

**Jacek Rodzeń**

ORCID [0000-0002-5321-4104](https://orcid.org/0000-0002-5321-4104)

Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Historii (Kielce, Polska)

[j.rodzen@ujk.edu.pl](mailto:j.rodzen@ujk.edu.pl)

## Zainteresowania inżynierskie i wynalazki Isaaca Newtona

### Abstrakt

Artykuł przedstawia zainteresowania inżynierskie Isaaca Newtona, w tym niektóre z jego wynalazków technicznych. Temat ten nie doczekał się jak dotąd szerszego i pogłębionego opracowania. W artykule poruszono młodzieńcze pasje Newtona na tle literatury z zakresu tzw. magii matematycznej. Omówiono także dwa wynalazki Newtona – wariant teleskopu zwierciadłowego i oktant morski. Na koniec został przytoczony przykład zaangażowania autora *Zasad* w dyskusję nad projektem technicznym maszyny parowej i napędzanego przez nią statku autorstwa Denisa Papina.

**Słowa kluczowe:** *Isaac Newton, inżynieria, przyrządy naukowe, maszyna parowa, historia navigacji, siedemnasty wiek*

INFORMACJA O PUBLIKACJI		e-ISSN 2543-702X ISSN 2451-3202		 BRYLANTOWY MODEL OTWARTEGO DOSTĘPU
<b>CYTOWANIE</b> Rodzeń, Jacek 2020: Zainteresowania inżynierskie i wynalazki Isaaca Newtona. <i>Studia Historiae Scientiarum</i> 19, ss. 329–374. DOI: <a href="https://doi.org/10.4467/2543702XSHS.20.011.12567">10.4467/2543702XSHS.20.011.12567</a> .				
OTRZYMANO: 12.11.2019 ZAAKCEPTOWANO: 22.08.2020 OPUBLIKOWANO ONLINE: 30.09.2020	POLITYKA ARCHIWIZOWANIA <a href="#">Green SHERPA /</a> <a href="#">RoMEO Colour</a>	LICENCJA 		
WWW	<a href="https://ojs.ejournals.eu/SHS/">https://ojs.ejournals.eu/SHS/</a> ; <a href="http://pau.krakow.pl/Studia-Historiae-Scientiarum/archiwum">http://pau.krakow.pl/Studia-Historiae-Scientiarum/archiwum</a>			

# Engineering interests and inventions of Isaac Newton

## Abstract

The paper presents engineering interests of Isaac Newton, including some of his technical inventions. So far, this topic has not been studied in a broader manner and in more depth. This article discusses Newton's youthful passions against the backdrop of the so-called mathematical magic literature. His two inventions, i.e. variants of the reflecting telescope and the marine octant are also discussed. Finally, an example is provided of the involvement of the author of *Principia* in a discussion around the steam engine and the ship powered by such engine designed by Denis Papin.

**Keywords:** *Isaac Newton, engineering, scientific instruments, steam engine, history of navigation, 17<sup>th</sup> century science*

## 1. Janusowe oblicza geniusza

Na postać i dokonania Isaaca Newtona (1642–1727) zwykle patrzy się przez pryzmat dzieła jego życia, *Zasad matematycznych filozofii przyrody*, odkrycia prawa powszechnego ciężenia i opracowania własnej wersji rachunku różniczkowego i całkowego. Osiągnięcia wielkiego Anglika z zakresu matematyki, fizyki i astronomii były pierwszym przedmiotem intensywnych prac badawczych ze strony historyków nauki w latach 60. i 70. dwudziestego wieku. Wkrótce jednak odkryto, że głównie w nieznanych dotąd rękopisach Newtona znajdują się nie mniej interesujące materiały odsłaniające jego nadzwyczaj wszechstronne zainteresowania i zaangażowania. Rozciągały się one od alchemii, teologii i filozofii po historię, mitologię i chronologię. Odkrycie innych, „pozamatematycznych” zainteresowań angielskiego uczonego skłaniało badaczy jego dzieła do stwierdzeń o „Janusowych obliczach”, a nawet o istnieniu „dwóch Newtonów” (*the two Newtons*)<sup>1</sup>. Jednocześnie ostatnie trzydziestolecie w studiach nad tą spuścizną przyniosło zarówno opublikowanie

---

<sup>1</sup> Por. np. Dobbs 1991; Force 1999, s. 237; Guicciardini 2018, ss. 19–20.

większości odnośnych źródeł, jak również przygotowanie wielu cennych opracowań badawczych<sup>2</sup>.

Mimo tak szerokiego spojrzenia na dorobek piśmienniczy oraz aktywność publiczną<sup>3</sup> autora *Zasad*, stosunkowo rzadko zauważa się, iż angielski uczony wykazywał zaawansowane umiejętności rzemieślniczo-inżynierskie, a także projektował i samodzielnie konstruował rozmaite urządzenia techniczne, najczęściej przyrządy badawcze, pomiarowe i obserwacyjne. Jednym z najbardziej znanych jest wariant teleskopu zwierciadłowego (lata 1668–1671). Mało kto jednak wie, że Newton ma na swoim koncie inżynierskim także innowacyjny oktant żeglarski (1699 rok), obrotową wersję suwaka logarytmicznego (ok. 1665 rok)<sup>4</sup>, a nawet przyrząd do kreślenia krzywych stożkowych (1672 rok)<sup>5</sup>. Nie można nie wspomnieć również budowanych przez niego, wymagających znacznych umiejętności technicznych, złożonych układów eksperymentalnych wykorzystywanych w pracach alchemicznych oraz w badaniach z zakresu mechaniki i optyki<sup>6</sup>.

W niniejszym artykule zostanie przybliżona część z przytoczonych powyżej skrótowo zainteresowań inżynierskich Newtona. Będzie ona

---

<sup>2</sup> W zakresie źródeł do badań nad spuścizną pisarską Newtona niemal wszystkie rękopisy tego uczonego zostały opublikowane (najczęściej w formie transkrypcji) na stronach trzech głównych naukowych projektów internetowych: *The Newton Project*, *The Chymistry of Isaac Newton*, *The Newton Project Canada*. W zakresie opracowań historycznych miarodajna informacja na ten temat zawarta jest w bibliografii dołączonej do: Guicciardini 2018, ss. 253–256.

<sup>3</sup> Nie można zapominać również o aktywności publicznej Newtona jako profesora matematyki w Uniwersytecie w Cambridge, wysokiego urzędnika Mennicy Królewskiej, posła w parlamencie angielskim, w końcu prezesa Towarzystwa Królewskiego.

<sup>4</sup> Krótka wzmianka o logarytmicznej metodzie rozwiązywania równań wielomianowych (znajdowania przybliżonych pierwiastków) znajduje się w newtonowskim rękopisie *Waste Book*; Cambridge University Library (dalej cyt. CUL), MS Add. 4004, f. 64r. Następnie (w 1672 roku) była ona przedmiotem korespondencji Newtona z angielskim miłośnikiem matematyki i handlowcem Johnem Collinsem (1625–1683) oraz sekretarza Towarzystwa Królewskiego Henry’ego Oldenburga (ok. 1618–1677) z Gottfriedem W. Leibnizem (1646–1716) w 1675 roku. Por. Sangwin 2002.

<sup>5</sup> Zob. List Newtona do Johna Collinsa z 20 sierpnia 1672 roku; Turnbull 1959, ss. 229–234. Guicciardini (2018, s. 248) nazwał ten przyrząd „cyrklem’ Newtona” (*Newton’s ‘compass’*).

<sup>6</sup> Na temat wykorzystania przez Newtona pryzmatu i wahadła zob. Meli 2006, ss. 267–277; Meli 2013, ss. 208–212; 219–218. Na temat laboratorium alchemicznego i instrumentarium Newtona zob. Spargo 1993.

dotyczyć młodzięcych pasji technicznych kilkunastoletniego Isaaca, budowy kolejnych egzemplarzy teleskopu zwierciadłowego oraz wynalazku oktantu morskiego. Na koniec przyjrzymy się zaangażowaniu autora *Zasad* w dyskusję i praktykę konstruktorską związaną z intensywnymi pracami nad zbudowaniem skutecznego silnika parowego na przełomie siedemnastego i osiemnastego wieku. Artykuł zwięźczy próba odpowiedzi na pytanie, dlaczego Newton, znany przede wszystkim jako teoretyk i myśliciel, sięgał po warsztat rzemieślnika i inżyniera. Postawienie takiego pytania oraz dociekanie możliwej odpowiedzi na nie stanowi zarazem, według autora niniejszej pracy, nawiązanie do – nabrzmiałej w dwudziestowiecznej historiografii – debaty nad relacjami nauki i techniki (*resp.* teoretyczno-matematycznym wymiarem nauki oraz jej wymiarem praktyczno-instrumentalnym) w początkach nowożytnych nauk matematyczno-przyrodniczych, w tym fizyki<sup>7</sup>. Omawiane zagadnienia stanowią jedynie część problematyki, która zostanie rozwinięta i stosownie pogłębiona w innych przygotowywanych opracowaniach, w tym monografii poświęconej zainteresowaniom technicznym i wynalazkom angielskiego uczonego.

## 2. Młodzięcze pasje i „magia matematyczna”

W 1655 roku trzynastoletni Isaac Newton zaczął uczęszczać do Free Grammar School w miasteczku Grantham, oddalonym siedem mil od rodzinnego dworku w Woolsthorpe. Zamieszkał w tym czasie na poddaszu domu miejscowego aptekarza Williama Clarka. Szkoła w Grantham, jak na „gramatyczną” przystało, dawała solidne podstawy przede wszystkim w zakresie łaciny i greki, z elementami języka hebrajskiego. Tym samym przygotowywała zwłaszcza do lektury *Biblii*, co było głównie domeną ówczesnych kandydatów do studiów teologicznych i stanu duchownego. Z innym rodzajem wiedzy, a także praktyki, młody Izaak spotkał się na stacji, mając przygodny dostęp do laboratorium aptekarskiego oraz obszernego księgozbioru chemiczno-medycznego pana Clarka<sup>8</sup>. Zarówno młodzięcze studium *Biblii* w językach oryginalnych, jak i zainteresowanie recepturami aptekarskimi nie pozostały

---

<sup>7</sup> Por. Rossi 1978; Cohen 1994, ss. 184–195; 321–354; Rodzeń 2019, ss. 664–669.

<sup>8</sup> Zob. Guicciardini 2018, ss. 31–32; Manuel 1998, ss. 51–52.

bez wpływu przynajmniej na część późniejszych, zadziwiająco szerokich zainteresowań przyszłego autora epokowych *Zasad i Optyki*.

Z okresu nauki Newtona w Grantham nie mamy zbyt wiele materiałów źródłowych, które by odsłaniały informacje o jego pierwszych zainteresowaniach i fascynacjach. Najwcześniejszym źródłem zdaje się być kieszonkowy notatnik młodego Izaaka, przechowywany aktualnie w Pierpont Morgan Library w Nowym Yorku<sup>9</sup>. Zgodnie z dotychczasowymi ustaleniami historyków obejmuje on ostatnie lata pobytu Newtona w Free Grammar School (od 1659 roku) do pierwszych lat jego studiów matematycznych w Cambridge (do ok. 1664)<sup>10</sup>. Kolejnym źródłem, choć pochodzącym z drugiej ręki, są listy Williama Stukeleya (1687–1765), duchownego, lekarza i historyka w jednej osobie, pisane w 1727 roku do Richarda Meada (1673–1754), przyjaciela i osobistego lekarza Newtona<sup>11</sup>. Opierają się one głównie na ustnych wspomnieniach autora *Zasad* lub jego znajomych z rodzinnego Lincolnshire, dając jednak już pośmiertny obraz jego życia i zasług. Stukeley pozostawił także obszerniejszą biografię Newtona, sfinalizowaną w 1752 roku, jednak wydaną drukiem dopiero w 1936<sup>12</sup>. Obydwie prace tego historyka, także z racji osobistego kontaktu ich autora z wielkim Anglikiem, stanowią, co prawda pośrednie, ale możliwie miarodajne źródło wiedzy o jego chłopięcych latach, na którym polegają niemal wszyscy jego późniejsi biografowie<sup>13</sup>.

O wszechstronnych zainteresowaniach, wchodzącego w okres dorosłości Newtona świadczą zapisy w manuskrypcie z Pierpont Morgan. Pierwsze jego notatki związane są głównie ze sztuką rysowania i malowania, a dotyczą m.in. sporządzania rozmaitych pigmentów malarskich. Kolejnymi są przepisy na przygotowanie prostych medykamentów – jest to przypuszczalnie pokłosie zamieszkania z właścicielami apteki.

---

<sup>9</sup> Pierpont Morgan Library (dalej cyt. PML), MA 318; transkrypcja całego manuskrytu jest dostępna na stronach bazy *The Newton Project*. Zob. także Smith 1927.

<sup>10</sup> Westfall 1980, s. 61; Newman 2018, s. 89.

<sup>11</sup> Keynes, MS 136.03; także w bazie *The Newton Project*. List z 26 czerwca został opublikowany również drukiem w: Turnor 1806, ss. 174–180.

<sup>12</sup> Stukeley 1936 (w formie rękopisu praca ta była gotowa w 1752 roku).

<sup>13</sup> Nie odnosimy się w tym miejscu szerzej do notatek pozostawionych przez Johna Conduitta (1688–1737), męża siostrzenicy Newtona i jego następcy na stanowisku w Mennicy Królewskiej. Część badaczy uważa, że przynajmniej na temat młodzieńczych lat Newtona, we wspomnieniach spisanych przez Conduitta nie ma informacji, których by nie było w opracowaniach Stukeleya (por. np. Manuel 1998, s. 60).

Są też instrukcje wykonania „pewnych sztuczek” (*certaine tricks*), którymi można zabawić gości<sup>14</sup>. W dalszej części manuskryptu znajdują się notatki, które Newton mógł spisać już jako początkujący student w latach 1661–1663. Dotyczą one kwestii o charakterze bardziej naukowym (tzn. z zakresu ówczesnej filozofii przyrody) i matematycznym, jak np. tabele cykli słonecznych i księżycowych oraz kalendarza astronomicznego. Wśród późniejszych zapisów zwraca na siebie uwagę notatka zatytułowana *Systema mundanum secundum Copernicum*, propozycje eksperymentów nad możliwością skonstruowania *perpetuum mobile*, a także instrukcje wykonania zegarów słonecznych z towarzyszącymi ilustracjami geometrycznymi<sup>15</sup>. Ostatnia część rękopisu Newtona zawiera kategoryzację terminów z różnych obszarów życia, nauki i sztuki.

W 1935 roku angielski fizyk, pisarz i poeta Edward N. da Costa Andrade (1887–1971) zwrócił uwagę na, zawarte w manuskrypcie Newtona z Pierpont Morgan Library, liczne zapożyczenia, najczęściej w formie parafraz, z siedemnastowiecznej pracy Johna Bate’a *The Mysteries of Nature and Art*<sup>16</sup>. Była ona zbiorem krótkich opisów rozmaitych maszyn i tzw. matematycznych eksperymentów, służących głównie do celów popularyzatorsko-zabawowych. Opisy te przedstawiały budzące podziw urządzenia hydrauliczne (w duchu tradycji Herona z Aleksandrii), sposoby wykonania fajerwerków, sztukę rysowania i malowania, w końcu domowe receptury barwników. Współcześni historycy nauki zaliczają pracę Bate’a do tzw. magii matematycznej (*mathematical magic*), rodzaju literatury, której autorami w tym samym okresie byli także Heinrich Van Etten<sup>17</sup> (*Récréation mathématiques*, 1624) oraz John Wilkins (*Mathematical Magic*, 1648)<sup>18</sup>, popularyzującej wiedzę matematyczno-mechaniczną, przy dość szerokim i wręcz dowolnym rozumieniu pojęcia tego, co matematyczne<sup>19</sup>.

---

<sup>14</sup> PML, MA 318, ff. 2r–12r.

<sup>15</sup> Tamże, ff. 12v–27r.

<sup>16</sup> Andrade 1935; Bate 1634. Newton korzystał przypuszczalnie z drugiego (1635) lub trzeciego (1654) wydania pracy Bate’a.

<sup>17</sup> To w istocie pseudonim francuskiego jezuita i matematyka Jeana Leurechona (1591–1670).

<sup>18</sup> Na podstawie fragmentu z książki Wilkinsa (1648, ss. 228–230) Newton sformułował wspomnianą już notatkę dotyczącą możliwości *perpetuum mobile* (PML, MA 318, ff. 18r–18v).

