

How to prove the Earth's daily and annual direction of its spinning

Every day, we can observe the Sun's apparent motion around the sky. It rises in the east, gets to its highest point above the horizon at noon, and sets in the west. The stars appear to be fixed on the sky and move around apparently together with the Sun. We have daytime¹ and night. The apparent annual motion of the Sun results in seasons when we can see different stars.

These directly visible daily and annual changes result from real Earth's motions – the Earth's daily and annual spinning (rotation and revolution) and they are not easily explainable without understanding the Earth's motions.

In order to understand the apparent daily and annual motions and motion direction of the Sun and stars (night sky), it is

very important to know where we are on the Earth, what is our geographic position, i.e. to know the cardinal points. At the same time, one should take into consideration also the direction of the Earth's rotation and revolution.

What is the Earth's daily or annual direction of spinning as related to the direction of clock hands, and how do we prove it?

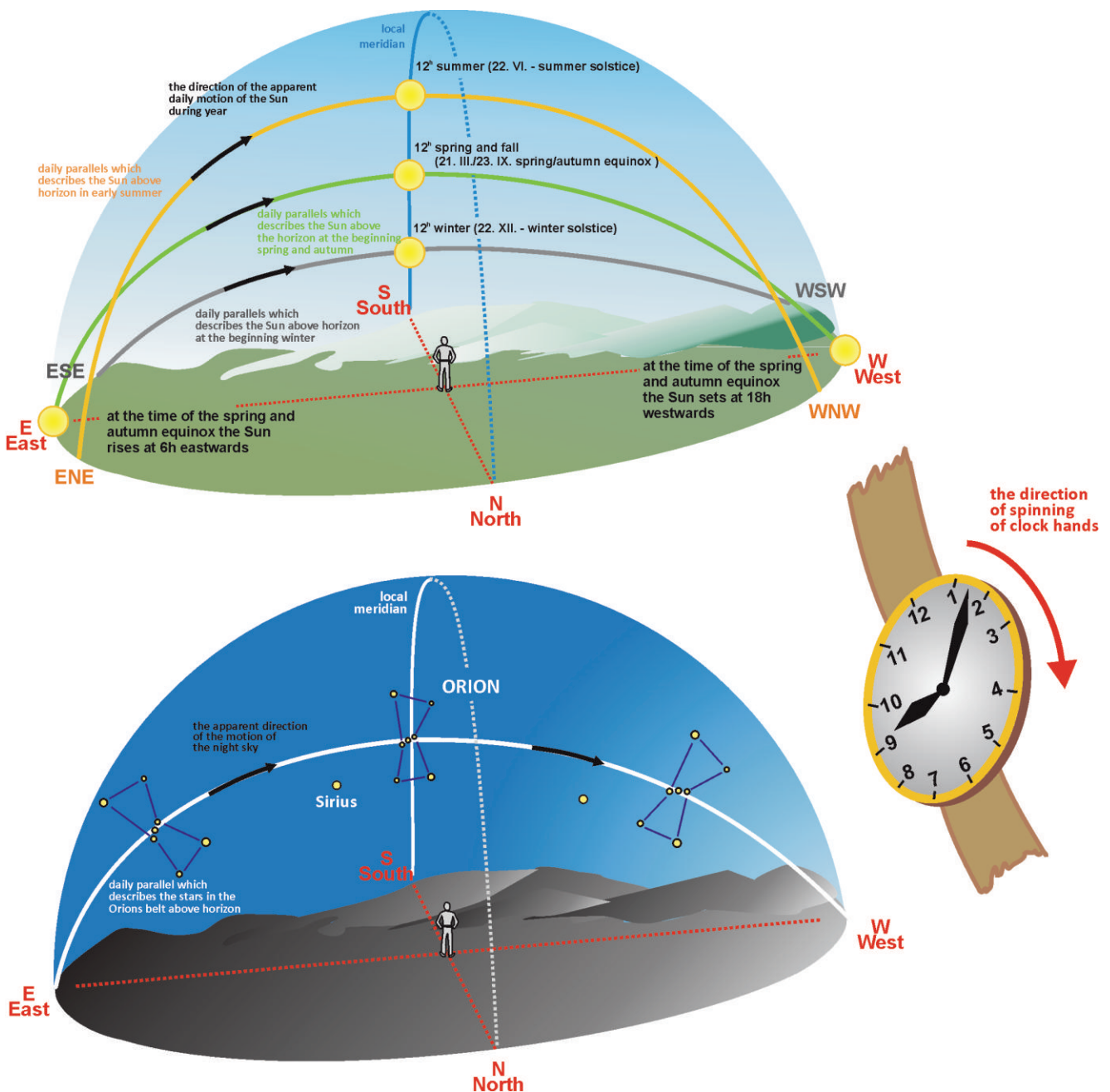


Fig. 1. Apparent daily rotation of the Sun and apparent motion of the night sky.

