

Wojciech Sady

Blaise Pascal jako jeden z pionierów badań naukowych

Słowa kluczowe: *ciśnienie atmosferyczne, historia matematyki, próżnia, rewolucja naukowa*

1. Tło historyczne

W 1500 r. europejscy uczeni wiedzieli – jeśli chodzi o geometrię, pewne części fizyki, astronomię, geografię czy anatomię – mniej niż starożytni uczeni greccy. Pierwszym ważnym uzupełnieniem greckiego obrazu świata było odkrycie ok. 1502 r. przez Amerigo Vespucciego, że ląd, do którego dziesięć lat wcześniej dotarł Krzysztof Kolumb, to nie okolice Indii, ale kontynent, o którym przedtem w Europie nie wiadano. Zapewne w tym samym czasie Mikołaj Kopernik zaczął – być może zainspirowany wzmiankami Archimedesza i Plutarcha o systemie Arystarcha z Samos – łączyć heliocentryczny model ruchów planet z matematycznymi technikami Ptolemeusza, wzbogaconymi o pary al-Tusiego. Oficjalną prezentacją nowego systemu świata były Georga Joachima Rheticusa *Narracja pierwsza* (1540) i Kopernika *O obrotach* (1543). Ponad 200 błędów obecnych w dziełach Galena – i bezkrytycznie powielanych na uniwersytetach europejskich przez trzy i pół stulecia – poprawił Andreas Vesalius w *De homini corporis fabrica* (1543). W arytmetyce europejscy uczeni mieli nad grekami tę przewagę, że używali – przejętego, za pośrednictwem uczonych świata islamu, od Hindusów – dziesiętnego systemu liczbowego, z zerem jako liczbą, wykraczając tym samym poza to, co znali z sześciu ocalałych ksiąg *Arithmetika* Diofantosa z Aleksandrii. W latach 40. XVI wieku

Scipione del Ferra, Niccolò Tartaglia, Girolamo Cardano, Lodovico Ferrari i inni nie tylko odkryli metody rozwiązywania pewnych wielomianów trzeciego i czwartego stopnia, lecz także zaczęli – choć nie bez oporów – używać liczb ujemnych i urojonych.

Wszystkie te dokonania – co zdecydowało o dalszym rozwoju wydarzeń – znalazły kontynuatorów. Żeglarze w służbie władców Portugalii i Hiszpanii okrążyli Afrykę i opłynęli Ziemię. Miguel Servet, Bartolomeo Eustachi, Mateo Realdo Colombo, Gabriele Falloppio, William Harvey i inni dokonali kapitalnych odkryć anatomicznych. W tym artykule interesuje nas matematyka i fizyka.

W latach 50. XVI wieku w pracach matematycznych pojawiły się znaki „+”, „-” i „=”. Rafael Bombelli w *Algebra* (1572) pokazał, jak używać liczb urojonych przy rozwiązywaniu równania $x^3 = 15x + 4$. François Viète w *In artem analyticam isagoge* (1591) rozwinął notację algebraiczną (choć odmówił używania liczb ujemnych). Simon Stevin w *De Thiende* (1585) wprowadził ułamki dziesiętne, a w *Arithmetics* (1594) podał ogólne wzory na rozwiązywanie równań kwadratowych (w Indiach znano je od ośmiu wieków). John Napier w *Mirifici logarithmorum canonis descriptio* (1614) wprowadził logarytmy. Johannes Kepler w *Stereometria doliorum vinorum* (1615), a Bonaventura Cavalieri w *Geometria indivisibilibus continuorum nova quadam ratione promota* (1635), idąc za Archimedesem, obliczali (jak dziś powiemy) całki. Pierre de Fermat w nieopublikowanych zapiskach z 1629 r. i Kartezjusz w *Geometrii* (1637) położyli podstawy pod geometrię analityczną.

System kopernikański w ciągu sześćdziesięciu lat po opublikowaniu *De revolutionibus* nie znalazł znaczących zwolenników. W tym okresie Tycho Brahe ulepszył techniki obserwacji astronomicznych daleko poza poziom osiągalny dla astronomów greckich i astronomów świata islamu – ale nie zaobserwował paralaksy gwiazdnej, co dość mocno przemówiło przeciwko heliocentryzmowi. Wprawdzie Giordano Bruno w *Uczcie popielcowej* (1584), a Johannes Kepler w *Tajemnicy kosmosu* (1596) opowiedzieli się po stronie Kopernika, niemniej wymienione książki nie miały, w jakimkolwiek akceptowalnym dziś znaczeniu tego słowa, charakteru naukowego. Wkrótce Kepler, pod wpływem danych zgromadzonych przez Brahego, zmienił metody analiz i w *Astronomia nova* (1609) wykazał, że Mars obiega Słońce po elipsie, a odcinek łączący te ciała zakreśla równe pola w równych odstępach czasu. W tym samym roku kilku uczonych, zwłaszcza Galileusz, rozpoczęło obserwacje nieba przez wynalezione właśnie lunety. Od tego czasu system heliocentryczny stał się znacząco lepszy od systemów geocentrycznych. Wprawdzie wszystkie główne argumenty, jakie podał Galileusz na rzecz kopernikanizmu na kartach *Dialogu o dwóch układach świata: ptolemeuszowym i kopernikowym* (1632), okazały się błędne, niemniej coraz trudniej było trwać przy którejkolwiek z wersji systemu Ptolemeusza.

