

Original scientific paper

UDC: 529.78.004 Danić, Radovan, 1893-1979
<https://doi.org/10.2298/GSGD2001073T>

Received: February 17, 2020

Corrected: March 14, 2020

Accepted: April 06, 2020

Milutin Tadić*, Zorica Prnjat¹*

** University of Belgrade, Faculty of Geography, Serbia*

SELF-ORIENTING ARMILLARY DIAL OF THE PROFESSOR RADOVAN DANIĆ

Abstract: Prof. Radovan Danić, PhD (1893–1979), an honorary lifetime President of the Astronomical Society Ruđer Bošković in Belgrade, owned a brass universal equinoctial ring sundial (98 mm in diameter), preserved by his descendants, who continued his work on popularizing astronomy through the activities of the society. The sundial (ring dial) was measured, tested and compared to similar portable sundials (pocket sundials) exhibited in various European museums. In the classification scheme, along with the Parmenion's and astronomical rings, it belongs to a group of pocket armillary sundials that do not require a compass. More precisely, it is a self-orienting armillary sundial whose rings are located under the circles of the celestial sphere of the same name at the moment of measurement. Therefore, when the apparent solar time is known, it turns into a solar compass. A corresponding sundial on the horizon to the self-orienting armillary sundial is the analemmatic sundial.

The construction of a self-orienting armillary sundial was first described in the late 16th century by the English mathematician William Oughtred (1574-1660). In collaboration with the gnomonists from England and Austria, we determined where and when Professor Danić's sundial was constructed: Vienna, second quarter of the 18th century. Originally, the sundial was adjusted for the latitude of Belgrade or Zemun (nowadays, a Belgrade municipality), which were under the Austrian rule for a long time during the 18th century. It is a beautiful, well-crafted, well-preserved, expensive sundial and astronomical instrument that should be kept in a museum, in the first place in the Museum of Astronomy of the Astronomical Observatory in Belgrade.

Key words: portable sundial, universal equinoctial ring dial, armillary sundial, mathematical geography

¹ zorica.prnjat@gmail.com (corresponding author)

Introduction

Prof. Radovan Danić, PhD (1893–1979), a military surgeon and honorary lifetime President of the Astronomical Society Ruđer Bošković (ASRB), owned a valuable (Cowham, 1998) pocket sundial (Fig. 1) which he handed over to his friend, astronomer Petar Đurković (1908–1981), at some point. Đurković had introduced Danić to astronomy while they were detained in a German concentration camp during World War II (Dimitrijević, 2007). Then, Đurković passed the sundial to his colleague Aleksandar Kubičela, PhD (1930-2017), and in 2015, Kubičela gave it to Nataša Stanić, PhD. All previously mentioned "guardians of the sundial" were connected through friendship and desire to popularize astronomy, that is, the Astronomical Society Ruđer Bošković in Belgrade in which they were active. Radovan Danić was the President of the ASRB (1951-1966), also Petar Đurković (1970-1972), Aleksandar Kubičela was an associate of the society, and Nataša Stanić was the Director of the Observatory of the ASRB (2004-2009).

Portable sundials have existed since the Greco-Roman times, so there is extensive literature on them, but not in the Serbian language. To the best of our knowledge, there is only one paper in Serbian dedicated solely to pocket/travel sundials. It was written by the art historian Verena Han (1966), who described 16 specimens from the collection of the Museum of Applied Art in Belgrade, out of a total of 65 that she knew were kept in various museum and private collections in the former SFRY. Among the specimens she studied from the point of view of her profession there was no Prof. Danić's sundial, or any other sundial of this type, known in the literature under different names: Universal equatorial ring dial, Universal ring dial, General horological ring, and most often Universal equinoctial ring dial (hereinafter, UERD).



Fig. 1. The UERD of Professor Danić: the dial's face – the side with the latitude scale (left) and the back of the dial (right)

The precursor to the UERD is one of a total of six structural forms of Greco-Roman travel sundials, called "prosta istoroumena", whose invention Vitruvius attributes to Parmenion (probably an architect from the time of Alexander the Great). One such sundial was found in the town of Philippi in northeast Greece (Eastern Macedonia) (Talbert, 2017). The sundial of this type could be used in several "historic" places marked

on it and cannot be called universal in the true sense of the word. The universal three-ring type, known by the following names (Astronomical rings, Annulus astronomicus, "Gemma's rings", Astronomical ring dial – hereinafter referred to as ARD), evolved to its final form in the 16th century when it got the shape of the Prof. Danić's sundial. Its structure was first described by Gemma Frisius in 1530's (Daniel, 1992). Its final shape with two rings (as is Danić's) was elaborated by the English mathematician William Oughtred (1574-1660) in a paper that "he had written (as he says) when he was twenty-three" (Cajori, 1915). All three of these similar construction designs, Parmenion's, ARD and UERD (Fig. 4), consist of rings that can be folded into one plane, and can be used in more places.

Universal ring sundials have been known since the ancient times so there are no particular questions regarding the way Danić's sundial works, except perhaps the formal question: Does it show correct time? Although the structure of the UERD was described in detail long ago (Wynne, 1709), its relation to the structural forms that preceded it needs to be explained, that is, the answer to the question – Where is the place of the UERD in the classification scheme of sundials? Danić's sundial does not indicate the year it was made in; there is no name or initials of the craftsman, or his sign, so new questions arise – When (year, century) and where (country, city, workshop) was it made in, and where was it purchased?

Judging by the style of the craftsmanship and the fact that all equatorial sundials from the collection of the Museum of Applied Art in Belgrade were made in the 18th century in Augsburg workshops (Han, 1966), it can be assumed that Radovan Danić's sundial was made in the same century. It probably originated in Austria, which in the 18th century ruled a part of the present-day Serbia, north of the Sava and Danube rivers, and on two occasions, the city of Belgrade itself after taking it over from the Turks (1717–1739, 1789–1791). Considering the astronomical content, precision and beauty of the craftsmanship, one can only assume that it is accurate. Disassembled, it looks like a mini version of an armillary sundial.

Research methods and results

The path to answering these questions consisted of three phases: 1) studying the history of the Astronomical Society Ruđer Bošković and biographies of the members of the society who treasured Danić's sundial; 2) measuring components, studying the structure of the sundial and testing its usability; 3) comparing the sundial with similar or identical structural forms kept in the collections of European museums.

There is an abundance of sources on the history of Astronomical Society Ruđer Bošković and the sundial itself, thanks to the kindness of Nataša Stanić, PhD, was at our disposal long enough in order to be measured and tested. Thus, it was not difficult to solve the first two tasks. The third was more difficult due to the fact that we were not able to study and compare directly the old portable sundials exhibited in the collections of European museums. That is why the information and insights were obtained from and exchanged through email correspondence with gnomonists, specialists in portable sundials, gathered around the journal of the British Sundial Society – "BSS Bulletin" (Peter Ransom, Mike Cowham, John Davis), and the journal of the Sundial Working

Group of the Austrian Astronomical Society – "Rundschreiben" (Ilse Fabian, Peter Husty).

