

2020 年度(令和 2 年度)

後 期 日 程

理 科 (100 分)

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題は、「物理」が1ページから13ページまで、「化学」が14ページから24ページまであります。解答用紙は、「物理」は , , の3枚、「化学」は , , , の4枚からなっています。ページの脱落等に気付いたときは、手をあげて監督者に知らせなさい。
3. 解答は、以下の指示に従い解答用紙の指定された欄に記入しなさい。
 - (ア) 生命・応用化学科、物理工学科、電気・機械工学科、社会工学科、創造工学教育課程を志望するものは、「物理」、「化学」のうちから1科目を選択し、解答しなさい。
 - (イ) 情報工学科を志望するものは、「物理」を解答しなさい。
4. 監督者の指示に従って、選択した科目のすべての解答用紙の該当欄に志望学科名(社会工学科を志望するものは志望分野名、創造工学教育課程を志望するものは志望コース名)及び受験番号(2か所)を記入しなさい。
5. 解答用紙の※を付した欄には、何も記入してはいけません。
6. 問題冊子の白紙と余白は下書きに適宜利用してもよいが、どのページも切り離してはいけません。
7. 試験終了後、この問題冊子及び下書き用紙は持ち帰りなさい。

物 理

注意 問題は I, II, III の 3 題である。

I 内面にレールをつけた半径 r [m] の円環(以下, 円形レールと呼ぶ)を鉛直に立て, この円形レールに沿って質量 m [kg] の小物体を運動させる。図 1 のように, 円形レールの中心点を O , 最下点を A , レール上を運動する小物体の位置を P とし, 線分 OP を線分 OA から反時計回りに測った角度を θ [rad] とする。小物体を乗せたレールの断面の様子を図 1 の右に示す。小物体とレールとの間の摩擦や空気抵抗は考えない。重力加速度の大きさを g [m/s²] として以下の問 1 ~ 問 3 に答えよ。

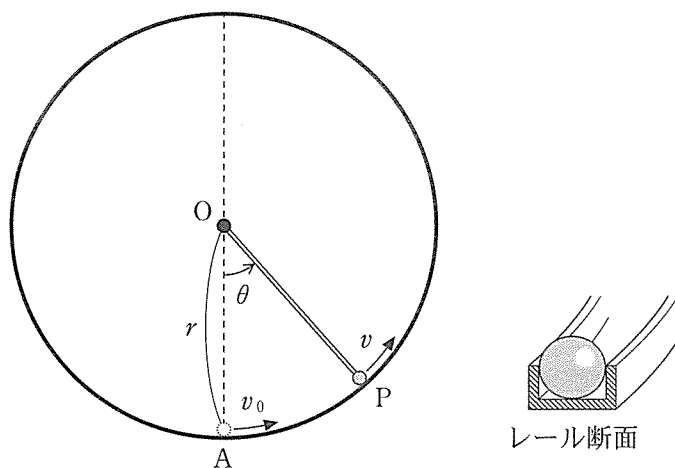


図 1

問 1 まず, 図 1 のように, 小物体がレールから離れないように小物体と中心点 O を軽く伸び縮みしない棒でつなぎ, 点 A で初速 v_0 [m/s] を小物体に与えた。棒は点 O のまわりを滑らかに回転するとして, 以下の設問に答えよ。

(1) 小物体が円形レール上の角度 θ の位置にあるとき, 点 A を基準とする小物体の重力による位置エネルギーを求めよ。

- (2) 小物体が円形レール上の角度 θ の位置を速さ v で運動しているとして、力学的エネルギーの保存を表す式を書け。
- (3) 小物体が円形レールを一周するために、初速の二乗 v_0^2 が満たすべき条件を求めよ。

問 2 次に図 2 のように、円形レールの中心点 O と小物体をばね定数 k [N/m] の軽いばねでつなぐ。ばねは点 O のまわりで滑らかに回転し、曲がらない。ばねの自然長は円形レールの半径 r より長く、ばねは縮んだ状態で小物体をレールに押し付けている。ばねの自然長からの縮み量を d [m] とする。点 A でレールに沿う方向に初速 v_0 を小物体に与えたとして、以下の設問に答えよ。

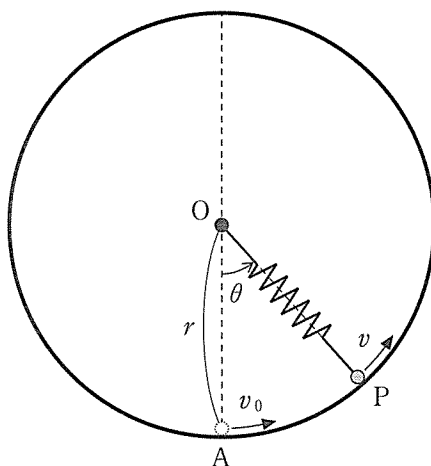


図 2

- (4) 小物体が円形レール上を速さ v [m/s] で運動しているとして、小物体の向心加速度の大きさを答えよ。
- (5) 小物体が円形レール上の角度 θ の位置を速さ v で運動しているとして、レールから小物体が受ける垂直抗力の大きさを求めよ。
- (6) 小物体がレールから離れることなく円形レールを一周するために初速の二乗 v_0^2 が満たすべき条件を、 d の値で場合分けして求めよ。また、場合分けの根拠も含めて導出過程を解答欄に記述せよ。

問 3 今度は，図 3 のように，右向きに大きさ $\sqrt{3}g$ [m/s²] の加速度で水平方向に運動している実験室内に，これまでと同じ円形レールを設置し，実験室の中で小物体の運動を観察する。円形レールは，円形レールを含む鉛直平面が実験室の進行方向と平行になるように設置する。ここでは小物体は棒やばねでつながれてはいない。また，以下では小物体の速さは実験室内で観測される速さを表す。

