



理 科

(120分)

環境科学部・工学部・人間文化学部

物理(1～8ページ) 化学(9～16ページ) 生物(17～22ページ)

注意事項

1. 解答開始の合図があるまで、この問題冊子および解答冊子の中を見てはいけません。また、解答開始の合図があるまで、筆記用具を使用してはいけません。
2. 問題は物理4題、化学4題、生物2題ありますが、志望学部学科によって解答する科目・問題が異なるので注意ください。指定されていない科目・問題を解答しても採点しません。
3. 環境科学部(環境生態学科・生物資源管理学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答してください。
 - ・物理、化学、生物のうちから2科目選択してください。
 - ・物理を選択する場合、「物理問題Ⅰ」、「物理問題Ⅱ」の2題を解答してください。
 - ・化学を選択する場合、「化学問題Ⅰ」、「化学問題Ⅱ」の2題を解答してください。
 - ・生物を選択する場合、「生物問題Ⅰ」、「生物問題Ⅱ」の2題を解答してください。
4. 環境科学部(環境建築デザイン学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答してください。
 - ・物理のみ解答してください。
 - ・「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の4題を解答してください。
5. 工学部(材料化学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答してください。
 - ・物理、化学のうちから1科目選択してください。
 - ・物理を選択する場合、「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の4題を解答してください。
 - ・化学を選択する場合、「化学問題Ⅰ」～「化学問題Ⅳ」の4題を解答してください。
6. 工学部(機械システム工学科・電子システム工学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答してください。
 - ・物理のみ解答してください。
 - ・「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の4題を解答してください。

この注意事項は、問題冊子の裏表紙にも続きます。問題冊子を裏返して必ず読みなさい。

7. 人間文化学部(生活栄養学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答しなさい。
 - ・化学のみ解答しなさい。
 - ・「化学問題Ⅰ」～「化学問題Ⅳ」の4題を解答しなさい。
8. 解答開始後、選択した科目の解答冊子の表紙所定欄に受験番号、氏名をはっきり記入しなさい。表紙にはこれら以外のことを書いてはいけません。選択しなかった科目の解答冊子は、試験終了20分前に回収します。
9. 解答は、すべて解答冊子の指定された箇所に記入しなさい。解答に関係のないことを書いた答案は無効にすることがあります。
10. 解答冊子は、どのページも切り離してはいけません。
11. 試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。選択した科目の解答冊子を持ち帰ってはいけません。

物 理

物理問題 I

次の文章を読んで、 に適した式または数値を解答欄に記入せよ。また、問1～問4に導出過程を示して答えよ。なお、重力加速度の大きさを g (m/s^2)、円周率を π とし、空気の抵抗は無視できるものとする。

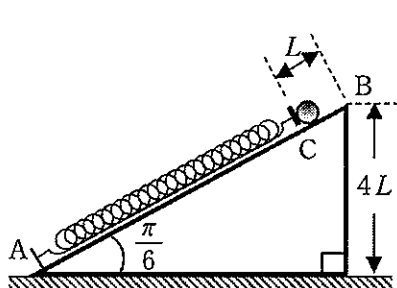


図 1

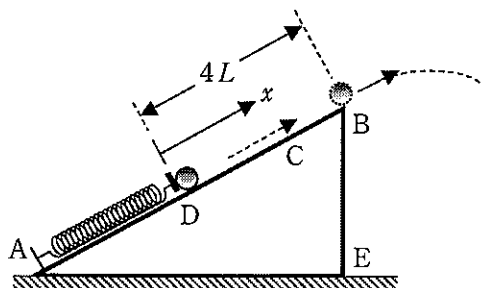


図 2

図 1 に示すように、側面が直角三角形の台が水平な床の上に置かれている。台には上端が板状になった質量が無視できるばねが斜面に沿って取り付けられている。ばねの下端は台の斜面上で底面付近の点 A に固定されている。ばねの上端は、自然の長さでは台の頂点 B の位置にあり、斜面に沿って、紙面に平行な平面内でのみ移動できるようになっている。ばねをその上端が点 B から L (m) だけ離れた斜面上の点 C の位置にくるまで縮め、大きさの無視できる質量 m (kg) の小球をばねの上端に静かに置いたところ、小球はその位置で静止した。なお、台の頂点 B の床からの高さは $4L$ (m)、斜面と底面のなす角度は $\frac{\pi}{6}$ rad である。また、台と床との間には摩擦力はたらくが、台の斜面はなめらかである。

引き続き、図 2 に示すように、ばねをつり合い状態からさらに $3L$ (m) だけ縮め、ばねの上端と小球を斜面上で点 B から $4L$ (m) だけ離れた点 D まで移動し、小球をそこに固定した。その後、小球を静かに放したところ、ばねが伸び、小球は台の斜面上を右上向きに運動し、点 B でばねから離れると同時に台を飛び出し、前方の床に着地した。その間、小球は紙面に平行な平面内でのみ運動した。また、小球が台の斜面上を通過しているとき、台と床との間にはたらく摩擦力により、台は静止していた。

問 1 斜面に取り付けられたばねのばね定数が $\frac{mg}{2L}$ [N/m]であることを示せ。

まず、小球が台の斜面上を通過しているときの、小球の運動について考える。点Dの高さの水平面を重力による位置エネルギーの基準面にとると、ばねがもつ弾性力による位置エネルギーと小球がもつ重力による位置エネルギーの和は、小球が点Dにあるときは [J]、小球が点Bに達したときは [J]となるので、力学的エネルギー保存則より、小球が点Bから飛び出すときの速さは [m/s]と求められる。また、小球が点Dから斜面上を右上向きに距離 x (m) ($0 < x \leq 4L$)だけ離れた位置を通過するとき小球にはたらく合力の斜面に平行な方向の成分は、右上向きを正とすると [N]である。したがって、斜面上で小球の速さが最大となる位置はこの力が正から負に変わる $x =$ [m]で、その位置での小球の速さは [m/s]である。

