

2026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：10～20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いたり裏返したりしないこと。
- 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。

本試験問題の一部あるいは全部について、いかなる方法においても複写・複製など、著作権法上で規定された権利を侵害する行為を行うことは禁じられています。

問題訂正

科目名：中期日程 理科問題（物理）

《訂正箇所》 8 ページ 第2問 (9)

誤

・・・，電流計は何 A を示すか。

正

・・・，電流計を流れる電流の大きさは何 A か。

(余 白)

物 理

第 1 問 (60点)

台車と台車上の剛体の板の運動について考えよう．図 1 のように，水平な床の上に置かれた台車の上面に，一辺の長さが L の一様な薄い正方形の剛体板を立てかける．板の質量を M とし，台車の壁と板のなす角を θ ($\theta < 45^\circ$) とする．板と台車の上面の間には静摩擦係数 μ の摩擦力がはたらくが，板と台車の壁の間に摩擦はないものとする．台車は x 軸の方向に床の上をなめらかに運動するものとする．台車の車輪は軽く，台車の上面は水平である．重力加速度の大きさを g として，以下の空欄 (1) ~ (12) を埋めよ．ただし，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．

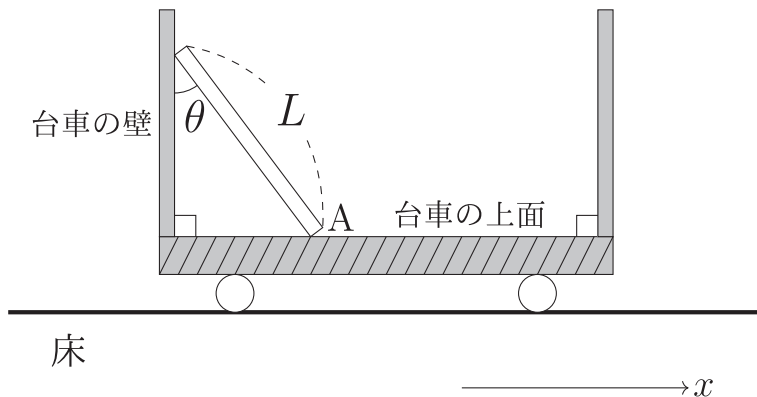


図 1

はじめに，板が台車に対して静止したままの状態ですべての物理量が一定で，台車が一定速度で x 軸方向に運動している場合について考える．台車を横から見て，板と台車の上面の接点を A とする．板にはたらく重力の点 A のまわりでの力のモーメントの大きさは (1)★ M, g, θ, L である．いま，板にはたらく力のモーメントのつり合いを考えると，台車の壁から板にはたらく垂直抗力の大きさは (2)★ M, g, θ, L であることがわかる．板が台車に対して静止したままであることから，静摩擦係数に対して $\mu \geq$ (3)★ θ が成り立つ．

つぎに，図 2 のように，壁にとりつけられた軽いばねに台車を衝突させる場合について考える．ばね定数を k とし，ばねは x 軸の方向に伸び縮みするものとする．台車の質量を

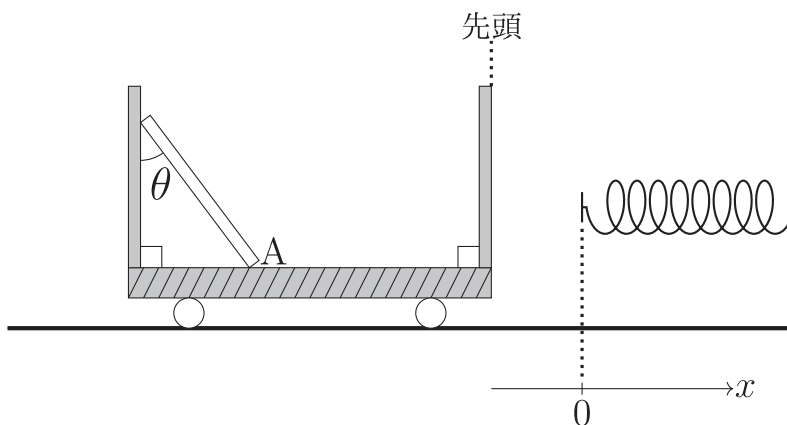


図 2

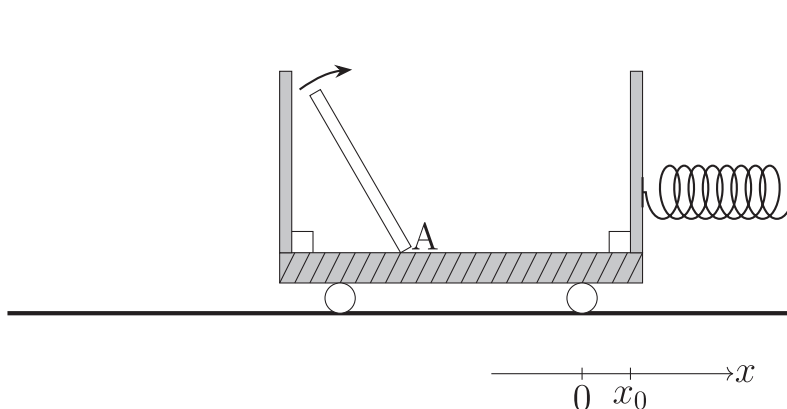


図 3

M_D , 衝突前の台車の速さを v_0 とする. また, 自然長におけるばねの左端の位置を $x = 0$ とし, 台車の先端の x 座標の値を x で表す. 台車がばねにぶつかってからしばらくの間は, 板は台車に対して静止したままであったが, x がある値 x_0 を超えると, 板の下端はすべることなく点 A で台車の上面に接したまま, 板の上端は台車の壁から離れて動き始めた (図 3).