Kako dokazujemo dnevni i godišnji smjer Zemljine vrtnje

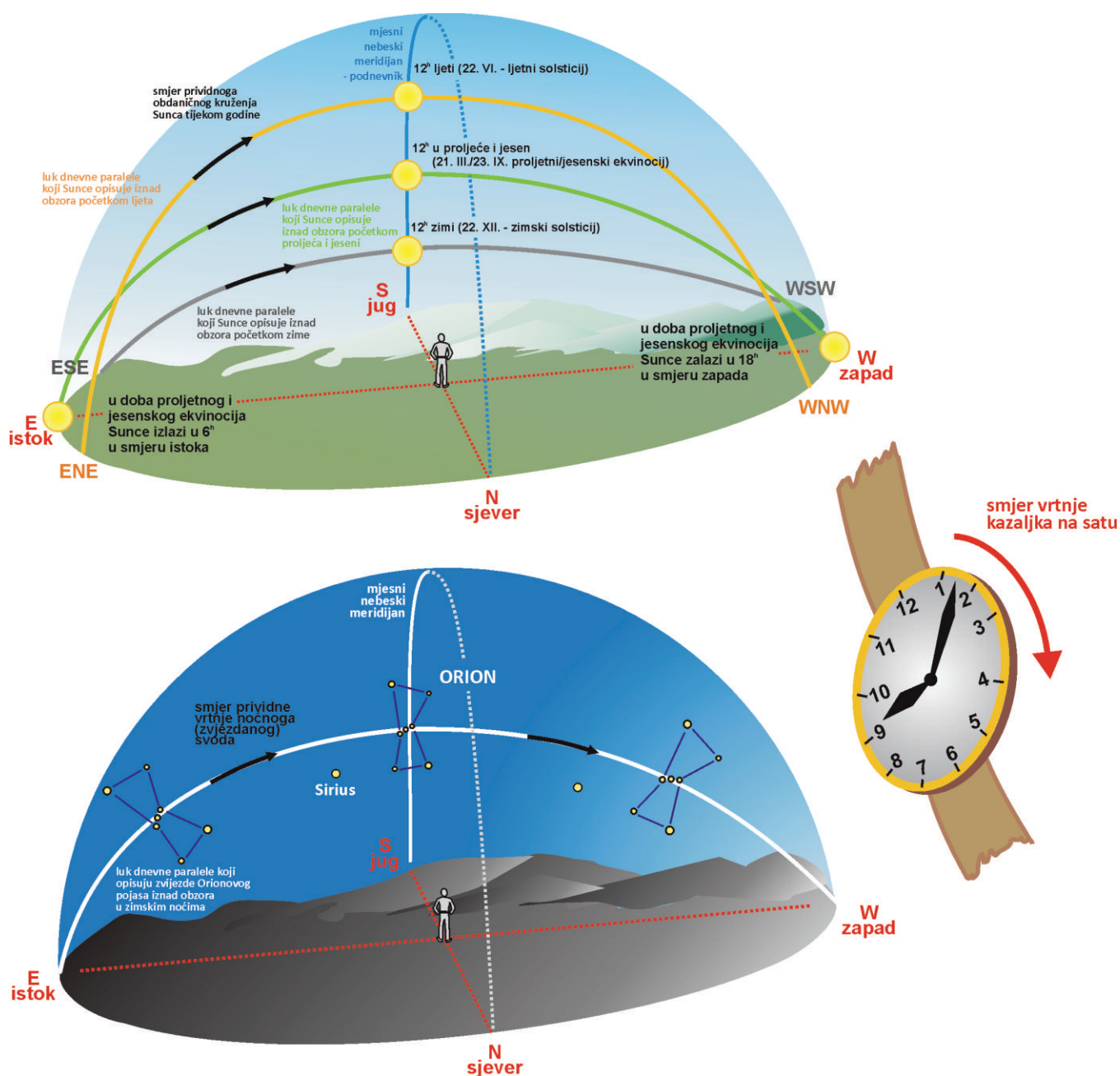
Svakodnevno smo svjedoci prividno-ga kruženja Sunca po nebeskom svodu. Ono izlazi na istoku, u podne dolazi u najvišu točku iznad obzora i na koncu zalazi na zapadu. Zvijezde, kao pričvršćene za nebeski svod, prividno se okreću zajedno s njim. Izmjenjuju se obdaniča¹ (svjetli dio dana) i noć. A tijekom godine, zbog prividnoga godišnjega gibanja Sunca, dolazi

do izmjene godišnjih doba u kojima se pojavljuju različita zviježđa. Te neposredno vidljive dnevne i godišnje izmjene posljedice su stvarnih Zemljinih gibanja - Zemljine dnevne i godišnje vrtnje (rotacije i revolucije) i nisu jednostavno protumačive bez razumijevanja Zemljinih vrtnji.

Za razumijevanje prividnoga dnevnog i godišnjega gibanja i smjera gibanja

Sunca i zvijezda (zvjezdanog svoda), vrlo je važno znati gdje smo na Zemlji na kojem geografskom položaju, odnosno znati strane svijeta. Pritom moramo voditi računa i o smjeru Zemljine rotacije i revolucije.

Kakav je dakle dnevni ili godišnji smjer Zemljine vrtnje prema smjeru vrtnje kazaljke na satu i kako ga dokazujemo?



Slika 1. Prividno obdanično kruženje Sunca i prividna vrtnja noćnoga (zvjezdanog) svoda.

