

物 理

注 意 事 項

1. 「解答始め」の合図があるまで、この冊子は開かないこと。
2. この冊子は、表紙を除き 11 ページである。
3. 「解答始め」の合図があったら、まず、黒板等に掲示または板書してある問題冊子のページ数・解答用紙枚数・下書き用紙枚数が、自分に配布された数と合っているか確認し、もし数が合わない場合は手を高く挙げ申し出ること。次に、学部名・受験番号・氏名を必ずすべての解答用紙の指定された箇所に記入してから、解答を始めること。
4. 解答は、必ず解答用紙の指定された箇所に横書きで記入すること。
5. 問題文中に「導け」「求めよ」「説明せよ」などと記載されている設問は導出過程や説明内容なども採点対象とするので、それらも記述すること。

1 次の①と②について，説明を読み，(1)~(4)に答えよ。ただし重力加速度の大きさを g [m/s²]，円周率を π とし，空気抵抗は無視できるものとする。

① 図1に示す様に，質量 m [kg] の自走する小物体が水平面上で半径 r [m] の等速円運動をしている。

小物体が横滑りしないための摩擦力は小物体が水平面から受ける垂直抗力によって生じる摩擦力だけとし，最大摩擦力の大きさと小物体が水平面から受ける垂直抗力の大きさの比である静止摩擦係数を μ とする。また，小物体の大きさは無視できるものとし，質量の変化は無く，小物体は円運動中に水平面から浮き上がらないものとする。

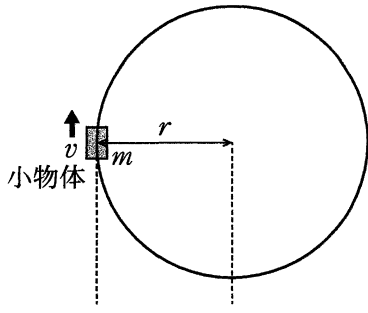
(1) 角速度を ω [rad/s] とした時，小物体の速さ v [m/s] を g ， r ， m ， ω のうち必要なものを用いて表せ。

(2) 半径 r [m] の円を速さ v [m/s] で移動する小物体に作用する遠心力の大きさ F [N] を g ， r ， m ， v のうち必要なものを用いて表せ。

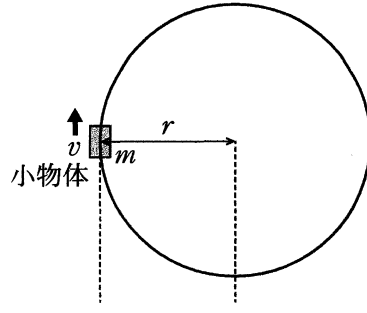
(3) 小物体が横滑りせずに半径 r [m] の円運動を行える最大の速さ V_1 [m/s] を g ， r ， m ， μ のうち必要なものを用いて表せ。なお，導出過程も記述すること。

② 図2に示す様に水平に対して θ [rad] ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$) だけ傾いた凹状に窪んだ円錐面(凹状円錐面)があり，①と同じ小物体が半径 r [m] の等速円運動をしている。凹状円錐面の静止摩擦係数および摩擦力も①と同様に考えることができるものとする。また①と同様に，小物体の大きさは無視できるものとし，小物体は円運動中に凹状円錐面から浮き上がらないものとする。また， $\mu \tan \theta < 1$ とする。

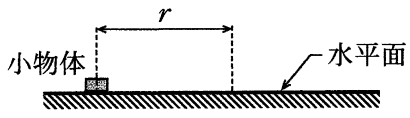
(4) 小物体が横滑りせずに半径 r [m] の円運動を行える最大の速さ V_2 [m/s] を g ， r ， m ， μ ， θ のうち必要なものを用いて表せ。なお，導出過程も記述すること。



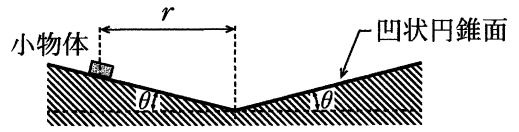
平面図(真上から見た図)



平面図(真上から見た図)



側面図(真横から見た図)



側面図(真横から見た図)

図 1

図 2

2

図1は、火力発電所や船舶などで多用されているガスタービンエンジンの基本的な働きを示す。図の左から右へ n モルの空気の塊(以下、空気と略す)が流れ、以下のように変化する。

