

5. Fizyka relatywistyczna

5.1. Spowolnienie upływu czasu w poruszającym się układzie

1. Czas własny życia pewnej niestabilnej cząstki wynosi $\tau=10^{-6}$ s. Jaki jest czas życia tej cząstki w układzie, w którym jej prędkość wynosi $v=0,99993\cdot c$? Jaką drogę przebędzie ta cząstka w tym układzie do chwili swego rozpadu?

2. Jeden z dwu takich samych zegarów został umieszczony na okres jednego roku na satelicie krążącym wokół Ziemi tuż przy jej powierzchni, drugi zegar spoczywa na powierzchni Ziemi. Jaka będzie różnica czasów odczytana na tych dwu zegarach po ich spotkaniu, wywołana relatywistycznym spowolnieniem?

3. Dwie cząstki poruszają się z tą samą prędkością $v=0,991\cdot c$ wzdłuż tej samej prostej. Odległość pomiędzy nimi w układzie, w którym cząstki te spoczywają wynosi $l_0=100$ km. Jaki będzie odstęp czasu pomiędzy zderzeniami tych cząstek z tarczą, zmierzony na zegarze związanym z tarczą?

4. Dwa zdarzenia zachodzą na Ziemi w odstępnie czasu $t=1$ s. Jaki czas pomiędzy tymi zdarzeniami zmierzy zegar na rakiemie, która odległość Ziemia-Słońce pokonuje w ciągu $t'=9$ minut (z punktu widzenia obserwatora na Ziemi)?

5. Jaka musi być minimalna prędkość rakiety, na której w ciągu życia ludzkiego można by było dolecieć do Galaktyki Andromedy, odległej o $l=2$ mln lat świetlnych?

6. Na pokładzie satelity krążącego swobodnie tuż przy powierzchni Ziemi znajduje się zegar radiowy, nadający fale o częstotliwości $\nu=9,315\ 456$ GHz. Jaką częstotliwość tej fali zarejestruje odbiornik umieszczony na powierzchni Ziemi?

5.2. Relatywistyczne skrócenie długości

1. Jaka powinna być prędkość rakiety w układzie laboratoryjnym, aby jej długość w tym układzie była o 1 % mniejsza niż jej długość własna?

2. Pręt o długości własnej $l_0=5$ m porusza się w układzie laboratoryjnym w taki sposób, że wektor jego prędkości \vec{v} tworzy z prętem kąt $\alpha=50^\circ$. Jaka jest długość tego pręta w układzie laboratoryjnym, gdy $v=0,95\cdot c$?

3. Rakieta przebywa odległość Ziemia-Słońce ($l=150$ mln km) w czasie $t=9$ minut, zmierzonym na zegarze na Ziemi. Jaka jest odległość Ziemia-Słońce dla obserwatora na rakiemie?

4. Pręt o długości własnej $l_0=25$ m poruszający się ze stałą prędkością wzdłuż swojej długości przelatuje w ciągu $t=100$ ns obok nieruchomego znacznika. W ciągu jakiego czasu przebiega znacznik wzdłuż tego pręta w układzie własnym pręta?

5. Dwie cząstki poruszają się wzdłuż osi x z tą samą prędkością $v=0,99\cdot c$, w tą samą stronę. Cząstki te uderzają następnie w tarczę w odstępnie czasu $t=3$ ms (w układzie tarczy). Jaka była odległość pomiędzy tymi cząstkami przed zderzeniem a) w układzie tarczy; b) w układzie, w którym one spoczywały.

6. Kwadrat ma powierzchnię $s=1$ m² dla obserwatora, względem którego on spoczywa. Jaka będzie powierzchnia tego kwadratu dla obserwatora, który porusza się względem niego z prędkością $v=0,9\cdot c$ wzdłuż jednego z jego boków?

5.3. Energia i pęd relatywistyczny

1. Wodę w szklance ($m=150$ g) o temperaturze $t_1=20^\circ\text{C}$ podgrzano do temperatury $t_2=100^\circ\text{C}$. O ile wzrosła masa wody? Uwaga: ciepło właściwe wody $c_p=4,2$ kJ/(kg·K).