問 2 小球が台を飛び出してから、小球の高さが最高点に到達するまでの時間と、その最高点の床からの高さを求めよ。

問 3 台の底面の右端(図2の点E)から小球の床への着地点までの距離を求めよ。

次に、小球が台の斜面上を通過しているときに、台にはたらく力を考える。その間に小球が台に及ぼす力は、斜面に垂直な右下方向に大きさ [N]で、つねに一定である。また、ばねが台の点Aに及ぼす力は、斜面に平行な左下向きで、小球が点Dにあるときはその大きさが [N]であり、小球が点Bに達したときはその大きさが [N]になる。

問 4 小球が点Dから斜面を上り始めた直後と点Bから台を飛び出す直前において、床が台に及ぼしている静止摩擦力をそれぞれ求めよ。ただし、静止摩擦力は右向きを正とせよ。

物理問題 II

次の文章を読んで、 に適した式を解答欄に記入せよ。また、問1～問3に答えよ。ただし、問1および問2は導出過程も示せ。問3は解答欄の表を完成させよ。なお、配線およびスイッチの抵抗、直流電源の内部抵抗は無視できるものとする。

図1に示すように、電気容量がそれぞれ C_1 、 C_2 [F] のコンデンサー C_1 、 C_2 、抵抗がそれぞれ R_1 、 R_2 [Ω] の抵抗器 R_1 、 R_2 、電圧 E [V] の直流電源 E 、スイッチ S を接続した回路がある。最初、スイッチ S は開かれており、端子 a 、 b 、 c のどこにも接続されていない。また、コンデンサー C_1 、 C_2 に電荷は蓄えられていないものとする。まず、スイッチ S を端子 a に接続した。その直後に抵抗器 R_1 に流れる電流は ア [A] であり、じゅうぶん時間が経過した後の、コンデンサー C_1 の極板間の電位差は イ [V]、コンデンサー C_1 に蓄えられた電荷は ウ [C]、コンデンサー C_1 に蓄えられた静電エネルギーは エ [J] である。このときの、スイッチの接続先と両コンデンサーの電荷を含む回路の状態を「状態 A」とする。次に、「状態 A」から、スイッチ S を端子 b に切りかえた。その直後に抵抗器 R_2 に流れる電流は オ [A] であり、じゅうぶん時間が経過した後の、コンデンサー C_2 の極板間の電位差は カ [V]、コンデンサー C_2 に蓄えられた電荷は キ [C] である。このときの、スイッチの接続先と両コンデンサーの電荷を含

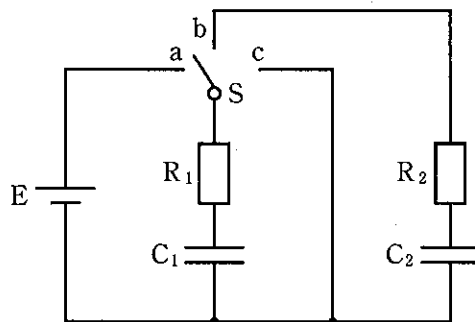


図 1

む回路の状態を「状態 B」とする。「状態 A」から「状態 B」までの間に抵抗器 R_1 と R_2 で発生したジュール熱の合計は ク [J]である。

問 1 「状態 B」から、スイッチ S を端子 a に切りかえてじゅうぶん時間が経過した後、スイッチ S を再び端子 b に切りかえた。さらにじゅうぶん時間が経過した後の、コンデンサー C_2 の極板間の電位差を求めよ。

問 2 回路の状態を「状態 B」に戻してから、スイッチ S を端子 c に切りかえてじゅうぶん時間が経過した後、スイッチ S を再び端子 b に切りかえた。さらにじゅうぶん時間が経過した後の、コンデンサー C_2 の極板間の電位差を求めよ。

つぎに、コンデンサー C_1 、 C_2 をともに同じ電気容量 C_0 [F] をもつコンデンサーに交換した。交換時には、スイッチ S は開かれており、新たに接続するコンデンサー C_1 、 C_2 に電荷は蓄えられていないものとする。コンデンサーを交換した後、スイッチ S を端子 a に接続し、じゅうぶん時間が経過した後、スイッチ S を端子 b に切りかえた。さらにじゅうぶん時間が経過した後の、スイッチの接続先と両コンデンサーの電荷を含む回路の状態を「状態 C」とする。

問 3 「状態 C」から、スイッチ S を 4 回切りかえてコンデンサー C_2 の極板間の電位差をできるだけ高くしたい。スイッチ S の切りかえ順序および各スイッチ切りかえ後のコンデンサー C_2 の極板間の電位差について、解答欄の表を完成させよ。接続先端子名は a, b, c のいずれかで答え、電位差は E を用いて答えること。ただし、スイッチ S を切りかえた後は毎回じゅうぶん時間が経過するまで待つものとし、コンデンサー C_2 の極板間の電位差は、その後の電位差を答えること。なお、スイッチ S は端子 a と端子 c の間でも直接切りかえができるものとする。

物理問題 III

次の文章を読んで、に適した式を解答欄に記入せよ。また、問1および問2に導出過程を示して答えよ。なお、アボガドロ定数を N_A (/mol), 気体定数を R (J/(mol·K)) とする。

図1に示すように、原点 O , x 軸, y 軸, z 軸をとり、なめらかに動く断面積 S (m²) のピストンを備えた円筒容器を、底面の中心を原点 O と一致させ、中心軸が x 軸方向で容器の開口側が x 軸の正の向きとなるように置く。円筒容器の底面とピストンは x 軸に対して垂直である。容器内には分子1個あたりの質量が m (kg) である単原子分子理想気体が物質質量 n (mol) 封入されており、容器の内壁とピストンの容器内側の表面はなめらかで、各分子は壁やピストンと弾性衝突を繰り返しながら運動を続けている。また、容器とピストンには断熱材が用いられており、ピストンの厚さおよび分子にはたらく重力と分子同士の衝突は無視できるものとする。

