

БЕЛЕШАС 2017.

2. Координатни системи

Увод

Познато је да се изглед неба мења током ноћи, што лако опажамо и после кратког боравка под њим. И мада звезде називамо стајачицама, сматрајући да се њихови привидни положаји на небу не мењају (бар не приметно и вредно пажње током кратког времена), оне се ипак као целина, као скуп, (о)крећу по небу. Такође, изглед ноћног неба је различит у зависности са које тачке на Земљи га посматрамо. Имајући у виду ту променљивост, налазимо се пред изазовом начина да се променљивост неба укроти. Жеља је да положаје небеских тела једнозначно одредимо на небу, на основу чега би стекли представу о стварним положајима тих небесница, као и о њиховим кретањима која нису последице Земљине вртње, тј. привидне вртње неба. Као што свако место има своје географске координате које одређују његов положај на Земљи, и слично, тако је и овде циљ да се положаји небеских тела представе на начин који би једнозначно одређивао њихов положај на небу, и на тај начин омогућио да се преко сталних и универзалних координата направи каталог њихових положаја. Ради тога уводимо астрономске координатне системе, који ће се разликовати међусобно према томе које елементе небеске сфере изаберемо. Но, они ће се разликовати и у оном основном мотиву који смо поставили као циљ, а то је њихова способност да једнозначно одреде положај тела на небу.

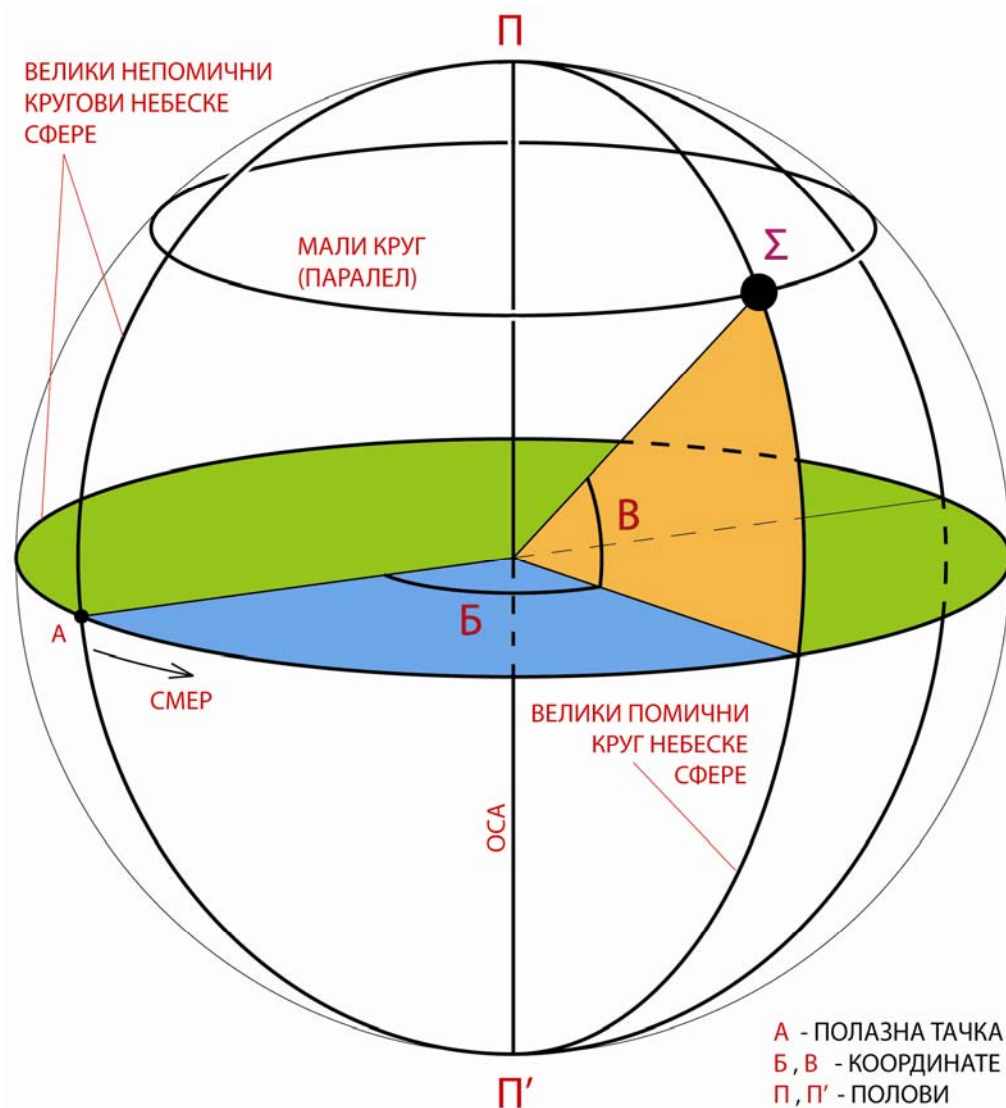
У потрази за таквим координатним системом испитаћемо разне. Но, да би то учинили на очигледан и разумљив начин тај труд ћемо мотивисати двама мотивима:

