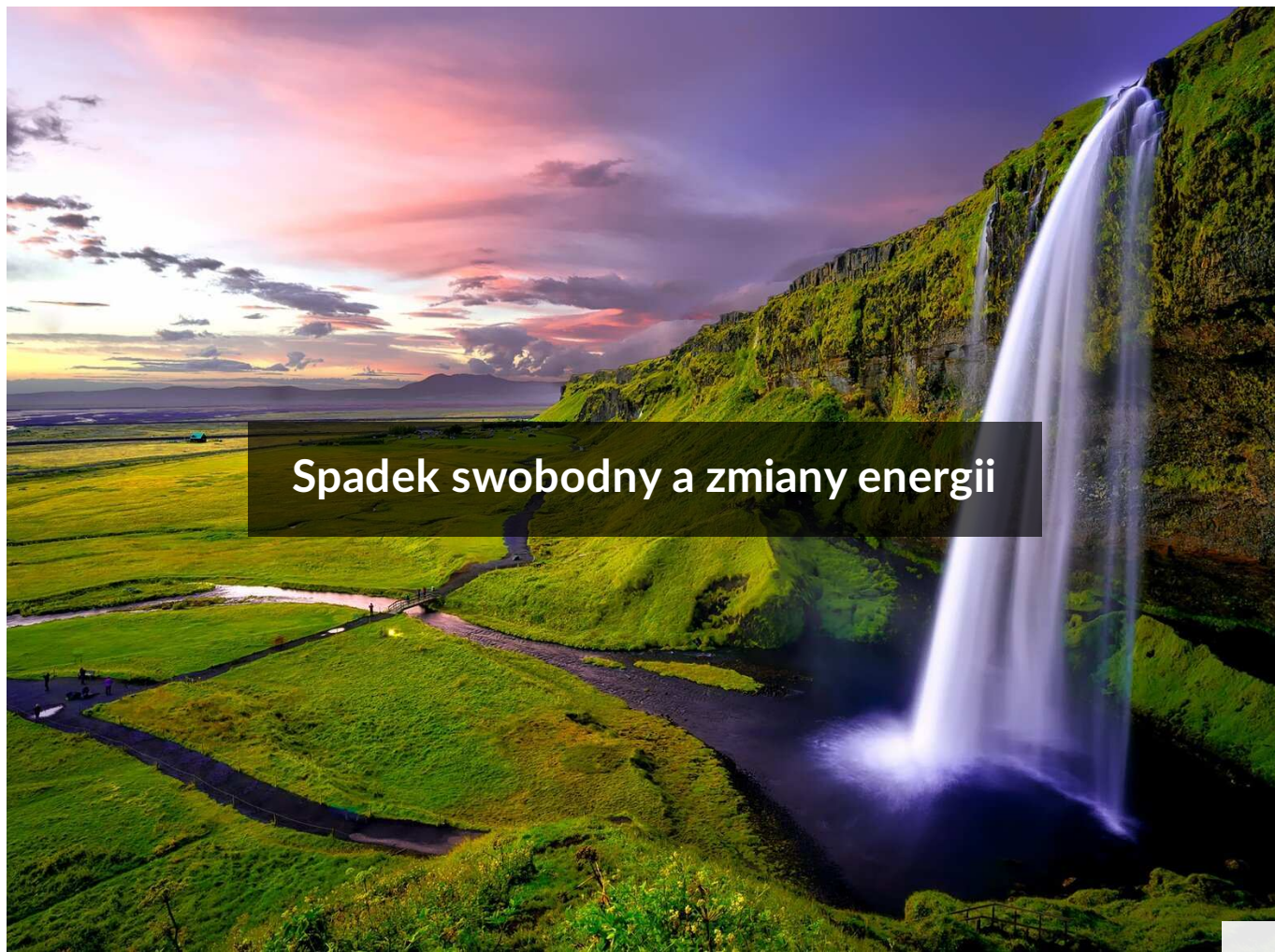




Spadek swobodny a zmiany energii

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



Spadek swobodny a zmiany energii

Czy to nie ciekawe?

