

物理量はSI国際単位系で表現している。解答欄に[]がある所はその単位をSI国際単位系による簡潔な形で記入せよ。円周率は π とする。

1 真空中で人工衛星が図1-1のように、地球の中心から距離 R のところを反時計回りに等速円運動をしている。この円軌道を軌道Iとし、地球の質量を M 、人工衛星の質量を m とする。人工衛星の質量は地球の質量に対して十分に小さく、質量は変化しないものとする。また、地球の自転や公転の影響、他の天体の及ぼす影響は無視できるものとする。万有引力定数を G として以下の問いに答えよ。

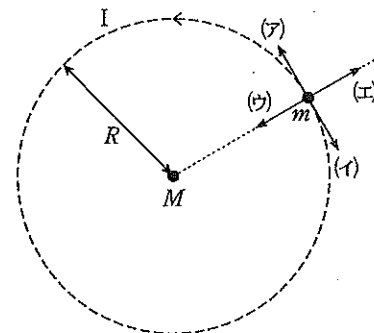


図1-1

- (1) 人工衛星が地球から受ける万有引力の大きさはいくらか。
- (2) 地球にいる観測者が人工衛星の運動を見た時に人工衛星に働く加速度の大きさは、人工衛星の角速度 ω を用いてどのように表されるか。万有引力定数を用いずに答えよ。この問題以外では、角速度 ω を解答に用いてはならない。
- (3) 地球にいる観測者が人工衛星の運動を見た時に、人工衛星の加速度の向きとしてもっとも適当なものを、次の解答群から一つ選んで記号で答えよ。
 - (ア) 人工衛星が進行する向き
 - (イ) 人工衛星の進行と逆の向き
 - (ウ) 人工衛星から地球中心に向かう向き
 - (エ) 地球中心から人工衛星に向かう向き
 - (オ) 紙面に垂直で裏から表の向き
 - (カ) 加速度はないので向きはない
- (4) 人工衛星の周期は、どのように表されるか。
- (5) 人工衛星の持つ運動エネルギーは、どのように表されるか。
- (6) 無限遠を万有引力による位置エネルギーの基準に取った時、人工衛星の持つ力学的エネルギーはどのように表されるか。
- (7) ある地点で人工衛星に運動エネルギーを与えて瞬間的に加速したところ、人工衛星は無限遠に飛び去ってしまった。このようなことが起きるのは、加速した直後の人工衛星の速さが加速する直前の速さの何倍以上の時か。
- (8) 軌道Iを円運動している人工衛星に、地点Aにおいて運動エネルギーを与えて瞬間的に加速したところ、人工衛星は図1-2に示すような地球を焦点とするだ円軌道IIに入った。だ円軌道IIは、地点Aで軌道Iと接しており、地球から最も遠い地点Bと地球の中心との距離は $8R$ である。面積速度一定の法則を用いると、地点Bにおける人工衛星の速さは地点Aにおける速さの何倍か。
- (9) 無限遠を万有引力による位置エネルギーの基準に取った時、(8)の地点Bにおいて人工衛星の持つ位置エネルギーはどのように表されるか。
- (10) (8)のだ円軌道IIを運動する人工衛星の地点Aにおける速さはどのように表されるか。

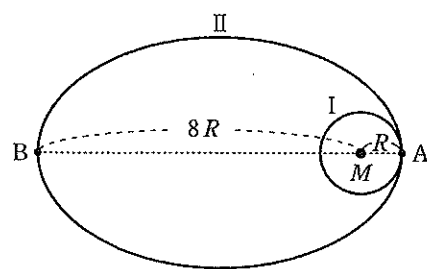


図1-2

2 単原子分子からなる理想気体 1.0 mol をなめらかに動くピストンでシリンダー内に閉じ込めて、図2のように圧力 p と体積 V を状態 A → 状態 B → 状態 C → 状態 A の順でゆっくりと変化させた。ただし、過程 I (A → B) は定積変化、過程 III (C → A) は定圧変化であり、過程 II (B → C) では圧力と体積は直線に沿って変化しているものとする。状態 A での圧力を p_0 、体積を V_0 、温度を T_0 とし、状態 C における温度を $3T_0$ とし、以下の問いに気体定数を用いずに答えよ。

