

素粒子実験で出てくる特殊相対論の計算練習

(5月9日の授業に持ってきて下さい。その場で答えあわせをした後に提出してもらいます。)

1. エネルギー10GeVのミュー粒子(質量 $100\text{MeV}/c^2$)の γ と β はいくらか?
2. エネルギー10GeVのミュー粒子の実験室系での寿命はいくらか?
3. エネルギー10GeVのミュー粒子の実験室系での寿命の間に何m飛行できるか?
4. 高エネルギー加速器研究機構が世界に誇るKEKB加速器は8GeVの電子と3.5GeVの陽電子を正面衝突させて、 $\Upsilon(4S)$ 粒子(質量 $10.58\text{GeV}/c^2$)を生成する。生成された $\Upsilon(4S)$ 粒子の速度 β は幾らか?
5. 上でできた $\Upsilon(4S)$ 粒子は $B\bar{B}$ ペアに崩壊する。 B 粒子が Υ と同じ速度を持っていると仮定すると、 B 粒子の飛行距離はいくらか(B 粒子寿命 1.5ps)? B ファクトリー実験(Belle実験)では、この B 粒子の飛行距離測定が可能である。
6. エネルギー500keVの光子が静止している電子(質量 500keV)とコンプトン散乱し、 90° 方向に反跳された。散乱後の光子のエネルギーはいくらか?
7. エネルギー1MeVの光子が静止している電子(質量 500keV)とコンプトン散乱して散乱された。光子が電子に与える最大エネルギーはいくらか? この時、電子が得たエネルギーの値をコンプトンエッジと呼ぶ。
8. 4元運動量(E_0, \vec{p}_0)の太陽ニュートリノが入射し、静止した質量 m の電子と散乱し、運動量(E_e, \vec{p}_e)の半跳電子が観測された。ニュートリノの進入方向からの電子の散乱角を θ と定義する。ニュートリノのエネルギー E_0 を電子の運動量(E_e, \vec{p}_e)、質量 m 、散乱角 θ を使って表せ。
9. $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ 崩壊を利用してニュートリノビームを生成することを考える。 π^+ の飛行方向にニュートリノ検出器を設置して π^+ の飛行方向($\theta=0^\circ$)に放出されたニュートリノを観測する。エネルギー E_π の π^+ の中間子により生成されるニュートリノのエネルギー E_ν はいくらか? $m_\pi=140\text{MeV}$, $m_\mu=106\text{MeV}$ を使い $E_\pi, p_\pi \gg m_\pi$ と仮定して答えよ。
10. $E_\pi=2.8\text{GeV}$ の π^+ 中間子を使う場合、この π^+ 中間子を十分崩壊させる(生存確率を $\exp(-3) \sim 0.05$ とする)ためには何mの崩壊用トンネルが必要か? π^+ 中間子の寿命は26nsで光速は $3 \times 10^8\text{m}/\text{秒}$ ある。
11. 静止した陽子(uud)標的(質量 $1\text{GeV}/c^2$)に高エネルギーに加速した反陽子ビーム($\bar{u}\bar{u}\bar{d}$)を衝突させて Z^0 粒子(質量 $90\text{GeV}/c^2$)を生成したい。 Z^0 粒子を生成するため必要な反陽子ビームのエネルギーはいくらか? ただし、 Z^0 は $u+\bar{u} \rightarrow Z^0$ の反応で生成され、各クォークは陽子の質量の3分の1を担っているとする。
12. 上の問題と似た状況で、静止した電子標的(質量 $500\text{keV}/c^2$)に高エネルギーに加速した陽電子ビームを衝突させて Z^0 粒子(質量 $90\text{GeV}/c^2$)を生成したい。 Z^0 は $e^+e^- \rightarrow Z^0$ の反応で生成されるとすると、 Z^0 粒子を生成するため必要な陽電子ビームのエネルギーはいくらか?