



mała delta

Dlaczego narciarz pochyła się do przodu?

Dlaczego instruktor narciarstwa ciągle powtarza początkującym narciarzom, aby w czasie jazdy z góry pochylić się do przodu? Początkującym narciarzom taka rada wydaje się dziwna i nienaturalna. Przecież aby ustać na stoku, musimy zachować pozycję pionową – tak jak drzewa rosnące obok trasy zjazdowej. Dlatego zaskakujące wydaje się polecenie „nie stać pionowo, pochylić się!”. Spróbujmy uzasadnić, że rady instruktora są rzeczywiście dobre.

Dla uproszczenia naszych rozważań stok narciarski zastąpimy równią pochyłą, po której ciała zsuwają się bez tarcia. Na końcu zajmiemy się efektami wywołanymi tarciem i oporem powietrza.

Rozpatrzmy ciało o masie m zsuwające się z równi pochyłej nachylonej pod kątem α do poziomu. Siłę ciężkości $F = mg$ o kierunku pionowym możemy przedstawić jako sumę wektorową sił składowych. Wybierzmy składowe w kierunku równoległym i prostopadłym do równi. Wówczas

$$F_{\parallel} = mg \sin \alpha,$$

$$F_{\perp} = mg \cos \alpha.$$

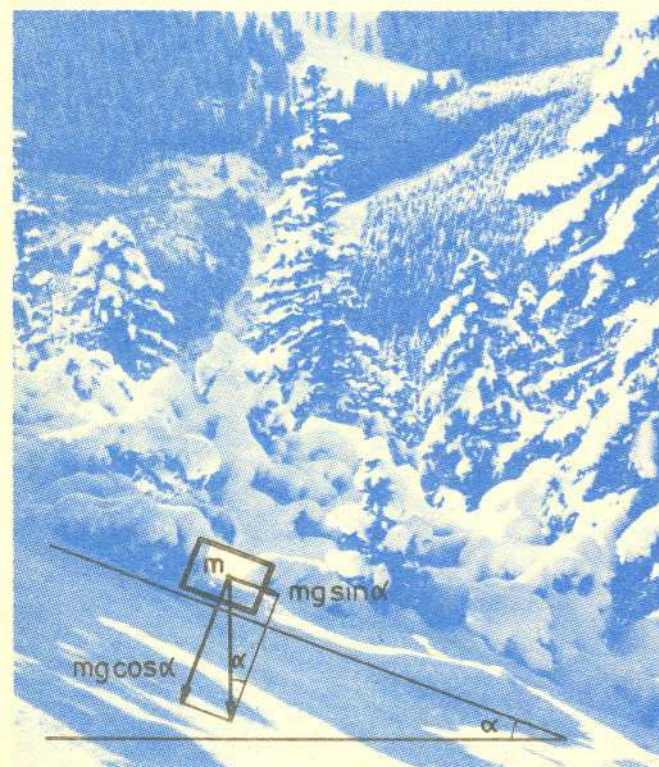
Ponieważ w czasie jazdy ciało nie odrywa się od równi (innymi słowy, przyspieszenie w kierunku prostopadłym do równi wynosi zero), to na ciało musi działać siła równoważąca F_{\perp} . Siłę tę nazywamy siłą reakcji równi N . Ma ona wartość i kierunek taki jak F_{\perp} , natomiast przeciwny zwrot. Gdy pomijamy wszystkie siły oporu, to jedyną niezrównoważoną siłą jest F_{\parallel} i ciało zsuwa się z przyspieszeniem a danym wzorem

