

Zasada zachowania energii mechanicznej i jej zastosowanie

Wstęp do tematu: Zasada zachowania energii mechanicznej i jej zastosowanie. Zasób zawiera: ogólny wstęp do tematu, fotografię, odwołanie do wcześniejszej wiedzy ucznia oraz cele lekcji sformułowane w języku ucznia.

Zasób zawiera: omówienie zmiany energii mechanicznej na przykładzie spadania piłki, uderzania o podłoże i odbicia; sformułowanie zasady zachowania energii mechanicznej; omówienie kilku przykładów dotyczących zasady zachowania energii (skoki do wody z wieży, skoki na batucie (trampolinie); film pt. Skok do wody; film pt. Skoki na batucie; omówienie związku między pracą a zmianą energii mechanicznej; dwa zadania interaktywne; omówienie przykładu na zasadę zachowania energii w przypadku wyrzutu piłki pionowo w górę.

Zasób zawiera: trzy sformułowania podsumowujące temat; pracę domową w postaci trzech poleceń do wykonania (zadania tekstowe obliczeniowe).

Zasób zawiera dwa polecenia do wykonania i jedno zadanie interaktywne wyboru odpowiedzi.

Zasada zachowania energii mechanicznej i jej zastosowanie

Siła grawitacji występuje wszędzie, jest powszechna. Cokolwiek upuścimy z pewnej wysokości – spadnie. Nieruchoma oraz spadająca piłka posiada energię potencjalną (grawitacji), która zależy wprost proporcjonalnie od jego wysokości nad najbliższą powierzchnią, na jaką może spaść i od jej masy. Piłka, spadając, nabiera prędkości, a co za tym idzie, **energii kinetycznej**. Suma energii kinetycznej i **energii potencjalnej** takiego ciała nazywa się **energią mechaniczną**. Pytanie brzmi: jak, czy i kiedy taka energia mechaniczna ulegnie zmianie. Chcesz wiedzieć więcej, czytaj dalej.



Spadające ciało traci na wysokości, a zyskuje na prędkości. Czy więc w tym procesie dochodzi do zamiany energii potencjalnej na kinetyczną? Czy da się w prosty sposób obliczyć, jaka część jednej energii zamienia się w drugą? Odpowiedzi na te pytania doprowadzą Cię do jednego z najważniejszych praw przyrody.

Źródło: Oliver Sjöström, dostępny w internecie: <https://www.pexels.com>, domena publiczna.

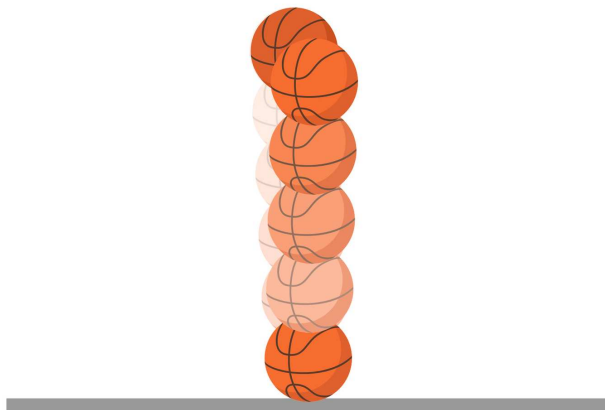
Przed przystąpieniem do zapoznania się z tematem, należy znać poniższe zagadnienia

- co to jest energia i jaka jest jej jednostka;
- definicję energii potencjalnej, energii kinetycznej oraz energii mechanicznej;
- jak przedstawiać energię mechaniczną jako sumę energii potencjalnej i kinetycznej;
- jakie są rodzaje energii potencjalnej;
- jak analizować zmiany energii potencjalnej w różnych zjawiskach.

Nauczysz się

- formułować zasadę zachowania energii mechanicznej;
- analizować przemiany energii z jednej formy w drugą w spadku swobodnym i innych zjawiskach związanych ze zmianą wysokości ciała;
- wskazywać w swoim otoczeniu zjawiska, w których następuje przemiana energii potencjalnej w kinetyczną i odwrotnie;
- stosować zasadę zachowania energii w obliczeniach.

Podczas gry w siatkówkę, czy koszykówkę a także podczas zabawy z piłką, możesz nią rzucać, odbijać, zatrzymywać. Przeanalizuj przypadek upuszczenia piłki z punktu widzenia energii. W dalszych rozważaniach potraktuj piłkę jako punkt materialny i zerowy poziom energii ustal na powierzchni ziemi.



Odbijająca się pionowo upuszczona piłka

Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

- Piłka zostaje upuszczona z pewnej wysokości. Na tej wysokości trzymała się nieruchomo, więc mamy pewność, że jej energia kinetyczna wynosiła zero, zatem energia mechaniczna piłki jest równa jej energii potencjalnej. Poruszając się w dół, zauważalnie

nabiera prędkości. Jednocześnie wysokość, na jakiej się znajduje, maleje. Wraz ze zmniejszaniem się wysokości, maleje jej energia potencjalna, zaś ze wzrostem prędkości rośnie jej energia kinetyczna.

