

Relatywistyka, zestaw numer 1

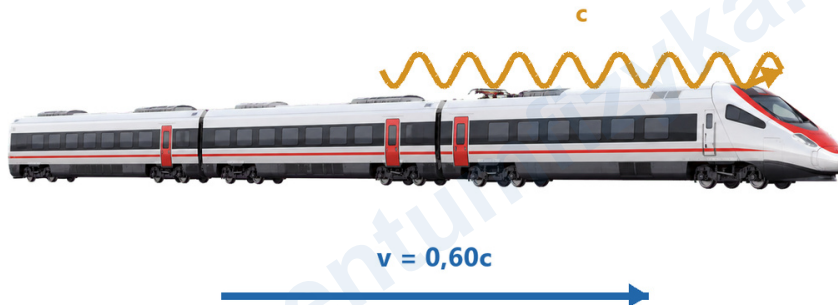
1

Impuls światła w wagonie

niezmienniczość prędkości światła

Wagon laboratoryjny porusza się względem peronu z prędkością $0,60c$. Z jego środka wysłano impuls światła w kierunku jazdy. Jaką prędkość impulsu zmierzą obserwator w wagonie i obserwator na peronie? Ile czasu według obserwatora na peronie potrzebuje impuls, aby dogonić przednią ścianę wagonu, jeżeli długość własna wagonu wynosi 300 m ?

Światło ma prędkość c w obu układach



2

Dwa pioruny i jadący pociąg**względność równoczesności**

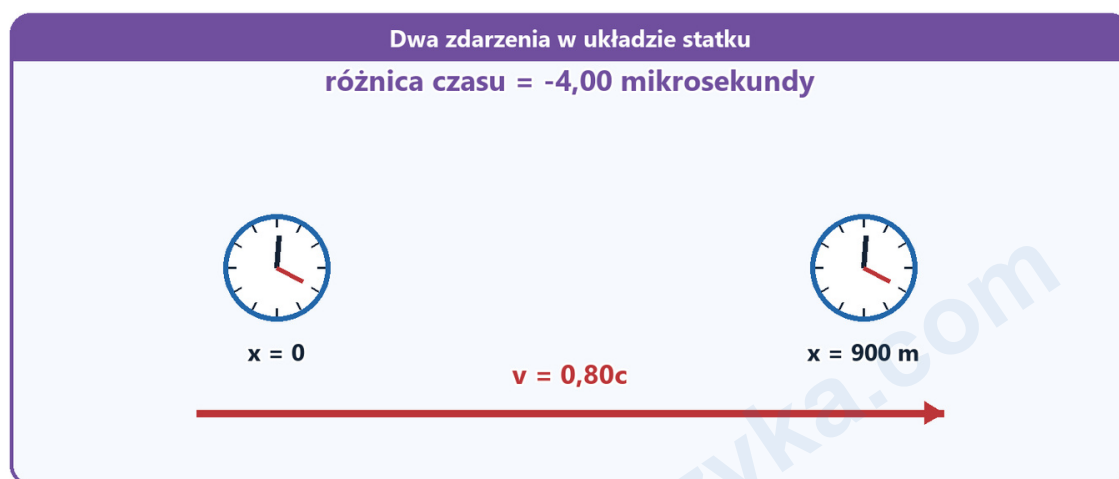
Pociąg o długości własnej 600 m jedzie z prędkością $0,60c$. W układzie peronu dwa pioruny uderzają jednocześnie w przedni i tylny koniec pociągu. Ustal kolejność zdarzeń w układzie pociągu i oblicz różnicę czasów.



