



Wyznaczanie energii kinetycznej obracającej się bryły sztywnej.

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



Wyznaczanie energii kinetycznej obracającej się bryły sztywnej.

Czy to nie ciekawe?

Gdy jedziemy rowerem, jego sztywna rama porusza się ruchem postępowym, ale koła również obracają się dookoła osi, na której są zamontowane. Znaczy to, że wyznaczenie całkowitej energii kinetycznej roweru wymaga opisanie zarówno energii kinetycznej ruchu postępowego jego środka masy, jak i energii kinetycznej ruchu obrotowego jego kół. Jak możemy wpływać na wartość tej energii? Możemy ją zwiększać, przykładając moment siły do pedałów, lub ją zmniejszać, zaciskając szczęki hamulca. Przyjrzyjmy się, jak opisać te przemiany energii.



Rys. a. Koło rowerowe z widocznym hamulcem typu "V".

Twoje cele

W tym materiale:

- dowiesz się, jak wyznaczyć energię kinetyczną obracającej się bryły sztywnej,
- zastosujesz zasadę zachowania energii w odniesieniu do rozpędzania i hamowania obrotu bryły sztywnej,
- wykorzystasz zdobytą wiedzę do rozwiązywania problemów i zadań.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Energię kinetyczną ruchu obrotowego bryły sztywnej obliczamy z definicji jako:

$$E_k = \frac{I\omega^2}{2},$$

gdzie I – moment bezwładności tej bryły względem osi, wokół której następuje obrót, ω – prędkość kątowa, z jaką bryła ta się obraca wokół tej osi.

Jeśli chcielibyśmy zatem wyznaczyć energię kinetyczną np. obracającego się koła rowerowego, musielibyśmy w tym celu wyznaczyć dwie wielkości: jego moment bezwładności oraz jego prędkość kątową.

Aby obliczyć moment bezwładności bryły sztywnej należy wiedzieć, jaki jest rozkład masy w tej bryle – dla koła rowerowego można przyjąć uproszczony model, że jest to cienkościenna obręcz. Znaczy to, że uznajemy masę szprych za zanedbywalną w stosunku do masy obręczy, dętki i opony. Wtedy wystarczy zważyć całe koło, otrzymując wynik m , oraz zmierzyć jego promień R . Następnie, korzystając z tablic fizycznych odczytujemy, że moment bezwładności dla takiej bryły to:

$$I_{\text{obręcz}} = mR^2.$$

Prędkość kątową obracającego się obiektu można mierzyć na wiele sposobów – ale w przypadku roweru najprościej skorzystać z często montowanego w rowerze [licznika](#) obrotów. Składa się on z układu cyfrowego z wyświetlaczem, montowanym na kierownicy, jak na Rys. 1., podłączonego do niego czujnika, instalowanego na widelcu (czyli części ramy rowerowej, która łączy się z osią koła) oraz z przymocowanego do szprychy małego magnesu. Za każdym razem, gdy magnes mija czujnik, czujnik zapisuje czas, w którym to się zdarzyło. Zatem mierząc kolejne „minięcia się” z magnesem licznik wie, ile czasu zajmuje pełen obieg koła oraz jaka jest częstotliwość obrotów (ile razy na minutę mija się z czujnikiem). W ten sposób licznik mierzy prędkość kątową, a znajomość wielkości promienia koła można obliczyć prędkość liniową roweru, z zależności $v = \omega R$. Jak tę wiedzę wykorzystać do obliczeń? Spójrzmy na następujący przykład.



Rys. 1. Licznik rowerowy.

Źródło: dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CatEye_Tomo_XC_CC-ST200.jpg [dostęp 9.10.2022], licencja: CC BY-SA 3.0.

Przykład 1

Przyjmijmy, że licznik zmierzył częstotliwość obrotu koła jako $f = 120$ obr/min. Masa całego roweru (ramy i kół) razem z rowerzystą to $m_r = 90$ kg, masa koła to $m_k = 3$ kg, a jego średnica to $d = 70$ cm. Jaka jest energia mechaniczna tego układu?

