



Foto – Dreamstime

Przypisuje się Arystotelesowi, najpotężniejszemu przypuszczalnie umysłowi w historii ludzkości, brak znajomości fizyki. Jakoby jego błędne poglądy zatrzymały na wieki rozwój tej dziedziny. Cytuje się poglądy, że nie rozumiał praw ruchu, mówiąc o powietrzu, które popycha z tyłu strzałę i o spadaniu ciał, „bo naturalnym miejscem ciał ciężkich jest środek Ziemi”. Ale to Newton stwierdził, że jego dzieło było możliwe, „bo stał na barkach gigantów” z poprzednich epok. Kim oni byli?

Grzegorz Karwasz

### Filozof

Zacniemy od Filozofa, przez duże „F” jak nazywano Arystotelesa (384-322 p.n.e.) ze Stagiry (prowincjonalnego miasta na północy Grecji). Warto zajrzeć do jego oryginalnych dzieł a nie tylko omówień [1], aby zadziwić się różnorodnością jego dzieł i zawartych w nich wyników naukowych Z jego *Metafizyki* [2] (a nie *Fizyki* [3], jak by się można spodziewać) znamy „cztery żywioły”, czyli stany skupienia materii: Filozof przywołuje swoich poprzedników: „Empedokles [jako zasady<sup>1</sup>] przyjmuje ogień, ziemię, wodę i powietrze” (*Metafizyka*, 988, 26). Dalej pisze Arystoteles, że ogień<sup>2</sup>, powietrze i woda wzajemnie w siebie przechodzą (*Metafizyka*, 989, 24): „Widzimy, że cztery elementy generują się nawzajem”. Ale ziemia różni się od trzech pozostałych – ognia, powietrza i wody:

rzeczywiście, łatwiej było w Grecji zaobserwować mgłę i płomień ogniska niż sublimację czy topnienie metali.

*Fizyka* w dużej części jest poświęcona pojęciom przestrzeni i czasu – zagadnień dyskutowanych do dzisiaj. Arystoteles pojmował przestrzeń jako odległość między dwoma ciałami materialnymi. W tym sensie pusta przestrzeń nie miała sensu. Naśmiewano się z tego *horror vacui* przez stulecia. Galileusz (1564-1642) wprowadził względność ruchu a Kartezjusz (1596-1650) swoim układem współrzędnych niejako „wyprał” przestrzeń ze resztek materialności. Do tego stopnia, że Immanuel Kant (1724-1804) przeniósł pojęcie czasu i przestrzeni z fizyki do filozofii, jak *czystą naoczność*. „Świat ciał fizycznych rozpatrywany jest jako zawarty w absolutnej, pustej i nieruchomej, geometrycznej przestrzeni oraz w absolutnym, pustym i równomiernie upływającym matematycznym czasie.” [4]

Ale interpretacja Kanta wytrzymała tylko 200 lat: to niemieckojęzyczny Einstein dokonał rewolucji, najpierw

<sup>1</sup> Tłumaczenia, np. polskie T. Żeleźnika (ale i włoskie G. Reale) używają słowa „zasada”, choć powinno się raczej mówić o substancjach pierwotnych, jak pisze Wł. Tatariewicz w swej niezrównanej „Historii Filozofii” – o pierwiastkach (PWN, Warszawa, 1981, str. 41).

<sup>2</sup> Ten sam Wł. Tatariewicz, w latach 30-tych ub. wieku nie uważał ognia, czyli plazmy (zob. artykuł w FwSz [6]) za stan materii i pisał „stan ognisty wydawał się wówczas stanem czwartym obok stałego, płynnego i gazowego”.

w Szczególnej Teorii pokazując, że absolutny czas i absolutna przestrzeń nie istnieją, a później, w „Ogólnej”, że ich forma (tzn. cztero-tensor czasoprzestrzeni) zależy do zawartej w niej materii. A ostatnim etapem w przyznaniu racji Arystotelesowi w kwestii przestrzeni nieistniejącej bez materii były słowa matematyka z wykształcenia, odkrywcy rozszerzenia się Wszechświata, księdza George’a Lemaitre’a: „Jeżeli ta hipoteza potwierdzi się, to pojęcia czasu i przestrzeni nie miały żadnego sensu zanim pierwotny atom podzielił się na dwa. W tym sensie początek czasu i przestrzeni miał miejsce na moment przed powstaniem Wszechświata”, zob. [5].

Lektura jakiegokolwiek fragmentu *Fizyki* jest inspirująca. Tak pisał Arystoteles o nieskończoności (203a-b):

*Ci natomiast, którzy przyjmują nieograniczoną liczbę elementów, jak np. Anaksagoras lub Demokryt, twierdzą, że nieskończoność jest ciągła przez styczność – a tworzą ją jednorodne cząstki, według jednego, a równokształtne<sup>3</sup> atomy, według drugiego. [...] Demokryt jest natomiast innego zdania, twierdzi mianowicie, że żaden element nie powstał z innego elementu<sup>4</sup>. [...] Wynika więc jasno z powyższych rozważań, że teoria nieskończoności, to temat interesujący dla fizyków [...]. Lecz jeśli przestrzeń zewnętrzna jest nieskończona, to również i ilość ciał jest nieskończona, a także i ilość światów.*

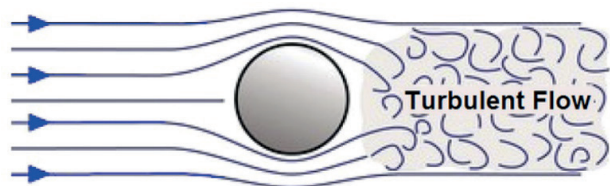
Niejaki Max Tegmark, kilkanaście lat temu, nieco dla żartu napisał o wszechświatach równoległych. I mimo, że ma na koncie wiele cennych wyników naukowych, z wszechświatami równoległymi jest kojarzony. A i studentów ulubione pytanie brzmi: „Co jest poza światem, który widzimy?” (tj. horyzontem 13,8 mld lat świetlnych). Jako fizyk doświadczalny mogę odpowiedzieć posługując się „brzytwą Ockhama”: jest to doświadczalnie niesprawdzone, więc dla mnie, po prostu, nie istnieje.

