

物 理

解答範囲は、解答番号 から までです。

I 次の文章を読んで、後の問い(問1~問8)に答えなさい。

半径 r [m] の一様な球体である地球(質量 M [kg])と人工衛星(質量 m [kg])の運動を考える。ただし、人工衛星の大きさは無視できるものとし、地球以外の天体から力を受けないとする。地球の万有引力による位置エネルギーの基準は無遠慮にとるものとする。また、地球の質量は人工衛星の質量と比べて十分に大きく、地球は静止していると考える。地表面での重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。

(1) 人工衛星は地球の中心から距離 kr ($k > 1$) の軌道上を速さ v [m/s] で等速円運動しているとする。地表面上での重力を考えると、万有引力定数は【 1 】[N・m²/kg²]と表すことができる。地球の中心からの半径が地球の半径の k 倍である円軌道上を運動している人工衛星は、【 2 】[N]の万有引力を受けており、遠心力と釣り合っているため半径方向には移動せずに、円周方向に $v =$ 【 3 】の速さで運動する。このときの人工衛星の運動エネルギーと位置エネルギーの総和である力学的エネルギーは、【 4 】[J]である。

問1 空所【 1 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号

- ① $g \frac{Mm}{r}$
- ② $\frac{Mm}{r^2}$
- ③ $\frac{gr^2}{M}$
- ④ $\frac{36gr^2}{M}$
- ⑤ $-g \frac{Mm}{6r}$
- ⑥ $\frac{gr^2}{m}$
- ⑦ $\frac{gr}{M}$
- ⑧ $\frac{Mm}{36r^2}$

問2 空所【 2 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号

- ① $\frac{Mg}{k}$
- ② $\frac{mg}{k^2}$
- ③ Mg
- ④ $\frac{mg}{k}$
- ⑤ mg
- ⑥ $\frac{Mm}{2k}$
- ⑦ kmg
- ⑧ $2Mg$

問3 空所【 3 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号

- ① $\sqrt{\frac{gr}{2k}}$
- ② $\sqrt{kg}r$
- ③ $\sqrt{\frac{gr}{k}}$
- ④ $\frac{\sqrt{gr}}{k}$
- ⑤ $\frac{\sqrt{gr}}{2k}$
- ⑥ $k\sqrt{gr}$
- ⑦ \sqrt{gr}
- ⑧ $\frac{\sqrt{gr}}{k^2}$

問4 空所【 4 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号

- ① $\frac{mgr}{2k}$
- ② $-\frac{mgr}{k}$
- ③ $\frac{mgr}{\sqrt{k}}$
- ④ $\frac{mgr}{k^2}$
- ⑤ $-\frac{mgr}{k^2}$
- ⑥ $\frac{mgr}{k}$
- ⑦ $-\frac{mgr}{\sqrt{k}}$
- ⑧ $-\frac{mgr}{2k}$

(2) 図I-1のように人工衛星が、(1)の状態から n_1v ($n_1 > 1$) に加速するために進行方向逆向きに質量 n_2m ($n_2 < 1$) の小物体を一瞬で放出したとする。人工衛星と小物体の間の万有引力は無視できるとすると、放出後の人工衛星の運動量は【 5 】であるから、運動量保存則を考慮すると小物体の速さは【 6 】[m/s]となることわかる。その後、人工衛星は楕円軌道上を運動し、地球の中心から $k'r$ [m]の位置にある最も速がる点(遠日点)では、速さが V [m/s]となった。力学的エネルギー保存則より【 7 】 $= \frac{1}{2}(1-n_2)mV^2 - \frac{(1-n_2)mgr}{k'}$ が成り立ち、ケプラーの第2法則から【 8 】が成り立つ。

