

- 1 Show that a photon cannot spontaneously disintegrate into an electron-positron pair.
- 2 Find the velocity of the ZM frame of two photons of frequencies  $\nu_1$  and  $\nu_2$  that travel in the positive and negative  $x$ -directions respectively.
- 3 Radiation energy from the sun is received on earth at the rate of 1.94 calories per minute per square centimeter. Assuming the distance of the sun to be 150 000 000 km, find the total mass lost by the sun per second, and the force exerted by solar radiation on a black disk of the same diameter as the earth (use 12 800 km), at the location of the earth.

4 **Energieeffizienz bei der Teilchenproduktion:**

Der Energieeffizienzfaktor der Teilchenerzeugung ist definiert als die Energie, die in der tatsächlichen Erzeugung der neuen Teilchen steckt, also  $\sum_i m_i$  (mal  $c^2$  in SI Einheiten), dividiert durch die Energie die der Teilchenbeschleuniger bereitstellen musste, also die minimale kinetische Energie vor der Kollision die man fuer die Teilchenproduktion braucht. Berechne den Energieeffizienzfaktor für

$$p + p \rightarrow p + p + \pi^0 ,$$

wo  $p$  ein Proton und  $\pi^0$  ein Pion bezeichne, fuer a) eine Kollision wo ein Proton immobil ist, b) beide Protonen stossen gegeneinander mit selben Geschwindigkeiten.

- 5 The *alternating tensor*  $\epsilon_{\alpha\beta\gamma\delta}$  is defined by the requirement that it changes sign under the permutation of any two indices (such tensors are called *totally antisymmetric*), and

$$\epsilon_{0123} = 1 .$$

Does this indeed define  $\epsilon_{\alpha\beta\gamma\delta}$  uniquely? [Hint: What is the value of  $\epsilon_{\alpha\beta\gamma\delta}$  when some indices coincide?] Define  $\epsilon^{\alpha\beta\gamma\delta}$  by raising the indices using the Minkowski metric:

$$\epsilon^{\alpha\beta\gamma\delta} = \eta^{\alpha\mu} \eta^{\beta\nu} \eta^{\gamma\rho} \eta^{\delta\sigma} \epsilon_{\mu\nu\rho\sigma} .$$

Show that  $\epsilon^{\alpha\beta\gamma\delta}$  is totally antisymmetric and that

$$\epsilon^{0123} = \det \eta^{\alpha\beta} = -1 .$$

How can this be generalised to other dimensions? or to the Euclidean metric? How many totally antisymmetric tensors with five indices are there in dimension  $n$ ,  $1 \leq n \leq 7$ ?