

Ewa Wyka
Instytut Historii Nauki
im. L. i A. Birkenmajerów PAN
ORCID: 0000-0003-3822-7377

Instrumenty do pomiaru czasu i przestrzeni – perspektywa historyczna

DOI: 10.15290/sp.2025.33.01.05

Abstrakt Przy analizie metod i instrumentarium naukowego stosowanego w badaniach zjawisk zachodzących w przyrodzie zauważa się istnienie licznej grupy przyrządów, których zasada opiera się na pomiarze kątów. Najstarsze z nich, jak np. triquetrum, kwadrant, astrolabium, pochodzą z czasów antyku i jako pierwsze użyte były do obserwacji położenia ciał niebieskich, co wiązało się również z pomiarem czasu. Pomiar kąta stał się podstawą koncepcji niektórych przyrządów tworzonych w miarę rozwoju nauki nowożytnej. Liczne dziewiętnastowieczne metody badania przestrzeni (mikro i makro), jak np. spektrometria czy polarymetria, opierają się także na wyznaczaniu zależności kątowych. Jest to możliwe, ponieważ wykorzystywane w projektowaniu przyrządów prawa fizyki i matematyki nie uległy zmianom.

Słowa kluczowe pomiar kątów, instrumenty naukowe, wyznaczanie czasu

Abstract When analyzing the methods and scientific instruments used in the study of phenomena occurring in nature, it is noticed that there is a large group of instruments whose principle is based on the measurement of angles. The oldest of them, such as the triquetrum, the astrolabe, and the quadrant, come from ancient times and were the first to be used to observe the position of celestial bodies and hence to determine the time and seasons. Angle measurement became the basis for some instruments created as modern science developed. Numerous nineteenth-century methods of space research (micro and macro), such as spectrometry or polarimetry, are also based on determining angular relationships. This is possible because the laws of physics and mathematics used in instrument design have not changed.

Key words measuring angles, scientific instruments, determining time

Wprowadzenie

W artykule postawiona została teza, że kąt, w szczególności jego pomiar, stanowił bardzo ważną wielkość, na bazie której projektowane i konstruowane były, i są nadal, przyrządy obserwacyjne i pomiarowe, w tym do badań czasu i przestrzeni. W celu wykazania słuszności tej tezy wybrano kilkanaście przyrządów kątowych, których konstrukcja bazuje właśnie na pomiarze kąta. Ich wybór jest wprawdzie subiektywny, ale kierowano się przede wszystkim znaczeniem przyrządów dla rozwoju nauki i praktyki oraz oczywiście konstrukcją przyrządu opartą o pomiar kąta. W dalszej części artykułu używać się będzie wymiennie określenia „instrument kątowy”. Dla stawianej tezy nie ma cezurę czasowej – począwszy od konstrukcji sięgających czasów antyku

po najnowocześniejsze urządzenia XXI w., wyznaczanie wielkości kąta lub zmiana jego wartości stanowią zasadę konstrukcji bardzo licznej grupy przyrządów. Nie ma również ograniczenia, jeśli chodzi o dziedzinę wiedzy, na potrzeby której instrumenty oparte na pomiarze kątów były i są budowane. Wartość ta lub jej zmiana ma w tym sensie wymiar wielostronny. Założona teza uzasadniona zostanie na przykładzie konstrukcji wybranych instrumentów naukowych służących głównie do wyznaczania czasu i badania szeroko rozumianej przestrzeni (np. miernictwo, astronomia, architektura). Wydaje się jednak za zasadne odnieść się do konstrukcji kątowych, stosowanych także w innych obszarach nauki. Z racji uniwersalności – kąt lub jego zmiana – stanowiąc mogą pośrednio źródło wiedzy o budowie materii, podstawę do zgłębiania szeroko rozumianych praw natury, wiedzy o wszechświecie. Wykorzystanie zależności kątowych może również ułatwić pracę twórczą artystom lub być dla nich inspiracją. Warto więc spojrzeć na „kąty”, czas i przestrzeń z szerszej perspektywy, postrzegając powyższe zjawiska i pojęcia poprzez pryzmat obiektów z ewoluującego w ciągu wieków instrumentarium naukowego. Jego rozwój i ewolucja to, jak dotąd, obszar zainteresowań historyków nauk ścisłych i przyrodniczych. Badania nad historią instrumentów naukowych w szerszym zakresie podjęte zostały praktycznie w latach sześćdziesiątych XX w. Studia te skoncentrowane są na naukowo-historycznych aspektach poszczególnych tematycznie grup przyrządów badawczych¹. Na potrzeby niniejszego artykułu wybrane i przytoczone zostaną jedynie znaczące przyrządy, posiadające wspólną cechę konstrukcyjną – pomiar kąta.

Potrzeba wyznaczania czasu

Od najdawniejszych czasów towarzyszy człowiekowi potrzeba wiedzy o otaczającym świecie. Świadczą o tym zgromadzone na przestrzeni wieków traktaty naukowe, przekazy, dzieła ikonograficzne, a także przedmioty do uprawiania nauki. Człowiek stawiał, i nadal stawia, pytania filozoficzne o sens istnienia, o zjawiska w przyrodzie, ale i bardzo praktyczne, prowokowane potrzebami życia codziennego. Podstawowe kwestie, których rozwiązań poszukiwano, to: „jak zbudowany jest wszechświat?”, „jakie prawa nim rządzą?”, „jakie miejsce zajmuje człowiek we wszechświecie?”, „jakie są prawa natury?”. Zadawano

¹ Tematyce tej poświęcone są opracowania naukowe tak wybitnych znawców i badaczy tematu, jak: Ernst Zinner, Maurice Dumas, Silvo A. Bedini, Anthony Turner, Gerard L'Estrange Turner, David A. King, James Bennett, Paolo Brenni i in. Specjalistyczna bibliografia znajduje się: <https://scientificinstrumentsociety.org/publications>, <https://scientific-instrument-commission.org/resources/bibliography>.