$$F_{\parallel} = mg \sin \alpha = ma,$$

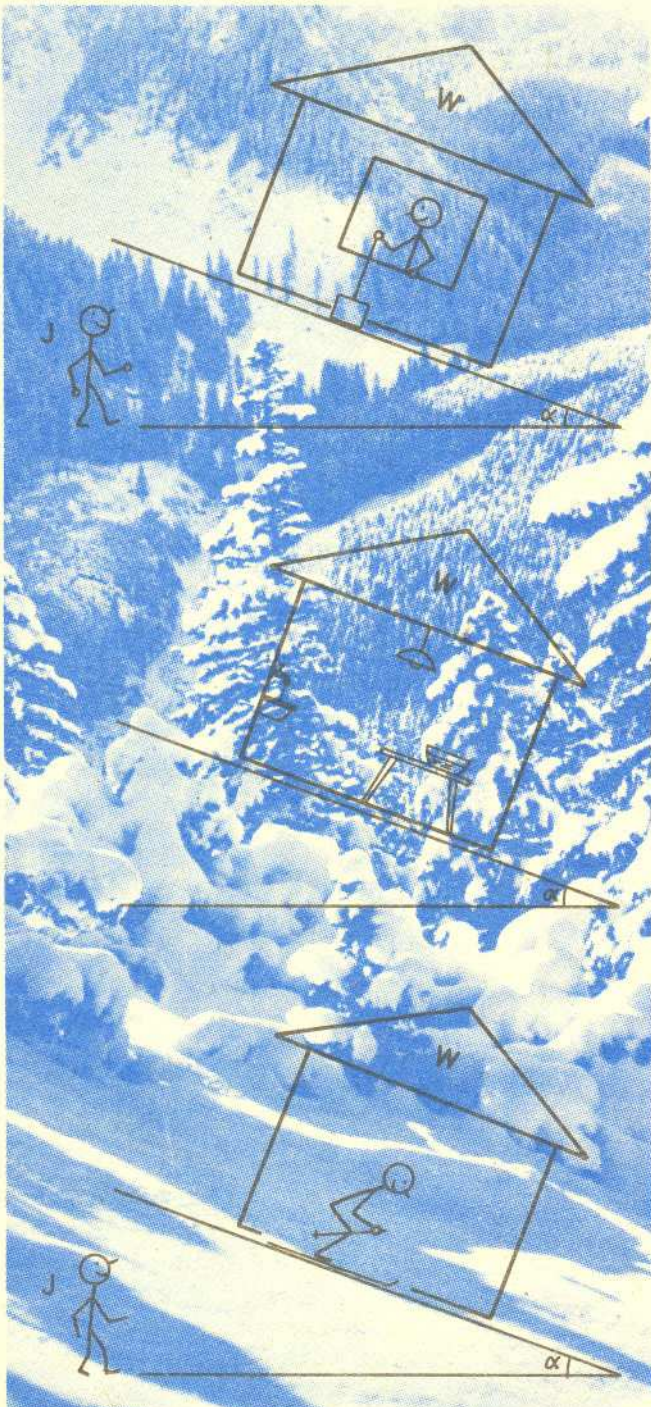
$$a = g \sin \alpha.$$

Przyspieszenie zsuwających się mas jest więc niezależne od ich masy.

Na początku powiedzieliśmy, że aby ustać na stoku, staramy się utrzymać pozycję pionową. Spróbujmy zastanowić się, czy pion dla zjeżdżającego narciarza jest tym samym pionem, co dla narciarza stojącego. Dla krótkości zjeżdżającego narciarza nazwiemy Wackiem, a stojącego – Jackiem. W jaki sposób najłatwiej wyznaczyć kierunek pionu? Wystarczy zawiesić na nitce jakiś przedmiot i poczekać, aż nitka zawisnie nieruchomo. Kierunek nitki wyznaczy nam kierunek pionu. Wyobraźmy sobie teraz dom zsuwający się po równi pochyłej, a w środku domu Wacka próbującego ustalić kierunek pionu. Zawiesza więc jakiś przedmiot, na przykład klocek, na nitce i nitka wyznacza kierunek pionu. Jaki kierunek będzie miała nitka?



Dla fizyka zadanie to nie przedstawia żadnych trudności. Układ odniesienia związany z domem, w którym znajduje się Wacek, jest układem nieinercyjnym, poruszającym się z przyspieszeniem a . Dlatego na klocek zawieszony na nitce oprócz siły ciężkości i siły napięcia nici działa jeszcze siła bezwładności B o wartości ma skierowana przeciwnie do kierunku zsuwania się domu. Przez m oznaczyliśmy tutaj masę klocka. Suma wektorowa $\vec{F} + \vec{B}$ ma więc kierunek prostopadły do równi. Względem domu klocek spoczywa, więc nic musi równoważyć $\vec{F} + \vec{B}$. Dlatego nitka będzie zwisała w kierunku prostopadłym do równi.



Ten wynik możemy otrzymać bez odwoływania się do skomplikowanych pojęć: układ nieinercyjny i siła bezwładności. Wyobraźmy sobie Jacka stojącego na stoku i obserwującego Wacka w zsuwającym się domu. Przypuśćmy, że klocek przywiązany przez Wacka do nitki znajduje się na zewnątrz domu i leży na stoku. Wacek trzyma koniec luźnej nitki. Wiemy, że ciała na równi pochyłej bez tarcia zsuwają się z tym samym przyspieszeniem. Jeżeli w pewnej chwili dom i klocek miały tę samą prędkość (na przykład zerową w umownej chwili początkowej), to będą zsuwały się obok siebie. Jacek będzie widział więc dom i klocek zsuwające się po równi coraz szybciej, ale zawsze mające tę samą prędkość chwilową. Niech Wacek zacznie naprężyć nitkę, aż klocek uniesie się nieco ponad równię. Teraz nitka równoważy składową prostopadłą ciężaru klocka F . Ale siła, z którą nitka działa na klocek, jest prostopadła do kierunku ruchu. Nie może zmienić przyspieszenia ani klocka, ani domu. Widzimy więc, że nitka będzie miała kierunek prostopadły do równi. Dla Wacka pion jest zatem prostopadły do równi. Woda z kranu w zsuwającym się domu będzie ciekła w kierunku prostopadłym do równi, zupa w talerzu Wacka będzie miała powierzchnię równoległą do równi itp. Jeżeli Wacek stanie na wagę, to odczyta swój ciężar równy $mg \cos \alpha$. Życie w domu wygląda prawie normalnie. Jedyne kierunki pionu i poziomu uległy zmianie i ciężary ciał zmniejszyły się $\cos \alpha$ -razy. Dla stojącego Jacka wszystko w domu, łącznie z Wackiem, będzie „pochylone”. Wacek może teraz przypiąć narty, delikatnie przejść na stok i zjeżdżać w dół niezależnie od domu. Dom i Wacek będą zsuwać się nadal z tym samym przyspieszeniem, a dla Wacka kierunek prostopadły do równi w dalszym ciągu będzie pionem. Teraz już wiemy, dlaczego instruktor powtarza „pochyl się do przodu”.

Rozpatrzmy na koniec realistyczną sytuację z tarciem i oporem powietrza. Tym razem po okresie przyspieszonego ruchu dom będzie zsuwał się ze stałą prędkością, gdy siły oporu zrównoważą siłę ściąającą F . Wówczas pion w domu będzie „prawdziwym” pionem, tak jak dla stojącego Jacka. Wacek po zapięciu nart w domu będzie stał w kierunku równoległym do drzew. Ale jeśli wyjdzie na stok, będzie musiał się pochylić do przodu, aby zrównoważyć siłę oporu powietrza starającą się przewrócić go do tyłu.

Małą Deltę przygotował Jan KALINOWSKI