- Tuż przed uderzeniem w powierzchnię ziemi energia potencjalna jest równa, zero, a kinetyczna osiąga maksymalną wartość. Dzieje się tak, ponieważ piłka jest na zerowej wysokości nad powierzchnią - nie może już spaść niżej - również nie może już bardziej przyspieszyć, bo zabrakło jej na to drogi. Teraz energia mechaniczna piłki jest równa jej energii kinetycznej.
- Następuje odbicie. Piłka wytraca część swojej energii, oddając ją podłożu. Możemy to zaobserwować w bardzo prosty sposób. Wiemy, że dla maksymalnej wysokości piłka będzie mieć maksymalną energię potencjalną, zaś jej energia kinetyczna wyniesie zero (piłka będzie musiała zmienić zwrot swojej prędkości - z tej skierowanej w górę, na tę skierowaną w dół. Przez nieskończenie krótki czas będzie więc ona miała prędkość zerową, co wystarcza, by wyzerować również energię kinetyczną). W tym punkcie energia mechaniczna będzie równa tylko energii potencjalnej, ta zaś zależy od wysokości, na jakiej znajduje się piłka i od masy piłki. Masa nie uległa zmianie, więc śmiało możemy stwierdzić, że jeśli piłka po odbiciu wznosi się niżej niż poziom, z którego spadła - to wytraciła ona część energii mechanicznej.
- Podczas ruchu w dół i w górę następują przemiany energii: potencjalna zamienia się w kinetyczną (ruch w dół), a kinetyczna w potencjalną (ruch w górę).
- Wysokość osiągnięta po odbiciu jest mniejsza niż wysokość początkowa. Piłka przy każdym kolejnym odbiciu osiąga coraz mniejsze wysokości - wytraca energię.

Zauważyliśmy właśnie jak wyglądają kolejno: przemiany energii mechanicznej (piłka kolejno nabierała prędkości lecąc w dół i traciła ją lecąc w górę - kosztem wysokości) oraz utrata energii mechanicznej (po kolejnych odbiciach wznosiła się coraz niżej). Piłka uderzając w podłoże przekazuje podłożu część energii. Istnieje wiele sposobów utraty energii mechanicznej przez dane ciało - przekazanie tej energii innemu ciału, wystawienie się na działanie siły zewnętrznej, zdolnej do wykonania pracy nad ciałem (na przykład siły tarcia, czy oporu), czy przekształcenie tej energii w inny rodzaj - na przykład energię ciepłą.

Przeanalizujmy dokładniej zmiany energii pomiędzy dwoma wybranymi fazami ruchu. Dla uproszczenia rozważań pominiemy zmiany kształtu piłki podczas uderzenia o ziemię i odbicia - możemy wyobrazić sobie zamiast piłki kulkę z metalu oraz, że energia mechaniczna nie ulega zamianie na ciepło.

- W początkowej fazie ruchu, na wysokości $h_1 = 5$ m energia potencjalna wynosi $E_1 = m \cdot g \cdot h_1$. Energia kinetyczna wynosi zero (piłka się jeszcze nie porusza), a zatem mechaniczna jest równa potencjalnej E_1 .
- Podczas spadania na wysokości np. $h_2 = 4$ m energia potencjalna jest równa $E_2 = m \cdot g \cdot h_2$. Nastąpiła zmiana energii potencjalnej o $\Delta E = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) = m \cdot g \cdot \Delta h$, gdzie Δh jest odległością przebytą przez spadającą piłkę.
- Ile wynosi energia kinetyczna spadającej piłki po przebyciu drogi $\Delta h = 1$ m? Piłka porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem g . Równania opisujące taki ruch to: $s = \Delta h = \frac{1}{2} g \cdot t^2$ i $v = g \cdot t$. Można pokazać (wykonajcie sami odpowiednie przekształcenia), że $v = \sqrt{2g \cdot \Delta h}$.
- Obliczamy teraz energię kinetyczną $E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ i po podstawieniu wartości prędkości otrzymamy, że energia kinetyczna jest równa $E_k = m \cdot g \cdot \Delta h$.
- Wartość energii kinetycznej jest równa zmianie energii potencjalnej. Widzimy zatem, że gdy jedyną siłą działającą na kulkę jest siła grawitacji, to wzrost energii kinetycznej jest równy zmniejszeniu się energii potencjalnej. A to oznacza, że energia mechaniczna pozostaje stała.

Zasada zachowania energii mechanicznej jest jedną z fundamentalnych zasad przyrody. Została sformułowana na podstawie bardzo wielu eksperymentów. Jej treść można przedstawić następująco:

1. **Jeśli siły zewnętrzne nie wykonują pracy nad układem ciał i na składniki układu nie działają siły tarcia lub oporu ośrodka, to energia mechaniczna układu pozostaje stała, co oznacza, że energia kinetyczna i potencjalna składników układu mogą się zmieniać, ale ich suma pozostaje niezmienną. Można to zapisać równaniem: $(E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}})_{\text{początkowa}} = (E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}})_{\text{końcowa}}$.**
2. **Tylko działanie sił zewnętrznych może zmienić energię całkowitą ciała lub układu ciał, a zmiana tej energii jest równa pracy wykonanej przez te siły.**
3. **Energia nie powstaje z niczego i nie ginie bez śladu, tylko przekształca się z jednej formy w drugą.**
4. **Jeśli ciało lub układ ciał nie wymieniają energii z otoczeniem, to suma energii kinetycznej i potencjalnej jest taka sama w każdej chwili.**

