

# Spremembe števila geomagnetnih neviht in števila sončnih peg: mesečni, desetletni in stoletni naravni cikli

Rudi Čop<sup>1</sup>

## Povzetek

Sončni cikli in cikli geomagnetnih neviht, ki vplivajo na življenje na Zemlji, se v zahodni civilizaciji le zanimivost iz področja solarne astronomije in geomagnetizma. V veliki meri je za to kriv njen nagel razvoj in njena globalizacija v zadnjih petdesetih letih. V prispevku so zato ti cikli predstavljeni z namenom da bi jih znali upoštevati tudi v našem vsakdanjem življenju, kot se jih že upošteva v civilizacijah, ki so starejše od zahodne.

**Ključne besede:** mesečni cikel geomagnetnih neviht, cikel sončnih peg, cikel spremembe magnetnih polov na Soncu, stoletni cikel ali Gleissbergov cikel

**Keywords:** the monthly cycle of geomagnetic storms, the cycle of sunspots, the cycle of changes of the Sun's magnetic poles, the hundredth cycle or cycle of Gleissberg

## Sončne pege

Sončne pege so pred uvedbo teleskopa v astronomijo opazovali s prostim očesom v posebnih pogojih, kot v primeru gozdnih požarov ali skozi dim tempeljskih ognjev. Najstarejši zapisi o sončnih pegah so iz Kitajske, nastali so v obdobju od leta 28 pred našim štetjem do leta 1638. Iz obdobja pred iznajdbo teleskopa obstajajo podobni zapisi še v kronikah iz Japonske, Koreje in Rusije (Bray & Loughhead, 1964). Prav tako je poznano, da je leta 807 arabski astronom Abu Alfadhl Giaafar opazoval sončne pege zaporedno 91 dni (Hoyt & Schatten, 1996).

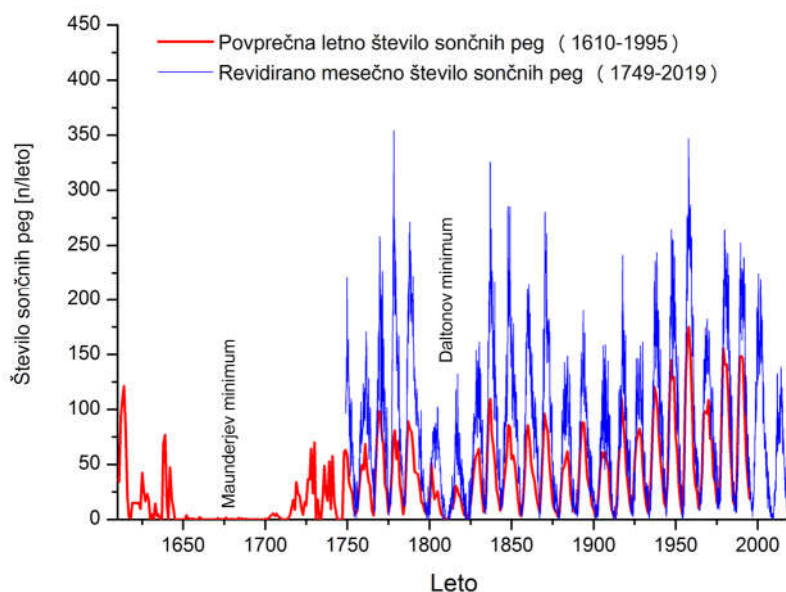
Verovanje, da je Sonce popoln disk, je v zahodni civilizaciji obstajalo vse do uvedbe teleskopa v solarno fiziko leta 1611. Galileo Galilei (1564–1642) in Christopher Scheiner (1575–1650) (Galilei & Scheiner, 2010; Piccolino & Wade, 2008) sicer nista bila prva, ki sta v prvi polovici 17. stoletja opazovala sončne pege skozi teleskop, sta pa bila prva, ki sta jih pripisala spremembam na površini ali v atmosferi Sonca. Scheiner je tudi prvi opazil, da sončne pege potujejo tem hitreje, čimbolj blizu so solarnemu ekvatorju (Paternò, 2010). Ekvator Sonca se zavrti v 26,2 sideričnih dneh, njegovi poli pa v 36,7 sideričnih dneh (latinsko: sidera, zvezda). Rotacija Sonca je torej odvisna od solarne širine, ki se glede na opazovalca na Zemlji efektivno zavrti v 27 dneh (Gilman, 1974; Sanderson et al, 2003). Cikle sončnih peg, ki v povprečju trajajo 11,06 let, je v prvi polovici 19-tega stoletja odkril Heinrich Schwabe (1789–1875) (Arlt, 2011). To je eno od najpomembnejših odkritij v sodobni astronomiji. Vse naše sedanje vedenje o delovanju Sonca, ki neposredno vpliva na Zemljo in na življenje na njej, izhaja iz tega odkritja.

