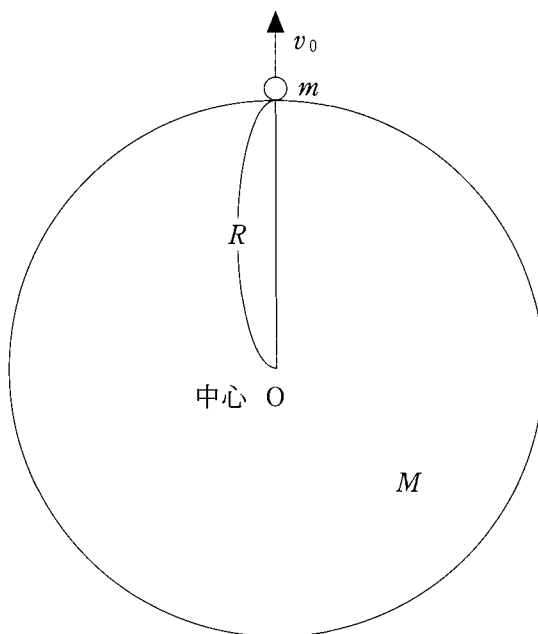


1

注意 全学部受験者用

地球を半径 R 、質量 M の球と考える。図のように、地表にある質量 m の小物体を速さ v_0 で鉛直方向上向きに打ち上げた。万有引力定数を G として以下の問いに答えよ。ただし、地球の自転や公転の効果は考えないものとする。また、地球大気による空気抵抗は無視できるものとする。

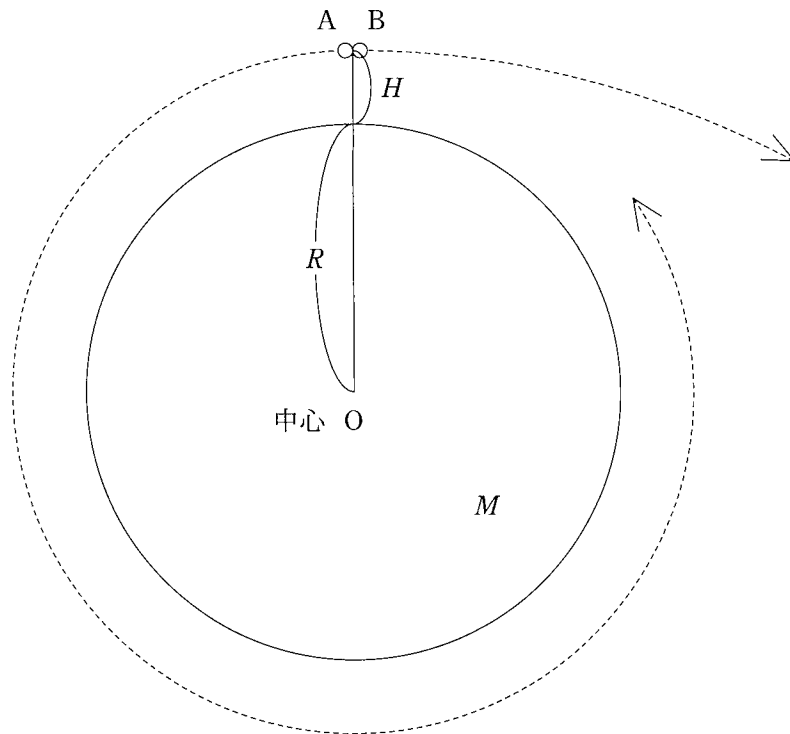


問 1 小物体が地表から高さ h の位置に到達したときを考える。ただし、小物体は鉛直方向上向きにまだ動いているとする。

- (1) このときに小物体が受ける万有引力の大きさを求めよ。
- (2) このときの小物体の速さを求めよ。

問 2 このあと、小物体が最高点に達した。このときの地表からの高さ H を求めよ。

問 3 図のように、小物体が地表から高さ H の最高点に達した瞬間に、小物体は 2 つの小物体 A, B に外力を受けずに分裂し、それらはお互いに反対方向に運動した。分裂した瞬間の A, B の運動方向は鉛直方向に対し垂直であった。分裂前の小物体の質量と、A と B の質量の和は等しいとする。A は分裂後、地球の周りを等速円運動した。B は分裂後飛び去り、無限の遠方で運動エネルギーが 0 となった。ただし、小物体 A, B 間の万有引力は無視できるものとする。また、以下の設問の解答には H を用いてよい。

