2018年度

理　　　科

		〔問題ページ数〕	〔解答用紙枚数〕
R 1	物　　理	6 ページ	3 枚

2月25日(日)
【前 期 日 程】

理　学　部 (数学科, 物理学科, 地球科学科)
工　学　部
農　学　部
地域創造学環 (選抜方法A)　　13：00～14：20

注 意 事 項

試験開始前

1 監督者の指示があるまで, 問題冊子, 解答用紙に手を触れてはいけません。

2 監督者の指示に従い, 自分の選択した科目の問題冊子, 解答用紙であるかどうかを確かめ, 全部の解答用紙に受験番号を記入しなさい。

3 出願時に選択した科目と解答した科目が異なる場合は採点されません。

試験開始後

4 はじめに, 問題冊子, 解答用紙を確かめ, 枚数の不足や, 印刷の不鮮明なもの, ページの落丁・乱丁があった場合は, 手をあげて監督者に申し出なさい。

5 解答はすべて解答用紙に記入しなさい。

6 問題は, 声を出して読んではいけません。

7 各問ごとの配点は, 比率(%)で表示してあります。

試験終了後

8 問題冊子は, 必ず持ち帰りなさい。

1 地球の万有引力を受けて運動する人工衛星について以下の問いに答えよ。ただし，地球は質量 M の密度一様な球とする。また，万有引力定数は G，円周率は π とする。(配点 34 %)

問 1　図のように地球の中心 O を中心とする半径 r の円軌道を質量 m の人工衛星が等速円運動している。この人工衛星の速さを v とするとき，次の文中の $\boxed{(ア)}$ ～ $\boxed{(ウ)}$ に入る式を答えよ。

人工衛星にはたらく加速度の大きさは，r，v を用いて $\boxed{(ア)}$ と表される。人工衛星が地球から受ける万有引力の大きさは，G，m，M，r を用いて $\boxed{(イ)}$ と表される。このとき人工衛星の運動方程式は

$$m \times \boxed{(ア)} = \boxed{(イ)}$$

になる。この方程式から，

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \qquad (1)$$

が得られる。また，人工衛星の周期 T は，v，r を用いて $T = \boxed{(ウ)}$ と表される。この T の式に式(1)を代入することで，

$$T = \frac{2\pi r^{3/2}}{\sqrt{GM}} \qquad (2)$$

が得られる。

問 2　ここでは有効数字 2 桁の精度での議論をしよう。問 1 の人工衛星の中で，地上から見ると常に静止しているように見える人工衛星を静止衛星という。この静止衛星の周期は地球の自転周期と同じ 24 時間である。一方，問 1 の人工衛星の中で，周期が 1.5 時間(90 分)の国際宇宙ステーションもある。なお必要ならば $16^{1/3} \fallingdotseq 2.5$ を用いよ。

(1)　静止衛星の円軌道の半径を r_f，国際宇宙ステーションの円軌道の半径を r_i とするとき，問 1 の式(2)を用いて $\frac{r_f}{r_i}$ の数値を求め，有効数字 2 桁で示せ。

(2)　静止衛星の速さを v_f，国際宇宙ステーションの速さを v_i とするとき，問 1 の式(1)を用いて $\frac{v_f}{v_i}$ の数値を求め，有効数字 2 桁で示せ。

問 3　問 1 の質量 m の人工衛星が図の点 A で質量 $\dfrac{m}{2}$ の物体 a を瞬間的に放出した。放出後の人工衛星の質量は $\dfrac{m}{2}$ になり，放出直前と直後で人工衛星の運動の向きに変化はなかった。放出直後の人工衛星の速さを v_1，放出直後の人工衛星に対する物体 a の相対速度の大きさを u とする。物体 a の放出後，人工衛星は地球の中心 O から最も近い点を点 A，最も遠い点を点 B，地球の中心 O を焦点の 1 つとする楕円軌道を運動するようになった。

