NEPRAVDIVÉ?

- [a] Na rovníku se Slunce otáčí rychleji než na pólech.
- [b] Sluneční skvrny mají nižší teplotu než jejich okolí.
- [c] **Slunce získává energii přeměnou helia na vodík.**
- [d] Nejteplejší částí Slunce je jeho jádro.

20. Na kterém místě na Zemi NENÍ nikdy možné pozorovat úplné zatmění Slunce?

- [a] na rovníku
- [b] v okolí severního pólu
- [c] v okolí jižního pólu
- [d] **Zatmění Slunce může nastat na libovolném místě na Zemi.**

21. Jak dlouho trvá, než sluneční světlo doletí od Slunce k Zemi?

- [a] Je zde okamžitě.
- [b] asi 50 sekund
- [c] **asi 8 minut**
- [d] asi 1 hodinu

22. Která z trpasličích planet byla objevena jako první?

- [a] **Ceres**
- [b] Pluto
- [c] Eris
- [d] Haumea



Krajské kolo 2023/24, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

23. Jak velké má být hlavní zrcadlo plánovaného Extrémně velkého dalekohledu ELT (*Extremely Large Telescope*)?

- [a] 10,5 m
- [b] 19,7 m
- [c] 23,5 m
- [d] **39,3 m**

24. Jaká planeta měla ke konci roku 2023 největší počet známých měsíců?

- [a] Jupiter
- [b] **Saturn**
- [c] Uran
- [d] Neptun

25. Co je to astronomická jednotka?

- [a] střední vzdálenost mezi Zemí a Měsícem
- [b] **149 597 870,7 km**
- [c] každá fyzikální jednotka používaná v astronomii
- [d] skupina elitních astronomů

26. Která planeta má největší teplotní výkyvy mezi dnem a nocí?

- [a] **Merkur**
- [b] Venuše
- [c] Země
- [d] Jupiter

27. Který prvek je nejvíce zastoupen ve Slunci?

- [a] uhlík
- [b] helium
- [c] **vodík**
- [d] lithium

28. Jaká je hlavní složka atmosféry na Venuši?

- [a] kyslík
- [b] dusík
- [c] **oxid uhličitý**
- [d] metan

29. Která z těchto hvězd je pulzující proměnná?

- [a] Slunce
- [b] **δ Cephei**
- [c] Proxima Centauri
- [d] Barnardova šipka

30. Jaká teorie vzniku Sluneční soustavy popisuje vznik Slunce a planet z kolabujícího zárodečného mračna?

- [a] heliocentrický model
- [b] molekulová hypotéza
- [c] Hubbleova teorie
- [d] **mlhovinová hypotéza**

B Hvězdný ciferník

(max. 25 bodů)

Vašek si přes noc četl knížku o astronomii, kterou dostal k Vánocům, a dozvěděl se zajímavý fakt: hvězdy mohou sloužit jako hodiny! Pomocí Polárky a zadních kol Velkého vozu by prý mělo být možné zjistit čas. Šokován tímto pro něj úplně novým poznatkem vyšel ven a zadíval se nad severní obzor. Okamžitě si všiml Velkého vozu, a když pětkrát prodloužil jeho zadní kola, našel snadno také Polárku. Pak už se stačilo jen řídit návodem z knížky: Představ si ciferník, v jehož středu se nachází Polárka. Spojnice Polárky a hvězd Dubhe a Merak (α a β UMa, které tvoří zadní kola Velkého vozu) si představ jako hodinovou ručičku. Ta však neukazuje skutečný pásmový čas, který ukazují hodinky. Ten musíme teprve dopočítat podle vztahu

$$T = 52,4 \text{ h} - \left(2\tau + \frac{n}{365} \cdot 24 \text{ h} \right), \quad (\heartsuit)$$

kde τ označuje „čas“, který ukazuje nebeská ručička a n je počet dní, které uplynuly od začátku roku. Čas T vychází v hodinách, ale ne nutně v intervalu $(0 \text{ h}, 24 \text{ h})$, takže pro získání výsledku v obvyklém tvaru může být potřeba odečíst vhodný násobek 24 h. Volba přesnosti u číselných koeficientů ve



Krajské kolo 2023/24, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

vztahu odpovídá chybě výsledku přibližně 10 minut – s větší přesností by Vašek stejně nebyl schopen čas z nebeského ciferníku odečíst. Vašek se v knížce rovněž dozvěděl, že vztah je platný pouze, pokud pozorujeme poblíž středu časového pásma, jinak bychom ho museli upravit s ohledem na zeměpisnou polohu našeho stanoviště.

a) Vašek při pozorování z Prahy ($50^{\circ} 5' \text{ s.š.}$, $14^{\circ} 24' \text{ v.d.}$) zjistil, že výše popsaná nebeská ručička ukazuje přesně $\tau = 3,0 \text{ h}$. Dosazením do vztahu (\heartsuit) spočítej, jaký byl v době pozorování skutečný pásmový čas. Datum Vaškova pozorování bylo 11. 1. 2024.

Ze zadaných zeměpisných souřadnic vidíme, že se Praha nachází poblíž středu časového pásma UTC+1 (15° v.d.). Počet dní od začátku roku je $n = 11$ dní. Jednoduše tedy dosadíme do vzorečku $n = 11$ a $\tau = 3,0 \text{ h}$. Dostaneme výsledek $T \doteq 45,7 \text{ h}$. Abychom dostali čas v intervalu $\langle 0 \text{ h}, 24 \text{ h} \rangle$, musíme tedy od výsledku odečíst 24 h. To dává čas 21,7 h. V okamžik Vaškova pozorování je tedy přibližně 21:40 večer.