1. Први би био, као што је већ речено, испитати да ли посматрани координатни систем задовољава услов једнозначности, тј. да ли му се координате мењају током времена, и да ли зависе од места посматрања.
2. Други мотив може бити сагледан кроз начин управљања телескопа удешеног да ради у датом координатном систему. Ово ће бити од значаја за поглавље које ће се дотичати телескопа, али ће и додатно помоћи у разумевању постављеног циља.

Општи сферни координатни систем

Свим координатним системима са којима ћемо се упознати (као и онима који неће бити предмет наше пажње у овом осврту) заједничко је да су сферни и самим тим деле заједничке елементе. Да би се олакшо рад, али и да би се учинио прегледним, прво ће се представити општи координатни систем са својим елементима:

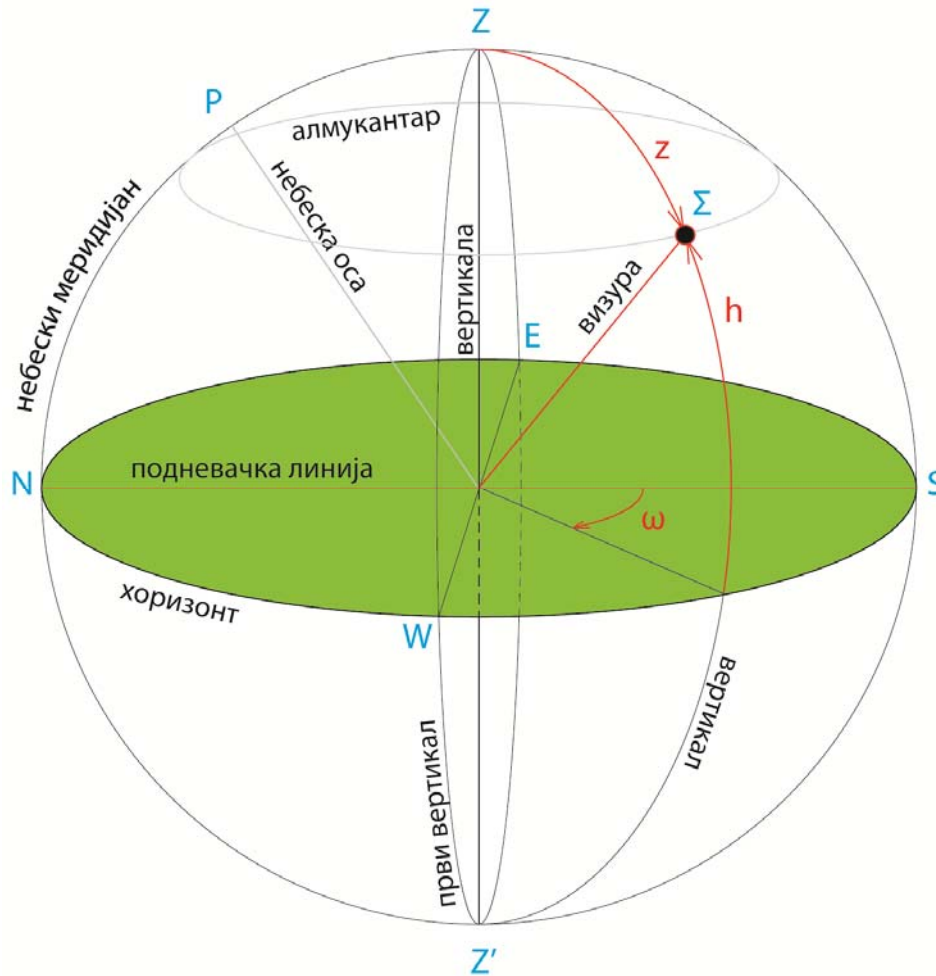
1. *Велики кругови небеске сфере* – разликујемо два велика непомична круга која су међусобно управна и садрже осу ротације и један велики круг (лук) који се врти околу ове осе;
2. *Оса вртње (ротације) система*;
3. *Полови* који представљају тачке продора осе ротације кроз небеску сферу;
4. *Полазна (референтна) тачка и смер*;
5. *Координате система*;
6. *Мали кругови или висински паралели* – кругови управни на осу ротације система, паралелни великом положеном (основном) кругу.