エンジンに吸い込まれる直前で圧力 p_1 、温度 T_1 (以下、すべて絶対温度)で体積 V_1 の空気(状態1)が圧縮機で体積 V_2 まで圧縮され、温度 T_2 、圧力 p_2 となる(状態2)。ここに燃料を加え空気の圧力が p_2 で一定になるように燃やす。空気は加熱・膨張して、温度 T_3 、体積 V_3 になる(状態3)。この空気はタービンを回転させて、圧力 $p_4 = p_1$ になるまで膨張し、体積 V_4 、温度 T_4 となる(状態4)。タービンの回転で得られた仕事の一部は圧縮機を動かし、圧縮機にある空気を圧縮する。外に出た空気は外気で冷えて、圧力 p_1 となり、温度 T_1 、体積 V_1 に戻る。図2はこの過程に対する圧力 p と体積 V の関係を示す。

これを踏まえて以下の(1)~(5)の間に答えよ。ここで、空気は状態方程式 $pV = nRT$ に従い、その内部エネルギーは $U = anRT$ である(R と a は定数)とする。各過程での圧力、温度、体積の変化はゆっくり変化する場合と同じで、断熱過程では $pV^\gamma = \text{一定}$ (ただし、 $\gamma = \frac{a+1}{a}$) が成り立つとする。また、燃料を加えても流れる空気の量と組成は変化せず、流れによる空気の運動エネルギーは無視してよい。ガスタービンエンジン全体の外壁を通る熱の出入りはない。

- (1) 状態1~4の各状態間の変化を表す単語として「定積変化」「定圧変化」「等温変化」「断熱変化」から妥当なものを1つずつ選べ。同じ単語を2回以上選んでも良い。
- (2) T_2 を V_1 、 V_2 、 T_1 、 γ で表し、 $T_1 = 300[\text{K}]$ 、 $\frac{V_1}{V_2} = 32 = 2^5$ 、 $\gamma = \frac{7}{5}$ の場合の T_2 の値を求めよ。
- (3) 状態2から3への変化に伴う内部エネルギーの変化 ΔU_{23} を示し、その間に空気が周囲にする仕事 W_{23} と空気が得た熱 Q_{23} を T_2 、 T_3 、 R 、 a 、 n で表す式を求めよ。

(4) $V_4 = V_3 \frac{V_1}{V_2}$ であることを導け。

(5) 状態1から番号順に変化して状態1に戻る全過程で、空気が周囲にした実質的な仕事(した仕事からされた仕事を減じた量) W と空気が外部から与えられた実質的な熱(与えられた熱から与えた熱を減じた量) Q は等しくなることを説明せよ。論理が十分に記述されていれば数式を用いなくても良い。

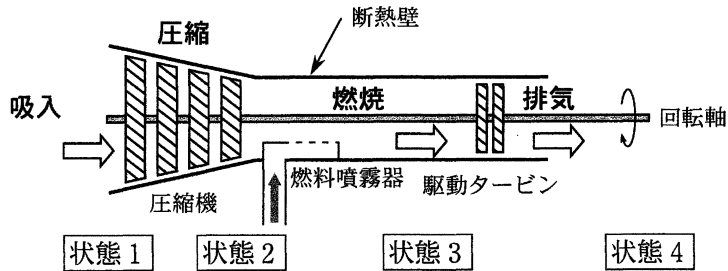


図1：ガスタービンエンジンの働き。左から右に一定量の空気が流れる

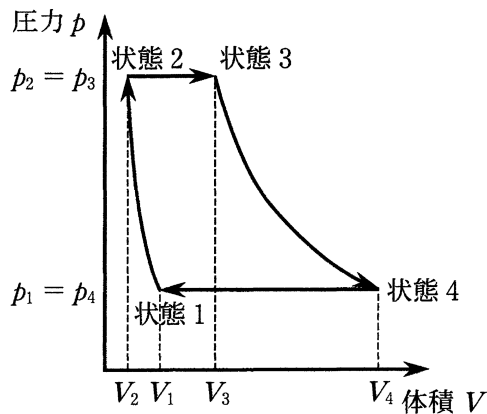


図2：ガスタービンエンジンを流れる空気の塊に対する p - V 図

3 後の(1)~(5)に答えなさい。

A 以下の空欄のある文章を読み、(1)に答えなさい。

図1のように、空気中から三角プリズムのAC面上の点Pに白色光を入射させたとき、光線は2つの面で(①)し折れ曲がり、空気中に出射される。出射された光線を白色のスクリーンに映すと、波長(または振動数)の順に連続的に分かれた色が見える。このように色が分かれることを光の(②)と言う。これは、プリズムの屈折率が波長(または振動数)によって異なるため、それぞれの波長(または周波数)に応じた角度で(①)して進むためである。