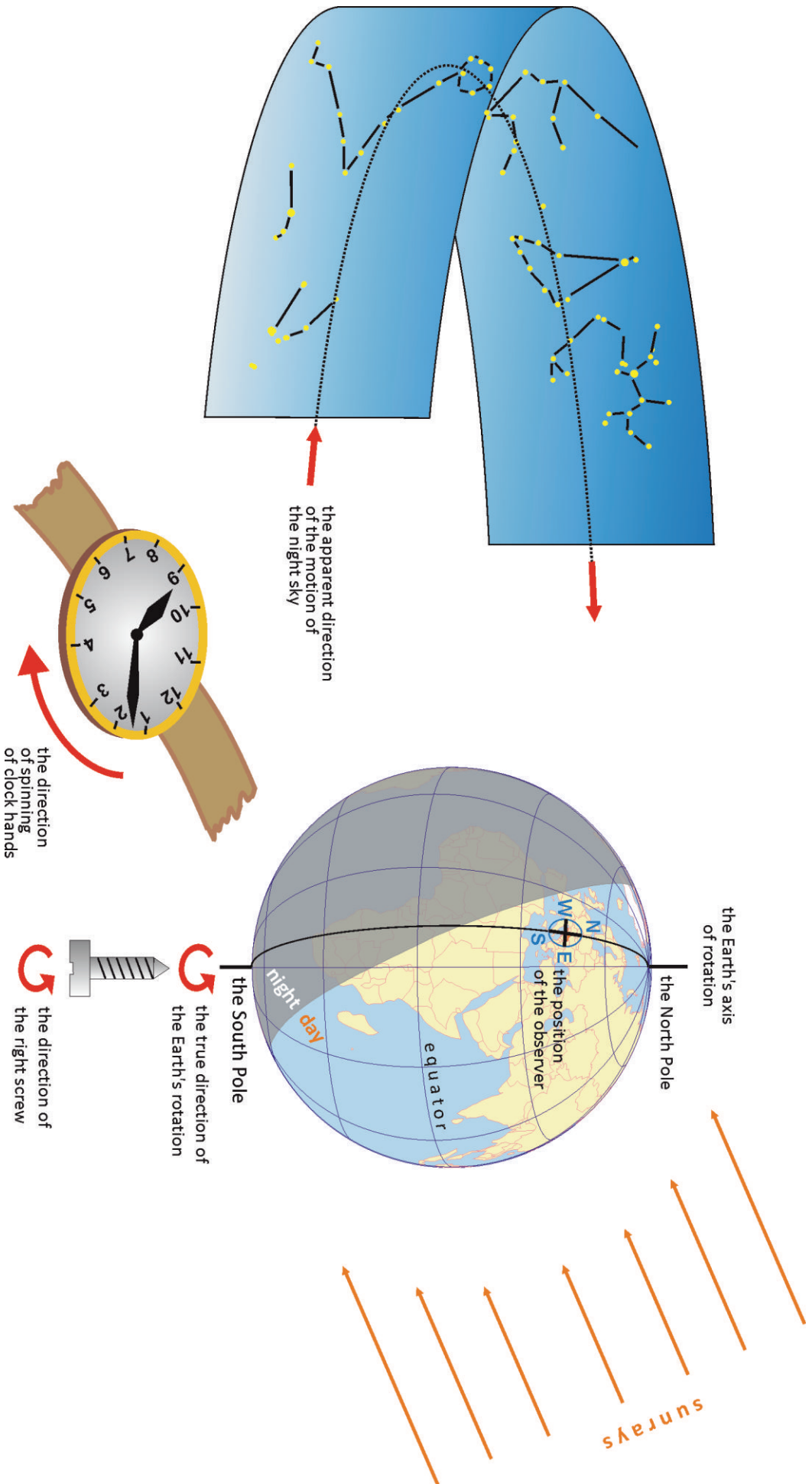
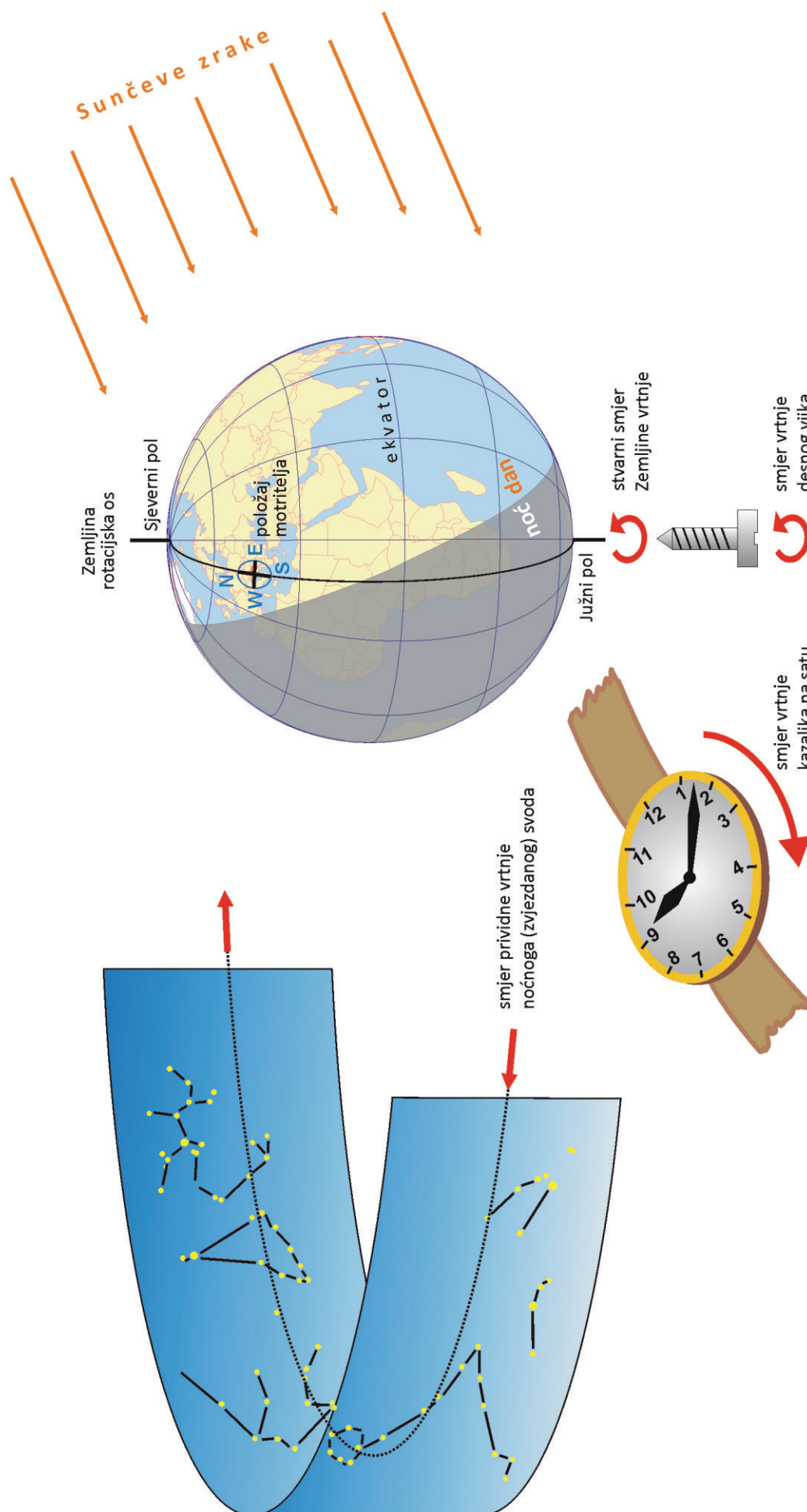


Fig. 2. True direction of the Earth's rotation, the direction of the spin of the right screw and the clock hands.



Slika 2. Stvarni smjer Zemljine rotacije, smjer vrtnje desnog vijka i kazaljka na satu.

