

Radosław Rek

Polskie Towarzystwo Astronomiczne

PLAMY SŁONECZNE PODCZAS MINIMUM MAUNDERA

Sunspots during the Maunder Minimum

The first sunspot had been observed with use of a telescope in 1610 by Thomas Harriot, in England. Observations later made by Galileo Galilei and Christoph Scheiner allowed them to publish detailed reviews of the studies.

Very important place in the early history of solar investigations is occupied by Johan Hevelius with his catalogue and pictures of sunspot routes on the solar disc. His research had realized in the years 1642–1644 were the last before the so-called Maunder Minimum that started around 1645 and had lasted until 1715 or 1717 year. The hypothetical physical phenomenon propagated by Gustav Spörer at the end of the 19th century and the observations of sunspots that were discerned during this long minimum are discussed in detail.

This paper presents the history of these solar research and includes some analyses that allowed me to compare the level of solar activity during the second part of the 17th century with other periods. Some observations of sunspots, discerned in the years 1672–1713 and later by other scientists, who were interested in investigations of the heliolatitude changes of these phenomena in the past, were omitted by Spörer on his published list of spots. A large part of other descriptions was connected with an astrometric measurements and misinterpreted as the solar surface investigations. As a result, a false opinion about the level of solar activity during the Maunder Minimum became a natural explanation for the solar behaviour and different terrestrial phenomena as variability of the radiocarbon isotope abundance in tree-rings.

Additionally, this paper presents recently found archival descriptions of the solar spots and descriptions of large sunspots that were visible in the years of deep phase of Minimum, before the year 1700.

A development of the Minimum idea, with use of the auroral displays discerned in the second part of the 17th century and the first two decades of the next century, is also shortly discussed. The auroral cyclicity appears to confirm more typical course of the solar activity during these years.

Keywords: History of Astronomy, Maunder Minimum

Słowa kluczowe: Historia astronomii, minimum Maundera

Wstęp: plamy sprzed okresu minimum, czyli pierwsze obserwacje

Pierwszą plamę słoneczną zaobserwowano z terenu Europy 17 marca 807 r. w Lorsch, a zjawisko widoczne było przez 8 dni¹. Ponad trzysta lat później John z Worcester (zm. 1140)² opisał w swoich kronikach inne plamy, zauważone 8 grudnia 1128 r.³. Na rysunku wykonanym w czasie obserwacji zaznaczył dwa cienie, z których co najmniej jeden powinien być plamą słoneczną, gdyż obserwowanie równoczesnego tranzytu Merkurego i Wenus w okresie przed wynalezieniem lunety nie mogło być możliwe⁴. Podobne zjawisko, choć pojedyncze, obserwowano potem w 1139 r. w Czechach⁵.

Zarówno przed 807 r., jak i potem, do XVI w., plamy na Słońcu widywano wielokrotnie, głównie w Chinach i Korei⁶. W latach 1603 i 1604 zostały dostrzeżone przez obserwatorów azjatyckich⁷, zaś w Europie plamę obserwował 28 maja 1607 r. Jan Kepler (1571–1630). Podczas pobytu w Pradze czeskiej oglądał tranzyt Merkurego, stosując metodę *camera obscura*. Wykonał wtedy tylko jeden rysunek cienia znajdującego się na dysku⁸ i nie zorientował się, że zaobserwował plamę, a nie planetę.

Kepler, wydając w 1609 r. opracowanie swojej obserwacji, spodziewał się, że tranzyt Merkurego powinien trwać 6–7 godzin, ale wzmiankował także plamy na Słońcu, które, jak napisał w *Phaenomenon singulare seu Mercurius in Sole*, mogły być widoczne przez 7, 8 czy 9 dni⁹. Potem, w latach 1611–1613, gdy opublikowano

¹ A.D. Wittmann, Z.T. Xu: *A catalogue of sunspot observations from 165 BC to AD 1684*, „Astronomy and Astrophysics Supplement Series” t. 70: 1987 s. 88.

² Tamże, s. 88–89.

³ D.M. Willis, F.R. Stephenson: *Solar and auroral evidence for an intense recurrent geomagnetic storm during December in AD 1128*, „Annales Geophysicae” t. 19: 2001 s. 291.

⁴ Średnica kątowna planety jest mniejsza niż najmniejszej plamy słonecznej dostrzeżonej współcześnie bez teleskopu. Obserwacje plam tym sposobem opisał B.E. Schaefer: *Sunspot Visibility*, „The Quartely journal of the Royal Astronomical Society” t. 32: 1991 s. 35–44.

⁵ A.D. Wittmann, Z.T. Xu: dz. cyt. s. 89.

⁶ Tamże, s. 88–91.

⁷ Tamże, s. 92.

⁸ J. Kepler: *Phaenomenon singulare seu Mercurius in Sole*, Lipsk 1609, s. D2, recto.

⁹ J. Kepler: *Phaenomenon singulare...* s. B, recto. Kepler posłużył się relacją o plamie widocznej przez 8 dni w roku 807 (zamieszczoną współcześnie w katalogu: A.D. Wittmann, Z.T. Xu: dz. cyt. s. 88). Ponieważ nie znał wówczas okresu rotacji Słońca nie mógłby wnioskować o tak długim czasie widoczności plamy jedynie na podstawie założenia o ruchu wirowym gwiazdy. W książce E. Reeves, A. Van Helden: *On Sunspots: Galileo Galilei and Christoph*, Chicago 2010, znalazła się uwaga, że relacja ta została zniekształcona przez samego Keplera, który pisząc *Astronomiae pars optica* zmienił rok widoczności zjawiska z 807 na 808 (taka dwuznaczność rzeczywiście pojawia się w *Phaenomenon*) i miałby także inaczej zinterpretować sam opis. Na podstawie: T. Sierotowicz: *O położeniu plam słonecznych*, Tarnów 2013, s. 338. Jednak, o ile w oryginalnym fragmencie *Astronomiae pars optica* Kepler wzmiankuje jedynie tranzyt Merkurego to w *Phaenomenon singulare seu Mercurius in Sole* wyraźnie odróżnił krótkotrwałe, w porównaniu z czasem widoczności plam, zjawisko tranzytu od plam

De maculis in Sole observatis Fabriciusa, a także listy przesłane do Marka Welsera (1558–1614) przez Scheinera i Galileusza, wydał m.in. *Dioptrice*, zawierającą opis teleskopu odwracającego¹⁰, ale nie wziął wówczas udziału w dyskusji o plamach słonecznych. Dopiero w 1617 r., we wstępie do efemeryd na ten rok, Kepler dał wyraz swojemu zadowoleniu z zaobserwowania plamy przed Galileuszem¹¹, pisząc najpewniej o zjawisku widocznym w maju 1607 r.

Poprzez lunetę pierwsze plamy słoneczne zaobserwował w grudniu 1610 r. Thomas Harriot (1560–1621) w Anglii¹², a później dostrzegli je Christoph Scheiner (1573–1650), Galileo Galilei (1564–1642) i Johann Fabricius (1587–1615).

Mimo że Harriot cienie na Słońcu zaobserwował już pod koniec 1610 r.¹³, pierwszy opublikowany mało dokładny rysunek plam dostrzeżonych przez teleskop datowany jest dopiero na 21 października 1611 r. Wykonany został przez Christopha Scheinera. Rysunki o większej średnicy powstałe podczas galileuszowych obserwacji w roku 1612 i zamieszczone potem w *Istoria e dimostrazioni*¹⁴ są już znacznie bardziej szczegółowe; patrz rysunek 1.

Scheiner pozostawił wiele ilustracji plam słonecznych, wykonanych głównie w latach 1625–1627, a oprócz listów¹⁵ napisał również dwie książki na ten temat¹⁶ i jako pierwszy wyznaczył wielkość nachylenia słonecznej osi rotacji do ekliptyki¹⁷. Rysował ich tory na tarczy, zamieszczając potem w dziele *Rosa Ursina*¹⁸ (rysunek 2), które ukazało się dwa lata przed *Dialogiem* Galileusza¹⁹. W *Dialogu* nie pojawiły obserwowanych na tarczy słonecznej przez kilka dni. Wzmianka o Merkury, a nie plamie, widocznym na dysku słonecznym w 807 r. znalazła się natomiast w innym, wcześniej wydanym, jego dziele: J. Kepler: *Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur*, Frankfurt 1604, s. 306.

¹⁰ O. Gingerich: *Johannes Kepler* [w:] *The general history of astronomy*, tom 2, część A, red. M. Hoskin, Cambridge 1989, s. 70–71.

¹¹ Tamże, s. 70.

¹² Galileusz być może obserwował plamy już latem 1610 r. w Padwie; W.M. Mitchell: *The history of the discovery of the solar spots*, „Popular Astronomy” t. 24: 1916 s. 30 i 85.

¹³ Harriot przygotował szereg rysunków obserwując Słońce między 1 grudnia 1611 a 18 stycznia 1613 r. kalendarza juliańskiego; R.B. Herr: *Solar Rotation Determined from Thomas Harriot's Sunspot Observations of 1611 to 1613*, „Science” t. 202: 1978 s. 1079–1081.

¹⁴ Galileusz: *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro accidenti comprese in tre lettere scritte all' illustrissimo Signor Marco Velsari Linceo duumviro d'augusta consigliere di sva maesta cesarea dal Signor Galileo Galilei Linceo*, Rzym 1613, s. 40–60.

¹⁵ Ch. Scheiner: *De maculis solaribus tres epistolae*, Rzym 1613.

¹⁶ Tytuł drugiego dzieła: Ch. Scheiner: *Prodromus pro sole mobili, et terra stabili, contra academicum florentinum Galilaeum a Galilaeis*, Praga 1651.

¹⁷ Galileusz twierdził, że efekt zauważył wcześniej. Według: W.M. Mitchell: dz. cyt. s. 488–489.

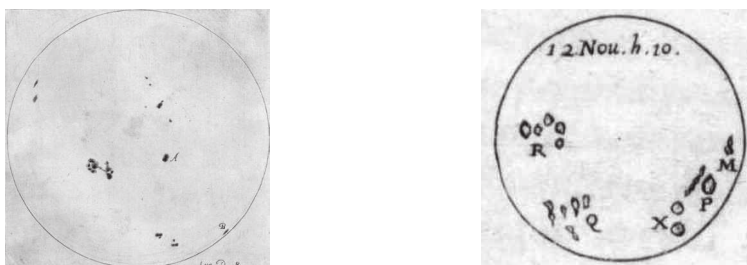
¹⁸ Ch. Scheiner: *Rosa Ursina*, Bracciani 1630.

¹⁹ Galileusz: *Dialogo di Galileo Galilei*, Florencja 1632. Tytuł współczesnego wydania polskiego: *Dialog o dwu najważniejszych układach świata: ptolemeuszowym i kopernikowym*, Warszawa 2004; tłum. E. Ligocki.

się już żadne rysunki z obserwacji powierzchni Słońca, choć zmiany kształtu torów plam słonecznych, spowodowane nachyleniem słonecznej osi rotacji, zostały przedyskutowane²⁰.

Karol Malapert (1581–1630) opracował swoje obserwacje w podobny sposób jak zrobił to Scheiner, w tym te wykonane w Kaliszu, pisząc dzieło *Austriaca sidera heliocyclia astronomicis hypothesibus illigata*²¹, które zostało wydane dopiero w 1633 r. W książce zamieszczona została także czytelna ilustracja zmian nachylenia osi rotacji słonecznej, obserwowanych z kardynalnych pozycji ziemskiej orbity.

Pierwsza polska rozprawa naukowa, w której opisano plamy słoneczne, ukazała się nawet wcześniej, bo w 1626 r., jako praca szesnastoletniego wówczas Jana Mikołaja Smoguleckiego (1610–1656). W liczącym ponad 120 stron dziele zamieszczony został katalog plam, które zaobserwował w 1625 r.²².



Rysunek 1. Przykłady obserwacji plam słonecznych wykonanych w pierwszej połowie XVII w. przez Galileusza w sierpniu 1612 r. (z lewej)²³ oraz Scheinera w listopadzie 1611 r.²⁴, na którego rysunku plamy lokują się wzdłuż obwodu tarczy słonecznej. Pierre Gassendi (1592–1655) podobnie surowe grafiki, choć z dokładnością bliższą galileuszowym, wykonywał jeszcze w latach trzydziestych. Za zgodą Biblioteki Uniwersytetu Warszawskiego.

Liczne plamy obserwował przez lunetę w 1612 r. Galileusz. Kunitomo Sakurai wyznaczył współcześnie wartości liczb Wolfa dla poszczególnych dni, analizując wykonane wówczas przez Włocha rysunki zamieszczone w *Istoria e dimostrazioni*²⁵. Średnia liczba Wolfa ustalona na podstawie ilustracji wykonanych z przerwami mię-

²⁰ Tamże (wydanie polskie), s. 534–539.

²¹ Ch. Malapert: *Austriaca sidera heliocyclia astronomicis hypothesibus illigata*, Douai 1633; rysunki wykonane w Kaliszu znajdują się na stronach: 70 (9 marca 1618 r.), 74 (7–18 lipca 1618 r.) i 75 (8–19 lipca 1618 r.).

²² J.M. Smogulecki: *Sol illustratus ac propugnatus ab Illustri ac Generoso Domino, Domino Ioanne Nicolao a Smogulecz Smogulecki, &c. Maioris Congregationis Academiae Friburgi Brisgoiae Praefecto, Mathematicarum Scientiarum, atque Philosophiae Studioso*, 1626 Fryburg. Plamy obserwował w miesiącach: styczeń–luty, kwiecień–czerwiec, sierpień–październik. Na jednej ze stron jego książki znalazło się sześć rysunków prezentujących położenia plam na tarczy słonecznej w kolejnych dniach; J.M. Smogulecki: dz. cyt. s. 45.

²³ Galileusz: *Istoria e...* s. 93.

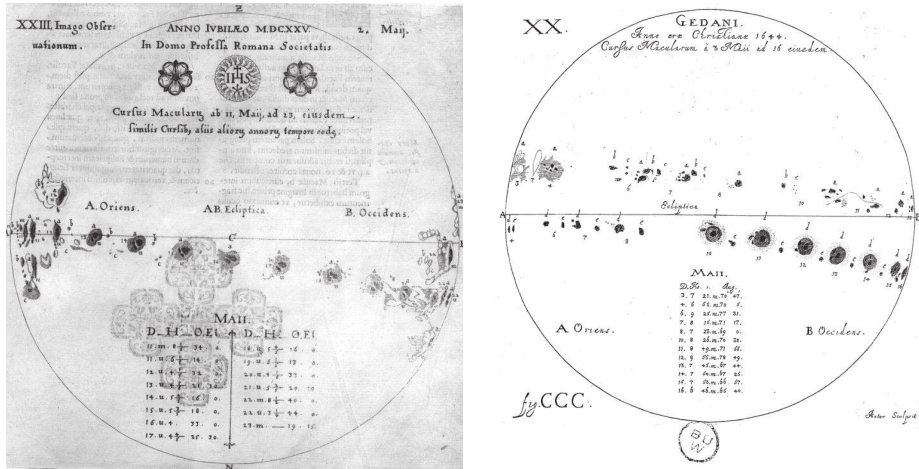
²⁴ Ch. Scheiner: *De maculis...* wklejka.

²⁵ K. Sakurai: *The solar activity in the time of Galileo*, „Journal for the History of Astronomy” t. 11: 1980 s. 164–173.

dzy 2 czerwca a 20 sierpnia sięgnęła stu, choć niektóre wartości dzienne okazały się większe, jak 26 czerwca, gdy liczba dobowa była równa 153²⁶. Najwyraźniej odkrycie plam słonecznych nastąpiło tuż przed lub w czasie szczytu ich liczby, zaś Kepler plamę obserwował podczas minimum cyklu jedenastoletniego.

Lata drugiej połowy wieku, począwszy od 1645 r. to natomiast okres tzw. Minimum

Maundera, które według wielu współczesnych badaczy miało być czasem znacznie mniejszej aktywności plamowej Słońca i trwać do 1715 r. Temat ten jest szczegółowo referowany w dalszej części artykułu.



Rysunek 2. Obserwacje późniejsze. Podobieństwo przedstawiania plam słonecznych przez Scheinera w *Rosa Ursina*²⁷ i Heweliusza w *Selenographia*²⁸. Obydwaj zamiast obrazu tarczy słonecznej zamieszczali rysunki torów wybranych plam i grup plam na tarczy. Pojedyncze ilustracje nie umożliwiają wyznaczenia liczb Wolfa. Za zgodą Biblioteki Uniwersytetu Warszawskiego.

Instrumenty i metody obserwacyjne

Wynalezienie lunety miało duże znaczenie także dla badań słonecznych, gdyż przyrząd umożliwił m.in. obserwacje powierzchni dziennej gwiazdy z wykorzystaniem ekranu²⁹. W ten sposób powstał heliotrop, czyli teleskop na montażu paralaktycznym zapożyczonym wprost z torkwetum, skonstruowany w Kaliszu z inicjaty-

²⁶ Tamże, s. 168.

²⁷ Rysunek plamy widocznej w 1625 r.; Ch. Scheiner: *Rosa...* s. 211.

²⁸ Plama obserwowana w 1644 r.; J. Heweliusz: *Selenographia sive lunae descriptio*, Gdańsk 1647, rysunek między numerowanymi stronami 518 i 519.

²⁹ Rysunki prezentujące metodę obserwacji powierzchni Słońca zostały zamieszczone np. w: Ch. Scheiner: *Rosa...*, s. 77, J. Heweliusz: *Selenographia sive...*; dwa rysunki między stronami 98 i 99 oraz 102 i 103, Ch. Malapert: dz. cyt. s. 21, a także J. Heweliusz: *Machina coelestis*, Gdańsk 1673, ks. I, ilustracje między s. 372 i 373 oraz 374 i 375.

wy Malaperta³⁰. Rzutowanie obrazu zastąpiło wcześniejszą metodę obserwacyjną, polegającą na montowaniu w lunecie kolorowych szkieł słabo przepuszczających światło, czyli tzw. helioskop.

Projekcję na ekran stosował już Galileusz, o której dowiedział się od Benedetto Castelliego (1578–1643), co zostało opisane w drugim liście do Marka Welsera³¹. Z innego listu, napisanego 11 grudnia 1612 r. przez Odoną van Maelcote (1572–1615) do Keplera, wynika, że wcześniej pokazywał plamy słoneczne innym sposobem niż rzutowanie³².

