

# Zadania wstępne, Fizyka I, Seria X

## 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  $0,5 \text{ MeV}/c^2$  i energii 4GeV zderza się ze spoczywającym protonem tarczy o energii spoczynkowej 1GeV. Jaka maksymalna 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.

# Zadania na ćwiczenia, Fizyka I, Seria X

## Zadanie 1.

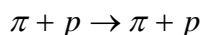
W LHC zderzają się przeciwbieżne wiązki o energiach 7 TeV każda.

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

Masa protonu w przybliżeniu to  $m_p = 1\text{GeV}/c^2$ ,  $1\text{TeV} = 10^{12} \text{ eV} = 10^3 \text{ GeV}$ .

## 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

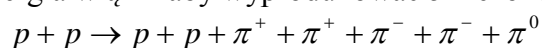


- Jaka jest prędkość środka masy układu  $\pi+p$ ?
- Jakie są energie i pędy obydwu cząstek w układzie środka masy?
- Pion rozproszył się pod kątem  $\theta = 90^\circ$  w układzie środka masy.; Pod jakim kątem nastąpiło rozproszenie w układzie laboratorium?

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

## Zadanie 3.

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



Masy mezonów  $\pi$ ,  $m_\pi = 0,14\text{GeV}/c^2$ , zaś masa protonu to  $m_p = 0,94\text{GeV}/c^2$ .

#### Zadanie 4. Cząstki elementarne, rozpady cząstek w spoczynku i w locie

Rozpad kaonu. Mezon  $K_s^0$  o masie  $m_K=500 (498)MeV/c^2$  i energii  $E=833 MeV$ , rozpada się na dwa piony których masy spoczynkowe to  $m_\pi=140 MeV/c^2$ . Wyznacz maksymalną i minimalną energię pionu, która może zostać zmierzona w układzie laboratoryjnym.

Jaki kąt zostanie zmierzony między pionami w układzie laboratoryjnym, jeśli w układzie własnym kaonu piony będą emitowane prostopadle do kierunku ruchu? (ew. dla Fizyki)

**Zadanie 5. Rozpad pionu.** Pion o masie  $m_\pi =140 MeV/c^2$  poruszający się z energią kinetyczną  $E_k=35 MeV$  rozpada się na dwa fotony. Wyznacz maksymalną i minimalną energię fotonu, która może zostać zmierzona w układzie laboratoryjnym. Jaki kąt zostanie zmierzony w układzie laboratoryjnym, jeśli w układzie własnym pionu fotony zostały wyemitowane prostopadle do kierunku ruchu?

#### Zadanie 6.

Rakieta lecąca w kierunku Ziemi z prędkością  $v=0,6c$  emituje sygnały laserowe. Emitowane fotony mają energię  $0,6eV$  (to podczerwień). Jaką energię zmierzy obserwator na Ziemi? Jak szybko musiałaby lecieć rakieta, żeby fotony obserwowane były jako widzialne ( $E>1,8eV$ )?

#### Zadanie 7.

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

#### Zadanie 8.

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 gwiazdozborze Panny  $r_1=17Mpc$ ,  $z_1=0,004$

e) Galaktyka w Wielkiej Niedźwiedzicy  $r_2=180 Mpc$ ,  $z_2=0,051$

### Zadanie 9.

W procesie Comptona fotony lasera rubinowego ( $\lambda=694,3\text{nm}$ ) rozpraszają się na swobodnych elektronach, a długość fali zależy jedynie od kąta rozproszenia  $\theta$  i tzw.

comptonowskiej długości fali elektronu  $\lambda_c = \frac{h}{m_e c} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ nm} = 2,4 \cdot 10^3 \text{ fm}$ . Policz długość

fali wiązki rozproszonej i porównaj wynik z rozproszeniem anihilacyjnych fotonów  $\gamma$  o energii 511 keV.

### Zadanie 10.

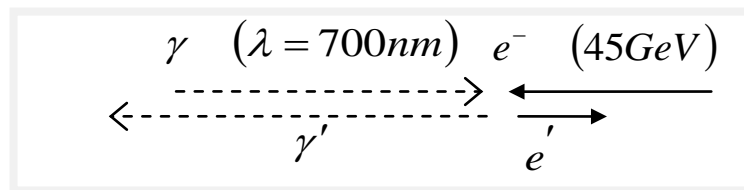
#### „Akcelerator fotonów” – odwrotne rozpraszanie Comptona

W procesie Comptona fotony UV padają na spoczywające elektrony i rozpraszają się, a długość fali zależy jedynie od kąta rozproszenia  $\theta$ :

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta) = \lambda_c(1 - \cos\theta), \text{ gdzie } \lambda_c = \frac{h}{m_e c} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ nm} = 2,4 \cdot 10^3 \text{ fm}.$$

W zderzeniu fotonów z lasera rubinowego ( $\lambda=700\text{nm}$ ) z elektronami z akceleratora LEP w CERN-ie o energii  $E_e=45 \text{ GeV}$ , zachodzi rozproszenie do tyłu.

Oblicz energię rozproszonych fotonów.



Rys. 1 Ilustracja rozpraszania Comptona na relatywistycznym elektronie

### Zadanie 11.

Wiązka fotonów o energii 1 eV rozprasza się na przeciwbieżnej wiązce elektronów o energii 250 GeV.

- wyznacz minimalną i maksymalną energię rozproszonego fotonu
- wyznacz minimalną i maksymalną energię elektronu po rozproszeniu
- pod jakim kątem rozproszony został foton jeśli uzyskał energię 125 GeV

### Zadanie 12. Foton jako cząstka, efekt fotoelektryczny

Wyjaśnić, dlaczego zjawisko fotoelektryczne nie zachodzi na swobodnym elektronie.