

## Ćwiczenia IV

## Fizyka cząstek elementarnych

### Zadanie 1

Maksymalna planowana energia zderzenia w LHC wynosi  $E_* = 14$  TeV. Jaką energię powinien mieć proton w układzie, w którym proton tarczy spoczywa, żeby energia zderzenia w środku masy wynosiła 14 TeV.

### Zadanie 2

Ziemia jest bezustannie bombardowana przez docierające spoza naszej galaktyki promieniowanie kosmiczne tworzone w 90% przez protony. Proton poruszając się we Wszechświecie oddziałuje z pozostałym po Wielkim Wybuchu mikrofalowym promieniowaniem tła – promieniowaniem ciała doskonale czarnego o temperaturze 2,7 K. Gdy proton jest tak energetyczny, że otwiera się nieelastyczny kanał  $p + \gamma \rightarrow n + \pi^+$  lub  $p + \gamma \rightarrow p + \pi^0$ , przekrój czynny jest na tyle duży, że średnia droga swobodna jest rzędu 100 Mly. Jest to wielkość mniejsza od charakterystycznych odległości międzygalaktycznych. Oznacza to, że promieniowanie kosmiczne o tak wielkich energiach nie ma prawa dotrzeć do Ziemi. Owa maksymalna energia nazywana jest granicą GZK od K. Greisena, V. Kuzmina i G. Zatsepina, którzy ją przewidzieli w 1966 roku.

Obliczyć granicę GZK, przyjmując, że masa nukleonu wynosi 940 MeV, a pionu 140 MeV, stała Boltzmann zaś  $k_B = 8.6 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1} \text{ eV}$ .

### Zadanie 3

Proton oddziałuje z fotonem mikrofalowego promieniowania tła produkując neutralny pion, zachodzi reakcja  $p + \gamma \rightarrow p + \pi^0$ . Obliczyć o ile spadnie pęd protonu na skutek powstania pionu, przyjmując, że pęd protonu ma dokładnie wartość progową, a fotonu wynosi  $p_\gamma = 6,5 \cdot 10^{-4} \text{ eV}/c$ , przy czym pędy protonu i fotonu są przeciwnie skierowane. Masa nukleonu równa jest 940 MeV, a pionu 140 MeV.