1. W LHC produkowanych jest około 10^7 antyprotonów na sekundę. W książce Dana Browna "Angels and demons" mówi się o bombie atomowej w CERNIE o masie 1 grama. Oszacować jak długo musiałaby trwać produkcja takiej ilości antymaterii w CERNIE. Czy jeden gram antymaterii zawiera energię równoważną 20 kt (kiloton) bomb jądrowych?

   $1kt = 4.2 \cdot 10^{12}$J

   Pomocny link na ten temat znajduje się na stronie www do wykładu (pod hasłem "Angels and demons")

2. Masę mezonu Yukawy można oszacować następująco (model Yukawy sił jądrowych). Dwa protony w jądrze wymieniając cząstkę o masie m naruszają zasadę zachowania energii o czynnik mc^2. Zgodnie z zasadą nieokreśloności Heisenberga jest to możliwe w czasie niedłuższym niż $\hbar/\Delta E$. Z drugiej strony czas ten wiążemy z relatywistyczną ($v \simeq c$) propagacją tej cząstki pomiędzy dwoma nukleonami na odległość R (maksymalnie rozmiar jądra). Dlatego

   $$m = \frac{\hbar}{Rc}.$$

   Przyjmując $R = 10^{-14}$ m oszacuj masę mezonu Yukawy. Porównaj z masą pionu. Uwaga: to wyprowadzenie nie jest ścisłe (dlaczego?), chociaż odegrało swoją rolę w historii fizyki.

3. W podstawowej reakcji zachodzącej na Słońcu wyzwalana jest energia w postaci promieniowania elektromagnetycznego wynosząca 28 MeV:

   $$4p \rightarrow \alpha + 2e^+ + 2\nu_e + 28 \text{ MeV}.$$

   Oblicz strumień neutrin na powierzchni Ziemi. Odległość Ziemia-Słońce wynosi $1.5 \cdot 10^{11}$ m, a całkowita moc promieniowania elektromagnetycznego Słońca wynosi $4 \cdot 10^{26}$ W.

4. Krótko żyjące miony są wytwarzane przez promieniowanie kosmiczne w górnych warstwach atmosfery, mniej więcej na wysokości 10 km. Poruszają się one z prędkością 0.999c. W eksperymentach laboratoryjnych, gdy miony są w spoczynku względem obserwatora, ich czas życia wynosi 2.2 μs.

   1. Jak długo żyje mion poruszający się względem obserwatora na Ziemi?
   2. Czy przeciętny mion ma szanse dotarcia do powierzchni Ziemi?

5. Udowodnij, że oscylacje neutrin między dwoma stanami zapachowymi w próżni można przedstawić w następujący, tradycyjny sposób (szkic wyprowadzenia na wykładzie):

   $$P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) = \sin^2 2\Theta \sin^2 \left(\frac{A \cdot \Delta m^2 [eV^2] \cdot L[km]}{E_\nu [GeV]} \right),$$

   gdzie:

   $$\begin{pmatrix} \nu_\alpha \\ \nu_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\Theta & -\sin\Theta \\ \sin\Theta & \cos\Theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \end{pmatrix}$$

   Pokazać, że przy powyższym wyborze jednostek $A \simeq 1.27$.