The sundial's origin

Analyzing the photograph of the sundial in general, and in particular the shape of the figures, J. Davis concluded: "it is most likely to come from a Germanic country, most probably from the 18th century" (personal communication, August 6, 2015). P. Husty kindly replied that there was no similar specimen in the collection of the Salzburg Museum. He added "I could imagine because of the decoration it could be from the period 1730-1750" (personal communication, January 9, 2017). Without sparing time, I. Fabian joined the search for the sundial and browsed museum catalogs. She first found a very similar specimen in the catalog of the Styria State Museum in Graz (Stolberg & Marko, 1989) and then an identical specimen in the catalog of the Przypkowski Clock Museum in the Polish town of Jędrzejów (Zaczkowski, 2013). The first catalog dates the sundial back to "after 1700", while the second records the century and the city, "Vienna, the 18th century". Thanks to the exchange of information between the previously mentioned gnomonists, it can be concluded that the sundial of Prof. Danić was made in Vienna in the second quarter of the 18th century. Neither the name of the craftsman nor the name of the workshop was engraved on any of the three sundials.

It is not known where, when and from whom Prof. Danić purchased or got the sundial. Prof. Danić studied medicine in Germany and Switzerland (Munich, Berne) but it is unlikely that he got it there. The cursor of the latitude of the sundial is adjusted for the latitude of Belgrade, with no trace of any move on the latitude scale, which means that the sundial was made in Vienna on the order of someone who lived or resided in Belgrade for a long time in the 18th century. The period of Austrian rule (1717-1739) was characterized by the first geodetic surveys of Belgrade and the reconstruction of the Belgrade Fortress, which were complex activities demanding experts of different profiles to be hired (Diklić, 2014). They may have needed an accurate sundial. It is also possible that the sundial was commissioned by one of the inhabitants of Zemun, then a border town and now an integral part of Belgrade, which was part of the Austrian empire from 1718 until the end of the First World War.

The sundial's construction, the principle and accuracy

The sundial of Prof. Danić is made of brass with engraved and colored parts, precisely crafted and well-preserved, fully functional (Fig. 2). It consists of a base ring (meridian ring) with a diameter of 98 mm (width 7 mm), an inner ring (equinoctial/equatorial ring) wide 4.2 mm, and a central symmetrical declination screen, the bridge, whose base is a square of 48 mm x 48 mm. The screen's two ends rest on the bearings (the polar points of the meridian ring) that allow it to rotate around the longitudinal symmetrical line that represents the polar axis of the sundial – the polar axis of the equatorial ring.

A scale showing northern latitudes from 0 to 90° is engraved on one quadrant of the meridian ring. Degrees are marked with dots, every fifth degree with a hyphen, and every tenth with a dash. A proper number is engraved with every tenth degree, with 0 and 90° the number is omitted. The 90° section is covered by the north bearing's holder around which the bridge rotates. The point where the 90° section intersects with the inner edge of

the meridian ring presents the north pole of the sundial. An integral part of the sundial is a small hanging ring whose cursor is positioned at the appropriate location of the latitude scale. On Radovan Danić's sundial, the cursor is fixed at $44^{\circ} 35'$ latitude (Fig. 1, left).

On the folded sundial, from the direction of the extended zero section of the latitude scale, on the outside of the equatorial ring an hour scale in Roman numerals is engraved twice, from I to XII. A comparative hour scale is engraved on the inside of the equatorial ring: full hours are indicated by dashes, half hours by hyphens, and quarters by dots.

A square scale (34×34 mm) is engraved on each side of the bridge, for the first and second half of the year. Both scales are two-part, separated by a slit 5 mm wide.

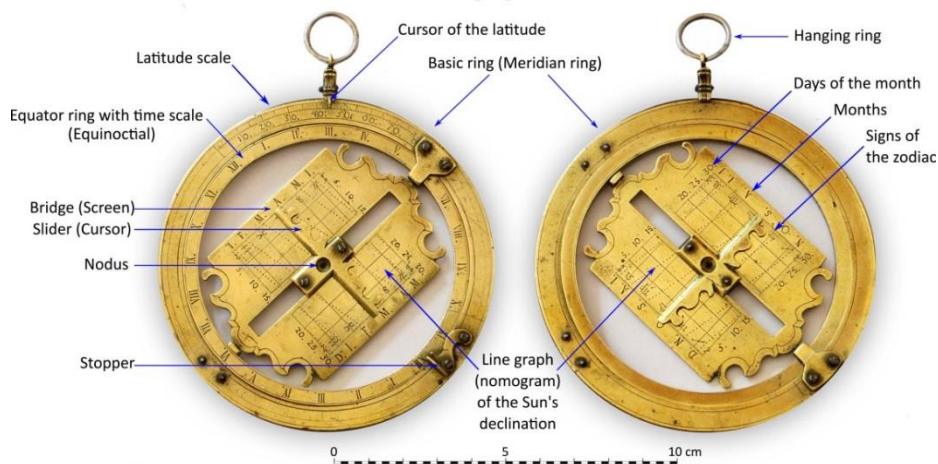


Fig. 2. The face and the back of the folded Prof. Danić's sundial with its components marked

The rectangular grid consists of seven horizontal and seven vertical lines, with one vertical line repeated on either side of the center slit. The horizontal lines connect every 21st day in the month, that is, limit the time intervals during which the sun apparently resides in the respective signs of the zodiac. The distance of the horizontal (zodiac) lines from the equinoctial line is calculated by the formula $d = r \cdot \operatorname{tg} \delta$, in which r is the radius of the equatorial ring, and δ is the Sun's declination. On both ends of these lines, the corresponding traditional symbols of the zodiac signs are engraved and, with them, the first letters of the Latin names of the respective months. The vertical lines are engraved for every fifth day of the month and are marked with Arabic numerals at each end (5, 10, 15, 20, 25). The dotted transversal line shows the change in the Sun's declination during the year (from -23.5° to $+23.5^{\circ}$). Based on the intersection of this line and the equinoctial (♌-♌ , ♎-♎) and solstitial lines (♊-♊ , ♏-♏), it is clear that this is a Gregorian calendar. Taken as a whole, the square scale represents the transversal line graph, the nomogram, of the Sun's declination. The bridge lies in a "sandwich" of the double slider that can be moved along the center slit. The slider is two-winged, flat on its measuring side and twisted on the other side. In the middle of the pointer there is a hole, a nodus.

The UERD measurement process consists of three steps:

1) While the sundial is still folded, the slider is adjusted so that its straight edge on the nomogram shows the Sun's declination value on a particular day, that is, it is adjusted

so that the edge passes through the intersection of the dotted line of the scale with the day line of a particular month. As the day lines are engraved only for every fifth day, an approximate estimate is made for the other days. In Fig. 3, for example, the cursor position corresponds to February 13 ($\delta = 13^\circ$).

