

令和 2 年度入学者選抜学力検査問題

(前期日程)

物 理

学類によって解答する問題が異なります。

指定された問題だけに解答しなさい。

学 域	学 類	解 答 す る 問 題
人間社会学域	学 校 教 育 学 類	I, II, III (3 問)
理 工 学 域	数 物 科 学 類 地 球 社 会 基 盤 学 類 生 命 理 工 学 類 理 工 3 学 類	I, II, III, IV, V (5 問)
医薬保健学域	医 学 類 薬学類・創薬科学類	III, IV, V (3 問)
	保 健 学 類	I, II, III (3 問)

(注 意)

- 1 問題紙は指示があるまで開いてはいけません。
- 2 問題紙は本文 14 ページです。答案用紙は、学校教育学類、保健学類は I, II, III の 3 枚、数物科学類、地球社会基盤学類、生命理工学類、理工 3 学類は I, II, III, IV, V の 5 枚、医学類、薬学類・創薬科学類は III, IV, V の 3 枚あります。
- 3 答えはすべて答案用紙の指定のところに記入しなさい。
- 4 問題紙と下書き用紙は持ち帰ってください。

I [学校教育学類, 数物科学類, 地球社会基盤学類, 生命理工学類, 理工3学類, 保健学類]

以下の文章が正しい記述となるように, (3), (8) の{ }内の選択肢の正しいものを一つ選び, 解答欄の選択肢に○をつけなさい。また, (3) と (8) 以外の には適切な語句あるいは式を記入しなさい。ただし, プランク定数は h [J・s], 光速は c [m/s] とし, 式においては文章中に与えた文字と h と c を用いなさい。

太陽光に照らされたシャボン玉はさまざまな色に輝いて見える。これは, シャボン玉の膜の内側と外側で反射した光が (1) し, 膜の厚みや見る方向に依存して, 特定の波長の光が強め合う結果である。また, 片面に多くの細長い筋を等間隔で平行に引いたガラス板に単色光を当てると筋と筋の間を通過して (2) した光が (1) し, 入射方向と特定の角度をなす方向においてだけ光は強め合う。(1) や (2) は波に特有の性質であるため, 光は波であることがわかる。レントゲンにより発見された X 線は, 目で見ることのできる可視光線よりも波長が (3){長い・短い} 光の仲間であり, 上のガラス板の場合と同じ現象を引き起こす。この X 線の性質を用いることにより, 固体結晶の結晶面の間隔を測定できる。図 1 のように間隔が d [m] の結晶面に対して角度 θ [rad] で波長 λ [m] の X 線を照射すると, X 線は各原子でさまざまな方向へ散乱される。ここで入射 X 線の原子 A, B, C による角度 θ 方向の散乱 X 線に着目すると, 原子 A, B による散乱 X 線の間経路差は (4) [m], 原子 A, C による散乱 X 線の間経路差は (5) [m] となる。これらから各結晶面からの散乱 X 線が強め合う角度 θ は, 正の整数 n を用いて $\sin \theta =$ (6) と与えられる。この条件を満たさない角度への散乱 X 線は互いに (1) し, 弱めあうため観測できない。このため散乱 X 線が観測される角度 θ を求めることにより結晶面の間隔 d を決めることができる。

19 世紀の末に, 金属に光を照射すると金属表面から電子が飛び出すという現象が見つかった。この現象は (7) と呼ばれ次のような特徴を示す。 (7)

を起こす光の振動数には金属の種類によって決まる下限値(限界振動数) ν_0 [Hz]があり、振動数が ν_0 より小さければ照射する光の強度をいかに強くしても電子は飛び出さない。一方、照射する光の振動数が ν_0 より大きくなると電子は飛び出し始め、飛び出す電子の運動エネルギーの (8){最大値・最小値} は照射する光の振動数が大きくなるにしたがい大きくなる。これらの特徴は、光が振動数によって決まるエネルギーをもつ粒子であると考えとうまく説明することができる。ある金属に振動数 ν [Hz] ($> \nu_0$)の光を当てたとき、金属表面から出てくる電子の運動エネルギーの (8) を E [J]とすると、その金属に関する限界振動数 ν_0 は (9) [Hz]と表される。 $h\nu_0$ は (10) と呼ばれる。また、光の粒子としての性質を表すために、光は (11) と呼ばれ、その運動量は光の振動数 ν を使うと (12) [kg・m/s]と表されることもわかった。