3

Zegary zsynchronizowane na peronie**transformacja czasu zdarzeń**

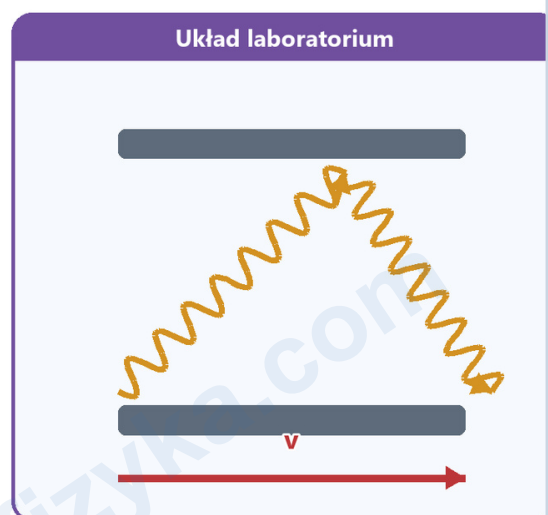
Dwa zegary spoczywające na peronie są oddalone o 900 m i zsynchronizowane w tym układzie. W chwili $t = 0$ oba emitują krótki impuls rejestracyjny. Obok nich przelatuje statek z prędkością $0,80c$. Oblicz różnicę współrzędnych czasowych tych dwóch zdarzeń w układzie statku i ustal ich kolejność.



4

Zegar świetlny w ruchu**dylatacja czasu**

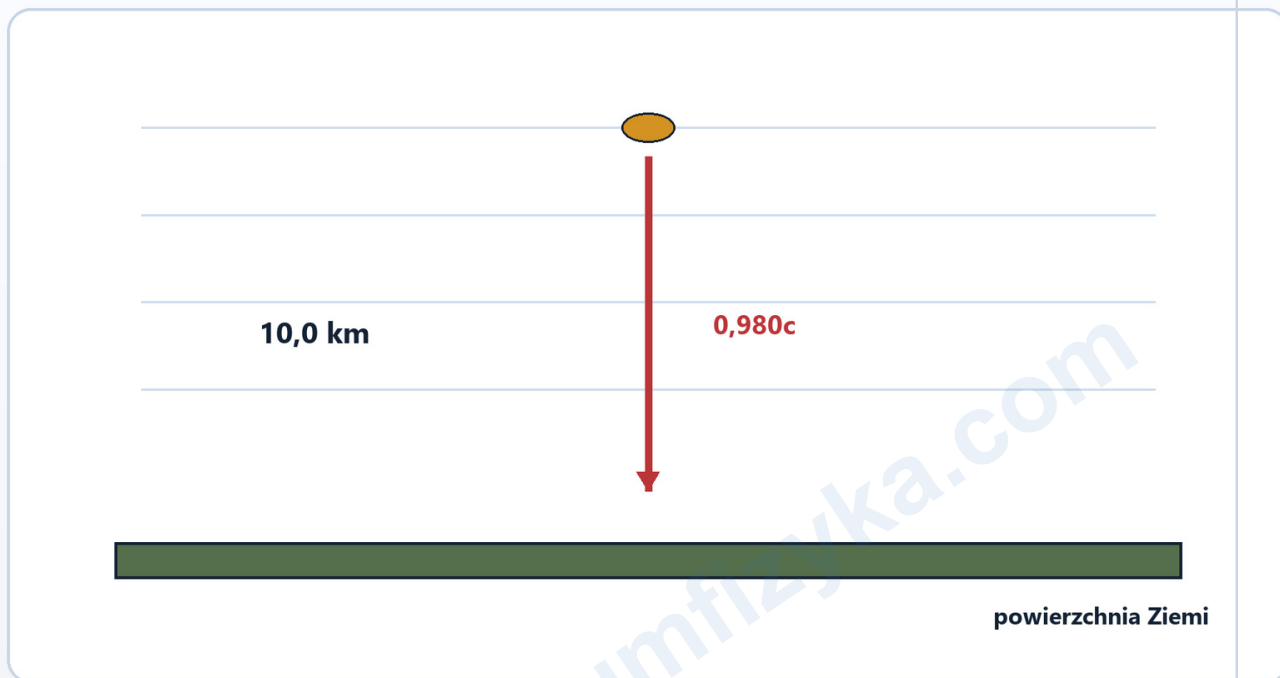
W zegarze świetlnym zwierciadła są oddalone o 1,20 m. Zegar porusza się poziomo z prędkością $0,80c$ względem laboratorium. Oblicz okres pełnego cyklu światła w układzie zegara i w laboratorium oraz długość ukośnego odcinka przebywanego przez światło między zwierciadłami w laboratorium.