Když se Vašek podíval na hodinky, zjistil, že spočítaný čas opravdu sedí. „Zajímavé ...“, pomyslel si. Ale jak to může fungovat?

Polohu objektu na obloze určujeme pomocí dvojice souřadnic. Jako jednu z nich můžeme použít *hodinový úhel*. To je úhel, který svírá rovina určená světovými póly a objektem na obloze s rovinou místního poledníku. Zpravidla se udává v hodinách (případně minutách a sekundách) a měří se od jihu ve směru otáčení oblohy. Může nabývat hodnot¹ 0^{h} až 24^{h} (kde hodnota 24^{h} odpovídá plnému úhlu 360°) a zpravidla ho značíme jako t .

b) Zakroužkuj správnou možnost. Hodinový úhel objektu v průběhu noci

roste, klesá, nemění se.

Hodinový úhel se měří ve směru otáčení oblohy, takže roste.

c) Kolika úhlovým hodinám odpovídá úhel 1° ?

Plný úhel odpovídá 360° stupňům neboli 24^{h} . Hodnota 1° tedy odpovídá

$$(24/360)^{\text{h}} = (1/15)^{\text{h}} = 4^{\text{m}},$$

tedy jedné patnáctině úhlové hodiny nebo ekvivalentně čtyřem minutám.

d) Jaký je hodinový úhel objektu, který se právě nachází v dolní kulminaci?

Objekt v dolní kulminaci se na severní polokouli vždy nachází na oblouku meridiánu mezi severním a jižním světovým pólem, který protíná severní obzor. Tedy přesně na opačné straně od severního světového pólu než objekt v horní kulminaci, který má hodinový úhel 0^{h} . Správná odpověď je proto 12^{h} .

Poznámka: Pro pozorovatele na jižní polokouli bychom postupovali obdobně. Objekty v dolní kulminaci se zde nachází na úseku meridiánu mezi jižním a severním světovým pólem, který obsahuje průsečík s jižním obzorem, což opět odpovídá hodinovému úhlu 12^{h} .

¹Povšimněme si, že úhlové hodiny, minuty a sekundy značíme jinak než odpovídající jednotky času, udávají totiž hodnoty a priori odlišných fyzikálních veličin.

Krajské kolo 2023/24, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

Můžeš se také snadno přesvědčit, že „čas“ τ , který ukazuje ručička hvězdného ciferníku, a její hodinový úhel t , splňují vztah $t = -2\tau$.

Nevýhodou hodinového úhlu je, že se v průběhu noci u konkrétního objektu mění. Chceme-li tedy udat polohu objektu nezávisle na čase, hodila by se nám více nějaká souřadnice pevně spojená s otáčející se nebeskou sférou určenou vzdáleným hvězdným pozadím. Takovou souřadnicí je *rektascenze*. Stejně jako hodinový úhel se zpravidla udává v hodinách (opět v intervalu od 0^{h} do 24^{h}) a značí se jako α . Měří se však v opačném směru než hodinový úhel, a navíc ne od roviny místního poledníku, nýbrž od roviny, která prochází oběma světovými póly a jarním bodem. To je jeden ze dvou bodů, kde se kříží nebeský rovník s ekliptikou (ta přibližně odpovídá rovině oběhu Země kolem Slunce). Nachází se v souhvězdí Ryb a je pevně spojen s otáčejícím se hvězdným pozadím.²

e) Jaká je rektascenze objektu, který vychází nad obzor o hodinu dříve než jarní bod?

Vychází-li o hodinu dříve, jeho hodinový úhel bude o hodinu větší. Jelikož se rektascenze měří v opačném směru, bude rektascenze objektu naopak o hodinu menší než rektascenze jarního bodu. Tedy $0^{\text{h}} - 1^{\text{h}} = 23^{\text{h}}$.

Výše zmíněné souřadnice jsou svázány přes tzv. *hvězdný čas*³ t_{sid} . Ten je definován jako hodinový úhel jarního bodu. Můžeš si rozmyslet, že je to ekvivalentní s tvrzením, že se jedná o rektascenzi hvězd, které se právě nacházejí v horní kulminaci. Nabývá opět hodnot od 0^{h} do 24^{h} , jeho hodnota rovnoměrně roste v čase a opakuje se s periodou, která je rovna siderické periodě rotace Země $P_{\text{sid}} = 23 \text{ h } 56 \text{ min } 4 \text{ s}$. Jedna hodina (1^{h}) hvězdného času tedy trvá 59 min 50 s.

f) Který z následujících vzorečků (zakroužkuj a zdůvodni) vyjadřuje podle definic v předchozím odstavci vztah hvězdného času t_{sid} , rektascenze α a hodinového úhlu t ?

$$t_{\text{sid}} = \alpha - t, \quad t_{\text{sid}} = \alpha + t, \quad t_{\text{sid}} = t - \alpha, \quad t_{\text{sid}} = t\alpha.$$

Hvězdný čas je hodinový úhel jarního bodu, pro který máme $\alpha = 0 \text{ h}$. Pro jarní bod tedy platí, že $t_{\text{sid}} = t$. Odtud vidíme, že z výše uvedených možností dávají smysl jen ty, kde vystupuje $+t$, tj. druhá a třetí. (Čtvrtou možnost můžeme vyloučit, protože v ní rektascenze vystupuje multiplikativně, takže dosazením $\alpha = 0 \text{ h}$ bychom dostali identicky $t = 0 \text{ h}$.) Z druhé ekvivalentní definice vidíme, že pro hvězdy v horní kulminaci (pro které máme $t = 0 \text{ h}$) platí $t_{\text{sid}} = \alpha$. Ve správném vzorečku tedy musí vystupovat $+\alpha$. Správně tedy může být jen druhá možnost $t_{\text{sid}} = \alpha + t$.

g) Sám se můžeš rychle přesvědčit, že hodinový úhel hvězdy Dubhe (α_{UMA} , rektascenze $\alpha_{\text{Dubhe}} = 11^{\text{h}} 5^{\text{m}}$) je v okamžiku Vaškova pozorování z části a) přesně $t = -2\tau = 18^{\text{h}} 0^{\text{m}}$. Vypočti odpovídající hvězdný čas.

