平 成 27 年 度

試 験 問 題 ②

学 科 試 験

(9時 ~ 12時)

【注 意】

1. **試験開始の合図があるまで，この問題冊子の中をみてはならない．**
2. 試験教科，試験科目，ページ，解答用紙および選択方法は下表のとおりである．

教 科	科 目	ページ	解答用紙数	選 択 方 法
数 学	数 学	1 ~ 12	1 枚	数学，英語は**必須解答**とする． 理科は左の**3科目のうちから1科目**を選択せよ．
英 語	英 語	13 ~ 16	1 枚	
理 科	化 学	17 ~ 28	2 枚	
	生 物	29 ~ 30	4 枚	
	物 理	31 ~ 40	1 枚	

3. **監督者の指示**に従って，選択しない理科科目を含む**全解答用紙**(9枚)に受験番号と選択科目(理科のみ)を記入せよ．

   ① **受験番号欄に受験番号**を記入せよ．

   ② **理科は選択科目記入欄に選択する1科目**を○印で示せ．

   上記①，②の記入がないもの，および理科2科目または理科3科目選択した場合は**答案全部を無効**とする．
4. 解答はすべて解答用紙の対応する場所に記入せよ．
5. 問題冊子の余白を使って，計算等を行ってもよい．
6. 試験開始後，問題冊子の印刷不鮮明，ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気づいた場合は，手を挙げて監督者に知らせよ．
7. 解答用紙はいずれのページも**切り離してはならない**．
8. **解答用紙は持ち帰ってはならない**．問題冊子は持ち帰ってよい．

◇M2(284—43)

物　　理

【1】 以下の $\boxed{}$ の中に適当な式を記入せよ.

図1(a) のように，なめらかな斜面上の点Aより小球Mが，静止した状態から，斜面に沿って滑り落ちる．ただし，斜面は水平面に対して角 θ〔**rad**〕をなしており，重力加速度の大きさを g〔**m/s²**〕とする.

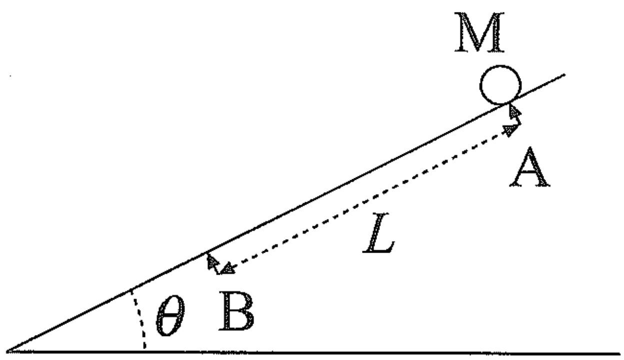

図1(a)

I) 重力加速度の斜面に沿った成分は

$\boxed{(1 \cdot 1)}$ 〔**m/s²**〕

である.

II) 点Aから斜面上の距離 L〔**m**〕の点Bに達した時の小球Mの速さは

$\boxed{(1 \cdot 2)}$ 〔**m/s**〕

である．また，小球Mが斜面上を点Aから点Bに達するまでにかかる時間は

$\boxed{(1 \cdot 3)}$ 〔**s**〕

である.

III) **図 1(b)** の左図の破線 OPQ は半径 R〔m〕の円の 1/4 であり，線分 OQ を鉛直下向きとする．静止した状態から，円の弦 PQ に沿って点 P から点 Q まで小球 M が滑り落ちる．このとき，点 P から点 Q に達するまでにかかる時間は

(1・4)	〔s〕

である．

IV) **図 1(b)** の右図のように，この円の弧 PQ 上に点 P' をとる．ただし，角 ∠POP' を α〔rad〕($\alpha > 0$) とする．静止した状態から，円の弦 P'Q に沿って点 P' から点 Q まで小球 M が滑り落ちる．このとき，点 P' から点 Q に達するまでにかかる時間は