Dnevni podatki o številu sončnih peg, ki se zbirajo zadnjih 400 let, so najdaljša zbirka dnevni podatkov v znanosti. Po odkritju ciklov sončnih peg jo je organiziral švicarski astronom Rudolf Wolf (1816–1893). V začetku tega desetletja so po 160 letih te podatke ponovno pregledali in dopolnili (Clette et al, 2014). Upoštevali so le uspešno preverjene podatke ter uskladili število sončnih peg in zapise o številu sončnih grup (Slika 1). V novi in revidirani bazi podatkov je izginil izrazit maksimum iz sredine preteklega stoletja.

---

<sup>1</sup> Zavod Terra Viva, Sv. Peter 115, 6333 Sečovlje

Izkazalo se je tudi, da je bila v zadnjih 250 letih sončna aktivnost zelo stabilna (Sunspot, 2007; SILSO, 2019). Podatki o številu sončnih peg se uporabljajo v različnih znanstvenih disciplinah, med drugim tudi v klimatologiji (The Sun, 2000). V geomagnetizmu so postali pomembni po letu 1851, ko je Edvard Sabine (1788-1883) objavil (Sabine, 1852), da se pogostnost geomagnetnih neviht spreminja v skladu s cikli sončnih peg (Maunder, 1904). Da se število geomagnetnih neviht spreminja ciklično v decadalni periodi, je v istem letu objavil tudi Johann von Lamont (1805–1879). V drugi polovici prejšnjega stoletja je bilo še ugotovljeno, da je tudi dotok kozmičnih žarkov na Zemljo moduliran s sončnimi cikli (Hathaway, 2015).

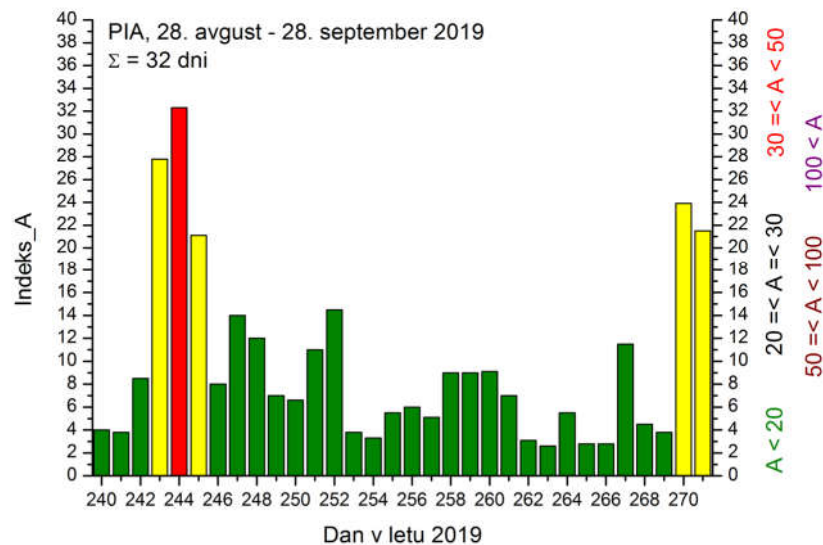


Slika 1 – Povprečno letno število sončnih peg prešteti v letih 1610–1995 (Sunspot, 2007) in revidirano mesečno število sončnih peg in sončnih grup v letih 1749–2019 (SILSO, 2019).