5

Miony nad powierzchnią Ziemi**dylatacja czasu cząstek**

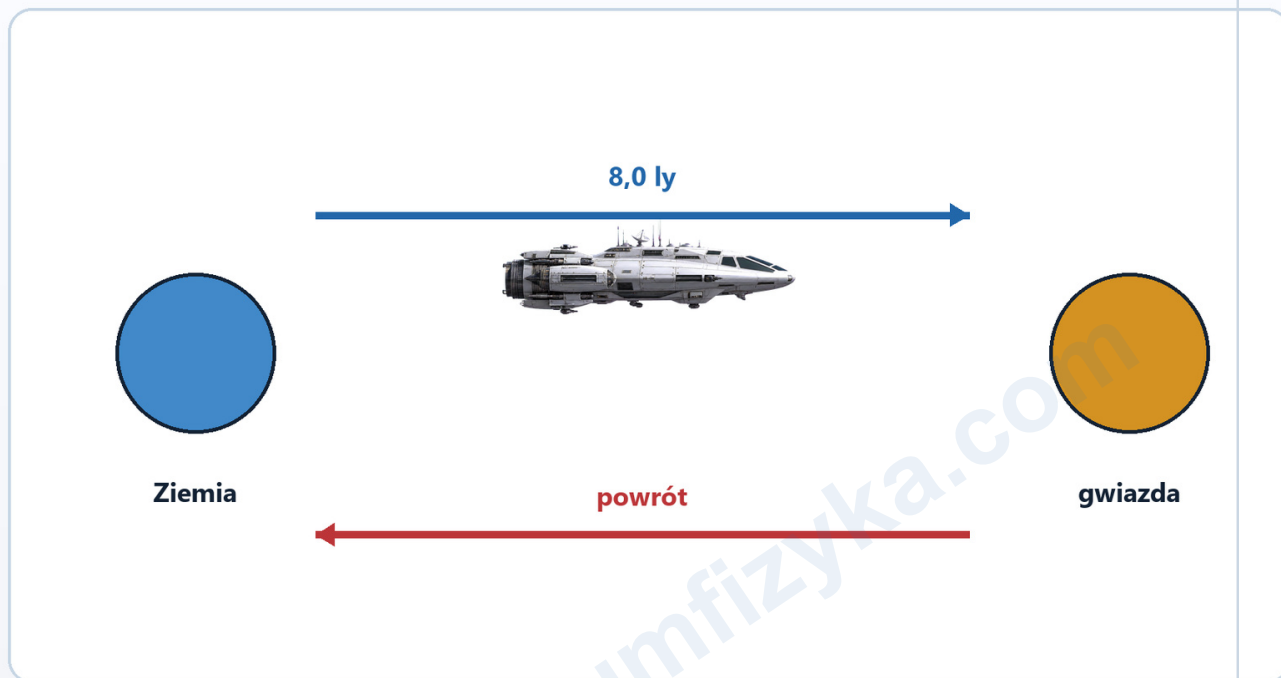
Czas życia mionu w jego układzie wynosi $2,20 \mu\text{s}$. Wiązka mionów porusza się z prędkością $0,980c$. Oblicz średnią drogę mionu w laboratorium oraz odsetek mionów, które przeżyją przelot $10,0 \text{ km}$, zakładając wykładniczy zanik liczby cząstek.



6

Lot do gwiazdy i z powrotem**czas własny podróżnika**

Gwiazda znajduje się 8,0 lat świetlnych od Ziemi. Statek leci ze stałą prędkością $0,80c$, natychmiast zawraca przy gwiazdzie i wraca z tą samą prędkością. Pomiń fazy przyspieszania. Ile trwa podróż według zegarów ziemskich, a ile według zegara w statku?



