

2025年度

<工 学 部>
理 科 問 題
(物理・化学)

物理：2～9ページ 解答用紙2枚
化学：10～22ページ 解答用紙2枚

注 意 事 項

- 1 問題冊子は、監督者が「解答始め」の指示をするまで開かないこと。
- 2 問題冊子や解答用紙に脱落のあった場合には申し出ること。
- 3 すべての解答用紙の所定欄に、それぞれ受験番号（左右2箇所）、氏名を必ず記入すること。
- 4 解答は、すべて解答用紙の所定欄に記入すること。物理の解答は、その導出過程も解答用紙の所定欄に記入すること。
- 5 解答以外のことを書いたときは、該当箇所の解答を無効とすることがある。
- 6 解答用紙の裏面は計算等に使用してもよいが、採点はしない。
- 7 解答終了後、配付された解答用紙はすべて提出すること。
- 8 問題冊子の余白は下書きに使用してもよい。
- 9 問題冊子は持ち帰ること。

問題訂正

科目名：中期日程 理科問題 (物理)

《訂正箇所》 3 ページ 第 1 問 2 行目について (一部削除)

時刻 $t = 0$ で ~~S を a 側につないだ直後の~~ V_{cd} の値 . . .

(余 白)

物 理

第 1 問 (60点)

一様な磁場の中で、レール上にある角棒が示す運動を考察しよう．図1のように、十分に長く、電気抵抗が無視できる2本の直線状の細いレールが、水平面上に間隔 L で平行に置かれている．これらのレールの上に、質量が m で、長さ L あたりの抵抗値が R の金属の角棒をレールに対して直角に置く．角棒は、その底面を2本のレールと常に接しながら、レールに対して直角を保ったまま動くものとする．磁束密度 B の一様な磁場が、図1の灰色の領域に対して鉛直上向きにかけられている．また、レールには、電源および角棒と同じ抵抗値 R の電気抵抗、直流電圧計が、スイッチ S を介して取り付けられている．電気抵抗は温度に依存せず、自己誘導や空気の影響は無視できるものとする．電子の電荷を $-e$ ($e > 0$)、重力加速度の大きさを g として、以下の空欄 (1a) ~ (12) を埋めよ．ただし、(4) は選択肢の中から最も適切なものを選び記号で答え、(9a) は適切な語句を答えよ．その他の空欄は空欄内に指定された物理量の中から必要なものを用いて適切な式を答えよ．なお、星印(★)のある空欄については解答の導出過程を書かなくてよい．

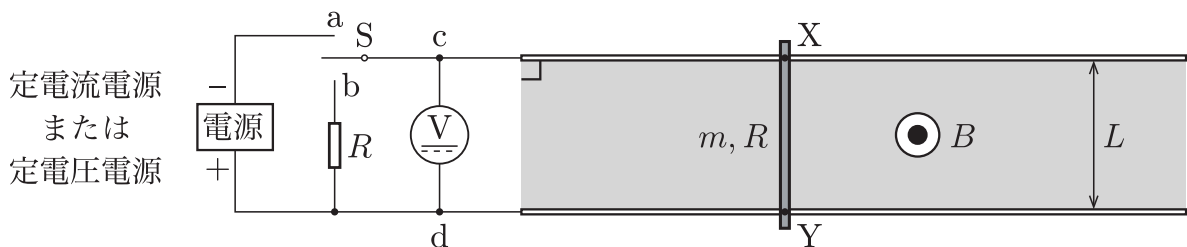
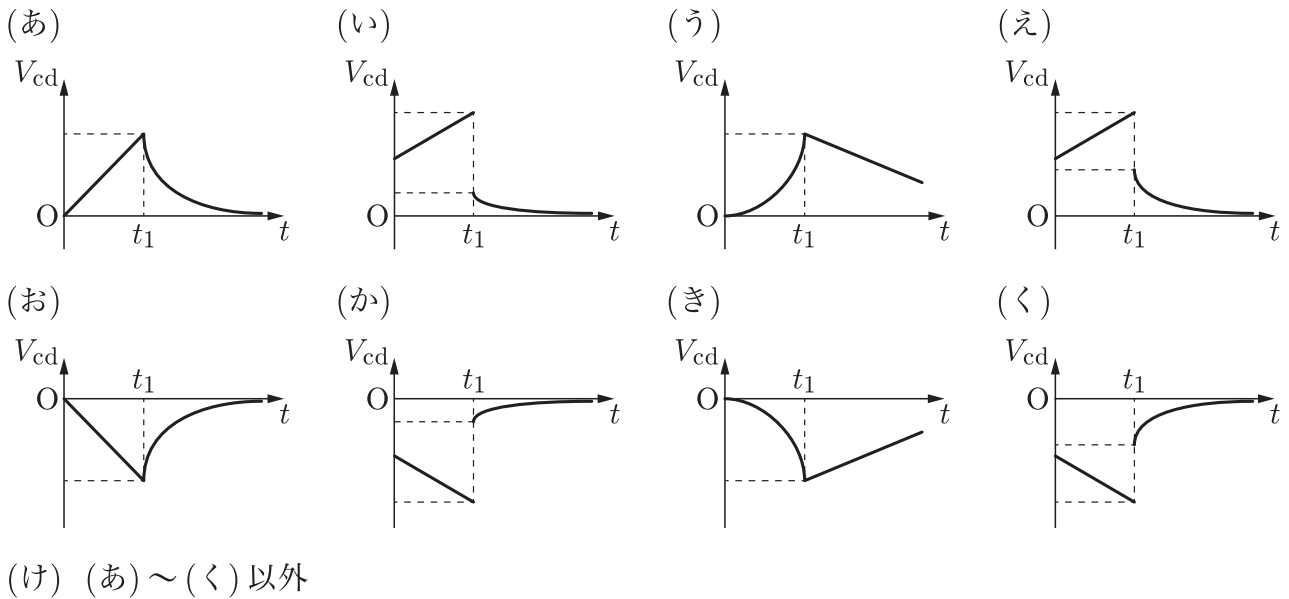