Akceptacja heliocentryzmu wymagała zbudowania nowej teorii ruchów ciał, zarówno jeśli chodzi o ciała niebieskie, jak i ziemskie. Pionierski charakter miały Simona Stevina *De Beghinselen der Weeghconst* i *De Beghinselen des Waterwichts* (1586). Dużo ważniejsze okazały się prace Galileusza ogłoszone w *Rozmowach i dowodzeniach matematycznych* (1638). Giovanni Battista Baliani – o którym mowa będzie poniżej – w *De motu gravium, solidorum et liquidorum* (1638) odróżnił masę od ciężaru i stwierdził, że naturalnym stanem ciała jest ruch jednostajny po linii prostej. Ważnym uzupełnieniem tych prac było Pierre’a Gassendiego *De motu impresso a motore translato* (1642).

Nowych tematów badawczych dostarczyło ogłoszenie przez Williama Gilberta w *De magnete, magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure* (1600), że Ziemia jest wielkim magnesem. W 1621 r. Willebrord Snell odkrył, a Kartezjusz w *Dioptryce* (1637) ogłosił, prawo załamania światła. Tenże Kartezjusz w *Les météores* (1637) podał matematyczny model powstawania tęczy pierwotnej i wtórnej.

Mimo tych wszystkich dokonań, około 1640 r. nikt nie mógł przewidzieć, że w ciągu kolejnego półwiecza zacznie się Wielka Rewolucja Naukowa. Kepler w *Harmonices mundi* (1618) pogrążył się w oparach pseudonaukowego pitagoreizmu (choć tam właśnie sformułował swe trzecie prawo ruchów planet). Pseudonaukowy charakter miały wywody, jakie Kartezjusz prowadził na kartach części II, III i IV *Zasad filozofii* (1644) czy w *Namiętnościach duszy* (1649). Wtedy na scenę wkroczyło nowe pokolenie uczonych, a wśród nich Pascal.

2. Krótka informacja o dokonaniach Pascala w zakresie matematyki

Blaise Pascal (1623–1662) nie chodził ani do szkoły, ani na uniwersytet. Uczył się w domu, ale nie byle jakim. Jego ojciec należał do Akademii Mersenne’a, a Marin Mersenne był swoistą skrzynką kontaktową dla europejskich filozofów, matematyków i przyrodników. Dorastający Blaise czytał książki, ale też przysłuchiwał się dyskusjom prowadzonym przez najtęższe umysły epoki.

Tak wyjątkowe warunki dorastania, połączone z wielkimi zdolnościami intelektualnymi, sprawiły, że jego gwiazda rozbłysła bardzo wcześnie: w wieku 16 lat ogłosił, wydany w formie plakatu, a dziś zajmujący ok. 3 stron druku, *Essai pour les coniques* („Esej o stożkowych”, 1639). Dotąd wszystko, co wiedzano o elipsach, parabolach i hiperbolach, zawarte było w *Konika* Apoloniosa z Perga (III w. p.n.e.). W zachowanych siedmiu księgach tego dzieła znajdujemy 387 twierdzeń z dowodami, dotyczących własności krzywych uzyskiwanych przez przecięcia stożka płaszczyznami. Pascal dodał do tego

kojne, kapitalne twierdzenie: jeśli na dowolnej krzywej stożkowej wybierzemy sześć punktów i połączymy je odcinkami tak, aby powstał sześciobok (którego boki mogą się przecinać, w związku z czym dla danych sześciu punktów istnieje 60 różnych sześcioboków), to trzy punkty, w których przetną się przeciwległe boki danego sześcioboku lub ich przedłużenia, będą zawsze współliniowe.

W 1642 r. zbudował – aby pomóc ojcu, poborcy podatkowemu w Rouen – pascalinę, mechaniczny kalkulator, pozwalający dodawać i odejmować przez obracanie układu kół zębatach. Powstało parę dziesiątków takich maszyn, wciąż doskonalonych, niemniej z powodu wysokiej ceny nie odniosły sukcesu komercyjnego.

Po śmierci ojca, odziedziczywszy spory majątek, oddawał się Pascal m.in. grom hazardowym. Zapytany został przez jednego z graczy, jak należy podzielić pieniądze złożone w banku, kiedy gra oparta o rzuty rzetelną monetą została przerwana w sytuacji, gdy jeden gracz miał, intuicyjnie, większe szanse na wygraną. Pascal podał sposób matematycznego rozwiązania problemu, a jednocześnie napisał w tej sprawie list do Pierre’a de Fermata. Ten przedstawił inny sposób dokonania obliczeń, prowadzący do identycznego wyniku. W 1654 r. Pascal ukończył pracę nad 36-stronicową broszurą *Traité du triangle arithmétique* („Traktat o trójkącie arytmetycznym”), gdzie wśród zastosowań trójkąta – znanego od wieków matematykom chińskim i perskim – znalazły się metody matematycznego modelowania możliwych przebiegów gier losowych. W 1654 r. autor przeżył nawrócenie religijne i tekstu nie opublikował – ukazał się on pośmiertnie w 1663 r. Ale z korespondencją między Pascalem a Fermatem zapoznał się Christian Huygens, który ogłosił *De ratiociniis in ludo aleae* („O obliczeniach w grach losowych”, 1657), zaś Pascal zyskał miano „ojca rachunku prawdopodobieństwa” (Edwards 2003).