Z metody projekcji korzystał potem w latach 1642–1644 Jan Heweliusz (1611–1687)³³, natomiast autorzy szeregu późniejszych publikacji sposobu takiego nie wzmiankują, ograniczywszy się jedynie do informacji o długości lunety. Ani artykuł Gian Domenica Cassiniego (1625–1712) z 1671 r.³⁴, ani Johna Flamsteeda (1646–1719) z 1676 r.³⁵, gdzie obydwaj po raz pierwszy opisali dostrzeżone przez siebie plamy, nie informuje o rzutowaniu obrazu Słońca na ekran. O tym, że metodę tę stosował Anglik, wiadomo z listu, który 8 lipca 1684 r. napisał do Edwarda Barnarda³⁶. Szczegół ten musiał wydawać się nieistotny zarówno dla Heweliusza tworzącego katalog plam, które zaobserwował w późniejszym okresie, czyli w latach 1653–1671³⁷, jak również dla Stannyana³⁸, obserwującego rozbudowaną grupę plam w schyłkowej fazie Minimum Maundera. Także publikacja Ribesów (Jean Claude Ribes i Elizabeth Nesme–Ribes (1942–1996)), opisująca szczegóły wyznaczania średnicy kątowej Słońca mikrometrem przez Jeana Picarda (1620–1682) i zmodyfikowaną metodą tranzytów stosowaną przez

³⁰ K.M.P. Rudnicki: *Jezuicki wynalazek paralaktycznego montażu teleskopów* [w:] *Wkład jezuitów do nauki i kultury w Rzeczypospolitej Obojga Narodów i pod zaborami*, red. I. Stasiwicz–Jasiukowa, Kraków 2004, s. 324–326.

³¹ Tłumaczenie listu: T. Sierotowicz: dz. cyt. s. 334–336.

³² W.M. Mitchell: dz. cyt. s. 296.

³³ J. Heweliusz: *Selenographia sive...* rysunek między stronami 98–99.

³⁴ G.D. Cassini: *New Observations of Spots in the Sun; made at the Royal Academy of Paris, the 11, 12 and 13th of August 1671; and English't out of the French, as follows*, „Philosophical Transactions” t. 6: 1671 s. 2250–2253; Tenże: *The Observations of the SPOTS of the SUN, made at the Royal Academy at Paris, Continued; and English't out of French*, „Philosophical Transactions” t. 6: 1671 s. 3020–3024.

³⁵ J. Flamsteed, E. Halley: *An Extract of an account given by Mr. Flamsteed of his own and Mr. Edmund Halleys Observations concerning the Spots in the Sun, appearing in July and August 1676*, „Philosophical Transactions” t. 11: 1676 s. 687–688.

³⁶ J. Flamsteed: *The correspondence of John Flamsteed, the first Astronomer Royal*, t. 2 (lata 1682–1703), red. E.G. Forbes i in., Bristol i Philadelphia 1997, s. 176–177, list 519.

³⁷ J. Heweliusz: *Machina coelestis*, Gdańsk 1679, ks. III, s. 1–30.

³⁸ Nie jest znane imię Stannyanna. Nie wiadomo też kiedy się urodził; Stannyan: *Observations made by Captain Stannyan of the Spots that appear'd upon the Body of the Sun in the Months of May, June and July, in the year 1704. Communicated by Mr Hodgson, F. R. S.*, „Philosophical Transactions” t. 24: 1704–1705 s. 1756–1762.

Philippe de La Hire'a (1640–1718), nie precyzuje czy obraz dziennej gwiazdy uzyskiwany był w wyniku rzutowania na ekran, czy inaczej³⁹.

Średnice lunet używanych przez XVII w. astronomów były stosunkowo nieduże. Wiadomo np. o aperturze długiej czternastostopowej lunety Flamsteeda, której używał do obserwacji Saturna, że była taka, jak największego teleskopu Galileusza – 38 mm⁴⁰. Wiadomo też, że do celów obserwacji astrometrycznych Picard stosował lunetę o długości 6 stóp i uzyskiwał obraz tarczy słonecznej o średnicy około 2 cm⁴¹, z czego wynika, że dokonywał pomiarów bez zamontowanego okularu⁴², a pozycje dostrzeżonych wówczas plam wyznaczał potem lunetą o połowę krótszą⁴³. Nicolas Bion (1652–1733), konstruktor instrumentów w Obserwatorium Paryskim, obserwując przez teleskop o tej samej długości otrzymał już znacznie większy obraz dysku słonecznego, o którego wielkości można wnioskować na podstawie ryciny zamieszczonej w jego książce; patrz rys. 5.

Inna luneta stosowana przez Picarda do pomiarów wysokości kątowej górnej i dolnej krawędzi Słońca oraz wysokości kątowej plam teoretycznie powinna umożliwiać dokładność sięgająca 5", co jest równoznaczne z rozróżnianiem w okolicy równika dysku dziennej gwiazdy szczegółów o rozciągłości równej pół stopnia szerokości heliograficznej⁴⁴. Jednak niewielkiej, a często całkiem dużej plamy, zwłaszcza z rozmytym półcieniem, nie udałooby się wcześniej dostrzec na obrazie tarczy o małej średnicy uzyskiwanym lunetą Picarda, stosowaną do pomiarów średnicy kątowej dziennej gwiazdy.

Zestawienia obserwacji pozycyjnych wykonanych przez Picarda oraz de La Hire'a, zamieszczone w opracowaniu Pierre'a Charlesa Le Monnier (1715–1799)⁴⁵, umożliwiają wyznaczenie torów plam na widocznej półsfery Słońca i mogą potwierdzić dokładność wykonywanego pomiaru, którego precyzja czasem okazywała się znacznie mniejsza. Badania szczegółów ich struktury zauważonych podczas obserwacji astrometrycznych wykonywane były zawsze lunetą o znacznie dłuższej ogniskowej, a zatem również większym powiększeniu. Długości tych lunet można

³⁹ J.C. Ribes, E. Nesme-Ribes: *The solar sunspot cycle in the Maunder minimum AD 1645 to AD 1715*, „Astronomy and Astrophysics” t. 276: 1993 s. 549–563.

⁴⁰ J. Flamsteed: *The correspondence of John Flamsteed, the first Astronomer Royal*, t. 1 (lata 1666–1682), red. E.G. Forbes i in., Bristol i Philadelphia 1995, s. 121–122, list o numerze 77 z 2 grudnia 1671 r. napisany przez Flamsteeda do Oldenburga.

⁴¹ E. Ribes, J.C. Ribes, R. Barthalot: *Evidence for a larger Sun with a slower rotation during the seventeenth century*, „Nature” t. 326: 1987 s. 52.

⁴² Luneta o długości 6 stóp powinna wytwarzać w ognisku obiektywu obraz Słońca o średnicy około 18 milimetrów; szczegóły obliczeń w: A. Woszczyk: *Instrumenty Kopernika a narzędzia współczesnej astronomii*, Toruń 1973, s. 64.

⁴³ J.C. Ribes, E. Nesme-Ribes: *The solar...* s. 554 i 555.

⁴⁴ Tamże, s. 554 i 555.

⁴⁵ P.C. Le Monnier: *Histoire celeste ou recueil de toutes les observations astronomiques faites par ordre du Roy*, Paryż 1741, s. 23–24 i 85–328.

odnaleźć np. na rysunkach plam wykonanych przez de La Hire'a (16 stóp)⁴⁶ i Biona (20 stóp)⁴⁷, który wyznaczył tor grupy na tarczy używając lunety kilkakrotnie krótszej, o długości 6 stóp.

Zachowana korespondencja pozwoliła także ustalić, że np. w lutym 1672 r. Flamsteed obserwował Słońce lunetą o długości 164,5 cala⁴⁸, zaś na samym początku katalogu plam w *Historia coelestis Britannica* wzmiankowana jest ponadto luneta o długości 8 stóp⁴⁹ oraz 16 stopowa⁵⁰, jak również teleskop krótszy⁵¹ i dłuższy⁵² w dalszej części podrzędziła dzieła. Na pewno instrumentem o długości 16 stóp astronom posługiwał się obserwując zaćmienia słoneczne⁵³.

W schyłkowym okresie Minimum Maundera, w 1704 r., 7- i 18-stopowej lunety używał Stannyan⁵⁴, zaś teleskopami długimi na 6 i 16 stóp obserwował William Derham (1657–1735)⁵⁵. Podobnie Gian Domenico Cassini, gdy rysował szczegóły swojej pierwszej grupy plam dostrzeżonej w sierpniu 1671 r.⁵⁶ przyrzędem o ogniskowej około 3 stóp⁵⁷, korzystał z większej lunety, długiej na 17 stóp⁵⁸.

Ponieważ znane jest powiększenie uzyskiwane w połowie XVII w. dużym teleskopem Christiaana Huygensa (1629–1695) o długości 3,5 metra⁵⁹ to można wnioskować o ogniskowej okularu i przypuszczać, że ówczesna luneta o długości 6 stóp mogła dysponować powiększeniem około 27-krotnym. Dłuższe lunety, o ogniskowej od 16 do 18 stóp, przy podobnej długości ogniskowej okularu, jak w lunecie Holendra, uzyskiwałyby wtedy powiększenie kątowe 70- lub 80-krotne.

Użytecznym dla obserwacji słonecznych przy użyciu teleskopu okazało się wynalezienie w roku 1639 mikrometru przez Williama Gascoigne'a (1612–1644). Dzięki zastosowaniu przyrzędu możliwe było wyznaczenie wielkości

⁴⁶ Tamże; plansza 4.

⁴⁷ N. Bion: *Des observations des Taches du Soleil [w:] L'usage des globes célestes et terrestres, et des sphères suivant les différens systèmes du monde*, Paryż 1717, ks. III, s. 376.

⁴⁸ J. Flamsteed: *The correspondence...*, t. 1, s. 132, list o numerze 85.

⁴⁹ Tenże: *Historia coelestis Britannica*, Londyn 1725, ks. I, s. 361–366.

⁵⁰ Tamże, ks. I, s. nienumerowana między 362 i 363.

⁵¹ Tamże; relacja z 5 na 6 grudnia (kalendarz juliański z początkiem doby w południe): „Tubum breviorem ad Solem adhibui, & Maculam regressam intra discum vidi”, s. nienumerowana między 362 i 363.

⁵² Tamże, łac. „tubo longiore” w opisie z 7 grudnia, s. 365.

⁵³ J. Flamsteed: *The correspondence...*, t. 2, s. 176–177, list 519.

⁵⁴ Stannyan: dz. cyt. s. 1756–1762.

⁵⁵ W. Derham: *Observations upon the Spots that have been upon the Sun, from the Year 1703 to 1711*, „Philosophical Transactions” t. 27: 1710 s. 272.

⁵⁶ G.D. Cassini: *New Observations...* s. 2251.

⁵⁷ Także w „Memoires de mathématique et de physique tirés des registres de l'Académie Royale des Sciences” z lat 1702–1703, oprócz kilku innych, wzmiankowana bywa taka luneta.

⁵⁸ G.D. Cassini: *New Observations...* s. 2250–2253.

⁵⁹ J. North: *Historia astronomii i kosmologii*, Katowice 1997, s. 234.

kątowej niektórych plam przez samych obserwatorów oraz pomiar ich odległości od brzegu tarczy słonecznej. Heweliusz, katalogując swoje obserwacje, nie zamieścił wyników takich pomiarów, ale z przyrzędu korzystał zarówno Picard⁶⁰, jak i Flamsteed⁶¹.

Plamy okresu minimum Maundera

W roku 1976 amerykański geofizyk John Eddy (1931–2009) nazwał długie minimum liczby plam przypadające na lata 1645–1715 nazwiskiem Edwarda Maundera (1851–1928). Idea trwającego siedemdziesiąt lat okresu zmniejszonej lub zmniejszonej aktywności słonecznej powstała jednak wcześniej, w latach 1887–1889, a pomysłodawcą był niemiecki astronom Gustaw Spörer (1822–1895)⁶². Także Rudolf Wolf (1816–1893), badając wtedy opisy archiwalne, nie znalazł plam na północnej półkuli Słońca w tym okresie⁶³. Poglądem Spörera zainteresował się wówczas Maunder, jak również Agnes Clerke (1842–1907)⁶⁴, a później Andrew E. Douglass (1867–1962)⁶⁵, astronom i twórca dendrochronologii, któremu przy wykorzystaniu własnych spostrzeżeń z zakresu botaniki udało się początkowo potwierdzić długostrwałe minimum.

Temat pojawił się potem ponownie na łamach prasy naukowej dopiero w 1922 r. gdy Maunder⁶⁶ opublikował kolejne opracowanie, zamieszczając listę podobną do tej, którą w roku 1889 zaprezentował Spörer⁶⁷. Znalazły się tam wszystkie skatalogowane wcześniej plamy z przeważnie takimi samymi, jak ustalone przez astronoma niemieckiego, wartościami szerokości heliograficznej.

⁶⁰ J.C. Ribes, E. Nesme-Ribes: *The solar...* s. 552–554.

⁶¹ J. Flamsteed: *Historia coelestis...*, ks. I, s. 361–366.

⁶² G. Spörer: *Ueber die Periodicität der Sonnenflecken seit dem Jahre 1618, vornehmlich in Bezug auf die heliographische Breite derselben, und Hinweis auf eine erhebliche Störung dieser Periodicität während eines langen Zeitraumes*, „Vierteljahresschrift Astronomische Gesellschaft (Leipzig)” t. 22: 1887 s. 328.

⁶³ R. Wolf: *Besprechung der neuesten Untersuchungen von Herrn Professor Dr. Spörer über die Wanderung der Fleckenzonen*, „Astronomische Mittheilungen von Dr. Rudolf Wolf” z. 73: 1889 maj s. 86.

⁶⁴ A.M. Clerke: *A prolonged sunspot minimum*, „Knowledge” t. 17: 1894 s. 206–207.

⁶⁵ Związek między małą liczbą plam a mniejszymi szerokościami rocznych przyrostów drzewnych stwierdził, jak wynika z jego artykułu, już w roku 1919. A.E. Douglass: *Solar records in tree growth*, „Journal of the Royal Astronomical Society of Canada” t. 21: 1927 s. 277–279.

⁶⁶ E.W. Maunder: *The Prolonged Sunspot Minimum, 1645–1715*, „The Journal of the British Astronomical Association” t. 32: 1922 s. 140–145.

⁶⁷ G. Spörer: *Ueber die Periodicität der Sonnenflecken seit dem Jahre 1618, vornehmlich in Bezug auf die heliographische Breite derselben, und Nachweis einer erheblichen Störung dieser Periodicität während eines langen Zeitraumes*, „Nova Acta der Kaiserliche Leopoldinisch – Carolinische Deutschen Akademie der Naturforscher” t. 53: 1889 nr 2 s. 319–324.

Najbardziej znanymi obserwatorami plam słonecznych okresu Minimum byli: Jan Heweliusz (zauważył plamy w latach: 1652⁶⁸, 1653 i 1654 (liczne), 1657, 1659, 1660 (liczne), 1661, 1671⁶⁹, 1684⁷⁰), John Flamsteed (obserwował plamy w drugiej połowie 1676 r., jedną w 1684 r. i trzy dostrzegł w roku 1703), ale również Jean Picard (obserwował Słońce głównie w Paryżu do roku 1677, w 1681 r. i w pierwszych miesiącach 1682 r.⁷¹), Phillippe de La Hire, Nicolas Bion (obserwował w 1672 r.), Gian Domenico Cassini (obserwował plamy np. w roku 1671 i kilkakrotnie w 1678 (rys. 4), czy dużą w 1680 r.⁷², a przypuszczalnie także opisaną przez Flamsteeda w 1684 r.) i Gottfried Kirch (1639–1710) (np. dwie lub trzy plamy dostrzegł 23 maja 1678 r., jak również duże widoczne w 1687 r.). Tematem plam zajmowało się ponadto wielu innych ówczesnych badaczy np. Robert Boyle (1627–1691)⁷³, Robert Hooke (1635–1702)⁷⁴ i Stannyan⁷⁵; wyniki wszystkich trzech znane są z publikacji w „Philosophical Transactions”.

Plamy obserwował i katalogował także Derham, który w tym samym czasopiśmie zamieścił obszerną listę własnych obserwacji oraz Johann Abraham Ihle (1627–1704), dzielący się swoimi spostrzeżeniami w korespondencji i Georg Christoph Eimmart (1638–1705)⁷⁶, o którym wiadomo, że wykonywał podobne

⁶⁸ J. Heweliusz: *Ilustribus Viris, Petro Gassendo et Ismaeli Bullialdo, philosophis ac mathematicis nostri saeculi summis, amicis suis officiose honorandis Johannes Hevelius S.*, Gdańsk 1652, s. 8. List ten znany jest również pod innym tytułem: *Illustrissimis Viris Pet. Gassendo et Ismael Bullialdo de eclipse solari*.

⁶⁹ Tenże: *Machina coelestis...*, ks. III, s. 1–30.

⁷⁰ Tenże: *Annus climactericus sive rerum Uranicarum observationum annus quadragesimus nonus*, Gdańsk 1685, s. 186.

⁷¹ Opracowanie wszystkich obserwacji wykonanych przez Picarda w 1676 r. zajęło w katalogu Le Monnier 56 stron, spostrzeżenia 1678 r. zmieściły się już tylko na trzech stronach, zapisy 1679 r. zajęły 2,5 strony, a 1680 r. trzy strony. W 1681 r. Picard obserwował częściej i jego spostrzeżenia zapełniły już trzynaście stron, zaś w 1682 r. jedenaście. Na podstawie P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. 173–267.

⁷² [Komunikat bez tytułu i nazwiska autora]: „Histoire de l'Académie Royale des Sciences” t. 1: 1733 s. 317–318.

⁷³ R. Boyle: *An Intimation of divers Philosophical particulars, now undertaken and consider'd by Several Ingenious and Learned men; here inserted to excite others to joyn with them in the same or the like Attempts and Observations*, „Philosophical Transactions” t. 6: 1671 s. 2216–2217.

⁷⁴ R. Hooke: *Observations made by Mr. Hook, of some Spots in the Sun, return'd after they had passed over the Upper Hemisphere of the Sun which is hid from Us; according as was predicted*, „Philosophical Transactions” t. 6: 1671 s. 2295–2296.

⁷⁵ Stannyan: dz. cyt. s. 1756–1762.

⁷⁶ G.Ch. Eimmart miał obserwować plamy w latach 1682 i 1683, co stanowi treść przypisu w czasopiśmie Wolfa z numerem 93 (R. Wolf: *Scheibel, Einleitung zur mathematischen Bücherkenntniss*, „Mittheilungen über die Sonnenflecken” z. 6: 1858 luty s. 156–157), natomiast z katalogu D. Hoyta i K. Schattena wynika, że badacz dostrzegł wtedy tylko jedną; ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/GROUP_SUNSPOT_NUMBERS/alldata (obecnie niedostępny). Natomiast znacznie większe liczby dni widoczności plam, wzmiankowane w moim wcześniejszym artykule (R. Rek: *Obserwacje plam słonecznych w wieku XVII*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” t. 50: 2005 nr 3–4, s. 236), okazały się numerami przy-

obserwacje na podstawie przypisów bibliograficznych zaczerpniętych z czasopisma wydawanego przez Wolfa.

