

Wojciech DINDORF

Swobodny spadek



Koraliki w stanie nieważkości. Fot. Wojciech Dindorf

Zastanawiając się nad tym, co by tu można było zaproponować Czytelnikom „Kwartalnika Opolskiego” – by z mety nie zniechęcić do czytania o nie ulubianej na ogół dziedzinie ludzkich badań, a przecież cudownej z natury FIZYCE – postanowiłem zacząć od najprostszego najbardziej powszechnego, a najbardziej tajemniczego ze zjawisk – zjawiska GRAWITACJI.

Proste czynności dnia codziennego, takie jak wstawanie z krzesła, ścielenie łóżka, chodzenie po schodach, poruszanie ręką, podnoszenie łyżki z żurkiem do ust... – i tak można wyliczać bez końca – wszystko odbywa się w materialnym powietrzu, na materialnym gruncie (na powierzchni ziemi); każdy to rozumie, i nawet nie wyobraża sobie, by mogło być inaczej.

Tymczasem oprócz tego materialnego powietrza, wody, ziemi jest coś nie-materialnego, coś czego ani namalować, ani w rękę wziąć, ani w butelkę zamknąć się nie da, a to coś nazywamy **połem grawitacyjnym**. To słowo oznacza przestrzeń, w której pozostawiony sam sobie obiekt nie chce być tu, gdzie się go pozostawiło, tylko leci i – co więcej – przyspiesza, czyli leci coraz szybciej, albo zakręca w czasie lotu tak, jakby coś ten przedmiot ciągnęło.

* * * * *

(Takie gwiazdki będą oznaczały przerwę w czytaniu. Czas na pomyślenie, uporządkowanie faktów, medytację. Czy autor wie, o czym pisze? Jeśli mu wierzę, to czy ja go rozumiem? Czy mam własne przykłady potwierdzające, że to, co dotąd przeczytałem, ma sens?)

Jeśli dotąd jest OK, to możemy kontynuować. Podam kilka przykładów. Gdybym nie był pewny, że lód, na który wchodzę, jest na tyle gruby (mocny, solidny, twardy), że wytrzyma mój ciężar, to bym nie wchodził. Nie usiadłbym na koślawe krzesło, nie wchodziłbym na drabinę bez szczebli. Potrzebuję wsparcia, bo bez tego nie tylko polecę, ale będę leciał coraz szybciej. Wiem o tym, bo zeskakuję bez problemu z chodnika na jezdnię, ale już z dachu na chodnik nie. Bo im dłużej spadam, tym szybciej spadam, a z jakichś względów nie lubię zde-rzenia z jezdnią, gdy mam dużą szybkość. Jeśli moja szybkość rośnie w czasie, to znaczy, że coś mnie ciągnie. W języku fizyki to samo zdanie brzmi: **Jeśli coś przyspiesza, to znaczy, że na to coś działa niezrównoważona siła.**

* * * * *

Język fizyki to jak język obcy. Każda dziedzina wiedzy ma swój język, który dla niewtajemniczonych jest językiem obcym.

Ludzie cierpiący na tzw. lęk przestrzeni boją się wyjść na balkon czy stanąć na skraju przepaści. Boją się spaść, czyli polecieć w dół. A „w dół” to znaczy tyle co w k i e r u n k u s p a d a n i a. Ci sami ludzie kładą się plackiem na plaży i patrzą w niezmierzoną p r z e p a ś ć! Nie boją się, że w tą przepaść spadną.

I tak samo się nie boją ci przylepieni do piasku nad Bałtykiem, jak i ci w Nowej Zelandii, czyli z drugiej strony planety. Kto im daje gwarancję, że nie spadną?

* * * * *

I tu już jesteśmy blisko zrozumienia. Jakaś dziwna właściwość materii, i to nie ta obserwowana w magnesach, które tylko stalowe przedmioty przyciągają. To też nie ładunki elektryczne, które tak długo przyciągają (albo odpychają!) wszystko, jak długo nie są zneutralizowane. To **pole grawitacyjne** wytwarzane – do dziś nie wiadomo, dlaczego – przez każdą masę. Przez każdą – od cząsteczek mniejszych niż atom do gwiazd większych niż milion Słońc. Właściwość, od której nie potrafimy się (na szczęście) uwolnić.

Nie wiemy, dlaczego. Wiemy, jak – i to w dużej mierze dzięki Newtonowi. Wiemy, że ta **siła przyciągająca dwa obiekty zależy w prosty sposób od wielkości masy każdego z tych obiektów**. To znaczy, że gdy masa jednego wzrośnie powiedzmy 5-krotnie, to i siła „pociągowa” 5-krotnie wzrośnie.

