

理 科

科目：物理基礎・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はいけません。
2. 問題冊子は表紙を含めて8枚、解答用紙は6枚、下書用紙は1枚です。
試験開始の合図があってから確かめなさい。
3. 解答用紙に受験番号を記入しなさい。ただし、氏名を書いてはいけません。
4. 文字などの印刷に不鮮明なところがあった場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
5. 解答はすべて解答用紙に記入しなさい。ただし、「総得点欄」「採点欄」「得点欄」に記入してはいけません。また、裏面を使用してはいけません。
6. 問題冊子の余白は、下書きとして利用してかまいません。
7. 配付された問題冊子、下書用紙は持ち帰りなさい。
8. 特に指示のない限り、解答のみでなく途中の導出過程も示しなさい。

問題用紙
(物理基礎・物理)

問題1 下の問い(問1~3)に答えなさい。

問1 図1のように、空気中に置かれたガラス板の表面に薄膜を形成する。空気中で波長 $6.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ の光を薄膜に垂直に入射しながら、薄膜の厚さを0から増やしていくと、透過光の明るさが変化する。その明るさが極大になる薄膜の厚さの最小値は $1.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ であった。このとき、薄膜の絶対屈折率を有効数字2桁で求めなさい。ただし、空気の絶対屈折率は1.0であり、薄膜の絶対屈折率はガラスの絶対屈折率より小さいとする。また、ガラスと空気の境界面における光の反射の影響は無視できるとする。

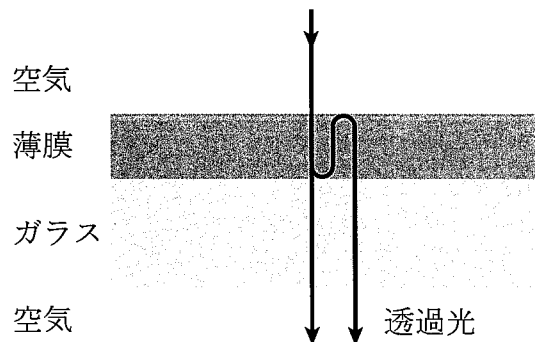


図1

問題用紙
(物理基礎・物理)

問2 ある直線上において、振動数 f の音を出す音源が、静止している観測者に速さ v で近づいてくる。このとき、観測者が聞く音源の音の波長 λ' は、音源が静止しているときに観測者が聞く音源の音の波長 λ より短くなる。音速を V とし、 $\lambda - \lambda'$ を求めなさい。ただし、音速に比べて音源の速さは十分に小さく、風は吹いていないとする。

問題用紙
(物理基礎・物理)

問3 質量をもつ断熱材でできたピストンとシリンダーがある。これらの断面積は S [m²] である。図2 (a) のように、シリンダーを鉛直に置き、 n [mol] の理想気体を封入したところ、シリンダーの下端からピストンまでの距離は L [m]、気体の温度は T_0 [K] となった。このシリンダーを図2 (b) のように逆さにしたところ、ピストンはなめらかにゆっくりと動いた後に静止し、シリンダーの上端からピストンまでの距離は $2L$ [m] となった。シリンダーを逆さにしてからピストンが静止するまでの間にシリンダー内の気体がピストンにした仕事 W [J] を求めなさい。ただし、気体の定積モル比熱を C_V [J/(mol·K)]、比熱比を γ とし、 $L > 0$ であるとする。また、必要に応じて断熱変化における理想気体の温度 T [K] と体積 V [m³] の関係