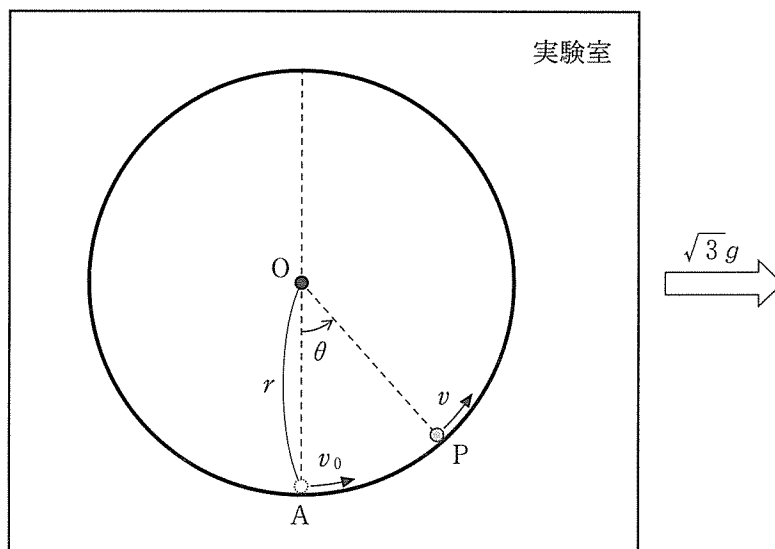


図 3

- (7) 小物体にはたらく重力と慣性力の合力の大きさと向きを答えよ。向きは，図 3 上で O から A に向かう向きに対して反時計回りに測った角度 [rad] により答えよ。角度の範囲は $-\pi$ から π までとする。

小物体に点 A で右向きに大きさ v_0 の初速度を与える。実験室内では上問(7)で求めた合力が見かけの重力としてはたらくことに留意し、以下の設問に答えよ。

- (8) 小物体が円形レール上の角度 θ の位置を速さ v で運動しているとして、小物体がレールから受ける垂直抗力の大きさを求めよ。
- (9) 小物体が円形レール上の角度 θ の位置を運動しているときの速さの二乗 v^2 を求めよ。この実験室内では、見かけの重力を真の重力と同様に扱うことにより、慣性系における力学的エネルギー保存則と同じ形の関係式が成り立つことを用いてよい。
- (10) 小物体がレールを離れることなく反時計回りに円形レールを一周するために、初速の二乗 v_0^2 が満たすべき条件を求めよ。

Ⅱ 電磁誘導に関する以下の問1～問3に答えよ。

問1 図1に示すように真空中に置かれた半径 a [m]、長さ ℓ [m]、巻数 N のソレノイドを考える。このソレノイドに電圧を自由に調節できる電源をつなぎ、図1の導線上に示した矢印の向きに電流を流す。導線およびソレノイドの抵抗は無視できる。また、ソレノイドの半径 a は長さ ℓ に比べて十分小さく、ソレノイド内の磁界は一律であり、ソレノイド端の影響は無視できるものとする。真空の透磁率を μ_0 [N/A²] として以下の設問に答えよ。

- (1) ソレノイドを流れる電流が I [A] のとき、ソレノイド内に生じている磁束密度の大きさを求めよ。また、その向きは図1に示した矢印アとイのどちらであるか、解答欄の正しい方の記号に○を付けよ。
- (2) ソレノイドを流れる電流が微少時間 Δt [s] の間に ΔI [A] 増加する ($\Delta I > 0$) 際に、ソレノイドの両端に生じる誘導起電力の大きさを求めよ。また、この起電力により図1中のウの電位とエの電位ではどちらの方が高くなるか、解答欄の正しい方の記号に○を付けよ。
- (3) このソレノイドの自己インダクタンスを求めよ。

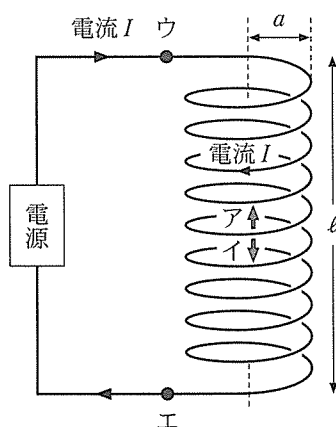


図1

- (4) 電流を変化させる際に電源がソレノイドに対してする仕事に関して、以下の文章中の空欄 a ~ d にあてはまる適切な式を答えよ。ただし同じ記号の空欄には同じ式が入る。

自己インダクタンス L [H] のソレノイドを流れる電流を、時間に対してある一定の割合で増加させていく際、微小時間 Δt の間に電流が I から $I + \Delta I$ へ増加したとすると、ソレノイドに生じる逆起電力の大きさは $V = \boxed{\text{a}}$ [V] である。また、十分短い時間 Δt 内では電流 I は一定とみなすことができるので、この間に電流によって運ばれる電気量は $\Delta Q = \boxed{\text{b}}$ [C] である。電源は逆起電力 V にさからって ΔQ の電荷を運んだので、この間に電源がした仕事は $\Delta W = V\Delta Q = \boxed{\text{c}} \times \Delta I$ [J] と表される。図 2 は、横軸を電流 I 、縦軸を $\boxed{\text{c}}$ にとって描いたグラフであり、斜線部の面積が上で求めた仕事 ΔW を表している。ソレノイドに流れる電流を I_1 から $2I_1$ へ増加させたとき、変化の過程を短い時間間隔 Δt に区切って考えると、その間に電源がソレノイドに対してした仕事 W [J] は各時間間隔での仕事、すなわち図 2 内の長方形の面積の和に等しく、 Δt を 0 に近づける極限を考えれば、これは図 2 で色を付けた台形部分の面積に等しくなる。従って W は L と I_1 を用いて $W = \boxed{\text{d}}$ と求められる。

