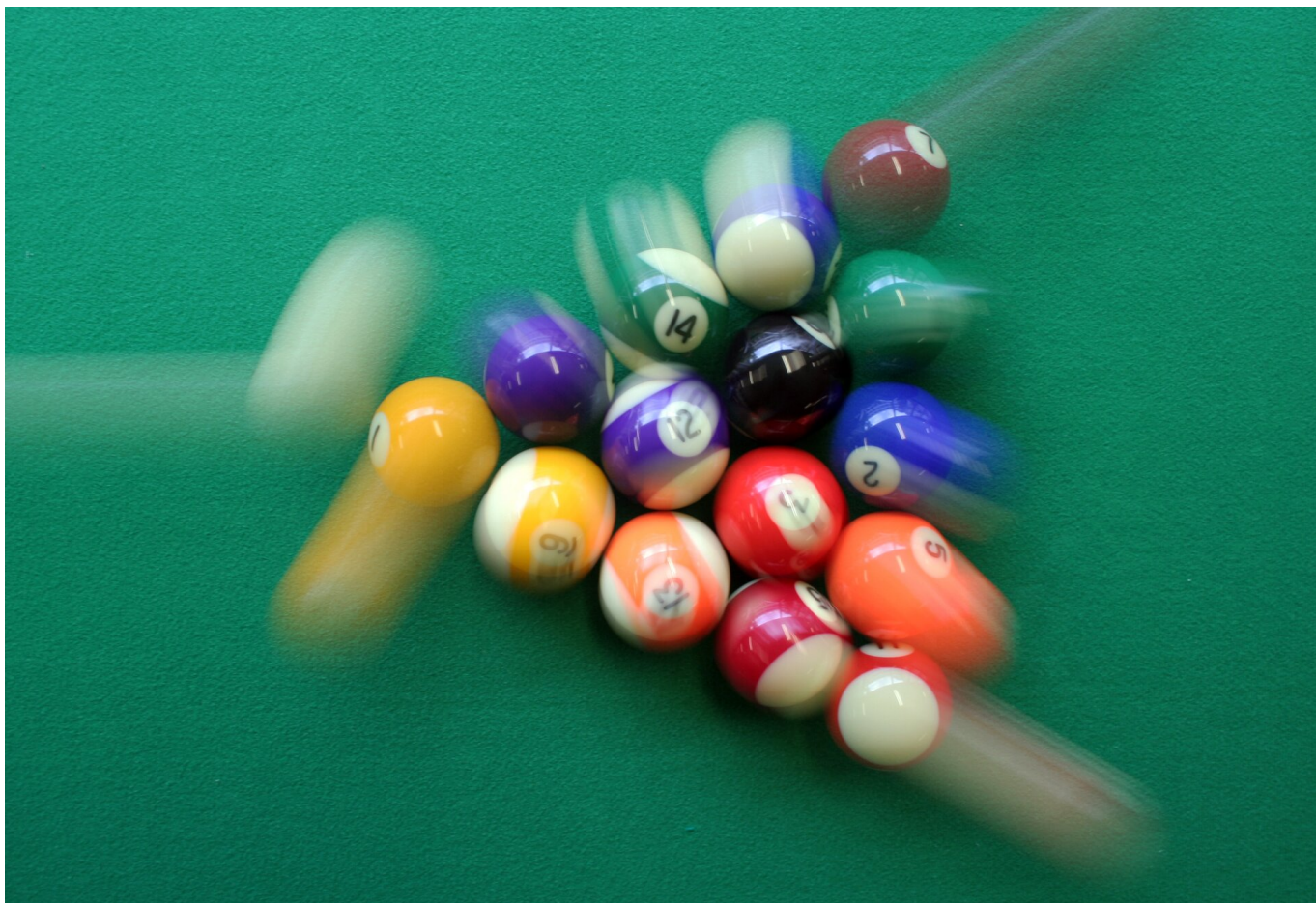




Zasada zachowania pędu doświadczalnie

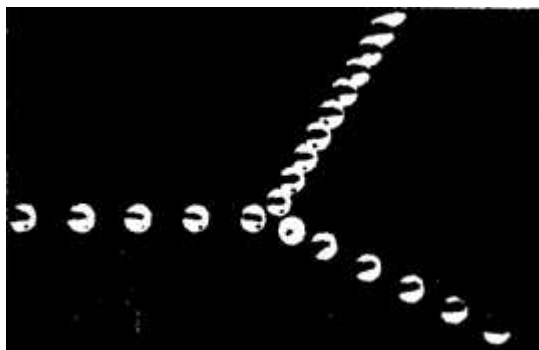
- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Symulacja interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Zasada zachowania pędu doświadczalnie

Czy to nie ciekawe ?

Gdy zderzają się dwie kule bilardowe, dzieje się bardzo wiele rzeczy na raz. Kule odkształcają się, zmieniają swoje prędkości, słysząc stuk. Siła wzajemnego oddziaływania między kulami w bardzo krótkim czasie zmienia wartość w skomplikowany sposób. Czy to oznacza, że badanie zderzeń między kulami bilardowymi jest niemożliwe? Okazuje się, że wręcz przeciwnie. Istnieje proste prawo fizyki, które pozwala przewidzieć ruch ciał po zderzeniu bez wnikania w „szczegóły techniczne” samego zderzenia!



