

『ヘリウエル 特殊相対論』練習問題解答

- 1.1 $v' = (v_0 - V) + a_0 t$
- 1.3 (c) $a = -g, v = -gt, y = h - (1/2)gt^2$
- 1.5 10 m/s. 運動エネルギーは保存しない .
- 1.7 はじめは車は 60 km/h で動いていて、衝突後は $20\sqrt{2} \simeq 28$ km/h で一緒に動く .
- 1.9 (a) $(2/\sqrt{3})\text{m/s} \simeq 1.15$ m/s. (b) $(\sqrt{3} + 1/\sqrt{3})\text{m/s} \simeq 2.31$ m/s . (c) イエス .
- 1.11 (a) $v_0 = \sqrt{k/mA}$. (b) $v = \sqrt{3k/m}(A/2)$.
- 1.13 (a) $v_{\text{He}} = 0.4v_0, v_n = -0.6v_0$. (b) $v_{\text{He}} = -0.6v_0, v_n = -1.6v_0$.
- 2.1 16.6 秒角 .
- 2.3 (a) 北から 39° 東向きで 190 km/h. (b) 北から 53° 西向きで 90 km/h .
- 2.5 鉛直から 63° の方向で , 13 m/s .
- 2.7 乗組員は前方により多くの恒星を見る .
- 2.9 $t_A = 2Dv_s / (v_s^2 - V_0^2)$, $t_B = 2D / \sqrt{v_s^2 - V_0^2}$. したがって B が勝つ .
- 3.1 (a) 依存する . (b) 依存しない .
- 3.5 (a) 光は c で音は v_s . (b) 光は c で音は $v_s - v_w$. (c) 光は c で音は $v_s - v_w + v_0$.
- 4.1 40 s.
- 4.3 $v = 0.789c$.
- 4.5 $\varepsilon = 5 \times 10^{-13}$.
- 4.7 (a) 100/3 年. (b) 80/3 年. (c) 64/3 年 .
- 4.9 2.6×10^{-10} s .
- 4.11 (b) 20 日. (c) 12 光日. (d) 5 日. (e) 14 日 .
- 4.13 1.04×10^{-7} s .
- 5.1 (a) 1.01×10^5 年. (b) 1.42×10^4 年. (c) 1.41×10^4 光年 .
- 5.3 $(3/5)c$.
- 5.5 $v/c = 0.996, 8.9 \times 10^{-5}$ m.
- 5.7 (a) $v/c = 1 - 3.0 \times 10^{-9}$. (b) 7.8 m.
- 5.9 (a) $\varepsilon = 1 \times 10^{-30}$. (b) 5×10^{-11} m で水素原子の半径とほぼ同じ .
- 5.11 (b) 36 光年. (c) 45 年. (d) 27 年 .
- 6.1 (a) -10^{-7} s. (b) 5×10^{-15} s .
- 6.3 (a) 5/12 時. (b) 5/13 光時. (c) 12/13 時 .
- 6.7 (a) 600 mc. (b) $1333(\frac{1}{3})\text{mc}$. (c) $1666(\frac{2}{3})\text{m/c}$. (d) $1066(\frac{2}{3})\text{m/c}$.
- 6.11 (c) 8/5 光年. (d) 10/9 時. (e) 2/3 時. (f) 8/9 光年. (g) 8/15 光年 .
- 6.13 (a) 1080 時間. (b) 864 時間 . したがって、助かる !
- 6.15 (a) $(4/\sqrt{3})$ 時間. (b) 午前 3 時 20 分直前までに .
- 7.1 (a) A は 52 歳, B は 20 歳. (b) 24 光年. (c) B はつねに慣性系にいたわけではないので、特殊相対論での規則が使用できない .
- 7.3 ロベスピエールの仲間たちの考え方が正しい .

7.5 物差しの系から見ると、金属板と穴が傾いていて、物差しは金属板の穴を通り抜けられる。

7.7 物差しの系では物差しが傾いて「落下する」のである。物差しの右端が下向きに「落下」を始め、最後に左端も穴をくぐり落ちる。相対論においては完全な剛体は存在しない。

8.1 11.5 s.

8.3 (a) -1.2 m. (b) 1.6 m/c.

