受験番号	学部　　　　番

A — 1

物　理　解　答　用　紙

（標準的な正答例であり，この他にも正解となる解答はあります。）

1

評点	

問 1

〔説明と計算式〕　題意より，物体が動きだす直前に物体 A，B とも静止状態にあると取り扱う事ができ，その状態での力の釣り合いから

$-\mu mg - \mu mg + mg\cos\theta_0 = 0$　　$\therefore \mu = \frac{\cos\theta_0}{2}$

答　$\mu = \dfrac{\cos\theta_0}{2}$

問 2

(1)〔説明と計算式〕

物体 A に掛かる力は張力 T と摩擦力$-\mu' mg$である。∴運動方程式は$ma = T - \mu' mg$

物体 B に掛かる力は張力-T, F と摩擦力$-\mu' mg$である。∴運動方程式は$ma = -T + F - \mu' mg$

物体 C の指定方向に掛かる力は張力- F と重力由来の成分$mg\cos\theta_1$である。

∴運動方程式は$ma = -F + mg\cos\theta_1$

答　物体 A：$ma = T - \mu' mg$　物体 B：$ma = -T + F - \mu' mg$　物体 C：$ma = -F + mg\cos\theta_1$

(2)〔説明と計算式〕

物体 B と物体 C の運動方程式の両辺を足しあわせると$2ma = -T - \mu' mg + mg\cos\theta_1$

この式に物体 A の運動方程式を代入すると$2(T - \mu' mg) = -T - \mu' mg + mg\cos\theta_1$

$3T = \mu' mg + mg\cos\theta_1$より，$T = \frac{mg(\mu' + \cos\theta_1)}{3}$

答　$T = \dfrac{mg(\mu' + \cos\theta_1)}{3}$

(3)〔説明と計算式〕

物体 A の運動エネルギーは運動開始時から物体 A がなされた仕事と等しくなる。その仕事は物体 A の移動方向に掛かる力$T - \mu' mg$と移動距離ℓの積で表される。

∴求めるエネルギーは$(T - \mu' mg)\ell$

答　$(T - \mu' mg)\ell$

(4)〔説明と計算式〕

物体 B と C の力学的エネルギーの和は，物体 B と C の運動エネルギー及び物体 C の位置エネルギーの和で表される。また，運動エネルギーの増加分は，(3)と同様に物体の移動方向に掛かる力と移動距離の積で表される。以下移動開始時のエネルギーを基準として，

糸が切れる前　物体 B の運動エネルギー：$(-T + \cancel{F} - \mu' mg)\ell$

物体 C の運動エネルギー：$(-\cancel{F} + \cancel{mg\cos\theta_1})\ell$

物体 C の位置エネルギー：$-\cancel{mg\ell\cos\theta_1}$　$\underline{\therefore \text{求めるエネルギーは} -T\ell - \mu' mg\ell}$

糸が切れた後：糸 2 の張力を F'として，糸が切れた時からの変化分は

物体 B の運動エネルギー：$(\cancel{F}' - \mu' mg)(\ell - L_T)$

物体 C の運動エネルギー：$(-\cancel{F}' + \cancel{mg\cos\theta_1})(\ell - L_T)$

物体 C の位置エネルギー：$-\cancel{mg(\ell - L_T)\cos\theta_1}$

糸が切れる直前の物体 B と C の全力学的エネルギー：$-TL_T - \mu' mgL_T$

$\underline{\therefore \text{求めるエネルギーは} -TL_T - \mu' mg\ell}$

小計	

答　糸 1 を切る前：$-T\ell - \mu' mg\ell$　糸 1 を切った後：$-TL_T - \mu' mg\ell$

（別解：重力の仕事は位置エネルギーの減少分と常に一致するため，外部にした仕事となる張力 T と摩擦力の仕事を計算。）

受験番号	学部　　　　番

A－2

物　理　解　答　用　紙

（標準的な正答例であり，この他にも正解となる解答はあります。）

2

問1

(1)〔説明と計算式〕

点Qにおけるガラス面に対する法線と線分QRのなす角をθ_rとする。

ガラスの屈折率$n_g=\frac{3}{2}$，空気の屈折率$n_a=1$ なので，屈折の法則より

$$\frac{\sin\frac{\pi}{4}}{\sin\theta_r}=\frac{\frac{1}{\sqrt{2}}}{\sin\theta_r}=\frac{n_g}{n_a}=\frac{\frac{3}{2}}{1}=\frac{3}{2} \quad より \quad \sin\theta_r=\frac{\sqrt{2}}{3}$$

$$\tan\theta_r=\frac{\sin\theta_r}{\sqrt{1-\sin^2\theta_r}}=\frac{\frac{\sqrt{2}}{3}}{\sqrt{1-\left(\frac{\sqrt{2}}{3}\right)^2}}=\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3^2-2}}=\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{7}}=\sqrt{\frac{2}{7}}=\frac{\sqrt{14}}{7}$$