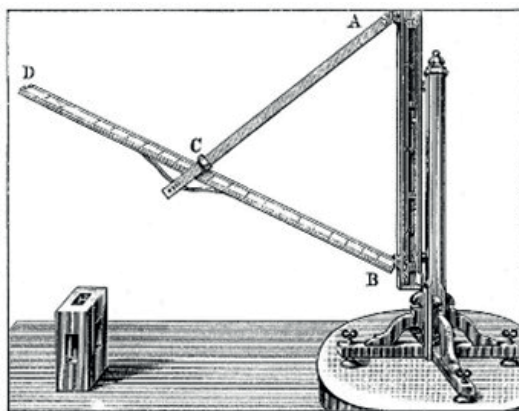
również bardziej praktyczne pytania, tj. o czas trwania postępujących po sobie dni i nocy, czas zmieniających się pór roku, o pory wylewu Nilu, siewu zbóż i innych czynności rolniczych. Ogólnie rzecz biorąc, pytano o trwanie czasu. Równie ważne było wyznaczanie pór modlitw, bowiem wiara od zawsze towarzyszy człowiekowi jako ważny element jego życia. Odpowiedzi na te i podobne pytania poszukiwano na różnych płaszczyznach. Czyniono to poprzez obserwację zjawisk astronomicznych oraz zmian zachodzących w przyrodzie. Zajmowali się tym filozofowie, matematycy, astronomowie – uczeni o wszechstronnych wówczas zainteresowaniach. Najwcześniejszą nauką, która szukała odpowiedzi na powyższe pytania, była astronomia. Śledzono, jak poruszają się planety i inne ciała niebieskie, badano powtarzające się zjawiska na niebie. Analizowano ich znaczenie; szukano metod, jak wyznaczać czas. Część stawianych pytań jest nadal aktualna i intryguje współczesnych uczonych. Mówimy o *naukowych* kierunkach rozwoju astronomii. Obserwacja ruchu planet, położenia Księżyca, wysokości Słońca, zmiennych pozycji gwiazd i pomiar ich położenia – te wielkości i zjawiska niosły ze sobą również wartość praktyczną. Pozwalały na wskazywanie sezonów ważnych prac rolniczych, wyznaczanie godzin wschodu i zachodu Słońca. Były także użyteczne dla celów religijnych. Na ich podstawie wyznaczano m.in. święty kierunek Mekki (*qibla*). Mówimy tu o *praktycznych* aspektach astronomii.

Instrumenty kątowe z czasów antyku

Do obserwacji astronomicznych służyły starożytnym uczonym w większości duże i masywne przyrządy. Zasada ich budowy i pomiaru oparta była na regułach trygonometrii, w szczególności na prawach podobieństwa trójkątów. Prawa te znane były już w starożytnej Grecji w okresie hellenistycznym. W swojej zasadniczej konstrukcji kilka typów instrumentów antycznych przetrwało do czasów nowożytnych, przechodząc drogę z nauki greckiej przez naukę arabską do Europy. Uważać można, że wiele z nich stosowanych jest nadal w wersjach coraz bardziej nowoczesnych. Poniżej prezentowane są ważne konstrukcje przyrządów antycznych, które w swej uniwersalności służyły do pomiaru czasu lub przestrzeni. Jednym z najstarszych przyrządów do obserwacji astronomicznych, obok gnomonu i dioptrii, był trójkąt paralaktyczny (*triquetrum*). Nie zachowały się oryginalne przyrządy antyczne, znamy je natomiast z rycin i dzieł późniejszych – choćby z kompendium ówczesnej wiedzy astronomicznej, *Almagestu* Klaudiusza Ptolemeusza (ok. 140 r.), czy dzieła Mikołaja Kopernika, *De revolutionibus orbium coelestium* (1543 r.), który wzorował swe instrumentarium na traktacie Ptolemeusza. Wówczas były to najczęściej przyrządy drewniane, przez to tańsze niż metalowe, łatwiejsze w wykonaniu i nanoszeniu

podziałek. Triquetrum służyło do wyznaczania wysokości ciał niebieskich nad horyzontem. Przyrząd ustawiano tak, by oś pionowa wskazywała zenit; przez przezierniki na górnej listwie przyrządu obserwowano ciało niebieskie, a na skali na dolnym ramieniu trójkąta odczytywano kąt odpowiadający odległości ciała od zenitu². Przyrząd ten wykorzystał Mikołaj Kopernik do wyznaczenia paralaksy Księżyca, a tym samym – jego odległości od Ziemi.

Fot. 1a. Triquetrum – rekonstrukcja instrumentu Mikołaja Kopernika wg. Tadeusza Przytkowskiego



Źródło: Tycho de Brahe, *Astronomiæ instauratæ mechanica*, Wandesburg, 1598.

Fot. 1b. Instrument paralaktyczny



Źródło: Muzeum Mikołaja Kopernika we Fromborku, frombork.art.pl/pl/instrumenty-astronomiczne-mikolaja-kopernika (dostęp: 3.01.2024).

² Dumas 1989, s. 21; Rosińska 1974, s. 40–41; Woszczyk 1973, s. 27–31.

Do badania przestrzeni w sensie astronomicznym służyły także przyrządy typu sferycznego, określane jako armilarne. Były to narzędzia, w których podziałki kątowe umieszczano na łukach pierścieni. Przedstawicielem tej grupy przyrządów jest astrolabium pierścieniowe – przyrząd do pomiaru długości i szerokości ekliptycznej ciał niebieskich³. Instrumentem pierścieniowym jest także sfera armilarna. Znamy ten instrument ze wspomnianego wyżej traktatu Ptolemeusza. Duże sfery armilarne były instrumentami obserwacyjnymi. Służyły one do wyznaczania współrzędnych ciała niebieskiego w wybranym układzie odniesienia. Wykonywane były także jako narzędzia dydaktyczne. We wczesnym okresie powstawały w wersji geocentrycznej – z Ziemią w centrum sfery (model ptolemejski), później w wersji heliocentrycznej ze Słońcem w centrum – model kopernikański. Instrumenty typu sferycznego używane były do obserwacji kątowych jeszcze w XVIII wieku⁴.

Fot. 2. Sfera armilarna dydaktyczna, Martin aux Chevaux-Légers a Versail, Wersal, 1762



Źródło: Muzeum Uniwersytetu Jagiellońskiego; z dawnego zasobu Kolegium Jezuickiego w Poznaniu, nr in. MUJ-1611-I.

³ Rosińska 1974, s. 26–27; Woszczyk 1973, s. 22–27.

⁴ Schechner 1998, s. 28–31; Włodarczyk 1987, s. 173–195; Rybka 1970, s. 57–59.

Początki wyznaczania czasu

W czasach antycznych również miały miejsce pierwsze próby wyznaczania czasu z użyciem narzędzi pomiarowych, a nie tylko wizualnych obserwacji nieba i zmieniających się pór dnia i nocy. Służył temu gnomon, a później – zegary słoneczne⁵. Wskazywały one wysokość i azymut Słońca, pozwalały określić kierunki świata. Konstrukcja gnomonu, jak i zegarów słonecznych opiera się na pomiarze kierunku i długości cienia gnomonu rzucanego na podziałkę kątową, najczęściej godzinową. Wskazują one prawdziwy czas słoneczny danej miejscowości. W starożytności znane były wyrafinowane zegary słoneczne o wklęsłych tarczach. W średniowieczu wykonywano już zegary słoneczne pionowe, umieszczane na południowych ścianach kościołów i budynków publicznych. Oswajały one mieszkańców z rachubą czasu, by orientowali się o jego upływie. Praktycznie do XIII–XIV w., kiedy pojawiały się pierwsze mechaniczne zegary wieżowe, te słoneczne na ścianach budynków były jedynym szeroko dostępnym publicznym *źródłem czasu*.