7

Statek i tunel**skrócenie długości**

Statek ma długość własną 400 m i leci przez tunel o długości własnej 500 m z prędkością $0,80c$. Oblicz długość statku w układzie tunelu oraz długość tunelu w układzie statku. Czy oba wyniki są ze sobą sprzeczne?



8

Atmosfera widziana przez mion**dwa opisy tego samego zjawiska**

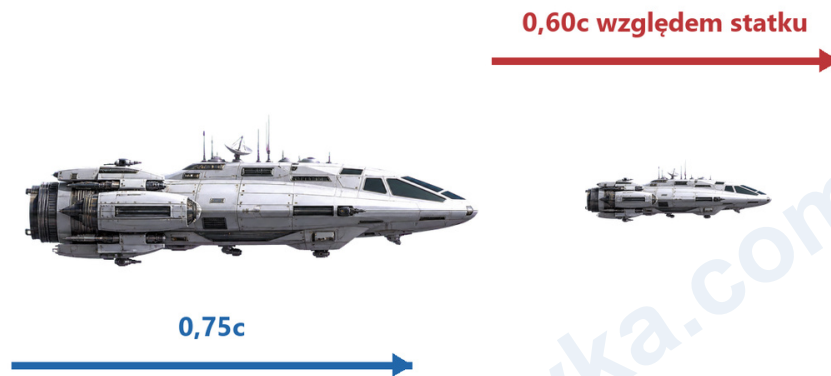
Mion powstaje 12,0 km nad powierzchnią i porusza się ku Ziemi z prędkością $0,995c$. Oblicz czas lotu w układzie Ziemi, czas własny mionu oraz grubość atmosfery widzianą w układzie mionu.



9

Sonda wystrzelona ze statku**relatywistyczne składanie prędkości**

Statek porusza się względem Ziemi z prędkością $0,75c$. W kierunku ruchu wystrzeliwuje sondę z prędkością $0,60c$ względem statku. Oblicz prędkość sondy względem Ziemi.



10

Dwa statki lecące naprzeciw siebie**prędkość względna**

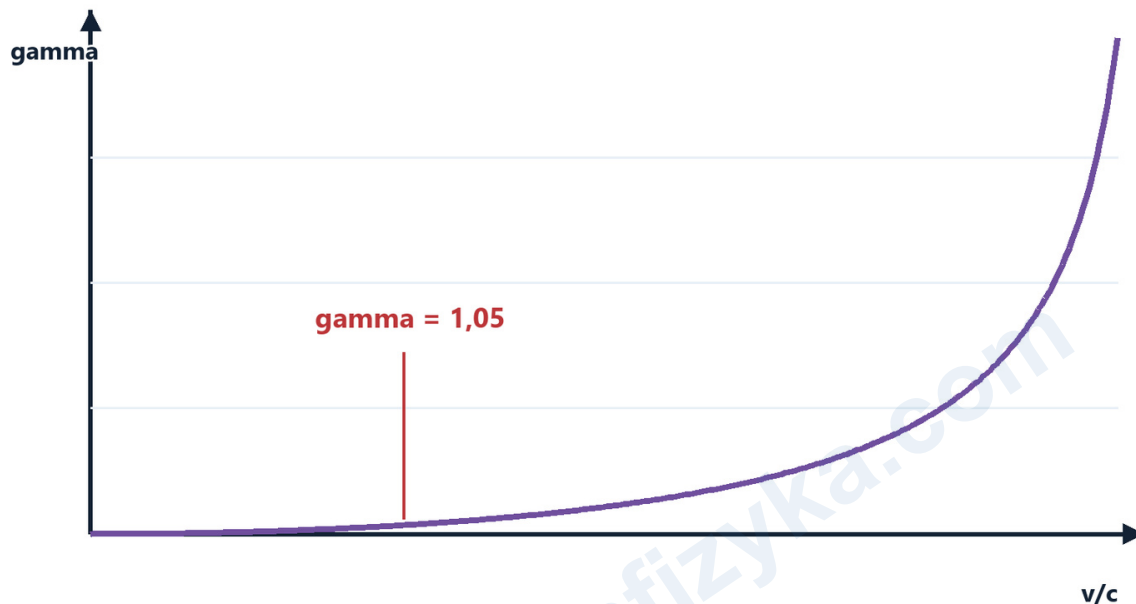
W układzie Ziemi statek A porusza się z prędkością $+0,80c$, a statek B z prędkością $-0,70c$. Z jaką prędkością statek B zbliża się do A w układzie statku A?



