令和３年度入学試験問題（後期）

理　　科（物　理）

【注 意 事 項】

1. 試験開始の合図があるまで，この問題冊子を開いて見てはならない。
2. あらかじめ選択を届け出た科目について解答すること。それ以外の科目について解答しても無効である。
3. 本冊子には，$\boxed{1}$ から $\boxed{3}$ までの３問題が印刷されていて，合計６ページある。
   落丁，乱丁，印刷の不鮮明な箇所等がある場合には，申し出ること。
4. 解答用紙はＡ—１～Ａ—３を別に配付している。解答は，問題と同じ番号の解答用紙に記入すること。指定の箇所以外に記入したものは無効である。
5. 解答用紙の指定された欄に，学部名及び受験番号を記入すること。
6. 提出した解答用紙以外は，すべて持ち帰ること。

1 図1のように，それぞれ質量 m の物体A，物体Bおよび物体Cを用意し，水平な粗い平面上に物体Aと物体Bを置いた。この平面に対する物体Aと物体Bの静止摩擦係数はともに μ，動摩擦係数はともに μ' である。次に，糸1をたるまないよう水平に張り，物体Aと物体Bの間をつないだ。さらに，糸2を軽くてなめらかに回転する定滑車に通して水平に張り，物体Bと水平でなめらかな板の上に置かれた物体Cをつないだ。その後，糸2がたるまないよう張った状態で板を水平からゆっくりと傾けていったところ，鉛直な面と板のなす角が $\theta_0\left(0 < \theta_0 < \dfrac{\pi}{2}\right)$ より小さくなったときに物体Cは板の上をすべり始め，同時に物体Aと物体Bも動き始めた。

空気抵抗は無視できるものとし，重力加速度の大きさを g として，以下の問いに答えなさい。ただし，糸2は十分に長く，以下の問いでは物体Bが定滑車と衝突する前までを考えているものとする。また，糸1と糸2の質量と伸び縮みは無視できるものとし，定滑車の右側で糸2は板の傾きにかかわらず板に平行に張られていると考えて良い。

問 1　μ を，m，g，θ_0 のうち，必要なものを用いて表しなさい。ただし，物体Aが静止しているとき，物体Bも静止しているものとして取り扱ってよい。

問 2　物体Cがすべり始めた後，すぐに板を固定したところ，板と鉛直な面とのなす角は θ_1 となった。その後，物体Bの移動距離 ℓ が L_{T} に達した瞬間に，外力を加えずに糸1を焼き切った(図2)。板の固定後から糸1を切る前までについて，物体Cの加速度の大きさを a，糸1が物体Aを引く力の大きさを T，糸2が物体Bを引く力の大きさを F とする。また，角度 θ_1 で板を固定した時点での物体の移動距離や速度は無視するものとする。

(1)　糸1を切る前までの物体Aおよび物体Bの運動方程式をそれぞれ，水平方向右向きを正として，m，g，μ'，T，F，a，θ_1 のうち，必要なものを用いて表しなさい。また，糸1を切る前までの物体Cの運動方程式を，斜面をすべり下りる方向を正として，m，g，μ'，T，F，a，θ_1 のうち，必要なものを用いて表しなさい。

(2)　T を，m，g，μ'，θ_1 のうち，必要なものを用いて表しなさい。

(3)　糸 1 を切る前について，移動中の物体 A がもつ運動エネルギーを，m，g，μ'，T，ℓ のうち，必要なものを用いて表しなさい。

(4)　移動中の物体 B，C がもつ力学的エネルギーの合計を，m，g，μ'，T，ℓ，L_{T} のうち，必要なものを用いて表しなさい。ただし，移動開始前の力学的エネルギーを 0 とし，糸 1 を切る前と切った後で場合分けすること。