Rys. a. Zdjęcie stroboskopowe zderzających się kul bilardowych. Źródło: E-fizyka

Twoje cele

Pracując z tym e-materiałem:

- dowiesz się, w jaki sposób można wyeliminować zakłócający wpływ tarcia podczas badania zderzeń,
- zrozumiesz, w jaki sposób doświadczalnie można zweryfikować zasadę zachowania pędu,
- zastosujesz zasadę zachowania pędu do przewidywania wyniku zderzeń różnych obiektów,
- za pomocą symulatora przeanalizujesz, co się dzieje, gdy zderzają się ze sobą ciała o różnych masach i prędkościach.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Powiedzmy, że chcesz zbadać doświadczalnie prawa rządzące ruchem ciała (np. zasadę zachowania pędu). Jeśli weźmiesz kilka pierwszych z brzegu przedmiotów, wprawisz je w ruch i będziesz obserwować ich zachowanie, szybko dojdiesz do mylnych wniosków albo wręcz nie dojdiesz do niczego. Moneta puszczone w ruch ślizgowy po stole zaraz się zatrzyma. Mimo to wniosek, że ciało, by się poruszać, musi być nieustannie popychane, jest pochopny. Okazuje się, że jest przeciwnie: ciało niepoddane działaniu sił może poruszać się bez końca (I zasada dynamiki), a moneta zatrzymuje się tylko dlatego, że jest hamowana przez tarcie.

Na obiekty, których ruch oglądasz na co dzień, nieustannie działają jakieś siły. Zazwyczaj siły te pozostają poza Twoją kontrolą. Aby prowadzić owocne eksperymenty z ruchem ciała, musisz jakoś te siły wyeliminować albo przynajmniej sprawić, by ich wpływy wzajemnie się zniosły.

Czy wiesz, jak wyglądają stoły do Air Hockey'a? Można je zobaczyć w wesołych miasteczkach i centrach rozrywki (Rys. 2.). W blaszanym blacie wywiercono dziurki, przez które wydmuchiwane jest powietrze. W ten sposób krążki, umieszczone na stole, ślizgają się niemal bez tarcia po powstałej „poduszce” z powietrza. Dopóki prędkość krążków jest niewielka, siły oporu powietrza są znikome, a ich ciężar jest dokładnie równoważony przez sprężystość „poduszki”. Z dobrym przybliżeniem możemy twierdzić, że na stole do Air Hockey'a wszystkie siły działające na krążek równoważą się.



Rys. 2. Rozgrywka Air Hockey'a.

Źródło: Andrew Flanagan, dostępny w internecie: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AirHockeyTable.JPG> [dostęp 25.04.2022 r.], domena publiczna.

Fachowym odpowiednikiem Air Hockey'owego stołu są tory powietrzne, które można znaleźć w pracowniach fizycznych (Rys. 3.). Po torze powietrznym ślizgają się specjalne wózki, a dodatkowy zestaw przyrządów umożliwia pomiary ich prędkości.



Rys. 3. Tor powietrzny z wózkami do badania zderzeń. Na zdjęciu widać pompę powietrza - dzięki powietrzu wydmuchivanemu przez otwory w torze, wózki mogą ślizgać się po nim prawie bez tarcia.

Źródło: dostępny w internecie: <https://lambdasys.com/uploads/20151019-113556676163.jpg> [dostęp 25.04.2022 r.], dostępny w internecie: <https://www.indiamart.com/proddetail/linear-air-track-apparatus-23687558712.html> [dostęp 25.04.2022 r.].

W sklepach z zabawkami można też znaleźć tak zwane „latające piłki” („hover ball”, Rys. 4.). Mają one kształt krążka, a urządzenie wydmuchujące powietrze jest umieszczone w nich samych, mogą więc ślizgać się bez tarcia po każdej gładkiej powierzchni. Często trzeba w nich zmieniać baterie, ale jeżeli nie masz pod ręką toru powietrznego, taka piłka będzie „jak znalazł”, żeby przeprowadzić proste doświadczenia. Przy braku lepszej „aparatury”, możesz wykorzystać do eksperymentów kule bilardowe (Rys. 5.) albo kulki od łożyska toczone po gładkich powierzchniach. Musisz jednak pamiętać, że Twoje wyniki będą wtedy przybliżone.



Rys. 4. „Latająca piłka” ze sklepu z zabawkami.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, Jan Kamiński, licencja: CC BY 4.0.



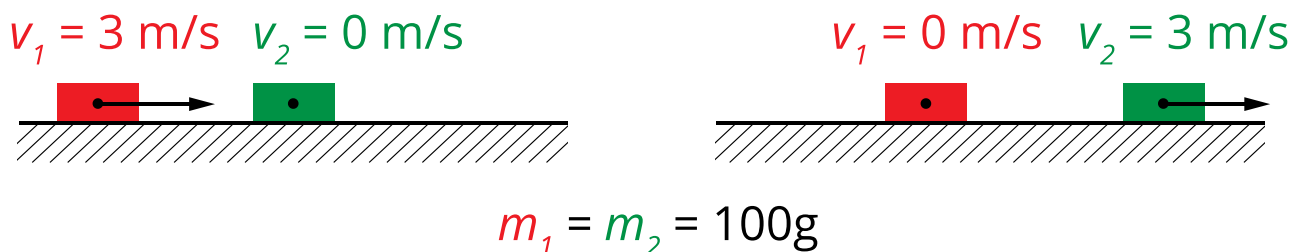
Rys. 5. Kule bilardowe - można je użyć do przybliżonych doświadczeń z mechaniki.