Spadek swobodny ciał, jako związany z oddziaływaniem grawitacyjnym między Ziemią, a znajdującymi się na niej ciałami, występuje wokół nas dość powszechnie. Podlegają mu zarówno talerze, które tłuką się po upuszczeniu ich z ręki, jak i spiętrzona kaskada wody, której energię można przetworzyć na energię elektryczną. W tym e-materiale omówimy podstawowe przemiany energii, które mają miejsce podczas spadku swobodnego oraz zbadamy, jakie warunki muszą być spełnione, aby dany ruch ciała mógł zostać nazwany spadkiem swobodnym.



Rys. a. Kiedy ciało spada swobodnie, a kiedy należy uwzględnić opory powietrza?

Twoje cele

- dowiesz się, czym jest spadek swobodny ciała i jakie przemiany energii mu towarzyszą,
- poznasz przykłady spadku swobodnego,
- zrozumiesz, dlaczego spadek w atmosferze ziemskiej nie jest przykładem spadku swobodnego,
- zastosujesz zdobytą wiedzę do wyznaczania prędkości i wysokości ciała w czasie spadku,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz sytuacje, w których istotny staje się opór powietrza.

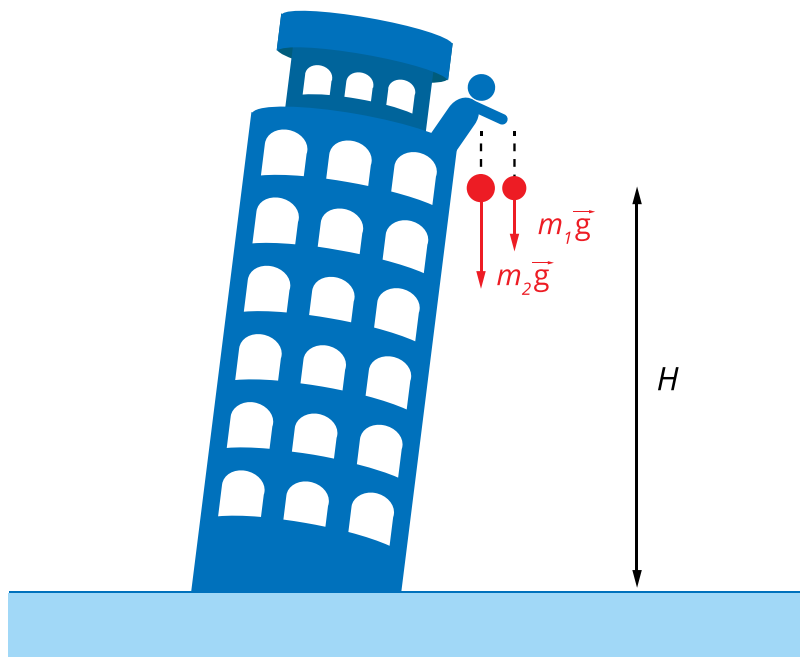
Przeczytaj

Warto przeczytać

Spadek swobodny dotyczy sytuacji, w której ciało zostało upuszczone z pewnej wysokości bez nadania prędkości początkowej. Ciało takie będzie poruszać się pionowo w dół, jedynie pod wpływem siły grawitacji. Ponieważ spadek jest „swobodny”, w jego analizie zaniehbuję się wpływ dowolnych innych sił, np. siły oporu powietrza.

Warto wspomnieć o tle historycznym, związanym z badaniem spadku swobodnego. Zwykle przyjmuje się, że pierwsze takie eksperymenty przeprowadził włoski uczony Galileo Galilei (w Polsce zwany Galileuszem), w latach 1589 - 1592. Według większości źródeł, Galileusz miał upuścić ze szczytu Krzywej Wieży w Pizie dwie metalowe kule o różnych masach, aby wykazać, że czas ich spadku na ziemię będzie identyczny. Za pomocą tego eksperymentu Galileusz chciał obalić teorię stworzoną ok. 1800 lat wcześniej przez starożytnego filozofa, Arystotelesa. Teoria ta zakładała (dzięki Galileuszowi wiemy już, że błędnie!), że ciała spadają na ziemię z różnymi szybkościami, proporcjonalnymi do swojej masy.

