技術　R4. 1. 29

技術貸費

# 試験問題〔その２：物理・化学〕

## （解答時間　1時間40分）

[受験上の注意]

1　受験番号，氏名等定められた事項を下欄に正確に記入してください。

2　問題は全部で７問（物理４問，化学３問）あります。７問全部に解答してください。

## 防衛省

| | | | |
|---|---|---|---|
| 受験番号 | | 大学名 | |
| 受 験 地 | | 学　部 | |
| | | 学　科 | |
| 氏　　名 | | 学　年 | |

〔 物 理 〕

【No. 1】 図1のように，一端を床に固定し，鉛直に置かれた自然の長さ$l$，ばね定数$k$の軽いばねがある。ばねの他端には質量$M$の板をつけ，板の上に質量$m$の物体をのせる。重力加速度の大きさを$g$として以下の問いに答えなさい。

板を持ち，ばねを自然の長さから$d$だけ縮めた位置にして静かに手を離すと，板と物体は静止した。

（1）静止位置では，上方向へのばねの弾性力と下方向への重力がつりあう。この関係から$d$を$k$，$M$，$m$，$g$を用いて表しなさい。

次に，板を持ち，ばねを自然の長さから$3d$だけ縮めた位置にして静かに手をはなすと，板と物体は上昇を始めた。ばねの長さが$x$の位置を板と物体が通過するときについて考える。ただし，物体は板から離れていないものとし，速度及び加速度は上向きを正とする。

（2）ばねの長さが$x$のとき，板と物体の鉛直上向きの加速度を$\alpha$として，板と物体についてそれぞれの運動方程式を作り，加速度$\alpha$を$k$，$x$，$l$，$M$，$m$，$g$のうち，必要な変数を用いて表しなさい。