W tym miejscu powinniśmy zrozumieć, że gdyby obie masy zwiększyły się 5-krotnie, to siła by wzrosła 25-krotnie.

* * * * *

Ponieważ najbardziej interesuje nas sytuacja U NAS, tj. na Ziemi, a masa Ziemi się raczej nie zmienia, to możemy zrozumieć dlaczego dwie kule bilardowe **ważą** akurat dwa razy więcej niż jedna. Łączenie kilku **mas** w jedną powoduje takie samo łączenie **ciężarów**. Bo ciężar ciała (masy) to siła, z jaką przyciągają się wzajemnie określone ciała (masy) z Ziemią. Co to znaczy „wzajemnie”. Znowu poprosimy o udział w rozmowie Newtona. On to ludziom uświadomił, że gdy koń ciągnie wóz, to wóz ciągnie konia z taką samą siłą, tyle że jak jeden w prawo, to drugi w lewo. A więc jak piłka ciągnie Ziemię w górę, to tak samo mocno Ziemia ciągnie piłkę w dół.

Czy taka siła tu, na Ziemi, która ciągnie nas w dół, ma jakiś wzorzec? Jakąś jednostkę, do której siły na różne masy działające będziemy porównywać? Oczywiście, że ma. „Setka”, a więc 1/10 litra WODY, inaczej 100 gramów, tj. **1/10 kilograma, jest przyciągana przez Ziemię siłą 1 N**. N – to niuton (wiadomo, po kim tę nazwę jednostce siły nadano). Idźmy za ciosem. Każda kilogramowa masa jest „ściągana” do Ziemi siłą 10 N. Nie musimy stale przypominać, że taki kilogram ciągnie Ziemię w górę też siłą 10 N. To na matce Ziemi nie robi wrażenia, a na kilogramie gruszek – i owszem. Człowiek 80-litrowy – przepraszam – 80-kilogramowy (bo człowiek to prawie tak jak woda, 1 litr to 1 kilogram masy) waży 800 niutonów.

* * * * *

Tu pozwolę sobie podpowiedzieć kierunek rozważań:

1. Jeśli piórko od Ziemi tak łatwo odwieźć, to co dopiero piórko od piórka (z odległości 6400 km!).

2. Człowiek przyciąga Ziemię siłą 800 N (z odległości 6400 km!) A drugiego człowieka?

Odp.: Przyciągałby tyle razy słabiej, ile razy 80 kg jest mniejsze od masy Ziemi. Powiedzmy – niezbyt dokładnie – 0,000000000000000000008 N.

3. Gdyby Ziemia była z ołowiu (gęstość ołowiu jest 2 razy większa od średniej gęstości naszego globu), to wszystko by było dwukrotnie cięższe.

* * * * *

A teraz Newton powie nam, że im dalej od środka Ziemi jesteśmy (my albo cokolwiek), tym mniej ważymy (tym słabiej nas Ziemia ciągnie). Co więcej. Tu już nie jest taka prosta zależność, że np. dwa razy dalej to dwa razy słabiej. Nie. Tu obowiązuje „**prawo odwrotności kwadratu**”: dwa razy dalej – cztery razy słabiej. 3 – 9, 4 – 16, 5 – 25 itd.

Jak to w praktyce wygląda? Tu na powierzchni Ziemi jesteśmy mniej więcej w odległości 6000 km od środka naszej planety. Ważymy – powiedzmy 800 N. Jak wzniesiemy się sześć tysięcy kilometrów nad Ziemię, to ważylibyśmy 200 N – tyle co średniego wieku piesek husky tu na Ziemi. A w okolicy, gdzie umieszczamy tzw. satelity stacjonarne (około 36 000 km), Ziemia ciągnęłaby nas ku sobie siłą około 20 N, czyli... ważylibyśmy tam tyle, ile waży na Ziemi kotek podwórzowy (niespasiony przez swoją pańcię).

Jak daleko trzeba się wspiąć, by nic nie ważyć (by Ziemia o nas zapomniała)? Teoretycznie – w nieskończoność.

* * * * *

Niejeden raz w prasie czy w programach „informacyjnych” podawano, że astronauta okrążający Ziemię np. w promie kosmicznym, są w stanie nieważkości, ponieważ uwolnili się od przyciągania ziemskiego.