(1・5)	〔s〕

である．

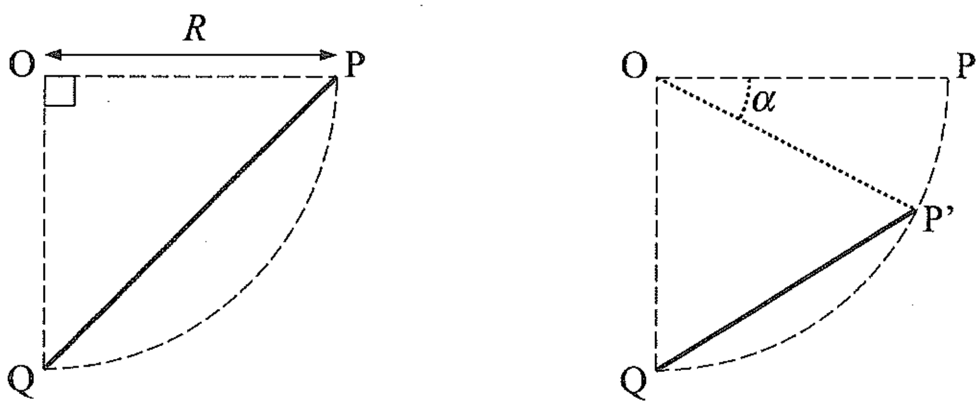

図 1(b)

【2】 以下の $\boxed{}$ の中に適当な式を記入せよ.

図 2(a) のように, 長さ L〔m〕, 質量 M〔kg〕の一様な鉄の棒を, 棒と床のなす角が θ〔rad〕($\theta > 0$) となるように, 壁に立てかけた. 壁はなめらかであるが, 床には摩擦がある. 重力加速度の大きさを g〔m/s²〕とする.

I) 角 θ を $\frac{\pi}{2}$ rad から少しずつ小さくし θ_0〔rad〕としたとき, 棒が滑り始めた. これより, 棒と床との間の静止摩擦係数は

$$\boxed{\quad(2 \cdot 1)\quad}$$

である. また, 棒が滑り始める直前の床からの抗力の大きさは

$$\boxed{\quad(2 \cdot 2)\quad}\ 〔\mathrm{N}〕$$

である.

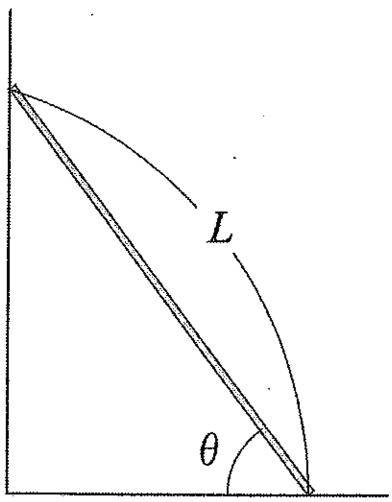

図 2(a)

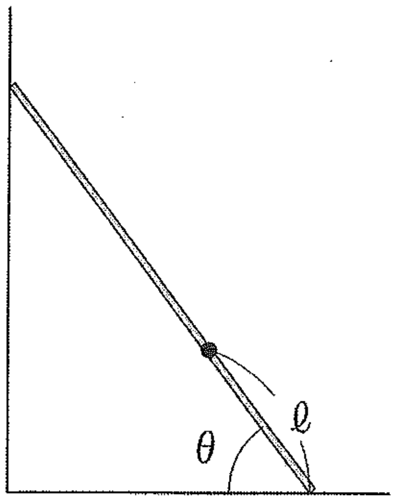

図 2(b)

II) 角 θ を棒が滑らないようにとり ($\theta > \theta_0$), 大きさを無視できる質量 m〔kg〕の物体を磁石で棒にくっつけ，床から少しずつ上に移動させる．**図 2(b)** のように，床との接点から ℓ〔m〕の距離に達したとき，棒は滑り始めた．このとき，

$\ell =$ （2・3）

である．また，棒と物体を合わせた全体の重心は，ℓ を用いないで表わすと，床との接点から

（2・4） 〔m〕

の距離にある．

III) 一方，壁との接点まで物体を移動させても，棒が滑り出さないために θ が満たすべき条件は

（2・5）

である ($\tan\theta$ に対する条件で答えよ)．

【3】 以下の $\boxed{}$ の中に適当な式を記入せよ.