Na rozwój matematyki nie oddziałął, ogłoszony pod pseudonimem, *Traité de la roulette* („Traktat o ruletce”, 1659), poświęcony własnościom cykloidy. Choć Pascal w nim, jak byśmy to dziś powiedzieli, całkował, to stosował anachroniczne już metody Cavalieriego i nie docenił metod analitycznych rozwijanych wówczas przez Johna Wallisa, Isaaca Barrowa i innych.

3. Czy przyroda lęka się próżni?

Gdy napełnimy szklankę wodą i odwrócimy ją do góry nogami, woda natychmiast się wyleje. Ale gdy zanurzymy szklankę pod wodę, napełnimy, a potem wyciągniemy dnem do góry, szklanka – do chwili, gdy jej krawędź wynurzy się nad powierzchnię – pozostaje pełna. Woda, jakby przyklejona do dna, podąża za nią. Arystoteles znał to zjawisko i wyjaśniał je „lękiem przyrody przed

próżnią”: próżnia nie może powstać, a zatem woda opada dopiero wtedy, gdy jej miejsce zajmuje powietrze. Ta sama teoria wyjaśniała działanie syfonu: jeśli zanurzymy w zbiorniku z wodą koniec rury, napełnionej wodą i wygiętej tak, aby jej drugi koniec znalazł się poniżej poziomu wody, to woda będzie ze zbiornika wypływać.

Giovanni Battista Baliani w liście do Galileusza z lipca 1630 r. prosił o opinię. Nadzorował prace w genueńskim porcie, podczas których zbudowano z miedzianej rury syfon, którym woda miała przepływać ze zbiornika położonego wyżej na niższy poziom. Warunki terenowe wymagały, aby woda w syfonie wznosiła się na wysokość 70 stóp. Syfon nie działał. Galileusz w odpowiedzi sformułował teorię, którą w druku przedstawił osiem lat później w *Rozmowach i dowodzeniach matematycznych*. Przyroda lęka się próżni, powtórzył za Arystotelesem, ale lęk ten nie jest, rzecz by można, nieskończenie silny i gdy ciężar wody przekroczy pewną wartość, jej słup urywa się. Na to Baliani w październiku przedstawił pogląd, który antycypował teorię ciśnienia atmosferycznego:

Znajdujemy się, moim zdaniem, na dnie oceanu powietrza, choć nie zdajemy sobie z tego sprawy. Nie czujemy ciśnienia, które działa na nas ze wszystkich stron, gdyż nasze ciało zostało tak stworzone, aby bezboleśnie znosić to ciśnienie. [...] Jednak gdybyśmy znajdowali się w próżni i mieli nad głową warstwę powietrza, czulibyśmy jego ciężar, wielki, choć nie nieskończony (cyt. za: Correll 1952).

Nie wiemy, niestety, jakie jeszcze prace prowadził w porcie Baliani. Użyta metafora dna oceanu może sugerować, że miał w ich trakcie do czynienia z ciśnieniem słupa wody, a zebrane doświadczenia przeniósł, przez analogię, na wyobrażenie o ciśnieniu wywieranym przez słup powietrza.

Galileusz hipotezę Balianiego zignorował, chyba nawet nie odpowiedział na list, którego fragment przed chwilą przytoczono. W październiku 1641 r., trzy miesiące przed śmiercią autora *Rozmów*, w jego domu zamieszkał Evangelista Torricelli. Wiemy, że obaj uczeni wiele rozmawiali, choć nie wiemy o czym, a także czy Torricelli miał dostęp do archiwów Galileusza. Ale chyba nie jest przypadkiem, że akurat on w czerwcu 1644 napisał do Michelangelo Ricciego:

[...] trwają pewne eksperymenty filozoficzne [...] odnoszące się do próżni, zaprojektowane nie tylko po to, aby wytworzyć próżnię, ale aby zbudować instrument ukazujący zmiany w atmosferze, w miarę jak raz jest cięższa i gęstsza, a raz lżejsza i cieńsza. Wielu twierdziło, że próżnia nie istnieje, inni, że istnieje z ledwością, mimo wstrętu natury; nie znam nikogo, kto by mówił, że istnieje bez trudności, a natura [nie czuje do niej] wstrętu. [...] Żyjemy zanurzeni na dnie morza elementu powietrza, które niewątpliwie, o czym świadczy eksperyment, ma ciężar, i to taki, że najgęstsze powietrze przy powierzchni ziemi waży około jednej czterechsetnej ciężaru wody (cyt. za: Correll 1952).