まず、図1に示すように、 $x = L$ (m) の位置でピストンを固定した。速度の x , y , z 成分の大きさがそれぞれ v_x (m/s), v_y (m/s), v_z (m/s) である分子1個がピストンへ1回衝突したときにピストンが受ける力積の x 成分は (N·s) と表される。ピストンではね返った分子が容器の底面へ到達してはね返り、再びピストンへ戻ってくるまでに要する時間は (s) と表されるので、時間が Δt (s) 経過する間に1個の分子がピストンへ衝突する回数は L , v_x , Δt を用いて と表される。したがって、時間が Δt 経過する間にピストンが1個の分子から受ける力積の x 成分の総和は m , L , v_x , Δt を用いて (N·s) と表されるため、ピストンがこの1個の分子から受ける圧力は m , L , S , v_x を用いて (Pa) と表される。

容器内のすべての気体分子について、それらの速さの2乗の平均を $\overline{v^2}$ とし、それらの v_x^2 , v_y^2 , v_z^2 の平均をそれぞれ $\overline{v_x^2}$, $\overline{v_y^2}$, $\overline{v_z^2}$ とすると、 $\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}$, $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$ と考えることができるため、 $\overline{v_x^2}$ は $\overline{v^2}$ を用いて と表される。したがって、ピストンが気体分子全体から受ける圧力は m , n , N_A , L , S , $\overline{v^2}$ を用いて (Pa) と表される。

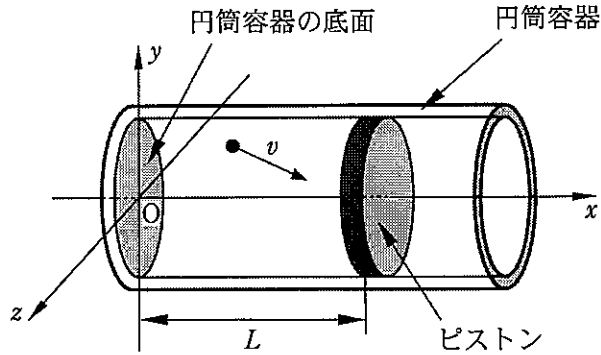


図 1

問 1 理想気体の状態方程式を利用して、気体の温度が T [K] における分子 1 個の運動エネルギーの平均を N_A, R, T を用いて表せ。さらに、一定体積の気体に熱を加えた場合の熱量はすべて内部エネルギーの増加になることを利用して、この気体の定積モル比熱 C_V [J/(mol·K)] を求めよ。

つぎに、ピストンを、 $x = L$ [m] の位置から、一定の速さ v_0 [m/s] で容器の底面へ向かってゆっくりと押しこんでいった。この場合、分子はピストンと弾性衝突をするため、分子がピストンへ衝突するたびに分子の速度の x 成分の大きさが [m/s] ずつ増加する。したがって、時間 Δt [s] は短く、しかも、 v_0 は v_x に比べてじゅうぶんに小さく、そのため、 Δt 間におけるピストンと容器の底面間の距離の変化および分子がピストンと容器の底面間を往復するのに要する時間の変化は無視できるものとする、ピストンを押しこみ始めてから時間が Δt 経過する間の速度の x 成分の大きさの増加量は $L, v_0, v_x, \Delta t$ を用いて [m/s] と表される。さらに、近似式 $\left(1 + \frac{v_0 \Delta t}{L}\right)^2 \approx 1 + \frac{2v_0 \Delta t}{L}$ を用いると、ピストンを押しこみ始めてから時間が Δt 経過する間の気体分子全体の運動エネルギーの増加量は $m, n, N_A, L, v_0, \overline{v^2}, \Delta t$ を用いて [J] と表される。

問 2 ピストンを押しこみ始めてから時間が Δt [s] 経過する間にピストンがする仕事を、ピストンが気体分子全体から受ける圧力の Δt 間の変化は無視できるものとして求め、その仕事は [J] と一致することを示せ。

物理問題 IV

次の文章を読んで、 に適した式または数値を、 $\{ \quad \}$ には適切な語句を解答欄に記入せよ。また、問1～問5に答えよ。ただし、問1と問5には導出過程も示せ。問2～問4は解答欄のグラフに図示せよ。なお、円周率を π とする。

- (1) 音の速さを V [m/s]とし、風はないものとする。まず、図1に示すように、音源を載せた台車を静止している観測者に向かって速さ v ($v < V$) [m/s]でまっすぐに近づけながら、音源から振動数 f_1 [Hz]の音を出すと、その音が観測者には f_1 とは異なる振動数 [Hz]の音として聞こえた。この現象を $\{ \quad \}$ という。つぎに、図2に示すように、音源とその後ろに観測者を載せた台車を静止している反射板(音を反射する板)に向かって速さ v でまっすぐに近づけながら、音源から振動数 f_1 の音を出すと、それが反射板で観測者の方向に反射し、その反射音が観測者には振動数 f_2 [Hz]の音として聞こえた。ただし、音源には反射板の方向への指向性があり、観測者には反射板からの反射音のみが聞こえたものとする。

問1 台車の速さ v を f_1 , f_2 , V で表せ。



図1

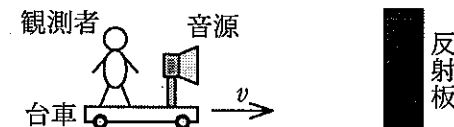


図2

- (2) 波を伝える媒質があり、その媒質中の波は、 y 軸方向に変位し、 x 軸上を正または負の向きに一定の速さ1 m/sで減衰することなく進む。

問2 ある時刻に、図3に示す波形の孤立した波Aがその媒質中にあり、 x 軸上を負の向きに進んでいる。図3の原点Oは端である。原点Oが自由端と固定端の各場合について、この時刻から10 s経過後の波Aの波形を図示せよ。