（3）$x = l - 2d$を通過するときの加速度$\alpha$は$g$の何倍になるか求めなさい。

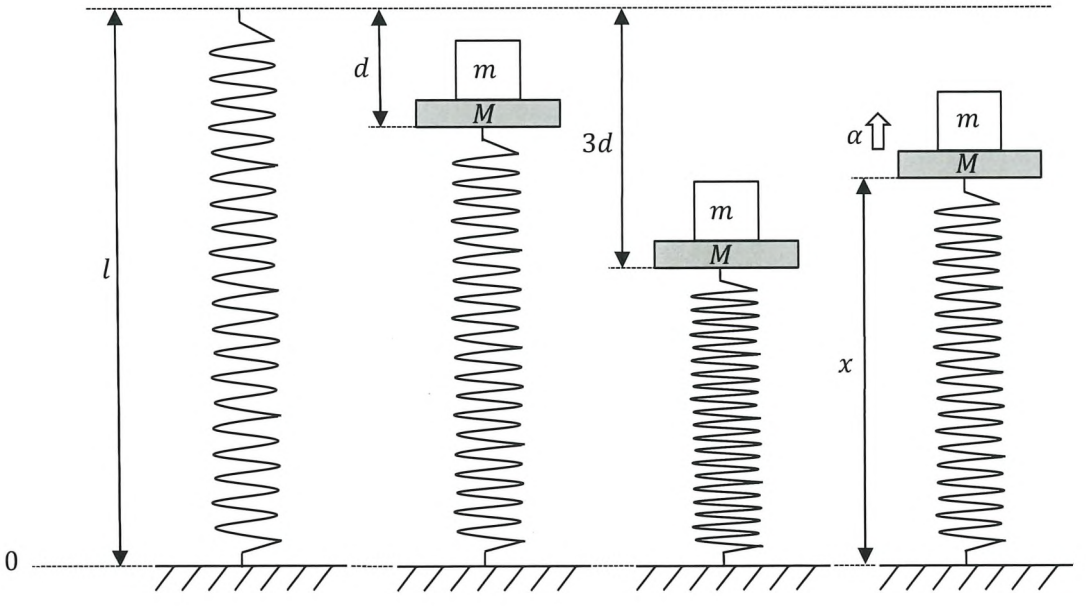



図1

〔解　答　欄〕

| | | |
|---|---|---|
| No.　1 | (1) | |
| | (2) | |
| | (3) | ［倍］ |

【No.　2】　なめらかに動くピストンを持つシリンダーに，1〔mol〕の単原子分子理想気体が入っている。この気体を図２のように，温度$T_1$〔K〕，体積$V_1$〔m³〕の状態Ａから，状態Ｂ，状態Ｃ，状態Ｄを経て，再び状態Ａにもどす過程を考える。Ａ→ＢおよびＣ→Ｄの過程では，気体の体積は一定であり，Ｂ→ＣおよびＤ→Ａの過程では，気体の体積は温度に比例して変化した。状態Ｂにおける気体の温度を$3T_1$〔K〕，状態Ｃにおける気体の体積を$3V_1$〔m³〕，気体定数を$R$〔J/(mol·K)〕として，以下の問いに答えなさい。

（１）Ａ→Ｂの過程で気体が吸収した熱量$Q_{A\to B}$は気体の内部エネルギーの変化$\Delta U$と気体が外部にした仕事$W_{A\to B}$の和で表される。このとき

①　1〔mol〕の単原子分子理想気体において気体定数を$R$〔J/(mol·K)〕，絶対温度を$T_1$〔K〕としたとき，状態Ａでの内部エネルギー$U_A$〔J〕を変数$R$，$T_1$を用いて表しなさい。

②　Ａ→Ｂの過程で気体が吸収した熱量$Q_{A\to B}$を$R$，$T_1$，$V_1$のうち必要な変数を用いて表しなさい。

（２）Ｂ→Ｃの過程で気体が吸収した熱量$Q_{B\to C}$を$R$，$T_1$，$V_1$のうち必要な変数を用いて表しなさい。

（３）Ａ→Ｂ→Ｃ→Ｄ→Ａの１サイクル(循環過程)で気体がした仕事$W_{cycle}$を$R$，$T_1$，$V_1$のうち必要な変数を用いて表しなさい。

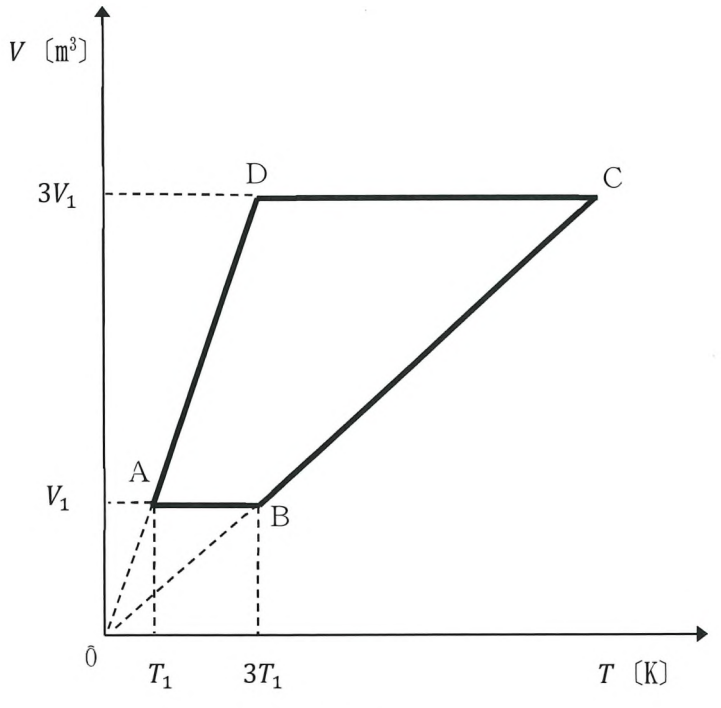



図２

〔解　答　欄〕

<table>
<tr><td rowspan="3">No.　2</td><td>（1）</td><td>①</td><td>②</td></tr>
<tr><td>（2）</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>（3）</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