Zwróćmy uwagę, że Galileusz rozsądnie wybrał do swoich badań dwa obiekty o dużej masie - gdyby zdecydował się na przedmioty lekkie i o dużej powierzchni, takie jak ptasie pióra czy arkusze papieru, wyniki jego eksperymentu zostałyby zafałszowane. Ze względu na dużą wartość **siły oporu powietrza** (w porównaniu z siłą ciężkości działającą na te ciała) nie byłoby spełnione założenie o swobodnym spadku jedynie pod wpływem siły ciężkości.



Rys. 1. Eksperyment Galileusza. Źródło: <https://id.pinterest.com/pin/348606827380020275/?lp=true>

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Przeanalizujmy teraz zjawisko spadku swobodnego pod kątem procesów fizycznych. Na spadające swobodne ciało działa jedynie siła grawitacji, która nadaje ciału przyspieszenie w kierunku ziemi, o wartości równej przyspieszeniu ziemskiemu $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Jego prędkość zmienia się zatem zgodnie ze wzorem:

$$v(t) = gt$$

Jeśli ciało znajduje się na początkowej wysokości H , to jego początkowa grawitacyjna energia potencjalna jest równa:

$$E_{p0} = mgH$$

Po rozpoczęciu spadku swobodnego, wysokość ciała zaczyna maleć i jednocześnie zaczyna się ono rozpędzać. Dochodzi zatem do przekształcenia grawitacyjnej energii potencjalnej w energię kinetyczną. Zgodnie z zasadą zachowania energii mechanicznej, suma energii potencjalnej i kinetycznej nie może ulec zmianie:

$$E_p + E_k = \text{const} = E_{p0} = mgH$$

Bezpośrednio przez zetknięciem z Ziemią, ciało osiąga najwyższą prędkość, a więc i największą energię kinetyczną:

$$E_{k_{\max}} = \frac{mv_{\max}^2}{2}$$

Ponieważ całkowita energia mechaniczna ciała, przy braku oporów ruchu, zostaje zachowana, możemy porównać początkową energię potencjalną ciała oraz jego końcową energię kinetyczną:

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = mgH$$

Na tej podstawie możemy wyliczyć maksymalną prędkość ciała:

$$v_{\max} = \sqrt{2gH}$$

Aby określić, jak prędkość ciała zmieniała się wraz z wysokością, na której się znajdowało, musimy ponownie posłużyć się zasadą zachowania energii mechanicznej. Aby wyznaczyć

prędkość ciała v na dowolnej wysokości h nad Ziemią porównamy wartości energii w tym momencie z energią na początku ruchu:

$$E_p + E_k = mgH$$

$$mgh + \frac{mv^2}{2} = mgH$$

$$v = \sqrt{2g(H - h)}$$



Rys. 2. 24 października 2014 Alan Eustace za pomocą balonu z helem wzniosł się na wysokość 41 148 m (ponad 41 kilometrów!) nad poziomem morza, a następnie odczepił się od balonu. Na tej wysokości atmosfera ziemską jest na tyle rozrzedzona, że skoczek przez pewną część trasy poruszał się praktycznie bez oporu powietrza, jedynie pod wpływem siły grawitacji.

Źródło: dostępny w internecie: https://twitter.com/ksql_assoc/status/913114902234931200 [dostęp 22.04.2022], Materiał wykorzystany na podstawie art. 29 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych (prawo cytatu).

Słowniczek

meteory

(od greckiego „*meteōros*” oznaczającego „zawieszony w powietrzu”) świeące ślady jakie pozostawiają po sobie okruchy skalne (meteoroidy) poruszające się w atmosferze ziemskiej. Innym, potocznym (i niepoprawnym) ich określeniem są „spadające gwiazdy”. Podczas kontaktu z cząsteczkami gazów w powietrzu, na meteoroid działa tarcie, która powoduje jego nagrzanie i świecenie. Jeśli dany okruch nie zostanie zupełnie spalony w atmosferze i uderzy w powierzchnię Ziemi, nazywamy go meteorytem.