2) The UERD is unfolded, which means that the equatorial ring opens to be at right angle to the plane of the meridian ring. This is easy to achieve because there is a stopper on the meridian ring that halts the equatorial ring in that position.

3) The UERD is allowed to hang freely and is held directly by the hanging ring or the thread attached to the ring.

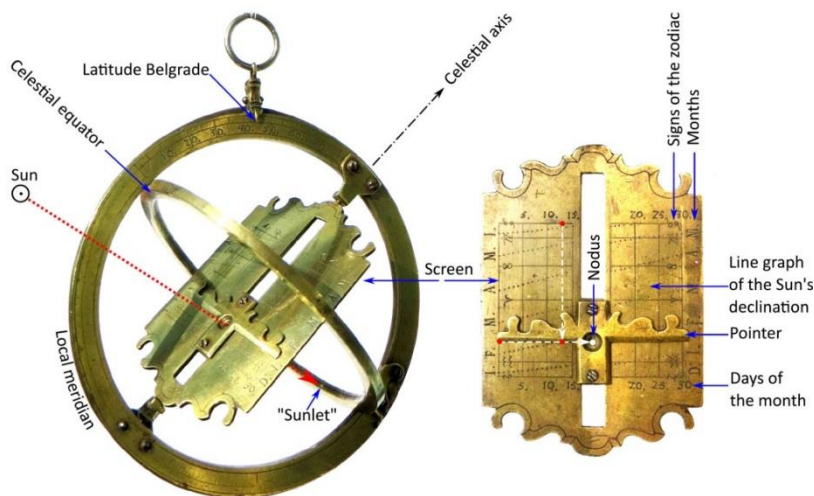


Fig. 3. Prof. Danić's sundial when unfolded (measuring time) on February 13

A person measuring time gently rotates the UERD around its vertical with one hand, and carefully moves the screen with the other hand, until the light spot, the sunlet, (Prnjat & Tadić, 2018), created by a narrow beam of sunlight going through the nodus, falls to the inside of the equatorial ring. The apparent solar time is read by the position of the sunlet on the time scale engraved on that side of the ring. By testing Prof. Danić's sundial we came to conclusion that the apparent solar time can be determined with the accuracy of within a few minutes.

In the working position, the meridian ring is in the plane of the local meridian, the equatorial ring is in the celestial equator, and the sundial's axis in the celestial axis (parallel to the Earth's rotational axis), that is, at the time of reading, under each celestial circle the corresponding sundial ring lies: the UERD is being oriented, or more precisely, self-oriented.

The UERD is universal not only because it can be used at any latitude, but also because the measurement of daylight hours of apparent solar time is not its only purpose. In addition to determining the meridian line based on the known daylight hour, the UERD can be used to determine the Sun's declination for a given date, and then on the basis of the declination, the noon solar altitude of the place. In the case of sundials with

more complex scales, the length of the daylight and the times of sunrise and sunset can be determined as well. The sundial's practical performance was described in detail by Wynne, long ago, in 1709. The UERD can therefore be used for astronomical purposes, which is why its precursor had been called Astronomical Rings (AR).

The position of the UERD in the classification scheme of sundials

The AR consists of three rings, three materialized rings of the celestial sphere – equatorial, meridian and declinational ring. When it is unfolded, the meridian and equatorial rings position themselves at a right angle, whereas the third ring, declinational, can freely be rotated around the polar axis. In the case of the AR, the declinational ring has two movable visors that are positioned in accordance with the Sun's declination or a particular day of the year, and thus the active visor (nodus) comes in a position that has the Sun on the declinational ring at that moment. When the rotated sundial captures the sunlet on the AR, at the moment of measurement, it represents a faithful, oriented, reduced model of the celestial sphere, that is, an oriented, reduced armillary sphere. In the UERD, the third ring is replaced by a bridge which, when the measurement takes place, is not brought into the plane of the declinational ring of the Sun, but is placed at approximately right angle to it. At the time of measurement, the nodus is not on the declinational ring as in the AR, but rather on the bridge, where it is "burned through" by the beam of sunlight falling on the equatorial ring. By omitting the third ring, the sundial is simplified in both structural and functional terms.

According to the position of the dial's plane, the UERD belongs to equatorial or equinoctial sundials. In the elemental form of the equatorial sundial, a rod placed in the celestial axis casts a shadow whose direction indicates the daylight hours on a plane lying in the plane of the celestial equator (inclined toward the horizon plane for the angle complementary to the latitude of a particular place). Despite its simplicity, there were no equatorial sundials in ancient times, because this structural solution was not useful for the temporal hour system of that time: in that system, the temporal lines in the celestial sphere do not have a common axis in which the gnomon would be placed, as in the case of an equinoctial system that was introduced at the end of the Middle Ages, after the invention and spread of mechanical clocks. Because the Sun is "above" the equatorial plane in the summer half of the year, and "below" in the winter half, the equatorial sundial with a flat base must have two dials, the summer and the winter dial. In order to prevent the observer from bending below the plane of the dial during the winter half of the year, the flat base was replaced by an equatorial ring (by the whole ring or by the arc corresponding to the longest daylight period), on whose inside the dial with marks on every 15° was engraved. The equatorial ring was divided into equal sections, the rod pointed to the North Star, the meridian ring or half-ring held the rod – it could not be simpler.

This form of the sundial was called the armillary sundial because it is, in fact, the reduced armillary sphere whose invention Hipparchus attributes to Eratosthenes. In the true sense of the word, the armillary sphere is the metal "skeleton" of the model of the celestial sphere, composed of the celestial axis and several major rings: the equator, meridians, ecliptic, celestial tropics, equinox declination ring and the horizon (Fig. 4). It is the celestial axis and the first two of these rings that form the structure of an armillary sundial.

