

Gdyby Arystoteles i Newton stanęli obok siebie, zapewne rozpętałyby się pomiędzy nimi kłótnia. To bzdura! To kłamstwo! To głupota!

Wykrzykiwaliby i oskarżali się nawzajem. Dwaj wielcy myśliciele, żyjący w różnych epokach, stworzyli teorie, na których przez wieki opierała się nauka. Teorie tak różne od siebie, jak różny był poziom wiedzy naukowej w czasach, w których żyli. Czy potrafimy dziś prześledzić ewolucje teorii? Czy możemy przeanalizować, jak pracowały umysły wielkich uczonych? Jak to się działo, że fakty dla jednych oczywiste, były uznawane za absurdalne przez drugich? Co powodowało, że nauka robiła krok naprzód?



Wyjaśnień udziela Tomasz Sowiński.

W 2005 roku skończył z wyróżnieniem studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w zakresie fizyki teoretycznej. Obecnie jest asystentem w Centrum Fizyki Teoretycznej PAN.

Z zamilowania zajmuje się popularyzacją nauki. W roku 2005 był nominowany do nagrody w konkursie Popularyzator Nauki organizowanym przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji oraz Polską Agencję Prasową.

kiego zachowania. Zaburzenie to zdaje się być wywołane jakąś dziwną siłą (dziś nazywaną siłą Coriolisa), w rzeczywistości jest jednak spowodowane obrotem układu odniesienia (Ziemia obraca się wokół własnej

Co narozrabiał GALILEUSZ?

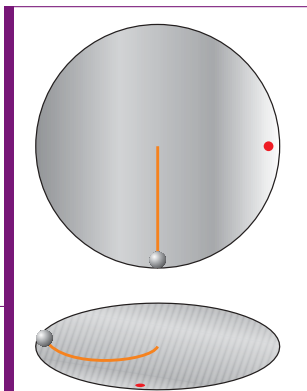
MT: Podczas poprzedniej rozmowy – opublikowanej w numerze 2/2006 MT, dowiedzieliśmy się, że Arystoteles nie kłamał, tylko patrzył na świat z innej perspektywy – perspektywy dostępnych wtedy doświadczeń. Czasy nowożytnie przyniosły nowe obserwacje, które pomagają nam wyjaśnić, dlaczego Newton widział świat w sposób tak odmienny od starożytnych.

TS: Przypomnijmy sobie najpierw, co dawało spojrzenie z innego układu odniesienia. Już wiemy, że skutkowało to zasadą dodawania prędkości sformułowaną przez Galileusza. Innym ciekawym przykładem mogą być doświadczenia przeprowadzone przez francuskiego fizyka Coriolisa.

Zauważył on, że ciała poruszające się na Ziemi, a właściwie ich tor ruchu ulega pewnym zakrzywieniom. Gdy rzucimy na Ziemię z dużej wysokości jakiś przedmiot, to tor jego ruchu podczas spadania odchyła się w bok.

Jeśli doświadczenie przeprowadzane jest w warunkach ciszy, bez wiatru i nic na przedmiot nie działa oprócz ziemskiej grawitacji to, dlaczego miałby spaść gdzieś obok? Będąc na Ziemi, nie widzimy powodu ta-

Przedmiot nie spadnie na punkt, który był pionowo pod miejscem zrzutu, ale obok.



osi). Gdy spojrzymy na rzucony ów przedmiot z perspektywy, z której widać byłoby obrót Ziemi, to zobaczymy, że to nie tor ruchu się odchylił, tylko podczas trwania tego ruchu Ziemia pod przedmiotem przesunęła się w bok.

Dla dociekliwych:

Siła Coriolisa jest podobnie jak siła bezwładności siłą pozorną i występuje tylko w układach obracających się. Wartość tej siły wynosi:

$$\vec{F}_{\text{cor}} = 2m\vec{v} \times \vec{\omega}$$

Gdzie: m – masa ciała, v – jego prędkość, ω – prędkość kątowa obracającego się układu, natomiast \times – iloczyn wektorowy.