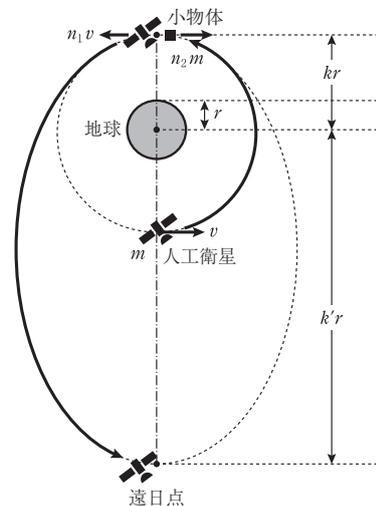


図 I - 1

英語
日本史
世界史
政治・経済
数(文系型)学
数(理系型)学
物理
化学
生物
正解・正解例
講評
国語

英語

日本史

世界史

政治・経済

数学(文系型)

数学(理系型)

物理

化学

生物

正解・正解例
講評

国語

問5 空所【5】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 5

- ① n_2mv ② n_1mv ③ n_1n_2mv
 ④ $(1-n_2)n_1mv$ ⑤ $(n_1-n_2)mv$ ⑥ $\frac{n_1}{n_2}mv$
 ⑦ $\frac{n_2}{n_1}mv$ ⑧ $(1-n_1)n_2mv$

問6 空所【6】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 6

- ① $(n_1-n_2)v$ ② $\frac{n_1}{n_2}v$
 ③ n_1n_2v ④ $(1-n_2)n_1v$
 ⑤ $(n_1-n_2)mv$ ⑥ $\frac{|n_1-n_1n_2-1|}{n_2}v$
 ⑦ $\frac{|1-n_2-n_1n_2|}{n_1}v$ ⑧ $(1-n_2)n_2v$

問7 空所【7】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 7

- ① $\frac{1}{2}m(n_1v)^2 - \frac{mgr}{k}$
 ② $\frac{1}{2}(1-n_2)m(n_1v)^2 - \frac{(1-n_2)mgr}{k}$
 ③ $\frac{1}{2}(1-n_2)mv^2 - \frac{(1-n_2)mgr}{k}$
 ④ $\frac{1}{2}(1-n_2)mv^2 - \frac{mgr}{k}$
 ⑤ $\frac{1}{2}(1-n_2)mv^2 - \frac{n_2mgr}{k}$
 ⑥ $\frac{1}{2}n_2mv^2 - \frac{n_2mgr}{k}$
 ⑦ $\frac{1}{2}mv^2 - \frac{mgr}{k}$
 ⑧ $\frac{1}{2}mv^2 - mgr$

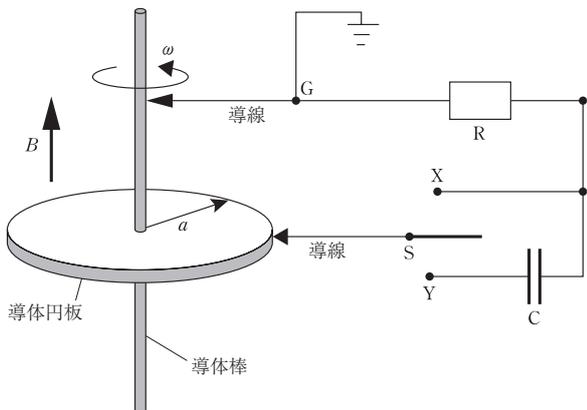
問8 空所【8】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 8

- ① $n_1v = k'V$ ② $kv = k'V$
 ③ $kn_1v = k'V$ ④ $(1-n_2)v = k'V$
 ⑤ $k(1-n_2)v = k'V$ ⑥ $kn_1v = k'(1-n_2)V$
 ⑦ $n_1v = k'(1-n_2)V$ ⑧ $kn_2v = k'(1-n_2)V$

II 次の文章を読んで、後の問い(問1～問8)に答えなさい。

図II-1に示すように、鉛直上向きに一様で磁束密度の大きさが B [T] の磁界中で、半径 a [m] の導体円板を、細い導体棒を中心に鉛直上方からみて反時計回り(左回り)に一定の角速度 ω [rad/s] で回転させて発電する実験を行った。



図II-1

導体棒と導体円板の外縁に導線を接触させて、抵抗値 R [Ω] の抵抗 R 、電気容量 C [F] のコンデンサー C 、スイッチ S からなる回路を接続した。ここで、導体棒と導体円板は一つの導体とみなせる。また、電気回路において、導体棒、導体円板、ならびに導線の抵抗および導体