質量 m [kg]で負の電気量 $-e$ [C]をもつ粒子と考えられていた電子は、20世紀に入り、波としての性質を合わせもつことがわかった。粒子が波動としてふるまうとき、この波を (13) と呼ぶ。速さが u [m/s]の電子の (13) の波長は (14) [m]となる。この電子の波としての性質を使い、上述のX線の代わりに電子線を用いて図1の固体結晶の結晶面の間隔 d を決めることができる。初速0の電子を電圧 V [V]で加速して間隔 d に等しい波長をもつ (13) とするには、加速電圧を $V =$ (15) [V]とすればよい。

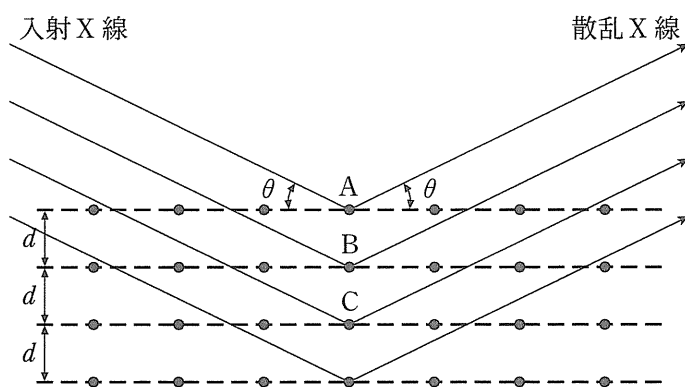


図 1

Ⅱ [学校教育学類, 数物科学類, 地球社会基盤学類, 生命理工学類, 理工3学類, 保健学類]

ある高さまで水が入ったじゅうぶん大きな水槽を考える。最初, この水槽に波はなくそのときの水面の高さは0であった。図2 aのように, 原点 O に置いた波の発生装置によって水面に波を発生させたところ, この装置を中心に波面が同心円になる円形波が広がった。通過する波の波長と振動数を測定する装置(センサー)を点 P に設置した。点 O , P を通る直線を x 軸, 点 P の x 座標を a [m] とする。波の発生装置とセンサーの大きさは無視できるものとする。波は正弦波であり, 波が水面を伝わる速さを w [m/s], 振動数を f [Hz] として, 以下の問いに答えなさい。

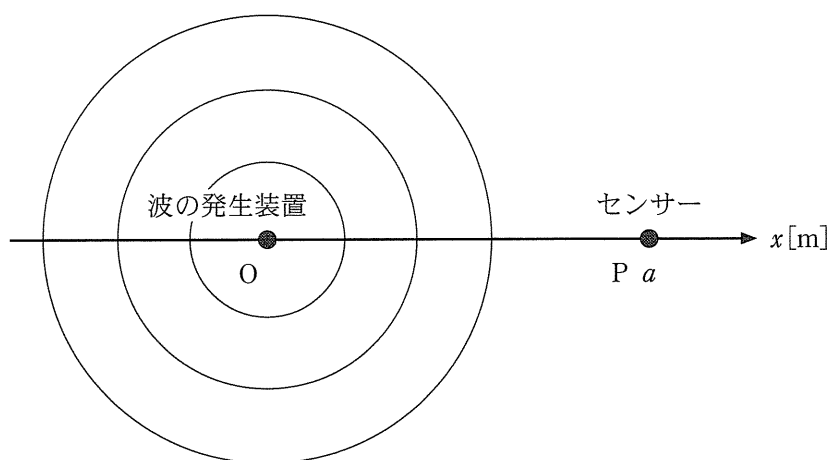


図2 a

問1 波の波長を w , f を用いて表しなさい。

問2 波の振幅 A [m] は場所によらず一定で, 時刻 t [s] における点 O での水面の高さは $A \sin 2\pi ft$ と表されるとして, 時刻 t における点 P での水面の高さを求めなさい。時刻 t で点 P に波は届いているものとする。

問 3 点 P に波が届いている状態で図 2 b のように、センサーを一定の速さ v_1 [m/s] で波の発生装置に向かって近づけたとき、センサーで測定される振動数を w , v_1 , f を用いて表しなさい。

