Kartezjusz i fizyka

Roman S. INGARDEN

Apud me omnia fiunt mathematice in natura.

(Łac.: Według mnie wszystko się dzieje w przyrodzie na sposób matematyczny.)

Kartezjusz w liście do Mersenne'a

Bene qui latuit, bene vixit.

(W oryginale: *Bene vixit, qui bene latuit.* Łac.: Dobrze żył, kto dobrze się ukrył.

Owidiusz (43 p.n.e. – 17 n.e.), *Tristia* 3,4,25.)

Dewiza życiowa Kartezjusza

Używam zlatynizowanej i spolszczonej formy Kartezjusz zamiast francuskiej Descartes (czytaj 'Dekart' z akcentem na ostatniej zgłosce), mimo że sam Kartezjusz formy łacińskiej Cartesius nigdy nie używał, nawet gdy pisał po łacinie. (Wówczas pisał o sobie: Renatus Des Cartes.) Chodzi o to, że przydomek szlachecki „Des" nie należy do właściwego nazwiska i dlatego przymiotnik utworzony od nazwiska brzmi nawet po francusku *cartésien, -enne*, a nie *descartésien*, nazwa doktryny zaś to *cartésianisme*, a nie *descartésianisme*. Pełny jego tytuł szlachecki brzmiał po francusku: *René Des-Cartes Chevalier Seigneur du Perron.* Ostatni tytuł pochodzi ze spadku dóbr Perron z rodziny matki, która zmarła, gdy René miał rok (1597). Spadek ten pozwolił mu na dostatnie i samodzielne życie, nawet za życia ojca, który zmarł dopiero w wieku 70 lat, w roku 1640, gdy René miał 44 lata. (Wówczas otrzymał drugi spadek, który zainwestował, z czego uzyskiwał roczną rentę 6 do 7 tysięcy franków, co wówczas było dużo.) Te warunki materialne pozwoliły mu na „ukrycie się" na wsi (*latuit* od łac. *lateo, -ere, -ui* = być ukrytym, pozostać nieznanym). Było to w duchu grecko-rzymskiej etyki stoickiej (od gr. *stoa poikile* = malowany portyk w Atenach, w którym nauczał Zenon z Kition około 300 p.n.e., twórca stoicyzmu). Stoicyzm głosił „obojętność na cierpienia, zamkniętość duszy wobec złych stron życia" (A. Lalande). Stoicyzm był modny wśród klasycznie wykształconych ludzi tego czasu. Kartezjusz otrzymał bardzo staranne wykształcenie klasyczne w świeżo założonym znakomitym jezuickim kolegium królewskim (*Collège Royal*) w La Flèche w prowincji Anjou. Była to szkoła średnia, rodzaj gimnazjum, do której uczęszczał od wieku 10 do 18 lat. (Według nowszych danych Ch. Adama [1]; dawniej uważano, że od wieku 8 do 16 lat i to się często utrzymuje w literaturze, patrz np. [10], [2]). Wykształcenie uzupełnił Kartezjusz bakalaureatem i licencjatem prawa i medycyny na uniwersytecie w Poitiers (1616). Było to wykształcenie, jak chciał ojciec, na urzędnika królewskiego lub działacza samorządowego, lub na lekarza. Sam Kartezjusz, a może też wspólnie z ojcem, uznał, że nadaje się także dla kariery wojskowej i w tym celu wyjechał do Holandii, gdzie w latach 1618–1619 praktykował najbardziej wówczas nowoczesną sztukę wojenną. Na razie nic nie wskazywało na zamiary zostania uczonym. Został nim jednak, jakby mimo woli (a na pewno wbrew woli ojca). Wymaga więc pewnego komentarza to, co napisał Tatarkiewicz [11] o Kartezjuszu:

> Kartezjusz był jakby typem uczonego; był tylko i wyłącznie uczonym. Bez ambicji osobistych (w przeciwieństwie do Fr. Bacona), bez aspiracji do pouczania ludzi i poprawiania świata, opanowany był wyłącznie żądzą udoskonalenia własnego umysłu i poznania prawdy; ten cel kierował jego życiem od początku do końca.