Fot. 3. Podwójny zegar słoneczny pionowy na ścianach ratusza w Otmuchowie, 1575 r.⁶



Źródło: <https://edd.nid.pl/wydarzenia/spacery-edukacyjne-sladami-zachowanych-i-nieistniejacych-inskrypcji-historycznych-w-otmuchowie-2> (dostęp: 09.01.2024).

⁵ Kreiner 2009, s. 133–154; Turner 1998, s. 588–589.

⁶ Sikorski 2014.

Najbardziej uniwersalnym pomiarowym instrumentem sięgającym starożytności jest astrolabium planisferyczne.

Fot. 4. Astrolabium arabskie, Kordoba, 1054, należące do instrumentarium astronoma Marcina Bylicy z Olkusza.



Źródło: Muzeum Uniwersytetu Jagiellońskiego, nr in. MUJ-1570-I, <https://maius.uj.edu.pl/wystawy/wystawy-stale/skarbiec-kopernika> (dostęp 3.01.2024).

Astrolabium należy do grupy przyrządów określanych jako „matematyczne”. Pod tą nazwą kryją się instrumenty, które dzięki odpowiedniemu ustawieniu – na podstawie wykonanych obserwacji jednej wielkości – pozwalają na wyznaczenie innych parametrów bez dokonywania obliczeń. Astrolabium to, obok torquetum⁷ w astronomii, jeden z najbardziej skomplikowanych, wczesnych instrumentów obserwacyjnych, opartych na czytaniu kąta⁸. Znanе jest jeszcze z czasów hellenistycznych, a jego wynalezienie przypisywane jest Hipparchowi. Instrument stanowił stereograficzne odwzorowanie sfery niebieskiej na płaszczyznę równika. Nie wdając się w szczegóły budowy instrumentu i rodzajów skal, jakie posiadał, bez względu na to, jaki obiekt obserwowano, to nadal mierzono kąt. Obserwację prowadzono przez dwa przezierniki na ruchomej alidadzie. Kąt obserwowanego obiektu odczytywano na

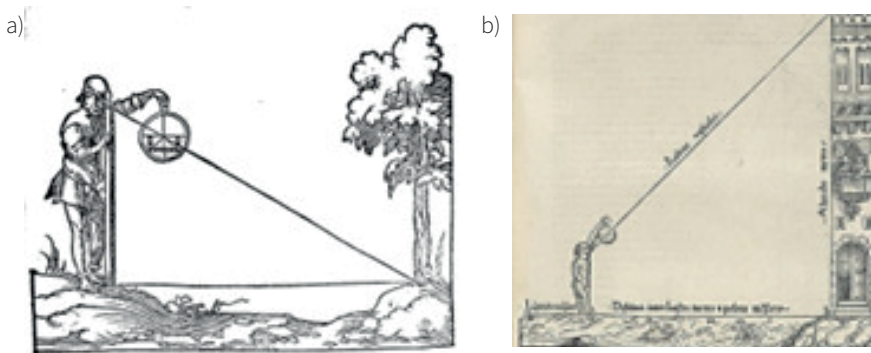
⁷ Włodarczyk 2022, s. 266–299; Birkenmajer 1992, s. 13–15.

⁸ King 1998, s. 32–34; Egert 2004, s. 252–258; Rosińska 1974, s. 25–36; Solski 1683, s. 2; Włodarczyk 2007, s. 71–75.

skali naniesionej na łuku płyty zwanej mater. I tak, np. ustawiając na kręgach przyrządu datę dzienną, można było na skalach odczytać godziny wschodu i zachodu Słońca w tym dniu. W świecie islamu astrolabium stanowiło narzędzie do wyznaczenia kierunku Mekki. Używane było do znajdowania czasu wschodu i zachodu gwiazd stałych, aby pomóc zaplanować czas modlitw (*Ṣalāt*).

W swej najprostszej wersji konstrukcyjnej astrolabium służyło tylko jako przyrząd do mierzenia kątów. Było w tej formie przydatne także do innych niż astronomiczne celów. W nawigacji znajdowało zastosowanie do wyznaczania szerokości geograficznej z pomiaru wysokości górowania dowolnego ciała niebieskiego o znanej deklinacji (astrolabium morskie). W architekturze i budownictwie postępowano się nim do określenia wysokości budynków. Było ono także narzędziem mierników, używanym w pomiarach powierzchni, wytyczaniu dróg, w pracach niwelacyjnych, do określania odległości miejsc niedostępnych, w wykreślaniu map.

Fot. 5. a) Zastosowanie astrolabium w pomiarach w terenie,
b) użycie kwadrantu Daviesa

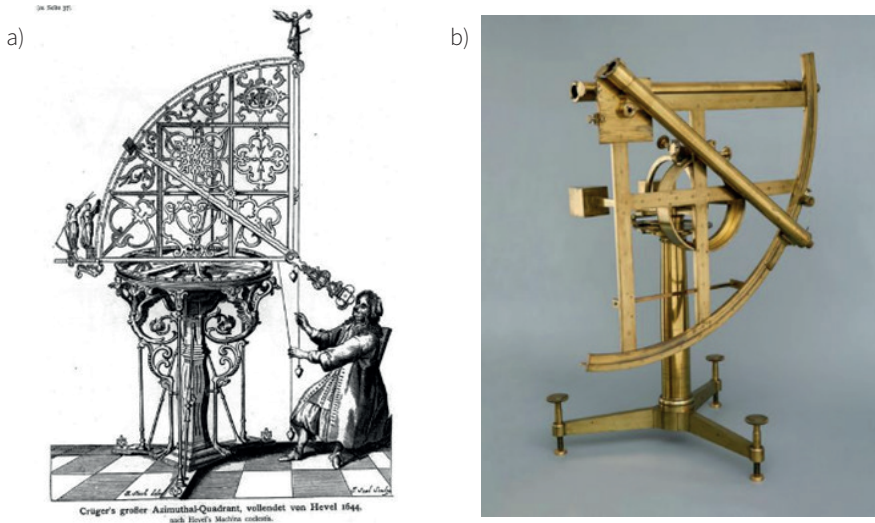


Źródło: a) J. Stöffler, *Elucidatio Fabricae Ususque Astrolabii*, Lutetiae: Apud Gulielmum Cauellat, 1553; b) J. Seller, *Practical Navigation: Or, An Introduction to the Whole Art: Containing many useful Geometrical Definitions and Problems*, London 1730, s. 140.

