



## I zasada dynamiki Newtona w praktyce szkolnej – trudności uczniów

Piotr Matys

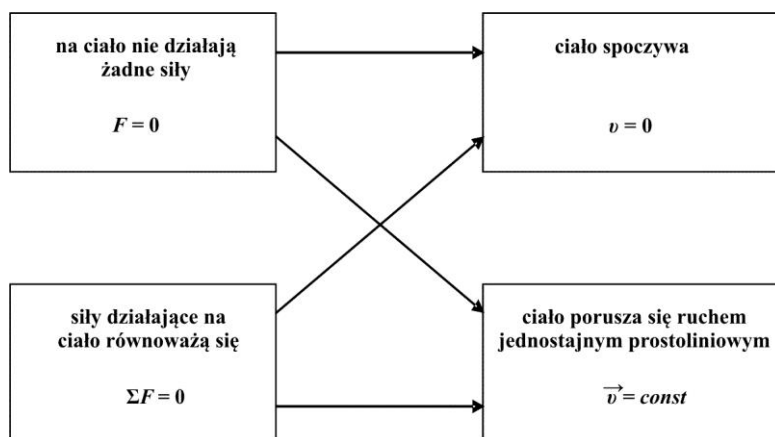
Nauczyciel, Liceum Ogólnokształcące w Bieczu

Wystarczy porównać sformułowanie tzw. I zasady dynamiki Newtona w różnych podręcznikach szkolnych czy akademickich, by zauważyć znaczne różnice, które nawet czasami oznaczają różną treść tej zasady, a to powinno być sygnałem niepokojącym, zmuszającym do głębszej analizy tego zagadnienia.

Najczęściej spotykane sformułowanie brzmi:

**Jeżeli na ciało nie działają żadne siły lub siły działające równoważą się, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.**

Analiza formalna treści tego zdania uwidacznia jego skomplikowaną strukturę logiczną: jest to implikacja, której poprzednikiem jest alternatywa i następnikiem także alternatywa. Zgodnie z prawami logiki jest to zdanie równoważne alternatywie czterech implikacji prostych, co najłatwiej przedstawić na poniższym schemacie:



Już sama struktura zdania jest skomplikowana i często uczniowie nie potrafią zamienić pierwotnej implikacji na alternatywę 4 implikacji prostych. Z tego względu niektórzy autorzy podręczników próbują ją uprościć np. przez pominięcie warunku  $F = 0$ .

Nieco dalej spotykamy uwagę: „I zasada spełniona jest w niektórych układach odniesienia zwanych inercjalnymi”. A gdy omawia się pojęcie układu inercjalnego spotykamy następujące stwierdzenie: „inercjalny układ odniesienia

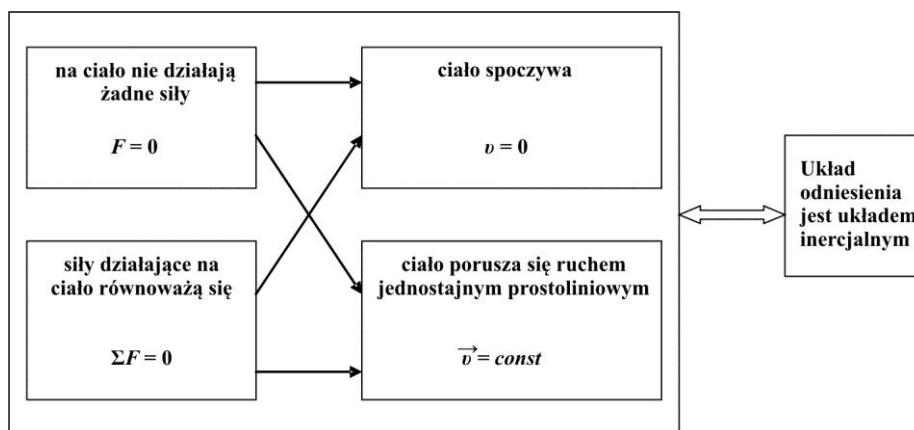
to taki, w którym spełniona jest pierwsza zasada dynamiki”. W ten sposób tworzymy klasyczne koło logiczne oraz tautologię sprowadzającą się do stwierdzenia, że inercjalny układ odniesienia jest inercjalnym układem odniesienia. To w zasadzie gwarantuje, że uczeń nie jest w stanie zrozumieć, o co chodzi i jedyne, co może zrobić to przyswoić te stwierdzenia i ewentualnie je powtarzać, ale na pewno nie świadomie je stosować. Najbardziej inteligentni z uczniów odkrywają w tym momencie, że autorzy podręczników sami nie rozumieją, o czym mówią i nie warto się tym zajmować.