図3のように，辺の長さが l〔m〕，d〔m〕，h〔m〕の直方体の導体の辺に沿って，それぞれ，x, y, z 軸を定義する．y 軸に垂直な面 P と面 Q の間に電圧計 V を接続しておく．x 軸に垂直な面 C と面 D の間に抵抗を介して電池をつなぐと，これらの面の間に電位差 V_x〔V〕が生じ，導体の内部に電場が生じる．導体中の自由電子（負電荷）は電場の向きとは逆向きの力を受けて加速されるが，一方で，導体中の原子の乱雑な熱運動による抵抗力を受ける．この抵抗力の大きさは自由電子の速さに比例し，その比例係数を k〔N·s/m〕とする．定常状態では，これらの力がつりあい，自由電子の速さは v〔m/s〕で一定となり，このときの抵抗力の大きさは kv となる．

以下の問で，導体の長さについては，l, d, h のうちから適当なものを選んで用いよ．また，自由電子の電荷を $-e$〔C〕($e > 0$)，単位体積あたりの自由電子の数（数密度）を n〔個/m^3〕とする．

I) 自由電子の速さ v は，辺の長さを用いて，

$$v = \boxed{\quad (3 \cdot 1) \quad}$$

と表される．また，自由電子の移動に伴う x 軸の正の向きの電流の大きさ I〔A〕は，辺の長さを用いて，

$$I = \boxed{\quad (3 \cdot 2) \quad}$$

と表される．

II) ここで，z 軸の正の向きに磁束密度の強さ B〔T〕の一様な磁場をかけると，x 軸の方向に運動する自由電子には y 軸に沿った方向にローレンツ力がはたらく．ローレンツ力により自由電子は面 P か面 Q のどちらかに集まることになるが，これによって電場が生じるので，この電場から受ける力とローレンツ力がつりあうようになる．結果として，磁場をかけた直後の短時間の内に，磁場がないときと同様の定常状態になり，自由電子は一定の速さ v で移動する．この状態で x 軸の方向

に運動する自由電子にはたらくローレンツ力の大きさを f〔N〕とすると，

$$f = \boxed{\quad (3 \cdot 3) \quad}$$

である．また，面 P の電位 V_y〔V〕は，面 Q を基準の 0 V とすると，符号も含めて，

$$V_y = \boxed{\quad (3 \cdot 4) \quad}$$

となる．

III）（3・2）と（3・4）から，導体中の自由電子の数密度 n を，辺の長さで表わすと，

$$n = \boxed{\quad (3 \cdot 5) \quad}$$

となるので，磁束密度の強さ B がわかっているとき，電流 I と電圧 V_y の測定から，自由電子の数密度を知ることができる．

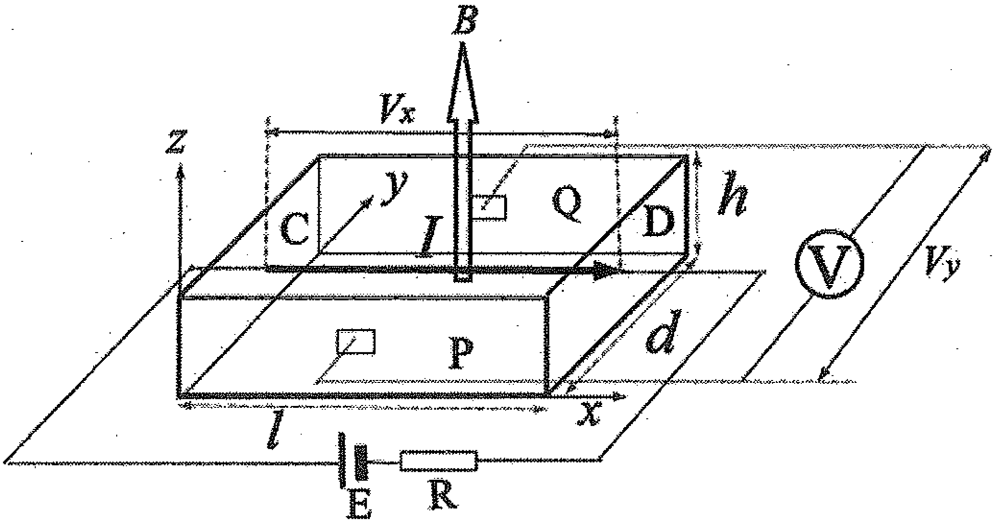

図 3

【4】 以下の $\boxed{}$ の中に適当な式を記入せよ.

図 4(a) のような熱機関を応用した荷物用エレベーターがある. エレベーターは断面積 S〔$\mathbf{m^2}$〕のシリンダーと荷物台が付属した質量 m〔**kg**〕のピストンからなり, シリンダー中に n〔**mol**〕の単原子分子の理想気体が封入されている. ピストンはシリンダー内壁のストッパーにより可動範囲が制限されている. ピストンとシリンダー壁の間の摩擦および大気の圧力は無視する. 気体定数を R〔**J/(mol·K)**〕とすると, 単原子分子理想気体の定積モル比熱は $\dfrac{3}{2}R$ である.