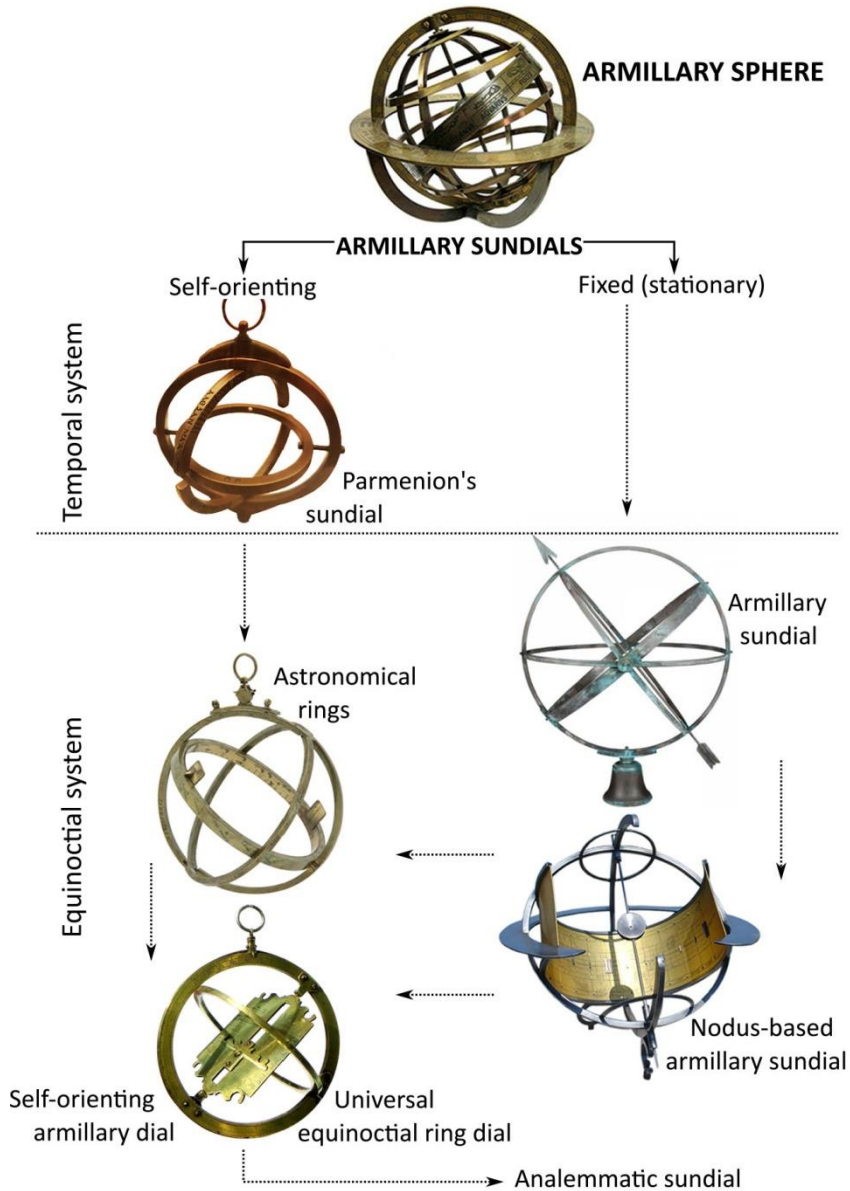


Fig. 4. The place of the UERD in the armillary section of the classification scheme of sundials

In the more complex form of an armillary sundial, the polos is replaced by a small ball in the centre of the imagined armillary sphere, and the equatorial ring by a materialized tropical belt that "hunts" all the shadows cast by the small ball throughout the year. On the scale marked on the inside of the tropical belt, the shadow of the small ball can show not only the daylight hours and dates, but also the declination of the Sun,

the position of the Sun in the zodiac, the height of the Sun, the length of the daylight, and the equation of time (Tadić, 2002). The small ball can be replaced by a disc with a hole in the middle, a nodus (the "eye" of the sundial) through which a narrow beam of sun rays passes, and on a tropical screen creates a sunlet, whose position allows for a more accurate reading of the daylight hours and other previously mentioned contents.

If the sundial had only the equatorial ring, then the sunlet would fall on it during equinoxes, and on other days it would miss it. If, however, the equatorial ring were replaced by a tropical belt, then the portable sundial could not be folded into a single plane. The problem was solved by moving the nodus along the celestial axis of the armillary sundial in accordance with the Sun's declination, so that the sunlet always falls on the inside of the equatorial ring (Fig. 3). Technically, this was done by replacing the third ring with a rectangular declination screen, the bridge, with an engraved scale over which the slider moves in order to adjust a position in accordance with the Sun's declination, which, as we have already stated, had been first devised by W. Oughtred. That is how the UERD, the universal foldable portable sundial, was invented, which "proved to be a useful and popular instrument with mariners for some two hundred years" (Daniel, 1992). Analemmatic sundials are based on the same principle and can be conditionally considered as the projection of the UERD on a horizontal plane.

Discussion

The full name of the Oughtred's sundial is: universal equinoctial ring sundial. It is called "ring" because it consists of rings, "equinoctial" because it belongs, generally speaking, to equatorial sundials (equinoctial is another name for celestial equator), and "universal" because it can be used at any latitude. In an effort to name the sundial unambiguously, and to distinguish it from the other types of sundials whose names contain the previously mentioned notions, a rather long name has been adopted. The name "Self-orienting armillary sundial" (Needham, 1965) can be found in gnomonic literature. This term better indicates the essence of this type of sundial, because the term "armillary" includes three terms: "ring", "equinoctial/equatorial" and "universal". An armillary sundial consists of rings, whereas its dial is placed on the equatorial ring and the sundial can be used at any latitude without the need to adjust its structure. It is enough to place the sundial's axis (polos) toward the celestial axis. The definition "self-orienting" is necessary in order to highlight that it is a portable sundial and to distinguish it from the "ordinary", stationary, armillary dial that cannot be used before it is directed toward the north.

Conclusion

Prof. Danić's sundial is a beautiful, expensive and well-preserved specimen of the universal equinoctial ring sundial. Its greatest advantage over other types of portable sundials is because it does not need a compass. At the moment of reading, the apparent solar hour, the axis of the dial (the axis of the bridge) is in the celestial axis and the meridian and equinoctial rings are under the circles of the celestial sphere of the same name. It can be brought into this position through the coordination of rings and the bridge by any user but, in order to understand the essence of this instrument, the user must have some prior knowledge of spherical astronomy. And the bottom line is that the universal equinoctial ring sundial actually presents a pocket-size model of an armillary

dial that does not need a compass. Accordingly, it is best described by its name – self-orienting armillary sundial. Self-orientation during measurement makes it universal and exceptional, and on the basis of this in one promotional text this device has been praised as the queen of all sundials.

Prof. Danić's sundial was made in the 18th century (probably in the second quarter), in Vienna. The craftsman and the workshop have been unknown so far. It was adjusted for the latitude of Belgrade or Zemun, which were under the Austrian rule for a long time in the 18th century. It is not known how prof. Danić got the sundial. Being passed over, either on the basis of friendship or as an "official duty", the sundial was preserved by Prof. Danić's descendants, who continued his work on popularizing astronomy through the activities of the Astronomical Society Ruđer Bošković in Belgrade. Thus, the definition "Prof. Danić's sundial" can be understood as "the sundial of the Astronomical Society Ruđer Bošković". As it is not only a very rare and valuable sundial, but also an astronomical instrument relevant to the history of astronomy, the sundial should be made available to the general public, perhaps as an exhibit at the "The Museum of Astronomy" that is being established within the Belgrade Observatory.

Acknowledgements

We thank Mike Cowham, John Davis, Peter Husty and Peter Ransom, European gnomonists who helped to date Danić's sundial. Special thanks are due to Ilse Fabian, who has resolved all ambiguities by finding an identical specimen in Poland. We would also like to thank Nataša Stanić, who preserved the sundial and kindly offered it for measurement and testing.

