
FENIKS

- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo-technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Pakiet nr 1:

Fizyka w domu

Część 5

dr Dagmara SOKOŁOWSKA
Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego
Uniwersytet Jagielloński

Wersja UJ/1.0, marzec 2009

Zawarte w tym opracowaniu materiały przeznaczone są do wspomagania pracy nauczycieli i uczniów w czasie zajęć pozalekcyjnych w szkołach biorących udział w projekcie edukacyjnym FENIKS. Materiały do realizacji w czasie zajęć na uczelniach uczelnie przygotowują niezależnie.

<http://feniks.ujk.kielce.pl/>
feniks@th.if.uj.edu.pl

Komentarz dla Nauczyciela

Plan zajęć

**Warsztaty z jednego tematu przewidziano na 45 minut.
Przy każdym punkcie podano orientacyjny czas aktywności.**

Co już wiemy

Zakładamy, że uczniowie przystępujący do warsztatów posiadają pewną wiedzę, bądź to z lekcji fizyki, bądź z poprzednich zajęć. W tym punkcie podajemy zagadnienia, które uczniowie powinni znać. Nauczyciel może ten fragment wiedzy przekazać na początku zajęć w formie 5 minutowego wykładu przypominającego.

Pytania wstępne




Zajęcia z właściwego tematu rozpoczynają się od pytań dotyczących omawianych później zagadnień. Są to najczęściej pytania związane z doświadczeniem, którego uczniowie nabierają w codziennym życiu lub z sytuacjami, które mogą znać z filmów, książek. Pytania należy skierować do całej grupy – nie należy w tym miejscu dawać gotowych odpowiedzi, jeśli uczniowie ich nie znają, ale pozostawić je otwarte. Jest to swojego rodzaju sondaż wiedzy i doświadczenia uczniów oraz sposób wprowadzenia do tematu warsztatów.

Dodatkowe pytania nauczyciela

W tym punkcie pozostawiamy Nauczycielowi miejsce na zadawanie dodatkowych lub pomocniczych pytań dotyczących danego tematu, a w szczególności fizyki w kontekście życia codziennego.

Doświadczenia z objaśnieniami, komentarzami

Warsztaty oparte są na doświadczeniach, które uczniowie będą wykonywali indywidualnie lub w dwuosobowych grupach. Mogą także zostać zaproponowane eksperymenty, które wykona sam Nauczyciel. Do każdego doświadczenia zostanie podany szczegółowy opis wraz z rozróżnieniem typu aktywności:

- indywidualnie 
- w grupach dwuosobowych 
- przez Nauczyciela 

oraz komentarz dotyczący powiązania prezentowanych w eksperymencie zagadnień z życiem codziennym. Uczniowie powinni wykonać doświadczenia samodzielnie posługując się objaśnieniami (które trzeba w takim przypadku skopiować w odpowiedniej liczbie i rozdać uczniom) lub wykonać je zgodnie z instrukcjami Nauczyciela.

Aby maksymalnie móc wykorzystać czas przeznaczony na warsztaty, na początku każdego zajęć przyrządy i materiały do eksperymentów powinny zostać przygotowane w odpowiedniej ilości i ułożone na ławkach. Przy każdej ławce powinna pracować para uczniów.

Doświadczenia, które nauczyciel będzie wykonywał samodzielnie powinny być także przygotowane w możliwie maksymalnym stopniu jeszcze przed warsztatami.

Podsumowanie (dodatkowy komentarz, ciekawostki)

Tutaj Nauczyciel znajdzie podsumowanie tematu, ciekawostki itp. Tego dodatkowego komentarza do zajęć nie należy przedstawiać uczniom jako bloku informacji. Powinna to być kanwa do ponownej dyskusji, interakcji.

Pytania końcowe

/Zwłaszcza te, na które uczniowie nie odpowiedzieli na początku/

Pod koniec zajęć należy wrócić do pytań wstępnych i dodatkowych, upewniając się, że na wszystkie te pytania podczas warsztatów znaleziona została odpowiedź. Jest tu także miejsce na indywidualne impresje uczniów: co było zaskakujące, co im się w trakcie zajęć przypomniało w związku z tematem warsztatów.

Komentarz dla Nauczyciela

Literatura dla Nauczyciela

Na końcu materiałów dotyczących danego tematu podajemy literaturę oraz linki w Internecie poszerzającą wiedzę w jego zakresie.

IX. Siły wokół nas

Co już wiemy (2 min)

- Co to jest ciśnienie?
- Co to jest siła grawitacji?
- Jaki jest kierunek i zwrot siły grawitacji?

Pytania wstępne (4 min)

- Dlaczego belka zawieszona poziomo na jednym kawałku sznurka może spaść, bo sznurek się zerwie, a zawieszona na kilku kawałkach tego samego sznurka – nie spada?
- Dlaczego narciarze alpejscy przybierają podczas zjazdów skuloną pozycję?
- Co to znaczy, że przedmiot ma opływowe kształty?
- Dlaczego trudniej jest chodzić po lodzie niż po asfalcie?
- W jaki sposób można zmniejszyć tarcie?
- Dlaczego podczas rajdów samochodowych wymienia się opony?
- Po co jest potrzebny spadochron skoczkowi spadochronowemu?
- Dlaczego mimo, iż siła grawitacji ciągnie nas w kierunku środka Ziemi, to stojąc na jej powierzchni nie poruszamy się w dół?

Dodatkowe pytania nauczyciela (2 min)

Doświadczenia z objaśnieniami, komentarzami

Doświadczenie 1: Ciśnienie ciał stałych (5 min)

Doświadczenie 2: Akcja - reakcja (3 min)

Doświadczenie 3: Połączone książki (5 min)

Doświadczenie 4: Poduszkowiec (4 min)

Doświadczenie 5: Woda w kubeczku (4 min)

Doświadczenie 6: Spadające przedmioty (4 min)

Doświadczenie 7: Reakcja podłoża (3 min)

Doświadczenie 8: Rolki (3 min)

Doświadczenie 9*: Sprężysta gumowa waga (10 min)

Podsumowanie (dodatkowy komentarz, ciekawostki) (4 min)