Oddajmy jednak głos samemu Kartezjuszowi. W pierwszym swoim dziele opublikowanym anonimowo po francusku w Lejdzie w roku 1637, pt. *Rozprawa o metodzie właściwego kierowania rozumem i poszukiwania prawdy w naukach* (wraz z dodatkami: *Dioptryka, Meteory i Geometria, które są próbami tej metody*; „Próby", po francusku *Essais*, inaczej „Szkice", tak krótko nazywano to dzieło, patrz [5] i [4]), pisze:

> Od dzieciństwa uczono mnie różnych nauk, a ponieważ przekonywano mnie, że z ich pomocą mogę uzyskać jasne i pewne poznanie wszystkiego, co jest potrzebne do życia, byłem pełen wielkiej chęci opanowania tych nauk. Gdy jednak tylko skończyłem kurs nauki, który zwykle kończy się przyjęciem do

Rozwiązanie zadania F 442. Niech v_0 będzie początkową prędkością, natomiast m – masą kamienia. Oznaczmy przez F siłę oporu. Z zasady zachowania energii wynika, że

$$\int_0^{H_1} mg\,dz = \frac{1}{2}mv_0^2,$$

gdy nie ma oporu, i

$$\int_0^{H_2} (mg + F)\,dz = \frac{1}{2}mv_0^2,$$

gdy jest opór (H_1 i H_2 są maksymalnymi wysokościami, na jakie wzniosą się kamienie). Z powyższych równań wynika, że

$$mgH_1 = mgH_2 + \int_0^{H_2} F\,dz,$$

czyli $H_1 > H_2$.

Z zasady zachowania pędu mamy

$$\int_0^{T_1} mg\,dt = mv,$$

gdy nie ma oporu powietrza, i

$$\int_0^{T_2} (mg + F)\,dt = mv,$$

gdy jest opór (T_1 i T_2 są czasami wznoszenia się obu kamieni). Otrzymujemy stąd

$$mgT_1 = mgT_2 + \int_0^{T_2} F\,dt,$$

czyli $T_1 > T_2$.

A zatem kamień, który nie doznaje oporu powietrza, porusza się dłużej i osiąga większą wysokość.

klasy uczonych, całkowicie zmieniłem swe zdanie. Tak zaplątałem się mianowicie w wątpliwościach i błędach, że wydawało mi się, że swojemi staraniami w nauce osiągnąłem tylko jedno: coraz bardziej i bardziej przekonywałem się o swojej niewiedzy. A, nawiasem mówiąc, kształciłem się w jednej z najbardziej znanych szkół w Europie i uważałem, że jeśli są gdzieś na Ziemi ludzie uczeni, to tam powinni być. (...) Stopniowo oswobodziłem się z wielu błędów, które mogą zasłaniać naturalne światło i uczynić nas mniej podatnymi na głos rozumu. Po tym, gdy zużyłem kilka lat na studia księgi świata i zdobyłem pewien zasób doświadczenia, pewnego dnia zdecydowałem się zbadać samego siebie i wyzyskać wszystkie siły rozumu dla wybrania dróg, którymi winienem podążać. (...) Pierwszym było, aby nigdy nie przyjmować za prawdziwą żadnej rzeczy, zanim by jako taka nie została rozpoznana przeze mnie w sposób oczywisty; co znaczy, aby starannie unikać pośpiechu i uprzedzeń oraz aby nie zawrzeć w swych sądach nic ponadto, co jawi się przed mym umysłem tak jasno i wyraźnie, że nie miałbym żadnego powodu, by o tym powątpiewać.

Owe „studia księgi świata" to kilkuletnie podróże i udział w wojnach i „na dworach" w Europie. (Był też w Polsce od Gdańska po Kraków, gdy w roku 1619 zdążał przez Danię, Polskę, Węgry i Czechy do Frankfurtu nad Menem na koronację Ferdynanda II Habsburga na cesarza, 28 sierpnia. Asmus [2] przeczy pobytowi Kartezjusza w Polsce, ale jego argumenty wydają się mało przekonywające.) Po koronacji Ferdynanda Kartezjusz wstąpił jako ochotnik do armii bawarskiej i wziął udział w wojnie 30-letniej, w tym w słynnej bitwie pod Białą Górą w Czechach. „W dniu 10 XI 1619 r. na postoju w Neuburg nad Dunajem w kampanii przeciw Czechom odkrył niewzruszoną jego zdaniem podstawę pewności: możemy wątpić we wszystko, ale nie możemy wątpić, że myślimy, a więc istniejemy: *Cogito, ergo sum* (łac.: Myślę, więc jestem)", ([3] s. 166). W latach 1623 i 1624 był we Włoszech, potem 3 lata w Paryżu. W 1628 wyjechał ostatecznie do Holandii, gdzie spędził 20 lat jako prywatny uczony (jak Bacon, Huygens, Leibniz, Voltaire). Mieszkał w różnych małych miejscowościach, „w ukryciu", w pobliżu uniwersytetów, z którymi się prywatnie kontaktował, czasami zapisując się też jako student. Zmarł w roku 1650 w Sztokholmie zaproszony do Szwecji przez królową szwedzką, Krystynę.