Z předchozí části víme, že $t_{\text{sid}} = \alpha + t$. Jednoduchým dosazením dostáváme

$$t_{\text{sid}} = \alpha_{\text{Dubhe}} - 2\tau = 11^{\text{h}} 5^{\text{m}} + 18^{\text{h}} = 29^{\text{h}} 5^{\text{m}}.$$

Hvězdný čas musí být menší než 24^{h} , proto odečteme 24^{h} a získáme výsledek $5^{\text{h}} 5^{\text{m}}$.

²V této úloze nebudeme uvažovat vliv precese rotační osy Země.

³Anglicky *sideral time*, z latinského *sidus* (hvězda).



Krajské kolo 2023/24, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

Měl bys zjistit, že vyšel jiný čas než v části a). Hvězdný čas se tedy zřejmě obecně liší od normálního, který ukazují hodinky. Jaký je mezi nimi ale přesně vztah?

Co je hvězdný čas, jsme si už řekli. Čas, který ukazují hodinky, je ale odvozen od času slunečního. Jak už název napovídá, jde o čas určený polohou Slunce na obloze. A to je důvod, proč se liší od času hvězdného. Slunce se totiž na hvězdném pozadí díky oběhu Země kolem něj pomalu pohybuje v průběhu roku. Z hlediska pozorovatele se Slunce po obloze pohybuje o něco pomaleji než hvězdy, proto je jeden den hvězdného času o 3 minuty a 56 sekund kratší než 24 hodin slunečního času. V průběhu roku se tedy tyto časy postupně rozcházejí. Rektascenze skutečného Slunce (a tedy i jeho hodinový úhel) se ovšem v čase nemění dokonale rovnoměrně⁴, takže pro definici míry času je vhodné zavést tzv. *střední Slunce*: to je pomyslný bod na světovém rovníku, jehož rektascenze roste rovnoměrně v čase s periodou 365,256 d (siderická oběžná doba Země kolem Slunce) a přibližně 2 dny před okamžikem podzimní rovnodennosti je rovna 12^h. *Střední sluneční čas* t_{sol} pak definujeme jako hodinový úhel středního Slunce posunutý o 12 hodin. Hvězdný čas a střední sluneční čas se tedy rovnají pouze v jeden okamžik zhruba dva dny před podzimní rovnodenností.

h) Najdi vztah mezi středním slunečním časem t_{sol} a hvězdným časem t_{sid} v obecný den v roce. Datum do vztahu zahrň jako počet dní n od začátku kalendářního roku.

Jednou ročně se hvězdný a střední sluneční čas rovnají, jinými slovy jejich rozdíl je po 1 roce přesně 24 hodin. Jeden den před podzimní rovnodenností tedy rozdíl činí $(1/365) \cdot 24$ h. Odtud snadno spočteme rozdíl časů po N dnech od podzimní rovnodennosti jako $((N+2)/365) \cdot 24$ h. Dále budeme potřebovat znát počet dní od podzimní rovnodennosti (která nastává 22.-23. 9.) do začátku kalendářního roku. Dostáváme $8 + 31 + 30 + 31 = 100$ d. Máme tedy $N = n + 100$. Rozdíl hvězdného a středního slunečního času po n dnech od začátku kalendářního roku tedy činí $((n+102)/365) \cdot 24$ h.

Zbývá si pouze rozmyslet, kterým směrem se časy rozcházejí. Z předchozího textu nebo z vlastní zkušenosti víme, že se Slunce mezi hvězdami pohybuje proti směru denního otáčení oblohy a sluneční den je proto delší než hvězdný. Střední sluneční čas se bude proto za hvězdným opožďovat. Vyjádříme-li oba časy v hodinách, bude platit

$$t_{\text{sol}} = t_{\text{sid}} - \frac{n+102}{365} \cdot 24 \text{ h} = -6,71 \text{ h} + t_{\text{sid}} - \frac{n}{365} \cdot 24 \text{ h}.$$

Sluneční čas však pořád ještě není přesně to, co ukazují hodinky. Vzhledem k tomu, že je odvozen od hodinového úhlu Slunce, by se totiž lišil v závislosti na zeměpisné délce pozorovatele. Například v Japonsku vychází (a tedy i kulminuje) Slunce mnohem dříve než v Česku. Pokud bychom používali přímo sluneční čas, obdobný, i když mnohem menší rozdíl by se projevoval i mezi východní a západní částí ČR. Protože není praktické mít rozdílné časy v rámci jedné země, je svět rozdělen do časových pásem. V rámci jednotlivých časových pásem pak mají všechna místa stejný (tzv. *pásmový*) čas T . Ten je roven střednímu slunečnímu času uprostřed pásma (je to tedy jediné místo, kde se střední sluneční čas přesně rovná tomu, co nám ukazují hodinky).

i) Kombinací výsledků předchozích úloh odvoď vztah (♡) mezi „časem“ τ , který ukazuje nebeská ručička pro pozorovatele ve středu časového pásma, a pásmovým časem T . Pro získání plného počtu bodů za tuto část detailně popiš jednotlivé kroky tvého odvození.