問 3 図 3 とは異なる時刻に、図 4 に示す波形の孤立した波 B と波 C がその媒質中にある。波 B は x 軸上を正の向きに、波 C は x 軸上を負の向きに進んでいる。この時刻から 5 s 経過後の波 B と波 C の合成波の波形を図示せよ。

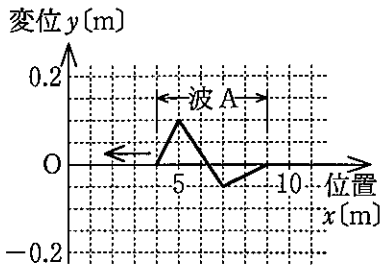


図 3

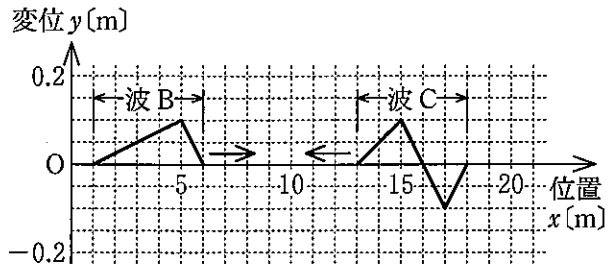


図 4

(3) 波を伝える媒質中に、 y 軸方向に変位し、 x 軸上を正の向きに進み、無限に続く正弦波がある。この正弦波の、時刻 $t = t_0$ [s] における波形を図 5 に、位置 $x = 3$ m における媒質の変位 y [m] と時間 t [s] との関係を図 6 に示す。両図から、この正弦波の振幅は m、周期は s、波長は m、伝わる速さは m/s である。また、時刻 t_0 は、それが $0 \text{ s} \leq t_0 \leq 5 \text{ s}$ の範囲内であれば、 $t_0 =$ s である。

問 4 位置 $x = 0$ m における媒質の変位 y と時間 t との関係を図示せよ。

問 5 位置 x で時刻 t での媒質の変位 y を x, t で表せ。ただし、三角関数には \sin を用い、 $x = 0$ m で $t = 0$ s での位相は 0 rad 以上 $2\pi \text{ rad}$ 未満とせよ。

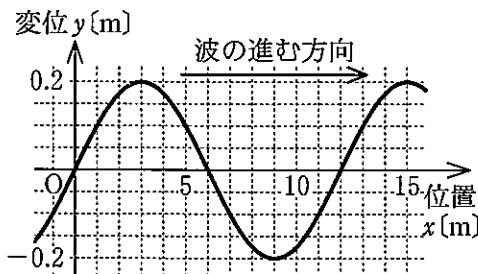


図 5

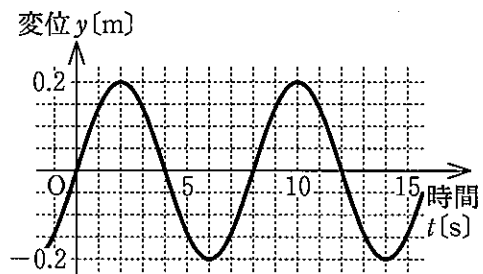


図 6

化 学

化学問題 I

次の文章を読んで、問1～問5に答えよ。解答の数値は、特に指定がない限り有効数字2桁で示せ。

多くの元素には中性子の数が異なる同位体が存在し、それぞれの元素に対して、地球上ではほぼ一定の割合で存在している。また、同位体が存在する元素の原子量は、同位体の相対質量(^{12}C の質量を12とする質量)とその存在比から算出され、分子量の計算に用いられる。

塩素Clの同位体には、 ^{35}Cl (相対質量35.0)、 ^{36}Cl (相対質量36.0)、 ^{37}Cl (相対質量37.0)が存在するが、 ^{36}Cl は、地球上に存在する塩素Clにはごく微量しか含まれない。このため、私たちが塩素と呼ぶ同位体は、 ^{35}Cl と ^{37}Cl のみからなると考えてよい。^(a)

水素H、酸素Oについても、それぞれ複数の同位体が知られ、地球上に存在する水における存在比は表1に示す値である。酸素Oについては、安定で放射線を出さない3種の同位体 ^{16}O 、 ^{17}O 、 ^{18}O が存在する。水素Hについては2種の安定な同位体として ^1H (軽水素)および ^2H (重水素)が存在し、ほかにも放射性同位体 ^3H (三重水素)がごくわずかに存在する。 ^3H は放射線を出して別の原子に変わるため、単位時間あたり一定の割合で減少する。^(b)

表1 地球上の水における水素と酸素の主な同位体存在比(原子数の百分率)

水素同位体	相対質量	存在比 [%]
^1H	1.00	99.9885
^2H	2.00	0.0115

酸素同位体	相対質量	存在比 [%]
^{16}O	16.0	99.757
^{17}O	17.0	0.0380
^{18}O	18.0	0.205

問 1 同位体 ^{37}Cl の中性子の数を整数値で記せ。

問 2 下線部(a)について、塩素の原子量が 35.5 であることを用いて、地球上に存在する ^{35}Cl の存在比を求め、原子数の百分率 [%] で記せ。導出過程も記せ。