$h-u$ は$W\cdot\tan\theta_r$となるので，$h-u=W\cdot\tan\theta_r=W\cdot\frac{\sqrt{14}}{7}$

答　$h-u=W\cdot\frac{\sqrt{14}}{7}$

(2)〔説明と計算式〕

ガラスの屈折率$n_g=\frac{3}{2}$

空気の屈折率$n_a=1$

水の屈折率$n_a=\frac{4}{3}$なので

点Rにおいて屈折の法則より

$$\frac{\sin\theta_r}{\sin\theta_1}=\frac{\frac{\sqrt{2}}{3}}{\sin\theta_1}=\frac{n_a}{n_g}=\frac{1}{\frac{3}{2}}=\frac{2}{3}$$

$$\sin\theta_1=\frac{3}{2}\cdot\frac{\sqrt{2}}{3}=\frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\frac{\sin\theta_r}{\sin\theta_2}=\frac{\frac{\sqrt{2}}{3}}{\sin\theta_2}=\frac{n_w}{n_g}=\frac{\frac{4}{3}}{\frac{3}{2}}=\frac{8}{9}$$

$$\sin\theta_2=\frac{9}{8}\cdot\frac{\sqrt{2}}{3}=\frac{3}{8}\cdot\sqrt{2}=\frac{3\cdot\sqrt{2}}{8}$$

答　$\sin\theta_1=\frac{\sqrt{2}}{2}$　　$\sin\theta_2=\frac{3\cdot\sqrt{2}}{8}$

(3)〔説明と計算式〕

ガラス面から点Sまでの距離は$\frac{u}{\tan\theta_2}$，点Mまでの距離は$\frac{u}{\tan\theta_1}$より、MS間の距離は$\frac{u}{\tan\theta_2}-\frac{u}{\tan\theta_1}$となる。

点Qにおける入射角と点Rにおける屈折角θ_1は等しいので $\theta_1=\frac{\pi}{4}$ となる。これより $\tan\theta_1=1$

$$\tan\theta_2=\frac{\sin\theta_2}{\sqrt{1-\sin^2\theta_2}}=\frac{\frac{3\cdot\sqrt{2}}{8}}{\sqrt{1-\left(\frac{3\cdot\sqrt{2}}{8}\right)^2}}=\frac{3\cdot\sqrt{2}}{\sqrt{8^2-(3\cdot\sqrt{2})^2}}=\frac{3\cdot\sqrt{2}}{\sqrt{64-18}}=\frac{3\cdot\sqrt{2}}{\sqrt{46}}=\frac{3\cdot\sqrt{2}}{\sqrt{2\cdot 23}}=\frac{3}{\sqrt{23}}$$

$$\frac{u}{\tan\theta_2}-\frac{u}{\tan\theta_1}=u\cdot\left(\frac{1}{\tan\theta_2}-\frac{1}{\tan\theta_1}\right)=u\cdot\left(\frac{1}{\frac{3}{\sqrt{23}}}-\frac{1}{1}\right)=u\cdot\left(\frac{\sqrt{23}}{3}-1\right)=u\cdot\left(\frac{\sqrt{23}-3}{3}\right)$$

答　$u\cdot\left(\frac{\sqrt{23}-3}{3}\right)$

問2

(1)〔説明〕

光が，屈折率の大きい媒質（ガラス）から屈折率の小さい媒質（水）へ進むため臨界角が存在し，ガラス壁面の点U'への入射角が臨界角になり全反射が発生したから。

(2)〔説明と計算式〕

点Q'において，入射角θ_0のときの屈折角をϕ_0とすると

ガラスの屈折率$n_g=\frac{3}{2}$，空気の屈折率$n_a=1$なので，屈折の法則より

$$\frac{\sin\theta_0}{\sin\phi_0}=\frac{n_g}{n_a}=\frac{\frac{3}{2}}{1}=\frac{3}{2} \quad より \quad \sin\phi_0=\frac{2}{3}\cdot\sin\theta_0$$

全反射状態なので，点U'における屈折角は$\frac{\pi}{2}$となる。

ガラスの屈折率$n_g=\frac{3}{2}$，水の屈折率$n_a=\frac{4}{3}$ なので，屈折の法則より

$$\frac{\sin\left(\frac{\pi}{2}-\phi_0\right)}{\sin\frac{\pi}{2}}=\frac{\cos\phi_0}{1}=\frac{n_w}{n_g}=\frac{\frac{4}{3}}{\frac{3}{2}}=\frac{8}{9} \quad より \quad \cos\phi_0=\frac{8}{9}$$

$$\sin\phi_0=\sqrt{1-\cos^2\phi_0}=\sqrt{1-\left(\frac{8}{9}\right)^2}=\sqrt{\frac{81-64}{81}}=\sqrt{\frac{17}{81}}=\frac{\sqrt{17}}{9}$$

$$\sin\theta_0=\frac{3}{2}\cdot\sin\phi_0=\frac{3}{2}\cdot\frac{\sqrt{17}}{9}=\frac{\sqrt{17}}{6}$$