8.5 (a) $(15/17)c$. (b) (i) 80 m. (ii) 100 m. (iii) 80 m. (c) (i) 166.7 m/c. (ii) 283.3 m/c.

8.7 (a) $v = \sqrt{c^2 + 3v_0^2}/2$. (b) $\theta = \tan^{-1}(c/\sqrt{3}v_0)$.

8.9 速度 $= (1 - \varepsilon)c/(1 - \varepsilon + \varepsilon^2/2)$.

8.11 $\cos \theta' = (\cos \theta - V/c)/(1 - (V/c) \cos \theta)$.

8.13 $v\sqrt{2 - v^2/c^2}$.

8.15 (b) $a'_x = a_x$. (c) $a_x = a'_x(1 - V^2/c^2)^{3/2}/(1 + v'_x V/c^2)^3$.

9.1 (a) 時間的. (b) 過去の光円錐上にあるので、ヌル。

9.3 (a) 空間的。

9.7 (c) タキオンが到着したとき、 S の時計は 9 日の経過を示している。(d) S 系では、タキオンは E で放たれるより以前に S に到着している。

9.9 $V = (4/5)c$.

9.11 (a) 負. (b) アル. (c) アル.

10.1 (a) 1.005. (b) 1.15. (c) 224. (d) 7.07×10^4 .

10.3 2.25×10^5 m/s.

10.5 (b) 球 A では $(v'_x)_{\text{前}} = 0$ と $(v'_x)_{\text{後}} = (-3v_0/2)/(1 + v_0^2/2c^2)$ 。球 B では $(v'_x)_{\text{前}} = -v_0$ と $(v'_x)_{\text{後}} = (-v_0/2)/(1 - v_0^2/2c^2)$ 。

10.7 $M/m = 9/16$.

10.9 $v/c = 0.14$.

11.1 $KE = 29mc^2$, $p = 29.983mc$, $v/c = 0.9994$.

11.3 $KE = 8.1 \times 10^{25}$ J $= 9mc^2$.

11.5 (a) 4.265 MeV. (b) トリウム原子核も運動エネルギーをもつため。

11.7 30 m.

11.9 (a) $E = 0.511$ MeV. $\lambda = 0.00243$ nm. (b) 1.02 MeV.

11.11 2.6×10^{-10} s.

11.13 (a) 5000 MeV/c. (b) $12\,000$ MeV/c². (c) 8000 MeV/c².

11.15 $\varepsilon = 5 \times 10^{-7}$.

11.17 $\varepsilon = 4.9 \times 10^{-24}$, 25 m/s.

11.19 $v'_x = -(4/5)c$, $v'_y = -(9/25)c$.

12.1 $M = 2m + k(\Delta x)^2/2c^2$.

12.3 3.4 MeV.

12.5 (a) 109.8 MeV. (b) 4.1 MeV. (c) 29.7 MeV/c. (d) 0.27c.

12.7 $v_n = 0.11c$, $v_\pi = 0.61c$.

12.11 (a) ²³⁹U が運動エネルギーをもつため。(b) $E_\gamma = (M^{*2} - M^2)c^4/2M^*c^2$.

12.13 0.60 MeV.

12.15 可能。146.3 MeV.