Efekt ten nie jest zazwyczaj odczuwalny, a objawia się jedynie przy długotrwałych ruchach z dużymi prędkościami. Musi być np. uwzględniany przy lotach samolotów. Tłumaczy również kierunek wiatrów przyrównikowych zwanych pasatami. Na półkuli północnej wiatr ma tendencję do skręcania w prawo, a na południowej – w lewo. Dopiero gdy wyjdziemy poza nasz układ obserwacyjny, gdy na Ziemię popatrzymy całościowo, z kosmosu, to widzimy, że te wiatry nie uginają się dlatego, że coś na nie działa, tylko wiewą prosto, a to Ziemia się pod nimi obraca.

MT: Czy to Galileusz dał największy impuls ku nowej fizyce?

TS: Ja bym tak powiedział: to zasada Galileusza stoi u podstaw całej mechaniki Newtonowskiej. Właśnie dzięki zasadzie dodawania prędkości, dzięki pier-



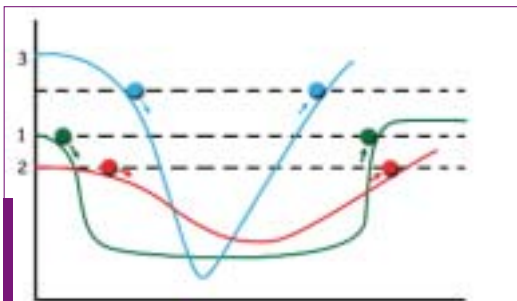
Widoczne ugięcie mas powietrza spowodowane obrotem Ziemi.

wszej zasadzie dynamiki, którą tak naprawdę również Galileusz sformułował, dzięki zasadzie swobodnego spadania całkowicie zmieniono teorię Arystotelesa o ruchach naturalnych i wymuszonych. Sam Newton był świadomy zasług swoich poprzedników, mówiąc: „Widziałem dalej dzięki temu, że stałem na barkach gigantów”.

MT: A jak Galileusz doszedł do swoich zasad?

TS: Galileusz przeprowadzał wiele eksperymentów myślowych, opartych na prawdziwych doświadczeniach, a z nich wyciągał logiczne wnioski zgodnie z wciąż obowiązującą zasadą naukowego myślenia.

Jedno z doświadczeń prowadziło do odrzucenia starożytnej zasady stanów naturalnych. Doświadczenie było proste. Galileo spuszczał kulkę po różnie powykrzywianych torach w ziemskim polu grawitacyjnym. Doświadczenie to powtarzał wielokrotnie i doszedł do wniosku, że przy odpowiednich warunkach (odpowiednio wyczyszczona kulka, wypolerowany tor) kulka powraca na tę samą wysokość, z której wyruszyła, niezależnie od kształtu toru.



Niezależnie od tego, jaki kształt będzie miał tor, kulka wróci do początkowej wysokości, z której rozpoczynała ruch.

Dziś wiemy, że to działa zasada zachowania energii, ale Galileusz tego wtedy nie wiedział. Możemy powiedzieć, że on ją pierwszy sprawdził ekspery-

talnie. Oczywiście zauważył, że gdy tor jest znacząco dłuższy, to kulka zatrzymuje się ciut niżej. Wywnioskował, że w takich wypadkach zadziały jakieś siły zewnętrzne – dziś wiemy, że to tarcie.

Gdy Galileusz już wiedział, że kulka zawsze wraca na tę samą wysokość, przeprowadził następujące rozumowanie: Co stałoby się, gdyby tor w pewnym momencie stał się poziomy i nigdy nie wracał na wysokość startową? Jeśli Arystoteles ma rację, to kulka wchodząc na odcinek prostoliniowy z pewną prędkością, powinna dążyć do swojego stanu naturalnego – powinna się zatrzymać. Czyli prędkość na jakimś kawałku prostego toru powinna zmniejszyć się od początkowej wartości (V_1) do (V_2), bo hamuje.

Kolejny krok myślowy objawia nam geniusz Galileusza: No dobrze, ale skąd ta kulka wie, że w dalszej części toru nie będzie wznoszenia? Przecież gdyby dalej wzniesienie było, kulka musiałaby (zgodnie z wcześniejszymi obserwacjami) wznieść się na wysokość, z której startowała!