Главна оса сферног координатног система пробија небеску сферу у две тачке, у половима датог координатног система. Њу садрже и два велика круга који су управни један на други и непомични су. Први је положен и оса је управна на њега – извире из његовог средишта. Други велики круг је управан на овај који је положен и пресеца га у две карактеристичне тачке. Уз то, овај круг садржи и полове датог координатног система. За разлику од овог великог круга који је непомичан, уочавамо и велики помични круг (тачније полукруг) који се окреће око осе координатног система. Сем што садржи небески објекат, он садржи и полове. Поред великих кругова, постоје и мали кругови који су паралелни са великим положеним кругом од кога су мањи.

С обзиром на то да на кругу нема карактеристичних тачака нити места која би недвосмислено послужила као полазиште, принуђени смо да на посредан начин, договором, бирамо полазну тачку на великом положеном кругу датог координатног система. На исти начин, договором (и утемељено на оправданим разлозима) бира се и смер управљања координата. Једна је осна, мења се у односу на карактеристичну тачку и расте у изабраном смеру. Друга је висинска, и мери се од великог положеног круга ка половима датог координатног система (на самом кругу је нула). Ова координата има и свој комплемент који се мери од изабраног пола ка другом, дуж великог помичног круга.

A. Хоризонтски координатни систем



Основни велики круг небеске сфере у хоризонтском координатном систему је, свакако, **хоризонт**. Други велики круг, управан на њега, је **небески меридијан**. Он представља пројекцију локалног меридијана (местног, меридијана посматрача) на небеску сферу. Ова два круга се секу у два тачкама – то су северна и јужна тачка на хоризонту. Поред ове две тачке, небески меридијан садржи и половине овог координатног система – **зенит** (Z) и **надир** (Z'). Зенит се налази изнад хоризонта, над теменом посматрача. Оса овог координатног система је **вертикала**, а велики помични (полу)круг који се врти око ње је **вертикал**. Мали круг небеске сфере у хоризонтском координатном систему је **алмукантар**(ат).

Висинска координата овог система је **висина** – h. Она се мери од хоризонта према зениту и надиру, па обухвата вредности од $\pm 90^\circ$. Поред висине, у астрономији се често користи и њен комплемент – **зенитна даљина**, z. Она се мери од зенита према надиру.

$$\begin{aligned} -90^\circ &\leq h \leq 90^\circ \\ 0 &\leq z \leq 180^\circ \end{aligned}$$

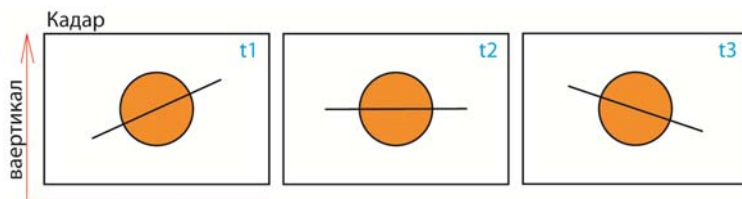
Друга, осна координата, је **азимут**. За узорну тачку на хоризонту је изабрана јужна тачка (мада се у геонаукама и неретко у астрономији бира и северна), а растући смер је према западу (у споменутом алтернативном случају је према истоку). Сем са ω , азимут се обележава и са A.

$$0 \leq \omega \leq 360^\circ$$

На латинском, меридијан представља оно што дан дели на два дела (meridies), па се пројекција небеског меридијана на раван хоризонта назива *подневачка линија*. Потез који спаја посматрача и небесницу назива се *визура*. У хоризонтском координатном систему постоји још један велики и непомични круг који садржи вертикалу и источну и западну тачку – то је *први вертикал*, али он није од значаја за ово представљање.