熱機関のサイクルは図 4(b) と (c) に示すように A→B→C→D→A の過程をたどる. 定積過程 A→B では, ピストンは下側のストッパーに触れ, シリンダー内の体積は V〔$\mathbf{m^3}$〕である. このとき, 荷物台の上面は建物の 1 階の床面と同じ高さにある. 一方, 定積過程 C→D では, ピストンが上側のストッパーに触れ, 荷物台の上面は 1 階より ℓ〔**m**〕上の 2 階の床面の高さとなる.

状態 A において荷物が未積載のとき, ピストンにはたらく重力は気体が押し上げる力とつりあう. このときの気体の圧力は, 重力加速度の大きさを g〔$\mathbf{m/s^2}$〕として, $\dfrac{mg}{S}$〔**Pa**〕である. ここで, 1 階の床にある質量 M〔**kg**〕の荷物を荷物台に載せ, 気体を加熱する. 最初は気体の圧力が低くピストンは動かないが, 圧力が高まり状態 B になると, ピストンはゆっくりと上昇を始める. 状態 C に到達したとき, 加熱をやめて, 荷物を 2 階の床に移動させる. その後, 気体を冷却して状態 D を経由して状態 A に戻す.

I) 状態 A, B, C における気体の温度を T_A〔**K**〕, T_B〔**K**〕, T_C〔**K**〕とすると,

$$T_A = \boxed{\quad (4 \cdot 1) \quad}$$

$$T_B = \boxed{\quad (4 \cdot 2) \quad}$$

$$T_C = \boxed{\quad (4 \cdot 3) \quad}$$

である.

II) 過程 A→B→C で気体がした仕事を W〔J〕とすると，ピストンと荷物を距離 ℓ だけ上昇させるので $W = (M+m)g\ell$ である．これを気体の温度を用いて表すと，

$$W = \boxed{\quad (4 \cdot 4) \quad}$$

となる．また，過程 A→B→C で加熱により気体が得る熱量を Q〔J〕とすると，$\dfrac{Q}{nR}$ は温度の単位を持ち，T_A, T_B, T_C を用いて表すと，

