愛媛大学

物理

問題

2015年度入試

【学部】 教育学部、理学部、医学部、工学部、農学部

【入試名】 前期日程

【試験日】 2月25日

【問題解答前の確認事項】

〔注意〕 医は2，3のみ，他は1～4を解答する。

1 図1のように，水平に対する傾斜30°のあらい斜面上において，質量 m〔kg〕の小さな物体を一定の力で斜面と平行に押し続けると，物体は v_1〔m/s〕の速さで等速度運動を続け点Aに到達した。そこで，力を急激に除いたところ，点Aから距離 l〔m〕にある点Bにおいて物体の速さは v_2〔m/s〕になり，斜め上方に投射された。その後，最高点Dを通って，点Bから h〔m〕下方の床面上の点Eに落ちた。この状況を踏まえて，以下の問いに答えよ。ただし，空気抵抗を無視し，重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。

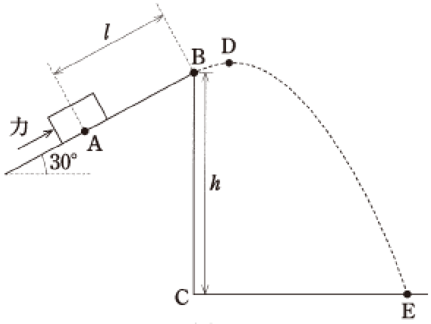

図1

問1　物体が斜面上を運動している間を考える。ただし，点Aから点Bへ向かう方向を正とする。また，斜面における摩擦力は一定とする。

(1)　AB間で，物体と斜面の間の摩擦力が物体にした仕事はいくらか。

(2)　AB間で，物体と斜面の間の摩擦力の大きさはいくらか。

(3)　点Aから点Bに向かうときの物体の加速度はいくらか。

(4)　AB間を物体が移動するのに要した時間はいくらか。

問2　物体が点Bから飛び出した後の運動を考える。

(1)　最高点Dの床面CEからの高さはいくらか。

(2)　点Bから最高点Dに物体が達するまでの時間はいくらか。

(3)　点Dから点Eに物体が移動するまでの時間はいくらか。

(4)　CE間の距離はいくらか。

2 問1　図1のように，真空中において，z 軸の正の向きに一様な磁束密度 $B=B_0$〔T〕が与えられている。xy 平面内を電気量 $-e$〔C〕($e>0$)，質量 m〔kg〕の一つの電子がローレンツ力を受けて原点Oを中心とする半径 r〔m〕の円運動をする場合を考えよう。重力の影響は無視する。m，e，B_0，r を用いて，以下の問いに答えよ。

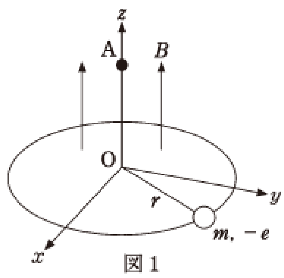

図1

(1)　電子の速さ v〔m/s〕を求めよ。

(2)　電子が磁場から受けるローレンツ力の大きさを求めよ。

(3)　電子の円運動は円電流に等価である。その円電流の大きさを求めよ。

問2　再び図1について考える。ただし，問1の場合と異なり，電気量 $-e$〔C〕($e>0$)，質量 m〔kg〕の一つの自由電子が xy 平面内に置かれた原点Oを中心とする半径 r〔m〕の円形の導線内を動いているとする。以下の問いにおいて，r は変化しないものとする。電気抵抗と重力は無視する。z 軸の正の向きに磁束密度 B〔T〕を一様に保ったまま，その大きさを時間 Δt〔s〕($\Delta t>0$) の間に ΔB〔T〕($\Delta B>0$) だけ増やすとき，以下の問いに答えよ。

(1)　この導線に沿って一周する際に生じる誘導起電力の大きさ V〔V〕を求めよ。

(2)　誘導起電力により導線に沿った方向に一定の大きさの電場が生じる。その電場の大きさ E〔V/m〕を求めよ。また，電場の向きは z 軸上の点A($z>0$) から見て時計回りか反時計回りのいずれになるか答えよ。