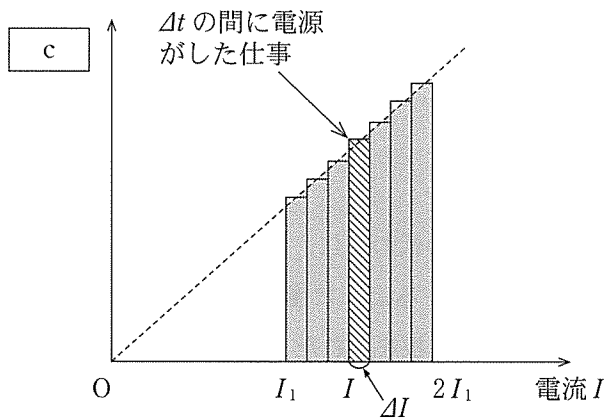


図 2

問 2 図 1 のソレノイドの内部に半径 b [m] ($b < a$) で一巻きの円形コイルを，中心軸が一致するように置く (図 3)。ソレノイドを流れる電流が微小時間 Δt の間に ΔI 増加する際に，円形コイルに生じる誘導起電力を考える。問 1 と同様にソレノイド内の磁界は一様であり，円形コイルによる磁束の影響は無視できるものとする。また，円形コイルの抵抗は R [Ω] とする。

- (5) ソレノイドを流れる電流が微小時間 Δt の間に ΔI 増加する際に円形コイルに沿って生じる誘導起電力の大きさを求めよ。また，この誘導起電力によって円形コイルを流れる電流の向きは図 3 に示した矢印オ，カのどちらであるか，解答欄の正しい方の記号に○をつけよ。
- (6) ソレノイドと円形コイルの間の相互インダクタンスを求めよ。
- (7) 円形コイルを流れる電流により生じる単位時間当たりのジュール熱(電力)を求めよ。

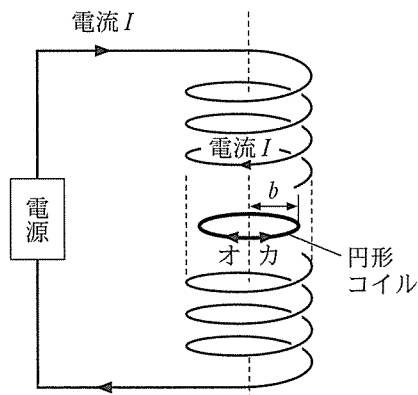


図 3

問 3 次に，円形コイルの代わりに，厚さ h [m] の薄い円形導体板を，ソレノイド内に，中心軸が一致するように置く。導体板の透磁率は真空の透磁率と等しい。図 4 (a) は円形導体板を入れたソレノイドを軸方向から見たものである。導体板を貫く磁束が時間変化すると，問 2 で調べた円形コイルで生じる電流と同じ原理で，導体板内に図 4 (a) の矢印で示したような回転する方向の電流が生じる。これを渦電流と呼ぶ。導体中の渦電流はジュール熱を発生し，電磁調理器

に利用されるなどの利点がある一方、交流電圧を上げ下げする変圧器では、ジュール熱によるエネルギー損失が問題となる。この渦電流によるエネルギーの損失(渦電流損)について以下で検討してみよう。

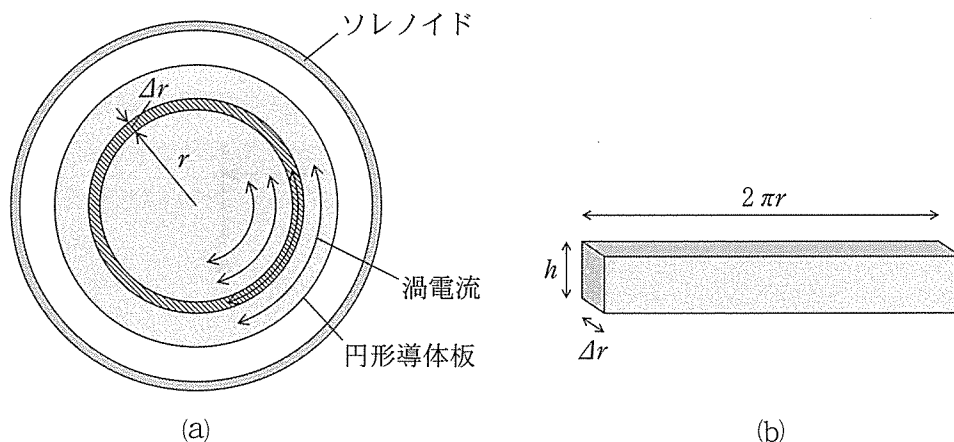


図 4

- (8) 図 4(a)で導体板内に斜線で示した半径 r 、幅 Δr の細い円環部分に着目する。この部分の抵抗は図 4(b)のような断面積 $h\Delta r$ 、長さ $2\pi r$ の直方体の導体の場合に等しいとしてよい。この導体が一様な抵抗率 $\rho(\Omega\cdot\text{m})$ をもつとして、円環部分の抵抗を求めよ。
- (9) この円環は半径 r の円形コイルとみなすことができる。問 2 の円形コイルと同様に考えることにより、ソレノイドを流れる電流が微小時間 Δt の間に ΔI 変化したとき円環部分を流れる渦電流を求めよ。ただし、渦電流の磁束に対する影響は無視してよい。
- (10) 円環の単位体積、単位時間あたりに生じるジュール熱は、半径 r に対してどのような依存性をもつか、解答例にならって簡潔に記述せよ。(解答例： r に反比例する。)ただし、この円環部分の体積は図 4(b)の直方体の体積に等しいとしてよい。