【No.　3】　図3は屈折率の異なる2種類の透明な媒質1 (屈折率$n_1$)と媒質2 (屈折率$n_2$)からなる円柱状の二重構造をした光ファイバーが空気中に置かれている状態の概念図である。矢印は中心軸に垂直な左側の端面から入射した光線が媒質の境界で全反射を繰り返しながら進む様子を表している。ここで空気の屈折率を1として，媒質中での光の損失はなく，また，媒質1，媒質2の径は一定であり，光ファイバーはまっすぐ置かれているものとして，以下の問いに答えなさい。

（1）①　真空中での光の速さを$c$としたとき，媒質1内での光の速さ$v_1$を$c$と$n_1$を用いて表しなさい。

②　左側の端面への光線の入射角を$\theta$とするとき，$\cos\alpha$を$\theta$と$n_1$を用いて表しなさい。

（2）光線が光ファイバー内で全反射を繰り返して反対側の端面に到達するための$\sin\theta$の上限を変数$n_1$，$n_2$を用いて求めなさい。ただし，$0 < \theta < \frac{\pi}{2}$とする。

（3）$0 < \theta < \frac{\pi}{2}$のすべての入射角$\theta$に対して，全反射を起こさせるための$n_1$の下限を変数$n_2$を用いて求めなさい。

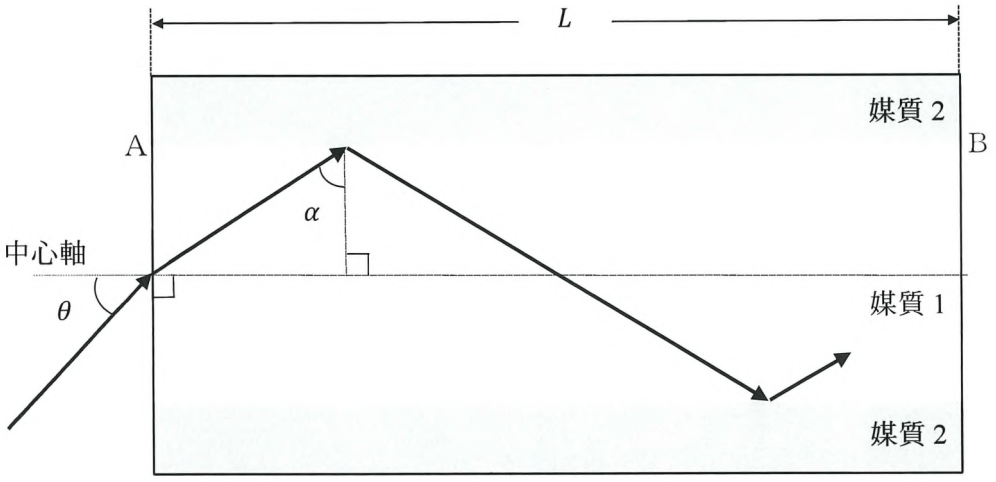



図3

〔解　答　欄〕

<table>
<tr><td rowspan="3">No.　3</td><td>（1）</td><td>①</td><td>②</td></tr>
<tr><td>（2）</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>（3）</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

【No.　4】内部抵抗が無視できる直流電源$E$，電気抵抗$R_1$，$R_2$，コンデンサー$C_1$，$C_2$およびスイッチ$S_1$，$S_2$からなる回路がある。$E$の起電力は100V，$R_1$，$R_2$の抵抗値はそれぞれ30Ω，20Ωであり，$C_1$，$C_2$の容量はそれぞれ20μF，60μFである。はじめ$S_1$，$S_2$は共に開いていて，$C_1$，$C_2$には電荷は蓄えられていないものとする。これについて以下の問いに答えなさい。