$0 < x < x_0$ の場合, 台車の加速度の大きさは $(4) M, M_D, k, x$ である. また, このときの台車の速さは $(5) M, M_D, k, x, v_0$ である.

台車とともに運動する観測者から見て, 板が壁を離れる直前の慣性力を含めた力のモーメントのつり合いを考えると, $x_0 = (6) M, M_D, k, g, \theta$ であることがわかる. また, $x = x_0$ で板がすべり出さなかったことから, $\mu \geq (7) \theta$ が成り立つ.

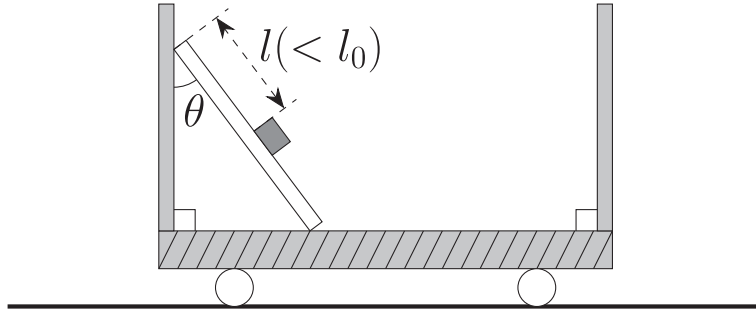


図 4

最後に、いったん床に対して台車と板を静止させ、板の上端に質量 m の小物体をのせて、静かに放した。小物体は板の上をすべり始めたが、はじめのうち、板は台車に対して静止したままであった (図 4)。板の上端から小物体までの距離を l とする。小物体が板の下端に達する前、 l がある値 l_0 を超えると、板は台車の上面をすべり始めた。板と小物体の間の摩擦は無視できるものとする。また、以下では板の質量 M は小物体の質量 m や台車の質量 M_D と比べて十分小さいとして、 $M = 0$ とする。

$l < l_0$ の場合の台車と小物体の運動について考える。板に対する小物体の速さと加速度の大きさをそれぞれ v, α とする。小物体および台車の床に対する速度をそれぞれ考えると、運動量保存則により、床に対する台車の速さは $(8) m, M_D, v, \theta$ となる。床に対して静止した観測者から見ると系の力学的エネルギーは保存されるため、質量と同じ単位をもつ物理量 M_e を用いて

$$\frac{1}{2} M_e v^2 = mgl \cos \theta \quad (a)$$

の形の関係式が成り立つ。ただし、 $M_e = (9) m, M_D, \theta$ である。ここで、 α は一定であることが確かめられるので、 l と v を α と時刻を用いて表すことができ、これらと (a) の関係式を合わせると $\alpha = (10) m, M_e, g, \theta$ であることがわかる。

台車とともに運動する観測者から見たとき、小物体が板を押す力の大きさを F とする。 $l < l_0$ の場合、台車の壁から板にはたらいっている垂直抗力は、 F を使って $(11a) F, \theta, L, l$ と表すことができる。また、台車の上面から板にはたらいっている摩擦力は $(11b) F, \theta, L, l$ と表すことができる。ただし、水平右向きが正であることに注意せよ。以上から $l_0 = (12) \theta, L, \mu$ となる。

(以下余白)

物 理

第 2 問 (60点)

電球やダイオードでは、流れる電流が加えた電圧に比例しない。これらの素子を含む回路について、以下の(1)～(11)の問いに答えよ。なお、星印(★)のある問いについては解答の導出過程を書かなくてよい。

(1)★ 図1のような電圧 V [V] と電流 I [A] の関係を示す電球 L を、図2のように R [Ω] の抵抗と直列につなぎ、端子電圧 E [V] の直流電源に接続した。このとき L を流れる電流 I は何 A か。 V , R , E を用いて表せ。

