



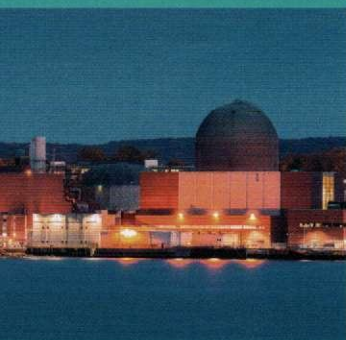
ENERGIA I JEJ PRZEMIANY

- Związek masy i energii
- Zasada zachowania energii
- Praca i moc
- Energia mechaniczna
- Sport i energia



ENERGIA I JEJ PRZEMIANY

- Związek masy i energii
- Zasada zachowania energii
- Praca i moc
- Energia mechaniczna
- Sport i energia



13. Zasada zachowania energii

A - oddać spr.

- Zasada zachowania energii
- Związek masy i energii
- Przemiany energii

Przypomnij sobie, jakie znasz rodzaje energii.

Energia jest pojęciem kluczowym nie tylko w fizyce, lecz również w opisie całej przyrody. W mediach często można natknąć się na wiadomości o „zapotrzebowaniu na energię” lub też o „produkcji energii”, a w filmach popularyzujących naukę na sformułowania typu „materia zamienia się w czystą energię”. Są to określenia co najmniej nieścisłe. Nie jest łatwo zdefiniować energię i może stąd właśnie wynika tak wiele nieporozumień. „Fizyka współczesna nie mówi właściwie, czym jest energia” – stwierdził jeden z najwybitniejszych fizyków XX wieku Richard Feynman. Jednak nie musimy wcale wiedzieć, czym naprawdę jest energia. Fizykom wystarcza umiejętność właściwego posługiwania się pojęciem energii, by mogli wyciągać wnioski ważne dla poznania i ujarzmiania sił przyrody.

Rodzaje energii

Pojęcie oddziaływania jest kluczowe dla opisu zachowania się ciał. Wiemy z dynamiki, że aby zmieniła się prędkość danego ciała, musi na nie zadziałać siła ze strony innego ciała (siła jest miarą oddziaływań między dwoma ciałami).

Mówimy, że ciało ma energię, jeśli ma możliwość działania siłą na inne ciała. Ze względu na różnorodność zjawisk, które możemy opisać i wyjaśnić za pomocą energii, wyodrębniamy kilka jej rodzajów.

Energię kinetyczną mają ciała, które się poruszają.

Energię potencjalną mają ciała, które oddziałują z innymi. Na przykład **energię potencjalną grawitacji** (ciężkości) ma każde ciało oddziałujące grawitacyjnie z Ziemią, a **energię potencjalną sprężystości** mają ciała odkształcone sprężystością (przymiotnik „potencjalna” w tym określeniu będziemy dla wygody często pomijać). Ich zdolność powrotu do pierwotnej postaci wynika z sił wzajemnego oddziaływania cząsteczek (ryc. 13.1).

Z cząsteczkową budową ciał fizycznych wiąże się **energia wewnętrzna** danego ciała. Na energię wewnętrzną składa się energia kinetyczna chaotycznego ruchu cząsteczek ciała oraz energia ich wzajemnych oddziaływań.

Energia całkowita to suma wszystkich rodzajów energii danego ciała czy układu ciał. Jednostką energii jest džul: $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$.



Zasada zachowania energii

W połowie XIX wieku uczeni doszli do przekonania, że w układach izolowanych energia nie znika ani nie bierze się z niczego, tylko zmienia swoją postać. To zdanie nazywamy zasadą zachowania energii.

Zasada zachowania energii

Energia całkowita układu izolowanego nie zmienia się.

Zwróćmy uwagę, ile rzeczy można przewidzieć na podstawie zasady zachowania energii. Wyobraźmy sobie, że do urzędu patentowego wynalazcy dostarczają projekty urządzeń wytwarzających energię bez żadnego zasilania. Przyjmujący je urzędnik nie musi wnikać w szczegóły, może od razu odrzucić je wszystkie na podstawie zasady zachowania energii.



Ryc. 13.2. Fajerwerki przed odpaleniem i po wystrzeleniu

Jednakże ta zasada nie stwierdza, że w układach zamkniętych nic nie może się zmienić. Spójrzmy na ryc. 13.2. Sytuacja przed wystrzałem i po nim różni się zasadniczo. Jednak możemy bez wahania stwierdzić, że energia całkowita fajerwerków podczas wybuchu w ogóle się nie zmieniła – wybuch spowodowały oddziaływania wewnątrz ładunku, żadna siła zewnętrzna w to nie ingerowała. Oddziaływania wewnętrzne spowodowały przemianę: jeden rodzaj energii został przekształcony w inny. W tym przypadku

energia wiązań chemicznych materiału wybuchowego fajerwerków zmieniała się w energię kinetyczną, wewnętrzną i świetlną.

Praktycznie każde ciało wokół nas oddziałuje z otoczeniem, a wtedy jego energia się zmienia: zupa na talerzu stygnie, gdyż traci energię wewnętrzną; rozkręcone koło rowerowe po jakimś czasie się zatrzyma, a odbijająca się od podłogi piłeczka skacze coraz niżej, aż w końcu przestaje (scenariusz doświadczenia 4., s. 203).

Jednak gdy siły zewnętrzne działające na układ są niewielkie, a analizowane zjawiska trwają krótko, wymiana energii z otoczeniem jest tak mała, że możemy ją pominąć i z dobrym przybliżeniem traktować taki układ jako izolowany.

Związek energii z masą

Czy możemy obliczyć energię całkowitą każdego ciała? Okazuje się to stosunkowo proste. W 1905 roku Albert Einstein sformułował najsłynniejszy dziś wzór fizyczny:

$$E = mc^2 \quad (1)$$

gdzie:

E – energia całkowita ciała,

m – masa ciała,

c – prędkość światła w próżni.

Z tego wzoru wynika, że energia całkowita każdego ciała jest wprost proporcjonalna do jego masy. To odkrycie zasadniczo zmieniło nasze pojmowanie energii i masy. Ponieważ c^2 jest bardzo dużą liczbą, okazało się, że otaczające nas ciała mają ogromną energię. Ze wzoru Einsteina wynika również, że zmiana energii układu wiąże się ze zmianą jego masy. W prawie wszystkich procesach zachodzących na Ziemi zmiana masy układu jest tak mała, że zupełnie nieobserwowalna. Są jednak wyjątki i będziemy je poznawać stopniowo.

Przykład 1.

Szklanka z gorącą herbatą ma masę 0,3 kg. Gdy herbata stygnie do temperatury pokojowej (pod przykrywką, aby uniknąć ubytku cząsteczek podczas parowania), oddaje do otoczenia około 100 000 J energii. Oszacujmy, o ile zmniejszy się masa herbaty podczas tego procesu. Przekształćmy wzór (1) do postaci:

$$m = \frac{E}{c^2}$$

i podstawiamy dane:

$$m = \frac{10^5 \text{ J}}{\left(3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2} = \frac{10^5 \text{ J}}{9 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} \approx 0,1 \cdot 10^{-11} \text{ kg}$$

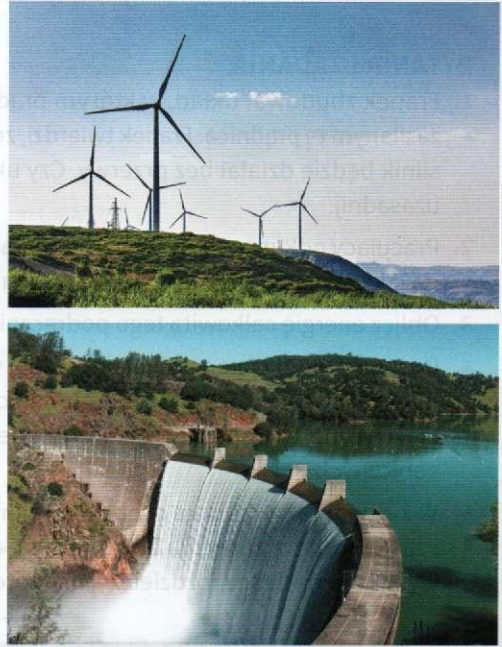
Wobec tego szklanka z herbatą po oddaniu do otoczenia energii 100 000 J, straci masę zaledwie 10^{-12} kg, czyli jedną bilionową kilograma. Nie sposób zaobserwować takiego ubytku masy.

Przemiany energii

Co znaczy często używane sformułowanie „produkcja energii”? Przecież zgodnie z zasadą zachowania energii nie można jej wytwarzać. To prawda, ale w pewnych warunkach można spowodować przemianę jednego rodzaju energii w inny, bardziej dla nas użyteczny. Na ryc. 13.3 widać elektrownię wiatrową. Wiatraki zamieniają energię kinetyczną wiatru w **energię elektryczną**. Obok widać elektrownię wodną, również „wytwarzającą” energię elektryczną. Jej źródłem jest w tym przypadku energia grawitacji wody.

Na opakowaniach produktów spożywczych podawana jest ich wartość energetyczna. Nie jest to oczywiście całkowita energia pożywienia, lecz tylko ta jej część, którą nasz organizm potrafi przemienić w energię dla siebie użyteczną.

W kolejnych tematach tego działu przeanalizujemy różne przemiany energetyczne i ich związek z wykonywaniem pracy. Zagadnienia związane z energią są tak istotne, że wielokrotnie będziemy do nich wracać podczas omawiania różnych procesów i zjawisk fizycznych.



Ryc. 13.3. W energetyce wykorzystuje się energię mechaniczną wiatru i wody



Ryc. 13.4. Na produktach spożywczych podawana jest ich wartość energetyczna, czyli ilość energii, która może być uwolniona w naszym organizmie

PODSUMOWANIE

- ▶ **Energia** jest wielkością fizyczną opisującą zdolność układu do oddziaływań.
- ▶ **Zasada zachowania energii:** całkowita energia układu izolowanego jest stała.
- ▶ Całkowita energia każdego ciała jest wprost proporcjonalna do jego masy.
- ▶ W procesach zachodzących w przyrodzie i technice następują **przemiany** jednego rodzaju **energii** w inny.

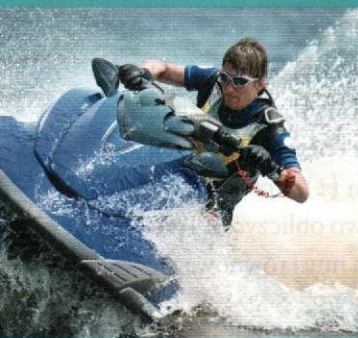
PYTANIA I ZADANIA

1. Franek zbudował układ, w którym prądnica napędzana jest silnikiem elektrycznym zasilanym tą prądnicą. Franek twierdzi, że przy odpowiednim przełożeniu raz zakręcony silnik będzie działał bez przerwy. Czy układ rzeczywiście będzie działać? Odpowiedź uzasadnij.
2. Pracujący odkurzacz nagrzewa się i hałasuje. Wymień co najmniej trzy rodzaje energii, na jakie zmienia się energia elektryczna podczas odkurzania.
3. Oblicz energię całkowitą tego podręcznika. Przyjmij, że książka ma masę 0,3 kg.
4. Roczna produkcja energii elektrycznej w Polsce to około $6 \cdot 10^{17}$ J. Gdybyśmy potrafili przekształcić w całości energię całkowitą podręcznika ważącego 0,3 kg w energię elektryczną, to ile podręczników rocznie wystarczyłoby na zaspokojenie potrzeb energetycznych Polski?
5. W każdym samochodzie osobowym silnik napędza prądnicę, która ładuje akumulator i zasila różne urządzenia elektryczne. Samochody wyposażone są w komputer, który wyświetla na desce rozdzielczej niektóre parametry pracy silnika.



Na zdjęciu z numerem 1 wyświetlacz pokazuje chwilowe zużycie paliwa w przeliczeniu na 1 godzinę pracy silnika, gdy samochód stoi z włączonym silnikiem (silnik pracuje „na luzie”). Na zdjęciu z numerem 2 pokazano sytuację, w której kierowca włączył ogrzewanie tylnej szyby – wskazania zużycia paliwa wzrosły.

- a) Wyjaśnij przyczynę wzrostu zużycia paliwa.
- b) Oszacuj ilość energii potrzebnej do ogrzewania tylnej szyby w samochodzie przez 5 minut. Ze spalania jednego litra benzyny otrzymujemy około $4 \cdot 10^7$ J energii.