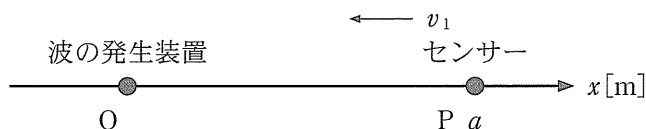


図 2 b

センサーを点 P にもどし、水槽に波がない状態にした。次に、図 2 c のように、波の発生装置を、点 O から w より小さい一定の速さ v_2 [m/s] でセンサーに近づけながら波を発生させた。波はセンサーに届いているものとする。

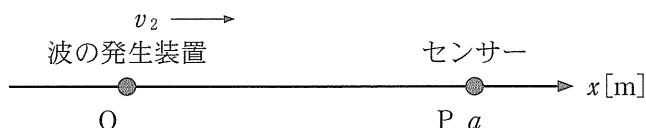


図 2 c

問 4 センサーで測定される波長を w , f , v_2 を用いて表しなさい。

問 5 センサーで測定される振動数を w , f , v_2 を用いて表しなさい。

波の発生装置を点 O にもどし，水槽に波がない状態にした。その後，図 2 d のように，波の発生装置を点 O から速さ v_2 でセンサーに近づけながら波を発生させ，センサーを点 P から波の発生装置に向かって速さ v_1 で移動させた。波はセンサーに届いているものとする。

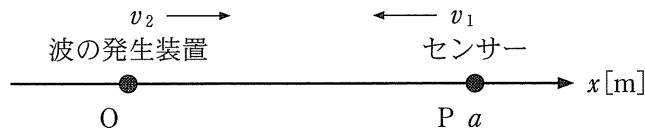


図 2 d

問 6 センサーで測定される振動数を w , f , v_1 , v_2 を用いて表しなさい。

水槽に波がない状態にもどして，図 2 e のように，波の発生装置を点 O に，センサーを点 P' に置いた。点 O' を点 O , P 間の点とし， $\angle PO'P' = \theta [\text{rad}]$ とする。波の発生装置を点 O から w より小さい一定の速さ $v_3 [\text{m/s}]$ で点 P に近づけながら波を発生させた。

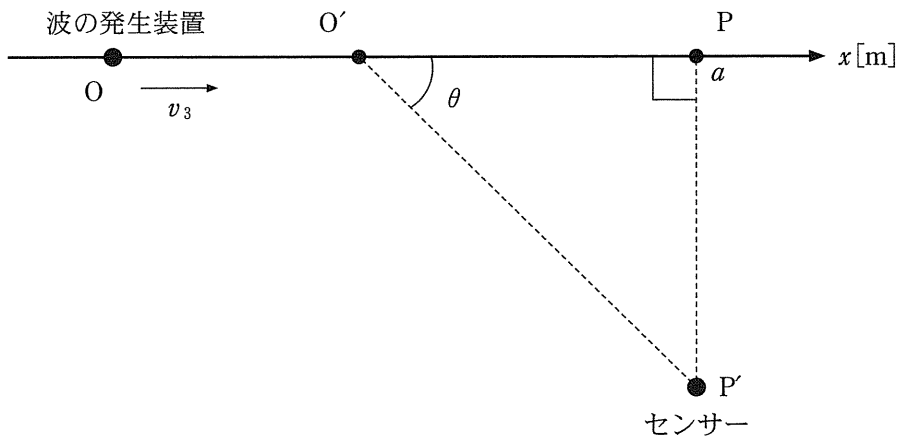


図 2 e

問 7 波の発生装置が点 O' を通過するときの，波の発生装置の速度の $O'P'$ 方向の成分を求めなさい。

問 8 波の発生装置が点 O' を通過するとき発した波が、センサーに到達したときに測定される振動数を w , f , v_3 , θ を用いて表しなさい。

前問までの波の発生装置とセンサーを水槽から取り除き、水槽の中には波がない状態にもどした。図 2 f のように、波長が $\frac{2a}{3}$ [m] の波を同位相で発生させる発生装置を、 x 軸上の原点 O と点 Q に置いた。点 Q の x 座標を $2a$ とする。図 2 f の同心円は、2 つの波の発生装置から広がった波が重なる前の波面を表している。この後、じゅうぶんに時間が経過し、 OQ 間に定常波(定在波)ができた。