答　$\sin\theta_0=\frac{\sqrt{17}}{6}$

小計	

受験番号	学部　　　　番

A ― 3

物　理　解　答　用　紙

（標準的な正答例であり，この他にも正解となる解答はあります。）

3

問1

(1) [説明と計算式]

荷電粒子は磁場から運動方向に垂直にローレンツ力を受け等速円運動を行う。その運動方程式は$qv_0B = \frac{m{v_0}^2}{r_1}$となる。従って半径$r_1$は$r_1 = \frac{mv_0}{qB}$，等速円運動の周期$T_1$は$T_1 = \frac{2\pi r_1}{v_0} = \frac{2\pi m}{qB}$となる。

答　$r_1 = \frac{mv_0}{qB}$　$T_1 = \frac{2\pi m}{qB}$

(2) [説明と計算式]

等速円運動は時計回りであるため，y軸とは正の方向で交わり，その座標をP，円運動の中心座標をC，として，原点Oと三角形OCPを考える。この三角形OCPにおいてCOとPCの長さは半径r_1であり，また∠POC=θなので

求める座標y_1は$y_1 = 2 \times r_1 \cos\theta = \frac{2mv_0\cos\theta}{qB}$となる。

答　$y_1 = \frac{2mv_0\cos\theta}{qB}$

(3) [説明と計算式]

三角形OCPの∠OCPは$2 \times \left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \pi - 2\theta$となり，扇形OCPの弧の長さOPは半径×その中心角で与えられるので$\mathrm{OP} = r_1 \times (\pi - 2\theta) = \frac{mv_0(\pi-2\theta)}{qB}$となる。時間$t_1$は，その弧の長さOPを速さ$v_0$で割れば求められるので，$t_1 = \frac{m(\pi-2\theta)}{qB}$となる。

答　$t_1 = \frac{m(\pi-2\theta)}{qB}$

問2

(1) [説明と計算式]

荷電粒子には磁場と垂直な方向にローレンツ力が働くため，磁場に垂直な面内の運動は等速円運動となる。荷電粒子の磁場と垂直な方向の速さは$v_v = v_1\sin\alpha$であり，荷電粒子の運動方程式は$qv_vB = \frac{m{v_v}^2}{r_2}$となる。従って，半径$r_2$は$r_2 = \frac{mv_1\sin\alpha}{qB}$となり，等速円運動の周期$T_2$は$T_2 = \frac{2\pi r_2}{v_v} = \frac{2\pi m}{qB}$となる。

答　$r_2 = \frac{mv_1\sin\alpha}{qB}$　$T_2 = \frac{2\pi m}{qB}$

(2) [説明と計算式]

荷電粒子は磁場の方向には力を受けず等速直線運動を行うため，荷電粒子の運動はらせん運動となる。最初にxy平面と荷電粒子が交わる時間は半周期後なので，距離y_2は等速円運動の直径となり，$y_2 = 2 \times r_2$で与えられ$y_2 = \frac{2mv_1\sin\alpha}{qB}$となる。$y_2$に到達するまでの時間$t_2$は半周期後なので，$t_2 = \frac{T_2}{2} = \frac{\pi m}{qB}$となる。荷電粒子は，磁場の方向には$v_1\cos\alpha$の等速直線運動をするので，$x_2$は$x_2 = v_1\cos\alpha \times t_2 = \frac{\pi mv_1\cos\alpha}{qB}$となる。

答　$x_2 = \frac{\pi mv_1\cos\alpha}{qB}$　$y_2 = \frac{2mv_1\sin\alpha}{qB}$

問3

(1) [説明と計算式]

荷電粒子のx方向の加速度をa_xとすると，運動方程式$ma_x = qE$より，$a_x = \frac{qE}{m}$となる。

答　$\frac{qE}{m}$

(2) [説明と計算式]

最初にx軸を通過する時間は一周期後なので，$T_2 = \frac{2\pi m}{qB}$となる。最初にx軸を通過する点と原点Oとの距離は，$v_1\cos\alpha\, T_2 + \frac{1}{2}a_x{T_2}^2$である。この式に$T_2$を代入して，原点Oとの距離は$\frac{2\pi mv_1\cos\alpha}{qB} + \frac{2\pi^2 mE}{qB^2}$となる。

答　$\frac{2\pi mv_1\cos\alpha}{qB} + \frac{2\pi^2 mE}{qB^2}$

小計	