11

Kiedy mechanika klasyczna przestaje wystarczać?**współczynnik Lorentza**

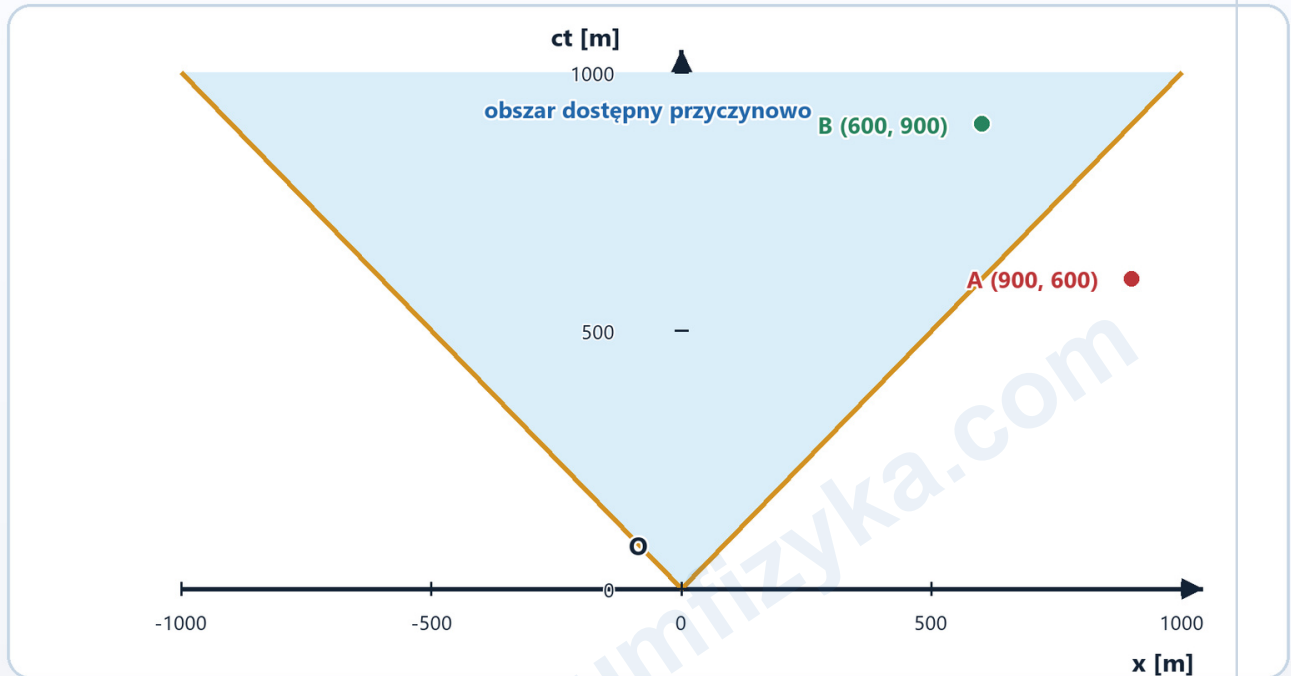
Wyznacz najmniejszą prędkość, dla której dylatacja czasu przekracza 5%, czyli $\gamma = 1,05$. Podaj wynik jako część prędkości światła oraz w km/s.