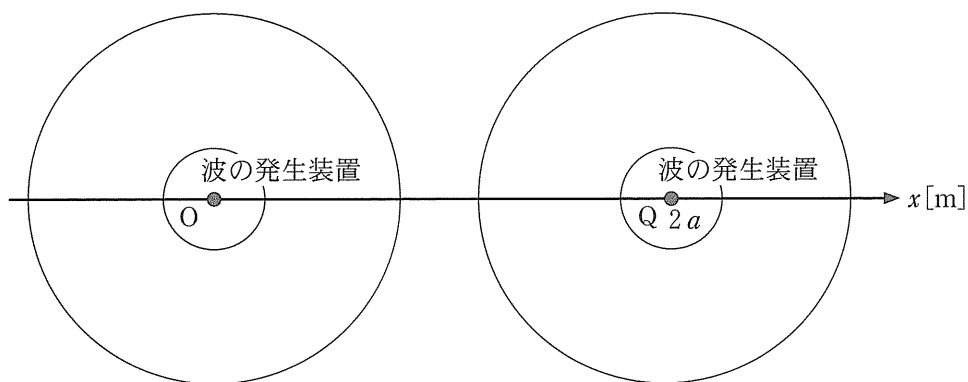


図 2 f

問 9 OQ 間の隣り合う節と節の間隔を答えなさい。

問10 OQ 間に節線(弱め合う点を連ねた線)は何本見られるか答えなさい。

Ⅲ [学校教育学類, 数物科学類, 地球社会基盤学類, 生命理工学類, 理工3学類,
医学類, 薬学類・創薬科学類, 保健学類]

図3 aに示すように, 水平右向きに x 軸, 鉛直上向きに y 軸をとり, 原点 O 直上の高さ h [m]の点 A から, 速さ v [m/s]で仰角 30° の方向にボールを投げた。その瞬間, 小物体がある点 C を速さ $\frac{1}{2}v$ で鉛直下向きに通過した。その後, ボールが点 C の鉛直下方の点 B で放物運動の最高点に到達し, そこで落下中の小物体に完全非弾性衝突し, 一体化した。ボールと小物体は同じ質量であり, それぞれ m [kg]とする。ボールと小物体の大きさ, 空気抵抗は無視できるとする。重力加速度の大きさを g [m/s²]として, 以下の問いに答えなさい。

- 問1 ボールを投げてから, ボールが点 B で小物体に衝突するまでの時間を求めなさい。
- 問2 点 B の y 座標を求めなさい。
- 問3 点 B で衝突した直後の, 一体化したボールと小物体の速度の x 成分, y 成分を求めなさい。
- 問4 衝突によって失われたボールと小物体の全力学的エネルギーを求めなさい。

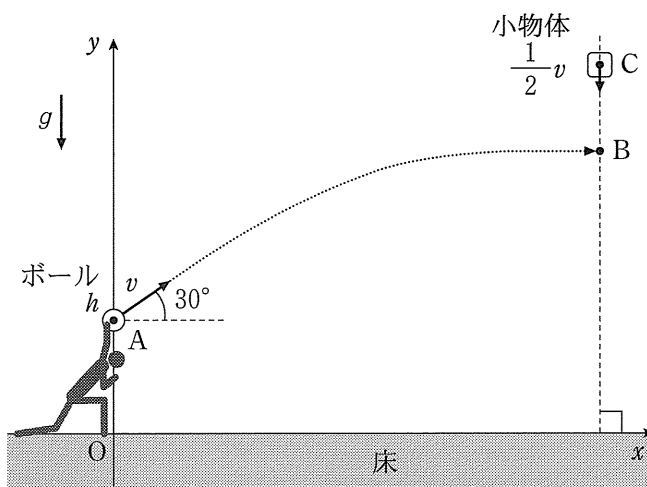


図3 a

図 3 b に示すように、床に垂直な壁を設置する。点 A からある初速度で仰角 30° の方向に質量 m のボールを投げたところ、点 D でボールは放物運動の最高点に到達した。その点で壁に衝突してはね返った後、点 E で床に衝突してはね返り、点 A で放物運動の最高点に到達した。床はなめらかで、衝突したボールに摩擦力は働かない。点 D の y 座標を $2h$ として、以下の問いに答えなさい。