<sup>19</sup> Zob. Eamon 1994, ss. 306–309. Angielski humanista Robert Burton (1577–1640) w swoim słynnym traktacie *The Anatomy of Melancholy* (1621) zalecał magię matema-

O tym, że w okresie swojej młodości Newton był, z dużym prawdopodobieństwem, pod wpływem literatury z zakresu „magii matematycznej”, świadczą również informacje zawarte w biografistyce wspomnianego powyżej Williama Stukeleya. W liście do Meada z 26 czerwca 1727 roku pisał:

Każdy, kto znał sir Izaaka, lub choćby słyszał o nim, opowiada o zadatkach na przyszłość tego chłopca, o jego dziwnych wynalazkach i niezwykłych zainteresowaniach mechaniką. Zamiast bawić się po lekcjach z innymi dziećmi, zajęty był robieniem figurynek i różnego rodzaju modeli z drzewa. Miał w tym celu piły, siekierki, młotki i całą masę innych narzędzi, którymi nader zręcznie się posługiwał<sup>20</sup>.

Dalej Stukeley wymienia zbudowany przez młodego Newtona drewniany zegar oraz model młyna wiatrowego na wzór wiatraka, który stanął w jego czasach w pobliżu Grantham. Jest też wspomnienie o drewnianym zegarze wodnym (klepsydrze)<sup>21</sup> i papierowych lampionach ze świecą w środku, które po przywiązaniu do ogona latawca Izaak wieczorami puszczał nad domostwami miasteczka. Niczym latające „komety” lampiony miały budzić autentyczny postrach wśród mieszkańców. Niemal o wszystkich tych zabawkach była mowa we wspomnianej już książce Bate’a<sup>22</sup>. Stukeley wspomina także o, jak się później okaże, charakterystycznym dla całego życia Newtona, zwyczaju określania czasu na podstawie położenia cienia rzucanego przez różne przedmioty oświetlone światłem słonecznym padającym przez okna na przeciwległe ściany pomieszczeń. Łączyło się to także z wczesnym zainteresowaniem młodego Isaaca budową zegarów słonecznych:

Opowiadają, jak bardzo był pomysłowy w swych obserwacjach ruchu słońca; na podwórzu domu, w którym mieszkał, na ścianach i na dachu oznaczał kołami cień

---

tyczną osobom cierpiącym na melancholię, por. Burton 1924, ss. 353–354. Zob. także Wigelsworth 2010, ss. 50–51.

<sup>20</sup> Keynes, MS 136.03, f. 4; cytaw w przekładzie Stefana Amsterdamskiego za: Manuel 1998, s. 52.

<sup>21</sup> Por. także: Mills 1982.

<sup>22</sup> Por. Bate 1634, ss. 39–43; 81–83.

wyznaczający czas w półgodzinnych odstępach, a prowadząc obserwacje przez lata, czynił je coraz dokładniejszymi i każdy wiedział, którą godzinę wskazuje tarcza Izaaka (*Isaacs dial*), jak nazywano te zegary<sup>23</sup>.

Późniejszy, inny biograf Newtona David Brewster (1781–1868) opisywał, zbudowane przez Isaaca dwa zegary słoneczne, które jeszcze w pierwszej połowie XIX wieku miały być widoczne na ścianie jego rodzinnego domu w Woolsthorpe<sup>24</sup>. Obydwa zegary zostały później przeniesione, jeden w 1877 roku do kościoła parafialnego w Colsterworth (była to parafia urodzenia Newtona), drugi w 1844 roku został przekazany przez dalekiego krewnego autora *Zasad* Charlesa Turnora (1768–1853) Towarzystwu Królewskiemu w Londynie<sup>25</sup>. Obydwa zegary, mające swoje pierwotne usytuowanie wertykalne, nie przedstawiały dokładnej konstrukcji. Były raczej dość prymitywne. Odcinki linii zegarowych były niezbyt dokładnie wyrzeźbione na murowanej ścianie domu. Przypuszczalnie miały układ tradycyjny, tzn. ze wskazówką rzucającą cień na tarczę. Niestety, nie zachowały się wskazówki obydwu zegarów.

Echa młodzieńczych zainteresowań mechanicznych Newtona są również widoczne w nieco późniejszym jego rękopisie, zatytułowanym *Quaestiones quadam Philosophiae*, który jest aktualnie datowany na lata 1661–1665, a więc pochodzącym już z okresu jego studiów w Trinity College<sup>26</sup>. Przyjmując model grawitacji w formie przypominającej deszcz opadających cząstek eteru, Newton rozważał ich wykorzystanie do efektywnego poruszania urządzenia, które by realizowało konstrukcję *perpetuum mobile*. Analogicznie do wody poruszającej z jednej strony mechanizm koła wodnego (np. młyńskiego), zastanawiał się nad możliwością zbudowania czegoś w rodzaju ekranu zatrzymującego strumień

---

<sup>23</sup> Keynes, MS 136.03, f. 5; przekład cyt. za: Manuel 1998, s. 54.

<sup>24</sup> Brewster 1831, s. 24. Kiedy w 1947 roku odblokowano zamurowane (celem uniknięcia tzw. podatku okiennego) przez dwieście pięćdziesiąt lat okno w północnej sypialni rodzinnego domu Newtona w Woolsthorpe, na murze odkryto kilka surowo wyrzeźbionych, przecinających się ze sobą figur geometrycznych, które mogły być wykonane ręką młodego Isaaca; zob. Robinson 1947.

<sup>25</sup> Turnor 1845.

<sup>26</sup> CUL, MS Add. 3996; także w bazie *The Newton Project*. Ostatni rozdział tego rękopisu (ff. 87–135) jest reprodukowany, a także zaopatrzony we wstęp i komentarz w: McGuire, Tamny 1983.



eterycznych cząstek nad jedną połową ruchomego koła umocowanego na poziomej (w stosunku do podstawy) osi. Wówczas nieosłonięta ekranem druga połowa koła musiałaby pod wpływem strumienia cząstek eteru fizycznie przeważać, wywołując nieustanny obrót całego koła<sup>27</sup>. Podobne eksperymenty myślowe, oparte na modelach mechanicznych, w cytowanym manuskrypcie Newtona, odnoszą się również do światła i magnetyzmu. W związku z tym nie dziwi stwierdzenie amerykańskiego historyka nauki Richarda S. Westfalla (1924–1996):

Newton, majsterkowicz z Grantham (*the tinkerer from Grantham*), rozważał rozmaite urządzenia, w istocie wiatraki i koła wodne, by podслуchiwać strumienie niewidzialnej materii<sup>28</sup>.

Na zakończenie tej części artykułu warto tylko zauważyć, że choć pasje techniczne młodego Newtona odbiegały w jakieś mierze od zabawowych zwyczajów większości dzieci i młodzieży tamtych czasów oraz jego angielskiej warstwy społecznej (tzw. yeomanów – drobnych właścicieli ziemskich)<sup>29</sup>, jednak nie odbiegały one zbyt wiele od znanych młodzieńczych zainteresowań jego, później niemal równie znanych rówieśników, takich jak Robert Hooke (1635–1703) czy Christopher Wren (1632–1723). Pierwszy z nich budował modele mechaniczne, drugi – podobnie jak młody Isaac – konstruował zegary słoneczne. Obaj wykazywali w młodości zainteresowanie podstawowymi zasadami geometrii i mechaniki praktycznej; obaj też próbowali rozwiązywać proste problemy mechaniczne<sup>30</sup>.

### 3. Od szlifowania soczewek do teleskopów zwierciadłowych

Okres bezpośrednich przygotowań jeszcze nastoletniego Newtona do studiów i pierwsze lata spędzone przez niego w Cambridge obfitowały w wiele dalekosiężnych wydarzeń politycznych, społecznych

<sup>27</sup> CUL, MS Add. 3996, f. 121v.

<sup>28</sup> Westfall 1980, s. 90.

<sup>29</sup> Zob. np. Cross 2001, s. 522; Manuel 1998, s. 45. W XVI i XVII wieku dzieci europejskich arystokratów i bogatych kupców zwykle bawiły się zabawkami wykonywanymi przez wykwalifikowanych w tym kierunku rzemieślników. W ubogich rodzinach dzieci wymyślały sobie zabawy same i same też wykonywały dla siebie zabawki.

<sup>30</sup> Westfall 1980, s. 62; por. także: Manuel 1998, ss. 53, 62; Tinniswood 2001, s. 21.

i naukowych. Schyłek tzw. Republiki Angielskiej pod wodzą Olivera Cromwella (1599–1658) i restauracja dynastii Stuartów (1660), założenie Towarzystwa Królewskiego (1660), dyfuzja społeczna poglądów Francisa Bacona nie pozostaną odtąd bez wpływu na przyszły umysł i emocje studenta Trinity College. Mimo iż Newtonowi przyszło jeszcze studiować autorytety przeszłości, głównie Arystotelesa i scholastyków, ciekawość budziły u niego „modne” w tym czasie prace Kartezjusza, Gassendiego i Boyle’a. To one, obok troskliwej opieki garstki świątelskich profesorów (w szczególności Isaaca Barrowa i Henry’ego More’a) skierowały jego uwagę w stronę aktualnych w tym czasie zagadnień optycznych, mechanicznych i matematycznych, a także tradycyjnie filozoficznych.

W szczególności wydana w 1664 roku przez późniejszego dobrego znajomego Newtona – Roberta Boyle’a (1627–1691) praca *Experiments and Considerations Touching Colours* zaowocowała u studenta z Woolsthorpe serią notatek we wspomnianym już powyżej wczesnym rękopisie *Quaestiones quaedam Philosophiae*, poświęconych zagadnieniu barw. Zostały one zatytułowane *Of Colours* i oprócz rozważań na temat barw ciał, zawierały także wnioski z pierwszych newtonowskich eksperymentów z wykorzystaniem pryzmatu. Sugerowały one złożoną naturę światła na podstawie zmiennych wartości załamania dla różnych jego barw (doświadczenia z czarno-białą kartą i czerwono-niebieską nicią)<sup>31</sup>. Należy przy tym podkreślić, iż nie były to jeszcze słynne eksperymenty Newtona z pryzmatem, szczeliną w okiennicy i światłem słonecznym, lecz jedynie z barwami ciał.

W tych samych latach 1664–1665 Newton zajmował się nie tylko kwestią barwy ciał, lecz również studiował zagadnienia optyki geometrycznej, za przewodnika mając przede wszystkim René Descartesa (1596–1650) i jego dzieła *La geometrie* i *La dioptrique* (obydwa z 1637 roku). W manuskrypcie nazwanym *Waste Book*, zajął się „poszukiwaniem (*invention*) figur dla odbicia (...) [i] załamania światła”<sup>32</sup>. Chodziło o geometryczne skonstruowanie warunków, a co za tym idzie figur dla powierzchni odbijających i załamujących światło. Niedługo potem, na przełomie lat 1665

---

<sup>31</sup> CUL, MS Add. 3996, ff. 122r–124v. Zwięzłe omówienie tych eksperymentów w: Shapiro 1984, ss. 5–7. Por. także Lohne 1965.

<sup>32</sup> CUL, MS Add. 4004, f. 1v. Zob. również: *The Newton Project*, Whiteside 2008, ss. 551–558.

i 1666, w innym rękopisie noszącym teraz nazwę *College Notebook*, w notatkach zatytułowanych *Of Refractions*, Newton rozwinął wyniki Kartezjusza dotyczące powierzchni załamujących światło powstałych przez obrót krzywych stożkowych wokół osi głównej (powierzchni eliptycznych i hiperbolicznych) i udoskonalonych na maszynie szlifującej soczewki<sup>33</sup>.

W tym miejscu należy się kilka słów wyjaśnienia. W związku z rozpowszechnieniem za czasów Kartezjusza soczewkowych lunet czy teleskopów astronomicznych oraz tzw. lunet ziemskich (celowniczych), palącym problemem stało się ich nieustanne doskonalenie. Poza kwestią odpowiedniego wytopu szkła na soczewki, a następnie ich szlifowania, szczególnie szkodliwą ich wadą i otrzymywanych przez nie obrazów, okazała się aberracja sferyczna<sup>34</sup>. Wada ta dotyczy soczewek sferycznych, dlatego Kartezjusz rozważał możliwość zastosowania w lunetach soczewek asferycznych. Zaprojektował w tym celu szlifierkę i, we współpracy z rzemieślnikami, próbował takie eksperymentalne soczewki o krzywiźnie przecięć stożkowych, wytwarzać. Jego śladem poszło później wielu europejskich uczonych, w tym m.in. Christopher Wren, bracia Huygensowie, a także Jan Heweliusz<sup>35</sup>.

Zafascynowany optycznym „programem” Kartezjusza, przypuszczalnie na początku roku 1666, do tego grona dołączył także Newton. Świadczą o tym opisy i rysunki maszyn szlifierskich zamieszczone na kartach jego notatek w *Of Refractions*<sup>36</sup>. Zdają się je także potwierdzać

---

<sup>33</sup> CUL, MS Add. 4000, ff. 26r–33v. Zob. również: *The Newton Project*; Whiteside 2008, ss. 559–576. Por. Hall 1955.

<sup>34</sup> Wada aberracji sferycznej polega na tym, że soczewki sferyczne, po dwukrotnym załamaniu promieni świetlnych nie skupiają w tym samym ognisku promieni przyosioowych (centralnych) i skrajnych.

<sup>35</sup> Technice wytwarzania soczewek asferycznych poświęcona jest praca: Burnett 2005. Heweliusz poświęcił temu zagadnieniu dwudziesty trzeci rozdział (*De Lentibus Conicis elaborandis et exfoliendis*) swojej pracy *Machina coelestis*: Hevelius 1673, ss. 426–438. Zdaniem van Helden (1974, s. 45) wysiłki badaczy i rzemieślników nad stworzeniem przelomowych (np. dla obserwacji astronomicznych) asferycznych soczewek teleskopowych nie przyniosły jednak „w siedemnastym wieku jakiegokolwiek pojedynczej próby zakończonej sukcesem”.

<sup>36</sup> CUL, MS Add. 4000, ff. 26r–26v. Do dziś w środowisku znawców Newtona nie ma zgody co do kwestii samej faktyczności jego przedsięwzięć w szlifowaniu soczewek asferycznych. Na przykład Hall (1955, ss. 37, 43) uważa, że te zainteresowania były „głównie spekulatywne” (*chiefly speculative*), z kolei Shapiro (1984, s. 10) twierdzi, że nie ma przesłanek, aby negować to, że rzeczywiście miały one miejsce.

słowa z jego pierwszej publikacji naukowej ogłaszającej „nową teorię światła i barw” z 1672 roku:

(...) na początku 1666 roku (kiedy zająłem się szlifowaniem soczewek o kształtach innych aniżeli sferyczne) nabyłem trójkątny pryzmat szklany, by z jego pomocą uzyskać słynne zjawisko barw<sup>37</sup>.

Jest w tych słowach przede wszystkim mowa o eksperymentach z pryzmatem i światłem słonecznym, które w efekcie doprowadziły do sformułowania przełomowej teorii, zgodnie z którą, a wbrew wcześniejszym ujęciom, światło składa się z promieni o różnym stopniu załamania<sup>38</sup>. Pisząc o tym w konwencji autobiograficznej Newton ujawnił inną, interesującą nas tutaj szczególnie, informację:

Kiedy to pojąłem, odłożyłem wyżej wspomniane moje prace nad szkłem (*glass-workes*<sup>39</sup>), ponieważ zrozumiałem, że doskonałość teleskopów była dotychczas ograniczona, nie tyle z powodu braku odpowiednich szkieł, stworzonych zgodnie z zaleceniami znawców optyki (...), co z tego powodu, że samo światło jest heterogeniczną mieszaniną załamujących się w różnym stopniu promieni<sup>40</sup>.

Tak więc według Newtona odkrycie złożonej struktury światła mogło mieć dalekosiężne znaczenie dla dalszego doskonalenia teleskopów. Obrazy otrzymane z użyciem soczewek, nawet jeśli by to były soczewki asferyczne, zawsze będą obarczone inną w stosunku do aberracji sferycznej wadą, zwaną dziś aberracją chromatyczną (polegającą na generowaniu barwnych obwódek w obrazie obserwowanych obiektów). Uznawszy ją za nieusuwalną z układów optycznych<sup>41</sup>, Newton poszuki-

---

<sup>37</sup> Newton 1672a, s. 3075.

<sup>38</sup> Zauważa się, iż Newton nie był pierwszym badaczem, który na podstawie eksperymentu doszedł do takiego wniosku. Na początku XVII wieku podobne wyniki uzyskał Thomas Harriot (1560–1621), jednak nigdy ich nie opublikował; por. Shapiro 1984, s. 11 (przypis nr 33); Arianrhod 2019, s. 3.