このプリズムの屈折率の可視光域での波長依存性を図2に示す。この図より、屈折率は1より大きいことや、入射光の波長が大きくなると屈折率は減少することがわかる。入射光の入射角を一定としたとき、入射光の波長が長くなり屈折率が減少し空気の屈折率に近づくと、2つの面での(①)による光線の折れ曲がりが小さくなるため、入射光と出射光のなす角 δ は減少する。そのため、白色のスクリーン上に、上から(③)の順の色の帯が見える。

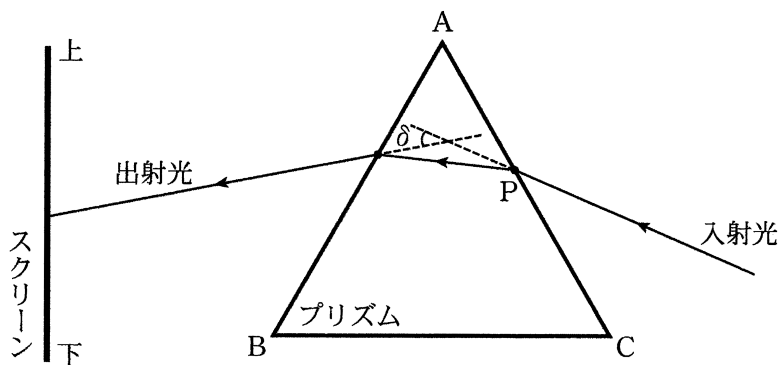


図1

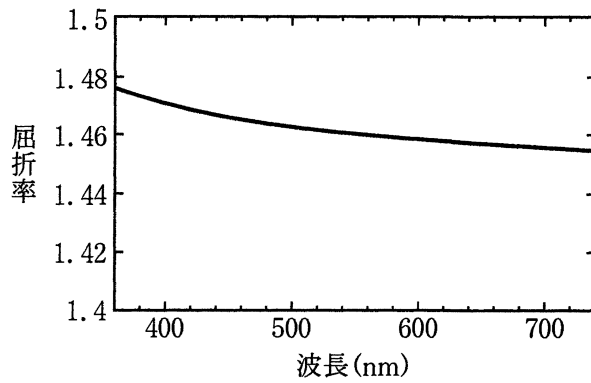


図 2

- (1) 文章中の①, ②, ③の空欄に最も適当なものを, それぞれの選択肢から選び記号で答えなさい。ただし, ①と②は重複して選択してもよい。

【①と②の選択肢】

- A. 散乱 B. 透過 C. 屈折 D. 反射 E. 回折 F. 分布
G. 偏光 H. 干渉 I. 分散

【③の選択肢】

- J. 青, 赤, 黄 K. 青, 黄, 赤 L. 赤, 黄, 青 M. 赤, 青, 黄
N. 黄, 赤, 青 O. 黄, 青, 赤

B 図3のように、焦点距離 f の凸レンズAからの距離(OP間の距離)が a の点P($a > f$)に物体を置いて、スクリーンの位置を調節してスクリーン上に倒立の実像をつくった。以下の(2)に答えなさい。