問 3 地球上に存在する水を電気分解すると、 ^1H と ^2H の組み合わせ方 (^3H は無視してよい) により、構成する同位体の相対質量の和が異なる 3 種類の水素分子が得られる。以下の i), ii) に答えよ。

i) 3 種類の水素分子について、構成する原子の相対質量の和をそれぞれ記せ。

ii) 同位体の区別まで考慮すれば、2 個の ^1H と 1 個の ^{16}O からなる水の分子は $^1\text{H}-^{16}\text{O}-^1\text{H}$ と書くことができる。この表記法を用いて、地球上に存在する ^1H , ^2H および ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O からなる水のうち、相対質量が 20 となる水の分子をすべて記せ。

問 4 同位体は質量が異なるだけで、化学的性質は同じであると考えてよい。このため、分子を構成する元素に同位体が存在する場合、それぞれの同位体の存在比の組み合わせを考慮して計算することにより、その分子の存在比を求めることができる。重水素原子を二つ含む水分子 (酸素原子は ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O のいずれでもよい) からなる水は、「重水」と呼ばれる。表 1 の値を用いて、地球上に存在するすべての水に対する重水の存在比を求め、分子数の百分率 [%] で記せ。導出過程も記せ。

問 5 下線部(b)について、放射性同位体がもとの量の半分になる時間のことを半減期という。ある量の ^3H を含んだ水を密閉して長期間保持したところ、 ^3H の量かもとの量の 12.5 % になるまでに 36 年かかったとする。 ^3H の半減期 (年) を求めよ。導出過程も記せ。

化学問題 II

次の文章を読んで、問1～問7に答えよ。必要であれば、原子量として $H = 1.0$, $C = 12.0$, $O = 16.0$ を用いよ。解答の構造式は図1の例にならって記せ。ただし、不斉炭素原子が存在する場合は、不斉炭素原子に*印を付し、鏡像異性体(光学異性体)を区別せずに記せ。

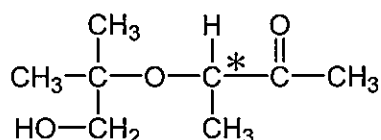


図1 構造式の例

有機化合物の元素分析装置を図2に示す。この装置では、じゅうぶんな量の試薬 **ア** と **イ** をそれぞれ吸収管(a)または(b)に詰め、乾燥した酸素を図2の左側から送り込む。白金の皿にのせた試料と酸化銅(II)を加熱することで、試料を完全に燃焼させ、生成した水と二酸化炭素の質量を吸収管(a)と(b)のそれぞれの質量の増加量から知ることができる。

炭素、水素、酸素のみからなる分子量90の化合物Aがある。化合物Aは不斉炭素原子をもつことがわかっている。13.5 mgの化合物Aをこの装置で完全に燃焼させたところ、13.5 mgの水と26.4 mgの二酸化炭素が生成したことがわかった。

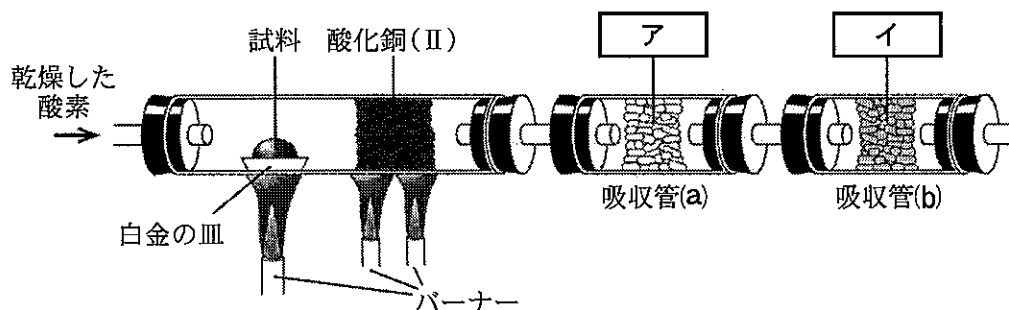


図2 元素分析の装置

問 1 , に入る試薬として、最も適切なものを以下の(あ)~(か)からそれぞれ一つ選び、記号で記せ。

- (あ) ソーダ石灰 (い) 高度さらし粉 (う) 黒鉛
(え) 塩素酸カリウム (お) 塩化カルシウム (か) 塩化カリウム

問 2 図 2 の吸尿管(a)と(b)の順番を入れかえると正しく分析できない。その理由を , の試薬の性質に基づいて答えよ。

問 3 化合物 A に含まれる炭素 C、水素 H および酸素 O の質量[mg]を小数点以下 1 桁まで求めよ。また、化合物 A の組成式を記せ。導出過程も記せ。

問 4 化合物 A の分子式を記せ。導出過程も記せ。

問 5 アルコールと単体のナトリウムは激しく反応し、ナトリウムアルコキシドと水素を生じる。この変化を化学反応式で記せ。なお、アルコールとナトリウムアルコキシドの一般式として、それぞれ、 $R-OH$ と $R-ONa$ (R は炭化水素基などの置換基)を用いよ。

問 6 1 mol の化合物 A とじゅうぶんな量の単体のナトリウムが完全に反応して 1 mol の水素が発生した。また、化合物 A にヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて反応させると黄色沈殿が生じた。化合物 A として考えられる構造式をすべて記せ。

問 7 化合物 A と同じ分子式をもつ化合物 B がある。1 mol の化合物 B は、じゅうぶんな量の単体のナトリウムと完全に反応して 0.5 mol の水素が発生した。また、化合物 B の構造を分析すると、1 個の炭素原子に 2 個以上の酸素原子が結合していないこと、酸素原子どうしの結合は存在しないこと、不斉炭素原子を一つもつことがわかった。さらに、化合物 B にヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて反応させても黄色沈殿は生じなかった。この化合物 B として考えられる構造式をすべて記せ。

化学問題 III

次の文章を読んで、問1～問5に答えよ。必要であれば、原子量として $H = 1.0$, $C = 12.0$, $O = 16.0$, $S = 32.0$, $Cu = 64.0$, $Pb = 207$ を、ファラデー定数として $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ を、平方根の値として $\sqrt{2} = 1.41$ を用いよ。解答の数値は、特に指定がない限り有効数字2桁で示せ。