Jak zatem należy podejść do tego problemu?

Jeśli potraktujemy I zasadę jako definicję układu inercjalnego to powinna ona brzmieć mniej więcej tak:

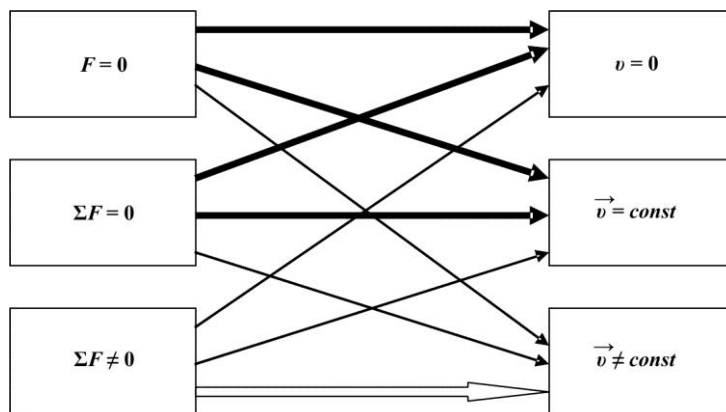
**Inercjalnym układem odniesienia nazywamy taki układ odniesienia, w którym jeżeli na ciało nie działa żadna siła lub siły działające równoważą się, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem prostoliniowym jednostajnym.**

Niestety, struktura tego zdania jeszcze bardziej się skomplikowała, ale odwołajmy się do schematu:



Ten schemat podpowiada jak używać I zasady: aby ocenić, czy dany układ odniesienia jest inercjalny, należy wybrać w nim do obserwacji jakieś ciało, zbadać jego ruch i siły na to ciało działające, sprawdzić czy obserwacje pasują do schematu, a jeśli tak, to układ odniesienia zaliczamy do klasy układów inercjalnych. Jeśli obserwacje nie pasują do schematu – zapewne mamy do czynienia z układem nieinercjalnym. Niewątpliwie zaprzeczenie tego schematu powinno prowadzić nas do pojęcia układu nieinercjalnego. Przy okazji zyskujemy praktyczne kryterium pozwalające ocenić, czy badany układ wystarczająco przybliżył układ inercjalny – jest nim po prostu precyzja obserwacji. Jeśli zastosowane metody obserwacji nie pozwalają wykryć odstępstw od schematu, to układ można traktować jako wystarczające przybliżenie układu inercjalnego.

Pełny schemat wygląda następująco:



Pierwszy wniosek z tego schematu jest następujący – wszystko jest możliwe! W dowolnym układzie odniesienia nie istnieje związek pomiędzy siłami działającymi na ciało a jego ruchem!

Grube strzałki wskazują na nim te warianty obserwacji, które pozwalają stwierdzić, że układ jest inercjalny, cienkie – te, dla których układ odniesienia jest nieinercjalny. Szczególnie ciekawy jest przypadek oznaczony strzałką podwójną, tj. jeżeli siły działające na ciało nie równoważą się, to ciało porusza się ze zmiennym wektorem prędkości (czyli ruchem zmiennym lub krzywoliniowym). Ten przypadek nie jest rozstrzygający i jeżeli na niego się natkniemy, to powinniśmy zmienić obiekt obserwacji i wykonać je ponownie lub sprawdzić, czy spełniona jest w nim ilościowo II zasada dynamiki, czyli czy znaleziona siła wypadkowa jest równa iloczynowi masy i przyspieszenia:

$$\sum \mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$$

Jeśli w ten sposób podejmiemy do prezentacji dynamiki, to chyba będzie ona bardziej przejrzysta:

I zasada dynamiki służy do badania inercjalności układu odniesienia oraz stwierdzenia czy można użyć II i III zasady dynamiki (bo te ściśle można stosować tylko w układzie inercjalnym).