Źródło: Andrzej Barabas, dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Billiards_balls2.jpg [dostęp 25.04.2022 r.], licencja: CC BY-SA 3.0.

Mając do dyspozycji tor powietrzny, albo jakąś jego namiastkę, możesz przeprowadzić kilka prostych doświadczeń. Uważaj tylko, żeby nie wyciągać pochopnych wniosków.

Doświadczenie 1 – Zderzenie sprężyste ciał o jednakowych masach

Weź dwa ciała o jednakowej masie (np. wózki na torze powietrznym, krążki do Air Hockey'a, ...). Jedno ciało, rozpędzone, uderza w drugie, spoczywające. Pierwsze ciało zatrzymuje się, drugie rozpoczyna ruch. Jeśli zderzenie jest sprężyste (ciała odbijają się od siebie, a nie skleją), to drugie ciało niejako przejmuje prędkość pierwszego. W podobny sposób można zderzyć ciała rozpędzone w przeciwnych kierunkach. Po zderzeniu pierwsze ciało odbije się i będzie poruszać z prędkością taką, jaką przed zderzeniem miało drugie ciało. Drugie zaś „przejmie” prędkość pierwszego.



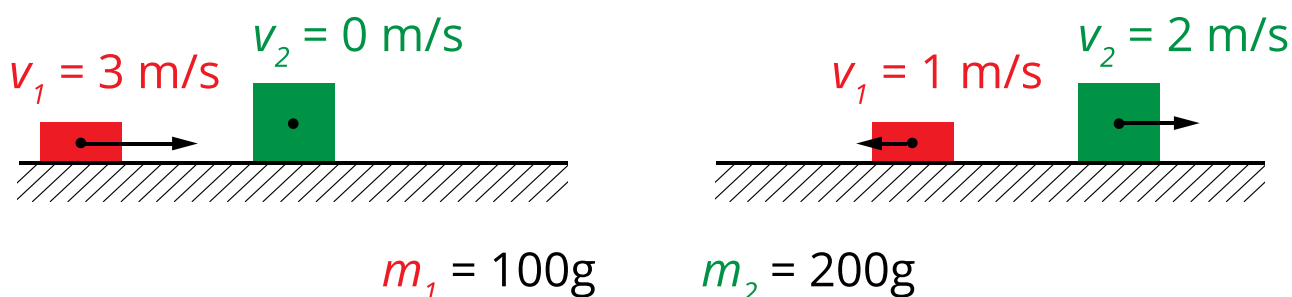
Rys. 6. Zderzenie sprężyste dwóch ciał o jednakowych masach, z których jedno przed zderzeniem spoczywa. Z lewej: przed zderzeniem, z prawej: po zderzeniu.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Na tej podstawie można by wysnuć wniosek, że w każdym zderzeniu ciała zamieniają się prędkościami. Byłby to jednak wniosek niepoprawny, o czym łatwo się przekonasz, wykonując kolejne doświadczenia.

Doświadczenie 2 – Zderzenie sprężyste ciał o różnych masach

Zderzasz ciała o różnych masach (najłatwiej wykonać to na torze powietrznym; krążki do Air Hockey'a albo hover-ball'e można spróbować jakoś obciążyć, można też zderzać kulki od łożyska różnych rozmiarów). Powiedzmy, że pierwsze ciało ma masę 100 g i uderza z lewej strony w spoczywające ciało o masie 200 g. Czy i tym razem ciała wymieniają się prędkościami? Intuicja podpowiada, a doświadczenie pokazuje, że nie. Lżejsze ciało odbije się w lewo, cięższe ciało uzyska pewną prędkość w prawo. Dokładniejsze pomiary (możliwe do wykonania na torze powietrznym) pokażą, że prędkość pierwszego ciała zmniejszy się do $1/3$ początkowej prędkości (i zmieni zwrot), prędkość drugiego ciała osiągnie $2/3$ początkowej prędkości pierwszego ciała (Rys. 7).

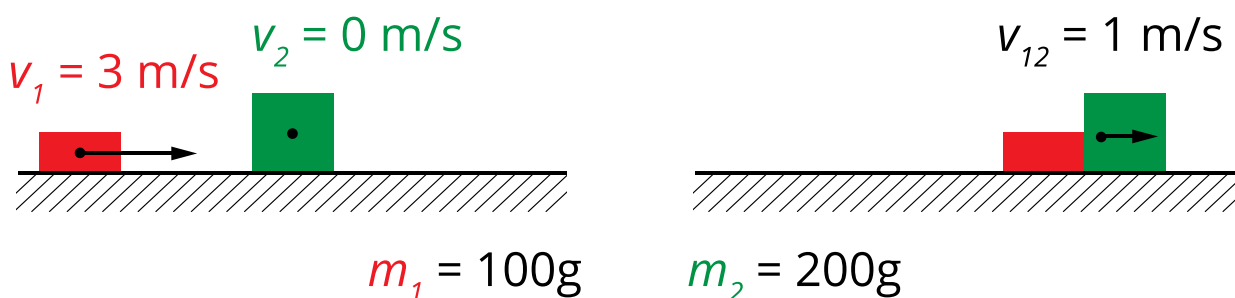


Rys. 7. Zderzenie sprężyste dwóch ciał o różnych masach, z których cięższe przed zderzeniem spoczywa. Z lewej: przed zderzeniem, z prawej: po zderzeniu.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Doświadczenie 3 – Zderzenie doskonale niesprężyste