Promy kosmiczne, sztuczne satelity, stacja kosmiczna – to urządzenia okrążające Ziemię w odległości zmieniającej się w granicach 100–400 km nad powierzchnią Ziemi. Ich średnia odległość od środka Ziemi różni się od naszej tu na powierzchni średnio o 5 procent. Bardziej obrazowo. Niech promień Ziemi wyobraża odległość między Ś (środek Ziemi) a P (powierzchnia Ziemi). Astronauci orbitujący Ziemię są w miejscu A. Przed startem byli tam, gdzie P:

Ś ————— P—A,

więc tak naprawdę to niezbyt daleko od Ziemi odpłynęli.

Starsi ludzie pamiętają piosenkę sprzed 48 lat o Walentynie Tiereszkowej (też raz generał doktor) – pierwszej „radzieckiej” kobiecie w „kosmosie”. „Walenty-na... już gwiazdka ją dobrze zna”... Takie i podobne bzdurowe skoja-

zenia właśnie pokutują do dziś w różnych „mediach” i nawet Wikipedia podaje, że W.T. była w Kosmosie. A Walentyna była dwa dni w **termosferze**, czyli w wysokiej – od 1/100 do 1/10 promienia Ziemi – warstwie atmosfery ziemskiej.

Gdyby z miejsca A upuścić kamień, to spadałby on z przyspieszeniem prawie takim samym jak tu, na Ziemi, czyli w każdą sekundę zwiększałby swoją prędkość o 36 km/h (w 3 sekundy ponad 100 km/h!! – lepiej niż auta Formuły 1). Tak to Ziemia „ciągnie” ku sobie. Takie przyspieszenie, przyspieszenie każdego kilograma każdej masy – a więc takie samo zarówno dla ołowiu, jak i dla waty (!!!) – nazywamy (niezbyt poprawnie) przyspieszeniem ziemskim. W przeliczeniu na przyjęte w Nauce jednostki przyspieszenie wyniesie blisko 10 m/s w każdą sekundę, co znaczy **10 metrów na sekundę do kwadratu**.

* * * * *

Na czystym niebie w pogodną noc wystarczy przez chwilę patrzeć na gwiazdy, by zauważyć, jak na ich tle coś do gwiazdy podobnego (czyli punkt świetlny) przesuwają się jednostajnym ruchem, nie czyniąc hałasu typowego dla samolotów. To właśnie może być statek kosmiczny wykonany tu na Ziemi przez Człowieka. To może być wahadłowiec z załogą lub stacja kosmiczna, do której potrafimy wysyłać urządzenia, ludzi i potrzebne im produkty. Pędzi to to znacznie szybciej niż kula karabinowa (osiem kilometrów na sekundę!) i dlatego za blisko 80 minut (4800 sekund) zobaczymy ten pojazd powtórnie prawie w tym samym obszarze nieba.

Proszę zaakceptować to, że stale piszę „prawie”, „około”, „mniej więcej”. Tak już jest, że niczego nie podajemy dokładnie, nawet w najbardziej specjalistycznych naukowych raportach. Tutaj wszystkie wielkości należy traktować tak, jak na co dzień podajemy swój wiek czy swoją wagę. Mniej więcej – bo to wystarcza. I rozmiar kołnierzyka, i numer buta, i ciśnienie krwi, i moc silnika, i odległość do Koluszek – wszystko jest w przybliżeniu, mimo że słowo „dokładnie” słyszymy nawet w odpowiedzi na pytanie: „Czy pani jest blondynką?”

* * * * *

Muszę teraz wyjaśnić najważniejszą sprawę. Dlaczego ludzie tam, w statku kosmicznym, „pływają”, czyli są w stanie podobnym do nieważkości, w skrócie (znowu niedokładnie) mówimy, że są w stanie nieważkości.

Każdy może być w takim samym stanie, w jakim są astronauty w pojeździe orbitującym Ziemię. Wystarczy podskoczyć. Podskoczyć czy zeskoczyć np. z kanapy, czy wyskoczyć np. z okna (na parterze!!!). W każdym z tych przypadków jest czas – choć bardzo krótki – w którym nie mamy podpory. Nic nas nie podtrzymuje. Gdybyśmy w tym czasie mieli pod nogami wagę łazienkową, to

ona by nic nie wskazywała, bo jak ją naciskać, kiedy ona spada, i to z takim samym przyspieszeniem (patrz wyżej) jak my.

Czas na przemyślenie i na doświadczenie nr 1.



Doświadczenie nr 1. Fot. Wojciech Dindorf

Na desce położyłem pasek z cienkiej bibułki, przycisnąłem odważnikiem i próbuję wyciągnąć spod odważnika. Pasek się urywa, więc ponawiam próbę. Tym razem ktoś mi pomaga. Unosi nieco deseczkę z odważnikiem i... na raz, dwa, trzy... upuszcza (po to podłożona poduszka).