（1）$S_1$を閉じて十分長い時間が経過した後に$E$を流れる電流は何Aか答えなさい。

（2）$S_1$を閉じたまま$S_2$を閉じる。$S_2$を閉じて十分長い時間が経過するまでに，$S_2$を通過する正電荷は何μCか答えなさい。

（3）$S_2$を開き，続いて$S_1$を開いてから十分長い時間が経過した後の等価回路は図4－2で示せる。ただし，アース点の電位は0Vとする。

①各コンデンサーのA側の電極に残っている電荷の合計は何μCか答えなさい。

②点Aにおける電位は何Vになるか答えなさい。

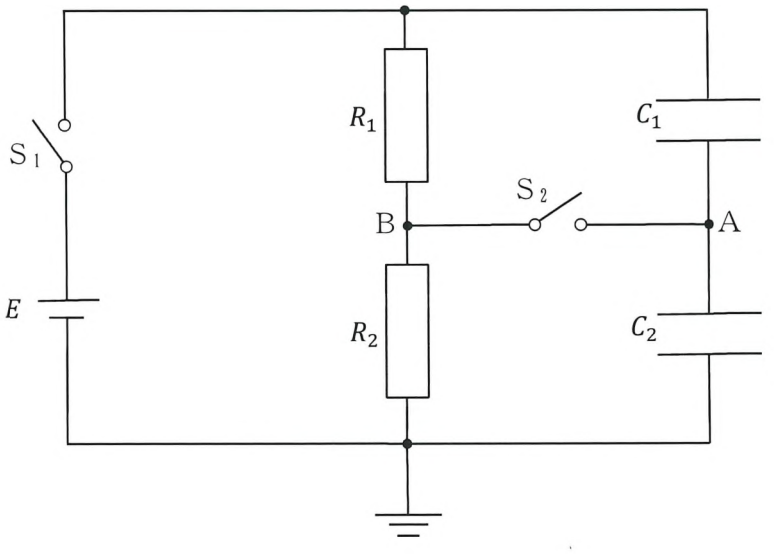



図4－1

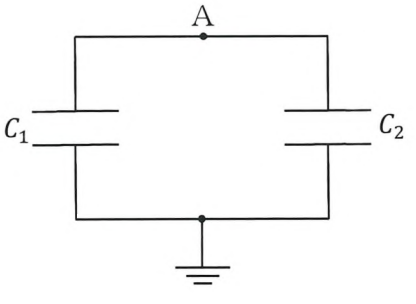



図4－2

〔解　答　欄〕

<table>
<tr><td rowspan="3">No.　4</td><td>(1)</td><td colspan="2">〔A〕</td></tr>
<tr><td>(2)</td><td colspan="2">〔μC〕</td></tr>
<tr><td>(3)</td><td>①　　〔μC〕</td><td>②　　〔V〕</td></tr>
</table>

〔 化 学 〕

必要であれば，次の原子量を用いなさい。H＝1.00，C＝12.0，O＝16.0

【No. 1】 次の文章を読み，各設問に答えよ。

**文章 1**：液体が蒸発して気体になるためには，分子は隣り合う分子との間に働く力に打ち勝って，液体表面から飛び出すだけの熱エネルギーを持たなければならない。したがって分子間力が大きい液体ほど蒸発しにくく，沸点が高くなる。沸点を 3 つの観点から考えよう。

1 つ目は分子量の観点である。①14 族元素に注目すると，その水素化合物はいずれも無極性分子で，構造は正四面体である。構造が似た分子では，分子量が大きいほど，ファンデルワールス力が強く働くため，沸点が高くなる。

2 つ目は分子の極性の観点である。分子量が同じ程度の水素化合物の沸点を比較すると，14 族に比べて，15，16，17 族が高くなっている。これは，14 族の水素化合物は無極性分子であるのに対し，15，16，17 族の水素化合物は極性分子であり，分子間に静電気的な引力が加わるため，ファンデルワールス力が強くなるからである。

3 つ目は水素結合の観点である。15，16，17 族の水素化合物では，アンモニア，フッ化水素，水の沸点が，他の同族の水素化合物の沸点と比べて著しく高い値を示している。それは，これらの分子間にはファンデルワールス力よりも強い水素結合が働いているからである。