Pod koniec XVII w. Izaak Newton sformułował trzy zasady dotyczące dynamiki. Pierwsza z nich głosi, że jeżeli na ciało nie działa wypadkowa siła zewnętrzna różna od zera, to ciało nieruchome pozostanie bez ruchu, a ciało będące w ruchu będzie kontynuować swój ruch po linii prostej bez zmiany wartości, kierunku i zwrotu prędkości. II zasada dynamiki Newtona stwierdza, że wypadkowa siła działająca na ciało nadaje mu przyspieszenie (wprost proporcjonalne do siły i odwrotnie proporcjonalne do masy ciała). Z III zasady dynamiki wiadomo, że jeżeli jakieś ciało działa siłą na drugie ciało, to drugie ciało działa siłą na pierwsze. Siły te są równe co do wartości, mają ten sam kierunek, ale przeciwne zwroty. Siły te są przyłożone do różnych ciał, dlatego nie można mówić o ich równoważeniu się. Siły zawsze występują parami: jedna siła jest siłą akcji, a druga – siłą reakcji. Stwierdziliśmy, że siły te parami mają taką samą wartość. Nie oznacza to jednak, że wywołają ten sam skutek. Na przykład: Ziemia przyciąga kulkę siłą grawitacji – kulka puszczone swobodnie spada zatem ku powierzchni Ziemi. W myśl III zasady dynamiki kulka działa na Ziemię taką samą siłą. Dlaczego zatem Ziemia nie zostaje przyciągnięta przez kulkę? Siły o tych samych wartościach działają tutaj na ciała o znacznie różniących się masach. Siła grawitacji wywiera efekt na kulkę (kulka zostaje przyspieszona), ale nie może ruszyć Ziemi, która ma ogromną masę!

Siła sprężystości ciał stałych jest reakcją na ich odkształcanie. Niektóre ciała stałe (sprężynę, gumkę) łatwo odkształcić; inne – takie jak powierzchnia drewnianej podłogi, czy asfalt są odkształcane w sposób niezauważalny gołym okiem. W przypadku niewielkich odkształceń siła sprężystości jest

IX. Siły wokół nas

wprost proporcjonalna do odkształcenia (np. siła sprężystości potrzebna do rozciągnięcia lub ściśnięcia sprężyny jest proporcjonalna do zmiany jej długości). Cechę tę wykorzystano przy konstrukcji siłomierzy – przyrządów do pomiaru sił o niewielkiej wartości.

W zwykłej definicji tarcia zawarte jest stwierdzenie, że siła tarcia nie zależy od pola powierzchni trących. Np. przesunięcie skrzyni po drewnianej podłodze wymaga tyle samo siły bez względu na to, na którym z boków została ona postawiona. Stwierdzenie to jest prawdziwe w przypadku ciał sztywnych (twardych), ale nie stosuje się do przedmiotów elastycznych – takich jak np. opona samochodu. Dlatego dla odróżnienia wprowadzono dla nich tzw. współczynnik przyczepności (zamiast współczynnika tarcia). Zależy on nie tylko od rodzaju nawierzchni i od rodzaju gumy, z której wykonano oponę oraz od ciężaru auta, ale także od pola powierzchni styku opony z jezdnią, rodzaju bieżnika, temperatury, ciśnienia i szybkości opony. Opony o większej przyczepności dają lepszą stabilność na zakrętach, ale powodują zwiększone zużycie paliwa, bardzo się rozgrzewają i szybko zużywają. Opony o mniejszej przyczepności nie powodują tak wielu strat, ale ich użycie powoduje konieczność zwiększonej ostrożności (np. kierowca musi na zakrętach wytracać szybkość, ażeby nie wypaść z toru). Niezwykłą umiejętnością, jaką wykazują się ekipy techniczne na przykład na zawodach Formuły 1 jest odpowiedni dobór rodzaju opon do warunków panujących podczas wyścigów. Niejednokrotnie decyduje on o zwycięstwie, bądź porażce zawodnika.

Pytania końcowe (2 min)/Zwłaszcza te, na które uczniowie nie odpowiedzieli na początku/

Literatura i linki internetowe dla Nauczyciela

1. Tarcie i jego właściwości: D. Halliday, R. Resnick, J. Walker „Podstawy fizyki” t.1 (PWN 2006), rozdz. 6.1 i 6.2
2. Czy można żyć w świecie bez tarcia?, „Fizyka i astronomia dla każdego”, pod red. B. Sagnowskiej (Zamkor 2007), rozdz. 2.7
3. Opory ruchu: D. Halliday, R. Resnick, J. Walker „Podstawy fizyki” t.1 (PWN 2006), rozdz. 6.3.
4. Skoki na bungee: <http://pl.wikipedia.org/wiki/Bungee>
5. Siły sprężystości: M. Rozenbajgier, R. Rozenbajgier, J.M. Kreiner „Fizyka dla gimnazjum”, t.1 (Zamkor 2008), rozdz. 4.11
6. Różnica między przyczepnością a tarciem: M. Rozenbajgier, R. Rozenbajgier, J.M. Kreiner „Fizyka dla gimnazjum”, t.1 (Zamkor 2008), str. 125-127



IX. Siły wokół nas

Doświadczenie 1: Ciśnienie ciał stałych

Przyrządy i materiały:

5 balonów, cienka deska (najlepiej o wymiarach ok. 70 cm x 70 cm)

Uwaga: zamiast deski można użyć tacki lub miski.

Przygotowanie.

Napompuj wszystkie balony do dużych rozmiarów (średnica ok. 25-30 cm).

Eksperyment.

- Połóż na podłodze jeden balon, a na nim umieść deskę. Jedna osoba niech stanie na desce, asekurowana przez dwie inne osoby. Jeżeli balon nie pęknie, należy go nieco dopompować, podobnie jak cztery pozostałe balony.
- Połóż na podłodze cztery balony obok siebie. Umieść deskę na balonach. Niech ta sama osoba stanie na desce, asekurowana przez dwie inne osoby.

Obserwacja.

- Jaką siłę wywiera człowiek na pojedynczy balon, a jaką na cztery balony?
- Jakie ciśnienie wywiera człowiek na pojedynczy balon, a jakie na cztery balony?

Komentarz.

Wartość nacisku człowieka na płaskie podłoże jest równy wartości siły grawitacji, która przyciąga człowieka do Ziemi. W obu częściach doświadczenia nacisk jest zatem taki sam. Natomiast ciśnienie wywierane na balony jest większe w pierwszej niż w drugiej części doświadczenia (bo siła działa na różne pola powierzchni styku deski z balonami). Im większe ciśnienie tym łatwiej przebić balon. W przypadku czterech balonów pod deską na każdy z nich działa siła równa $\frac{1}{4}$ siły grawitacji.