12

Które zdarzenia mogą być przyczynowo powiązane?**diagram czasoprzestrzenny**

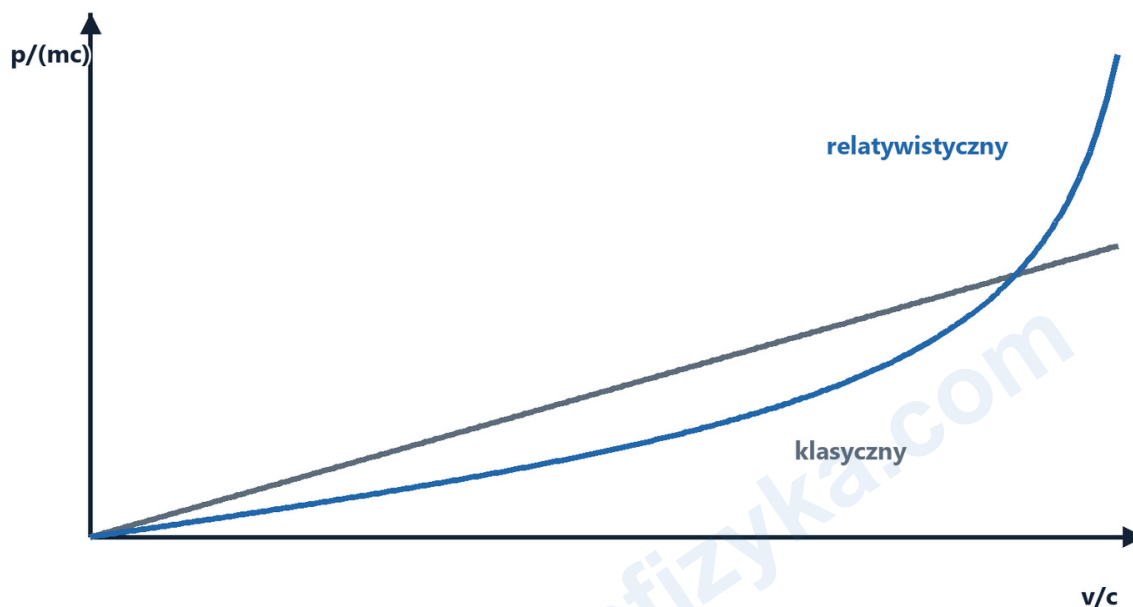
Zdarzenie O ma współrzędne ($t = 0$, $x = 0$). Zdarzenie A zachodzi po $2,0 \mu\text{s}$ w punkcie $x = 900 \text{ m}$, a zdarzenie B po $3,0 \mu\text{s}$ w punkcie $x = 600 \text{ m}$. Określ, które zdarzenie może pozostawać w związku przyczynowym ze zdarzeniem O.



13

Pęd szybkiego protonu**pęd relatywistyczny**

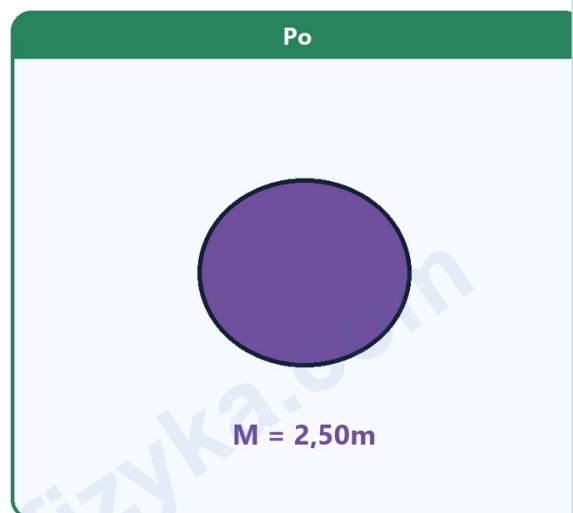
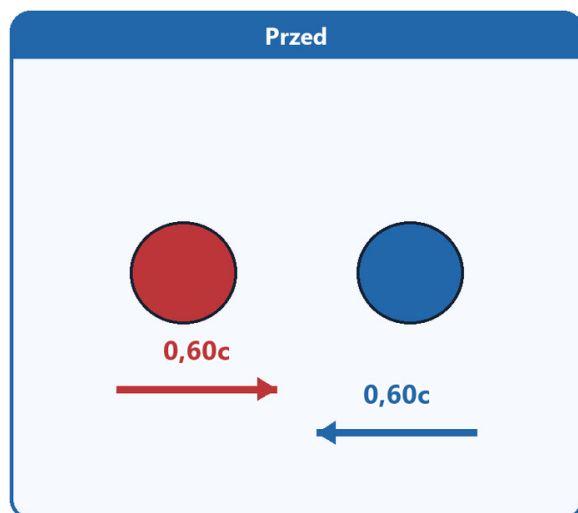
Proton porusza się z prędkością $0,80c$. Wyraż jego pęd w jednostkach mc i porównaj z wartością klasyczną mv . Ile razy wzór klasyczny zaniża wynik?