- 12.17 $7mc^2$
- 12.19 $\Delta\lambda = 0.0024 \text{ nm}$, $KE_e = 8.6 \times 10^{-6} \text{ eV}$.
- 12.23 1.66 m/s .
- 12.25 (b) $(3/5)c$. (c) $M/M_0 = \sqrt{(1-v/c)/(1+v/c)}$. (d) $1/3$.
- 12.27 (a) (i) 0.728. (ii) 0.866. (iii) 0.950.
- 13.1 (a) $p = 0.383 \text{ MeV}/c$, $E = 0.639 \text{ MeV}$. (b) $p' = -0.214 \text{ MeV}/c$, $E' = 0.554 \text{ MeV}$.
- 13.3 $p_x = 0$, $p_y = 704.7 \text{ MeV}/c$, $E = 1175 \text{ MeV}$, $p'_x = -881 \text{ MeV}/c$, $p'_y = 704.7 \text{ MeV}/c$, $E' = 1469 \text{ MeV}$.
- 13.5 1.0×10^{-3} .
- 13.7 $v/c = 4/5$.
- 13.9 (b) それぞれ、 $v/c = 0.162, 0.212, 0.258, 0.317$.
- 13.11 $\nu_{\text{観測}}/\nu_{\text{放射}} = M/M_0$.
- 13.13 $7m_p c^2$.
- 13.15 (a) より大きい. (b) $4m_e c^2$.
- 13.17 (a) 3.10 GeV . (b) $\varepsilon = 5.4 \times 10^{-8}$. (c) $9.4 \times 10^3 \text{ GeV}$.
- 13.19 (c) 衝突ビーム実験では $144mc^2$ で、静止標の実験では $12mc^2$.
- 13.21 $\pm(12/25)c$.
- 14.1 (a) 置かれた場所に静止している. (b) 前方に向かって動く.
- 14.3 (a) 後ろ方向に傾ける. (b) 前方向に加速する.
- 14.5 (a) $y = (1/2)g(L/c)^2$. (b) 1.4 km .
- 14.7 ヒント:地球が東向きに回転することになる慣性系をとって旅客機の運動を考えてみよ.
- 14.13 (a) $1.3 \times 10^7 \text{ m}$. (b) $1.8 \times 10^3 \text{ m/s}$. (c) $\sim 3 \text{ ns}$. (d) $\sim 10^{-13} \text{ s/s}$. (e) 高度効果の割合は $\sim 3.6 \times 10^{-11}$ で、時間の遅れの効果の割合は $\sim 1.8 \times 10^{-11}$.
- A.1 (a), (b) 1.015. (c) 0.9850.
- A.3 (a) 3.00006. (b) $3 + 6 \times 10^{-17}$.
- A.5 (a) $(1/2)mv(v^2/c^2)$. (b) $v/c = 0.1414$
- C.1 (a) $v_{\text{見かけ}} = v/(1-v/c)$. (b) $v_{\text{見かけ}} = v/(1+v/c)$.
- C.3 (a) $\Delta t'/\Delta t = \sqrt{(1-v/c)/(1+v/c)}$. (b) $\nu_{\text{観測}}/\nu_{\text{放射}} = \sqrt{(1-v/c)/(1+v/c)}$. (c) (a) と (b) の解答で $v \rightarrow -v$ とすればよい.
- E.1 (a) $\beta = 1/\alpha$. (c) $V = c/2$.
- E.3 (c) ハサミの「持ち手」で生み出される信号は光速 c より遅い速さでしか伝播されないため、ハサミの刃は剛体のように直線状態を保ったままではない.
- F.1 $4s$
- F.3 (a) $2\sqrt{30}mc/qE_0$. (b) $37 \mu s$
- F.7 (b) t が小さいとき, $a \rightarrow F/m$ であり, t が大きいとき, $a \rightarrow 0$.
- G.3 (a) 30 000 年. (b) 10.5 年. (c) 42 年.
- G.5 (b) 2.2 年.
- G.7 4.0 年.
- G.9 (a) 11.7 年. (b) 462 年.

G.11

$$V = \tanh T_{\text{ship}} = \frac{T}{\sqrt{1+T^2}} = \frac{\sqrt{X(X+2)}}{X+1}$$

$$T = \sinh T_{\text{宇宙船}} = \frac{V}{\sqrt{1-V^2}} = \sqrt{X(X+2)}$$

$$T_{\text{宇宙船}} = \ln \left(T + \sqrt{1+T^2} \right) = \ln \left(\frac{1+V}{1-V} \right)^{1/2} = \ln \left(X+1 + \sqrt{X(X+2)} \right)$$

$$X = \sqrt{1+T^2} - 1 = \frac{1}{\sqrt{1-V^2}} - 1 = 2 \sinh^2(T_{\text{宇宙船}}/2)$$

H.1 (a) ^{229}Th (b) 23.5 MeV.

H.3 $KE_{\text{解放}} = 4M_{\text{H}}c^2 + 2m_e c^2 - M_{\text{He}}c^2$.

H.5 3.1×10^{23} 重水素/s .

H.7 (a) 8.6 cm. (b) 減少させる .