CVIČENÍ Z OBECNÉ ASTRONOMIE

Zadání:

Příklad 1.
Kartézské souřadnice bodu v rovině jsou: $x = 3\ m$, $y = -4\ m$. Soustava je pravotočivá. Vypočtěte:

(a) jeho polární souřadnice r a φ,

(b) kartézské a polární souřadnice bodu při přechodu k levotočivé soustavě, jejíž počátek a osa x jsou tytéž,

(c) kartézské a polární souřadnice bodů při přechodu k soustavě, jejíž osy jsou kolineární s osami soustavy původní, ale počátek této soustavy má souřadnice $[-1, 1]$,

(d) kartézské a polární souřadnice téhož bodu, jestliže souřadnicovou soustavu o točíme o $31^o\ 35^{'}\ 18^{''}$, ve směru matematicky kladném,

(e) kartézské a polární souřadnice téhož bodu, jestliže souřadnicovou soustavu o točíme o $31^o\ 35^{'}\ 18^{''}$, ve směru matematicky záporném.

Příklad 2.
Prachoplynová mlhovina M42 se vyznačuje tím, že je na obloze neobvykle daleko od Mléčné dráhy, dokládá to i její relativně vysoká galaktická šířka : $b = -20^o$. Vypočtěte její lineární vzdálenost od roviny Galaxie v pc za předpokladu, že je od nás vzdálena 460 pc.

Příklad 3.
Hvězda Alioth z Velké medvědice a Sirius z Velkého psa patří do téže pohybové hvězdokupy. Zjistěte:

(a) Jejich souřadnice a vzdálenost

(b) Jakou mají úhlovou vzdálenost na naší obloze

(c) Jaká vzdálenost v pc je dělí v prostoru

Příklad 4.
Kartézské souřadnice bodu v prostoru jsou : $x = -3m, y = -4m, z = 12m$. Soustava necht' je pravotočivá. Vypočtěte :

(a) jeho válcové souřadnice : ρ, φ a z

(b) sférické souřadnice : r, φ a ϑ

(c) kartézské, válcové a sférické souřadnice vektoru pro případ, že soustavu otočíme o úhel $31^o35'18''$ ve směru matematicky kladném kolem osy z

(d) kartézské, válcové a sférické souřadnice vektoru pro případ, že soustavu otočíme o úhel $31^o35'18''$ ve směru matematicky kladném kolem osy y

(e) kartézské, válcové a sférické souřadnice vektoru pro případ, že soustavu otočíme o úhel $31^o35'18''$ ve směru matematicky kladném kolem osy z

(f) kartézské, válcové a sférické souřadnice vektoru pro případ, že soustavu otočíme o úhel $31^o35'18''$ ve směru matematicky kladném kolem osy z, pak o úhel $31^o35'18''$ ve směru matematicky kladném kolem osy y a nakonec o úhel $31^o35'18''$ ve směru matematicky kladném kolem osy x

(g) zjistěte jaký úhel mezi sebou svírá již zmíněný vektor a vektor se sférickými souřadnicemi : $r = 3m, \varphi = -19.4^o$ a $\vartheta = 184.2^o$

Příklad 5.
Obří hvězda Dubhe (αUMA), se souřadnicemi $\alpha = 11^h03^m\delta = +61^o49'$, je v našich zeměpisných šířkách hvězdou cirkumpolární. Vypočtěte:

(a) Jaké největší a nejmenší výšky nad obzorem hvězda v Brně dosáhne?

(b) V jakém rozmezí se mění azimut hvězdy?

(c) Jaký je hodinový úhel hvězdy v okamžiku, kdy má tutéž výšku nad obzorem jako světový pól?

(d) Kdy dochází k situaci, že se nemění azimut hvězdy?

(e) Kdy se nemění výška hvězdy nad obzorem?

(f) Jaký hodinový úhel hvězda urazí za jednu hodinu?

(g) Kolik stupňů hvězda urazí na obloze za jednu hodinu?

(h) Jakou rychlostí se mění azimut a výška hvězdy?

(i) Kdy je rychlost změny azimutu největší? Co to znamená pro pozorování dalekohledem s azimutální montáží?

(j) Za jakých podmínek přestane být Dubhe obtočnou hvězdou?

(k) V jaké zeměpisné šířce procházívá Dubhe zenitem?