**文章 2**：温度を一定に保ち，②乾燥空気で満たした密閉容器に液体を入れて放置すると，最初は，単位時間あたりに蒸発する分子の数は，凝縮する分子の数より多い。蒸気中の分子の数が増えるにつれて，凝縮する分子の数も多くなる。やがて，蒸発速度と凝縮速度が等しくなり，見かけ上，蒸発も凝縮も起こっていない飽和状態になる。この状態を（ ア ）という。液体と蒸気が共存し，（ ア ）にあるときの蒸気の圧力を，その液体の飽和蒸気圧という。蒸気圧は温度が高いほど，高くなる。これは温度が高くなると，液体中で大きな（ イ ）を持つ分子の割合が増えるからである。

（1）**文章 1** の下線部①に関して，以下の 3 つの水素化合物を沸点の低い順に左から並べよ。

［ $SiH_4$ $CH_4$ $GeH_4$ ］

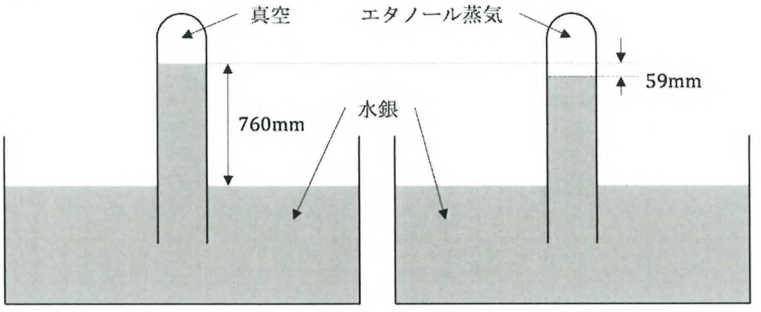
（2）**文章 1** を参考にして，以下の 4 つの水素化合物を沸点の低い順に左から並べよ。

［ $SiH_4$ $H_2O$ $PH_3$ $NH_3$ ］

（3）**文章 2** の空欄（ ア ）に当てはまる語句を答えよ。

（4）**文章 2** の空欄（ イ ）に当てはまる語句を答えよ。

（5）左図のように，一端を閉じた長いガラス管を水銀でみたし，25℃で水銀溜めの中に倒立させると，管の中に水銀の柱ができ，その高さは 760mm になる。また，水銀柱の上部のガラス管内はほぼ真空になる。この真空をトリチェリーの真空という。右図のように，トリチェリーの真空中に少量の液体を注入して，（　ア　）の状態にすると，液体の蒸気圧の分だけ，水銀柱の高さが低下する。いま，25℃を保ち，エタノールを注入したところ，水銀柱の高さは 59mm 下がった。エタノールの 25℃における飽和蒸気圧[Pa]を有効数字 2 桁で求めよ。ただし，大気圧を$1.01 \times 10^5$Paとする。




（6）飽和蒸気圧に関する次の文の正誤を判定せよ。

ⅰ）下線部②で示される容器の体積を圧縮によって縮めても，飽和蒸気圧は変化しない。

ⅱ）飽和蒸気圧は他の種類の気体の存在によって変化する。

〔解　答　欄〕

| | | |
|---|---|---|
| No. 1 | (1) | < < |
| | (2) | < < < |
| | (3) | |
| | (4) | |
| | (5) | Pa |
| | (6) | i)　　ii) |

【No.　2】　次の文章を読み，各設問に答えよ。

過マンガン酸カリウムは赤紫色をした化合物であり，酸化還元滴定に利用される。過マンガン酸カリウム水溶液の濃度を求めるために，以下の操作を行った。

コニカルビーカーに 0.200mol/L のシュウ酸ナトリウム水溶液 10.0mL をとり，水 20.0mL を加えさらに 3.00mol/L の硫酸 5.00mL を加えた。①この溶液を 50℃前後に加熱し，濃度のわからない過マンガン酸カリウム水溶液をビュレットから少しずつ滴下していくと，5.60mL 滴下したところで赤紫色が消えなくなった。したがって，この過マンガン酸カリウム水溶液の濃度は，(　ア　) mol/L と定まる。