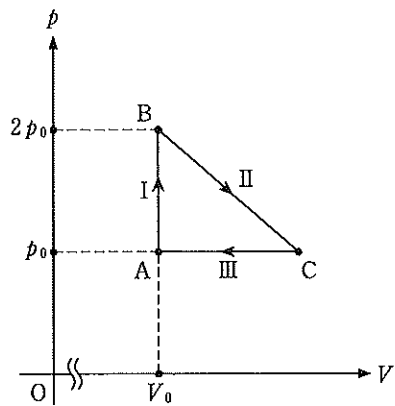


図2

- (1) 状態 B における気体の温度はいくらか。
- (2) 状態 B における気体分子の 2 乗平均速度は、状態 A における気体分子の 2 乗平均速度の何倍か。
- (3) 状態 C における気体の体積はいくらか。
- (4) 過程 I, II, III で、気体の内部エネルギーの増加はそれぞれいくらか。
- (5) 過程 I, II, III で、気体がした仕事はそれぞれいくらか。
- (6) 過程 I, II, III で、気体に加えられた熱量はそれぞれいくらか。
- (7) 状態 A → 状態 B → 状態 C → 状態 A の 1 サイクルにおける熱効率を求めよ。分数で答えて良い。
- (8) 過程 II では、圧力が $\frac{5}{4}p_0$ の時に、気体の内部エネルギーが最大値 $\frac{75}{16}p_0V_0$ をとることがわかっている。過程 II の気体の温度変化の説明として、もっとも適切なものを次の解答群から一つ選んで記号で答えよ。
 (ア) 上がり続ける (イ) 下がり続ける (ウ) 変化しない
 (エ) 上がってから下がる (オ) 下がってから上がる

3 図3のように真空中に陰極 K、陽極 P が平行に向かい合わせに設置されている。陰極 K から陽極 P に向かう方向を x 軸とし、陽極 P の先の点 O を原点として、 x 軸と垂直に y 軸を取る。 x 軸上の $x = a$ ($a > 0$) の地点に点 S があり、点 S を含んで x 軸と垂直に平面のスクリーンが設置されている。質量 m 、電荷 $-e$ ($e > 0$) を持つ電子は、初速度 0 で陰極 K を出たのち、陰極 K と陽極 P の間に加えられている一定の電圧 V によって x 軸正の向きに加速される。陽極 P の x 軸上の位置には小さな穴が開けられており、加速された電子は陽極 P を通過し、原点 O に到達する。原点 O から先の $0 \leq x \leq a$ の領域では、 xy 平面に垂直で紙面の表から裏向きに磁束密度の大きさが B の一様で一定な磁界がかけられている。原点 O を通過した電子は、この一様磁界中を xy 平面内で運動し、スクリーン上の点 T に到達する。この状態を初期の状態とし、重力は無視できるものとして次の問いに答えよ。

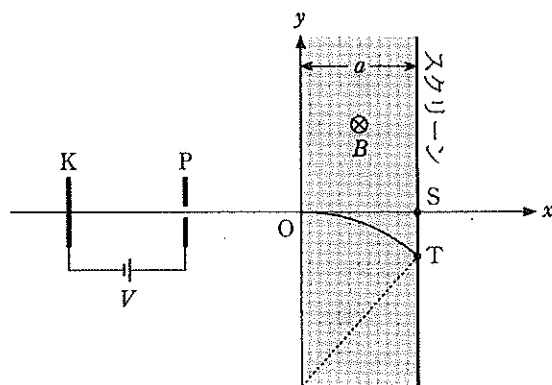


図3

- (1) 陽極 P を通過したときの電子の運動エネルギーはいくらか。
- (2) 陽極 P を通過したときの電子の速さはいくらか。
- (3) 原点 O を通過した電子が磁界から受ける力の名称、およびその大きさを答えよ。
- (4) 原点 O から点 T までに磁界が電子にする仕事はいくらか。
- (5) 電子は一様磁界中で力を受け、円軌道を描く。この円軌道の半径はどのように表されるか。
- (6) ある条件において、電子は磁界中において中心角 45° の円弧を描いて点 T に到達した。電子が原点 O から点 T に到達するのにかかる時間を、 a を用いずに表せ。
- (7) 磁束密度 B を大きくすると、電子はスクリーンに到達しなくなる。電子がスクリーンに到達する限界の磁束密度の大きさを求めよ。
- (8) 初期の状態の磁界に加えて、 $0 \leq x \leq a$ の領域に y 軸負の方向に一様な電界をかけると、電子は x 軸上を運動して点 S に到達した。このときの電界の強さを求めよ。