Погледајмо сада како се овај координатни систем понаша у односу на критерије које смо поставили у уводу. Током времена небо се привидно врти – звезде излазе на источној страни, пењу се по небу док не доживе врхунац у небеском меридијану (*кулминација*) и затим им висина опада према западној страни док не зађу под хоризонт. Дакле, током времена висина небеских тела се мења. Са њом се, такође, и азимут мења. Дакле, ове две координате нису постојане у времену. Али, оне нису једнозначне ни у односу на положај посматрача на Земљи! Висина небеснице над хоризонтом је условљена географском ширином места посматрача, а азимут зависи од географске дужине – с обзиром на то да је ова координата везана за небески меридијан који је пројекција земаљског. Дакле, хоризонтски координатни систем одликује временска променљивост координата, као и потпуна зависност од места посматрања.

Из перспективе управљања телескопом – када, рецимо, желимо пратити неку небесницу током времена тако да све време остане у видном пољу – видимо да су потребна два погонска степена, с обзиром на то да се обе координате мењају током времена. Посебно је важно нагласити то да је њихова промена нестална, нелинеарна, што значи да би управљање оваквом, хоризонтском, монтажом захтевало и додатни труд да се брзина кретања мотора за праћење удеси на начин који би ово омогућио (неопходно је процесирати, рачунати, тренутне координате објекта и то пресликавати на рад мотора). Но, оно што овде није очигледно, бар на први поглед, то је и трећи степен слободе – ротација поља. Пратећи небесницу по азимуту и висини можемо је одржавати у средини видног поља. Али, да би и њена оријентација у том пољу (рецимо у кадру камере) остала непроменљива морало би се обезбедити праћење и на месту снимања – тако да се камера, такође на нелинеаран начин, ротира околу оптичке осе телескопа.



Све у свему, јасно је да овај координатни систем не испуњава основни мотив о универзалности и непроменљивости. Потпуна про-

менљивост у промени координата током времена, зависност од места посматрања, као и неопходност да се небесница прати по три осе и то нелинеарно, овај координатни систем чини сложеним и у погледу употребе хоризонтске монтаже. Но, ова мана је у савременом добу изгубила тежину, пре свега развојем рачунара, микропроцесора и осталих постигнућа у електроници и техници, па је данас неупоредиво лакше превазићи споменуте потешкоће него што је то био случај у блиској прошлости. Чак, савремени велики телескопи су по правилу смештени на хоризонтску монтажу (алт-азимуталну)! На тај начин не само да се упрошћава конструкција, самим тим и значајно појевтињује, већ је и питање да ли би савремени мастодонти од телескопа уопште и могли да се поставе на неку од екваторијалних (апланатичких) монтажа. И не само велики телескопи, већ данас није реткост да се и љубитељски телескопи израђују на овај начин.

Б. Екваторски координатни системи

Основни, положени, велики круг екваторског координатног система је *небески екватор*, који представља пројекцију Земљиног екватора на небеску сферу. Екватор (од лат.; полутар) дели небеску сферу на јужну и северну полулопту (од грч. *hēmy sp^hairos*). Оса управна на њега је *небеска* или *светска оса* – то је она осовина која извире из географских полова, околo којих се врти Земља, и која пробија небеску сферу у *северном* (P) и *јужном* (P') *небеском полу*. Висинска координата овог координатног система је *деклинација* (δ), која се мери од небеског екватора према небеским половима. Комплементарна координата деклинацији је *поларна даљина* (p), која се мери од северног небеског пола према јужном.

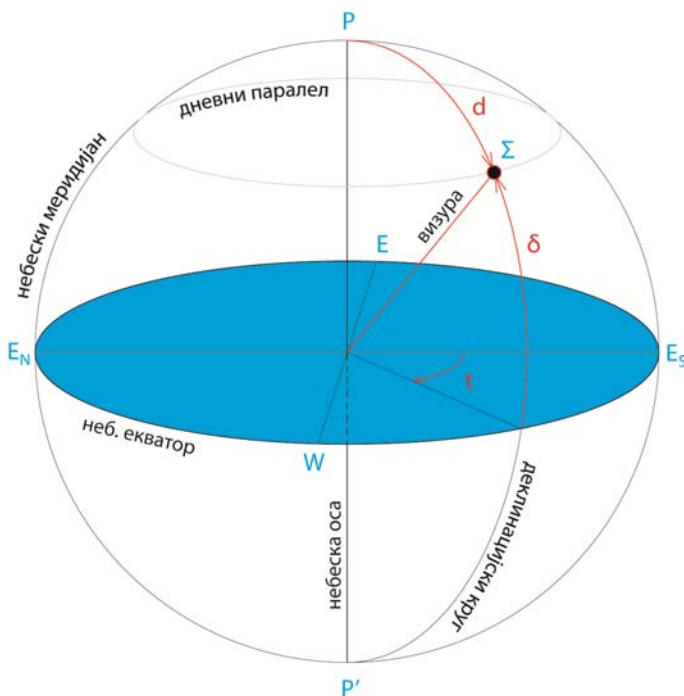
$$\begin{aligned} -90^\circ &\leq \delta \leq 90^\circ \\ 0 &\leq d \leq 180^\circ \end{aligned}$$

