

物理学のフロンティア・第8回レポート問題

提出締切：2019年7月23日（火）13:20

担当：久世正弘

レポート提出について

- 方法：レポートは第1回～5回、第6回～10回、第11回～15回でそれぞれ一つずつ選び提出（それぞれのブロック内で複数回提出した場合は、最も得点の高いもの1つを成績へ反映させる）。
- 提出先：教養科目物理学演習事務室（西3号館3階312号室）前のレポートボックス No. 4（担当者によりレポートボックス番号が異なります。また西3号館は休日及び平日の夜7時から翌朝7時まで施錠されていて入館できません）
- 書式：任意。ただしレポートには学籍番号、氏名に加え「物理学のフロンティア第8回、久世先生レポート」と明記すること
- 締切：第6回～10回のレポート提出期限は共通で、7月23日（火）13:20まで

レポート問題

以下の間では、自然単位系（ $\hbar = c = 1$ ）を用いている。3問すべて解答せよ。

1. ニュートリノと核子の衝突断面積 σ はフェルミ結合定数を G_F として $\sigma \propto G_F^2 p_{CM}^2$ と書き表される（ $G_F = 1.166 \times 10^{-5} \text{GeV}^{-2}$ ）。ここで、 p_{CM} はニュートリノと核子の重心系（両粒子の運動量の大きさが同じで反対向きの系）での運動量の大きさである。実験室系でエネルギー E のニュートリノビームが静止している核子標的（質量 M ）に衝突したとして、 p_{CM}^2 を E と M を用いて表せ。 $E \gg M$ および $E \ll M$ の双方の極限において、断面積はエネルギー E にどのように依存するか。
2. エネルギー $E = 1 \text{ GeV}$ の場合、核子との衝突断面積 σ は約 10^{-38}cm^2 となる。密度 $\rho = 1 \text{g/cm}^3$ の物質（例えば水）に対し、このニュートリノの平均自由行程を計算し、地球から太陽までの距離（1億5000万 km）と比較せよ。ただし、物質の原子核は独立した陽子・中性子の系として扱い、ニュートリノとの衝突断面積は陽子も中性子も等しいとする。標的の数密度が $n[\text{cm}^{-3}]$ 、厚さ $d[\text{cm}]$ のとき衝突する確率 $P = \sigma n d$ であり、 $P = 1$ となる厚さ $(\sigma n)^{-1}$ を平均自由行程と定義する。
3. 欧州の OPERA 実験は、スイス・ジュネーブの CERN にある加速器で ν_μ ビームを発生させ、 $L = 730 \text{km}$ 離れたイタリア・ローマ近郊のグラン・サッソ地下研究所で $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ 振動からの τ レプトンを検出する。これが2世代振動で近似できるとすると、
$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) = \sin^2 2\theta_{23} \sin^2 \{a \Delta m_{32}^2 L/E\}, \quad a = 1.27 [\text{GeV}/(\text{eV}^2 \text{km})]$$
 と表される。ニュートリノビームの平均エネルギー $E = 17 \text{GeV}$ とすると、グラン・サッソの位置で ν_τ に振動したニュートリノの割合 P はどれほどになるか。また、最初の oscillation maximum（ P が最大になる距離）は何 km か。 $\sin^2 2\theta_{23} = 1$ 、 $\Delta m_{32}^2 = 2.5 \times 10^{-3} \text{eV}^2$ とする。