14. Praca i moc

- Praca
- Moc

Przypomnij sobie wiadomości o pracy mechanicznej i mocy.

Energia całkowita układu izolowanego nie zmienia się – to treść zasady zachowania energii. Jednak praktycznie wszystkie ciała ze sobą oddziałują, nie są zatem układami izolowanymi. Spróbujmy zastanowić się, w jaki sposób zmienia się energia takich układów. Pomoże nam w tym pojęcie pracy.

Praca jako przekaz energii

Energia układu zmienia się, gdy działa na niego siła zewnętrzna powodująca przesunięcie części lub całości układu. Mówimy wtedy, że siła wykonuje pracę nad układem (lub nad ciałem).

Przyrost energii układu jest równy wykonanej nad układem pracy:

$$\Delta E = W \quad (1)$$

Przyrost energii jest różnicą energii końcowej i początkowej:

$$\Delta E = E_2 - E_1$$

Wzór (1) określa, jak można zmienić energię układu. Siła zewnętrzna musi nad nim wykonać pracę. Wzór (1) wyraża też zasadę zachowania energii. Wynika z niego, że jeśli siły zewnętrzne nie wykonują pracy nad układem, przyrost jego energii jest równy zero, czyli energia końcowa jest równa początkowej:

$$E_2 = E_1$$

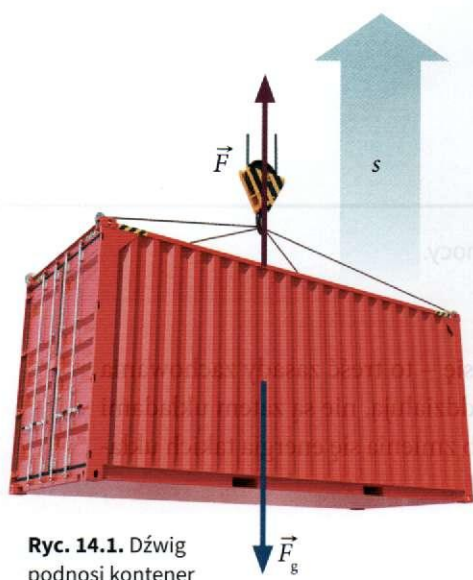
Jak można obliczyć pracę? Rozważmy trzy przypadki.

Przypadek 1. Siła skierowana tak jak przemieszczenie

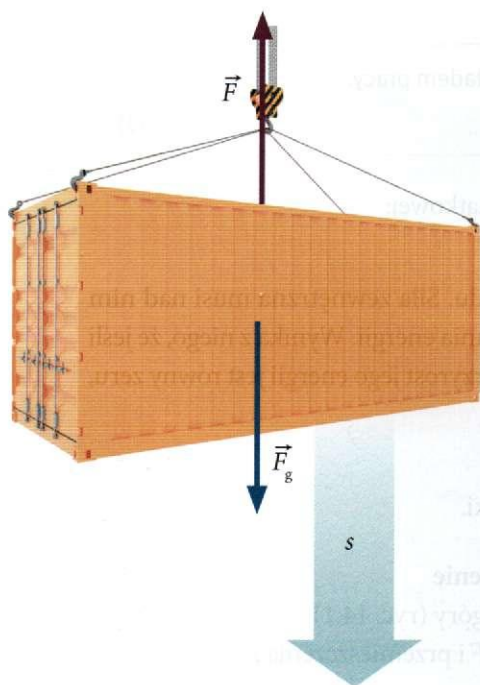
Dźwig podnosi kontener ruchem jednostajnym do góry (ryc. 14.1).

Wykonana praca jest iloczynem wartości stałej siły F i przemieszczenia s :

$$W = F \cdot s \quad (2)$$



Ryc. 14.1. Dźwig podnosi kontener



Ryc. 14.2. Dźwig opuszcza kontener

Pracę wykonuje zawsze konkretna siła. W tym przypadku jest to siła, z jaką lina dźwigu działa na kontener. Praca ta zwiększa energię grawitacji kontenera zgodnie ze wzorem (1). Pracę wykonaną przez siłę $\vec{F}$ możemy łatwo obliczyć. Z I zasady dynamiki wiemy, że ta siła musi równoważyć ciężar kontenera, więc:

$$F = mg$$

Jeśli dźwig podnosi kontener na wysokość h , to wykonana przez niego praca wynosi:

$$W = F \cdot s = mgh$$

Zgodnie ze wzorem (1) o tyle właśnie wzrosła energia grawitacji kontenera:

$$\Delta E_g = mgh \quad (3)$$

Przypadek 2. Siła działa przeciwnie do przemieszczenia

Dźwig opuszcza kontener ruchem jednostajnym (ryc. 14.2). Z I zasady dynamiki wynika, że również w tym przypadku na kontener musi działać siła skierowana do góry, która będzie równoważyła jego ciężar. Energia grawitacji kontenera w trakcie opuszczania maleje, zatem energia końcowa jest mniejsza od początkowej. Teraz przyrost energii jest ujemny. Zgodnie ze wzorem (1) praca siły podtrzymującej kontener też musi być ujemna. Siła i przemieszczenie są wektorami, a praca zależy nie tylko od ich wartości, lecz również od ich wzajemnego ustawienia. Gdy te wektory są skierowane przeciwnie (jak na ryc. 14.2), pracę siły $\vec{F}$ należy obliczać ze wzoru:

$$W = -F \cdot s \quad (4)$$

Warto zauważyć, że siły oporu ruchu są zawsze skierowane przeciwnie do przemieszczenia ciała, zatem zawsze wykonują pracę ujemną. Oznacza to również, że – zgodnie ze wzorem (1) – siły oporu zmniejszają energię całkowitą poruszającego się ciała.

Przypadek 3. Siła prostopadła do przemieszczenia

Rozważmy przypadek przesuwania kontenera, tym razem poziomo (ryc. 14.3). Jeśli ruch ma być jednostajny, na kontener musi działać dokładnie taka sama siła jak w dwóch poprzednich przypadkach. Teraz siła i przemieszczenie są do siebie prostopadłe. Energia grawitacji kontenera nie zmienia się, czyżby zatem ze wzoru (1) wynikało, że praca naszej siły wynosi zero? Tak rzeczywiście jest. **Siła prostopadła do przemieszczenia nie wykonuje pracy.** Znow możemy wyciągnąć pożyteczne wnioski: siła prostopadła do przemieszczenia, czyli do toru ruchu, nie zmienia energii ciała. Na przykład siła nacisku podłoża działająca na poruszające się auto jest prostopadła do kierunku ruchu i dlatego nie zmienia energii auta.



Ryc. 14.3. Dźwig przesuwa kontener poziomo

Zgodnie ze wzorem (1) możemy traktować pracę jako przekaz energii z jednego ciała do drugiego. Jeśli jedno ciało działa siłą na drugie i przesuwa je – przekazuje mu część swojej energii. Na przykład dźwig podnoszący kontener przekazuje mu część energii elektrycznej dostarczonej przez elektrownię. Gdy podnosimy plecak, przekazujemy mu część energii nagromadzonej w naszych mięśniach.

Przykład 1.

Kierowca ma do wyboru trzy drogi prowadzące na szczyt góry. Którą trasę powinien wybrać, aby zużyć jak najmniej paliwa? W trakcie analizy pomijamy opory ruchu.



Aby obliczyć pracę wykonaną przez silnik na każdej z dróg, należałoby skorzystać z bardziej ogólnego wzoru na pracę, który wymaga zaawansowanego aparatu matematycznego. Ze wzorów (1) i (3) można jednak wysnuć wniosek, że wykonana przez silnik praca będzie na każdej trasie taka sama, gdyż na każdej z nich samochód osiąga tę samą różnicę wysokości h . Nie ma zatem znaczenia, czy tor ruchu będzie miał długość s_1 , s_2 czy s_3 . Na każdej trasie wykonana przez silnik praca będzie równa:

$$W = mgh$$

WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Perpetuum mobile

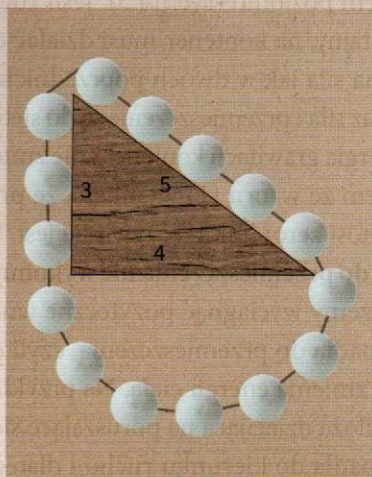
Co najmniej od średniowiecza ludzie próbowali opracować urządzenie, które by wykonywało dla nas pracę „za darmo”. Taki wiecznie pracujący bez paliwa silnik nosi intrygującą łacińską nazwę *perpetuum mobile*. Jeden z wielu projektów tego typu urządzenia przedstawiono na nagrobku wybitnego uczonego Stevinusa, zmarłego w XVII wieku (ryc.). Liczby określają długości boków trójkąta.

Nieznani wynalazcy twierdzili, że pięć kul na pochyłości z prawej strony ma większy ciężar od trzech kul ze strony lewej i dlatego te „korale” będą się ciągle same rozpędzać w prawo (ku pochyłości). Niestety, tak się nie dzieje.

Spróbujmy ustalić, czy rzeczywiście siła powodująca zsuwanie pięciu kul z prawej strony jest większa od ciężaru trzech kul z lewej strony. Pomocne będzie rozumowanie przeprowadzone w rozdziale 12. pod ryc. 12.6. Wynika z niego, że siła wypadkowa zsuwająca jedną kulę o masie m z pochyłości wynosi:

$$F = \frac{h}{l} mg$$

W naszym przypadku h/l to $3/5$, więc siła wypadkowa działająca na jedną kulę ma wartość równą $3/5$ jej ciężaru. Wobec tego na pięć kul działa siła $F = 5 \cdot 3/5 mg = 3mg$. Siła ta dokładnie równoważy ciężar trzech kul z lewej strony! To urządzenie mogłoby się najwyżej poruszać ruchem jednostajnym przy braku wszelkich oporów ruchu. O żadnym napędzaniu nie ma mowy. Na podstawie zasady zachowania energii można od razu stwierdzić, że taka maszyna nie może działać. Gdyby bowiem rzeczywiście kule się rozpędzały, ich energia związana z ruchem, czyli energia kinetyczna, ciągle by rosła. Nie ma jednak żadnego źródła tej energii – na nasz układ nie działa żadna siła zewnętrzna (siła grawitacji jest siłą wewnętrzną w układzie kule–Ziemia, w którym rozważamy energię grawitacji).

**Moc jako szybkość przekazywania energii**

Czasami istotne jest to, jak szybko wykonywana jest praca. Przypuśćmy, że ważący tyle samo Antek i Maciek wchodzą na to samo piętro, ale Antkowi zajmuje to znacznie mniej czasu niż Maćkowi. Obaj wykonują tę samą pracę, ale mają różną **moc**. Moc to stosunek wykonanej pracy do czasu, w którym została ona wykonana:

$$P = \frac{W}{t}$$

(5)

gdzie:

P – moc, W – wykonana praca, t – czas wykonania pracy.

Można powiedzieć, że moc to praca wykonana w jednostce czasu. Wielkości tej używamy najczęściej w odniesieniu do różnych urządzeń, ludzi i zwierząt. Podstawową jednostką mocy jest wat (niefortunnie oznaczony tym samym symbolem co praca):

$$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}} = \frac{1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}}{1 \text{ s}}$$

Urządzenie ma moc jednego wata, jeśli w ciągu jednej sekundy wykonuje pracę jednego dżula. W praktyce często używa się jednostek większych, np. $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$ oraz $1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$.

Przykład 2.

Jaką moc ma Karol ważący 70 kg, gdy wchodzi po drabinie z prędkością 0,5 m/s? Zakładamy, że Karol wchodzi na drabinę jednostajnie, zatem drabina musi na niego działać siłą równoważącą ciężar jego ciała:

$$F = mg$$

Nie podano tu czasu wchodzenia, ale nie jest on konieczny do obliczenia mocy.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot \frac{s}{t} = F \cdot v$$

Wykorzystujemy tutaj wzór na prędkość:

$$v = \frac{s}{t}$$

Wobec tego:

$$P = mgv = 70 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 340 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 340 \text{ W}$$

Skoro praca jest równa przyrostowi energii, to moc można wyrazić wzorem:

$$P = \frac{\Delta E}{t} \quad (6)$$

Wobec tego moc można traktować jako szybkość przekazywania energii. Na przykład tzw. próg słyszalności, czyli minimalne natężenie dźwięku, jaki możemy usłyszeć, wynosi dla przeciętnego ludzkiego ucha 10^{-12} W/m^2 . To oznacza, że fala dźwiękowa przenosi w ciągu każdej sekundy energię 10^{-12} J przez powierzchnię prostopadłą do kierunku rozchodzenia się fali o polu 1 m^2 . To oznacza, że nasze ucho jest bardzo czułe. Próg bólu, czyli natężenie dźwięku powodujące ból, to tylko 1 W/m^2 .