Zderz, tak jak poprzednio, ciała o różnych masach, z których drugie spoczywa. Tym razem jednak zadbaj o to, by ciała podczas kontaktu połączyły się ze sobą (dobrze działa tu plastelina lub rzepy). Teraz po zderzeniu mamy już tylko jedno ciało – o odpowiednio większej masie. Z jaką prędkością będzie się ono poruszać? Można sprawdzić, że przy masach 100 g i 200 g będzie to $\frac{1}{3}$ początkowej prędkości pierwszego ciała.



Rys. 8. Zderzenie doskonale niesprężyste dwóch ciał o różnych masach, z których drugie przed zderzeniem spoczywa. Z lewej: przed zderzeniem, z prawej: po zderzeniu.

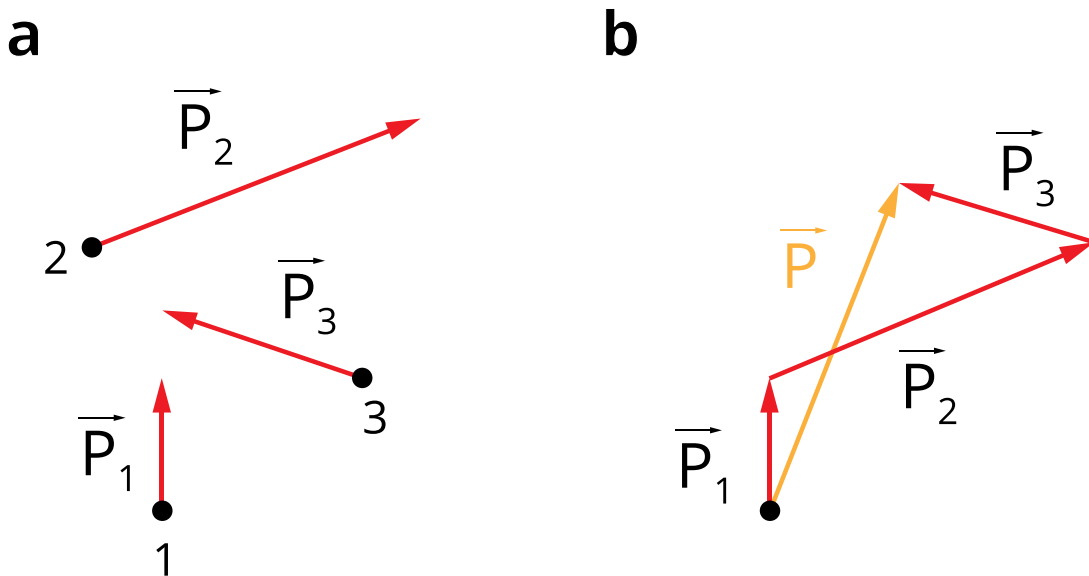
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Przeprowadzone doświadczenia potwierdzają jedno z najbardziej podstawowych praw fizyki:

zasadę zachowania pędu.

Przypomnijmy: **pęd to iloczyn masy i prędkości ciała**. Pamiętaj, że pęd jest wielkością wektorową: ma nie tylko wartość, ale także kierunek i zwrot. **Całkowity pęd układu** N ciał to wektorowa suma pędów wszystkich tych ciał:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \dots + \vec{p}_N$$



Rys. 9. a) Układ trzech ciał o pędach $\vec{p}_1$, $\vec{p}_2$, oraz $\vec{p}_3$ b) Całkowity pęd $\vec{p}$ układu wyznaczamy jako wektorową sumę pędów wszystkich jego ciał.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Zasada zachowania pędu mówi, że **całkowity pęd układu, na który nie działają siły zewnętrzne, nie zmienia się**.

$$\vec{p} = \text{const (w izolowanym układzie ciał)}.$$

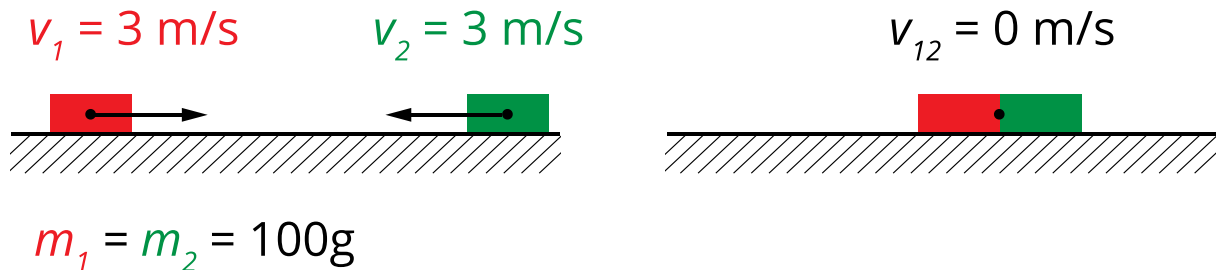
Wróć do wyników swoich doświadczeń. Sprawdź poprzez bezpośrednie obliczenia, że całkowity pęd przed zderzeniem i po zderzeniu ma tę samą wartość. Nie zapomnij, że dodajesz wektory: jeśli pędy skierowane w prawo wchodzą do sumy ze znakiem plus, to pędy skierowane w lewo będą miały znak minus.