Podobną do astrolabium funkcję pełnił kwadrant, również znany z czasów starożytnej Grecji. Z pomiaru kąta między horyzontem a Gwiazdą Polarną z użyciem kwadrantu wyznaczano szerokość geograficzną. W zależności od szczegółów konstrukcyjnych przyrządu mierzono nim wysokość Słońca z padającego cienia na skali kątowej, ustalając czas południa prawdziwego. Podobnie jak triquetrum, służył on także do wyznaczania odległości kątowych ciał niebieskich. Przez stulecia konstruowane były kwadranty w różnych modyfikacjach, poczynając od bardzo dużych przyrządów stacjonarnych

(należały do nich np. kwadranty ścienne), aż po niewielkie instrumenty przenośne.

Fot. 6. Kwadranty astronomiczne, a) Johannis Hevelii, *Machinae Coelestis*, (1673), Gedani, s. 151, b) Jesse Ramsden, Londyn, XVIII w.



Źródło: Muzeum Uniwersytetu Jagiellońskiego, nr in. MUJ-1607-I, <https://instrumenty.maius.uj.edu.pl/astronomia> (dostęp: 09.01.2024).

W XVIII w. kwadranty stanowiły standardowe wyposażenie obserwatoriów astronomicznych, w tym także polskich: obserwatorium Szkoły Głównej Koronnej, zorganizowanym w Krakowie w 1792 r. przez Jana Śniadeckiego (1756–1830), oraz obserwatorium Szkoły Głównej Litewskiej, z czasów działalności Marcina Poczobuta Odlanickiego (1728–1810) w Wilnie – by wskazać tylko tych dwóch rodzimych uczonych na przestrzeni ponad dwustu lat⁹. Nie można pominąć innej ważnej antycznej konstrukcji, jaką jest kompas. Także i ten przyrząd, służący do orientacji w przestrzeni, opiera się określaniu kątów, w szczególności na wyznaczaniu różnicy kątowej pomiędzy odchyleniem igły magnetycznej od kierunku bieguna magnetycznego. To uniwersalne zjawisko zmiany położenia igły magnetycznej wraz z położeniem geograficznym wykorzystywane jest do dziś w geologii (kompas geologiczny), górnictwie i nawigacji¹⁰.

⁹ O obserwatoriach: Matulaityté 2004; Włodarczyk, *Marcin Poczobut-Odlanicki*; Rybka 1983a, s. 38–41; Rybka 1983b, s. 57–62; Rybka 1983c, s. 100–106.

¹⁰ Koziar 1982, s. 15–38; Turner 1983, s. 256–257; Bennett 1998, s. 116–118; Szymoński 1962, s. 195–214.

Fot. 7. Kompas górniczy, Anglia, 1676



Źródło: Muzeum Żup Solnych Wieliczka, nr in. II/1536.

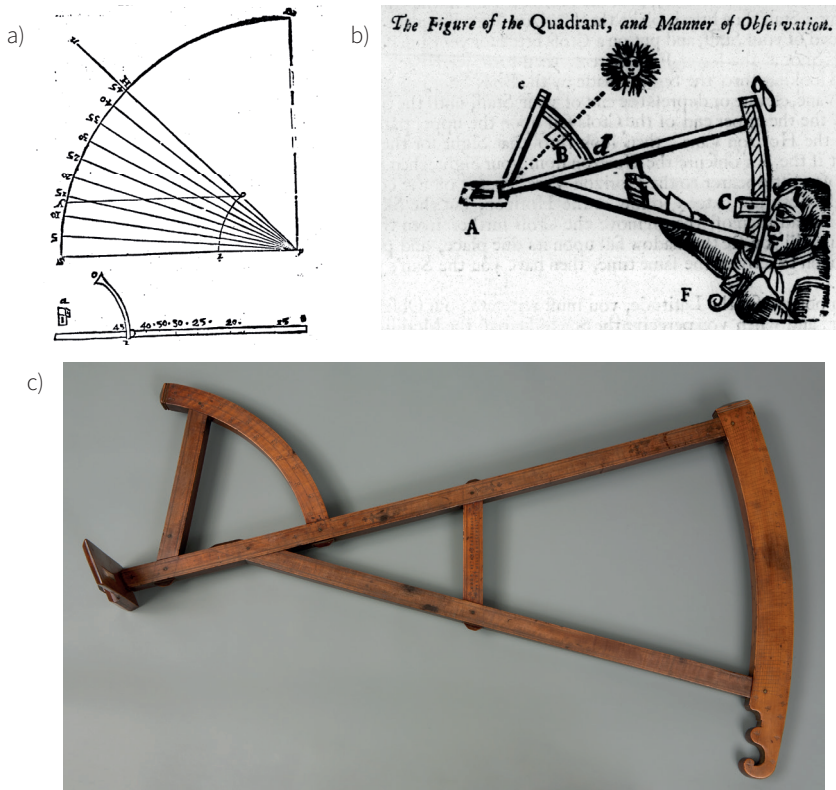
Instrumenty kątowe europejskich uczonych

Około VIII w. nauka grecka, przez islam, przeniknęła do Europy, a wraz z nią – znajomość budowy przyrządów pomiarowych. Europa podjęła się ich unowocześnienia i dostosowania do własnych celów. Średniowiecznym narzędziem, którego budowa opiera się na prawach trójkątów, jest laska Jakuba. Skonstruowany przez żydowsko-francuskiego astronoma Levi ben Gersona (1288–1344) przyrząd używany był m.in. przez wybitnego niemieckiego matematyka Johannes Müllera, znanego jako Regiomontanus (1436–1476), do obserwacji astronomicznych i celów mierniczych¹¹. Później, w XVI w., laska Jakuba została adaptowana do celów nawigacji i miernictwa. Instrument stosowany jeszcze w XVIII w. przechodził kolejne modyfikacje, z których najważniejszą był *backstaff*, znany też pod nazwą kwadrant Davisa. Umożliwiał on pomiar wysokości Słońca nad horyzontem bez patrzenia bezpośrednio w tę gwiazdę¹².

¹¹ Daumas 1989; Freudenthal 2016, s. 29–53; Mörzer Bruyns 1994; Rosińska 1974, s. 41–42.

¹² Davis 1657; The Ages of Exploration, *Backstaff*.

Fot. 8. a) Rycina laski Jakuba, b) Użycie kwadrantu Davisa, c) backstaff – kwadrant Davisa, Benjamin Macy, Londyn, 1717



Źródło: a) https://projects.iq.harvard.edu/predictionx/cross_staff (dostęp: 3.01.2024); b) John Seller, *Practical Navigation: Or, An Introduction to the Whole Art: Containing many useful Geometrical Definitions and Problems*, London 1730, s.140; c) Muzeum Uniwersytetu Jagiellońskiego, nr in. MUJ-1991-I, <https://instrumenty.maius.uj.edu.pl/astronomia> (dostęp: 9.01.2024).