(l) V jakých zeměpisných šířkách už není Dubhe k spatření?

(m) Hvězdný čas, obzorníkové a rovníkové souřadnice I.druhu hvězdy 15. května 1997 ve 20 hodin 31 minut.

Příklad 6.
Sférický trojúhelník na povrchu idealizované Země o poloměru 6371 km má součet vnitřních úhlů 192^o. Jakou má plošnou výměru?

Příklad 7.
Předpokládejte pro jednoduchost, že naše zeměkoule je ideálně kulatá , bez atmosféry, že obíhá kolem Slunce po kružnici. Depresi horizontu zanedbejte. Vypočtěte jak dlouho trvá západ Slunce, přesněji řečeno kolik času uplyne mezi tím, kdy se kotouč Slunce dotkne ideálního horizontu a kdy za ním zmizí. Řešte pro tyto případy:

(a) Brno v den letního a zimního slunovratu a ve dnech rovnodennosti. Porovnejte.

(b) Rovník v den letního a zimního slunovratu a ve dnech rovnodennosti. Porovnejte navzájem s Brnem.

Příklad 8.
Pulsar v Krabí mlhovině $NP0531 + 21$ je od nás vzdálen cca $1700pc$. Udejte přibližně jeho galaktické souřadnice a jeho kartézské souřadnice v soustavě, kde v počátku je Slunce, základní rovina je galaktický rovník a základní směr je směr k jádru Galaxie.

Příklad 9.
Nastane-li nautický soumrak, tj. sestoupí-li střed Slunce 12^o pod ideální obzor, bývá obloha již natolik temná, že na ní můžeme najít i dosti slabé hvězdy. Pro jednoduchost počítejte, že západ Slunce nastane v okamžiku, kdy se jeho střed dotkne ideálního horizontu. Vliv refrakce a deprese horizontu zanedbejte.

(a) Za jakou dobu po západu Slunce nastane v Brně nautický soumrak v den letního a zimního slunovratu a ve dnech rovnodenností? Porovnejte.

(b) Za jakou dobu po západu Slunce nastane nautický soumrak v den letního a zimního slunovratu a ve dnech rovnodenností na rovníku? Porovnejte.

(c) Jsou na zemském povrchu místa, kde nautický soumrak vůbec nenastává?

(d) Jsou na zemském povrchu místa, kde nautický soumrak někdy nenastává?

(e) V jakém období roku se obyvatelé žijící na severním polárním kruhu nedočkají nautického soumraku?

Příklad 10.
Předpokládejte, že hvězdárny v Brně a v Úpici leží na povrchu idealizované zeměkoule o průměru $63711km$. Jejich zeměpisné souřadnice jsou : Brno $\lambda = -16^o35'18'', \varphi = 49^o12'15''$, Úpice $\lambda = -16^o00'44'', \varphi = 50^o30'27''$. Vypočtěte:

(a) Délku oblouku hlavní kružnice spojující obě místa ve stupních a v kilometrech.

(b) Porovnejte s prostorovou vzdáleností obou míst.

(c) Jaký úhel svírá proložená hlavní kružnice s místním poledníkem procházejícím Brnem a Úpicí. Porovnejte a rozdíl diskutujte.

Příklad 11.
Řešte sférický trojúhelník (určete ostatní údaje včetně plochy) určený těmito údaji:

(a) $a = 35^o, b = 65^o, c = 90^o$

(b) $a = 35^o, b = 65^o, \gamma = 90^o$

(c) $a = 35^o, \beta = 65^o, \gamma = 90^o$

(d) $\alpha = 35^o, \beta = 65^o, \gamma = 90^o$

Příklad 12.
Udává se, že pouhýma očima spatříme na obloze 6500 hvězd. Kolik jich napočítáme v průměru na ploše jednoho měsíčního úplňku?

Příklad 13.
Zjistěte podle Hvězdářské ročenky:

(a) Kdy se letos dostane Země do přísluní a jak bude od Slunce daleko?

(b) Jaké bude mít v té době Slunce geocentrické ekliptikální souřadnice a rovníkové souřadnice II. druhu?

(c) Vyjádřete kartézské souřadnice středu Slunce v pravotočivé geocentrické souřadnicové soustavě, kde osa x je namířena k jarnímu bodu a osa z k světovému pólu.