Oprócz „Szkiców" ogłosił Kartezjusz za życia (już pod swoim nazwiskiem) jeszcze 3 dzieła: *Medytacje o pierwszej filozofii* (po łacinie, dotyczy metafizyki, 1641), *Zasady filozofii* (w tym fizyki, po łacinie, 1644) i *Namiętności duszy* (psychologia, fizjologia, po francusku, 1649). Był więc uniwersalnym uczonym: zajmował się filozofią, matematyką, fizyką i biologią (psychologia, fizjologia). Jeśli chodzi o ocenę jego działalności naukowej dzisiaj, to jako reprezentatywną można zacytować opinię Bertranda Russella z jego znakomitej historii filozofii ([9] s. 583):

> Descartes był filozofem, matematykiem i przyrodnikiem (*man of science*). W filozofii i matematyce dzieło jego ma najwyższe znaczenie; w naukach przyrodniczych (*science*), choć chwalebne (*creditable*), nie było tak dobre jak dzieło niektórych jego współczesnych.

Tu ma Russell niewątpliwie na myśli Galileusza (1564–1642) i Keplera (1571–1630), którzy chociaż starsi od Kartezjusza (Galileusz o 32 lata, Kepler o 25), byli częściowo jego współczesnymi. O Keplerze Kartezjusz raczej niewiele wiedział, ale o Galileuszu słyszał już w kolegium, a potem czytał jego dzieła. Mógł go nawet odwiedzić będąc we Włoszech, ale nie zrobił tego, może nie śmiał, gdyż nie miał jeszcze wtedy żadnych publikacji. Zacytuję pewne wypowiedzi Galileusza i Kartezjusza wskazujące na różnice w ich stylu i sposobie myślenia, (patrz [7] s. 89):

Galileusz:

> W żadnym wypadku nie zamierzam wciskać teorii filozoficznych w ciasne ramy tego niewdzięcznego i całkowicie nieozdobnego stylu stosowanego przez czystych geometrów, którzy nie wypowiedzą żadnego pojedynczego słowa, które by nie było całkowicie niezbędne. (...) Nie uważam za błąd mówienie o wielu rozmaitych rzeczach, nawet w rozprawach, które mają tylko jeden specjalny

Rozwiązanie zadania F 441. Niech m będzie chwilową masą cylindra (wraz z cieczą), v – chwilową prędkością cylindra, h – chwilową wysokością słupa cieczy w chwili t, natomiast $m + \mathrm{d}m$, $v + \mathrm{d}v$, $h + \mathrm{d}h$ odpowiednimi wartościami w chwili $t + \mathrm{d}t$. Z zasady zachowania pędu mamy

$$(m + \mathrm{d}m)(v + \mathrm{d}v) - mv = -\mathrm{d}m(v_0 - v),$$

gdzie v_0 jest prędkością wypływu cieczy przez otworek (względem cylindra), czyli z dokładnością do wyrazów liniowych w różniczkach

$$m\,\mathrm{d}v + v_0\,\mathrm{d}m = 0\,.$$

Z zasady zachowania energii mamy

$$\frac{1}{2}(m + \mathrm{d}m)(v + \mathrm{d}v)^2 - \frac{1}{2}mv^2 - \\ -\frac{1}{2}\mathrm{d}m(v - v_0)^2 = \\ = -\mathrm{d}mgh - \frac{1}{2}\mathrm{d}m\left(\frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}t}\right)^2.$$

Korzystając z zasady zachowania pędu, z dokładnością do wyrazów liniowych w różniczkach otrzymujemy

$$\frac{1}{2}\left(\frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}t}\right)^2 + gh = \frac{1}{2}v_0^2\,.$$

