

# Seria X, Wstęp do Fizyki I

## Zadania wstępne

### Zadanie wstępne 1

Detektory w laboratorium zarejestrowały cząstkę o energii 1,25 GeV i pędzie 0,75 GeV/c. Jaka to cząstka. Oblicz jej masę spoczynkową. Z jaką prędkością porusza się ona w LAB.

### Zadanie wstępne 2

Elektron o masie  $0,5 \frac{MeV}{c^2}$  i energii 4 GeV zderza się ze spoczywającym protonem tarczy o energii spoczynkowej 1GeV. Jaką maksymalną energię może uzyskać proton.

### Zadanie wstępne 3

Przeprowadzono spektrometryczne badania promieniowania pochodzącego z odległej galaktyki. Linie widmowa o długości fali (zarejestrowanej w spektrometrze)  $\lambda=730\text{nm}$  udało się zidentyfikować jako linię wodoru serii Balmera, która w warunkach laboratorium ziemskiego ma długość fali  $\lambda_0=487\text{nm}$ . Korzystając z wzorów Dopplera oblicz prędkość i kierunek ruchu galaktyki.

## Seria X, Wstęp do Fizyki I, zadania

### Zadanie 1

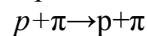
W LHC zderzają się przeciwbieżne wiązki protonów o energiach 7 TeV każda.

- Oblicz współczynniki transformacji Lorentza z układu laboratoryjnego do układu protonu w wiązce.
- Jaka będzie energia protonów wiązki w układzie w którym proton wiązki przeciwnej spoczywa?
- Jaka jest całkowita energia dostępna dla produkcji cząstek w układzie środka masy?
- Jaka musiałaby być energia wiązki protonów padających na tarczę stacjonarną, aby energia dostępna wynosiła tyle samo co w LHC?

Masa protonu wynosi przybliżeniu  $mc^2 = 1\text{GeV}$

### Zadanie 2.

Wiązka mezonów  $\pi$  o energii  $E_\pi = 1\text{GeV}$  pada na tarczę protonową (ciekły wodór). Jednym z procesów zachodzących w zderzeniu pionu z protonem jest rozproszenie sprężyste

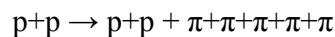


- Jaka jest prędkość środka masy układu  $\pi+p$ ?
- Jakie są energie i pędy obydwu cząstek w układzie środka masy?
- Pion rozproszył się pod kątem  $\theta = 90^\circ$  w układzie środka masy. Pod jakim kątem nastąpiło rozproszenie w układzie laboratorium?

Masa mezonu  $\pi$   $m_\pi = 0,14 \text{ GeV}/c^2$ , masa protonu  $m_p = 0,94 \text{ GeV}/c^2$

### Zadanie 3

Wiązka protonów pada na tarczę protonową (ciekły wodór). Jaka powinna być minimalna energia  $E$  wiązki aby wyprodukować 5 mezonów  $\pi$  w reakcji:



Masa mezonu  $\pi$   $m_\pi = 0,14 \text{ GeV}/c^2$ , masa protonu  $m_p = 0,94 \text{ GeV}/c^2$

### Zadanie 4

Wiązka jąder  $^{114}\text{Cd}$  o masie  $m_{114}$  jest rozpraszana na stacjonarnej tarczy wykonanej również z jąder  $^{114}\text{Cd}$  (cienka blaszka kadmowa). Jaka powinna być minimalna energia jąder wiązki aby w wyniku jej rozproszenia uzyskać jądra wiązki o energii wzbudzenia  $E_1$  i jądra tarczy o energii wzbudzenia  $E_2$ .

### Zadanie 5

Mezon  $K$  o masie  $m_K = 500 \text{ MeV}/c^2$  i energii  $E = 833 \text{ MeV}$ , rozpada się na dwa piony których masy spoczynkowe to  $m_\pi = 140 \text{ MeV}/c^2$ . Wyznacz maksymalną i minimalną energię pionu, która może zostać zmierzona w układzie laboratoryjnym.