© 2020 Serbian Geographical Society, Belgrade, Serbia.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Serbia

References

- Cajori, F. (1915). The Works of William Oughtred. (PDF). *The Monist*. 25(3), 441–466. doi:10.5840/monist191525315. JSTOR 27900548.
- Cowham, M. (1998). Dial Dealings. *BSS Bulletin*, 98.2, 32-33.
- Daniel, C. St. J. H. (1992). The Sundial at Sea: Some practical Aspects of 16th & 17th Century Navigation. *BSS Bulletin*, 92.2, 3-7.
- Diklić, A. (2014). *Beograd: večiti grad: sentimentalno putovanje kroz istoriju*. Beograd: Radio-televizija Srbije: TV produkcija Skordisk.
- Dimitrijević, B. (2007). Dr Radovan Rada Danić: najbolji Čičin đak. *Zbornik radova konferencije "Istorija astronomije kod Srba IV"* – Publikacije Astronomskog društva "Ruđer Bošković", 7, 357–374.
- Han, V. (1966). Džepni i putni satovi iz zbirke Muzeja primenjene umetnosti. *Zbornik muzeja primenjene umetnosti*, 9–10, 65–80.
- Needham, J. (1965). *Science and Civilisation in China: Vol. 4, Physics and Physical Technology – Part Two: Mechanical Engineering*. CUP.
- Prnjat, Z. & Tadić, M. (2018). Gnomonic terms in the Serbian Language, *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijić"*, 68(1), 51-65. DOI: <https://doi.org/10.2298/LJGI1801051P>
- Stolberg, L. & Marko, E. (1989). *Time measurement instruments: From sundials to mechanical clocks* (Uhren Zeitmesser: von der Sonnenuhr zum Räderwerk. Kat. zur Ausst. des Steiermärkischen Landesmuseums). Steiermärkischen Landesmuseums Joanneum.
- Tadić, M. (2002). *Sunčani časovnici*. Beograd: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva.

- Talbert, R. J. A. (2017). *Roman Portable Sundials: The Empire in your Hand*. Oxford University Press.
- Wynne, H. (1709). *The Description and Uses of the General Horological-Ring: or Universal Ring-Dial*. London: A. Godbid and J. Playford, for the Author, 1682. Retrieved from <http://name.umdl.umich.edu/A67225.0001.001> by guest on February 10, 2020.
- Zaczkowski, R. (2013). Catalog of Sundials (Katalog zegarów słonecznych). Muzeum im. Przypkowskich w Jędrzejówce.

Оригинални научни рад

UDC: 529.78.004 Danić, Radovan, 1893-1979
<https://doi.org/10.2298/GSGD2001073T>

Примљено: 17. фебруара 2020.

Исправљено: 14. марта 2020.

Прихваћено: 06. априла 2020.

Милутин Тадић*, Зорица Прњат¹*

* Универзитет у Београду, Географски факултет, Србија

САМООРИЈЕНТИРАЈУЋИ АРМИЛАРНИ СУНЧАНИ ЧАСОВНИК ПРОФЕСОРА РАДОВАНА ДАНИЋА

Апстракт: Проф. др Радован Данић (1893–1979.), доживотни председник Астрономског друштва "Руђер Бошковић" у Београду, поседовао је месингани универзални еквиноцијални сунчани часовник (дијаметар 98 mm) кога су сачували настављачи његовог рада на популаризацији астрономије окупљени око поменутог друштва. Сунчани часовник је премерен, тестиран и упоређен са сродним портабл сунчаним часовницима, експонатима европских музеја. У класификационој шеми, заједно са Парменионовим и астрономским прстенастим часовником, спада у цеппе армиларне сунчане часовнике за које није потребан компас. Тачније, ради се о самооријентирајућем армиларном сунчаном часовнику чији се прстенови у тренутку мерења налазе под истоименим круговима небеске сфере. Зато се он, када је познато право сунчево време, претвара у сунчев компас. Парњак самооријентирајућем армиларном сунчаном часовнику на хоризонту јесте аналематски сунчани часовник.

Конструкцију самооријентирајућег армиларног сунчаног часовника први је, крајем 16. века, описао енглески математичар В. Отрејд (*William Oughtred*) (1574-1660.). У сарадњи са гномонистима из Енглеске и Аустрије, одређено је где и када је направљен примерак проф. Данића: Беч, друга четвртина 18. века. Изворно, сунчани часовник је подешен за географску ширину Београда или Земуна (сада београдске општине) који су током 18. века дуже времена били под аустријском владавином. Ради се о лепом, прецизно урађеном, добро очуваном, скупоценом сунчаном часовнику и астрономском инструменту коме је место у музеју, најпре у Музеју астрономије при Астрономској опсерваторији у Београду.

Кључне речи: портабл сунчани часовници, универзални еквиноцијални прстенасти часовник, армиларни сунчани часовник, математичка географија

¹ zorica.prnjat@gmail.com (аутор за кореспонденцију)

Увод

Проф. др Радован Данић (1893–1979.), војни хирург, доживотни почасни председник Астрономског друштва "Руђер Бошковић", поседовао је вредан (Cowham, 1998) цепни сунчани часовник (Сл. 1) кога је у неко време предао пријатељу, астроному Петру Ђурковићу (1908–1981.), који га је заинтересовао за астрономију у немачком логору, где су били заточени за време Другог светског рата (Dimitrijević, 2007). Петар Ђурковић је проследио сунчани часовник колеги, др Александру Кубичели (1930–2017.), а он 2015. године, др Наташи Станић. Све поменуте "чуваре сунчаног часовника", осим пријатељства, повезује рад на популаризацији астрономије, односно, Астрономско друштво "Руђер Бошковић" у Београду у коме су били активни. Радован Данић је био Председник АДРБ (1951–1966.), Петар Ђурковић такође (1970–1972.), Александар Кубичела је био сарадник друштва, а Наташа Станић Управник Народне опсерваторије АДРБ (2004–2009.).

Портабл сунчани часовници су се појавили још у грчко-римско доба, тако да о њима постоји обимна литература, али не и на српском језику. Колико нам је познато, на српском постоји само један рад посвећен искључиво цепним/путним сунчаним часовницима. Написала га је историчарка уметности, Верена Хан (1966.) обрадивши 16 примерака из збирке Музеја примењене уметности у Београду, од укупно 65 за које је знала да се чувају у разним збиркама на простору бивше СФРЈ. Међу примерцима које је обрадила са становишта своје струке нема сунчаног часовника проф. Данића, нити неког другог сунчаног часовника тог типа, у литератури познатог под различитим називима: Universal equatorial ring dial (Универзални екваторијални прстенасти часовник), Universal ring dial (Универзални прстенасти часовник), General horological ring (Општи хоролошки прстен), а најчешће као Universal equinoctial ring dial (Универзални еквиноцијални прстенасти часовник; у наставку краћено, UERD).

