NO:1

[I] (A) 物体を押して動く台車

問1. 運動量の変化＝力積 が成り立つので、

$$mv_1 - 0 = F_1 \Delta t \qquad \therefore\ v_1 = \frac{F_1 \Delta t}{m} \cdots [答]$$

問2. 運動量の保存則より（質量Mの物体の速さをVとする）

$$mv_1 - MV = 0 \cdots ① \qquad \left(V = \frac{mv_1}{M} = \frac{F_1 \Delta t}{M}\right)$$

エネルギーの保存則より

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}MV^2 = W \cdots ②$$

よって、$W = \frac{1}{2}m\left(\frac{F_1 \Delta t}{m}\right)^2 + \frac{1}{2}M\left(\frac{F_1 \Delta t}{M}\right)^2$

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{1}{m} + \frac{1}{M}\right)(F_1 \Delta t)^2$$

$$\therefore\ W = \frac{(m+M)(F_1 \Delta t)^2}{2mM} \cdots\cdots [答].$$

問3. 問1, 問2の結果より $F_1 \Delta t$ を消去すると

$$W = \frac{(m+M)(mv_1)^2}{2mM} \quad \therefore\ v_1 = \sqrt{\frac{2MW}{m(m+M)}} \cdots [答].$$

問4. エネルギーの保存則より

$$\frac{1}{2}mv_2^2 = W \quad \therefore\ v_2 = \sqrt{\frac{2W}{m}} \cdots [答].$$

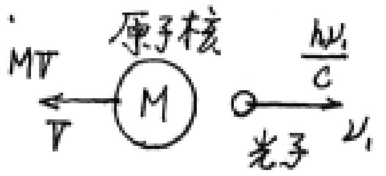
問5. $v_1 = \sqrt{\frac{2W}{m}\frac{M}{m+M}} < \sqrt{\frac{2W}{m}} = v_2$

$$\therefore\ v_1 < v_2 \cdots\cdots [答].$$

NO:2

(B) 固体中の放射性原子核からのγ線の放出

問1.



運動量保存則より（右向きを正とする）

$$0=\frac{h\nu_1}{c}-MV \cdots\cdots [答]$$

エネルギー保存則より

$$h\nu_1+\frac{1}{2}MV^2=W \cdots\cdots [答]$$

問2. 問1の結果を用いてMVを消去すると、

$$h\nu_1+\frac{1}{2M}\left(\frac{h\nu_1}{c}\right)^2=W$$

$$\therefore\ (h\nu_1)^2+2Mc^2(h\nu_1)-2Mc^2W=0$$

$$\therefore\ h\nu_1=-Mc^2+\sqrt{(Mc^2)^2+2Mc^2W}$$

$$\therefore\ h\nu_1=-Mc^2+Mc^2\sqrt{1+\frac{2W}{Mc^2}}$$

よって、 $h\nu_1=Mc^2\left(\sqrt{1+\frac{2W}{Mc^2}}-1\right) \cdots\cdots$ [答]

問3.(*)

運動量の保存則より

$$0=\frac{h\nu_2}{c}-NMu$$

(*) 条件ではMがぬけている。

エネルギーの保存則より

$$\frac{1}{2}(NM)u^2+h\nu_2=W$$

$$\therefore\ W=\frac{1}{2NM}\left(\frac{h\nu_2}{c}\right)^2+h\nu_2 \cdots\cdots\cdots [答]^{(*)}$$

問4. $N\longrightarrow\infty$ のとき、 $\nu_2\longrightarrow\nu_3$

$$\therefore\ W=h\nu_3 \qquad \therefore\ \nu_3=\frac{W}{h} \cdots\cdots [答]$$

一方

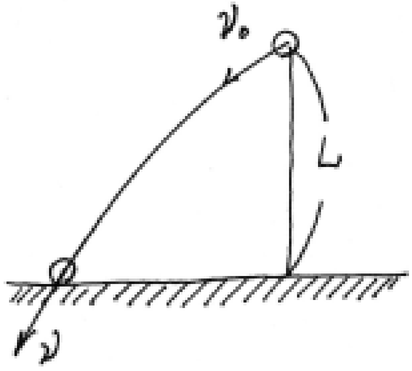
$$h\nu_1=W-\frac{h^2\nu_1^2}{2Mc^2} \quad \therefore\ \nu_1=\frac{W}{h}-\frac{h\nu_1^2}{2Mc^2}<\nu_3$$