Ponieważ ciecz jest nieściśliwa, mamy

$$\frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}t}R^2 = -v_0 r^2\,.$$

Rozwiązując powyższy układ równań otrzymujemy

$$v_0^2 = \frac{2gh}{1-p}\,,$$

gdzie $p = \left(\frac{r}{R}\right)^4$ oraz

$$\frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}t} = -\sqrt{\frac{2gp}{1-p}h}\,.$$

Wprowadźmy zmienne bezwymiarowe

$$y = \frac{h}{H}\,, \qquad u = \sqrt{\frac{1-p}{2gH}}v\,,$$
$$\tau = \sqrt{\frac{gp}{2H(1-p)}}t\,.$$

W tych zmiennych wysokość słupa cieczy opisuje równanie

$$\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}\tau} = -2\sqrt{y}\,.$$

z warunkiem początkowym $y(0) = 1$. Rozwiązanie ma postać

$$y = (1-\tau)^2\,.$$

Podstawiając to do równania określającego prędkość wypływu cieczy z cylindra dostajemy

$$u_0 = 1 - \tau\,.$$

Zasada zachowania pędu przyjmuje postać

$$m\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}\tau} + (1-\tau)\frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}\tau} = 0\,,$$

przy czym $m = M + m_0 y$. Otrzymujemy stąd równanie określające prędkość cylindra w postaci

$$\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}\tau} = \frac{2(\tau-1)^2}{\tau_0^2 + (\tau-1)^2}; \quad \tau_0 = \sqrt{\frac{M}{m_0}}$$

z warunkiem początkowym $u(0) = 0$. Rozwiązanie ma postać

$$u = 2\left[\tau + \tau_0\left(\operatorname{arctg}\frac{1-\tau}{\tau_0} - \operatorname{arctg}\frac{1}{\tau_0}\right)\right].$$

Dla $\tau = \tau_0$ cylinder jest pusty, a jego prędkość ma maksymalną wartość

$$u_{\max} = 2\left(1 - \operatorname{arctg}\frac{1}{\tau_0}\right).$$

temat, gdyż wydaje mi się, że nasze czyny i odkrycia uzyskują swoją wielkość, szlachetność i jakość nie tylko przez rzeczy konieczne, których brak byłby niedopuszczalny, ale także przez wiele innych spraw.

Kartezjusz pisze o Galileuszu:

> Wielkim błędem [Galileusza] wydają mi się jego ciągłe dygresje; nie pozostaje on zwykle przy jednym temacie, aby wszystko wyjaśnić, co należy do tego jednego zagadnienia. To wskazuje, że nie wszystko po kolei przemyślał i że szuka tylko określonych efektów, bez rozważenia pierwszych przyczyn; buduje więc na piasku.

Kartezjusz zajął się więc stworzeniem mocnych podstaw fizyki. Opierał się na tym, co poznał doświadczalnie i zrozumiał Galileusz, ale sformułował to znacznie dokładniej i wyraźniej, zgodnie ze swoją nowo odkrytą „metodą". W ten sposób powstały po raz pierwszy wyraźnie sformułowane następujące podstawowe zasady fizyki (szerzej omawiam to w [8]):

(1) **zasada bezwładności**. W ujęciu Kartezjusza:

> Uważam, że natura ruchu jest taka, że jeżeli jakieś ciało raz zostanie wprawione w ruch, to to samo już wystarcza, by poruszało się dalej z tą samą szybkością i stale w tym samym kierunku po prostej, tak długo aż nie zostanie zatrzymane lub odchylone przez jakąś inną przyczynę.

Jest to już prawie to samo co u Izaaka Newtona (1643–1727, *Principia* 1687), z tym że Newton wyodrębnił drugą część zdania w tzw. drugą zasadę mechaniki wprowadzając pojęcia siły, masy i przyspieszenia i podając związek między nimi, czyli swoje słynne równania ruchu.

(2) **zasada względności**. Czytamy u Kartezjusza:

> Chociaż więc jakiekolwiek ciało posiada tylko jeden ruch sobie właściwy, który należy rozumieć w ten sposób, że ciało odsuwa się od poszczególnych przylegających do niego i spoczywających ciał, może ono jednak uczestniczyć w niezliczonych innych ruchach, jeżeli mianowicie tworzy część innych ciał, które wykonują inne ruchy.