II zasada dynamiki służy do przewidywania zachowania się ciała pod działaniem sił lub wnioskowania o siłach na podstawie obserwacji ruchu. Przecież jeśli  $\mathbf{F} = \mathbf{0}$  to  $\mathbf{a} = \mathbf{0}$  czyli  $\vec{v} = \mathit{const}$ , a to jest możliwe albo dla  $\mathbf{v} = \mathbf{0}$  albo dla  $\mathbf{v} \neq \mathbf{0}$ , ale niezmiennego itd.

III zasada pozwala odnaleźć nam siły reakcji.

Co w takim razie z siłami bezwładności? Używamy w stosunku do nich nieupnie szczęśliwego terminu sił pozornych, co przy tendencji uczniów do

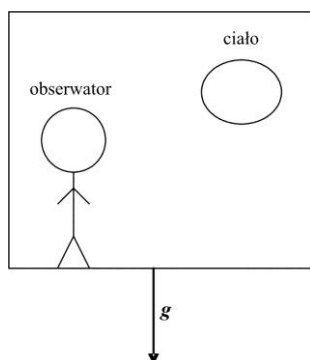
interpretowania sensu pojęcia z jego nazwy, a nie treści, prowadzi do pogłębienia chaosu.

W powyższym szkicu jako siłę rozumiemy miarę oddziaływania, zatem w takim sensie siła bezwładności siłą nie jest. Czym zatem jest? Porównanie sił dla dowolnego problemu rozważanego równoległe w układzie inercyjnym i nieinercyjnym wyraźnie pokazuje, że w układzie nieinercyjnym obserwujemy wtedy skutek czegoś, co nazywamy siłą bezwładności, gdy np. w układzie inercyjnym działa siła dośrodkowa. Powiedzmy to jednoznacznie i dobitnie: siły bezwładności są rezultatami nieinercyjności użytego układu odniesienia. Jednak siły bezwładności daje się mierzyć i zapewne to skłoniło fizyków do traktowania tego efektu jako sił.

Zatem dla układu nieinercyjnego możemy sformułować analogię do II zasady dynamiki w postaci:

$$m \cdot a = \sum F + F_b$$

Dla przykładu rozważmy teraz ciało znajdujące się w windzie spadającej w jednorodnym polu grawitacyjnym z przyspieszeniem równym natężeniu tego pola.



Według obserwatora ciało nie będzie się poruszało. Co z siłami? Gdyby obserwator zawiesił ciało na siłomierzu uzyska wynik zero. Czyżby zatem obserwator znajdował się w układzie inercyjnym?

Jednak obserwator w tej windzie jest w stanie stwierdzić istnienie zjawiska grawitacji, choćby poprzez obserwacje przyciągania dwóch dowolnych mas. Widząc, że winda znajduje się w pobliżu innego ciała powinien uznać, że obserwowane przez niego ciało musi z nim oddziaływać, a to oznacza, że układ jest nieinercyjny.

Stare programy nauczania wymieniały tylko hasła programowe takie jak I zasada dynamiki czy układ inercyjny/nieinercyjny, nie precyzując jak je realizować.

Podstawa 2009 mówi wprost:

Fizyka III etap edukacyjny:

1. Ruch prostoliniowy i siły. Uczeń:

4) opisuje zachowanie się ciał na podstawie pierwszej zasady dynamiki Newtona (s. 161)

Fizyka IV etap edukacyjny – zakres rozszerzony:

1. Ruch punktu materialnego. Uczeń:

7) opisuje swobodny ruch ciał, wykorzystując pierwszą zasadę dynamiki Newtona (s. 168)

a więc nakazuje nam omawiać te zagadnienia w sposób fałszywy!