$$\frac{Q}{nR} = \boxed{\quad (4 \cdot 5) \quad}$$

となる．

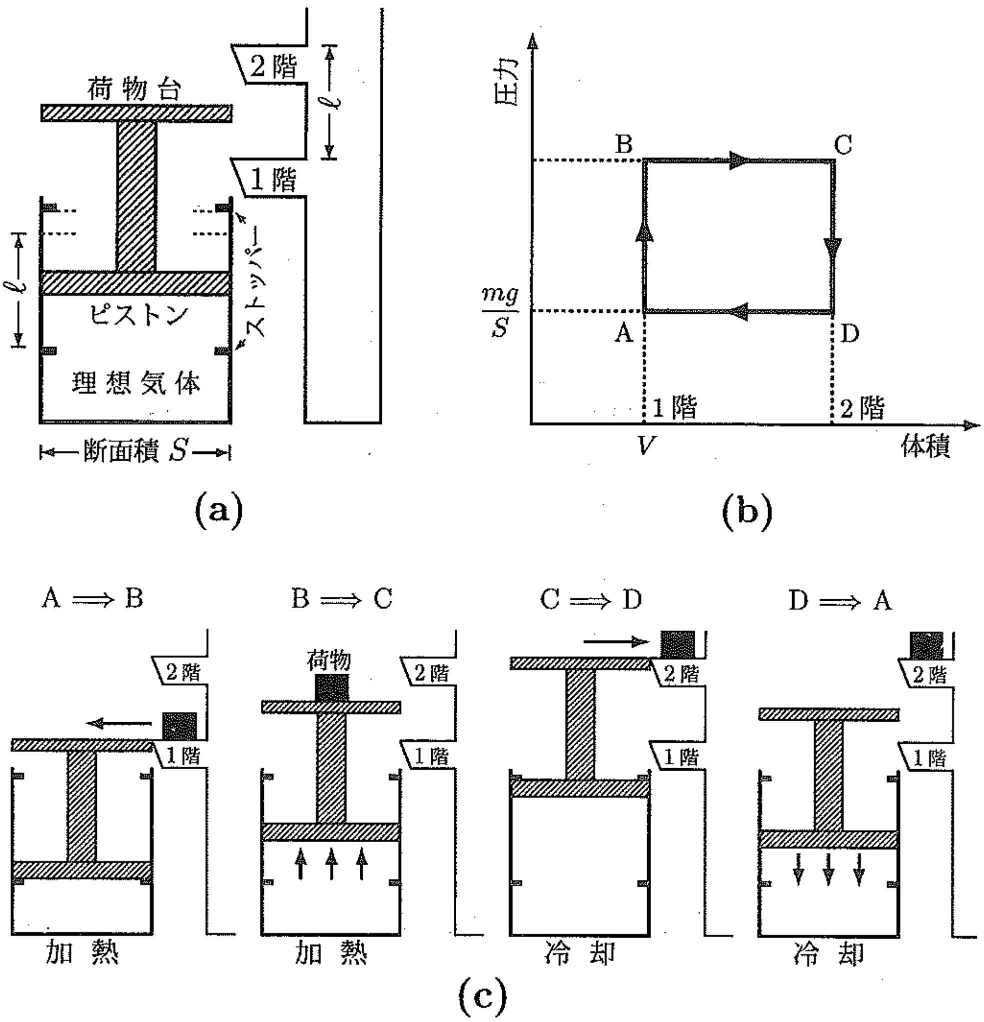

図4

【5】 以下の $\boxed{}$ の中に適当な式を記入せよ．

I）絶対屈折率(これ以降，単に屈折率とする) n の液体の液面下 h〔m〕の深さにある物体 A を，真上の空気中から，見る場合を考える．

図 5 のように，物体 A から出た光線は ACD の経路をとるが，両眼の間隔があるため，真上から見るときでも，極めて小さい屈折角 θ〔rad〕が存在する．同様に入射角 ϕ〔rad〕も極めて小さいので，$\tan\theta \fallingdotseq \sin\theta$，$\tan\phi \fallingdotseq \sin\phi$ と近似できる．物体 A の見かけの深さである BA' 間の距離 h'〔m〕は，BC 間の距離 s〔m〕を用いて表されるが，上で述べた近似より，s, θ, ϕ を用いずに，

$$h' = \boxed{\quad (5 \cdot 1) \quad}$$

と表されることになる．ただし，空気の屈折率は 1 とする．

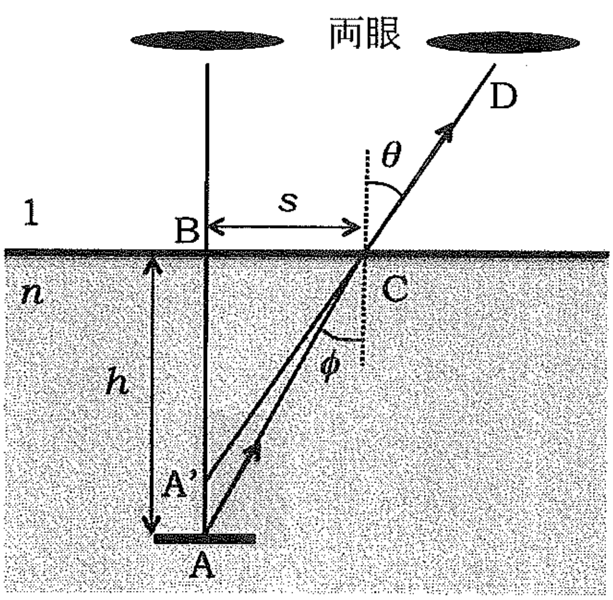

図 5

II）厚さ d〔m〕の透明物質の板を，真上の空気中から見ると，厚さ d_1〔m〕，屈折率 n_1 のガラス板と同じ厚さに見えた．この透明物質の屈折率は

$$\boxed{\quad (5 \cdot 2) \quad}$$

である．

III ）屈折率 n_1 の液体中に，厚さ d_2〔m〕，屈折率 n_2 のガラス板をおいた．このとき，ガラス板を真上の液体中から見ると，ガラス板の厚さは

(5・3)	〔m〕

に見える．

IV ）厚さ d_1〔m〕，屈折率 n_1 の透明な板の下に，厚さ d_2〔m〕，屈折率 n_2 のガラス板を重ねておいた．このとき，透明な板とガラス板を真上の空気中から見ると，透明な板とガラス板の全体の厚さは

(5・4)	〔m〕

に見える．

V ）屈折率 n_1 の液体を入れた器の底に，厚さ d_2〔m〕，屈折率 n_2 のガラス板を沈めた．真上の空気中から見ると，ガラス板の厚さは

(5・5)	〔m〕

に見える．