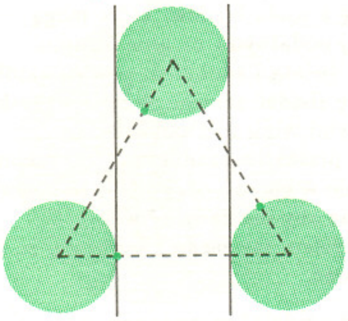
W ten sposób Kartezjusz starał się pogodzić poglądy Ptolemeusza i Kopernika na ruchy Ziemi i Słońca, a także polemicznie obronić się przed zarzutami Kościoła w epoce procesu i skazania Galileusza (1633). Faktycznie Kartezjusz sformułował jasno po raz pierwszy kapitalną zasadę względności ruchu, tylko częściowo rozumianą przez Kopernika i Galileusza, ale nie rozumianą przez współczesnych. Zasady tej nie rozumiał jeszcze w pełni sam Newton wprowadzając błędne pojęcia absolutnej przestrzeni i absolutnego czasu. Całkowicie matematycznie ścisłe sformułowanie zasady względności ruchu dał dopiero Albert Einstein (1879–1955) w XX wieku.

(3) **zasada zachowania ilości ruchu**. Na ten temat Kartezjusz napisał:

> ... ruch jest niczym innym jak tylko stanem, w którym znajduje się poruszająca się materia, ma on jednak pewną określoną ilość, co do której łatwo możemy zrozumieć, że może być stale taka sama w całym wszechświecie, chociażby się zmieniała w jego poszczególnych częściach.

Kartezjusz uważał, że ilość ruchu jest iloczynem szybkości i „wielkości ciała", którą rozumiał jako objętość ciała, a nie jako iloczyn objętości przez gęstość (jak dopiero wprowadził pojęcie masy Newton). Błąd ten miał przyczynę filozoficzną: Kartezjusz uważał materię za „rzecz rozciągłą" (a duszę za „rzecz myślącą" nierozciągłą), podczas gdy materii trzeba przypisać także inne istotne atrybuty (jak masę, ładunek, moment magnetyczny itp.). Drugi błąd Kartezjusza polegał na tym, że chociaż dobrze wiedział, że szybkość ma kierunek, nie tylko absolutną wielkość, zlekceważył ten fakt uznając, że istotna w prawie zachowania ilości ruchu jest tylko absolutna wielkość szybkości. Uważał bowiem, że dusza musi mieć swobodę zmiany kierunku ruchu, aby w ten sposób kierować ciałem. Znowu zaważyła więc jego filozofia metafizyczna, która wydała mu się zupełnie oczywista, a więc prawdziwa. Widzimy tu wyraźnie granice racjonalizmu: nie można wszystkiego na temat świata wyprowadzać z „czystego myślenia".

Rozwiązanie zadania M 792. Tak; oto przykład takiego zbioru, pomysłu Pana Leszka Pieniążka:



Koła otwarte (bez brzegu) mają promienie jednostkowe, a ich środki są wierzchołkami trójkąta równobocznego o boku długości 4; ponadto do zbioru należą trzy punkty leżące na bokach trójkąta (patrz rysunek).

Czytelnik zechce zastanowić się, jak zmodyfikować ten przykład, by otrzymać podzbiór płaszczyzny, którego rzut na dowolną prostą jest sumą dwóch rozłącznych półprostych otwartych (bez końców).

Rozwiązanie zadania M 794. Nie. Po pierwsze, gdyby taki zbiór istniał, musiałby być skończony. Aby to wykazać, wprowadźmy na płaszczyźnie układ współrzędnych kartezjańskich. Współrzędne każdego punktu są wyznaczone przez jego rzuty na osie układu. Ponieważ rozpatrywany zbiór po zrzutowaniu na każdą z osi daje dokładnie 1996 punktów, to sam składa się z co najwyżej $1996 \cdot 1996$ punktów.