単体の銅は高い電気伝導性や熱伝導性を示し、様々な合金の原料として利用される。銅の多くは黄銅鉱(主成分 CuFeS_2)として産出される。黄銅鉱を溶鉱炉中で加熱すると硫化銅(I)や酸化鉄(III)などが残る。これらにケイ砂、石灰石、コークスを混ぜて加熱すると、鉄の大部分は酸化物(スラグ)として除去される。とけた硫化銅(I)を転炉に入れ空気中で強熱すると、硫黄が二酸化硫黄となって除去され、粗銅が得られる。粗銅から純銅を得るためには、粗銅板を陽極、純銅板を陰極として硫酸銅(II)水溶液中で電解精錬を行う。粗銅板から銅イオンが溶け出し、純銅板上に銅が析出する。粗銅に含まれる不純物の一部は陽極の下に沈殿し、陽極泥が生じる。

(a) 図1に示すダニエル電池は、硫酸銅(II)水溶液に銅板が、硫酸亜鉛水溶液に亜鉛板が浸され、二つの水溶液が素焼き板で仕切られた構造をもち、起電力は約1.1Vである。図1の電池の二つの金属板(正極と負極)に電球を接続すると、電流が流れ電球が点灯した。

(b) 一方、鉛蓄電池は、負極に鉛、正極に酸化鉛(IV)を用いて、両電極を希硫酸に浸した構造をもち、起電力は約2.0Vである。鉛蓄電池は、繰り返し充電・放電を行うことができるので、自動車のバッテリーなどに用いられる。

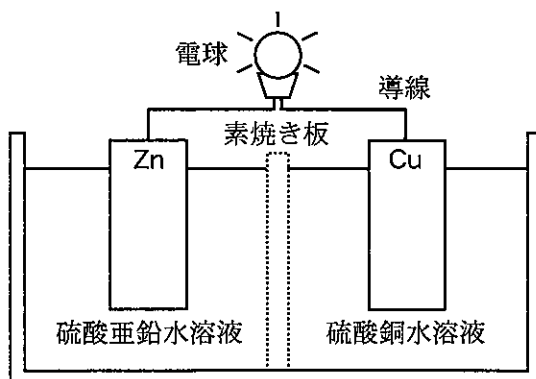
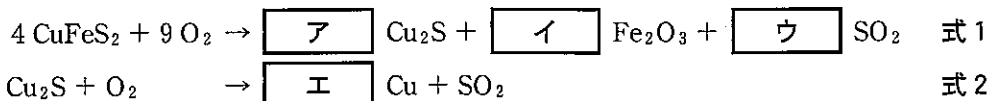


図1 ダニエル電池の構造

問 1 粗銅を生成する反応過程は式 1, 2 で表される。 $\boxed{\text{ア}}$ ~ $\boxed{\text{エ}}$ に係数としてあてはまる適切な整数値を記せ。



問 2 下線部(a)について、この粗銅は微量の亜鉛、金、鉄、銀、ニッケルを含むとする。陽極泥に含まれる金属元素を亜鉛、金、鉄、銀、ニッケルの中からすべて選び、元素記号で記せ。また、選択した理由も説明せよ。

問 3 銅の結晶格子は面心立方格子であり、単体格子の 1 辺の長さは $3.61 \times 10^{-8} \text{ cm}$ である。銅原子の原子半径を求めよ。導出過程も記せ。

問 4 下線部(b)のダニエル電池について、以下の i), ii) に答えよ。

- i) 正極、負極で起こる反応を、電子 e^- を含むイオン反応式でそれぞれ記せ。
- ii) $1.00 \times 10^{-1} \text{ A}$ の電流が 1.93×10^3 秒間流れたとき、片方の電極の質量が増加する。この電極の質量の変化量 (g) を求めよ。導出過程も記せ。

問 5 下線部(c)の鉛蓄電池について、以下の i), ii) に答えよ。

- i) 放電で正極、負極に起こる反応を、電子 e^- を含むイオン反応式でそれぞれ記せ。
- ii) 放電で電子が $2.00 \times 10^{-2} \text{ mol}$ 流れたとき、負極の質量の変化量 (g) を求めよ。増加する場合は正の数値で、減少する場合は負の数値で記せ。導出過程も記せ。

化学問題 IV

次の文章を読んで、問1～問4に答えよ。必要であれば、原子量として $H = 1.0$, $C = 12.0$, $O = 16.0$, $S = 32.0$ を、対数の値として $\log_{10} 2 = 0.301$, $\log_{10} 3 = 0.477$ を用いよ。解答の構造式は図1の例にならって記せ。

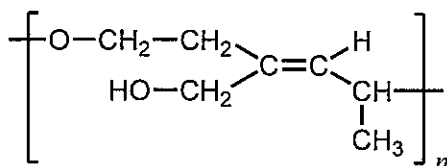


図1 構造式の例

ゴムや樹脂などの高分子化合物には、天然に存在するものや人工的に合成されるものがある。天然ゴム(生ゴム)の主成分は、イソプレン $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2$ が付加重合したポリイソプレンである。このポリイソプレンには、イソプレンの繰り返し単位ごとにシス形の二重結合が一つ存在する。^(a)天然ゴムに数%の硫黄を加えて加熱すると、ポリイソプレン分子のところどころに硫黄原子による **ア** 構造が生じ、弾性や強度などが増す。このような **ア** した構造をつくる操作を加硫という。

