



Jak definiujemy pojęcie energii spoczynkowej?

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film samouczek
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Jak definiujemy pojęcie energii spoczynkowej?

Czy to nie ciekawe?

Wzór $E = mc^2$ jest powszechnie uznawany za najbardziej znany wzór fizyki. Nawet w popularnej książce „Krótka historia czasu”, w której Stephen Hawking nie chciał stosować wzorów matematycznych, stwierdził, że tego jednego nie może uniknąć. Co stoi za tym krótkim wzorem? Dlaczego jest tak ważny?

Twoje cele

- Dowiesz się, co to jest energia spoczynkowa;
- poznasz przejawy energii spoczynkowej;
- zrozumiesz znaczenie energii spoczynkowej i jej związek z masą spoczynkową ciała;
- zastosujesz zdobytą wiedzę podczas analizy zjawisk.

Przeczytaj

Warto przeczytać



Rys. 1. Albert Einstein (ur. 14 marca 1879 w Ulm, zm. 18 kwietnia 1955 w Princeton) – fizyk teoretyczny i laureat Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki w 1921 roku za „wkład do fizyki teoretycznej, zwłaszcza opis prawa efektu fotoelektrycznego”. Twórca szczególnej teorii względności i autor wynikającej z niej równoważności masy i energii.

Albert Einstein (Rys. 1.) wyprowadzając wzór na relatywistyczną energię kinetyczną jako pracę wykonaną przy rozpędzaniu ciała, równą iloczynowi siły i przemieszczenia przy rozpędzaniu ciała, otrzymał zależność:

$$E_{kin} = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} - mc^2$$

Gdzie E_{kin} to energia kinetyczna ciała, m – masa ciała nazywana niekiedy także masą spoczynkową, v – prędkość ciała, c – prędkość światła w próżni.

We wzorze tym pojawiła się wielkość mc^2 niezależna od prędkości ciała, związana z masą ciała. Wielkość tę Einstein zinterpretował jako energię wynikającą z masy ciała i niezależną od jego ruchu i oddziaływań. Została ona nazwana **energią spoczynkową**.

$$E = mc^2$$

Wielkość równą sumie energii kinetycznej i spoczynkowej nazywa się **energją całkowitą** ciała:

$$E_c = mc^2 + E_{kin} = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Zatem energią spoczynkową ciała nazywa się energię, jaką wykazuje ciało w układzie odniesienia, w którym spoczywa. Wynika ona z masy ciała, można też powiedzieć, że przejawia się ona masą ciała. Energia ta zmienia się, gdy ciało emituje lub pochłania energię z zewnątrz, co przejawia się również zmianą jego masy.

Na przykład: jeżeli zwiększymy energię wewnętrzną ciała w wyniku ogrzewania, to wzrasta również jego masa.

Co więc wynika ze wzoru $E = mc^2$?

I czy odczuwamy to na co dzień?

Rozwiążmy prosty przykład rachunkowy związany z powyższym zagadnieniem.

Oszacujmy, jaki powinniśmy obserwować przyrost masy 1 kg wody przy ogrzaniu go od temperatury topnienia: 0°C, do temperatury wrzenia: 100°C. Zakładamy, że woda nie paruje w czasie ogrzewania – nie zmienia się zatem liczba cząsteczek wody.

Energię, którą musimy dostarczyć do ogrzania wody, obliczymy ze wzoru:

$$\Delta E = mc\Delta T$$

Gdzie:

ΔE – dostarczona energia w postaci ciepła;

m – masa wody, $m = 1$ kg;

c – ciepło właściwe wody $c = 4190$ J/(kg·K);

ΔT – zmiana temperatury ogrzanej wody, w tym przypadku $\Delta T = 100^\circ = 100$ K;

Stąd:

$$\Delta E = 1 \text{ kg} \cdot (4190 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})) \cdot 100 \text{ K} = 419000 \text{ J}$$

Obliczmy przyrost masy Δm wynikający z dostarczonej energii, korzystając ze wzoru Einsteina:

$$\Delta E = \Delta mc^2 \iff \Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{419000 \text{ J}}{9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2} = 4,66 \cdot 10^{-12} \text{ kg}$$

Jak widać z przeprowadzonych obliczeń, nawet stosunkowo duży jak na warunki codzienne przyrost energii, nie ma praktycznie wpływu na masę ciała.

Z odkrycia Einsteina wynika, że mierzona masa ciała składa się z masy budującej je materii i zawartej w nim energii wewnętrznej. Dla układu ciał energia spoczynkowa, zatem i masa, wynika z sumy mas budujących je elementów, energii kinetycznej składników i energii oddziaływań między składnikami.