Sugestywną ilustracją zasady zachowania pędu jest następujące doświadczenie.

Zderzenie doskonale niesprężyste ciał biegnących naprzeciw siebie

Dwa ciała o jednakowych co do wartości pędach pędzą naprzeciw siebie (najłatwiej wziąć ciała o jednakowych masach i nadać im prędkości o jednakowych wartościach). Jaka będzie ich prędkość po zderzeniu, w którym połączą się ze sobą?

Ponieważ ciała mają pędy o jednakowych wartościach, ale skierowane przeciwnie, ich całkowity początkowy pęd ma wartość zero. Zasada zachowania pędu nakazuje, by i po zderzeniu całkowity pęd wynosił zero. Po zderzeniu mamy jednak do czynienia z jednym, połączonym ciałem, a pojedyncze ciało ma pęd równy zero jedynie wtedy, gdy spoczywa. Jeżeli dwa ciała, biegnące naprzeciw siebie z takimi samymi pędami, skleją się, to po sklejeniu pozostaną w bezruchu. Sprawdź to!



Rys. 10. Gdy ciała o przeciwnych pędach skleją się ze sobą, znieruchomieją. Z lewej: przed zderzeniem, z prawej: po zderzeniu.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Warto jeszcze wspomnieć, że pęd jest zachowany również w procesie, w którym dwa ciała po zderzeniu odskakują od siebie z niezerowymi prędkościami, a nawet w sytuacji, gdy oba ciała spoczywają i nagle rozbiegają się w przeciwnych kierunkach (wyobraź sobie na przykład dwa wózki połączone nitką, pomiędzy którymi znajduje się ściśnięta sprężyna; co się stanie po przecięciu albo przepaleniu nitki?).

Zauważ więc, że sama zasada zachowania pędu dopuszcza wiele możliwości oddziaływania między ciałami. O tym, która z tych możliwości zachodzi, decydują inne prawa fizyki.

Słowniczek

zderzenie sprężyste

(ang.: *elastic collision*) zderzenie, w którym zachowane są pęd i energia kinetyczna zderzających się ciał.

zderzenie niesprężyste

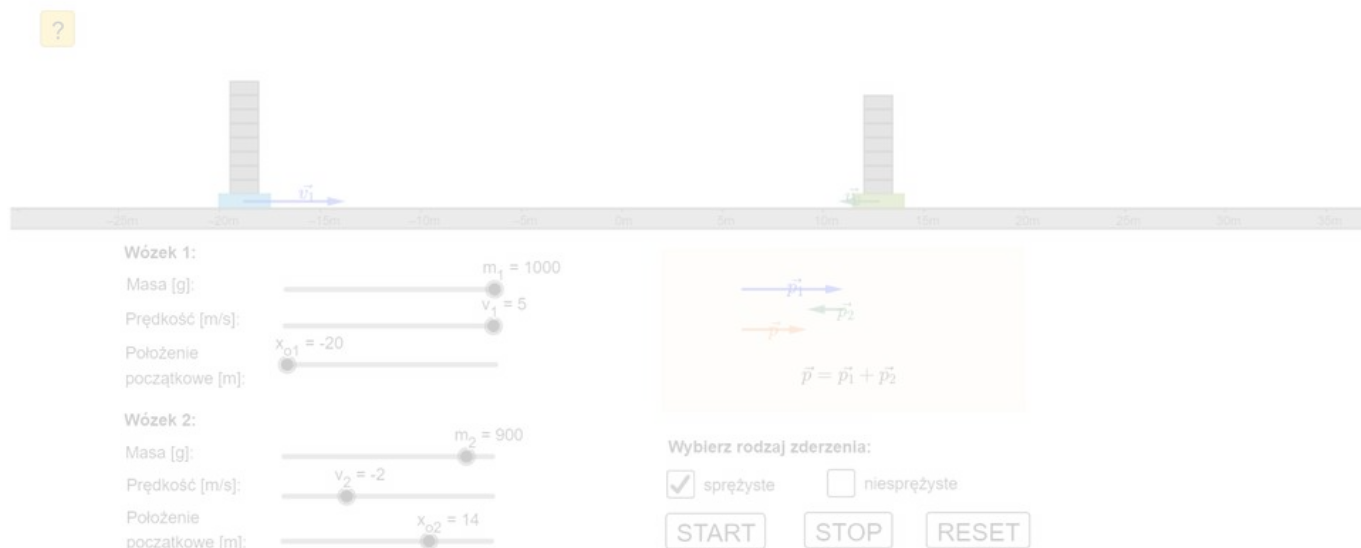
(ang.: *inelastic collision*) zderzenie, w którym zachowany jest pęd, ale część energii kinetycznej zderzających się ciał jest tracona (np. zamieniana na ciepło albo pracę potrzebną do odkształcenia ciał). Gdy w zderzeniu jest tracona maksymalna możliwa ilość energii kinetycznej, mówimy o zderzeniu doskonale niesprężystym.