Сл. 1. UERD проф. Данића: лице часовника – страна са скалом географских ширина (лево) и наличје (десно) (стр. 74)

Претеча UERD је један од укупно шест конструкционих облика грчко-римских путних сунчаних часовника, под називом "prosta istoroumena", чији изум Витрувије приписује Пармениону (вероватно архитекти из доба Александра Великог). Један такав сунчани часовник пронађен је у месту Филипи (Philippi) на североистоку Грчке (Источна Македонија) (Talbert, 2017). Сунчани часовник тог типа могао се користити у неколико на њему означених "историјских" места и не може се назвати универзалним, у правом смислу те речи. Универзални облик са три прстена, познат под више назива (Astronomical rings [Астрономски прстенови], Annulus astronomicus, Gemma's rings [Гемини прстенови], Astronomical ring dial [Астрономски прстенасти часовник, у наставку скр. AR]) коначан облик, као што је Данићев, добио је у 16. веку. Први конструкциони облик описао је 1533. године Гема Фризијус (Daniel, 1992), а други енглески математичар В. Отрејд (William Oughtred) (1574–1660.) у раду који је "био готов (као што каже) када је имао 23 године" (Sajori, 1915). Сва три поменута сродна конструкциона облика, Парменионов, AR и UERD (Сл. 4), састоје се од прстенова који се могу склопити у једну раван, и користити у више места.

Универзални прстенасти сунчани часовници, дакле, познати су од старог века тако да нема посебних питања везаних за принцип рада Данићевог часовника, осим можда формалног питања: – Да ли је тачан? Иако је конструкциони облик UERD још давно до танчина објашњен (Wynne, 1709), ипак остаје да се појасни његова веза са конструкционим облицима који су му претходили, то јест, да се одговори на питање: Где је место UERD у класификационој шеми сунчаних часовника? На Данићевом сунчаном часовнику није уписана година када је направљен, нема имена или иницијала мајстора, нити мајсторског знака, па се намећу нова питања: Када (година, век) и где (земља, град, мајсторска радионица) је направљен, и где је набављен?

Судећи по стилу израде, и чињенице да су сви екваторијални сунчани часовници из збирке Музеја примењене уметности у Београду направљени у 18. веку у аугсбуршким радионицама (Нап, 1966) може се претпоставити да је сунчани часовник Радована Данића настао у истом веку. Вероватно потиче из Аустрије која је у 18. веку владала делом данашње Србије северно од Саве и Дунава, а у два наврата, потиснувши Турке, и самим Београдом (1717–1739., 1789–1791.). С обзиром на астрономски садржај, прецизност и лепоту израде, не може се ништа друго претпоставити него да је тачан. Расклопљен, личи на мини верзију армиларног сунчаног часовника.

Методe истраживања и резултати

Пут до одговора на постављена питања састојао се из три фазе: 1) проучавање историје Астрономског друштва "Руђер Бошковић" и биографије чланова тог друштва који су чували Данићев сунчани часовник; 2) мерење саставних делова, проучавање конструкционог склопа и тестирање употребљивости сунчаног часовника; 3) поређење сунчаног часовника са сличним или истоветним конструкционим облицима који се чувају у збиркама европских музеја.

О историји Астрономског друштва "Руђер Бошковић" има доста литературе, а сам сунчани часовник је, захваљујући љубазности др Наташе Станић, био довољно времена доступан за непосредно мерење и тестирање. Тако није било тешко решити прва два задатка. Код трећег је већ било другачије, и то због немогућности да се непосредно проуче и упореде стари портабл сунчани часовници изложени у збиркама европских музеја. Зато су информације и сазнања прикупљани и размењивани путем имејл преписке са гномонистима, добрим познаваоцима портабл часовника, окупљених око часописа Британског друштва љубитеља сунчаних часовника – "BSS Bulletin" (Peter Ransom, Mike Cowham, John Davis), и часописа Радне групе за сунчане часовнике Аустријског астрономског друштва – "Rundschreiben" (Ilse Fabian, Peter Husty).

Порекло сунчаног часовника

Анализирајући фотографију сунчаног часовника, а посебно облик цифри, Ц. Дејвис је закључио "изгледа да потиче из немачких земаља, највероватније из 18. века" (приватна комуникација, об. 01. 2017). П. Хусти је љубазно одговорио да у колекцији Салзбуршког музеја (Salzburg Museum) нема сличног примерка сунчаног часовника, додавши „на основу декорације претпостављам да је могао настати у

периоду 1730-1750. (приватна комуникација, 09. 01. 2017). Не штедећи време, И. Фабиан се укључила у потрагу по каталозима музејских збирки и прво пронашла врло сличан примерак у каталогу Државног музеја Штајерске у Грацу (Stolberg & Marko, 1989) а затим и истоветан примерак у каталогу Музеја часовника Прзипковски у пољском граду Једжејову (Zaczkowski, 2013). У првом каталогу наведено је да је сунчани часовник направљен "после 1700", док је у другом наведен век и град, "Беч, 18. век". Захваљујући размени информација између поменутих познаваоца гномонике, може се закључити да је сунчани часовник проф. Данића направљен у Бечу, у другој четвртини 18. века. На поменута два сунчана часовника, као и на часовнику проф. Данића, није угравирано име мајстора нити назив мајсторске радионице.

Није познато где је, када и од кога проф. Данић набавио (добрио, купио) сунчани часовник. Проф. Данић је студирао медицину у Немачкој и Швајцарској (Минхен, Берн) али је мало вероватно да га је тамо набавио. Показивач географске ширине фиксиран је за географску ширину Београда, без икаквог трага померања на скали географских ширина, што значи да је сунчани часовник урађен у Бечу по нарудби некога ко је у 18. веку живео или дуже боравио у Београду. Период аустријске владавине (1717–1739.) карактеришу прва геодетска снимања Београда и реконструкција Београдске тврђаве, што су сложени послови на којима су били ангажовани стручњаци различитих профила (Diklić, 2014) који су имали потребу за прецизним сунчаним часовником. Могуће је, такође, да је сунчани часовник урађен по нарудби неког од становника Земунa, тада пограничног градића а данас дела Београда, који је био у саставу Аустрије од 1718. године па све до краја Првог светског рата.

Конструкциони склоп, принцип и тачност рада

Сунчани часовник проф. Данића је израђен од месинга са гравираним и обојеним садржајем, прецизно урађен и добро очуван, потпуно функционалан (Сл. 2). Састоји се од основног прстена (меридијанског прстена) пречника 98 mm (ширине 7 mm), унутрашњег прстена (екваторског/екваторског прстена) ширине 4,2 mm, и средишњег симетричног деклинационог заклона, моста, у чијој је основи квадрат димензија 48 x 48 mm. Заклон се на два краја ослања на лежишта (полове меридијанског прстена) која му омогућавају ротацију око уздужне симетрале која представља осу сунчаног часовника – поларну осу екваторског прстена.