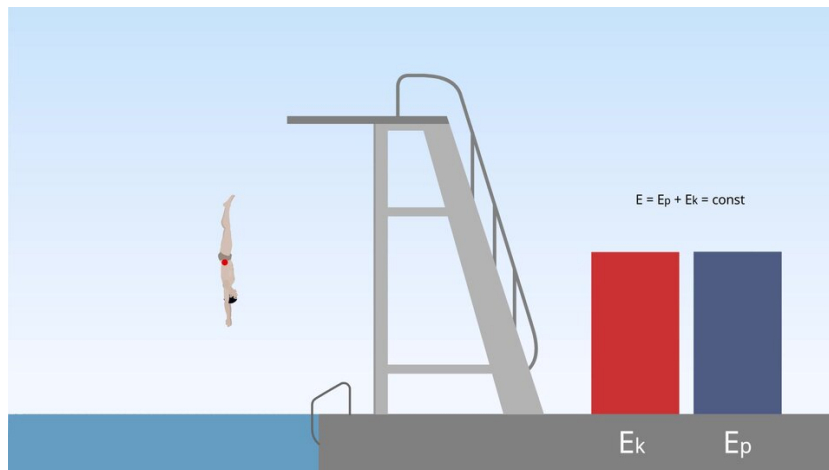
Siła grawitacji, jaką działają na siebie składniki układu (na przykład Ziemia na piłkę i piłka na Ziemię), jest siłą wewnętrzną. Energia potencjalna wynika z istnienia siły grawitacji. Istnieje drugi rodzaj energii potencjalnej: energia potencjalna sprężystości.

Znajomość zasady zachowania energii mechanicznej jest bardzo przydatna w rozwiązywaniu różnych problemów. Jeśli znasz jeden ze stanów jakiegoś układu (np. stan początkowy) i wiesz, że spełniona jest w nim zasada zachowania energii, możesz obliczyć zmianę lub wartość danego parametru związanego z ruchem układu (np. prędkość, energię kinetyczną) w dowolnej chwili. Analogicznie można powiedzieć, że wiedząc, ile ktoś ma kapitału - wiesz, na co go stać, lub wiedząc, ile wydał - wiesz, ile miał przedtem.

Przeanalizujmy kilka przykładów przemian, dla których spełniona jest zasada zachowania energii mechanicznej:

Przykład 1

Skoki do wody



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RITqMvwIVAsWl>

Skok do wody

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Animacja przedstawia skok do wody.

Przed skokiem z wieży do wody zawodnik wspina się na wieżę, wykonując przy tym pracę. Praca ta nie znika bez śladu – dzięki niej rośnie energia potencjalna grawitacji zawodnika. Jeśli masa zawodnika wynosi 50 kg i wszedł on na wysokość 4 m (nad powierzchnię wody w basenie), to jego energia potencjalna wynosi (względem tej powierzchni):

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 50 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 4 \text{ m} = 2000 \text{ J}$$

Jest to jednocześnie wartość całkowitej energii mechanicznej, ponieważ zawodnik stoi, czyli jego energia kinetyczna jest równa zero. Wartość tej energii pozostanie stała podczas całego lotu skoczka w dół.

Gdy zawodnik przechyli się i zacznie spadać, jego energia potencjalna będzie maleć (maleje wysokość nad wodą). Jednocześnie rośnie prędkość, z jaką porusza się zawodnik, co oznacza, że rośnie jego energia kinetyczna. Przyrost energii kinetycznej jest w każdej chwili jego lotu równy ubytkowi energii potencjalnej.

Obliczmy energię kinetyczną skoczka znajdującego się 1 metr nad powierzchnią wody.

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 50 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 1 \text{ m} = 500 \text{ J}$$

Zatem energia potencjalna zmalała o 1500 J i o tyle przyrosła energia kinetyczna zawodnika.

Gdyby do ciała zawodnika przypięty był szybkościomierz, to ile wskazywałby on w chwili, gdy zawodnik znajdowałby się 1 m nad powierzchnią wody? Wiemy, że energia kinetyczna zawodnika wynosiła wtedy 1500 J, więc korzystając ze wzoru na energię kinetyczną, możesz obliczyć prędkość:

$$\begin{aligned} E_{\text{kin}} &= \frac{mv^2}{2} \\ \frac{2E_{\text{kin}}}{m} &= v^2 \\ v &= \sqrt{\frac{2E_{\text{kin}}}{m}} \\ v &= \sqrt{\frac{2 \cdot 1500 \text{ J}}{50 \text{ kg}}} = \sqrt{60 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} \approx 7,7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

A teraz oblicz wartość prędkości, jaką osiągnie zawodnik na chwilę przed kontaktem z wodą.