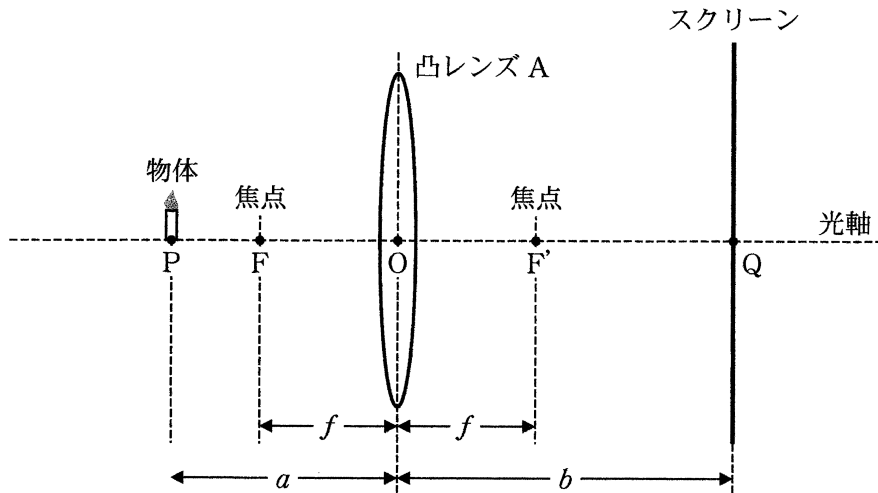


図3

(2) 凸レンズAからスクリーンまでの距離(OQ間の距離)を b 、物体の大きさに
 対する得られた実像の大きさの比(倍率)を m としたとき、 b と m を、 a と f の
 みでそれぞれ表しなさい。また、 b と m の a に対するグラフをかきなさい。

C 図4のように焦点距離 f の凸レンズAの右側の $\frac{f}{2}$ だけ離れた位置に、焦点
 距離が分からないもう一つの凸レンズBを置いた。凸レンズAの左側の $\frac{2f}{3}$
 だけ離れた位置に物体を置いたところ、スクリーン上に物体の12倍の倒立実
 像ができた。以下の(3)~(5)に答えなさい。

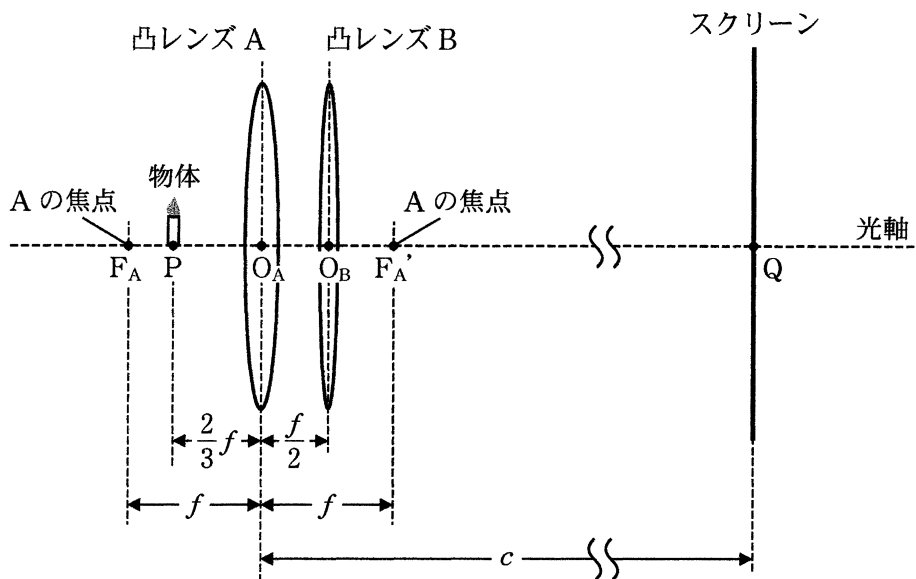


図 4

- (3) 凸レンズ A は、自身の左側の位置に正立の虚像をつくる。凸レンズ A から虚像までの距離と、虚像は物体の何倍の大きさになるか(倍率)を求めなさい。答えの導出過程も示すこと。
- (4) 凸レンズ A のつくる虚像を物体とみなし、凸レンズ B は、その物体とみなした虚像の倒立の実像をスクリーン上につくる。凸レンズ A のつくる虚像は、凸レンズ B の焦点の内側の位置(凸レンズ B の焦点より凸レンズ B に近い位置)にあるか外側の位置(凸レンズ B の焦点より凸レンズ B から遠い位置)にあるかを答えなさい。また、凸レンズ B は、凸レンズ A がつくる虚像の何倍の実像を作るかを答えなさい。
- (5) 凸レンズ A からスクリーンまでの距離($O_A Q$ 間の距離)を c 、凸レンズ B の焦点距離を f_B としたとき、 c と f_B を f を用いて表す式を求めなさい。答えの導出過程も示すこと。