Wiele archiwalnych relacji z obserwacji wykonanych w latach Minimum Maundera zostało skatalogowanych właśnie w „Mitteilugen über der Sonnenflecken” i „Astronomische Mitteilungen von Dr. Rudolf Wolf”. Pierwszy zeszyt wydawanego przez Szwajcara czasopisma ukazał się w 1856 r., zaś przegląd publikacji dotyczących Słońca, w tym także XVII-wiecznych, zamieszczany był systematycznie w kolejnych numerach i dostarcza licznych wzmianek o źródłach.

Według Františka Linka (1906–1984)⁷⁷ Picard i de La Hire w latach 1672–1677 oraz 1684–1700 obserwowali plamy przez 83 dni, przy czym wiadomo, że po obserwacji plamy w 1695 r. przez Giacomo Filippo Maraldiego (1665–1729) do 7 listopada 1700 r. nie zaobserwowano już żadnej. Natomiast z opracowania Ribesów wynika, iż w latach 1671–1695 dostrzeżono w Obserwatorium Paryskim 51 plam⁷⁸, zaś z katalogu Le Monniera, że w latach 1672–1684 plamy były widoczne przez 58 dni⁷⁹. Obserwacje wykonane podczas pięciu innych dni zostały skatalogowane jedynie na zamieszczonych w tym dziele ilustracjach. Wśród 20 dni, które nie zostały zebrane przez Le Monniera, zarówno w tabelach, jak i na rysunkach, a są wzmiankowane przez Linka⁸⁰, znalazłoby się aż 18 dni, podczas których plamy słoneczne zauważył Cassini. Wiadomo, że były to plamy dostrzeżone w latach: 1676, 1678, 1680 i 1684, w tym cztery dni będące uzupełnieniem kilkudniowej sekwencji obserwacji wykonanych przez de La Hire’a w maju 1684 r.⁸¹. Sam de La Hire spoglądał potem na plamy również: 23, 28, 29 i 30 kwietnia oraz 1 maja 1686 r.⁸². Jednak wśród wcześniej widocznych zjawisk, które obserwował w 1684 r., a skatalogowanych potem przez Le Monniera, można doliczyć się jedynie połowy ze wzmiankowanych przez Ribesów; w latach 1672–1684 zaobserwowano zatem 17, a nie 31 plam.

pisów bibliograficznych zaczerpniętymi z czasopisma Wolfa, które Link zamieścił w swoim tekście; F. Link: *Solar cycles between 1540 and 1700*, „Solar Physics” t. 59: 1978 s. 176.

⁷⁷ F. Link: *Solar cycles...* s. 176.

⁷⁸ J.C. Ribes, E. Nesme-Ribes: *The solar...* s. 556.

⁷⁹ P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. 23–24 i 85–328.

⁸⁰ F. Link: *Solar cycles...* s. 176.

⁸¹ Według Spörera Cassini obserwował w dniach 5–17 maja 1684 r. (G. Spörer: *Ueber die...* (1889) s. 320), natomiast z przypisu Wolfa wynika, że: 9, 11, 14 i 17 maja 1684 r. (przypis bibliograficzny nr 150, R. Wolf: *Histoire et Mémoires de l'Académie royale des Sciences. Depuis son établissement en 1666 jusqu'à 1699. Vol. 1–11.*, „Mittheilungen über die Sonnenflecken” z. 11: 1860 czerwiec s. 31).

⁸² Ph. de La Hire: *Observations d'une tache qui a paru sur le Disque du Soleil vers la fin du mois d'Avril et au commencement de May de cette année 1686, faites à l'Observatoire*, „Memoires de l'Académie Royale des Sciences” t. 10: 1730 s. 707–708; wydanie paryskie, zawierające zbiór archiwalnych artykułów z czasopisma. Ta sama relacja w: J. La Lande: *Second mémoire sur les taches du Soleil, contenant diverses observations de taches, Avec les positions qui en résultent, et la confirmation des résultats précédens*, „Memoires de mathématique et de physique tirés des registres de l'Académie Royale des Sciences” t. 80: 1778 s. 402; wyd. paryskie, numer tomu to numer kolejnego rocznika dodatku do „Histoire”, którego wydawca nie zamieszczał.

Liczba plam widocznych w czasie Minimum Maundera powiększa się natomiast, jeżeli uwzględnić zjawiska dostrzeżone przez Picarda w roku 1661⁸³ i przez Cassiniego w roku 1680, inne widoczne jesienią 1686 r., a także gdy dodać plamy, a pewnie raczej grupy plam, obserwowane przez Heweliusza w roku 1652 a potem w latach 1653–1654, 1657 i 1660–1661⁸⁴. Część z tych zapisów dotyczy obserwowania tej samej grupy podczas kolejnych rotacji słonecznych. Identyfikację powracających plam umożliwia np. komentarz zamieszczony w katalogu Heweliusza, a dotyczący tej samej struktury widocznej przez 6 obrotów Słońca wokół osi⁸⁵, czyli od końca 1659 do połowy roku 1660.

Kilka innych plam, dostrzeżonych wyłącznie przez Kircha w roku 1687⁸⁶, jak również wzmianki o trzech plamach zawarte w jego korespondencji⁸⁷, które przypuszczalnie widoczne były w latach ostatniej dekady wieku siedemnastego, zwiększają do ponad 60 liczbę plam, z których wiele, jeśli nie wszystkie, były grupami zawierającymi mniejsze cienie. Z zestawienia Spörera wynika, że zjawiska te były częstsze w schyłkowej fazie Minimum, czyli po roku 1700. Opisy wcześniejsze zajęły mu w jego katalogu nieco więcej niż jedną, zaś późniejsze trzy strony⁸⁸. Wiadomo też, że widywano wtedy kilka plam na tarczy słonecznej w tym samym czasie.

Picard pierwszą obserwację Słońca wykonał już w roku 1645⁸⁹, ale plamy dostrzegł dopiero w latach 1660–1661⁹⁰, a kolejne w: 1671 (13 sierpnia⁹¹), 1672⁹² i 1674 r.⁹³. Rysunki plam, które wykonał na przełomie lipca i sierpnia 1676 r. wydają się potwierdzać, że zjawiska te były olbrzymie, o czym można wnioskować na

⁸³ Plamę obserwował w dniach 13–14 sierpnia; J.M. Vaquero, M. Vázquez: *The Sun Recorded Through History: Scientific Data Extracted from Historical Documents*, Berlin 2009, s. 129.

⁸⁴ J. Heweliusz: *Machina...*, ks. III, s. 1–30.

⁸⁵ Tamże, s. 9. Boyle obserwowałby zatem tę samą plamę także podczas siódmej rotacji; R. Boyle: dz. cyt. s. 2216–2217.

⁸⁶ H.E. Landsberg: *Variable Solar Emissions, the "Maunder Minimum" and Climatic Temperature Fluctuations*, „Archiv für Meteorologie Geophysik und Bioklimatologie” t. 28: 1980 seria B s. 184.

⁸⁷ G. Kirch: *Die Korrespondenz des Astronomen und Kalendermachers Gottfried Kirch (1639–1710)*, red. K.D. Herbst, Jena 2006, t. II, s. 259; list z numerem 594; s. 409–410, list z numerem 745.

⁸⁸ G. Spörer: *Ueber die...* (1889) s. 319–324.

⁸⁹ J.C. Ribes, E. Nesme–Ribes: *The solar...* s. 549–550.

⁹⁰ Przypuszczalnie jedna z tych plam została przez Ribesów skatalogowana na rysunku jako widoczna w 1662 r.; tamże, s. 556.

⁹¹ G. Picolet: *La correspondance de Jean Picard avec Johann Hevelius (1671–1679). Edition et traduction française*, „Revue d’Histoire des Sciences” t. 31: 1978 s. 21.

⁹² J. Picard: *Voyage d’Uranibourg, ou observations astronomiques faites en Dannemarck. Article premier*, „Memoires de l’Academie Royale des Sciences” t. 7: 1729 cz. I s. 195; tom zbiorczego wydania artykułów z lat 1666–1669; P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. 23–24.

⁹³ Tamże, s. 85–86.

podstawie wielkości krzywizny dysku słonecznego na ilustracji. Potem obserwował jeszcze przez trzy kolejne dni jedną plamę w 1677 r.⁹⁴, która została niewłaściwie opisana na diagramie Ribesów (miały to być trzy plamy, a nie trzy dni obserwacyjne) i była to ostatnia, jaką zaobserwował.

Olbrzymie były plamy dostrzeżone w roku 1671 przez Cassiniego, który wykonał bardzo dokładne rysunki ewolucji struktury grupy w kolejnych dniach oraz pomiary jej wielkości kątowej. W tym samym roku w „Philosophical Transactions” ukazały się trzy artykuły, z których dwa dotyczą wyłącznie spostrzeżeń tego astronoma oraz tekst poświęcony obserwacjom wykonanym przez Boyle’a jedenaście lat wcześniej, a który również wzmiankuje obserwacje Włocha⁹⁵. Plama, co zostało ustalone przez Cassiniego, miała długość 75”, czyli mniej więcej tyle, co średnica innej, widocznej jeszcze przed początkiem Minimum w maju 1644 r., a opisanej przez Heweliusza. Co do wielkości plamy z rysunku, jaki zamieścił Heweliusz w dodatku do *Selenographia* można by jednak mieć wątpliwości czy nie została zawyżona, bo badacz nie stosował mikrometru⁹⁶. Szacunki wielkości plam słonecznych poczynione przez Gdańszczanina i wyrażone jako ułamek średnicy tarczy gwiazdy, a nie w sekundach łuku, znaleźć można jedynie w *Cometographia*⁹⁷ i te raczej na pewno nie wymagały zastosowania takiego przyrządu.

Tabela 1. Daty obserwacji plam dostrzeżonych przez Picarda i de La Hire’a, skatalogowane przez Le Monniera⁹⁸. W tym samym dziele zamieszczono rysunki plam widocznych 29 i 30 czerwca, w dniach 1–4 lipca 1676 r. (plamy przy brzegu tarczy słonecznej), których jednak nie ma w katalogu w tej samej książce. W zestawieniu Le Monniera nie ma również plam, które dostrzegł np. Cassini: 9, 14 i 17 maja 1684 r.⁹⁹. Daty wg kalendarza gregoriańskiego.

Rok	Data dzienna obserwacji plam
1672	12, 14, 20 i 22 listopada
1674	29, 30 i 31 sierpnia
1676	26, 27 i 28 czerwca, 1, 9, 11, 13, 14 i 30 października, 1, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29 i 30 listopada, 15, 16, 18, 27 i 29 grudnia

⁹⁴ W 1677 r. Picard pierwszą plamę dostrzegł 10 marca, a kolejną obserwował 10, 11 i 12 kwietnia; tamże, s. 233–234.

⁹⁵ R. Boyle: dz. cyt. s. 2216–2217; G.D. Cassini: *New Observations...* s. 2250–2253; G.D. Cassini: *The Observations...* s. 3020–3024.

⁹⁶ J.A. Eddy, P.A. Gilman, D.E. Trotter: *Solar rotation during the Maunder Minimum*, „Solar Physics” t. 46: 1976 s. 10. Według autorów Heweliusz mógł zmienić proporcje między wielkością tarczy słonecznej, a wielkością rysowanych plam.

⁹⁷ J. Heweliusz: *Cometographia*, Gdańsk 1668, s. 401.

⁹⁸ P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. 23–24 i 85–328.

⁹⁹ Przepis bibliograficzny nr 150, R. Wolf, *Histoire et Mémoires... en 1666 jusqu'à 1699...* s. 31. Daty te nie są również dokładnie cytowane przez Maundera, który wymienił jedynie miesiąc, bez dat dziennych.

1677	10 marca, 10, 11 i 12 kwietnia
1684	5, 6, 7 i 8 maja, 11, 12, 13, 27, 28, 29 i 30 czerwca, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 25, 26 i 28 lipca

Plamy opisane przez Cassiniego dostrzegł 13 sierpnia także Picard¹⁰⁰, podczas rejsu po Morzu Północnym¹⁰¹. Ponadto zjawisko to obserwował również Heweliusz¹⁰², którego zainteresowanie tematem po szczycie liczby plam w 1660 r., czyli po 19 latach obserwacji powierzchni Słońca, bardzo znacznie osłabło.

Rok później, w październiku i listopadzie 1672 r., grupę plam na Słońcu obserwował Bion¹⁰³. Rysunki i raporty ze swoich obserwacji zamieścił w książce *L'usage des globes célestes et terrestres, et des sphères suivant les différents systèmes du monde*. Ten opis pozostał jednak nieznanym dla Spörera i Maundera, a przypomniany został dopiero w 2006 r. w publikacji Ricardo Casasa.

W roku 1671, co wiadomo na podstawie opublikowanej korespondencji, powierzchnię Słońca zaczął obserwować Flamsteed. Pierwszą swoją plamę zaobserwował dopiero 26 lipca 1676 kalendarza juliańskiego¹⁰⁴ i potem obserwował plamy dosyć często do końca roku¹⁰⁵. Również i te obserwacje uprzedził o ponad miesiąc Picard, który dostrzegł je na przełomie czerwca i lipca (tabela 1). Być może zainteresowanie Flamsteeda, które datuje się na 1671 r.¹⁰⁶, pojawiło się bezpośrednio po lekturze wydanych wówczas w „Philosophical Transactions” artykułów o nowych obserwacjach plam¹⁰⁷.

Cassini kolejne plamy zaobserwował potem dopiero 30 października, a następnie w listopadzie, podobnie jak Flamsteed. Anglik z końcem roku przestał zauważać te zjawiska, zaś Cassini badania kontynuował. Przed 1684 r. Włoch plamy obserwował jeszcze w latach 1678 (rysunek 3) i 1680. Natomiast w podrozdziale *Historia coelestis Britannica*, który powinien zawierać raporty Flamsteeda z lat 1676–1689, nie ma już żadnych późniejszych relacji niż o plamach dostrzeżonych w grudniu roku 1676.

Następną plamę Flamsteed obserwował dopiero na przełomie kwietnia i maja 1684 r. kalendarza juliańskiego, co opisał w „Philosophical Transactions”¹⁰⁸. Plama ta była dosyć duża, o wielkości około 40” i kształcie kwadratu. W tym samym

¹⁰⁰ G.D. Cassini: *New Observations...* s. 2253.

¹⁰¹ J. Picard: *Voyage d'Uranibourg...* s. 195.

¹⁰² J. Heweliusz: *Machina...*, ks. III, s. 21.

¹⁰³ R. Casas, J. M. Vaquero, M. Vázquez: *Solar rotation in the 17th century*, „Solar Physics” t. 234: 2006 s. 384.

¹⁰⁴ J. Flamsteed, E. Halley: *An Extract...* s. 687–688.

¹⁰⁵ J. Flamsteed: *Historia coelestis...*, ks. I, s. 361–366.

¹⁰⁶ Tenże: *The correspondence...*, t. 1, s. 116, list 72; s. 124, list 81; s. 130, list 84.

¹⁰⁷ R. Boyle: dz. cyt. s. 2216–2217; G.D. Cassini: *New Observations...* s. 2250–2253; G.D. Cassini: *The Observations...* s. 3020–3024.

¹⁰⁸ J. Flamsteed: *An account of a Spot seen in the Sun from the 25th. of April to the 8th. of May instant, with the line of its Course predicted, if it make a second Return, by L.F. Astron. Reg.*, „Philosophical Transactions” t. 14: 1684 s. 535–536.

czasie to samo zjawisko obserwowano w Obserwatorium Paryskim, wyznaczając tor podobnie nachylony do horyzontalnej średnicy Słońca, ale zarówno cień, jak i półcień plamy okazały się prawie idealnie koliste¹⁰⁹. W tych samych dniach niezależne obserwacje wykonał także de La Hire¹¹⁰, który zaobserwował plamę o jeszcze innym kształcie cienia, z wyraźnie nachyloną najdłuższą osią, która wydaje się wskazywać inną pozycję na dysku słonecznym. Z zestawienia obserwacji pozycyjnych plamy, które wykonał, wynika, że widoczna była po przeciwnej stronie tarczy słonecznej niż ta, którą opisał Flamsteed.

Plamy widocznej w 1695 r. Flamsteed nie dostrzegł, ale z zapisów katalogu *Historia coelestis Britannica* wiadomo, że wykonywał już wówczas obserwacje metodą tranzytów. Mógł zatem nie zauważyć cienia, którego wielkość nie przekroczyła progu widoczności w jego lunecie. 30 czerwca zauważył podczas takich obserwacji aż trzy plamy, ale zapisał czas kontaktu tylko jednej¹¹¹. Z listów napisanych przez Flamsteeda i datowanych na 3¹¹² i 19¹¹³ maja 1698 r. wiadomo, że od 1684 r. nie zaobserwował żadnej, mimo że były wtedy widywane, o czym wiedział, bo potwierdza to treść tej korespondencji.

Systematyczny program pomiarów średnicy kątowej Słońca wykonywany był przez Picarda stale od 1666 r.¹¹⁴. Pierwsze plamy w trakcie wykonywania obserwacji astrometrycznych dostrzegł dopiero w 1672 r.¹¹⁵, choć już rok wcześniej obserwowował zjawisko z pokładu okrętu¹¹⁶. Mała średnica obrazu dysku słonecznego uzyskiwana poprzez lunetę stosowaną do pomiarów średnicy kątowej Słońca¹¹⁷ umożliwiała mu dostrzeżenie jedynie plam największych, być może pojawiających się w bardziej ograniczonym zakresie szerokości heliograficznych niż wszystkie. W ten sposób wyniki tych obserwacji mogłyby potwierdzić okresy, gdy zjawiska te pojawiały się liczniej.

Średnica tak dużej plamy, jak ta obserwowana w drugiej dekadzie maja 1644 r. przez Heweliusza, na obrazie rzutowanym przez teleskop Picarda byłaby mniejsza niż milimetr. Stąd wniosek, że astronom używał większej lunety jedynie wtedy, gdy plamę zauważył wcześniej podczas rutynowych obserwacji astrometrycznych wykonywanych w czasie lokalnego południa. Konkluzję taką wydają się potwierdzać

¹⁰⁹ [Tekst bez nazwiska autora]: *Description d'une tache qui a paru dans le Soleil ce mois de May dernier 1684*, „Journal des sçavans” t. 12: 1684 nr 15 197–201, wyd. amsterdamskie z 1709 r.; w wydaniu paryskim s. 177–180.

¹¹⁰ P.C. Le Monnier: dz. cyt. plansza bez paginacji z rysunkami na końcu książki.

¹¹¹ J. Flamsteed: *Historia coelestis...*, ks. II, s. 462.

¹¹² Tenże: *The correspondence...*, t. 2, s. 675–676, list o numerze 745.