実際の変圧器では、鉄心に絶縁層を挟むことにより渦電流の半径を小さくし、渦電流損を抑える工夫がされている。

Ⅲ 光のドップラー効果を利用した天体観測に関する以下の問1，問2に答えよ。

問1 まず最初に図1を用いて，音波におけるドップラー効果の原理について考えよう。以下の文章の空欄ア～キに当てはまる適切な式を答えよ。ただし同じ記号の空欄(図1内を含む)には同じ式が入る。

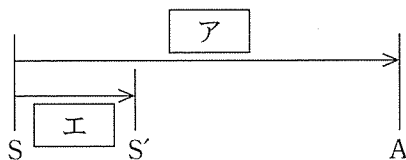


図1

空気中の音速を c [m/s] とする。点 S に静止している音源が振動数 f [Hz] の音波を出すとき，ある時刻に出た音波が時間 t [s] の間に距離 だけ進み，点 A に静止した観測者に達したとしよう。この間に音源は 個の波を出しており，SA の間に 個の波が入っていることになる。このことから，この音源から出た波の波長は $\lambda =$ [m] と求められる。

次に，ある時刻に点 S にあった音源が一定の速さ V [m/s] ($V < c$) で，点 A に静止している観測者に向かって動く場合を考える。音源から出た音波は時間 t の間に距離 だけ進み，点 A に静止した観測者に達する。この間に音源は点 A に向かって距離 だけ近づき，点 S' に達する。S'A の間に 個の波が入っていることから，この場合の音波の波長は $\lambda' =$ [m] と求められ， λ とは異なる値になることがわかる。これが，音波のドップラー効果である。 λ' は λ ， c ， V を用いて と表される。また， $\lambda - \lambda'$ を $\Delta\lambda$ と表すと $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ は c と V を用いて と表される。

問 2 光も波であるから、音波と同様にドップラー効果が起きる。光源の速さ V が真空中の光速より十分遅い場合には、光でも音波と同じドップラー効果の式が成り立つことが知られている。ただしこのときは、 c は真空中の光速となる。光のドップラー効果を利用すると、太陽系からはるかに離れた恒星が発する光の波長から、その恒星の速度について知ることができる。光量が小さい天文観測では、光の損失が少ない反射型回折格子という測定器が用いられる。ここでは反射型回折格子を用いた光の波長の測定原理について考えよう。

図 2 は反射型回折格子を描いたものであり、格子面に対して傾いた光の反射面が多数、等しい間隔 d [m] で平行に並んでいる。多数の反射面それぞれで反射し、回折した光は、互いに干渉して干渉縞^{じま}を作る。図 3 には、周期的反射面のうち、2 周期だけの断面 AB と CD が描かれている。

格子面の法線方向に対する光線の入射角を α [rad]、反射角を β [rad] とする。図 3 で隣り合う反射面で反射される 2 つの光線 X, Y の反射点をそれぞれ P, Q とし、点 P から光線 Y の入射光線および反射光線に下ろした垂線の足をそれぞれ R, S とすると、光線 X, Y の経路差は線分 QR と QS の長さの和である。

- (1) 入射角 α で入射した波長 λ の入射光に対して反射角 β の方向に強い回折光(明線)が観測されるための条件を d , α , β , λ と整数 n を用いて表せ。

以下では、経路差が波長に等しい場合を考える。入射角 α で入射した波長 λ および $\lambda - \Delta\lambda$ の光に対して、明線がそれぞれ反射角 β および $\beta - \Delta\beta$ の方向に観測されたとする。

- (2) $\Delta\lambda$ が λ よりはるかに小さいとき、 $\Delta\beta$ の大きさは 1 に比べて十分小さく、近似式 $\sin \beta - \sin(\beta - \Delta\beta) \doteq (\cos \beta) \Delta\beta$ を用いると

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \doteq \boxed{} \times \Delta\beta \quad (\text{A})$$