Rozważmy teraz wszystkie proste przechodzące przez więcej niż jeden punkt zbioru. Jest ich co najwyżej $\binom{1996^2}{2}$, a więc skończenie wiele, podczas gdy kierunków rzutowania na płaszczyźnie jest nieskończenie wiele. Istnieje więc rzut prostopadły, który nie „skleja" żadnych dwóch punktów naszego zbioru, a zatem zbiór musi składać się z dokładnie 1996 punktów. Jednak wówczas rzut w kierunku prostej przechodzącej przez dowolne dwa punkty zbioru „skleja" je i obraz naszego zbioru w tym rzucie składa się z co najwyżej 1995 punktów, co przeczy założeniom zadania i dowodzi, że taki zbiór nie może istnieć.

Bibliografia

[1] Adam, Ch. (1937) *Descartes, sa vie et son oeuvre*, Boivin, Paris.
[2] Asmus, W.F. (1956) *Dekart*, Gos. Izd. Polit. Lit., Moskwa.
[3] Bocheński, J. (1993) *Zarys historii filozofii*, Philed, Kraków.
[4] Descartes, R. (1970) *Rozprawa o metodzie*, tłum. W. Wojciechowska, PWN, Warszawa.
[5] Dekart, R. (1953) *Rassuždenie o metodie s priloženiami Dioptrika, Meteory, Geometria*, red. i tłum. G.G. Slusarewa i A.P. Juszkiewicza, Izd. Akad. Nauk SSSR, Moskwa.
[6] Eco, U. (1995) *Wyspa dnia poprzedniego*, tłum. A. Szymanowski, PIW, Warszawa.
[7] Feyerabend, P. (1986) *Wieder den Methodenzwang*, Suhrkamp, Frankfurt am Main.
[8] Ingarden R.S. (1950) Descartes a fizyka nowożytna, *Kwart. Filozoficzny* **19**, 71–149, nowe wyd: Kartezjusz a Galileusz i Newton – jako twórcy fizyki nowożytnej, w: R.S. Ingarden (1994) *Fizyka i fizycy. Szkice i studia o historii i filozofii fizyki*, Wyd. UMK, Toruń, s. 75–127.
[9] Russell, B. (1946) *History of Western Philosophy*, Allen and Unwin, London.
[10] Specht, R. (1966) *René Descartes in Selbstzeugnissen und Bilddokumenten*, Rowohlt, Reinbek bei Hamburg.
[11] Tatarkiewicz, W. (1958) *Historia filozofii*, t. II. *Filozofia nowożytna do roku 1830*, Wyd. nowe, PWN, Warszawa.
[12] Voltaire (1956) *Elementy filozofii Newtona*, wstęp A. Teske, tłum. B.J. Gawecki, PWN, Warszawa.

Ten drugi błąd Kartezjusza poprawił Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) w roku 1686 w pracy *Brevis demonstratio memorabilis erroris Cartesii* (*Krótki dowód pamiętnego błędu Kartezjusza*). Leibniz wprowadził obok zasady zachowania ilości ruchu (czyli pędu) dla wszystkich trzech składowych przestrzennych także zasadę zachowania energii. (Energię zdefiniował, ale jeszcze tak jej nie nazwał, nazywał ją „siłą": *vis viva* = siła żywa jako energia kinetyczna, a *potentia motrix* lub *potentia agendi* = możliwość poruszania, jako energia potencjalna.) Leibniz wdał się jednak w raczej bezsensowną dyskusję filozoficzną, co jest ważniejsze: ilość ruchu czy energia? Dziś wiemy, że obie wielkości są równie ważne jako całki pierwsze równań ruchu Newtona. Energia tworzy czwartą, czasową, składową pędu z punktu widzenia szczególnej teorii względności Einsteina.

Dalsze spekulacje filozoficzno-fizyczne Kartezjusza to jego kosmologia. Opierając się na swoich prawach ruchu, czyli – jakbyśmy dziś powiedzieli – na swojej dynamice, chciał wyjaśnić prawa ruchu układu planetarnego. Wprowadził w tym celu hipotetyczne wiry przezroczystej „materii kosmicznej" (fluidu, eteru?), która – według niego – wypełnia całą przestrzeń międzyplanetarną. Wiry te miałyby poruszać planety w ich ruchu obrotowym i naokoło Słońca. Ów fluid międzyplanetarny miałby być też, według Kartezjusza, ośrodkiem przenoszącym światło. Kartezjusz ignorował odkryte już w tym czasie trzy prawa Keplera ruchu planet (być może ich nie znał) i nie wykonał żadnych obliczeń matematycznych ruchu planet. Obliczenia zrobił dopiero Newton wychodząc ze swych równań ruchu i uzyskując z rachunku prawa Keplera. Newton wyśmiał całkowicie teorię Kartezjusza. (Napisał: „Hipoteza wirowa zatem w zupełności przeczy zjawiskom astronomicznym...", a o sobie: „Hipotez nie wymyślam" = *Hypotheses non fingo.*) Poglądy Newtona rozpropagował we Francji Voltaire (1694–1778) w swoich „Listach filozoficznych" („Listach o Anglikach") i w „Elementach filozofii Newtona" (1738), ([12]), zwalczając gwałtownie kartezjanizm. W Niemczech zrobił to Leibniz. W ten sposób upadła wielka przedtem sława Kartezjusza w fizyce.