Tuż nad wodą energia potencjalna skoczka zmalała do zera i zgodnie z zasadą zachowania energii mechanicznej energię całkowitą stanowi teraz energia kinetyczna, która w tym momencie osiąga wartość 2000 J. Powtórz zatem poprzednie obliczenia, zmieniając wartość energii kinetycznej:

$$\begin{aligned} E_{\text{kin}} &= \frac{mv^2}{2} \\ \frac{2E_{\text{kin}}}{m} &= v^2 \\ v &= \sqrt{\frac{2E_{\text{kin}}}{m}} \\ v &= \sqrt{\frac{2 \cdot 2000 \text{ J}}{50 \text{ kg}}} = \sqrt{80 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} \approx 8,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

A co dzieje się z energią zawodnika, który zanurza się w wodzie? Na tym etapie nie jest już spełniona zasada zachowania energii mechanicznej – opór, jaki stawia woda, jest nie do pominięcia. Tym niemniej, energia zawodnika nie znika bez śladu. Jej kosztem ciało zawodnika wykonuje pracę, „rozgarniając” wodę, a część tej energii zamienia się w inne rodzaje energii – energię dźwiękową (wszak słyszymy plusk) oraz energię wewnętrzną, o której będzie mowa dalej.

Zwróć uwagę, że wiedzę o energii i prędkości zawodnika na różnych wysokościach czerpiemy tylko z informacji, ile miał energii na początku, i stosując zasadę zachowania energii mechanicznej. Możemy tak zrobić, jeśli pominiemy opór powietrza.

Przykład 2

Skoki na batucie (trampolinie).



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RoF4kOpenFqFl>

Skoki na batucie

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Animacja dotycząca skoków na batucie.

Taki skok możemy podzielić na 5 etapów:

1. Etap magazynowania energii kosztem pracy:

aby podskoczyć na sprężystej siatce batutu, musisz się od niego odbić. Podczas tego odbijania (naciskania na siatkę) twoje mięśnie wykonują pracę, a batut zostaje odkształcony. Dochodzi wówczas do zgromadzenia w odkształconej siatce energii w postaci energii potencjalnej sprężystości. Jest to całkowita energia mechaniczna, jaką zgromadził układ (składający się z ciebie i batutu), z którą rozpoczynasz skok.

2. Etap zamiany energii potencjalnej sprężystości na energię kinetyczną:

wracający do stanu równowagi batut pcha cię w górę i kosztem jego energii potencjalnej sprężystości rośnie twoja energia kinetyczna. Z chwilą gdy twoje stopy odrywają się od siatki, energia potencjalna sprężystości maleje do zera, a energia kinetyczna ma największą wartość, równą całkowitej energii mechanicznej.

W rozważaniach tych dla uproszczenia opisu możesz pominąć niewielkie zmiany energii potencjalnej grawitacji podczas odbijania.

3. Etap zamiany energii kinetycznej w potencjalną grawitacji:

dalszy nasz lot w górę odbywa się teraz kosztem energii kinetycznej. Rośnie twoja energia potencjalna grawitacji, a energia kinetyczna maleje. W najwyższym punkcie toru lotu energia kinetyczna maleje do zera, z kolei energia potencjalna grawitacji osiąga swoją maksymalną wartość równą całkowitej energii mechanicznej.

4. Etap zamiany energii grawitacyjnej w energię kinetyczną:

od tego momentu rozpoczyna się twój ruch w dół. Energia grawitacji maleje, a jej kosztem rośnie energia kinetyczna.

5. Etap zamiany energii kinetycznej w energię sprężystości:

spadając na siatkę batutu, powodujesz jej odkształcenie – twoja energia kinetyczna przekształca się w energię potencjalną sprężystości batutu i cały proces zaczyna się od nowa.

Jeśli pominiesz opory ruchu, to przez cały ten czas suma energii kinetycznej i potencjalnej była taka sama, choć poszczególne składniki tej energii zmieniały się.

Jeśli chcesz, żeby twój kolejny skok był wyższy od poprzedniego, musisz zwiększyć bilans energii mechanicznej układu, wykonując dodatkową pracę. Osiągniesz to „dokładając” energię poprzez odpowiednio zsynchronizowane, dodatkowe ruchy mięśni mające na celu silniejsze odbicie się od siatki.

Przykład 3

Ile energii potencjalnej sprężystości trzeba było zmagazynować w siatce batutu, aby dziecko o masie 30 kg podskoczyło na wysokość 0,5 m? Oblicz wartość prędkości dziecka w momencie, gdy jego stopy odrywały się od siatki.

Analiza zadania i rozwiązanie:

$m = 30 \text{ kg}$

$$h = 0,5 \text{ m}$$

W najwyższym punkcie toru lotu, czyli na wysokości 0,5 m, cała energia mechaniczna dziecka skupiona była w postaci energii potencjalnej grawitacyjnej i miała wartość:

$$\begin{aligned} E_{\text{pot. graw.}} &= m \cdot g \cdot h = 30 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 0,5 \text{ m} = \\ &= 150 \text{ J} = E_{\text{mech}} \end{aligned}$$

Tyle samo wynosiła wartość całkowitej energii mechanicznej w czasie całego skoku. Oznacza to, że w chwili maksymalnego odkształcenia siatki, gdy cała energia była zgromadzona w postaci energii sprężystości, jej wartość też wynosiła 150 J.