W 1571 r. pojawiła się pierwsza konstrukcja przyszłego teodolitu autorstwa Leonarda Diggesa (1515–1559). Thomas Digges (1546–1595), syn Leonarda, opublikował dzieło ojca *A Geometric Practice named Pantometria* (London 1571)¹³, w którym po raz pierwszy użyte zostało określenie „teodolit” dla instrumentu, który pod tą nazwą znany i stosowany jest do dnia dzisiejszego.

Upłynęło wiele lat, zanim stał się on codziennym narzędziem pracy geodety. Systematycznie usprawniany, wyposażony został w optykę, w mikrometry,

¹³ Digges 1571.

w coraz precyzyjniej nacinane podziałki liniowe i kątowe, co pozwalało na zmniejszanie jego wymiarów. To podstawowy instrument o szerokim zastosowaniu nie tylko w geodezji. Do dziś – w konstrukcji elektronicznej – służy do różnego typu prac w terenie, w tym: pomiarów geologicznych w budownictwie, drogownictwie, we wszystkich dziedzinach, w których zmiana wielkości kąta jest miarą badanego zjawiska.

Fot. 9. Rycina teodolitu wg Leopolda Diggesa, *A geometrical practical treatize named pantometria, diuided into three bookes, longimetra, planimetra, and stereometria, containing rules manifolde for mensuration of all lines, superficies and solides: with sundrie strange conclusions both by instrument...*



Czas na zegarach słonecznych

Do czasu upowszechnienia mechanizmów zegarowych czas czytano z zegarów słonecznych, w tym pionowych, umieszczanych na ścianach budynków. Spośród najstarszych publicznych zegarów słonecznych na obecnych ziemiach polskich warto wymienić wspomniany zegar na ratuszu w Otmuchowie, datowany na rok 1575 (Fot. 3), lub dwa zegary siedemnastowieczne: na ścianie dawnego kolegium jezuickiego w Kłodzku, gdzie obecnie znajduje się Liceum Ogólnokształcące im. Bolesława Chrobrego, oraz zegar na fasadzie południowej pałacu w Wilanowie (1684 r.)¹⁴. O dawnych regułach określania czasu przypominają również zegary horyzontalne. Wykonywano takie – i wykonuje się je nadal – dla celów dekoracyjnych; umieszczane są zazwyczaj w parkach, ogrodach i miejscach publicznych. Mimo innej już funkcji, w sposób pośredni, przybliżają one wiedzę astronomiczną, gnomoniczną, upowszechniają zarazem historyczne metody wyznaczania czasu. Praktycznie do XVIII w. popularność zyskiwały przenośne kieszonkowe zegary słoneczne „osobiste”. Konstruowane były do określania czasu w wybranych miejscowościach, czyli dla danej szerokości geograficznej. Ich bogata wytwórczość rozwinęła się w XVII w. Ważnymi ośrodkami ich wykonywania w tym okresie były Augsburg i Norymberga. Uwagę zwraca ich misterne zdobnictwo, czyniące je precjozami stanowiącymi symbol statusu właściciela.

Przenośne zegary słoneczne postrzegane są dziś jako obiekty rzemiosła artystycznego, ale stanowią one też ważne dziedzictwo gnomoniki. W Polsce zachowało się kilka interesujących zegarów słonecznych, w tym autorstwa polskich wykonawców¹⁵. Jednym z nich był Ignacy Manuvir, podpisujący się na zegarach jako geometra, komornik województwa mińskiego, a także komornik Wielkiego Księstwa Litewskiego. Manuvir wykonywał je dla znanych litewskich i polskich rodów szlacheckich, o czym świadczą umieszczane przez niego adresowane sentencje¹⁶. W kolekcjach muzealnych zachowało się kilka zegarów jego autorstwa. Datowane na lata 1770–1787, wszystkie są podobne do siebie w koncepcji i wykonaniu. Rytowane na blasze zawierają, obok tarczy zegara horyzontalnego, dwa zegary księżycowe w kształcie spirali oraz wierszowane panegiryki dedykowane osobom, dla których zegar był wykonany.

¹⁴ Zegarom słonecznym w Polsce poświęcona jest witryna: *Gnomonika.pl, Zegary słoneczne czyli słoneczniki*, <https://archive.ph/20140211211008/http://gnomonika.pl/news.php?id=70>.

¹⁵ Podstawowe opracowania poświęcone kolekcjom zegarów słonecznych: Zaczkowski, Oczki 2013; Taborska 2020; M. Kałamajska-Saeed 1999.

¹⁶ Kałamajska-Saeed 1999, s. 275–289.

Fot. 10. Zegar słoneczny przenośny dyptykowy, Leonhart Miller, Augsburg, Niemcy, 1632



Źródło: Muzeum im. Przyppkowskich w Jędrzejowie, nr in. MPJ/A/124, fot. Rafał Zaczkowski.

Zegary słoneczne wykonywane były na ziemiach polskich jeszcze w XIX w. Przykładem jest popularny w ówczesnej Warszawie zegar słupkowy. Skalę dla niego, dla szerokości geograficznej Obserwatorium Astronomicznego w Warszawie wynoszącej $52^{\circ}13'$, wykreślił astronom Jan Baranowski (1800–1879), a wykonał go mechanik warszawski Jakub Pik (1806–1897)¹⁷.