問 5 ボールの初速度の大きさを求めなさい。

問 6 原点 O と壁の水平距離を求めなさい。

問 7 ボールが壁に衝突してから床に衝突するまでの時間を求めなさい。

問 8 ボールと床の反発係数を求めなさい。

問 9 ボールと壁の反発係数を求めなさい。

問10 ボールが点 A で投げられて再び点 A に戻ってくる間に失った力学的エネルギーを求めなさい。

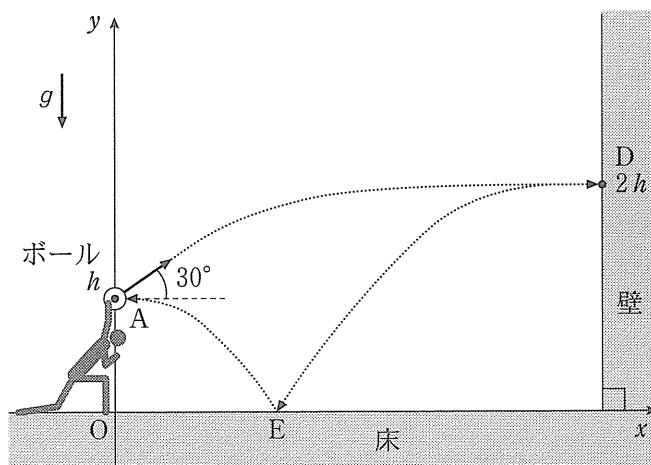


図 3 b

Ⅳ [数物科学類, 地球社会基盤学類, 生命理工学類, 理工3学類, 医学類, 薬学類・創薬科学類]

図4 a のように, 真空中で正の電気量 Q [C] をもち大きさが無視できる質量 m [kg] の物体 P が, 伸び縮みせず質量の無視できる長さ a [m] の電気を通さない糸で原点 O につながれている。はじめ, 磁束密度の大きさが B_0 [T] の一様な磁界が紙面に垂直に表から裏向きに与えられており, 糸がたるむことなく物体 P は破線で示す円軌道に沿って xy 平面上を等速円運動している。円運動の向きは図4 a に示す向きであり, 物体 P の速さは v_0 [m/s] とする。重力の影響および物体 P の運動にともなう磁界の発生と電磁波の発生の影響は無視できるものとして, 以下の問いに答えなさい。ただし, 円周率を π とする。

問 1 物体 P が破線の円軌道を 1 周するのに要する時間を, Q, a, B_0, v_0, π のうち必要なものを用いて表しなさい。

問 2 物体 P が受けるローレンツ力の大きさを, Q, a, B_0, v_0, π のうち必要なものを用いて表しなさい。また, ローレンツ力の向きを下の(ア)~(エ)の中から一つ選び, 解答欄に記号で答えなさい。