Najpierw wykorzystajmy informację o częstotliwości obrotu koła. Możemy z niej obliczyć prędkość kątową obrotu kół jako:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot \frac{120}{\text{min}} = 2\pi \cdot \frac{120}{60 \text{ s}} = 2\pi \cdot \frac{2}{\text{s}} \approx 12,57 \frac{\text{rad}}{\text{s}}.$$

Znając prędkość kątową i promień koła, możemy obliczyć prędkość liniową roweru, jako:

$$v = \omega R = \frac{\omega d}{2} = \frac{2\pi f d}{2} = \pi f d = \pi \cdot \frac{2}{\text{s}} \cdot 0,7 \text{ m} \approx 4,40 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 15,83 \frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

Większość masy koła, którą stanowi obręcz, dętka i opona, rozłożona jest na jego obwodzie. W części wewnętrznej znajdują się lekkie szprychy. Możemy zatem przyjąć, że koło rowerowe to cienka obręcz, zatem jej moment bezwładności wyniesie:

$$I_k = m_k R^2 = m_k \left(\frac{d}{2} \right)^2 = 3 \text{ kg} \cdot \left(\frac{0,7 \text{ m}}{2} \right)^2 = 0,3675 \text{ kg} \cdot \text{m}^2.$$

Możemy teraz obliczyć wartość energii kinetycznej ruchu obrotowego koła rowerowego, jako:

$$E_{k-obr} = \frac{I_k \omega^2}{2} = \frac{m_k \left(\frac{d}{2}\right)^2 (2\pi f)^2}{2} = \frac{m_k d^2 \pi^2 f^2}{2} \approx 29 \text{ J}.$$

Znając masę całości, możemy obliczyć energię ruchu postępowego:

$$E_{k-post} = \frac{m_r v^2}{2} = \frac{m_r (\pi f d)^2}{2} \approx 870,5 \text{ J}.$$

Jaka jest całkowita energia kinetyczna? Będzie to suma energii kinetycznej ruchu postępowego całego układu (roweru i rowerzysty) oraz energia kinetyczna ruchu obrotowego dwóch kół, stąd:

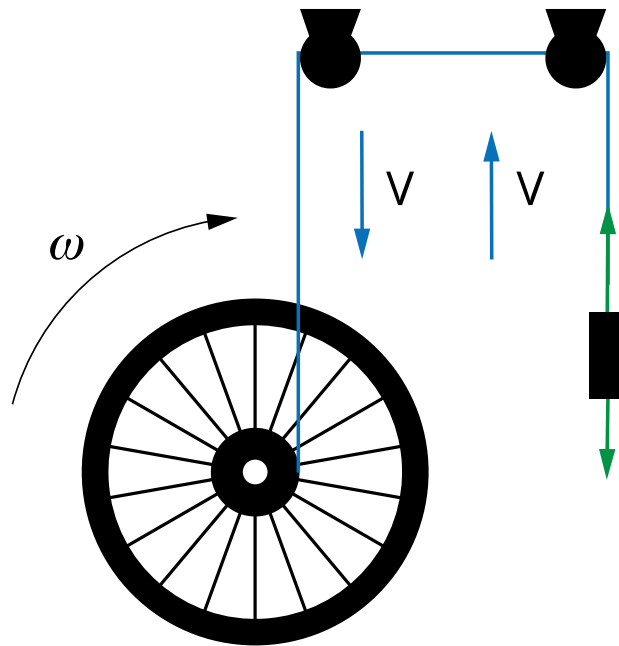
$$E_k = \frac{m_r v^2}{2} + 2 \frac{I_k \omega^2}{2} = 870,5 \text{ J} + 2 \cdot 29 \text{ J} = 928,5 \text{ J}.$$

Warto zwrócić uwagę na aspekt praktyczny – obniżenie masy dowolnego fragmentu roweru sprawia, że mniejszą pracę muszą wykonać nasze mięśnie, aby rozpędzić ten rower, czyli nadać mu odpowiednią energię mechaniczną. Jednakże redukcja masy koła daje nam podwójny zysk – zarówno zmniejsza się masa całego roweru, ale też zmniejsza się moment bezwładności koła. Spójrzmy jeszcze raz na równanie całkowitej energii mechanicznej, gdzie wcześniej podaliśmy masę całego układu jako jedną wartość:

$$E_k = \frac{m_r v^2}{2} + 2 \frac{I_k \omega^2}{2}, \quad E_k = \frac{(m_{rowerzysta} + 2 \cdot m_{koła} + m_{ramy}) v^2}{2} + 2 \frac{m_{koła} R^2 \omega^2}{2}.$$