Wymienioną wartość ciężaru powietrza podał Galileusz (1638/1930). Torricelli pisze „trwają pewne eksperymenty...”, gdyż faktycznie jako pierwszy przeprowadził je sekretarz Galileusza Vincenzo Viviani. Nie wiemy, kto je zaprojektował. Zaslugą Torricellego było użycie w eksperymentach rtęci, cieczy o ciężarze właściwym 13,5 raza większym od wody. Pozwoliło mu to stwierdzić, że jeśli napełnimy rurkę szklaną zamkniętą na jednym końcu (użycie szkła pozwala widzieć, co się dzieje) rtęcią, odwrócimy ją otwartym końcem w dół, zamykając otwór palcem, zanurzymy w zbiorniku z rtęcią i usuniemy palec, to rtęć opadnie w rurce na wysokość ok. 76 cm ponad poziom rtęci w naczyniu. A ponad nią powstanie, jak można było podejrzewać, próżnia. Niczego, jak stwierdzono w kolejnej serii eksperymentów, nie zmienia powiększenie objętości rurki ponad poziomem rtęci. Jeśli pochylimy rurkę, to rtęć zbliży się do jej końca, ale nie zmieni się wysokość jej słupa mierzona w pionie.

Torricelli zmarł w 1647 r. i wyników swoich badań nie opublikował. Ale wcześniej odwiedził go, zwabiony krążącymi pogłoskami, Mersenne, który po powrocie do Paryża przekazał opis działania – jak dziś powiemy – barometru rtęciowego. Nie zdołał powtórzyć wspomnianych eksperymentów, gdyż żaden z paryskich szklarzy nie był w stanie wytworzyć trwałych rurek ze szkła długich na metr.

Arystotelicy, a także Kartezjusz i jego zwolennicy, kwestionowali twierdzenie, że nad rtęcią w barometrze powstaje próżnia. Argumentowali m.in., że skoro przez tę część rurki przechodzi światło, to coś tam się musi znajdować. Snuto domysły na temat subtelnej materii przenikającej przez szkło czy wydzielającej się z rtęci. Galileusz, gdyby żył, zapewne by stwierdził, że słup rtęci urywa się pod własnym ciężarem, a wtedy nad nim pojawia się próżnia.

4. Rozprawy o próżni, równowadze płynów i ciężarze słupa powietrza

W 1646 Pierre Petit zawiózł wieści o barometrze rtęciowym do Pascala, przebywającego wtedy w Rouen. Tamtejsi szklarze potrafili wykonać metrowej długości rurki i Pascal przystąpił do badań. Nie zadowolili się jednak powtórzeniem eksperymentów Torricellego, ale zaczął z teorii ciśnienia atmosferycznego wyciągać kolejne wnioski, a na ich podstawie projektować układy eksperymentalne. Gdy dotarły do Rouen wieści o tym, że w Warszawie Valeriano Magni nie tylko demonstrował działanie barometru rtęciowego, lecz także ogłosił w serii broszur wyniki badań nad próżnią (były to pierwsze drukowane doniesienia na te tematy), Pascal, aby zapewnić sobie miejsce w panteonie odkrywców, opublikował szybko broszurę *Expériences nouvelles touchant le*

vide („Nowe eksperymenty dotyczące próżni”, 1647). Opisał w niej eksperymenty Torricellego i dodał wyniki własnych badań.

Zaczął od eksperymentów ze strzykawką, czyli rurką szklaną z tłokiem. Gdy jej otwarty koniec zatkał palcem, po odciągnięciu tłoka poczuł, że palec jest przyciskany do otworu. Zwolennicy lęku przed próżnią powiedzieliby, rzecz jasna, iż palec jest przysysany. Pascal zauważał w związku z tym, że odczuwany nacisk nie wzrasta w miarę odciągania tłoka. Sprawiało to arystotelikom i kartezjanom kłopot, bo jakoś mogli oczekiwać, że wraz ze wzrostem objętości próżni ssanie będzie rosło. Eksperyment był też przeprowadzany pod wodą, skąd trudniej domniemana przez kartezjan subtelną materię mogłaby, przez szklane ścianki, przenikać do wnętrza strzykawki. Analogiczne eksperymenty Pascal przeprowadził, jak twierdził, z miechami, takimi, jakich używano w kuźniach. Tam miechy tłoczyły powietrze, ale rozsuwając miech po zatkaniu wylotów, można było wytworzyć próżnię. Problem w tym, że w przypadku typowego miecha trzeba by działać siłą mierzoną w tonach – co każe nam wątpić, czy Pascal faktycznie takie eksperymenty przeprowadził. (Nie wspomina w tekście o rozmiarach ścianek miecha.)

Jeszcze większe wątpliwości wśród historyków nauki budzi trzecia grupa eksperymentów. Torricelli w cytowanym liście do Ricciego pisał:

Woda też w podobnej rurce, choć znacznie dłuższej, wzniesie się na wysokość około 18 łokci, to znaczy o tyle wyżej niż rtęć, ile razy rtęć jest cięższa od wody, tak aby być w równowadze z tą samą przyczyną, która działa w obu tych przypadkach (cyt. za: Correll 1952).