棒表面と導線の間、導体円板の外縁と導線の間接触抵抗は無視できるものとする。

最初の状態では、スイッチ S は X 側、 Y 側の端子には接続されておらず、また、コンデンサーは充電されておらず、コンデンサーの両電極の電荷はいずれも 0 [C] であった。点 G は接地されており、電位は 0 [V] である。導体円板中の自由電子の電荷を $-e$ [C] (ただし、 $e > 0$) とすると、半径 r [m] の位置で導体円板に対して静止している自由電子の円運動の速さ v [m/s] は【9】であるので、この電子にはたらくローレンツ力の大きさは【10】[N] である。このとき、回転円板中の自由電子の運動の向きと逆向きに電流が生じており、フレミングの左手の法則を用いると、自由電子に作用するローレンツ力のために、電子は中心部に向けて移動をすることがわかる。このように、ローレンツ力によって電子が移動した結果、円板内には電界が発生する。この電界によって電子が受ける静電気力とローレンツ力が釣り合うと電子の移動が終了する。そのときの電界の大きさ E [V/m] を r の関数として表すと、 $E =$ 【11】となる。導体円板の中心を基準とした外縁の電位 V_1 [V] は、 $V_1 =$ 【12】で表される。

次に X 側にスイッチ S を接続した。このとき、回路に流れる電流は【12】×【13】[A] である。また、導体円板を一定の角速度 ω で回転を続けさせるために、外部から供給すべき単位時間当たりのエネルギーは、回路で消費される電力に等しいので【14】[W] である。

続いて Y 側にスイッチ S を切りかえた。 Y 側に接続した時刻を $t = 0$ [s] とし、その後の時刻 t における回路に流れる電流の大きさを $I(t)$ [A] とする。時刻 t におけるコンデンサー C の電位差の絶対

値を $V(t)$ [V] として、 $I(t)$ は、 $I(t) = \text{【 15 】}$ と表せる。また、 $I(t)$ が $I(0)$ の $\frac{1}{4}$ になる時刻にコンデンサー C に蓄えられた電気量は 【 16 】 [C] である。

問1 空所【 9 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 9

- ① $\frac{\omega}{r^2}$ ② $\frac{\omega}{r}$ ③ $\frac{r^2}{\omega}$ ④ $\frac{r}{\omega}$ ⑤ $r^2\omega$ ⑥ $r\omega$

問2 空所【 10 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 10

- ① $\frac{e\omega B}{r^2}$ ② $\frac{e\omega B}{r}$ ③ $\frac{er^2}{\omega B}$ ④ $\frac{er}{\omega B}$
 ⑤ $\frac{er^2\omega}{B}$ ⑥ $er\omega B$ ⑦ $er^2\omega B$

問3 空所【 11 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 11

- ① $\frac{\omega B}{r^2}$ ② $\frac{\omega B}{r}$ ③ $\frac{\omega}{r^2 B}$ ④ $\frac{\omega}{r B}$
 ⑤ $\frac{\omega r}{B}$ ⑥ $\frac{\omega r^2}{B}$ ⑦ $\omega B r$ ⑧ $\omega B r^2$

問4 空所【 12 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 12

- ① $\frac{\omega Ba}{4}$ ② $\frac{\omega Ba}{2}$ ③ ωBa ④ $2\omega Ba$ ⑤ $4\omega Ba$
 ⑥ $\frac{\omega Ba^2}{4}$ ⑦ $\frac{\omega Ba^2}{2}$ ⑧ ωBa^2 ⑨ $2\omega Ba^2$ ⑩ $4\omega Ba^2$

問5 空所【 13 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 13

- ① $\frac{R}{4}$ ② $\frac{R}{2}$ ③ R ④ $2R$ ⑤ $4R$
 ⑥ $\frac{1}{4R}$ ⑦ $\frac{1}{2R}$ ⑧ $\frac{1}{R}$ ⑨ $\frac{2}{R}$ ⑩ $\frac{4}{R}$