Podobnie w samochodzie osobowym: zastosowanie czterech kół po pierwsze wpływa na stabilizację ciężkiego auta, a po drugie zmniejsza nacisk samochodu na każde z kół. W instrukcji obsługi podane są wartości ciśnień, jakie należy zapewnić w oponach w zależności od ładunku. Zwykle jest to ciśnienie ok. 2 atmosfer (czyli dwa razy większe niż ciśnienie atmosferyczne). Jeżeli jednak auto jest bardzo załadowane, zaleca się dopompowanie kół (nawet do ciśnienia 3 atmosfer). Gdybyśmy mieli w samochodzie zamiast czterech kół – jedno, opona musiałaby być znacznie bardziej wytrzymała, a ciśnienie w oponie – ok. cztery razy większe niż stosowane obecnie.

Uwaga: ciśnienie podaje się w różnych jednostkach. Podstawową jednostką jest Pascal (1 Pa), ale często można spotkać ciśnienie podawane w atmosferach (1 atm). Ciśnienie atmosferyczne to 1 atm lub 1013 hPa.

IX. Siły wokół nas

Doświadczenie 2: Akcja - reakcja



Przyrządy i materiały:

deskorolka lub para rolek, drzwi na zawiasach, sznurek o długości około 1 m

Eksperyment.

- Przywiąż sznurek do klamki drzwi. Przymknij drzwi (ale ich nie zamykaj). Ciągnąc za sznurek, spróbuj otworzyć drzwi.
- Przymknij drzwi (ale ich nie zamykaj). Stań na deskorolce i ciągnąc za sznurek, spróbuj otworzyć drzwi.

Obserwacja.

- Co się dzieje z człowiekiem stojącym podczas otwierania drzwi na podłodze?
- Co się dzieje z deskorolką podczas otwierania drzwi w drugiej części eksperymentu?

Komentarz.

Już ponad 400 lat temu Izaak Newton odkrył, że **każda akcja rodzi reakcję** i sformułował to prawo jako III zasadę dynamiki. Jeżeli jakaś osoba ciągnie drzwi, to jednocześnie drzwi ciągną tę osobę. Dzieje się tak zawsze, choć bardzo często trudno zaobserwować siłę reakcji. Taki przypadek mieliśmy w pierwszej części doświadczenia: ciągnięcie drzwi powodowało powstanie siły reakcji – drzwi ciągnęły osobę, ale nie było widać efektu, bo jednocześnie na osobę działała siła tarcia statycznego podeszew butów o podłogę, która uniemożliwiała przesunięcie człowieka. Tarcie to zostało zminimalizowane w drugiej części doświadczenia. Człowiek na deskorolce ciągnąc drzwi doznaje działania siły reakcji: drzwi ciągną człowieka i człowiek z deskorolką przesuwa się. Tarcie kół deskorolki jest bowiem znacznie mniejsze niż tarcie podeszew butów o podłogę.

IX. Siły wokół nas



Doświadczenie 3: Połączone książki

Przyrządy i materiały:

3 grube książki takich samych rozmiarów (trzy tomy encyklopedii, trzy książki telefoniczne itp.), 2 kartki papieru A4.

Przygotowanie.

Poprzekładaj **jedną po drugiej** kartki obu książek – tak, by książki zostały w ten sposób szczepione ze sobą. Ważne jest, żeby pierwsza kartka pierwszej książki leżała na pierwszej kartce drugiej książki, a ta na drugiej kartce pierwszej książki i tak dalej.

Eksperyment.

- Połóż na stole jedną na drugiej dwie kartki papieru. Pociągnij górną kartkę równoległe do stołu.

Obserwacja.

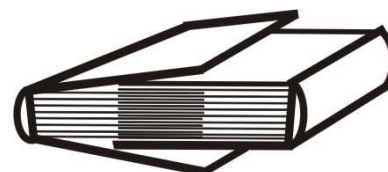
- Co się dzieje z dolną kartką papieru, gdy ciągniesz za górną kartkę papieru równoległe do stołu?
- Czy czujesz jakkolwiek opór, gdy ciągniesz górną kartkę?
- Ponownie połóż na stole jedną kartkę na drugiej, a na nich jedną z książek. Spróbuj wyciągnąć kartkę papieru włożoną pomiędzy książkę i drugą kartkę papieru.

Obserwacja.

- Czy łatwo jest wyciągnąć pojedynczą kartkę papieru spod książki?
- Złap mocno obiema rękami za grzbiet jednej książki, a druga osoba – niech złapie obiema rękami za grzbiet drugiej książki. Na wspólny sygnał pociągnijcie książki do siebie, starając się je rozdzielić. Nie podnoście pojedynczych kartek!

Obserwacja.

- Czy łatwo jest rozdzielić obie książki „zaciśnięte” jedna w drugiej?



Komentarz.

Gdy chcemy przesunąć pojedynczą kartkę po powierzchni innej kartki natrafiamy na lekki opór, tak zwaną siłę tarcia. Im bardziej nierówne (chropowate) są powierzchnie tych kartek, tym większe tarcie.

Tarcie zależy także od nacisku jednej powierzchni na drugą. Im bardziej ściśnięte są kartki, tym tarcie większe. Dlatego, gdy na dwóch kartkach papieru kładziesz ciężką książkę znacznie trudniej jest wówczas wysunąć kartkę leżącą pomiędzy książką a drugą kartką papieru – gdy książka jest bardzo ciężka, staje się to wręcz niemożliwe.

Tarcie istnieje pomiędzy każdymi dwoma kartkami (przesuwanymi jedna po powierzchni drugiej). Aby rozdzielić książki, musimy pokonać siły tarcia pomiędzy każdą parą kartek. Choć siła tarcia pomiędzy dwoma kartkami nie jest zbyt duża, to jej wartość pomnożona przez liczbę kartek jednej książki (których jest kilkaset) jest już tak duża, że rozdzielenie książek staje się niemożliwe.

W wielu przypadkach tarcie jest zjawiskiem korzystnym. Czy potrafisz sobie wyobrazić świat bez tarcia? Zdecydowana większość wykonywanych przez nas czynności wymaga obecności tarcia: chodzenie, ubieranie się, otwieranie czegokolwiek itd. (spróbuj podać inne przykłady).

W niektórych przypadkach chcielibyśmy jednak zminimalizować tarcie, np. podczas jazdy samochodem. Im mniejsze tarcie (i opory powietrza), tym mniejsza moc silnika niezbędna do poruszania się samochodu. Jeśli jednak tarcie jest zbyt małe, opony tracą przyczepność i auto wpada w poślizg. Ponieważ warunki na drogach zmieniają się wraz z porami roku – sezonowo wymieniamy też opony na zestaw letni lub zimowy. Opony letnie mają za małą przyczepność na mokrych lub pokrytych warstwą lodu nawierzchniach jezdni zimą. Opony zimowe z kolei mają zapewnić lepszą przyczepność (większe tarcie) nie nadają się na lato, gdyż w temperaturach powyżej 10°C za bardzo się rozgrzewają i ścierają.