(2)★ 図2の回路で $R = 20 \Omega$, $E = 2.6 \text{ V}$ としたとき、回路を流れる電流は何 A か。

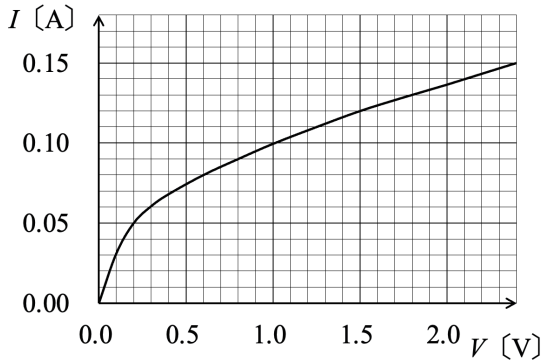


図 1

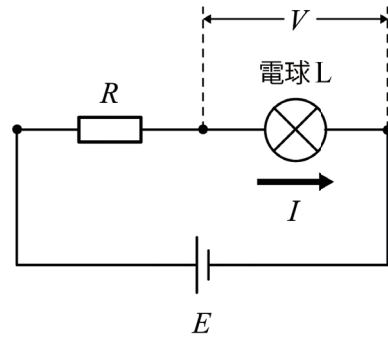


図 2

ダイオードは電流を一方向にのみ流す整流作用をもつ。ダイオードの種類の一つに、ホールをキャリアとする p 型半導体と電子をキャリアとする n 型半導体とを接合して作られるものがある。半導体のキャリアの種類と数はホール効果を利用して調べることができる。

幅 a [m], 長さ b [m], 厚さ c [m] の直方体の半導体に対して、図3のように x, y, z 軸をとり、 y 軸の正の向きに一定の電流 I_y [A] を流し、 z 軸の正の向きに磁束密度 B_z [Wb/m²] の一様な磁場をかけた。その結果、 x 軸の負の向きに電場が生じ、 x 軸に垂直な2つの側面の電位差は V_x [V] となった。 y 軸方向に電流を流すキャリアは磁場から x 軸の (あ) の向きに力を受け、 x 軸の負の向きに電場を生じたことから、キャリアの電荷は (い) であることがわかる。

(3)★ 下線部の空欄(あ), (い)には「正」または「負」の文字が入る。それぞれ適切な文字を答えよ。

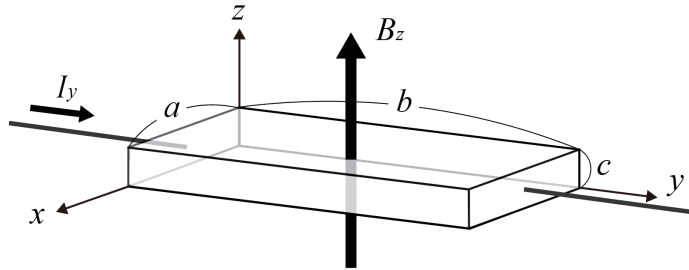


図3

(4) 1個のキャリアが磁場から受ける力の大きさは何Nか. 単位体積あたりのキャリアの数を n [個/ m^3]として, n, a, c, B_z, I_y を用いて表せ.

(5) キャリア1個の電気量を q [C]として, n を q, c, B_z, I_y, V_x を用いて表せ.

表1および図4のような順方向の電圧 V_D [V]と電流 I_D [A]の関係を示すダイオードDを, 図5のように R_2 [Ω]の抵抗と並列につなぎ, 端子電圧 E_2 [V]の直流電源に接続した.

(6)* 図5の回路で電源から流れる電流を J [A]として, ダイオードDを流れる電流 I_D を J, R_2, E_2 を用いて表せ.

(7) 図5の回路で $R_2 = 12 \Omega$ として, E_2 を表1に示されている V_D の値の中の1つに設定したところ, $J = 0.058 \text{ A}$ となった. E_2 は何Vであったか.

表1

| V_D [V] | I_D [A] |
|-----------|-----------|
| 0.00 | 0.000 |
| 0.50 | 0.005 |
| 0.52 | 0.008 |
| 0.54 | 0.013 |
| 0.56 | 0.022 |
| 0.58 | 0.036 |
| 0.60 | 0.060 |
| 0.62 | 0.100 |