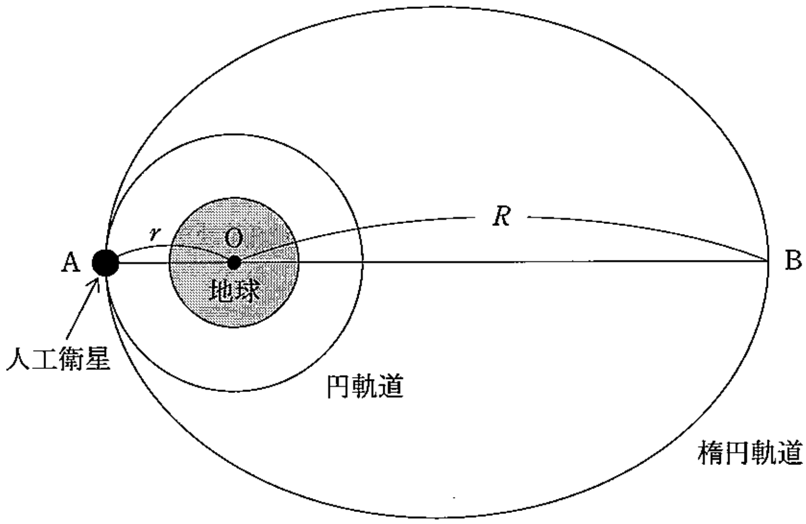
(1)　運動量保存の法則より，v_1 を v，u を用いて表せ。ただし，$v_1 > v$ とする。

(2)　地球の中心 O から点 B までの距離を R とする。点 B での速さを v_1，R，r を用いて表せ。ただし，人工衛星と地球の間にはケプラーの法則が成り立ち，地球の中心 O と人工衛星を結ぶ線分が単位時間に描く面積は一定である（面積速度一定の法則）。

(3)　問 3 (2)の結果と力学的エネルギー保存の法則により，v_1 を G，M，r，R を用いて表せ。

(4)　問 3 (1)，問 3 (3)の結果と問 1 の式(1)より u を v，r，R を用いて表せ。

(5)　人工衛星が無限遠に飛び去ることなく，楕円軌道上を運動するための条件は $\dfrac{u}{v} <$ $\boxed{(エ)}$ と表されるが，$\boxed{(エ)}$ に入る適切な数値を有効数字 2 桁で示せ。



図

◇M12(294—57)

2 図のように，辺 AB が x 軸上，辺 AE が y 軸上，辺 AD が z 軸上にある直方体の金属があり，金属の両端 BCGF 面と ADHE 面の間に大きさが一定値 V の電圧を BCGF 面の電位が高くなるように加えた。辺 AB，辺 AD，辺 AE の長さをそれぞれ L，d，w とし，金属中の自由電子の質量を m，単位体積あたりの数を n，電荷を $-e$ とする。問 4 以外では磁場を金属に加えていないとし，重力は無視できるとする。(配点 32 %)

問 1　上述の電圧により金属内に x 軸に平行な電場が発生する。その電場から自由電子が受ける力の x 成分を F とする。F は一定とする。

(1)　F を e，L，V を用いて表せ。

(2)　自由電子にはたらく力が上述の電場から受ける力だけのとき，自由電子の加速度の大きさ a を F，m を用いて表せ。

問 2　自由電子と金属陽イオンの衝突が一定の時間 T ごとにおきるとする。また，自由電子は衝突がおきた直後は速度がゼロになり，それから次の衝突がおきるまでは問 1 で考えた等加速度運動をするとする。ある衝突からその次の衝突までの自由電子の x 方向の変位を Δx，平均の速度を $\bar{v}$ とすると $\bar{v} = \dfrac{\Delta x}{T}$ である。

(1)　Δx を a，T を用いて表せ。

(2)　$\bar{v}$ を e，L，m，T，V を用いて表せ。

問 3　ここでは自由電子は金属内を x 軸方向に等速直線運動し，その速度は問 2 (2)で求めた $\bar{v}$ に一致するとする。

(1)　金属を流れる電流の大きさ I を d，e，L，n，$\bar{v}$，w の 6 つのうち 5 つを用いて答えよ。

(2)　電場が 1 個の自由電子にする単位時間あたりの仕事を e，L，$\bar{v}$，V を用いて表せ。

(3)　電場が自由電子にする仕事がすべてジュール熱に変わるとすると，金属内に発生する単位時間あたりのジュール熱は問 3 (2)の答えに $\boxed{(ア)}$ を乗じた式で表される。$\boxed{(ア)}$ に入る適切な式を d，e，L，m，n，w の 6 つのうち 4 つを用いて表せ。