Велики помични круг овог координатног система је *деклинацијски круг*, а мали паралел се назива *дневни паралел*.

Екватор, па тако и небески екватор, има универзални карактер – не зависи од места посматрања и сваки посматрач се једнозначно одређује према њему (како на земаљском тако и на небеском). Везујући висинску координату, деклинацију, за небески екватор постигли смо то да она не зависи од места посматрача, али и да је стална, непроменљива, у времену с обзиром на то да прати привидну вртњу неба! У том смислу деклинација испуњава постављене критерије – једнозначна је, тј. независна од места посматрања, али је и непроменљива у времену.

Но, у зависности од тога како изаберемо другу, осну, координату разликоваћемо два екваторска координатна система.

Б1. Местни екваторски координатни систем



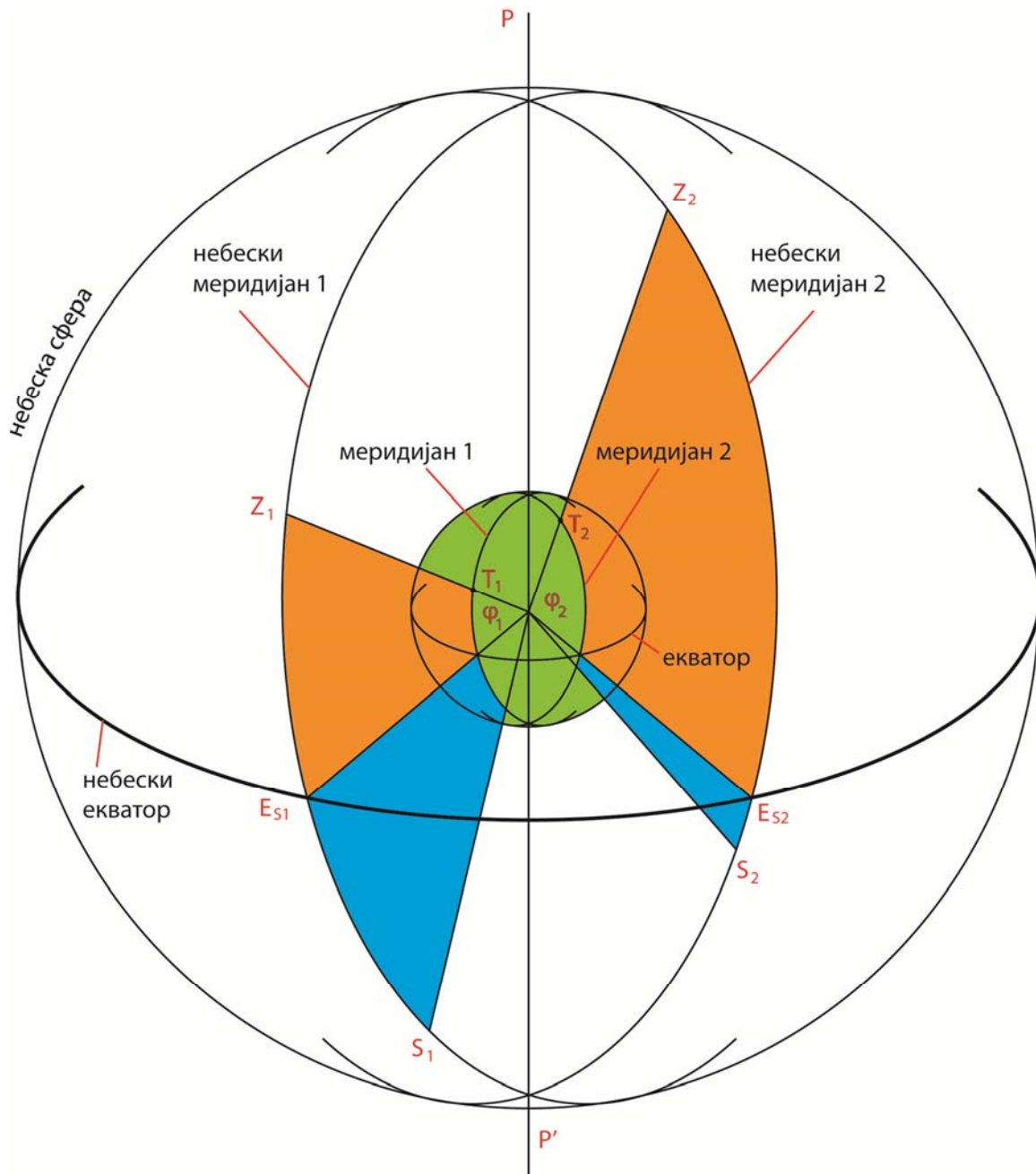
У местном екваторском координатном систему други велики круг, управан на екватор је такође небески меридијан, као и у хоризонтском. Управо се због тога овај координатни систем и назива местни јер је везан за меридијан посматрача.