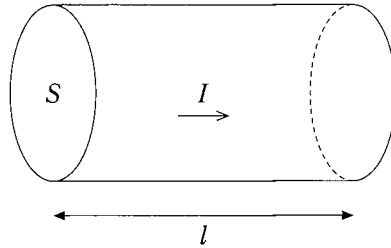


- (1) 分裂後の A の速さと円運動の周期をそれぞれ求めよ。
- (2) 分裂した瞬間の B の速さを求めよ。
- (3) 小物体 A と B の質量をそれぞれ求めよ。

2

注意 教育学部, 理学部(物理学科), 医学部, 歯学部, 工学部および農学部
受験者用

- [1] 図のように, 断面積 $S[\text{m}^2]$, 長さ $l[\text{m}]$ の金属線の両端に電圧 $V[\text{V}]$ をかけたところ, 電流 $I[\text{A}]$ が流れた。

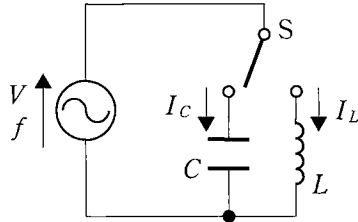


この金属線の電気抵抗を自由電子の運動から考えよう。

電圧 V をかけると金属線内に一様な電場(電界)が生じ, 自由電子はこの電場から力を受けて加速される。しかし, 自由電子は金属中の陽イオンなどとの衝突によって抵抗力を受けるので, やがてこれらの力が釣り合って, 一定の速さ $v[\text{m/s}]$ で金属線内を移動するようになる。金属線内の自由電子1個の電荷を $-e[\text{C}]$, 単位体積当たりの自由電子の個数を $n[\text{個}/\text{m}^3]$ として, 以下の問いに答えよ。

- 問 1 自由電子は, 速さ v に比例する大きさ $kv[\text{N}]$ の抵抗力(k は比例定数)を受けるとする。このとき, 自由電子に働く力のつり合いの式を書け。
- 問 2 金属線の断面を1秒間に通過する電荷から, 電流 I を v を用いて表せ。
- 問 3 問 1, 問 2 の結果から, 電圧 V を電流 I を用いて表せ。
- 問 4 問 3 の結果をオームの法則と比較することで, 金属線の抵抗率を求めよ。

- [2] 図のように、電圧が V で周波数が f の交流電源がスイッチ S を介して、電気容量 C のコンデンサーと自己インダクタンス L のコイルのいずれかにつながる電気回路がある。この交流電源の電圧の実効値を V_e として、この回路について以下の問いに答えよ。