<sup>39</sup> Użyte przez Newtona wyrażenie *glass-workes* nie oznacza prac hutniczych, lecz ogólnie pojętą obróbkę szkła.

<sup>40</sup> Newton 1672a, s. 3079.

<sup>41</sup> Około sześćdziesiąt lat później angielski prawnik i matematyk Chester Moor Hall (1703–1771) wykonał pierwszy tzw. achromatyczny obiektyw do teleskopu astro-

wał skutecznego rozwiązania dla dalszych prób doskonalenia teleskopu astronomicznego, jednak z pominięciem wykorzystania optyki soczewkowej. W czerwcu 1666 roku opuścił Cambridge z powodu szalejącej zarazy i schronił się w rodzinnym Woolsthorpe. Po powrocie do Trinity College, na wiosnę 1667, jedną z głównych prac<sup>42</sup>, zaprzatających od-tąd jego uwagę stała się budowa teleskopu opartego na zwierciadłach, a nie na soczewkach.

Od czasu swoich eksperymentów z pryzmatami i odkrycia złożonej struktury światła Newton utrzymywał, że jedynie wykorzystanie zwierciadła wklęsłego zamiast soczewki lub soczewek jest w stanie zapobiec otrzymywaniu zniekształconych obrazów obserwowanych obiektów astronomicznych (spowodowanych głównie aberracją chromatyczną). Chcąc poddać weryfikacji swoje przekonanie, w 1668 roku zbudował samodzielnie i według własnego projektu niewielki teleskop zwierciadłowy (reflektor). W liście do nieznanego nam bliżej „Przyjaciela” pisał:

Wykonany przeze mnie przyrząd ma długość sześciu cali [ok. 15 cm – J.R.], jego apertura<sup>43</sup> wynosi trochę więcej aniżeli jeden cal, z kolei płasko-wypukły okular ma grubość  $1/6$  lub  $1/7$  cala, dając powiększenie średnicy [obiek-tu obserwowanego – J.R.] ok. 40 razy, co stanowi więcej, aniżeli jakakolwiek sześciostopowa rura [tubus teleskopu soczew-kowego – J.R.] (...). Widziałem przez niego wyraźnie okrą-głego Jowisza, a także jego księżycę oraz sierp Wenus<sup>44</sup>.

W opinii Halla i Simpsona teleskop o wyżej wymienionych para-metrach powinien być tak dobry, jak najlepsza luneta soczewkowa

---

nomicznego (a więc eliminujący wadę aberracji chromatycznej), zawierający, złączone ze sobą, dwie soczewki wykonane z różnych gatunków szkła (a to oznacza w różnym stopniu łamiące światło o różnych barwach); por. np. Rodzeń 2013, ss. 197–198.

<sup>42</sup> W 1667 roku Newton miał już za sobą pierwsze odkrycia z zakresu optyki (złożona natura światła), matematyki (m.in. szereg dwumianowy) oraz pierwsze intu-icje dotyczące ruchu kołowego, ruchu Księżyca, planet i grawitacji; zob. Guicciardini 2018, ss. 42–43.

<sup>43</sup> Apertura to inaczej efektywna średnica otworu w tubusie lunety lub teleskopu, przez który wpada światło.

<sup>44</sup> List Newtona do Przyjaciela z 23 lutego 1668/1669 roku; Turnbull 1959, s. 3. O teleskopie wspomina także John Collins w liście do Jamesa Gregory’ego z 24 grudnia 1670 roku; por. tamże, s. 53.

Galileusza<sup>45</sup>. Jak się przypuszcza, w swoim projekcie teleskopu Newton mógł się w jakimś stopniu kierować opisem i diagramem podobnego przyrządu, zamieszczonego w pracy szkockiego matematyka i astronoma Jamesa Gregory'ego (1638–1675) zatytułowanej *Optica promota* z 1663 roku<sup>46</sup>. W przypadku teleskopu Newtona główne zwierciadło nie było, jak w wariacie Gregory'ego, przewiercone w środku (rzucając obraz na okular umieszczony na osi widzenia obiektu), a mniejsze zwierciadło nie było wklęsłe, lecz płaskie i rzucało odwrócony obraz obiektu na okular umieszczony z boku na ścianie tubusu. W ciągu kilku następnych lat nie udało się rzemieślnikom wykonać poprawnie działającego teleskopu Gregory'ego (tzw. gregoriańskiego)<sup>47</sup>. Tymczasem teleskop Newtona, zgodnie z jego zapewnieniem, działał i pozwalał wykonywać proste obserwacje astronomiczne. Przyrząd ten był jednak znany na początku tylko kilkorgu znajomym Newtona z Cambridge. Więcej dowiedziano się o nim wtedy, kiedy rozpowszechniła się wieść – zwłaszcza w Londynie – o drugim teleskopie zbudowanym przez Newtona w jesieni 1671 roku<sup>48</sup>.

Drugi reflektor Newtona został przesłany do Towarzystwa Królewskiego, celem jego przetestowania, w grudniu 1671 roku. Najwcześniejszy jego opis znajduje się w liście wspomnianego już Collinsa do Francisa Vernona (ok. 1637–1677), francuskiego podróżnika i pisarza, z dnia 26 grudnia tego samego roku. Zgodnie z tym opisem był to przyrząd o długości około siedmiu cali i średnicy tubusu dwóch i jednej czwartej cala<sup>49</sup>. Aby zabezpieczyć prawo do wynalazku teleskopu zwierciadłowego Newtonowi, sekretarz Towarzystwa Królewskiego Henry Oldenburg przesłał 1 stycznia 1672 roku jego opis wraz z ilustracją

---

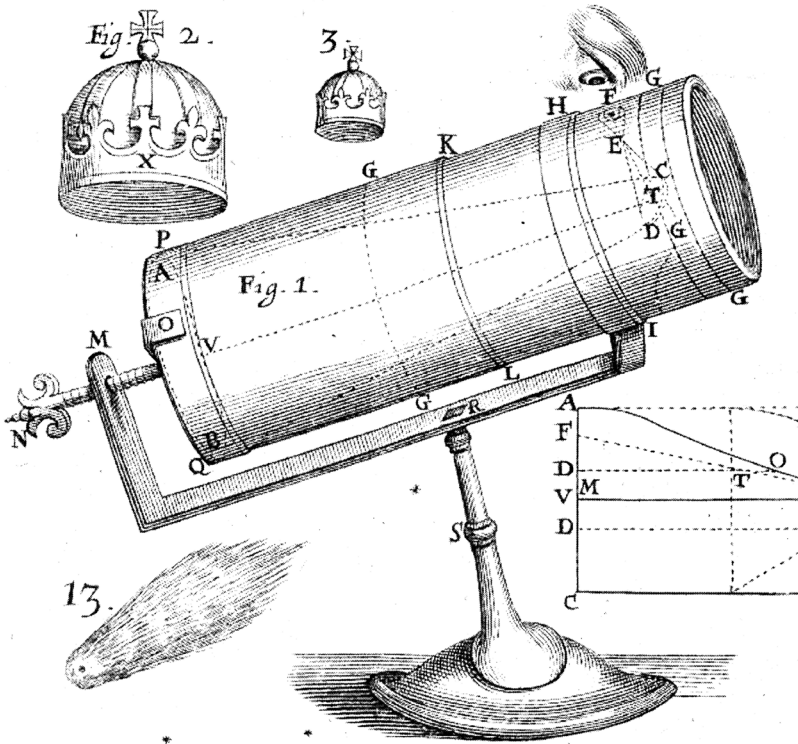
<sup>45</sup> Hall, Simpson 1996, s. 3.

<sup>46</sup> Gregory 1663, s. 94.

<sup>47</sup> W przypadku idei teleskopu zwierciadłowego Gregory także nie był pierwszym jej autorem. Newton skonstruował jako pierwszy jego działający wariant, jednak idea takiego przyrządu sięga czasów Galileusza i powstania pierwszych teleskopów soczewkowych (wśród pomysłodawców budowy reflektora wymienia się m.in. N. Zucchio, B. Cavaliergo i M. Mersenna); zob. np. Wilson 2007, ss. 1–11; Ariotti 1975.

<sup>48</sup> Więcej informacji na temat pierwszego reflektora Newtona z 1668 roku w: Simpson 1981, ss. 64–85.

<sup>49</sup> Zob. Hall 1995, s. 73; Simpson 1981, s. 101. Zwłaszcza we wczesnym okresie aktywności naukowej Newtona John Collins łączył w sobie, byśmy dziś powiedzieli, rolę jego agenta wydawniczego i zarazem popularyzatora jego myśli matematycznej.



Ryc. 1. Teleskop zwierciadłowy (Newton 1672b, tab. I, fig. 1)

ówczesnemu niekwestionowanemu autorytetowi od teleskopów Christiaanowi Huygensowi (1629–1695)<sup>50</sup>. Dziesięć dni później Newton – konstruktor i wynalazca, w atmosferze niemalże euforii, został przyjęty w poczet członków londyńskiego Towarzystwa Królewskiego.

Warto przy tej okazji zwrócić uwagę, iż oficjalny artykuł Newtona prezentujący jego wynalazek na łamach opiniotwórczych *Philosophical Transactions of the Royal Society*, ukazał się dopiero 25 marca 1672 roku<sup>51</sup> (Ryc. 1), a więc ponad miesiąc po opublikowaniu na tych samych łamach newtonowskiego artykułu dotyczącego „nowej teorii światła i barw”. Stało się to przypuszczalnie na życzenie samego autora obydwu artykułów, który przez taką ich kolejność mógł chcieć pokazać, iż wynalazek

<sup>50</sup> Turnbull 1959, s. 72.

<sup>51</sup> Newton 1672b.

nowego typu teleskopu stanowi konsekwencję jego prac teoretyczno-eksperymentalnych nad naturą światła. Jednak faktyczna recepcja teleskopu zwierciadłowego była inna, gdyż dotyczyła, żeby użyć słów Oldenburga, wyrażających opinię Towarzystwa Królewskiego, „wynalazku skrócenia teleskopów” (*invention of contracting Telescopes*)<sup>52</sup>, a nie rozwiązania problemu aberracji chromatycznej<sup>53</sup>.

Przyrząd przekazany przez Newtona Towarzystwu Królewskiemu nie był ostatnim, skonstruowanym przez niego, egzemplarzem teleskopu zwierciadłowego. W pierwszym wydaniu jego *Optyki* z 1704 roku można znaleźć zagadkowe zdanie: „Dwa z tych [teleskopów – J.R.] wykonałem ok. 16 lat temu, a jeden z nich mam nadal u siebie, dzięki któremu udało mi się dowieść prawdy, o której teraz piszę”<sup>54</sup>. Istnieją przesłanki, by sądzić, że te słowa zostały spisane niedługo po wydaniu newtonowskich *Zasad* w 1687 roku<sup>55</sup>, a stąd wynika, że 16 lat wcześniej był rok 1671. W ten sposób Newton potwierdził, iż około tego roku zbudował także drugi (i w sumie trzeci) egzemplarz teleskopu zwierciadłowego. Po raz pierwszy wspomina o nim w kolejnym liście do Oldenburga z 29 stycznia 1672 roku przy okazji odpowiedzi na pytania napływające do Towarzystwa Królewskiego w sprawie wykorzystanych przez Newtona stopów na zwierciadło teleskopu<sup>56</sup>.

Wybór odpowiedniego stopu na zwierciadło główne oraz sposób jego polerowania stanowiły kwestię kluczową dla optymalnego działania teleskopów Newtona<sup>57</sup>. Nie jest znany skład stopu wykorzystany w pierwszym teleskopie z 1668 roku. Z kolei zwierciadło drugiego przyrządu, przekazanego przez autora *Optyki* do Towarzystwa Królewskiego,

---

<sup>52</sup> List Oldenburga do Newtona z 2 stycznia 1672 roku; Turnbull 1959, s. 73.

<sup>53</sup> Zob. Dupré 2008, ss. 338–339.

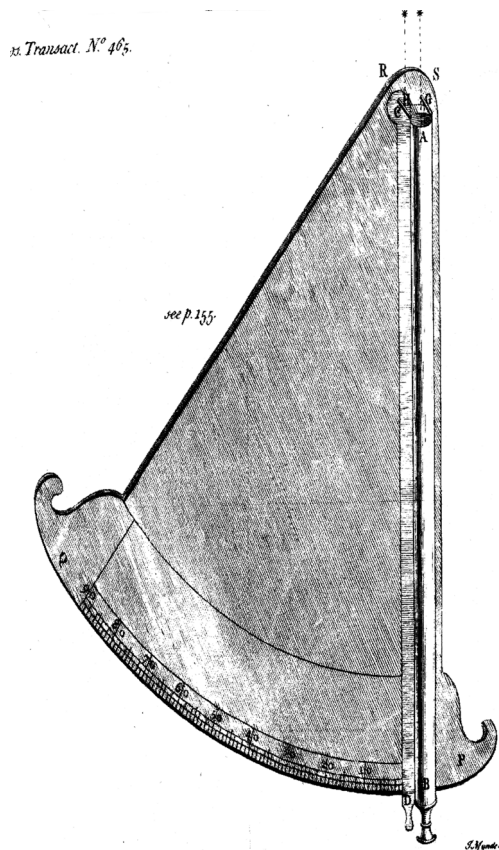
<sup>54</sup> Newton 1704, s. 76.

<sup>55</sup> Por. Shapiro 2013, s. 167; Hall, Simpson 1996, s. 5.

<sup>56</sup> Turnbull 1959, s. 84. Newton wspomina w nim jako o „Znajomym” (*an Acquaintance*), który pomagał mu w szlifowaniu zwierciadła. Z dużym prawdopodobieństwem chodziło w tym przypadku o Johna Wickinsa (ok. 1643–1719), dzielącego z Newtonem pomieszczenia w Trinity College (którego Wickins także był członkiem).

<sup>57</sup> W związku z przygotowaniem stopów do zwierciadeł teleskopowych nie należy zapominać o zainteresowaniach Newtona alchemią, których początek przypadł akurat na lata 1668–1669. Kwestia mieszania składników, ich wytapiania i badania właściwości tak otrzymanych stopów wchodziła w zakres praktycznej strony aktywności alchemicznej; por. Guicciardini 2018, s. 103.





Ryc. 2. Oktant morski (Newton 1742)

zawierało oprócz miedzi i cyny próbny dodatek srebra, co z racji miękkości całego stopu okazało się niekorzystne przy polerowaniu zwierciadła. Poza tym stosunkowo szybko ono matowiało, uniemożliwiając obserwacje astronomiczne. Zwierciadło trzeciego reflektora zawierało zamiast srebra arsen. Wszystkie zwierciadła posiadały taką samą krzywiznę, co dawało identyczną ogniskową około sześciu i jednej trzeciej cala. Takie same były również ogniskowe wszystkich trzech okularów<sup>58</sup>. Do dziś nie zachował się w całości żaden z teleskopów Newtona. Przechowywany aktualnie w londyńskiej siedzibie Towarzystwa Królewskiego przyrząd

<sup>58</sup> Hall, Simpson 1996, s. 6.

nazywany „Teleskopem zwierciadlowym Isaaca Newtona” prawdopodobnie zawiera jedynie niektóre pierwotne części, omawianego powyżej trzeciego teleskopu<sup>59</sup>.

#### 4. Oktant morski

W tym miejscu przechodzimy do późniejszego okresu w życiu i aktywności publicznej Isaaca Newtona, do końcówki lat 90. siedemnastego wieku. Newton miał już za sobą wydanie swojego głównego dzieła, *Zasad matematycznych filozofii przyrody*, oraz związane z tym wydarzeniem zarówno pochwały, jak i krytykę. W 1693 roku przeszedł załamanie nerwowe, a już w 1696 otrzymał stanowisko nadzorcy (*warden*) Mennicy Królewskiej i przeniósł się bezpowrotnie z Cambridge do Londynu (w 1699 został jej kuratorem (*master*)). Niedługo potem (w 1701 roku) został członkiem parlamentu angielskiego, a dwa lata później prezesem Towarzystwa Królewskiego, z którym po raz pierwszy ściślej związał się trzydzieści lat wcześniej dzięki swojemu wynalazkowi teleskopu zwierciadłowego. Jak się okazało, mimo wzrastającej liczby obowiązków, zwłaszcza tych pozanaukowych, Newton nie pozostał obojętny na nowe wyzwania praktyczno-matematyczne, a co za tym idzie także inżynierskie.