Najbardziej niespodziewana w *Fizyce* (194b) jest jednak klasyfikacja przyczyn: wyliczył ich Arystoteles cztery. „Na gruncie powyższych ustaleń przejdziemy do zbadania przyczyn, ich charakteru i ilości. Skoro bowiem przedmiotem naszych rozważań jest poznanie, a poznanie uważamy za równoznaczne ze zrozumieniem „dlaczego” [...]” Genialnie ujął Arystoteles istotę fizyki, w odróżnieniu od innych wielu nauk: fizyka wyjaśnia nie tylko „jak”, ale przede wszystkim „dlaczego”.

*W jednym przeto znaczeniu nazywa się przyczyną to, z czego coś powstaje i trwa, np. brząz jest w tym sensie przyczyną posągu, a srebro naczynia [...]. W drugim znaczeniu nazywa się przyczyną danej rzeczy jej formę lub model [...]. W trzecim znaczeniu nazywa się przyczyną źródło przemian i spoczynku, np. człowiek dający rady jest przyczyną, ojciec jest przyczyną dzie-*

*cka; ogólnie mówiąc: czynnik tworzący jest przyczyną przedmiotu wytworzonego, a czynnik zmieniający – zmiany. W czwartym wreszcie znaczeniu nazywa się przyczyną cel, czyli przyczynę celową, np. zdrowie jest przyczyną spaceru: dlaczego spaceru, pytamy? „Ażeby spacerujący był zdrow”, mówiąc tak sądzimy, że wykazaliśmy przyczynę.*

Filozofia nazywa te przyczyny materialną, formalną, sprawczą i celową. O ile dziś, w sprawie trzech pierwszych panuje powszechna zgoda – przyczyna celowa została z nauki usunięta. A Arystoteles chętnie się nią posługiwał: ciała ciężkie spadają, bo dążą do środka Ziemi, jako że miejsce naturalne ciał ciężkich jest w środku Ziemi. Czy dziś potrafimy wyjaśnić to lepiej? Słowo „gravitacja” pochodzi od „grave”, czyli ciężki. Przyczyną spadania jest więc prawo ciężaru (?).



Rys. 1. Czy to powietrze popycha lecącą strzałę? Patrząc na ten schemat przepływu turbulentnego wydaje się, że Arystoteles miał rację. <https://physics.stackexchange.com/questions/428719/how-do-speed-and-density-change-in-a-turbulent-flow>

W traktacie *O duszy* [7], zaliczonym dziś do psychologii, Arystoteles zaskakuje całą serią trafnych obserwacji dotyczących np. światła i dźwięku. „Światło nie jest ani ogniem, ani w ogólne ciałem, ani emanacją [czyli parowaniem] żadnego ciała – bo w tym wypadku byłoby również rodzajem ciała – lecz jest obecnością ognia lub czegoś tego rodzaju w materii przezroczystej [...]” (*O duszy*, 418b, 15)

Dziś mówimy, że światło jest falą elektromagnetyczną, poruszającą się w próżni, powietrzu, wodzie, czyli w materii przezroczystej. Fala elektromagnetyczna niesie energię, ale nie masę: kwanty światła czerwonego ( $\lambda=700$  nm) mają energię (w ulubionych przez nas jednostkach)  $E=2$  eV, co z kolei przeliczone za pomocą stałej Boltzmanna  $k$  na temperaturę  $E=kT$  daje około 20 tys. K. Tak! światło to jakby ogień wysyłany przez gorące ciało i propagujący w ośrodku przezroczystym.

Rozdział VII „Wzrok i jego przedmiot” zaczyna się od stwierdzenia: „Przedmiotem właściwym wzroku jest ‘rzecz widzialna’. Jest nią barwa oraz pewien rodzaj rzeczy, który można wprowadzić opisać słowami, lecz któremu brak własnej nazwy.” (*O duszy*, 418a, 29)

Wiemy dziś, że w siatkówce człowieka (a także motyla) znajdują się dwa rodzaje receptorów – jedno z nich, mniej czułe, reagują na kolory (motyl *Graphium sarpedon*<sup>5</sup> rozróżnia ich aż 15); drugie<sup>6</sup> – bardzo czułe (prawie

<sup>3</sup> Przypominamy fakt, niezbyt oczywisty, że „rozmiary atomów” i tych najbliższych jak H i He, jak i najcięższych, jak Pb, są zbliżone – około 1 Angstroma (=10-10 m). Cięższe atomy mają więcej protonów, a przez to silniejszy potencjał przyciągający elektrony.

<sup>4</sup> Oczywiście, Demokryt miał rację: w reakcjach chemicznych żaden pierwiastek nie może zamienić się w inny. Aby powstała cała różnorodność pierwiastków, w szczególności tych ciężkich, potrzebny był wybuch supernowej – gwiazdy, która była poprzednim wcieleniem Słońca.

<sup>5</sup> [http://www.sciencemag.org/news/2016/03/butterfly-has-extreme-color-vision?utm\\_campaign=email-news-latest&et rid=35353469&et cid=327254](http://www.sciencemag.org/news/2016/03/butterfly-has-extreme-color-vision?utm_campaign=email-news-latest&et rid=35353469&et cid=327254)

<sup>6</sup> Niedawno odkryto, że oko człowieka ma jeszcze trzeci rodzaj receptorów, który uaktywnia się u osób praktycznie niewidzących – dając rodzaj niebieskich poświat. O widzeniu napiszemy innym razem.