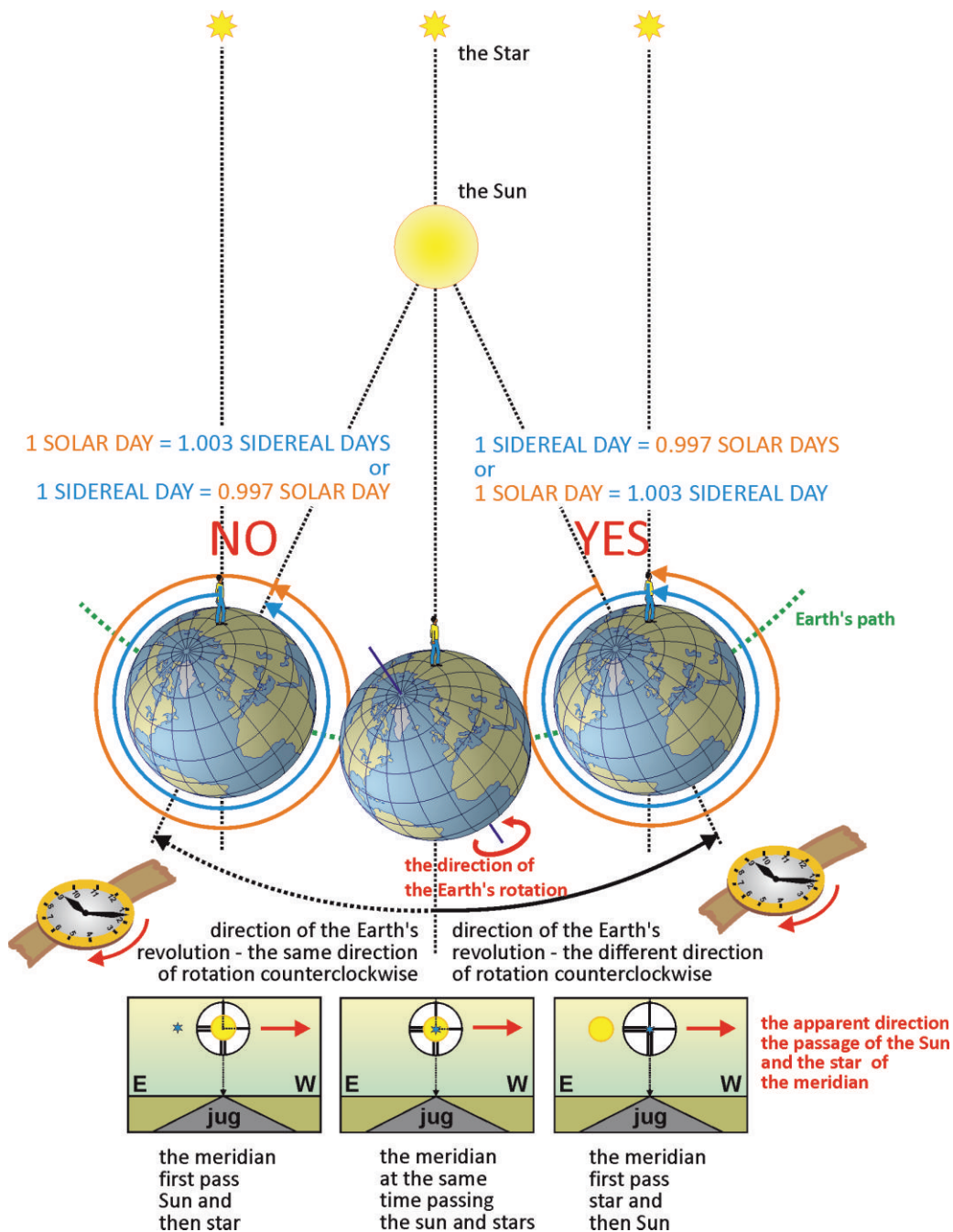


Fig. 3. Duration of solar and sidereal days and the direction of the Earth's revolution.

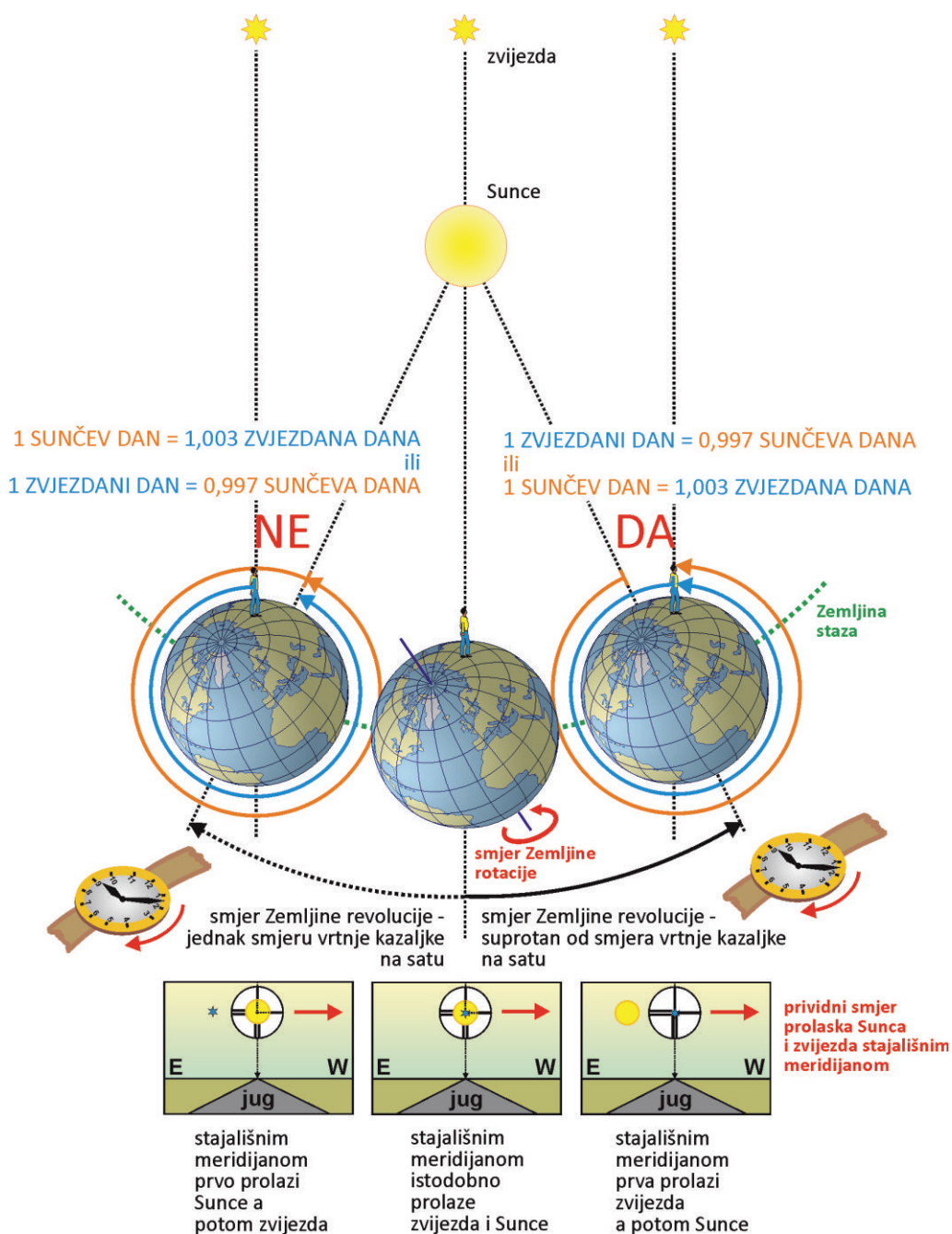
About the daily Earth's motion (rotation)

