

S 令和 7 年度 総 合 問 題

問 題 冊 子

下記 1 2 3 のうち、2 題を選択し、指定された解答用紙を用いて答えなさい。

1 (1 ページ), 2 (2 ～ 5 ページ), 3 (6 ～ 11 ページ)

配付される解答用紙の枚数、解答用紙コードの組合せは次のとおりである。解答用紙コードは解答用紙右上にある。各題の解答用紙の組合せを確認し、選択した 2 題計 4 枚の解答用紙の選択の線内を黒くぬりつぶしなさい。

1 (解答用紙コード：801-1 と 801-2) 2 枚

2 (解答用紙コード：802-1 と 802-2) 2 枚

3 (解答用紙コード：803-1 と 803-2) 2 枚

「2 題選択の組合せ(解答用紙 4 枚)」は、次の 3 つのうちいずれかである。

1 (解答用紙コード：801-1 と 801-2) と 2 (解答用紙コード：802-1 と 802-2)

1 (解答用紙コード：801-1 と 801-2) と 3 (解答用紙コード：803-1 と 803-2)

2 (解答用紙コード：802-1 と 802-2) と 3 (解答用紙コード：803-1 と 803-2)

注 意 事 項

1. 監督者の指示があるまで、問題冊子を開かないこと。
2. 落丁・乱丁及び印刷不鮮明なものがあれば、すぐに申し出ること。
3. 全ての解答用紙に、本学の受験番号、氏名を記入すること。各解答用紙に受験番号欄と氏名欄がそれぞれ 1 箇所ある。
4. 各題の解答用紙コードの組合せを上記で確認し、選択した 2 題計 4 枚の解答用紙の選択の線内を黒くぬりつぶすこと。
5. 上記「2 題選択の組合せ」のいずれでもない場合、又は、解答用紙の選択の線内を黒くぬりつぶしていない場合は、採点されない。
6. 解答は、解答用紙の指定された解答欄に記入すること。異なる解答用紙・解答欄に記入されたものは採点されない。
7. 解答用紙の裏面は記入しないこと。解答用紙の裏面に記入された部分は採点されない。
8. 解答用紙の※欄は記入しないこと。
9. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。解答用紙は全て回収される。

総合問題 問題訂正

3

11 ページ 下から 11 行目

誤：・・・したところ、それぞれから化合物 D および E が得られるとともに、・・・

正：・・・したところ、A からは化合物 D が、B からは化合物 E が得られるとともに、・・・

- 1 n を正の整数とする。実数 $x_1, x_2, \dots, x_n$ はすべて正であるとする。また、実数 $p_1, p_2, \dots, p_n$ はすべて正で

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1$$

を満たすとする。そして、

$$m = \sum_{i=1}^n p_i x_i$$

とする。さらに、曲線 $y = \log x$ の $x = m$ における接線を $y = ax + b$ とする。

ただし $\log$ は自然対数とする。このとき、以下の設問(1)から(5)に答えなさい。

- (1) a と b を m を使って表しなさい。
- (2) $x > 0$ に対して $\log x \leq ax + b$ が成り立つことを証明しなさい。
- (3) $\sum_{i=1}^n p_i \log x_i \leq \log m$ が成り立つことを証明しなさい。
- (4) $(x_1 x_2 \cdots x_n)^{\frac{1}{n}} \leq \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$ が成り立つことを証明しなさい。
- (5) n 個の正の実数 $q_1, q_2, \dots, q_n$ が $\sum_{i=1}^n q_i \leq 1$ を満たすとする。このとき $\sum_{i=1}^n p_i \log \frac{q_i}{p_i} \leq 0$ が成り立つことを証明しなさい。

2 次の問題A, Bの両方に答えなさい。

A 次の文章を読んで、以下の設問(1)から(5)に答えなさい。

図1に示すように、水平面に対する傾きの角 θ ($0^\circ < \theta < 90^\circ$)のあらい斜面に対して、ばね定数 k のばねの下端を固定し、上端に質量 m の物体を取りつける。ばねが自然の長さのときの物体の位置を原点 O とし、斜面方向上向きを正の向きとして x 軸をとる。物体を位置 x_0 (> 0)に置いて静かに手をはなしたところ、物体は斜面方向下向きに運動し始め、位置 x_1 で初めて速さが0となった。

