

相対論 試験問題

2007年7月 担当 風間

90分 問題用紙 1枚

解答用紙 両面1枚 計算用紙 1枚

以下、必要ならば次の値を適当に近似して用いよ。光の速さ $c = 3.00 \times 10^8 m/s$ 、電子の質量 $m_e = 0.511 MeV/c^2$ 、陽子の質量 $m_p = 938 MeV/c^2$ 。計算機を使用してはならない。

第1問 フレネルは速度 V で流れている屈折率 n の液体中を、その流れに順行して伝播する光の速度 v が

$$(*) \quad v = \frac{c}{n} + V \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)$$

で与えられるという仮説を提出した。

(1) これを検証したフィゾーの実験の略図を描き説明せよ。

(2) 式(*)に従えば、 $V = cn/(n+1)$ のとき $v = c$ となるが、相対論によればこれは正しくない。相対論的に正しい v の値を c と n を用いて表せ。

第2問 運動エネルギーが

(a) $100 MeV$ の光子 (静止質量ゼロ) (b) $1 MeV$ 電子 (c) $100 MeV$ の陽子
について次の問に答えよ。(答えは (b) > (c) > (a) のように記号で示せ。)

(1) 速度の大きいものの順に並べよ。

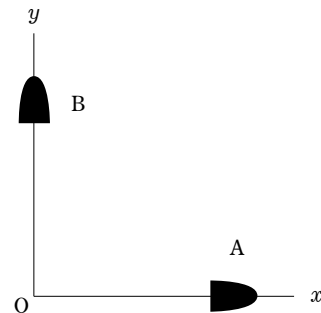
(2) 運動量の大きいものの順に並べよ。

第3問 ある慣性系 (S 系と呼ぶ) で、二つのロケット A、B が、時刻 $t = 0$ に原点を出発して、 x 軸及び y 軸方向に速度 V で飛行している。Aの静止系を S' 系、Bの静止系を S'' 系と呼ぶことにするとき、次の問いに答えよ。

(1) ロケット B の運動を S' 系で記述せよ。

(2) A から見た B の速度の成分を求めよ。

(3) B から見た A の速度は、(2) で得られた速度ベクトルの符号を逆転したものになるかどうかをニュートン力学と相対論の両方の場合を比較して論ぜよ。



第4問

$x^\mu = (x^0 = ct, x^1 = x, x^2 = y)$ で記述される3次元ミンコフスキー空間に限って考える。

(1) S' 系を S 系に対して x 軸正方向に一樣な速度 V で運動している系とすると、 S 系から S' 系へのローレンツ変換をあらわす行列 Λ_{ν}^{μ} の具体的な形を書け。

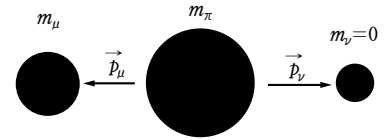
(2) $F^{\mu\nu}$ を反対称な2階の反変テンソル ($F^{\mu\nu} = -F^{\nu\mu}$) とするとき、このとき、 $f_0 \equiv F^{12}$, $f_1 \equiv F^{20}$, $f_2 \equiv F^{01}$ と定義すると、実は $f_\mu = (f_0, f_1, f_2)$ は共変ベクトルとして変換することを具体的に示せ。

第5問

図のように、静止しているパイ中間子（質量 m_π ）がミュー中間子（質量 m_μ ）及び質量ゼロのニュートリノに崩壊した。

(1) エネルギー及び運動量の保存則を用いて、ミュー中間子のエネルギー E_μ 、その運動量の大きさ p_μ 、及び速度 β_μ を m_π, m_μ を用いて表せ。

(2) 別の慣性系でこのプロセスを観測したところ、崩壊したミュー中間子がちょうど止まって見えた。この系で崩壊前のパイ中間子の速度 β'_π を m_π, m_μ を用いて表せ。



第6問（最高5点を加算する）

講義で最も興味深く感じた事柄をその理由と共に述べよ。