By monitoring the apparent daily motion of the Sun or the motion of the night sky and the motion of the clock hands, as viewed from the North Pole, we can notice that the direction of all motions is the same – from the east towards the west (see Figure 1).

The real direction of the Earth's rotation cannot be seen directly and cannot be understood any other way but

on the basis of the experience (after we have accepted the cardinal points and know the Earth's shape). However, the fact that the Earth rotates, as well as its direction of rotation, can be shown/ proved clearly by means of Foucault's pendulum by monitoring the phenomenon of the rotation of oscillation plane when the rotating Earth's plane "passes" beneath the pendulum. Thus, for example, at the North Pole ($\Phi \sim \pm 90^\circ$), the plane of oscillation of a pendulum is rotated equally in a

period of time (full circle in 24 hours), and at the latitude of Zagreb ($\Phi \sim 45^\circ$), the pendulum makes the full circle in about 34 hours (the rotation of the plane of oscillation is $10,6^\circ/\text{hour}$ clockwise). The pendulum describes then the "rose" of directions. At the equator ($\Phi = 0^\circ$), the plane of oscillation remains fixed. Due to the influence of the Coriolis force, the motion of the pendulum is somewhat more complex and leaves the trace of a rosette and not of a straight



Slika 3. Trajanje sunčevog i zvjezdanog dana i smjer Zemljine revolucije.

O smjeru dnevne Zemljine vrtnje (rotacije)

Praćenjem prividnog obdaničnog kruženja Sunca ili vrtnje noćnoga (zvjezdanog) svoda i vrtnje kazaljke na satu gledano sa strane Sjevernog pola možemo uočiti da je smjer svih gibanja isti – od istoka prema zapadu (vidi sliku 1).

Stvarni smjer Zemljine vrtnje ne možemo neposredno uočiti i ne možemo ga drukčije pojmiti (shvatiti smisao) nego na osnovi iskustva (nakon što

prihvatimo strane svijeta i znamo kakav je Zemljin oblik). Međutim, činjenicu da Zemlja rotira kao i njen smjer rotacije možemo zorno pokazati/dokazati Foucaultovim njihalom prateći pojavu zakretanja ravnine njihanja pri „prolazu“ rotirajuće Zemljine površine ispod njihala. Tako primjerice kod njihala na polu ($\Phi \sim \pm 90^\circ$) zakret ravnine njihanja mjenja se ravnomjerno tijekom vremena (puni krug za 24 sata) a na geografskoj širini Zagreba ($\Phi \sim 45^\circ$) njihalo napravi puni

krug za oko 34 sata (zakretanje ravnine njihanja je $10,6^\circ/\text{sat}$ u smjeru kazaljke na satu). Pritom njihalo opisuje „ružu“ pravaca. Na ekvatoru ($\Phi = 0^\circ$) nema zakretanja ravnine njihanja. Zbog utjecaja Coriolisove sile gibanje njihala je nešto složenije i ostavlja trag rozete a ne pravca. Posljedice Coriolisove sile očituju se i u globalnim strujanjima zračnih i vodenih masa. Tako je primjerice strujanje atmosferskog zraka na sjevernoj Zemljinoj polutki zakrenuto