Pascal nie tylko to przewidywanie powtórzył, ale twierdził, że wykonał taki eksperyment z rurami długimi na 14 m, wypełnionymi nie tylko wodą, ale i winem. Ciężar właściwy wina jest o $1/20$ mniejszy od ciężaru właściwego wody, w związku z czym wzniosło się ono jakoby o tyleż wyżej niż woda. Wybitny historyk nauki Alexandre Koyré (1968) zastanawiał się, czy Pascal pisze prawdę. Po pierwsze, jak zdołał pozyskać tak długie rury szklane, skoro wykonanie jednometrowych w tamtym czasie rodziło wielkie trudności? Po drugie, aby takie rury kłaść poziomo, a następnie przekręcać do pionu, zanurzając przy tym ich końce w zbiorniku z wodą, należało je osadzić w bardzo ciężkiej konstrukcji (nie mówiąc już o kosztach takiego eksperymentu). Tymczasem Pascal ani słowem nie wspominał, jak te badania przebiegały. Równie mało wiarygodne są „relacje” o syfonie, którego ramiona miały wysokość ok. 14 i 15 m. Syfon jakoby nie działał, ale zaczął przelewać wodę, gdy pochylony został tak, że jego wysokość w pionie spadła poniżej 10 m.

Tu warto dodać, że zmarły w 1643 r. Gasparo Berti miał – zgodnie z relacją spisaną kilka lat później przez jego przyjaciela – przeprowadzić eksperyment z rurą ołowianą długą na 11 m, przymocowaną do ściany budynku. Dolny koniec rury, zatkany, był zanurzony w zbiorniku z wodą. Rurę napełniano

wodą, zatykano jej górny koniec, a odtykano dolny. Wtedy część wody zawartej w rurze wypływała. Później na górnym końcu rury zamontowano wypełnioną zrazu wodą kulę, zapewne ze szkła, w której wewnątrz zawieszony był dzwonek. Berti miał stwierdzić, że dźwięku dzwonka, zawieszonego w próżni, nie słychać. Ale w zachowanej relacji o jego badaniach nie ma ani słowa o ciśnieniu atmosferycznym (West 2013).

Wróćmy do broszury Pascala. Dalej omówione są w niej – i brzmią bardziej wiarygodnie – eksperymenty z syfonem przelewającym rtęć z jednego naczynia do drugiego. Syfon działał, gdy był pochylony tak, że jego wysokość w pionie nie przekraczała 76 cm ponad poziom rtęci w górnym zbiorniku; a gdy przekraczała, działać przestawał. W kolejnej serii eksperymentów do rurki barometru wkładany był namoczony sznur, w trakcie badań wyciągany.

A wreszcie szklana rura z tłokiem, czyli jakby długa strzykawka, zanurzana była w zbiorniku z rtęcią. W miarę odciągania tłoka rtęć unosiła się, ale tylko do wysokości 76 cm ponad powierzchnię rtęci. Pascal, jak twierdzi, umieszczał cały przyrząd na wadze, by stwierdzić, czy jego ciężar rośnie wraz z powiększaniem objętości pustego miejsca. Na tej podstawie orzekał, że próżnia nic nie waży. Nie przedyskutował jednak kwestii błędów pomiarowych. Nie uwzględnił też spadku ciężaru ciała zanurzonego w powietrzu – czego mógłby się spodziewać w świetle Archimedesowego prawa wyporu połączonego z analogią między oceanem wody a oceanem powietrza.

Rok później ukazała się kolejna broszura, *Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs* („Relacja o wielkim eksperymencie na temat równowagi płynów”, 1648). O przeprowadzeniu takiego eksperymentu myślał wcześniej Mersenne. Kartezjusz twierdził, że to on podsunął Pascalowi pomysł, czemu ten zaprzeczył i przedstawił siebie jako pomysłodawcę. Tak czy inaczej, poinstruowany przez niego Florin Périer, mąż jego siostry, w towarzystwie kilku szacownych obywateli, wyniósł barometr rtęciowy na szczyt Puy de Dôme, wygasłego wulkanu wznoszącego się około kilometr ponad Clermont-Ferrand (miastem, w którym Pascal przyszedł na świat). Wędrowcy stwierdzili, że poziom rtęci w barometrze opadał wraz ze wzrostem wysokości. Właśnie tego kazała oczekiwać teoria ciśnienia atmosferycznego: wędrując pod górę, wynurzano się z oceanu powietrza. Barometr kontrolny, pozostawiony u podnóża góry i co jakiś czas doglądany przez sumiennego zakonnika, ciągle pokazywał to samo ciśnienie.

Pascal kontynuował badania eksperymentalne i dociekania teoretyczne nad ciśnieniem atmosferycznym i ciśnieniem słupów cieczy, a uzyskane wyniki zebrał w serii zapisków. Po nawróceniu religijnym w 1654 r. zrezygnował z ich opublikowania. Prace te ogłoszono pośmiertnie w 1663 r. jako *Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air* („Traktat o równowadze płynów i ciężarze masy powietrza”). Jeśli obejrzymy ryciny zamieszczone na wkładce na końcu książki, a także przekartkujemy całość, to

stwierdzimy, że zostało w niej omówionych co najmniej czterdzieści grup eksperymentów. Wyniki jednych świadczą o tym, że ciśnienie, jakie ciecz wywiera na dno naczynia, zależy od wysokości jej słupa, a nie zależy od jej objętości. W innych ciśnienie słupa cieczy, za pośrednictwem specjalnych urządzeń, unosiło ciężary (Pascal uchodzi w związku z tym za wynalazcę prasy hydraulicznej). Omówione są eksperymenty z miechami, z różnej średnicy rurami zamkniętymi tłokiem (te małe można nazwać strzykawkami), z syfonami, barometrami rtęciowymi prostymi i osadzonymi w szczególny sposób jeden na drugim itd. Niektóre eksperymenty przeprowadzano na powietrzu, a następnie zanurzano przyrządy w wodzie – i stwierdzano, że ciśnienie atmosferyczne sumuje się z ciśnieniem słupa wody. I tak dalej. Informacji o przebiegu eksperymentów z rurami długimi na 14 metrów nie znajdziemy.