ただし、物体は斜面方向にそってのみ運動するものとする。また、重力加速度の大きさを g とし、物体の大きさ、ばねの質量は無視できるものとする。さらに、物体と斜面との間の静止摩擦係数を μ 、動摩擦係数を μ' とすると、 $\mu = \tan \theta$ 、 $\mu' = \frac{2}{3} \tan \theta$ が成り立っているものとする。

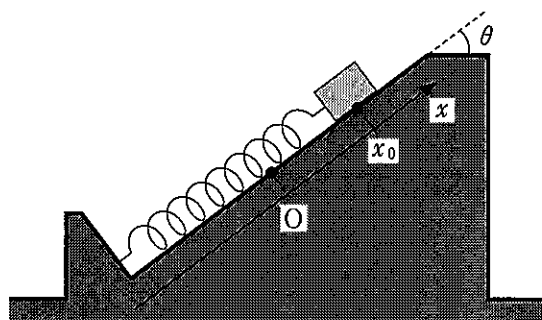


図1

- (1) 位置 x_1 を, x_0 , θ , m , k , g を用いて表しなさい。
- (2) 物体が位置 x_1 に到達した後, 斜面方向上向きに運動し始めるためには, 位置 x_0 はある値 x_0' より大きくなければならない。その値 x_0' を, θ , m , k , g を用いて表しなさい。
- (3) 位置 x における物体の加速度を a として, 物体が斜面方向下向きに運動しているときの運動方程式を, a , x , θ , m , k , g を用いて表しなさい。ただし, 加速度は斜面方向上向きを正の向きとする。
- (4) 次の文は, 物体が位置 x_0 から位置 x_1 まで移動するときの物体の運動について考察したものである。文中の (a) と (b) に当てはまる式を, θ , m , k , g の中から必要なものを用いて表しなさい。

(3)の運動方程式より, 物体にはたらく力の斜面方向成分は, 物体に位置 (a) を中心とする単振動を生じさせる力に等しい。このことから, 物体が位置 x_0 から位置 x_1 まで移動するのにかかった時間 t_1 は (b) であることがわかる。

- (5) 物体が位置 x_1 に到達した後, 斜面方向上向きに運動し始め, 原点 O で再び速さが 0 となり, そのまま静止し続けた。この場合の位置 x_0 を, θ , m , k , g を用いて表しなさい。

B 次の文章を読んで、以下の設問(1)から(5)に答えなさい。

断熱材でできたシリンダーと滑らかに動くピストンを用いて、分子1個の質量が m である単原子分子理想気体を密封した。シリンダーの底を原点 O として、図2のように x 軸をとり、ピストンの位置が L になるまでゆっくりと押し込み、密封した気体を圧縮した。十分に時間が経った後、ピストンを自由に動けるようにしたところ、ピストンは x 軸の正の向きに動き出した。ただし、気体分子の速さ v とその x, y, z 方向の速さ v_x, v_y, v_z の2乗の平均について、常に $\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}$ が成立しているものとする。また、気体分子の総数は N 個であるとし、各分子は、分子同士、ピストン、およびシリンダーと弾性衝突するものとする。

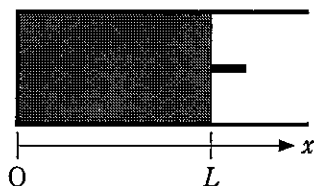


図2

- (1) ピストンの速さが x 軸の正の向きに v_0 であるとき、 x 軸の正の向きの速さ v_x をもった分子 1 つがピストンに衝突した。その分子の衝突後の x 軸の負の向きの速さ v_x' を、 v_x 、 v_0 を用いて表しなさい。ただし、分子の衝突前後でピストンの速さは変わらないものとする。
- (2) ピストンが距離 Δx 移動する間に、1 つの分子がピストンに衝突する回数を、 v_x 、 v_0 、 L 、 Δx を用いて表しなさい。ただし、 Δx は L に比べて十分に小さいものとする。
- (3) ピストンが距離 Δx 移動する間の気体全体の運動エネルギーの変化 ΔE を、 N 、 m 、 L 、 Δx 、 $\overline{v^2}$ を用いて表しなさい。ただし、 v_x は v_0 に比べて十分に大きいものとする。
- (4) ピストンが距離 Δx 移動する間に気体全体がピストンに与える力積から、気体全体がピストンにする仕事 W を、 N 、 m 、 L 、 Δx 、 $\overline{v^2}$ を用いて表しなさい。
- (5) この状況において、熱力学第一法則が満たされていることを説明しなさい。