Kiedy deska z odważnikiem spada, ja bez najmniejszego wysiłku wyciągam pasek spod odważnika. W tej krótkiej chwili spadania nie było **żadnego** nacisku na papier (ani na deskę) ze strony odważnika. Wszystko (deska, odważnik, papier) było w stanie nieważkości.

* * * * *

Zwykle podręczniki, omawiając ten temat, dają makabryczny przykład człowieka w windzie, która się urwała. Facet ostatnie chwile życia spędza w stanie swobodnego spadania (znaczy bez oporu powietrza – znowu mniej więcej), wobec czego już nie naciska na podłogę, już wszystko mu jedno, w jakiej jest pozycji, jak się od którejś ściany odepchnie, to popłynie do ściany prze-

ciwnej itd., itd., jakby nic nie ważył. Jakby. Bo jest oczywiste, że teraz, spadając, nie stanie na wagę, bo w ogóle nie stanie. Nie powiesi się na sprężynowej wadze – jeszcze by tego brakowało! – bo na której z sześciu ścian miałby wkręcić hak?

On – gdyby to spадanie trwało dłużej – straciłby orientację, gdzie góra a gdzie dół, bo te pojęcia wiążą się z kierunkiem spadania, a on wyciągnie z kieszeni portfel (bo już mu nie jest do niczego przydatny) i puści, a portfel zostanie w miejscu, czyli tak jak waga i jak ten nieszczęśnik będzie spadał razem z właścicielem. Można by tak historyjkę ciągnąć bez końca, a tu koniec jest nie do uniknięcia. Chyba że...

* * * * *

...ktoś tę windę (nie taka znowu abstrakcja) popchnął poziomo tak, by miała szybkość 8 km/s. Wtedy winda, nadal spadając, nie dotknie powierzchni Ziemi, bo ZIEMIA JEST PODOBNA (znowu niedokładnie) DO KULI, a więc jej powierzchnia jest zakrzywiona, i jak ktoś pędzi i spada, a ziemia mu ucieka, to może tak spadać do... właśnie już nie do śmierci z powodu zderzenia. I taki w windzie wróci po 80 minutach do miejsca, w którym go poziomo popchnięto, itd. I nie będzie naciskał na wagę, tak jak jego portfel nie będzie spadał, i się nie powiesi i te de i te pe i te de.

Tego niestety nie da się na Ziemi (nad Ziemią przy powierzchni) zrealizować, ponieważ przy takiej prędkości, trąc o powietrze, rozgrzałaby się ta winda do białości i nasz skazaniec by się spalił. Tak czy siak mogiła. Przy 100 km/h wiemy, jaki jest nacisk powietrza na wystawioną na zewnątrz auta rękę. Kształt pocisku karabinowego pozwala na zwiększenie zasięgu w powietrzu do prawie 1 km/s. Ale 8 km/s to tyle, ile trzeba, by w 80 minut przelecieć dookoła świat! To 26 razy tyle, ile wynosi szybkość dźwięku! A to można osiągnąć w rurze próżniowej albo łatwiej – wysoko nad Ziemią, tam, gdzie resztki powietrza już prawie nie przeszkadzają. I dlatego potężne rakiety wynoszą naszą windę z naszymi ryzykantami, powiedzmy, 200 km nad powierzchnię (samoloty, które bez powietrza sobie nie poradzą, latają ponaddziesięciokrotnie niżej), tam „wystrzelują” nasz pojazd poziomo, a same (rakiety) spadają jak kamienie do któregoś z oceanów. Astronauci „zostają spadać”.

I mogą pływać w kabinie.

I muszą się do którejkolwiek ze ścian przylepiać, by np. spać spokojnie.

* * * * *
* * * * *

Teraz podwójna przerwa. Trzeba zrobić doświadczenie. Biorę piłkę (np. tenisową) i upuszczam z wysokości stołu, tuż obok. Spada pionowo. Spycham ze stołu – spada dalej. Spycham mocniej, z większą prędkością – spada jeszcze da-

lej. Można, jak się ma stoper, zmierzyć, że w każdym przypadku piłka pozostaje w locie tyle samo czasu. Ważna obserwacja! Ale gdyby tak – już myślowo – mocniej i mocniej popychać, to spadałaby dalej i dalej, aż przy szybkości startowej ok. 8 km/s poleciałaby poza horyzont i po 80 minutach i przebyciu 40 000 km (obwód Ziemi „w pasie”)... wróciłaby na stół!!

* * * * *

Łatwo sobie wiele samemu dośpiwać; np. to, że im dalej od planety będziemy, tym mniejsza siła nas do niej ściąga, a zatem tym wolniej moglibyśmy orbitować (łagodniej spadać), więc na wysokości Księżyca (około 60 promieni ziemskich) jeden obieg trwa 28 dni.