(d) Vyjádřete kartézské souřadnice středu Slunce v pravotočivé geocentrické souřadnicové soustavě, kde osa x je namířena k jarnímu bodu a osa z k pólu ekliptiky. Kterou souřadnici znáte již předem?

Příklad 14.
Rovina Galaxie svírá s rovinou světového rovníku úhel 62.5^o. Z jakých zeměpisných šířek lze v principu během roku shlédnout celou Mléčnou dráhu?

Příklad 15.
Z Hvězdářské ročenky zjistěte rektascenzi a deklinaci Měsíce pro dnešní den, v 19 h 30 min a pomocí tohoto údaje odvoďte ekliptikální délku a šířku tohoto tělesa.

Příklad 16 .
Nalezněte siderické oběžné doby planetek Ceres a Vesta a vypočtěte jejich synodickou dobu.

Příklad 17.
Jaká je maximální úhlová vzdálenost planet od středu Slunce v okamžiku jejich konjunkce? Řešte nejprve ve zjednodušení, že se planety pohybují po kružnicích, jejichž sklony jsou totožné se sklonem jejich drah. Teprve pak diskutujte, jak by se řešení zkomplikovalo, kdybychom uvažovali i elipticitu jejich trajektorií.

(a) Řešte pro vnitřní planety, rozlišujte přitom horní a dolní konjunkci.

(b) Řešte pro Mars, Jupiter a Saturn.

(c) V jak širokém pásu od ekliptiky lze na pozemské obloze přistihnout Merkur, Venuši, Mars, Jupiter a Saturn?

Příklad 18.
Diskutujte pohyby planet pozorovaných ze Země vzhledem k Slunci i vzhledem ke hvězdám v tomto zjednodušení: všechny planety obíhají v rovině ekliptiky pohybujíce se po kružnicích konstantní oběžnou rychlostí:

(a) Vnitřní planety - Merkur a Venuše

(b) Vnější planety - Mars, Jupiter a Saturn

Příklad 19.
Poslední stupeň rakety byl vyveden na kruhovou dráhu o poloměru r_0 s oběžnou kruhovou rychlostí v_k. Po několika obězích se zapnou motory posledního stupně rakety, aby ji ve směru pohybu urychlily na konečnou rychlost v. Dokažte, že pro velkou poloosu výsledné dráhy platí:

$$a = \frac{r_0}{2 - \left(\frac{v}{v_k}\right)^2}$$

Příklad 20.
Určete poměr lineární a úhlové rychlosti Merkuru v periheliu a aféliu (e = 2,1).

Příklad 21.
Halleyova kometa se může ke Slunci přiblížit nejvíce na $0,59$ AU a siderická oběžná doba komety

přitom činí 76, 3 roku. Víte-li, že v aféliu se kometa plíží postupnou rychlostí $0,91\ km.s^{-1}$, vypočtěte její postupnou rychlost v perihéliu a numerickou výstřednost dráhy.

Příklad 22.
V románu Julese Verna "Na kometě" se mluví o kometě, která má při oběžné době 2 roky afélium vzdálené od Slunce 820 miliónů kilometrů. Rozhodněte, zda taková kometa může existovat a odůvodněte to.

Příklad 23.
Vypočítejte hmotnost Saturnu v jednotkách hmotnosti Země, víte-li, že jeho přirozená družice Hyperion se kolem planety pohybuje po téměř kruhové dráze o poloměru $1,48.10^8$ km s oběžnou dobou $21,3$ dne. Střední vzdálenost Měsíce od Země je $3,84.10^5$ km, siderická oběžná perioda $27,3$ dne.

Příklad 24.
Vypočtěte hmotnost Tolimanu, který se sestává ze dvou složek obíhajících kolem společného těžiště s periodou $80,1$ roků. Úhlová velikost dráhy je $17,16''$, paralaxa $0,760''$.

Příklad 25.
Sputnik 1 obíhal kolem Země po elipse s nejmenší výškou nad Zemí 230 km a největší 950 km. O kolik by bylo potřeba zvýšit nebo snížit jeho rychlost v přízemí, aby dosáhl dvojnásobné největší výšky?