W dniu 12 sierpnia 1699 roku Newton napisał list do Kontrolera Marynarki angielskiej (inaczej: przewodniczącego Urzędu Marynarki) sir Richarda Hoddocka (1629–1715), w którym informował o otrzymaniu innego listu od Sekretarza Admiralicji Josiaha Burchetta (ok. 1666–1746) z jego sugestią przedyskutowania propozycji dotyczącej „znajdowania długości geograficznej na morzu” (*finding the Longitude*). W swoim liście Newton wyraził gotowość do spotkania się w tej sprawie z Haddockiem oraz admirałem sir Cloudesleyem Shovellem (1650–1707)<sup>60</sup>. Cztery dni później autor *Zasad* pojawił się na posiedzeniu Towarzystwa Królewskiego, na którym przedstawił zbudowany przez siebie przyrząd nawigacyjny, służący do wyznaczania długości geograficznej na morzu<sup>61</sup>.

<sup>59</sup> Tamże, ss. 10–11; Mills, Turvey [1979](#).

<sup>60</sup> Scott 1967, s. 314.

<sup>61</sup> Należy wspomnieć, że dwa miesiące wcześniej zakończyło się wielkie przedsięwzięcie odnowienia angielskiej monety (*Great Recoinage*), którego kluczową postacią był Newton jako nadzorca mennicy w Londynie; zob. Levenson 2011, s. 143.

Sekretarz Towarzystwa Hans Sloane (1660–1753) w protokołach posiedzeń umieścił o tym następującą notatkę:

Pan Newton pokazał, obmyślony (*contrived*) przez siebie, nowy przyrząd do obserwacji [na morzu]<sup>62</sup> długości geograficznej [z położenia Księżyca i gwiazd], będący starym przyrządem uwolnionym od kilku usterek, przy pomocy którego pan Halley, mimo to, znajdował długość geograficzną lepiej, aniżeli żeglarze przy pomocy innych metod<sup>63</sup>.

Nic nie wiadomo o tym, czy doszło do spotkania Newtona z Haddockiem i Shovelem, jednak przypuszczalnie prezentacja przyrządu miała jakiś związek, choćby ze względu na bliskość czasową, z listem do Haddocka. Tak czy inaczej sprawa dotyczyła kwestii pałającej od dziesięcioleci, żeby nie powiedzieć, od wieków, a mianowicie problemu znalezienia skutecznej metody określania długości geograficznej na morzu przez żeglarzy.

Problem określania długości geograficznej na morzu, a co za tym idzie położenia żeglujących okrętów, stał się w wieku XVII, zwłaszcza dla ówczesnych potęg morskich i kolonialnych, w tym oczywiście Anglii, poważną sprawą wagi państwowej. Na skutek strat związanych z zatonięciem licznych jednostek floty wojennej, handlowej lub rybackiej, cierpiał niejednokrotnie skarbiec, prestiż gospodarczy i polityczny, a także morale marynarskie. Wyznaczenie szerokości geograficznej na podstawie długości dnia, położenia Słońca nad horyzontem w dzień lub gwiazd w nocy nie stanowiło większego problemu, ale pozwalało jedynie na żeglowanie bez obaw wzdłuż określonego równoleżnika. W przypadku wyznaczania długości geograficznej niezbędne było określenie różnicy czasu lokalnego (słonecznego) mierzonego dla miejsca obserwacji i dla południka odniesienia. Z tej różnicy nawigator obliczał długość geograficzną i zarazem dokładne położenie statku.

Zwłaszcza od czasu tzw. wielkich odkryć geograficznych i zarazem niespotykanego w przeszłości rozwoju wypraw drogą morską, niestrudzenie poszukiwano skutecznej metody wyznaczania długości geograficznej. Wykorzystywane metody były różne, od sygnałowych (na podstawie salw

---

<sup>62</sup> W nawiasach kwadratowych są słowa dopisane później do pierwotnego tekstu protokołu.

<sup>63</sup> Sloane's Minutes (dalej cyt. SM), MS 577, f. 19v.

armatnich, a nawet głośnego ujadania okaleczonych psów na specjalnych statkach zakotwiczonych w znanych miejscach na płytszych wodach), po astronomiczne (np. sugerowane przez Galileusza obserwacje czasu zaciemnień księżyców Jowisza)<sup>64</sup>. Jedną z metod astronomicznych była także ta, wymyślona przez niemieckiego astronoma i wytwórcę przyrządów pomiarowych Johanna Wernera (1468–1522) w 1514 roku, polegająca na obserwacji położenia Księżyca na tle, bliskich jego wędrówce, gwiazd uważanych w tym czasie za tzw. stałe (lub w dzień, obserwacji jego wędrówki w pobliżu Słońca)<sup>65</sup>. Metoda ta została potem nazwana metodą odległości księżycowych i konstruując swój przyrząd nawigacyjny Newton miał przede wszystkim na uwadze ten właśnie sposób wyznaczania, tak upragnionej przez kapitanów statków, długości geograficznej.

Jednak sam przyrząd nawigacyjny, pozwalający na pomiar odległości Księżyca od gwiazd stałych lub Słońca, był tylko jednym z istotnych elementów tej metody astronomicznej. Innym niezbędnym elementem było wykonanie dokładnego katalogu gwiazd, zwłaszcza tych napotykanych w swojej wędrówce przez Księżyc. W końcu trzecim elementem było sporządzenie efemeryd Księżyca<sup>66</sup>. Jak powszechnie wiadomo, w przypadku tego ostatniego elementu, do zbudowania teorii ruchu Księżyca swoją rękę, a właściwie swój umysł matematyczny, przyłożył w znacznym stopniu sam Newton. Ruch Księżyca był dla niego zarówno jedną z ważniejszych inspiracji w powstaniu nowej teorii grawitacji, jak i rodzajem jej sprawdzianu w różnych okresach jej tworzenia i doskonalenia<sup>67</sup>. Wiadomo również, że w pełni zadowolającej teorii ruchu Księżyca autor *Zasad* nigdy nie stworzył. Po części winą za własne niepowodzenia obarczał nie tylko same trudności matematyczne, ale także wieloletnie – jak sam uważał – ociążanie się z dostarczeniem wyników obserwacji Księżyca ówczesnego, pierwszego astronoma królewskiego Johna Flamsteeda (1646–1719)<sup>68</sup>. W tym kontekście warto także

---

<sup>64</sup> Dzieje poszukiwań metody wyznaczania długości geograficznej na morzu przedstawia barwnie w swojej popularnej książce Dava Sobel (1998).

<sup>65</sup> Werner 1514.

<sup>66</sup> Sobel 1998, ss. 22–23; 66.

<sup>67</sup> Por. Westfall 1980, ss. 540–550; Włodarczyk 2012, ss. 157–167. Jak zanotował Conduitt, Newton miał wyznać Johnowi Machinowi (1686–1751), że „nigdy głowa nie boli go tak bardzo, jak wtedy, gdy zajmuje się ruchem Księżyca”; Keynes, MS 130.07, f. 6v; także w: *The Newton Project*.

<sup>68</sup> Zob. Kollestrom 2000; Kollestrom/Yallop 1995.

wspomnieć o osiągnięciach niemieckiego matematyka i astronoma Tobiasa Mayera (1723–1762), który w znacznym stopniu udoskonalił teorię ruchu Księżyca, co umożliwiło jej zastosowanie w nawigacji morskiej<sup>69</sup>.

Powróćmy w tym miejscu do samego przyrządu nawigacyjnego skonstruowanego przez Newtona. Z przytoczonego powyżej krótkiego zapisu Sloane'a, dotyczącego prezentacji tego przyrządu na forum Towarzystwa Królewskiego, nic nie dowiadujemy się o jego budowie i parametrach. Dopiero czterdzieści trzy lata później, w papierach pozostawionych przez przyjaciela Newtona – Edmonda Halleya (1656–1742), egzekutorzy jego testamentu natknęli się na krótki opis i ilustrację urządzenia, które – jak się okazało – odnosiły się do przyrządu prezentowanego przez autora *Zasad* w 1699 roku<sup>70</sup>.

Z dokumentacji odnalezionej u Halleya wynikało, iż przyrząd wykonany był z płyty mosiężnej o kształcie łuku, o rozwartości 45 stopni kątowych (stąd częsta jego nazwa – oktant, jedna ósma kąta pełnego). Łuk został podzielony przy wierzchołku na 90 jednostek, co – ze względu na całkowicie nowatorski układ dwóch zwierciadeł płaskich umieszczonych w środku łuku – pozwalało na wykonywanie pomiarów odległości kątowych do 90 stopni<sup>71</sup> z dokładnością do 1/12 minuty kątowej, czyli 5 sekund kątowych<sup>72</sup>. Wzdłuż jednego z ramion łuku, w odcinku od punktu zerowego podziałki do środka łuku, została umieszczona nieruchoma lunetka celownicza (*perspicil*) długości 3 lub 4 stóp (90 lub 120 cm), przed którą znajdowało się pierwsze zwierciadło. Obok, w środku łuku, znajdował się ruchomy wskaźnik (*index*) z umieszczonym na nim drugim, równoległym do pierwszego zwierciadłem (Ryc. 2). Pomiar odległości np. między określoną gwiazdą a Księżycem polegał na dostrzeżeniu gwiazdy przez lunetkę celowniczą (przy jednym zwierciadle) i Księżyca dzięki drugiemu zwierciadłu,

---

<sup>69</sup> Zob. Forbes 1970.

<sup>70</sup> Newton 1742. Tekst opisu przyrządu Newtona został odczytany na posiedzeniu Towarzystwa Królewskiego 28 października 1742 roku. Krótko na temat oktantu Newtona w: Freiesleben 1979; Bennett 2006, ss. 251–254; Mörzer Bruyns 2009, ss. 23–24.

<sup>71</sup> Stąd można także spotkać się z nazwą „kwadrant Newtona”.

<sup>72</sup> Taka dokładność była możliwa do uzyskania dzięki zastosowaniu metody tzw. podziałki diagonalnej (Newton 1742, s. 155). Na temat samej tej metody, wynalazionej przez Tychona Brahego (1546–1601), zob. np. Rodzeń 2013, ss. 389–390.

rzucającym jego obraz na pierwsze. Przez obrót wskaźnika należało „połączyć” uzyskany obraz gwiazdy z obrazem brzegu tarczy Księżyca. Wtedy odległość między tymi obiektami należało odczytać za pomocą wskaźnika na podziałce kątovej<sup>73</sup>.

Jeśli traktować znaleziony w papierach Halleya rękopis jako spisany przez Newtona i odpowiadający, przedstawionemu przez niego w 1699 przyrządowi nawigacyjnemu, należałoby również przyjąć, że nie tylko został on „obmyślony” (*contrived*) przez autora *Zasad*, ale także wykonane przez niego samodzielnie. Zarówno w wystąpieniu przed Towarzystwem Królewskim, jak i w opisie jego budowy nie ma żadnej uwagi dotyczącej ewentualnej pomocy ze strony rzemieślników czy wytwórców ówczesnych przyrządów nawigacyjnych. Oktant morski Newtona i inne zbliżone funkcjonalnie katadioptryczne<sup>74</sup> przyrządy nawigacyjne były pierwszymi, w których zastosowano optykę soczewkową w formie lunety celowniczej. W swojej części tzw. matematycznej (łuk podziałowy ze wskaźnikiem) zachował on pewną ciągłość z wcześniejszymi, szeroko rozpowszechnionymi w praktyce żeglarskiej, instrumentami nawigacyjnymi, takimi jak kwadrant, astrolabium żeglarskie, cross-staff (lub inaczej laska Jakuba) i w końcu back-staff (zwany także kwadrantem Davisa). Z drugiej strony zapoczątkował nową, królującą na morzach od osiemnastego stulecia linię przyrządów takich, jak sekstant czy koło odbiciowe<sup>75</sup>.

Jeśli chodzi o wykorzystanie praktyczne oktantu zbudowanego przez autora *Optyki*, to nie mamy w tym przypadku na to zachowanych przykładów<sup>76</sup>. Na uwagę zasługuje jednak w tej perspektywie współpraca

---

<sup>73</sup> Było to możliwe mimo kołysania statku na morzu, gdyż odległość między Księżycem a gwiazdą pozostawała niezmienna (*the Moon and Star will move together*); Newton 1742, s. 156. Przyrząd mógł służyć nie tylko do wyznaczania długości geograficznej, ale również szerokości geograficznej, obliczanej z wysokości Słońca lub gwiazd nad horyzontem.

<sup>74</sup> Przyrząd katadioptryczny łączył w sobie elementy dioptryczne (oparte na optyce soczewkowej) i katoptryczne (oparte na optyce zwierciadeł).

<sup>75</sup> Turner 1998, ss. 30–33; de Hilster 2006, ss. 6–7.

<sup>76</sup> Bennett (2006, s. 252) uważa, że Halley mógł wykorzystać jakąś wcześniejszą wersję oktantu Newtona w czasie swojej pierwszej podróży oceanicznej (1698–1699). Z kolei Simpson (1981, s. 207) sądzi, iż Newton mógł przekazać swój oktant Halleyowi po jego powrocie z drugiej podróży dalekomorskiej w 1701 roku, a ten wykorzystał instrument w pracach nad kreśleniem mapy Kanału Angielskiego (*La Manche*).

między Newtonem a Halleyem, który – o czym nie można zapomnieć – był nie tylko astronomem i matematykiem, ale także nawigatorem i kapitanem marynarki jego królewskiej mości (Wilhelma III Orańskiego). W październiku 1698 roku Halley wyruszył na pokładzie HMS Paramore w podróż na wody Atlantyku m.in. w celu zbadania możliwości wyznaczenia długości geograficznej przy pomocy kompasu<sup>77</sup>. Wrócił 11 lipca następnego roku, zanim Newton, osiem dni później zapowiedział w Towarzystwie Królewskim ulepszenie „przyrządu Pana Halleya”<sup>78</sup>, którą to zapowiedź spełnił, wspomnianą powyżej swoją sierpniową prezentacją własnego przyrządu – oktantu odbiciowego z podwójnym zwierciadłem<sup>79</sup>. Słowa Newtona z tej prezentacji sugerowały także posługiwanie się przez Halleya jakimś przyrządem nawigacyjnym katadioptrycznym w czasie jego podróży.

Rzeczywiście 23 marca 1692 roku na posiedzeniu Towarzystwa Królewskiego Halley przedstawił własną propozycję instrumentu nawigacyjnego, wykorzystującego jedno zwierciadło oraz lunetkę obserwacyjną, celem wyznaczania szerokości geograficznej (*Of an Instrument for Observing at Sea*)<sup>80</sup>. Jest interesujące, że na tym samym posiedzeniu głos zabrał Robert Hooke twierdząc, że on „już dawno temu wynalazł przyrząd taki jak ten [Halleya – J.R.]”<sup>81</sup>. Sprawa jest dość zawiła pod względem technicznym i publikacyjnym, sięga jeszcze roku 1665 i w tym miejscu nie będziemy jej szerzej rozwijać<sup>82</sup>. Podobny zarzut ze strony Hooke’a, zresztą nie po raz pierwszy wobec Newtona, spotkał także zaprezentowany przez tego ostatniego w sierpniu 1699 roku oktant morski. Na kolejnym posiedzeniu Towarzystwa Królewskiego, 25 października, w podobnym stylu, jak w przypadku instrumentu Halleya, Hooke zapewniał, iż

<sup>77</sup> Zob. Cook 1998, ss. 273–274; Thrower 1981, ss. 66–67.

<sup>78</sup> Sloane’s Minutes, rkps 577, f. 18r.

<sup>79</sup> Nie posiadamy żadnej informacji co do dalszych losów przyrządu nawigacyjnego Newtona z 1699 roku.

<sup>80</sup> Nieopublikowana wcześniej treść wystąpienia Halleya znajduje się w: MacPike 1932, ss. 161–162; streszczenie tego wystąpienia jest zawarte w protokołach posiedzeń: tenże, s. 228. Z tego ostatniego wynika, iż przy pomocy swojego przyrządu angielski astronom i żeglarz mógł wyznaczać nie tylko szerokość, ale i długość geograficzną: „Pan Halley skonstruował wersję roboczą przyrządu (...), który odbijał jeden obiekt, obserwując inny bezpośrednio w tej samej lunecie”.

<sup>81</sup> Cyt. za: tamże, s. 161, przypis nr 1.

<sup>82</sup> Por. Bennett 2006, ss. 252–253.

wynalazł taki przyrząd ponad trzydzieści lat temu i zostało to odnotowane w spisanej już, wczesnej historii Towarzystwa<sup>83</sup>. Okres tworzenia przyrządów nawigacyjnych katadioptrycznych dopełniło w maju 1731 roku skonstruowanie nowego typu oktantu przez angielskiego matematyka i wynalazcę Johna Hadleya (1682–1744)<sup>84</sup>.