図1

はじめに、電流値を一定に保つことができる電源(定電流電源)を用いて、角棒とレールの間に摩擦がない場合を考えよう．角棒を固定した状態から、スイッチ S を a 側につないで定電流電源の電流を I_0 ($I_0 > 0$) に設定し、時刻 $t = 0$ で角棒を静かに放した．このとき、角棒には電源から遠ざかる向きに大きさ (1a)★ B, I_0, L の力がはたらき、角棒が動き始めた．時刻 t ($t > 0$) における角棒の速さは (1b) m, t, B, I_0, L である．図1のように、角棒とレールの接点を X, Y とする．時刻 t ($t > 0$) において X - Y 間に生じる誘導起電力は、接点 Y を電位の基準として (2)★ m, t, B, I_0, L となる．さらに時間が経過し、時刻 $t = t_1$

でスイッチ S を b 側に切り替えた. d より c の電位が高い場合を正として, c-d 間の電圧 V_{cd} の時間変化を考えよう. 時刻 $t = 0$ で S を a 側につないだ直後の V_{cd} の値 V'_{cd} と $t = t_1$ で b 側に切り替えた直後の V_{cd} の値 V''_{cd} との比は, $\frac{V''_{cd}}{V'_{cd}} = \boxed{(3) m, t_1, B, L, R}$ となる. また, V_{cd} の時間変化を表すグラフとして最も適切なものを以下の選択肢 (あ) ~ (け) から選ぶと $\boxed{(4)^*}$ になる.



$\boxed{(4)}$ の選択肢

つぎに, 図 1 の電源を一定の電圧に保つことができる定電圧電源につなぎ変え, 角棒と 2 本のレールの間に摩擦力がはたらく場合を考えよう. はじめはスイッチ S は切れており, 角棒は静止していた. 定電圧電源の出力電圧を V_0 ($V_0 > 0$) に設定し, S を a 側につないだところ, 角棒はレールの上を電源から遠ざかる向きにすべり始めた. すべり始めた後の角棒の加速度の大きさを α , 角棒に流れる電流の大きさを I とし, 角棒と 2 本のレールの間の動摩擦係数を μ' とする. このとき, 角棒の運動方程式は $m\alpha = \boxed{(5)^* g, m, B, I, L, \mu'}$ と表される. 角棒がすべり始めて速さ v で動いているとき, 角棒に流れる電流の大きさは $\boxed{(6) v, B, L, R, V_0}$ で与えられる.

角棒がすべり始めてから十分に時間が経過すると, 角棒に流れる電流の大きさと角棒の速さが一定となった. そのときの電流の大きさは $\boxed{(7) g, m, B, L, \mu'}$ と表すことができる. 角棒に流れる電流と角棒の速度が一定になったのち, 単位時間あたりに図 1 の回路で発

生ずるジュール熱は $(8)^* g, m, B, L, R, \mu'$ となる。単位時間あたりに電源がする仕事は、ジュール熱に加えて別のエネルギー（熱など）にも変換される。この変換は $(9a)^*$ の力によって生じる。 $(9a)$ の力によって単位時間あたりに変換されるエネルギーは、力の大きさと速さのみで表すことができ、その値は $(9b) g, m, B, L, R, V_0, \mu'$ となる。

最後に、図2のようにレールを水平面から傾けた場合について考えよう。図1と同様に、磁束密度 B の一様な磁場が、水平面内の灰色の領域に対して鉛直上向きにかけられている。また、角棒は、その底面を2本のレールと常に接しながら、レールに対して直角を保ったまま動くものとする。はじめに、スイッチ S を切り、回路に電流が流れていない場合を考える。水平面とレールのなす角度 θ を徐々に増加させたとき、角度 θ_0 で角棒が下方にすべり始めた。力のつり合いを考えると、角棒と2本のレールの間の静止摩擦係数 μ は $(10)^* \theta_0$ となる。

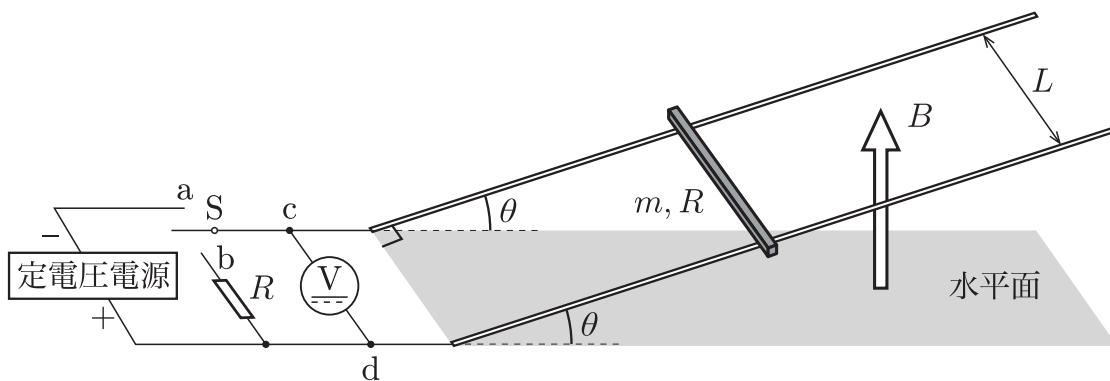


図2

つづいてレールの角度を θ_1 ($\theta_1 < \theta_0$) に固定して角棒をレール上に静止させた。スイッチ S を a 側に接続し、電源の出力電圧を 0 から徐々に上げたところ、ちょうど電圧が V_1 を超えたところで、角棒はレールに沿って上側にすべり始めた。電圧が V_1 のとき、レールがつくる斜面に対する力のつり合いの式は $\frac{V_1 BL}{R} \cos \theta_1 = mg \sin \theta_1 + \boxed{(11) g, m, B, L, R, V_1, \theta_1, \mu}$ となる。よって V_1 は、以下の加法定理のうち適切なものを用いて表すと $\frac{mgR}{BL} \times \boxed{(12) m, \theta_0, \theta_1}$ となる。

(加法定理)

$$\begin{aligned} \sin(\alpha + \beta) &= \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta & \sin(\alpha - \beta) &= \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta \\ \cos(\alpha + \beta) &= \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta & \cos(\alpha - \beta) &= \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta \\ \tan(\alpha + \beta) &= \frac{\tan \alpha + \tan \beta}{1 - \tan \alpha \tan \beta} & \tan(\alpha - \beta) &= \frac{\tan \alpha - \tan \beta}{1 + \tan \alpha \tan \beta} \end{aligned}$$