**Od Redakcji:** komentarz do artykułu „I zasada dynamiki...”

Od czasu Newtona i sformułowania przez niego podstaw mechaniki zwanej newtonowską minęło ponad 300 lat i w tym czasie mechanika newtonowska zyskała lepsze zrozumienie, inne sformułowania. Obecnie zdajemy sobie sprawę z granic jej stosowności do opisu naszej fizycznej rzeczywistości. Teoria grawitacji Einsteina wniosła rozumienie pojęcia masy, układu inercjalnego.

Kanoniczne prawa Newtona są pojęciowo bardzo trudne z wielu powodów. Nie miejsce, by je wszystkie omawiać, dość powiedzieć, że nie powinno to nas dziwić. Słynny psycholog Jean Piaget zauważył, że rozwój osobniczy naśladuje rozwój gatunku. Tak też trudności poznawcze, jakie miała ludzkość przy odkryciu praw mechaniki (dopiero XVII w.), a przecież byli wcześniej wybitni myśliciele, odtwarzają się w trudnościach uczniów w zrozumieniu praw Newtona.

Autor artykułu Pan Piotr Matys podkreśla jeden z powodów tej trudności. Jest nią logiczna struktura I prawa Newtona. Jak jasno wykazały liczne badania empiryczne Piageta i jego następców, zrozumienie reguł logiki formalnej dostępne jest na najwyższym stopniu rozwoju myślenia formalnego (to średnio jest osiągalne w liceum) i do tego nie cała populacja uczniów (ludzi) osiąga ten poziom.

Czy wobec tego należałoby odłożyć nauczanie praw Newtona na później? Lub w ogóle zrezygnować z ich nauczania?

Oczywiście, nie! Po pierwsze z powodów kulturowych. Trudno sobie wyobrazić ogólne wykształcenie, w którym zabraknie informacji o najbardziej znaczącym odkryciu ludzkości. Uważam, że choć odstępujemy od pamięciowego nauczania to nawet przy braku zrozumienia, wyuczenie się na pamięć tych praw ma wartość, tak jak i znajomość dziesięciu przykazań. Człowiek może dojrzeć do zrozumienia i wtedy „ma jak znalazł” poprawne sformułowanie. Jak wykazały badania (na bardzo dużej statystyce) studenci, którzy przeszli kurs mechaniki klasycznej przy rozwiązywaniu zadań czy tłumaczeniu zjawisk, nadal nie stosują mechaniki newtonowskiej. To pokazuje upór widzenia świata po arystotelesowsku, ale może sugerować, że znajomość praw Newtona na pamięć pomogłaby w prawidłowym rozwiązaniu zadań.

Uczyć trzeba mechaniki newtonowskiej w możliwe najbogatszych kontekstach, przykładach, zadaniach. Nawet umysł bez pełnej zdolności myślenia formalnego jest w stanie zrozumieć. Przykładów i sytuacji, których one dotyczą, powinno być bardzo dużo i należy do nich wracać. Jednorazowe omówienie nie wystarcza! Trzy, a nawet sześć lekcji na trzy prawa Newtona, to fikcja dydaktyczna! Od talentu nauczyciela zależy, jakie wybierze on przykłady i w jakiej kolejności je omówi, by stopniować trudności, by utrwalać dobre wzorce.

Co z układem inercjalnym, którego sens jest trudny? Dydaktycy stosują rozmaite wybiegi. Chyba najlepiej robić to przez wskazanie układu i komentarz, że jest on „wystarczająco dobry” do opisu konkretnego zjawiska. Dla części uczniów to samo też jest trudne, dla nich świat jest czarno-biały, to jest układ inercjalny, albo nie jest, miejmy to na uwadze. Niektórzy dydaktycy nie wspominają o inercjalności, dopóki nie zaczną omawiać ruchu w układach nieinercjalnych. To tak jakby zaczynać od drugiego prawa Newtona.

Gdy po raz pierwszy mówimy o sile grawitacji działającej na przedmiot na Ziemi, nie mówimy wówczas o sile odśrodkowej, czekamy z tym na później.

Z.G-M