Wykonaliśmy powyżej sporo obliczeń – jednakże, aby dowiedzieć się, jaka jest energia kinetyczna takiego obracającego się układu, wcale nie musimy obliczać jej ze wskazanego wzoru, wymagającego znajomości momentu bezwładności i prędkości kątowej. Szczególnie, jeśli nie mamy do czynienia z bryłą o znanym momencie bezwładności (np. ma nieregularny kształt, a nie mamy możliwości wyznaczenia eksperymentalnie momentu bezwładności) lub gdy pomiar prędkości kątowej jest utrudniony (nie posiadamy licznika albo analizujemy ruch elementu, który jest schowany wewnątrz innej konstrukcji, osłonięty). W tej sytuacji możemy wyznaczyć energię w zupełnie inny sposób – korzystając z zasady zachowania energii! Wiemy na jej podstawie, że zmiana energii układu wymaga wykonania pracy nad tym układem. Wartość wykonanej pracy W odpowiada zmianie energii E układu. Możemy zatem zbudować układ, w którym będziemy wiedzieć, jaką wykonano pracę lub jaka

nastąpiła zmiana energii – i na tej podstawie wnioskować, jaka jest energia kinetyczna ruchu obrotowego. Jak mógłby wyglądać taki układ? Przykład widać na Rys. 2. Rozkręcone koło rowerowe zamontowane jest na niewidocznej tutaj nieruchomej osi. Na oś nawija się lina, do której z drugiej strony doczepiony jest ciężar – naprężenie nici unosi ciężar do góry. W tym czasie rozkręcone koło będzie hamować, aż się zatrzyma, unosząc ciężar o masie M na wysokość H . Co to oznacza? Że siła naciągu nici, pochodząca z nawijania jej na obracające się koło, wykonała pracę $W = Mgh$. Jaka była energia kinetyczna tego koła? Zgodnie z zasadą zachowania energii – również MgH (zakładając brak strat energii w tym układzie).



Rys. 2. Układ pozwalający badać energię kinetyczną w ruchu obrotowym. Koło umocowane jest na nieruchomej osi, w trakcie obrotu koła nawijana jest na nie nić, która unosi ciężar.

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

W ten sposób wystarczy sam pomiar linijką wysokości ciężarka (którego masę nominalną znamy lub zważyliśmy go na wadze), żeby wyznaczyć początkową energię kinetyczną tego koła – mimo, że nie znaliśmy ani jego rozmiarów, ani wartości prędkości kątowej, z jaką się obracał. Natomiast jeśli nie znaliśmy np. prędkości kątowej koła z Rys. 2., ale zmierzylismy miarką jego promień R i zważyliśmy je, otrzymując masę m możemy tę prędkość wyznaczyć:

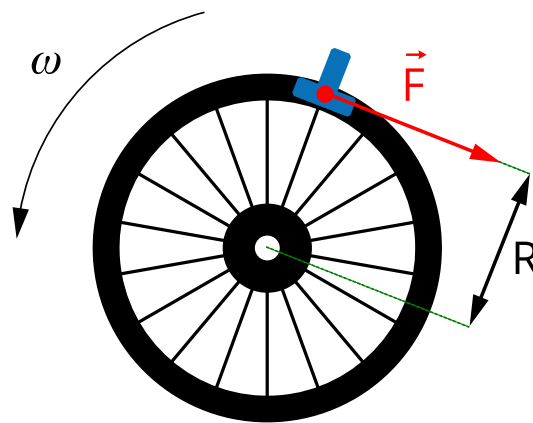
$$\frac{I\omega^2}{2} = Mgh,$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2Mgh}{I}} = \sqrt{\frac{2Mgh}{mR^2}}.$$

Metoda ta potrafi być bardzo użyteczna również w innych sytuacjach – zwróćmy uwagę, że rozpatrywanie niektórych zagadnień poprzez analizę sił może być skomplikowane. Na przykład, aby wyznaczyć moc silnika samochodowego można, znając szczegóły mechaniki układu napędowego, obliczać momenty sił powstające na wale korbowym... Ale byłoby to trudne. Jednakże można wielkość tę wyznaczyć prościej. Wystarczy podjechać pod górkę o znanej wysokości, mierząc czas, który to zajęło. Zmiana wysokości oznacza zmianę energii potencjalnej, czyli wykonanie przez silnik pracy. Moc obliczamy dzieląc pracę przez czas, w jakim ją wykonano. Oczywiście część pracy silnika została zużyta na przezwyciężenie oporów ruchu (tarcia i oporu powietrza), co należałoby uwzględnić w dokładniejszych obliczeniach.