⁴Jedná se o důsledek sklonu rotační osy Země vůči rovině ekliptiky, a také elipticity dráhy Země kolem Slunce.

Krajské kolo 2023/24, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

Pro střed časového pásma dostaneme

$$T = t_{\text{sol}} = -6,71 \text{ h} + t_{\text{sid}} - \frac{n}{365} \cdot 24 \text{ h} = -6,71 \text{ h} + \alpha_{\text{Dubhe}} - 2\tau - \frac{n}{365} \cdot 24 \text{ h},$$

kde jsme dosadili $t_{\text{sid}} = \alpha_{\text{Dubhe}} + t = \alpha_{\text{Dubhe}} - 2\tau$. Zároveň máme $-6,71 \text{ h} + \alpha_{\text{Dubhe}} \doteq 4,4 \text{ h} = 52,4 \text{ h}$, kde jsme v posledním kroku využili faktu, že k pásmovému času v hodinách můžeme přičíst libovolný násobek 24 (za použití této konkrétní volby pak po dosažení za τ a n budou vycházet vždy kladné hodnoty T , ne však nutně v intervalu $\langle 0 \text{ h}, 24 \text{ h} \rangle$). Dostáváme konečně

$$T = 52,4 \text{ h} - \left(2\tau + \frac{n}{365} \cdot 24 \text{ h} \right).$$

j) Uprav vzoreček z knížky tak, aby ho Vašek mohl použít v létě pro Las Vegas ($36^\circ 10' \text{ s.š.}, 115^\circ 9' \text{ z.d.}$), kam se chystá na dovolenou o letních prázdninách. Navíc předpokládej, že jako hodinovou ručičku nepoužije spojnici hvězd Polárky a Dubhe, ale spojnici Polárky a Kochabu ($\beta \text{ UMi}$, rektascenze $\alpha_{\text{Kochab}} = 14^{\text{h}} 51^{\text{m}}$).

Jediné, co se na vztahu změní, bude časová konstanta v hodinách, kterou připočítáváme (doteď 52,4 h). Ta bude ovlivněna jednak jinou volbou hvězdy na konci ručičky, a pak také rozdílem zeměpisné délky oproti středu příslušného pásma. Kochab má rektascenzi $14^{\text{h}} 51^{\text{m}}$, tedy o $3^{\text{h}} 46^{\text{m}}$ více než Dubhe. Číselná konstanta tedy bude v důsledku jiné rektascenze ručičky o 3,8 h větší. Střed příslušného časového pásma je na 120° z.d. , Las Vegas tedy leží o $4^\circ 51'$ východněji. Tomu odpovídá časový rozdíl přibližně $-20 \text{ min} \doteq -0,3 \text{ h}$. Konečně nesmíme zapomenout, že Vašek bude měřit v létě, kdy se používá letní čas, musí tedy přičíst ještě jednu hodinu. Celkově tedy

$$T = 56,9 \text{ h} - \left(2\tau + \frac{n}{365} \cdot 24 \text{ h} \right).$$

C Sluneční vítr

(max. 25 bodů)

V této úloze se budeme hlouběji zabývat proudem nabitých částic uvolněných z horních vrstev atmosféry Slunce, který soustavně bombarduje Zemi a jiné planety Sluneční soustavy – tedy *slunečním větrem*. Skrze interakci s magnetosférami těles ve Sluneční soustavě je zodpovědný za vznik polárních září a magnetických bouří na planetách. Ovlivňuje rovněž směr plynného ohonu komet.

Z chemického hlediska se z valné většiny jedná o proud ionizovaného vodíku. Budeme proto pro jednoduchost předpokládat, že sluneční vítr je tvořen pouze protony a elektrony a že je celkově elektricky neutrální, neboli, že elektrony i protony jsou v něm zastoupeny stejně.

a) V tabulkách nebo na internetu si vyhledej hmotnosti protonu m_p a elektronu m_e v kilogramech. Hodnoty uveď s přesností na 3 desetinná místa. Kolikrát hmotnější je proton ve srovnání s elektronem?

Poznámka: Může pro tebe být užitečné si nejdříve přečíst [studijní text](#)⁵ o práci s velkými čísly.

⁵https://olympiada.astro.cz/images/ao_text_01_EF.pdf



Krajské kolo 2023/24, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

Můžeme najít hodnoty $m_p \doteq 1,673 \cdot 10^{-27}$ kg a $m_e \doteq 9,109 \cdot 10^{-31}$ kg. Spočítáme-li jejich poměr, dostaneme, že proton je

$$\frac{m_p}{m_e} = \frac{1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} \doteq 0,1837 \cdot 10^{-27+31} = 1\,837$$

krát hmotnější než elektron.

Poznámka: Zápis $a \cdot 10^b$ znamená, že číslo a násobíme odpovídající mocninou čísla 10. Pokud $b \geq 0$, pak je 10^b rovno číslu, které zapíšeme jako jedna následována b nulami, tedy

$$10^b = \underbrace{1\,000 \dots 0}_{b \text{ nul}}.$$

Např. $10^2 = 100$, $10^0 = 1$ atd. Je-li $b < 0$, pak

$$10^b = \underbrace{0,00 \dots 01}_{b \text{ nul}}.$$

Např. $10^{-1} = 0,1$, $10^{-9} = 0,000\,000\,001$ atd. Více podrobnosti najdeš ve výše zmíněném studijním textu.