(ア) 物体 P から原点 O に向かう向き

(イ) 原点 O から物体 P に向かう向き

(ウ) 紙面に垂直に裏から表に向かう向き

(エ) 紙面に垂直に表から裏に向かう向き

問 3 等速円運動する物体 P の向心加速度の大きさを, Q, a, B_0, v_0, π のうち必要なものを用いて表しなさい。

問 4 糸がたるむことなく物体 P が円運動するための速さ v_0 の最小値を, Q, m, a, B_0, π のうち必要なものを用いて表しなさい。

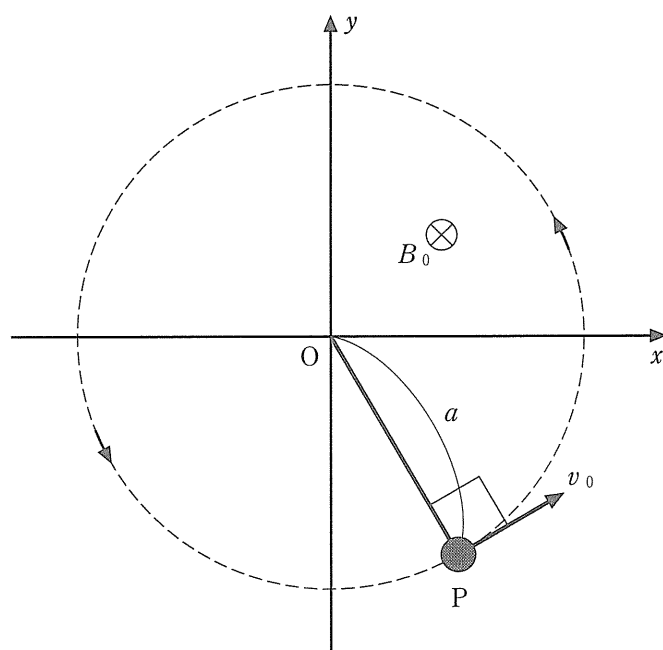


图 4 a

次に、図 4 b に示すように時刻 $t = 0$ から磁束密度の大きさを一定の増加率 b [T/s] で一様にゆっくり変化させた。 $t > 0$ のある時刻までは糸がたるむことなく、物体 P は図 4 a に示す破線の円軌道に沿って xy 平面上で同じ向きに運動を続けた。このとき、円軌道に沿って誘導起電力が発生し、物体 P は円軌道の接線方向に加速された。質量 m の物体 P のもつ電気量は Q のままであり、物体 P の円軌道の接線方向の加速度の大きさは一定であったとして、糸がたるまない時刻 $t > 0$ において以下の問いに答えなさい。ただし、時刻 $t = 0$ で磁束密度の大きさは B_0 、円運動する物体 P の速さは v_0 であったとする。

問 5 以下の文章が正しい記述となるように、(1) , (2) に入る適切な式を、 Q 、 m 、 a 、 B_0 、 b 、 Δt 、 π のうち必要なものを用いて書きなさい。

時間 Δt [s] の間の磁束密度の変化は (1) [T] である。 xy 平面上の破線の円軌道で囲まれる面を貫く磁束は時間 Δt の間に (2) [Wb] だけ変化する。よって、ファラデーの電磁誘導の法則より、円軌道に沿って発生する誘導起電力の大きさは円軌道 1 周あたり $\pi a^2 b$ [V] で表される。

問 6 電磁誘導により、物体 P の破線の円軌道に沿って発生する誘導電界の強さを、 a 、 b を用いて表しなさい。また、その誘導電界の向きを下の(ア)~(エ)の中から一つ選び、解答欄に記号で答えなさい。

- (ア) 紙面の上から原点 O を見て時計回り
- (イ) 紙面の上から原点 O を見て反時計回り
- (ウ) 紙面に垂直に裏から表に向かう向き
- (エ) 紙面に垂直に表から裏に向かう向き

問 7 物体 P の破線の円軌道の接線方向の加速度の大きさを、 Q 、 m 、 a 、 b を用いて表しなさい。

問 8 時刻 t [s] のときに破線の円軌道に沿って運動する物体 P の速さを、 Q 、 m 、 a 、 b 、 v_0 、 t を用いて表しなさい。

問 9 時刻 $t = 0$ のときに物体 P の速さが $v_0 = \frac{2 Q a B_0}{m}$ であったとする。破線の円軌道に沿って運動する物体 P に対し、ある時刻で糸の張力が 0 となった。

その時刻 ($t > 0$) を、 Q 、 m 、 a 、 B_0 、 b 、 π のうち必要なものを用いて表しなさい。

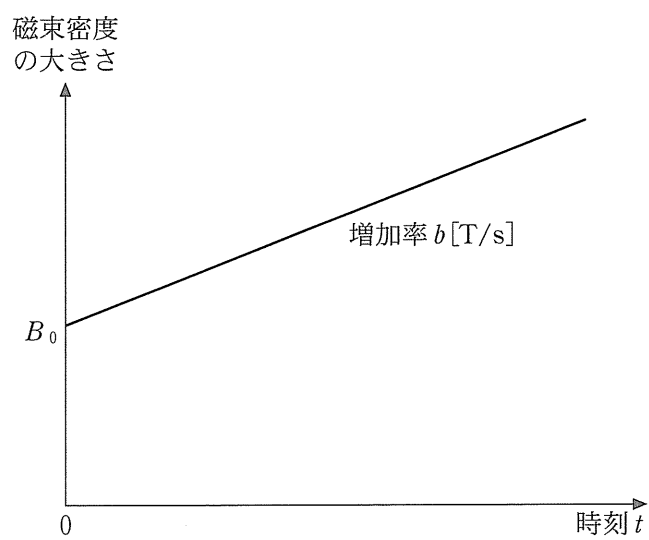


図 4 b

V [数物科学類, 地球社会基盤学類, 生命理工学類, 理工3学類, 医学類, 薬学類・創薬科学類]

なめらかに動くピストンがついた容器に 1 mol の単原子分子理想気体を閉じ込めて圧縮したところ, 気体の圧力が p_0 [Pa], 温度が T_A [K] になった。このときの気体の状態を A として, 図 5 に示すように, 次の 4 つの過程に従って気体の状態を変化させた。