Perseidy

rój meteorów, widoczny w atmosferze ziemskiej, między 17 lipca a 24 sierpnia. Jego nazwa wywodzi się od gwiazdozbioru Perseusza, na tle którego widoczne są te meteory.

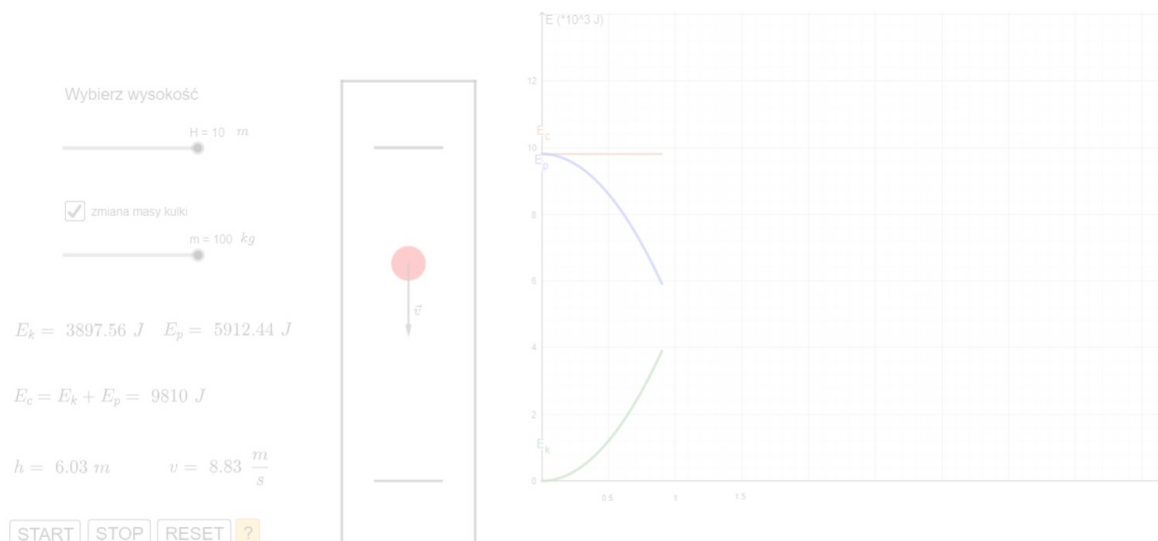
zależność siły oporu od prędkości

w rzeczywistych zjawiskach, siła oporu zwykle zależy od bieżącej prędkości ciała, które podlega temu oporowi. Przykładem może być ruch samochodu – im większa jest jego prędkość, tym większa siła oporu powietrza na niego działa.

Symulacja

Spadek swobodny a zmiany energii

Praca z symulacją jest wygodniejsza po przełączeniu na widok pełnoekranowy.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D3nfKQuqa>

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

Polecenie 1

Uruchamiając symulację możesz zaobserwować, że zarówno zależność energii kinetycznej, jak i energii potencjalnej od czasu ma na wykresie kształt paraboli. Wykorzystując podstawowe wzory opisujące grawitacyjną energię potencjalną: $E_p = mgh$ (gdzie h jest wysokością ciała nad Ziemią) oraz energię kinetyczną: $E_k = \frac{mv^2}{2}$, wykaż, że wielkości te istotnie zależą od kwadratu czasu.

Polecenie 2

Założmy, że po upadku na ziemię z wysokości $H_1 = 3 \text{ m}$, kula odbija się, lecz traci przy tym połowę swojej energii. Na jaką wysokość H_2 kula wzniesie się ponownie? Jak możesz zweryfikować swoje rozwiązanie, wykorzystując symulację?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Podczas spadku swobodnego dochodzi do:

- ☐ przekształcenia grawitacyjnej energii potencjalnej ciała na ciepło (ciało ogrzewa się przy spadaniu)
- ☐ przekształcenia energii kinetycznej ciała na ciepło
- ☐ przekształcenia energii kinetycznej ciała na grawitacyjną energię potencjalną
- ☐ przekształcenia grawitacyjnej energii potencjalnej ciała na energię kinetyczną

Ćwiczenie 2



Podaj wzór opisujący prędkość ciała v na dowolnej wysokości h nad Ziemią, spadającego z wysokości H .