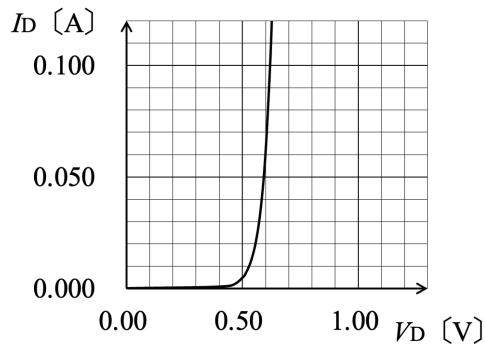


図4

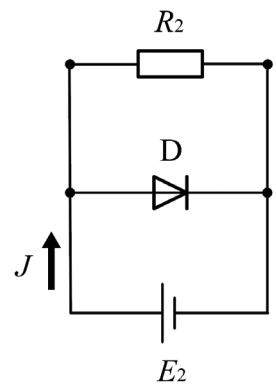


図5

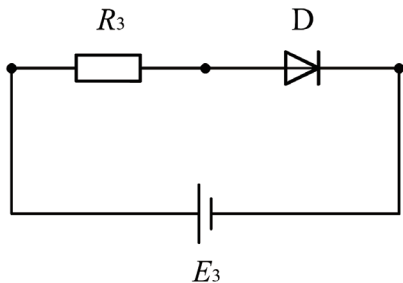


図 6

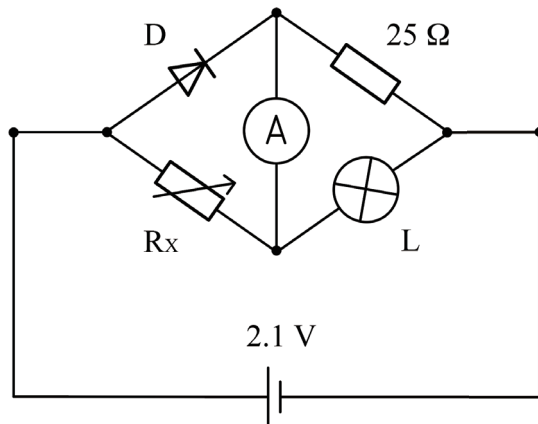


図 7

表 1 および図 4 の電圧 V_D と電流 I_D の関係を示すダイオード D は、 V_D が 0.6 V 付近では、 V_D が少し変化しただけで I_D が大きく変化する。しかし、図 6 のようにダイオード D と R_3 [Ω] の抵抗を直列につなぎ、直流電源に接続した回路では、電源の端子電圧 E_3 [V] が変化しても、抵抗での電圧降下によってダイオードに加わる電圧の変化を抑えることができる。

- (8)* 図 6 の回路で $R_3 = 45 \Omega$ として、回路を流れる電流が 0.060 A となるとき電源の端子電圧と、回路を流れる電流が 0.036 A となるとき電源の端子電圧との差は何 V か。

電圧と電流の関係が図 1 のように表される電球 L と、電圧と電流の関係が表 1 および図 4 のように表されるダイオード D を、可変抵抗 R_x 、 25Ω の抵抗、内部抵抗が無視できる電流計および端子電圧 2.1 V の直流電源を用いて図 7 のように接続した。

- (9) 図 7 の回路で L に加わる電圧が 1.6 V のとき、電流計は何 A を示すか。
- (10) 図 7 の回路で R_x の抵抗をある値にすると、D に加わる電圧 V_D が表 1 に示されている値の中の 1 つに等しくなり、電流計は 0 A を示した。このとき、L を流れる電流は何 A であったか。また、 R_x は何 Ω であったか。

最後にダイオードの整流作用を利用した図8、図9の2つの装置を考える。どちらの装置も、端子Aの電位 V_A および端子Bの電位 V_B は+5 Vまたは0 Vのいずれかの値をとるものとし、図9の装置の端子Hの電位はつねに+5 Vとする。以下では簡単のため、4つのダイオード D_1, D_2, D_3, D_4 はいずれも順方向にのみ電流を流し、電流が流れるときの順方向電圧はいつでも0.6 Vになるものとする。また、ダイオードに順方向に電圧が加えられても0.6 V未満のときには電流は流れないものとする。

(11)* 図8、図9の装置において端子Cの電位が+4 V以上となる場合を、それぞれ次の選択肢(a)~(d)の中からすべて選び、記号で答えよ。ただし、該当する選択肢がない場合は「なし」と答えよ。

- (a) V_A, V_B のどちらも+5 V の場合
- (b) V_A が+5 V, V_B が0 V の場合
- (c) V_A が0 V, V_B が+5 V の場合
- (d) V_A, V_B のどちらも0 V の場合

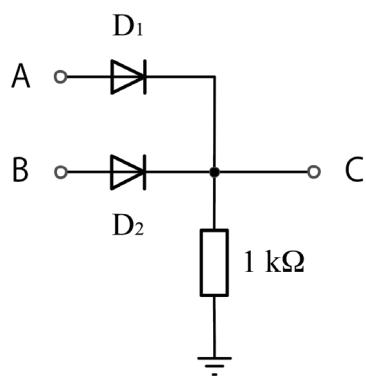


図8

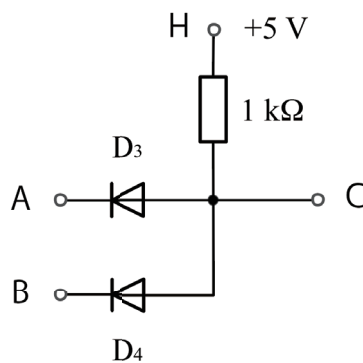


図9

(以下余白)

化 学

第 1 問 (24点)

次の文章を読み、問1から問5に答えよ。原子量は $C=12$ 、 $Al=27$ とし、アボガドロ定数は $6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$ 、ファラデー定数は $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ とする。

単体のアルミニウムは溶融塩電解により製造されている。ボーキサイトを精製して得られる (a) アルミナを融解した氷晶石に溶かし、炭素を電極として電気分解すると、アルミニウムの単体は陰極に析出する。一方、陽極では電極の炭素が反応し、一酸化炭素と二酸化炭素が発生する。 アルミニウムは (b) 両性金属 であり、塩酸とも水酸化ナトリウム水溶液とも反応して溶ける。また、硫酸アルミニウムと硫酸カリウムの混合水溶液を濃縮すると、複数の塩が結合した複塩である (c) ミョウバン とよばれる正八面体の結晶が得られる。