Na przykład dla najprostszego atomu – atomu wodoru, w skład energii spoczynkowej wchodzi masa jądra czyli protonu, masa elektronu, ale również energia kinetyczna elektronu i energia oddziaływania między elektronem i protonem.

Łączna energia oddziaływania i kinetyczna elektronu da się opisać wzorem

$$E_{kin} + E_{pot} = \frac{-ke^2}{2r} = 13,6 \text{ eV} = 21,76 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Zatem energia spoczynkowa atomu wodoru może być opisana wzorem:

$$E = m_p c^2 + m_e c^2 - \frac{ke^2}{2r},$$

gdzie:

E – energia spoczynkowa atomu wodoru;

m_p – masa protonu;

m_e – masa elektronu;

r – promień orbity elektronu;

e – ładunek elektronu.

Łączna energia spoczynkowa swobodnych elektronu i protonu

$$+ m_e c^2 = (1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg} + 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}) \cdot c^2 = 1,6735 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2 = 15,0615 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

Energia spoczynkowa wynikająca z ruchu orbitalnego elektronu i oddziaływań między elektronem i protonem wynosi:

$$E = -\frac{ke^2}{2r} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2,56 \cdot 10^{-38}}{2 \cdot 0,53 \cdot 10^{-10}} = 21,73 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

Jak widać również energia ruchu elektronu i oddziaływań stanowi niewielką część energii spoczynkowej atomu wodoru, a zatem i jego masy. Zmniejszenie masy, wynikające z energii wiązania wynosi w tym przypadku około $10^{-6}\%$.

Ubytek masy związany z dużą wartością energii oddziaływania, jest widoczny dopiero w skali jąder atomowych. Z powodu dużej wartości siły **oddziaływania jądrowego**, w samorzutnych reakcjach jądrowych, na przykład syntezie jądrowej, ubytek masy staje się mierzalny. W konsekwencji masa jąder atomowych jest mniejsza od sumy mas **nukleonów**, które te jądra budują. Efekt ten nazywany jest deficytem lub niedoborem masy.

Na przykład jądro helu składające się z dwóch protonów i dwóch neutronów ma masę $m_j = 6,645 \cdot 10^{-27}$ kg. Natomiast masa dwóch protonów i dwóch neutronów $m_n = 6,696 \cdot 10^{-27}$ kg. Zatem różnica mas nukleonów i jądra na które się składają wynosi:

$$\Delta m = m_n - m_j = 0,051 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.$$

Stanowi to około 0,7% masy nukleonów tworzących jądro. Mierzalny deficyt masy pozwala obliczyć energię wiązania nukleonów w jądrach atomowych i energii wydzielanej w reakcjach jądrowych. W opisie reakcji jądrowych nie można korzystać z zasady zachowania masy, czy też energii w rozumieniu klasycznym. Zachowana jest natomiast energia całkowita w ujęciu relatywistycznym. W reakcjach tych zachowany jest również pęd i ładunek elektryczny.

Warto pamiętać, iż Słońce w każdej sekundzie zamienia ponad 4 mln ton swej masy w energię (przy czym 657 mln ton wodoru przekształcane jest w 653 mln ton helu).

W świecie cząstek elementarnych dosyć często obserwuje się przejawy związku energii spoczynkowej i masy ciała. Między innymi energia z formy promieniowania elektromagnetycznego zamienia się w formę energii spoczynkowej cząstek i odwrotnie. Zjawiska te nazywa się kreacją i anihilacją cząstek.

Słowniczek

Nukleon

(ang. *nucleon*) – wspólna nazwa protonów i neutronów, czyli podstawowych cząstek tworzących jądro atomu.

Oddziaływanie jądrowe

(ang. *nuclear impacts*) – siły, które wiążą ze sobą protony i neutrony w jądrze atomowym. Są szczególnym przypadkiem oddziaływań silnych.

Antycząstka

(ang. *antiparticle*) – cząstki elementarne różniące się od odpowiadających im cząstek odwrotnym znakiem wszystkich liczb kwantowych (np.: ładunku elektrycznego, liczby barionowej, leptonowej, składowej izospinu, momentu magnetycznego), mające zaś taką samą masę i czas życia.

Każda cząstka ma odpowiednią antycząstkę, np. antycząstką elektronu jest pozyton; istnieją cząstki identyczne ze swoimi antycząstkami, należą do nich mezon π^0 i foton; para cząstka–antycząstka może zniknąć w procesie anihilacji par, przy czym są emitowane cząstki promieniowania anihilacyjnego; kwarki, uważane obecnie za podstawowe składniki cząstek, takich jak bariony czy mezony, mają również swoje antycząstki – antykwarki (encyklopedia PWN).