5. Pascal jako jeden z pionierów Rewolucji Naukowej

W powszechnie dziś używanym układzie jednostek fizycznych SI „paskal” jest jednostką ciśnienia atmosferycznego ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / 1 \text{ m}^2$). Zapytajmy, czy Blaise Pascal zasłużył sobie na taki zaszczyt. W końcu trudno mu przypisać jakieś szczególne odkrycie, czy to teoretyczne, czy eksperymentalne. Teorię, jak dziś powiemy, ciśnienia atmosferycznego sformułował Torricelli, a wcześniej Baliani. Torricelli przewidywał, że woda sięgałaby w rurce barometru na wysokość ok. 10 m. Argumenty za i przeciw istnieniu próżni krążyły wśród uczonych, gdy Pascal przystępował do prac. O prawo do miana pomysłodawcy eksperymentu na Puy de Dôme ubiegali się oprócz niego Mersenne i Kartezjusz. Mało tego, zasadne są wątpliwości, czy Pascal przeprowadził niektóre eksperymenty, jakie we wspomnianych wyżej tekstach opisał. W szeregu przypadków można domniemywać, że na podstawie dostępnej mu wiedzy teoretycznej – w zasadniczym stopniu sformułowanej przez innych – po prostu przewidział, co w danej sytuacji nastąpi. A mimo to uważam, że wyróżnienie go przez twórców układu SI jest w pełni zasadne. Tyle że taka ocena wymaga zmiany wciąż powszechnych wyobrażeń o naturze nauki.

Zgodnie z tymi wyobrażeniami wiedza naukowa jest w pierwszym rzędzie dziełem geniuszy, ludzi, którzy dokonują wielkich odkryć eksperymentalnych i teoretycznych. Szczególny typ geniuszy stanowią ci, którzy w błysku intuicji, w natchnieniu, odrzucają powszechnie przyjęte teorie i tworzą nowe, z tamtymi niewspółmierne. W tym obrazie geniusze, zwłaszcza ci inicjujący rewolucję naukową, przedstawiani są jako samotnicy (czasem lepiej byłoby powiedzieć: buntownicy). Obraz ten wzmacniają fabrykowane pod jego wpływem opowieści o odkryciach naukowych, jakich pełno w podręcznikach i pracach popularyzatorskich.

Najwyższy czas, aby w świetle badań nad historią nauki obraz ten poddać poważnej zmianie. Osobliwe jest to, że za przewodnika mogą służyć prace Ludwika Flecka sprzed prawie 90 lat!

Niemożliwy jest naprawdę izolowany badacz, niemożliwe jest ahistoryczne odkrycie, niemożliwa jest bezstylowa obserwacja. Izolowany badacz bez uprzedzeń i tradycji, bez działających na niego sił społeczeństwa myślowego i bez wpływu ewolucji tego społeczeństwa byłby ślepy i bezmyślny. Myślenie jest czynnością zbiorową jak śpiew chóralny lub rozmowa. Podlega ono swoistym zmianom w czasie, wykazuje historyczną ciągłość tych przemian. Produktem jego jest pewien obraz, widoczny tylko dla tego, kto w tej czynności społecznej bierze udział, lub myśl jasna również tylko dla członków kolektywu. Co myślimy i jak widzimy, zależy od kolektywu myślowego, do którego należymy (Fleck 1935).

Przypadek Pascala stanowi znakomitą ilustrację tej tezy. Nie był – i nie mógł być – izolowanym badaczem. Należał do nabierającego stopniowo kształtu kolektywu myślowego badaczy, którzy pracowali – nie wiedząc, dokąd zmierzają – nad wytworzeniem stylu myślowego mechaniki klasycznej. Ten styl prowadził ich do badań i badania te ukierunkowywał, a pod wpływem uzyskiwanych wyników i krążenia myśli między umysłami członków kolektywu wciąż ewoluował. Przynależność do kolektywu dostarczała też badaczom motywów do pracy. A na czym polegała szczególna rola autora *Nowych eksperymentów dotyczących próżni*?

Fleck wyjaśnia sukcesy badań naukowych ich wielką systematycznością. Podkreśla, że podczas gdy rzucony kamień czasem trafia w dziurę, a czasem nie, to pył wiatrem niesiony nieuchronnie gromadzi się w zagłębieniach. Pogląd ten powtórzył za nim Thomas Kuhn (który systematycznością badań naukowych tłumaczył pojawianie się i gromadzenie anomalii). A wreszcie Paul Hoyningen-Huene stwierdził:

Wiedza naukowa różni się od innych rodzajów wiedzy, a w szczególności od wiedzy potocznej, przede wszystkim tym, że jest bardziej systematyczna (Hoyningen-Huene 2013, s. 14).