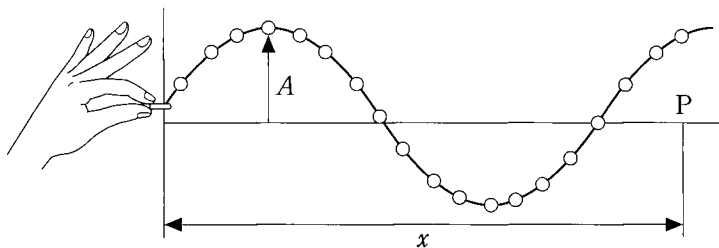


- 問 1 スイッチ S をコンデンサー側につないだ場合、コンデンサーに流れる電流 I_C の実効値を、 V_e 、 L 、 C 、 f のうち必要なものを使って表せ。
- 問 2 スイッチ S をコイル側につないだ場合、コイルに流れる電流 I_L の実効値を、 V_e 、 L 、 C 、 f のうち必要なものを使って表せ。
- 問 3 交流電源の電圧 V と電流の位相の関係について述べた以下の文中の [(1)] と [(2)] に当てはまる文章を選択肢(ア)～(カ)の中からそれぞれ 1 つ選び、その記号で答えよ。
- スイッチ S をコンデンサー側につないだ場合、コンデンサーに流れる電流 I_C は [(1)]。
- スイッチ S をコイル側につないだ場合、コイルに流れる電流 I_L は [(2)]。
- (ア) 電圧 V より位相が π 進む
 (イ) 電圧 V より位相が $\frac{\pi}{2}$ 進む
 (ウ) 電圧 V より位相が $\frac{\pi}{4}$ 進む
 (エ) 電圧 V と位相が等しい
 (オ) 電圧 V より位相が $\frac{\pi}{4}$ 遅れる
 (カ) 電圧 V より位相が $\frac{\pi}{2}$ 遅れる
- 問 4 スイッチ S をコンデンサー側につないだ場合、 V と I_C の位相関係を正しく表すように、 I_C の時間変化を表すグラフの概形を書け。

3

注意 教育学部, 理学部(数学科・物理学科・生物学科・地質科学科・自然環境科学科)および農学部受験者用

- [1] 図のような波動実験器(ウェーブマシン)がある。実験器の左端で振幅 A [m], 振動数 f [Hz] の正弦波を, 時刻 $t = 0$ から連続的に発生させたところ, 波は一定の速さ v [m/s] で右向きに伝わっていった。実験器の左端から距離 x [m] の地点を P として, 以下の問いに答えよ。



- 問 1 波の周期を T [s] とする。 T を, A , f , v のうち必要なものを使って表せ。
- 問 2 波の波長を λ [m] とする。 λ を, A , f , v のうち必要なものを使って表せ。
- 問 3 ある時刻において実験器の左端で発生した波の山が, P の位置に到達するのに必要な時間 t_1 を求めよ。
- 問 4 実験器の左端における波の変位は $A \sin(2\pi ft)$ と表される。時刻 t_1 以降において, P の位置における波の変位を表す数式を書け。
- 問 5 以下の文中の [(1)] と [(2)] に当てはまる内容を, 以下の選択肢(ア)~(カ)の中からそれぞれ 1 つ選び, その記号で答えよ。

実験器の右端が自由端であった場合, 波は [(1)] 反射する。

右端で反射した波の山が, 左から来る次の波の山と重なり合うのは, 右端からの距離が [(2)] の位置である。

(ア) 山と谷が反転して

(イ) 山と谷がそのまま

(ウ) 2λ

(エ) λ

(オ) $\frac{\lambda}{2}$

(カ) $\frac{\lambda}{4}$

[2] 一定の振動数の音を出している音源が、最初、静止している。静止している観測者が振動数 f_0 [Hz] の音を出すと、1 秒間あたり n 回のうなりが生じた。次に、音源が観測者に向かって速さ u [m/s] でまっすぐ近づくと、うなりがなくなった。以下の問いに答えよ。ただし、風は吹いていないものとする。

問 1 音源が出す音の振動数 f [Hz] を f_0 と n を用いて表せ。

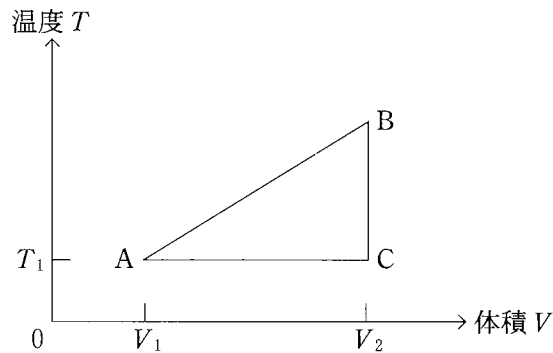
問 2 音速 V [m/s] を f_0 , n , および u のうち、必要なものを用いて表せ。