が成り立つ。式(A)の空欄に当てはまる式を α , β を用いて表せ。

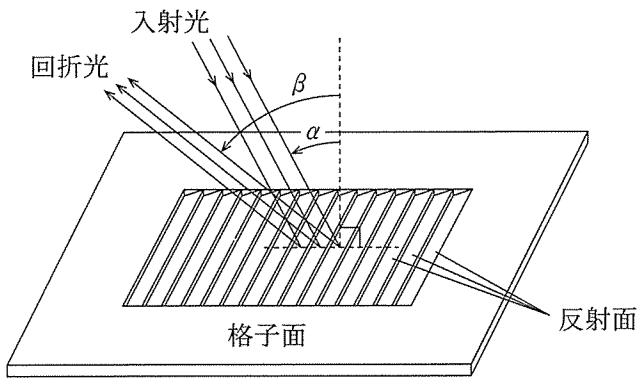


图 2

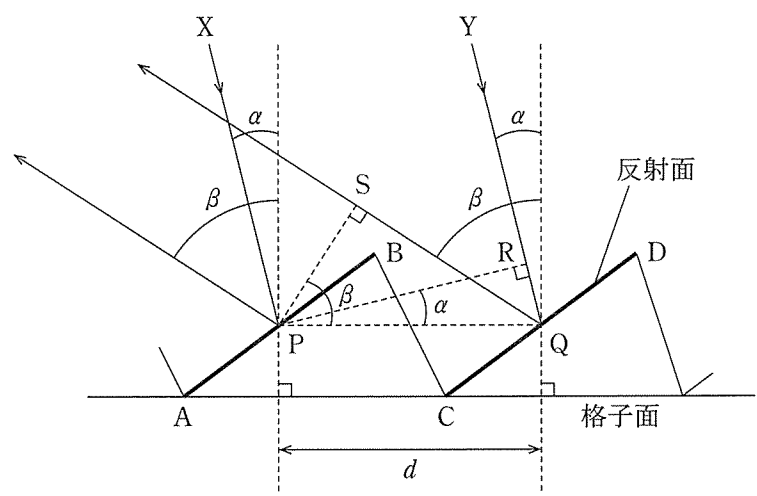


图 3

光を発する恒星は遠く離れていてもその存在を知ることができるが、光を発しない遠方の惑星の存在を知ることは難しい。しかし恒星は、そのまわりを惑星が回っていると惑星からの万有引力によってふらつくため、恒星が発する光はドップラー効果を起こす。それを観測すると、太陽系からはるかに離れた恒星のまわりを回る太陽系外惑星を発見し、その性質を調べることができる。

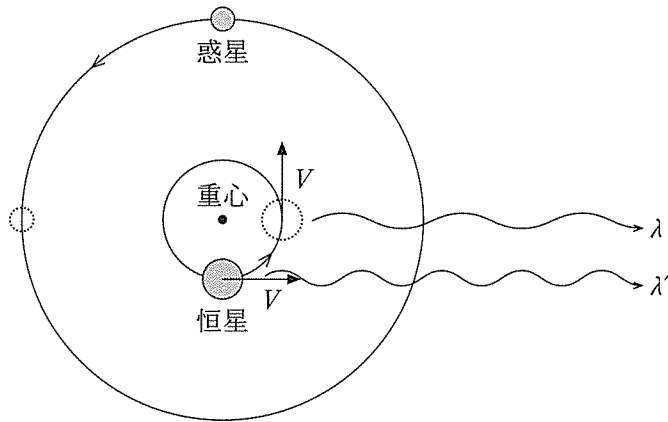


図 4

図 4 のように、恒星と惑星が万有引力で引きつけ合い、それらの静止した重心を中心として、同じ周期 T [s] の等速円運動をしている。恒星の速さを V [m/s] とし、万有引力定数を G [$\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$] とすると、恒星の質量 M [kg] が惑星の質量 m [kg] よりはるかに大きい場合、近似的に

$$m \doteq \left(\frac{TM^2}{2\pi G} \right)^{\frac{1}{3}} V \quad (\text{B})$$

が成り立つことが知られている。これより、ドップラー効果の観測から恒星の速さ V が分かれば、円運動の周期 T 、恒星の質量 M をもとにして惑星の質量を知ることができる。

恒星と惑星が運動する軌道平面上の、恒星・惑星間距離よりはるか遠方に観測者が静止している。図 4 のように、恒星が、恒星から観測者への方向と垂直方向に運動しているとき発した光と、平行方向に速さ V で近づいているとき発した光の波長を、観測者が $d = 4.00 \times 10^{-7}$ m の反射型回折格子を用いて

入射角を $\alpha = \frac{\pi}{6}$ に常に保ち測定したところ、恒星が垂直方向に運動しているとき発した光に対して明線が観測される反射角は $\beta = \frac{\pi}{3}$ であった。ただし、恒星の速さは光速よりはるかに遅く、このとき運動と垂直な方向に発する光にはドップラー効果は起こらないことが知られている。

- (3) 恒星が運動と垂直な方向に発する光の波長 λ を有効数字 3 桁で求めよ。ただし、 $\sqrt{3} \doteq 1.73$ とする。

恒星が観測者の向きに速さ V で近づいているとき発した光に対して明線が観測される反射角は、測定の結果 $\beta = \frac{\pi}{3}$ よりも $\Delta\beta$ 小さかった。観測者はこの光の波長は $\lambda' = \lambda - \Delta\lambda$ で、 $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 1.00 \times 10^{-6}$ であると結論づけた。

- (4) $\Delta\beta$ の測定値はいくらだったのだろうか。有効数字 3 桁で答えよ。
- (5) 恒星の円運動の速さ V を有効数字 1 桁で求めよ。ただし、真空中の光速を $c = 3.0 \times 10^8$ m/s とする。
- (6) 観測の結果、恒星の円運動の周期は $T = 8.4 \times 10^5$ s であった。恒星の質量がわかっており $M = 2.0 \times 10^{30}$ kg であるとする。惑星の質量 m を有効数字 1 桁で求めよ。ただし、円周率は $\pi = 3.14$ 、万有引力定数は $G = 6.7 \times 10^{-11}$ N \cdot m²/kg² である。

化 学

注 意 問題はⅠ，Ⅱ，Ⅲの3題である。解答に単位が必要なものには単位をつけて記すこと。また，問題文中の体積の単位記号Lは，リットルを表す。

Ⅰ 気体に関する以下の問1～問3に答えよ。問3(1)，問3(3)は解答に至る導出過程も記すこと。

問1 理想気体の状態方程式は $PV = nRT$ で表される。圧力 P の単位は [Pa] であり，単位面積当たりの力 [N/m^2] で表される。体積の単位を [m^3] とすると， $1\text{L} = \boxed{\text{A}}$ m^3 となる。左辺 (PV) の単位は力 [N] と長さ [m] の積で表され，この $\text{N}\cdot\text{m}$ は仕事やエネルギーと同じ [$\boxed{\text{①}}$] で表すことができる。よって左辺は理想気体分子のエネルギーを表している。気体定数 R の単位を $\boxed{\text{①}}$ を用いて表すと

$$R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K}) = \boxed{\text{B}} \left[\boxed{\text{①}} /(\text{mol}\cdot\text{K}) \right]$$