(3)　磁束密度 B の増加にともない生じる誘導起電力 V により，導線内の自由電子は加速される。時間 Δt〔s〕の間に，自由電子が電場から受ける力積の大きさ ΔP〔N・s〕を求めよ。

(4)　時刻 $t=t_0$〔s〕のとき $B=B_0$〔T〕とし，そのときの自由電子の速さは問1(1)で求めた v〔m/s〕に等しいとする。このとき，円形の導線を変形させる力は生じない。

(i)　$t=(t_0+\Delta t)$〔s〕のとき，自由電子の速さ v'〔m/s〕はいくらになるか。なお，問2(3)で求めた力積の大きさ ΔP は自由電子の運動量の変化に等しいと考えてよい。

(ii)　$t=t_0$〔s〕から $t=(t_0+\Delta t)$〔s〕までの間に起こる現象として最も適当なものを，次の①～③の中から番号で選べ。

①　導線は力を受けない。

②　r を小さくする方向に導線は力を受ける。

③　r を大きくする方向に導線は力を受ける。

3 図1に示すように，2つの細いスリットS_1およびS_2をもつ平面板Aと，2つのスリットの中点Oを中心とする半径Rの円筒状のスクリーンBが設置してある。スリットS_1およびS_2の間の距離を$2a$とし，点Oを原点として図のようにx軸およびy軸を定める。ただし，Rはaに比べて十分大きいものとする。

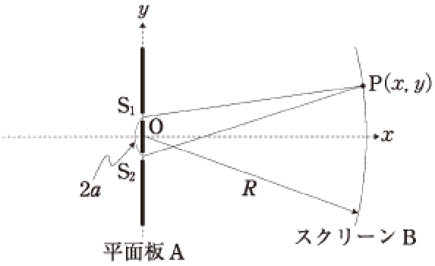

図1

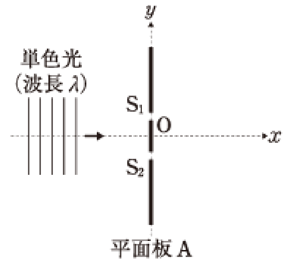

図2

(1) いま，図2に示すように，波長λの単色光を平面板Aに平行な波面をもつ平面波として図の左方より入射すると，スクリーンB上に明暗の縞模様が生じた。以下の文章中の［(ア)］～［(サ)］に入る適当な文字式，または語句を答えよ。ただし，［(ク)］と［(サ)］には正の量を記入せよ。また，［(コ)］には「広がる」，「狭まる」，「変化しない」の中から適当なものを一つ選べ。

スクリーン上の点Pの座標を$(x,\ y)$とすると，スリットS_1およびS_2から点Pまでの距離$\overline{S_1P}$および$\overline{S_2P}$は，x，y，aを用いてそれぞれ［(ア)］および［(イ)］と書き表される。点Pは半径Rの円周上にあることを考慮すると，［(ア)］および［(イ)］はy，a，Rを用いてそれぞれ［(ウ)］および［(エ)］と書き表すことができる。一般に，変数$|z|$が1に比べて十分小さいとき，$(1+z)^n \fallingdotseq 1+nz$の近似式が成り立つことが知られている。いま，スリット間隔に比べスクリーンまで距離が十分大きいことを考慮すると，［(ウ)］と［(エ)］はそれぞれ次式のように近似することができる。

$\overline{S_1P} \fallingdotseq R(1+$［(オ)］$)$

$\overline{S_2P} \fallingdotseq R(1+$［(カ)］$)$

したがって，スリットS_1およびS_2を通って点Pに達した2つの光波の経路差$\overline{S_2P}-\overline{S_1P}$は$y$，$R$，$a$を用いて［(キ)］のようになる。このとき，スクリーン上に明線ができるために経路差が満たすべき条件は，0および正の整数nとλを用いて次式のように書き表される。