¹¹³ Tamże, s. 678, list o numerze 747.

¹¹⁴ E. Ribes, J.C. Ribes, R. Barthalot, dz.cyt. s. 52.

¹¹⁵ P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. 23–24.

¹¹⁶ G.D. Cassini: *New Observations...* s. 2253.

¹¹⁷ E. Ribes, J.C. Ribes, R. Barthalot: dz. cyt. s. 52.

zapisy katalogu Le Monnier¹¹⁸. Wiele mniejszych grup powinno wtedy pozostać niezauważonych dla obserwatora. Także de La Hire, który po 1682 r. kontynuował program obserwacyjny realizowany wcześniej przez Picarda i mierzył średnicę horyzontalną Słońca metodą kontaktów, posługiwał się przypuszczalnie obrazem dziennej gwiazdy podobnych rozmiarów, gdyż większy nie pozwalałby mu właściwie zorientować teleskopu, a wtedy wyznaczałyby momenty pojawienia się i zniknięcia dowolnych punktów tarczy, zamiast wyznaczających średnicę horyzontalną.

Według opracowania Ribesów w 1676 r. Picard dostrzegł 6 plam, obserwując Słońce przez: 9, 10, 13, 21, 4, 5, 14, 5, 18, 10, 4 i 15 dni w kolejnych miesiącach¹¹⁹. Zbliżoną łączną liczbę dni w czasie całego roku, gdy wykonywano pomiary astrometryczne, znalazłem analizując zapisy katalogu Le Monnier¹²⁰. W 1677 r., jak można wnioskować z histogramu zamieszczonego w publikacji Ribesów¹²¹, obserwował tylko przez 58 dni i zaobserwował, co wiadomo z osiemnastowiecznego opracowania, dwie plamy. Po zjrzeniu do dzieła Le Monnier okazuje się, że ten skatalogował jednak jedynie 48 dni obserwacyjnych w czasie całego roku, z tego 39 dni przypadło na obserwacje Słońca¹²². W 1678 r. Picard nie zauważył żadnej plamy, ale spoglądał w niebo znacznie rzadziej. Podczas 7 dni obserwacyjnych dostrzegł je wtedy Cassini¹²³. Potem, w latach 1682 i 1683 w Paryżu nie widziano ani jednej¹²⁴. Natomiast w 1684 r. dostrzeżono tam według Ribesów już trzynaście plam¹²⁵, co jednak nie znajduje potwierdzenia w opracowaniu Le Monnier, nawet jeżeli próbować interpretować zjawiska zaobserwowane w tym roku przez Cassiniego jako różne od dostrzeżonych przez de La Hire'a, czy uwzględnić drugą plamę widoczną na Słońcu w tym samym czasie, co miało miejsce 11 czerwca¹²⁶.

Wiele oryginalnych opisów plam znalazło się w ówczesnych czasopismach naukowych – „Journal des sçavans”, „Histoire de l'Academie Royale des Sciences” oraz

¹¹⁸ Pomiar wysokości Słońca w czasie lokalnego południa. Wg katalogu Le Monnier plamy zostały zaobserwowane właśnie wtedy; P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. 23–24 i 85–328.

¹¹⁹ Liczby obserwacji w poszczególnych latach zostały ustalone na podstawie histogramu w publikacji J.C. Ribesa i E. Nesme-Ribes i mogą się nieco różnić od oryginalnych; J.C. Ribes, E. Nesme-Ribes: *The solar...* s. 556.

¹²⁰ P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. 206–228.

¹²¹ J.C. Ribes, E. Nesme-Ribes: *The solar...* s. 556.

¹²² P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. 229–237.

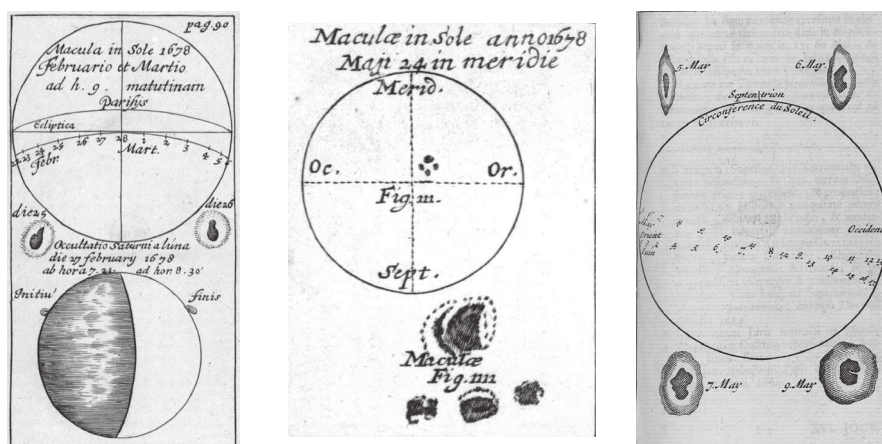
¹²³ Przypis bibliograficzny nr 150, R. Wolf: *Histoire et Mémoires... en 1666 jusqu'à 1699...* s. 31.

¹²⁴ Plamy w latach 1682–1683 przez jeden dzień obserwował Eimmart, a później także w czerwcu 1684 oraz w 1703; na podstawie katalogu Hoyta i Schattena: ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/GROUP_SUNSPOT_NUMBERS/alldata. Strona obecnie niedostępna.

¹²⁵ Patrz: tabela 2, zawierająca łączne liczby plam dostrzeżonych tam w kolejnych latach, ustalone na podstawie książki Le Monnier.

¹²⁶ Z porównania czasów kontaktów dwu dużych plam wynika, że były odległe o 2'; P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. 319.

„Memoires de mathematique et de physique tirés des registres de l'Academie Royale des Sciences”, które od 1699 r. ukazywały się jako forma dodatku do „Historii”. Do 1703 r. liczba opracowań podobnych obserwacji z każdym kolejnym rocznikiem łączonego wydawnictwa szybko wzrastała, a były to opisy zamieszczane głównie przez Cassiniego i de La Hire’a¹²⁷. Po 1705 r. ukazywał się prawie co roku jeden artykuł w „Histoire”, po czym w 1721 r. plamy słoneczne zniknęły zupełnie z tytułów publikacji na okres co najmniej jednej dekady.



Rysunek 3. Ilustracje plam okresu Minimum skatalogowanych przez Spörera. Na dwu rysunkach z lewej strony znalazły się struktury obserwowane przez Cassiniego w lutym i marcu¹²⁸ oraz w maju¹²⁹ 1678 r. Fragment środkowego reprodukowany jest także w jednym z przepisów bibliograficznych Wolfa¹³⁰. Po prawej tor plamy obserwowanej przypuszczalnie przez Cassiniego w maju 1684 r. wraz ze szczegółami zmian wyglądu zjawiska w wybranych dniach¹³¹. W tym samym czasie przemierzającą się na tarczy plamę obserwował Flamsteed i podobny rysunek toru zamieścił w „Philosophical Transactions”¹³². Za zgodą Biblioteki Uniwersytetu Warszawskiego.

¹²⁷ W 1699 r. nie ukazał się żaden tekst o plamach, w 1700 r. dwa (w tym jeden w „Memoires”), w 1701 r. cztery (w tym trzy w „Memoires”), w 1702 r. trzy, w 1703 r. jednaście (wszystkie autorstwa Cassiniego i de La Hire’a), w 1704 r. siedem (de La Hire’a i Maraldiego) oraz tekst zawierający opis obserwacji wykonanych przez Manfrediego.

¹²⁸ [Tekst bez nazwiska autora]: *Observation d'une Nouvelle tache dans le Soleil*, „Journal des sçavans” t. 6: 1678 nr 8 s. 90–91, wyd. amsterdamskie z 1679 r.; rysunek wewnątrz nr 9, pomiędzy numerowanymi stronami 96 i 97. W wydaniu paryskim całość na stronach 88–90.

¹²⁹ G.D. Cassini: *Observation de plusieurs taches et facules dans le Soleil faite à l'Observatoire Royal par M. Cassini*, „Journal des sçavans” t. 6: 1678 nr 21 s. 260–262, wyd. amsterdamskie z 1679 r.; rysunek między stronami 246 i 247; wyd. paryskie 1678 tekst na s. 248, zaś rysunek na s. 240.

¹³⁰ R. Wolf: *Macula in Sole anno 1678 Maji 24 in meridie*, „Astronomische Mittheilungen” z. 33: 1873 sierpień s. 107–108.

¹³¹ [Tekst bez nazwiska autora]: *Description d'une tache qui a paru dans le Soleil ce mois de May dernier 1684*, „Journal des sçavans” t. 12: 1684 nr 15 s. 197–201; wyd. amsterdamskie z 1709 r., w wydaniu paryskim s. 177–180.

¹³² J. Flamsteed: *An account...* s. 535–536.

Temat plam wyraźnie uszedł uwadze innego wydawnictwa – „Nouvelles de la république des lettres”, ukazującego się od 1684 r. Artykuł poświęcony badaniom astronomicznym, w którym plamy są opisane przeglądowo i nie zawiera żadnych wyników bieżących obserwacji, ukazał się tam dopiero w lutym 1689 r.¹³³. Wzmiankuje m.in. 26 rysunków wykonanych przez Heweliusza jeszcze w latach czterdziestych. W czasopiśmie tym nie też żadnych jego publikacji.

Natomiast aż trzynaście artykułów Heweliusza zostało zamieszczonych w ukazujących się od 1682 r. lipskich „Acta Eruditorum”, ale żaden nie dotyczy obserwacji plam słonecznych. Spörer wymienił to czasopismo jako źródłowe dla wykonanych przez Kircha, wzmiankując plamę widoczną w roku 1684¹³⁴.

Całkiem dużo o obserwacjach powierzchni dziennej gwiazdy wiadomo na podstawie zawartości korespondencji naukowej, jaką prowadzili obserwatorzy, między innymi Kirch. Badacz ten wysłał np. list do Heweliusza z opisem obserwacji plamy w maju 1684 r.¹³⁵. Wcześniej, bo 18 sierpnia 1671 r., list z wiadomością o innej plamie na Słońcu napisał do Heweliusza Picard, na co ten odpisał 28 sierpnia, że w Lipsku widoczna była od 2¹³⁶ do 9 sierpnia¹³⁷.

Przed 1665 r., czyli przed ukazaniem się pierwszego numeru „Philosophical Transactions” w Anglii oraz „Journal des sçavans” we Francji, listy przesyłane między ówczesnymi astronomami pozostawały głównym źródłem informacji o dokonaniach innych. Zdarzało się, jak stało się to z listami Galileusza, że były potem publikowane w formie książkowej.

Tabela 2. Roczne liczby plam słonecznych dostrzeżonych w Obserwatorium Paryskim; na podstawie publikacji Ribesów z 1993 r.¹³⁸. W ich zestawieniu brak jednak wielkiej plamy z roku 1674 dostrzeżonej przez Picarda w Montpellier¹³⁹, jak również plam z 1680 r., które obserwował Cassini. Uwzględnione zostały natomiast inne obserwacje Włocha, wykonane w 1678 r.

W prawej kolumnie liczby plam, o jakich można wnioskować na podstawie katalogu Le Monnier¹⁴⁰. Zwraca uwagę rozbieżność w opisie 1684 r. Wiadomo, że w tym

¹³³ J. Luyts: *Philosophiae Professoris Astronomica Institutio, in qua Doctrina Sphaerica atque Theorica, intermixto usu Sphaerae Coelestis, et varius Chronologicis, pertractantur. Adjunctae sunt in illustrationem Argumenti pluribus in locis Figurae aeneae*, „Nouvelles de la république des lettres” t. 3: 1689 maj s. 127, wzmianka o rycinach Heweliusza na s. 140; wydanie amsterdamskie z tego samego roku.

¹³⁴ G. Spörer: *Ueber die...* (1889) s. 320.

¹³⁵ G. Kirch: dz. cyt., t. I, s. 298–299; list z numerem 267.

¹³⁶ Kalendarza juliańskiego.

¹³⁷ G. Picolet: *La correspondance...* s. 21 i 24.

¹³⁸ J.C. Ribes, E. Nesme-Ribes: *The solar...* s. 556.

¹³⁹ D.V. Hoyt, K.H. Schatten: *Group sunspot numbers: a new solar activity reconstruction*, „Solar Physics” t. 179: 1998 s. 207.

¹⁴⁰ P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. 23–24 i 85–328.

czasie plamy obserwowali również inni obserwatorzy: między 15 a 21 kwietnia 1684 r. (daty wg kalendarza juliańskiego; Kirch)¹⁴¹, 27 czerwca 1684 r.¹⁴² (data wg kalendarza gregoriańskiego; Cassini), a także 27 lipca 1684 r. (data wg kalendarza gregoriańskiego; Kirch)¹⁴³. Obserwacje te zwiększają łączną liczbę dostrzeżonych w 1684 r. plam z pięciu skatalogowanych przez Le Monniera (lub sześciu, bo 11 czerwca de La Hire dostrzegł dwie różne plamy) do 8 (lub 9).

Rok	Liczba zaobserwowanych plam wg Ribesów	Katalog Le Monniera
1662	1 ¹⁴⁴	-
1671	1	-
1672	2	2
1674	-	2
1676	6	6
1677	4	2
1678	6 ¹⁴⁵	-
1684	13	5
1685	1 ¹⁴⁶	-
1686	6 ¹⁴⁷	-
1688	9 ¹⁴⁸	-
1689	2 ¹⁴⁹	-
1695	1	-

¹⁴¹ J. Flamsteed: *The correspondence...*, t. 2, s. 314-315, list numer 574. „On April 15 th at 10.30 a.m. I saw a spot on the sun which was still 1 digit away from the sun's centre at 5.30 p.m.; on the 17 th at 6 p.m. 2½ digits; but from the sun's limb on 19 th at 6 p.m. 1½ digits, and on 21 April at 7 a.m. ⅓ digit”.

¹⁴² Przypis bibliograficzny nr 150, R. Wolf: *Histoire et Mémoires... en 1666 jusqu'à 1699...* s. 31. De La Hire obserwował w tym dniu Słońce, ale wschodzącej wówczas plamy nie zauważył; P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. 323.

¹⁴³ H.E. Landsberg: dz. cyt. s. 184.

¹⁴⁴ Picard obserwował plamę w roku 1661; J.M. Vaquero, M. Vázquez: *The Sun...* s. 129.

¹⁴⁵ Ilustracje dwu grup plam prezentowane są na rysunku 4. Cassini plamy obserwował także pod koniec maja, co Spörer ustalił na podstawie „Memoires de l'Académie Royale des Sciences” t. 10: 1730 s. 604-605, wyd. paryskie. Była to jednak ta sama grupa, co dostrzeżona 24 maja i wówczas w całym 1678 r. byłoby widocznych jedynie pięć plam.

¹⁴⁶ Opisu tej obserwacji nie ma w katalogu Le Monniera, którego zapisy kończą się 30 grudnia 1685 r. Nie jest również wzmiankowana w przypisach czasopisma Wolfa.

¹⁴⁷ De La Hire obserwował jedną plamę przez pięć dni na przełomie kwietnia i maja, po czym kolejna była widoczna w dniach 22-26 września. W dwuzdaniowym opisie jesiennych obserwacji wzmiankowane są jedynie plamy, bez podania liczby; Ph. de La Hire: *Observations d'une tache...de May de cette année 1686...* s. 707-708 (ten sam opis został zamieszczony wcześniej w „Journal des sçavans”: Ph. de La Hire: *Observations d'une tache qui a paru sur le Disque du Soleil vers la fin du mois d'Avril et au commencement de May de cette année 1686, faites à l'observatoire. Par M. de la Hire. Prof. R. et de l'Academie des Sciences*, „Journal des sçavans” 1686 s. 250, wyd. paryskie bez numeracji bieżących tomów); G.D. Cassini: *Découverte de la lumiere celeste qui paroist dans le zodiaque*, „Memoires de l'Academie Royale des Sciences”

Duże plamy dostrzeżone w głównej fazie minimum

W okresie Minimum Maundera wielokrotnie obserwowano plamy, które mogły być widoczne bez zastosowania przyrządu o powiększeniu kątowym¹⁵⁰. Dużą plamą była już ta, którą Boyle zauważył w maju 1660 r.¹⁵¹. Wiadomo, że zanim kształt cienia wypełnił się do kwadratowego, rozciągała się na około 1/40 średnicy tarczy słonecznej. Bez lunety została dostrzeżona potem 22 maja w Korei¹⁵², czyli trzy dni wcześniej niż Boyle zauważył zjawisko ponownie po ponad dwutygodniowej przerwie. Tej samej plamie przyglądał się podczas wcześniejszej rotacji także Heweliusz w Gdańsku¹⁵³.

Olbrzymią grupę, która 12 sierpnia 1671 r. rozciągała się na 30" do 75", wzmiankowaną już w niniejszej publikacji, obserwował w drugiej dekadzie miesiąca Cassini i opisał w „Philosophical Transactions”¹⁵⁴. Dostrzegł tę również Heweliusz, choć w swoim katalogu napisał jedynie o pojedynczej plamie¹⁵⁵. Długość plamy z 1671 r. dorównywała średnicy największej z widocznych w latach 1642–1644 i skatalogowanej w *Selenographia*, o kształcie kolistym. 15 sierpnia Włoch w tej samej grupie dostrzegł siedem plam, ale na ilustracji można się doliczyć aż szesnastu.

Również w późniejszych latach, podczas głównej fazy Minimum Maundera przed 1700 r., na tarczy słonecznej pojawiały się duże plamy. Wzmiankuje taką

t. 8: 1730 s. 185, wyd. paryskie. Publikacja Spörera wzmiankuje tylko dwa okresy widoczności plam w czasie całego roku; G. Spörer: *Ueber die...* (1889) s. 320. Plama widoczna 12 maja 1686 r. wzmiankowana jest w: G.D. Cassini: *Observation des taches qui ont paru dans le Soleil le mois de Mai et de Juin de 1688. avec une Methode nouvelle de determiner avec justesse la revolution du Soleil autour de Son axe*, „Journal des sçavans” 1688 s. 167–171, wyd. paryskie bez numeracji bieżących tomów.

¹⁴⁸ Plamy obserwowano: 5 maja (J. La Lande: *Second mémoire...* s. 402); 6 i 13 maja (G.D. Cassini: *De la Tache du Soleil, qui a paru le 6 Mai 1702. Par M. Cassini le fils*, „Memoires de mathématique et de physique tirés des registres de l'Académie Royale des Sciences” t. 4: 1702, s. 133 wyd. paryskie, numer tomu to jedynie numer kolejnego rocznika dodatku do „Histoire”, których wydawca nie numerował.), zaś lista Spörera wymienia jedynie 12 maja (choć tytuł tekstu z tomu X „Memoires” wzmiankuje również plamy widoczne w czerwcu), a także: 30 września, 1 października, 1–3 listopada, 10 listopada, 14 listopada (przypis nr 150 Wolfa; R. Wolf: *Histoire et Mémoires... en 1666 jusqu'à 1699...* s. 30–31).