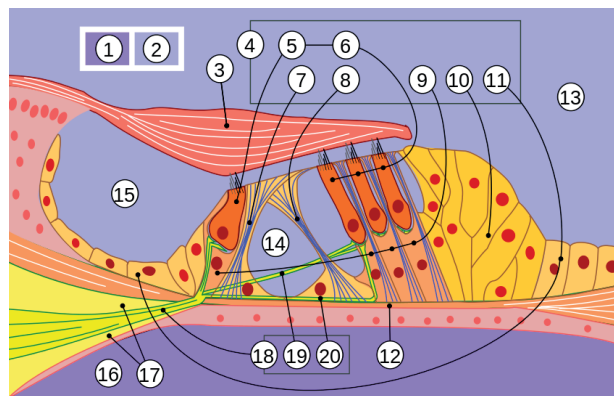
na pojedyncze fotony) – postrzegają światło-cień (odcienie szarości). Słowa światłocien Arystoteles nie znał. Ale zauważył np. że to zewnętrzne oświetlenie warunkuje postrzeganie kolorów: „Każda barwa posiada zdolność wprawiania w ruch ośrodka aktualnie przezroczystego; ta zdolność stanowi jego naturę; dlatego barwa nie jest widziana bez światła; tylko w świetle widzi się barwę każdego przedmiotu.” I znów, w dobie „żarówek” żarowych, neonowych, LED, energio-oszczędnych itd. wiemy, że to rodzaj oświetlenia w dużej mierze warunkuje naszą percepcję kolorów.

Genialnie pisał też o dźwięku: „To samo rozumowanie [co dla światła] ma zastosowanie w przypadku dźwięku i zapachu, ponieważ żaden z nich nie wywołuje postrzeżenia zmysłowego na drodze kontaktu z organem zmysłowym; zapach i dźwięk w wprawiają w ruch ośrodki przestrzenne, a ten dopiero z kolei wprawia w ruch nasze organy zmysłowe [...] Ośrodkiem przewodzącym jest dla dźwięków powietrze, dla zapachu ośrodek przewodzący nie ma nazwy.” Tak! Dźwięk postrzegany przez ucho to fala podłużna rozchodząca się w powietrzu.

A o powstawaniu dźwięków Arystoteles pisał tak: „Realny dźwięk powstaje zawsze pod wpływem czegoś w stosunku do czegoś i w czymś, albowiem przyczyną wywołującą dźwięk jest uderzenie. Toteż przedmiot dźwięczący wydaje dźwięk, o ile jest w specjalnej relacji do czegoś; a uderzenie same nie jest możliwe bez ruchu przestrzennego. [...] dźwięk wyda brzę oraz wszystkie przedmioty gładkie i wydrążone; brzę dlatego, że jest gładki, a przedmioty wydrążone dlatego, że powietrze wprawione w ruch nie może się wydostać z nich na zewnątrz, lecz odgłos powtarza wielokrotnie pewne uderzenia.” (O duszy, 418b, 15)

Dlaczego w skrzypcach, gitarze i fortepianie struny są rozpięte na pudle? Prosta (lecz błędna) odpowiedź mówi, że pudło rezonansowe wzmacnia dźwięk. Nieprawda! Do wzmacniania potrzebny jest elektroniczny wzmacniacz, a nie nieruchawe pudło. Jest jak pisze Arystoteles: struna wprawia w ruch duże, płaskie płaszczyzny pudła, te wprawiają w ruch powietrze w (wydrążonym) pudle, a przez otwory drgania te wychodzą na zewnątrz. Sama struna jest zbyt cienka, aby wprawić w drgania dużą kolumnę powietrza w koncertowej. Nazywam pudło rezonansowe „sprzęgaczem różnych modów drgań”. Ale Arystoteles powiedział to prościej.

Co więcej, „dźwięk słycać nie tylko w powietrzu, lecz i w wodzie, choć mniej wyraźnie” (O duszy, 419b, 18). Tak! woda też „przewodzi” dźwięki a szybkość ich propagacji jest znacznie większa niż w powietrzu (1500 m/s). A jak ze słyszeniem? Hasło Wikipedii „Sound\_velocity” nic o tym nie mówi, a dopiero „Underwater\_acoustics” wyjaśnia obserwację Filozofa. Po pierwsze, próg czułości ucha ludzkiego jest w wodzie 3,5 razy wyższy (potrzebne jest większe natężenie dźwięku), ale co ważniejsze, odkształcenie akustyczne wody jest nieliniowe, przez co dźwięki sinusoidalne docierają jako zniekształcone.



Rys. 2. Właściwy narząd słuchu w uchu wewnętrznym - narząd Cortiego<sup>7</sup>. Zwięźający się ślimak to jakby układ wnęk rezonansowych, dla coraz wyższych częstotliwości – coś na kształt rezonatora Königa (zob. nasz plakat dydaktyczny „Tout tremble” [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics\\_is\\_fun/posters/fourier6-fr.ppt](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/posters/fourier6-fr.ppt)). Drgania wnęk są odbierane przez zakończenia komórek nerwowych (5, 6 na rysunku powyżej).

Może zatem wywoływać dźwięk to, co ma zdolność wprawiać w ruch zwartą w jedno masę powietrza rozciągającą się nieprzerwanie aż do ucha, z którym jest ono naturalnie złączone. Ponieważ ucho jest otoczone powietrzem, dlatego, ile razy wibruje zewnętrzne powietrze, wibruje także powietrze wewnętrzne. (O duszy, 420a, 5)

Znamy z biologii anatomię ucha: bębenek, młoteczek itd. W ten sposób ucho „słyszy”; ale jak rozróżnia dźwięki? Otóż w uchu wewnętrznym wibruje ciecz, w przewodzie ślimakowatym, coraz bardziej zwięźającym się. A przewod jest wyłożony zakończeniami komórek nerwowych, zob. rys. 2.