3 次の問題A, B, Cのすべてに答えなさい。

問題を解くにあたって、必要ならば次の値を用いなさい。

原子量 H = 1.0, C = 12.0, O = 16.0

A 次の文章を読んで、以下の設問(1)から(9)に答えなさい。

酸素(O)は ① 族に属する典型元素である。酸素には、酸素(O₂)とオゾン(O₃)の2つの あ がある。

O₂は空気の約 ② %を占める。実験室でO₂を発生させるには、塩素酸カリウムと酸化マンガン(IV)を混合して加熱する^(ア)か、過酸化水素の水溶液に酸化マンガン(IV)を加える。

これらの反応で、酸化マンガン(IV)は I として働く。発生したO₂は、 II で捕集する。

O₃は、O₂に III を当てたり、無声放電を行ったりすると発生し、特異臭をもつ有毒な気体で、酸化作用を示す。水で湿らせたヨウ化カリウムデンプン紙にO₃を当てると、 IV 色に変化する。大気圏に存在するオゾン層は、太陽光からの有害な III を吸収し、地上の生態系を保護している。

河川や湖沼の水質を表す指標の1つに化学的酸素要求量(COD)がある。これは、試料水に V として過マンガン酸カリウムを加えて水中に存在する有機化合物などと反応させ、消費された量を酸素の質量に換算したものであり、試料水1Lあたりの値で表し、単位はmg/Lを用いる。以下の操作で河川水AのCODを求めた。

- 操作 1 : 前処理として、河川水 A に適量の硝酸銀水溶液を加え、塩化物イオンを沈殿させたのち、生じた沈殿をろ過により取り除いた。なお、加えた硝酸銀水溶液の体積は、河川水 A の体積に対して無視できるとする。
- 操作 2 : 操作 1 を行った後の河川水 A をコニカルビーカーに 100.0 mL はかり取り、十分量の硫酸を加えた後、 5.00×10^{-3} mol/L の過マンガン酸カリウム水溶液を 10.0 mL 加え、30 分間加熱した。この時の水溶液の色は赤紫色であった。
- 操作 3 : 操作 2 で得た水溶液に、ただちに 1.25×10^{-2} mol/L のシュウ酸ナトリウム水溶液を 10.0 mL 加えたところ、水溶液の色は無色になった。
- 操作 4 : 操作 3 で得た水溶液の液温を 60°C 前後に保ちながら、 5.00×10^{-3} mol/L の過マンガン酸カリウム水溶液でただちに滴定したところ、3.86 mL を要した。
- 操作 5 : 河川水 A のかわりに純水を用いて操作 1 ~ 操作 4 を行ったところ、過マンガン酸カリウム水溶液 0.51 mL を要した。

(1) 文中の ① , ② にあてはまる最も適切な数字を選択肢(a)から(l)よりそれぞれ1つ選び、記号で答えなさい。

- (a) 2 (b) 4 (c) 6 (d) 8 (e) 10 (f) 12
(g) 14 (h) 16 (i) 18 (j) 20 (k) 30 (l) 40

(2) 文中の I から V にあてはまる最も適切な語句を選択肢(a)から(l)よりそれぞれ1つ選び、記号で答えなさい。

- (a) 酸化剤 (b) 還元剤 (c) 触媒 (d) 紫外線
(e) 可視光線 (f) 赤外線 (g) 青色 (h) 黄色
(i) 赤色 (j) 上方置換法 (k) 下方置換法 (l) 水上置換法

(3) 文中の あ にあてはまる最も適切な語句を答えなさい。

(4) 下線部アで示した反応の化学反応式を答えなさい。

(5) 操作3において、酸性条件下で過マンガン酸イオンとシュウ酸イオンとの反応のイオン反応式を答えなさい

(6) 操作4において、河川水Aに含まれる有機化合物により消費された過マンガン酸カリウム水溶液の体積を答えなさい。

(7) $5.00 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ の過マンガン酸カリウム水溶液 1.00 mL は、酸素(O_2)何 mg に相当するか、有効数字2桁で答えなさい。

(8) 河川水AのCODを有効数字2桁で答えなさい。

(9) 操作1に記した前処理を行わなかった場合、CODの値はどうか。また、その理由を50文字程度で化学式を用いずに答えなさい。

B 次の文章を読んで、以下の設問(1)から(5)に答えなさい。なお、必要ならば次の値を用いなさい。

プランク定数 $6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 、真空中の光の速さ $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、