14

Czołowe zderzenie dwóch cząstek**zachowanie energii i pędu**

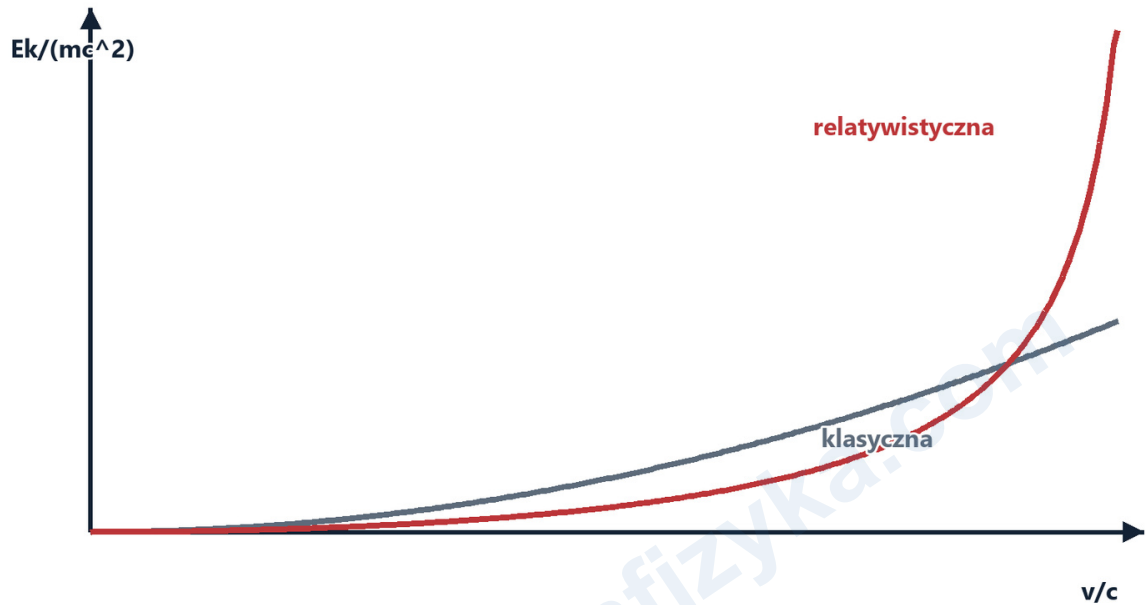
Dwie identyczne cząstki o masie spoczynkowej m lecą naprzeciw siebie z prędkościami $0,60c$ i zderzają się doskonale niesprężystie. Powstały obiekt spoczywa. Wyznacz jego masę spoczynkową oraz energię zamienioną na energię wewnętrzną.