IX. Siły wokół nas

Doświadczenie 4: Poduszkowiec



Przyrządy i materiały:

1 płyta CD lub krążek w kształcie płyty CD wycięty z tektury, balonik, ruchomy dziubek z zaworkiem (od butelki po napoju lub płynu do mycia naczyń typu „Ludwik”), klej lub kawałek plasteliny, stół lub inna gładka pozioma powierzchnia

Przygotowanie.

Przyklej ruchomy dziubek dookoła otworu na środku płyty CD lub tekturowego krążka. Zamknij zaworek.

Eksperyment.

- Połóż płytę (krążek) na stole. Popchnij płytę płasko po stole.
- Nadmuchaj balonik, ale go nie wiąż. Nałóż końcówkę balonika na dziubek. Połóż płytę (krążek) ponownie na stole. Lekko otwórz zaworek.

Obserwacja.

- Co hamuje ruch płyty bez balonika po stole?
- Co powoduje, że krążek z przyczepionym balonem i otwartym zaworkiem się porusza?
- Jakim ruchem porusza się krążek z otwartym balonem?
- W którym przypadku łatwiej jest poruszać się krążkowi?

Komentarz.

Gdy puszcza się po stole krążek bez balonika, pomiędzy krążkiem a stołem występuje tarcie, które silnie hamuje ruch krążka.

Jeśli powietrze wydostaje się z balonika małym strumieniem, pod krążkiem tworzy się cienka poduszka z powietrza. Wówczas krążek działa jak poduszkowiec – dzięki warstwie („poduszce”) powietrza, na której się unosi może poruszać się niemal bez tarcia, bo nie dotyka podłoża.

Jeśli powietrze gwałtownie wydostaje się z balonika – krążek porusza się jak odrzutowiec. Powietrze wylatuje w jedną stronę i na zasadzie odrzutu popycha krążek dokładnie w przeciwną stronę.



IX. Siły wokół nas

Doświadczenie 5: Woda w kubeczku

Przyrządy i materiały:

kubeczek plastikowy, gwóźdź, taśma klejąca lub kawałek plasteliny, woda z kranu, szeroka miska, szmata do podłogi

Przygotowanie.

Za pomocą gwoździa zrób trzy dziurki w kubeczku: jedną w dnie, a dwie pozostałe w ścianie kubeczka, poniżej połowy wysokości (np. naprzeciwko siebie). Zalep dziurki szczelnie taśmą klejącą lub cienką warstwą plasteliny.

Eksperyment.

- Nalej wodę do kubeczka. Ustaw kubeczek jak najwyżej ponad miską. Jednym ruchem oderwij taśmę klejącą od kubeczka i puść kubeczek swobodnie. Obserwuj zachowanie się wody podczas lotu.

Uwaga: Przy zachowaniu odpowiedniej ostrożności doświadczenie można wykonać spuszczać kubeczek z okna budynku na I piętrze. Można wówczas użyć przezroczystej butelki o pojemności 1 l. Należy uważać: aby nie wypaść z okna oraz aby bezpośrednio pod oknem w pobliżu miejsca upadku nie znajdowały się żadne osoby!

- Trzymając kubeczek nad miską, szybko napełnij go wodą. Obserwuj zachowanie się wody.

Obserwacja.

- Czy woda wylewa się przez dziurki ze spoczywającego kubeczka?
- Czy woda wylewa się przez dziurki z kubeczka podczas lotu?

Komentarz.

Gdy kubeczek swobodnie opada na ziemię (do miski), siła grawitacji w taki sam sposób przyspiesza kubeczek jak i każdą kropelkę wody. Woda **nie porusza się** zatem **względem kubeczka**, czyli nie wyprzedza kubeczka podczas ruchu. Dlatego woda nie wylewa się z naczynia.

Gdy kubeczek trzymamy w rękach, równoważymy siłę grawitacji działającą na niego – kubeczek pozostaje w spoczynku. Na wodę jednak w dalszym ciągu działa siła grawitacji. Dlatego woda wylewa się przez dziurki naczynia.



IX. Siły wokół nas

Doświadczenie 6: Spadające przedmioty

Przyrządy i materiały:

dwie kartki papieru z zeszytu o formacie A5, balonik, włóczka, gumka do mazania, książka o formacie A5, linijka

Przygotowanie.

Nadmuchaj balonik. Zgnieć jedną kartkę w kulkę. Utnij kawałek włóczki o długości 10 cm.

Eksperyment.

- Puszczaj (nie rzucaj!) po kolei wszystkie przedmioty z tej samej wysokości. Możesz je puszczać jednocześnie: pojedynczo, parami, trójkami – zaplanuj tę część samodzielnie w celu porównania ruchu przedmiotów.

Obserwacja.

- Który przedmiot spada w najkrótszym czasie?
- Który przedmiot spada w najdłuższym czasie?
- Która z kartek spada w krótszym czasie?

- Połóż kartkę papieru na książce. Unieś książkę ponad blatem stołu i puść na stół.

Obserwacja.

- Który z przedmiotów jako pierwszy dotknął stołu?
- W jaki sposób względem siebie poruszały się kartka i książka?

- Podłóż kartkę papieru pod książkę. Unieś książkę z kartką ponad blat stołu i puść na stół.

Obserwacja.

- Który z przedmiotów jako pierwszy dotknął stołu?
- W jaki sposób względem siebie poruszały się kartka i książka?

- Nad blatem stołu w jednej ręce unieś książkę, a w drugiej – ułóż na płasko kartkę papieru. Puść oba przedmioty jednocześnie na stół.

Obserwacja.

- Który z przedmiotów jako pierwszy dotknął stołu?
- W jaki sposób względem siebie poruszały się kartka i książka?

Komentarz.

Wszystkie przedmioty spadają na Ziemię, bo są przez nią przyciągane **siłą grawitacji**. Ponieważ spadając poruszają się w powietrzu, działa na nie także **siła oporu**, zwrócona przeciwnie do prędkości.