Budeme uvažovat jednoduchý model slunečního větru, kdy se nabitě částice pohybují *radiálně*, t.j. po přímkách směrem přesně od Slunce.⁶ Předpokládejme dále, že všechny částice slunečního větru se v dané vzdálenosti od Slunce pohybují rychlostí o stejné velikosti, která ve vzdálenosti jedné astronomické jednotky činí $v_{1\text{au}} = 450$ km/s. V této vzdálenosti od Slunce bychom rovněž naměřili střední hustotu částic $n_{1\text{au}}$ slunečního větru 7 protonů na centimetr krychlový.⁷

b) Vypočti hustotu $\rho_{1\text{au}}$ slunečního větru ve vzdálenosti 1 au od Slunce v kg/m^3 . Výsledek uveď s přesností na dvě platné číslice.

Na základě předpokladu o neutralitě slunečního větru v zadání si uvědomíme, že v jednom centimetru krychlovém se ve vzdálenosti jedné astronomické jednotky od Slunce nachází 7 protonů a 7 elektronů. V předchozí části nám ovšem vyšlo, že hmotnost elektronu je přibližně 1800krát menší než hmotnost protonu. Elektrony tedy budou k celkové hustotě slunečního větru přispívat 1800krát menší měrou než protony. To znamená, že vzhledem k požadované přesnosti výsledku můžeme příspěvek elektronů zanedbat. Hustotu slunečního větru tedy dostaneme vynásobením počtu protonů v jednotkovém objemu hmotností jednoho protonu. Dostáváme pak

$$\rho_{1\text{au}} = m_p n_{1\text{au}} = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 7 \text{ cm}^{-3} = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 7 \cdot 10^6 \text{ m}^{-3} \doteq 1,2 \cdot 10^{-20} \text{ kg/m}^3.$$

⁶Tento model ostatně uvažoval ve své původní práci americký sluneční fyzik Eugene Parker (1927–2022), který na základě této hypotézy správně předpověděl, že se siločáry magnetického pole ve Sluneční soustavě zakřivují do tvaru tzv. Archimédovy spirály. Pokud se chceš dozvědět více o magnetických polích v heliosféře, neváhej navštívit [Wikipedii](https://en.wikipedia.org/wiki/Interplanetary_magnetic_field) (https://en.wikipedia.org/wiki/Interplanetary_magnetic_field).

⁷Ve skutečnosti rozlišujeme dvě hlavní komponenty slunečního větru: rychlou a pomalou. Ty se liší jednak průměrnými rychlostmi částic, ale také chemickým složením, původem a hustotami (rychlá složka má menší hustotu, chemicky odpovídá fotosféře a uniká koronálními dírami, zatímco pomalý sluneční vítr má větší hustotu a pochází z rovníkových oblastí sluneční koróny).

Krajské kolo 2023/24, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

Uvažujme v prostoru ve vzdálenosti 1 au od Slunce čtvercovou plochu S_0 o hraně jeden krát jeden metr. Kolmice na tuto plochu je namířena směrem ke Slunci.

c) Kolik protonů N_0 slunečního větru proletí touto plochou za jednu sekundu? Výsledek uveď s přesností na dvě platné číslice.

Za jednu sekundu urazí částice slunečního větru vzdálenost

$$d = v_{1\text{ au}} \cdot 1\text{ s} = 450\text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 1\text{ s} = 450\,000\text{ m}.$$

Částice, které za jednu sekundu projdou plochou o velikosti $S_0 = 1\text{ m}^2$, tedy vyplní objem

$$V_0 = S_0 d = S_0 v_{1\text{ au}} \cdot 1\text{ s} = 1\text{ m}^2 \cdot 450\,000\text{ m} = 450\,000\text{ m}^3.$$

V tomto objemu se nachází N_0 protonů slunečního větru, kde N_0 spočteme jako

$$N_0 = n_{1\text{ au}} V_0 = n_{1\text{ au}} S_0 v_{1\text{ au}} \cdot 1\text{ s} = 7\text{ cm}^{-3} \cdot 450\,000\text{ m}^3 = 7 \cdot 10^6\text{ m}^{-3} \cdot 450\,000\text{ m}^3 \doteq 3,2 \cdot 10^{12}.$$

Plochou jeden krát jeden metr tedy ve vzdálenosti 1 au od Slunce proletí přibližně $N_0 \doteq 3,2 \cdot 10^{12}$ protonů slunečního větru za sekundu.

d) Kolik protonů N slunečního větru proletí za jednu sekundu pomyslnou sférou o poloměru jedna astronomická jednotka?

Nápověda: Plochu povrchu koule o poloměru r spočteme jako $4\pi r^2$.

Plochu povrchu koule o poloměru 1 au spočteme jako

$$S = 4\pi(1\text{ au})^2 \doteq 2,8 \cdot 10^{23}\text{ m}^2.$$

Tuto plochu můžeme „vydláždit“ $k = S/S_0 \doteq 2,8 \cdot 10^{23}$ jednotkovými plochami z předchozí části. Sférou o poloměru jedna astronomická jednotka tedy za jednu sekundu proletí

$$N = kN_0 = \frac{S}{S_0} N_0 = 4\pi(1\text{ au})^2 n_{1\text{ au}} v_{1\text{ au}} \cdot 1\text{ s} \doteq 8,9 \cdot 10^{35}$$

protonů slunečního větru.

e) Jaký je úbytek μ_{SW} hmotnosti Slunce (v kilogramech za rok) v důsledku existence slunečního větru? Uvažujte, že částice slunečního větru uvolněné Sluncem radiálně odlétají do nekonečna a nikde v prostoru Sluneční soustavy nezanikají, ani se nikde nehromadí.