問 3 その後、音源が観測者を通り過ぎ、速さ u [m/s] でまっすぐ遠ざかると、1 秒間あたり N 回のうなりが生じた。 f_0 を N , n , および u のうち、必要なものを用いて表せ。

4

注意 理学部(数学科・物理学科・生物学科・地質科学科・自然環境科学科),
医学部, 歯学部および工学部受験者用

- [1] 1モルの理想気体の体積と温度を、ゆっくり変化させた。温度を絶対温度で表すと、気体の体積 V と温度 T の関係を表すグラフは、図のようになった。この気体の内部エネルギー U は温度 T に対し、 $U = aT$ の比例関係を満たすことがわかっている。ここで、 a は、正の定数である。以下の問いに答えよ。ただし、気体定数を R とする。



- 問 1 最初、気体は体積 V_1 、温度 T_1 の状態 A にあった。次に、外部から熱を与えると、体積と温度は比例関係を満たしながら図の線分 AB のように変化し、体積 V_2 の状態 B になった。状態 B の温度 T_B 、および圧力 P_B をそれぞれ、 a 、 R 、 T_1 、 V_1 、 V_2 のうち、必要なものを用いて表せ。

- 問 2 状態 A から状態 B への変化について、気体が外に対してした仕事 W_{AB} 、および外から気体に与えられた熱 Q_{AB} をそれぞれ a , R , T_1 , V_1 , V_2 のうち、必要なものを用いて表せ。
- 問 3 次に、気体の体積が一定のまま、温度は図の線分 BC のように変化し、体積 V_2 、温度 T_1 の状態 C になった。状態 B から状態 C への変化について、気体が外に対してした仕事 W_{BC} 、および外から気体に与えられた熱 Q_{BC} をそれぞれ a , R , T_1 , V_1 , V_2 のうち、必要なものを用いて表せ。
- 問 4 最後に、気体の温度が一定のまま、体積は図の線分 CA のように変化し、体積 V_1 、温度 T_1 の状態 A にもどった。気体の状態変化 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ について、圧力 P と体積 V の関係をグラフに表せ。ただし、グラフの横軸を V 、縦軸を P とし、3つの状態 A, B, C に対応する点をグラフに明記すること。

[2] アルゴンの沸点における蒸発過程を考える。なめらかに動くピストンの付いたシリンダーの中に、最初、1モルの液体のアルゴンが封じ込められ、大気圧下にある。このときアルゴンの沸点は $T = 87 \text{ K}$ である。気体定数を $R = 8.3 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ として、次の問いに答えよ。ただし、気体のアルゴンは単原子分子の理想気体と考えてよい。

問 1 この容器内の液体のアルゴンを沸点で完全に蒸発させた。このとき発生した気体のアルゴンがピストンを動かす仕事 W を求めよ。ただし、蒸発前の液体のアルゴンの体積は、蒸発後の気体のアルゴンの体積に比べて十分小さく、無視できるとする。

問 2 蒸発後の気体のアルゴンの内部エネルギー U_1 を求めよ。

問 3 問 1 の蒸発過程により、この容器内にあるアルゴンの内部エネルギーは増加する。その増加分 ΔU を求めよ。ただし、大気圧下でのアルゴン 1 モルあたりの蒸発熱は $6.4 \times 10^3 \text{ J/mol}$ である。

問 4 問 2 および問 3 の結果を用いて、蒸発前の液体のアルゴンの内部エネルギー U_2 を求めよ。

(参考) 問 4 で得られる結果は負の値をとる。これは、液体のアルゴンにおいては、分子間の引力による位置エネルギーが大きな負の値をとることを意味する。他方、気体のアルゴンの場合には、分子間引力の位置エネルギーは運動エネルギーに比べて無視できる。