Wyróżnił on dziewięć aspektów naukowej systematyczności: naukowcy bardziej od innych systematycznie opisują badane zjawiska i wyjaśniają je, formułują liczne i dokładne przewidywania, uzasadniają, ale też krytykują głoszone twierdzenia, łączą je w system, dążą do tego, aby ich obrazy świata były kompletne, a wreszcie wciąż rozszerzają wiedzę.

Nie miejsce tu na analizowanie, krok po kroku, tego, na ile badania Pascala spełniają poszczególne kryteria systematyczności z kart książki Hoyningen-Huenego. Osobiście uważam tę książkę za najważniejszą ze znanych mi prac z filozofii nauki XXI w.; sądzę też, że powinna zostać poprawiona w szczegółach, a zwłaszcza należy zmodyfikować przedstawioną tam charakterystykę systematyczności naukowej. Szczegółowe studium badań nad ciśnieniem atmosferycznym z lat 1630–1660 – uwzględniające, obok wymienionych już

Balianiego, Galileusza, Torricellego, Magniego, Mersenne'a i Pascala, prace Otto Guerickego, Roberta Boyle'a i innych – mogłoby w tym bardzo pomóc. Ale to byłby temat na inny artykuł.

Pod tym względem dokonania Pascala przypominają to, co osiągnął Galileusz w księgach III i IV *Rozmów i dowodzeń matematycznych*. Również w przypadku Galileusza można mieć zasadne wątpliwości co do tego, czy przeprowadził on wszystkie opisane badania eksperymentalne, a w każdym razie czy przeprowadził je zgodnie z zawartymi w książce opisami. Ale przedstawił tam – z użyciem języka geometrii euklidesowej – kilkadziesiąt eksperymentów powiązanych ze sobą w taki sposób, że teoretyczne wnioski, do jakich prowadzą – wraz z przyjętymi założeniami, które Fleck określał mianem „czynnnych” – wspierają się wzajemnie. Eksperymenty te dotyczą bardzo wąskiej grupy zjawisk: toczenia się kulek po gładkiej, poziomej płaszczyźnie, staczania się ich z równi pochyłych i wtaczania na nie, spadku swobodnego, ruchów wahadeł w dobrym przybliżeniu matematycznych, a wreszcie ruchów pocisków wyrzuconych pod pewnym kątem do poziomu. Mało tego – podobnie jak w przypadku Pascala – trudno w *Dialogu* czy *Rozmowach* znaleźć jakiegokolwiek twierdzenia, które przynajmniej w zarysie nie pojawiłyby się w pracach innych badaczy tej epoki.

Aby – przez kontrast – lepiej zrozumieć, o co tu chodzi, porównajmy zawartość tych ksiąg Galileusza z zawartością ksiąg II, III i IV *Zasad filozofii* Kartezjusza (Sady 2009). Są to teksty o podobnej objętości. Kartezjusz pisze kolejno o tym, na czym polega rozrzedzanie i zagęszczanie ciał; o nieistnieniu atomów; o nieskończoności świata i o tym, że w każdej części jest on zbudowany z takiej samej materii; o spoczynku i ruchu, w tym o ruchu po kole, a zwłaszcza o zachowaniu ilości ruchu; o zderzeniach ciał; o różnicy między ciałami stałymi a cieciami i o unoszeniu przez ciecze w ruchu zanurzonych w nich ciał stałych; o odległościach między ciałami niebieskimi i o tym, które świecą światłem własnym, a które odbitym; o ruchach ciał niebieskich; o trzech rodzajach materii i o powstaniu gwiazd oraz układów planetarnych; o tym, czym jest światło i że rozchodzi się ono tylko w płaszczyźnie ekliptyki; dla czego gwiazdy, w tym Słońce, są kuliste; jak w obrębie wirów kosmicznych rozłożone są różne rodzaje materii; czym są i jak powstają plamy słoneczne; jak powstała nowa gwiazda w 1572 r., a po kilkunastu miesiącach znikła; o przemianie gwiazd w planety bądź komety oraz o ruchach, budowie i ewolucji komet; o ruchach planet i przyczynach, dla których nie są to ruchy jednostajne po okręgach; o przyczynach, dla których Księżyc krąży wokół Ziemi, zwrócony do niej zawsze tą samą stroną; o budowie Ziemi i o przemianach, jakim niegdyś podlegała, o otaczających ją powietrzu i wodzie; o przyptywach i odpływach mórz; o naturze rtęci, siarki, smoły, alunu, gliny, oleju i innych substancji; o podziemnych ogniach i wybuchach wulkanów; o piorunach i meteorach; o paleniu się świecy, alkoholu i innych ciał i o tym, co gasi ogień;

