

2023年度 学校推薦型選抜(公募推薦入試) 【物理】 試験問題

【1】 図のように、鉛直に立てた棒に質量 m の小物体 P を通し、軽くて伸び縮みしない糸の一端を結び、天井に固定された滑車を通して糸の他端に小球 Q をつるしたところ、小物体 P は天井から棒に沿って $\frac{d}{\sqrt{3}}$ 下がった位置でつりあって静止した。棒から滑車までの距離は d であり、小物体 P は棒に沿って摩擦なしになめらかに動くものとし、滑車の質量、大きさ、および摩擦は無視できるものとする。重力加速度の大きさを g として、以下の問いに答えよ。

(1) 小球 Q の質量を小物体 P の質量 m を用いて表せ。

図のつりあいの状態から小物体 P を手で支えて、ゆっくりと天井の位置（図の破線の位置）まで持ち上げ、静かに放した。

(2) つりあいの状態から小物体 P を天井の位置まで持ち上げると小球 Q はいくら下降するか。ただし、棒は十分長く、Q が地面に接触することはないものとする。

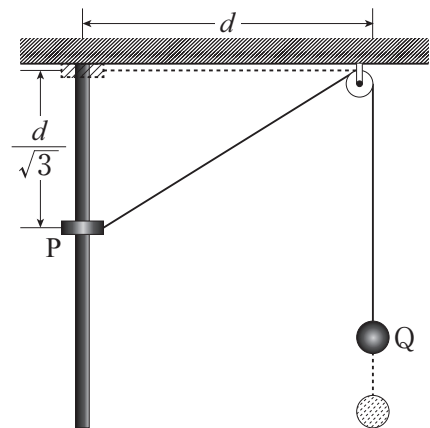
(3) つりあいの状態から小物体 P を天井の位置まで持ち上げるのに要した仕事を求めよ。

小物体 P を天井の位置で静かに放すと、P は棒に沿って下降した。

(4) 小物体 P を静かに放した直後の P の加速度の大きさを求めよ。

(5) 小物体 P が達する最下点の天井からの距離を求めよ。ただし、運動の途中で小球 Q が滑車に衝突することはないものとする。

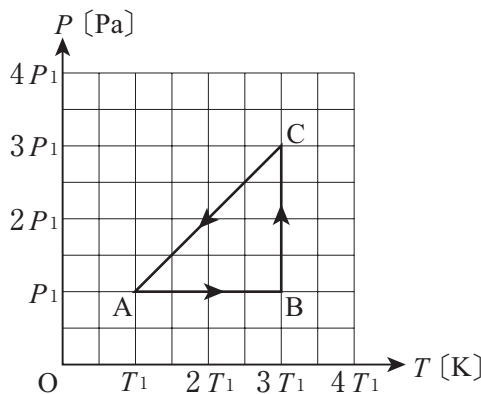
(6) 小球 Q の加速度の大きさは、小物体 P の加速度の糸方向成分の大きさに等しい。このことに注意して、P が最下点に達したときの P の加速度の大きさを求めよ。



図

【2】 なめらかに動くピストンを持つ容器に、1 mol の単原子分子理想気体が封入されている。この気体の圧力 P と絶対温度 T を図のように矢印の道筋にそって $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ の順にゆっくりと変化させた。状態 A における気体の体積を V_1 、気体定数を R として、以下の問いに答えよ。

- (1) 状態 B 、状態 C での気体の体積を、 V_1 を用いてそれぞれ表せ。
- (2) 状態 A から状態 B への過程において、容器内の気体の内部エネルギーの変化量 ΔU_{AB} 、および、容器内の気体が外部に対してした仕事 W_{AB} を、 R 、 T_1 を用いてそれぞれ表せ。
- (3) 状態 A から状態 B への過程において、容器内の気体に加えられた熱量を Q とする。(2)で求めた ΔU_{AB} 、 W_{AB} を Q を用いてそれぞれ表せ。
- (4) 状態 B から状態 C への過程において、容器内の気体に加えられた熱量を Q' とする。この過程と Q' について正しく述べたものを、以下の選択肢①～⑥のうちから 1 つ選べ。
 - ① この過程は等温圧縮過程であるから、 $Q'=0$ である。
 - ② この過程は等温圧縮過程であるから、 $Q'>0$ である。
 - ③ この過程は等温圧縮過程であるから、 $Q'<0$ である。
 - ④ この過程は等積圧縮過程であるから、 $Q'=0$ である。
 - ⑤ この過程は等積圧縮過程であるから、 $Q'>0$ である。
 - ⑥ この過程は等積圧縮過程であるから、 $Q'<0$ である。
- (5) 状態 C から状態 A への過程において、容器内の気体に加えられた熱量 Q_{CA} を、(3)で示した Q を用いて表せ。
- (6) 状態変化 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ のサイクルを熱機関とみなしたとき、この熱機関の熱効率を、(3)、(4)で示した Q 、 Q' を用いて表せ。



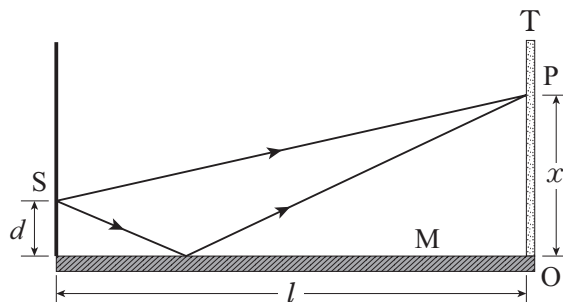
図

【3】 次の ～ にあてはまる適当な数式や数値を答えよ.