Pieter Zeeman (1865–1943) je odkril premik valovne dolžine svetlobe v primeru, ko ta potuje skozi močno magnetno polje (Zeeman, 1897). George Ellery Hale (1868–1938) je leta 1919 z uporabo Zeemanovega efekta in s prilagojenim spektrometrom ugotovil, da so sončne pege v bistvu področja z močnim in koncentriranim magnetnim poljem na sončevi površini in da Sonce v dveh zaporednih ciklih sončnih peg zamenja tudi usmeritev svojega magnetnega polja (Hale & Nicholson, 1925). Sonce je torej ogromna krogla plazme, ki je električno prevodna in zelo aktivna, če jo opazujemo v daljšem časovnem obdobju. Joseph Larmor (1857–1942) je razložil, da električne toke v Soncu lahko ustvarja samovzbudni enopolni električni dinamo (Stern, 2002). Da je električni dinamo tisti, ki ustvarja sončevo magnetno polje, je bilo potrjeno v drugi polovici prejšnjega stoletja. Za popolnejše razumevanje njegovega delovanja so razvili različne modele (Tobias, 2002; Tiwari, 2017), ki ponazarjajo notranje delovanje Sonca.

## Sedemindvajset dnevni cikel geomagnetnih neviht

Geomagnetne nevihte so močne in nestalne spremembe zemeljskega magnetnega polja. Nastajajo zaradi udarnih valov, nastalih v sončnem vetru ob izbruhih v koroni Sonca CME (angl. coronal mass ejections) ali zaradi prehodov Zemlje preko tokovnic sončnega vetra s povečano hitrostjo CIR (angl. corotating interaction regions), ki izhajajo iz lukenj v koroni Sonca. Pogostnost geomagnetnih neviht je vezana na cikel sončnih peg, največja je v času njegovega maksimuma ter v času njegovega pojemanja. Tudi oba izvora geomagnetnih neviht sledita temu ciklu. Maksimum izbruhov v koroni Sonca sovpada z maksimumom sončnega cikla, maksimum števila lukenj v koroni Sonca pa zaostaja za dva do tri leta za njim (Čop, 2017; Obridko et al., 2013).



Slika 2 – Lokalni geomagnetni indeks  $A$  za posamezni dan v času 32 dni od 28. avgusta do 28. septembra 2019.

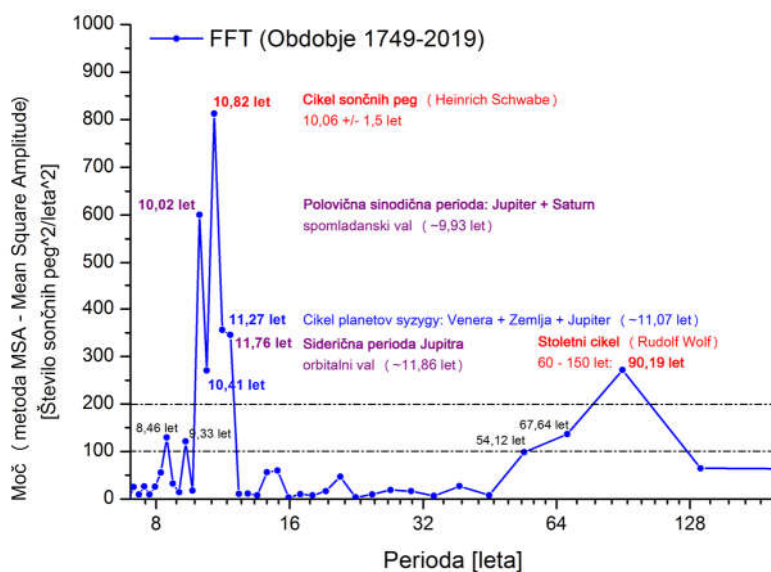
Geomagnetne nevihte se tako kot njihovi izvori delijo na dve skupini: na geomagnetne nevihte z nenadnim začetkom (angl. sudden commencement storms) in geomagnetne nevihte s postopnim začetkom (angl. gradual commencement storms). Okoli 24 % vseh neviht je takih z nenadnim začetkom, močnih in zelo močnih neviht pa je obeh oblik enako število (Lakhina & Tsurutani, 2016; Moen, 2004). Prav tako je pogostnost geomagnetnih neviht različna v različnih letnih časih. Najpogostejše so ob pomladnem in jesenskem enakonočju. Tako v ciklu sončnih peg kot v ciklu geomagnetnih neviht je zaznaven 27 dnevni efektivni obrat Sonca (Slika 2). Velik del geomagnetnih neviht se namreč ponavlja v ritmu efektivnega obrata Sonca. Zaradi tega so geomagnetne nevihte napovedljive, predvsem tiste z manjšo jakostjo, ki jih je preko 80 % vseh (Čop, 2017).