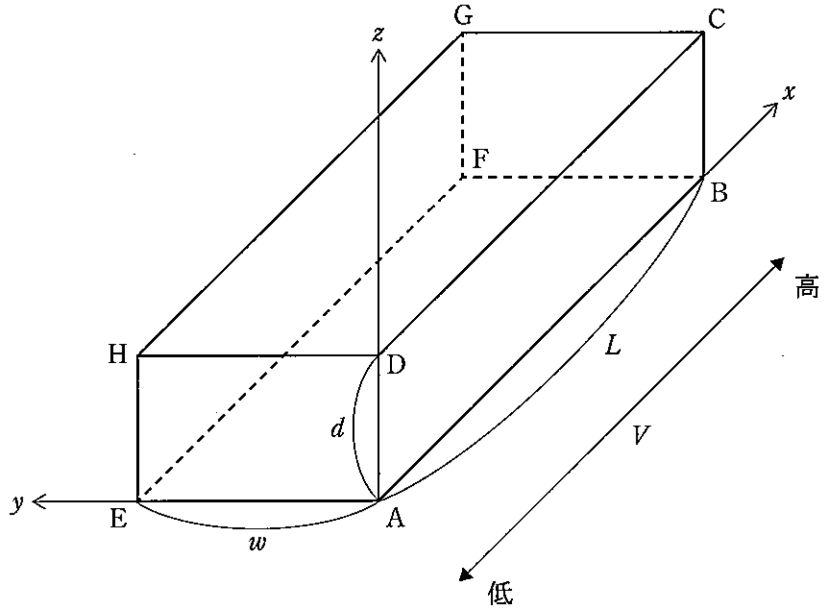
(4)　金属の抵抗値を d，e，L，m，n，T，w を用いて表せ。

問 4　磁束密度の大きさが一定値 B の磁場を z 軸正の向きに加える。自由電子が磁場による力を受ける結果，自由電子が蓄積される面と欠乏する面が生じ，x 軸に垂直な電場が金属内に発生する。以下ではこの x 軸に垂直な電場による力が磁場による力とつりあい，自由電子は金属内を x 軸方向に等速直線運動し，その速度は問 2 (2)で求めた $\bar{v}$ に一致するとする。

(1)　x 軸に垂直な電場の大きさを E_{H} とする。E_{H} を B，d，e，L，$\bar{v}$，w の 6 つの中から 2 つを用いて表せ。

(2)　自由電子が蓄積される面を ABCD 面，EFGH 面，HDCG 面，EABF 面の 4 つの中から 1 つ選び，解答欄の該当するものを丸で囲め。

(3)　問 3 (1)と問 4 (1)の結果から $\dfrac{E_{\mathrm{H}}}{IB}$ を求め，d，e，L，m，n，w の 6 つの中から 4 つを用いて表せ。



図

3 音に関する以下の問1と問2に音の速さをcとして答えよ。音の観測は地面に固定した装置で行い，風はなく音の速さcは一定とし，開口端補正は無視できるとする。(配点34％)

問1 図1のように音源の左右に管を配置する。音源や管は地面に対して静止している。左側の管の長さは一定値Lであり，端部は両方とも開いている。右側の管の音源側の端部は開いている。右側の管の内部にはピストンがはめこまれており，音源側の端(開口端)からピストン端面(閉口端)までの距離sを自由に設定できるようになっている。

(1) 音源の音の振動数をf，波長をλとする。fをcとλを用いて表せ。

(2) 右側の管が共鳴をおこす音の振動数をs，cと正の整数mを用いて示せ。

(3) 左側の管が共鳴をおこす音の振動数をL，cと正の整数nを用いて示せ。

(4) はじめ，ピストンは$s = L$の位置に固定されているとする。音源の振動数をゼロから徐々に上げていくと，振動数f_1のときに右側の管がはじめて共鳴した。f_1をc，Lを用いて表せ。

(5) さらに振動数を徐々に上げていくと，振動数がf_2のときに左側の管がはじめて共鳴した。f_2をc，Lを用いて表せ。

(6) (5)の状態から振動数をf_2に保ったままピストンをsが増加する向きにゆっくり移動させ左右両方の管がはじめて共鳴したときにピストンを固定した。このときのsをLを用いて表せ。

(7) (6)の状態にピストンを固定したまま，振動数をf_2から徐々に上げていくと，振動数がf_3になったときに再び左右両方の管が共鳴した。f_3をc，Lを用いて表せ。