Symulacja interaktywna

Zasada zachowania pędu doświadczalnie

Użyj symulatora zderzeń na torze powietrznym, żeby zbadać, w jaki sposób zasada zachowania pędu wpływa na ruch zderzających się ciał. Zapoznaj się z symulacją, a następnie wykonaj polecenia.

Uwaga. Praca z symulacją jest wygodniejsza po przełączeniu na widok pełnoekranowy.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DdEFrsg0p>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Polecenie 1

Co się stanie, gdy bardzo lekki wózek uderzy w spoczywający wózek, który będzie mocno obciążony?

Polecenie 2

Co się dzieje, gdy bardzo ciężki wózek uderza w wózek bardzo lekki, który spoczywa?

Polecenie 3

Czy możliwe, żeby całkowity pęd układu dwóch ciał był zerowy, gdy oba ciała się poruszają? A gdy porusza się tylko jedno ciało, podczas gdy drugie spoczywa?

Polecenie 4

Parametrem symulacji nazywamy wielkość fizyczną możliwą do zmiany przez użytkownika, która wpływa na wynik symulacji. Wskaż, w myśl tej definicji, parametry symulacji.

☐

kolory wózków

☐

masy wózków

☐

początkowe prędkości wózków

☐

początkowe położenia wózków

☐

Wybór rodzaju zderzenia (sprężyste – niesprężyste)

Polecenie 5

Przeprowadzono serię symulacji, której celem było zbadanie wpływu masy wózka na jego prędkość po sprężystym, jednowymiarowym zderzeniu z drugim wózkiem, początkowo nieruchomym.

Wskaż właściwe uzupełnienia opisu symulowanego eksperymentu i jego wyników.

Wózkiem pierwszym, o zmieniającej się masie,

powinien być nadjeżdżający od lewej strony wózek niebieski ☐

powinien być nadjeżdżający od prawej strony wózek zielony ☐

może być którykolwiek z tych wózków ☐ .

W pierwszej symulacji wózek ten był pozbawiony ciężarków, a w każdej następnej

dokładano mu jeden ciężarek. W efekcie seria składała się łącznie z

symulacji.

Zgodnie z celem eksperymentu oraz ogólnymi zasadami prowadzenia eksperymentów:

- masę drugiego wózka

,

- początkową prędkość pierwszego wózka

,

- początkową prędkość drugiego wózka

.

Zaobserwowano, że drugi wózek wskutek zderzenia był wprowadzany w ruch. Jego prędkość

miała zwrot zgodny z początkową prędkością wózka pierwszego. Prędkość pierwszego

wózka zmieniała zwrot, zaś w kolejnych symulacjach jej wartość

.

Ciekawy był wynik ostatniej symulacji, w której pierwszy wózek po zderzeniu się zatrzymał.

Wynik ten jest zgodny z zasadą zachowania pędu w układzie ciał

– widocznie przypadkowo ustawiono tę opcję ☐ .

Z przebiegu eksperymentu oraz jego wyników wyciągnięto wniosek, że w sprężystym,

jednowymiarowym zderzeniu wózek początkowo spoczywający pełni rolę przeszkody, od

której wózek nadjeżdżający się odbija. Prędkość tego ostatniego po odbiciu jest tym

mniejsza, im większa jego masa. Jest to wniosek .

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Jaki czynnik utrudnia badanie w szkolnej pracowni podstawowych praw rządzących ruchem?

- ☐ Przeprowadzanie doświadczeń z fizyki wymaga specjalnych pozwoleń.
- ☐ Nawet w profesjonalnych laboratoriach przyrządy pomiarowe nie są wystarczająco dokładne.
- ☐ Ponieważ w praktyce ruch każdego ciała jest zakłócany przez siły tarcia i oporu, na które eksperymentator ma ograniczony wpływ, trudno zapewnić warunki, w których kontroluje on wszystkie siły działające na ciało.
- ☐ Obracająca się Ziemia nie jest inercyjnym układem odniesienia, w związku z czym na wszystkie poruszające się przedmioty działa siła Coriolisa.

Ćwiczenie 2



Wstaw odpowiedni element, aby otrzymać poprawne stwierdzenie.

jest urządzeniem umożliwiającym wyeliminowanie wpływu tarcia przy badaniu zderzeń w pracowni fizycznej.

Kołyska Newtona

Wahadło Foucault'a

Ława optyczna

Tor powietrzny

Ćwiczenie 3



Wybierz poprawne dokończenie zdania.

Krążek na stole do Air Hockey'a możemy traktować jak ciało, na które działają siły równoważące się, ponieważ:

- ☐ krążek znajduje się w stanie swobodnego spadku.
- ☐ tarcie jest zanedbywalnie małe, a siła ciężkości jest równoważona przez nadmuch stołu.
- ☐ masa krążka jest niewielka w porównaniu z masą stołu.
- ☐ tarcie jest równoważone przez opór wydmuchiwanego powietrza a siła ciężkości nie ma znaczenia.