## Enajstletni cikel sončnih peg

Sonce je center našega planetarnega sistema in vsebuje skoraj vso maso tega sistema. Njegova aktivnost se ciklično spreminja. Podatki o dnevem spreminjanju števila sončnih peg so na razpolago od leta 1610 naprej in obsegajo 36 sončnih ciklov. S statistično obdelavo

(Smith, 1999) teh podatkov je dobljena srednja dolžina sončnega cikla  $11,06 \pm 1,5$  let in mediana teh vrednosti med 10,7 leti in 11,0 leti. Ti podatki kažejo na utripanje, kar se z notranjimi procesi na Soncu ne da razložiti (Solheim, 2013). Zaradi rotacije planetov okoli Sonca se masno središče našega planetarnega sistema stalno premika in s tem tudi položaj Sonca nanj. Sonce in planeti delujejo med seboj in si izmenjujejo tako gravitacijske kot tudi vztrajnostne impulze. Zaradi tega površina Sonca valovi. Najbolj vplivni so planeti Venera, Zemlja, Jupiter in Saturn, ki imajo siderične periode dolge 0,615, 1,00, 11,862, in 29,458 let. Siderična perioda je čas, ko planet ponovno pride v isto točko na nebesnem svodu glede na zvezde stalnice.

Rezultati analize dnevnega števila sončnih peg od 1. do 23. sončnega cikla, od leta 1755 do 2008 [33], s pomočjo spektralne analize MEM (maximum entropy method), vsebujejo tri značilne periode: 9,98, 10,9 in 11,86 let (Scafetta, 2014; Wilson, 2013). Analiza MEM je ena od oblik analize FFT (fast Fourier transform) za preslikavo iz časovnega v frekvenčni prostor (Smith, 1999; Bergland, 1969). Središčna perioda 10,9 let je enaka periodi solarnega dinamika, krajša stranska perioda 9,98 let pa je blizu spomladanski periodi Jupitra in Saturna. Ta se spreminja od 9,5 do 10,5 let in v povprečju znaša 9,93 let. Daljša stranska perioda 11,86 let je enaka siderični periodi Jupitra. Zato se centralna perioda lahko pripiše solarnemu dinamiku, na katerega vplivata dva največja zunanja planeta, Jupiter in Saturn, s svojo gravitacijo. Dolžino sončnih ciklov je torej mogoče razložiti z nebesno mehaniko. Med seboj delujejo tri periode, ki se po dolžini med seboj le malo razlikujejo.



Slika 3 – Izrazite periode močnostnega spektra sončnih ciklov pridobljene z metodo MSA (mean square amplitude) pri analizi mesečnih podatkov o številu sončnih peg v obdobju 1749 – 2019.