W chwili, gdy stopy dziecka odrywały się od siatki, cała energia mechaniczna skupiona była w formie energii kinetycznej i też miała wartość 150 J. Korzystając ze wzoru na energię kinetyczną, możesz obliczyć prędkość dziecka:

$$\begin{aligned} E_{\text{kin}} &= \frac{mv^2}{2} \\ \frac{2E_{\text{kin}}}{m} &= v^2 \\ v &= \sqrt{\frac{2E_{\text{kin}}}{m}} \\ v &= \sqrt{\frac{2 \cdot 150 \text{ J}}{30 \text{ kg}}} = \sqrt{10 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} \approx 3,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Odpowiedź:

Aby dziecko podskoczyło na wysokość 0,5 m, energia potencjalna sprężystości batutu musiała wynosić co najmniej 150 J. W chwili, gdy dziecko odrywało stopy od siatki, jego prędkość miała wartość około $3,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Była to największa wartość prędkości podczas tego skoku.

Zwróćmy uwagę, że wiedzę o energii i prędkości dziecka czerpiemy tylko z informacji, ile miało ono energii na pewnym etapie skoku i stosując zasadę zachowania energii mechanicznej. Oczywiście możemy tak zrobić, jeśli pominiemy opory ruchu.

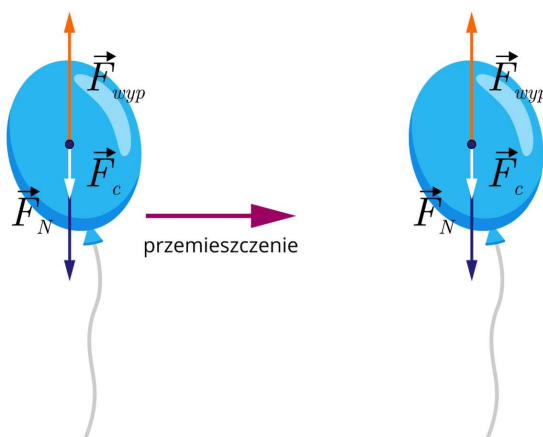
W rozważanych przykładach zawsze podkreślamy, że należy **pominąć opory ruchu**, bo tylko wtedy spełniona jest **zasada zachowania energii**.

Fizycy stosują pojęcie pracy w innym znaczeniu niż to, z którym spotykasz się na co dzień.

Praca w rozumieniu fizyki związana jest ze zmianami składników energii mechanicznej układu. Wyrzucona pionowo do góry piłka, wykonuje pracę przeciwko siłom grawitacji, energia potencjalna piłki rośnie, a kinetyczna maleje. Gdy piłka spada, siły grawitacji wykonują pracę nad piłką. Jej energia potencjalna maleje, a energia kinetyczna rośnie. Czy jednak jest możliwe, aby na ciało działała siła i mimo to energia nie ulegała zmianie?

Przeanalizujmy przykład, w którym dziecko ciągnie pionowo w dół linkę balonika, nie pozwalając mu zmienić wysokości, na której się znajduje, i jednocześnie przesuwa się poziomo.

Czy zmienia się energia potencjalna balonu wypełnionego helem, który trzymamy za sznurek? Jeśli balonik ciągle pozostaje na tej samej wysokości w stosunku do powierzchni ziemi, to jego energia potencjalna jest cały czas taka sama. Mówimy, że zmiana energii potencjalnej jest równa zero. Siła naciągu linki skierowana jest pionowo, a zatem prostopadłe do prostej, po której przesuwa się balonik, tak samo siła ciężkości i siła wyporu związana z mniejszą gęstością helu niż powietrza.



Przemieszczenie bez wykonania pracy

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Uważny obserwator znajdzie wiele podobnych przykładów. Niosąc ciężką walizkę, nie podnosisz jej w górę i nie opuszczasz, dzięki temu unikasz dodatkowego nakładu pracy wykonywanego kosztem siły swoich mięśni. I znowu, jak w przykładzie wyżej, siła, jaką działamy na walizkę, jest pionowa, czyli prostopadła do toru, wzdłuż którego walizka jest niesiona.

W obu powyższych przykładach mimo działania siły i przemieszczania się ciała nie następowała zmiana energii potencjalnej. W obu sytuacjach działająca siła była prostopadła do toru, wzdłuż którego przemieszczało się ciało.

Oprócz energii potencjalnej ciała mogą mieć jeszcze energię kinetyczną. W jaki sposób można ją zmienić? Ciała zyskują energię kinetyczną kosztem pracy. Energia kinetyczna równa jest wykonanej nad ciałem pracy.

Jak musi być zorientowana siła, która spowoduje zmianę wartości prędkości ciała?

Jeżeli prędkość ma wzrosnąć – powinna to być siła o takim samym kierunku i zwrocie jak prędkość, jeśli zmaleć – oczywiście trzeba przyłożyć siłę hamującą o zwrocie przeciwnym.

A jak zmieni się wartość prędkości (a zatem i energii kinetycznej), jeżeli siła będzie prostopadła do toru, po którym przemieszcza się ciało?

Przy zmianie prędkości ciała występuje przyspieszenie. Jest ono spowodowane działaniem siły. Siła prostopadła do przemieszczenia nie może wywołać przyspieszenia powodującego zmianę wartości prędkości. Wynika z tego, że energia kinetyczna będzie wtedy stała.

Jak widać, podobnie jak działa się to w przypadku energii potencjalnej, siła prostopadła do przemieszczenia nie zmienia energii kinetycznej ciała.