問1 アルミニウムに関する次の (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) アルミニウムは周期表の13族に属し、原子は価電子を3個もつ。
- (い) アルミニウムは、軽量で強度が高いジュラルミンの主成分である。
- (う) アルミニウムの粉末と酸化鉄(III)の粉末を混ぜて点火すると、激しく反応し、融解した単体の鉄が生じる。
- (え) アルミニウムの単体は銅の単体よりも融点が高い。

問2 アルミニウムの単体は面心立方格子の結晶構造をとり、その単位格子の一辺の長さは $4.05 \times 10^{-8} \text{ cm}$ である。アルミニウムの密度は何 g/cm^3 か。有効数字2桁で答えよ。ただし、 $(4.05)^3 = 66$ とする。

問3 下線部 (a) について、 $1.00 \times 10^5 \text{ A}$ の電流で 1.93×10^4 秒間電気分解したとき、陽極から発生した一酸化炭素と二酸化炭素の物質量の比は1:2であった。このとき、陽極の炭素の質量は何 kg 減少したか。有効数字2桁で答えよ。ただし、流れた電流はすべて電気分解に用いられるものとし、電気分解以外での陽極における炭素の質量の減少は無視できるものとする。

問4 下線部 (b) に関連して、亜鉛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5 下線部 (c) のミョウバン $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (硫酸カリウムアルミニウム十二水和物) について、次の (1) と (2) の問いに答えよ。

(1) ミョウバンの水溶液にアンモニア水を加えると沈殿が生じた。生じた沈殿の化学式を記せ。

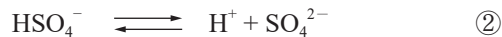
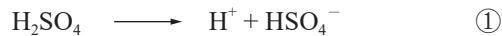
(2) 60°C のミョウバンの飽和水溶液 100 g がある。この水溶液を 35°C に冷却すると、ミョウバンは何 g 析出するか。有効数字 2 桁で答えよ。ただし、硫酸カリウムアルミニウム $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$ は、水 100 g に 35°C で 10 g 、 60°C で 25 g 溶けるものとする。また、ミョウバン 1.00 g あたり、水和水 (結晶水) は 0.46 g 含まれるとする。

化 学

第 2 問 (24点)

次の文章を読み、問1から問6に答えよ。

水溶液中ではほぼすべて電離する酸を強酸という。硫酸は強酸であり、次の式①と式②のように電離する。

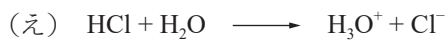
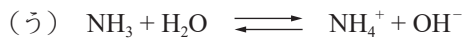
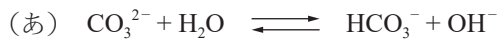


式①に示すように、 H_2SO_4 は H^+ と HSO_4^- にほぼすべて電離するが、 HSO_4^- については式②に示すように電離平衡の状態にある。酸と塩基の中和によって生じた塩は水に溶けると電離する。

電離度が小さい酸は弱酸に分類される。カルボン酸は弱酸であり、無極性溶媒に溶けるものもある。安息香酸をベンゼンに溶かすと、一部の安息香酸分子が分子間の水素結合によって二量体を形成し、この二量体が1つの分子としてふるまう。希薄溶液の凝固点降下度は溶質の種類に無関係で、溶液中のすべての溶質粒子の質量モル濃度に比例する。

ハロゲン化水素は水によく溶け、フッ化水素の水溶液(フッ化水素酸)は弱酸であるが、その他のハロゲン化水素の水溶液は強酸である。フッ化水素酸は二酸化ケイ素を溶かすため、ガラス製ではなくポリエチレン製の容器で保存される。

問1 次の(あ)～(え)の化学反応式のうち、下線を付けた物質がブレンステッド・ローリーの定義による酸としてはたらくものをすべて選び、記号で答えよ。



問2 下線部 (a) に関して，濃度 c [mol/L] の希硫酸の水素イオン濃度は $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ において 5.0×10^{-3} mol/L であった． c [mol/L] を有効数字2桁で答えよ．ただし， H_2SO_4 は H^+ と HSO_4^- にすべて電離するものとし， $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ における式②の電離定数は 1.0×10^{-2} mol/L とする．

問3 次の記述 I ~ IV に示す特徴をもつ酸 **A** ~ **E** は，濃塩酸，濃硝酸，濃硫酸，希硝酸，希硫酸のいずれかである．濃硝酸，希硫酸にあてはまるものを，**A** ~ **E** の中からそれぞれ選び，記号で答えよ．

I **A** と **B** を適切な割合で混合したものは金を溶かす．

II 銀は **B** や **C** と反応して溶ける．

III **D** は亜鉛や鉄と反応して水素を発生するが，銅とは反応しない．

IV 銅は加熱した **E** と反応して溶ける．

問4 下線部 (b) に関連して，水に硝酸カリウムを溶かすと水温は下がる．硝酸カリウムの水への溶解による，エンタルピーと乱雑さ（エントロピー）のそれぞれの変化について正しい記述を，次の（あ）～（え）の中から一つ選び，記号で答えよ．