Na naboru podatkov o mesečnem številu sončnih peg v obdobju 1749–2019 sem naredil spektralno analizo MSA (mean square amplitude). Tudi analiza MSA je ena od oblik analize FFT za preslikavo iz časovnega v frekvenčni prostor. Rezultati te analize so predstavljeni na sliki (Slika 3), na kateri je dobro vidna centralna perioda 10,82 let, ki pripada osnovnemu ciklu sončnih peg, in obe bočni periodi 10,02 in 11,76 let. Perioda 10,02 let je blizu spomladanski periodi Jupitra in Saturna, ki v povprečju znaša 9,93 let, perioda 11,76 pa je

blizu siderični periodi Jupitra, ki znaša 11,86 let. Cikel sizigij (staro grško: *suzugos*, spravljen skupaj) planetov Jupiter –Venera–Zemlja je povprečno dolg 11,07 let in blizu periodi 10,41 let kot tudi 11,27 let. V astronomiji je sizigij čas, ko se trije ali več nebesnih teles postavi v približno ravno črto. Tudi spektralna analiza MSA na sicer manjšem naboru podatkov, kot pa je bil uporabljan pri spektralni analizi MEM, da informacijo o delovanju planetov na solarni magnetni dinamiko.

Periodi 8,46 in 9,33 let pripadata višjima harmonskima frekvencama cikla sončnih peg, periodi 54,12 in 67,64 let pa višjima harmonskima frekvencama stoletnega cikla (Slika 3). Tudi vse te višje harmonske frekvence se da razložiti s pomočjo nebesne mehanike.

### Stoletni cikel

Pri spektralni analizi MSA nabora podatkov o mesečnem številu sončnih peg v obdobju 1749–2019 se je pojavila tudi stoletna perioda Sonca z dolžino 90,19 let (Slika 3). Ta perioda pripada najdaljšemu naravnemu ciklu, ki se ga da še dokazati neposredno iz zapisov o dnevnem številu sončnih peg. Prvi je ta cikel opazil Rudolf Wolf v 19. stoletju, njegov obstoj pa potrdil Wolfgang Gleissberg (1903 - 1986) v prvi polovici 20. stoletja. Dokazati ga je mogoče še s spremembo širine letnic večstoletnih dreves (Kurths, et al., 1993) ter spremembo pogostnosti in jakosti polarnih sijevev (The Sun, 2000). V kolikor se upošteva pogostnost močnih protonskih neviht SPE (solar proton event) v zadnjih štiristo letih, potem se izkažejo minimumi v letih 1610, 1710, 1790, 1870 in 1950. Dva od njih sta zelo blizu Maunderjevega in Daltonovega minimuma (Slika 2). Poleg rezultatov vsebnosti nitritov v ledeniški skorji na Grenlandiji so bili uporabljeni tudi merilni rezultati iz satelitov izmerjeni v drugi polovici prejšnjega stoletja (McCracken et al., 2001).

Za boljše prepoznavanje lastnosti stoletnega cikla sončnih peg sami obstoječi zapisi o spremembi števila sončnih peg v preteklih štiristo letih ne zadostujejo. Za rekonstrukcijo več tisočletne spremembe sevanja Sonca se uporablja analiza radioaktivnih izotopov berilija  $^{10}\text{B}$  in ogljika  $^{14}\text{C}$  (cosmogenic isotopes), s katero se ugotavlja sprememba sipanja kozmičnih žarkov (Usoskin & Mursula, 2008), in paleomagnetne analize, s katerimi se ugotavljajo spremembe jakosti zemeljskega magnetnega polja (Ma, 2009; Peristykh & Damon, 2003). Na osnovi tako pridobljenih podatkov je bilo ugotovljeno, da je dolžina stoletnega cikla med 60 in 150 leti in da torej ni izrazito ciklične narave. Moduliran naj bi bil z daljšim okoli 200 letnim ciklom De Vries / Suess, ki se imenuje po dveh najvidnejših razvijalcih datiranja s pomočjo analize radioaktivnega ogljika. 200 letni sončni cikel v največji meri vpliva na spremembo klime na Zemlji (Lüdecke et al., 2015) in se ga da zaznati v lesu iz arheoloških najdišč (De Vriesov efekt) in v ogljikovem dioksidu, ki je nastal ob izgorevanju nafte po začetku industrijske revolucije (Suessov efekt).