¹⁴⁹ Plamy obserwowane były w dniach: 19–22 lipca oraz 27 i 29 października 1689 r.; 29 października widocznych było jednak aż 6 plam; przypis 7 w R. Wolf: Aug. Valetius, *De maculis in Sole visis. Wittembergae 1693*, „Mittheilungen über die Sonnenflecken” z. 3: 1857 marzec s. 46–47.

¹⁵⁰ Najmniejsza plama, jaką dostrzeżono bez lunety, miała średnicę kątową równą 21"; B.E. Schaefer: dz. cyt. s. 40.

¹⁵¹ R. Boyle: dz. cyt. s. 2216–2217.

¹⁵² A.D. Wittmann, Z.T. Xu: dz. cyt. s. 93.

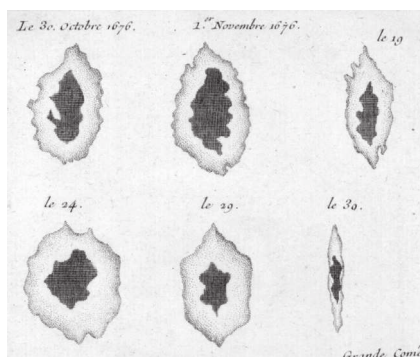
¹⁵³ J. Heweliusz: *Machina...*, ks. III, s. 9.

¹⁵⁴ G.D. Cassini: *New Observations...* s. 2250–2253.

¹⁵⁵ J. Heweliusz: *Machina...*, ks. III, s. 21.

Picard w 1674 r.¹⁵⁶, ale także Flamsteed, który pierwszą grupę dostrzegł dopiero po pięciu latach obserwacji Słońca w 1676 r. i opisał w „Philosophical Transactions”. Z jego listu wiadomo¹⁵⁷, że osiągnęła wielkość 50” na 80”. W tym samym numerze czasopisma opis tych samych plam zamieścił Cassini wraz z ilustracją zmian kształtu grupy w wybranych dniach.

W maju 1680 r. dużą plamę, co wzmiankuje źródłowy opis, ponownie zaobserwował Cassini¹⁵⁸, jak również Kirch¹⁵⁹. Duża była także plama dostrzeżona przez Flamsteeda w roku 1684 (o „średnicy” około 40”)¹⁶⁰, choć według innej relacji miała być mniejsza niż pół minuty kątowej¹⁶¹, oraz plama widoczna wcześniej w listopadzie 1676 r., co wiadomo na podstawie rysunku wykonanego przez Cassiniego i zamieszczonego w „Journal des sçavans”¹⁶².



Rysunek 4. Plamy widoczne w październiku i listopadzie 1676 r. Fragment większego zestawienia rysunków wykonanych przez Picarda, zamieszczonego później w opracowaniu Le Monniera z połowy XVIII w.¹⁶³. Gian Domenico Cassini obserwował te same plamy i opublikował, nieznacznie różniące się kształtem od powyższych, własne wersje ilustracji w „Journal des sçavans”¹⁶⁴. Widoczny efekt skrócenia perspektywicznego przy zbliżeniu się cienia do brzegu dysku słonecznego. Za zgodą Biblioteki Uniwersytetu Warszawskiego.

¹⁵⁶ P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. 85.

¹⁵⁷ J. Flamsteed: *The correspondence...*, t. 1, s. 498–499, list o numerze 268 z 27 lipca 1676 r. napisany przez Flamsteeda do J. Moore’a.

¹⁵⁸ [Komunikat bez tytułu i autora]: „Histoire de l’Académie Royale des Sciences” t. 1: 1733 s. 317–318.

¹⁵⁹ H.E. Landsberg: dz. cyt. s. 184.

¹⁶⁰ J. Flamsteed: *An account...* s. 535–536.

¹⁶¹ [Tekst bez nazwiska autora]: *Description d’une tache qui a paru dans le Soleil ce mois de May dernier 1684*, „Journal des sçavans” t. 12: 1684 nr 15 s. 197–201; wyd. amsterdamskie z 1709 r., w wydaniu paryskim s. 177–180.

¹⁶² G.D. Cassini: *Description du mouvement ou a fait une tache dans le Soleil sur la fin de Novembre dernier 1676*, „Journal des sçavans” 1676 s. 239–240, wyd. paryskie bez bieżącej numeracji tomów.

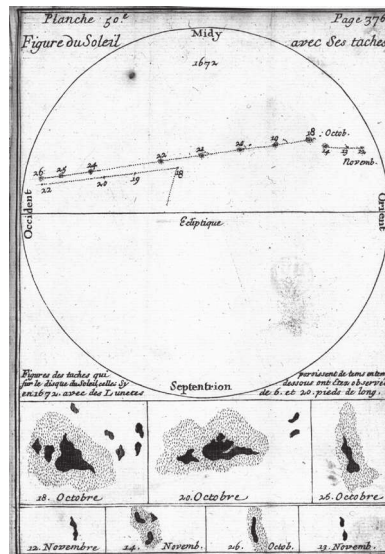
¹⁶³ P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. bez paginacji, tablice II i IV.

¹⁶⁴ G.D. Cassini: *Suite des observations faites à l’Observatoire Royal, touchant la Tache qui a paru dans le Soleil, les mois d’Octobre, de Novembre et Decembre derniers*, „Journal des sçavans” t. 5: 1677 s. 11–13, wyd. amsterdamskie; w wyd. paryskim s. 8–9.

Duże plamy w roku 1687 wzmiankuje w końcu opracowanie Helmuta Ericha Landsberga (1906–1985), który zestawiał spostrzeżenia Kircha zamieszczone w korespondencji.

Olbrzymie musiały być także trzy plamy dostrzeżone przez Flamsteeda 30 czerwca 1703 r.¹⁶⁵, zważywszy na to, że wykonywał wtedy obserwacje Słońca metodą tranzytów¹⁶⁶. Wcześniej nie zauważył innej, widocznej w 1695 r., obserwując dzienną gwiazdę podobnym sposobem 18 maja kalendarza juliańskiego¹⁶⁷.

Rysunki dużych plam wykonane w latach 1676 i 1684 przez Picarda i de La Hire'a zostały w roku 1741 opublikowane przez Le Monnier'a w *Histoire celeste*¹⁶⁸; patrz rysunek 4. Ponieważ zestawiał on obserwacje wykonane od 1672 r. do 30 grudnia 1685 r. katalog ten nie zawiera relacji Picarda z 1671 r., jakichkolwiek wcześniejszych, czy np. opisu zjawiska widocznego w 1695 r.



Rysunek 5. Tory i rysunki plam dostrzeżonych przez Biona w 1672 r. Przykład opisu do niedawna nieznanego badaczom okresu Minimum Maundera, a jednocześnie wykonanego najwyraźniej z małą dokładnością. Korzystając z pozycji plamy wyznaczonych w listopadzie

Casas obliczył wyjątkowo powolne tempo rotacji Słońca, które musiałyby się wydłużyć do 36 dni, jeżeli obserwacje te uznać za dokładne. Natomiast wcześniej, w październiku, widoczne były równocześnie dwie grupy plam. Rysunki te, podobnie jak plam z 1671 r., potwierdzają, że zjawiska dostrzeżone w okresie Minimum Maundera to często złożone struktury, z licznymi cieniami. Rysunki te zostały zamieszczone w książce Biona¹⁶⁹, a wykonane z użyciem lunet o długości 6 i 20 stóp. Za zgodą Biblioteki Uniwersytetu Warszawskiego.

¹⁶⁵ J. Flamsteed: *Historia coelestis...*, ks. II, s. 462.

¹⁶⁶ W zestawieniu katalogu podał czas kontaktu tylko jednej.

¹⁶⁷ J. Flamsteed: *Historia coelestis...*, ks. II, s. 255.

¹⁶⁸ P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. bez paginacji, tablice II i IV.

¹⁶⁹ N. Bion: dz. cyt. s. 376.

Przykłady opisane w tym rozdziale potwierdzają, że plamy zaobserwowane w czasie Minimum Maundera osiągały duże rozmiary. Wiele, nieco mniejszych od największych, powinno pozostać nie zauważonych podczas pomiarów średnicy tarczy słonecznej wykonywanych w Paryżu przez Picarda, a potem de La Hire'a z powodu małej wielkości obrazu tarczy Słońca uzyskiwanego zresztą celowo, by ten mógł zmieścić się w polu widzenia lunety i „widełkach” mikrometru¹⁷⁰. Niejednoznaczności wynikające z podobnych obserwacji wykonywanych np. przez Flamsteda zostały opisane w rozdziale następnym.

Pominięte plamy minimum Maundera

W 1710 r. „Philosophical Transactions” zamieściły artykuł Derhama¹⁷¹, zawierający listę obserwacji plam, z których kilka widocznych w latach 1703 i 1706 Spörer pominął¹⁷², publikując w 1889 r. swój katalog¹⁷³. Zjawiska opisane przez Anglika zostały dostrzeżone w schyłkowej fazie siedemdziesięcioletniego okresu, nazwanego później nazwiskiem Maundera.

Inne zestawienie, autorstwa Eustachego Manfrediego (1674–1739)¹⁷⁴, mające wg D.V. Hoyta i K. Schattena pośrednio potwierdzać brak plam na tarczy słonecznej, natrafia na szereg równoczesnych obserwacji wykonanych w tych samych dniach przez innych obserwatorów, z czego wynika, że zjawiska te były jednak wówczas widoczne¹⁷⁵. Część tych relacji to w rzeczywistości wyniki pomiarów średnicy

¹⁷⁰ Sposób, w jaki Picard korzystał z mikrometru Auzouta opisano w: J.C. Ribes, E. Nesme-Ribes: *The solar...* s. 552–554.

¹⁷¹ W. Derham: dz. cyt. s. 270–289.

¹⁷² Tamże; pominięte zostały plamy widoczne w dniach: 11–13 kwietnia, 1 maja, 24 czerwca (Derham nie był pewien czy plamę dostrzegł, ale skatalogował), w lipcu i we wrześniu 1704 r., 7 lutego, 7 marca, 2 kwietnia, w dniach 24–25 lipca 1706 r. oraz 22 stycznia 1710 r. (daty interpretowane jako juliańskie). Maunder pominął jeszcze więcej plam w 1703 r. (do dziewięciu), zaś Spörerowi dla odmiany zdarzyło się mnożyć spostrzeżenia Derhama. Zacytował sekwencję obserwacji Anglika, którą ten wykonał w dniach 4–11 września 1706 r., dodając te same z datą zamienioną na gregoriańską, czyli 14–19 września. Tych dodatkowych dni w artykule Derhama nie ma.

¹⁷³ G. Spörer, *Ueber die...*(1889) s. 319–324.

¹⁷⁴ E. Manfredi: *De gnomone meridiano bononiensi ad divi Petronii*, Bolonia 1736.

¹⁷⁵ 26 listopada 1676 (plamę wciąż obserwował Cassini; na podstawie przypisu bibliograficznego nr 150, R. Wolf: *Histoire et Mémoires... en 1666 jusqu'à 1699...* s. 31.), 8, 9 i 13 listopada 1700 (Wurzelbaur, G. Cassini), 29 marca 1701 (G. Cassini), 31 października 1701 oraz 1, 2, 3, 9 listopada 1701 (Jacques Cassini), 9, 11, 23 i 25 maja 1702 (G.D. Cassini, J. Cassini oraz Ph. de La Hire'a), 25, 26, 27, 29 grudnia 1702 (G. Cassini, J. Cassini i P. de La Hire), 29 i 30 maja 1703 (G. Cassini, J. Cassini i Ph. de La Hire), 1, 2, 22, 23, 26, 27 czerwca 1703 (G. Cassini, J. Cassini i Ph. de La Hire), 10 i 16 lipca 1703 (G. Cassini, J. Cassini i Ph. de La Hire), 7 stycznia 1705 (Cassini wymieniony jest jako obserwator plam w styczniu, bez dokładnej daty dziennej) i 24 marca 1707 (Cassini); na podstawie: G. Spörer: *Ueber die...*(1889) s. 320–322 oraz przypisu bibliograficznego nr 151, R. Wolf: *Histoire de l'Académie royale des Sciences. Année 1699–1790*, „Mittheilungen über die Sonnenflecken” z. 11 1860 czerwiec s. 32–33. Lista

kątowej Słońca¹⁷⁶, wyznaczanej przez różnych astronomów (np. 1656 r. – G. Cassini, 1671 r. – G. Montanari (1633–1687), 1674 r. – J.C. Calcina¹⁷⁷, ale także G.B. Riccioli (1598–1671), F. Mezzavacca (zm. 1704) i G.F. Maraldi¹⁷⁸, co wcale nie musiało oznaczać obserwacji z zamiarem dostrzeżenia plam. Wiadomo, że i Manfredi obserwował plamy, ale opisy zamieścił w innej swojej książce – *Descrizione d'alcune macchie scoperte nel sole l'Anno 1703*, wydanej w Bolonii i raczej niedostępnej dla polskiego czytelnika. Jak wynika z wersji opracowania tych obserwacji przez Hoyta i Schattena¹⁷⁹, wielokrotnie zauważył je wtedy, kiedy nie był ich w stanie dostrzec de La Hire, obserwujący Słońce w te same dni, co Włoch¹⁸⁰.

Także Flamsteed nie dostrzegł podczas swoich obserwacji plam, mimo że były widoczne na dysku słonecznym, co można wytłumaczyć tym, że już w 1695 r. wykonywał pomiary i katalogował momenty kontaktów Słońca w polu widzenia lunety, posługując się wersją metody tranzytów. Plam nie zaobserwował w następujących dniach (kalendarza juliańskiego): 29 października 1700 r. (plamę lub plamy dostrzegł wówczas Johann Philipp von Wurzelbaur (1651–1725) oraz de La Hire¹⁸¹, a wg Spörera także G. Cassini¹⁸²), 26¹⁸³, 28–30 kwietnia oraz 1, 11 i 14 maja 1702 r. (w dniach 6–11 oraz 21–25 maja nowej daty plamy obserwowali G. Cassini, Jacques Cassini (1677–1756) oraz de La Hire'a¹⁸⁴), 19 grudnia 1702 r. (G. Cassini, J. Cassini i Ph. de La Hire¹⁸⁵), 14–15 maja 1703 r. (w dniach 24–31 maja wg nowego kalendarza obserwowali Gian i Jacques Cassini wraz z Philippe de La Hire¹⁸⁶) oraz 15 czerwca 1703 r. (w dniach 18–27 czerwca nowej daty obserwatorami plam byli G. Cassini, J. Cassini i Ph. de La Hire¹⁸⁷).

Manfrediego nie zawiera także informacji o innych plamach, widocznych 21 października 1672 (wówczas powierzchnię Słońca obserwował Bion), oraz 24 i 27 maja 1695, a ponadto 6, 8 i 28 lipca 1684 r. (tabela 1; de La Hire), jak również 27 listopada 1660 r. (J. Heweliusz: *Machina...*, ks. III, s. 11).

¹⁷⁶ E. Manfredi: dz. cyt. s. 99–238.

¹⁷⁷ Lata życia nie ustalone.

¹⁷⁸ Obserwatorzy skatalogowani jako obserwujący powierzchnię Słońca w wymienionych latach; D.V. Hoyt, K.H. Schatten: *Group sunspot...* s. 206.

¹⁷⁹ ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/GROUP_SUNSPOT_NUMBERS/alldata. Strona obecnie niedostępna.

¹⁸⁰ Tamże; 10-11, 18 maja, 22, 24-25 oraz 27-29 czerwca, 2 sierpnia, 3, 18 października, 4, 14, 17 listopada 1705.

¹⁸¹ Przypis bibliograficzny nr 151, R. Wolf: *Histoire...Année 1699–1790* s. 31–32.

¹⁸² G. Spörer: *Ueber die...*(1889) s. 321.

¹⁸³ Nie jest pewne czy Flamsteed wtedy obserwował, bo zamieszczając w katalogu dzień i rodzaj obserwacji rubrykę z wynikami pomiarów pozostawił pustą; J. Flamsteed: *Historia coelestis...*, ks. II, s. 441.

¹⁸⁴ Przypis bibliograficzny nr 151, R. Wolf: *Histoire...Année 1699–1790* s. 32.

¹⁸⁵ Tamże, s. 32.

¹⁸⁶ Tamże, s. 32.

¹⁸⁷ Tamże, s. 32.

Również czasy widoczności innych, zauważonych już przez Picarda na przełomie lipca i sierpnia 1676 r. a ponadto obserwowanych w tym samym roku przez Halleya, dwa dni przed dostrzeżeniem pierwszej plamy przez Flamsteeda¹⁸⁸, pokrywają się z datami pomiarów wysokości Słońca wykonywanych w Gdańsku przez Heweliusza, kiedy ten żadnych plam nie zaobserwował¹⁸⁹. Dokładniejsza analiza zapisów jego katalogu w *Machinae coelestis pars posterior* pozwala odróżnić pomiary astrometryczne, które nie są równoznaczne z obserwacjami powierzchni dziennej gwiazdy, od obserwacji plam¹⁹⁰. I dzięki temu zestawieniu wiadomo kiedy plamy Heweliusz zauważył, a kiedy stwierdził, że plam na Słońcu nie było.

Mierzenie przez Picarda wertykalnej czy horyzontalnej średnicy Słońca nie mogło mu umożliwić dostrzeżenia drobnych szczegółów tarczy słonecznej z powodu małej średnicy obrazu tarczy. Tym bardziej nie byłoby to możliwe wtedy, gdy Heweliusz wyznaczał bez lunety wysokość Słońca ponad horyzontem samym kwadrantem. Można by zatem przypuszczać, że plam tych nie dostrzegł, bo katalogował zjawiska widoczne jedynie bez teleskopu. Wniosek taki wydaje się jednak nieprawdopodobny, gdyż katalog wykonanych w ten sposób obserwacji dalekowschodnich nie wymienia aż czterech, a tym bardziej siedmiu plam, widocznych na dysku słonecznym w tym samym czasie¹⁹¹. A Heweliusz, w swym katalogu, nie opisał sposobu w jaki plamy te zostały przez niego dostrzeżone.