Sféra z předchozí části plně obklopuje Slunce. Na základě předpokladů v zadání tedy můžeme usoudit, že počet protonů, které touto sférou proletí za jednu sekundu, se musí rovnat počtu protonů, které jsou za jednu sekundu uvolněny ze Slunce. Za jednu sekundu tedy Slunce ztratí hmotnost (opět zanedbáváme příspěvek elektronů)

$$m_p N = 1,673 \cdot 10^{-27}\text{ kg} \cdot 8,9 \cdot 10^{35} \doteq 1,5 \cdot 10^9\text{ kg}.$$

Dostáváme tedy hmotnostní úbytek

$$\mu_{\text{SW}} = 1,5 \cdot 10^9 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1,5 \cdot 10^9 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3600 \frac{\text{kg}}{\text{rok}} \doteq 4,7 \cdot 10^{16}\text{ kg/rok}.$$

Krajské kolo 2023/24, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

Slunce nepřichází o svoji hmotnost pouze skrze sluneční vítr: fotony, které Slunce vyzařuje, mají svůj původ v termonukleárních reakcích, při kterých se hmotnost částic přeměňuje na energii. Bude se ti hodit, že hmotnosti m odpovídá energie $E = mc^2$, kde c je rychlost světla.

f) Jaký hmotnostní úbytek μ_{rad} (opět v kilogramech za rok) odpovídá zářivému výkonu Slunce $L_{\odot} = 3,85 \cdot 10^{26}$ W? Výsledek porovnej s hmotnostním úbytkem μ_{sw} zapříčiněným slunečním větrem.

Slunce vyzařuje každou sekundu energii $3,85 \cdot 10^{26}$ J, v důsledku čehož tedy každou sekundu přichází o hmotnost

$$\frac{3,85 \cdot 10^{26} \text{ J}}{c^2} = \frac{3,85 \cdot 10^{26} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2}{(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2} \doteq 4,3 \cdot 10^9 \text{ kg}.$$

V důsledku záření tedy dochází k hmotnostnímu úbytku

$$\mu_{\text{rad}} = 4,3 \cdot 10^9 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 4,3 \cdot 10^9 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3600 \frac{\text{kg}}{\text{rok}} \doteq 1,4 \cdot 10^{17} \text{ kg/rok}.$$

Slunce tedy za jednotku času vlivem záření ztrácí přibližně třikrát více hmotnosti než vlivem slunečního větru.

g) Za jakou dobu τ by se hmotnost Slunce snížila o jedno procento současné hodnoty? Předpokládej, že se po tuto dobu zářivý výkon Slunce ani vlastnosti slunečního větru nebudou měnit. Výsledek uveď v letech a porovnej s očekávanou dobou života Slunce.

Sečtením výsledků předchozích dvou částí dostáváme celkový úbytek $1,8 \cdot 10^{17}$ kg/rok. Jedno procento současné hmotnosti Slunce odpovídá hmotnosti $2,0 \cdot 10^{28}$ kg. Dostáváme tedy

$$\tau = \frac{2,0 \cdot 10^{28} \text{ kg}}{1,8 \cdot 10^{17} \text{ kg/rok}} \doteq 10^{11} \text{ let}.$$

Výsledky evolučních modelů ovšem předpovídají, že Slunce opustí hlavní posloupnost a přemění se v planetární mlhovinu přibližně za 5 miliard let. Pokud by se charakteristiky slunečního větru ani zářivý výkon Slunce neměnily, k hmotnostnímu úbytku v řádu procent by nikdy nedošlo. Po opuštění hlavní posloupnosti nicméně u Slunce dojde k navýšení hodnoty zářivého výkonu a v konečných fázích vývoje navíc i k překotnému odhození slupek materiálu (k postupnému, velmi pozvolnému, nárůstu zářivého výkonu dochází neustále). Nakonec přežije pouze pozůstatek ve formě bílého trpaslíka o přibližně poloviční hmotností, než je současná hmotnost Slunce.

Abychom získali závislost charakteristik slunečního větru na vzdálenosti od Slunce, musíme jej modelovat jako tekutinu o určitém tlaku a teplotě. Výsledkem těchto modelů je, že střední radiální rychlost částic slunečního větru je v rámci heliosféry ve vzdálenostech větších než jedna astronomická jednotka prakticky konstantní a rovna 450 km/s. To ve vzdálenosti 1 au činí přibližně desetinásobek velikosti rychlosti šíření zvukových vln v materiálu slunečního větru. Můžeme tedy říct, že v rámci heliosféry se sluneční vítr šíří *supersonicky*. Toto tvrzení přestává platit v oblasti tzv. *terminačního šoku*, kde se dynamický tlak $\frac{1}{2}\rho v^2$ slunečního větru stává srovnatelným s tlakem $p_{\text{ISM}} \approx 3 \cdot 10^{-14}$ Pa okolního mezihvězdného prostředí (angl. *interstellar medium* – *ISM*). To má za následek rapidní snížení rychlosti slunečního větru pod hodnotu šíření zvuku v okolním prostředí, které je doprovázeno vznikem rázové vlny.

Krajské kolo 2023/24, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

h) Proved kvalifikovaný odhad vzdálenosti r_{TS} od Slunce (v astronomických jednotkách), v jaké bychom narazili na terminační šok. Svoji hodnotu porovnej se skutečnými měřeními sond Voyager 1 a 2, které proletěly terminačním šokem v prosinci 2004 ve vzdálenosti 94 au od Slunce, resp. v květnu 2006 ve vzdálenosti 76 au od Slunce.