Krytyka ta była w dużym stopniu słuszna, ale trzeba sobie uświadomić, jakim kosztem ona się dokonała. Newton faktycznie wrócił do tzw. ukrytych właściwości Arystotelesa (które słusznie krytykował Kartezjusz), gdyż uznał za taką właściwość siłę grawitacji. Działa ona, według Newtona, na odległość przez próżnię bez żadnego opóźnienia, momentalnie. Tak się wówczas wydawało, dziś jednak wiemy, że nie jest to prawda, istnieje pewne opóźnienie. Oddziaływanie rozchodzi się z szybkością światła (a więc bardzo dużą) przez pole grawitacyjne, które istnieje też w „fizycznej próżni", to znaczy przestrzeni bez ciał o tzw. masie spoczynkowej. Wyjaśnił to dopiero Einstein w swojej ogólnej teorii względności. Mamy tu więc jakby podwójne zwycięstwo poglądów Kartezjusza. Po pierwsze, zachodzi w przyrodzie (w niekwantowym przybliżeniu) lokalna przyczynowość (o którą walczył Kartezjusz), w której pośredniczy ośrodek fizyczny (pole), choć nie posiadający masy spoczynkowej (dziś mówimy o grawitonach o masie zerowej jak fotony). Po drugie, zwyciężył geometryczny opis materii uzyskany dzięki temu, że Einstein wprowadził nową własność przestrzeni: krzywiznę według tzw. geometrii Riemanna odkrytej w XIX wieku. (Nie znaczy to jednak, aby program geometryzacji już dziś został w fizyce kompletnie zrealizowany: na razie odnosi się tylko do grawitacji.) Jednak pozostają błędami Kartezjusza jego niewiara w istnienie próżni fizycznej (mimo że uczestniczył w doświadczeniach Pascala z próżnią) oraz jego hipoteza wirów.

Kartezjusz wniósł jednak do fizyki znacznie więcej niż tylko swe ogólne koncepcje teoretyczne. (Nie były one jeszcze bardzo matematyczne, wbrew jego ogólnemu postulatowi matematyzacji fizyki, ale wtedy nie mogły jeszcze być.) Mimo wszystko rozjaśniły one drogę dalszego postępu fizyki. Należy sobie bowiem uświadomić, jaka była wtedy mentalność ludzi epoki baroku, por. np. na ten temat kapitalną satyrę baroku w ostatniej powieści Umberta Eco [6]. Istotne są też wyniki Kartezjusza w optyce i w tym, co się wówczas nazywało „meteorami", czyli fizyce atmosfery. Kartezjusz pierwszy opublikował

prawidłowe prawo załamania światła (prawdopodobnie niezależnie od W. Snella, który je nieco wcześniej, ale inaczej, sformułował i nie opublikował) oraz dokonał wielu znakomitych odkryć w dziedzinie teorii przyrządów optycznych (punkty aplanatyczne, owale Descartesa, zastosowanie hiperboloidy obrotowej itp.). Niestety, większość tych odkryć jest niepraktyczna z powodu trudności wykonania asferycznych powierzchni optycznych (Kartezjusz zbudował maszynę do tego celu, ale niewystarczająco dokładną). W *Meteorach* wyjaśnił prawidłowo powstawanie tęczy przez załamanie i odbicie światła w kroplach wody (niestety, nie znał jeszcze zjawiska rozszczepienia, które odkrył dopiero Newton, więc barwy tęczy pozostały na razie nie wyjaśnione).