(以下余白)

物 理

第 2 問 (60点)

絶対温度 T 、圧力 p の大気中での音速を求めるため、長さ L 、断面積 S の円筒状の開管内における気柱の振動 (音) について考える。気柱の振動は管の断面に垂直で、振動による空気の圧縮・膨張は断熱変化であり、開口端補正は無視できるものとする。また、空気は理想気体とみなすことができるものとする。円周率を π 、気体定数を R 、空気の定積モル比熱を C_V として、以下の空欄 (1a) ~ (12b) を埋めよ。ただし、(12b) には適切な数値を入れ、その他の空欄は各空欄内に指定された物理量の中から必要なものを用いて適切な式を答えよ。なお、星印 (★) のある空欄については解答の導出過程を書かなくてよい。

図1のように管の左端を原点 O として管に沿って x 軸をとり、時刻 t 、位置 x における空気の変位 u について考えよう。気柱の固有振動は、周期 τ 、波長 λ 、振幅 A が等しく、互いに逆向きに進む正弦波を重ね合わせた定在波 (定常波) として表され、 $x = 0$ で腹となる条件より、変位 u は

$$u = f(x, t) = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{\tau} - \frac{x}{\lambda} \right) + A \sin 2\pi \left(\frac{t}{\tau} + \frac{x}{\lambda} \right) = 2A \sin \left(2\pi \frac{t}{\tau} \right) \cos \left(2\pi \frac{x}{\lambda} \right) \quad (i)$$

と表される。また、 u が $x = L$ で腹となる条件より、 m を正の整数として $\lambda = \boxed{(1a)^* L, m}$ を満たす。音速 (音の速さ) v と波長および周期との関係は $v = \boxed{(1b)^* \lambda, \tau}$ である。

位置 x を固定して考えると、式 (i) より、変位は単振動と同様の時間変化を示す。また、弦楽器の場合と同様に、管内の空気の変位は、一般に、異なる m をもつ定在波の重ね合わせとして表される。したがって、各点での変位は振動数の異なる複数の単振動の和の形となる。以下では、空気の振動をばねでつながれた N 個の小球の振動におきかえて考えよう。

振動のない状態で、図2のように、管内の空気を幅 $h = \frac{L}{N}$ で等分割した N 個の領域の各

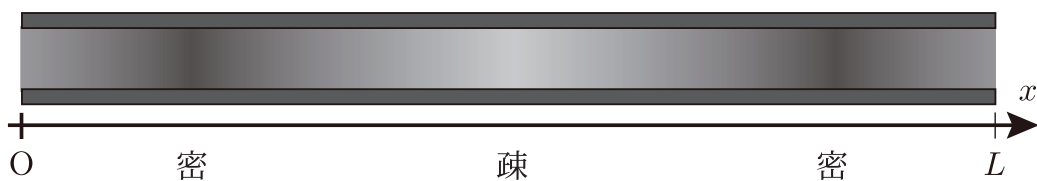


図1 開管内の気柱 濃淡はある瞬間における空気の圧力の変化を示している。

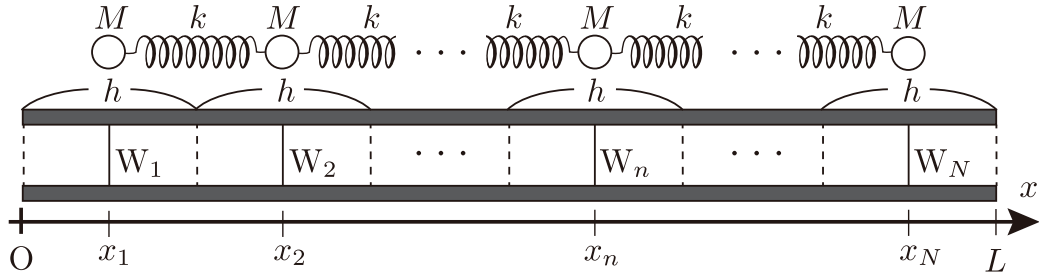


図2 変位のない場合の仮想的な壁と対応する小球

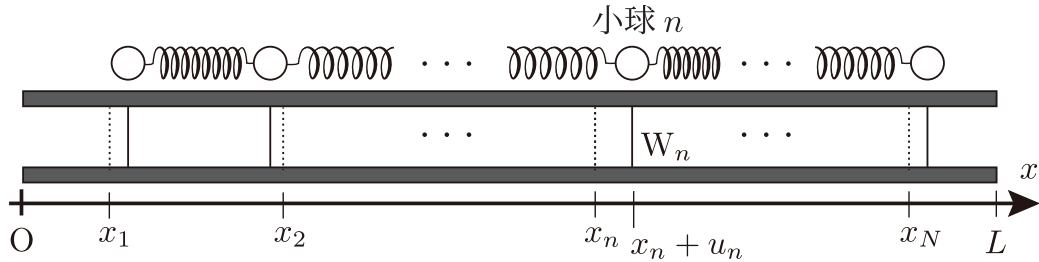


図3 振動している場合の仮想的な壁と対応する小球

中点の位置 $x_n = \left(n - \frac{1}{2}\right)h$ に、空気を通さない仮想的な壁 W_n を考える ($n = 1, 2, \dots, N$). 壁を中心とした幅 h の範囲にある管内の空気の質量を M とし、それぞれの壁の位置に質量 M の小球があると考えよう. 空気の振動によりそれぞれの壁が x 方向に変位するとき, 対応する小球も同様に変位するものとし, また, 隣り合う2つの壁にはさまれた空間では各時刻での空気の密度と圧力は一様であるとする. 以下では, W_n に対応する小球を「小球 n 」とし, その変位を u_n とする (図3参照). それぞれの壁 (小球) は, 壁の変位により生じる圧力差によって力を受ける. 小球にはたらくこの力を質量が無視できる自然長 h のばねによる力とみなそう.