$$TV^{\gamma-1} = \text{一定}$$

を用いなさい。

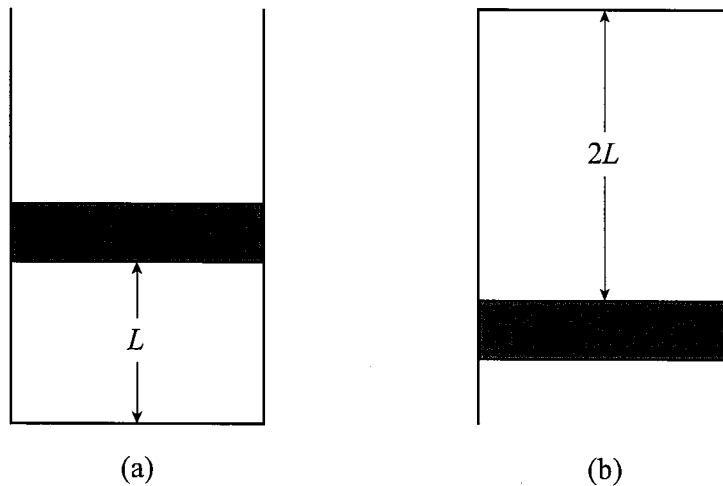


図2

問題用紙
(物理基礎・物理)

問題2 図1のように、水平な直線のレールと半径 r の半円のレールが点 A で継ぎ目なく接続されている。半円のレールは同一鉛直面内にあり、その両端は同一鉛直線上にある。質量 m の小球1を、直線のレール上の点 S から点 A に向かって速さ v_0 で運動させた。小球1が点 A からの高さ r の点 B に到達すると小球1の速さは0になった。重力加速度の大きさを g として、下の問い（問1～6）に答えなさい。ただし、レールは動かないように固定されている。また、空気抵抗と小球1の大きさ、および小球1とレールとの間の摩擦は無視できるとする。

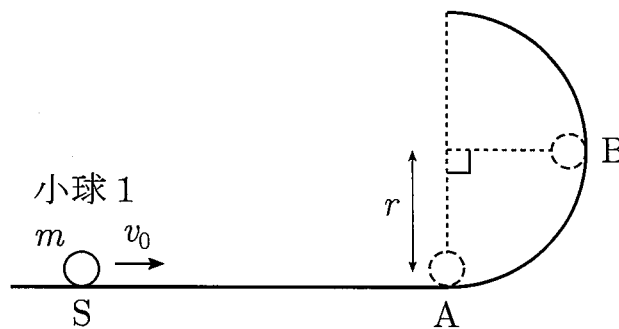


図1

問1 v_0 を m , g , r のうち必要なものを用いて表しなさい。

問題用紙
(物理基礎・物理)

小球1は点Bに到達した後、点Aに向かってレール上を運動し始めた。小球1が点Aを通過した後、図2のように質量 M の小球2を点Sから点Aに向かって速さ v_0 で運動させた。小球1と小球2は点Sと点Aとの間で弾性衝突した。小球1は衝突した点から点Aに向かって運動し、小球2は衝突した点で静止した。その後、小球1は半円のレール上の点Cを通過した。ここで、弧ACの中心角は θ であった。さらに、小球1はレールの上端である点Dに向かった。ただし、小球2の大きさ、および小球2とレールとの間の摩擦は無視できるとする。

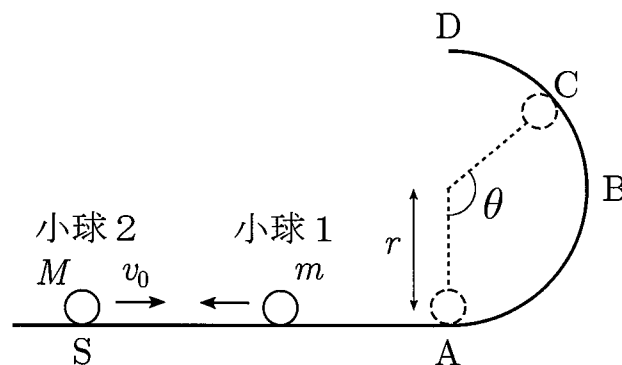


図2

問2 小球1と小球2が衝突した直後の小球1の速さは v_0 の何倍であるか求めなさい。

問3 小球2の質量 M は小球1の質量 m の何倍であるか求めなさい。

問4 点Cにおける小球1の速さを m, g, r, θ のうち必要なものを用いて表しなさい。

問5 点Cにおいて小球1がレールから受ける垂直抗力の大きさを m, g, r, θ のうち必要なものを用いて表しなさい。

問6 小球1が点Dに到達するかどうか理由とともに答えなさい。

問題用紙
(物理基礎・物理)