［(キ)］$=\pm$［(ク)］

ここで，明線のx座標は等しいとみなせるとして，隣接する明線の間隔を求めると，［(ケ)］のようになる。この場合，スリット間の距離を広げると，明線の間隔は［(コ)］。また，光の干渉はスクリーン面以外の全ての位置においても起こる。2つのスリットから十分離れた位置における任意の点の座標を$(X,\ Y)$として，光が強め合う点におけるXとYの関係式をn，a，λを用いて書き表すと，次式のようになる。

$Y=\pm$［(サ)］X

(2) 今度は，図3に示すように，波長λの単色光をx軸に対してなす角θ_1の方向から入射した。スクリーン上に生じる明暗の縞模様の様子として最も適当なものを，次の①～⑧の中から番号で選べ。

① 明暗の縞模様は生じない。
② 明線の間隔および位置はともに変化しない。
③ 明線の間隔は変わらないまま，明線の位置がy軸の正方向へ移動する。
④ 明線の間隔は変わらないまま，明線の位置がy軸の負方向へ移動する。
⑤ 明線の間隔は狭くなり，明線の位置がy軸の正方向へ移動する。
⑥ 明線の間隔は狭くなり，明線の位置がy軸の負方向へ移動する。
⑦ 明線の間隔は広くなり，明線の位置がy軸の正方向へ移動する。
⑧ 明線の間隔は広くなり，明線の位置がy軸の負方向へ移動する。

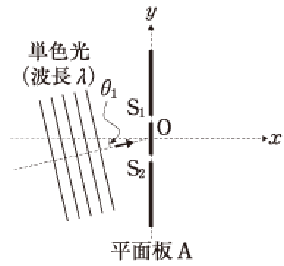

図3

4 n モルの単原子分子理想気体を用いた熱機関を考える。この熱機関では，状態変化 A → B → C → D → A の間に，図 1 のように圧力 p と体積 V が変化する。A → B は定圧変化，B → C と D → A は断熱変化，C → D は定積変化である。また，状態 A，B，C，D での気体の温度はそれぞれ T_A，T_B，T_C，T_D とする。温度 T におけるこの気体の内部エネルギーは $U=\frac{3}{2}nRT$ である。ここで，R は気体定数である。

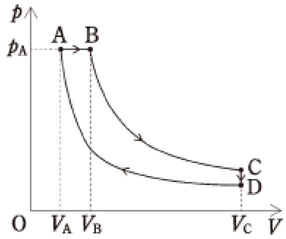

図 1

問 1　T_B を，T_A，V_A，V_B を用いて表せ。

問 2　状態 A から B へ変化したときに，気体が受け取った熱量を Q_{AB}，気体が外部にした仕事を W_{AB}，内部エネルギーの変化量を ΔU_{AB} とする。

(1)　Q_{AB}，W_{AB}，ΔU_{AB} の間の関係を記せ。

(2)　W_{AB} を p_A，V_A，V_B を用いて表せ。

(3)　Q_{AB} を T_A，T_B，n，R を用いて表せ。

問 3　状態 B から C へ変化したとき，気体が外部にした仕事 W_{BC} を，T_B，T_C，n，R を用いて表せ。

問 4　状態 C から D へ変化したとき，気体が外部に放出した熱量 Q_{CD} を，T_C，T_D，n，R を用いて表せ。

問 5　熱機関が一回動作して元の状態に戻るまでに，気体が受け取った熱量を Q_{in}，放出した熱量を Q_{out} とすると，熱機関の効率は，

$$e=\frac{Q_{in}-Q_{out}}{Q_{in}}$$

で与えられる。e を，T_A，T_B，T_C，T_D を用いて表せ。

問 6　状態変化 A → B → C → D → A の間の気体の温度変化を表したグラフとして最も適当なものを，次の①～⑧の中から番号で選べ。