

令和3年度入学試験問題(前期)

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、**①**から**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 自然の長さが ℓ で重さが無視できるほど軽いばねの一端を天井に固定し、もう一端に質量 m の小球を取り付けた。手をはなしてばねを静止させたところ、ばねの長さは自然の長さから 10 % 伸びていた。その後、図 1 のように、ばねが鉛直線と θ の角度をなす円すい振り子となるように小球を水平面内で等速円運動させたところ、小球の角速度は ω でばねの自然の長さからの伸びは a であった。このとき以下の問いに答えなさい。ただし、重力加速度の大きさを g とし、小球の大きさ、空気抵抗は無視できるものとする。

問 1 小球とともに回転する観測者の立場で小球にはたらく力を考える。ばねのばね定数が ℓ 、 m 、 g を用いて表されることをふまえた上で、水平方向および鉛直方向の力のつり合いの式を、 ℓ 、 m 、 θ 、 ω 、 a 、 g のうち、必要なものを用いて表しなさい。

問 2 ばねの伸び a は静止時の伸びの何倍になるか答えなさい。ただし、 ℓ 、 m 、 θ 、 g のうち、必要なものを用いて表しなさい。

問 3 角速度 ω を、 ℓ 、 m 、 θ 、 g のうち、必要なものを用いて表しなさい。

問 4 等速円運動していた小球とばねの連結部が切断され、図 2 のように水平な床から h の高さにあった小球はばねからはなれて運動をはじめた。ここで、等速円運動の円軌道の半径を r とする。

(1) 小球が水平方向および鉛直方向に行く運動を、初速度と加速度の情報を含めて説明しなさい。ただし、それぞれの運動を説明するために、 r 、 m 、 ω 、 g のうち、必要なものを用いなさい。

(2) 円軌道の中心を通る鉛直線と床面との交点を点 A とする。ばねからはなれた小球が床に到達する位置と点 A との間の距離を、 r 、 m 、 ω 、 h 、 g のうち、必要なものを用いて表しなさい。

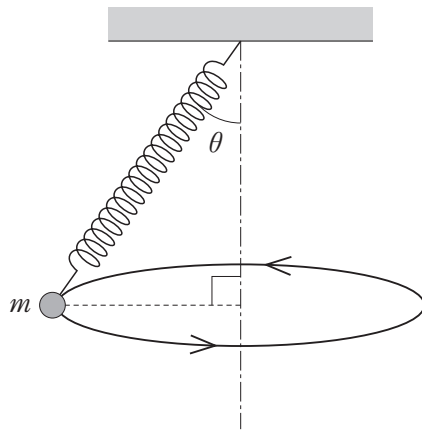


図 1

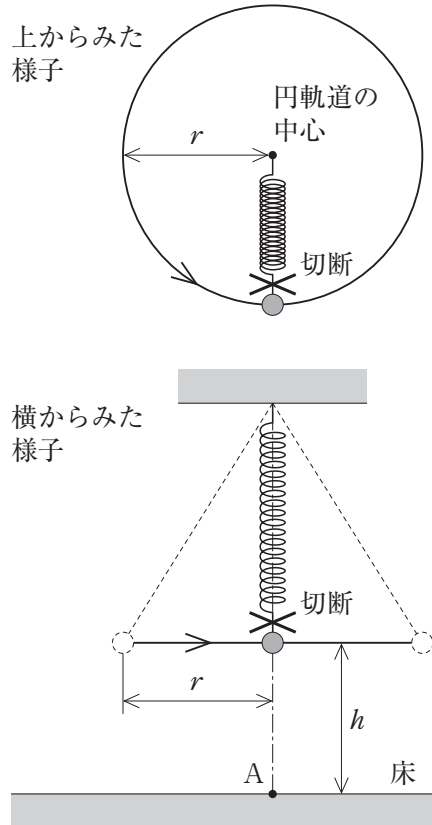


図 2

2

図1のように、なめらかに動くピストンを持つ円筒形のシリンダーが水平に置かれており、その内部に単原子分子からなる理想気体が閉じ込められている。シリンダーとピストンには断熱材が用いられており、これらを通した熱の出入りはないものとする。また、シリンダー内側には気体を均一に加熱および冷却可能な温度制御装置が設置されている。これらの装置は圧力 p_0 の大気中に置かれており、気体の体積は V_A 、温度は T_A である(状態 A)。

状態 A の気体に温度制御装置を使って熱を与え、図2のようにピストンが右方向にゆっくりと移動したところで加熱を停止したところ、気体の体積は V_B 、温度は T_B となった(状態 B)。重力加速度の大きさを g 、ピストンの質量を M 、断面積を S として、以下の問いに答えなさい。

問 1 温度 T_A を、 p_0 、 V_A 、 V_B 、 T_B のうち、必要なものを用いて表しなさい。

問 2 状態 A から状態 B への変化にともなう内部エネルギーの変化を、 p_0 、 V_A 、 V_B 、 T_B のうち、必要なものを用いて表しなさい。

問 3 状態 A から状態 B への変化にともなう温度制御装置が気体に与えた熱量を、 p_0 、 V_A 、 V_B 、 T_B のうち、必要なものを用いて表しなさい。