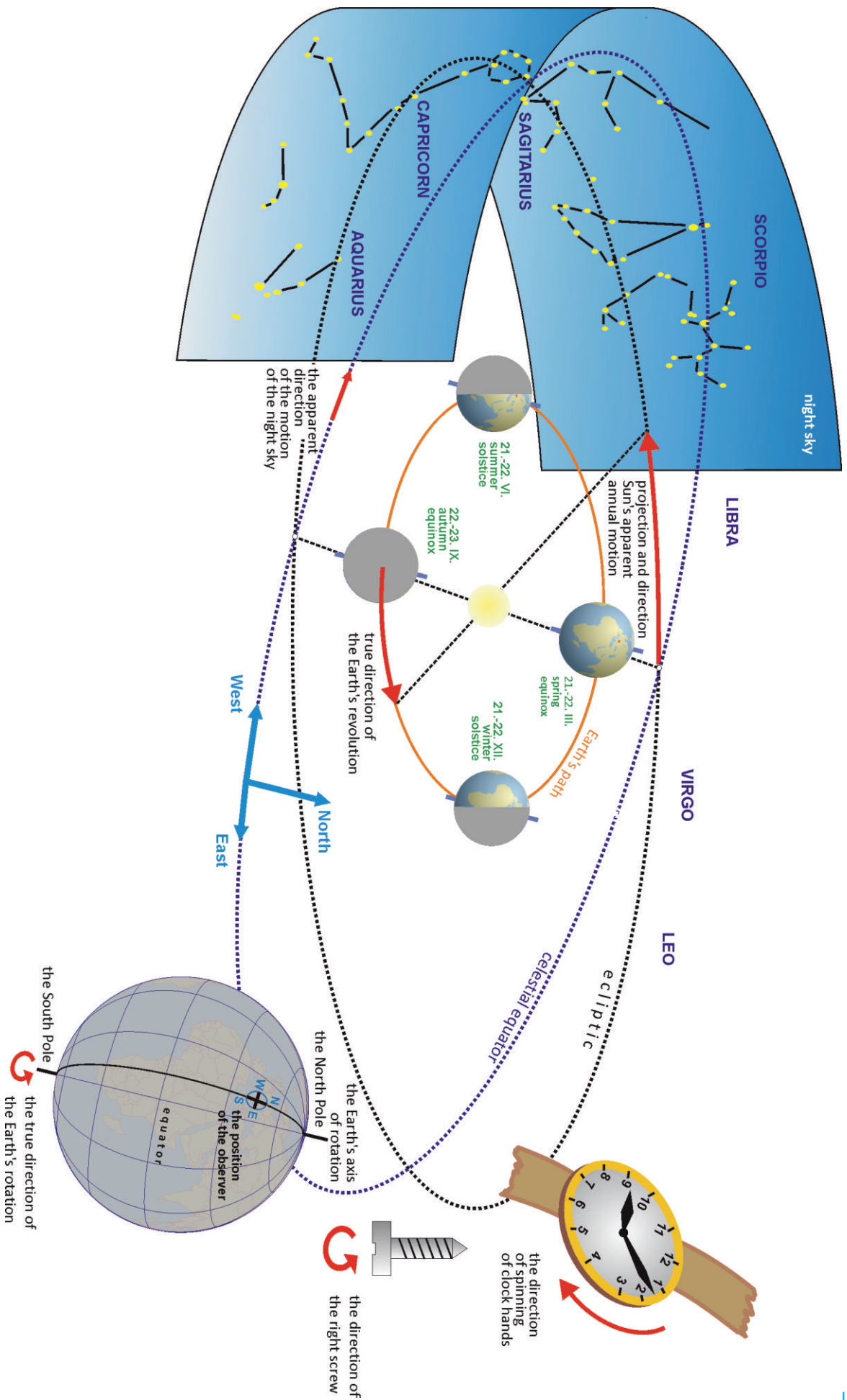
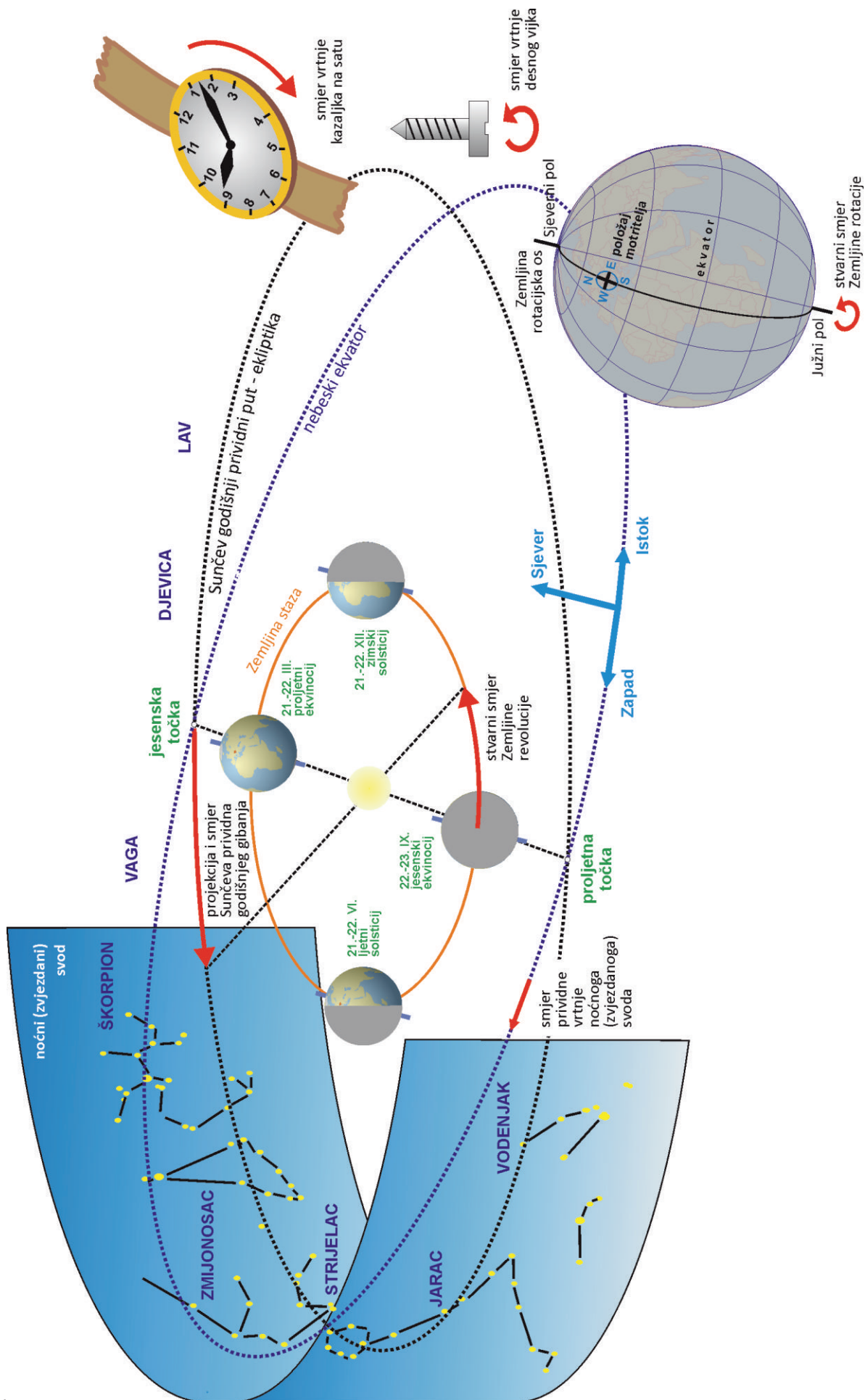


Fig. 4. Direction of the Earth's rotation and revolution.