問6 空所【 14 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 14

- ① $\frac{\omega^2 B^2 a^4 R}{4}$ ② $\frac{\omega^2 B^2 a^4 R}{2}$ ③ $\omega^2 B^2 a^4 R$
 ④ $2\omega^2 B^2 a^4 R$ ⑤ $4R\omega^2 B^2 a^4$ ⑥ $\frac{\omega^2 B^2 a^4}{4R}$
 ⑦ $\frac{\omega^2 B^2 a^4}{2R}$ ⑧ $\frac{\omega^2 B^2 a^4}{R}$

問7 空所【 15 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 15

- ① $\frac{\omega Ba}{4R} + \frac{V(t)}{R}$ ② $\frac{\omega Ba}{4R} - \frac{V(t)}{R}$ ③ $\frac{\omega Ba}{2R} + \frac{V(t)}{R}$
 ④ $\frac{\omega Ba}{2R} - \frac{V(t)}{R}$ ⑤ $\frac{\omega Ba^2}{4R} + \frac{V(t)}{R}$ ⑥ $\frac{\omega Ba^2}{4R} - \frac{V(t)}{R}$
 ⑦ $\frac{\omega Ba^2}{2R} + \frac{V(t)}{R}$ ⑧ $\frac{\omega Ba^2}{2R} - \frac{V(t)}{R}$

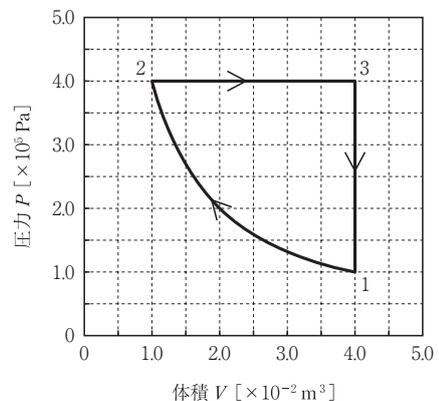
問8 空所【 16 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 16

- ① $\frac{\omega Ba C}{4}$ ② $\frac{3\omega Ba C}{8}$ ③ $\frac{\omega Ba C}{2}$ ④ $\frac{3\omega Ba C}{4}$
 ⑤ $\omega Ba C$ ⑥ $\frac{\omega Ba^2 C}{4}$ ⑦ $\frac{3\omega Ba^2 C}{8}$ ⑧ $\frac{\omega Ba^2 C}{2}$
 ⑨ $\frac{3\omega Ba^2 C}{4}$ ⑩ $\omega Ba^2 C$

III 次の文章を読んで、後の問い(問1～問7)に答えなさい。

ピストンがついたシリンダ内に1.0 molの単原子分子からなる理想気体を入れて閉じ込め、図III-1のように、1→2→3→1の順に気体を状態変化させた場合について考えよう。ここで、1→2は等温変化、2→3は定圧変化、3→1は定積変化であり、気体定数は $R = 8.3 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ である。また、状態1、2、および3における圧力を P_1 [Pa]、 P_2 [Pa]、および P_3 [Pa]、体積を V_1 [m³]、 V_2 [m³]、および V_3 [m³]、絶対温度を T_1 [K]、 T_2 [K]、および T_3 [K] とする。



図III-1

状態1での気体の状態方程式は、【17】のように書くことができる。したがって、状態1の絶対温度 T_1 は、【18-A】Kと求めることができる。同様に状態2および3の絶対温度は、それぞれ、 $T_2 = 【18-B】$ K, $T_3 = 【18-C】$ [K] と求めることができる。