За узорну тачку у овом координатном систему бира се пројекција југа на небески екватор (E_S), док се за смер управљања бира *ретроградни*, према западној тачки, који прати дневну вртњу неба. Тај угао представља осну координату овог система, *часовни угао*, t – и она се најчешће изражава у часов-

ним јединицама:

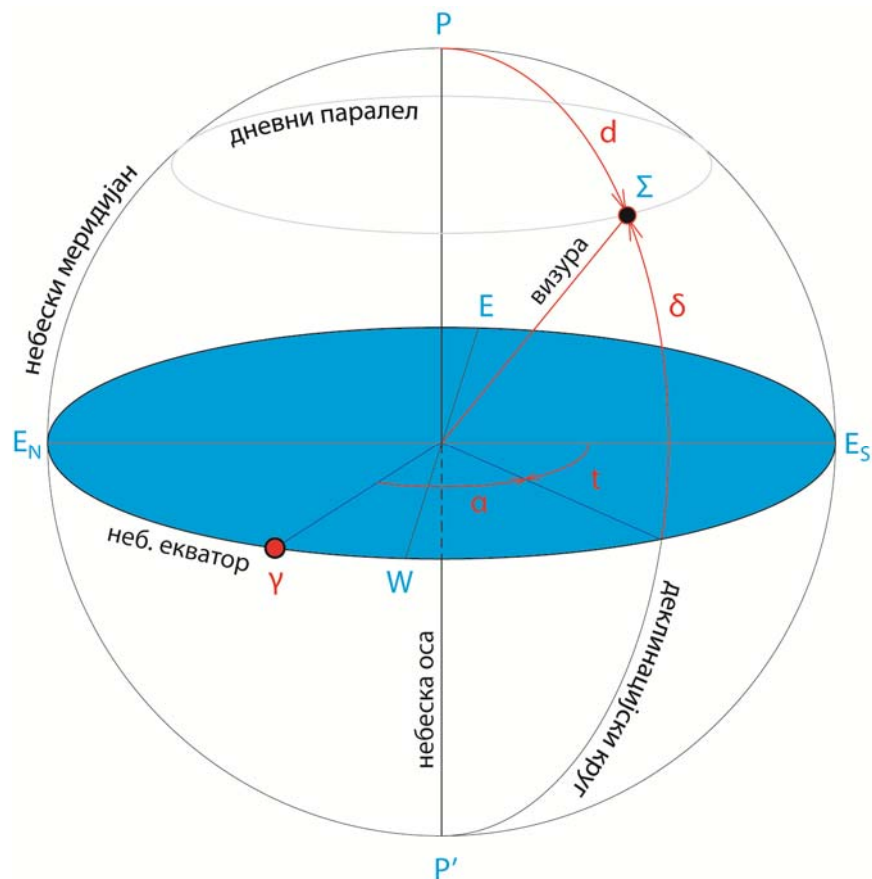
$$0 \leq t \leq 24^h$$

Већ је било речено о томе да је висинска координата екваторског координатног система задовољила услове постављене у критеријима са почетка. Но, друга координата, часовни угао, слично азимуту у хоризонтском координатном систему, не испуњава те услове јер је везана за меридијан посматрачевог места преко његове небеске пројекције. И док ће деклинација бити једнозначна за сваког посматрача на Земљи дотле ће часовни угао зависити од географске дужине места. Такође, часовни угао небеснице није сталан током времена – али се мења константном брзином, једнакој брзини привидне вртње неба!