Gdyby zamiast powietrza w naszym otoczeniu panowała **próżnia**, to wszystkie przedmioty spadałyby z tej samej wysokości w takim samym czasie. Czas spadania nie zależałby ani od masy przedmiotu ani od jego wielkości, ani od jego kształtu. To siła oporu sprawia, że czas spadania jest różny dla różnych przedmiotów.

Dwie kartki o tej samej masie, ale różnym kształcie nie spadają na Ziemię w takim samym czasie. Kartka zgnieciona spada szybciej, ponieważ **siła oporu zależy od pola powierzchni napierającej na powietrze**.

Dla ciał spadających w pobliżu powierzchni Ziemi siła grawitacji jest skierowana pionowo w dół, a siła oporu - pionowo w górę, zatem siły te przeciwdziałają sobie. Suma tych sił nadaje ciało przyspieszenie. Ponieważ siła grawitacji nie zależy od szybkości ciała, a **siła oporu rośnie wraz ze wzrostem szybkości** ciała, dlatego podczas spadania bardzo szybko zostaje osiągnięty stan równowagi, przy którym wartość siły grawitacji staje się równa wartości siły oporu. Od tej chwili ciało przestaje przyspieszać i zaczyna poruszać się w dół ruchem jednostajnym z osiągniętą szybkością graniczną. Sama **siła oporu nie zależy od masy ciała**, ale **szybkość graniczna** ciała **jest** między innymi **proporcjonalna do jego masy** – dlatego w ostatniej części doświadczenia książka spada na stół wcześniej niż kartka papieru, chociaż oba przedmioty mają podobne pole powierzchni napierającej.

IX. Siły wokół nas

Doświadczenie 7: Reakcja podłoża



Przyrządy i materiały:

2 grube książki, giętka, plastikowa linijka o długości ok. 50 cm, gruba gąbka kąpielowa, artykuł spożywczy o masie ok. 1 kg (paczka cukru, maki, olej itp.)

Eksperyment.

- Połóż książki na stole w odległości ok. 30 cm od siebie. Na książkach połóż linijkę, tworząc most pomiędzy tomami. Na środku linijki postaw artykuł spożywczy.
- Połóż gąbkę na płasko na stole. Na środku gąbki postaw artykuł spożywczy.

Obserwacja.

- Co się stało po obciążeniu linijki?
- Co się stało po położeniu artykułu spożywczego na gąbce?

Komentarz.

Po obciążeniu giętkiej linijki lub miękkiej gąbki – oba te przedmioty odkształcają się. Bardzo często jednak odkształcenia podłoża nie są widoczne gołym okiem. Na skutek tych odkształceń podłoża (widocznych lub nie), powstałych w wyniku nacisku przedmiotów, w podłożu powstają dodatkowe naprężenia, powodujące pojawienie się siły sprężystości podłoża. Siła ta jest zawsze skierowana prostopadle do podłoża i ma zwrot przeciwny do zwrotu siły nacisku. Siła sprężystości podłoża równoważy siłę grawitacji działającą na ciało, dlatego ciało może spoczywać na powierzchni nie poruszając się w kierunku do niej prostopadłym.

IX. Siły wokół nas

Doświadczenie 8: Rolki



Przyrządy i materiały:

sprężynka (np. od długopisu), kilkanaście niekarbowanych (walcowych) kredek lub ołówków, duża gumka do mazania, stół.

Przygotowanie.

Wbij i przymocuj jeden koniec sprężynki do gumki.

Eksperyment.

- Pociągając za wolny koniec sprężynki, przesuń gumkę po stole ruchem w miarę jednostajnym.
- Ułóż kredki na stole w odległościach ok. 1,5 cm, równoległe do siebie. Połóż gumkę na pierwszych dwóch kredkach. Pociągając za wolny koniec sprężynki, przesuń gumkę po stole ruchem w miarę jednostajnym w kierunku prostopadłym do kredek.

Obserwacja.

- W którym przypadku sprężynka mniej się rozciągnęła?

Komentarz.

Gumka wprawiana jest w ruch poprzez przyłożenie siły do przymocowanej do niej sprężynki. Ponieważ ruch gumki jest jednostajny, to z I zasady dynamiki Newtona wnioskujemy, że siła sprężystości sprężynki równoważy siłę hamującą (siłę tarcia gumki o podłoże). Siła sprężystości sprężynki jest proporcjonalna do jej wychylenia. Im mniejsze wychylenie tym siła ta jest mniejsza (czyli jednocześnie tym mniejsza siła tarcia). Z wykonanego eksperymentu wynika, że siła tarcia poślizgowego jest większa niż siła tarcia toczonego, dlatego tak przełomowym w dziejach ludzkości było wynalezienie koła.

Już w doświadczeniu nr 2: Akcja – reakcja wykorzystaliśmy fakt, że zastosowanie kół zmniejsza tarcie.

IX. Siły wokół nas



Doświadczenie 9*: Sprężysta gumowa waga

Przyrządy i materiały:

kartka papieru milimetrowego, plastikowy kubek, ok. 15 cm gumki (do skakania lub typu recepturka) w jednym kawałku, patyczek do szaszłyków, ołówek, kawałek plasteliny, kilkanaście jednakowych monet, gwóźdź, młotek, wolnostojąca deska (sklejka) lub dowolny kawałek drewnianej ramy (przykręconej do ściany), do którego będzie można wbić gwóźdź.

Przygotowanie.

Za pomocą gwoździa wywierć w górnej części kubka (na tej samej wysokości) dwa otworki – dokładnie naprzeciwko siebie. Przełóż patyczek do szaszłyków przez obie dziurki i unieruchom go w kubku za pomocą plasteliny. Na środku patyczka przywiąż mocno gumkę recepturkę (możesz ją przylepić kawałkiem plasteliny do patyczka tak, żeby się nie przesuwała). Wbij gwóźdź do drewna. Powieś na gwoździu kubek na gumce. Pod gwoździem w odległości około 15 cm od niego na ścianie przymocuj za pomocą plasteliny kartkę papieru milimetrowego.

Eksperyment.

Przywiąż wolny koniec gumki do gwoździa. Zawieś kubeczek na tle skali na papierze milimetrowym. Zaznacz położenie „0” górnego brzegu kubka na skali.

Wkładaj po 1 monecie do kubka. Na papierze milimetrowym zaznaczaj kolejne położenia górnego brzegu kubka.

Obserwacja.

- Czy po włożeniu każdej kolejnej monety gumka rozciąga się coraz bardziej, za każdym razem mniej więcej o tyle samo?

Eksperyment.