Příklad 26.
Raketa letí k Jupiteru po tzv. Hohmanově elipse, tj. elipse, která se v perihéliu dotýká dráhy Země a aféliu dráhy Jupiteru. Předpokládejte, že dráhy planet jsou kruhové ($a_j = 5,2\ AU$) a určete dobu letu rakety a její relativní rychlost vzhledem k Jupiteru před jejím vstupem do sféry aktivity planety. Rychlost oběhu Země kolem Slunce je $29,77\ km.s^{-1}$.

Příklad 27.
V přesnější podobě 1. Keplerova zákona se praví, že ve společném ohnisku oběžných elips těles sluneční soustavy neleží Slunce, ale těžiště všech těles, které do sluneční soustavy náleží. Slunce se pak ve sluneční soustavě pohybuje tak, aby byla splněna podmínka, že těžiště SS setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu (zde záleží na volbě vztažného systému - zde je nejvhodnější ztotožnit počátek soustavy přímo s těžištěm). K odhadu vlivu jednotlivých planet na Slunce uvažujte vždy jen soustavu dvou těles: Slunce a příslušné planety. Vypočtěte a zdůvodněte:

(a) Jak mnoho jednotlivé planety vychylují Slunce z těžiště. Vyjádřete v poloměrech Slunce. Která z planet způsobuje maximální výchylku a proč?

(b) Která z planet nutí Slunce k nejrychlejšímu pohybu kolem těžiště? Vypočtěte tuto oběžnou rychlost. Měli bychom nějakou šanci s prostředky, která má astronomie k dispozici, podle tohoto pohybu onu planetu odhalit? Jak byste to pozorování uspořádali?

Příklad 28.
Jak by se změnila oběžná doba Země, kdyby měla stejnou hmotnost jako Slunce?

Příklad 29.
Meteoroid si to rovnou z nekonečna namířil na Slunce rychlostí $1\ km.s^{-1}$. Vypočtěte rychlost, s níž projektil protne dráhu Venuše. Poloměr dráhy Venuše je 0,72 AU.

Příklad 30.
Aplikace 2. Keplerova zákona. Dokažte, že rychlost tělesa pohybujícího se po elipse, které se

dostane do bodu, jenž je průsečíkem vedlejší poloosy elipsy a trajektorie tělesa, je rovna geometrickému průměru nejmenší a největší rychlosti v dráze.

Příklad 31.
Neobvyklé aplikace 3. Keplerova zákona.

(a) Vypočtěte dobu volného pádu Měsíce na Zemi, v případě, že by se na své oběžné dráze náhle zastavil. Pomocí zákona zachování energie též vypočtěte, jak se bude měnit rychlost Měsíce během pádu.

(b) Naprostá většina těles ve vesmíru je ve stavu hydrostatické rovnováhy, při níž jsou v nitru těchto těles v dokonalé rovnováze odstředivé síly vztlakové dané existencí gradientu tlaku namířeného k centru a dostředivé síly tíhové. Odvoďte obecný vztah pro dobu, za níž by se taková tělesa zhroutila do bodu, kdyby v nich zmizel gradient tlaku.

Příklad 32.
Vyšetřujme pohyb Země kolem Slunce za předpokladu, že velikost velké poloosy její dráhy činí 1 AU $= 1,49598.10^{11}$ m, e = 0,0167.

(a) Vypočtěte a porovnejte vzdálenosti Země od Slunce v perihéliu a aféliu, vypočtěte též poměr oslunění Země v perihéliu a aféliu.

(b) Jaký úhel opíše průvodič Země Slunce přesně za čtvrt siderického roku po průchodu perihéliem.

(c) Za kolik dní po průchodu perihéliem naroste pravá anomálie Země o 90^o.

(d) Jak vysvětlíte skutečnost, že mezi po sobě následujícími rovnodennostmi a slunovraty uplyne různý počet dní?

Příklad 33.
Diskutujme gravitačně vázanou slapově interagující soustavu: Země-Měsíc. Moment setrvačnosti Země je $8,04.10^{44}$ $g.cm^2$.

(a) Měsíc se v současnosti od Země vzdaluje průměrnou rychlostí cca 3 až 4 cm/rok. Rotace Země se zpomaluje o cca 0,0016 s/století. Jak tyto dva jevy spolu souvisejí?

(b) Kolik energie se při slapových deformacích zemského tělesa mění na teplo?

(c) Odhadněte, jak bude vypadat konečná situace v soustavě. Ztratíme v budoucnosti Měsíc?