На једном квадранту меридијанског прстена угравирана је скала северних географских ширина од 0 до 90°. Степени су означени тачкама, сваки пети степен, цртицом, а сваки десети, цртом. Уз сваки десети степен уписан је одговарајући број с тим да су изостављени 0 и 90°. Подеок 90° покривен је држачем северног лежишта око кога се ротира мост. Тачка у којој подеок 90° пресеца унутрашњу ивицу меридијанског прстена представља северни пол сунчаног часовника. Саставни део сунчаног часовника је и мали прстен за вешање чији се показивач поставља на одговарајуће место скале географских ширина. На сунчаном часовнику Радована Данића, показивач је фиксиран на географску ширину 44° 35' (Сл. 1, лево).

На склопљеном часовнику, од правца продуженог нултог подеока скале географских ширина, на спољној страни екваторијалног прстена угравирана је

часовна скала од римских бројева, два пута од I до XII. На унутрашњој страни екваторијалног прстена угравирана је упоредна часовна скала: пуни часови су означени цртама, половине часова цртицама, а четвртине тачкама.

На обе стране моста угравирана је по једна квадратна скала (34 x 34 mm), за прво и за друго полугодиште. Обе скале су дводелне, раздвојене прорезом ширине 5 mm.

Сл. 2. Лице и наличје склопљеног сунчаног часовника проф. Данића, са означеним саставним деловима (стр. 77)

Правоугаону мрежу чини седам хоризонталних и седам вертикалних линија, с тим да је једна вертикална линија поновљена са обе стране средишњег прореза. Хоризонталне линије спајају сваки 21. дан у месецима, то јест, ограничавају временске интервале током којих сунце привидно борави у знацима зодијака. Удаљеност хоризонталних (зодијачких) линија од еквиноцијске линије, израчуната је по формули $d = r \cdot \operatorname{tg} \delta$, у којој је r радијус екваторског прстена, а δ деклинација сунца. На оба краја тих линија угравирани су одговарајући традиционални знаци зодијака, а упоредо са њима и прва слова латинских назива одговарајућих месеци. Вертикалне линије су угравиране за сваки пети дан у месецу и на оба краја означене арапским бројевима (5, 10, 15, 20, 25). Тачкастом трансферзалном линијом приказана је промена деклинације сунца током године (од $-23,5^\circ$ до $+23,5^\circ$). На основу пресека те линије са еквинокцијалним (♈ – ♏ , ♌ – ♐) и солстицијским линијама (♊ – ♎ , ♍ – ♑) јасно је да се ради о Грегоријанском календару. Посматрана у целини, квадратна скала представља трансферзални линијски график, номограм, деклинације сунца. Мост је "у сендвичу" двоструког клизача који се може померати дуж средишњег прореза. Клизач је двокрилни, са радне (мерне) стране раван, а са друге витичаст. У средини показивача је рупица, нодус.

Поступак мерења помоћу UERD, састоји се од три корака:

1) Док је сунчани часовник још склопљен, клизач се намести тако да његова равна ивица на номограму показује вредност деклинације сунца конкретног дана, то јест, намести се тако да та ивица пролази кроз пресек тачкасте линије скале са линијом дана одређеног месеца. С обзиром на то да су дневне линије угравиране само за сваки пети дан, за остале дане се изврши процена одока. На Сл. 3, на пример, положај показивача одговара 13. фебруару ($\delta = 13^\circ$).

2) UERD се расклопи, а то значи да се екваторијални прстен отвори да буде под правим углом у односу на раван меридијанског прстена. То је лако постићи јер на меридијанском прстену постоји граничник који га зауставља у том положају.

3) UERD се пусти да слободно виси, при чему се сунчани часовник држи директно за прстен за вешање или за нит привезану за тај прстен.

Сл. 3. Сунчани часовник проф. Данића у радном положају 13. Фебруара (стр. 78)

Особа која мери време једном руком лагано закреће UERD око вертикале, а другом пажљиво помера заклон, све док светла тачка, сунашце (Prnjat & Tadić, 2018), коју ствара уски сноп сунчевих зрака пропуштен кроз нодус, не падне на унутрашњу страну екваторског прстена. Право сунчево време се читава према положају сунашца на часовној скали угравираној на тој страни прстена. На

сунчаном часовнику проф. Данића право сунчево време се може одредити са тачношћу од неколико минута.

У радном положају, меридијански прстен се налази у равни локалног меридијана, екваторски прстен се налази у небеском екватору, а оса часовника у небеској оси (паралелно Земљиној ротационој оси), то јест, у тренутку читавања времена, под сваким поменутиим небеским кругом лежи одговарајући прстен часовника: UERD је тада оријентисан, или тачније, самооријентисан.

UERD је универзални не само по томе што се може користити на свакој географској ширини него и због тога што му мерење дневних часова правог сунчевог времена није једина намена. Осим што се на основу познатог дневног часа може одредити подневачка линија, помоћу UERD се за одређени датум може одредити деклинација сунца, а даље на основу деклинације, подневна висина сунца и географска ширина места. Код сунчаних часовника са сложенијим скалама, могу се још одређивати дужина обданице и тренуци изласка и заласка сунца. Како се све то практично изводи, детаљно је описао Вин, давне 1709. године. UERD се дакле, може користити у астрономске сврхе, па је због тога његова претеча и названа астрономски прстенови.

Место UERD у класификационој шеми сунчаних часовника

AR се састоји од три прстена, три материјализована круга небеске сфере – екватора, меридијана и деклинационог круга. Када је расклопљен, меридијански и екваторски прстен заузимају прави угао док се трећи прстен, деклинациони, може слободно обртати око поларне осе. Код AR, деклинациони прстен има два помична визира који се доводе у положај у складу са деклинацијом сунца или према одређеном дану у години, и тако активни визир (нодус) поставља у положај који у том тренутку има сунце на деклинационом кругу. Када се закретањем часовника ухвати сунашце на AR, у тренутку мерења, представља веран, оријентисани, смањени модел небеске сфере, односно, оријентисану, редуковану, армиларну сферу. Код UERD је трећи прстен замењен мостом који се при мерењу не доводи у раван деклинационог круга сунца, него се поставља под приближно правим углом у односу на њега. У тренутку мерења, нодус није на деклинационом кругу као код AR, него је на мосту, тамо где би га "прогорео" сноп сунчевих зрака који пада на екваторски прстен. Изостављањем трећег прстена, сунчани часовник је поједностављен и у конструкци-оном и у функционалном погледу.