ばね定数 k を定めるため, 壁の変位にともなう圧力の変化量を考える. 隣り合う2つの壁の間の距離が h から $h + \Delta h$ へとわずかに変化したとき, これらの壁と管で囲まれた空気に対して ΔW の仕事になされ, この空気の絶対温度 T と圧力 p がそれぞれ $T + \Delta T$, $p + \Delta p$ へとわずかに変化したとしよう. ボイル・シャルルの法則を用いると, $\frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta h}{h} + \left(2\right) \frac{\Delta h}{h}, \frac{\Delta p}{p}$ の関係が成り立つ. いま, 断熱変化を考えており, また, 状態方程式を用いると物質量が p, S, h, T, R によって表されることから, 熱力学第一法則により $\Delta W = \left(3a\right)^* C_V, R, S, p \times h \frac{\Delta T}{T}$ となる. 一方, 仕事 ΔW は, Δh が小さいことから圧力の変化を無視すると $\Delta W = \left(3b\right)^* S, p \times \Delta h$ と近似できる. これら3つの関係式から ΔW および $\frac{\Delta T}{T}$ を消去し, $\frac{\Delta h}{h} \times \frac{\Delta p}{p}$ は $\frac{\Delta h}{h}$ および

$\frac{\Delta p}{p}$ と比べて十分小さいとして無視すると, $\frac{\Delta p}{p} = \boxed{(4a) C_V, R} \times \frac{\Delta h}{h}$ となる. したがって, W_n と W_{n+1} の間の空気の圧力の変化量はこれらの間の距離の変化量 $u_{n+1} - u_n$ に比例することがわかり, ばね定数は $k = \boxed{(4a)} \times \boxed{(4b) S, h, p}$ となることがわかる. また, 開管であるため, W_1 および W_N の外側では圧力は p に保たれている. この条件を満たすためには, 対応する小球を持たない壁 W_0 および W_{N+1} を考え, それらの変位が $u_0 = u_1, u_{N+1} = u_N$ であるとすればよい.

N 個の小球の運動について考えよう. 小球 n にはたらく力は $\boxed{(5)^* k, u_{n-1}, u_n, u_{n+1}}$ である. まず, $N = 3$ の場合について考える. このとき, $u_0 = u_1, u_4 = u_3$ である.

ア) 小球 1, 2, 3 の加速度の x 成分をそれぞれ a_1, a_2, a_3 とすると, 小球 1, 2, 3 の運動方程式は $Ma_1 = \boxed{(6a)^* k, u_1, u_2}$, $Ma_2 = \boxed{(6b)^* k, u_1, u_2, u_3}$, $Ma_3 = \boxed{(6c)^* k, u_2, u_3}$ となる.

イ) 小球 1 とともに移動する観測者 A から見た小球 3 の運動を考えると, 小球 3 には慣性力がはたらく. 小球 1 の運動方程式より A の加速度は変位によって表されるので, この慣性力も変位を用いて表される. A から見た小球 3 の加速度の x 成分を α_1 とし, $U_1 = u_3 - u_1$ とすると, $M\alpha_1 = \boxed{(7a)^* U_1, k}$ となり, A から見た小球 3 の運動は角振動数 $\boxed{(7b)^* M, k}$ の単振動となる. 小球 1 および 3 の運動方程式と方程式 $M\alpha_1 = \boxed{(7a)}$ を比較すると, $\alpha_1 = a_3 - a_1$ であると考えればよいことがわかる.

ウ) 小球 1 と小球 3 の中点とともに移動する観測者 B から見た小球 2 の運動を考える. $U_2 = u_2 - \frac{u_1 + u_3}{2}$ として, イ) と同様に, B から見た小球 2 の加速度の x 成分 α_2 は $a_2 - \frac{a_1 + a_3}{2}$ であると考えてよいので, $M\alpha_2 = \boxed{(8a)^* U_2, k}$ となり, B から見た小球 2 の運動は角振動数 $\boxed{(8b)^* M, k}$ の単振動となる.

エ) 系にはたらく力は内力のみで, その重心は静止しており, 振動の有無にかかわらず $u_1 + u_2 + u_3 = 0$ となる. したがって, $u_1 = -\frac{U_1}{2} - \frac{U_2}{3}$, $u_2 = \frac{2U_2}{3}$, $u_3 = \frac{U_1}{2} - \frac{U_2}{3}$ と表され, それぞれの小球の変位は 2 つの単振動で表すことができる.

オ) B から見て小球 2 が静止している場合, および A から見て小球 3 が静止している場合のそれぞれについて, 式 (i) との対応を考えると, 系の振動は, ちょうど $m = 1$ および $m = 2$ の λ を持つ定在波とそれぞれ対応する. 実際, $x_1 = \frac{1}{6}L$, $x_2 = \frac{1}{2}L$, $x_3 = \frac{5}{6}L$

に対して、式 (i) を用いて $u_1 = f(x_1, t)$, $u_2 = f(x_2, t)$, $u_3 = f(x_3, t)$ とおくと、 U_1 および U_2 のいずれかのみで表される変位は、 $m = 1$ および $m = 2$ の定在波とそれぞれ対応することが確かめられる。

次に、一般の N の場合について考える。上記の (オ) と同様に $u_n = f(x_n, t)$ であるとする。ここで、 $x_0 = x_1 - h$, $x_{N+1} = x_N + h$ として、 $u_0 = f(x_0, t)$, $u_{N+1} = f(x_{N+1}, t)$ であるとする。開管の条件は満たされる。このとき、 x_0 と x_1 の中点および x_N と x_{N+1} の中点は $f(x, t)$ の腹となり、たしかに $u_1 = u_0$ および $u_N = u_{N+1}$ となることがわかる。波長 λ は $m = 1, 2, \dots, N - 1$ に対応する値であり、周期 τ は運動方程式から定まる。式 (i) は単振動と同様の形であるので、小球 n の加速度の x 成分は $(9)^* \tau \times u_n$ となる。また、公式 $\cos(\theta + \phi) = \cos\theta \cos\phi - \sin\theta \sin\phi$ を用いると、 $f(x + h, t) + f(x - h, t)$ は $f(x, t)$ を用いて表されるので、小球 n にはたらく力は $(10) k, h, \lambda \times u_n$ と表される。したがって、 $M \times (9) = (10)$ の条件から τ が定まり、小球は式 (i) の定在波に対応した運動を示すことがわかる。ここで、 h は λ と比べて十分小さいとして、 $|\varepsilon|$ が 1 より十分小さい場合に成り立つ近似式 $\cos\varepsilon \doteq 1 - \frac{\varepsilon^2}{2}$ を用いると、 (10) は λ^2 に反比例する形に表され、音速は $v = (11a) k, h, M$ と表される。また、空気の密度 ρ を用いると $v = (11b) C_V, R, p, \rho$ となる。