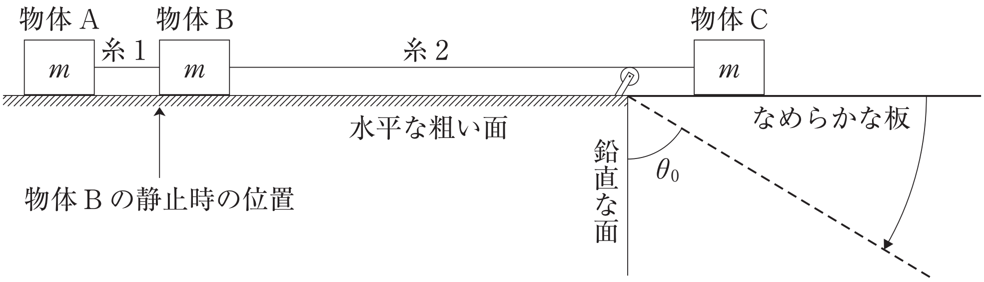

図 1

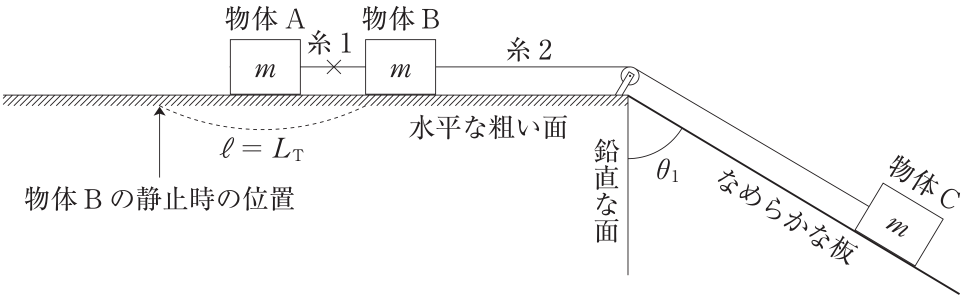

図 2

2 厚さ W の透明ガラスを側壁にもつ水槽がある。空気，水，透明ガラスの屈折率をそれぞれ1，$\frac{4}{3}$，$\frac{3}{2}$ として，以下の問いに答えなさい。ただし，図中に表示された点はすべて紙面上にあるものとする。

問 1　図1のように，空の水槽の外壁に水槽底面から高さ h の点Qまでを覆う遮光板を置いた。そして視点を点Pとして，線分PQを通して水槽の底を見ると，厚みの無視できるコインの中心点Mが，光の通過経路MRQPを通して見えた。次に，この水槽を水で満たすと，線分PQを通して見える光の経路がSRQPに変わったため，コインが見えなくなった。ここで，透明ガラス表面に対する法線と線分PQのなす角は $\frac{\pi}{4}$ であり，点Rの水槽底面からの高さを u とする。

(1)　点Qと点Rの水槽底面からの高さの差 $h-u$ を，W を用いて表しなさい。

(2)　透明ガラス表面の点Rにおける法線と，線分RMおよび線分RSのなす角をそれぞれ θ_1 および θ_2 とする。$\sin\theta_1$ と $\sin\theta_2$ をそれぞれ求めなさい。