Ćwiczenie 4



Uzupełnij tekst wstawiając odpowiednie elementy.

Pęd jest wielkością . Z zasady zachowania pędu wynika, że przy zderzeniu dwóch ciał suma pędów ciał przed zderzeniem sumie ich pędów po zderzeniu.

skalarną

wektorową

jest większa

jest równa

Ćwiczenie 5



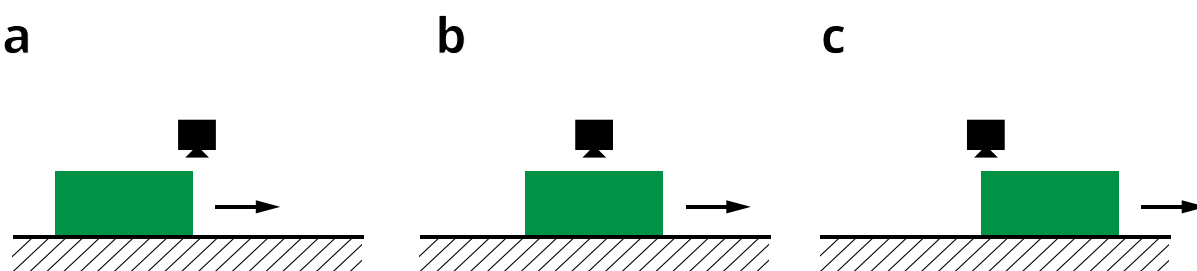
Jedna kula bilardowa uderza w drugą, spoczywającą, z prędkością $2 \frac{m}{s}$. Obie kule mają jednakowe masy. Przyjmij, że zderzenie jest sprężyste i wybierz poprawną odpowiedź.

- ☐ Pierwsza kula zwolni do prędkości $1 \frac{m}{s}$, druga potoczy się naprzód.
- ☐ Pierwsza kula odbije się i potoczy wstecz, druga kula pozostanie bez ruchu.
- ☐ Pierwsza kula zatrzyma się, druga potoczy się z prędkością $2 \frac{m}{s}$.
- ☐ Pierwsza kula zatrzyma się, druga potoczy się z prędkością $1 \frac{m}{s}$.

Ćwiczenie 6



Uczniowie mają wykonać w pracowni fizycznej doświadczenie, w którym zweryfikują zasadę zachowania pędu w zderzeniu niesprężystym ciał o stosunku mas 1 : 2 (zob. doświadczenie 3 w tekście). Do dyspozycji mają tor powietrzny z dwoma wózkami, które można obciążać odważnikami. Do wózków można również przyczepić rzepy tak, że po zetknięciu wózki łączą się mocno ze sobą. Tor wyposażony jest w dwa detektory z fotokomórką połączone z czasomierzami. Układ detektor-czasomierz mierzy czas, w którym wózek przesuwa się obok detektora (patrz rysunek).



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

a) Czoło wózka znajduje się w miejscu umieszczenia detektora - czasomierz rozpoczyna pomiar czasu.

b) Wózek mija detektor - czasomierz odmierza czas.

c) Koniec wózka znajduje się w miejscu umieszczenia detektora - czasomierz zatrzymuje się i można odczytać czas, w którym wózek mijał detektor.

Ułóż w odpowiedniej kolejności kroki, które powinni wykonać uczniowie, by prawidłowo przeprowadzić eksperyment.

Odczytać wskazania czasomierzy i wyłączyć nadmuch toru.



Zmierzyć masy obu wózków za pomocą wagi.



Wprawić w ruch pierwszy wózek, dbając o to, by drugi pozostawał nieruchomy.



Włączyć nadmuch toru.



Wykonać odpowiednie obliczenia, pamiętając, że połączone wózki miały dwa razy większą długość i należy wziąć to pod uwagę przy porównywaniu czasów.



Zaobserwować, czy zderzenie i złączenie wózków przebiegło tak, jak zaplanowano.



Obciążyć wózki odważnikami, by uzyskać założony stosunek mas, przymocować do wózków rzepy (zakładamy, że masa rzepów jest zaniedbywalna).



Ustawić wózki w odpowiednich miejscach na torze powietrznym: pierwszy blisko jednego z końców, drugi mniej więcej pośrodku. Ustawić w odpowiednich miejscach toru detektory i wyzerować czasomierze.



Zatrzymać wózki na torze, by po ewentualnym odbiciu od końca toru ich dalszy ruch nie zaburzył wskazań czasomierzy.



Ćwiczenie 7



W pewnej pracowni fizycznej wózki na torze powietrznym mają masę 500 g i można je dodatkowo obciążać odważnikami. Uczniowie przeprowadzili eksperyment, w którym nieobciążony wózek uderza w spoczywający wózek obciążony dodatkową masą 300 g. Odpowiedni zderzak z plasteliny sprawił, że podczas zderzenia wózki skleiły się ze sobą. Uczniowie zmierzili prędkość wózka przed zderzeniem oraz prędkość połączonych wózków po zderzeniu i otrzymali wyniki odpowiednio $78 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ oraz $35 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$. Przyjmując, że masy wózków były wyznaczone dokładnie, ale pomiary prędkości wykonano z dokładnością do $5 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$, oceń, czy wyniki uczniów są zgodne z zasadą zachowania pędu.