Rozważania o głosie istot żywych są równie ciekawe: rozróżniał Arystoteles wysokość dźwięku (ang. *pitch*), melodię, ale i barwę, np. fletu lub cytry (420b, 8). Paweł Siwek, tłumacz znakomity wyjaśnia barwę jako efekt psychologiczny – dla fizyka jest to jednak fakt obiektywny: zawartość tzw. wyższych harmonicznych. O „czarodziejским flecie” i barwie jego dźwięków pisaliśmy dydaktycznie w „Fizyce w Szkole” w 2006 roku [8].

Wracając do *Fizyki* to, co stanowi początek szkolnych kursów, czyli o prawach Newtona. Przypisuje się Arystotelesowi (i jego następcom w średniowieczu) tezę, że jakoby to anioły miały wachlować skrzydłami dla utrzymania planet w ruchu. A dla ruchu lecącej strzały – powietrze, które je popycha ją z tyłu. Patrząc na przepływ turbulenty gazu (rys. 1) tak by się mogło wydawać. Ale Arystoteles dobrze rozumiał zasadę bezwładności. Tak pisał:

„Nikt też nie potrafi wyjaśnić, wskutek czego ciało wprawione w ruch gdzieś się musi zatrzymać; dlaczego zatrzyma się w tym niż innym miejscu. A zatem ciało albo się będzie znajdować w spoczynku, albo się będzie poruszać w nieskończoność, jeżeli tylko nie stanie mu na drodze jakieś inne silniejsze ciało.” (Fizyka, 215a).

Przeczytajmy jeszcze raz: „ciało raz wprawione w ruch będzie się poruszać w nieskończoność.” Toż to pierwsze prawo Newtona, tyle że powiedziane w prostszy sposób!

<sup>7</sup> [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fd/Organ\\_of\\_Corti\\_multilingual.svg/900px-Organ\\_of\\_Corti\\_multilingual.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fd/Organ_of_Corti_multilingual.svg/900px-Organ_of_Corti_multilingual.svg.png); Autor: <https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Jmarchn>



Ryc. 3. Autor w trakcie wykładu w audytorium Wydziału Fizyki UMK: „ciało (kula drewniana) porusza się przed siebie tak długo, dopóki nie stanie jej na drodze inne ciało, cięższe (kula metalowa)”. Filmy na stronie: [dydaktyka.fizyka.umk.pl/FwSz](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/FwSz)

Oczywiście, ciało nie wprowadzone w ruch (przez zewnętrzną siłę) spoczywa. A określenie, „aż mu nie stanie na drodze” znajdziemy jako trzecie prawo dynamiki Kartezjusza. Ale o tym za chwilę - wcześniej o Jeanie Buridanie.

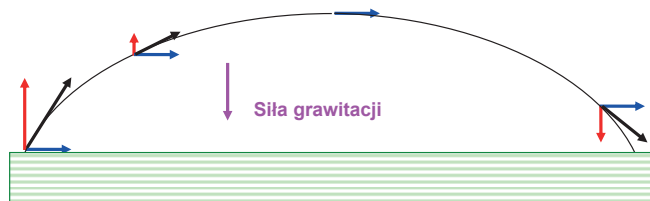
### Buridan, ten od osła<sup>8</sup> i impetusu

W rozwoju mechaniki kamieniem milowym była sformułowana przez rektora Uniwersytetu Paryskiego, Jana Buridana (1295-1363) zasada bezwładności (*impetus*), jak została wówczas nazwana). Buridan poprawnie zdefiniował *impetus*, czyli pęd jako iloczyn prędkości i masy ciała. Tak pisał w *Quaestiones* będących komentarzem do *Fizyki* Arystotelesa<sup>9</sup>:

*Kiedy napędzający wprawia jakieś ciało w ruch, udziela mu określonego pędu, tj. możliwości poruszania się w kierunku, który napędzający ciało nadał – czy to w górę, czy w dół, w bok lub po okręgu. Nadany pęd jest proporcjonalny do prędkości. To z powodu pędu kamień porusza się po tym, jak rzucający przestał go napędzać. Ale z powodu oporu powietrza (a także z powodu ciężkości kamienia), który działa w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu, pęd maleje wraz z upływem czasu. Z tego powodu ruch kamienia będzie stopniowo coraz wolniejszy aż w końcu pęd na tyle zmaleje albo zaniknie, że grawitacja kamienia przeważa i skieruje kamień w kierunku jego miejsca naturalnego [czyli w kierunku środka Ziemi]. Według mnie należy tę opinię przyjąć, ponieważ inne wyjaśnienia okazały się fałszywe a wszystkie zjawiska są zgodne z tym wyjaśnieniem.*

W rzucie (wystrzale z armaty itd.) mamy do czynienia właśnie z taką sytuacją, jaką opisał Buridan: początkowy kierunek ruchu jest taki, jaki ciało został nadany. Ale w trakcie ruchu działają na ciało inne siły: grawitacja

skierowana pionowo w dół lub opór powietrza, w kierunku przeciwnym do ruchu (a w przypadku „podkręconej” piłki jeszcze tzw. siła Magnusa, powodujące dodatkowe zakrzywienie toru lotu). Dlatego pęd ciała ulega zmianie (a tor ruchu nie jest linią prostą). Niezwykle ważne było też stwierdzenie, że pęd jest proporcjonalny do masy i że kierunek pędu jest kierunkiem prędkości. Zapisujemy to symbolicznie  $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ , gdzie symbole wytłuszczone oznaczają wektory. Jeszcze Kartezjusz miał trudności z właściwą interpretacją pędu, mimo że, jak zobaczymy dalej, poprawnie sformułował zasadę jego zachowania w zderzeniach dwóch ciał.