Z kolei promieniowanie Słońca docierające do powierzchni Ziemi przy bezchmurnym niebie ma natężenie około 1000 W/m^2 , czyli 1 kW/m^2 . Oznacza to, że powierzchnia o polu 1 m^2 ustawiona prostopadle do promieni słonecznych może pochłonąć w każdej sekundzie energię o wartości 1000 J ! Nic dziwnego, że coraz skuteczniej próbuje się tę „darmową” energię wykorzystywać do wytwarzania prądu elektrycznego czy choćby podgrzewania wody w domach.

PODSUMOWANIE

- ▶ **Praca** wykonana nad układem przez siłę zewnętrzną jest równa **przyrostowi energii** układu:

$$W = \Delta E$$

- ▶ Jeśli stała siła jest skierowana w tę samą stronę co przemieszczenie, wykonana praca jest iloczynem wartości siły i przemieszczenia:

$$W = F \cdot s$$

- ▶ Gdy siła działa przeciwnie do przemieszczenia, pracę obliczamy ze wzoru:

$$W = -F \cdot s$$

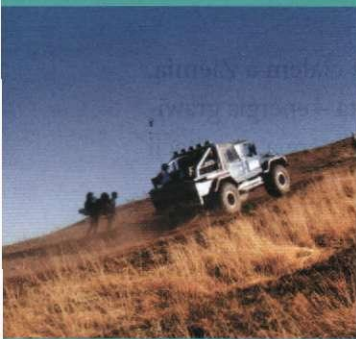
- ▶ Siła prostopadła do przemieszczenia nie wykonuje pracy.
- ▶ **Moc** to stosunek wykonanej pracy do czasu, w którym została ona wykonana:

$$P = \frac{W}{t}$$

- ▶ **Praca** to przekaz energii, a **moc** to szybkość tego przekazu.

PYTANIA I ZADANIA

1. Słońce przyciąga Ziemię siłą grawitacji, co powoduje jej ruch po orbicie wokółsłonecznej. Możemy przyjąć, że orbita jest okręgiem. Czy siła grawitacji pochodząca od Słońca wykonuje nad Ziemią pracę? Odpowiedź uzasadnij.
2. W najwyższym budynku w Polsce (Sky Tower we Wrocławiu, wysokość 206 m) odbywa się corocznie Sky Tower Run, czyli bieg z poziomu ulicy na taras widokowy na 49. piętrze. Rekord wynosi 4 minuty 52 sekundy (dane z 2018 roku). Zawodnicy mają do pokonania 1142 stopnie schodów, a łączna wysokość tych stopni to 200 m. Załóżmy, że rekordzista ważył 70 kg. Oblicz:
 - a) pracę, którą musiał wykonać w trakcie biegu;
 - b) wzrost jego energii grawitacji w trakcie biegu;
 - c) jego średnią moc.
3. Moc promieniowania Słońca wynosi $3,8 \cdot 10^{26}$ W. Skorzystaj ze wzoru Einsteina i oblicz, jaką masę traci Słońce w czasie jednej sekundy.
4. Ojciec z synem szli z Zakopanego na Kasprowy Wierch. Ojciec przy wzroście 1,85 m ma masę 95 kg, a syn mierzący 192 cm wzrostu waży 86 kg. Obaj dotarli na szczyt w jednakowym czasie. Wyjaśnij, który z nich podczas marszu miał większą moc.
5. Skuter jedzie z prędkością 50 km/h. Silnik pracuje wtedy z mocą 4 kW. Oblicz wartość siły oporu ruchu.



15. Energia grawitacji i energia kinetyczna

- Energia grawitacji
- Energia kinetyczna

Przypomnij sobie wiadomości o energii grawitacji i energii kinetycznej.

Osiemnastego stycznia 2017 roku na położony w górach włoski kurort Farindola zeszła potężna lawina. Zginęli ludzie, zniszczonych zostało wiele budynków. Przyczyną tragedii było uwolnienie ogromnej energii grubych pokładów śniegu zalegającego nad miastem (ryc. 15.1).



Ryc. 15.1. Zniszczenia spowodowane zejściem lawiny śnieżnej we Włoszech

Gdyby te zwalę się śniegu zalegały w mieście, nie doszłoby do tragedii. Jednak znajdowały się one na pewnej wysokości i w stosunku do poziomu miasta miały ogromną energię, którą nazywamy **energią potencjalną grawitacji**.

Energia potencjalna grawitacji

Wszystkie ciała na Ziemi mają energię grawitacji, ponieważ oddziałują z Ziemią. Jest to energia układu Ziemia–ciało, bo wynika z grawitacyjnego oddziaływania Ziemi i danego ciała. Ponieważ nie obserwujemy skutków oddziaływania małego ciała na całą kulę ziemską, to ciału przypisujemy umownie energię grawitacji układu.

Energia grawitacji zależy od ciężaru ciała i odległości między tym ciałem a Ziemią. Na przykład śnieg zalegający na ulicach nie grozi zniszczeniem miasta – energia grawitacji takiego śniegu względem poziomu miasta wynosi zero. Jednak energia grawitacji śniegu zalegającego nad miastem może być bardzo duża.

Energię grawitacji obliczamy ze wzoru:

$$E_g = mgh$$

(1)

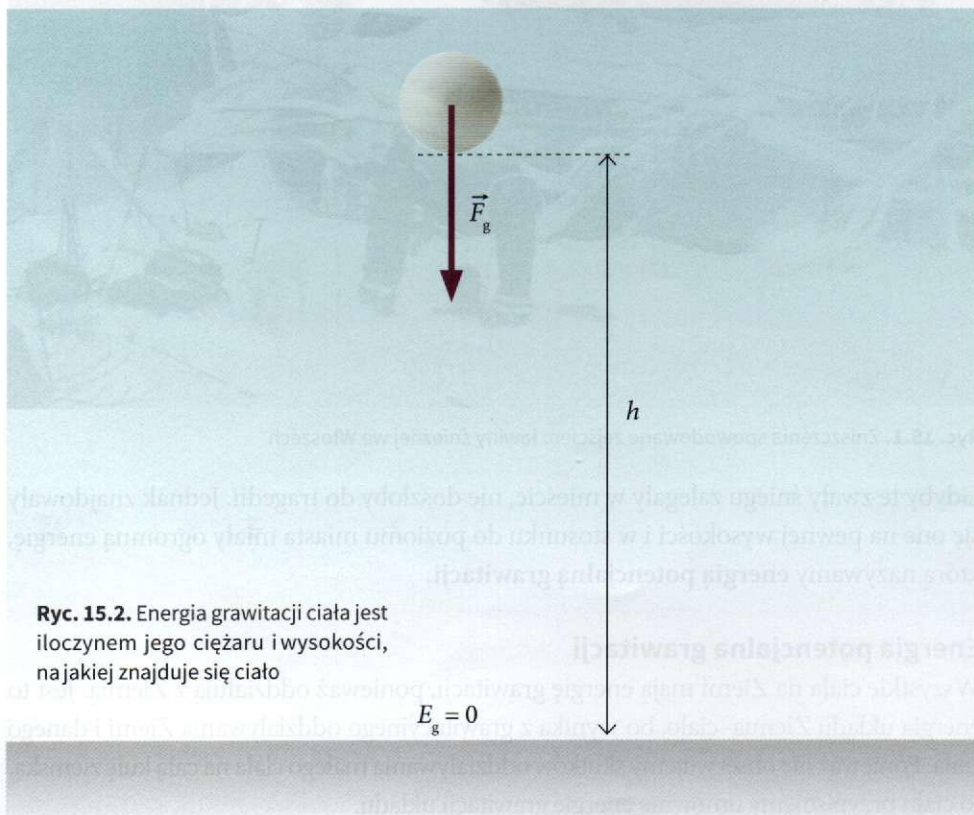
gdzie:

m – masa ciała,

g – przyspieszenie ziemskie,

h – wysokość, na jakiej ciało się znajduje, mierzona od pewnego umownego poziomu.

Wzór ten stosujemy tylko wtedy, gdy h jest dużo mniejsze od promienia Ziemi. Poziom, dla którego przyjmujemy zerową energię grawitacji, może być zupełnie dowolny, ale dobrze jest przyjąć taki, dla którego analiza zjawisk będzie najprostsza. Najczęściej jako poziom zerowy przyjmujemy ten, na którym ciało było lub będzie najniżej w omawianym zjawisku (ryc. 15.2).



Przykład 1.

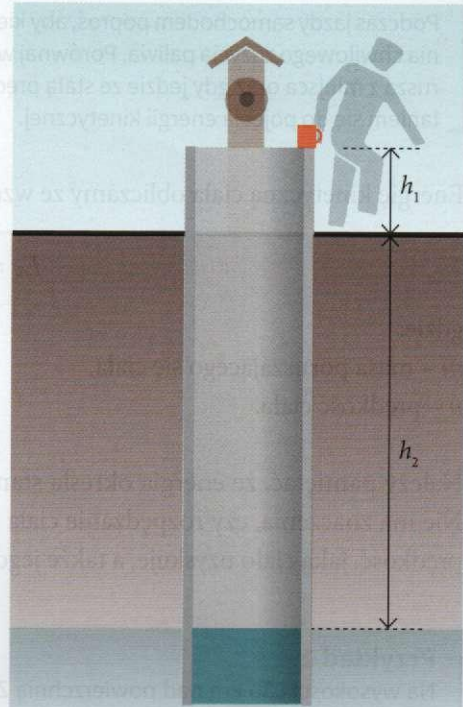
Franek postawił na krawędzi studni kubek z wodą. Odwrócił się i niechcący strącił kubek do wody.

Obliczmy energię grawitacji kubka, gdy stał na cembrowinie oraz gdy wpadał do wody. Lustro wody znajdowało się 6 m poniżej powierzchni ziemi, wysokość cembrowiny wynosiła 0,8 m, a masa kubka z wodą była równa 0,4 kg.

Jako poziom zerowy energii grawitacji przyjmijmy położenie lustra wody w studni. Wtedy energia grawitacji kubka stojącego na krawędzi studni będzie równa:

$$E_{g1} = mg(h_1 + h_2) = \\ = 0,4 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (6 \text{ m} + 0,8 \text{ m}) \approx 27 \text{ J}$$

W momencie, gdy kubek wpadał do wody, jego energia grawitacji $E_{g2} = 0$, gdyż wówczas znajdował się on na ustalonym wcześniej poziomie zerowym.



Jak zapewne zauważyliście, samo posiadanie energii grawitacji przez ciało nie wiąże się z żadną jego aktywnością. Dopiero przekształcenie tej energii w inną, najczęściej związaną z ruchem, prowadzi do widocznych zmian.

Energia kinetyczna

Każde poruszające się ciało ma energię ruchu, nazywaną **energią kinetyczną**. W naszym przykładzie z początku rozdziału to właśnie energia kinetyczna lawiny uczyniła takie spustoszenie. Energia grawitacji zalegającego wysoko śniegu przekształciła się w jego energię kinetyczną.

Ryc. 15.3. Na niektórych lotniskowcach samoloty uzyskują energię kinetyczną kosztem energii wewnętrznej pary wodnej stosowanej w katapultach



Doświadczenie 1.

Podczas jazdy samochodem poproś, aby kierowca przełączył komputer auta w tryb wyświetlania chwilowego zużycia paliwa. Porównaj wskazania komputera w sytuacjach, gdy samochód rusza z miejsca oraz gdy jedzie ze stałą prędkością. Wyjaśnij różnicę we wskazaniach z odwołaniem się do pojęcia energii kinetycznej.

Energię kinetyczną ciała obliczamy ze wzoru:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2)$$

gdzie:

m – masa poruszającego się ciała,

v – prędkość ciała.

Należy pamiętać, że energia określa stan układu, a nie sposób dojścia do tego stanu. Nie ma znaczenia, czy rozpędzanie ciała trwało długo czy krótko. Znaczenie ma tylko prędkość, jaką ciało uzyskuje, a także jego masa.