(d) Vypočtěte oběžnou periodu finálního vázaného systému a vzdálenost obou těles.

Příklad 34.
Zjistěte vzdálenost geodetického obzoru pro osobu stojící:

(a) v záchranném člunu (h = 1,6 m)

(b) na palubě větší lodi (h = 12 m)

(c) v strážním koši na hlavním stěžni plachetnice (h = 45 m) a zdůvodněte, proč byl strážní koš instalován co nejvýše.

Příklad 35.
Pozorujeme-li východ Slunce ze stanoviště o 1000 m převyšujícím okolní plochou krajinu, jak daleko bude geodetický obzor a geodetická deprese. Co to znamená pro okamžik východu Slunce v den jarní rovnodennosti?

Příklad 36.
Jak se v Brně od sebe liší směr tížnice od spojnice Brna se středem Země?

Příklad 37.
Vypočtěte velikost gravitačního zrychlení pro brněnskou hvězdárnu a porovnejte jej se standardním gravitačním zrychlením.

Příklad 38.
Vysvětlete funkci Foucaultova kyvadla a vypočtěte pro Brno, za jak dlouho opíše rovina kyvu kyvadla 360^o.

Příklad 39.
Při jaké rychlosti dosáhne relativistická korekce hodnoty aberace 1% její klasické hodnoty?

Příklad 40.
Aberace zkresluje vzhled hvězdné oblohy. Zjistěte povahu zkreslení a určete v kterém směru je distorze nezávažnější a tento svůj nález zdůvodněte. Postačí, když budete diskutovat jen klasický vztah pro aberaci.

Příklad 41.
Vypočtěte opravu na šíření světla (relativní pohyb) v případě Venuše v dolní a horní konjunkci. Porovnejte velikost opravy s úhlovým rozměrem pozorovaného kotoučku planety. Pro zjednodušení předpokládejte, že dráhy Země i Venuše jsou přesně kruhové.

Příklad 42.
Diskutujte roční pohyb Vegy. Vypočtěte:

(a) Rozměry elipsy ročního aberačního a paralaktického pohybu Vegy.

(b) Kdy bude aberační a paralaktická odchylka od střední polohy hvězdy maximální a minimální, kdy bude Vega nejblíž severnímu světovému pólu.

(c) Zjistěte, kdy bude oprava radiální rychlosti Vegy o pohyb Země kolem Slunce maximální, minimální a nulová.

(d) Jaká je amplituda opravy radiální rychlosti?

(e) Bude se tato amplituda v průběhu platónského roku významně měnit?

Příklad 43.
Hvězda Reglus leží takřka přesně na ekliptice.

(a) Jak bude vypadat u této hvězdy její aberační a paralaktický roční pohyb?

(b) Jaký je roční průběh opravy radiální rychlosti hvězdy a heliocentrické korekce?

Příklad 44.
Jak souvisí platónský rok s délkou tropického a siderického roku?

Příklad 45.
Problémová úloha. Jedním z možných vysvětlení střídání chladných ledových a teplých meziledových dob je změna výstřednosti dráhy Země kolem Slunce, způsobená rušivým vlivem

ostatních planet sluneční soustavy. Při odhadech možného vlivu změn výstřednosti na celkové podnebí na Zemi pro jednoduchost předpokládejte, že se celková energie (tj. velká poloosa) planety nemění, přičemž číselná výstřednost se mění v rozmezí od 0,0007 do 0,0658. Porovnávejte celkové oslunění planety při různých excentricitách, vhodně využívejte rozvoje složitých vztahů.

Příklad 46.
Problémová úloha. Vypočtěte číselníky slunečních hodin horizontálních, vertikálních a rovníkových pro Brno.

Příklad 47.
Ve správných poměrech zkonstruujte analema pro Brno a diskutujte význam. Využijte aproximace pro časovou rovnici uvedenou v přednášce.

Příklad 48.
Jistá zákrytová dvojhvězda, která si nepřeje být jmenována, dosáhla minima své jasnosti 15. dubna 1953 v 23 h 26 min 00 s SEČ a 28. ledna 1996 17 h 45 min 00 s SEČ. Zlé jazyky tvrdí, že mezi oběma minimy uplynulo 15695 epoch. Zjistěte periodu zákrytové dvojhvězdy a odhadněte chybu jejího určení, víte-li, že první z okamžiků je stanoven s přesností ± 5 min, a druhý s přesností ± 12 min.