W sumie był Kartezjusz wielkim fizykiem przełomowej epoki. Nikt z wielkich fizyków jego czasu nie dokonał wszystkiego dla stworzenia tzw. fizyki klasycznej (przedkwantowej). Był im równy wielkością myśli, choć mylił się w niektórych sprawach.

Zadania

Redaguje Krzysztof OLESZKIEWICZ

Sprostowanie

Zadanie **M 769** z kwietniowego numeru *Delty* zostało sformułowane w niezbyt ścisły sposób, a jego rozwiązanie zawiera poważną usterkę. Przypomnijmy treść tego zadania:

Czy istnieje podzbiór płaszczyzny, którego rzut prostopadły na dowolną prostą jest sumą dwóch rozłącznych odcinków?

Rozwiązanie przedstawione przeze mnie w *Delcie* korzystało z pewnej własności, którą intuicyjnie można opisać następująco: jeśli podzbiór płaszczyzny spełniający warunki zadania rzutować na ustaloną prostą obracając go wokół ustalonego punktu, to końce obu odcinków, z których rzut się składa, będą się poruszać w sposób ciągły (czyli obrót o „mały" kąt zmieni rzut w „małym" stopniu). Ścisły, formalny dowód tej własności wymaga – jak sądziłem – pewnych rozważań technicznych, żmudnych, ale dość oczywistych dla każdego, kto zna podstawy analizy matematycznej. W tym przekonaniu powierzyłem Czytelnikom uściślenie rozumowania. Na szczęście Pan Leszek Pieniążek nie dał się oszukać i podał prosty przykład wskazujący nie tylko, iż moja sugestia jest **fałszywa**, lecz, co więcej, zbiór spełniający warunki zadania **istnieje**! (Zob. zadanie **M 792**.)

Czy zatem rozwiązanie firmowe jest całkiem błędne? Na szczęście nie; po minimalnych zmianach „kosmetycznych" działa bez zarzutu, jeśli słowo *odcinek* w treści zadania rozumieć jako *przedział prostej wraz z końcami* (jak to często przyjmuje się w geometrii) albo jeśli słowo *rozłącznych* zastąpić przez *rozłącznych i nie mających wspólnego końca*. Również dodanie pewnych założeń technicznych (np. że zbiór jest otwarty lub domknięty) zapewnia spełnienie powyższej własności ciągłej zależności rzutu od kąta obrotu i – co za tym idzie – negatywną odpowiedź na pytanie z zadania **M 769**. Sprawdzenie, iż tak jest w istocie, pozostawiam, jak zwykle, Wnikliwym Czytelnikom...

Przepraszam za niedbalstwo, a Panu Leszkowi Pieniążkowi dziękuję za czujność i inspirację do zadań, które ukazują się w niniejszym numerze *Delty*.

M 792. Czy istnieje podzbiór płaszczyzny, którego rzut prostopadły na dowolną prostą jest sumą dwóch rozłącznych odcinków otwartych (tj. bez końców)?
Rozwiązanie na str. 6

M 793. Czy istnieje podzbiór płaszczyzny, którego rzut prostopadły na dowolną prostą jest sumą trzech rozłącznych odcinków otwartych (tj. bez końców)?
Rozwiązanie na str. 10

M 794. Czy istnieje podzbiór płaszczyzny, którego rzut prostopadły na dowolną prostą składa się dokładnie z 1996 różnych punktów?
Rozwiązanie na str. 6

Redaguje Krzysztof REJMER

F 441. Otwarty od góry cylinder o promieniu wewnętrznym R i masie M jest wypełniony nieściśliwą cieczą o masie m_0. Wysokość słupa cieczy w cylindrze jest równa H. W bocznej ściance cylindra u jego podstawy wywiercono dziurkę o promieniu r. Znaleźć prędkość cylindra jako funkcję czasu, jeśli w chwili początkowej spoczywa on na gładkiej, poziomej płaszczyźnie.
Rozwiązanie na str. 5

F 442. Dwa kamienie rzucono z taką samą prędkością początkową w polu grawitacyjnym Ziemi pionowo do góry. Pierwszy porusza się w próżni, a drugi w powietrzu. Porównać maksymalne wysokości, na jakie wzniosą się kamienie, oraz czasy wznoszenia się. Przyjmujemy, że pole grawitacyjne jest jednorodne.
Rozwiązanie na str. 4