音速 v は、 $(11b)$ より $(12a) T$ に比例することがわかる。空気の温度が $15^\circ\text{C} = 288\text{K}$ のときの音速を 340m/s とすると、 $|\varepsilon|$ が 1 より十分小さい場合に成り立つ近似式 $(1 + \varepsilon)^\beta \doteq 1 + \beta\varepsilon$ を用いて、 303K での音速は有効数字 3 桁で $(12b)$ m/s となる。

(以下余白)

化 学

第 1 問 (24点)

次の表は元素の周期表の一部である。これらの元素について、問1から問6に答えよ。
原子量は $H = 1.0$, $C = 12$, $O = 16$, $Ca = 40$ とする。

族 周期	1	2	3 ~ 12	13	14	15	16	17	18
1	H								He
2	Li	Be		B	C	(ア)	O	F	Ne
3	Na	Mg		(イ)	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	遷移元素	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr							

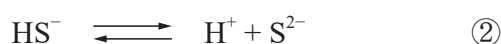
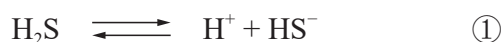
Sc	Ti	V	Cr	Mn	(ウ)	Co	Ni	Cu	Zn
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd

問1 次の (あ) ~ (お) の記述のうち、誤りを含むものを一つ選び、記号で答えよ。

- (あ) 貴ガスを除く原子番号が 1 ~ 20 の元素について、原子の電気陰性度は周期表の右上側にある元素ほど大きい。
- (い) 原子番号が 1 ~ 20 の元素の中で、ヘリウム原子は、最も大きなイオン化エネルギー（第一イオン化エネルギー）をもつ。
- (う) 17 族の元素の水素化合物であるフッ化水素、塩化水素、臭化水素のうち、最も沸点が高いのは臭化水素である。
- (え) アルカリ土類金属元素の単体は同じ周期のアルカリ金属元素の単体よりも融点が高く、密度が大きい。
- (お) アルカリ金属元素の単体は還元作用が強く、ハロゲン元素の単体は酸化作用が強い。

問2 元素 (ア) の単体の分子 1 個がもつ非共有電子対は何組あるか答えよ。

問3 Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} をそれぞれ 0.10 mol/L 含む水溶液に、 25°C で $\text{pH} 3$ に保ったまま H_2S を十分に通じると沈殿が生じた。この沈殿に含まれるすべての化合物の化学式を答えよ。ただし、 H_2S の飽和水溶液中の濃度は 0.10 mol/L とし、 CuS , ZnS , CdS の溶解度積はそれぞれ $6.5 \times 10^{-30} \text{ mol}^2/\text{L}^2$, $2.2 \times 10^{-18} \text{ mol}^2/\text{L}^2$, $2.1 \times 10^{-20} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ とする。また、 H_2S は水溶液中で次の式①と式②のように2段階で電離し、それぞれの電離定数 K_1 , K_2 は $9.5 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$, $1.3 \times 10^{-14} \text{ mol/L}$ とする。



問4 カルシウムと炭素の化合物である炭化カルシウムは、水と容易に反応して、アセチレンを生成する。 300 K , $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ で 24.9 L のアセチレンを生成させるためには、少なくとも何 g の炭化カルシウムを反応させる必要があるか。整数で答えよ。ただし、アセチレンは理想気体としてふるまい、気体定数は $8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ とする。

問5 元素(イ)の酸化物が水酸化ナトリウム水溶液に溶ける反応を化学反応式で記せ。

問6 元素(ウ)に関する記述として正しいものを、次の(あ)～(お)の中からすべて選び、記号で答えよ。

(あ) 単体は濃硝酸によく溶ける。

(い) 単体を硫酸銅(II)水溶液に浸すと、銅の単体が析出する。

(う) 単体に亜鉛をめっきしたものをブリキという。

(え) この元素の酸化物にはハーバー・ボッシュ法における触媒として用いられるものがある。

(お) この元素の3価のイオンを含む水溶液に、水酸化ナトリウム水溶液を加えると、緑白色の沈殿が生じる。

化 学

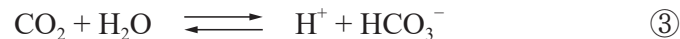
第 2 問 (24点)

次の文章を読み、問1から問5に答えよ。

代表的な大気汚染物質である 硫黄酸化物や窒素酸化物が空気中でさらに酸化されると、硫酸 H_2SO_4 や 硝酸 HNO_3 に変化する。これらは強酸であり、酸性雨の原因物質として知られている。一方、空気中にアンモニア NH_3 が存在すると H_2SO_4 や HNO_3 は中和され、 $\text{PM}_{2.5}$ など微小粒子状物質の主要な成分である硫酸アンモニウム $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ や硝酸アンモニウム NH_4NO_3 が生成する。常温付近では、 H_2SO_4 と NH_3 からは $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ が式①のように不可逆的に生成する一方、 HNO_3 と NH_3 から NH_4NO_3 が生成する反応は式②のように可逆反応であることが知られている。



空気中に H_2SO_4 や HNO_3 のような酸が存在しない場合でも、自然水には空気中の二酸化炭素 CO_2 が溶けており、例えば雨水は一般に弱酸性である。水に溶けた CO_2 は、次の式③と式④のように電離し、水素イオンが生成するとともに、炭酸水素イオン HCO_3^- や炭酸イオン CO_3^{2-} が生成する。



$$\text{p}K_3 = -\log_{10}K_3 = 6.3$$



$$\text{p}K_4 = -\log_{10}K_4 = 10.3$$

ただし、 K_3 [mol/L] と K_4 [mol/L] はそれぞれ式③と式④の 25°C における電離定数である。

問1 下線部(a)について、二酸化硫黄に関する次の(あ)～(え)の記述のうち、**誤りを含むもの**を一つ選び、記号で答えよ。

- (あ) 硫黄原子の酸化数は+4である。
- (い) 酸性酸化物である。
- (う) ヨウ素の単体と反応すると、硫黄の単体が生成する。
- (え) 銅に熱濃硫酸を加えると発生する。