問題3 図1のような真空中の xy 平面において、原点 O から距離 a [m] の点 $A(-a, 0)$ に電気量 $2Q$ [C] の正の点電荷、点 $B(0, -a)$ に電気量 Q [C] の正の点電荷が固定されている。真空中のクーロンの法則の比例定数を k [$\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$] として、下の問い (問1~8) に答えなさい。

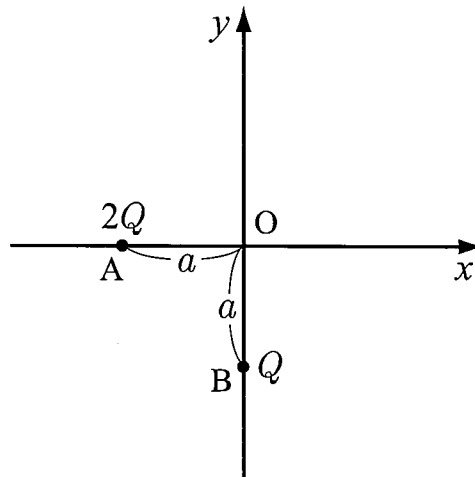


図1

問1 原点 O における電場の強さを求めなさい。

問2 原点 O における電場が x 軸の正の向きとなす角を α [rad] として、 $\cos \alpha$ を求めなさい。

問3 無限遠を電位の基準として、原点 O における電位を求めなさい。

次に、図2のように点 $B(0, -a)$ の点電荷は固定したまま、点 $A(-a, 0)$ の点電荷を取り除いた。さらに、点 $C(0, a)$ に電気量 Q [C] の新たな正の点電荷を固定した。 x 軸上で原点 O 付近の点 $P(p, 0)$ を考える。ただし、 $p > 0$ であるとする。

問題用紙
(物理基礎・物理)

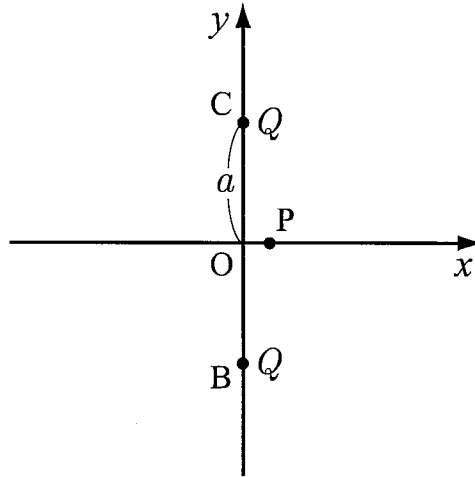


図 2

問 4 点 B の点電荷が点 P につくる電場の強さを求めなさい。

問 5 問 4 の電場が x 軸の正の向きとなす角を θ [rad] として、 $\cos \theta$ を求めなさい。

問 6 点 B の点電荷と点 C の点電荷を両方とも考え、点 P における電場の x 成分を θ を用いずに表しなさい。

負の電気量 $-q$ [C] を持つ質量 m [kg] の物体が、 x 軸上のみをなめらかに動くようにして、点 P に置かれた。その直後、物体は初速 0 の運動を始めた。物体の大きさ、および物体の運動による電磁波発生の影響は無視できるとする。

問 7 点 P において、物体が電場から受ける力の x 成分を求めなさい。ただし、計算の途中で近似式 $(a^2 + p^2)^{-\frac{3}{2}} \doteq a^{-3}$ を用いなさい。

問 8 物体がどのような運動を行うか答えなさい。また、物体が点 P を出発してから原点 O に初めて到達するまでの時間を求めなさい。