と表される。また気体定数 R をアボガドロ数 (N_A) で割った値はボルツマン定数 (k_B) と呼ばれ， $N_A = 6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$ とすると， $k_B = \boxed{\text{C}} \left[\boxed{\text{①}} /\text{K} \right]$ と表される。これまで温度の基準(定義)に水の三重点 ($0.01\text{ }^\circ\text{C}$) が用いられてきたが，2019年5月20日よりこのボルツマン定数が国際単位(SI)の温度定義に利用されている。

(1) 次の文中の $\boxed{\text{①}}$ に入る適切な単位を記せ。

(2) $\boxed{\text{A}}$ ～ $\boxed{\text{C}}$ に入る数値をそれぞれ有効数字2桁で記せ。

問 2 標準状態で実在気体 1 モルの体積は 22.4 L からわずかにずれる。これは主に理想気体の状態方程式では分子の大きさ、および分子間力を考慮していないためである。分子の大きさを考慮すると、分子が実際に自由に動ける体積は理想気体における体積 V に比べて減少する。この減少分を排除体積とよぶ。気体 1 モルあたりの排除体積を b [L/mol] とすると n モルの実在気体の体積は \boxed{D} [L] と表される。

1 つの分子が壁に 1 回衝突する時に及ぼす力は、分子間力が存在すると減少する。また気体全体でみると、分子間力の存在により単位時間あたりに気体分子が壁に衝突する回数も減少する。実在気体の圧力は下線部の 2 項が関係しており、また分子間力は分子のモル濃度 (n/V) [mol/L] に比例する。従ってこの比例係数を a [Pa·L²/mol²] として整理すると実在気体の圧力 P は次式で表される。

$$P = \frac{nRT}{\boxed{D}} + \boxed{E}$$

- (1) \boxed{D} と \boxed{E} に入る最も適したものを以下の語群の中から選択して解答欄に記入せよ ($a > 0$, $b > 0$ とする)。

語群 $\left[\begin{array}{ccccc} \cdot V + nb & \cdot V - nb & \cdot V + b/n & \cdot V - b/n & \\ \cdot a \frac{n^2}{V^2} & \cdot a \frac{n}{V} & \cdot - a \frac{n^2}{V^2} & \cdot - a \frac{n}{V} & \cdot 2 a \frac{n}{V} \end{array} \right]$

- (2) 7種類の気体について a および b の値と沸点との関係を図1に示す。■と▲で示した気体は窒素もしくはアンモニアのいずれかであり、他の5種のガスは○で表している。■と▲の気体の名称を記せ。また以下の3つの用語を用いて▲の方が■より沸点が高い理由を2行以内で説明せよ。

用語[極性分子, 無極性分子, 係数 a]

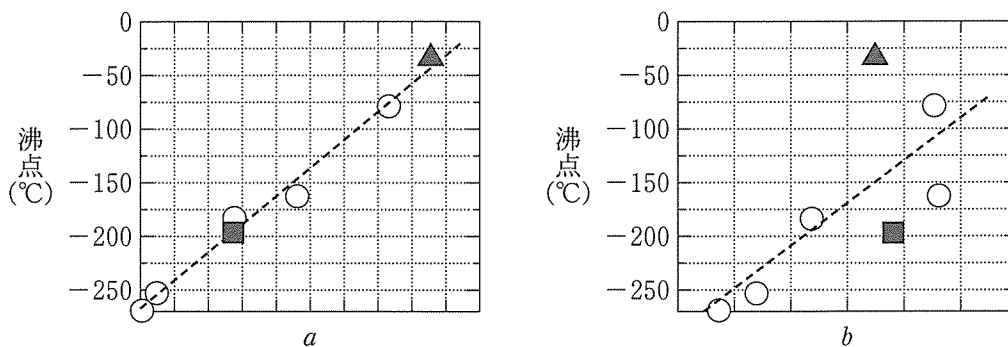


図1 様々な気体の a および b の値と沸点との関係

- (3) 二重下線部について、実在気体の理想気体からのずれは、低温もしくは高温、および、低圧もしくは高圧、のいずれかにおいて特に大きくなる。温度と圧力それぞれ2択のうち、ずれが大きくなる方を選択して、解答欄に丸をつけて答えよ。またなぜその場合にずれが大きくなるか理由を1行で説明せよ。

問 3 発生する気体の質量を測定する実験に関して、炭素・水素・酸素だけからなる 18.8 mg の化合物 X を乾燥した酸素を流しながら加熱して完全燃焼させたところ、二酸化炭素 52.8 mg および水 10.8 mg が得られた。原子量 H : 1.0, C : 12, O : 16 とする。

(1) 化合物 X の分子量は 94 であった。X の分子式を $C_xH_yO_z$ としたとき、 x , y , z の値を求めよ。なお解答に至る導出過程も記すこと。