Zapamiętaj!

Praca siły prostopadłej do kierunku przemieszczania się ciała jest równa zero, ponieważ nie powoduje zmiany energii mechanicznej układu.

Na koniec zastanówmy się, jaki jest związek pracy wykonywanej przez daną siłę a energią mechaniczną ciała.

- Aby zwiększyć energię kinetyczną, trzeba wykonać pracę. W fizyce zmiany wielkości fizycznej obliczamy odejmując od wartości końcowej wartość początkową tej wielkości. Zmiana energii kinetycznej będzie równa: $E_{\text{kin}} = E_{\text{kin końcowa}} - E_{\text{kin początkowa}}$. Jeżeli energia kinetyczna będzie rosła, to zmiana będzie dodatnia, jeżeli będzie malała (ciało zmniejsza prędkość) – ujemna. Wynika z tego, że praca siły zwiększającej prędkość (i oczywiście energię kinetyczną) będzie dodatnia, a siły hamującej – ujemna i praca ta będzie zmniejszać wartość energii.
Przykładem takiej siły jest siła tarcia. Ma ona zawsze zwrot przeciwny do prędkości ciała. Jej działanie prowadzi do zmniejszania się energii kinetycznej ciała, aż do jego zatrzymania się.
Z tego wynika, że praca siły zewnętrznej przeciwdziałającej ruchowi ciała równa jest energii kinetycznej tego ciała: $W = \Delta E_{\text{kin}}$.
- Aby podnieść ciało na pewną wysokość i uzyskać wzrost energii potencjalnej, musimy wykonać pracę. Praca ta będzie równa zmianie energii potencjalnej, czyli $W = \Delta E_{\text{pot}}$. Jeżeli energia potencjalna ciała będzie rosła, to praca będzie dodatnia, a gdy ta energia będzie malała – praca będzie ujemna.
- Z punktu widzenia fizyka praca jest różna od zera, gdy następuje zmiana energii kinetycznej bądź potencjalnej ciała. Wynosi ona zero wtedy, gdy zmiana energii nie następuje. Czyli praca dla fizyka jest równa zmianie energii potencjalnej, kinetycznej lub ogólnie zmianie energii mechanicznej.
- To, co zapisaliśmy powyżej w pełni uzasadnia sformułowane na początku tego materiału zasady zachowania energii mechanicznej. Jeżeli na ciało lub układ ciał nie działa siła zewnętrzna, bądź praca jest równa zero, to energia mechaniczna ciała albo układu ciał nie zmienia się.

Ćwiczenie 1

Od skalnej ściany na wysokości 20 m nad drogą oderwał się głaz o masie 500 kg. Jaką wartość osiągnęła energia kinetyczna głazu tuż nad jezdnią, jeśli opory ruchu pomijamy? Przyjmij, że wartość przyspieszenia ziemskiego wynosi $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Zaznacz poprawną odpowiedź.

- ☐ Tyle, ile wynosiła jego energia potencjalna na początku, czyli 10000 J.
- ☐ Nie można ustalić, bo nie wiemy po jakim torze spadał głaz.
- ☐ Tyle, ile wynosiła jego energia potencjalna na początku, czyli 100000 J.
- ☐ Więcej niż 100000 J.
- ☐ Tyle, ile wynosiła jego energia potencjalna na początku, czyli 100000 N.
- ☐ 10000 N.

Ćwiczenie 2

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Przy każdym zdaniu w tabeli zaznacz „Prawda” albo „Fałsz”.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Całkowita energia mechaniczna układu jest zawsze stała.	☐	☐
Jeśli suma energii kinetycznej i potencjalnej układu nie zmienia się, to oznacza, że siły zewnętrzne nie wykonują nad nim pracy.	☐	☐
Jeśli znamy wysokość, na jaką doleciała wyrzucona pionowo do góry piłka o masie 0,1 kg, to możemy oszacować jej energię kinetyczną w momencie startu.	☐	☐
Zasada zachowania energii nie ma praktycznego znaczenia, ponieważ zawsze występują jakieś opory ruchu.	☐	☐

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Przykład 4

Kulkę wyrzucono pionowo w górę z prędkością początkową o wartości $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Obliczamy maksymalną wysokość, na jaką może wznieść się kulka.

Analiza danych:

$$v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h_{\text{max}} = ?$$

W tym zadaniu nie interesuje nas sam proces wyrzucania kulki, tylko jej lot od momentu, kiedy straciła kontakt z ręką rzucającego.

Dla uproszczenia opisu przyjmujemy, że w momencie startu energia potencjalna kulki wynosiła zero. Jest to dopuszczalne, jeżeli punkt, na którym znajdowała się ręka rzucającego, uznamy za wysokość zerową. W takiej sytuacji w momencie startu kulka miała jedynie energię kinetyczną, co oznacza, że całkowita energia początkowa kulki wynosiła:

$$(E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}})_{\text{pocz.}} = 0 + \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Lecąca w górę kulka traciła energię kinetyczną, ale zyskiwała potencjalną grawitacji. W najwyższym punkcie lotu energia kinetyczna zmalała do zera, a całkowita energia końcowa zgromadziła się w postaci energii potencjalnej, czyli:

$$(E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}})_{\text{końc.}} = m \cdot g \cdot h_{\text{max}} + 0 = m \cdot g \cdot h_{\text{max}}$$

Jeśli pominiemy opór powietrza, to spełniona jest zasada zachowania energii, czyli:

$$(E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}})_{\text{pocz.}} = (E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}})_{\text{końc.}}$$

$$0 + \frac{1}{2} m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h_{\text{max}} + 0$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h_{\text{max}}$$

$$\frac{1}{2} v^2 = g \cdot h_{\text{max}}$$

$$h_{\text{max}} = \frac{v^2}{2g} = \frac{\left(2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,2 \text{ m}$$

Odpowiedź:

Maksymalna wysokość, na jaką może się wznieść kulka, wynosi 20 cm.