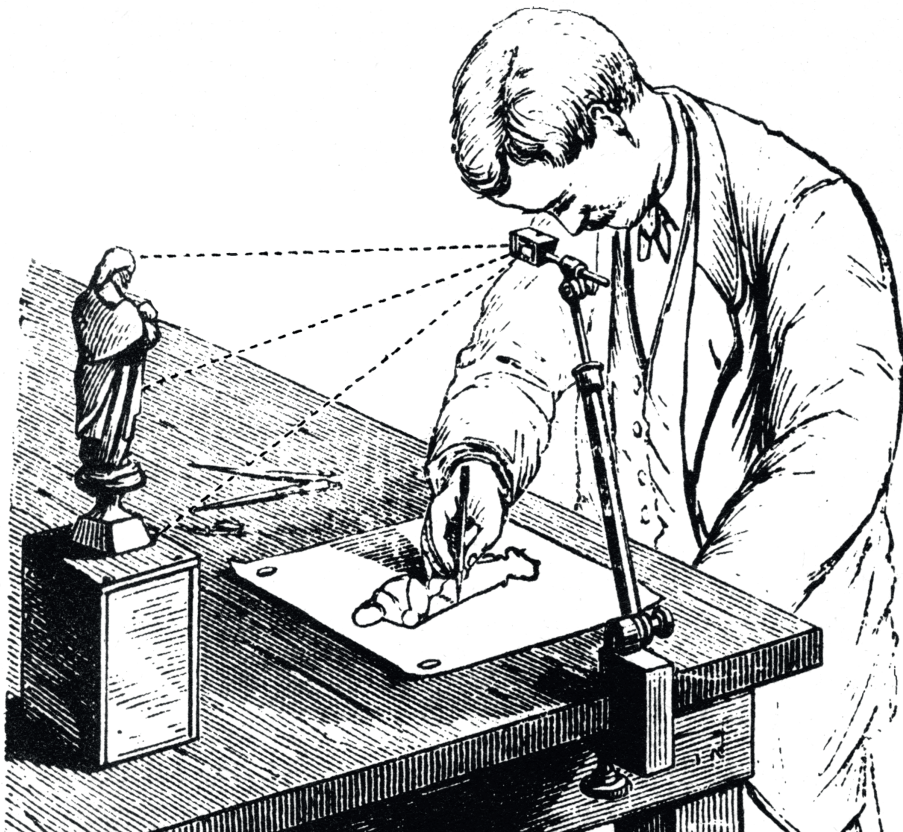
Pomiary kątowe na użytek sztuki

Zależności kątowe stanowiły także pomoc i inspirację dla artystów. Pomijając wykorzystywanie przez twórców zjawiska perspektywy, warto zwrócić uwagę na dziewiętnastowieczne urządzenie stosowane przez niektórych malarzy i rysowników tej epoki. W 1806 r. angielski chemik William Hyde Wolla-

¹⁷ Konarski 1981, s. 198; Kluza 2006, s. 241–277.

ston (1766–1828) opatentował przyrząd zwany *camera lucida*¹⁸. Wykorzystał w tym urządzeniu pryzmat, który odpowiednio ustawiony pozwalał artyście widzieć jednocześnie daną scenę w naturze i powierzchnię rysunku czy obrazu. Umożliwiało więc ono wierne odtworzenie zamierzonej treści obrazu, np. pejzażu czy portretu. Do czasu upowszechnienia się fotografii *camera lucida* była również pomocna w wykonywaniu rysunków o charakterze naukowym, np. w kopiowaniu okazów przyrodniczych.

Fot. 11. Zasada użycia przyrządu *camera lucida*, ilustracja z „The Scientific American Supplement”, 11 I 1879, autor nieznan.



Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Camera_lucida.

¹⁸ William H. Wollaston nazwał ten przyrząd *camera lucida* w odróżnieniu od wcześniej znanego *camera obscura*. Czyt. Wollaston 1807, s. 343–347; Garcia 2013; Ward 1998, s. 88–90.

Pomiary kąta w naukach przyrodniczych

Warto zwrócić uwagę na fakt, że badanie zmiany wartości kątowych, jako wielkości bardzo uniwersalnej, wykorzystywane było i jest nadal w wielu dziedzinach nauk przyrodniczych. Począwszy od drugiej połowy wieku XVII, z szeroko rozumianej filozofii przyrody wyodrębniły się węższe kierunki nauki: fizyka, chemia, biologia, botanika, geologia i inne. Podstawą ich badań stał się eksperyment. Poprzez obserwowanie istniejących zjawisk – wywoływanie ich, następnie ich pomiar, a z czasem rejestrację i analizę obserwowanych zjawisk – pogłębiano wiedzę o otaczającym świecie i o budowie materii. Możemy mówić o poznawaniu i sięganiu do mikroprzestrzeni. Do tych nowych celów potrzebne były nowe narzędzia, coraz doskonalsze w obsłudze, precyzyjniejsze i dokładniejsze. Wiele z nich bazowało na znanej od antyku koncepcji badania zmian kątowych. W co najmniej kilku konstrukcjach instrumentów naukowych – fizycznych i chemicznych – wykorzystana została zależność zmiany kątowej określonej wielkości w funkcji stężenia badanej substancji. I tak np. w pomiarach stężenia substancji metodą refraktometryczną mierzy się kąt załamania światła na granicy dwóch ośrodków optycznych. Refraktometria jest metodą pochodzącą z XIX w. Koncepcja refraktometru pochodzi z 1869 r., a jej autorem jest Ernst Abbe (1840–1905); pierwsze przyrządy wykonywała zaś firma Carl Zeiss Jena (1881), z którą był związany¹⁹. Inną metodą badawczą opartą na pomiarze kąta jest polarymetria, w której wykorzystane jest zjawisko skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła przechodzącego przez ośrodki (substancje) optycznie czynne. Miarą jest kąt skręcenia tej płaszczyzny. Pierwsze zastosowanie techniki polarymetrycznej znalazły w chemii, biologii, medycynie, a także w przemyśle²⁰. Wyznaczanie wartości kątowych jest również podstawą krystalografii, a zarazem budowy goniometru – przyrządu do badań kryształów. Początki tej nauki sięgają 1669 r., kiedy duński anatom i geolog, biskup Nicolaus Steno (1638–1686), prowadził pierwsze badania krystalograficzne. W 1809 r. wspomniany już William Hyde Wollaston (1766–1828) opracował unowocześniany później goniometr. Przyrząd ten na wiele lat stał się podstawowym narzędziem badań w krystalografii, w geologii, w poznawaniu budowy minerałów i ich klasyfikowaniu²¹. W badaniu koloidów zależności kątowe wykorzystywane są do wyznaczania rozmiaru cząstek koloidalnych. W tym celu badana jest intensywność wiązki światła monochromatycznego rozproszonego na cząstkach koloidu pod określonym kątem. Zależności kątowe wykorzystywane były także w pierwszych przyrządach do obserwacji zjawisk

¹⁹ Paselk 1999, s. 19–22.

²⁰ Johnston 1998, s. 473–475; Brenni 1998, s. 475–477.

²¹ Stenonis 1669; Turner 1998, s. 290–292; Wollaston 1809, s. 253–258.

z zakresu elektrostatyki i elektryczności. Były to elektroskopy. Z czasem zastąpiły je precyzyjne elektrometry, których budowa oparta została na prawach elektryczności i elektromagnetyzmu. Urządzenia te wyznaczały mierzoną wielkość elektryczną z kąta wychylenia ruchomego elementu wskaźnikowego pod wpływem przepływającego prądu lub pod wpływem pola magnetycznego. Niezmienne prawa fizyki nadal stanowią podstawę w konstrukcji przyrządów sięgających w głąb materii. Na przełomie XIX i XX w. pomiar kąta był podstawowym źródłem informacji w poznawaniu budowy atomu. Joseph John Thomson (1856–1940) w 1897 r. mierzył odchylenie wiązki promieni katodowych w polu elektrycznym i tym eksperymentem udowodnił istnienie elektronu. Wyjątkowo spektakularny, również oparty na obserwacji kąta, był eksperyment zaproponowany przez Ernesta Rutherforda (1871–1937) prowadzący do sformułowania budowy atomu (1909–1911). Strumień cząstek dodatnio naładowanych (alfa) przepuszczany był przez cienką folię złota – z zachowania cząstek, ich odchylenia lub odbicia, uczony wnioskował o budowie atomu²².