Swojej przygody z poszukiwaniem skutecznej metody wyznaczania długości geograficznej na morzu Newton nie zakończył w 1699 roku. W czerwcu 1714 roku, w reakcji na ostrą petycję kupców i żeglarzy brytyjskich, uformowała się przy Izbie Gmin komisja mająca na celu zbadanie tego palącego problemu nawigacyjnego. Jednym z ekspertów komisji został Newton. W przygotowanym przez siebie sprawozdaniu przedstawił on m.in. zalety i słabości dotychczasowych metod wyznaczania długości geograficznej na morzu (metodę sygnałów świetlnych, odległości księżycowych, wykorzystującej zaćmienie księżyców Jowisza i zegarową), podkreślając trudności w realizacji każdej z nich<sup>85</sup>. Sprawozdanie zawierało także propozycję ustanowienia nagrody za znalezienie skutecznej metody określania długości geograficznej oraz warunki jej przyznania<sup>86</sup>. Wkrótce została zatwierdzona przez królową Annę (1665–1714) ustawa o długości geograficznej (Longitude Act), a samemu Newtonowi przyszło, jako członkowi ustawowej komisji (Longitude Board), oceniać zarówno te interesujące, jak i te najbardziej dziwaczne sposoby na przezwyciężenie największej z bolączek żeglarskich tego czasu.

## 5. Prekursor napędu odrzutowego?

W ostatniej części niniejszego artykułu przyjrzymy się bliżej spotkaniu dojrzałej myśli naukowej Newtona, od kilku lat prezesa londyńskiego Towarzystwa Naukowego, z myślą jednego z najbardziej utalentowanych

---

<sup>83</sup> SM, MS 577, f. 20v. Na temat projektu przyrządu Hooke'a: Weller 1705, s. 557; Sprat 1667, s. 246.

<sup>84</sup> Hadley 1731.

<sup>85</sup> Zob. Sobel 1998, ss. 40–41; rękopisy Newtona dotyczące kwestii długości geograficznej: CUL, MS Add. 3972.

<sup>86</sup> Nagroda przewidywała sumę 20 tys. funtów za opracowanie metody określania długości geograficznej z dokładnością do pół stopnia kąтового, 15 tys. funtów za dokładność do dwóch trzecich stopnia i 10 tys. za dokładność do jednego stopnia.



inżynierów i wynalazców siedemnastego wieku – Francuza Denisa Papina (1647–ok. 1712)<sup>87</sup>. Do tego niebezpośredniego spotkania doszło w okresie intensywnych prac nad skonstruowaniem pompy parowej i silnika parowego, w którym oprócz Papina uczestniczył m.in. angielski inżynier wojskowy Thomas Savery (ok. 1650–1715), a już niedługo do tych, nie tylko wysiłków, ale i niewątpliwej rywalizacji dołączył także Thomas Newcomen (1663–1729). Zanim jednak zostanie przedstawione zderzenie prac Papina z opinią Newtona, zapoznamy się z krętą drogą, na której Papin dokładał wszelkich starań, aby skonstruować skutecznie działającą maszynę parową oraz zainteresować nią europejskie gremia uczonych i inżynierów.

Papin dziś pozostaje znany głównie dzięki konstrukcji kotła, zwanego od jego nazwiska kotłem Papina (współcześnie także autoklawem), zaopatrzonego w oryginalny zawór (kłapę) bezpieczeństwa (wynalazek z 1681 roku). Podobnie jak to, również inne jego rozwiązania konstrukcyjne i wynalazki opierały się na zjawiskach związanych z zachowaniem się pary wodnej w różnych warunkach fizycznych i technicznych. W szczególności Papin uważany jest współcześnie za jednego z protoplastów prac nad silnikiem parowym, choć po dziś dzień nie ma jednoznacznych opinii co do zakresu jego wkładu do tego wynalazku<sup>88</sup>. Nie mniej jednak, jak się wydaje, jako pierwszy dał on podstawy teoretyczne i zbudował pionierski wariant tłokowego silnika atmosferycznego w pracach zwieńczonych publikacją z 1690 roku<sup>89</sup>.

Zainteresowanie głównie zjawiskami pneumatycznymi Papin wyniósł z okresu współpracy, najpierw z Christiaanem Huygensem (1629–1695) w Paryżu (lata 1671–1675), potem w Londynie z Robertem Boylem, uczestnicząc wraz z Robertem Hookiem w pracach nad budową pompy próżniowej. Przez Huygensa Papin poznał Leibniza, z którym utrzymywał żywy kontakt do końca swego życia<sup>90</sup>. W 1698 roku, nakłoniony

---

<sup>87</sup> Na temat nieuprawnionego (mityzującego) przypisywania Newtonowi wynalazku pojazdu napędzanego wyrzutem pary wodnej w literaturze popularnej i naukowej dziewiętnastego wieku, zob. Rodzeń 2018.

<sup>88</sup> McConnell 2004, ss. 597–599; de la Saussaye, Péan 1869. Na uwagę zasługuje brak możliwie wyczerpującej współczesnej anglojęzycznej biografii naukowej Papina.

<sup>89</sup> Papin 1690, ss. 410–414; tenże, 1695, ss. 51–65.

<sup>90</sup> Znana jest długoletnia korespondencja między Leibnizem a Papinem; zob. Gerland 1881; Ranea 1993.

przez swojego protektora – landgrafa Hesji Karola I (1654–1730)<sup>91</sup>, Papin rozpoczął w Kassel prace nad nowym rodzajem silnika parowego, a właściwie beztłokowej pompy ssącej. W odróżnieniu od poprzedniej maszyny, w której tłok w cylindrze był wprawiany w ruch przez ciśnienie atmosferyczne, druga maszyna Papina była o wiele bardziej skomplikowana mechanicznie i wykorzystywała wysokie ciśnienie rozprężającej się pary<sup>92</sup>. W tym samym czasie, ale niezależnie od francuskiego konstruktora, swoje własne prace nad silnikiem, również beztłokowym, prowadził Thomas Savery. Swoją pompę opatentował on w roku 1698, a cztery lata później wydał popularyzującą ją książkę zatytułowaną *The Minner's Friend*<sup>93</sup>.

W odróżnieniu od Savery'ego Papin nie opatentował własnego wariantu pompy parowej, a jedynie przedstawił ją w wydanych w 1707 roku dwóch wersjach książki, francusko- i łacińskojęzycznej<sup>94</sup>. Jeszcze przed jej publikacją przesłał próbne kopie Leibnizowi, od którego w odpowiedzi otrzymał entuzjastyczny list<sup>95</sup>. Z kolei w kwietniu 1707 roku łacińskojęzyczny egzemplarz przesłał do londyńskiego Towarzystwa Naukowego, któremu tę książkę dedykował.

Chcąc dowieść praktycznych walorów nowego silnika-pompy parowej, Papin postanowił zrealizować swoje dawne marzenie inżynierskie, projektując oparty na nim statek napędzany parą wodną<sup>96</sup>. Podczas pobytu w Kassel zbudował nieduży model łodzi poruszanej kołem lub kołami zaopatrzonymi w łopatki na wzór wiosel<sup>97</sup>. Nad powierzchnią

---

<sup>91</sup> Jako hugenota Papin musiał opuścić Francję po odwołaniu przez króla Ludwika XIV w roku 1685 tzw. edyktu nantejskiego, gwarantującego protestantom wolność wyznania i kultu.

<sup>92</sup> Por. Smith 1998, s. 141.

<sup>93</sup> Savery 1702; zob. także: Johnson 2018, s. 224.

<sup>94</sup> Papin 1707a; Papin 1707b.

<sup>95</sup> List Leibniza do Papina z 4 lutego 1707 roku; Gerland 1881, ss. 372–376; por. Smith 1998, s. 142.

<sup>96</sup> Podobnym pomysłem Papin podzielił się już na łamach „Acta Eruditorum” w 1690 roku. Pisał wtedy o sile [ognia, czyli ogrzanej pary wodnej – J.R.] „do poruszania statków pod wiatr” (*navei ad verso vento provehendae*); Papin 1690, s. 412.

<sup>97</sup> Niestety w źródłach nie ma wyraźnych wskazówek co do samych kół łopatkowych, ich liczby i lokalizacji w konstrukcji statku. Ponieważ w przypadku idei łodzi parowej z 1690 roku Papin miał wzorować się na „statku konnym” (*horseboat*), a więc napędzanym siłą mięśni koni, urzeczywistnionym ok. 1680 roku na Tamizie przez księcia Ruperta Reńskiego (1619–1682) oraz wykorzystać przekładnię liniową przekazującą

wody łopatką były wprawiane w ruch obrotowy przez silny strumień wody z pompy. We wrześniu 1707 roku francuski inżynier zwodował swoją łódź na rzece Fulda. Papin postanowił dopłynąć nią najpierw do Hanoweru, a jeśli to by było możliwe, do samej Anglii, by stanąć ze swoim wynalazkiem przed obliczem królowej Anny. Dopłynął Fuldą jedynie do rzeki Wezery i miasteczka Münden, gdzie jednak nie uzyskał zgody od tamtejszych władz (mimo interwencji Leibniza) na dalszą podróż do Hanoweru, a jego łódź została zdemontowana przez przewoźników rzecznych<sup>98</sup>.

Niezrażony przeciwnościami losu, Papin postanowił osobiście udać się do Londynu i tam próbować przekonać do swojego projektu parostatku Towarzystwo Królewskie. W tym celu wystosował do tego gremium pisemną propozycję odczytaną 11 lutego 1708 roku, która przedstawiała zarys projektu pompy i statku, a także prośbę o pomoc finansową na jego realizację<sup>99</sup>. Po niecałym miesiącu, 17 marca, Towarzystwo Królewskie przedstawiło opinię i zarazem odpowiedź na propozycję Papina, sformułowaną przez samego prezesa Towarzystwa Królewskiego – Isaaca Newtona. Świadczyło to o przypisaniu przez członków Towarzystwa autorowi *Zasad* wyjątkowych kompetencji oraz o wielkim szacunku, jakim go darzono<sup>100</sup>. A oto pełny zapis opinii Newtona:

Jeśli pompa zaproponowana przez dra Papina potrafi wyrzucić w powietrze każdej minuty 400 funtów [ok. 180 kg – J.R.] wody z szybkością 128 stóp paryskich [ok. 40 m] na sekundę, jej strumień osiągnie wysokość 100 jardów [ok. 90 m] lub 200 jardów w poziomie, a zrobi to 30 razy na minutę. Czy jest to wykonalne, może zdecydować tylko

---

napęd z tłoków na oś z kołami, te ostatnie przypuszczalnie mogły być umieszczone przy obu burtach (rodzaj statku bocznokołowego); por. tamże, s. 413; zob. także: Crisman, Cohn 1998, s. 10. W przypadku rozwiązania z 1707 roku bardziej naturalnym, ze względu na wysoki strumień pompowanej wody, było zainstalowanie koła tylnego (rodzaj tylnokołowca).

<sup>98</sup> Zob. List Papina do Leibniza z 15 września 1707 roku; Gerland 1881, ss. 383–384.

<sup>99</sup> Royal Society Archive (dalej cyt. RSA), CLP/18i/66; zob. także: SM, MS 579, f. 1v.

<sup>100</sup> Newton jako prezes Towarzystwa mógł wybrać na autora opinii o silniku Papina na przykład takich ówczesnych inżynierów i eksperymentalistów jak John Keil (1632–1721), Christopher Wren (1632–1723) czy Edward Barlow (1639–1719). Hall (1985, s. 26) pisze, że Newton został osobiście poproszony o opinię przez członków Towarzystwa.

eksperyment, o ile to się uda. Nie uważam jednak, by taka pompa mogła zostać z powodzeniem wykorzystana w wielu sytuacjach, takich jak: sztuczne fontanny, odwadnianie rowów, mokradel, kopalń etc., (...) a także do poruszania statków i galer za pomocą odrzutu silnika (*the recoil of the engine*) i odpowiednio zastosowanej siły strumienia. Ale moc i sposoby wykorzystania silnika (*engine*<sup>101</sup>) muszą być stopniowo poznane, najpierw na drodze najprostszycy oraz najtańszycy eksperymentów i rozumowania z tych eksperymentów<sup>102</sup>.

Opinia Newtona w sprawie projektu Papina nie wydaje się jednoznaczna i jest poniekąd dyplomatyczna. Z jednej strony autor *Zasad* wypowiedział się sceptycznie co do jego potencjalnych zastosowań. Uniknął także nawiązania do konkurencyjnego rozwiązania swojego rodaka Savery'ego i niczego, jako prezes Towarzystwa Królewskiego, nie obiecał w kwestii ewentualnego finansowego wsparcia prac francuskiego inżyniera<sup>103</sup>. Z drugiej jednak strony zachęcił Papina do dalszych wysiłków nad eksperymentalnym testowaniem jego urządzenia. Przy okazji, co warto podkreślić, Newton wykazał się dobrą znajomością techniki i możliwych zastosowań maszyn parowych.

W opinii przygotowanej przez Newtona był jeszcze jeden element, który może wzbudzić szczególne zainteresowanie. Zwrócił na niego

---

<sup>101</sup> Nazwa angielska *engine* pojawiła się około połowy XVII wieku na oznaczenie urządzeń mechanicznych składających się z wielu współpracujących ze sobą elementów; por. Cresswell 2010, s. 150.

<sup>102</sup> RSA, RBO/9/63; zob. także: SM, MS 579, f. 2r.

<sup>103</sup> Należy pamiętać, że opinia Newtona powstała w okresie intensywnych prac nad różnymi wariantami silnika parowego, które były zazwyczaj obwarowane przepisami patentowymi, jak choćby konstrukcja Savery'ego z 1698 roku. Z drugiej strony Newton i członkowie Towarzystwa Królewskiego mogli mieć już pewną wiedzę na temat prac Thomasa Newcomena uwieńczonych pierwszym sukcesem cztery lata po oficjalnej propozycji Papina. Stąd możliwy dystans prezesa Towarzystwa wobec niej. Do tego mogły dojść możliwe względy osobiste, w tym uprzedzenia samego Newtona. Papin był ściśle związany towarzysko zarówno z Huygensem, jak i Leibnizem. Tymczasem relacje autora *Zasad* zwłaszcza z tym drugim uczonym, w perspektywie świeżego sporu między nimi o pierwszeństwo w odkryciu rachunku różniczkowego i całkowego (*calculus*), były w omawianym okresie niezbyt dobre. Zob. także: Bottomley 2014, s. 231 i nast.; Smith 1998, s. 143.

uwagę A. Rupert Hall. Angielski historyk stwierdził, iż niezależnie od innych, wspomnianych powyżej składowych wypowiedzi autora *Zasad*, jest prawdopodobne, że on sam błędnie zinterpretował zasadę działania napędu parostatku Papina. Co więcej, jednocześnie wprowadził do obiegu myślowego ideę napędu odrzutowego w formie ruchu statku pod wpływem działania przeciwległej siły wyrzutu pompowanej wody<sup>104</sup>. Tymczasem w rozwiązaniu Papina chodziło o skierowanie wysokiego strumienia pompowanej wody na koło lopatkowe.

Jak zauważył Hall, idea budowy statku napędzanego siłą wyrzutu strumienia pompowanej przez silnik parowy wody (prawdopodobnie typu Newcomena) została faktycznie zrealizowana przez amerykańskiego inżyniera Jamesa Rumseya (1743–1792) w 1787 roku na rzece Potomak w miasteczku Sheperdstown (dzisiejszy stan Wirginia Zachodnia)<sup>105</sup>. Hall nie wyjaśnił jednak ściśle sposobu wyrzutu wody, którego użył Rumsey. W rzeczywistości nie był to wyrzut napowietrzny z rufy statku, lecz z dolnej podwodnej części burty dzięki specjalnemu systemowi klap i otworowi umieszczonemu przed pletwą steru<sup>106</sup>. Nie zmienia to wymowy opinii Newtona w tej warstwie, w której angielski uczony, mylnie interpretując zasadę napędu parostatku Papina, wyraził jednocześnie stosunkowo prostą ideę techniki napędu odrzutowego<sup>107</sup>.

## 6. U źródeł zainteresowań inżynierskich Newtona

Tytuł ostatniej części tego artykułu zakłada rozważenie motywów, które powodowały Isaakiem Newtonem w czynnym zajmowaniu się problematyką inżynierską, co więcej prowadzącą do tworzenia określonych rozwiązań technicznych. Należy od razu zaważyć, że choć autor

---

<sup>104</sup> Chodzi o fragment opinii Newtona, który brzmi: „za pomocą odrzutu silnika (*the recoil of the engine*) i odpowiednio zastosowanej siły strumienia?”. Por. Hall 1985, s. 27.

<sup>105</sup> Tamże. Por. także: Sutcliffe 2004.