Zwróćmy uwagę, że do rozwiązania tego zadania niepotrzebna jest znajomość masy kulki. Oznacza to, że dowolne ciało wyrzucone do góry z prędkością $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ wzniesie się na wysokość 20 cm. Słowo „dowolne” zawiera jednak pewne ograniczenia. Dotyczy to ciał, w przypadku których możemy pominąć opór powietrza.

Podsumowanie

- Zasada zachowania energii mechanicznej ma charakter empiryczny, to znaczy, że została sformułowana jako wniosek z bardzo wielu doświadczeń.
- Zasada zachowania energii mechanicznej głosi, że jeśli siły zewnętrzne nie wykonują pracy nad układem ciał i na składniki układu nie działają siły tarcia lub oporu ośrodka, to energia mechaniczna układu pozostaje stała. To znaczy, że energia kinetyczna i potencjalna składników układu mogą się zmieniać, ale ich suma pozostaje niezmienną. Można to zapisać równaniem:
$$(E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}})_{\text{pocz.}} = (E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}})_{\text{końc.}}$$
- Zasada zachowania energii mechanicznej ma duże znaczenie praktyczne, ponieważ pozwala w łatwy i prosty sposób obliczyć lub przynajmniej oszacować niektóre wielkości opisujące układ ciał w różnych procesach.

Ćwiczenie 3

Żongler rzuca talerz pionowo w górę z prędkością początkową $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

1. Oblicz maksymalną wysokość, na jaką wzniesie się talerz, przyjmij $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Talerz wzniesie się maksymalnie na wysokość m.

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

2. Narysuj pozycję, jaką powinien mieć talerz, aby opór powietrza był jak najmniejszy.

Ćwiczenie 4

Piłka do siatkówki spada z wysokości 5 m nad podłogą. Masa takiej piłki wynosi ok. 250 g. Na podstawie tych informacji rozwiąż poniższe zadania. Wartość przyspieszenia ziemskiego przyjmij $10 \frac{m}{s^2}$.

1. Oblicz wartość prędkości, z jaką piłka ta uderzyłaby w podłogę, gdyby nie było oporu powietrza.
2. Okazało się, że piłka ta uderzyła w podłogę z prędkością o wartości $8 \frac{m}{s}$. Oblicz pracę sił oporu powietrza podczas spadania piłki.
3. Wartość siły oporu powietrza zależy od wartości prędkości, która podczas spadania się zmienia; w miarę wzrostu prędkości siła oporu też rośnie. Oblicz średnią wartość tej siły, zakładając, że była ona stała.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w polu poniżej.

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 5

Na podstawie informacji podanych poniżej, uzupełnij luki w zdaniu przeciągając kafelki lub wejdź w pole i wybierz odpowiedni element z listy rozwijalnej.

Dźwig powoli podnosi płytę betonową o masie 1 tony na wysokość 10 m, a następnie powoli przemieszcza ją poziomo na odcinku 20 m. W innej sytuacji przesunął ją z małą prędkością poziomo na odległość 30 m, a potem podniósł na wysokość 10 m.

W sytuacji pierwszej dźwig wykonał pracę jak w sytuacji drugiej, ponieważ .

płyty zostały podniesione na taką samą wysokość, a przemieszczenie w poziomie nie ma wpływu na wartość wykonanej pracy

mniejszą

płyty zostały podniesione na taką samą wysokość, ale lżej wykonuje się pracę na dużej wysokości

większą

taką samą

płyty zostały podniesione na taką samą wysokość, ale ciężiej wykonuje się pracę na dużej wysokości

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Słowniczek

empiryczny

oparty na doświadczeniu, doświadczalny.

energia kinetyczna

energia wynikająca ruchu ciała posiadającego masę:

$$E_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2}$$

energia mechaniczna

jest to suma energii potencjalnej i kinetycznej.

$$E_{\text{m}} = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}}$$

energia potencjalna

energia, którą względem jakiegoś położenia posiada ciało.

energia potencjalna grawitacji

energia, którą posiada ciało ze względu na różnicę wysokości między ciałem a ustalonym poziomem.

$$E_{\text{pot}} = mgh$$

energia potencjalna sprężystości

energia, którą posiada ciało ze względu na działanie na nie siły sprężystości.

$$E_{\text{pot, spr.}} = \frac{kx^2}{2}$$

gdzie:

k - współczynnik sprężystości charakterystyczny dla danego materiału,

x - przemieszczenie od położenia równowagi.

siła zewnętrzna

siła, która nie wynika z oddziaływania ciał należących do układu.

zasada zachowania energii mechanicznej

podstawowa zasada fizyki, mówiąca o tym, że w układzie izolowanym energia mechaniczna jest stała:

$$E_m = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = \text{const.}$$

Zadania podsumowujące

Ćwiczenie 6

Doniczka o masie 2 kg spada z wysokości 6 m. Oblicz wartość energii kinetycznej doniczki na wysokości 1 metra. Zaznacz poprawną odpowiedź.