W innych przykładach, poprzez wyznaczenie całkowitej zmiany energii i prosty pomiar jednego parametru (jak promień koła), można wyznaczyć inny parametr, trudniejszy do zmierzenia eksperymentalnie (jak prędkość kątową). Analogicznie możemy przyjrzeć się hamowaniu koła w poniższym przykładzie.

Kolejny **przykład**:



Rys. 3. Hamulec działający na koło rowerowe.

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

Zaciśnięcie szczęk hamulca powoduje przyłożenie siły o wartości F do ramy koła na jego obręczy, czyli w odległości R od jego środka (Rys. 3.). Powoduje to powstanie momentu siły hamującego ruch obrotowy – w efekcie prędkość kątowa koła się zmniejsza. Jak wyznaczyć wartość siły hamującej, czyli jak ocenić sprawność hamulca? Można rozkręcić koło o znanym momencie bezwładności do znanej prędkości kątowej – pozwoli to obliczyć energię kinetyczną ruchu obrotowego. Następnie zaciskamy szczęki hamulca i mierzymy kąt, o jaki przesunęło się koło od początku hamowania do całkowitego zahamowania. W zależności od wartości prędkości kątowej i siły hamowania wartość tego kąta będzie się bardzo zmieniać, trzeba więc zastosować różne metody pomiaru. Przykładowo, jeśli kąt będzie bardzo mały, potrzebna może być kamera nagrywająca film w zwolnionym tempie i analiza filmu klatka po klatce. Możliwe jest też pokrycie piasty łatwo ścierającą się substancją, np. markerem suchościeralnym do tablic, przez co widać będzie, w którym punkcie rozpoczęło się hamowanie, a w którym zakończyło. Jeśli koło obraca się wolniej,

może wystarczyć pojedynczy znacznik, np. kropka na piaście namalowana markerem permanentnym – zacisk hamulca następuje w momencie, gdy kropka jest pomiędzy szczebkami. Niezależnie od techniki eksperymentalnej, otrzymujemy z różną dokładnością wynik – zmierzmy kąt α . Jaką informację da nam pomnożenie tego kąta przez promień koła? Drogę, na jakiej działała siła F . Innymi słowy, możemy dokonać następującego rachunku:

$$W = Fs = F\alpha R.$$

Iloczyn siły i drogi, na jakiej ta siłą działa, daje nam informację o pracy wykonanej przez tę siłę. A praca ta została wykonana, aby zmniejszyć energię kinetyczną ruchu obrotowego do zera, zatem:

$$F\alpha R = \frac{I\omega^2}{2}.$$

$$F = \frac{I\omega^2}{2\alpha R}.$$

Podsumowując: analiza przemian energii i wykonanej pracy pozwala wyznaczać pożądane parametry układu.

Słowniczek

Komputer rowerowy

(ang.: *bike computer*) urządzenie wyznaczające parametry związane z ruchem roweru. W wersji podstawowej (tzw. „licznik rowerowy”) wyznaczana jest prędkość chwilowa, średnia i przebyty dystans.

Symulacja interaktywna

Wyznaczanie energii kinetycznej obracającej się bryły sztywnej.

Zapoznaj się z poniższą symulacją, która pozwala na zbadanie ruchu odważników po okręgu.

Wybierz poziom: ☐ podstawowy ☒ zaawansowany ?