(2) X の燃焼に対する以下の化学反応式について、係数 ~ に当てはまる数値を答えよ。

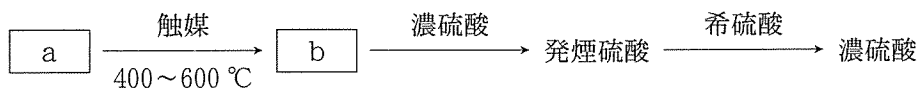


(3) 18.8 mg の X を完全燃焼するのに必要な酸素の質量 (mg) を計算して有効数字 3 桁で記せ。なお解答に至る導出過程も記すこと。

Ⅱ 次の文章を読み、以下の問1～問7に答えよ。問6および問7(3)は、解答に至る導出過程も記すこと。

地下のマグマ中に存在する水素、酸素、塩素、硫黄、炭素、窒素等の元素は、水蒸気、フッ化水素、塩化水素、a、硫化水素、二酸化炭素、水素、窒素、一酸化炭素、メタンなどの火山性ガスとして地表に放出される。

a は、主に高温の火山性ガスに含まれており、水に溶けて弱酸性を示す。人体に対しては、呼吸器を刺激し、せき、気管支ぜんそく、気管支炎などの障害を引き起こすなど大気汚染物質として知られている。また、a は、硫酸の原料であることも知られている。工業的には以下のような触媒反応を含む工程により濃硫酸が作られる。



一方、硫化水素は比較的低温の火山性ガスに含まれており、低濃度では卵が腐ったような不快臭があるが、人体に対する毒性は高く、700 ppm を超えると即死と言われる。水に可溶で弱酸性を示すとともに、2段階で水素イオンを放出する。また、硫化水素の水溶液とaの水溶液を混合すると白濁する。

③ 今、硫化水素飽和水溶液 ($1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$) の電離平衡について、①～③のように考える。

① 水溶液中の硫黄原子の濃度は溶解している硫化水素の濃度 ($1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$) に等しいから次の式が成り立つ。

$$[\text{ア}] + [\text{イ}] + [\text{ウ}] = 1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$$

② 硫化水素は電氣的に中性であるから、正電荷を持つイオンの電荷量の和と負電荷を持つイオンの電荷量の和が等しくなる。

$$[\text{H}^+] = [\text{イ}] + 2[\text{ウ}] + [\text{OH}^-]$$

③ 溶液は酸性であることから $[\text{H}^+] \gg [\text{OH}^-]$ 、また、第一段階の電離定数を K_1 、第二段階の電離定数を K_2 としたとき、 $K_1 \gg K_2$ であることから、 $[\text{イ}] \gg [\text{ウ}]$ が成り立つ。従って①と②の式において $[\text{ウ}]$ ならびに $[\text{OH}^-]$ は近似的に無視できる。

問 1 文章中の と に当てはまる語を、 ~ に当てはまる化学式またはイオン式を記せ。

問 2 下線部(1)の工業的製法は何と呼ばれているか記せ。

問 3 下線部(1)で用いられている触媒の主成分である酸化物の化学式を記せ。

問 4 下線部(2)に示す 2 段階のそれぞれの電離平衡の反応式を記せ。

問 5 下線部(3)の反応で白濁した理由について、化学反応式を用いて 2 行以内で記せ。

問 6 ①~③の条件において、2つの電離定数 K_1 および K_2 を、 $[\text{H}^+]$ と で表せ。また、その際の導出過程も記せ。

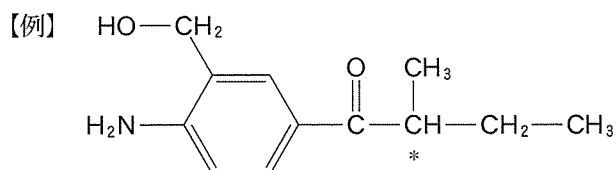
問 7 任意の水素イオン濃度における の濃度を定めるための操作について、以下の小問に全て解答せよ。

- (1) の濃度と の濃度を水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ 、、電離定数 K_1 、 K_2 を用いて記せ。
- (2) ①の式と と の濃度を用いて の濃度を記せ。
- (3) pH 3.0 における の濃度を有効数字 2 桁で記せ。ただしその計算・導出過程を記すこと。なお、電離定数 K_1 および K_2 は、それぞれ $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ 、 $1.3 \times 10^{-14} \text{ mol/L}$ とする。

Ⅲ A, Bともに全員が解答すること。

A 次の文章(a), (b)を読み, 問1～問9に答えよ。構造式は例にならって記すこと。必要であれば, 下の値を用いよ。

原子量 H : 1.0 C : 12 O : 16



(a) 2つのエステル結合をもつ分子式 $\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_4$ の化合物Xを1価アルコールAと2価カルボン酸から合成した。ところが用いたアルコールAには異性体のアルコールBも含まれていたことがわかった。エステルXについて以下の知見が得られた。

- (1) エステルXに水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱した後, 希塩酸を加えて酸性にしたところ, 2価カルボン酸とともに, アルコールAとアルコールBが得られた。
- (2) 分子内脱水によって, アルコールAからは化合物C, D, Eが, アルコールBからは化合物Cが得られた。
- (3) アルコールAとアルコールBを穏やかに酸化すると, それぞれ中性の化合物Fと化合物Gが生成した。
- (4) 2価カルボン酸は分子内脱水し, 化合物Hを与えた。
- (5) アルコールAには光学異性体を区別しないものとする, 自身を含め7種の異性体が存在する。

問 1 化合物 A, B, C, F, G, H の構造を記せ。不斉炭素原子がある場合は、その上または下に * を付けて記すこと。

問 2 化合物 D と E の関係は立体異性体の一種の Y 異性体という。空欄 Y に適切な語を記せ。

問 3 アルコール B に含まれている可能性のあるアルコール A を検出するためにはどうすればよいか。最も適当な方法を選択肢ア～カの中から、またどのような現象が生じるのかを選択肢あ～かの中からそれぞれ選びなさい。