【過程 1】 状態 A から, 外部との熱のやり取りを遮断して, 状態 B になるまでピストンをゆっくり動かした。このとき気体の温度は T_B [K] となった。

【過程 2】 状態 B から, ピストンを固定して気体の体積を一定に保ち, 状態 C になるまで低温物体に熱を放出させた。このとき気体の温度は T_C [K] となった。

【過程 3】 状態 C から, 外部との熱のやり取りを遮断して, 気体の圧力が p_0 の状態 D になるまでピストンをゆっくり動かした。このとき気体の温度は T_D [K] となった。

【過程 4】 状態 D から, 高温物体から熱を吸収させて気体の圧力が一定の値に保たれるようにして, 状態 A になるまでピストンをゆっくり動かした。

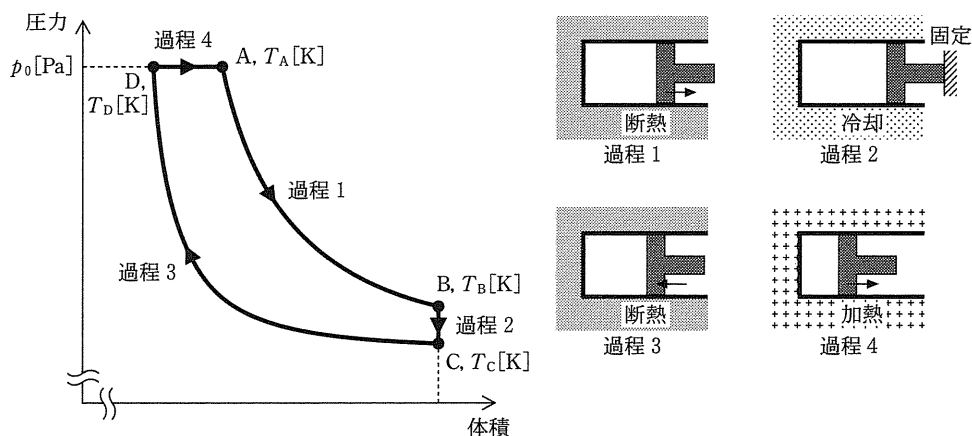
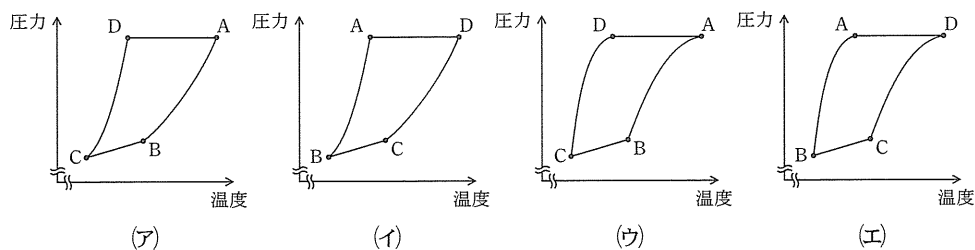


図 5

気体定数を $R[\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})]$ ，単原子分子理想気体の定積モル比熱を $\frac{3}{2}R$ とする。また必要であれば，断熱変化においては，単原子分子理想気体の圧力 $p[\text{Pa}]$ と体積 $V[\text{m}^3]$ について， $pV^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$ となる性質を用いてもよい。以下の問いに答えなさい。

- 問 1 過程 2 の気体の状態変化を何変化と呼ぶか，その名称を答えなさい。
- 問 2 状態 A の体積は状態 D の体積の何倍か求めなさい。
- 問 3 過程 1 において，気体が外部にした仕事を求めなさい。
- 問 4 過程 2 において，気体から低温物体に放出された熱量を求めなさい。
- 問 5 過程 3 において，気体が外部にした仕事を求めなさい。
- 問 6 過程 4 において，高温物体から気体に加えられた熱量を求めなさい。
- 問 7 これらの過程を熱機関のサイクルと考えたときの熱効率を求めなさい。
- 問 8 状態 D における温度 T_D を T_A ， T_B ， T_C を用いて表しなさい。
- 問 9 このサイクルの圧力—温度関係を表す適切なグラフを次の(ア)～(エ)の中から一つ選び，解答欄に記号で答えなさい。



- 問10 このサイクルの温度—体積関係を表す適切なグラフを次の(オ)～(ク)の中から一つ選び，解答欄に記号で答えなさい。