2. Elektron (e^-) i pozyton (e^+) anihilują w rezultacie zderzenia, powodując powstanie dwu fotonów. Jaka jest energia każdego fotonu (w MeV)?

3. Obliczyć, jaką masę w ciągu 1 roku traci Słońce w wyniku promieniowania, wiedząc, że stała słoneczna na Ziemi $S=1,4$ kW/m², zaś odległość Ziemia-Słońce $l=150$ mln km.

4. Elektron będący początkowo w spoczynku został przyśpieszony różnicą potencjałów $U=0,5$ MV. Jaka będzie jego końcowa prędkość?

5. Światło z lasera o mocy 1 W pada na powierzchnię całkowicie pochłaniającą promieniowanie. Jaka siła działa na tą powierzchnię ze strony tego światła?

6. Proton porusza się z prędkością $v_1=0,3\cdot c$. Ile energii należy mu dostarczyć, aby jego prędkość wzrosła do $v_2=0,9\cdot c$?

7. Obliczyć pęd i energię kinetyczną elektronu, którego prędkość $v=0,8\cdot c$.

8. Jaką prędkość musi mieć elektron, aby jego energia była równa energii spoczynkowej protonu?

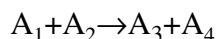
9. Jaki pęd ma elektron o energii $E=1$ MeV?

10. Czarna dziura o promieniu $R=2GM/c^2$ promieniuje jak ciało doskonale czarne o temperaturze $T = \frac{hc^3}{8\pi kGM}$, gdzie G jest stałą grawitacji, k stałą Boltzmanna, a $h = \frac{h}{2\pi}$, gdzie h jest stałą Plancka. Skutkiem tego promieniowania jest malenie masy czarnej dziury. Obliczyć, jaką masę ma obecnie czarna dziura, która przed $\tau=10$ mld lat miała masę równą masie Słońca.

Uwaga: Moc wypromieniowana z jednostki powierzchni ciała doskonale czarnego $M=\sigma\cdot T^4$, gdzie σ jest stałą Stefana-Boltzmanna.

5.4. Reakcje jądrowe

1. Poruszające się jądro A_1 zderza się ze spoczywającym jądrem A_2 . W wyniku reakcji jądrowej tworzą się jądra A_3 i A_4 :



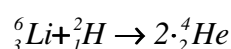
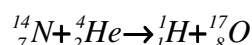
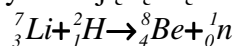
Wyrazić energię tej reakcji poprzez masy jąder biorących w niej udział.

2. Korzystając z tablicowych danych dotyczących mas atomów, obliczyć :

a) średnią energię wiązania przypadającą na jeden nukleon dla ^4He , ^7Li , ^{12}C , ^{16}O , ^{24}Mg ;

b) energię do rozdzielenia jąder ^8B , ^{12}C i ^{16}O odpowiednio na 2, 3 i 4 takie same cząstki.

3. Obliczyć energię wydzielającą się w następujących reakcjach jądrowych:



4. Jakiej minimalnej energii potrzeba, aby rozbić jądro ^4He na deuteron, proton i neutron?

5. Spoczywająca cząstka o masie M rozpada się samorzutnie na dwie cząstki o masach m_1 i m_2 . Obliczyć energie całkowite E_1 i E_2 tych cząstek. Czy $M=m_1+m_2$?

6. Spoczywająca cząstka o masie $M=1,5$ GeV rozpada się na dwie takie same cząstki, z których każda porusza się z prędkością $v=0,95 \cdot c$. Obliczyć masę i pęd każdej z cząstek.

7. Cząstka o masie m_1 mająca prędkość v zderza się ze spoczywającą cząstką o masie m_2 . W wyniku zderzenia obie cząstki łączą się w jedną cząstkę o masie M i prędkości u . Obliczyć M i u .

Jądro	Masa (a.j.m.)
n	1,00867
p	1,00783
^2H	2,01410
^4He	4,00260
^6Li	6,01513
^7Li	7,01601
^8Be	8,00531
^{12}C	12,00000
^{14}N	14,00307
^{16}O	15,99491
^{17}O	16,99913
^{24}Mg	23,98504

Uwaga: $1 \text{ a.j.m.} = 1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,49432 \text{ MeV}$.