Gumka rozciąga się proporcjonalnie do działającej na nią siły. Siła rozciągająca zależy od siły grawitacji działającej na monety w kubku, a ta jest proporcjonalna do masy monet, czyli także do ich ilości. Każda dołożona do kubka moneta powoduje rozciągnięcie gumki o tę samą długość.

Skoki na bungee to ekstremalna rozrywka, podczas której człowiek skacze w przepaść przyczepiony do liny składającej się z pęku kilkuset linek gumowych. Podczas pierwszej fazy skoku na bungee lina zwisa swobodnie i człowiek doznaje jedynie działania siły grawitacji. Prędkość człowieka rośnie bardzo szybko. Gdy człowiek znajdzie się w odległości od miejsca skoku równej długości liny, lina zaczyna się napinać. Na człowieka zaczyna działać siła sprężystości, która ostatecznie powoduje wyhamowanie prędkości i zatrzymanie człowieka tuż nad ziemią. Gdy człowiek wisi głową w dół siła sprężystości liny równoważy działającą na człowieka siłę grawitacji.

X. Bezwładność

Co już wiemy (3 min)

- Co to jest siła grawitacji i w którą stronę jest zwrócona?
- W jaki sposób dwie siły równoważą się?
- I zasada dynamiki Newtona
- Co to jest siła sprężystości (reakcji) podłoża i w którą stronę jest zwrócona?

Pytania wstępne (5 min)

- Z czym kojarzy Ci się bezwładność?
- Co się dzieje z człowiekiem, gdy autobus, którym jedzie gwałtownie przyspiesza, a co, gdy autobus gwałtownie hamuje?
- W którym przypadku czujesz się lżejszy, a w którym cięższy podczas jazdy windą:
 - winda startuje w górę (przyspiesza),
 - jadąc w górę winda zwalnia dojeżdżając do piętra,
 - winda startuje w dół,
 - jadąc w dół winda zwalnia dojeżdżając na parter?
- W którą stronę jesteś spychany na krzeselku podczas jazdy na karuzeli?
- W którą stronę musisz się pochylić szybko jadąc rowerem i skręcając w prawo?
- Dlaczego jezdnie na zakręcie są lekko wyprofilowane? W jaki sposób?
- Dlaczego należy bezwzględnie zapinać pasy bezpieczeństwa podczas podróży samochodem?

Dodatkowe pytania nauczyciela (2 min)

Doświadczenia z objaśnieniami, komentarzami

Doświadczenie 1: Sztuczka ze szklanką (4 min)

Doświadczenie 2: Siedem demonstracji bezwładności (5 min)

Doświadczenie 3: Zakręcone jajka (4 min)

Doświadczenie 4: Zapnij pasy! (2 min)

Doświadczenie 5: Rzut młotem (4 min)

Doświadczenie 6: Karuzela (4 min)

Doświadczenie 7: Kulka w szklance (4 min)

Doświadczenie 8: Tor saneczkarski (2 min)

Podsumowanie (dodatkowy komentarz, ciekawostki) (4 min)

Bezwładność to właściwość ciała polegająca na skłonności do przeciwstawiania się zmianom ruchu. I zasada dynamiki Newtona mówi o tym, że dzięki swojej bezwładności ciało zachowuje swoją prędkość dopóki nie zadziała na nie siła wypadkowa różna od zera. Opis ten jest odpowiedni dla ciał oglądanych z zewnątrz (z układu laboratoryjnego). Miarą bezwładności ciała jest jego masa. Im większa masa, tym trudniej zmienić stan ruchu ciała.

Możemy także opisać ruch ciał w inny sposób - z punktu widzenia wnętrza układu poruszającego się z przyspieszeniem względem laboratoryjnego układu odniesienia. W układach tych przyspieszających poza wszystkimi siłami rzeczywistymi, odczuwane jest dodatkowo działanie siły nierzeczywistej, zwanej siłą bezwładności. W ruchu po okręgu siła bezwładności nosi szczególną nazwę: siły odśrodkowej. Siła odśrodkowa i siła dośrodkowa nigdy nie występują razem, bo ujawniają się w różnych układach odniesienia!

Najbardziej spektakularnym przykładem wykorzystania bezwładności jest kolejka górską wesołym miasteczku (tzw. *roller coaster*). Odpowiednio wyprofilowane tory kolejki oraz dobrana szybkość sprawiają, że amatorzy mocnych wrażeń mogą się nią poruszać nawet do góry nogami. Nie spadają oni w dół, ponieważ do powierzchni toru dociska ich siła odśrodkowa.

X. Bezwładność

Pytania końcowe (2 min)

/Zwłaszcza te, na które uczniowie nie odpowiedzieli na początku/

Literatura i linki internetowe dla Nauczyciela

7. Bezwładność ciał: Szczeniowski „Fizyka doświadczalna”, cz. I (PWN 1972), rozdz. 11
8. Zjawisko bezwładności: M. Rozenbajgier, R. Rozenbajgier, J.M. Kreiner „Fizyka dla gimnazjum”, t.1 (Zamkor 2008), str 74-75.
9. Siły bezwładności: „Wybieram fizykę”, t.1 (Zamkor 2006), rozdz. 2.7
10. Siły bezwładności: Szczeniowski „Fizyka doświadczalna”, cz. I (PWN 1972), rozdz. 13
11. Film ukazujący bezwładność w siedmiu sytuacjach:
<http://video.google.pl/googleplayer.swf?docid=-4389391517517222697&hl=pl&fs=true>
[style="width:400px](http://video.google.pl/googleplayer.swf?docid=-4389391517517222697&hl=pl&fs=true)
12. Wyścig jajek: Foton 85, Lato 2004: <http://www.if.uj.edu.pl/Foton/85/pdf/jajka.pdf>
13. Krótki film porównujący skutki wypadku drogowego dla pasażerów zapietych pasami bezpieczeństwa i pasażerów jadących bez pasów:
<http://www.youtube.com/watch?v=2DWFQ73cevU>
14. Kolejka górską (roller coaster): Foton 102, Jesień 2008:
<http://www.if.uj.edu.pl/Foton/102/pdf/08%20roller%20coaster%20-%20kolor.pdf>
15. Krótki film ukazujący jazdę na torze saneczkarskim z punktu widzenia zawodnika:
<http://www.youtube.com/watch?v=w7SL1k5ZFtw>

X. Bezwładność

Doświadczenie 1: Sztuczka ze szklanką



Przyrządy i materiały:

szklanka, sucha ściereczka kuchenna lub ręcznik papierowy, woda z kranu, stół z gładkim, suchym blatem

Eksperyment.