気体の状態変化において、気体が外部から吸収した熱量を Q [J], 気体の内部エネルギーの変化量を ΔU [J], 気体が外部にした仕事を W [J] とすると、熱力学第一法則は

$$Q = \Delta U + W$$

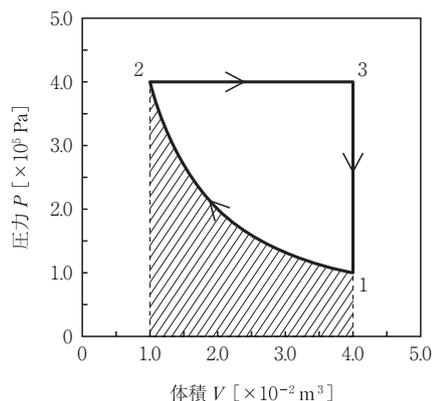
で表される。ここで、 Q の値が負のとき、気体から熱量が外部に放出され、0 [J] のとき、熱量の出入りが無い。また、 W が負の値のとき、気体は外部から仕事をされ、0 [J] のとき、気体は仕事をしたりされたりしない。各状態変化で、 Q , ΔU , および W の値が正、負あるいは0 [J] のいずれになるかをまとめると表Ⅲ-1のようになる。

表Ⅲ-1

過程	Q	ΔU	W
1→2	【19-A】	【19-B】	【19-C】
2→3	【20-A】	【20-B】	【20-C】
3→1	【21-A】	【21-B】	【21-C】

この1→2→3→1のサイクルにおいて気体が外部から吸収した熱量は、【22】J, 気体をした正味の仕事は、【23】Jとなる。ここで、図Ⅲ-1の1→2→座標(1.0, 0)→座標(4.0, 0)で囲まれる

面積(図Ⅲ-2の斜線部の面積)は、 5.5×10^3 Jである。したがって、このサイクルの熱効率は【24】となるのがわかる。



図Ⅲ-2

問1 空所【17】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号

- ① $P_1 = V_1 RT_1$ ② $V_1 = P_1 RT_1$ ③ $T_1 = P_1 V_1 R$
- ④ $P_1 V_1 = RT_1$ ⑤ $P_1 T_1 = V_1 R$ ⑥ $V_1 T_1 = P_1 R$
- ⑦ $P_1 V_1 T_1 = R$ ⑧ $P_1 V_1 RT_1 = 1$

問2 空所【18-A】、【18-B】、【18-C】に当てはまる組み合わせとして最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号

	【18-A】	【18-B】	【18-C】
①	4.0×10^2	4.0×10^2	T_2
②	4.0×10^2	4.8×10^2	T_2
③	4.0×10^2	4.8×10^2	$2T_2$
④	4.0×10^2	1.6×10^3	$2T_2$
⑤	4.8×10^2	4.8×10^2	$2T_2$
⑥	4.8×10^2	4.8×10^2	$4T_2$
⑦	4.8×10^2	1.6×10^3	$4T_2$
⑧	4.8×10^2	1.9×10^3	$4T_2$

問3 空所【19-A】、【19-B】、【19-C】に当てはまる組み合わせとして最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号

	【19-A】	【19-B】	【19-C】
①	正	正	正
②	正	負	正
③	正	0	正
④	正	正	負
⑤	負	負	負
⑥	負	0	負
⑦	負	正	0
⑧	負	負	0

問4 空所【20-A】、【20-B】、【20-C】に当てはまる組み合わせとして最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号

	【20-A】	【20-B】	【20-C】
①	正	正	正
②	正	負	正
③	正	0	正
④	正	正	負
⑤	負	負	負
⑥	負	0	負
⑦	負	正	0
⑧	負	負	0

問5 空所【21-A】、【21-B】、【21-C】に当てはまる組み合わせとして最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号

	【21-A】	【21-B】	【21-C】
①	正	正	正
②	正	負	正
③	正	0	正
④	正	正	負
⑤	負	負	負
⑥	負	0	負
⑦	負	正	0
⑧	負	負	0

問6 空所【22】、【23】に当てはまる最も適当なものを、次の中からそれぞれ一つずつ選びなさい。

空所【22】は、解答番号

空所【23】は、解答番号

- ① 4.0×10^3 ② 5.5×10^3 ③ 6.5×10^3
 ④ 9.5×10^3 ⑤ 1.2×10^4 ⑥ 1.7×10^4
 ⑦ 1.8×10^4 ⑧ 3.0×10^4

問7 空所【24】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号

- ① 0.18 ② 0.22 ③ 0.29 ④ 0.32
 ⑤ 0.36 ⑥ 0.54 ⑦ 0.58 ⑧ 0.97