Niektóre z innych plam pominięto w opisie obserwacji, które na pewno nie polegały na wykonywaniu pomiarów astrometrycznych. Przykładem jest plama dostrzeżona przez de La Hire'a 5 maja 1684 r., której kształt i lokalizacja na dysku słonecznym, wywnioskowane z zapisów pozycyjnych, nie umożliwiają identyfikacji jako wschodzącej plamy obserwowanej już wtedy przez Flamsteeda¹⁹² oraz przypuszczalnie przez Cassiniego¹⁹³. Ponieważ zamieszczanie toru jedynie wybranej plamy, bez rysowania pozostałych grup plam widocznych w tym samym czasie, praktykował kilkadziesiąt lat wcześniej zarówno Scheiner, jak i Heweliusz, można przypuszczać, że podobną ilustrację wykonał w 1684 r. Flamsteed, skupiając się na wyznaczaniu pozycji jednej w kolejnych dniach. Być może jednak tej drugiej nie za-

¹⁸⁸ J. Flamsteed, E. Halley: *An Extract...* s. 687.

¹⁸⁹ Już Hoyt i Schatten wzmiankowali plamy, których Heweliusz rzekomo nie zauważył w dniach: 26–28, 30 czerwca i 1 lipca; D.V. Hoyt, K.H. Schatten: *Overlooked sunspot observations by Hevelius in the early Maunder Minimum, 1653 – 1684*, „Solar Physics” t. 160: 1995 s. 374.

¹⁹⁰ J. Heweliusz: *Machina coelestis...*, ks. III, s. 1–30.

¹⁹¹ A.D. Wittmann, Z.T. Xu: dz. cyt. s. 87–93.

¹⁹² 24 kwietnia 1684 r. Flamsteed żadnych plam nie zaobserwował, raportując pojawienie się plamy przy brzegu tarczy słonecznej dopiero kolejnego dnia (wg kalendarza juliańskiego z początkiem dnia w południe); J. Flamsteed: *An account...* s. 535.

¹⁹³ [Tekst bez nazwiska autora]: *Description d'une tache qui a paru dans le Soleil ce mois de May dernier 1684*, „Journal des sçavans” t. 12: 1684 nr 15 s. 197–201; wyd. amsterdamskie z 1709 r., w wydaniu paryskim s. 177–180.

uważył, podobnie zresztą, jak de La Hire nie dostrzegł plamy 27 czerwca 1684 r., a dopiero dzień później¹⁹⁴, gdy była odległa od brzegu tarczy o 38”.

Przykładem plamy pominiętej w katalogu, czy też raczej ukrytej w istniejącym opisie, jest zjawisko dostrzeżone w grudniu 1659 r. i pokazywane przez Heweliusza Pierre’owi Des Noyers (1606 lub 1608–1693). Wiadomo o tym z listu napisanego przez Francuza¹⁹⁵, natomiast w katalogu pomiarów astrometrycznych w *Machinae coelestis pars posterior* brak stosownej wzmianki¹⁹⁶. Jednak dokładniejsza analiza łaćnińskich opisów zamieszczonych w roku kolejnym pozwala odnaleźć opis plamy, która powinna być obserwowana w kolejnych sześciu rotacjach¹⁹⁷, a wówczas okres widoczności zaczęłyby się właśnie w grudniu roku 1659. Tę samą grupę opisali w książce Soon i Yaskell¹⁹⁸ ale niewłaściwie umiejscowili w czasie, gdyż była obserwowana rok wcześniej, niż wynikałoby to z ich relacji. Według autorów miała trwać przez siedem rotacji.

Do 1684 r. plamy wzmiankowane są w opisach dalekowschodnich, w tym dostrzeżone w latach 1665–1666¹⁹⁹, gdy po obserwacji zjawiska w maju 1660 r. przez Boyle’a w Europie przez 11 lat czekano potem na zaobserwowanie kolejnej²⁰⁰. Szczyty liczby plam pojawiły się wówczas przypuszczalnie w latach 1660 i 1671, o czym bardziej szczegółowo w rozdziale „Związek plam z zorzami”.

Przykłady przedstawione w niniejszym rozdziale wskazują na niewłaściwą interpretację części opisów wykonanych przez obserwatorów Słońca w czasie Minimum Maundera. Relacje te miałyby potwierdzać długotrwałe minimum, a tymczasem plamy na dysku dziennej gwiazdy zostały w tych samych dniach dostrzeżone przez innych albo wzmiankowane obserwacje były w rzeczywistości pomiarami średnicy tarczy słonecznej. Opisy te stawiają także w innym świetle kwestię obserwacji wykonywanych przez Flamsteeda, stosującego w późniejszych latach wersję metody tranzytów, która z pewnością uniemożliwiła mu zauważenie mniejszych, a być może nawet większości plam. Spostrzeżenia te zachęciły do poszukiwania innych relacji, które mogłyby potwierdzić przypuszczenie, że plamy widywane były częściej niż wynikałoby to z różnych opracowań tematu, np. Hoyta i Schattena²⁰¹.

¹⁹⁴ P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. 323.

¹⁹⁵ Z.L. Pszczółkowska: *Korespondencja Jana Heweliusza [w:] Jan Heweliusz*, red. M. Pelczar i J. Włodarczyk, Radom 2011, s. 188–189.

¹⁹⁶ J. Heweliusz: *Machina coelestis...*, ks. III, s. 9.

¹⁹⁷ Heweliusz użył skrótowego zapisu słowa oznaczającego rotację.

¹⁹⁸ W. Soon, S.H. Yaskell: *The Maunder Minimum and the Variable Sun–Earth connection*, Singapur 2003, s. 43.

¹⁹⁹ A.D. Wittmann, Z.T. Xu: dz. cyt. s. 93.

²⁰⁰ Heweliusz plamy obserwował także później: w czerwcu, lipcu i sierpniu 1660 r. oraz w lutym 1661 r.; J. Heweliusz: *Machina coelestis...*, ks. III, s. 10–11.

²⁰¹ D.V. Hoyt, K.H. Schatten: *Group sunspot...* s. 206–208.

Odnalezione opisy archiwalne

W 1999 r. opublikowano opisy obserwacji plam słonecznych wykonanych w Polsce w 1640 r. przez Wojciecha Strażyca (1610–1650)²⁰², powstałe dwa lata wcześniej niż pierwsze rysunki Heweliusza, które odnalazł profesor Jerzy Dobrzycki (1927–2004). Kilka lat później, w 2006 r., Ricardo Casas opisał wyniki badań ilustracji sporządzonych przez Biona w październiku i listopadzie 1672 r.²⁰³, w czasie trwania głębokiej fazy Minimum Maundera, nieznanych wcześniej badaczom współczesnym.

Odnalazł się także, wzmiankowany już w poprzednim rozdziale, opis plam pokazanych Pierre'owi Des Noyers przez Heweliusza, podczas jego wizyty w gdańskim obserwatorium w 1659 r. Noyers napisał o tym w liście do Ismaëla Boulliau (1605–1694)²⁰⁴. W katalogu Heweliusza obserwacje te nie zostały jednak odnotowane, a w zapisach całego roku nie ma nawet jednej notatki o widoczności jakiegokolwiek plamy²⁰⁵. Zaobserwowane zostały przypuszczalnie w grudniu, bo wtedy został napisany list i do niedawna nie były wzmiankowane przez żadne współczesne opracowanie okresu Minimum Maundera²⁰⁶. Dwa lata później Boulliau ponownie obserwował Słońce będąc gościem w Gdańsku i mimo że wówczas żadnych plam na tarczy nie obserwowano, wzmianki o wspólnych obserwacjach powierzchni dziennej gwiazdy tym razem zostały zamieszczone w rubryce katalogu²⁰⁷.

Inną ogólnie dostępną relacją, która została pominięta zarówno przez Spörera, jak i Maundera, o bardzo licznych plamach dostrzeżonych w pierwszych latach XVIII w., jest opracowanie spostrzeżeń Stannyan poczynionych podczas obserwacji wykonanych w okresie od 15 maja do 17 lipca 1704 r.²⁰⁸, czyli w schyłkowej fazie Minimum. Obserwacje te zostały natomiast wymienione w opracowaniu Hoyta i Schattena²⁰⁹.

Nieznanne opisy plam słonecznych z XVII w. dostrzeżonych przed 1645 r. odnalazł także w ostatnich latach Jose Vaquero. Wyznaczył ponadto nowe wartości liczby Wolfa dla przełomu lat trzydziestych i czterdziestych, zmieniając przy tym koncepcję samego Minimum. Według niego okres mniej licznych plam miałby się zacząć stopniowo już dwa cykle wcześniej niż wynikałoby to z cezury przyjętej przez Maun-

²⁰² J. Dobrzycki: *Saturn, aristotelian astronomy, and Cracow astronomers: an episode from the early years of telescopic astronomy*, „Journal for the History of Astronomy” t. 30: 1999 s. 121–129.

²⁰³ Oryginalne rysunki odnaleźć można w: N. Bion: dz. cyt. s. 376.

²⁰⁴ Już w 1645 r., czyli 42 lata przed ukazaniem się *Principiów* Newtona, przypuszczał istnienie zależności siły grawitacyjnej od odwrotności kwadratu odległości. J. North: *Historia astronomii...* s. 242.

²⁰⁵ J. Heweliusz: *Machina coelestis...*, ks. III, s. 8.

²⁰⁶ Z.L. Pszczółkowska: dz. cyt. s. 188–189.

²⁰⁷ J. Heweliusz: *Machina coelestis...*, ks. III, s. 11–12. Obserwacje te zostały wykonane 16 i 20 marca oraz 30 sierpnia 1661 r.

²⁰⁸ Stannyan: dz. cyt. s. 1756–1762.

²⁰⁹ D.V. Hoyt, K.H. Schatten: *Group sunspot...* s. 207.

dera²¹⁰. Do okresu Minimum wliczone zostałyby wówczas także obserwacje wykonane w latach 1642–1644, gdy obserwował Heweliusz, jak również przez Wojciecha Strażyca w 1640 r.²¹¹

Poza jedną plamą, dostrzeżoną w 1695 r., której obserwatorem był Giacomo Filippo Maraldi, innych w ostatniej dekadzie XVII w. nie obserwowano. Pierwszą, którą Spörer wymienił, jako widoczną po dłuższej przerwie, dostrzeżono dopiero 7 listopada 1700 r.²¹²

„Memoires” z 1702 r. wzmiankują Maraldiego, jako obserwatora w 1695 r., gdy ten plamę na Słońcu obserwował w dniach 24 i 26 maja, choć artykuł dotyczy innej, zauważonej 22 maja 1702 r. przy wschodnim brzegu tarczy słonecznej. Maraldi, jak zaznaczył Cassini w swoim tekście, zaobserwował wcześniejsze zjawisko w tym samym obszarze dysku²¹³. Spörer, tworząc potem swoje zestawienie plam widocznych w latach 1672–1713, wykorzystał jednak inny opis, zamieszczony w drugim tomie „Histoire” z roku 1733²¹⁴, w którym nieznany autor napisał co innego. Według niego plama pojawiła się dopiero 27 maja, ale przy zachodnim brzegu dysku słonecznego, podczas gdy wcześniej miała być niewidoczna. Dalsza część opisu wzmiankuje przemieszczenie się struktury na niewidoczną z Ziemi półkulę Słońca między 30 a 31 maja. Gdy ostatniego dnia miesiąca o godzinie 10 zostały powtórzone obserwacje okazało się, że po plamie nie pozostał już żaden ślad. Obserwatorami zjawiska mieliby być de La Hire i Maraldi. Sam de La Hire, mimo że miał zwyczaj opisywać w czasopiśmie zaobserwowane plamy, o zjawisku widocznym w 1695 r. nie napisał nic. Spörer i Maunder skatalogowali wyłącznie tę drugą relację²¹⁵, podczas gdy ze szczegółów obu opisów wynika, iż obserwowano wówczas dwie plamy. Jedną plamę widoczną w 1695 r. wymienia również histogram publikacji Ribesów²¹⁶, choć sam wykres nie jest dokładny, bo nie można się doliczyć kilku innych plam z roku 1684²¹⁷, jak i rzekomo zaobserwowanych wcześniej przez Picarda w 1677 r.²¹⁸

²¹⁰ J.M. Vaquero: *Historical records of solar grand minima: a review* [w:] *Comparative Magnetic Minima: Characterizing quiet times in the Sun and stars*, Proceedings IAU Symposium Nr 286, red. C.H. Mandrini i D.F. Webb, Cambridge 2011, s. 387 i 390.

²¹¹ J. Dobrzycki: dz. cyt. s. 121–129.

²¹² G. Spörer: *Ueber die...*(1889) s. 321.

²¹³ G.D. Cassini: *D'une nouvelle Tache dans le Soleil. Par M. Cassini le fils*, „Memoires de mathématique et de physique tirés des registres de l'Académie Royale des Sciences”, t. 4: 1702 s. 140; wyd. paryskie, bez bieżącej numeracji tomów.

²¹⁴ [Komunikat bez nazwiska autora]: *Diverses observations astronomiques*, „Histoire de l'Académie Royale des Sciences”, t. 2: 1733 s. 264.

²¹⁵ Katalog Le Monniera nie umożliwia weryfikacji tej obserwacji, gdyż zapisy zestawienia kończą się na 30 grudnia 1685 r.; P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. 366.

²¹⁶ J.C. Ribes, E. Nesme-Ribes: *The solar...* s. 556.

²¹⁷ P.C. Le Monnier: dz. cyt. s. 314–328.

²¹⁸ Tamże, s. 233–234.

Dwie plamy na Słońcu wzmiankowane są także w jednym z listów, który został napisany na początku 1698 r. przez Johanna Abrahama Ihle, ale zawiera jedynie kilka dat obserwacji z przełomu lat 1697 i 1698, gdy tarcza słoneczna pozostawała bez plam²¹⁹ i brak informacji o tym, kiedy te dwie zostały zauważone. Opis ten może mieć związek z olbrzymim szczytem zorzowym w latach 1698–1699, ale też odnosić się do widocznych właśnie w maju 1695 lub wcześniej.

Natomiast tylko o jednej plamie, zaobserwowanej zresztą w okresie wielu lat, napisał Ihle w późniejszym liście datowanym na wrzesień 1700 r.²²⁰. Znów jednak nie podał daty widoczności, ale wiadomo, że wcześniej dwukrotnie dostrzegł plamy w 1687 r. – 1 października i 1 listopada²²¹. Możliwe, iż pisząc list stwierdził, że obserwował jedną i tę samą plamę, zatem zdawkowo wspominał tym razem tylko o jednej, ale możliwe także, że napisał o plamie widocznej później niż opisane we wcześniejszym jego liście. Hoyt i Schatten²²² wzmiankują ponadto inną plamę dostrzeżoną przez Ihle w roku 1680²²³. Liczba plam zaobserwowanych w czasie ostatniej dekady zwiększa się tym samym do dwu, ale być może dostrzeżonych zostało wtedy pięć.

Flamsteed, co wynika z zapisów *Historia coelestis Britannica*, obserwował powierzchnię Słońca 30 czerwca roku 1703²²⁴ i dostrzegł trzy plamy. Hoyt i Schatten skatalogowali natomiast trzy dni w tym samym roku²²⁵, a Spörer plam tych nie zewidencjonował w ogóle.

Spörer w swoim zestawieniu zamieścił także informację o plamie dostrzeżonej 12 maja 1688 r., powołując się na źródłowy opis, zaczerpnięty z tomu X „Memoires” z roku 1730²²⁶. Inny rocznik czasopisma, z 1778 r., wzmiankuje 5 maja 1688 r.²²⁷, zaś z roku 1702²²⁸ 6 i 13 maja 1688 r., w kontekście plamy zaobserwowanej w tym samym miesiącu, ale w roku 1702. Spörer skatalogował jedynie plamę widoczną 12 maja 1688 r., pomijając inne daty widoczności. Katalog Hoyta i Schattena daty te wymienia, choć nie wzmiankuje widoczności plam²²⁹.

²¹⁹ G. Kirch: dz. cyt., t. II, s. 259; list z numerem 594.

²²⁰ Tamże, s. 409–410, list z numerem 745, datowany na 26 września 1700 r.

²²¹ H.E. Landsberg: dz. cyt. s. 184.

²²² ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/GROUP_SUNSPOT_NUMBERS/alldata. Strona obecnie niedostępna.

²²³ Ihle, jako obserwator w roku 1680, został także wymieniony w publikacji: D.V. Hoyt, K.H. Schatten: *How well was the Sun observed during the Maunder Minimum?*, „Solar Physics” t. 165: 1996 s. 190.

²²⁴ J. Flamsteed: *Historia coelestis...*, ks. II, s. 462.

²²⁵ D.V. Hoyt, K.H. Schatten: *Observations of sunspots by Flamsteed during the Maunder Minimum*, „Solar Physics” t. 160: 1995 s. 380.

²²⁶ Według Spörera opis na stronie 727. G. Spörer: *Ueber die...*(1889) s. 320.

²²⁷ J. La Lande: dz. cyt. s. 402.

²²⁸ G.D. Cassini: *De la Tache...* wyd. paryskie s. 133–134.

²²⁹ ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/GROUP_SUNSPOT_NUMBERS/alldata. Strona obecnie niedostępna.

Cassini pozostawił także rysunki plam wykonane 30 października oraz w dniach: 1, 2, 3, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 i 30 listopada 1676 r.²³⁰. Część tych ilustracji, poza wykonanymi 2 i 3 listopada, ma odpowiedniki w osiemnastowiecznym katalogu Le Monniera na planszy prezentującej spostrzeżenia Picarda²³¹ lub została skatalogowana w części opisowej. Daty wykonania obserwacji w dniach 2, 3, 18 i 19 listopada uszły natomiast uwadze zarówno Spörera²³², jak i Maundera²³³, ale znane były Wolfowi²³⁴. Wymienione zostały również w katalogu Hoyta i Schattena²³⁵.

Przykłady zestawione w niniejszym rozdziale potwierdzają, że opublikowana w 1889 r. przez Spörera lista plam²³⁶ dostrzeżonych w latach 1672–1713 jest nieco niekompletna. Wiadomo także, że badacz niemiecki pominął plamy opisane przez Derhama. Inaczej prezentuje się również okres ostatniej dekady XVII w., także poprzez wzmianki o plamach odnalezione w korespondencji Kircha, przedstawiany we współczesnych opracowaniach tak samo, jak za czasów Spörera.

Tempo rotacji słońca wyznaczone z obserwacji plam

Choć dokładność rysunków tarczy słonecznej z plamami wykonanymi przez Scheinera w 1611 r. była mała, co łączyło się z pomijaniem szeregu istotnych szczegółów na ilustracjach o niedużej średnicy²³⁷, tempo rotacji Słońca w tym okresie można szacować na podstawie innych rycin wykonanych przez Harriota w latach 1611–1613²³⁸ i Galileusza w 1612 r.²³⁹. Wyznaczenie prędkości wirowania Słońca umożliwiły także obrazy dysku słonecznego zamieszczone przez Scheinera w *Rosa Ursina*, których staranność wykonania jest już porównywalna z późniejszym warsztatem Heweliusza. 26 dużych plansz (przykład na rys. 2) pozostawionych przez gdańszczanina, na których przedstawił tory plam widocznych w latach 1642–1644, posłużyło natomiast do wyznaczenia tempa rotacji słonecznej w okresie bezpośrednim poprzedzającym Minimum Maundera²⁴⁰. Heweliusz nie posługiwał się jednak

²³⁰ G.D. Cassini: *Suite des observations...* s. 11-13, wyd. amsterdamskie; w wyd. paryskim s. 8–9.