Szklankę napełnij wodą (do połowy, w $\frac{1}{4}$ itp.) tak, aby wszystkie zewnętrzne ścianki były suche. Na stole połóż ściereczkę lub kawałek ręcznika papierowego, a na nim szklankę z wodą. Energicznie pociągnij za swobodnie zwisający ze stołu brzeg ściereczki lub ręcznika papierowego. Jeśli ze szklanki wylała się woda, wytrzyj szklankę do sucha, zmień ściereczkę lub wymień kawałek ręcznika papierowego i spróbuj ponownie.

Obserwacja.

- Co się stało ze szklanką podczas tego doświadczenia?

Komentarz.

W języku potocznym **bezwład** oznacza niechęć lub niezdolność do czynu czy zmian.

Bezwładność to właściwość ciała polegająca na skłonności do zachowania stanu, w którym się to ciało znajduje. Pierwsza zasada dynamiki Newtona mówi wręcz o tym, że dzięki swojej bezwładności ciało zachowuje swoją prędkość dopóki nie zadziała na nie siła wypadkowa różna od zera.

Miarą bezwładności ciała jest jego masa. Im większa masa, tym trudniej zmienić stan ruchu ciała.

X. Bezwładność

Doświadczenie 2: Siedem demonstracji bezwładności



Projekcja filmu z Internetu.
Film można wcześniej
skopiować na dysk lokalny.

Film ukazujący bezwładność w siedmiu sytuacjach:

<http://video.google.pl/googleplayer.swf?docid=-4389391517517222697&hl=pl&fs=true>
(czas projekcji 2 min 21 s)

Eksperyment.

Film można oglądać jako pokaz ciągły lub przerywać go tuż przed demonstracją każdej sytuacji, prosząc uczniów o przewidywanie rezultatu.

Komentarz.

W każdym z tych doświadczeń kilka przedmiotów luźno związane ze sobą. Na jeden z nich (dolny przedmiot) działała zawsze siła rzeczywista, która w myśl II zasady dynamiki Newtona wprowadzała ten przedmiot w ruch. Drugi przedmiot (spoczywający na pierwszym) nie był bezpośrednio poddawany działaniu siły inicjującej ruch. Można zatem powiedzieć, iż ze względu na swoją bezwładność drugi przedmiot w każdym z tych przypadków zachowywał swój ruch.

X. Bezwładność



Doświadczenie 3: Zakręcone jajka

Przyrządy i materiały:

dwa jajka podobnej wielkości, gładki stół

Przygotowanie.

Jedno jajko ugotuj na twardo.

Eksperyment.

Zakręć na stole w ten sam sposób oba jajka. Podczas obrotu lekko dotknij każde z nich.

Obserwacja.

- Które jajko kręci się dłużej?
- Które jajko kręci się mniej chwiejnie?

Komentarz.

Jajko ugotowane na twardo kręci się równomiernie, natomiast jajko surowe – chwieje się podczas obracania.

Wiemy już, że ciało znajdujące się w stanie spoczynku ma tendencję do zachowania tego stanu, natomiast ciało w ruchu – tendencję do zachowania tego ruchu bez zmian. Okazuje się, że w przypadku ruchu obrotowego na bezwładność wpływa nie tylko masa ciała, ale także rozmieszczenie poszczególnych jego elementów.

Wewnątrz jajka ugotowanego na twardo żółtko i białko są ze sobą ściśle połączone, dlatego „trzymają się razem” i szybciej reagują na zmiany, które wprowadza siła zewnętrzna. Ugotowane jajko kręci się regularnie, a lekko dotknięte – zatrzymuje.

W jajku surowym płynne białko i żółtko mogą się swobodnie poruszać i opóźniać w ten sposób efekt działania siły zewnętrznej. Toteż jajko surowe kręci się nieregularnie, a lekko dotknięte – kręci się nadal.

Można przeprowadzić podobne doświadczenie z wyścigiem jajek po równi pochyłej, opisane w Fotonie 85 (Lato 2004): <http://www.if.uj.edu.pl/Foton/85/pdf/jajka.pdf>

X. Bezwładność

Doświadczenie 4: Zapnij pasy!



Projekcja filmu z Internetu.
Film można wcześniej
skopiować na dysk lokalny.

Krótki film porównujący skutki wypadku drogowego dla pasażerów zapiętych pasami bezpieczeństwa i pasażerów jadących bez pasów: <http://www.youtube.com/watch?v=2DWFQ73cevU> (czas projekcji: 58 s)

Komentarz.

Na bezwładność zawsze można patrzeć dwojako: z punktu widzenia obserwatora z zewnątrz (w tym przypadku – przechodnia) lub z punktu widzenia układu, który się porusza (w tym przypadku – wnętrza samochodu).

Podczas wypadku drogowego, kiedy dochodzi do czołowego zderzenia samochodu z przeszkodą, pojazd zostaje wyhamowany w bardzo krótkim czasie pod wpływem siły hamującej, działającej na jego karoserię.

Z punktu widzenia obserwatora z zewnątrz podczas wypadku siła hamująca działa na samochód, ale nie działa na przedmioty i ludzi luźno związanych z pojazdem. Samochód zostaje gwałtownie zatrzymany, a przedmioty – ze względu na swoją bezwładność - jada dalej bez zmiany obranego wcześniej kierunku ruchu.

Z wnętrza samochodu sytuacja wygląda zupełnie inaczej. Gdy auto hamuje, doznajemy działania pewnej tajemniczej siły, która pcha nas do przodu. Nikt nas nie dotyka, a jednak jesteśmy popychani! Powstałe podczas hamowania auta opóźnienie (o dużej wartości) całego pojazdu, powoduje bowiem pojawienie się niezręcznej **siły bezwładności** działającej na przedmioty związane z autem. **Siła ta jest zwrócona przeciwnie do siły hamującej**, więc działając na przedmioty wypycha je w stronę przedniej szyby. Człowiek siedzący wewnątrz jest dość luźno związany z autem. Jeśli ma zapięte pasy bezpieczeństwa, doznaje działania siły bezwładności do przodu, następnie - gwałtownego szarpnięcia ze strony pasów do tyłu, ale ostatecznie pozostaje w fotelu samochodowym. Człowiek bez pasów bezpieczeństwa wylatuje z samochodu przez przednią szybę z ogromnym przyspieszeniem.



X. Bezwładność

Doświadczenie 5: Rzut młotem

Przyrządy i materiały:

mocny sznurek, piłka lub inny przedmiot o masie ok. 0,5 kg, dużo wolnej przestrzeni

Przygotowanie.