### Zadanie 6

Mezon  $\pi$  o masie  $m = 140 \text{ MeV}/c^2$  poruszający się z energią kinetyczną  $T = 35 \text{ MeV}$  rozpada się na dwa fotony.

a) Wyznacz maksymalną i minimalną energię fotonu, jaka może zostać zmierzona w układzie laboratoryjnym.

b) Jaki kąt zostanie zmierzony między fotonami w układzie laboratoryjnym, jeśli w układzie własnym mezonu  $\pi$  fotony są emitowane prostopadle do kierunku ruchu?

### Zadanie 7

Rakieta lecąca w kierunku Ziemi z prędkością  $v=0,6c$  emituje sygnały laserowe. Emitowane fotony mają energię  $0,6\text{eV}$  (to podczerwień).

a) Jaką energię zmierzy obserwator na Ziemi?

b) Jak szybko musiałaby lecieć rakieta, żeby fotony obserwowane były jako widzialne ( $E > 1,8\text{eV}$ )?

### Zadanie 8

Przeprowadzono spektrometryczne badania promieniowania pochodzącego z odległej galaktyki. Linie widmowa o długości fali (zarejestrowanej w spektrometrze)  $\lambda=730\text{nm}$  udało się zidentyfikować jako linię wodoru serii Balmera, która w warunkach laboratorium ziemskiego ma długość fali  $\lambda_0=487\text{nm}$ . Korzystając z wzorów transformacji energii oblicz prędkość i kierunek ruchu galaktyki.

### Zadanie 9

Obserwacje wskazują, że Wszechświat rozszerza się jednorodnie i nie posiada wyróżnionego punktu. Dla odpowiednio dużych skal w porównaniu z rozmiarami Galaktyki spełniona jest zależność (prawo Hubble'a):  $v = H_0 r$ , gdzie:  $v$  - prędkość oddalania się obiektu (źródła promieniowania (galaktyki)) od Ziemi,  $r$  - odległość do źródła,  $H_0$  - stała Hubble'a.

a) W jaki sposób stosunek  $\frac{\lambda}{\lambda_0}$  zależy od odległości źródła od Ziemi ( $r$ ), przy spełnieniu

prawa Hubble'a. Oblicz Stałą Hubble'a jako funkcję  $r$  i  $\frac{\lambda}{\lambda_0}$ .

b) W jaki sposób wielkość zdefiniowana jako przesunięcie ku czerwieni (redshift)

$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$  zależy od odległości źródła od Ziemi ( $r$ ), przy spełnieniu prawa

Hubble'a.

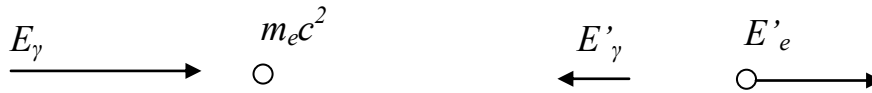
c) Policz stałą Hubble'a dla

d) Galaktyka w gwiazdozbiornie Panny  $r_1=17\text{Mpc}$ ,  $z_1=0,004$

e) Galaktyka w Wielkiej Niedźwiedzicy  $r_2=180\text{Mpc}$ ,  $z_2=0,051$

### Zadanie 10

Foton o energii  $E_\gamma$  rozprasza się wstecznie na swobodnym elektronie. Oblicz energię rozproszonego fotonu.



### Zadanie 11

Wiązka fotonów o energii 1eV rozprasza się wstecznie na przeciwbieżnej wiązce elektronów o energii 250 GeV. Wyznacz energię rozproszonego fotonu.

### Zadanie 12

Na podstawie eksperymentów ze wstecznym rozpraszaniem fotonów na przeciwbieżnej wiązce elektronów (poprzednie zadanie) stwierdzono znaczny wzrost energii fotonu po rozproszeniu. Na tej podstawie skonstruowano akcelerator fotonów gdzie rozpraszanie wsteczne zachodzi wielokrotnie. Akcelerator ma postać dwóch idealnie równoległych zwierciadeł, które zbliżają się ku sobie. Prędkość każdego zwierciadła wynosi  $\beta$ .

Pomiędzy zwierciadłami umieszczono źródło emitujące fotony idealnie prostopadle do zwierciadeł. Każdy foton jest wielokrotnie wstecznie rozpraszany przez zwierciadła. Czy taki układ pozwala na uzyskanie dowolnej energii fotonu? Przyjmij że w rozpraszaniu wstecznym biorą udział tylko elektrony zawarte w zwierciadłach.