Wyniki uczniów są zgodne z zasadą zachowania pędu

TAK

☐

/

NIE

☐

Ćwiczenie 8



Uczniowie w pracowni fizycznej postanowili wykonać doświadczenie ilustrujące zderzenie sprężyste ciał o stosunku mas $1 : 2$, w którym lżejsze ciało uderza w spoczywające cięższe ciało. Za pomocą odpowiednich wzorów obliczyli spodziewane prędkości ciał po zderzeniu. Następnie na torze powietrznym ustawili dwa wózki. Oba z nich obciążyli odważnikami. Pierwszy - jednym, o masie 100 g, drugi - dwoma o masie 100 g każdy. Do wózków uczniowie przymocowali sprężyste zderzaki. Pierwszy wózek wprowadzili w ruch, podczas gdy drugi wózek spoczywał mniej więcej w połowie długości toru. Wózki zderzyły się sprężysto. Za pomocą układu detektorów i czasomierzy uczniom udało się dokonać pomiarów prędkości wózków po zderzeniu, jednak wyniki ich zaskoczyły. Spodziewali się, że pierwszy wózek odbije się z prędkością ok. $\frac{1}{3}$ prędkości początkowej, a drugi pojedzie naprzód z prędkością ok. $\frac{2}{3}$ prędkości początkowej pierwszego wózka. Tymczasem pierwszy wózek niemal się zatrzymał, podczas gdy drugi pojechał naprzód z prędkością zbliżoną do początkowej prędkości pierwszego. Czy potrafisz wskazać błąd, który popełnili uczniowie?

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Jan Kamiński
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Doświadczalne badanie zasady zachowania pędu
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; planuje i modyfikuje ich przebieg; formułuje hipotezę i prezentuje kroki niezbędne do jej weryfikacji. II. Mechanika. Uczeń: 15) wykorzystuje zasadę zachowania pędu do opisu zachowania się izolowanego układu ciał.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. omówi, w jaki sposób doświadczalnie można zweryfikować zasadę zachowania pędu; 2. zastosuje zasadę zachowania pędu do przewidywania wyniku zderzeń różnych obiektów; 3. za pomocą doświadczeń lub symulacji przeanalizuje, co się dzieje, gdy zderzają się ze sobą ciała o różnych masach i prędkościach.
Strategie nauczania:	eksperymentalno-obszerwacyjna
Metody nauczania:	wykonywanie doświadczeń
Formy zajęć:	praca w grupach, współzawodnictwo, praca samodzielna
Środki dydaktyczne:	tor powietrzny lub ekran/projektor podłączony do komputera
Materiały pomocnicze:	-
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Przed lekcją uczniowie mają za zadanie zapoznać się z symulacją interaktywną i samodzielnie z nią poeksperymentować. Na początku lekcji nauczyciel pyta uczniów o ich wnioski z wykonanego zadania. Następnie krótko (bez tłumaczenia) przypomina pojęcie pędu i zasadę zachowania pędu.	
Faza realizacyjna:	

Potem należy podzielić uczniów na 4 grupy.

Uczniowie z pomocą nauczyciela wykonują szereg doświadczeń ze zderzeniami na torze powietrznym (w zależności od dostępności toru doświadczenia mogą być też wykonywane za pomocą symulacji interaktywnej) według schematu:

- nauczyciel przedstawia zagadnienie: np. wózek uderza sprężysto w drugi wózek o jednakowej masie;
- wybrana grupa uczniów ma za zadanie przygotować warunki eksperymentu (ustawić wózki, odpowiednio je obciążyć, uruchomić tor);
- wykonanie doświadczenia jest poprzedzone krótką burzą mózgów „co się stanie?” – uczniowie pracują w grupach, a ich pomysły są zapisywane na tablicy;
- doświadczenie jest wykonywane przez wybraną grupę uczniów; wynik doświadczenia jest porównywany z przewidywaniami uczniów zapisanymi na tablicy i grupy, które dobrze przewidziały wynik doświadczenia, otrzymują punkt.

Należy wykonać 4 doświadczenia opisane w niniejszym e-materiale. Każde doświadczenie wykonuje inna grupa.

1. Zderzenie sprężyste ciał o jednakowych masach
2. Zderzenie sprężyste ciał o różnych masach
3. Zderzenie doskonale niesprężyste
4. Zderzenie doskonale niesprężyste ciał biegnących naprzeciw siebie

Faza podsumowująca:

W fazie podsumowującej wyniki jednego z doświadczeń konfrontujemy z zasadą zachowania pędu, np. obliczając początkowy i końcowy pęd na podstawie pomiarów czasu i drogi, a następnie porównując otrzymane wartości.

Praca domowa:

Jako pracę domową uczniowie wykonują zadania: 6 i 8 z zestawu ćwiczeń.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Symulację interaktywną, poza przedstawioną propozycją, można wykorzystać:

- jako substytut toru powietrznego w szkole, gdzie nie jest on dostępny, do wykonania „wirtualnie” eksperymentów;
- jako narzędzie do weryfikacji wyników zadań obliczeniowych wykonywanych np. w ramach pracy domowej albo pracy na lekcji (sprawdzenia, czy otrzymany wynik ma sens).