一方、合成する際に加熱によって反応が進み、しだいに硬化する合成樹脂を **イ** 性樹脂という。例えば、酸触媒を用いてフェノールと **ウ** を付加縮合させると、低い重合度の生成物 **エ** を生じる。**エ**^(b)に硬化剤を加えて加熱すると、立体的な網目構造をもつフェノール樹脂が得られる。また、高分子化合物のうち、特別な機能をもつものを機能性高分子化合物^(c)という。

問1 文章中の **ア** ~ **エ** にあてはまる適切な語句を記せ。

問2 天然ゴムについて、以下の i), ii) に答えよ。

- 下線部(a)の構造がわかるように、ポリイソプレンの構造式を記せ。
- i) の構造式で表されるポリイソプレン P の分子量を測定したところ、平均分子量が 5.10×10^5 であった。P の平均の重合度の値を有効数字2桁で示せ。導出過程も記せ。P の末端の構造は無視せよ。

問 3 下線部(b)に関して、フェノール x [mol] を水に溶かし 0.500 L とした。電離平衡の状態にあるこの水溶液中の水素イオン濃度を測定したところ、 y [mol/L] であった。このときのフェノールの電離度 α ($0 < \alpha \leq 1.00$) と電離定数 K_a を、 x 、 y を用いてそれぞれ表せ。

問 4 下線部(c)について、スチレンに少量の *p*-ジビニルベンゼンを加えて共重合させたのち、スルホン化するとイオン交換樹脂 Z が得られる。図 2 は、その構造の一部を示したものである。以下の i)、ii) に答えよ。

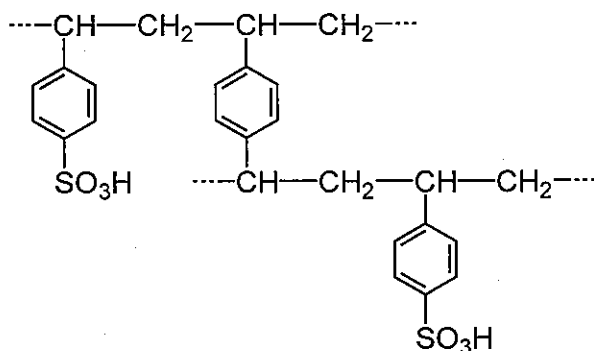


図 2 イオン交換樹脂 Z の構造の一部

i) スルホ基 $-\text{SO}_3\text{H}$ をもつイオン交換樹脂 Z は、以下の①～⑥のイオンを含む水溶液中の、どのイオンを交換することができるか。適切なものをすべて選び、記号で記せ。

- | | | |
|----------------------|-------------------|-----------------|
| ① NH_4^+ | ② NO_3^- | ③ Na^+ |
| ④ SO_4^{2-} | ⑤ Cl^- | ⑥ K^+ |

ii) Z に占めるスルホ基 $-\text{SO}_3\text{H}$ の割合 (質量百分率) は、6.00 % であった。この Z の粉末 8.10 g を 1.00×10^{-1} mol/L の食塩水 1.00 L に入れ、じゅうぶんにかくはんし、その後、静置した。すべてのスルホ基が反応したとすると、この Z を含む食塩水の pH はいくらになると考えられるか。小数点以下 1 桁まで求めよ。導出過程も記せ。ただし、Z の粉末を加える前後で、食塩水の体積の変化はないものとする。

生 物

生物問題 I

次の文章を読み、問1～問6に答えよ。

動物は外界から様々な刺激を受け取り、それに応じた反応を示す。刺激を受容する器官である眼や耳などを受容器という。それぞれの受容器が最もよく応答する刺激を^(a) **ア** という。刺激に応じて反応を起こす筋肉などを **イ** という。それらの間を結びつけているものが神経系である。動物が示す様々な反応の中で、意識とは無関係に起こる反応を **ウ** という。その例として、膝の関節のすぐ下を軽くたたくと足がはね上がる **エ** がある。 **エ** の中枢は、^(b) 中枢神経系の一部である脊髄に存在する。 **エ** において、受容器で受容された刺激は **オ** の興奮を引き起こし、^(c) 興奮は軸索を伝導する。 **オ** の軸索は脊髄に入り、 **カ** にシナプス^(c)を介して信号を伝達する。 **カ** の軸索は脊髄から出て、^(d) アセチルコリンを神経伝達物質とした伝達によってその信号を筋肉に伝える。このような **ウ** における一連の信号伝達の経路を **キ** という。脊髄から受容器や **イ** に向かう脊髄神経は、脊髄の左右で束を形成する。その束には2種類あり、そのうち **ク** と呼ばれる束の中を **オ** が通り、 **ケ** と呼ばれる束の中を **カ** が通っている。

動物は様々な行動を示すが、行動の中には生まれつき備わっているものがあり、これを **コ** という。また、動物の行動は生後の経験によって変化することがあり、これを学習という。アメフラシは、その水管に触るとエラを引っ込めるという行動を示すが、水管への刺激を繰り返し行くとエラを引っ込めなくなる。このような現象を **サ** といい、単純な学習の例である。

問1 **ア** ～ **サ** に適切な語句を入れよ。

問 2 下線部(a)について、次の問いに答えよ。

- (1) 眼に入ってきた光は網膜で像を結ぶ。ヒトの網膜において色の識別に関与する視細胞の名称を答えよ。

- (2) ヒトの網膜には盲斑と呼ばれる部位が存在し、ここで結ばれた像は見えない。その理由を次の語群の語句を全て用いて、句読点を含めて 60 字以内で説明せよ。

語群：視神経繊維，眼球の内側，視細胞

問 3 下線部(b)の中樞神経系の各部位について説明した次の文章のうち、脊椎動物において正しいものを全て選んで記号で答えよ。

- (A) 間脳の視床下部には自律神経の中樞がある。
- (B) 中脳には呼吸運動や血液循環の中樞がある。
- (C) 小脳にはからだの平衡を保つ中樞がある。
- (D) 延髄には姿勢を保つ中樞や眼球の運動を調節する中樞がある。