Zwróćmy uwagę, na czym polega ten eksperyment myślowy. Gdyby kulka traciła prędkość, to nie mogłaby już wrócić na swoją początkową wysokość. Jest to sprzeczne z tym, co Galileusz zaobserwował podczas swoich doświadczeń. Kulka może wrócić na pierwotną wysokość tylko wtedy, gdy jej prędkość na poziomej części toru się nie zmieni, gdy $V_1 = V_2$. W związku z tym, kiedy na kulkę nie działa żadna siła lub siły się równoważą (w tym przypadku siła grawitacji jest równoważona przez reakcję podłoża) kulka zachowuje swoją prędkość. Tak?

MT: Tak.

TS: I to jest właśnie pierwsza zasada dynamiki! Pierwsza zasada dynamiki mówi, że jeżeli na ciało nie działają żadne siły, to: jeśli ciało spoczywało, to będzie spoczywać nadal, a jeśli się poruszało, to będzie się poruszać nadal z tą samą prędkością. I tak oto **pierwszą zasadę dynamiki wyciągnięto z rękawa**.

Inny eksperyment myślowy, który przeprowadził Galileusz, pokazał błędy w kolejnej teorii starożytnych. Przypomnijmy, że według teorii starożytnych każde ciało dąży do swojego naturalnego miejsca i stanu.

To prowadzi do prostej konsekwencji – ciała o większej masie spadają szybciej. Rozumowanie jest proste:

1. Kamień spuszczonej z góry dąży do ziemi.
2. Kamień kilkakrotnie cięższy spadnie szybciej dąży do ziemi. Jest go więcej, więc bardziej chce wrócić do swojego naturalnego miejsca.
3. Kamień o większej masie spadnie szybciej niż kamień o mniejszej masie.

Gdy sami zrobimy ten eksperyment i upuścimy w dół kamienie, zobaczymy, że faktycznie ten cięższy spada szybciej. Wszystko się zgadza. Zadziałała zasada rozumowania Arystotelesa. Jest pewne założenie, jest wniosek i jest sprawdzenie doświadczalne.

Galileusz pozwiedział sobie: Dobrze, ale...

Załóżmy, że tak jest i obiekty o większej masie spadają szybciej niż lżejsze. Wykonajmy następujący eksperyment myślowy (w tych specjalizował się Galileusz): połączmy owe dwa kamienie na sztywno (np. sklejmy je), tworząc jedno ciało. Oba ciała razem spadną w jakimś określonym czasie T.

1. Gdy były rozłączone, to masa M – ciężka, leci dużo szybciej, a masa m – lżejsza, wolniej.
2. Jeśli są razem szczipione, to ta duża będzie ciągnęła w dół tę małą. Czyli czas spadania tej małej będzie teraz krótszy niż czas jej samodzielnego spadania.
 $T < T_m$
3. Z drugiej strony ta mała spada wolniej i powstrzymuje od szybkiego spadku tę dużą. Czyli ta duża będzie spadała wolniej, niż gdy spadała samodzielnie.
 $T > T_M$
4. Z tego rozumowania wynika nam, że czas spadania połączonych ciał będzie dłuższy od czasu spadania samego dużego ciała, ale krótszy od czasu spadania małego ciała.
 $T_m > T > T_M$



Wg teorii Arystotelesa kamień lżejszy, o mniejszej masie (m), spadnie później (w czasie T_m np. 15 sekund) niż kamień cięższy (M) spadający szybciej (w czasie T_M np. 10 sekund). $T_M < T_m$ (T_M jest mniejsze od T_m).

MT: Ale to niemożliwe!

TS: Tak, bo przecież połączone ciało ma masę większą niż duże ciało, a więc bardziej chce wrócić do swojego naturalnego miejsca, czyli powinno spadać szybciej niż pojedyncza masa M . Przed chwilą udowodniliśmy coś zupełnie odwrotnego! Jeśli pojawia się sprzeczność, oznacza to, że prawdopodobnie założenie nie może być prawdziwe.

MT: I jaki wniosek z tego doświadczenia wysnuł Galileusz?