問 4 状態 B から、温度制御装置を停止させたまま、ピストンがシリンダーの下側になるようにゆっくりとシリンダーを 90° 回転させた。すると、図3のように、ピストンは状態 B での位置よりも下方に移動して停止し、気体の圧力は p_C 、体積は V_C 、温度は T_C となった(状態 C)。

(1) 圧力 p_C を、 p_0 、 M 、 S 、 g のうち、必要なものを用いて表しなさい。

(2) 状態 B から状態 C への変化の間に気体が外部にした仕事を、 p_0 、 p_C 、 V_B 、 T_B 、 T_C のうち、必要なものを用いて表しなさい。

問 5 状態 B から、温度制御装置で内部の温度を一定に保ちながら、ピストンがシリンダーの下側になるようにゆっくりとシリンダーを 90° 回転させた。

すると、ピストンは状態 B の位置から移動して停止し、その体積は V_D となった(状態 D)。

- (1) 体積 V_D を、問 4 の p_C 、 V_C 、 T_C および T_B のうち、必要なものを用いて表しなさい。
- (2) 状態変化の際に気体が外部にする仕事の正負について考え、さらに問 4 および問 5 で得られた関係式を用いて、 V_D と問 4 の V_C との大小関係を導き、その結果をふまえて適切な等号あるいは不等号を解答用紙の所定の欄に記入しなさい。

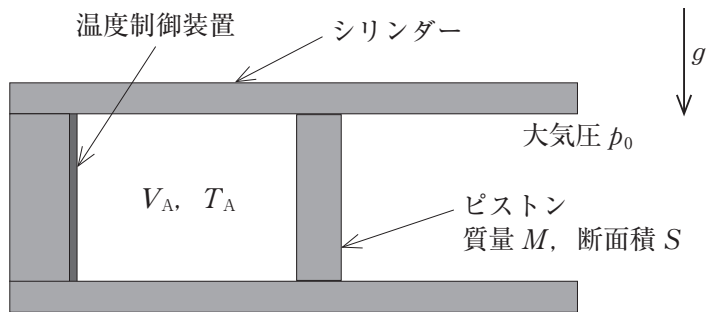


図 1 状態 A

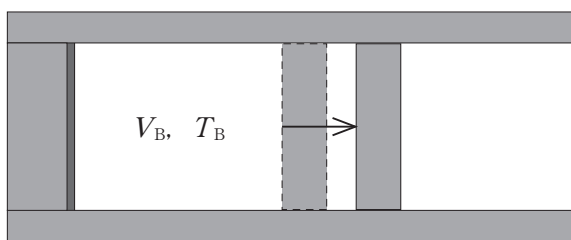


図 2 状態 B

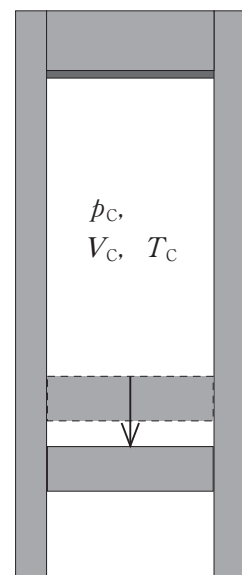


図 3 状態 C

3 図のように、 xy 平面の原点 O と、原点よりも右側にある点 $P(a, 0)$ にそれぞれ電気量 Q_A , Q_B の点電荷 A , B がある。電気量 q ($q > 0$) の点電荷を試験電荷として xy 平面上の様々な点に置いて受ける力の向きを調べた。点 $M\left(\frac{a}{2}, 0\right)$ では x 軸の正の向きの力を、点 $N\left(\frac{3a}{4}, 0\right)$ では x 軸の負の向きの力を受けたが、点 $X(4a - 2\sqrt{3}a, 0)$ では力を受けなかった。クーロンの法則の比例定数を k として以下の問いに答えなさい。

問 1 座標 $(r, 0)$ (ただし $0 < r < a$) に試験電荷を置いたときに、この試験電荷が点電荷 A , B の作る電場から受ける力の x 成分 F を、 Q_A , Q_B , q , a , r , k のうち、必要なものを用いて表しなさい。

問 2 点電荷 A , B は正電荷と負電荷のどちらであるか、試験電荷が点 M と点 N で受けた力の向きと問 1 で求めた F を使って説明し、 Q_A と Q_B の符号を解答用紙の所定の欄に記入しなさい。

問 3 試験電荷が点 X で力を受けなかったことから $\frac{Q_A}{Q_B}$ を求めたところ、2 つの整数 m と n を使って $\frac{m}{n}$ と表せた。 m と n を求めなさい。

問 4 試験電荷を点 $Y\left(\frac{a}{2}, \frac{a}{2}\right)$ に置いたときに、この試験電荷が受ける力の大きさを求めなさい。計算結果は問 3 の結果をふまえて、 Q_B , q , a , k のうち、必要なものを用いて表しなさい。

問 5 試験電荷が点電荷 A , B から受ける力とつりあう外力を加えて、試験電荷を点 X から問 4 の点 Y までゆっくりと移動させた。そのときに外力がする仕事の正負について説明し、その符号を解答用紙の所定の欄に記入しなさい。必要があれば $\sqrt{3} > 1.7$, $\sqrt{2} > 1.4$ であることを使用してよい。