☐ $E_k = 600 \text{ J}$

☐ $E_k = 120 \text{ J}$

☐ $E_k = 300 \text{ J}$

☐ $E_k = 100 \text{ J}$

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

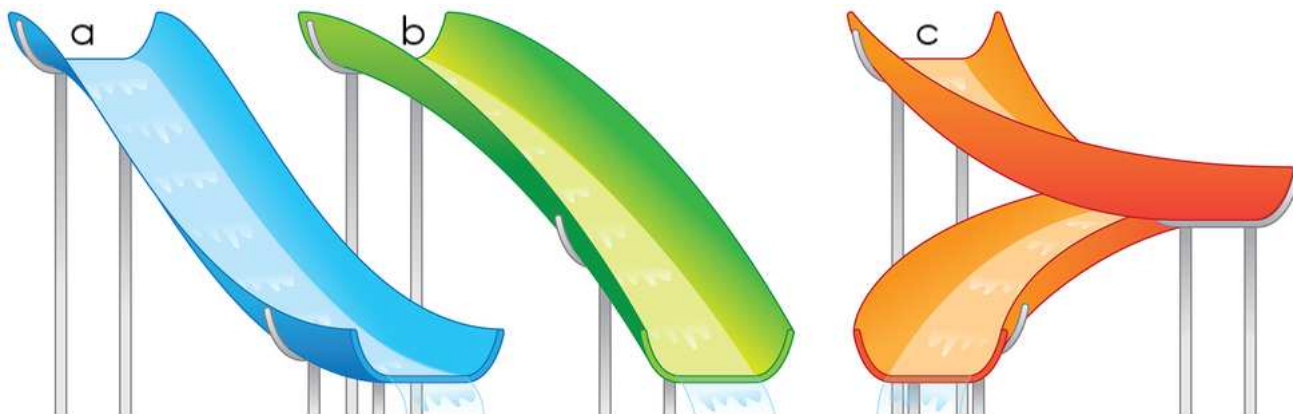
Ćwiczenie 7

Opisz przemiany energii zachodzące przy wypuszczeniu strzały z łuku pionowo do góry. Podziel całe zjawisko na etapy, zaczynając od naciągnięcia cięciwy łuku, a kończąc na etapie powrotu strzały na poziom, z którego została wystrzelona.

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 8

Zjeżdżalnia dla dzieci na basenie ma trzy rynny różnego kształtu: **a** – wklęsłą, **b** – wypukłą, **c** – spiralną.



Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Wszystkie zaczynają się na tej samej wysokości. Przyjmij, że dzięki płynącej w rynnach wodzie, tarcie nie występuje.

Dokończ zdanie, wybierając poprawną odpowiedź.

Prędkość dzieci na dole zjeżdżalni będzie:

- ☐ największa w przypadku dziecka ślizgającego się w rynnie **b**, a najmniejsza w przypadku dziecka ślizgającego się w rynnie **c**.
- ☐ największa w przypadku dziecka ślizgającego się w rynnie **c**, a najmniejsza w przypadku dziecka ślizgającego się w rynnie **a**.
- ☐ największa w przypadku dziecka ślizgającego się w rynnie **a**, a najmniejsza w przypadku dziecka ślizgającego się w rynnie **b**.
- ☐ jednakowa dla całej trójki.
- ☐ największa w przypadku dziecka ślizgającego się w rynnie **b**, a najmniejsza w przypadku dziecka ślizgającego się w rynnie **a**.
- ☐ największa w przypadku dziecka ślizgającego się w rynnie **a**, a najmniejsza w przypadku dziecka ślizgającego się w rynnie **c**.

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 9

Oblicz, o ile wzrośnie prędkość samochodu osobowego poruszającego się $54 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, którego kierowca nie naciska na hamulec ani nie przyspiesza, gdy zjedzie on ze wzgórza o wysokości 60m względem swojej postawy? Przyjmij $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Wybierz prawidłową odpowiedź. Jego prędkość wzrośnie o około

- ☐ $92 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
- ☐ $38 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
- ☐ $82 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
- ☐ $136 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 10

Zabawkowy samochodzik o masie 200 g miał energię kinetyczną równą 225 mJ . Chłopczyk dotknął go ręką i sprawił, że jego prędkość zmalała do 0, 5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz pracę, jaką wykonał chłopczyk.

Chłopczyk wykonał mJ pracy.

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 11



Aby rozładować towar z samochodu dostawczego, trzeba wykonać pracę 900 MJ. Oblicz czas, w jakim pracę tę wykona maszyna o mocy $P_1 = 300 \text{ kW}$, a w jakim maszyna o mocy $P_2 = 450000 \text{ W}$? Wyniki wpisz w puste miejsca.

Odpowiedź:

$t_1 =$ s = min

$t_2 =$ s = min s

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.