o naturze prochu strzelniczego, wapna, szkła; o tym, dlaczego szkło się topi, a po ostygnięciu jest kruche i przezroczyste; o naturze magnesu i przyczynach hartowania się stali; o własnościach sił magnetycznych; o przyciąganiu drobnych ciał przez potarty bursztyn, szkło, воск itd.; o powstawaniu wrażeń dotykowych, smakowych, słuchowych i wzrokowych, a także o tym, że dusza rezyduje w mózgu. Wymieniłem tylko najważniejsze z poruszanych w książce tematów. Pod koniec traktatu Kartezjusz (1642, ks. IV, § 199) z dumą podkreśla: „Tak więc dowieść można przez proste wyliczenie, że nie pominąłem w tym traktacie żadnych zjawisk przyrody” (Descartes 1960, s. 346). Tyle że jego uwagi na wymienione tematy są, z naukowego punktu widzenia, bezwartościowe. Kartezjusz puszcza wodze wyobraźni i wytwarza coś, co – mimo że próbuje objąć całość, a raczej właśnie dlatego – w żaden sposób nie wzbogaca obrazu świata, który nazwalibyśmy „naukowym”.

Gdy po lekturze jego pracy czytamy wspomniane książki Galileusza i Pascala, uderza nas ich tematyczna ubogość: dotyczą garstki zjawisk, badanych pod ograniczoną liczbą względów. Nie ma przeskoków do daleko idących uogólnień, nie ma pytań o istotę ukrytą pod powierzchnią zjawisk. Bada się to, co na danym etapie rozwoju wiedzy da się rzetelnie zbadać, korzystając z wyników podobnych prac wykonanych przez innych badaczy. Wciąż szuka się błędów eksperymentalnych i teoretycznych, jakie w świetle wiedzy zastanej mogły być popełnione – a nie da się tego dokonać, gdy powiązanych ze sobą prac badawczych jest mniej niż kilkadziesiąt, a nawet kilkaset. Czyni się to zespołowo, a poszczególne badania przez długi okres nie uważa się za zamknięte – bo wciąż wiele pozostaje do sprawdzenia. Zamiast kierowanych domniemaną „intuicją twórczą” przeskoków do wielkich teorii, robi się małe kroki: poprzestaje na wnioskach z wiedzy zastanej i nowych wyników doświadczeń.

Oto część z tego, co nazywam – wykraczając tu i ówdzie poza propozycje Hoyningen-Huenego – naukową systematycznością. Nie miejsce w tym artykule, aby temat dalej rozwijać. Podałem ten zarys, aby uzasadnić, dlaczego uważam, że Pascal w pełni zasłużył sobie na miano wielkiego naukowca, a także na to, aby jednostka ciśnienia atmosferycznego nosiła jego imię.

Bibliografia

- Correll M. (1952), *A Case Study in Scientific Inquiry: Atmospheric Pressure, Including Baliani's Ignored Letter*, „The Journal of General Education” 6 (4), s. 280–291.
- Descartes R. (1960), *Zasady filozofii*, przeł. I. Dąmbska, Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Edwards A.W.F. (2003), *Pascal's work on probability*, w: N. Hammond (red.), *The Cambridge Companion to Pascal*, Cambridge: Cambridge University Press, s. 40–52.

- Fleck L. (1935/1986), *Powstanie i rozwój faktu naukowego*, przeł. M. Tuszkiewicz, Lublin: Wydawnictwo Lubelskie.
- Fouke D.C. (2003), *Pascal's physics*, w: N. Hammond (red.), *The Cambridge Companion to Pascal*, Cambridge: Cambridge University Press, s. 75–100.
- Galilei G. (1638/1930), *Rozmowy i dowodzenia matematyczne w zakresie dwóch nowych umiejętności dotyczących mechaniki i ruchów miejscowych*, przeł. F. K[ucharzewski], Warszawa: Kasa im. Mianowskiego.
- Hoyningen-Huene P. (2013), *Systematicity: The Nature of Science*, Oxford: Oxford University Press.
- Koyré M.A. (1968), *Metaphysics and Measurement*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Sady W. (2009), *Dlaczego „Rozmowy i dowodzenia matematyczne” Galileusza są naukowe, a „Świat” Kartezjusza nie?*, w: J. Zon (red.), *Pogranicza nauki. Protonauka – paranauka – pseudonauka*, Lublin: Wydawnictwo KUL, s. 87–100.
- West J.B. (2013), *Torricelli and the Ocean of Air: The First Measurement of Barometric Pressure*, „Physiology” 28 (2), s. 66–73.

W o j c i e c h S a d y

Blaise Pascal as One of the Pioneers of Scientific Research

Keywords: *atmospheric pressure, history of geometry, scientific revolution, vacuum*

From childhood, Blaise Pascal (1623–1662) was educated in a house where he had contacts with members of the Mersenne Academy. Due to these circumstances he was familiar with the achievements of mathematicians, physicists and other pioneers of the Great Scientific Revolution of 1540–1640. He formulated an important theorem on conic sections, built a mechanical calculator, and together with Pierre de Fermat laid the foundations of the calculus of probability. In physics, he made important research on vacuum and atmospheric pressure. He did not make important theoretical or experimental discoveries in this field, but he played a great historical role because he gave experimental research and theoretical inquiries on these subjects a more systematic form than other physicists of his time. And systematic treatment lies in the nature of science.