²³¹ P.C. Le Monnier: dz. cyt. plansza II, s. nienumerowana.

²³² G. Spörer: *Ueber die...*(1889) s. 320.

²³³ E.W. Maunder: dz. cyt. s. 140–145.

²³⁴ R. Wolf: *Histoire et Mémoires... en 1666 jusqu'à 1699...* s. 30–31.

²³⁵ ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/GROUP_SUNSPOT_NUMBERS/alldata. Strona obecnie niedostępna.

²³⁶ G. Spörer: *Ueber die...*(1889) s. 319–324.

²³⁷ Ch. Scheiner: *De maculis...* wklejka.

²³⁸ R.B. Herr: dz. cyt. s. 1079–1081.

²³⁹ Galileusz: *Istoriae...* s. 40–60.

²⁴⁰ C. Abarbanell, H. Wöhl: *Solar rotation velocity as determined from sunspot drawings of J. Hevelius in the 17th century*, „Solar Physics” t. 70: 1981 s. 197–203.

podczas tych obserwacji mikrometrem, nie pozostawił żadnych wyników takich pomiarów²⁴¹ i być może również on pozycje na tarczy przedstawił nieco niewłaściwie²⁴². Jego rysunki stanowią także podstawę do określenia wartości liczb Wolfa w okresie bezpośrednio poprzedzającym Minimum²⁴³.

W 1993 r. wartości tempa rotacji na równiku słonecznym w dwu fazach Minimum Maundera (przed i po 1700 r.) zaprezentowali Ribesowie²⁴⁴. Tempo to zostało wyznaczone na podstawie obserwacji wykonywanych od 1666 r. przez Picarda, a potem przez de La Hire'a. Obydwaj pozostawili mało rysunków, ale wykonywali pomiary pozycyjne plam, które umożliwiły wyznaczenie zmian współrzędnych heliograficznych. Oszacowana przez Ribesów, a odczytana z ilustracji w ich artykule, wartość tempa rotacji słonecznej na równiku w latach 1666–1700 (a dokładniej 1672–1695) sięgnęła 14,°2 na dobę²⁴⁵, zaś w schyłkowej fazie Minimum przekroczyła 14,°4 na dobę. Wartości te nie różnią się jednak istotnie od wyników wyznaczonych z obserwacji wykonanych w latach 1954–1986 przez M.A. Kambry'ego i J. Nishikawę²⁴⁶, które mieszczą się w zakresie 14,°19–14,°65 na dobę. Tempo to było najmniejsze podczas minimum w 1963 r., zaś największe w szczycie niskiego cyklu, w latach 1969 i 1972. Natomiast Ribesowie porównali wyniki swoich oszacowań z pomiarami sprzed 1954 r., opracowanymi przez Freda Warda, wykazując, że tempo rotacji Słońca na równiku przed końcem XVII w. było takie, jak współczesne, ale na szerokości heliograficznej ponad 20°.

Uwzględnienie różnicy odległości między Ziemią a plamą oraz Ziemią i środkiem Słońca nie umożliwiło mi uzyskania innych wartości współrzędnej niż wzmiankowane w zestawieniach Spörera²⁴⁷ i Maundera²⁴⁸. Ale z oryginalnych zapisów zamieszczonych w katalogu Le Monniera wynika jednak, że kilka z tych plam francuscy astronomowie zaobserwowali na szerokościach nieznacznie przekraczających 20°, mimo że wg rysunku w publikacji Ribesów rzadko która pojawiła się na szerokości większej niż 15°.

Najdłuższy okres rotacji Słońca w czasie Minimum Maundera wyznaczył natomiast Casas na podstawie rysunku wykonanego przez Biona w roku 1672 (patrz rysunek 5), który powinien być wtedy równy 36 dniom. Wynika z tego, że pozycji

²⁴¹ J. Heweliusz: *Selenographia sive...* s. 500–525; tenże, *Machina coelestis...*, ks. III, s. 1–30.

²⁴² J.A. Eddy, P.A. Gilman, D.E. Trotter: dz. cyt. s. 10.

²⁴³ Nie wszystkie jednak z zaobserwowanych przez Heweliusza plam znalazły się na rysunkach w katalogu. Nie ma tam np. dużej plamy, widocznej bez lunety. Plamę obserwował 1, 11 i 13 stycznia 1644 r., a wzmianka o zjawisku została zamieszczona w opisie tekstowym. J. Heweliusz: *Selenographia sive ...* s. 513.

²⁴⁴ J.C. Ribes, E. Nesme-Ribes: *The solar...* s. 558–559.

²⁴⁵ Tamże, s. 559.

²⁴⁶ M.A. Kambry, J. Nishikawa: *Solar differential rotation derived from sunspot observations*, „Solar Physics” t. 126: 1990 s. 89–100.

²⁴⁷ G. Spörer: *Ueber die...*(1889) s. 319–324.

²⁴⁸ E.W. Maunder: dz. cyt. s. 142–143.

plam na tarczy co najmniej w listopadzie nie wyznaczał mikrometrem. Mniejsze niż współczesne tempo rotacji wyznaczone zostało także na podstawie rysunków Flamsteeda, ilustrujących zmiany pozycji plamy widocznej w 1684 r.²⁴⁹.

Ograniczenie szerokości heliograficznej plam pojawiających się w czasie Minimum do 20° , jakie wynika z artykułu Ribesów²⁵⁰, powinno być może dotyczyć jedynie największych grup, takich jakie Picard i de La Hire mogli dostrzec podczas obserwacji astrometrycznych. Ale wiadomo także, że w roku 1705 Manfredi²⁵¹ zaobserwował dwie plamy na szerokości heliograficznej aż 30° – 40° , których najwyraźniej brak w opracowaniu spostrzeżeń de La Hire'a oraz na liście Spörera²⁵².

Co ciekawsze, w 1776 r. Joseph J.L. de La Lande (1732–1807) opublikował listę szerokości heliograficznych plam, które sam ustalił korzystając z obserwacji wykonanych przez Scheinera w latach 1623–1627 i opisanych w *Rosa Ursina* oraz przez Heweliusza w latach 1642–1644, opublikowanych w *Selenographia*²⁵³. Okazało się, że plamy na rycinach powstałych w Gdańsku nie oddaliły się od słonecznego równika bardziej niż o 18° , choć być może powstały w minimum cyklu jedenastoletniego. Natomiast na ilustracjach Scheinera zaledwie kilka plam pojawiło się na szerokości heliograficznej nieco większej niż 20° , ale żadna nie sięgnęła 25° .

Z krótkiej dyskusji przedstawionej tutaj wynika, że wyniki szacowania tempa rotacji słonecznej w czasie Minimum Maundera wydają się potwierdzać przypuszczenie, że tempo to mogło być w rzeczywistości zbliżone do współczesnego, skłaniając tym samym do wniosku, że podobna mogła być również aktywność plamowa. Mniejsze wartości parametru wyznaczone z obserwacji wykonanych w pierwszej połowie wieku ($13,^\circ 3^{254}$ lub $13,^\circ 59^{255}$ – Harriot, $13,^\circ 25$ i $13,^\circ 38$ – Scheiner²⁵⁶), wskazujące na mniejszą prędkość wirowania Słońca, mogą być bezpośrednim skutkiem analizowania rysunków o mniejszej dokładności, spowodowanej np. brakiem przyrządu, który mógłby pełnić funkcję mikrometru.

²⁴⁹ J.M. Vaquero, F. Sánchez-Bajo, M.C. Gallego: *A measure of the Solar Rotation During the Maunder Minimum*, „Solar Physics” t. 207: 2002 s. 219–222.

²⁵⁰ J.C. Ribes, E. Nesme-Ribes: *The solar...* s. 555 i 558.

²⁵¹ E. Baiada, R. Merighi: *The revival of solar activity after Maunder Minimum in reports and observations of E. Manfredi*, „Solar Physics” t. 77: 1982 s. 357–362.

²⁵² G. Spörer: *Ueber die...*(1889) s. 322.

²⁵³ J. La Lande: *Mémoire sur les Taches du Soleil, et sur sa rotation*, „Memoires de mathématique et de physique tirés des registres de l'Académie Royale des Sciences” t. 78: 1776 s. 487–492; wyd. paryskie bez bieżącej numeracji tomów.

²⁵⁴ R.B. Herr: dz. cyt. s. 1079.

²⁵⁵ R. Casas, J. M. Vaquero, M. Vázquez: dz. cyt. s. 380.

²⁵⁶ Tamże, s. 380.

Związek plam z zorzami

W 1894 r. Agnes Clerke²⁵⁷ potwierdziła ideę Spörera, analizując historyczne zapisy obserwacji zórz wykonanych w okresie Minimum Maundera. Wiadomo, że swoje spostrzeżenie oparła na zestawieniach zamieszczonych w *Traite* Jeana de Mairana (1678–1771), którego drugie wydanie zawiera już znacznie więcej dat widoczności świeceń zorzowych w tym czasie²⁵⁸. Clerke korzystając z pierwszego, pominęła ponad 120 dni z zorzami w latach 1645–1717²⁵⁹, ale poparła koncepcję zmienionego poziomu aktywności słonecznej w drugiej połowie XVII w. W roku 1976 John Eddy, publikując w „Science” swój artykuł, wymienił natomiast liczbę 77 dni, powołując się w przypisie 37 na zestawienie wykonane przez Hermanna Fritza (1830–1893)²⁶⁰.

Gdy w 1985 r. ukazał się obszerny katalog zorzowy²⁶¹ zjawisk dostrzeżonych od roku 1000 na obszarze średnich szerokości geograficznych²⁶², łączna liczba dni z zorzami podczas Minimum Maundera zwiększyła się do 189²⁶³. Wiele z tych opisów zostało zaczerpniętych z podobnego wcześniejszego zestawienia autorstwa Linka z 1964 r. W swojej publikacji zamieścił oryginalne relacje, które poddał weryfikacji zanim znalazły się na liczącej 79 pozycji końcowej liście.

Link pominął chociażby zjawiska opisane przez Cassiniego, widoczne podczas kolejnych dni na początku lipca 1687 r. Obserwacje te przypadły na okres letni, gdy na szerokości geograficznej Paryża co roku obserwowane jest zjawisko całonocnego zmierzchu. Do katalogu Křivský’ego i Pejmla trafiły natomiast wyłącznie dni stanowiące cezury czasowe relacji Włocha.

Przesłanką, która wydaje się jednak potwierdzać większą aktywność zorzową w 1687 r., są liczne i duże plamy, które zaobserwował wtedy w Lipsku Kirch, a o których ani Link ani Eddy nie mogli nic wiedzieć, bo opisy te ujrzały światło dzien-

²⁵⁷ A.M. Clerke: dz. cyt. s. 206–207.

²⁵⁸ J. de Mairan: *Traité physique et historique de l’aurore boréale*, Paryż 1754, wyd. II.

²⁵⁹ Miesiąc przed opublikowaniem listu Clerke ukazał się w tym samym czasopiśmie i pod takim samym tytułem artykuł Maundera, wg którego czas długiego Minimum zakończył się wraz z bardziej wyraźnym szczytem liczby plam w 1718 r.; E.W. Maunder: *A prolonged sunspot minimum*, „Knowledge” t. 17: 1894 s. 174.

²⁶⁰ J.A. Eddy: *The Maunder Minimum*, „Science” t. 192: 1976 nr 4245 s. 1193 i 1202; w zestawieniu Křivský’ego i Pejmla z roku 1985 (patrz przypis kolejny) można doliczyć się jedynie 68 dni zorzowych w latach 1645–1717, dla których źródłowym katalogiem powinien być katalog Fritza, ale aż 28 dni w latach 1616–1717. Katalog ten umożliwia zatem odszukanie jedynie połowy dni ze wzmiankowanych w „Science”, gdzie cezura okresu jest rok 1715.

²⁶¹ L. Křivský, K. Pejml: *Solar activity, aurorae and climate in Central Europe in the last 1000 years*, „Travaux Géophysiques” t. 33: 1985 s. 77–151.

²⁶² Szerokości mniejsze niż 55°.

²⁶³ Do roku 1717. W latach 1716–1717 zestawiono w tym katalogu 29 dni zorzowych; L. Křivský, K. Pejml: dz. cyt. s. 41.

ne dopiero w 1980 r.²⁶⁴. Plamy te widywane były od końca maja do grudnia, mimo że Cassini nie dostrzegł żadnej, obserwując podobno uważnie Słońce przez cały rok ²⁶⁵, podobnie jak de La Hire²⁶⁶.

Link nie zdecydował się uznać za opisy zórz także innych przekazów historycznych, dotyczących otoków świetlnych, które mogłyby być relacjami o zaobserwowaniu halo. Przykładem jest relacja z 21 kwietnia 1670 r.²⁶⁷ wzmiankująca również ruch, nietypowy dla zjawisk powodowanych załamywaniem odbitego od Księżyca światła słonecznego na kryształach chmur lodowych. W opisie tym nie odnotowano ponadto widoczności naturalnego satelity, którego światło jest niezbędne by wytworzyć halo w porze nocnej, a który powinien być wówczas bliski nowiu²⁶⁸.

W roku 1991 Ludwig Schlamminger²⁶⁹ opublikował histogram grupujący 121 dni, gdy zorze widoczne były w okresie Minimum, a zostały dostrzeżone z terenu Europy Centralnej, czyli z obszaru średnich szerokości geograficznych. Znając lata szczytów liczby plam w drugiej połowie XVII w., wyznaczone jeszcze przez Wolfa, stwierdził, że potwierdzają efekt późniejszych o dwa lata, względem szczytów liczby plam, szczytów liczby dni zorzowych w cyklu, odkryty w połowie XIX w. przez Fritza²⁷⁰.

W roku 2004 r. opublikowane zostały nieznane wcześniej opisy zórz, obserwowanych także w latach Minimum Maundera, ale z terenu Dalekiego Wschodu. Przybyło wtedy 14 dni przed rokiem 1700 i dalsze 6 w schyłkowych latach okresu²⁷¹.

²⁶⁴ Publikacja Landsberga ukazała się 4 lata po artykule Eddy'ego w „Science”. Plam dostrzeżonych przez Kircha w latach: 1679, 1681, 1687 i 1688 oraz przez Ihle'ego w roku 1687 nie ma na liście Spörrera. Także przypisy bibliograficzne Wolfa zamieszczone w czasopiśmie, które wydawał, nie zawierają informacji by Kirch opublikował wyniki swoich obserwacji wykonanych w tym właśnie roku. Do 1980 r. pozostawały skatalogowane jedynie w jego dziennikach; H.E. Landsberg: dz. cyt. s. 181–191.

²⁶⁵ Uwaga została zamieszczona na liście w publikacji Maundera (E.W. Maunder: dz. cyt. s. 142).

²⁶⁶ J.C. Ribes, E. Nesme-Ribes: *The solar...* s. 556.

²⁶⁷ F. Link: *Observations et catalogue des aurores boréales apparues en occident de 1601 à 1700*, „Geofysikální Sbornik” t. 212: 1964 s. 33.

²⁶⁸ Faza Księżyca według Stellarium.

²⁶⁹ L. Schlamminger: *Aurora borealis lag during the Maunder Minimum*, „Solar Physics” t. 131: 1991 s. 411–414.

²⁷⁰ Fritz skatalogował zaledwie 18 dni z zorzami w latach Minimum przed początkiem XVIII w., które zupełnie nie potwierdzają tej relacji. Zawartość katalogu Fritza ustaliłem na podstawie opracowania: L. Křivský, K. Pejml: dz. cyt. s. 40–41. W publikacji w „Kwartalniku Historii Nauki i Techniki” z 2005 r. niepoprawnie opisałem histogram, który zawiera zorze z publikacji Schlammingera, a nie jedynie skatalogowane przez Fritza; R. Rek: *Obserwacje plam...* s. 234.

²⁷¹ E.H. Lee, Y.S. Ahn, H.J. Yang, K.Y. Chen: *The sunspot and auroral activity cycle derived from Korean historical records of the 11th–18th century*, „Solar Physics” t. 224: 2004 s. 373–386.

Podobne opisy są wciąż odnajdywane. Vaquero z Vázquezem wzmiankują zorzę widoczną 17 września 1672 r.²⁷², której brak w katalogach zorzowych, podobnie jak nie ma tam zorzy opisanej przez Heweliusza, który zjawisko obserwował 22 września 1659 r.²⁷³. Wśród zestawień brak także zórz opisanych w listach przez Flamsteeda²⁷⁴.

Zapomnianym wydaje się być katalog Wolfa, opublikowany w 1857 r.²⁷⁵. Zestawienie to zwiększa liczbę dni zorzowych w czasie Minimum Maundera²⁷⁶ o 125²⁷⁷ i zawiera bardzo liczne daty widoczności zórz w latach 1698–1699 (40 i 20), dla których nie ma jednak pokrycia w szczycie liczby plam. Katalog ten pozwala wyznaczyć maksima liczby dni z zorzami na lata 1707 i 1719, czyli te same, co katalog Křivský'ego i Pejmla, potwierdzające poprzez spostrzeżenie Fritza szczyty liczby plam w latach 1705 i 1718. Maksima liczby zórz w latach: 1687, 1698–1699, 1707 oraz 1719²⁷⁸ wyznaczają ponadto interwały czasowe mieszczące się w zakresie zmian długości cyklu plamowego po roku 1749²⁷⁹.

Publikacji Wolfa brak w bibliografii współczesnych studiów aktywności zorzowej z powodu niedostępności informacji o współrzędnych geograficznych miejsca obserwacji, których powinny dostarczyć katalogi źródłowe. Szczegółu tego dla okresu Minimum, poza relacją Cassiniego z roku 1687, nie precyzuje zestawienie Boué²⁸⁰, ale również źródłowy *Traite de Mairana*²⁸¹, zawierający dodatek prezentujący wykaz dat zebrany wcześniej przez Frobese z licznymi zorzami w latach 1698–1699²⁸².

²⁷² J.M. Vaquero, M. Vázquez: *The Sun...* s. 303.

²⁷³ J. Heweliusz: *Machina...*, ks. II, s. 170.

²⁷⁴ J. Flamsteed: *The correspondence...*, t. 2, s. 1011–1014 (zorza widoczna po 25 grudnia 1681 r., list nr 895); s. 1008–1010 (widoczna 24 marca 1703 r., list 894); s.1017 (obserwowana między 8 kwietnia a 4 maja 1703 r., list 898).