Przykład 2.

Na wysokości 630 km nad powierzchnią Ziemi krąży polski sztuczny satelita o nazwie „Heweliusz”. Należy on do flotyli mikrosatelitów programu badawczego BRIT. Prędkość, z jaką okrąży Ziemię, wynosi 7,6 km/s. Masa satelity to zaledwie 6 kg. Obliczmy energię kinetyczną tego satelity.

Podstawiamy dane liczbowe do wzoru:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 6 \text{ kg} \cdot \left(7,6 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \approx 1,7 \cdot 10^8 \text{ J}$$

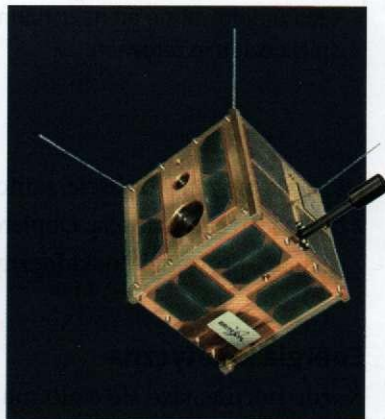
Dla porównania obliczmy energię kinetyczną samochodu ciężarowego o masie 30 ton, jadącego z prędkością 100 km/h.

Po zamianie jednostek mamy:

$$m_{\text{tir}} = 30\,000 \text{ kg}, v_{\text{tir}} \approx 27,8 \text{ m/s}$$

$$E_{k \text{ tir}} = \frac{1}{2}m_{\text{tir}} \cdot v_{\text{tir}}^2 = \frac{1}{2} \cdot 30\,000 \text{ kg} \cdot \left(27,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \approx 0,12 \cdot 10^8 \text{ J}$$

Mimo że masa mikrosatelity jest nieduża, to jego energia kinetyczna jest ponad 15 razy większa od energii dużej ciężarówki pędzącej z prędkością 100 km/h.



Energia kinetyczna, tak jak prędkość ciała, zależy od układu odniesienia. Najlepiej wybrać układ, w którym analiza zjawisk jest najprostsza. Na przykład energię kinetyczną rowerzysty czy samochodu wygodniej jest analizować względem powierzchni Ziemi niż względem jej środka czy też środka Układu Słonecznego.

PODSUMOWANIE

- ▶ **Energię potencjalną grawitacji** ma ciało znajdujące się na pewnej wysokości.
- ▶ Przy powierzchni Ziemi energię grawitacji obliczamy ze wzoru:

$$E_g = mgh$$

- ▶ Poruszające się ciało ma **energię kinetyczną**.
- ▶ Energię kinetyczną obliczamy ze wzoru:

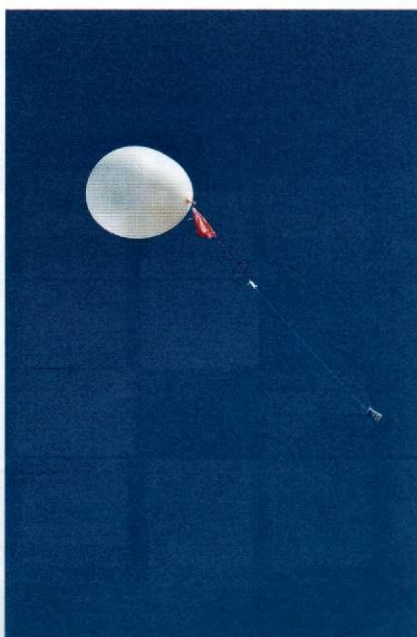
$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

PYTANIA I ZADANIA

1. Oszacuj, ile razy energia grawitacji mikrosatelity „Heweliusz” jest większa lub mniejsza od jego energii kinetycznej. Potrzebne dane znajdziesz w przykładzie 2. Skorzystaj ze wzorów (1) i (2).

2. Prąd strumieniowy to intensywny, dość wąski (grubość około 2 km) strumień przenoszący olbrzymie masy powietrza w atmosferze ziemskiej. Ta strefa bardzo silnych wiatrów występuje średnio na wysokości 10 km. Średnia prędkość wiatru w prądzie strumieniowym to około 30 m/s, ale może ona przekraczać nawet 150 m/s.

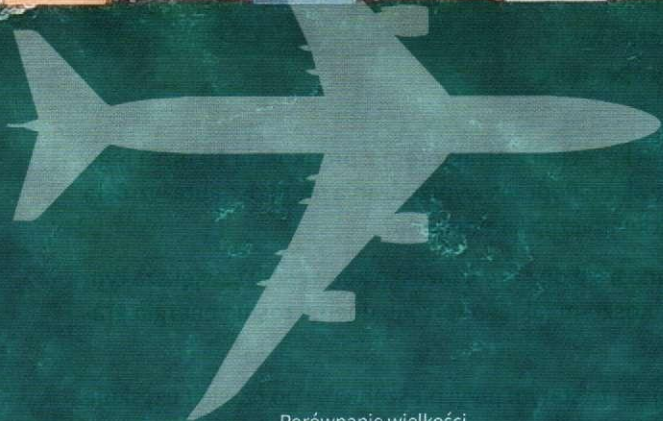
Oblicz średnią energię grawitacji (względem powierzchni ziemi) i średnią energię kinetyczną balonu meteorologicznego (fot.) o masie 1,2 kg, który dostał się w obszar prądu strumieniowego (balony meteorologiczne wynoszą w wysokie warstwy atmosfery aparaturę pomiarową).



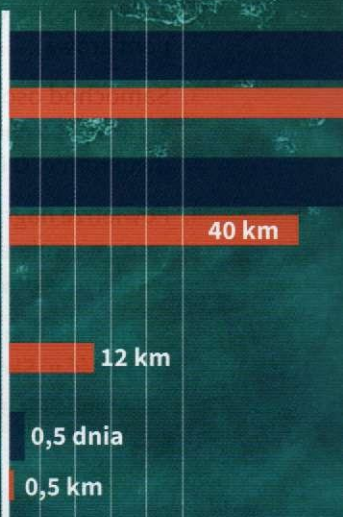
3. Samochód osobowy o masie 1000 kg jechał za traktorem z prędkością 10 m/s i jego kierowca postanowił wyprzedzić traktor. Podczas wyprzedzania prędkość auta wzrosła dwukrotnie. O ile wzrosła energia kinetyczna samochodu?
4. Powietrze nagrzane od podłoża unosi się do góry (zjawisko konwekcji) i zwiększa tym samym swoją energię grawitacji. Kosztem jakiego rodzaju energii rośnie energia grawitacji mas powietrza?
5. Samochód o masie m rusza z miejsca ze stałym przyspieszeniem i po czasie t uzyskuje prędkość v . Skorzystaj z II zasady dynamiki oraz ze wzoru $W = \Delta E$ i wyprowadź wzór na energię kinetyczną samochodu.

Energia w transporcie

Gdy chcemy transportować towary na duże odległości, musimy zdecydować, co jest ważniejsze: krótki czas dostawy czy raczej niski koszt transportu.



Porównanie wielkości kontenerowca i Boeinga 747-8F. Aby przetransportować samolotem tę samą ilość towaru, trzeba by wykonać kilka tysięcy lotów.





1 kWh

100 kg



Kilowatogodzina

Kilowatogodzina (kWh) jest jednostką energii powszechnie stosowaną w rozliczeniach za energię elektryczną. Jest to energia, jaką np. grzałka o mocy 1000 W pobierze w czasie godziny pracy.

Ile kosztuje energia?

1 kWh to energia wystarczająca do wtoczenia wózka o masie 100 kg na górę o wysokości 3600 m (jeśli pominiemy opory ruchu). Koszt 1 kWh to około 55 groszy. Oznacza to, że współczesna cywilizacja dała nam dostęp do relatywnie tanich źródeł energii.



15

20

25

30

35 dni

33 dni

184 km

16 dni

Odległość, na jaką przewieziemy ładunek o masie 1 tony przy zużyciu 1 kWh energii

Czas przewozu kontenera z Dalekiego Wschodu do Europy (nie dotyczy transportu drogowego)

75

100

125

150

175

200 km

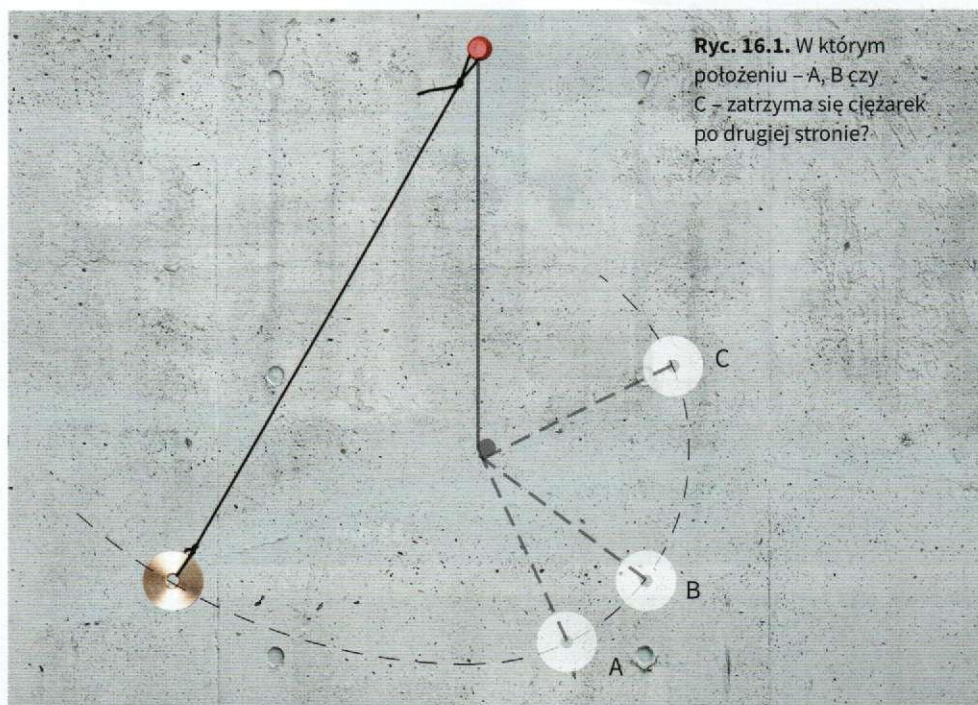


16. Zasada zachowania energii mechanicznej

- Energia mechaniczna
- Zasada zachowania energii mechanicznej

Przypomnij sobie zasadę zachowania energii.

Ciężarek na sznurku, czyli wahadło, porusza się ruchem drgającym. Z obserwacji wiemy, że po jednej i po drugiej stronie położenia równowagi ciężarek unosi się na tę samą wysokość. Gdyby w trakcie ruchu sznurek o coś zahaczył, to czy ciężarek zatrzyma się na tej samej wysokości? A może niżej czy wyżej (ryc. 16.1)? Bardzo trudno jest odpowiedzieć na to pytanie z odwołaniem się tylko do zasad dynamiki Newtona.



Ryc. 16.1. W którym położeniu – A, B czy C – zatrzyma się ciężarek po drugiej stronie?

Energia mechaniczna

Przeanalizujemy najpierw prostsze zjawisko. Wyobraźmy sobie jabłko o masie $0,2 \text{ kg}$ wiszące na gałęzi na wysokości $H = 2,4 \text{ m}$ nad ziemią. W pewnym momencie jabłko odrywa się od gałęzi i spada swobodnie. Jego prędkość początkowa wynosi zero, tyle

też wynosi jego energia kinetyczna. Jednak na początku ruchu jabłko jest na pewnej wysokości, ma więc energię grawitacji:

$$E_g = mgH$$

Gdy jabłko wpada w trawę, jego energia grawitacji wynosi zero. A jaką wartość ma wówczas energia kinetyczna? Jabłko spada z przyspieszeniem, więc prędkość końcową obliczymy ze wzoru (2) z rozdziału 4.

$$v^2 = 2as$$

Przyspieszenie jabłka jest równe przyspieszeniu ziemskiemu, drogę spadku swobodnego jabłka oznaczamy literą H i otrzymujemy:

$$v^2 = 2gH$$

Otrzymane wyrażenie podstawiamy do wzoru na energię kinetyczną:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m \cdot 2gH = mgH$$

Widzimy, że końcowa energia kinetyczna jabłka jest równa jego początkowej energii grawitacji. Gdy jabłko spada, jego energia grawitacji maleje, natomiast rośnie energia kinetyczna, ale całkowita energia jabłka nie zmienia się. Jest to zrozumiałe. Siła ciężkości działająca na jabłko jest siłą wewnętrzną układu jabłko–Ziemia, a jak wiemy, siły wewnętrzne nie zmieniają energii układu.