<sup>106</sup> Rumsey 1788.

<sup>107</sup> Technika ta w istocie była przykładem jednej z trzech zasad dynamiki, sformułowanych przez samego Newtona, zwanej także trzecią zasadą dynamiki albo zasadą akcji – reakcji. Dla jej zilustrowania w *Zasadach* angielski uczony posługiwał się względnie prostymi przykładami mechanicznymi zderzenia kul różnej wielkości, a także oddziaływania kół w mechanizmie zegarowym i ruchomych części w maszynach (Newton 2011, ss. 197–198, 209). Ani razu nie sięgnął jednak po jakikolwiek przykład ze strumieniem wyrzucanej wody lub gazu.

*Zasad* nigdzie w swoich pismach, a nawet wspomnieniach zgromadzonych przez pamiętnikarzy (takich jak Stukeley czy Conduitt), nie ujawnił nam jakiegś nadrzędnej motywacji dla swoich zainteresowań inżynierskich, w przypadku niemal każdego pojedynczego takiego zaangażowania podał mniej lub bardziej rozbudowane wyjaśnienie jego podjęcia, najczęściej wymieniając powody techniczne lub teoretyczno-naukowe. Rozwiązania techniczno-inżynierskie zwykle wychodziły naprzeciw także określonym potrzebom społecznym.

Jak widzieliśmy powyżej, Newton przystąpił w 1668 roku do budowy swojego pierwszego teleskopu zwierciadłowego, uznając za nieprzynoszące oczekiwanego skutku (wycelowania wady aberracji chromatycznej) szlifowanie soczewek teleskopowych niesferycznych. Istotny wpływ na porzucenie przez autora *Zasad* nadziei na udoskonalenie teleskopu soczewkowego miało dokonane przez niego odkrycie złożonej struktury światła. Jakkolwiek Newton wykorzystywał budowę kolejnych egzemplarzy teleskopu zwierciadłowego do propagowania swojej teorii światła, praktyczny sukces tego wariantu teleskopu był uznawany, w szczególności w środowisku Towarzystwa Naukowego, przede wszystkim jako wynalazek techniczny (skrócenie długości w stosunku do rozmiarów tradycyjnego teleskopu soczewkowego). Z drugiej strony, nowy teleskop zwierciadłowy nie był urządzeniem do praktycznego wykorzystania w życiu codziennym, lecz pomocą w prowadzeniu obserwacji astronomicznych.

Nieco inaczej przedstawia się wynalazek oktantu morskiego. Był to, o czym często zapominają historycy nauki, wynalazek w pełnym tego słowa znaczeniu, głównie ze względu na wprowadzone przez Newtona całkowicie oryginalne rozwiązanie układu optyczno-pomiarowego z zastosowaniem podwójnego zwierciadła. Poza tym, podobnie jak w przypadku teleskopu zwierciadłowego, oktant nie był jedynie projektem, lecz działającym skutecznie urządzeniem obserwacyjno-pomiarowym. Jego skonstruowanie przez Newtona było podyktowane głównie praktycznymi potrzebami nawigacyjnymi żeglarzy, w szczególności chęcią pomocy w rozwiązaniu dalekosiężnego problemu wyznaczania długości geograficznej na morzu. Dla samego Newtona, a także dla Halleya, nowy precyzyjny przyrząd do pomiarów astrometrycznych miał także być użyteczny na drodze do stworzenia poprawnej teorii ruchu Księżyca.

W przypadku okazjonalnego zaangażowania się Newtona w ocenę rozwiązania technicznego z zakresu działania maszyn parowych oraz napędu pojazdów mieliśmy do czynienia ze zgoła inną sytuacją. Wydał

on opinię dotyczącą rozwiązania zaproponowanego przez Denisa Papi- na przede wszystkim jako prezes Towarzystwa Naukowego, który kierował się w niej nie tylko osobistymi predylekcjami (zakresem wiedzy w temacie silników parowych, stosunkiem do osoby związanej ze środowiskiem jego konkurentów naukowych – tzn. Huygensa i Leibniza), ale także priorytetami i interesami stojącymi za kręgami Towarzystwa Królewskiego, grupami angielskich przedsiębiorców i handlowców. Samo Towarzystwo Królewskie nie było grupą mędrców i teoretyków, lecz głównie praktyków (w większości lekarzy, astronomów), a także wpływowych amatorów. Zgodnie z horacjańskim zawołaniem *nullius in verba*, jego celem było przede wszystkim poszukiwanie sposobów wykorzystania osiągnięć szeroko pojętej filozofii przyrody w praktyce przysparzającej pożytku rodzimej gospodarce i dobrobytowi Królestwa. Tym priorytetem musiał (i chciał) sprostać także Newton.

W związku z tymi przykładami (bardziej spektakularnymi, gdyż przykładów, jak już o tym wspomniano we wstępie, jest więcej), nasuwa się także pytanie o pobudki tej nieprzypadkowej tendencji w wielotematycznej działalności Newtona do angażowania się w projekty inżynierskie. Jak się wydaje, pewne impulsy do rozwinięcia pełniejszej odpowiedzi na to pytanie daje nam włoski historyk nauki Niccolò Guicciardini w swoim przekrojowym opracowaniu dziejów działalności i dokonań autora *Zasad* zatytułowanym *Isaac Newton and Natural Philosophy*. Poszukując wspólnego mianownika dla większości przedsięwzięć badawczych angielskiego uczonego (od matematyki i alchemii po historię i teologię) Guicciardini sugeruje spojrzenie na niego, z jednej strony jako kogoś w rodzaju „rozwiązywacza” problemów (*a problem solver*), z drugiej – jako człowieka bliskiego w swoich zainteresowaniach przedstawicielom grupy społecznej, nazywanej w historiografii nauki matematykami praktykami (*mathematical practitioners*).

Na początku swojej pracy Guicciardini zauważa, iż

zbyt często patrzymy na Newtona jako filozofa przyrody, którego myśl unosi się wysoko ponad potrzebami ludzkości, a nie doceniamy, jak poważnie traktował praktyczne potrzeby świata tzw. „matematyków praktyków”, takich jak mierniczowie czy geometrzy<sup>108</sup>.

<sup>108</sup> Guicciardini 2018, s. 47; por. także: Iliffe, Smith 2016, s. 30.

A pod koniec konkluduje:

[Newton – J.R.] był przede wszystkim rozwiązywaczem problemów, dumnym z tak skutecznego posługiwania się technikami matematycznymi, alchemicznymi oraz z zakresu hermeneutyki biblijnej. (...) Jego postawa (...) bierze się (...) z dumy przynależności do wysoce wyspecjalizowanych cechów praktyków (...) <sup>109</sup>.

Neologiczne wyrażenie „rozwiązywacz problemów” jest w znacznej mierze jasne i zdaje się mieć pełne pokrycie w wymienionych wyżej i omówionych przykładach konstruowania przez Newtona określonych przyrządów obserwacyjnych i pomiarowych, a także w ocenie rozwiązań technicznych (przypadek silnika parowego Papina). Jak widzieliśmy proponowane przez angielskiego uczonego rozwiązania były również odpowiedzią na potrzeby określonych grup społecznych (astronomów, navigatorów, inżynierów pracujących nad doskonaleniem środków transportu). Pewne zdziwienie może jednak budzić dość uproszczone określenie autora *Zasad* jako *jedynie* „rozwiązywacza problemów”, niezaopatrzone przez Guicciardiniego w uwagę, że Newton nie był bynajmniej zwykłym „rozwiązywaczem”, ale w porównaniu do jemu współczesnych, a także rzesz przyszłych matematyków i fizyków, był „rozwiązywaczem” wyjątkowo wybitnym, żeby nie powiedzieć genialnym.

W przypadku skonfrontowania przez Guicciardiniego działalności Newtona z ruchem matematyków praktyków należy się jednak kilka precyzujących uwag. Pojęcie „matematyków praktyków” spopularyzowała w latach 50. dwudziestego wieku angielska historyczka nauki i techniki Eva G.R. Taylor (1879–1966). Obejmowała nim (a za nią także dzisiejsza historiografia) stosunkowo szeroką, działającą w szesnastym wieku i na początku siedemnastego, grupę społeczną (różną od rzemieślników) przedstawicieli takich fachów, jak: mierniczowie, navigatorzy, astronomowie, artylerzyści, budowniczowie fortyfikacji itd. Charakterystyczną cechą tych fachów było posługiwanie się określoną, nierzadko zaawansowaną, wiedzą matematyczną do celów praktycznych. Warto dodać, że sama Taylor, przypusz-

---

<sup>109</sup> Tamże, ss. 229–230.



czalnie jako pierwsza<sup>110</sup>, zaliczyła Newtona do grona matematyków praktyków<sup>111</sup>.

Należy jednak zauważyć, iż Newton nie był w żadnym z powyższych tego słowa znaczeń matematykiem praktykiem (w ówczesnym rozumieniu społecznym), gdyż piastował Katedrę Matematyki Lucasa na Uniwersytecie w Cambridge<sup>112</sup>, nie ubiegał się o uzyskanie patentów na swoje wynalazki, a także nie pobierał za prace inżynierskie (raczej okazjonalne aniżeli systematyczne) wynagrodzenia. Tak więc tezę Taylor-Guicciardiniego o „przynależności [Newtona – J.R.] do wysoce wyspecjalizowanych cechów praktyków” nie można uznać za dostatecznie uzasadnioną. Niemniej jednak otwarta pozostaje nadal droga do ewentualnej odpowiedzi na pytanie: jak wytłumaczyć aktywność techniczną autora *Opłyki*, w szczególności na polu budowy oryginalnych przyrządów w obliczu, jak się wydaje, dominujących w jego przypadku dążeń do opracowaniu zmatematyzowanych koncepcji i teorii dotyczących określonych aspektów przyrody.

Zanim zostanie zaproponowana hipotetyczna odpowiedź na tak postawione pytanie, wypada zwięźle, co oczywiście nie jest sprawą łatwą, zarysować mocno osadzone w realiach historycznych XVI i XVII wieku, możliwe relacje łączące (bądź dzielące) europejskie dziedzictwo techniczno-inżynierskie z przełomowymi dla rozwoju późniejszych nauk ścisłych (w tym zwłaszcza fizyki i astronomii) teoretycznymi ujęciami przyrody. Jednocześnie mówiąc o tych relacjach warto wziąć na serio, jak się wydaje, trafne spostrzeżenie i zarazem przestrożę Alexandra Kellera, aby nie używać przy tym anachronicznych dla XV i XVI wieku

---

<sup>110</sup> Pod koniec XVIII wieku ukazała się praca Johna Sabine’a *The Practical Mathematician* (Sabine 1799), która zawiera m.in. odniesienie do obliczeń opartych na dwumianie Newtona (ss. 143–144). Książka jest dość obszernym poradnikiem, pomagającym w praktycznym wykorzystaniu matematyki, np. w miernictwie, astronomii, nawigacji, rzemiośle. Nie jest ona cytowana w pracach Taylor.

<sup>111</sup> Taylor 1954, s. 251; Cormack 2017, s. 3. Omawiając w swojej książce działalność siedemnastowiecznego angielskiego matematyka praktyka Jonasa Moore’a (1617–1679), mierniczego i Mistrza Artylerii, Frances Wilmoth krótko nawiązuje do sposobu uprawiania matematyki (i publikowania jej wyników) przez Newtona. Nie zalicza go jednak do matematyków praktyków. Por. Wilmoth 1993, ss. 9–10.

<sup>112</sup> Funkcję tę pełnił faktycznie do roku 1696, w którym objął urząd nadzorcy Mennicy Królewskiej w Londynie, formalnie jeszcze kilka lat dłużej, do roku 1702. Od tego momentu na Katedrze Lucasa zasiadał William Whiston (1667–1752).

terminów „nauka” (*science*) i „technika/technologia” (*technology*), „lecz [mówić – J.R.] raczej o matematyce i umiejętnościach praktycznych/rzemiośle (*arts*)”<sup>113</sup>.

Zdaniem autora niniejszego artykułu powyższe rozróżnienie Kellera odnosi się w znacznej mierze również do wieku XVII, nie przesądzając zarazem o kolejnych, późniejszych dziesięcioleciach, które jednak nie są w tym miejscu przedmiotem zainteresowania. Należy wszakże pamiętać, iż w XVII wieku nie ma jeszcze, bliskiej naszym czasom, perspektywy (trzech kolejnych wieków!) skutecznie przemawiającej za sukcesami matematyki w rozwijaniu owocnych teorii przyrodniczych. Pierwsze poważniejsze próby takich ujęć autorstwa Galileusza, C. Huygensa czy wreszcie przełomowe (choć dopiero z późniejszego punktu widzenia!) prace samego Newtona<sup>114</sup> były co prawda po ich ogłoszeniu traktowane głównie jako interesujące koncepcje matematyczne, a ostatni z wymienionych autorów nadal im nawet status zasad nowej filozofii przyrody, w instytucjach ówczesnej „oficjalnej wiedzy” o przyrodzie, czyli w uniwersytetach, jeszcze przez długie dziesięciolecia będzie królować „Fizyka” Arystotelesa<sup>115</sup>.

Wiek XV i XVI, na co wskazuje w swoich pracach Keller, przyniosły niespotykaną w wiekach wcześniejszych ekspansję kulturową racjonalności matematycznej (autor ten nazywa omawiany przez siebie proces „rewolucją matematyczną”)<sup>116</sup>. Nie obejmowała ona jeszcze w znaczącym stopniu świata przyrody, lecz głównie świat szeroko pojętego rzemiosła i inżynierii, od sztuki artylerii i fortyfikacji, zegarmistrzostwa, nawigacji morskiej i kartografii, miernictwa, budowy maszyn po wytwórczość przyrządów pomiarowych tzw. matematycznych. W okresie renesansu umiejętności te były dynamicznie rozwijane jako gwarancja

---

<sup>113</sup> Keller 1985, s. 348.

<sup>114</sup> Nie odnosimy się tutaj w szczególności do jeszcze embrionalnych, po części zmatematyzowanych koncepcji przyrodniczych, których autorami byli uczeni średnio-wieczni i renesansowi.

<sup>115</sup> Należy jednocześnie pamiętać, że od około połowy XVII wieku w części europejskich ośrodków akademickich (głównie w kręgach frankofońskich), „zasiedziały” od wieków arystotelizm i scholastykę próbuje wypierać kartezjańska filozofia przyrody. O niesłabnącej popularności filozofii przyrody Arystotelesa także w późniejszym okresie świadczy wciąż znaczna liczba cytowań jego prac w dziełach fizycznych z lat 50. XVIII wieku; por. Wróblewski 2000, ss. 68; 70.

<sup>116</sup> Por. Keller 1984, ss. 162–163; 1985, s. 349.

sukcesu ekonomicznego i militarnego danego państwa, a ich najwybitniejsi przedstawiciele służyli na dworach władców jako doradcy i konsultanci<sup>117</sup>. Wydana w 1537 roku *La Nova Scientia* Niccolò Fontany Tartaglii (ok. 1500–1557) nie była pracą poświęconą dynamice teoretycznej, lecz matematycznym zasadom sztuki artylerii<sup>118</sup>. Prace Roberta Recorde’a (ok. 1510–1558) i Petrusa Ramusa (1515–1572) nie zachęcały jedynie do roztrząsania abstrakcyjnych subtelności *Elementów* Euklidesa, ale do wykorzystania geometrii w udoskonalaniu umiejętności praktycznych<sup>119</sup>.

Powyższe, niezwykle zwarte, nawiązanie do fenomenu matematyzacji sztuk praktycznych w przededniu pojawienia się postaci Isaaca Newtona i jego dalekosiężnych prac, nie ma bynajmniej na celu usilne wtłoczenie jego dokonań, w szczególności na polu projektów inżynierskich (m.in. budowy przyrządów optycznych, nawigacyjnych), w ramy praktycznych zaangażowań oddziedziczonych po wiekach wcześniejszych i kultywowanych w ówczesnej Europie i Anglii XVII wieku. Nie mniej jednak, jak się wydaje, w przypadku angielskiego uczonego należy się liczyć z inspiracją czerpaną także z tej tradycji w procesie tworzenia nie tylko projektów instrumentalnych, ale także teoretycznych. Elementem jednoczącym obydwu rodzaje tych projektów była niewątpliwie u Newtona matematyka i jej skuteczność w osiąganiu zamierzonych celów (niezawodność i dokładność techniczna w przypadku urządzeń oraz ścisłość ujęć wraz z możliwością predykcji w przypadku teorii)<sup>120</sup>. Jego swoistą filozofię

---

<sup>117</sup> Zob. Crombie 1994, s. 44. Autor ten uważa, że wymienione powyżej sztuki (umiejętności) mechaniczno-matematyczne (*artes mechanicae*) z późniejszymi zmatematyzowanymi naukami fizycznymi łączy nie tylko racjonalność matematyczna, ale także potrzeba eksperymentowania.