問2 下線部(b)に関連して、希硝酸と銅を反応させると、硝酸の一部が還元され、一酸化窒素が発生する。この反応を化学反応式で記せ。

問3 下線部(c)について、次の(1)と(2)の問いに答えよ。ただし、 NH_3 、 HNO_3 は気体、 H_2SO_4 は液体、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 は固体で存在するものとし、容器内に存在する固体と液体の体積は無視できるものとする。また、式①と式②以外の反応は起こらないものとする。

(1) 容積一定の10 Lの密閉容器に NH_3 、 HNO_3 、 H_2SO_4 をそれぞれ 8.0×10^{-3} mol、 2.0×10^{-3} mol、 3.0×10^{-3} mol加えた。ある温度に保ったところ、式①と式②の反応が進行し、最終的に式②の反応が平衡状態に達した。このとき容器内に存在する HNO_3 の物質は何 molか。有効数字2桁で答えよ。ただし、式②の平衡定数 K_2 は $9.0 \times 10^{18} \text{ L}^2/\text{mol}^2$ とする。

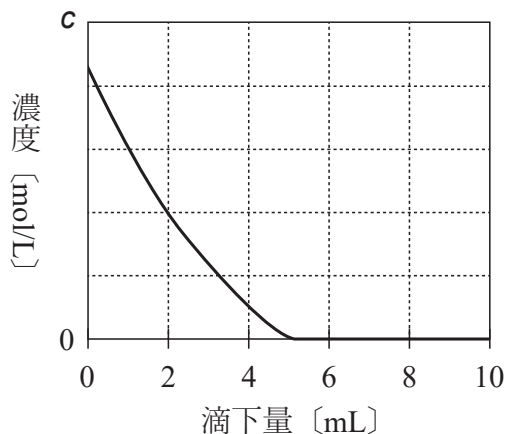
(2) (1)の平衡状態から容器内の HNO_3 の物質を増加させる操作を、次の(あ)～(お)の中からすべて選び、記号で答えよ。ただし、 NH_3 、 HNO_3 、 NH_4NO_3 の生成エンタルピーはそれぞれ -46 kJ/mol 、 -134 kJ/mol 、 -366 kJ/mol とする。

- (あ) 容器内の温度を上げる。
- (い) 温度一定のままアルゴンを加える。
- (う) 温度一定のまま H_2SO_4 を加える。
- (え) 温度一定のまま NH_3 を加える。
- (お) 温度一定のまま NH_4NO_3 を加える。

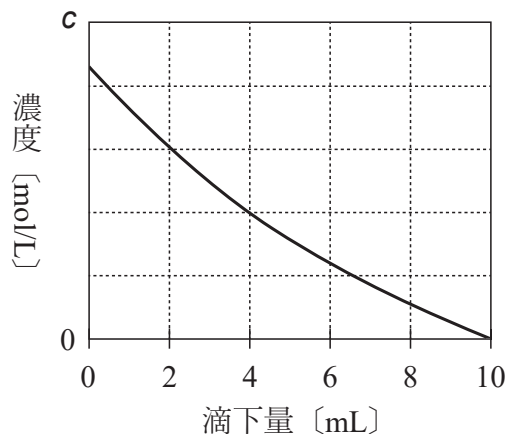
問4 下線部(d)に関連して、水溶液中の HCO_3^- と CO_3^{2-} の濃度比はpHに依存する。25℃において、 HCO_3^- と CO_3^{2-} のモル濃度の比が1:6となるpHはいくらか。答えは四捨五入して小数第一位まで求めよ。ただし、 $\log_{10}2 = 0.30$ 、 $\log_{10}3 = 0.48$ とし、式③と式④以外の反応は起こらないものとする。

問5 下線部(d)に関連して、濃度 c [mol/L] の炭酸ナトリウム水溶液 10 mL に、同じ濃度 c [mol/L] の希塩酸 10 mL を滴下した。このときの滴下量と HCO_3^- 、 CO_3^{2-} の濃度の関係を示すグラフとして最も適切なものを、次の (あ) ~ (か) の中からそれぞれ選び、記号で答えよ。ただし、空気と水溶液の間での CO_2 の出入りは無視できるものとする。

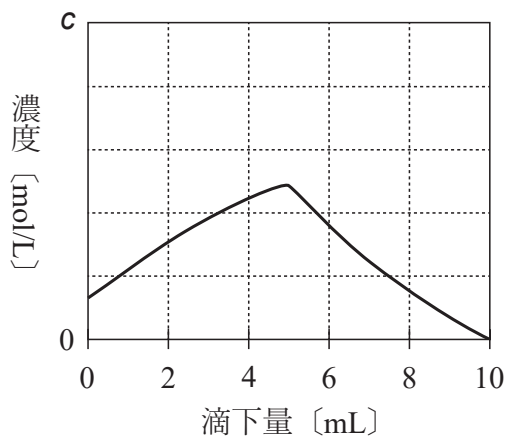
(あ)



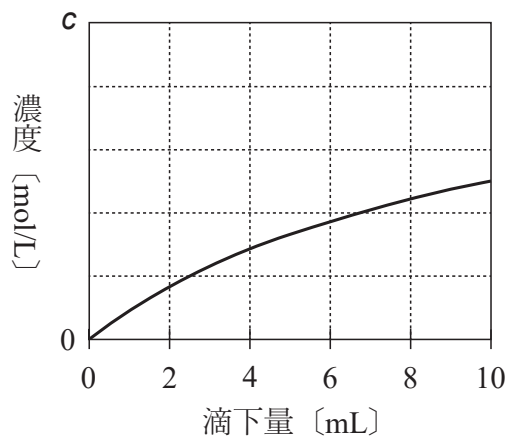
(い)



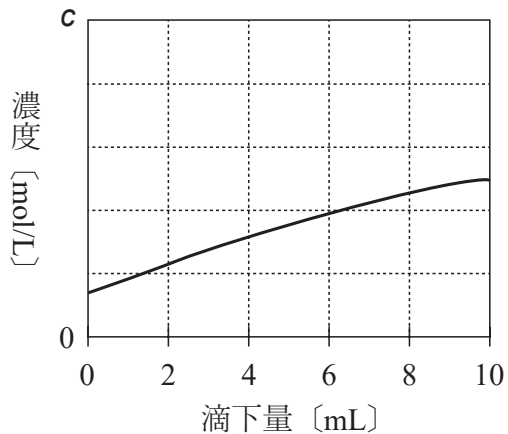
(う)