Slika 4. Smjer Zemljine rotacije i revolucije.

line. The consequences of the Coriolis force are reflected in the global circulation of air and water masses. Thus, for example, the circulation of atmospheric air on the northern hemisphere is turned to the right as related to the direction of motion, and on the southern hemisphere to the left. The right river banks are steeper on the northern hemisphere. Some other phenomena – the deviation of the free falling bodies to the east, the flatness of the Earth, daily aberration and parallax – provide physical and astronomical proofs of the Earth's rotation.

Hence, the Earth rotates around its axis in the same direction as the right screw proceeding/starting from the South Pole (see Fig. 2). The true direction of the Earth's rotation, as viewed from the North Pole, is counter clockwise since the clock hands rotate in the direction of an apparent rotation of the Sun during the daylight or in the direction of the apparent rotation of the stars (night sky) during the night.

About the direction of the annual Earth's motion (revolution)

The direction of the Earth's annual motion (revolution) cannot be noticed directly by observing the apparent annual motion of the Sun or the annual change of night sky. The direction of the revolution can be proved indirectly by measuring the length (duration) of the sidereal day and solar day accepting thereby the astro-

nomical fact that 1 sidereal day = 0,997 of solar day, i.e. 1 solar day = 1,003 sidereal days. Hence, the sidereal day is by about 4 minutes shorter than the solar (sundial) day. The measurement of the duration of sidereal and solar days only if the direction of the Earth's revolution is counter clockwise (and normally it is) will confirm the above mentioned astronomical fact (right part of the figure 3). When the directions of the Earth's revolution and of the clock hands are the same, the previous statement is not accurate (left part of the figure 3).

Since the apparent Sun motion and the annual change of the night sky (well noticeable already after ten days) are direct astronomical consequences of the Earth's revolution, the direction of the Earth's revolution can be explained by the annual apparent motion of the Sun among the stars. This apparent motion is an optical illusion appearing when observing the Sun from the Earth that actually turns around the Sun.

Thus, the Sun apparently moves among the stars that we do not see because they are on the daytime side of the sky, and we also do not see the Sun's "journey" (relative motion) among the stars. The stars change every night on the night sky, and also the visible area of the night sky is changed. Unable to observe the apparent motion of the Sun among the stars, we project it into some area of the sky (the connection line drawn from the Earth to the Sun towards

the sky). Thus, for example, the Sun is in the constellation Virgo on the 23. September, and in the constellation Sagittarius on the 21. December (see Fig. 4). The Sun "travels" apparently among the Zodiac constellations (the circle of animals) in the direction of right screw motion following the path called ecliptic. Its apparent motion on the ecliptic is due from the west to the east, contrary to the direction of the daily sky motion.

Since the connection line from the Sun to the Earth turn to the east, a new star area will rise in the eastern horizon. Hence, the annual apparent sky motion is due from the east to the west, as well as the daily apparent motion of the sky, and contrary to the annual apparent motion of the Sun among the stars.

If we accept the fact that the Earth turns (rotates) around its axis counter clockwise as viewed from the North Pole, from the west to the east (after we have accepted the cardinal points) and on the basis of the above mentioned – that the Sun moves apparently among the stars from the west to the east – we can conclude that the Earth circles around the Sun (revolution²) from the west to the east, counter clockwise.

Hence, the direction of the Earth's revolution is the same the direction of the Earth's rotation or as the direction of the right screw advancing from the South Pole to the North Pole and counter clockwise.

Drago Špoljarić ■

¹ According to the civil (calendar) definition, a day is an interval equal to 24 hours that principally correspond to the time needed by the Earth to turn around its axis. In everyday language, the term day usually implies the time from the sun rise to the sun set that is also called daytime. Hence, in this text day refers to the duration of the Earth's rotation (24 hours), and daytime refers to the interval between the sun rise and the sun set. The length of the daytime depends on the arc length of the daily parallel that the Sun describes above the horizon. On the northern hemisphere, the arc is the longest at the beginning of summer (summer solstice), and the shortest at the beginning of winter (winter solstice) (see Fig. 1). Only two

times a year (at the beginning of spring and fall, spring equinox and fall equinox) the daytime arc and night arc are equally long, i.e. the daytime and the night last equally long – 12 hours.

² We prove the Earth's revolution also with astronomical phenomena like annual (star) parallax and aberration. Generally speaking, the parallax is the change of the direction/line to some celestial body (by changing its position) caused by the change of the observer's position. Due to the Earth's annual motion (revolution), the direction to the stars is also changed, i.e. the position of stars on the sky is apparently changed, and it is called star (annual) parallax. In this situation, the stars

make the apparent annual path on the sky that can be a straight line, depending on the star, almost circular or elliptical (parallactic ellipse). The star parallax can be noticed with a few stars close to us. Their parallax has provided the first accurate measurements of their distance. The appearance of light aberration is caused by the observer's movement with the speed of movement not being negligibly small as related to the speed of light. Speaking of the Earth's annual movement, we speak about the star annual aberration, and speed of observer implies the speed of the Earth's revolution. In case of aberration, there is also the change of direction towards the celestial body occurring, and indirectly also the change of position.

udesno u odnosu na smjer gibanja a na južnoj ulijevo. Dok su desne obala rijeka strmije na sj. polutki. I neke druge pojave – otklon prema istoku tijela koje slobodno pada, Zemljina spljoštenost, dnevna aberacija i paralaksa – pružaju fizičke i astronomske dokaze Zemljine rotacije.

Zemlja, dakle, rotira oko svoje osi u istom smjeru kao desni vijak koji napreduje/polazi od Južnog prema Sjevernom polu (vidi sliku 2). Stvarni smjer Zemljine rotacije, gledano sa strane Sjevernoga Zemljinog pola, suprotan je vrtnji kazaljka na satu koje se vrte u smjeru prividnog kruženja Sunca tijekom obdanice ili u smjeru prividne rotacije zvijezda (zvjezdanog svoda) tijekom noći.