Sumę energii kinetycznej i potencjalnej ciała (np. energii grawitacji czy sprężystości) nazywamy **energiją mechaniczną**. W procesach, w których zmieniają się tylko energia kinetyczna i potencjalna, zasada zachowania energii sprowadza się do zasady zachowania energii mechanicznej.

Zasada zachowania energii mechanicznej

Jeśli na ciało działają tylko siły związane z jego energią potencjalną, energia mechaniczna tego ciała nie zmienia się.

Teraz odpowiedź na pytanie z początku rozdziału o położenie wahadła staje się prosta: przy braku oporów ruchu wahadło zatrzyma się na tej samej wysokości co po przeciwnej stronie, czyli w punkcie B. W ruchu wahadła energia grawitacji zmienia się w kinetyczną i odwrotnie, ale suma tych dwóch rodzajów energii jest cały czas taka sama. Co prawda na wahadło działa również siła pochodząca od sznurka, ale jest ona w czasie ruchu cały czas prostopadła do chwilowego przemieszczenia ciężarka, więc nie wykonuje pracy, a zatem nie zmienia energii wahadła. Ciężarek zatrzymałby się na innej wysokości tylko wtedy, gdyby zmieniła się energia wahadła.



WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Przemiany energii mechanicznej

Z równań ruchu przyspieszonego potrafimy obliczyć prędkość jabłka w dowolnym momencie ruchu:

$$v = gt$$

Drogę przebytą przez jabłko od początku spadku obliczamy ze wzoru:

$$s = \frac{1}{2}gt^2$$

a po podstawieniu $v = gt$:

$$s = \frac{1}{2}gt^2$$

Wysokość, na jakiej w danym momencie znajduje się jabłko, obliczymy przez odjęcie od wysokości początkowej H drogi s przebytej przez jabłko (ryc.):

$$h = H - s$$

$$h = H - \frac{1}{2}gt^2$$

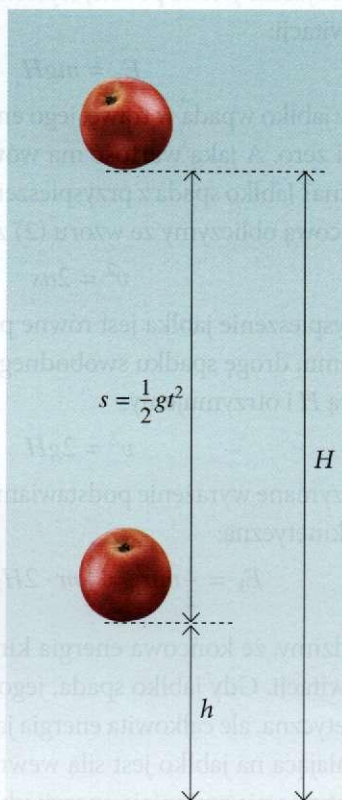
Jeśli znamy te wielkości, możemy w każdej chwili ruchu obliczyć energię kinetyczną i energię grawitacji jabłka.

W tabeli 1. przedstawione są wartości energii kinetycznej i energii grawitacji jabłka co 0,1 s ruchu. Do obliczeń przyjęliśmy $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Tabela 1.

$t \text{ (s)}$	$E_k \text{ (J)}$	$E_g \text{ (J)}$	$E_k + E_g \text{ (J)}$
0	0	4,70	4,70
0,1	0,09	4,61	4,70
0,2	0,38	4,32	4,70
0,3	0,86	3,84	4,70
0,4	1,53	3,17	4,70
0,5	2,40	2,30	4,70
0,6	3,45	1,25	4,70
0,7	4,70	0	4,70

Z obliczeń wynika, że suma energii kinetycznej i energii grawitacji jabłka nie zmienia się podczas jego spadania.



Przykład 1.

W skateparku deskorolkarz stoi na krawędzi rampy na wysokości $h = 2\text{ m}$ nad ziemią (ryc.). Jaką prędkość uzyska na dole rampy, gdy zjeździe swobodnie? Tarcie pomijamy.



Przypomnijmy, że siła nacisku podłoża działająca na deskorolkarza nie zmienia jego energii, dzięki czemu możemy zastosować zasadę zachowania energii mechanicznej. Energia mechaniczna deskorolkarza na początku, kiedy stoi na krawędzi rampy, jest równa jego energii mechanicznej na końcu zdarzenia, czyli kiedy już jest na dole rampy.

$$E_1 = E_2$$

$$E_{g1} + E_{k1} = E_{g2} + E_{k2}$$

Podstawiamy: $E_{g1} = mgh$, $E_{k1} = 0$, $E_{k2} = \frac{1}{2}mv_2^2$, $E_{g2} = 0$.

Uzyskujemy równanie:

$$mgh = \frac{1}{2}mv_2^2$$

i po przekształceniu otrzymujemy:

$$v_2 = \sqrt{2hg} = \sqrt{2 \cdot 2\text{ m} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 6,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Prędkość deskorolkarza na dole rampy wynosi 6,3 m/s.

Jeszcze raz zapiszmy końcowy wzór z przykładu 1. w nieco innej postaci:

$$v^2 = 2hg$$

Ten wzór wiąże ze sobą prędkość ciała w najniższym położeniu z wysokością, na której prędkość ciała wynosi zero (gdy pomijamy siły oporów ruchu). Możemy go stosować w sytuacji, gdy ciało zjeżdża lub spada w dół, obojętnie po jakim torze, albo gdy pchnięte z prędkością v podjeżdża pod górę na wysokość h .

Przykład 2.

Julia stoi na balkonie na wysokości 8 m i rzuca z prędkością 6 m/s jabłko, które łapie Romeo stojący na dziedzińcu. Jaka jest prędkość jabłka w momencie, gdy łapie je Romeo?

Rzucone jabłko porusza się po krzywej zwanej parabolą (ryc.). Ruch jabłka nie jest jednostajnie przyspieszony, więc nie możemy tu skorzystać ze znanych równań ruchu. W przypadku rzuconego jabłka opór powietrza można pominąć, więc energia mechaniczna jabłka w tym zdarzeniu się nie zmienia.

Zasada zachowania energii mechanicznej pozwala ułożyć równanie, z którego wyznaczymy szukaną prędkość. Suma energii kinetycznej i energii grawitacji jabłka w momencie, gdy opuszcza ono dłonie Julii, jest równa sumie energii kinetycznej i energii grawitacji jabłka w momencie, gdy łapie je Romeo:

$$E_{k1} + E_{g1} = E_{k2} + E_{g2}$$

Jako poziom odniesienia dla energii grawitacji przyjmijmy położenie jabłka w momencie złapania. Wówczas końcowa energia grawitacji będzie wynosić 0, a wysokość początkowa jabłka 8 m (zakładamy, że Romeo i Julia są mniej więcej jednakowego wzrostu).

Po podstawieniu wzorów nasze równanie przyjmie postać:

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh = \frac{1}{2}mv_2^2 + 0$$

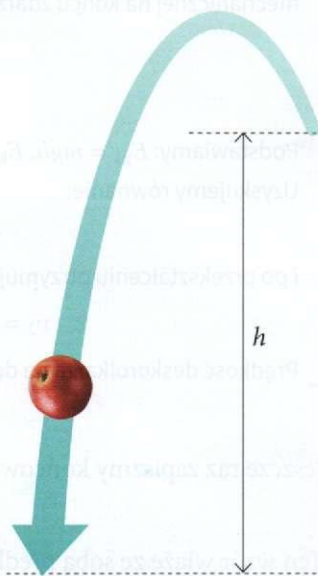
Po przekształceniu wzoru i podstawieniu danych otrzymujemy:

$$\begin{aligned} v_2 &= \sqrt{v_1^2 + 2gh} = \\ &= \sqrt{\left(6 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 8 \text{ m}} \approx 14 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Zwróćmy uwagę na fakt, że prędkość końcowa jabłka nie zależy od tego, pod jakim kątem Julia je rzuci.



Średniowieczna kamienica z hipotetycznym balkonem Julii w Weronie



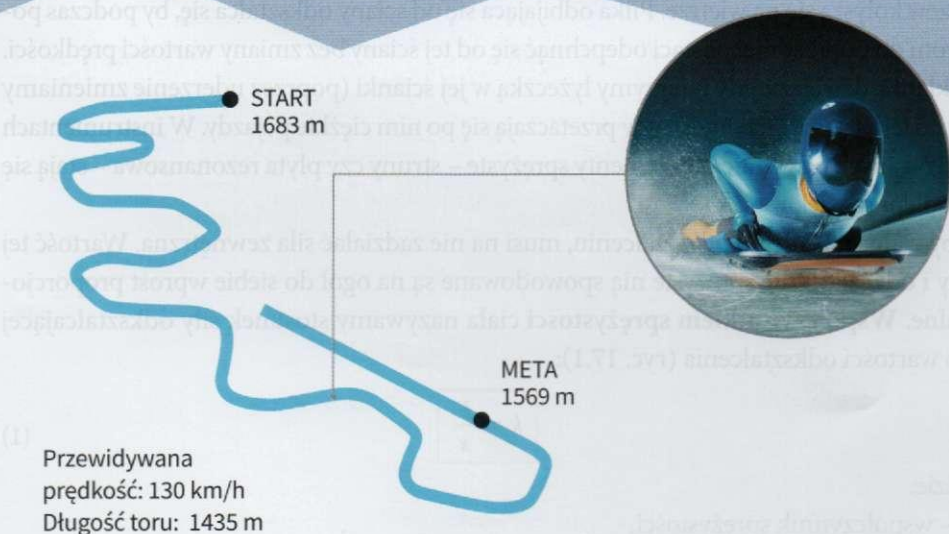
Gdy ułożymy bilans energetyczny, czyli porównamy energię na początku i na końcu zdarzenia, możemy obliczyć prędkość ciała, nawet gdy ruch jest dosyć złożony.

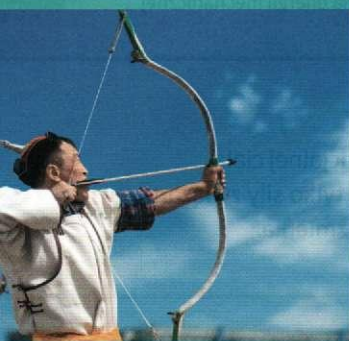
PODSUMOWANIE

- ▶ **Energia mechaniczna** jest sumą energii kinetycznej i energii potencjalnej ciała.
- ▶ **Zasada zachowania energii mechanicznej:** gdy na ciało działają tylko siły związane z jego energią potencjalną, energia mechaniczna tego ciała się nie zmienia.

PYTANIA I ZADANIA

1. Na podstawie danych z tabeli 1. narysuj wykres zależności E_k i E_g od czasu. Z wykresu odczytaj:
 - a) czas, po jakim energia kinetyczna będzie równa energii grawitacji;
 - b) informacje o tym, jaką część energii mechanicznej jabłka stanowi jego energia kinetyczna w połowie czasu spadania.
2. Dlaczego trudniej jest iść pod górę niż poziomo? Odpowiedź uzasadnij z odwołaniem się do pojęcia energii.
3. Strzałę wystrzelono z łuku pionowo do góry z prędkością 30 m/s. Oblicz wysokość, na jaką doleci strzała.
4. Kulka toczy się po stole z prędkością 4 m/s, mija krawędź stołu i spada na podłogę. Oblicz prędkość, z jaką uderzy o podłogę. Wysokość stołu wynosi 1 m.
5. Na rysunku poniżej przedstawiony jest schemat toru saneczkowego. Odczytaj z rysunku potrzebne wielkości i oszacuj, jaki procent energii mechanicznej traci saneczkarz na pokonanie oporów ruchu.





17. Energia sprężystości

- Odształcenia sprężyste
- Współczynnik sprężystości
- Energia sprężystości

Przypomnij sobie, jakie są własności mechaniczne ciał stałych.