(3)　点Mと点Sの間の距離を，u を用いて表しなさい。

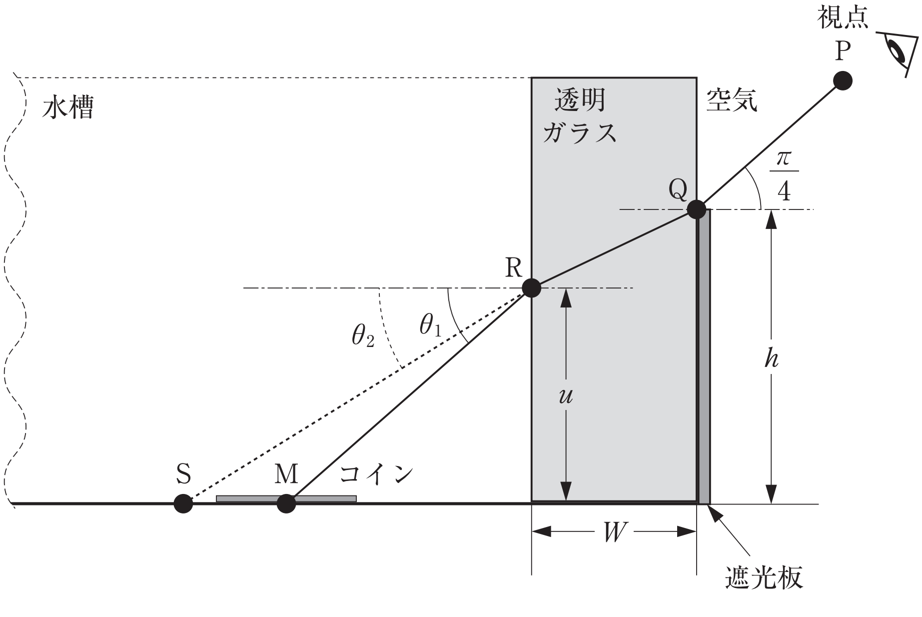

図1

問 2　水槽を水で満たした状態で，図 2 のように水槽の透明ガラスの上面の点 Q′ に入射角 θ でレーザー光をあてたところ，屈折してガラス壁の点 R′ を通り，水槽底面上の点 S′ にレーザー光が確認できた。次に，入射角を徐々に減少させて θ_0 になったとき，屈折してガラス壁の点 U′ に入射したが，水槽の底にレーザー光はあたらなくなった。

(1)　水槽の底にレーザー光があたらなくなった理由を，ガラスと水の屈折率の違いをふまえて説明しなさい。

(2)　$\sin\theta_0$ を求めなさい。

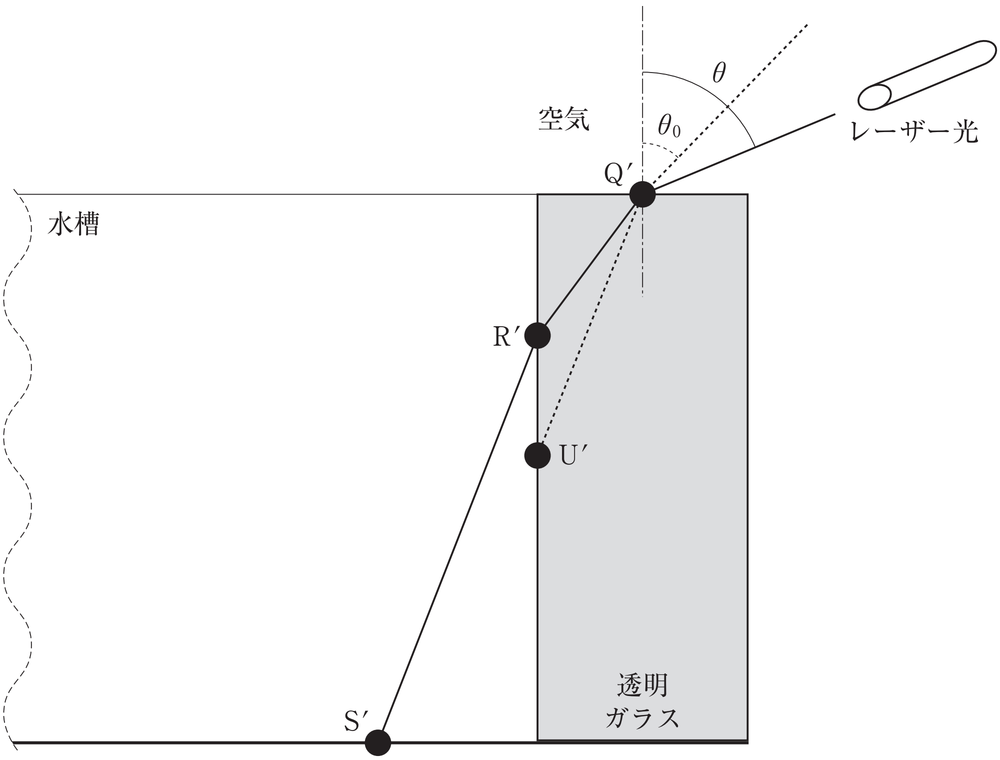

図 2

3 質量が m で正の電気量 q をもつ荷電粒子の真空中における運動を考える。重力の影響は無視できるものとして，以下の問いに答えなさい。

問 1　図 1 に示すように，磁束密度の大きさ B の一様な磁場が紙面の裏から表へ向かう方向（x 軸正方向）に加えられている。電場は存在しない中で，z 軸とのなす角が $\theta\left(0 < \theta < \dfrac{\pi}{2}\right)$ となるように原点 O から yz 平面内に速さ v_0 で荷電粒子を発射した。