Да би се превазишао преостали недостатак овог координатног система, а у смислу како смо то дали у задатак на почетку, потребно је и ову другу координату узети за небеску сферу – као што је то учињено са деклинацијом преко небеског екватора.

Б2. Небески екваторски координатни систем



Дакле, остао је изазов да се и осна координата веже за небеску сферу, и то за небески екватор. Но, овај велики круг небеске сфере сам по себи нема карактеристичне тачке на себи које би биле погодне за полазиште координате. То се превазилази на посредан начин, избором тачке пресека небеског екватора и *еклиптике* – она је велики круг небеске сфере који представља пројекцију Земљине путање око Сунца на небеску сферу (ово се може и прецизније дефинисати). Еклиптика и небески екватор се секу у две тачке, које се могу једнозначно одредити на небу (реконструисати). То су тачке пролећне и јесење равноднвице, а јесења је изабрана као полазна. Координата везана за ову тачку назива се *ректасцензија* – α , и за разлику од часовног угла њен прираст је супротан, у *директном* смеру, према западној тачки. Између часовног угла и ректасцензије постоји веза која се изражава преко *звезданог времена*:

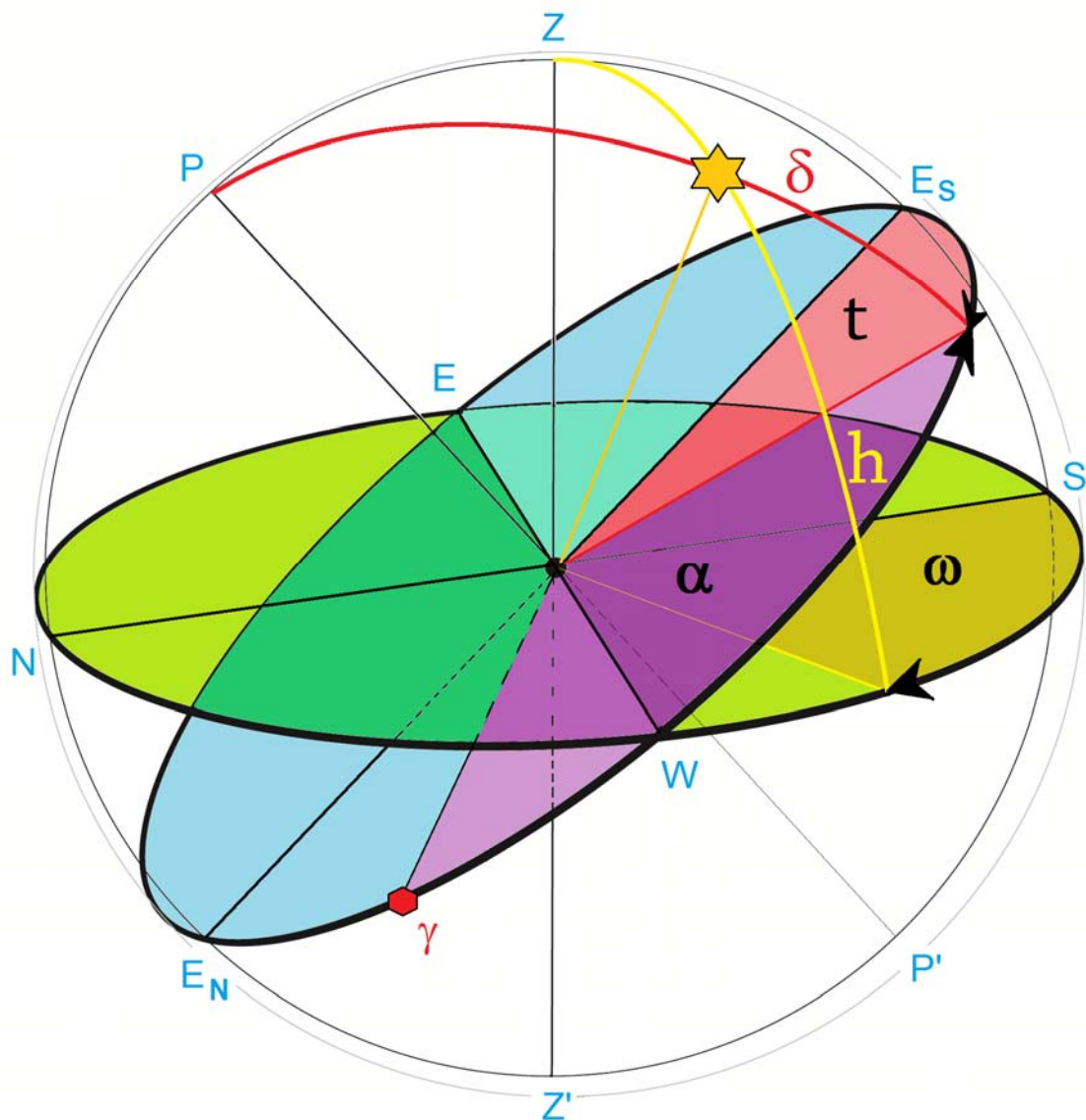
$$s = \alpha + t$$

$$0 \leq \alpha \leq 24^h$$

Звездано време говори о томе колико је прошло времена од горње кулминације *гама-тачке*. (Тачка пролећне равноднвице, тзв. гама-тачка, добила је тај назив јер астролошки знак за Овна, где се налазила у време Хипарха који ју се одредио у другом веку пре нове ере, подсећа на ово грчко слово. Ова тачка се током времена креће по небеској сфери што је изазвано појавом *прецесије*..).

На овај начин се постигло то да и ректасцензија, као и деklinација, буде везана за небеску сферу и самим непроменљива у времену, али и независна од места на коме се налази посматрач. На тај начин је могуће ове координате – ректасцензију и деklinацију – искористити као универзалне координате којима се може једно-