$$\therefore\ \nu_1<\nu_3 \cdots\cdots [答]$$

[C]. 重力による光の振動数のずれ

質量とエネルギーに関するアインシュタインの関係式より

$$\Delta m c^2 = h\nu_0 \qquad \therefore\ \Delta m = \frac{h\nu_0}{c^2}\ \text{(ア)}$$



質量Δmが、地表面を基準にして高さLでもつ位置エネルギーは $\Delta m g L$ (イ)

したがって、
光子の位置エネルギー$U(L)$は

$$U(L) = \frac{h\nu_0 g L}{c^2}\ \text{(ウ)}$$

したがって、光子が重力中で運動すると$h\nu_0 + U(L)$が保存する。
よって、地表面で観測される光子の振動数νは

$$h\nu = h\nu_0 + \frac{h\nu_0 gL}{c^2} = h\nu_0\left(1+\frac{gL}{c^2}\right)\ を満たす。$$

$$\therefore\ \frac{\nu-\nu_0}{\nu_0} = \frac{gL}{c^2} = \frac{9.8\times 10}{(3\times10^8)^2} = 1\times10^{-15}\ \text{(オ)}$$

[答]

ア. $\frac{h\nu_0}{c^2}$，イ. $\Delta m g L$，ウ. $\frac{h\nu_0 gL}{c^2}$，エ. $\nu_0\left(1+\frac{gL}{c^2}\right)$

オ. 1×10^{-15}

[Ⅱ]. (A) 平行線を1点に集める鏡

(イ) 鏡の形状

問1. $PH = [\,y+f\,]$ ……[答]

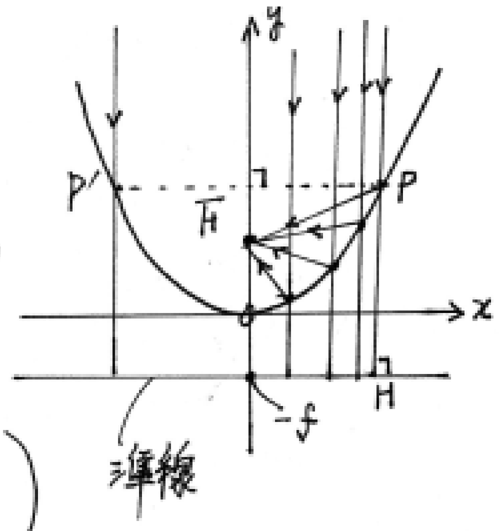
問2. $PF = [\,\sqrt{x^2+(y-f)^2}\,]$ ……[答]

問3. $PH = PF \Leftrightarrow y+f = \sqrt{x^2+(y-f)^2}$

$$\Leftrightarrow \ (y+f)^2 = x^2 + (y-f)^2$$

$$\therefore \ 4fy = x^2$$

$$\therefore \quad y = \left[\frac{1}{4f}x^2\right] \cdots\cdots [答]$$



(a) 放物線　(b) F

(PP′を基準にして、その下の部分の放物線POP′のどの点で反射しても光路長はPHであることに注意する。)

(ロ). 入射角と反射角の関係

問4.　QR < QF

問5.　二等辺三角形(c)

$\angle FPJ = [\angle HPJ]^{(d)}$

$\angle SPQ = [\angle HPJ]^{(d)}$

$\therefore \ \angle FPJ = \angle SPQ.$

(B). 球面鏡

(イ) 主鏡での反射光の行き先

(ロ). 等光路長の条件.

(ハ). 反射点、Jの決定, および副鏡の作図.

問6.　$DP + PJ + JF = [\ L\ ]$ …… [答]

(ニ) 反射の法則

問7.　$\angle FJM = [\angle GJM]^{(e)}$ ……… [答]

かつ $\angle PJN = [\angle GJM]^{(e)}$