TS: Wniosek z tego jest taki, że prędkość spadania nie może zależeć jedynie od masy ciała! Są inne czynniki, które wpływają na czas spadania, np. opory powietrza, które nie zależą od masy, ale od wymiarów ciała. Znamy przecież ciała ciężkie, które spadają wolniej. Np. malutka szpileczka i bardzo duża kartka papieru. Oczywiście jest, że cięższa kartka spadnie wolniej. Natomiast jeśli nie ma innych czynników (oporów ruchu i innych zewnętrznych sił), to wszystkie ciała muszą spadać równocześnie – bez względu na masy.

MT: Skoro Galileusz podważył teorie starożytnych myślicieli, to dlaczego Newtona sławimy jako ojca praw fizyki klasycznej?

TS: Doświadczenia myślowe Galileusza o spadających przedmiotach, o przedmiotach staczających się po równiach i inne równie ciekawe konstrukcje logiczne pokazały, że trzeba odrzucić założenia starożytnych. Wnioski z jego eksperymentów sformułował Newton. Miał on do swojej dyspozycji bardzo duży aparat matematyczny, nauczył się różniczkować, całkować. Zaczął różne teorie, w tym też badania Galileusza, opisywać ilościowo. Newton połączył wszystkie wcześniejsze rozumowania w jedną całość. Opierał się na pracach Galileusza, na własnych przemyśleniach, na pracach Kopernika i Keplera.

Uznał, że wszystkie założenia starożytnych o ruchach swobodnych, wymuszonych itd. trzeba odsunąć i przedstawił swoją koncepcję świata, zwaną dzisiaj dynamiką Newtona. Opiera się ona na czterech założeniach. **Trzy z nich znamy jako zasady dynamiki:**

Pierwsza mówi, co się dzieje z ciałami, gdy nic na nie nie działa. Wtedy ciała albo spoczywają, albo poruszają się ruchem jednostajnym.

Druga mówi, co się dzieje z ciałami, kiedy działa na nie siła. W przeciwieństwie do teorii starożytnych (gdzie działa na ciało siła, to ono poruszało się jednostajnie) głosi, że gdy działa siła, to ciało przyspiesza lub zwalnia.

Trzecia zasada dynamiki opisuje wzajemne oddziaływanie ciał. Jeśli pierwsze działa na drugie, to drugie musi działać tak samo na pierwsze.

Czwarty postulat Newtona to prawo powszechnego ciążenia.

Trzy zasady mówią o tym, jak siły działają, a czwarta o tym skąd się siły biorą.

Dla dociekliwych:

To, skąd się te siły biorą, Newton wynioskował z prac Kopernika i Keplera.

Powiedział tak: Jeśli moje zasady dynamiki są prawdziwe i planety oddziałują ze Słońcem na odległość, to prawa Keplera (składają się zgodnie z obserwacjami) mogą zachodzić tylko wtedy, gdy siła oddziaływania dwóch mas (czyli planety i Słońca) dana jest następującym prawem:

Jest proporcjonalna do iloczynu ich mas i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi. Tylko wtedy planety mogą się poruszać po elipsach i dokładnie tak jak mówi III prawo Keplera.

Prawo powszechnego ciążenia głosi, że:

Między dowolną parą ciał posiadających masy istnieje siła przyciągająca, która działa wzdłuż linii łączącej ich środki, a jej wartość rośnie z iloczynem ich mas i maleje z kwadratem odległości.

F jest proporcjonalna do $M \cdot m / R^2$

(gdzie M, m – masy oddziałujących ciał, R – odległość między nimi, F – wartość siły powszechnego ciążenia)

Zasady dynamiki Newtona powstały dzięki doświadczeniom sprzecznym z poprzednimi teoriami. W naszym śledztwie doszliśmy do XVII wieku. Zasada naukowego myślenia cały czas obowiązuje, ale... pojawiły się nowe doświadczenia.

MT: Czy są doświadczenia, które są sprzeczne z zasadami dynamiki Newtona?

TS: Tak, pojawiły się pod koniec XIX wieku, ale o tym porozmawiamy podczas następnego spotkania. ●

Rozmawiała Wioletta Karolewska