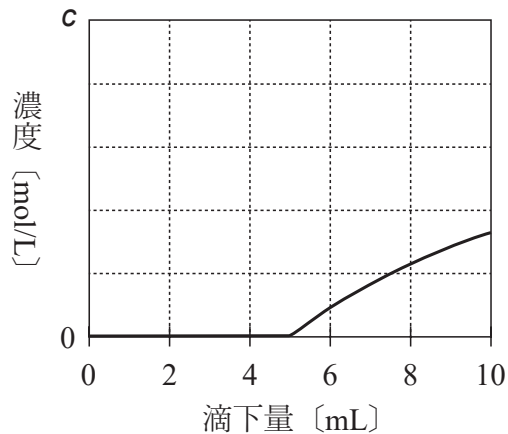
(え)



(お)



(か)



(余 白)

化 学

第 3 問 (24点)

次の文章を読み、問1から問5に答えよ。原子量は $H = 1.0$, $O = 16$, $S = 32$, $Pd = 106$ とする。

水素は、燃焼時に発生する質量当たりの熱量が大きく、二酸化炭素を排出しないことから、新しいエネルギー源として注目されている。 $25\text{ }^\circ\text{C}$, $1.013 \times 10^5\text{ Pa}$ において、水素 1.00 kg の完全燃焼で発生する熱量は $1.43 \times 10^5\text{ kJ}$ である。これは、燃料電池自動車では 100 km ほどの走行が可能となるエネルギー量に相当する。実験室では、陰極、陽極に白金を用い、水酸化ナトリウム水溶液を電気分解することで、水素と酸素が得られる。水素と酸素はいずれも水への溶解度が小さいため、水上置換により捕集できる。

水素社会の実現に向けて、再生可能エネルギーを用いた水素の製造や、その安定的な貯蔵・運搬のための水素吸蔵材料の開発に関する研究が行われている。また、再生可能エネルギーによる電力を安定供給するために、二次電池の開発も進められている。

問1 下線部(a)の記述から求められる水素の燃焼エンタルピーは何 kJ/mol か。整数で答えよ。

問2 下線部(b)に関連する次の(1)と(2)の問いに答えよ。

(1) 下線部(b)において、陽極で起こる反応を電子 e^- を含むイオン反応式で記せ。

(2) 白金電極を用いる電気分解により水素と酸素が発生する電解質水溶液を、次の

(あ)～(お)の中からすべて選び、記号で答えよ。

(あ) 塩化ナトリウム水溶液 (い) 塩酸 (う) 水酸化カリウム水溶液

(え) 硫酸カリウム水溶液 (お) 硫酸銅(II)水溶液

問3 下線部(c)に関連して、300 K、 1.0×10^5 Paの酸素は、1.0 Lの水に 1.0×10^{-3} mol 溶ける。容積1.80 Lの密閉容器に、1.50 Lの水（酸素は溶けていないものとする）と0.020 molの酸素を入れ、容器内の温度を300 Kに保った。十分に時間が経過し、容器内の圧力が一定になったとき、水に溶解している酸素の物質量は何 mol か。有効数字2桁で答えよ。ただし、酸素の水への溶解はヘンリーの法則に従うものとし、水の蒸発と酸素の溶解にともなう水の体積変化は無視できるものとする。また、気体は理想気体としてふるまい、気体定数は 8.3×10^3 Pa・L/(mol・K)とする。

問4 下線部(d)について、水素吸蔵材料の一種であるパラジウム Pd は、面心立方格子の結晶構造をとる。Pdに水素を吸蔵させたところ、質量が0.80%増加し、体積が12%増加した。水素を吸蔵したPdの密度は何 g/cm³ か。有効数字2桁で答えよ。ただし、Pdが水素を吸蔵するとき、パラジウム原子は面心立方格子の配置を保ったまま、単格格子の体積が増加するものとする。また、水素吸蔵前のPdの単格格子の体積は 6.0×10^{-23} cm³、アボガドロ定数は 6.0×10^{23} /molとする。

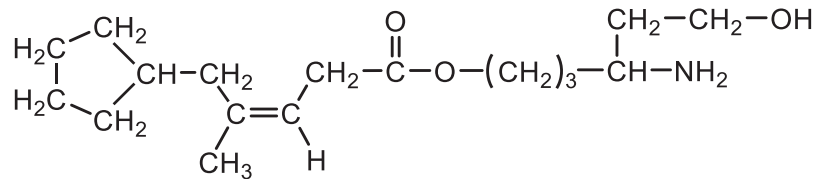
問5 下線部(e)に関連して、鉛蓄電池を一定時間放電したところ、0.500 molの電子が流れた。このとき、鉛蓄電池内において、放電開始前に質量パーセント濃度が28.0%で体積1.00 Lであった希硫酸の濃度が変化していた。放電後の希硫酸の質量パーセント濃度は何%か。有効数字3桁で答えよ。ただし、質量パーセント濃度が28.0%の希硫酸の密度は1.20 g/cm³とする。

化 学

第 4 問 (24点)

次の文章を読み、問1から問3に答えよ。原子量は $H = 1.0$, $C = 12$, $O = 16$ とする。なお、構造式は例にならって記せ。

(例)



分子式が $C_5H_8O_2$ である化合物 **A** ~ **D** は、炭素原子間に二重結合をもつカルボン酸である。**A** ~ **D** のうち、**A** のみ不斉炭素原子をもつ。また、**B** ~ **D** はいずれも二重結合を形成する炭素原子にカルボキシ基が直接結合した構造をもつ。**B** と **C** は互いにシス-トランス異性体の関係にあり、**B** がシス形、**C** がトランス形である。**D** にはシス-トランス異性体が存在しない。**B** ~ **D** に触媒を用いて水素を付加させると、**B** と **C** はカルボン酸 **E** となり、**D** はカルボン酸 **F** となった。なお、**E** と **F** は不斉炭素原子をもたない。

A ~ **D** と同じ分子式 $C_5H_8O_2$ である化合物 **G** と **H** は、エステル結合をもつ。また、**G** は炭素原子間に二重結合をもち、**G** を加水分解すると、最終的にプロピオン酸と化合物 **I** が得られた。一方、**H** は六員環構造をもち、(a) 水酸化ナトリウム水溶液を用いて **H** を加水分解すると、化合物 **J** が生じた。