- ☐ $v = \sqrt{2g(H - h)}$
- ☐ $v = \sqrt{2gH}$
- ☐ $v = 2g(H - h)$
- ☐ $v = \sqrt{2g(h - H)}$

Ćwiczenie 3



Wskaż wszystkie sytuacje, w których można mówić o swobodnym spadku ciała na Ziemi.

- ☐ piłka rzucona przez gracza koszykówki balansuje na obręczy kosza, na chwilę zatrzymuje się i spada na dół
- ☐ spód torby wypełnionej zakupami pęka, a przez rozprucie wypada jabłko
- ☐ podczas zawodów łuczniczka wystrzeliwuje strzałę pod kątem 8° do powierzchni Ziemi
- ☐ dziecko w parku upuszcza trzymane w ręce liście, nie nadając im prędkości początkowej

Ćwiczenie 4



Do jakiej maksymalnej prędkości może rozpędzić się doniczka spadająca z parapetu znajdującego się na drugim piętrze bloku, na wysokości $h = 7,8$ m? Wynik zaokrąglaj do trzech miejsc znaczących.

$v =$ m/s

Ćwiczenie 5



Do jakiej maksymalnej prędkości może rozpędzić się piórko upuszczone z dłoni stojącego na Księżycu kosmonauty? Przyspieszenie grawitacyjne przy powierzchni Księżyca jest 6 razy mniejsze niż na Ziemi. Kosmonauta początkowo trzyma piórko na wysokości $H = 1,25$ m. Wynik zaokrąglaj do trzech miejsc znaczących.

$v =$ m/s

Ćwiczenie 6



Alan Eustace jest rekordzistą, jeśli chodzi o maksymalną wysokość, z której człowiek dokonał skoku. Skoczył on z wysokości 41 148 m i osiągnął maksymalną prędkość wynoszącą 1323 km/h. Uzyskanie większej prędkości było niemożliwe, ze względu na opory powietrza w atmosferze ziemskiej. Oblicz, ile razy większą prędkość mógłby uzyskać skoczek, gdyby zaniedbać wpływ oporów powietrza oraz fakt, że przyspieszenie ziemskie zmienia się z odległością od Ziemi. Przyjmij, że na wysokości 3048 m skoczek otwiera spadochron, który umożliwia mu wyhamowanie. Wynik zaokrąglaj do trzech miejsc znaczących.

Odpowiedź: ok. razy

Ćwiczenie 7



Wyznacz, jaka część czasu całkowitego swobodnego spadku upłynie do chwili, gdy energia kinetyczna stanie się równa jego energii potencjalnej dla kuli spadającej z wysokości $H = 10$ m. Wynik podaj procentowo, zaokrąglając go do pełnych jednostek.

Odpowiedź: %

Czy uzyskany rezultat zależy od początkowej wysokości ciała?

Rezultat ☐ zależy \ ☐ nie zależy od wysokości początkowej.

Ćwiczenie 8



Sytuacja, w której spadające ciało porusza się w atmosferze ziemskiej nie powinna być, precyzyjnie rzecz ujmując, nazywana spadkiem swobodnym, gdyż oprócz siły grawitacji na spadające ciało działa siła oporów powietrza. Zakładając, że siła oporu powietrza ma stałą wartość, wyznacz ją dla ciała o masie $m = 1$ kg, spadającego z wysokości $H = 10$ m, jeśli jego końcowa prędkość wyniosła $v = 10$ m/s.