Ryc. 4. W rzucie ukośnym (wystrzale armatnim), początkowy kierunek lotu jest taki sam, jak prędkość nadana ciału. Co więcej, w kierunku poziomym (strzałka niebieska) ta prędkość nie zmienia się. W kierunku pionowym działa natomiast siła grawitacji – przeciwnie do składowej pionowej prędkości początkowej. W ten sposób, chwila po chwili, prędkość w kierunku pionowym maleje do zera a później zmienia kierunek – w dół. Tor ruchu jest parabolą. Zauważ, że w każdym chwili kierunek ruchu jest określony przez wektor prędkości. (GK, „Humanistyka”, w przygotowaniu)

Obszerne cytaty z pracy Buridana przytacza w swej znakomitej *Historii fizyki* prof. Andrzej Kajetan Wróblewski (str. 62). „Z tego też powodu szybko poruszające się wielkie koło młyńskie trudniej jest zatrzymać niż koło mniejsze, oczywiście dlatego, że w większym kole, przy innych warunkach takich samych, znajduje się mniej *impetus*.” Dziś, dla wyjaśnienia różnicy między wielkim a małym kołem młyńskim użylibyśmy, na poziomie licealnym, pojęcia *momentu bezwładności*. A dla określenia „przy innych takich samych warunkach” powiedzielibyśmy – koła kręcące się z tą samą *prędkością kątową*. Oj! Namnożyło nam się trudnych słów w dydaktyce fizyki przez ostatnie siedemset lat.

Buridan był uważnym obserwatorem; w kolejnym zadaniu pisze: „Z tejże przyczyny możecie rzucić kamień funtowy lub półfuntowy dalej nie tysięczną część tego kamienia. Albowiem w tej tysięcznej części impetu jest tak słaby, że natychmiast zostaje pokonany przez opór powietrza...” Błędem, który popełniamy w dydaktyce jest traktowanie świata fizycznego jako zbioru aksjomatów: pęd jest zachowany, a że istnieje opór powietrza? – udajemy, że go nie ma. I jak tu uczeń ma wierzyć nauczycielowi?

Kopernik na pewno znał dzieło Buridana, bo było ono w bibliotece Uniwersytetu Krakowskiego. I tak Mikołaj mógł przyjąć, bez dodatkowych założeń, że ruch planet jest wieczny – zachowują one swój *impetus*<sup>10</sup>. Upadało

<sup>8</sup> Więcej o Buridanie na stronie Uniwersytetu w Stanford, <https://plato.stanford.edu/entries/buridan/>

<sup>9</sup> Pedersen, Olaf (1993-03-26). Early physics and astronomy: a historical introduction. CUP Archive. p. 210. ISBN 978-0-521-40899-8. (za Wikipedia), tłumaczenie GK.

<sup>10</sup> Z ruchem planet sprawa jest nieco bardziej skomplikowana. W ruchu po okręgu prędkość jako wektor, zmienia się, bo zmienia się jej kierunek. Ale siła grawitacji (ze strony Słońca) działa *prostopadle* do kierunku ruchu. Zgodnie z zasadą zachowania energii, taka siła nie wykonuje pracy, więc energia nie zmienia się. W ruchu planet po okręgu zachowana jest więc *wartość* prędkości.

więc, stopniowo, Arystotelesowe rozgraniczenie na ruchu „niebiańskie” i ziemskie. Ale Kopernikowi (i Galileuszowi) poświęcimy oddzielną historię, innym razem.

## Kartezjusz

XVII wiek to początek kształtowania się silnych, narodowych państw w Europie. O ile w wojna stuletnia (1337-1453) miała charakter feudalny i dynastyczny (i Francja, i Anglia składały się z księstw), to na przełomie XVII i XVIII wieku zaczyna się zarysowywać rywalizacja między kilkoma „graczami” – w wojnie trzydziestoletniej (1618-1648) sojusze i przewaga sił ustawnie się zmieniały a wojna była bardziej o hegemonię na kontynencie niż o religię. Jak pisaliśmy w artykule o gazach [9], nauka stanowiła część tej rywalizacji między Francją, Anglią, Holandią - stąd podwójne nazwy przemian: Mariotte’a, Guy-Lussaca, Charlesa itd.

Rywalizacja zachodziła nie tylko na arenie międzynarodowej, ale i wśród naukowców tego samego kraju. W Anglii Robert Hook jako pierwszy postawił problem kolorów w bańkach mydlanych a John Flamsteed sporządził katalog gwiazd. Ale to Newton został narodowym bohaterem (mimo, że splagiatował katalog Flamstreda). Z Holandii znamy dla optyki prawo załamania Snelliusa (1580-1624), prawo Huyghensa (1629-1695), i jeszcze mikroskop Leveenhooke’a. Ale zasługi Huyghensa dla mechaniki (on jako pierwszy poprawnie zdefiniował pęd i obliczył siłę odśrodkową w ruchu po okręgu) są mało znane.

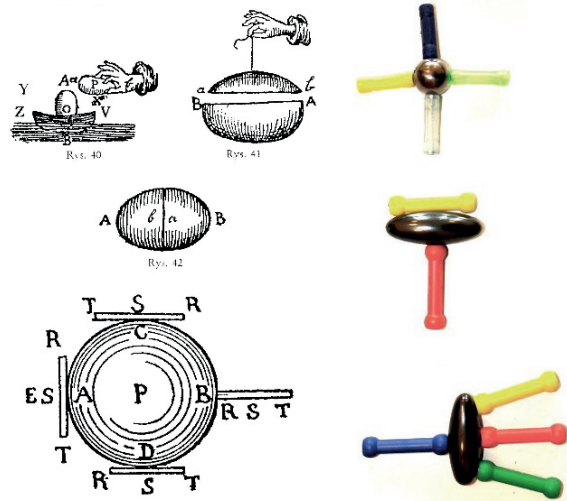
Najwybitniejszym myślicielem we Francji był w tym czasie René Descartes, w łacińskiej wersji Cartesius, żołnierz na wojnie trzydziestoletniej. Kartezjusz położył podwaliny nowoczesnej, analitycznej metody naukowej. W „Rozprawie o metodzie” (a pełna nazwa zawiera słowa „Zastosowanej do optyki”) podał cztery etapy rozumowania: I) niczego nie przyjmować jako oczywiste, ale skrupulatnie poddać ocenie; II) podzielić zagadnienie na „elementarne” porcje, III) rozwiązać każde z pytań po kolei, poczynając od najprostszych; IV) po skończeniu ocenić, czy rozumowanie jest kompletne (dla pełnego cytowania odsyłamy np. do wspomnianej *Historii fizyki*, str. 118).