Dle zadání máme uvažovat, že rychlost šíření slunečního větru je ve vnějších částech heliosféry konstantní a rovna $v \approx v_{1\text{ au}} = 450 \text{ km/s}$. Abychom zjistili, jak závisí hustota ρ slunečního větru na vzdálenosti r od Slunce, provedeme následující úvahu. Z řešení části d) plyne, že počet protonů slunečního větru, které za jednotku času projdou pomyslnou sférou o poloměru r , spočteme jako

$$4\pi r^2 n v,$$

kde $n = \rho/m_p$ je počet protonů slunečního větru v jednotkovém objemu ve vzdálenosti r od Slunce. Tento tok protonů ovšem musí být stejný nezávisle na poloměru r sférické plochy, protože protony slunečního větru se nikde v heliosféře nehromadí. Můžeme tedy konkrétně psát

$$4\pi r^2 \frac{\rho}{m_p} v = 4\pi (1 \text{ au})^2 \frac{\rho_{1\text{ au}}}{m_p} v_{1\text{ au}}.$$

Uvážíme-li $v \approx v_{1\text{ au}}$, dostaneme závislost hustoty slunečního větru na vzdálenosti od Slunce

$$\rho = \rho_{1\text{ au}} \left(\frac{1 \text{ au}}{r} \right)^2.$$

Konečně tedy můžeme z podmínky rovnosti tlaků napsat, že vzdálenost r_{TS} terminačního šoku od Slunce musí splňovat

$$\frac{1}{2} \rho_{1\text{ au}} v_{1\text{ au}}^2 \left(\frac{1 \text{ au}}{r} \right)^2 = p_{\text{ISM}},$$

odkud dostaneme

$$r = \sqrt{\frac{\rho_{1\text{ au}} v_{1\text{ au}}^2}{2p_{\text{ISM}}}} \cdot 1 \text{ au} \doteq 200 \text{ au}.$$

To je přibližně dvakrát až třikrát větší hodnota, než kterou zjistily sondy Voyager. Ve skutečnosti totiž stačí, aby se dynamický tlak slunečního větru snížil pouze na velikost *srovnatelnou* s tlakem mezihvězdného prostředí (tedy ne nutně až na hodnotu p_{ISM}), aby došlo ke zpomalení částic slunečního větru pod rychlost šíření zvuku. V souladu s měřeními sond Voyager tedy můžeme tvrdit, že terminační šok bychom ve skutečnosti našli ve vzdálenosti $< 200 \text{ au}$ od Slunce.



Krajské kolo 2023/24, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

D Pozorování – Určení mezní hvězdné velikosti

(max. 20 bodů)

Kromě samotných pozorování astronomických objektů astronomové také zjišťují, jak kvalitní jsou pozorovací podmínky, při kterých tyto objekty sledují. Obloha bývá často přesevětlena umělými zdroji světla z našeho okolí (pouliční lampy, auta, domy, nedaleká města atd.), a tím je na ní vidět méně hvězd, než kdybychom byli např. v horách daleko od civilizace. Jasnost nejslabších hvězd, které jsou ještě vidět za daných podmínek, se nazývá mezní hvězdná velikost (zkráceně MHV). Astronomové, kteří pozorují pouhým okem, si na obloze vytyčili celkem 30 úseků, většinou trojúhelníků, které používají k určování MHV. Jednoduchým spočítáním hvězd v obrazci a vyhledáním v převodní tabulce lze určit MHV docela spolehlivě. Obrazec by měl být v tu dobu v dostatečné výšce nad obzorem, abychom co nejvíce potlačili vliv naší atmosféry.