$F_o =$ N

Ćwiczenie 9



Praca sił oporu powietrza powoduje, że część energii mechanicznej ciała zostaje przekształcona na ciepło. Rozważ sople lodu o masie $m = 240$ g, obrywający się ze skalnego zbocza. Oprócz siły grawitacji, na sople działa siła oporu powietrza o stałej wartości $F_o = 1,6$ N. Przyjmując, że całkowita zmiana energii mechanicznej sopla na skutek działania pracy siły oporu powietrza zostaje przekazana na podgrzanie sopla, oblicz, z jakiej wysokości musiałby on spadać, aby w całości ulec stopieniu? Jaka będzie prędkość powstałej kuli wody tuż przy ziemi? Temperatura powietrza wynosi $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, a ciepło topnienia sopla wynosi $c_t = 333,7$ kJ/kg. Wyniki zaokrąglaj do pełnych jednostek.

$h =$ m

$v =$ m/s

Dla nauczyciela

Konspekt (scenariusz) lekcji

Imię i nazwisko autora:	Przemysław Michalski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Czy ciała zawsze spadają swobodnie?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony

Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres podstawowy Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 14) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych. II. Mechanika. Uczeń: 10) posługuje się pojęciami pracy mechanicznej, mocy, energii kinetycznej, energii potencjalnej wraz z ich jednostkami; stosuje zasadę zachowania energii mechanicznej do obliczeń. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych. II. Mechanika. Uczeń: 20) posługuje się pojęciami pracy mechanicznej, mocy, energii kinetycznej, energii potencjalnej wraz z ich jednostkami; stosuje zasadę zachowania energii mechanicznej do obliczeń.
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. określa, czym jest spadek swobodny ciała i jakie przemiany energii zachodzą podczas niego. 2. podaje przykłady spadku swobodnego. 3. wyjaśnia, dlaczego spadek w atmosferze ziemskiej nie jest przykładem spadku swobodnego. 4. stosuje zdobytą wiedzę do wyznaczania prędkości i wysokości ciała w trakcie spadku. 5. analizuje i interpretuje sytuacje, w których istotny staje się opór powietrza.
Strategie nauczania:	blended learning
Metody nauczania:	- wykład, - rozwiązywanie zadań.
Formy zajęć:	praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	- tablica szkolna, - komputer z rzutnikiem.
Materiały pomocnicze:	brak
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Na poprzedniej lekcji, nauczyciel zleca uczniom zapoznanie się z częścią „Warto przeczytać” e-materiału. Na początku lekcji nauczyciel prosi uczniów o podanie znanych im przykładów spadku swobodnego, każdy pomysł poddaje dyskusji i jeśli jest słuszny – prosi ucznia-pomysłodawcę, by zapisał go na tablicy, tworząc „drzewko” związane z tym zagadnieniem. Następnie nauczyciel wraz z uczniami tworzą, na podobnej zasadzie, drzewko „kontrprzykładów” dla spadku swobodnego, np. liście, kartki papieru.	
Faza realizacyjna:	
Nauczyciel rozwiązuje z uczniami wybrane zadania z dołączonych do e-materiału, w tym przynajmniej jedno spośród 8-9. Każde z nich omawia i odpowiada na pytania i wątpliwości uczniów. Przy zadaniach 8-9, nauczyciel podkreśla fakt, że spadek niektórych ciał nie może być nazwany swobodnym, właśnie przez opór powietrza.	
Faza podsumowująca:	

Faza podsumowująca została częściowo zrealizowana podczas omawiania realizowanych zadań. Dodatkowo, nauczyciel wprowadza zagadnienie – co wydarzyłoby się, gdyby nie było oporu powietrza? Czy spadek, np. liścia lub pióra byłby wtedy swobodny? Nauczyciel prezentuje film dołączony do e-materiału (zadanie nr 5) lub przeprowadza doświadczenie, wykorzystując komorę próżniową.

Praca domowa:

Rozwiązanie pozostałych zadań dołączonych do e-materiału.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące
różne
zastosowania
danego
multimedium:**

Nauczyciel może w trakcie lekcji zrealizować zadanie polegające na wyznaczeniu energii kinetycznej i potencjalnej spadającego ciała w funkcji czasu, a następnie zweryfikować rezultaty za pomocą symulacji. Multimedium można też zlecić uczniom do samodzielnej „zabawy” i zbadania praw swobodnego spadku w domu.