Kartezjusz wyjaśnił powstawanie tęczy, ale też zajmował się magnesami: to on zaczął definiować bieguny magnetyczne, zob. rys. 5.

Prawa dynamiki sformułował w *Zasadach filozofii* [10], części II „O zasadach rzeczy materialnych”. Rozważania są obszerne – całość podajemy w wersji internetowej artykułu.

37. Pierwsze prawo natury: że każda rzecz, o ile jest sama w sobie, zawsze pozostaje w tym samym stanie: a także to, co raz zostało w ruch wprowadzone, zawsze dąży do ruchu. [...] Tak więc należy wnosić, że to, co się porusza, o ile samo jest dla siebie, zawsze się będzie poruszać.

W sformułowaniu Kartezjusza ciało „samo dla siebie” (czyli izolowane od sił zewnętrznych) utrzymuje swój stan: spoczynku albo ruchu. Ale wiadomo, że ruchy ustają. Kartezjusz wyjaśnia to w następnym punkcie „O ruchu przedmiotów rzucanych”. Pisze tak:



Ryc. 5. (a) Kartezjusza (*Zasady filozofii*, str. 249) i (b) nasze zabawy z magnesami. Dziś budujemy (szkolne) magnesy tak, aby miały dobrze określone dwa bieguny – czyli sztabkowe lub podkowiate. Ale ogólnie, magnes może mieć dowolny kształt: np. dwie magnetyczne „żuczki”, z hematytu, mają małe magnesy wewnątrz tak umieszczone, że ich bieguny są „na bokach” a nie na końcach.

38. Nie ma bowiem innej przyczyny, dla której przedmioty rzucone miałyby przez pewien czas trwać w ruchu, gdy odłączyły się od ręki dokonującej rzutu, prócz tej, że raz w ruch wprowadzone dalej utrzymują się w ruchu, dopóki nie zatrzymają ich napotkane ciała. I jasną jest rzeczą, że stopniowo zatrzymywać je zwykło powietrze lub inne ciała płynne, w których się poruszają, i dlatego ich ruch nie może trwać długo.

Kartezjusz proponuje dwa doświadczenia: „To bowiem, że powietrze stawia opór ruchom innych ciał, sprawdzić możemy samym zmysłem dotyku, jeśli potrząsać będziemy wachlarzem. To samo potwierdza lot ptaków” (s. 70-71). Drugie prawo Kartezjusza brzmi:

39. Drugie prawo natury, że każdy ruch sam w sobie jest ruchem po prostej i dlatego te ciała, które poruszają się ruchem obrotowym, zawsze dążą do oddalania się od środka koła, które opisują.

Tu Kartezjusz wprowadza poniekąd pojęcie przyspieszenia poprzez rozważenie małych odcinków czasu:

Bo nie innym go [Bóg] zachowuje aniżeli dokładnie takim, jaki jest w tym momencie, w którym go zachowuje, bez względu na to, jaki on mógł być w poprzedniej chwili, jasną jest jednak rzeczą, że wszystko, co się porusza, jest w czasie trwania ruchu zdeterminowane - w poszczególnych, dających się oznaczyć chwilach - do kontynuowania swego ruchu w jakimś kierunku po linii prostej, nigdy zaś po linii krzywej. (s. 71).

Ale nie ma w drugim prawie Kartezjusza nic o wartości przyspieszenia. Pisze o tym, ogólnie, nieco wcześniej:

26. Tak na przykład nie większe albo z pewnością nie o wiele większego potrzebujemy działania, by popchnąć statek spoczywający na stojącej wodzie, aby go wstrzymać nagle, kiedy jest już w ruchu [...].

W języku dzisiejszej fizyki powiedzielibyśmy: takiego samego popędu (ang. *impulsu*) musimy użyć, aby rozpędzić statek o masie  $m$  do określonej prędkości  $v$ , jak go



zatrzymać od tej prędkości. A Kartezjuszowe „działanie” (fr. *action* – dziś to słowo ma w fizyce inne znaczenie), czyli „popęd” definiujemy jako iloczyn siły  $F$  i czasu jej działania  $t$ :  $Ft = m\Delta v$

Nie wiem, czy to równanie jest teraz w programie szkolnym, czy nie (a należałoby jeszcze poprawnie zapisać wektory). Było u Kartezjusza, ale dość nieudolnie sformułowane, więc i dzisiejszy uczeń może mieć z tym kłopoty.

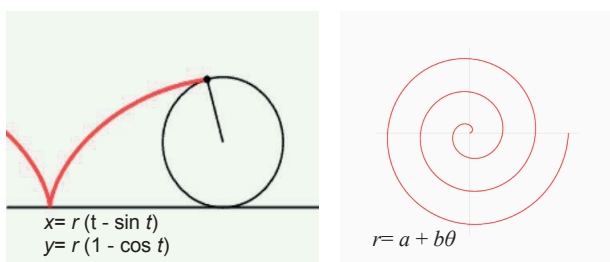
40. Trzecie prawo natury mówi: *gdy ciało będące w ruchu zderza się z innym, wówczas, jeśli mniejszą ma siłę do zdążania po linii prostej aniżeli temp do stawiania mu oporu, zawraca w przeciwną stronę, i zachowując swój ruch [fr. *mouvement*], traci tylko jego kierunek, jeśli jednak ma większą, wówczas porusza wraz z sobą to drugie ciało i tyleż traci ze swego ruchu, ile go tamtemu udziela.*

Tłumaczka poprawnie przełożyła na język polski staro-francuskie *mouvement*: ale powinno się powiedzieć „pęd”. *Momentum* pozostało w angielskim (i włoskim). Oj! tam też uczniowie mają kłopoty z językiem fizyków. Piszę o tym w internetowej fraszce „Słowa zastrzeżone”<sup>11</sup>.