Příklad 49.
Použitím Gaussova pravidla stanovte datum nejbližších velikonoc.

Příklad 50.
Rovníková paralaxa Měsíce je $57' \, 2,7''$, úhlový poloměr je $15' \, 32,6''$. Vypočtěte vzdálenost Měsíce od Země a poloměr R_M Měsíce v jednotkách poloměru Země R_Z.

Příklad 51.
Rovníková paralaxa Slunce je $8,8''$, úhlový poloměr $16' \, 01''$. Určete poloměr Slunce v jednotkách poloměru Země.

Příklad 52.
Roční paralaxa Prokyona dle jistých měření činí $0,312'' \pm 0,006''$, zjistěte jeho vzdálenost a odpovídající nejistotu určení vzdálenosti.

Příklad 53.
V roce 1900 měly jisté dvě hvězdy tyto souřadnice:

(a) $\alpha = 2\,\mathrm{h}\ 12\,\mathrm{min}\ 21,3\,\mathrm{s};\ \delta = -3^o\ 38,56'\ 00''$

(b) $\alpha = 121\,\mathrm{h}\ 8\,\mathrm{min}\ 12\,\mathrm{s};\ \delta = 3^o\ 38'\ 12''$

Jaké měly souřadnice v roce 1950 a jaké budou mít v roce 2001?

Příklad 54.
Jak velká by byla konstanta roční aberace na Venuši?

Příklad 55.
Altair se přibližuje ke Slunci rychlostí 26 km.s^{-1}. Za jak dlouho se změní jeho pozorovaná hvězdná velikost o 0,1 magnitudy?

Příklad 56.
Ve spektru hvězdy je čára vápníku o laboratorní vlnové délce $422,7$ nm posunuta o $0,07$ nm směrem ke kratším vlnovým délkám. Určete radiální rychlost hvězdy.

Příklad 57.
O Barnardově hvězdě, se tvrdí, že je to hvězda s největším vlastním pohybem: $\mu = 10,30''$/rok. Táž hvězda se k nám přibližuje rychlostí 108 km.s^{-1}. Udávaná paralaxa $0,552''$ naznačuje, že tu

jde o čtvrtou Slunci nejbližší hvězdu. Předpokládejte, že vzájemný pohyb hvězdy a Slunce je a bude rovnoměrný přímočarý. Vypočtěte:

(a) Vzdálenost hvězdy v pc.

(b) Velikost tangenciální složky prostorové rychlosti hvězdy v_t.

(c) Úhel mezi průvodičem ke hvězdě a její prostorovou rychlostí ϑ.

(d) Absolutní velikost prostorové rychlosti hvězdy vzhledem ke Slunci.

(e) Minimální vzdálenost, do níž se hvězda ke Slunci přiblíží.

(f) Kdy k největšímu přiblížení dojde?

(g) Jak daleko se bude v maximálním přiblížení na obloze nacházet, od místa, kde ji vidíme nyní?

(h) Jaká bude její radiální rychlost a vlastní pohyb?

(i) Je-li nyní hvězdná velikost hvězdy rovna 9,5 mag, jak jasná bude hvězda v okamžiku nejtěsnějšího přiblížení?

Příklad 58.
Hvězda, jejíž rovníkové souřadnice jsou $\alpha = 2\,\mathrm{h}\ 12\,\mathrm{min}\ 21,3\,\mathrm{s}$, $\delta = -3^o\ 38,56'\ 00''$ má vlastní pohyb v rektascenzi $\mu_\alpha = 0,0465\,\mathrm{s/rok}$, $\mu_\delta = -0,795''/\mathrm{rok}$, radiální rychlost $v_r = 15,3\,\mathrm{km.s^{-1}}$ a paralaxu $0,035''$. Vypočtěte:

(a) Výsledný vlastní pohyb μ a poziční úhel tohoto pohybu.

(b) Velikost tangenciální složky prostorové rychlosti v_t.

(c) Úhel mezi průvodičem ke hvězdě a její prostorovou rychlostí.

(d) Absolutní velikost prostorové rychlosti hvězdy vzhledem ke Slunci a složky vektoru rychlosti v prostoru.

(e) Rovníkové souřadnice polohy úběžníku hvězdy.