Musi być taka wysokość, na której jeden obieg trwałby jedną dobę. Wszystko (albo prawie wszystko) potrafimy policzyć. Ta wysokość to około 6 promieni ziemskich.

I tam umieszczamy nasze satelity stacjonarne. Nad miejscem na równiku, takim jak gabońskie Libreville, kongijskie Kisanangi, indonezyjski Padang, Singapur czy ekwadorskie Quito, może sobie taki orbitować. „Zawieszony” nad danym miejscem nie „puszcza z oczu” naszych talerzy-anten na balkonach, bo jak my raz dokoła osi ziemskiej – to on też. Jego szybkość jest już „tylko” 3 km/s.

A naszemu Księżycowi, który jest 10 razy dalej, wystarczy około 300 m/s, by swoją trasę wokół Ziemi przebyć w 28 dni.

* * *

Obawiam się, że za dużo na raz. A tu jeszcze jedna ściśle z tym wszystkim związana wątpliwość. Wymieniłem tu konkretne przykłady orbitowania: promy kosmiczne, satelity stacjonarne, także Księżyc – wszystkie utrzymują się zawieszone w przestrzeni, na swojej orbicie i *n i e s p a d a j ą*, mimo że Ziemia je ku sobie ciągnie. Spadające ciała normalnie zwiększają swoją szybkość na skutek tego „ssania” grawitacyjnego. Czemu wyłączone są z tego satelity?

Odpowiedź już wcześniej padła. Nie spadają, czyli nie zbliżają się do Ziemi (aż do zderzenia), ponieważ Ziemia jest kulista.

Natura lub myślący człowiek taką poziomą szybkość satelitom nadają, by – spadając – zakrzywiały tor zgodnie z krzywizną kuli-matki. Do doświadczenia ze spadającą ze stołu piłką dodajmy sobie wirtualną sikawkę strażacką. Ustawmy ją poziomo na Giewoncie, skierujmy wylot na północ (celując na biegun!) i powoli odkręcajmy wirtualny kurek. Pierwsze krople spadną pod wylotem sikawki, podlegają północny stok Giewontu, a przy większej prędkości, możemy podlać Krupówki w Zakopanem, potem spowodujemy ulewę w Krakowie, dalej Łódź, Sztokholm (nie bądźmy zbyt precyzyjni), a fantazjujemy do końca. Cały czas zwiększamy prędkość i ignorujemy opór powietrza. Podlewamy kost-

kami lodu (!) biegun północny, potem Kapsztad w Południowej Afryce, potem Angolę, Czad, i pustynie w Libii, i wreszcie w Albanii Tiranę, a gdy szybkość strumienia dochodzi do 8000 m/s po dolaniu wody do Dunaju w okolicach Budapesztu zaczynamy sikać na południowy stok Giewontu.

W żadnym miejscu, ani na moment, woda nie przestała być ku Ziemi przyciągana. Zawsze jednak w powierzchnię trafiała (w różnych miejscach), aż do osiągnięcia Pierwszej Prędkości Kosmicznej (tak tę prędkość nazywamy), czyli do sytuacji, kiedy sami sobie w plecy „sikamy”.

Tu, blisko powierzchni Ziemi, wynosi ok. 8 km/s.

Tam wyżej, gdzie wiszą satelity komunikacyjne – 3 km/s.

Tam, gdzie Księżyc ma swoją orbitę – 0,3 km/s.

Porównajmy:

- szybkość głosu w powietrzu – 0,3 km/s,
- średnia szybkość kuli karabinowej – 0,8 km/s,
- szybkość światła w próżni (w powietrzu też) – 300 000 km/s,
- szybkość fal radiowych i TV – także 300 000 km/s,

O ————— s ————— Q

Ilustracja skali odległości: wewnątrz O to Ziemia, w obszarze czarnej otoczki wszystkie statki kosmiczne. Satelity stacjonarne s. Księżyc Q

* * * * *

FREE FALL

S u m m a r y

This article is about gravitational field and weightlessness. It points out that everyone while jumping even a few centimeters up or down, experiences, during the short time of no contact with the ground, a state of weightlessness. Astronauts in a spaceship that orbits the earth are also falling down with gravitational acceleration g . Their horizontal speed of about 8 km/s and the Earth's curvature allows them to fall while following an elliptical path around the centre of the Earth. They have to be high enough above the ground (100–400 km) in order to maintain their speed, with engine off – otherwise the dense air would slow them down or burn the spaceship due to high friction.