Trzecie prawo Kartezjusza jest prawem zachowania pędu w układach izolowanych.  $\Sigma p = \text{const}$ . Jest więc złożeniem i drugiego i trzeciego prawa Newtona; ba! prostsze do zrozumienia niż równość sił akcji i reakcji (zob. [11] dla naszej doświadczalnej, z użyciem komputera, weryfikacji III prawa Newtona).

Kartezjusz przytacza całe mnóstwo przykładów, niestety, nieco trudnych do zrozumienia. „Jeśli  $C$  było dwa razy większe aniżeli  $B$ , a  $B$  nie poruszałoby się dwakroć prędzej niż  $C$ ,  $B$  nie popchnie tamtego, lecz samo zostanie odbite w przeciwnym kierunku.” (s. 75). Wyraźnie poszukuje prawa zachowania pędu. W wyjaśnieniu punktu 40, poszukuje definicji zderzenia sprężystego i (całkowicie) niesprężystego. Dziś wiemy, że trzeba rozważać łącznie i zachowanie energii i pędu. Proste przykłady – zderzenia kulek o równych i różnych masach podajemy w „Fizyce zabawek” a zderzenia wózków – na filmach<sup>12</sup> Katedry Dydaktyki Fizyki.

I jeszcze o cykloidzie – pięknym przykładzie składania ruchów: „A prócz tego ów jedyny ruch każdego ciała, jemu właściwy, może być rozpatrywany w zastępstwie wielu innych; tak jak w kołach u wozów odróżniamy dwa różne ruchy: mianowicie jeden obrotowy dookoła osi, drugi



Rys. 6. Cykloida i spirala Archimedesesa: dwa przykłady, w których opis parametryczny krzywej jest banalnie prosty a opis kartezjański – nie. Równani cykloidy używa współrzędnych kartezjańskich, ale spirali – biegunowych, który nazywam współrzędnymi „pająka”. Źródło: wikipedia (Zorgit, Adilapan)

prosty wzdłuż drogi, po której one jadą.” (str. 67). Jest to jeden z najbardziej właściwych momentów do wprowadzenia (w matematyce) parametrycznego opisu krzywych w układzie współrzędnych Kartezjusza, rys. 6.

## Na barkach gigantów

Jak podaje strona internetowa<sup>13</sup>, określenie „na barkach gigantów” pojawia się w od średniowiecza. Użył go też Newton w liście do Roberta Hooke’a.. Arystotelesa komentowały wszystkie wieki, od Buridana i Św. Tomasza, do dziś [12]. Warto więc przypomnieć jeszcze trzy genialne stwierdzenia z jego prac.

Pisząc *O niebie* zauważa coś, w co reszta uczonych nie wierzyła jeszcze sto lat temu, do czasów diagramu Hertzsprunga-Russella: że gwiazdy nie są niezmiennie. Arystoteles zdawał sobie sprawę, że sądy o gwiazdach są ryzykowne: „Wprawdzie mamy mało danych, od których moglibyśmy zacząć badania. Ponadto jesteście bardzo oddaleni od zjawisk, o których mowa”. Ale mimo to stwierdzał: „My bowiem pojmujemy gwiazdy jako ciała proste i jednostki rozłożone wprawdzie w pewnym porządku, lecz zupełnie nie żyjące, podczas gdy trzeba wiedzieć, że one rozwijają działalność i cieszą się życiem.” (*O niebie*, 292a). Szczególnie piękne w tłumaczeniu Pawła Siwka, jest „cieszą się życiem”.

W *Zoologii* Arystoteles napomina, aby nie zamykać się w swojej dziedzinie naukowej, bo człowiekowi podające-mu się za wykształconego to nie uchodzi.

I wreszcie *Fizykę* Filozof zaczyna on od rozróżnienia między rozumowaniem dedukcyjnym, od ogólnych stwierdzeń, „prostych dla przyrody”, eleganckich i graficznie lakonicznych jak prawa Maxwella czy równanie Ogólnej Teorii Względności, ale trudnych do zrozumienia, a rozumowaniem indukcyjnym – zaczynając od tego, co dla badacza jest prostsze.

*Skoro przy wszelkich roztrząsaniach, dla których istnieją zasady lub przyczyny lub elementy, wiedza i rozumienie wynikają właśnie z ich znajomości (wtedy bowiem sądzimy, żeśmy daną rzecz poznali, gdyśmy wykryli jej pierwsze przyczyny i pierwsze zasady aż do ostatecznych elementów), jasne się staje, że w poznawaniu przyrody najpierw trzeba próbować określić owe pierwsze zasady.*

*Naturalna droga prowadzi od tego, co lepiej znane i dla nas jaśniejsze, do tego, co z natury jest jaśniejsze i lepiej znane. Bo to nie jest to samo: lepiej znane i jaśniejsze dla nas, co: lepiej znane i jaśniejsze w ogóle. Dlatego więc trzeba koniecznie sposób postępowania przenieść z tego, co jest niejasne z natury, a dla nas jasne, na to co jest jaśniejsze i lepiej znane z natury. (Fizyka 184a, 1)*

Realizując dydaktycznie wskazówkę Arystotelesa nie miejmy obaw, aby użyć obydwu sformułowań: językowe-

<sup>11</sup> [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa\\_strona/?q=node/366](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/366)

<sup>12</sup> [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa\\_strona/?q=node/274](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/274)

<sup>13</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Standing\\_on\\_the\\_shoulders\\_of\\_giants](https://en.wikipedia.org/wiki/Standing_on_the_shoulders_of_giants)

go „ciało porusza się w nieskończoność” i matematycznego  $p = \text{const}$ .