問1 分子式が $C_5H_8O_2$ である化合物 2.6 g を完全燃焼させるとき、発生する二酸化炭素の物質量は何 mol か。有効数字 2 桁で答えよ。

問2 **A**, **B**, **D**, **I** の構造式をそれぞれ記せ。ただし、鏡像異性体は区別しなくてよい。

問3 下線部 (a) の反応を、化学反応式で記せ。有機化合物はすべて構造式で記すこと。

(余 白)

化 学

第 5 問 (24点)

次の文章を読み、問1から問5に答えよ。原子量は $H = 1.0$, $C = 12$, $O = 16$ とする。

天然高分子化合物の一種である多糖は、人類の生活に不可欠な分子である。デンプンにはアミロースと アミロペクチンの2つがある。これらは、酵素により 二糖を経て単糖である グルコースまで分解される。グルコースは、生物のエネルギー源となる。また、グルコースのアルコール発酵によりエタノールが生じ、この反応は酒類の製造に利用される。 β -グルコースが縮合した構造をもつセルロースは、衣類などの原料として用いられる。セルロースを、テトラアンミン銅(II)イオンを含む濃アンモニア水に溶かし、細孔から希硫酸中に押し出すと、アの一種である銅アンモニアレーヨンが得られる。一方、セルロースのヒドロキシ基をアセチル化した後、一部のエステル結合を加水分解して得たジアセチルセルロースは、イの一種であるアセテート繊維の原料となる。

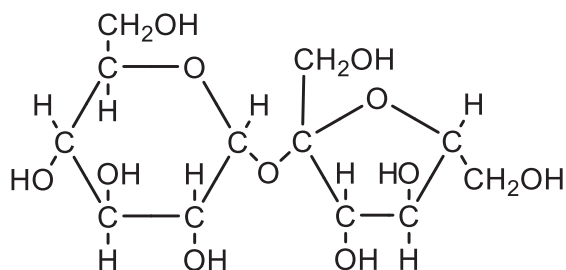
問1 文中の ア，イ にあてはまる最も適切な語句を、次の (あ) ~ (お) の中からそれぞれ選び、記号で答えよ。

- (あ) 合成繊維 (い) 再生繊維 (う) 植物繊維
(え) 動物繊維 (お) 半合成繊維

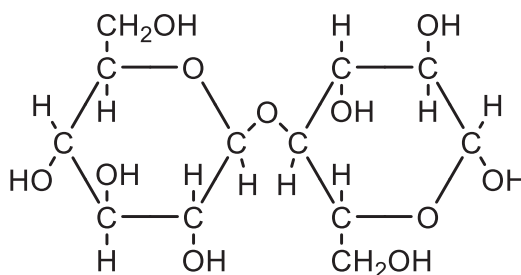
問2 下線部(a)に関連して、アミロペクチンは、 α -グルコースが1,4結合 (α -1,4-グリコシド結合) と1,6結合 (α -1,6-グリコシド結合) でつながった枝分かれ構造をもつ多糖である。アミロペクチンに含まれるすべてのヒドロキシ基のうち、 α -グルコース単位中の6位の炭素原子に結合したヒドロキシ基の割合は31%であった。また、このアミロペクチンに含まれるグリコシド結合を完全に加水分解したところ、分子数が 2.0×10^5 倍に増えた。加水分解前のアミロペクチン中のすべてのグリコシド結合のうち、1,6結合の割合は何%か。四捨五入して整数で答えよ。ただし、アミロペクチンの分子量は十分に大きいものとする。

問3 下線部(b)に関連して、二糖 **A** ~ **D** はスクロース、セロビオース、トレハロース、マルトース、ラクトースのいずれかである。**A** ~ **D** を単糖に加水分解したところ、すべての二糖からグルコースが生じ、**B** と **C** からはグルコースのみが生じた。**B** は β -グルコースの1位の炭素原子と別のグルコースの4位の炭素原子が、グリコシド結合でつながった構造をもつ二糖である。**A** のみが還元性を示さなかった。**D** を加水分解するとグルコースと単糖 **E** が生じ、**E** はグルコースの立体異性体であった。**B** と **D** を、次の (あ) ~ (お) の中からそれぞれ選び、記号で答えよ。

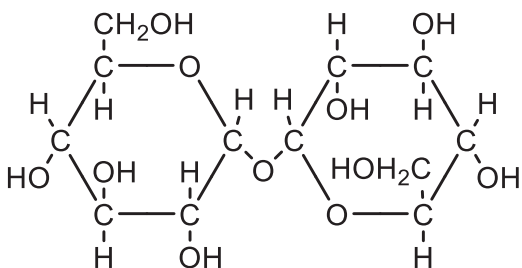
(あ) スクロース



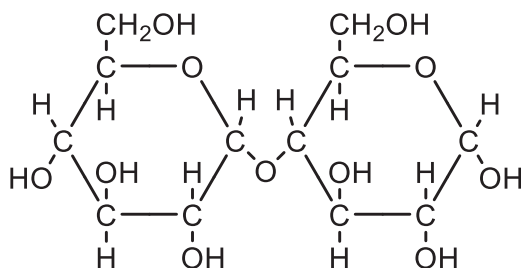
(い) セロビオース



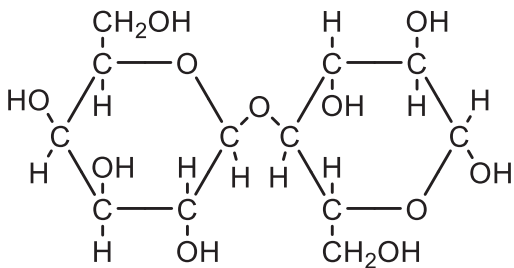
(う) トレハロース



(え) マルトース



(お) ラクトース



問4 下線部(c)に関連して、グルコース(分子量180)がフェーリング液と反応すると、グルコースのホルミル基が酸化された化合物**X**が生じる。さらに、**X**を無水酢酸と反応させると、**X**に含まれるすべてのヒドロキシ基が反応した化合物**Y**が生じる。**Y**の分子量はいくらか。整数で答えよ。ただし、**Y**は電離していないものとする。

問5 下線部(d)について、この反応を化学反応式で記せ。化合物はすべて分子式で記すこと。

(以 下 余 白)