$\log_{10} 2 = 0.30$, $\log_{10} 3 = 0.48$

原子は、中心にある原子核と原子核をとりまく電子からなる。原子核は正の電気量 e をもつ ア と、電気量が0である イ からなる。元素は ア の数で決まり、その数を ウ という。また、ア の数と イ の数の和を エ という。同じ元素であっても イ の数が異なる原子がある。これらの原子を互いに オ という。

(A)
原子核を取り巻く電子は、いくつかの層に分かれて存在している。この層を電子殻という。電子殻は内側から順に K 殻、L 殻、M 殻、N 殻…などとよばれ、K 殻には カ 個、L 殻には キ 個、M 殻には ク 個、N 殻には ケ 個…までの電子が入ることができる。

X 線管では陰極から放出される電子を高い電圧によって加速し、陽極に衝突させている。その際、内殻の電子、例えば K 殻の電子が飛び出て、そこに L 殻の電子が落ちてくる。そして K 殻と L 殻のエネルギー差を X 線 (K_{α} 線) と (B) して放出する。この X 線は固有 X 線あるいは特性 X 線とよばれている。この X 線は各元素に固有であるので、元素の分析に用いることができる。

(1) 文中の ア から ケ に入る最も適切な語句あるいは数字をそれぞれ答えなさい。

(2) $^{35}_{17}\text{Cl}$ の M 殻の電子数を答えなさい。

(3) 下線部(A)について、 $^{14}_6\text{C}$ は宇宙線による生成と一定数の放射壊変による減少により、大気中ではほぼ一定の割合となっている。植物は大気中の二酸化炭素を固定するので、生命活動中は大気中と同じ割合の $^{14}_6\text{C}$ が存在するが、生命活動が停止するとそれ以降は減少の一途となる。そのため木材試料中の $^{14}_6\text{C}$ の割合を大気中の $^{14}_6\text{C}$ の割合と比較することによって生命活動が停止した時期を推測することができる。

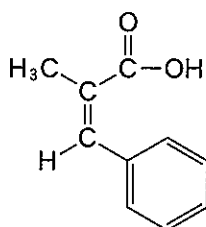
今、木材試料中の $^{14}_6\text{C}$ が大気中の $^{14}_6\text{C}$ の割合の 90 % であった。何年前に加工された試料であるか、計算過程とともに有効数字 2 桁で答えなさい。なお $^{14}_6\text{C}$ の半減期は 5.7×10^3 年であり、数万年間大気中の $^{14}_6\text{C}$ 濃度は一定であったとする。

(4) 下線部(B)について、陽極がモリブデンの場合に K_α 線の波長は $7.1 \times 10^{-11} \text{ m}$ である。この X 線の振動数 [Hz] を、計算過程とともに有効数字 2 桁で答えなさい。

(5) (4)の結果を用いて、下線部(B)の X 線の 1 光子がもつエネルギーを電子ボルトで、計算過程とともに有効数字 2 桁で答えなさい。なおジュールを電子ボルトに変換する際には、 $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ の関係式を使いなさい。

- C 次の文章を読んで、以下の設問(1)から(5)に答えなさい。なお、構造式は下記の例にならって記入しなさい。また、不斉炭素の立体構造については考慮しないものとする。

[構造式の記入例]



炭素、水素、酸素からなる2種類の有機化合物AおよびBがある。化合物AおよびBの分子式はいずれも同じであり、28.8 mgの試料を元素分析装置で完全燃焼させた結果、二酸化炭素52.8 mg、水14.4 mgを得た。また、分子量は100から150の範囲であった。

AおよびBにうすい臭素水を作用させたところ、臭素水の赤褐色が消えてどちらからも化合物Cが生成した。また、AおよびBを希塩酸とともに加熱したところ、それぞれから化合物DおよびEが得られるとともに、共通して2倍の物質量の化合物Fが生成した。このDおよびEを加熱したところ、DからはGが得られたが、Eには変化は生じなかった。

一方、常温で液体である化合物Fに金属ナトリウムを作用させたところ、気体が発生した。

- (1) 化合物AおよびBの組成式(実験式)をその求め方とともに答えなさい。
- (2) 化合物AおよびBの分子式をその求め方とともに答えなさい。
- (3) 化合物AからGの構造式を、例にならってそれぞれ答えなさい。化合物DからGについては化合物名も示しなさい。
- (4) 下線部で示した反応の化学反応式を答えなさい。
- (5) 化合物AおよびBの間の関係を何というか答えなさい。