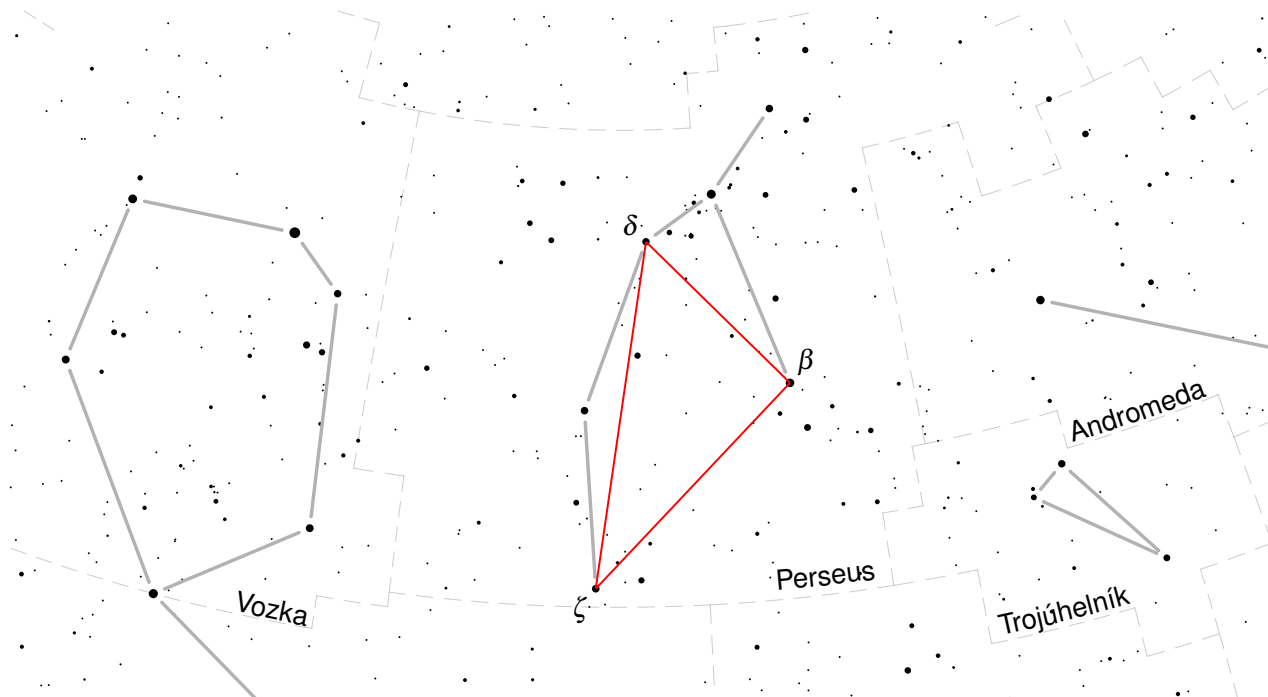
Zde je tvůj pozorovací úkol

Vyhledej na obloze trojúhelníkové oblasti, které jsou ve vyhledávacích mapkách na další stránce. Pak spočti, kolik hvězd v nich uvidíš (počítají se i hvězdy, které tvoří vrcholy trojúhelníku). Počítání proved raději několikrát rychle za sebou a pak zapiš číslo, které ti vyšlo nejčastěji. Určení MHV proved ve třech různých jasných nocích ze stejného stanoviště. Dvě noci vyber tak, aby byl Měsíc okolo novu, třetí noc tak, aby byl Měsíc v okolí úplňku.

Do tabulky níže vyplň všechna svá pozorování a další požadované údaje. Čas udávej ve středoevropském čase (SEČ/CET). Polohu pozorovacího stanoviště udej jako GPS souřadnice nebo jako adresu. V popisu pozorovacího stanoviště stručně charakterizuj povahu svého pozorovacího místa – zda je to ve městě, vesnici či mimo, na okraji či v centru, zda jsou v okolí lampy, které přímo ruší pohled na oblohu atd. Do popisu meteorologické situace uveď, zda je obloha zcela jasná, či jen polojasná, v oparu apod. Dále zadej teplotu vzduchu a případně i další neobvyklé nebo zajímavé informace.

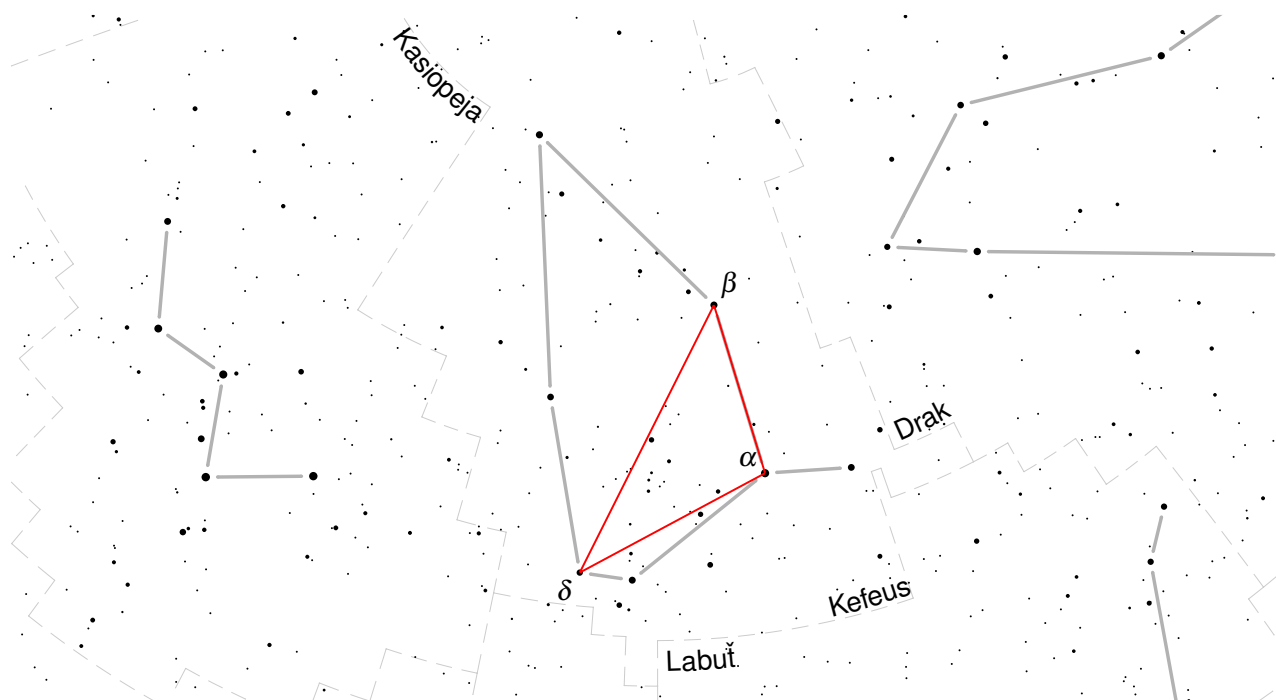
1. noc	čas (hh:mm)	počet hvězd	MHV (mag)	meteo situace a Měsíc	stanoviště
$\Delta 1$					
$\Delta 2$					
2. noc	čas (hh:mm)	počet hvězd	MHV (mag)	meteo situace a Měsíc	stanoviště
$\Delta 1$					
$\Delta 2$					
3. noc	čas (hh:mm)	počet hvězd	MHV (mag)	meteo situace a Měsíc	stanoviště
$\Delta 1$					
$\Delta 2$					

Krajské kolo 2023/24, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení



Obrázek 1: Trojúhelník 1 (β Per – δ Per – ζ Per)

počet hvězd	2	3	4	6	7	8	10	11	12	13	14	15	17	20	23
MHV (mag)	2,9	3,1	3,9	5,0	5,1	5,4	5,6	5,7	5,8	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5



Obrázek 2: Trojúhelník 2 (α Cep – β Cep – δ Cep)

počet hvězd	1	2	3	4	5	7	8	10	12	13	14	15	17	18	22
MHV (mag)	2,6	3,3	4,0	4,5	4,6	4,9	5,2	5,4	5,5	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4