問 4 脊椎動物の発生過程において、原腸胚を構成する細胞は三つの細胞群(細胞層)に区別される。脊椎動物の脳、脊髄、骨格筋はそれぞれどの細胞群(細胞層)に由来するか、その名称を答えよ。

問 5 下線部(c)について、有髄神経繊維における跳躍伝導のしくみを、句読点を含めて 80 字以内で説明せよ。

問 6 正常なシナプスでは、下線部(d)のアセチルコリンは、シナプス後細胞を興奮させたのち、分解酵素 X により速やかに分解される。また、有機化合物 Y はシナプス間隙で分解酵素 X のみに作用し、そのはたらきを阻害することが知られる。これらに関する次の問いに答えよ。

(1) 分解酵素 X はアセチルコリンのみに作用し、それ以外の物質を分解することはない。このように酵素が特定の物質だけに作用する特性は何と呼ばれるか答えよ。

(2) 有機化合物 Y が脊椎動物に投与されると、神経系のはたらきに異常をもたらす。このとき、シナプス前細胞から放出されるアセチルコリンの量(①)、シナプス間隙におけるアセチルコリン濃度(②)、シナプス後細胞の興奮の頻度(③)、についてそれぞれ予測される変化の組み合わせとして正しいものを次の(A)~(F)から選んで記号で答えよ。

記号	①	②	③
(A)	増加する	高くなる	高くなる
(B)	増加する	高くなる	低くなる
(C)	増加する	変化なし	高くなる
(D)	変化なし	高くなる	低くなる
(E)	変化なし	高くなる	高くなる
(F)	減少する	変化なし	低くなる

(3) 有機化合物 Y による神経系への作用は、ヒトなどの脊椎動物だけでなく、昆虫などの節足動物でも同様に生じる。これより考えられることとして適当なものを、次の(A)~(E)から二つ選んで記号で答えよ。

- (A) 節足動物においても、跳躍伝導が生じる。
- (B) 節足動物においても、アセチルコリンが神経伝達物質として機能している。
- (C) 節足動物は、脊椎動物の分解酵素 X と同様の酵素をもつ。
- (D) 節足動物も、中枢神経系として脊髄をもつ。
- (E) 節足動物と脊椎動物の神経系は、もともとは別の器官であったが、進化の過程でよく似たはたらきをもつようになった。

理科の試験問題は次に続く。

生物問題 II

次の文章を読み、問1～問6に答えよ。

誕生当初の地球は現在とは大きく異なる環境で、生命は存在していなかった。やがて、原始地球に存在していた物質から生物の構成に必要な物質が生成され、約35億年前の地層から見つかった生物化石が最初の生物のものとされている。この生物は原核生物に共通する特徴をもち、海水中に存在していた。そして、光合成を行う生物である **ア** が誕生したことで、大気中の酸素が徐々に増加した。約20億年前になって出現した **イ** 生物は、細胞内に複雑な細胞小器官を発達させ、次第に大型で複雑な機能を持つ多細胞生物となっていた。酸素の増加によって **ウ** が形成されたことで有害な紫外線を防げるようになり、生物は陸上へも進出を果たした。その後も生物は繁栄と衰退を繰り返しながら現在の多様性がもたらされた。

問1 **ア** ～ **ウ** に適切な語句を入れよ。

問2 下線部(a)では、簡単な有機物(アミノ酸やヌクレオチドなど)が合成され、それらからより複雑な有機物が合成されたとされている。この過程で生成されたと考えられる複雑な有機物を二つ挙げよ。また、この過程を何というか答えよ。

問3 下線部(b)であるものを、以下の(A)～(F)から全て選んで記号で答えよ。

- | | | |
|------------|---------|---------|
| (A) メタン生成菌 | (B) 大腸菌 | (C) 粘菌類 |
| (D) 酵母 | (E) 根粒菌 | (F) 乳酸菌 |

問4 下線部(c)について、以下の(1)～(3)に答えよ。

- (1) 多細胞生物の細胞に共通してみられ、原核生物の細胞内共生によって形成されたと考えられている細胞小器官の名称を答えよ。

(2) (1)の細胞小器官によって細胞が獲得したと考えられている機能を、句読点を含めて40字以内で説明せよ。

(3) (1)の細胞小器官にみられる特徴のうち、原核生物の細胞内共生によると考えられる特徴を二つ挙げよ。

問 5 下線部(d)にともない、植物は環境に適応するために新たな形態や機能を発達させていった。以下の(A)~(D)の特徴をもつ植物が現れた年代を古いものから順に並べ、記号で答えよ。

- (A) 子房をもつ
- (B) 維管束を形成し、根・茎・葉の区別がある
- (C) 胞子のうを形成し、維管束がない
- (D) 胚珠と花粉を形成する

問 6 下線部(e)について、以下の(1)~(2)に答えよ。

(1) 「三葉虫の絶滅」、 「裸子植物の繁栄」、 および「大型は虫類の絶滅」が起こった地質時代区分を、以下の(A)~(E)からそれぞれ一つ選んで記号で答えよ。

- (A) ジュラ紀 (B) 白亜紀 (C) ペルム紀
- (D) カンブリア紀 (E) 第四紀

(2) 生物の進化と多様化について、以下の ~ に適切な語句を入れよ。

陸上に進出した植物と動物ではさまざまな相互関係が生じ、種間で互いに影響をおよぼし合うことで進化した。これを と呼び、多様化を促進した。また哺乳類の多様化では、それまで恐竜に占められていた多くの が、恐竜の絶滅によって空いたことで、その を埋めるように、特に真獣類と有袋類において、さまざまな環境へ適応した多くの種に分かれる が起こった。異なる分類群であっても、類似した を占めるものでは、よく似た形質がみられる。