Zakończenie

Znane od antyku zależności kątowe w badaniu szeroko rozumianej przestrzeni makro i mikro są wciąż wykorzystywane w dzisiejszej nauce i praktyce. Jest to możliwe, bowiem podstawowe prawa fizyki nadal obowiązują. To, co od setek lat ulega systematycznej ewolucji, to narzędzia do wyznaczania tych wartości. To także opracowywanie nowych konstrukcji na potrzeby wydzielających się kolejno z filozofii natury węższych kierunków nauk przyrodniczych. Zachowane historyczne przyrządy do badania makro- i mikroprzestrzeni odzwierciedlają kolejne etapy rozwoju tych nauk.

W artykule przedstawiono kilka wybranych historycznych instrumentów kątowych ilustrujących ten rozwój. Inaczej postrzegać należy ewolucję konstrukcji narzędzi mierzących czas. Praktycznie do drugiej połowy XX w. w użyciu były zegary mechaniczne. Przynajmniej w niektórych ich rodzajach wyznacznikiem „odmierzania czasu” było wychylenie wahadła (Christiaan Huygens, ok. 1656 r.). Zegary wahadłowe, wraz z innymi typami zegarów mechanicznych (sprężynowych), wyparły z użycia zegary słoneczne. Dwudziestowieczne konstrukcje zegarów budowane już były na podstawie innych zjawisk niż pomiar kąta. W 1927 r. skonstruowany został pierwszy zegar kwarcowy²³. W jego wykonaniu wykorzystano zjawisko piezoelektryczności kryształu kwarcu. Masową produkcję

²² Geiger, Marsden 1909, s. 495–500; Rutherford 1911, s. 669–688.

²³ Jego konstruktorami byli Warren Marrison and J.W. Horton w Bell Telephone Laboratories w Kanadzie.

naręcznych zegarów kwarcowych rozpoczęła firma Seiko w 1969 r. Kolejny etap w wyznaczaniu czasu to zegary atomowe, które w swej zasadzie wykorzystują własności emisyjne atomów. W 1955 r. Louis Essen (1908–1997) w National Physical Laboratory w Londynie zbudował pierwszy zegar cezowy²⁴. W Polsce najdokładniejszym i najstabilniejszym jest obecnie zegar atomowy optyczny, zbudowany w Krajowym Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej (KL FAMO) w Toruniu w 2014 r. Choć dwudziestowieczne zegary – mechaniczne, kwarcowe, atomowe – odróżniają się konstrukcją, to właściwością, która je łączy, jest oscylacja elementu „odmierzającego porcję czasu”. Odpowiednio są to: wychylenie wahadła, drgania kryształu kwarcu, emisja przez atomy stabilnej częstotliwości promieniowania elektromagnetycznego.

Reasumując, nadal istnieje pewna grupa przyrządów stosowanych współcześnie, których budowa opiera się na wykorzystywanych od wieków zależnościach kątowych. To, co odróżnia je od ich protoplastów, to nowoczesne rozwiązania technologiczne i materiałowe, wysoka dokładność, czułość, precyzja, powtarzalność pomiaru i oprzyrządowanie. Przyrządy XXI wieku to w pełni skomputeryzowana aparatura, która odczytuje, rejestruje, przetwarza i analizuje mierzone wielkości. Subiektywizm pomiarów prowadzonych przez człowieka został w ten sposób ograniczony do minimum.

Podziękowania

Dziękuję Panu Profesorowi Jarosławowi Włodarczykowi za cenne sugestie i inspiracje podczas pracy nad artykułem. Recenzentom dziękuję za uwagi i wskazówki recenzyjne pomocne w ostatecznym przygotowaniu niniejszego tekstu.

Bibliografia

Źródła drukowane i literatura przedmiotu

Davis J. (1657), *Seaman's Secrets. The Second Part of this Treatise of Navigation wherein is taught the Nature and Most Necessary Use of the Globe, with the Circle, Zones, Climates and other distinctions, to the perfect use of Sayling. By which most excellent Instrument is performed all that is needfully required to the full perfection of all the Three kinds of Navigation*, Gartrude Dawson, London.

Diggist T. (1571), *A Geometrical Practise, Named Pantometria, Diuided Into Three Bookes, Longimetra, Planimetra, and Stereometria, Containing Rules Manifolde for Mensuration of All*

²⁴ Forman 1998, s. 118–121; Ruszył *jeden z najprecyzyjniejszych...* 2015.

- Lines, Superficies and Solides: with Sundry Straunge Conclusions Both by Instrument and Without, and Also by Perspectiue Glasses, to Set Forth the True Description Or Exact Plat of an Whole Region: Framed by Leonard Digges... Lately Finished by Thomas Digges His Sonne. Who Hathe Also Thereunto Adioyned a Mathematicall Treatise of the Five Regular Platonicall Bodies, and Their Metamorphosis Or Transformation Into Five Other Equilater Vniforme Solides Geometricall, Etc.* B.L, wyd. Henrie Bynneman, London.
- Geiger J.H., „Hans”, Mardsen E. (1909), *On a Diffuse Reflection of the α -Particles*, „Proceedings of the Royal Society, Series A” 82, s. 495–500.
- Rutherford E. (1911), *The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom*, „Philosophical Magazine, Series 6” 21, s. 669–688.
- Solski S. (1683), *Geometra Polski. To Jest Nauka Rysowania, Podziału, Przemieniania y Rozmierzania Liniy, Angułow, Figury Brył pełnych*, ks. 1, Kraków.
- Stenonis N. (1669), *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus*, Florentiae.
- Wollaston W.H. (1807), *Description of the camera lucida*, „Philosophical Magazine: A Journal of Theoretical Experimental and Applied Physics. Series 1” 27, 108, s. 343–347.
- Wollaston W.H. (1809), *Description of a Reflective Goniometer*, „Philosophical Transaction of the Royal Society of London”, 99, s. 253–258.