²⁷⁵ R. Wolf: *Nordlichtkatalog und Vergleichung des jährlichen Ganges in dieser Erscheinung mit dem der Sonnenflecken*, „Mittheilungen über die Sonnenflecken von Dr. Rudolf Wolf” z. 5: 1857 wrzesień s. 83–102.

²⁷⁶ W latach 1645–1717.

²⁷⁷ W tym 13 w latach 1716–1717. Wzmiankowanych 125 dni zorzowych brak w katalogu autorów z Czechosłowacji, katalogu Lee i in., (E.H. Lee, Y.S. Ahn, H.J. Yang, K.Y. Chen: dz. cyt. s. 382) oraz katalogu Schrödera (W. Schröder: *Auroral frequency in the 17th and 18th centuries and the 'Maunder minimum'*, „Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics” t. 41: 1979 s. 445–446).

²⁷⁸ Kolejny wyraźny szczyt zorzowy byłby już w roku w 1722, co może być skutkiem wzrastającej liczby obserwacji. Szczyty zorzowe według L. Křivský, K. Pejml: dz. cyt. s. 77–151 oraz R. Wolf: *Nordlichtkatalog und...* s. 83–102.

²⁷⁹ 9–13 lat; K. Petrovay: *Solar Cycle Prediction*, „Living Reviews in Solar Physics” t. 7: 2010 s. 28–29.

²⁸⁰ Boué: *Chronologischer Katalog der Nordlichter bis zum Jahre 1856, samt einer Bibliographie über diese Erscheinung*, „Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften” t. 2: 1856 z. 1 s. 3–74.

²⁸¹ J. de Mairan: dz. cyt. s. 467–480.

²⁸² Tamże; szerokość geograficzna znana jest natomiast dla zórz obserwowanych przez Marię Kirch (1670–1720) od roku 1707 w Berlinie. Daty tych obserwacji de Mairan zamieścił w odrębnym dodatku; s. 499–502.

Przesłanki za ciągłością periodyczności Schwabego w okresie Minimum Maundera dostarcza także analiza okresu rozciągającego się na lata 1661–1671, gdy zorze równonocne²⁸³ widoczne były wyłącznie w pierwszej połowie roku, co mogło być skutkiem asymetrii powierzchni polarnych dziur koronalnych, która może utrzymywać się przez okres od jednego przebiegunowania do kolejnego²⁸⁴. Na tej podstawie można wyznaczać lata szczytów liczby plam na rok 1660 i 1671.

Również zjawiska widoczne w pozostałych miesiącach, poza bliskimi równonocami, grupują się w małe szczyty, oddzielone interwałami mieszczącymi się w zakresie zmienności długości cyklu jedenastoletniego²⁸⁵, choć dni zorzowych przed 1687 r. skatalogowano stosunkowo mało. Ponadto pojawiają się wtórne maksima w połowie cyklu, znane z opracowania Sama Silvermana, który analizował m.in. cykliczność zórz dostrzeżonych z obszaru średnich szerokości geograficznych w latach 1500–1948²⁸⁶.

Zestawienia opisów aktywności zorzowej w czasie Minimum Maundera potwierdzają, że zórz zaobserwowano kilkakrotnie więcej niż wzmiankuje artykuł Eddy'ego opublikowany w 1976 r. w „Science”. Dodatkowo przesłanki za ciągłością zorzowego cyklu 11-letniego w tym okresie skłaniają ku ciągłości także i 11-letniego cyklu plamowego, co powinno się łączyć z aktywnością plamową taką, jak obserwowana współcześnie.

Wnioski dla teorii współczesnej

Długie minimum liczby plam zostało przypomniane w 1976 r. przez Johna Eddy'ego w kontekście badań zmian obfitości izotopu radioaktywnego węgla, gdy zamieścił on artykuł przeglądowy w czasopiśmie „Science”. Zacytował spostrzeżenia Picarda, Flamsteeda i Gian Domenico Cassiniego²⁸⁷, a także opisy zórz i korony słonecznej wykonane w tym czasie. Jako pierwszy nazwał ten okres nazwiskiem Maundera.

Amerikanin spopularyzował teorię, która łączy brak plam w okresie Minimum z większą obfitością izotopu węgla zasymilowanego w tamtym czasie przez drzewa. Eddy dysponował danymi umożliwiającym analizę tej zmienności, które jednak nie

²⁸³ Zjawiska widoczne jedynie w kilku miesiącach roku, w lutym, marcu, kwietniu, wrześniu i październiku, które wybrałem z katalogu: L. Křivský, K. Pejml: dz. cyt. s. 77–151 oraz R. Wolf: *Nordlichtkatalog und...* s. 83–102.

²⁸⁴ A. Prigancová, M. Bieleková: *Long term trend in the seasonal variation of the magnetospheric response [w:] Solar-Terrestrial Predictions – IV, Proceedings of a Workshop at Ottawa, Canada, May 18–22, 1992*, t. 2, red. J. Hruska i in., Boulder 1993, s. 636–648.

²⁸⁵ Zjawiska widoczne w kolejnych latach poza marcem, kwietniem, wrześniem i październikiem, czyli okresami aktywności zorzowej związanej ze słonecznymi strukturami polarnymi, wybrane z katalogu L. Křivský, K. Pejml: dz. cyt. s. 77–151.

²⁸⁶ S.M. Silverman: *Secular variation of the aurora for the past 500 years*, „Reviews of Geophysics” t. 30: 1992 nr 4 s. 338.

²⁸⁷ J.A. Eddy: *The Maunder...* s. 1190.

pokrywały drugiej połowy XVII w. w sposób ciągły. Nie mógł zatem zauważyć ani dyskutować ciągłości cyklu jedenastoletniego w powstałym w tym czasie drewnie. Swoje wnioski opierał jedynie na spostrzeżeniu Stuivera z 1961 r.²⁸⁸, który stwierdził antykorelację między liczbą plam na Słońcu, a obfitością izotopu w materiale botanicznym powstałym w czasie 1300 lat. Badacz ten porównał wyniki pomiarów i wartości liczb Wolfa uśrednione w interwałach o długości 50 lat, co zmniejszyło skalę ewentualnej zmienności wynikającą z istnienia podstawowego cyklu słonecznego.

Analiza jeszcze wcześniej powstałego drewna jedynie utwierdziła Eddy'ego w poglądzie, że długie siedemnastowieczne minimum nie było wyjątkiem. Opinia ta przyczyniła się do upowszechnienia interpretacji zjawiska, według której plamy i zorze w tym czasie były nieliczne, podczas gdy zastosowane wówczas metody obserwacji astronomicznych (Picard, de La Hire, Flamsteed) nie mogą świadczyć o istnieniu wówczas systematycznego programu obserwacji powierzchni dziennej gwiazdy i tym samym o zainteresowaniu dostrzeżeniem mniejszych plam. Z czasem plalom słonecznym mniej uwagi poświęcał także Heweliusz, co jest widoczne w późniejszych zapisach zamieszczonych w jego katalogu pomiarów astrometrycznych²⁸⁹.

Wnioski Eddy'ego napotkały zresztą na natychmiastowy opór w postaci publikacji Christophera Cullena, cytującego pracę Xu Zhentao i Jiang Yaotiao²⁹⁰, oraz Landsberga²⁹¹, którzy powoływali się na nieznane wcześniej opisy plam dostrzeżonych w Azji i Europie w okresie Minimum. Także Link, analizując opisy zorzowe, był przekonany o ciągłości cyklu jedenastoletniego w tym czasie²⁹², zaś Landsberg brak relacji w dziennikach Kircha o plamach z ostatniej dekady XVII w. skomentował słowami, że ten „widocznie nie miał teleskopu”²⁹³.

Do chwili obecnej zostało zgromadzonych wystarczająco wiele przesłanek składających ku przypuszczeniu, że poziom aktywności plamowej Słońca w czasie Minimum Maundera mógł być taki, jak rejestrowany współcześnie, zaś obserwowane wówczas przez duże lunety plamy nie różniły się bardzo od widywanych w pozostałych okresach historycznych. Wydaje się to potwierdzać także ciągłość zapisu cykliczności 11-letniej widoczna m.in. w warstwach lodowców utworzonych w drugiej połowie XVII w., zawierających izotop Be10 wytwarzany w ziemskiej atmosferze przez promieniowanie kosmiczne²⁹⁴.

²⁸⁸ M. Stuiver: *Variations in Radiocarbon Concentration and Sunspot Activity*, „Journal of Geophysical Research” t. 66: 1961 nr 1 s. 273–276.

²⁸⁹ J. Heweliusz: *Machina coelestis...*, ks. III, s. 1–30.

²⁹⁰ Ch. Cullen: *Was there a Maunder Minimum?*, „Nature” t. 283: 1980 s. 427–428.

²⁹¹ H.E. Landsberg: dz. cyt. s. 181–191.

²⁹² F. Link: *Solar cycles...* s. 176–177.

²⁹³ Uwaga pod tabelą 1; H.E. Landsberg: dz. cyt. s. 184.

²⁹⁴ J. Beer, S. Tobias, N. Weiss: *An active Sun throughout the Maunder Minimum*, „Solar Physics” t. 181: 1998 s. 237–249.

Spostrzeżenie dotyczące pojawiania się w trakcie Minimum Maundera plam wyłącznie na półkuli południowej²⁹⁵ znalazło swoiste potwierdzenie w badaniach współczesnych, kiedy to w 2009 r. K. J. Li i in.²⁹⁶ stwierdzili istnienie kilkudziesięcioletnich okresów, gdy plamy licznie przeważają tylko po jednej stronie słonecznego równika. Faza taka trwała np. w latach 1880–1960 i jeżeli ten długi cykl byłby zachowany w poprzednich stuleciach to w latach 1640–1720 plamy powinny się grupować właśnie na południowej półkuli Słońca, również te największe.

LITERATURA

E. Baiada, R. Merighi: *The revival of solar activity after Maunder Minimum in reports and observations of E. Manfredi*, „Solar Physics” t. 77: 1982 s. 357–362.

N. Bion: *Des observations des Taches du Soleil [w:] L'usage des globes célestes et terrestres, et des sphères suivant les différens systémes du monde*, Paryż 1717.

R. Boyle: *An Intimation of divers Philosophical particulars, now undertaken and consider'd by Several Ingenious and Learned men; here inserted to excite others to joyn with them in the same or the like Attempts and Observations*, „Philosophical Transactions” t. 6: 1671 s. 2216–2217.

J. Heweliusz: *Selenographia sive lunae descriptio*, Gdańsk 1647.

J. Heweliusz: *Machina coelestis*, Gdańsk 1673, ks. I.

J. Heweliusz: *Machina coelestis*, Gdańsk 1679, ks. III.

G.D. Cassini: *New Observations of Spots in the Sun; made at the Royal Academy of Paris, the 11, 12 and 13th of August 1671; and English't out of the French, as follows*, „Philosophical Transactions” t. 6: 1671 s. 2250–2253.

G.D. Cassini: *The Observations of the SPOTS of the SUN, made at the Royal Academy at Paris, Continued; and English't out of French*, „Philosophical Transactions” t. 6: 1671 s. 3020–3024.

G.D. Cassini: *Description du mouvement ou a fait une tache dans le Soleil sur la fin de Novembre dernier 1676*, „Journal des sçavans” 1676 s. 239–240, wyd. paryskie bez bieżącej numeracji tomów.

G.D. Cassini: *Suite des observations faites à l'Observatoire Royal, touchant la Tache qui a paru dans le Soleil, les mois d'Octobre, de Novembre et Decembre derniers*, „Journal des sçavans” t. 5: 1677 s. 11–13, wyd. amsterdamskie; w wyd. paryskim s. 8–9.

G.D. Cassini: *Observation de plusieurs taches et facules dans le Soleil faite à l'Observatoire Royal par M. Cassini*, „Journal des sçavans” t. 6: 1678 nr 21 s. 260–262, wyd. amsterdamskie z 1679 r.

G.D. Cassini: *D'une nouvelle Tache dans le Soleil. Par M. Cassini le fils*, „Memoires de mathématique et de physique tirés des registres de l'Académie Royale des Sciences”, t. 4: 1702 s. 139–140; wyd. paryskie, bez bieżącej numeracji tomów.

²⁹⁵ Maunder, cytując w 1890 r. wnioski Spörera, wzmiankuje lata 1672–1704, gdy nie zaobserwowano żadnych plam na północnej półkuli Słońca. E.W. Maunder: *Professor Spoerer's Researches on Sun-spots*, „Monthly Notices of the Royal Astronomical Society” t. 50: 1890 s. 252.

²⁹⁶ K.J. Li, P.X. Gao, L.S. Zhan: *The Long-term Behavior of the North-South asymmetry of Sunspot Activity*, „Solar Physics” t. 254: 2009 s. 145–154.

- A.M. Clerke: *A prolonged sunspot minimum*, „Knowledge” t. 17: 1894 s. 206–207.
- W. Derham: *Observations upon the Spots that have been upon the Sun, from the Year 1703 to 1711*, „Philosophical Transactions” t. 27: 1710 s. 270–277.
- Description d'une tache qui a paru dans le Soleil ce mois de May dernier 1684*, „Journal des sçavans” t. 12: 1684 nr 15 197–201, wyd. amsterdamskie z 1709 r.
- J.A. Eddy: *The Maunder Minimum*, „Science” t. 192: 1976 nr 4245 s. 1189–1202.
- J. Flamsteed: *An account of a Spot seen in the Sun from the 25th. of April to the 8th. of May instant, with the line of its Course predicted, if it make a second Return*, by I.F. Astron. Reg., „Philosophical Transactions” t. 14: 1684 s. 535–536.
- J. Flamsteed: *Historia coelestis Britannica*, Londyn 1725.
- J. Flamsteed: *The correspondence of John Flamsteed, the first Astronomer Royal*, t. 1 (lata 1666–1682), red. E.G. Forbes i in., Bristol i Philadelphia 1995.
- J. Flamsteed: *The correspondence of John Flamsteed, the first Astronomer Royal*, t. 2 (lata 1682–1703), red. E.G. Forbes i in., Bristol i Philadelphia 1997.
- D.V. Hoyt, K.H. Schatten: *Overlooked sunspot observations by Hevelius in the early Maunder Minimum, 1653 – 1684*, „Solar Physics” t. 160: 1995 s. 371–378. D.V. Hoyt,
- K.H. Schatten: *Observations of sunspots by Flamsteed during the Maunder Minimum*, „Solar Physics” t. 160: 1995 s. 379–385.
- D.V. Hoyt, K.H. Schatten: *How well was the Sun observed during the Maunder Minimum?*, „Solar Physics” t. 165: 1996 s. 181–192.
- G. Kirch: *Die Korrespondenz des Astronomen und Kalendermachers Gottfried Kirch (1639–1710)*, red. K.D. Herbst, Jena 2006.
- L. Křivský, K. Pejml: *Solar activity, aurorae and climate in Central Europe in the last 1000 years*, „Travaux Géophysiques” t. 33: 1985 s. 77–151.
- H.E. Landsberg: *Variable Solar Emissions, the "Maunder Minimum" and Climatic Temperature Fluctuations*, „Archiv für Meteorologie Geophysik und Bioklimatologie” t. 28: 1980 seria B s. 181–191.
- F. Link: *Observations et catalogue des aurores boréales apparues en occident de 1601 à 1700*, „Geofysikální Sborník” t. 212: 1964 s. 501–550.
- J. de Mairan: *Traité physique et historique de l'aurore boréale*, Paryż 1754, wyd. II.
- E. Manfredi: *De gnomone meridiano bononiensi ad divi Petronii*, Bolonia 1736.
- E.W. Maunder: *Professor Spoerer's Researches on Sun-spots*, „Monthly Notices of the Royal Astronomical Society” t. 50: 1890 s. 251–252.
- E.W. Maunder: *A prolonged sunspot minimum*, „Knowledge” t. 17: 1894 s. 173–176.
- E.W. Maunder: *The Prolonged Sunspot Minimum, 1645–1715*, „The Journal of the British Astronomical Association” t. 32: 1922 s. 140–145.
- P.C. Le Monnier: *Histoire celeste ou recueil de toutes les observations astronomiques faites par ordre du Roy*, Paryż 1741.
- Observation d'une Nouvelle tache dans le Soleil*, „Journal des sçavans” t. 6: 1678 nr 8 s. 90–91, wyd. amsterdamskie z 1679 r.
- Z.L. Pszczółkowska: *Korespondenci Jana Heweliusza [w:] Jan Heweliusz*, red. M. Pelczar i J. Włodarczyk, Radom 2011, s. 159–198.
- J.C. Ribes, E. Nesme-Ribes: *The solar sunspot cycle in the Maunder minimum AD 1645 to AD 1715*, „Astronomy and Astrophysics” t. 276: 1993 s. 549–563.

W. Soon, S.H. Yaskell: *The Maunder Minimum and the Variable Sun–Earth connection*, Singapur 2003.

G. Spörer: *Ueber die Periodicität der Sonnenflecken seit dem Jahre 1618, vornehmlich in Bezug auf die heliographische Breite derselben, und Hinweis auf eine erhebliche Störung dieser Periodicität während eines langen Zeitraumes*, „Vierteljahresschrift Astronomische Gessellschaft (Leipzig)“ t. 22: 1887 s. 322–329.

G. Spörer: *Ueber die Periodicität der Sonnenflecken seit dem Jahre 1618, vornehmlich in Bezug auf die heliographische Breite derselben, und Nachweis einer erheblichen Störung dieser Periodicität während eines langen Zeitraumes*, „Nova Acta der Kaiserliche Leopoldinisch – Carolinische Deutschen Akademie der Naturforscher“ t. 53: 1889 nr 2 s. 282–324.

Stannyan: *Observations made by Captain Stannyan of the Spots that appear'd upon the Body of the Sun in the Months of May, June and July, in the year 1704. Communicated by Mr Hodgson, F. R. S.*, „Philosophical Transactions“ t. 24: 1704–1705 s. 1756–1762.

J.M. Vaquero, M. Vázquez: *The Sun Recorded Through History: Scientific Data Extracted from Historical Documents*, Berlin 2009.

A.D. Wittmann, Z.T. Xu: *A catalogue of sunspot observations from 165 BC to AD 1684*, „Astronomy and Astrophysics Supplement Series“ t. 70: 1987 s. 83–94.

R. Wolf: *Histoire et Mémoires de l'Académie royale des Sciences. Depuis son établissement en 1666 jusqu'à 1699. Vol. 1–11.*, „Mittheilungen über die Sonnenflecken“ z. 11: 1860 czerwiec s. 30–31.

R. Wolf: *Histoire de l'Académie royale des Sciences. Année 1699–1790*, „Mittheilungen über die Sonnenflecken“ z. 11 1860 czerwiec s. 31–38.

[Komunikat bez tytułu i nazwiska autora]: „Histoire de l'Académie Royale des Sciences“, t. 2: 1733 s. 264.