<sup>118</sup> We współczesnej historiografii nauki istniała i do pewnego stopnia nadal istnieje dwoistość interpretacji znaczenia dla wiedzy o przyrodzie i inżynierii dzieła Tartaglii. Z jednej strony tacy badacze jak A. Koyrè (1960) widzieli w nim prekursora ujęć Galileusza i Newtona z zakresu dynamiki. Inni, dowartościowujący znaczenie wiedzy praktycznej i sztuki artyleryjskiej, dostrzegali z kolei wzrastające znaczenie w okresie renesansu matematyzacji inżynierii, żeby nie powiedzieć matematyzacji sztuki wojennej (por. np. Cuomo 1998).

<sup>119</sup> Zob. Bennett 1986, s. 11; Hooykaas 1958.

<sup>120</sup> Nie można także zapomnieć w przypadku autora *Zasad* o uznaniu przez niego niezbędności, zarówno w sferze zainteresowań budowanymi przyrządami, jak i na polu tworzenia teorii różnych aspektów przyrody, określonych form eksperymentowania. Początków eksperymentowania z urządzeniami technicznymi można doszukiwać się

matematyzacji można odnaleźć zarówno w nawiązaniu do matematyczno-inżynierskich dokonań szkoły aleksandryjskiej (zwłaszcza Herona i Pappusa)<sup>121</sup>, jak i kartezjańskiego (a później leibnizjańskiego) zrównania statusu ontycznego przyrody i urządzeń tworzonych przez człowieka (mechanizmy, automaty)<sup>122</sup>.

Można więc sądzić, iż kwestia zainteresowań technicznych Newtona, bez zaliczania go do określonej grupy społecznej matematyków praktyków, nie jest wyłącznie sprawą nowych faktów historycznych, ale także określonej i oczywiście pojmowanej racjonalno-krytycznie interpretacji historycznej, biorącej poważnie pod uwagę kontekst uwarunkowań rozwoju wiedzy w XVII wieku, z jednoczesnym unikaniem prezentystycznego spojrzenia przez okulary późniejszych sukcesów matematyki i fizyki. Swoje zainteresowania sztuką projektowania inżynierskiego, niewątpliwie nawiązującego również do młodzieńczych pasji za zakresu „magii matematycznej”, Isaac Newton (podobnie zresztą jak w tym samym wieku Kartezjusz, C. Huygens, czy Leibniz<sup>123</sup>) łączył z dążeniami do projektowania ogólnych ujęć teoretycznych przyrody. Można sądzić także, że były to niejako dwa aspekty podejmowanych przez niego przedsięwzięć badawczych, a może wyraz wspomnianych na początku tej pracy, również dwóch, a nawet więcej obliczy wielkiego angielskiego uczonego.

---

już w okresie jego młodzieńczych fascynacji magią matematyczną, pracami Wilkina i Bate'a oraz konstruowaniem zabawek mechanicznych.

<sup>121</sup> Por. Newton 2011, s. 175; Guicciardini 2009, ss. 296–297.

<sup>122</sup> Zacieranie różnic między tym, co naturalne (przyrodnicze), a tym, co sztuczne (m.in. wytwory rzemiosła) obok idei zacierania różnic między zjawiskami w sferze pod- i nadksiężycowej, charakterystyczne dla XVII wieku (obserwacje astronomiczne Galileusza, prawo powszechnego ciężenia Newtona), jest również rodzajem ogólniejszych przedzałożeń filozoficznych, które stymulowały rozwój nowych form wiedzy i metod ich pozyskiwania w okresie powstania nowożytnych nauk matematyczno-empirycznych. Na temat zrównania statusu przyrody i wytworów rzemiosła, zob. Descartes 1988, s. 65; Leibniz 1995, s. 22. Por. także: Rossi 1978, ss. 160–170; Crombie 1994, ss. 41 i nast.; Shapin 2000, s. 36; Rodzeń 2019, s. 667.

<sup>123</sup> Zakres urządzeń mechanicznych i pneumatycznych, w tym automatów projektowanych przez Leibniza, był o wiele szerszy, aniżeli w przypadku przyrządów budowanych przez Newtona. Leibniz, podobnie jak autor *Zasad*, rozważał również budowę *perpetuum mobile*, by w końcu odrzucić możliwość jego pomyślanej realizacji, zob. Hecht, Gottschalk 2018; Lenzen 2018.

## 7. Podziękowania

Za uwagi pozwalające ulepszyć tekst niniejszego artykułu jego autor wyraża szczerze podziękowania obydwu Recenzentom oraz prof. Michałowi Kokowskiemu.

## Bibliografia

### ŹRÓDŁA ARCHIWALNE

- Cambridge University Library, Cambridge, UK (dalej cyt. CUL). *Papers on Finding the Longitude at Sea* [1697–1725] sygn. MS Add. 3972. Dostęp online (14.10.2019): <https://cudl.lib.cam.ac.uk/view/MS-ADD-03972/1>.
- CUL. *Trinity College Notebook (Quaestiones quaedam Philosophiae)* [ok. 1661–1665] sygn. MS Add. 3996. Dostęp online (14.10.2019): <https://cudl.lib.cam.ac.uk/view/MS-ADD-03996/179>.
- CUL. *College Notebook* [ok. 1664–1665] sygn. MS Add. 4000. Dostęp online (14.10.2019): <https://cudl.lib.cam.ac.uk/view/MS-ADD-04000/1>.
- CUL. *Newton's Waste Book* [ok. 1664–ok. 1685] MS Add. 4004. Dostęp online (14.10.2019): <https://cudl.lib.cam.ac.uk/view/MS-ADD-04004/1>.
- King's College, Cambridge, UK. *Keynes* [William Stukeley's memoir of Newton, sent to Richard Mead in four installments (26 June to 22 July 1727)] sygn. MS 136.03; sygn. MS 130.07.
- Pierpont Morgan Library, New York, USA. *Sir Isaac Newton's Pocket Memorandum Book* [1659–ok.1664] sygn. MA 318. Dostęp online (14.10.2019): <https://www.themorgan.org/collection/isaac-newton/memorandum-book>.
- Royal Society Archive, London, UK (dalej cyt. RSA). *Sir Hans Sloane's Minutes Books of the Royal Society Meetings, 1699–1702; 1707–1711* sygn. MS 577; MS 579. Dostęp online (14.10.2019): <http://ttp.royalsociety.org/ttp/ttp.html?id=dff-3463f-0894-43ba-bfe4-f994ce7989a4&type=book>.
- RSA. *Classified Papers* [„Proposals to make an 80 tun ship made by Denis Papin” (odczytane w Royal Society 11 lutego 1707)] sygn. Cl.P/18i/66.
- RSA. *Register Book Original* [„Isaac Newton's opinion of Denis Papin's proposals for making a water-raising engine” (odczytane w Royal Society 17 marca 1708 roku)] sygn. RBO/9/110.
- The Newton Project* (red. Rob Iliffe; Scott Mandelbrote). Faculty of History, Oxford, UK. Dostęp online (14.10.2019): <http://www.newtonproject.ox.ac.uk>.

*The Chymistry of Isaac Newton* (red. William R. Newman). Indiana University, Bloomington, USA. Dostęp online (14.10.2019): <https://webapp1.dlib.indiana.edu/newton/>.

*The Newton Project Canada* (red. S. Snobelen). University of King's College, Halifax, Nova Scotia, Canada. Dostęp online (14.10.2019): <https://isaacnewton.ca/>.

### ŹRÓDŁA DRUKOWANE

Bate, John 1634: *Mysteries of Nature and Art*. London: Ralph Mabb. Dostęp online (14.10.2019): <http://www.gutenberg.org/ebooks/47837>.

Burton, Robert 1924: *The anatomy of melancholy*. London: Chatto & Windus. Dostęp online (14.10.2019): [https://openlibrary.org/books/OL27011637M/The\\_anatomy\\_of\\_melancholy](https://openlibrary.org/books/OL27011637M/The_anatomy_of_melancholy).

Descartes, Renè 1988: *Rozprawa o metodzie*. Z języka francuskiego przełożyła Wanda Wojciechowska. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe. ISBN 83-01-03875-6.

Gerland, Ernst (red.) 1881: *Leibnizens und Huygens, Briefwechsel mit Papin*. Vaduz: Sändig. Dostęp online (14.10.2019): <https://ia902605.us.archive.org/8/items/leibnizensundhu00leibgoog/leibnizensundhu00leibgoog.pdf>.

Gregory 1663: *Optica promota...* Londini: S. Thomson. Dostęp online (14.10.2019): [https://books.google.pl/books/about/Optica\\_promota.html?id=W2UAAAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.pl/books/about/Optica_promota.html?id=W2UAAAACAAJ&redir_esc=y).

Hadley, John 1731: The description of a new instrument for taking angles. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 37(420), ss. 147–157. DOI:10.1098/rstl.1731.0025. Dostęp online (14.10.2019): <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1731.0025>.

Hevelius, Johannes 1673: *Machinae coelestis: pars prior...* Gedani: S. Reiniger. Dostęp online (14.10.2019): [https://books.google.pl/books?id=HDP2Qlem4kAC&hl=pl&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.pl/books?id=HDP2Qlem4kAC&hl=pl&source=gbs_navlinks_s).

Leibniz, Gottfried W. 1995: *Główne pisma metafizyczne*. Z języka łacińskiego przełożyli: Stanisław Cichowicz, Juliusz Domański. Toruń: Wydawnictwo Comer. ISBN 83-852149-62-7.

MacPike, Eugene F. (red.) 1932: *Correspondence and Papers of Edmond Halley*. Oxford: Clarendon Press. Dostęp online (14.10.2019): <https://ia801006.us.archive.org/0/items/b31349274/b31349274.pdf>.

Newton, Isaac 1672a: A letter of Mr. Isaac Newton, Professor of the Mathematicks in the University of Cambridge; containing his new theory about light and colors... *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 6(80), ss. 3075–3087.

- DOI:10.1098/rstl.1671.0072. Dostęp online (14.10.2019): <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1671.0072>.
- Newton, Isaac 1672b: An accompt of a new catadioptrical telescope invented by Mr. Newton, Fellow of the R. Society, and Professor of the Mathematicques in the University of Cambridge. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 7(81), ss. 4004–4010. DOI:10.1098/rstl.1672.0003. Dostęp online (14.10.2019): <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1672.0003>.
- Newton, Isaac 1704: *Opticks...* London: S. Smith, B. Walford. Dostęp online (14.10.2019): [https://books.google.pl/books?id=mxhfAAAAcAAJ&dq=newton+Opticks+1704&hl=pl&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.pl/books?id=mxhfAAAAcAAJ&dq=newton+Opticks+1704&hl=pl&source=gbs_navlinks_s).
- Newton, Isaac 1742: A true copy of a paper found, in the hand writing of Sir Isaac Newton, among the papers of the late Dr. Halley, containing a description of an instrument for observing the Moon's distance from the fixt stars at sea. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 42(465), ss. 155–156. DOI:10.1098/rstl.1742.0039. Dostęp online (14.10.2019): <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1742.0039>
- Newton, Isaac 2011: *Matematyczne zasady filozofii przyrody*. Tłumaczenie J. Wawrzycyki. Kraków: Copernicus Center Press. ISBN 978-83-62259-24-3.
- Papin, Dionysius [Denis] 1690: Nova methodus ad vires motrices validissimas levi pretio comparandas. *Acta Eruditorum*, ss. 410–414.
- Papin, Denis 1707a: *Ars nova ad aquam ignis adminiculo efficacissime elevendam*, Cassell-Francofurt: M. Groot. Dostęp online (14.10.2019): [http://digital.bib-bvb.de/view/bvbmets/viewer.0.6.4.jsp?folder\\_id=0&dvs=1572956825915~524&pid=7760669&locale=pl&usePid1=true&usePid2=true](http://digital.bib-bvb.de/view/bvbmets/viewer.0.6.4.jsp?folder_id=0&dvs=1572956825915~524&pid=7760669&locale=pl&usePid1=true&usePid2=true).
- Papin, Denis 1707b: *Nouvelle manière pour lever l'eau par la force du feu*. Cassell: J.G. Voguel. Dostęp online (14.10.2019): <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/br-t6k72612j.image>.
- Rumsey, James 1788: *Explanation of the Steam Engine, and the Method of Applying it to Propel a Boat*. Philadelphia: J. James.
- Sabine, John 1799: *The Practical Mathematician...* London: T. Johnes. Dostęp online (14.03.2020): [https://books.google.pl/books?id=d\\_9eAAAAcAAJ&printsec=frontcover&hl=pl&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.pl/books?id=d_9eAAAAcAAJ&printsec=frontcover&hl=pl&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).
- Savery, Thomas 1702: *The Miner's Friend; or An Engine to Rise Water by Fire*. London: S. Crouch. Dostęp online (14.10.2019): [https://books.google.pl/books?id=j9QQtAEACAAJ&hl=pl&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.pl/books?id=j9QQtAEACAAJ&hl=pl&source=gbs_navlinks_s).
- Scott, James F. (red.) 1967: *The Correspondence of Isaac Newton, vol. 4, 1694–1709*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Smith, David E. 1927: *Two Unpublished Documents of Isaac Newton*. [W:] *Isaac Newton, 1642–1727, A Memorial Volume*. Pod redakcją Williama J. Greenstreeta. London: G. Bell and Sons, ss. 16–31.
- Sprat, Thomas 1667: *The History of the Royal Society of London, for the Improving of Natural Knowledge*. London: J. Martyn. Dostęp online (14.10.2019): [https://books.google.pl/books?id=g30OAAAAQAAJ&hl=pl&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.pl/books?id=g30OAAAAQAAJ&hl=pl&source=gbs_navlinks_s).
- Turnbull, Herbert W. (red.) 1959: *The Correspondence of Isaac Newton, vol. 1, 1661–1675*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Waller, Richard 1705: *The Posthumous Works of Robert Hooke*. London: S. Smith, B. Walford. Dostęp online (14.10.2019): [https://books.google.pl/books?id=6xVTA-AAcAAJ&dq=Waller+the+Posthumous+Works+of+Robert+Hooke&hl=pl&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.pl/books?id=6xVTA-AAcAAJ&dq=Waller+the+Posthumous+Works+of+Robert+Hooke&hl=pl&source=gbs_navlinks_s).
- Werner, Johannes 1514: *Nova translatio primi libri geographiae Cl. Ptolomaei...*, Nürnberg: Johann Sutchs.
- Wilkins, John 1648: *Mathematical Magick: or, The Wonders that may be performed by Mechanical Geometry*. London: Sa. Gellibrand.
- Whiteside, Derek T. (red.) 2008: *The Mathematical Papers of Isaac Newton, t. 1, 1664–1666*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-04595-7.

## OPRACOWANIA

- Andersen, Kristi; Bos, Henk J.M. 2008: Pure Mathematics. [W:] *The Cambridge History of Science, t. 3*. Pod redakcją Kathariny Park; Lorraine Daston. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-57244-6, ss. 696–723.
- Andrade, Edward N. da C. 1935: Two Historical Notes. *Nature* 135(3410), ss. 359–360. DOI:10.1038/135359a0.
- Ariarnhod, Robyn 2019: *Thomas Harriot: A Life in Science*. Oxford: Oxford University Press. ISBN 9780190271855.
- Ariotti, Piero E. 1975: Bonaventura Cavalieri, Marin Mersenne, and the Reflecting Telescope. *Isis* 66 (3), ss. 302–321. DOI:10.1086/351471.
- Bennett, Jim A. 1986: The Mechanics' Philosophy and the Mechanical Philosophy. *History of Science* 24, ss. 1–28. DOI: 10.1177/007327538602400101. Dostęp online (11.03.2020): <http://adsabs.harvard.edu/full/1986HisSc..24....1B>.
- Bennett, Jim 2006: Catadioptrics and Commerce in Eighteenth-Century London. *History of Science* 44, ss. 247–278. DOI:10.1177/007327530604400205. Dostęp online (14.10.2019): <http://adsabs.harvard.edu/full/2006HisSc..44..247B>.
- Bottomley, Sean 2014: *The British Patent System and the Industrial Revolution 1700–1852: From Privilege to Property*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 978-1-107-05829-3.