### Zaključek

Zbirke podatkov o delovanju Sonca in njegovem vplivu na Zemljo nastajajo daljše časovno obdobje, ki se ga ne da ponoviti. Teze in teorije, ki izhajajo iz rezultatov teh obdelav, so zato pridobljene na induktivni način (Glaser & Strauss, 1967; Pranskuniene, 2017). Razvoj primernih orodij in novih idej na področju delovanja Sonca in njegovega vpliva je vezan na čas vsaj dveh generacij (Cliver, 1994). Ta razvoj dodatno upočasnjuje še počasno širjenje tega znanja.

Sonce je izvor energije, ki doteka na Zemljo in omogoča življenje na njej, ki se razvija v zgornji površinski plasti našega planeta v gravitacijskem in magnetnem polju. Mehanizmi

vpliva Sonca na Zemljo so mnogoteri in med seboj prepleteni. Vsekakor pa Sonce magnetno vpliva na biosfero v obliki resonančnih pojavov in ne v absolutnih vrednostih.

Ko se je točnejša meritev časa s pomočjo atomskih ur v zadnjem desetletju prejšnjega stoletja prenesla iz eksperimentalne fizike tudi v vsakdanjo uporabo, in to na področje računalništva, telekomunikacije, navigacije in mobilne telefonije, so pomembne postale nanosekunde ( $10^{-9}$  s) in krajše časovne enote. Daljša časovna obdobja so v zahodni civilizaciji izgubila svoj življenjski pomen. Prav tako se v njej poskuša preseči tudi človekovo biološko uro, na katero vpliva predvsem sprememba svetlobe in temperatura (Dunlap & Loros, 2017), torej Sonce.

## Literatura

- Arlt, R. (2011). The sunspot observations by Samuel Heinrich Schwabe. *Astronomische Nachrichten*, 332, 805–814.
- Bergland, G. D. (1969). A guided tour of the fast Fourier transform. *IEEE Spectrum*, 6, 41–52.
- Bray, R. J. Loughhead, R. E. (1964). Sunspots. The international astrophysical series. Volume seven. London: Chapman and Hall.
- Clette, F. Svalgaard, L. Vaquero, M. J. Cliver, W. E. (2014). Revisiting the Sunspot Number. A 400-Year Perspective on the Solar Cycle. *Space Science Reviews*, 186, 35–103.
- Cliver, W. E. (1994). Solar activity and geomagnetic storms: The first 40 years. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 75 (49), 569-575.
- Čop, R. (2017). Geomagnetne nevihte ob koncu cikla sončnih peg. Zbornik del: Raziskave s področja geodezije in geofizike 2016. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 69–80.
- Dunlap, C. J. Loros, J. J. (2017). Making time: conservation of biological clocks from fungi to animals. *Microbiol Spectrum*, 5 (3), 1–32.
- Galilei, G. Scheiner, C. (2010). On Sunspots. Translated & introduced by Eileen Reeves and Albert Van Helden. Chicago; London: The University of Chicago.
- Gilman, A. P. (1974). Solar rotation. *Annual review of astronomy and astrophysics*, 12, 47–70.
- Glaser, G. B. Strauss, L. A. (1967). The Discovery of Grounded Theory. *Strategies for Qualitative Research*. New Brunswick (US); London (UK): AldineTransaction.
- Hale, G. Nicholson, B. S. (1925). The law of sun-spot polarity. *Astrophysical Journal*, 62, 270-300.
- Hathaway, H. D. (2015). The Solar Cycle. Moffett Field (CA, US): NASA Ames Research Center.
- Hoyt, V. D. Schatten, H. K. (1996). The Role of the Sun in Climate Change. New York (NY, US): Oxford University, 1996.
- Kurths, J. Spiering, Ch. Mouller-Stoll, W. Striegler, U. (1993). Search for solar periodicities in Miocene tree ring widths. *Terra Nova*, 5, 359–363.
- Lakhina, S. G. Tsurutani, T. B. (2016). Geomagnetic storms: historical perspective to modern view. *Geoscience Letters*, 3 (5).
- Lüdecke, -J. H. Weiss, O. C. Hempelmann, A. (2015). Paleoclimate forcing by the solar De Vries/Suess cycle. *Climate of the Past Discussions*, 11, 279–305.
- Ma, L. H. (2009). Gleissberg cycle of solar activity over the last 7000 years. *New Astronomy*, 14 (1), 1–3.
- Maunder, E. W. (1904). Note on the distribution of sun-spots in heliographic latitude, 1874-1902. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 64, 747–761.
- McCracken, K. G. Dreschhoff, G. A. M. Smart, D. F. Shea, M. A. (2001). Solar cosmic ray events for the period 1561-1994. *Journal of Geophysical Research*, 106 (A10), 21,599–21,609.
- Moen, I. J. (2004). Chapter 2: The Earth's Permanent Magnetic Field. Oslo (Norway): University of Oslo.
- Obridko, V. N. Kanonidi, Kh. D. Mitrofanova, T. A. Shelting, B. D. (2013). Solar Activity and Geomagnetic Disturbances. *Geomagnetism and Aeronomy*, 53 (2), 147–156.
- Paternò, L. (2010). The solar differential rotation: a historical view. *Astrophysic Space Science*, 328, 269–277.