Према положају равни бројчаника, UERD спада у екваторијалне или екваторијалне сунчане часовнике. У елементарном облику екваторијалног часовника, шипка постављена у небеску осу баца сенку која својим правцем показује дневне часове на равни која лежи у равни небеског екватора (нагнута према равни хоризонта за угао комплементаран географској ширини). И поред једноставности, екваторијалног сунчаног часовника нема у старом веку зато што такво конструкционо решење није сврсисходно за тада важећи темпорални часовни систем: у том систему, часовне линије на небеској сфери немају заједничку осу у коју би се поставио гномон, као што је то случај код екваторијалног система који је уведен тек крајем средњег века, након проналаска и ширења механичких часовника. С обзиром да је сунце у летњој половини године "изнад" равни екватора, а у зимској

"испод", екваторијални сунчани часовник са равном основом мора имати два бројчаника, летњи и зимски. Да посматрач у зимској половини године не би морао подвиривати испод равни бројчаника, равна основа је замењена екваторским прстеном (целим или само луком који одговара најдужој обданици), на чијој је унутрашњости угравиран бројчаник са часовним ознакама на сваких 15° . Саставни делови су: екваторски прстен подељен на једнаке подеоке, шипка усмерена у Северњачу и меридијански прстен или полупрстен који придржава ту шипку – не може бити једноставније.

Овај облик сунчаног часовника назван је армиларни сунчани часовник јер је он, у ствари, редукована армиларна сфера чији изум Хипарх приписује Ератостену. У правом смислу те речи, армиларна сфера представља метални "скелет" модела небеске сфере склопљеног од небеске осе и неколико главних кругова: екватора, меридијана, еклиптике, небеских повратника, еквиноцијског деклинационог круга и хоризонта (Сл. 4). Задрже ли се само небеска осовина и прва два од набројаних кругова, добија се склоп армиларног сунчаног часовника.

Сл. 4. Место UERD у армиларном огранку класификационе шеме сунчаних часовника (стр. 80)

Код сложенијег облика армиларног сунчаног часовника, полос је замењен куглицом у центру замишљене армиларне сфере, а екваторски прстен материјализованим тропским појасом који "лови" све сенке куглице преко целе године. На скали учртаној на унутрашњости тропског појаса сенка куглице може да показује само дневне часове и датуме, али уз њих и деклинацију сунца, положаје сунца у зодијаку, висину сунца, дужину обданице и једначење времена (Tadić, 2002). Куглица се пак може заменити диском са рупицом на средини, нодусом ("оком" сунчаног часовника) кроз коју пролази уски сноп сунчаних зрака и на тропском заклону ствара сунашце према чијем се положају тачније читавају дневни часови и остали поменути садржаји.

Када би сунчани часовник имао само екваторски прстен, сунашце би на њега падало за време еквиноција, а у остале дане би га промашивало. Ако се, пак, екваторски прстен замени тропским појасом, портабл варијанта не би се могла склопити у једну раван. Проблем је решен померањем нодуса дуж небеске осовине армиларног часовника, у складу са деклинацијом сунца, тако да сунашце увек падне на унутрашњу страну екваторског прстена (Сл. 3). Технички, то је изведено заменом трећег прстена правоугаоним деклинационим заклоном, мостом, са угравираном скалом преко које се помера пробушени клизач за подешавање деклинације сунца, чему се, као што је већ речено, први досетио В. Отрејд. Тако је настао UERD, универзални склопиви портабл сунчани часовник "који се међу морнарима показао као користан и практичан инструмент током приближно двеста година" (Daniel, 1992). На истом принципу се заснива и аналематски сунчани часовник који се условно може сматрати пројекцијом UERD на хоризонталну раван.

Дискусија

Пун назив Отрејдовога сунчаног часовника је универзални еквиноцијални прстенасти сунчани часовник. "Прстенасти" јер се састоји од прстенова, "еквиноцијални" јер он, уопште говорећи, спада у екваторијалне сунчане часовнике (еквиноцијал је

други назив за небески екватор), а "универзални" јер се може користити на било којој географској ширини. У настојању да се недвосмислено опише сунчани часовник, како се не би помешао са другим типовима сунчаних часовника чији називи садрже поменуте појмове, срочен је предугачак назив. У литератури се понегде може срести и други назив – "самооријентирајући армиларни сунчани часовник" (Needham, 1965). Тај назив боље одражава суштину овог типа сунчаног часовника јер појам "армиларни" укључује три појма, "прстенасти", "екваторијални/екваторијални" и "универзални". Армиларни часовник се састоји од прстенова, бројчаник се налази на екваторском прстену, а сунчани часовник се може користити на свакој географској ширини без потребе да се мења конструкциони склоп, довољно је осовину часовника (полос) довести у небеску осу. Одређење "самооријентисани" је неопходно би се назначило да се ради о портабл часовнику, и да би се часовник разликовао од "обичног", стационарног, армиларног часовника код кога је пре употребе потребно одредити северни правац.

Закључак

Сунчани часовник је леп, скупocen и добро очуван примерак универзалног екваторијалног прстенастог сунчаног часовника. У великој је предности у односу на друге врсте портабл часовника зато што му није потребан компас. У тренутку читавања часа правог сунчевог времена, оса часовника (оса моста) налази се у небеској оси а меридијански и екваторијални прстенови, под истоименим круговима небеске сфере. У тај га положај, координацијом прстенова и моста, може довести сваки корисник, али да би разумео суштину инструмента, корисник ипак мора имати одређено предзнање из сферне астрономије. Суштина је у томе да универзални екваторијални прстенасти сунчани часовник представља цепни модел армиларног часовника коме није потребан компас. У складу с тим, најбоље га описује назив – самооријентисани армиларни сунчани часовник. Самооријентација при мерењу га чини универзалним и изузетним па је на основу тога у једном рекламном тексту ова справа хваљена као краљица свих часовника.

Данићев сунчани часовник је направљен у 18. веку (вероватно у другој четвртини), у Бечу. Мајстор и мајсторска радионица за сада нису познати. Подешен је за географску ширину Београда или Земуна који су у 18. веку дуже време били под аустријском владавином. Није познато како је проф. Данић до њега дошао. Пренесећи га из руке у руку, по пријатељској линији или по "службеној дужности", сачували су га настављачи његовог рада на популаризацији астрономије окупљени око Астрономског друштва "Руђер Бошковић" у Београду. Тако се одређење "сунчани часовник проф. Данића" може изједначити са одређењем – сунчани часовник Астрономског друштва "Руђер Бошковић". С обзиром на то да се ради не само о ретком и врло вредном часовнику, него и о астрономском инструменту значајном за историју астрономије, корисно би било да буде доступан широј јавности, можда најбоље као експонат у "Музеју астрономије" Астрономске опсерваторије у Београду који је у оснивању.

Захвалница

Захваљујемо се Мајку Каухему (Mike Cowham), Џону Дејвису (John Davis), Петеру Хустију (Peter Husty) и Питеру Ренсому (Peter Ransom), европским гномонистима који су помогли да се Данићев сунчани часовник датира. Посебну захвалност дугујемо Илсе Фабиан (Ilse Fabian) која је решила све недоумице пронашавши истоветан примерак у Пољској. Захваљујемо се, такође, Наташи Станић, која је сачувала часовник и љубазно га уступила за мерење и тестирање.

© 2020 Serbian Geographical Society, Belgrade, Serbia.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Serbia

Литература (погледати у енглеској верзији текста)