- Brewster, David 1831: *The Life of Sir Isaac Newton*. New York: Harper & Brothers. Dostęp online (14.10.2019): <http://www.gutenberg.org/ebooks/53311>.
- Burnett, D. Graham 2005: *Descartes and the Hyperbolic Quest: Lens Making Machines and Their Significance in the Seventeenth Century*. Philadelphia: American Philosophical Society. ISBN 978-0-87-169953-4.
- Cohen, H. Floris 1994: *The Scientific Revolution. A Historiographical Inquire*. Chicago-London: The University of Chicago Press. ISBN 0-226-11280-2.
- Cook, Alan 1998: *Edmond Halley: Charting the Heavens and the Seas*. Oxford: Clarendon Press. ISBN 978-0-19-850031-5.
- Cormack, Lesley B. 2017: Introduction: Practical Mathematics, Practical Mathematicians, and the Case for Transforming the Study of Nature. [W:] *Mathematical Practitioners and the Transformation of Natural Knowledge in Early Modern Europe*. Pod redakcją Lesleya B. Cormacka, Stevena A. Waltona, Johna A. Schustera. Springer: Cham. ISBN 978-3-319-49429-6, ss. 1–8.
- Cresswell, Julia 2010: *Oxford Dictionary of Word Origins*. Oxford: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-954793-7.
- Crombie, Alistair C. 1994: *Style myśli naukowej w początkach nowożytnej Europy*. Z języka angielskiego przełożył Piotr Salwa. Warszawa: Polska Akademia Nauk Instytutu Filozofii i Socjologii. ISBN 83-86166-95-9.
- Cross, Gary S. 2001: Toys and games. [W:] *Encyclopedia of European social history from 1350 to 2000, Tom 5*. Charles Scribner's Sons: New York. ISBN 0-684-80581-2, ss. 521–529.
- Crisman, Kevin J.; Cohn, Arthur B. 1998: *When Horses Walked on Water: Horse-powered Ferries in Nineteenth-century America*. Smithsonian Institution Press: Washington-London. ISBN 978-1-56-098843-4.
- Cuomo, Serafina. 1998: Nicolò Tartaglia, Mathematics, Ballistics and the Power of Possession of Knowledge. *Endeavour* 22(1), ss. 31–35. DOI: 10.1016/S0160-9327(98)01089-8.
- de Hilster, Nicolàs 2006: The Spiegelboog (mirror-staff): a reconstruction. *Bulletin of the Scientific Instrument Society* 90, ss. 6–16. Dostęp online (14.10.2019): [http://www.dehilster.info/docs/SIS\\_bulletin\\_90\\_Hilster\\_Spiegelboog\\_Mirror-staff\\_2006.pdf](http://www.dehilster.info/docs/SIS_bulletin_90_Hilster_Spiegelboog_Mirror-staff_2006.pdf).
- de la Saussaye, Louis; Péan, Andre 1869: *La vie et les ouvrages de Denis Papin, t. 1*. Paris: Blois, Franck.
- Dobbs, Betty J.T. 1991: *The Janus faces of genius. The role of alchemy in Newton's thought*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 0-521-52487-3.

- Dupré, Sven 2008: Newton's Telescope in Print: The Role of Images in the Reception of Newton's Instrument. *Perspectives on Science* 16(4), ss. 328–359. DOI:10.1162/posc.2008.16.4.328.
- Eamon, William 1994: *Science and the Secrets of Nature: Books of Secrets in Medieval and Early Modern Culture*. Princeton: Princeton University Press. ISBN 0-691-02602-5.
- Forbes, Eric G. 1970: Tobias Mayer's Contributions to the Development of Lunar Theory. *Journal for the History of Astronomy*, 1, ss. 144–154. DOI: 10.1177/002182867000100205. Dostęp online (5.03.2020): <http://adsabs.harvard.edu/full/1970JHA.....1..144F>.
- Force, James E. 1999: Newton, the „Ancients”, and the „Moderns”. [W:] *Newton and Religion: Context, Nature, and Influence*. Kluwer: Dordrecht *at al.* ISBN 0-7293-5744-2, ss. 237–257.
- Freiesleben, Hans C. 1979: Newton's Quadrant for Navigation. *Vistas in Astronomy* 22(4), ss. 515–522. DOI:10.1016/0083-6656(78)90043-0.
- Guicciardini, Niccolò 2009: *Isaac Newton on Mathematical Certainty and Method*. Cambridge, Ma.–London: The MIT Press. ISBN 978-0-262-01317-8.
- Guicciardini, Niccolò 2018: *Isaac Newton and Natural Philosophy*. London: Reaction Books. ISBN 978-178023-906-4.
- Hall, A. Rupert 1955: Further optical experiments of Isaac Newton. *Annals of Science* 11(1), ss. 27–43. DOI:10.1080/00033795500200025.
- Hall, A. Rupert 1985: Isaac Newton's Steamer. *History of Technology* 10, ss. 17–29.
- Hall, A. Rupert 1995: John Collins on Newton's Telescope. *Notes and Records of the Royal Society of London* 49(1), ss. 71–78. DOI:10.1098/rsnr.1995.0003. Dostęp online (14.10.2019): <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsnr.1995.0003>.
- Hall, A. Rupert; Simpson, A D.C. 1996: An account of the Royal Society's Newton telescope. *Notes and Records of the Royal Society of London* 50(1), ss. 1–11. DOI:10.1098/rsnr.1996.0001. Dostęp online (14.10.2019): <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsnr.1996.0001>.
- Hecht, Hartmut; Gottschalk, Jürgen 2018: The Technology of Mining and Other Technical Innovations. [W:] *The Oxford Handbook of Leibniz*. Pod redakcją Marii R. Antognazzy. ISBN 9780199744725, ss. 526–540.
- Hooykaas, Reijer 1958: *Humanisme, science et réforme. Pierre de la Ramée (1515–1572)*. Leiden: Brill.
- Iliffe, Rob; Smith, George E. 2016: Introduction. [W:] *Cambridge Companion to Newton*. Pod redakcją Roba Iliffe'a; George'a E. Smitha. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 978-1-107-60174-1, ss. 1–33.

- Johnson, Philip 2018: *Parliament, Inventions and Patents: A Research Guide and Bibliography*, Abingdon–New York: Routledge. ISBN 9781138572270.
- Keller, Alexander 1984: Has Science Created Technology? *Minerva* 22, ss. 160–182. DOI: 10.1007/BF02207947.
- Keller, Alexander 1985: *Mathematics, Mechanics and the Origins of the Culture of Mechanical Invention*. *Minerva* 23, ss. 348–361. DOI: 10.1007/BF01096443.
- Kollerstrom, Nicholas 2000: *Newton's Forgotten Lunar Theory: His Contribution to the Quest for Longitude*. Santa Fe: Green Lion Press. ISBN 9781888009088.
- Kollerstrom, Nicholas; Bernard D. Yallop 1995: Flamsteed's Lunar Data, 1692–95, Sent to Newton. *Journal for the History of Astronomy* 26(3), ss. 237–246. DOI: [10.1177/002182869502600303](https://doi.org/10.1177/002182869502600303). Dostęp online (14.10.2019): [http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph/article\\_query?1995JHA....26..237K&default-print=YES&filetype=.pdf](http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph/article_query?1995JHA....26..237K&default-print=YES&filetype=.pdf).
- Koyré, Alexander 1960: La dynamique de Nicolo Tartaglia. [W:] *La science au seizième siècle. Colloque international de Royamont. 1–4 Juillet 1957*. Paris: Hermann. ss. 91–116.
- Lenzen, Wolfgang 2018: *Leibniz and the Calculus Ratiocinator*. [W:] *Technology and Mathematics: Philosophical and Historical Investigations*. Pod redakcją Svena O. Hansena. Cham: Springer. ISBN 978-3-030-06722-9, ss. 47–55.
- Levenson, Thomas 2011: *Newton and the Counterfeiter. The Unknown Detective Career of the World's Greatest Scientist*. London: Faber & Faber. ISBN 978-0-571-22992-5.
- Lohne, Johannes 1965: Isaac Newton: the rise of a scientist, 1661–1671, *Notes and Records of the Royal Society* 20, ss. 125–139. DOI: [10.1098/rsnr.1965.0010](https://doi.org/10.1098/rsnr.1965.0010). Dostęp online (5.03.2020): <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsnr.1965.0010>.
- Manuel, Frank E. 1998: *Portret Izaakona Newtona*. Warszawa: Prószyński i S-ka. ISBN 83-7180-045-2.
- Meli, Nico B. 2006: *Thinking with Objects: The Transformation of Mechanics in the Seventeenth Century*. The Baltimore: Johns Hopkins University Press. ISBN 978-0-80-188427-6.
- Meli, Nico B. 2013: Experimentations in the Physical Sciences of the Seventeenth Century. [W:] *The Oxford Handbook of the History of Physics*. Pod redakcją Jeda Z. Buchwalda, Roberta Foxa. Oxford: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-969625-3, ss. 199–225.
- McConnell, Alicia 2004: *Papin, Denis (1647–1712?)*. [W:] *Oxford Dictionary of National Biography, t. 42*. Pod redakcją Henry'ego C.G. Matthewa, Briana Harrisona. Oxford: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-861411-1, ss. 597–599.

- McGuire, James E., Tamny, Martin 1983: *Certain Philosophical Questions: Newton's Trinity Notebook*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 0-521-53066-0.
- Mills, Allan A. 1982: Newton's Water Clocks and the Fluid Mechanics of Clepsydrae. *Notes and Records of the Royal Society of London* 37(1), ss. 35–61. DOI:10.1098/rsnr.1982.0004. Dostęp online (14.10.2019): <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsnr.1982.0004>.
- Mills, Allan A., Turvey, P.J. 1979: Newton's telescope, an examination of the reflecting telescope attributed to Sir Isaac Newton in the possession of the Royal Society. *Notes and Records of the Royal Society of London* 33(2), ss. 133–155. DOI: 10.1098/rsnr.1979.0009. Dostęp online (14.10.2019): <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsnr.1979.0009>.
- Mörzer Bruyns, Willem F.J.; Dunn, Richard 2009: *Sextants at Greenwich: A Catalogue of the Mariner's Quadrants, Mariner's Astrolabes Cross-staffs, Backstaffs, Octants, Sextants, Quintants, Reflecting Circles and Artificial Horizons in the National Maritime Museum, Greenwich*. Oxford: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-160890-2.
- Newman, William R. 2018: *Newton the Alchemist: Science, Enigma, and the Quest for Nature's 'Secret Fire'*. Princeton–Oxford: Princeton University Press. ISBN 978-0-691-17487-7.
- Ranea, Alberto G. 1993: Leibniz's Briefwechsel mit D. Papin. *Prima Philosophia* 4(3), ss. 277–290.
- Robinson, Henry W. 1947: Note on Some Recently Discovered Geometrical Drawings in the Stonework of Woolsthorpe Manor House. *Notes and Records of the Royal Society of London* 5(1), ss. 35–36. DOI: 10.1098/rsnr.1947.0005. Dostęp online (14.10.2019): <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsnr.1947.0005>.
- Rodzeń, Jacek 2013: *Na tropie widma. Geneza i ewolucja spektroskopu optycznego w latach 1810–1860*. Kraków: Eikon Plus. ISBN 978-836-039171-6.
- Rodzeń, Jacek 2018: Czy Isaac Newton wynalazł napęd odrzutowy? *Analecta. Studia i Materiały z Dziejów Nauki* 2(53), ss. 115–138 (wydane w 2019).
- Rodzeń, Jacek 2019: Nauka a technika (technonauka). [W:] *Metodologia nauk. Część I: Czym jest nauka?* Pod redakcją Stanisława Janeczka et al. Lublin: Wydawnictwo KUL. ISBN 978-83-8061-711-7, ss. 655–682.
- Rossi, Paolo 1978: *Filozofowie i maszyny (1400–1700)*. Z języka włoskiego przełożyła Alina Kreisberg. Posłowiem opatrzył Bohdan Suchodolski. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Sangwin, Christopher J. 2002: Newton's polynomial solver. *Journal of the Oughred Society* 11(1), ss. 3–7. Dostęp online (14.10.2019): [https://www.academia.edu/313991/Newtons\\_Polynomial\\_Solver](https://www.academia.edu/313991/Newtons_Polynomial_Solver).

- Shapin, Steven 2000: *Revolucja naukowa*. Z języka angielskiego przełożył Stefan Amsterdamski. Warszawa: Prószyński i S-ka. ISBN 83-7180-964-6.
- Sobel, Dava 1998: *W poszukiwaniu długości geograficznej*. Tłumaczenie J. Bieroń. Poznań: Zysk i S-ka. ISBN 83-7150-498-5.
- Shapiro, Alan E. 1984: Introduction. [W:] *The Optical Papers of Isaac Newton, vol. 1 (The Optical Lectures 1670–1672)*. Pod redakcją Alana E. Shapira. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-15509-0, ss. 1–25.
- Shapiro, Alan E. 2013: Newton's Optics. [W:] *The Oxford Handbook of the History of Physics*. Pod redakcją Jeda Z. Buchwalda, Roberta Foxa. Oxford: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-969625-3, ss. 166–198.
- Simpson, Allen D.C. 1981: *The Early Development of the Reflecting Telescope in Britain*. Nieopublikowana praca doktorska. University of Edinburg. Dostęp online (14.10.2019): <https://www.era.lib.ed.ac.uk/handle/1842/27388>.
- Smith, Alan 1998: A New Way of Raising Water by Fire: Denis Papin's Treatise of 1707 and Its Reception by Contemporaries. *History of Technology* 20, ss. 139–182.
- Spargo, Peter 1993: Newton's Chemical Experiments: An Analysis in the Light of Modern Chemistry. [W:] *Action and Reaction: Proceedings of a Symposium to Commemorate the Tercentenary of Newton's Principia*. Pod redakcją Paula H. Theermana, Adele F. Seeff. Newark: University of Delaware Press. ISBN 0-87413-446-3, ss. 123–140.
- Stukeley, William 1936: *Memoirs of Sir Isaac Newton's life*. London: Taylor and Francis.
- Sutcliffe, Andrea J. 2004: *Steam: The Untold Story of America's First Great Invention*. New York: Palgrave Macmillan. ISBN 1-4039-6899-3.
- Taylor, Eva G.R. 1954: *The Mathematical Practitioners of Tudor and Stuart England*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 978-1-57-898293-6.
- Thrower, Norman J.W. 1981: *The Three Voyages of Edmond Halley in the Paramore, 1698–1701, vol. 1*. London: Hakluyt Society. ISBN 978-0-90-418002-2.
- Tinniswood, Adrian 2001: *His Invention So Fertile: Life of Christopher Wren*. Oxford: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-534875-0.
- Turner, Gerald L'E. 1998: *Scientific Instruments, 1500–1900: An Introduction*. Berkeley–Los Angeles: University of California Press. ISBN 0-520-21728-4.
- Turnor, Charles 1845: An Account of Newton's Dial presented to the Royal Society by the Rev. Charles Turnor, in a letter addressed to the Marquis op Northampton, Pres. R.S., &c. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 135, ss. 141–142. DOI: 10.1098/rstl.1845.0003. Dostęp online (14.10.2019): <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1845.0003>.

- van Helden, Albert 1974: The Telescope in the Seventeenth Century. *Isis* 65(1), ss. 38–58. DOI:10.1086/351216.
- Westfall, Richard S. 1980: *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-27435-7.
- Wigelsworth, Jeffrey R. 2010: *Selling Science in the Age of Newton: Advertising and the Commoditization of Knowledge*. Ashgate Publishing. ISBN-13: 978-1409400752.
- Willmoth, Frances 1993: *Sir Jonas Moore: Practical Mathematics and Restoration Science*. Woodbridge: The Boydell Press. ISBN 0-85115-321-6.
- Wilson, Raymond N. 2007: *Reflecting Telescope Optics I: Basic Design Theory and its Historical Development*. Berlin–Heidelberg: Springer. ISBN 978-3-540-40106-7.
- Włodarczyk, Jarosław 2012: *Księżyc w nauce i kulturze Zachodu*. Poznań: Rebis. ISBN 978-83-7510-095-2.
- Wróblewski, Andrzej Kajetan 2000: „Science Citation Index A.D. 1758”. *Prace Komisji Historii Nauki Polskiej Akademii Umiejętności* 2, ss. 61–74. Dostęp online (11.03.2020): <http://pau.krakow.pl/PKHN-PAU/pkhn-pau-II-2000-6.pdf>.

## Lista ilustracji

- Ryc. 1. Teleskop zwierciadłowy (Newton 1672b, tabl. I, fig. 1). Dostęp online (14.10.2019): <https://www.biodiversitylibrary.org/item/179117#page/16/mode/1up>.
- Ryc. 2. Oktant morski (Newton 1742). Dostęp online (14.10.2019): <https://royal-societypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1742.0039>.