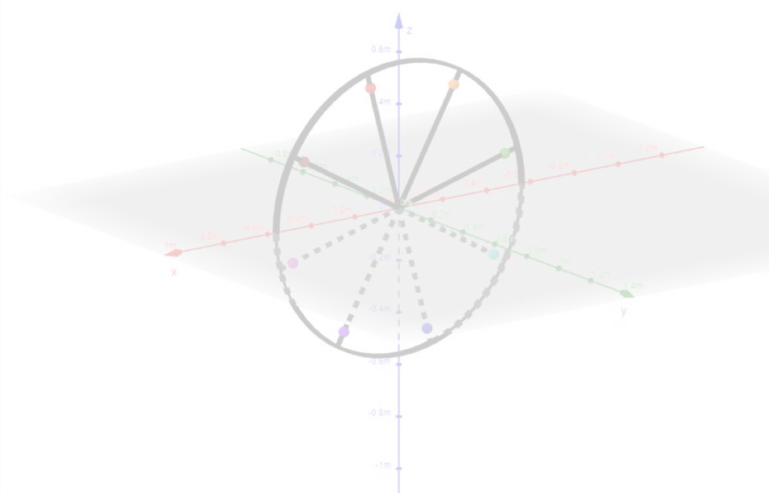
Wybierz masę odważników [kg]:
0.5

Wybierz odległość odważników (r) od środka koła [m]:
0.5

Parametry symulacji:
 $M = 1\text{ kg}$ – masa koła rowerowego
 $R = 0.56\text{ m}$ – promień koła rowerowego

Wyniki:
 $I = MR^2 + \sum_{i=1}^8 mr_i^2 = 1.31\text{ kg} \cdot \text{m}^2$ $\omega = 6.36\text{ rad/s}$
 $E_k = \frac{I \cdot \omega^2}{2} = 26.57\text{ J}$ $L = I \cdot \omega = 8.35\text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$

START STOP RESET



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/Dk2GHt4TS>

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

Polecenie 1

Korzystając z symulacji, sprawdź jak zmieni się ruch odważników, gdy przysuniemy je bliżej osi obrotu koła. Czy potrafisz wytłumaczyć to zjawisko?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wskaż, który wzór poprawnie opisuje energię kinetyczną ruchu obrotowego bryły sztywnej o momencie bezwładności I , obracającej się z prędkością kątową ω :

☐ $E_k = \frac{I\omega^2}{2}$

☐ $E_k = \frac{I\omega}{2}$

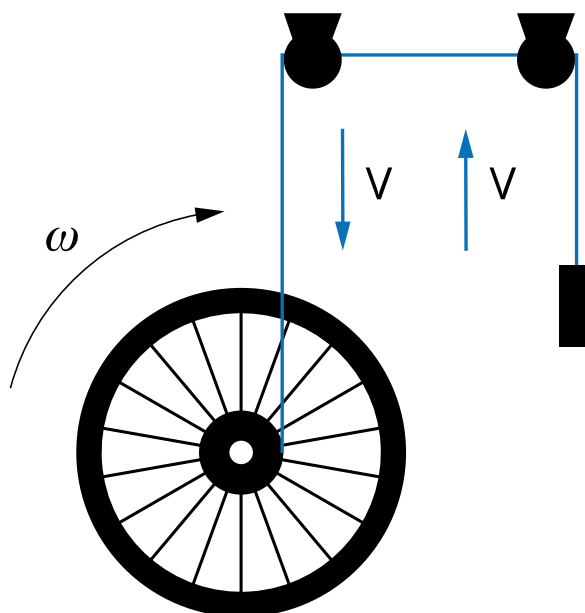
☐ $E_k = \frac{I^2\omega}{2}$

☐ $E_k = \frac{I^2\omega^2}{2}$

Ćwiczenie 2



Rozpatrzmy układ, jak na rysunku poniżej – koło rowerowe umocowane na nieruchomej osi rozkręcone jest do prędkości ω , a na jego oś nawija się nić, do której drugiego końca przymocowany jest ciężar, który unosi się do góry. Jak zmienia się całkowita energia mechaniczna tego układu?