Film samouczek

Jak definiujemy pojęcie energii spoczynkowej?

Film dostępny na portalu epodreczniki.pl

Zapoznaj się z audiodeskrypcją samouczka.

Polecenie 1

Oblicz, o ile zmniejsza się masa układu dwóch jednakowych gwiazd neutronowych o masie $4 \cdot 10^{30}$ kg obiegających się w odległości 1000 km.

Polecenie 2

Dlaczego w rozważanych zadaniach różnica pomiędzy masą spoczynkową układu gwiazd a masą układu jest niezauważalna, mimo że w wartościach bezwzględnych – znaczna.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



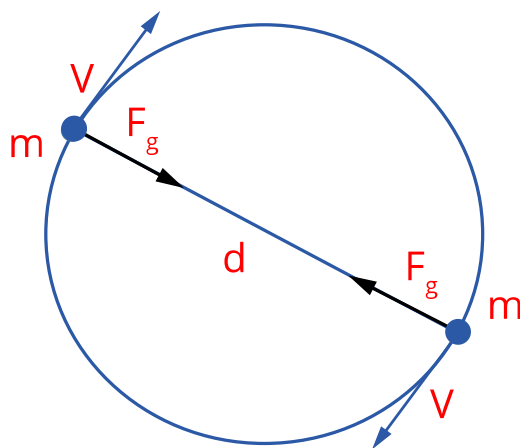
Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Dwie gwiazdy neutronowe o jednakowych masach m obiegają wspólny środek masy. Odległość między gwiazdami wynosi d . Jaka jest energia spoczynkowa i masa układu tych gwiazd?



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8





Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Jarosław Krakowski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Co to jest energia spoczynkowa?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.</p> <p>XII. Elementy fizyki relatywistycznej i fizyka jądrowa. Uczeń:</p> <p>2) posługuje się związkiem między energią całkowitą, masą cząstki i jej prędkością; posługuje się pojęciem energii spoczynkowej.</p>
Kształtowane kompetencje kluczowe:	<p>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.</p> <ul style="list-style-type: none">• 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:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. zna definicję energii spoczynkowej; 2. określa przejawy energii spoczynkowej; 3. uzasadnia znaczenie energii spoczynkowej i jej związek z masą spoczynkową ciała; 4. stosuje zdobytą wiedzę w analizie zjawisk.
Strategie nauczania:	IBSE (Inquiry-Based Science Education - nauczanie/uczenie się przedmiotów przyrodniczych przez odkrywanie/dociekanie naukowe)
Metody nauczania:	wykład problemowy, burza mózgów
Formy zajęć:	praca zespołowa, praca w grupach
Środki dydaktyczne:	rzutnik, ekran, zestaw zadań
Materiały pomocnicze:	-
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Nauczyciel zadaje pytanie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jak opisuje się relatywistyczną energię kinetyczną? <p>Oczekiwana odpowiedź: $E_{kin} = \frac{mc^2}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}} - mc^2$.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jak interpretuje się poszczególne części tego wzoru? <p>Oczekiwana odpowiedź: Energię kinetyczną porównujemy z energią spoczynkową $E = mc^2$: $\frac{mc^2}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}} - mc^2 = mc^2$.</p>	
Faza realizacyjna:	
<p>Nauczyciel zadaje pytanie: jakie właściwości ciał opisuje masa a, jakie energia?</p> <p>Uczniowie przy pomocy nauczyciela interpretują wzór $E = mc^2$ jako wzór opisujący energię spoczynkową ciała i jej związek z masą ciała.</p> <p>Uczniowie obliczają wpływ energii pochłoniętej i wyemitowanej przez ciało na jego masę, na przykładzie ogrzewania wody i tworzenia atomu wodoru ze swobodnego protonu i elektronu i formułują wniosek na temat wpływu tej energii na masę.</p> <p>Uczniowie obliczają deficyt masy dla jądra helu i formułują wniosek.</p> <p>Nauczyciel podaje przykłady związków energii i masy ciała.</p>	
Faza podsumowująca:	

Uczniowie utrwalają wiedzę i zdobyte umiejętności przez rozwiązanie zadań: 1, 3, 6, 7 z zestawu ćwiczeń. Nauczyciel pełni rolę doradcy, obserwuje i kontroluje pracę uczniów.

Praca domowa:

W ramach powtórzenia i utrwalenia wiadomości o energii spoczynkowej uczniowie rozwiązują zadania: 2, 4, 5, 8, 9 z zestawu ćwiczeń.

**Wskazówki metodyczne
opisujące różne zastosowania
danego multimedium**

Multimedium może być wykorzystane przy powtarzaniu wiadomości i innych lekcjach na temat szczególnej teorii względności.