(1)　この磁場の中で荷電粒子は等速円運動をする。この円運動の円の半径 r_1 と周期 T_1 を，q，B，m，v_0，π のうち，必要なものを用いて表しなさい。

(2)　等速円運動する荷電粒子の軌道が，原点以外で y 軸と交わる点の座標を $(0,\ y_1,\ 0)$ とする。y_1 を，q，B，m，v_0，θ，π のうち，必要なものを用いて表しなさい。

(3)　発射された荷電粒子が，(2)で求めた座標 $(0,\ y_1,\ 0)$ に最初に到達するのに必要な時間 t_1 を，q，B，m，v_0，θ，π のうち，必要なものを用いて表しなさい。

問 2　図 2 に示すように，磁束密度の大きさ B の一様な磁場が x 軸正方向に加えられている。電場は存在しない中で，x 軸とのなす角が $\alpha\left(0 < \alpha < \dfrac{\pi}{2}\right)$ となるように原点 O から xz 平面内に速さ v_1 で荷電粒子を発射した。y 軸は原点 O で x 軸，z 軸と直交し，紙面の表から裏向きを y 軸の正方向とする。

(1)　この磁場の中での荷電粒子の運動を yz 平面に投影すると，等速円運動をしている。この円運動の円の半径 r_2 と周期 T_2 を，q，B，m，v_1，α，π のうち，必要なものを用いて表しなさい。

(2)　発射された荷電粒子が，最初に xy 平面と交わる点の座標を $(x_2,\ y_2,\ 0)$ とする。x_2 と y_2 を，q，B，m，v_1，α，π のうち，必要なものを用いて表しなさい。

問 3　図 2 に示すような磁束密度の大きさ B の一様な磁場に加えて，大きさ E の一様な電場が x 軸正方向に加えられている。x 軸とのなす角が $\alpha\left(0 < \alpha < \dfrac{\pi}{2}\right)$ となるように原点 O から xz 平面内に速さ v_1 で荷電粒子を発射した。

(1)　荷電粒子の加速度の x 方向成分を，q，B，m，v_1，E，α，π のうち，必要なものを用いて表しなさい。

(2)　発射された荷電粒子が最初に x 軸を通過する点と原点 O との距離を，q，B，m，v_1，E，α，π のうち，必要なものを用いて表しなさい。

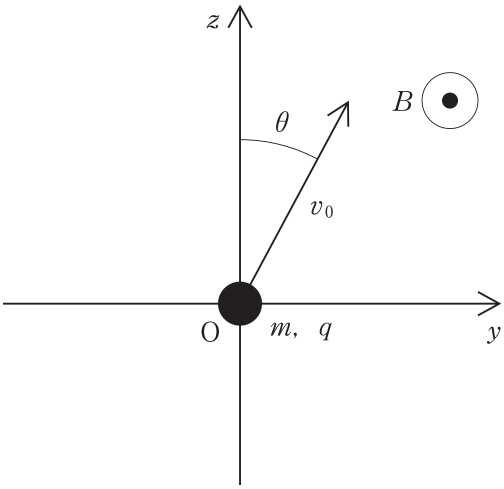

図 1

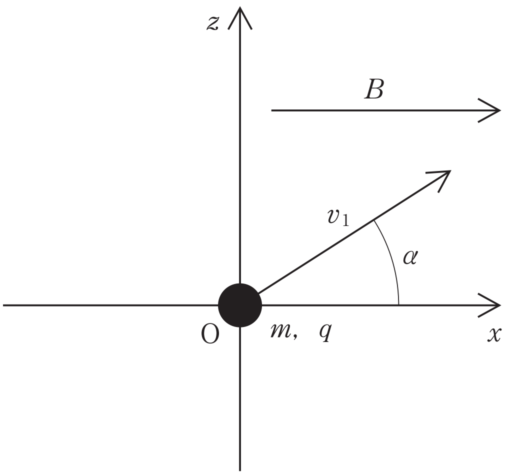

図 2