Ciała stałe na ogół zachowują swój kształt. Ta ich cecha jest wykorzystywana do konstruowania różnego typu przedmiotów czy wznoszenia ogromnych, często skomplikowanych konstrukcji. Jednak kształt i rozmiary ciał stałych mogą się nieco zmieniać: wskutek ogrzania ciała stałego zwiększają się jego rozmiary, natomiast gdy działa siła zewnętrzna – zmienia się kształt ciała. Zwykle te zmiany są niezauważalne, ale za pomocą precyzyjnych przyrządów można je zmierzyć. Zresztą chyba każdy z nas kiedyś czuł, jak drży podłoga, gdy obok domu przejeżdża jakiś ciężki pojazd. Skoro podłoga drży, to znaczy, że na chwilę minimalnie zmienia się jej kształt i zaraz wraca do pierwotnej postaci.

Odształcenia sprężyste

Zmianę kształtu ciała stałego w sposób nietrwały, czyli taki, że ciało samo wraca do poprzedniego kształtu po ustaniu siły odkształcającej, nazywamy **odkształceniem sprężystym**. Tego typu odkształcenia w naszym otoczeniu są bardzo powszechne. Gałęzie drzew kołyszą się na wietrze. Piłka odbijająca się od ściany odkształca się, by podczas powrotu do poprzedniej postaci odepchnąć się od tej ściany bez zmiany wartości prędkości. Szklanka dzwięczy, gdy uderzymy łyżeczką w jej ścianki (poprzez uderzenie zmieniamy nieco jej kształt). Drży most, gdy przetaczają się po nim ciężkie pojazdy. W instrumentach muzycznych odkształcane elementy sprężyste – struny czy płyta rezonansowa – stają się źródłem dźwięku.

Aby ciało stałe uległo odkształceniu, musi na nie zadziałać siła zewnętrzna. Wartość tej siły i odkształcenie sprężyste nią spowodowane są na ogół do siebie wprost proporcjonalne. **Współczynnikiem sprężystości** ciała nazywamy stosunek siły odkształcającej do wartości odkształcenia (ryc. 17.1):

$$k = \frac{F}{x}$$

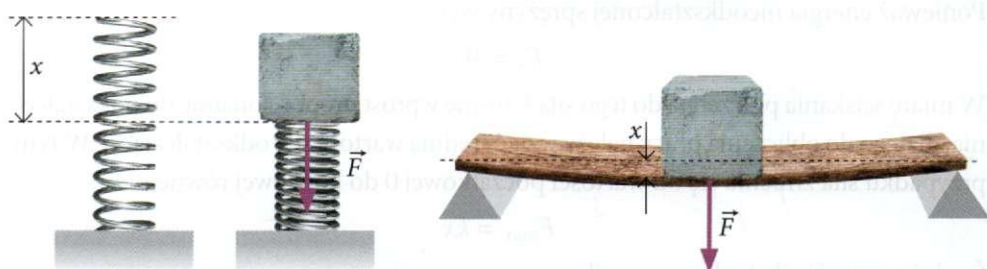
(1)

gdzie:

k – współczynnik sprężystości,

F – wartość siły odkształcającej,

x – odkształcenie ciała.



Ryc. 17.1. Miarą odkształcenia może być zmiana długości (np. w sprężynie, która jest rozciągana lub ściskana), ale może nią być także odległość (np. w listewce lub desce, której koniec lub środek przesunie się pod wpływem siły)

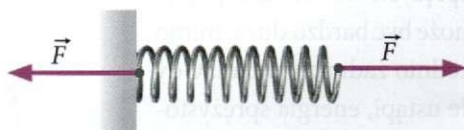
Współczynnik sprężystości charakteryzuje dane ciało i sposób jego odkształcenia, a nie materiał, z którego jest zrobione. Z tej samej stali można zrobić miękką sprężynę lub sztywną belkę.

Gdy siła odkształcająca jest zbyt duża, ciało zostanie odkształcone w sposób trwały, czyli nie wróci do poprzedniego kształtu.

WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Para sił odkształcających

Na odkształcane ciała (np. z ryc. 17.1) działają jeszcze siły w punkcie ich zaczepienia i właśnie dlatego te ciała mogą spoczywać. Dla uproszczenia mówimy o jednej sile odkształcającej, choć w rzeczywistości są co najmniej dwie siły. Przedstawioną na rysunku sprężynę odkształca para przeciwnych sił o tej samej wartości. Gdyby faktycznie na sprężynę działała jedna siła, sprężyna miałaby przyspieszenie, a odkształcenie byłoby zupełnie inne.



Energia sprężystości

Aby odkształcić ciało, siła zewnętrzna musi wykonać pracę. Wobec tego odkształcone ciało ma pewną energię. Nazywamy ją **energią potencjalną sprężystości**. Spróbujmy znaleźć wzór pozwalający obliczyć energię odkształconego ciała.

Wyobraźmy sobie, że sprężynę z ryc. 17.1 chcemy ścisnąć o długość x . Wtedy na jej swobodny koniec musimy zadziałać siłą zewnętrzną F . Praca siły F będzie równa zmianie energii sprężyny:

$$W = \Delta E_s$$

Ponieważ energia nieodkształconej sprężyny wynosi 0, to:

$$E_s = W$$

W miarę ściskania potrzebna do tego siła F rośnie wprost proporcjonalnie do odkształcenia, dlatego do obliczenia pracy należy wziąć średnią wartość siły odkształcającej. W tym przypadku siła zmienia się od wartości początkowej 0 do końcowej równej:

$$F_{\max} = kx$$

Średnia wartość siły będzie wynosiła:

$$F_{\text{sr}} = \frac{1}{2} \cdot (0 + F_{\max}) = \frac{1}{2} kx$$

Energia tak odkształconej sprężyny będzie zatem równa:

$$E_s = W = F_{\text{sr}} \cdot x = \frac{1}{2} kx^2$$

Uzyskaliśmy wzór na energię sprężystości dowolnego ciała, które zostało odkształcone sprężystości:

$$E_s = \frac{1}{2} kx^2$$

gdzie:

E_s – energia sprężystości,

k – współczynnik sprężystości,

x – odkształcenie ciała.

Ciała twarde, które nie zmieniają w widoczny sposób kształtu czy rozmiarów pod działaniem nawet dużych sił (np. pręty stalowe), charakteryzują się dużym współczynnikiem sprężystości. Energia sprężystości w takich ciałach może być bardzo duża, mimo że nie widzimy bezpośrednio żadnych zmian. Gdy siła odkształcająca nagle ustąpi, energia sprężystości zostanie przekształcona na przykład w energię

Ryc. 17.2. Odkształcenie struny kontrabasu podczas grania wymaga znacznie więcej energii niż odkształcenie struny gitary ze względu na większy współczynnik sprężystości struny i większe odkształcenie. Zwróć uwagę na układ dłoni muzyków szarpących strunę



kinetyczną układu. Struna gitary, gdy się zerwie, może boleśnie uderzyć gitarzystę. Z tego powodu nie należy bez potrzeby przebywać w pobliżu pracujących urządzeń, jak dźwigi czy wyciągarki, w których liny napięte są dużymi siłami.

Przykład 1.

Obliczmy energię sprężystości liny stalowej, na której wisi betonowa płyta o masie 6 ton. Współczynnik sprężystości stalowej liny o długości 20 m i średnicy 1 cm wynosi $8,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}$.

Siła sprężystości równoważy ciężar płyty. Skorzystajmy ze wzoru (1) i obliczmy, o ile wydłuży się lina pod takim ciężarem:

$$x = \frac{F}{k} = \frac{mg}{k} = \frac{6000 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{8 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}}} \approx 0,074 \text{ m}$$

Energia sprężystości obciążonej liny:

$$E_s = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (0,074 \text{ m})^2 \approx 2200 \text{ J}$$

Ta wartość jest porównywalna z energią pocisku wystrzelonego z karabinu. Gdyby lina została uwolniona od obciążenia w sposób niekontrolowany (np. wskutek nieprawidłowego zamocowania ładunku), jej energia kinetyczna byłaby właśnie tego rzędu.

WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Łuk i kusza

Już od dawna ludzie konstruują urządzenia wykorzystujące energię sprężystości odkształconych ciał. Jednym z pierwszych takich urządzeń był łuk.

Gdy naciągamy cięciwę łuku, wykonujemy pracę, dzięki której rośnie energia sprężystości łuku. Po zwolnieniu cięciwy energia sprężystości zmienia się w energię kinetyczną układu strzała-łuk. Wystrzelona strzała przejmie około 50% nagromadzonej energii (zależy to od konstrukcji łuku).



Na podobnej zasadzie działała kusza (patrz ryc.). Współczynnik sprężystości ramion kuszy był większy niż w przypadku łuku, więc naciągnięcie kuszy wymagało znacznie większej siły. Kuszę naciągano się dwiema rękami lub korbą. Energia strzały wystrzelonej z kuszy była wystarczająca do przebicia każdego pancerza.

Przykład 2.

Wojtek skoczył na środek trampoliny ogrodowej z pewnej wysokości. Maksymalne ugięcie trampoliny po skoku Wojtka wyniosło 0,6 m. Masa Wojtka to 60 kg, zaś współczynnik sprężystości trampoliny jest równy 6000 N/m. Obliczmy, z jakiej wysokości nad trampoliną skoczył Wojtek.

Odległość między najwyższym i najniższym położeniem Wojtka wynosiła $h + x$. Jako poziom zerowy przyjmujemy najniższe położenie Wojtka.

Zgodnie z zasadą zachowania energii porównamy energię mechaniczną układu na początku zdarzenia – Wojtek stoi nad trampoliną – i na końcu zdarzenia – trampolina jest maksymalnie ugięta (ryc.):

$$E_1 = E_2$$

Energia kinetyczna na początku i na końcu była równa zero, więc równanie zapiszemy:

$$E_{g1} + E_{s1} = E_{g2} + E_{s2}$$

Po uwzględnieniu, że $E_{s1} = 0$ i $E_{g2} = 0$, oraz podstawieniu odpowiednich wzorów otrzymujemy:

$$mg(h + x) = \frac{1}{2} kx^2$$

Dzielimy obie strony równania przez mg :

$$h + x = \frac{1}{2} \frac{kx^2}{mg}$$

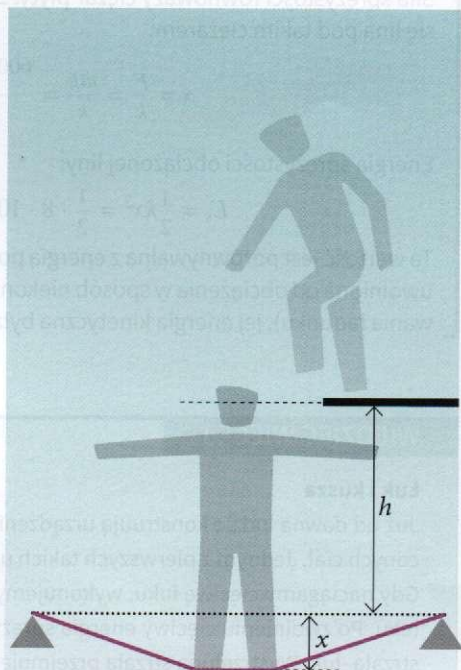
Po przekształceniu otrzymujemy:

$$h = \frac{1}{2} \frac{kx^2}{mg} - x$$

Podstawiamy dane:

$$h = \frac{6000 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (0,6 \text{ m})^2}{2 \cdot 60 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} - 0,6 \text{ m} \approx 1,2 \text{ m}$$

Wojtek skoczył z wysokości 1,2 m.



Jeszcze do niedawna w większości zegarków naręcznych była wykorzystywana energia sprężystości. W ich wnętrzu była sprężyna, którą naciągało się podczas nakręcania zegarka. Siła sprężystości wykonywała pracę – pokonywała tarcie mechanizmów zegarka kosztem energii sprężystości.

Współcześnie energia niewielkich sprężynek w zawiasach meblowych, zgromadzona podczas otwierania szafek, domyka za nas drzwiczki mebli.