Obwiąż przedmiot dokładnie sznurkiem. Utnij dodatkowy kawałek sznurka o długości ok. 50 cm i przywiąż go mocno do sieci sznurków oplatających przedmiot.

Eksperyment.

Trzymając wolny koniec sznurka w dłoniach, zakręć się dookoła własnej osi – najpierw powoli, a następnie coraz szybciej.

Obserwacja.

- Co naciąga sznurek podczas obrotu?
- Czy siła naprężenia sznurka maleje, czy rośnie wraz z szybkością obrotu?

Komentarz.

Z punktu widzenia układu obracającego się na przedmiot działa siła sprężystości sznurka i nierzeczywista siła - siła bezwładności, będąca siłą odśrodkową. Siła sprężystości sznurka jest zwrócona do środka okręgu, po którym porusza się przedmiot, a siła bezwładności – na zewnątrz tego okręgu. Obie siły są stale równoległe do siebie i mają te same wartości. Wynika stąd, że siła sprężystości sznurka cały czas dostosowuje się do siły odśrodkowej (tak długo, jak długo sznurek się nie zerwie). **Siła odśrodkowa jest proporcjonalna do kwadratu szybkości.** Zatem im większa szybkość, tym większa wartość siły odśrodkowej, a także siły sprężystości sznurka (czyli tym większe naprężenie sznurka).

Uwaga: Siłą bezwładności w ruchu po okręgu jest siła odśrodkowa. Naprężenie sznurka jest równe co do wartości sile sprężystości, z jaką sznurek działa na przymocowane do niego i zawieszane na nim przedmioty.

X. Bezwładność

Doświadczenie 6: Karuzela



Przyrządy i materiały:

plastikowe wiaderko z rączką, woda z kranu, szmata do podłogi

Eksperyment.

Napełnij wiaderko wodą do połowy. Rozhuśtaj wiaderko i ruchem okrężnym zataczaj nim bardzo szybko okrąg w płaszczyźnie pionowej przed sobą. W górnej części okręgu wiaderko powinno być odwrócone do góry nogami.

Ruch powinien być na tyle szybki, żeby woda nie wylała się z wiadra.

Komentarz.

Z punktu widzenia poruszającego się wiadra, na wodę działają trzy siły: siła grawitacji, siła reakcji ścianek wiaderka i siła bezwładności, będąca siłą odśrodkową. Siła grawitacji jest zawsze zwrócona pionowo w dół. Siła reakcji dna wiaderka jest zawsze zwrócona od ścianek w stronę wody, ale występuje tylko wtedy, gdy woda naciska na ścianki. Siła odśrodkowa jest zawsze skierowana wzdłuż promienia okręgu i zwrócona na zewnątrz tego okręgu (czyli zawsze przyciska wodę do dna).

W najwyższym punkcie toru ruchu na wodę działają: siła grawitacji zwrócona pionowo w dół i siła odśrodkowa zwrócona pionowo w górę. Siła odśrodkowa silnie zależy od szybkości ruchu po okręgu. Jeżeli kręcimy wiaderkiem wystarczająco szybko, może ona zrównoważyć siłę grawitacji (a nawet przewyższyć ją co do wartości). Dlatego, gdy wiadro szybko wiruje, woda nie wylewa się z wiaderka, ale może się wylać, gdy wiadro kręci się bardzo powoli.

Pamiętaj: Siłą bezwładności w ruchu po okręgu jest siła odśrodkowa. Jest to zatem siła nierzeczywista, choć wyraźnie odczuwalna np. przez pasażerów karuzeli.

X. Bezwładność

Doświadczenie 7: Kulka w szklance



Przyrządy i materiały:

dwa naczynia o wielkości szklanki: jedno o pionowych ściankach (cyldryczne), drugie „pękate” (jak np. kieliszek do koniaku), mała kuleczka (np. cukierek typu draż)

Eksperyment.

- Włóż kulkę do cylindrycznego naczynia. Mocno trzymając naczynie jedną ręką, wpraw je w ruch obrotowy.
- Włóż kulkę do „pękatego” naczynia. Mocno trzymając naczynie jedną ręką, wpraw je w ruch obrotowy.

Obserwacja.

- W jaki sposób porusza się kulka w naczyniu cylindrycznym, a w jaki w naczyniu „pękatym”?

Komentarz.

Pod wpływem siły odśrodkowej, przedmioty poruszające się po okręgu są wypychane jak najbardziej na zewnątrz. Kulka wspina się po ściankach naczynia „pękatego”, ale pozostaje na dnie naczynia cylindrycznego.

Na podobnej zasadzie działa wirówka (np. w pralce automatycznej). W bębnie wirówki (w kształcie cylindra) znajdują się niewielkie otwory. Woda luźno związana z włóknami tkanin podczas wirowania jest wypychana w stronę ścianek bębna, a stamtąd - na zewnątrz. Ubrania, oczywiście, nie mogą przecisnąć się przez małe otwory bębna, więc pozostają w jego wnętrzu.

X. Bezwładność

Doświadczenie 8: Tor saneczkarski



Projekcja filmu z Internetu.
Film można wcześniej
skopiować na dysk lokalny.

Krótki film ukazujący jazdę na torze saneczkarskim z punktu widzenia zawodnika:
<http://www.youtube.com/watch?v=w7SL1k5ZFtw> (czas projekcji: 1 min 7 s)

Obserwacja.

- Zwróć uwagę na wyprofilowanie toru na zakrętach.

Komentarz.

Na każdym z zakrętów działa na saneczki siła odśrodkowa, zwrócona na zewnątrz toru. Siła ta jest tym większa im bardziej ostry zakręt oraz im większa szybkość saneczek. Przeciwdziałająca jej siła tarcia (poprzecznie skierowana względem saneczek) ma na torze lodowym niewielką wartość, dlatego aby zapobiec wypadkom stosuje się specjalne profilowanie toru saneczkarskiego.

Podobnie postępuje się podczas budowy dróg. Na ostrym zakręcie jezdnia jest zwykle nachylona pod pewnym (niewielkim) kątem do poziomu. Ma to zapobiec wypadaniu pojazdów z drogi, zwłaszcza podczas panowania trudnych warunków atmosferycznych (padający deszcz lub śnieg, oblodzona jezdnia itd.), gdy wartość siły tarcia maleje poniżej wartości siły odśrodkowej. Na zakrętach często umieszczane są także znaki ograniczenia szybkości w celu zmniejszenia wartości siły odśrodkowej działającej na pojazdy.