Opracowania

- Birkenmajer A. (1992), *Torquetum Marcina Bylicy z Olkusza w świetle nowo odkrytego torquetum Mikołaja z Kuzy*, „Sprawozdania z Czynności i Posiedzeń Polskiej Akademii Umiejętności” 27, 3, s. 13–15.
- Bennett J.A. (1998), *Circumferentor (Surveyor's Compass)*, w: *Instruments of Science. A Historical Encyclopedia*, R. Bud, D.J. Warner (red.), New York, London.
- Brenni P. (1998), *Polarimeter and Polaroscope*, w: *Instruments of Science. A Historical Encyclopedia*, red. R. Bud, D.J. Warner, New York, London.
- Daumas M. (1989), *Scientific Instruments of the Seventeenth and Eighteenth Centuries and Their Makers*, London.
- Egert M. (2004), *Astrolabium – krótkie wprowadzenie*, „Urania. Postępy Astronomii” 75, 6, s. 252–258.
- Forman P. (1998), *Clock, Atomic*, w: *Instruments of Science. A Historical Encyclopedia*, red. R. Bud, D.J. Warner, New York, London.
- Freudenthal G. (2016), *Gersonides and the Jacob's Staff in the Fifteenth and Sixteenth Centuries: Unnoticed Enigmas, New Perspectives*, „Early Science and Medicine. A Journal for the Study of Science, Technology and Medicine in the Pre-modern Period” 21, 1, s. 29–53.
- Hoskin M. (2007), *Historia astronomii pod redakcją Michaela Hoskina*, tłum. J. Włodarczyk, Warszawa.
- Johnston Sean F. (1998), *Polarimeter, Chemical*, w: *Instruments of Science. A Historical Encyclopedia*, red. R. Bud, D.J. Warner, New York, London.
- Kalamajska-Saeed M.H. (1999), *Zegary słoneczne Ignacego Manuvira*, „Roczniki Humanistyczne”, 47, 4 (zeszyt specjalny), s. 275–289.

- King D.A. (1998), *Astrolabes*, w: *Instruments of Science. A Historical Encyclopedia*, red. R. Bud, D.J. Warner, New York, London.
- Kluza M. (2006), *Polscy wytwórcy instrumentów naukowych XIX w.*, w: *Polscy wytwórcy aparatury naukowej*, red. A. Strzałkowski, Monografie Komisji Historii Nauki PAU, 10, Kraków.
- Konarski S. (1981), *Jakub Pik*, PSB, t. 26, 198.
- Koziar J. (1982), *Kompas geologiczny. Technika i analiza pomiarów*, cz. 3, Wrocław.
- Kreiner J. (2009), *Ziemia i Wszechświat. Astronomia nie tylko dla geografów*, Kraków.
- Matulaitytė S. (2004), *Senoji Vilniaus universiteto astronomijos observatorija ir jos biblioteka*, Vilnius.
- Mörzer Bruyns W.F.J. (1994), *The Cross-Staff: History and Development of a Navigational Instrument*, Netherlands.
- Paselk R.A. (1999), *The Evolution of the Abbé Refractometer*, „Bulletin of the Scientific Instrument Society” 62, s. 19–22.
- Rosińska G. (1974), *Instrumenty astronomiczne na Uniwersytecie Krakowskim w XV wieku*, Wrocław.
- Rybka E. (1970), *Astronomia ogólna*, Warszawa.
- Rybka E. (1983b), *Dzieje Obserwatorium Wileńskiego*, w: Rybka E., Rybka P., *Historia astronomii w Polsce*, t. 2, Wrocław, Gdańsk, s. 57–62.
- Rybka E. (1983a), *Założenie obserwatorium astronomicznego w Wilnie*, w: Rybka E., Rybka P., *Historia astronomii w Polsce*, t. 2, Wrocław, Gdańsk, s. 38–41.
- Rybka P. (1983c), *Obserwatorium Wileńskie*, w: Rybka E., Rybka P., *Historia astronomii w Polsce*, t. 2, Wrocław, Gdańsk, s. 100–106.
- Schechner Genuth S. (1998), *Armillary Sphere*, w: *Instruments of Science. A Historical Encyclopedia*, red. R. Bud, D.J. Warner New York, London.
- Szymoński J. (1962), *Instrumentoznawstwo geodezyjne*, cz. 1, Warszawa.
- Taborska M. (2020), *Rzecz o zegarach słonecznych... Katalog kolekcji, About Sundials...*, Kraków.
- Turner A. (1998), *Sundial*, w: *Instruments of Science. A Historical Encyclopedia*, red. R. Bud, D.J. Warner, New York, London.
- Turner G.L'E. (1983), *Nineteenth-Century Scientific Instruments*, Berkeley, Los Angeles, London.
- Turner S.C. (1998), *Goniometer* w: *Instruments of Science. A Historical Encyclopedia*, red. R. Bud, D.J. Warner, New York, London.
- Ward J. (1998), *Camera Lucida*, w: *Instruments of Science. A Historical Encyclopedia*, red. R. Bud, D.J. Warner, New York, London.
- Włodarczyk J. (2007), *Astronomia w Polsce*, w: *Historia astronomii*, red. M. Hoskin, tłum. J. Włodarczyk, Warszawa.
- Włodarczyk J. (1987), *Observing with the Armillary Astrolabe*, „Journal for the History of Astronomy” 18, 3, s. 173–195.
- Włodarczyk J. (2022), *The torquetum (or turketum): Was it an observing instrument?*, „Journal for the History of Astronomy” 53, 3, s. 266–299.
- Woszczyk A. (1973), *Instrumenty Kopernika a narzędzia współczesnej astronomii*, Toruń.
- Zaczkowski R., Oczki D. (2013), *Katalog zegarów słonecznych*, Jędrzejów.

Witryny internetowe

- The Ages of Exploration, *Backstaff*, <https://exploration.marinersmuseum.org/object/back-staff> (dostęp: 8.10.2024).
- Garcia P. (2013), *The Camera Lucida: A Brief History*, <https://www.pablogarcia.org/the-neo-lucida-interludes-part-1> (dostęp: 7.01.2024).
- Gnomonika.pl, *Zegary słoneczne, czyli słoneczniki*, <https://archive.ph/20140211211008/http://gnomonika.pl/news.php?id=70> (dostęp: 7.01.2024).
- Ruszył jeden z najprecyzyjniejszych optycznych zegarów atomowych, strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, 2015, <https://www.fuw.edu.pl/informacja-prasowa/news3975.html> (dostęp: 8.01.2024).
- Sikorski M., *Zegar słoneczny w Otmuchowie. Jego historia i legenda*, <https://www.salon24.pl/u/na-granicy-legendy/613328,zegar-sloneczny-w-otmuchowie-jego-historia-i-legenda> (dostęp: 8.01.2024).
- Włodarczyk J., *Marcin Poczobut-Odlanicki*, Giganci nauki, <https://gigancinauki.pl/gn/biogramy/84604,Poczobut-Odlanicki-Marcin.html> (dostęp: 8.01.2024).