- Peristykh, N. A. Damon, E. P. (2003). Persistence of the Gleissberg 88-year solar cycle over the last ~12,000 years: Evidence from cosmogenic isotopes. *Journal of Geophysical Research*, 108 (A1), 1003.
- Piccolino, M. Wade, J. N. (2008). Galileo's eye: A new vision of the senses in the work of Galileo Galilei. *Perception*, 37, 1312–1340.
- Pranskuniene, R. (2017). Grounded Theory Methodology in the Context of Social Innovations for Rural Development Research. Proceedings of the 8th International Scientific Conference Rural Development 2017, 1273–1279. Edited by prof. Asta Raupelienė.
- Sabine, E. (1852). On Periodical Laws Discoverable in the Mean Effects of the Larger Magnetic Disturbances. No. II. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 142, 103–124.
- Sanderson, T. R. Appourchaux, T. Hoeksema, J. T. Harvey, K. L. (2003). Observations of the Sun's magnetic field during the recent solar maximum. *Journal of Geophysical Research*, 108 (A1), 1035.
- Scafetta, N. (2014). The complex planetary synchronization structure of the solar system. *Pattern Recognition in Physics*, 2, 1–19.
- Smith, W. S. (1999). *Statistics, Probability and Noise*. Chapter 2. The Scientist and Engineer's guide to Digital Signal Processing. Second Edition. San Diego (CA, US): California Technical.
- Solheim, -E. J. (2013). The sunspot cycle length – modulated by planets? *Pattern Recognition in Physics*, 1, 159–164.
- SILSO – Sunspot Index and Long-term Solar Observations. Sunspot Number. (2019). Brussels (Belgium): Royal Observatory of Belgium.  
<http://www.sidc.be/silso/datafiles> (23.8.2019)
- Stern, P. D. (2002). A Millennium of Geomagnetism. *Reviews of Geophysics*, 40 (3), B1–B30.
- Sunspot Numbers; International Sunspot Number. (2007). National Geophysical data Center (NGDC); National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Satellite and Information Service; Solar Data Service.  
<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsunspotnumber.html> (30.10.2007)
- The Sun and Climate. (2000). USGS Fact Sheet FS-095-00. Reston (VI; US): U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- Tiwari, R. B. Kumar, M. (2017). An Insight into the Solar Dynamo Theory. *International Annals of Science*, 3 (1), 27–36.
- Tobias, S. M. (2002). The solar dynamo. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 360, 2741–2756.
- Usoskin, G. I. Mursula, K. (2008). Long-term solar cycle evolution: Review of recent developments. *Solar Physics*, 218, 319–343.
- Wilson, I. R. G. (2013). The Venus–Earth–Jupiter spin–orbit coupling model. *Pattern Recognition in Physics*, 1, 147–158.
- Zeeman, P. (1897). On the Influence of Magnetism on the Nature of the Light Emitted by a Substance. *Astrophysical Journal*, 5, 332–347.