（あ）エンタルピーも乱雑さ（エントロピー）も増加する．

（い）エンタルピーは増加し，乱雑さ（エントロピー）は減少する．

（う）エンタルピーは減少し，乱雑さ（エントロピー）は増加する．

（え）エンタルピーも乱雑さ（エントロピー）も減少する．

問5 下線部 (c) に関して，ベンゼン 1.0×10^2 g に安息香酸（分子量 122）0.61 g を溶かした希薄溶液の凝固点は，ベンゼンの凝固点に比べて 0.16 K 低かった．このとき，溶液中において二量体を形成せず 1 分子として存在する安息香酸の物質量は何 mol か．有効数字2桁で答えよ．ただし，ベンゼンのモル凝固点降下は $5.12\text{ K}\cdot\text{kg/mol}$ とする．また，安息香酸が二量体として存在する比率は温度によらないものとし，ベンゼン中において安息香酸は電離しないものとする．

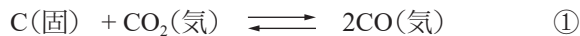
問6 下線部 (d) の反応を化学反応式で記せ．

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 $H = 1.0$, $C = 12$, $N = 14$, $O = 16$, $Na = 23$ とする。また、気体はすべて理想気体としてふるまうものとし、気体定数は $8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$ とする。

炭素の単体には、黒鉛やダイヤモンドなどの が存在する。炭素原子と酸素原子が結合すると、一酸化炭素 CO や二酸化炭素 CO_2 ができる。これらの気体は、^(a)黒鉛を燃焼させると生成する。^(b)高温の黒鉛と CO_2 から CO が生成する反応は式①で表され、ある温度で平衡状態に達する。



実験室で CO は、ギ酸を とともに加熱すると得られる。一方、 CO_2 は化合物 **A** に希塩酸を加えると発生し、 により捕集される。

石灰水に CO_2 を通じると、**A** の白色沈殿が生じる。^(c)さらに CO_2 を通じ続けると **A** の沈殿が消える。また、水酸化ナトリウム水溶液に CO_2 を通じると、化合物 **B** が生じる。工業的に **B** は、塩化ナトリウムの飽和水溶液にアンモニアを吸収させた後、 CO_2 を通じて析出させた ^(d)化合物 **C** の熱分解によりつくられる。

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

- | | | | |
|----------|----------|-----------|----------|
| (あ) 異性体 | (い) 同位体 | (う) 同素体 | (え) 希硫酸 |
| (お) 濃硫酸 | (か) 希塩酸 | (き) アンモニア | (く) 上方置換 |
| (け) 下方置換 | (こ) 水上置換 | | |

問2 下線部(a)に関して、次の(1)と(2)の問いに答えよ。

- (1) 密閉容器に黒鉛、0.80 mol の窒素、および 0.20 mol の酸素を入れて加熱したところ、すべての黒鉛が完全燃焼した。0 °C、 1.013×10^5 Pa において、反応後の容器内に存在する気体の密度は 1.35 g/L であった。反応後の容器内に存在する CO₂ の物質量は何 mol か。有効数字 2 桁で答えよ。
- (2) 黒鉛 1.00 mol が完全燃焼するときに生じる熱量は何 kJ か。有効数字 3 桁で答えよ。ただし、気体の CO、CO₂、および O₂ の分子内の結合を切断し原子にするのに必要なエネルギーは、それぞれ 1074 kJ/mol、1606 kJ/mol、498.0 kJ/mol とし、気体の CO の生成エンタルピーは -111.0 kJ/mol とする。

問3 下線部(b)に関して、密閉容器中における、ある温度での式①の平衡状態について考える。平衡状態から CO₂ 分子の数を減少させる操作として適切な記述を、次の(あ)～(お)の中からすべて選び、記号で答えよ。ただし、黒鉛と CO₂ の反応は吸熱反応である。また、黒鉛の体積は無視できるものとする。

- (あ) 全圧を一定に保ち、容器内の温度を高くする。
- (い) 温度と容積を一定に保ち、容器内の黒鉛の量を多くする。
- (う) 温度を一定に保ち、容積を小さくする。
- (え) 温度と容積を一定に保ち、容器内にアルゴンを加える。
- (お) 温度と全圧を一定に保ち、容器内にアルゴンを加える。

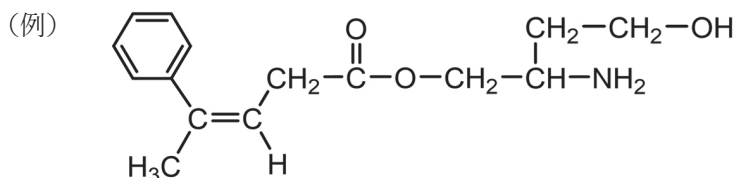
問4 下線部(c)で起こっている反応を、イオンを含む化学反応式で記せ。

問5 下線部(d)に関して、**C**の一部が熱分解し、**B**と**C**の混合物が生じた。この混合物 1.37 g を 1.50 mol/L の希硫酸 10.0 mL に溶かした。この水溶液を過不足なく中和するのに、1.00 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液 10.0 mL を要した。この混合物 1.37 g 中に **B** は何 g 含まれていたか。有効数字 2 桁で答えよ。ただし、発生した気体の水溶液への溶解は無視できるものとする。