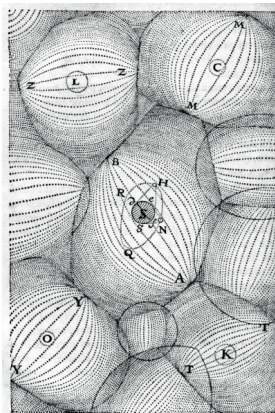
Krytykujemy średniowiecze za ręczne przepisywanie ksiąg: każde przepisanie dodawało błędy a nie nową wiedzę. A czy czasem w dzisiejszej dydaktyce tak się dzieje? Warto więc, od czasu do czasu, zajrzeć do oryginalnych dzieł.

I jeszcze wniosek dla dydaktyki konstruktywistycznej. Kłopoty Kartezjusza z użyciem pojęć „przekazana siła”, „ciężkość wypchanej wody”, „szybkość a powolność ruchu” świadczą, że i uczeń może w ten sposób rozumować. Nie gańmy go za to: jest na najlepszej drodze, aby zrobić spory krok, między Kartezjuszem a Newtonem. Co więc, warto zacytować uczniom fragmenty pracy Buridana, bo są proste i zrozumiałe. A jeśli uczniowie sami zauważą, że *impetus* w rzucie w górę najpierw maleje, później rośnie, a w momencie upadku jest taki jak w momencie wyrzutu – mamy przy okazji zasadę zachowania energii.

P.S. Dla nas, fizyków, myśl Arystotelesa jest bezcenna jeszcze z innego powodu. Pisał on o zoologii, o astronomii, o duszy, o etyce. Ale zasadniczo Arystoteles (a zanim Św. Tomasz z Akwinu) wyróżniał tylko trzy nauki *teoretyczne*: I) fizykę, która zajmuje się obiektami materialnymi i istniejącymi w przestrzeni; II) matematykę (geometrię), która zajmuje się obiektami istniejącymi w przestrzeni, ale niekoniecznie materialnymi (prosta w fizyce to kawałek szosy, ale w matematyce prosta istnieje jako obiekt abstrakcyjny), III) metafizykę (u Św. Tomasza teologię), która zajmuje się obiektami które istnieją (jak piękno i dobro), ale nie są ani materialne ani przestrzenne (*Metafizyka*, Ks. VI)

Grzegorz Karwasz

Katedra Dydaktyki Fizyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu



Rys. 7. Newton, w dodatku do „Zasad Filozofii Naturalnej” krytykował Kartezjusza za jego hipotezę wirów, napędzających ruch planet dookoła Słońca. Rzeczywiście, matematyczna, elegancka teoria grawitacji nie wymaga tego rodzaju wirów. Ale patrząc na galaktyki, nie ma wątpliwości, że są to jakiegoś kosmiczne wiry<sup>14</sup>. Co więcej, aby wyjaśnić stabilność tych „wirów”, naukowcy postulują, że są one zanurzone w „halo” z ciemnej materii<sup>15</sup>. Źródło: (a) Zasad filozofii, rys. 17; (b) Galaktyka M101 (NGC 5457) w konstelacji Wielkiej Niedźwiedzicy. Dominik Woś <https://astrofotografia.eu/m101/>

#### LITERATURA:

- [1] A. K. Wróblewski, *Historia fizyki*, PWN, Warszawa, 2006.
- [2] Arystoteles, *Metafizyka*, przekład Kazimierz Leśniak, PWN, Warszawa, 2009.
- [3] Arystoteles, *Fizyka*, przekład Kazimierz Leśniak, PWN, Warszawa, 2010.
- [4] D. Pakalski, *Formy naoczności i kategorie jako aprioryczne podstawy metafizyki w estetyce i analityce transcendentnej Kanta*, Studia z Historii Filozofii, s. 152. <http://apcz.umk.pl/czasopisma/index.php/szhf/article/download/szhf.2013.024/835/>
- [5] G. Karwasz, *Intelligent Design can be misleading*, Science e-letters, <https://science.sciencemag.org/content/357/6354/880.1/tab-e-letters>
- [6] G. Karwasz, *Od kuli plazmowej do plazmy termojądrowej*, Fizyka w Szkole, 1/2019.
- [7] Arystoteles, *O duszy*, przełożył Paweł Siwek, PWN, 1972.
- [8] G. Karwasz, E. Rajch, *Czarodziejski flet*, Fizyka w Szkole, 1/2006, [http://fizyka.umk.pl/~karwasz/publikacje/2006\\_Czarodziejski\\_flet.pdf](http://fizyka.umk.pl/~karwasz/publikacje/2006_Czarodziejski_flet.pdf)
- [9] G. Karwasz, W. Krychowiak, *Cztery i pół stanów skupienia. Gazy*, Fizyka w Szkole, 1/2020.
- [10] R. Descartes, *Zasady filozofii*, tłum. Izydora Dąbska, Wyd. Antyk, Kęty, 2001.
- [11] M. Sadowska, *Badanie trzeciej zasady dynamiki Newtona z wykorzystaniem zestawu komputerowego – scenariusz lekcji*, Postępy Fizyki, 6/2009, 262.
- [12] G. Karwasz, *Aristotle's three souls in modern science: Re-reading „De Anima”*,
- [13] *Cauriensia* 13 (December 2018) 429

<sup>14</sup> <https://physicstoday.scitation.org/doi/abs/10.1063/PT.3.1230?journalCode=pto>

<sup>15</sup> <http://www.ing.iac.es/PR/press/galspin.htm>