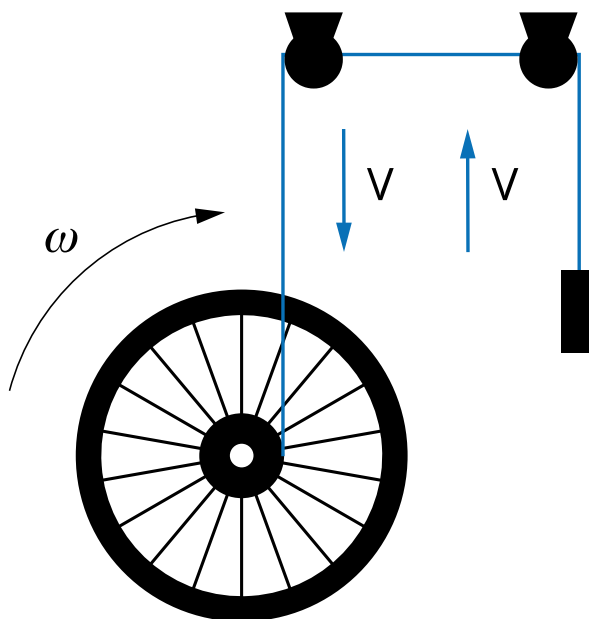


- ☐ Nie zmienia się. Koło wykonuje pracę, unosząc ciężar w polu grawitacyjnym, tym samym tracąc energię kinetyczną.
- ☐ Maleje, ponieważ koło kręci się coraz wolniej.
- ☐ Rośnie, ponieważ ciężar zyskuje energię potencjalną unosząc się.

Ćwiczenie 3



Rozpatrzmy sytuację jak na rysunku poniżej – koło rowerowe o promieniu $R = 50\text{ cm}$ rozkręcone jest do (nieznanej) prędkości ω , a na jego oś nawija się nić, do której drugiego końca przymocowany jest ciężar, który unosi się do góry. Ciężar o masie $m = 1\text{ kg}$ uniósł się na wysokość $H = 1\text{ m}$ do chwili, gdy koło się zatrzymało. Jaka była początkowa prędkość kątowa tego koła? Odpowiedź podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.



Odpowiedź: rad/s

Ćwiczenie 4



Wyobraźmy sobie, że z równi pochyłej staczają się różne ciała. Wszystkie mają tę samą masę, jednak różne kształty (np. walce mają różne promienie). Umieszczamy te bryły na równi zawsze w taki sposób, aby środek masy każdego z nich znajdował się na tej samej wysokości. Bryły mają różne rozmiary, a przez to różne momenty bezwładności – będą zatem staczać się z różnymi prędkościami. Na końcu równi umieszczone są fotokomórki, pozwalające zmierzyć prędkość końcową brył w momencie stoczenia się z równi. Prędkości te są różne. Jak na podstawie tej prędkości oszacować, która z tych brył ma największą energię kinetyczną?

Ćwiczenie 5



W jaki sposób licznik rowerowy oblicza prędkość roweru?



Mierząc częstotliwość obrotów koła o znanym promieniu licznik oblicza dystans pokonywany przez rower, a znając dystans i mierząc czas, może obliczyć prędkość, $v = \frac{s}{t}$.



Mierząc częstotliwość obrotów koła i znając jego promień, oblicza prędkość, $v = 2\pi fR$.



Korzystając z GPS ustala pozycję w znanych odcinkach czasu, na podstawie różnicy w pozycji oblicza przebytą w tym odcinku odległość, a dzieląc odległość przez czas otrzymuje średnią prędkość na tym odcinku, $v = \frac{\Delta x}{t}$.

Ćwiczenie 6



Rowerzysta jadąc na rowerze, chcąc zatrzymać rower, zaciska hamulce. Jaką pracę musi wykonać siła tarcia przyłożona do obręczy koła, aby je zahamować? (pomiń kwestie tarcia o podłoże, załóż, że hamowanie związane jest wyłącznie z siłą hamulca).

- ☐ Równą energii kinetycznej ruchu obrotowego tego koła.
- ☐ Równą sumie energii kinetycznej ruchu obrotowego kół oraz energii ruchu postępowego roweru.
- ☐ To zależy od konstrukcji koła.

Ćwiczenie 7



Koło o średnicy 60 cm i masie 2 kg obraca się na nieruchomej osi z częstotliwością dwóch obrotów na sekundę. Po lekkim zaciśnięciu szczęk hamulca koło zatrzymało się, po obrocie o kąt 15 stopni. Jaka była wartość siły tarcia przyłożona do obręczy koła? Wynik podaj z dokładnością do czterech cyfr znaczących..