図のように、単スリット S とスクリーン T を距離 l だけ離して互いに平行になるように置き、これらに垂直に平面鏡 M を置く. 平面鏡から距離 d にあるスリットの左側から波長 λ の単色光を入射させたところ、スクリーン T 上に明暗の縞が生じた. これは、単スリット S からスクリーンに直接達した光（以降直接光とよぶ）と平面鏡 M で反射されて達した光（以降反射光とよぶ）との干渉によってできたものである.

単スリット S からスクリーン T 上の点 P までの直接光の経路長と反射光の経路長をそれぞれ s_1 , s_2 とすると、平面鏡 M で反射するとき位相が半波長だけずれることから、T 上の点 P が明るくなる条件は、波長 λ と正の整数 m を用いて、 $s_2 - s_1 =$ となる. ここで、平面鏡 M の点 O から点 P までの距離を x とすると、 $s_1 =$ であり、M への入射角と反射角が等しいことを考慮すれば、 $s_2 =$ となる. また、 d , x は l に比べて十分小さいので、 $s_2 - s_1$ は d , l , x を用いて、近似的に $s_2 - s_1 \doteq$ と表せる. 必要ならば、 $|y|$ が 1 より十分小さいときの近似式、 $\sqrt{1+y} \doteq 1 + \frac{1}{2}y$ を用いてもよい. したがって、 = より点 P が明るくなる位置が決まり、隣り合う明線の間隔 Δx は $\Delta x =$ となる.

単色光の波長を λ' にすると、点 O から数えて 5 番目の明線の位置と波長が λ のときの 4 番目の明線の位置が一致した. このとき、 λ' は λ の 倍（既約分数で答えること）である.



図

【4】 図1のような xyz 座標空間の xy 平面を考え、原点 O に正の電気量 Q をもつ点電荷を固定する。 C は原点 O を中心とする半径 $2r$ の円であり、点 R, S, T は円 C と座標軸との交点である。クーロンの法則の比例定数を k 、重力の影響は無視できるものとして、以下の問いに答えよ。

- (1) 質量 m 、正の電気量 q をもつ小粒子 P を点 R に置いたとき、 P が受ける力の大きさを求めよ。
- (2) 小粒子 P を円 C に沿って点 R から点 S を経由して点 T までゆっくりと運ぶのに必要な仕事はいくらか。

次に、強さ E の一様な電場を x 軸方向の負の向きに与えた。このとき、小粒子 P を点 R に置いても力を受けないことがわかった。

- (3) E を、 k, Q, r を用いて表せ。
- (4) 点 S における電場の大きさは E の何倍か。また、その向きを図2の解答群 (a ~ h) から選んで記号で答えよ。
- (5) 小粒子 P を点 R から点 T まで円 C に沿ってゆっくりと運ぶのに必要な仕事はいくらか、 q, r, E を用いて表せ。
- (6) 原点 O と点 R の中点 M に小粒子 P を置いたところ、静止していた P は x 軸の正の向きに動き始め、点 R を通過した後、 x 軸上の点 N で速さが 0 になった。点 N の x 座標を E を用いずに求めよ。
- (7) 小粒子 P は MN 間を往復運動する。この間の小粒子 P の速さの最大値を、 k, Q, q, r, m を用いて表せ。

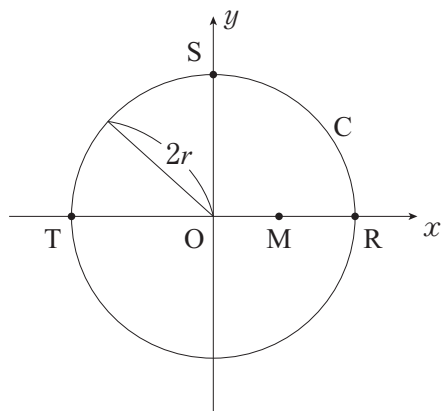


図1

〔(4)の解答群〕

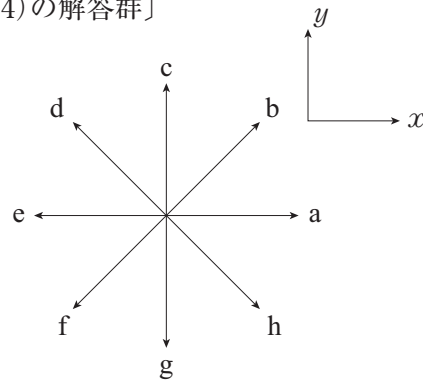


図2