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 $H=1.0$, $O=16$ とする。なお、構造式は例にならって記せ。



分子式が $C_{10}H_{10}O_2$ である芳香族化合物 **A**, **B**, **C** は、いずれも炭素原子間に二重結合を1個もち、エステル結合を1個もつ。**A** にはシス-トランス異性体が存在し、**A** はトランス形である。**B** と **C** にはシス-トランス異性体が存在しない。

A を加水分解すると、化合物 **D** と芳香族化合物 **E** が生じた。1 mol の **D** に臭素 Br_2 を反応させると、1 mol の Br_2 が付加した。また、**E** に塩化鉄(III)水溶液を加えると呈色反応を示した。

B を加水分解すると、化合物 **F** と芳香族化合物 **G** が生じた。**F** に炭酸水素ナトリウム水溶液を加えると、二酸化炭素が発生した。また、1 mol の **F** に触媒を用いて水素 H_2 を反応させると、1 mol の H_2 が付加した。**G** に塩化鉄(III)水溶液を加えても呈色反応を示さなかった。

C を加水分解すると、化合物 **H** と芳香族化合物 **I** が生じた。**H** は銀鏡反応を示した。^(a)工業的には、**H** は触媒を用いてエチレンを酸化してつくられる。**I** に炭酸水素ナトリウム水溶液を加えると、二酸化炭素が発生した。また、**I** を酸化すると芳香族化合物 **J** が生じた。**J** とエチレングリコールの縮合重合によって、ペットボトルなどに用いられる ^(b)ポリエステルが得られる。

問1 **A**, **B**, **I** の構造式をそれぞれ記せ。

問2 下線部(a)に関連して、**H**をフェーリング液に加えて加熱すると、赤色沈殿が生じる。この反応と銀鏡反応では、**H**は同じイオンに変化する。このイオンの名称を記せ。

問3 下線部(b)について、次の(1)と(2)の問いに答えよ。

(1) 一方の末端がカルボキシ基、もう一方の末端がヒドロキシ基のポリエステル(分子量 M)を完全に加水分解すると、2価アルコール(分子量 X)と2価カルボン酸(分子量 Y)が同じ物質量ずつ生じた。このポリエステル1分子に含まれるエステル結合の数 n 〔個〕を M 、 X 、 Y を用いた式で記せ。

(2) 不斉炭素原子をもつ分子式 $C_3H_6O_3$ のヒドロキシ酸2分子が脱水縮合した環状化合物を開環重合させると、ポリエステルが得られる。この環状化合物の構造式を記せ。ただし、立体異性体は区別しなくてよい。

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 $H = 1.0$, $O = 16$, $S = 32$ とし、ファラデー定数は $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ とする。

高分子化合物は、官能基をつけ加えることで特別な機能をもたせ、機能性高分子としても利用されている。水溶液中のイオンを、同じ符号の電荷をもった他のイオンに交換する機能をもつ樹脂をイオン交換樹脂という。陽イオン交換樹脂は、スチレンと p -ジビニルベンゼンの共重合により立体網目状の構造の樹脂を合成し、樹脂中のベンゼン環をスルホン化することによって得られる。樹脂に異なる官能基を導入することによって異なる性質のイオン交換樹脂となる。また、イオン交換樹脂でのイオンの交換されやすさは、イオンの大きさや電荷の影響を受ける。イオン交換樹脂は、アミノ酸の分離や海水の淡水化、食塩の製造、水酸化ナトリウムの製造などに利用されている。

問1 下線部 (a) について、スチレン (分子量 104) と p -ジビニルベンゼン (分子量 130) を物質量の比が 15 : 2 となるよう混合し、共重合することによって樹脂を得た。この樹脂 91 g を濃硫酸で処理し、ベンゼン環がスルホン化されたイオン交換樹脂 115 g を得た。樹脂に含まれるベンゼン環の何%がスルホン化されたか、有効数字2桁で答えよ。ただし、すべてのスチレンと p -ジビニルベンゼンが共重合し、スルホン化はスチレン部分のベンゼン環のパラ位でのみ起こるものとする。また、樹脂中のスチレン部分と p -ジビニルベンゼン部分の単位構造 (構成単位) のみを考えればよいものとする。

問2 下線部 (b) に関連して、次の (あ) ~ (か) の原子やイオンの大きさの関係が正しいものをすべて選び、記号で答えよ。

- (あ) $F^- > Na^+$ (い) $F^- > O^{2-}$ (う) $Mg > Mg^{2+}$ (え) $Cl > Cl^-$
(お) $S^{2-} > Ca^{2+}$ (か) $Al^{3+} > Na^+$