O smjeru godišnje Zemljine vrtnje (revolucije)

Smjer Zemljinoga godišnjeg gibanja (revolucije) ne možemo neposredno uočiti praćenjem prividnoga godišnjeg gibanja Sunca ili godišnje promjene noćnoga (zvjezdanog) neba. Smjer revolucije posredno dokazujemo iz mjerenja duljine (trajanja) zvjezdanog i sunčevog dana, a da pritom prihvatimo astronomsku činjenicu da je 1 zvjezdani dan = 0,997 sunčeva dana odnosno 1 sunčev dan = 1,003 zvjezdana dana. Dakle, zvjezdani (siderički) dan je za oko

4 minute kraći od Sunčevog (sinodičkog) dana. Mjerenjem duljine zvjezdanog i sunčevog dana samo u slučaju kad je smjer Zemljine revolucije suprotan od smjera kazaljka na satu (kakav u naravi i jest) potvrdit ćemo gore spomenutu astronomsku činjenicu (desni dio slike 3). U slučaju da su smjerovi Zemljine revolucije i kazaljke na satu isti prethodna tvrdnja nije točna (lijevi dio slike 3).

Kako su neposredne astronomske posljedice Zemljine revolucije godišnje prividno gibanje Sunca i godišnja promjena noćnoga neba (dobro uočljiva već nakon desetak dana) smjer Zemljine revolucije možemo protumačiti godišnjim prividnim gibanjem Sunca među zvijezdama. To je prividno gibanje optička varka, nastala motrenjem Sunca sa Zemlje koja zapravo kruži oko Sunca.

Sunce se, dakle, prividno giba među zvijezdama koje ne vidimo jer se nalaze na obdaničnoj strani nebeskoga svoda a ne uočavamo ni Sunčevo „putovanje“ (relativno pomicanje) među zvijezdama. Na noćnoj strani neba, iz noći u noć, zvijezde se stalno smjenjuju a mijenja se i vidljivo područje noćnoga neba. U nemogućnosti praćenja prividnoga gibanja Sunca među zvijezdama projiciramo ga u neko područje neba (spojnica povučna od Zemlje do Sunca prema nebeskom svodu). Tako je, primjerice, 23. rujna Sunce u zvijezdu Djevice a 21.

prosinca u Strijelcu (vidi sliku 4). Sunce, dakle, prividno „putuje“ među zvijezdama zodijaka (životinjskog pojasa) u smjeru vrtnje desnog vijka po putu koji nazivamo ekliptika. Njegovo prividno gibanje po ekliptici odvija se od zapada prema istoku, suprotno od smjera dnevnoga gibanja nebeskog svoda.

Kako se spojnica od Sunca do Zemlje zakreće na istok, novo će nam zvjezdano područje izlaziti na istočnom obzoru. Prema tome, godišnja prividna vrtnja neba odvija se od istoka prema zapadu, isto kao i dnevna prividna vrtnja neba a suprotno od godišnjega prividnog gibanja Sunca među zvijezdama.

Prihvatimo li da se Zemlja vrtila (rotira) oko osi u smjeru suprotnom od kazaljki na satu gledano sa strane Sjevernog pola, u smjeru od zapada prema istoku (nakon što prihvatimo strane svijeta) i na temelju prethodnog - da se Sunce prividno giba među zvijezdama od zapada prema istoku - možemo zaključiti da Zemlja kruži oko Sunca (revolucija²) od zapada prema istoku, suprotno od smjera gibanja kazaljka na satu.

Prema tome, smjer Zemljine revolucije isti je kao i smjer Zemljine rotacije ili kao smjer desnog vijka koji napreduje od Južnog prema Sjevernom polu a suprotan od smjera kazaljka na satu.

Drago Špoljarić ■

¹ Prema građanskoj (kalendarskoj) definiciji dan je vremenski period od 24 sata što načelno odgovara vremenu potrebnom da se Zemlja okrene oko svoje osi. U svakodnevnom govoru pod pojmom dan često podrazumijevamo njegov svjetli dio, vrijeme od izlaska do zalaska Sunca nazivano i obdanica. Prema tome, u ovom tekstu dan označava vrijeme Zemljine rotacije (24 sata) a obdanica vrijeme između izlaska i zalaska Sunca. Trajanje obdanice ovisi o dužini luka dnevne paralele što ga Sunce opiše iznad obzora. Na sjevernoj je polutki luk najduži početkom ljeta (ljetni solsticij/suncostaj) a najkraći početkom zime (zimski solsticij) (vidi sliku 1). Samo dva puta godišnje (početkom proljeća i jeseni, proljetni i jesenski ekvi-

nocij/ravnodnevnica premda bi bilo korektnije prevoditi ravnonoćje) obdanični je luk jednako dug kao i noćni a obdanica i noć jednako traju – 12 sati.

² Zemljinu revoluciju dokazujemo i astronomskim pojavama kao što su godišnja (zvjezdana) paralaksa i aberacija. Općenito, paralaksu nazivamo promjenom smjera/pravca prema nekom nebeskom tijelu (promjenom njegova položaja) uzrokovanoj promjenom položaja motritelja. Zbog Zemljina godišnjeg gibanja (revolucije) mijenja se smjer prema zvijezdama odnosno dolazi do prividne promjene položaja zvijezda na nebeskom svodu koju nazivamo zvjezdana (godišnja) paralaksa. Pritom zvijezde

opisuje na nebeskom svodu prividni godišnju stazu, koja, u ovisnosti o zvijezdi, može biti ravna crta, gotovo kružna ili eliptična (paralaktička elipsa). Zvjezdanoj paralaksu možemo uočiti kod malobrojnih nama bliskih zvijezda čija je paralaksa omogućila prva točna mjerenja njihovih udaljenosti. Pojava aberacije svjetlosti nastaje zbog motriteljeva gibanja a da pritom brzina gibanja nije zanemarivo mala u odnosu na brzinu svjetlosti. Kad je riječ o Zemljinom godišnjem gibanju govorimo o zvjezdanoj godišnjoj aberaciji a pod brzinom motritelja podrazumijevamo brzinu Zemljine revolucije. I kod aberacije dolazi do promjene smjera prema nebeskom tijelu a posredno i promjene položaja.