4 磁場と電流についての以下の問いに答えよ。ただし円周率を π とし、物理量は全て SI 単位系で与えられているとする。

(1) 以下の文章の空欄①～④に入る適切な数式を解答欄に記入し、⑤には下の選択肢から語句を一つ選んで解答欄に記入せよ。ただし同じ番号の空欄には同じ数式が入る。

直線上にある十分に長い導線を通れる大きさ I の直流電流が、距離 r だけ離れた位置に作る磁場の大きさ H は ① で与えられる。また電流を電気量 q ($q > 0$) の荷電粒子の流れであるとして、この荷電粒子を単位体積当たり n 個含む、断面積 S の導線 W 内で、荷電粒子がすべて速さ v で導線に沿って移動することで大きさ I の電流が生じているとき、 I の値は ② で与えられる。 W が十分細い直線状の形状であるとして、 W のある位置に、 W に垂直な方向を向いた大きさ B の磁束密度が存在するとき、 W 内の電流を作る粒子はこの磁束密度から 1 個当たり ③ の力を受ける。したがって W 全体で単位長さ当たり ③ $\times nS = I \times$ ④ の力を受ける。もしこの磁束密度が W に平行なもう一つの直線状の導線 W' に流れる電流(向きは導線 W を流れる電流と同じ)によって作られていた場合、 W が受ける力の向きは W' に対して ⑤ になる。

【⑤の選択肢】 反発する向き, 引きつける向き

- (2) 図1のように真空中に直交座標系 xyz を設定し、 z 軸に平行な2つの導線 $W1$, $W2$ を用意する。 $W1$, $W2$ の x , y 座標はそれぞれ $(L, 0)$, $(-L, 0)$ であり、それぞれに流れる電流を $+I$, $-I$ とする。ただし $I > 0$ とし、 z 軸の正の向きを電流の正の向きとする。

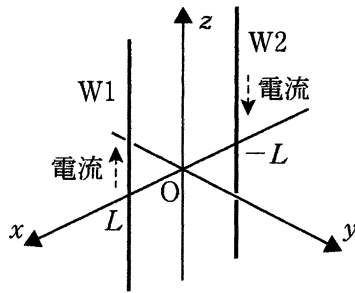


図1

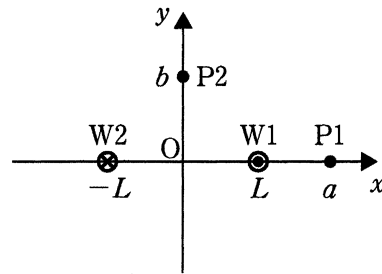


図2

- (i) xy 平面上の2点 $P1 : (a, 0)$, $P2 : (0, b)$ (図2を参照)のそれぞれにおいて電流が作る磁場の x , y 成分を計算し、 $(x$ 成分, y 成分)の形で答えよ。答えの導出の過程も示せ。
- (ii) 質量 m , 電気量 q の荷電粒子を点 $P2$ に置き、 y 軸に平行な初速度を与えた。この後この荷電粒子はどのような運動をするか、理由とともに簡潔に記述せよ。ただし荷電粒子に働く力は磁場からの力のみであるとする。
- (iii) 上記問(ii)と同様の荷電粒子を、今度は点 $P1$ に置き、適当な初速度(大きさ v)を与えると、時間が経過したのち座標原点から距離 $3L$ の位置に到達したとする。荷電粒子のこの位置での速さはいくらか、理由を記述し答えよ。ただし、荷電粒子が $W1$ や $W2$ に衝突することはないものとする。

(iv) 図3のように、導線で作られた、一辺の長さが L に比べて十分小さい正方形の形をした回路を、その中心が y 軸上に来るようにして、正方形の面が xz 平面に平行になるように配置する。 y 軸に沿って正の向きにこの回路を一定の速さで移動させたとき、回路には誘導起電力が発生するが、その様子として正しいものを以下の(a)から(d)までの図の中から選んで、記号で答えよ。ただし図の縦軸が起電力、横軸が回路の y 座標を表し、 y 軸の負の側からみて時計回りに電流を流そうとする向きを起電力の正の向きとする。また、回路に流れる電流がつくる磁場の影響は無視する。

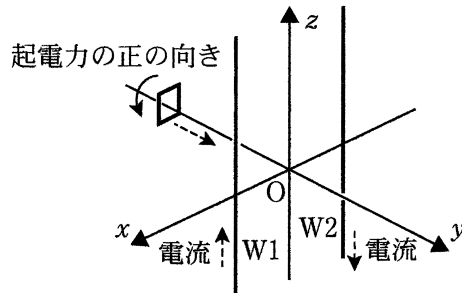


図3