PODSUMOWANIE

- **Energię sprężystości** mają ciała odkształcone sprężystości. Obliczamy ją ze wzoru:

$$E_s = \frac{1}{2} kx^2$$

- Odształcenie sprężyste jest nietrwałe.
- **Współczynnik sprężystości** opisuje odkształcanie ciała; im jest większy, tym większej siły wymaga odkształcenie ciała:

$$k = \frac{F}{x}$$

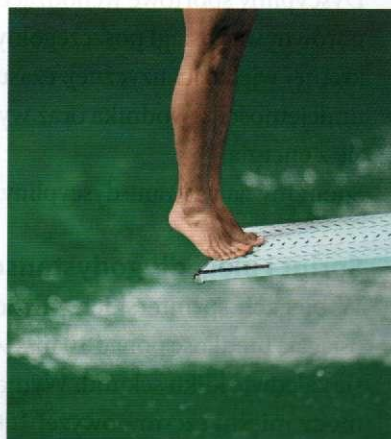
PYTANIA I ZADANIA

1. Trampolina do skoków do wody (fot.) ma współczynnik sprężystości 2000 N/m. Oblicz, o ile obniży się krawędź deski, gdy powoli, bez powodowania drgań, wejdzie na nią zawodnik o masie 60 kg.
2. Gdy gramy w siatkówkę lub piłkę nożną zbyt mocno napompowaną piłkę, mówimy, że jest za twarda. Wyjaśnij, odwołując się do wiedzy o sile i energii sprężystości, dlaczego źle się gra taką piłką.
3. Strzała wystrzelona z łuku ma prędkość 50 m/s, a jej masa to 20 g. Oszacuj pracę, jaką wykonał łucznik podczas naciągania łuku przed wystrzałem. Skorzystaj z informacji w treści rozdziału.
4. Skoki na bungee to jeden ze sportów ekstremalnych. Są to skoki z dużej wysokości z przywiązaną do nóg sprężystą liną, która ma za zadanie wyhamować skoczka nad ziemią. Zwykle lina jest zamocowana do platformy, z której się skacze (fot.).

Przyjmijmy, że długość początkowa liny (gdy lina nie jest naprężona) wynosi 20 m, masa skoczka to 90 kg, a współczynnik sprężystości liny to 100 N/m. Skoczek całkowicie wyhamowuje po przebyciu w powietrzu drogi 50 m.

Przedstaw na wykresie w jednym układzie współrzędnych, jak energia grawitacji i energia kinetyczna skoczka oraz energia sprężystości liny zależą od odległości od platformy. Skorzystaj z zasady zachowania energii mechanicznej.

5. Oblicz siłę, z jaką lina działa na skoczka z poprzedniego zadania w momencie zatrzymania się.





18. Energia mechaniczna w sporcie

- Biegi
- Rzuty
- Skoki

Przypomnij sobie wiadomości o energii mechanicznej.

Dyscypliny sportowe wchodzące w skład lekkoatletyki pozwalają w sposób obiektywny porównywać osiągi poszczególnych zawodników. Po prostu dokonuje się pomiaru konkretnej wielkości fizycznej: czasu, odległości, wysokości. Uzyskiwane wyniki zależą od umiejętności zawodnika oraz wydolności jego organizmu, co w pewnym stopniu wiąże się z energią.

Spójrzmy na wybrane dyscypliny sportowe z punktu widzenia przemian energetycznych.

Sprint i biegi długodystansowe

W biegach sprinterskich zawodnicy osiągają prędkość ponad 10 m/s w czasie zaledwie kilku sekund. Wymaga to mocy mięśni często powyżej 1000 W (przykład 1.). Tak dużą moc człowiek może utrzymać tylko przez kilkanaście sekund. Wtedy mięśnie pracują na tzw. długi tlenowy, czyli korzystają z zasobów energetycznych zgromadzonych w komórkach. Podczas długotrwałego wysiłku układ krwionośny cały czas musi dostarczać tlen do komórek mięśni, dlatego rośnie wówczas tętno. W przypadku długotrwałego wysiłku średnia moc sportowca jest rzędu 600 W.

Ryc. 18.1. Sylwetka sprintera jest zupełnie inna niż sylwetka biegacza długodystansowego. Atletyczna budowa ciała sprzyja dużemu, ale krótkotrwałemu wysiłkowi





Ryc. 18.2. Podczas biegu przy każdym kroku ciało się nieco unosi i zwiększa swoją energię grawitacji

Przykład 1.

Oszacujmy moc sprintera podczas rozpędzania się od startu do prędkości 10 m/s. Przyjmijmy, że czas rozpędzania to 3 s, a masa zawodnika to 90 kg.

Moc zawodnika obliczamy ze wzoru:

$$P = \frac{W}{t}$$

Możemy przyjąć, że praca mięśni zawodnika jest równa zmianie jego energii, w tym przypadku energii kinetycznej:

$$W = \Delta E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Po podstawieniu danych:

$$W = \frac{1}{2} \cdot 90 \text{ kg} \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 4500 \text{ J}$$

Moc zawodnika będzie zatem równa:

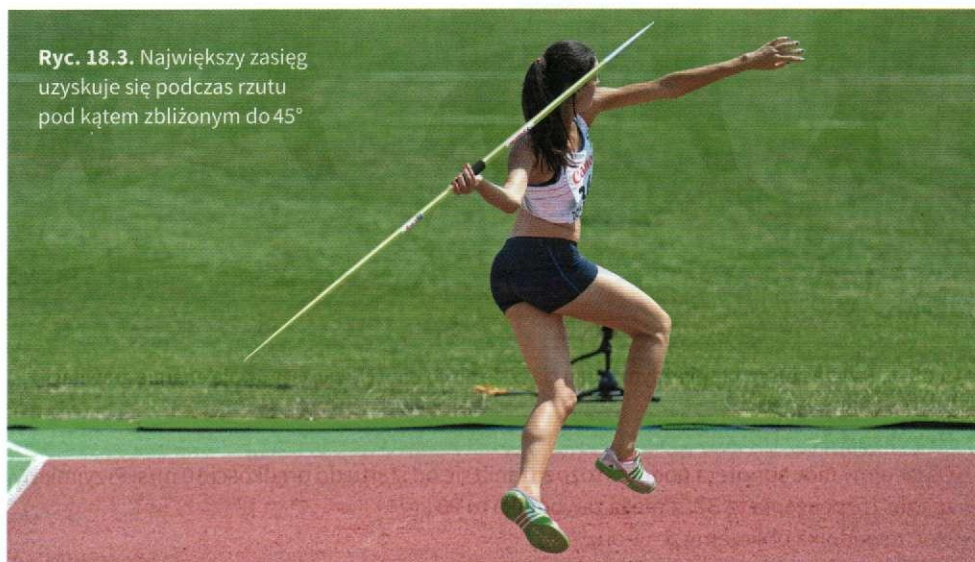
$$P = \frac{W}{t} = \frac{4500 \text{ J}}{3 \text{ s}} = 1500 \text{ W}$$

Warto się zastanowić, dlaczego w ogóle bieganie czy chodzenie wymagają wysiłku, czyli pracy wykonywanej przez mięśnie. Wydaje się, że gdy biegniemy po poziomej powierzchni, nie zmieniają się ani nasza energia kinetyczna, ani energia grawitacji. Jednak podczas każdego kroku ciało zawodnika nieco się unosi, czyli zwiększa swoją energię grawitacji (ryc. 18.2). Dodatkowo podczas biegu noga, która została z tyłu, musi być przeniesiona do przodu, a to wymaga zmiany prędkości kończyny, a zatem zmiany energii kinetycznej.

Rzuty

W dyscyplinach polegających na rzucaniu przedmiotu określonego przepisami (kula, oszczep, dysk, młot) zadaniem zawodnika jest nadanie temu przedmiotowi jak największej prędkości w odpowiednim kierunku. Dzieje się to dzięki pracy mięśni zawodnika. Praca ta równa jest zmianie energii kinetycznej rzucanego przedmiotu i samego zawodnika, który zwykle przejmuje jej większą część.

Okazuje się, że jeśli pominąć opór powietrza, największy zasięg rzutu przy zadanej prędkości początkowej uzyskamy podczas rzutu pod kątem około 45° do poziomu (ryc. 18.3).



Ryc. 18.3. Największy zasięg uzyskuje się podczas rzutu pod kątem zbliżonym do 45°

Przykład 2.

Oszczepnik rzuca oszczep z prędkością 30 m/s . Masa oszczepu wynosi $0,8 \text{ kg}$, a rzut razem z rozbiegiem trwa 2 s . Oszacujmy, jaki procent pracy mięśni oszczepnika zmienia się w energię kinetyczną oszczepu.

W tej dyscyplinie zawodnik po krótkim rozbiegu bierze zamach i nadaje oszczepowi jak największą prędkość. W fazie przygotowawczej podczas rozbiegu pracę wykonują prawie wszystkie mięśnie zawodnika, pracujące na długu tlenowym, gdyż wysiłek jest krótkotrwały. Możemy zatem przyjąć, że moc zawodnika jest rzędu 1500 W (podobnie jak sprintera). Praca wykonana przez zawodnika wynosi zatem:

$$W = Pt = 1500 \text{ W} \cdot 2 \text{ s} = 3000 \text{ J}$$

Energia kinetyczna oszczepu w momencie wyrzutu jest równa:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,8 \text{ kg} \cdot \left(30 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 360 \text{ J}$$

Iloraz energii kinetycznej oszczepu i całkowitej energii zawodnika uzyskanej w wyniku pracy jego mięśni wynosi:

$$\frac{E_k}{W} = \frac{360 \text{ J}}{3000 \text{ J}} = 0,12$$

Oszczep przejmuje zatem niewiele ponad 10% pracy mięśni zawodnika. Warto zwrócić uwagę, jak ważne są umiejętności w sporcie. W zależności od techniki wykonywania rzutu można więcej lub mniej energii przekazać oszczepowi przy tym samym wysiłku mięśni.

Skoki

Każdy z nas wie, że z rozbiegu skoczmy dalej lub wyżej niż z miejsca. Nie każdy skał z tyczką, ale i tak wiemy, że trzeba wziąć rozbieg. W przypadku skoku w dal jest to zrozumiałe. Żeby skoczyć daleko, trzeba poruszać się z jak największą prędkością i przez jak najdłuższy czas nie dotykać nogami ziemi. Dlatego zawodnicy na rozbiegu biegną bardzo szybko, a na belce, od której mierzy się długość skoku, wybijają się do góry.

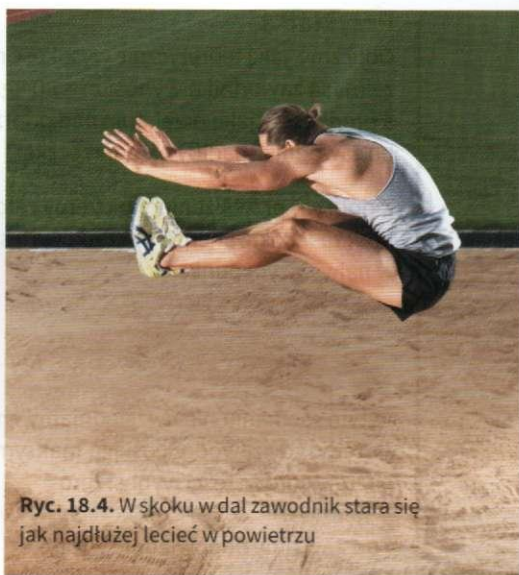
Po odbiciu poruszają się ruchem jednostajnym w kierunku poziomym z prędkością taką, jaką uzyskali na rozbiegu, a mocne wybiecie do góry pozwala im długo lecieć w powietrzu (ryc. 18.4). W skoku wzwyż jest nieco inaczej. Zawodnicy nie biegną tak szybko i samo odbicie jest inne. Warto zastanowić się, po co w ogóle zawodnicy rozpędzają się w kierunku poziomym, skoro skok jest w pionie.

Podczas skoku wzwyż zawodnik musi uzyskać na krótką chwilę jak największą energię grawitacji w stosunku do podłoża. Na rozbiegu skoczek zwiększa swoją energię kinetyczną. W momencie wybiecia, kiedy mocno naciska stopą na podłoże, część jego energii kinetycznej przejmują ścięgna i mięśnie w postaci energii sprężystości. Same ścięgna odkształcają się zaledwie o 8%, ale energia sprężystości naprężonego ścięgna może sięgać nawet 5 J na 1 cm³ tkanki. Ta energia przekształca się znowu w energię kinetyczną, lecz tym razem prędkość jest skierowana w górę.