значно изразити положај небесница. Зато се оне и користе у *звезданим каталозима*. Ове координате прате привидну вртњу неба, и свако је у могућности да на основу њих израчуна да ли се тражена небесница налази изнад или испод хоризонта за његово место, и слично.



КООРДИНАТНИ СИСТЕМ	ХОРИЗОНТСКИ	ЕКВАТОРСКИ	
		МЕСТНИ	НЕБЕСКИ
ВЕЛИКИ КРУГОВИ	НЕБЕСКИ МЕРИДИЈАН		
НЕПОМИЧНИ	ХОРИЗОНТ		
ПОМИЧНИ	ВЕРТИКАЛ		
ОСА РОТАЦИЈЕ	ПОЛАРНА ОСА (P-P')		
ПОЛАЗНА ТАЧКА И СМЕР	S, S→W	E_s, E_s→W ретроградни	γ, γ→W директни
ПОЛОВИ	ЗЕНИТ(Z) и НАДИР (Z')	СЕВЕРНИ (P) и ЈУЖНИ (P') НЕБЕСКИ ПОЛ	
КООРДИНАТЕ	h, ω (A)	δ, t	δ, α
ВИСИНСКА	ВИСИНА – h	ДЕКЛИНАЦИЈА – δ	
ПОЛАРНА	ЗЕН. ДАЉИНА – z	ПОЛАРАНА ДАЉИНА – d	
ОСНА	АЗИМУТ – ω (или A)	ЧАСОВНИ УГАО – t	РЕКТАСЦЕНЗИЈА – α
МАЛИ КРУГ	АЛМУКАНТАР(AT)	ДНЕВНИ ПАРАЛЕЛ	

Са становишта другог критерија, који је постављен на почетку као полазни мотив, екваторијални координатни систем(и) су погоднији за управљање телескопа. Монтаже које су засноване на овом координатном систему (а, има их неколико) де-клинацију имају као параметарски координату – она се намешта једном, приликом проналаска небеснице, а затим остаје стална. Праћење небеснице се остварује пре-ко осне координате, брзином која одговара привидној вртњи неба, а која је стална, непроменљива. У таквом случају, за разлику од хоризонтске поставке, за праћење није неопходан сложен рачунарски (процесорски) поступак већ се праћење оства-рује погодним електромотором са редуктором.

Поред хоризонтског и екваторских координатних система, у астрономији се срећу још и *еклиптички* и *галактички*. Но, како се они користе у специфичним при-ликама и нису чести, и слично, о њима неће бити говора на овом месту. У сваком случају, мустра по којој су представљени овде наведени координатни системи важи и у њиховом случају.

Као додатна илустрација спомену еклиптике и гама-тачке може послужити доњи приказ, без осврта на појединости с њим у вези, бар овом приликом.