問2 以下のドップラー効果に関する文章中の $\boxed{(ア)}$ ～ $\boxed{(キ)}$ に入る式をa，cのうち必要なものを用いて示せ。また，$\boxed{(\#)}$ に当てはまるものをA，B，C，D，Eの中から2つ選び示せ。ここでaは音源を地面に固定したときに観測される音の波長であり，定数とする。また，x軸は地面に固定され，音源のx軸方向の長さは無視できるとする。

音源からの音による空気の変位をx軸上で観測した。ここで音源はx軸上を一定の速度$0.05\,c$で動き，時刻tのときの位置を$x = 0.05\,ct$とする。図2は音源が位置$x = 0.1\,a$に来た時刻，すなわち時刻$t =$ $\boxed{(ア)}$ のときの観測結果である。

$\boxed{(ア)}$ だけ時間がたつ間に音が進む距離は $\boxed{(イ)}$ であるので，図2の波の山A$(x = -2\,a)$，B$(x = -0.95\,a)$，C$(x = 0.1\,a)$，D$(x = 1.05\,a)$，E$(x = 2\,a)$のうち時刻$t = 0$に音源をでた山は $\boxed{(\#)}$ であることがわかる。また，$x = 0$の位置で音を観測すると，音源が$x = 0$を通過する前の音の波長は $\boxed{(ウ)}$ ，振動数は $\boxed{(エ)}$ となり，音源が$x = 0$を通過した後の音の波長は $\boxed{(オ)}$ ，振動数は $\boxed{(カ)}$ となる。図3のよう

に x 軸に平行な両端が開いた管が x 軸上に固定されており，その管に近づく向きにこの音源が動いているとき，音源からの音に対して共鳴をおこす管の長さの最小値は $\boxed{\text{(キ)}}$ である。

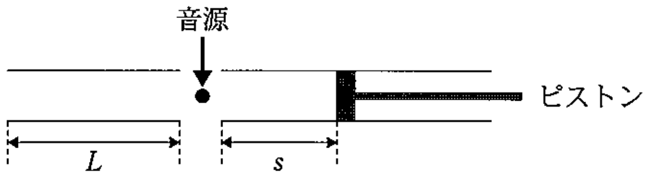


図 1

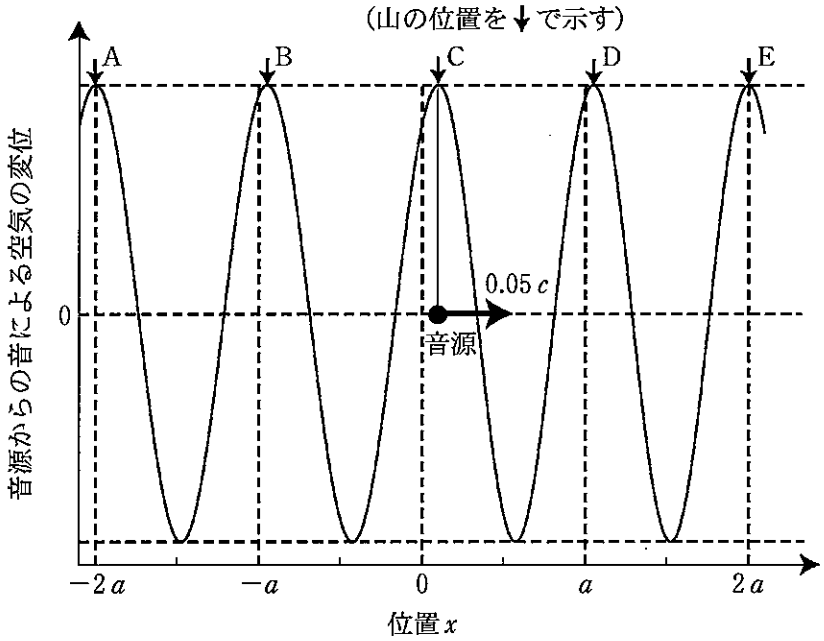


図 2

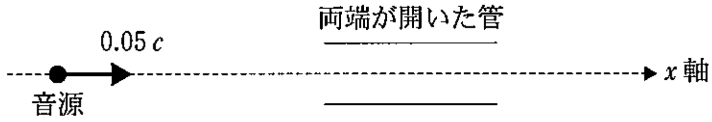


図 3