選択肢群 (方法)

- ア 金属ナトリウムを加える。
- イ 無水硫酸ナトリウムを加える。
- ウ 炭酸水素ナトリウムを加える。
- エ 塩化鉄(III)を加える。
- オ フェーリング溶液を加える。
- カ アルカリ性ヨウ素溶液を加えて加熱する。

選択肢群 (現象)

- あ 赤色の沈殿が生じる。
- い 特有の臭気をもつ黄色の沈殿が生じる。
- う 黒色の沈殿が生じる。
- え 赤紫色を呈する。
- お 水素が発生する。
- か 二酸化炭素が発生する。

問 4 化合物 F に含まれている可能性のある化合物 G を検出するためにはどうすればよいか。最も適当な方法を問 3 の選択肢ア～カの中から、またどのような現象が生じるのかを問 3 の選択肢あ～かの中からそれぞれ選びなさい。

問 5 アルコール A の異性体のなかでヒドロキシ基を有しない化合物の構造をすべて記せ。

問 6 化合物 X のなかで、不斉炭素原子を 1 つもつ化合物の構造を例にならって記せ。不斉炭素原子の上または下に * を付けて記すこと。

(b) 2 つのエステル結合をもつ分子量 208 の化合物 Z に水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱した後、希塩酸を加えて酸性にしたところ、アルコール I とカルボン酸 J とカルボン酸 K が 1 : 1 : 1 の物質比で得られた。アルコール I はテレフタル酸との脱水縮合重合によってペットボトルなどの容器として利用される合成高分子の原料である。カルボン酸 J はトルエン(メチルベンゼン)を過マンガン酸カリウムで酸化すると得られる化合物である。カルボン酸 K はアセチレンに硫酸水銀を触媒として水を反応させて生じる化合物 L の酸化によって生成する化合物である。化合物 L は水によく溶ける。

問 7 下線部(1)と同様の反応を *m*-キシレン(*m*-ジメチルベンゼン)に行った場合に予想される生成物の構造を記せ。

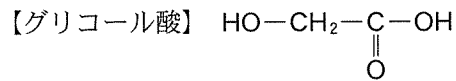
問 8 化合物 L の構造を記せ。

問 9 化合物 Z の構造を記せ。

B 次の文章を読み、以下の問1～問6に答えよ。問6は解答に至る導出過程も記すこと。必要であれば、下の値を用いよ。

原子量 H : 1.0 C : 12 N : 14 O : 16

また、構造式は下のグリコール酸にならって記すこと。



高分子化合物は、あらゆる産業分野で必要不可欠な材料として活用され、炭素を主な骨格とした 高分子化合物と、ケイ素や酸素、リンなどを主な骨格とした 高分子化合物に分類される。また、高分子化合物のうち、デンプンやタンパク質など、自然界に存在するものを 高分子化合物、ポリエチレンやポリプロピレンなど、化石資源由来のものを 高分子化合物という。 高分子化合物の多くは、熱や圧力を加えることによって目的とする形に成形でき、このような性質を示す高分子材料をプラスチックと呼ぶ。熱を加えると軟化し、冷却すると硬化する性質を示すプラスチックを ⁽¹⁾ 樹脂という。プラスチックは、軽く、安価で加工がしやすく、劣化しにくいなど、非常に優れた特性を数多く持つ。例えば、水槽やコンタクトレンズ、光ファイバーなどに用いられる は有機ガラスとも呼ばれ、光の透過性に優れる。また、 を主な高分子成分とする三次元網目構造体は、紙おむつや砂漠の緑化に用いる土壌保水剤などに用いられ、水と接触すると短時間⁽²⁾に吸水・保水し数百倍に膨らむ。

一方、プラスチックの多くは自然環境の中で分解されないために、不要となった大量の廃棄物が社会問題化、さらには環境問題化してきている。そこで、廃棄プラスチックを資源としてリサイクルするための技術⁽³⁾が開発され、実用化されている。また、自然環境中で微生物により高分子量物質を低分子量物質に変換でき、自然界の物質循環システムに組み込むことが可能な生分解性高分子が開発されている。生分解性の 高分子化合物として、ポリ乳酸やポリグリコール酸およびその共重合体⁽⁴⁾などがある。

問 1 文中の空欄 ~ に当てはまる適当な語を記せ。

問 2 文中の空欄 , に当てはまる高分子化合物の単量体の構造式をグリコール酸にならって記せ。

問 3 下線部(1)と異なり, 初めは軟らかい樹脂状で, 型に入れ, 熱を加えることにより硬化して得られ, 一度硬化した後, 再び熱しても軟らかくならないプラスチック(高分子材料)の具体的な樹脂の名称を 2 つ記せ。

問 4 下線部(2)に関して, 多量の水を短時間で吸収できる理由を 2 行以内で記せ。

問 5 下線部(3)に関して, プラスチックを化学反応により分解し, 原料の単量体や有用な物質に変換し, 資源として再利用するリサイクル技術の名称を記せ。

問 6 下線部(4)に関して, ラクチド(乳酸 2 分子の脱水縮合による環状二量体)とグリコリド(グリコール酸 2 分子の脱水縮合による環状二量体)を共重合させて, 組成比で 6 : 1 のポリ(ラクチド-グリコリド)共重合体を合成した。得られた共重合体の平均分子量は 2.0×10^5 であった。この 1 分子中にエステル結合が平均して何個含まれているかを求め, 3 桁目を四捨五入して有効数字 2 桁で記せ。なお, 解答に至る導出過程も記すこと。また, 高分子化合物の末端部分は無視してもよい。