問3 0.010 mol/Lの硫酸ナトリウム水溶液0.50 Lに、塩基性の官能基として $-\text{N}^+(\text{CH}_3)_3\text{OH}^-$ を導入したイオン交換樹脂1.0 gを加え、十分な時間静置し、イオン交換を行った。イオン交換樹脂と上澄み液に分け、上澄み液に塩化バリウム水溶液を加えると沈殿が生じた。生じた沈殿の化学式を記せ。また、塩化バリウム水溶液をさらに加えると、沈殿の量は増加し、十分な量の塩化バリウム水溶液を加えると沈殿の量は一定となった。一定となったときの沈殿の物質量は 3.5×10^{-3} molであった。このイオン交換樹脂の交換容量を有効数字2桁で答えよ。ただし、交換容量とは樹脂1.0 gが交換できるイオンの物質量とそのイオンの価数の積（単位：mol/g）で表されるものとする。

問4 下線部(c)について、イオン交換樹脂をカラム（円筒容器）に詰め、pH3の緩衝液に溶解したアミノ酸 **X**, **Y**, **Z** (図1)の混合水溶液を流したところ、すべてのアミノ酸が交換され樹脂に取り込まれた。このカラムに流す緩衝液のpHを3から徐々に上げると、等電点の順にアミノ酸が流れ出た。このイオン交換樹脂に導入されている官能基として最も適切なものを、次の(あ)～(う)の中から選び、記号で答えよ。また、アミノ酸の流れ出た順を、次の(え)～(け)の中から選び、記号で答えよ。

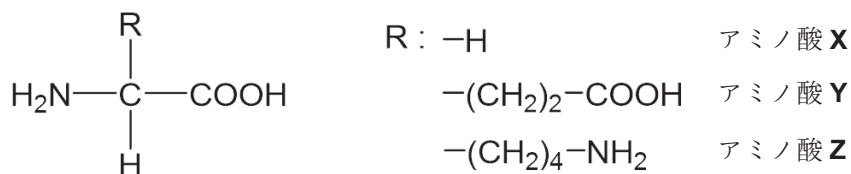


図1 アミノ酸 **X**, **Y**, **Z** の構造式

- | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| (あ) アミノ基 | (い) カルボキシ基 | (う) スルホ基 |
| (え) X → Y → Z | (お) X → Z → Y | (か) Y → X → Z |
| (き) Y → Z → X | (く) Z → X → Y | (け) Z → Y → X |

問5 下線部(d)に関連して、**図2**のように、陽イオン交換膜**P**と陰イオン交換膜**N**で電解槽を**A**～**G**の区画に分ける。電解液として0.50 mol/Lの塩化ナトリウムNaCl水溶液を**A**、**C**、**E**、**G**には1.0 Lずつ、**B**、**D**、**F**には0.50 Lずつ入れ、電極として**A**に炭素（陽極）、**G**に鉄（陰極）を浸して電気を流すことを考える。次の(1)と(2)の問いに答えよ。ただし、電解液の体積変化、発生する気体の水溶液への溶解は無視できるものとする。また、陽イオン交換膜は陰イオンを、陰イオン交換膜は陽イオンを通さないものとする。

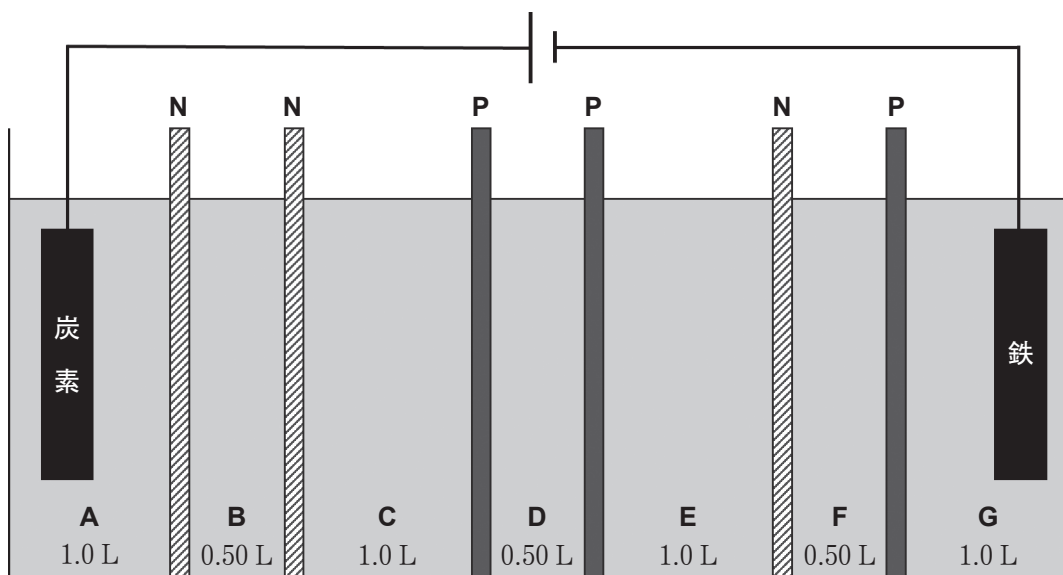


図2

- (1) 電気を流してもNaCl水溶液の濃度が変化しない区画を、**A**～**G**の中からすべて選び、記号で答えよ。

- (2) 電気を流すとNaCl水溶液の濃度が変化する区画について、NaCl濃度が最も高い区画と最も低い区画の濃度差を0.60 mol/Lとするために必要な電気量は何Cか。有効数字2桁で答えよ。