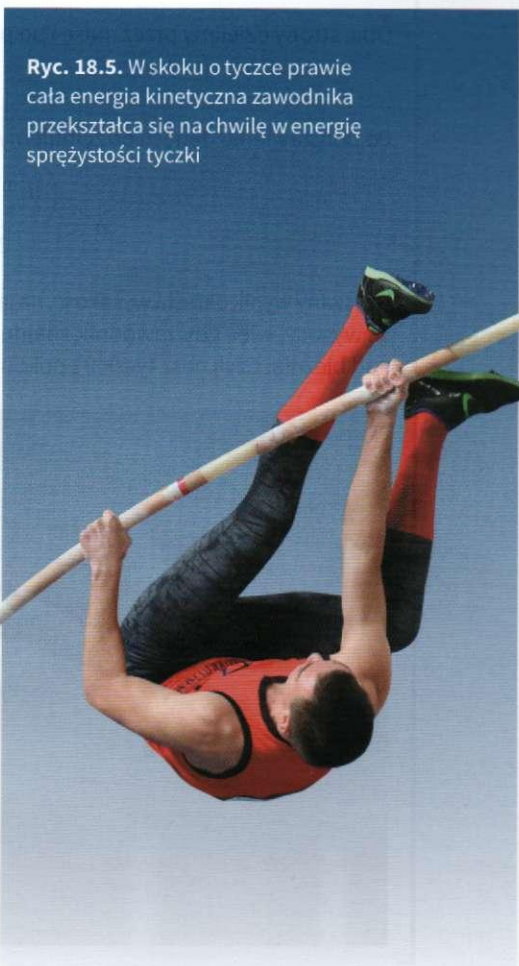
Ten mechanizm gromadzenia energii przez ścięgna i mięśnie zachodzi podczas każdej aktywności fizycznej. Właśnie dlatego tak ważna jest rozgrzewka przed ćwiczeniami czy treningiem – pozwala ona uelastycznić ścięgna, dzięki czemu zmniejsza się również ryzyko urazów.

W przypadku skoku o tyczce przemiany energetyczne są podobne jak w skoku wzwyż, z tą różnicą, że energię kinetyczną rozpędzonego zawodnika przejmuje prawie w całości naprężona tyczka (ryc. 18.5).

Udział pracy mięśni zawodnika podczas wybiecia i w dalszej części skoku jest niewielki w stosunku do energii sprężystości tyczki. Ta energia zmienia się w energię grawitacji skoczka, co pozwala mu przejść nad wysoko zawieszoną poprzeczką.



Ryc. 18.4. W skoku w dal zawodnik stara się jak najdłużej lecieć w powietrzu



Ryc. 18.5. W skoku o tyczce prawie cała energia kinetyczna zawodnika przekształca się na chwilę w energię sprężystości tyczki

Przykład 3.

Obliczmy, jaką teoretycznie wysokość może osiągnąć zawodnik w skoku o tyczce. Przyjmijmy, że masa zawodnika wynosi $m = 80$ kg, prędkość, jaką uzyskuje na rozbiegu, to $v_1 = 10$ m/s, a prędkość, z jaką przelatuje nad poprzeczką, to $v_2 = 1$ m/s (prędkość nie może wynosić zero, bo zawodnik spadłby na poprzeczkę).

Z dobrym przybliżeniem możemy założyć, że energia mechaniczna skoczka nie zmienia się podczas skoku. Energią początkową jest jego energia na rozbiegu, a energią końcową – energia w najwyższym punkcie.

$$E_1 = E_2$$

$$E_{k1} + E_{g1} = E_{k2} + E_{g2}$$

W tym równaniu nie uwzględniamy energii sprężystości tyczki, bo zarówno na rozbiegu, jak i wtedy, gdy zawodnik osiąga maksymalną wysokość, tyczka nie jest odkształcona, więc jej energia sprężystości wynosi zero.

Podstawiamy odpowiednie wzory:

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + 0 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh$$

Obie strony dzielimy przez masę i po przekształceniu otrzymujemy:

$$h = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}$$

Po podstawieniu danych otrzymujemy:

$$h = \frac{\left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - \left(1 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 5,05 \text{ m}$$

Uzyskany wynik określa wysokość, na jaką wzniosł się środek masy tyczkarza. Tyczkarze z reguły są wysocy, więc gdy zawodnik znajduje się na rozbiegu, to jego środek masy jest około 1 m nad bieżnią. Czyli nasz tyczkarz pokonał poprzeczkę znajdującą się na wysokości ponad 6 m.



W naszych rozważaniach nie uwzględnialiśmy długości tyczki. Czy zawodnik skoczyłby wyżej, gdyby dysponował dłuższą tyczką? Oczywiście nie! Maksymalna wysokość związana jest z energią grawitacji tyczkarza, a ta zależy od energii kinetycznej na rozbiegu. Zbyt długa tyczka wręcz utrudniałaby wykonanie prawidłowego skoku. Co ciekawe, w przepisach IAAF (Międzynarodowa Federacja Lekkoatletyki) dotyczących skoku o tyczce czytamy, że tyczka może być dowolnej długości, dowolnej grubości i wykonana z dowolnego materiału.

PODSUMOWANIE

- U człowieka podczas biegu lub chodzenia przy każdym kroku zmienia się **energia grawitacji i energia kinetyczna** poszczególnych części ciała, co wymaga pracy mięśni.
- Rzuty wymagają nadania jak największej **energii kinetycznej** rzucanym obiektom.
- **Rozgrzewka** przed ćwiczeniami fizycznymi zwiększa elastyczność ścięgien i mięśni, dzięki czemu mogą one zmagazynować więcej energii.

PYTANIA I ZADANIA

1. W dyscyplinie zwanej pchnięciem kulą zawodnicy rzucają kulę o masie 7,25 kg. Oblicz energię kinetyczną i energię grawitacji kuli w momencie wyrzutu. Wiemy, że kula osiąga prędkość 14 m/s i opuszcza dłoń zawodnika na wysokości 2,2 m.
2. Zawodnik skaczący wzwyż potrafi przy odbiciu nadać swojemu ciału prędkość skierowaną do góry o wartości około 5 m/s. Czy ten zawodnik może przeskoczyć nad poprzeczką zawieszoną na wysokości 2 m? Skorzystaj z informacji zawartych w przykładzie 3.
3. Z jaką prędkością upadnie na ziemię kula pchnięta przez zawodnika z zadania 1.?
4. Odległość uzyskiwana podczas rzutu młotem jest porównywalna z odległością uzyskiwaną w rzucie oszczepem, mimo że oszczep jest około 10 razy lżejszy od młota. Jak to wyjaśnić?
5. Porównaj początkową energię kinetyczną oszczepu i kuli (dane w przykładzie 2. i w zadaniu 1.). Jak wyjaśnisz tak dużą różnicę, skoro zawodnicy podczas rzutu wykonują podobną pracę?

ENERGIA I JEJ PRZEMIANY

ENERGIA I JEJ RODZAJE

- ▶ **Energia** jest miarą zdolności ciała do oddziaływania z innymi ciałami.
- ▶ **Energię potencjalną grawitacji** mają ciała oddziałujące grawitacyjnie. Gdy jedno z ciał ma masę nieporównywalnie większą od drugiego (np. Ziemia i ciała przy jej powierzchni), tę energię w całości przypisujemy lżejszemu ciału. Energię grawitacji obliczamy ze wzoru:

$$E_g = mgh$$

gdzie:

m – masa ciała,

g – przyspieszenie ziemskie,

h – wysokość nad wcześniej ustalonym poziomem, dla którego przyjmujemy zerową wartość energii.

- ▶ Ciała odkształcone sprężystością mają **energię sprężystości**, którą obliczamy ze wzoru:

$$E_s = \frac{1}{2}kx^2$$

gdzie:

k – współczynnik sprężystości charakteryzujący ciało,

x – miara odkształcenia ciała.

- ▶ Ciało będące w ruchu ma **energię kinetyczną**. Zależy ona od układu odniesienia, względem którego analizujemy dane zjawisko.

Energię kinetyczną obliczamy ze wzoru:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

gdzie:

m – masa ciała,

v – prędkość ciała.

- ▶ **Energią mechaniczną** nazywamy sumę energii kinetycznej i energii potencjalnej (np. grawitacji, sprężystości) ciała.

ENERGIA CAŁKOWITA I ZASADA ZACHOWANIA ENERGII

- ▶ **Energia całkowita** ciała jest sumą wszystkich rodzajów energii tego ciała.

Energię tę można obliczyć ze wzoru Einsteina:

$$E = mc^2$$

gdzie:

m – masa ciała,

c – prędkość światła.

- ▶ **Zasada zachowania energii**: całkowita energia układu izolowanego nie zmienia się.
- ▶ **Zasada zachowania energii mechanicznej**: jeśli na ciało działa tylko siła ciężkości lub sprężystości, to jego energia mechaniczna nie zmienia się.

PRACA

- ▶ Energię całkowitą ciała może zmienić tylko siła zewnętrzna powodująca przemieszczenie tego ciała. Mówimy wtedy, że **siła wykonuje pracę nad ciałem** (lub nad układem ciał). Przyrost energii układu jest równy wykonanej pracy:

$$W = \Delta E$$

- ▶ Siła jest miarą oddziaływania jednego ciała na inne ciało. Wobec tego **praca to przekaz energii z jednego ciała do drugiego**. Można powiedzieć, że energia ciała to zdolność do wykonania przez nie pracy.
- ▶ Gdy siła jest skierowana tak jak przemieszczenie, jej pracę obliczamy ze wzoru:

$$W = F \cdot s$$

gdzie s to wartość wektora przemieszczenia.

- ▶ Gdy siła działa przeciwnie do przemieszczenia, pracę obliczamy ze wzoru:

$$W = -F \cdot s$$

- ▶ Siła prostopadła do przemieszczenia nie wykonuje pracy.
- ▶ Jednostką energii i pracy jest **dżul**: $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$.

MOC

- ▶ **Moc** określa szybkość wykonywanej przez układ pracy lub też szybkość przekazu energii, jaką układ przekazuje innemu układowi (praca to przekaz energii). Moc obliczamy ze wzoru:

$$P = \frac{W}{t}$$

gdzie:

W – wykonana praca,

t – czas wykonania pracy.

- ▶ Jednostką mocy jest **wat**: $1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$.

PYTANIA I ZADANIA

1. Ciało o masie 2 kg podniesiono pionowo do góry na wysokość 5 m i wykonano przy tym pracę 300 J.

Wybierz poprawne dokończenie zdania.

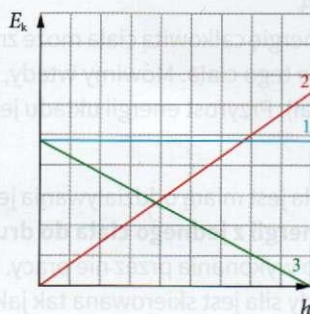
Przy założeniu, że początkowa energia grawitacji i energia kinetyczna wynosiły 0, można wnioskować, że na wysokości 5 m energia grawitacji i energia kinetyczna ciała wynoszą w przybliżeniu odpowiednio

- A. 150 J i 150 J.
- B. 200 J i 100 J.
- C. 100 J i 200 J.
- D. 300 J i 0 J.
- E. 0 J i 300 J.

2. Piłka spada swobodnie. Który z wykresów poprawnie przedstawia zależność energii kinetycznej piłki od wysokości, na jakiej się ona znajduje?

Wybierz poprawną odpowiedź.

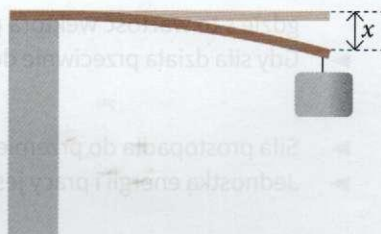
- A. Wykres 1.
B. Wykres 2.
C. Wykres 3.



3. Wybierz poprawne dokończenie zdania.

Gdy na poziomo umocowanej listewce zawieszono ciężarek o masie m , jej koniec obniżył się o x (ryc.). Gdy dołożono drugi taki sam ciężarek, energia sprężystości

- A. wzrosła mniej więcej o połowę.
B. wzrosła około 2 razy.
C. wzrosła około 3 razy.
D. wzrosła około 4 razy.



4. Model rakiety wyposażony w modelarski silnik raketowy ma masę 0,6 kg. Na wykresie przedstawiono zależność prędkości od czasu od chwili startu rakiety do momentu osiągnięcia przez nią maksymalnej wysokości.

- a) Odczytaj z wykresu, jak długo pracował silnik rakiety.
b) Omów przemiany energii zachodzące podczas lotu rakiety do góry.
c) Jaka była maksymalna energia kinetyczna rakiety?
d) Na jakiej wysokości skończyło się paliwo w silniku?
e) Oblicz energię grawitacji rakiety na maksymalnej wysokości.
f) Wyjaśnij, dlaczego praca silnika raketowego jest większa od energii mechanicznej rakiety.
g) Przyjmij, że na energię mechaniczną rakiety zmienia się 40% pracy silnika raketowego, i oblicz moc tego silnika.