Odpowiedź: N

Ćwiczenie 8



Co się dzieje z energią kinetyczną ruchu obrotowego koła rowerowego w trakcie hamowania roweru?

- ☐ To zależy od rozwiązania konstrukcyjnego roweru – może ona być przejmowana przez inny element mechaniczny.
- ☐ Znika, dlatego rower hamuje.
- ☐ Zamienia się w energię wewnętrzną szczęk hamulca i piasty.

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji:

Imię i nazwisko autora:	Dariusz Aksamit
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Wyznaczanie energii kinetycznej obracającej się bryły sztywnej
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; planuje i modyfikuje ich przebieg; formułuje hipotezę i prezentuje kroki niezbędne do jej weryfikacji. III. Mechanika bryły sztywnej. Uczeń: 3) stosuje warunki statyki bryły sztywnej; posługuje się pojęciem momentu sił wraz z jednostką.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. objaśnia, jak wyznaczyć energię kinetyczną obracającej się bryły sztywnej, 2. analizuje zasadę zachowania energii w odniesieniu do rozpędzania i hamowania obrotu bryły sztywnej.
Strategie i metody nauczania:	eksperymentalno-obszerwacyjna
Formy zajęć:	- pokaz, - dyskusja grupowa, - praca indywidualna.
Środki dydaktyczne:	komputer z dostępem do Internetu i projektorem multimedialnym, rower, licznik rowerowy, miarka, kątomierz
Materiały pomocnicze:	brak
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel prosi zawczasu jednego z uczniów o przyniesienie na lekcję roweru. Nauczyciel prosi ucznia o ustawienie roweru w pozycji serwisowej, czyli o postawienie go na kierownicy i siodełku, aby koła mogły się swobodnie obracać. Nauczyciel wręcza właścicielowi roweru miarkę i prosi o zmierzenie promienia koła oraz ustala jego masę (uczeń może znać specyfikację, ale można również zdjąć koło z mocowania i zważyć). Każdy z uczniów proszony jest o samodzielne obliczenie na podstawie tych danych momentu bezwładności tego koła – dyskutując jaki model geometryczny przyjmujemy dla takiej konstrukcji (model obręczy cienkościennej). Następnie nauczyciel prosi ochotnika (użytkownika roweru) o wyjaśnienie, jak działa licznik rowerowy.	
Faza realizacyjna:	

W pierwszej części fazy realizacyjnej klasa sprawdza prawdziwość wskazań licznika. Na piaście koła rysowana jest w jednym punkcie markerem kropka, pozwalająca śledzić ruch obrotowy i gołym okiem stwierdzić, że koło wykonało pełen obrót. Jeden z uczniów proszony jest o powolne i równomierne kręcenie pedałem, drugi o odczytywanie wskazań licznika, a klasa o liczenie ile pełnych obrotów wykonało koło w zadanym odcinku czasu (np. dziesięciu sekund). Znając promień koła, a zatem jego obwód, oraz liczbę obrotów, uczniowie obliczają dystans przebyty przez punkt na obwodzie, a znając czas, jaki to zajęło, obliczają prędkość i porównują wynik ze wskazaniem licznika. W następnym kroku uczniowie przeprowadzają doświadczenie z hamowaniem koła – koło rozkręcane jest do znanej prędkości liniowej (uczniowie obliczają na tej podstawie prędkość kątową i energię kinetyczną ruchu obrotowego), po czym zaciskany jest hamulec w momencie, gdy kropka na piaście go mija. Następnie uczniowie mierzą kąt, o jaki obróciło się koło od momentu rozpoczęcia hamowania i zgodnie z wzorami podanymi w treści e-materiału wyznaczają siłę hamowania. Uczniowie sprawdzają, czy przy większej sile hamowania droga hamowania koła się skraca. W miarę możliwości można zmierzyć temperaturę szczęk hamulca.

Faza podsumowująca:

Nauczyciel podsumowuje wnioski wyciągnięte z pomiarów, głównie w zakresie zasady zachowania energii i możliwości wykorzystania jej do wyznaczania innych parametrów ruchu.

Praca domowa:

Zapoznanie się z symulacją interaktywną i rozwiązanie zadań z części „Sprawdź się”.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:

Symulacja interaktywna może być wykorzystana na wszystkich lekcjach dotyczących momentu pędu.