15

Elektron przy prędkości 0,90c**relatywistyczna energia kinetyczna**

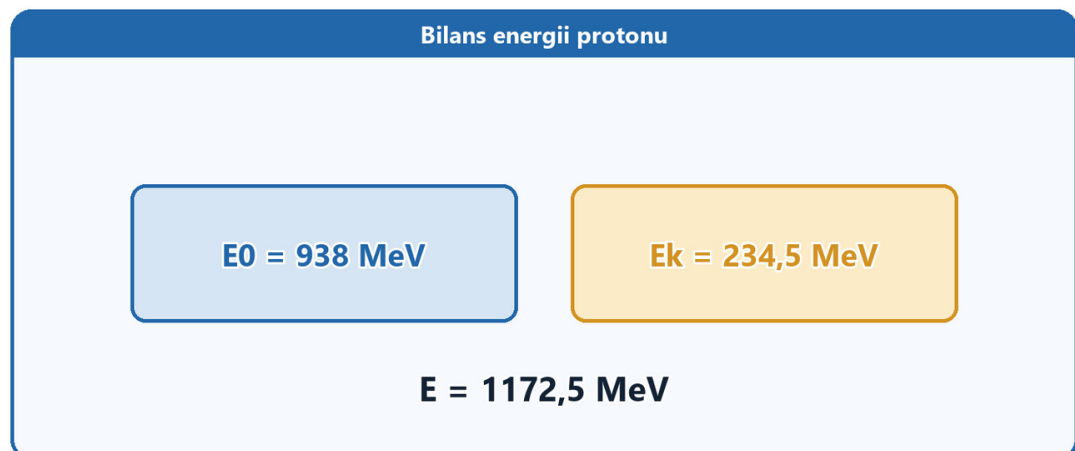
Oblicz relatywistyczną energię kinetyczną elektronu poruszającego się z prędkością 0,90c i porównaj ją z wynikiem klasycznym. Przyjmij $m_e c^2 = 0,511 \text{ MeV}$.



16

Bilans energii protonu**energia spoczynkowa, kinetyczna i całkowita**

Proton porusza się z prędkością 0,60c. Oblicz jego energię spoczynkową, całkowitą i kinetyczną. Przyjmij $m_p c^2 = 938 \text{ MeV}$.



17

Energia z pomiaru pędu

związek energii z pędem

Proton ma pęd 3,00 GeV/c. Oblicz jego energię całkowitą, energię kinetyczną i prędkość. Przyjmij $m_p c^2 = 0,938$ GeV.

 mc^2 E $pc = 3,00 \text{ GeV}$

18

Masa energii elektrycznej

równoważność masy i energii

Akumulator oddaje 1,00 kWh energii, po czym zostaje zważony idealną wagą. O ile zmniejszyła się jego masa? Jak zmieniłaby się masa po oddaniu 1,00 GWh?

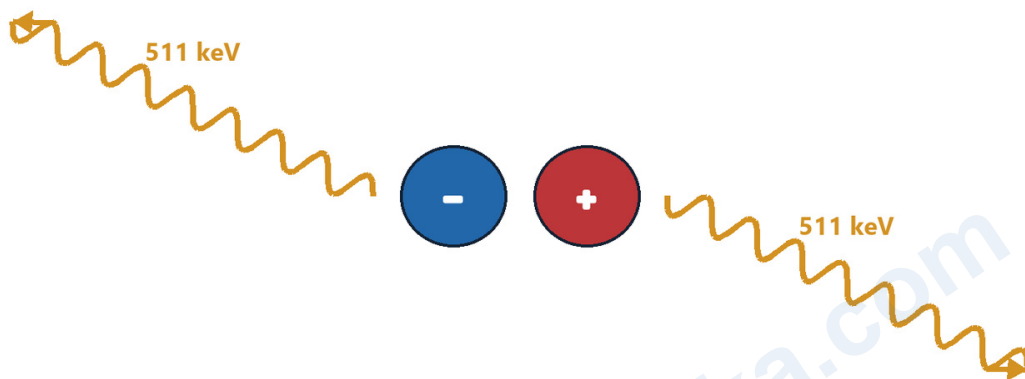


$$\text{zmiana masy} = E/c^2$$

19

Anihilacja pary w spoczynku**zachowanie energii i pędu**

Elektron i pozyton anihilują po zatrzymaniu w ośrodku. Wyznacz liczbę, energie i wzajemne kierunki fotonów w najprostszym możliwym procesie.



20

Kreacja pary przy jądrze**energia progowa i zachowanie pędu**

Foton gamma przelatuje w pobliżu ciężkiego jądra i tworzy parę elektron-pozyton. Jaka jest minimalna energia fotonu przy pominięciu odrzutu jądra? Dlaczego proces nie może zajść dla pojedynczego fotonu w próżni?