この酸化還元滴定は，河川や湖の水を汚染する原因の一つとなる有機物の定量に用いられる。水 1L 中の有機物を完全に酸化するために必要とされる酸素の量（mg/L）の数値を化学的酸素要求量（COD）という。例えば，45.0mg/L のグルコース水溶液 1.00L 中のグルコースを完全に酸化したときの COD は，(　イ　) mg/L と計算される。COD の定量には，有機物を完全に酸化したときの過マンガン酸カリウムの消費量を求め，酸素を酸化剤とした次式を用いて酸素の消費量に換算する場合が多い。

$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$$

②河川で採取した水 100mL に希硫酸を加えて酸性とした。$5.00 \times 10^{-3}$mol/L の過マンガン酸カリウム水溶液 10.0mL を加えて，この溶液を加熱し，水中の有機物を完全に酸化した。次に，この溶液中に残存する過マンガン酸カリウムを完全に還元するために，$10.0 \times 10^{-3}$mol/L のシュウ酸ナトリウム水溶液 20.0mL を加えたところ，途中で赤紫色が消えた。次に，この溶液に $5.00 \times 10^{-3}$mol/L の過マンガン酸カリウム水溶液を滴下していくと，9.90mL 滴下したところで赤紫色が消えなくなった。

（1）下線部①の反応を以下に示した。［i］～［vi］に当てはまる数字を答えよ。

［i］$MnO_4^-$ ＋ ［ii］$H_2C_2O_4$ ＋ ［iii］$H^+$ → ［iv］$Mn^{2+}$ ＋ ［v］$H_2O$ ＋ ［vi］$CO_2$

（2）空欄（　ア　）に当てはまる数値を有効数字 3 桁で答えよ。

（3）空欄（　イ　）に当てはまる数値を有効数字 3 桁で答えよ。

（4）下線部②に示される河川水 100mL に含まれる有機物を酸化するために消費された過マンガン酸カリウムの物質量(mol)を有効数字 3 桁で求めよ。

（5）下線部②の河川水の COD(mg/L)を有効数字 3 桁で求めよ。

〔解　答　欄〕

<table>
<tr><td rowspan="6">No. 2</td><td rowspan="3">(1)</td><td>[ i ]</td><td>[ ii ]</td></tr>
<tr><td>[ iii ]</td><td>[ iv ]</td></tr>
<tr><td>[ v ]</td><td>[ vi ]</td></tr>
<tr><td>(2)</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>(3)</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>(4)</td><td colspan="2">mol</td></tr>
<tr><td></td><td>(5)</td><td colspan="2">mg/L</td></tr>
</table>

【No.　3】　次の文章を読み，各設問に答えよ。

カルボニル基を持つ多価アルコールで，一般式$C_nH_{2m}O_m$で表される化合物を糖類という。糖類のうち，それ以上小さな化合物に加水分解できないものを単糖，2 個の単糖類が脱水して縮合したものを二糖という。

代表的な単糖としてグルコースが挙げられる。グルコースは水溶液中において，図 1 に示される α-グルコース，図 3 に示される β-グルコース，そして図 2 に示される六員環構造が開いて鎖状構造をとるものが平衡状態で存在する。鎖状構造のグルコースには（　ア　）基があるため，（　イ　）性を示す。そのため，グルコースをアンモニア性硝酸銀水溶液に加えて温めると銀が析出する。その他の単糖としては，①フルクトースやラクトースが挙げられる。ビールやワインは，麦芽や葡萄に含まれる糖類を酵母菌の作用で分解させて作ったものであるが，酵母に含まれる酵素チマーゼにより，グルコースやフルクトースなどの単糖はエタノールと二酸化炭素に分解される。これを②アルコール発酵という。

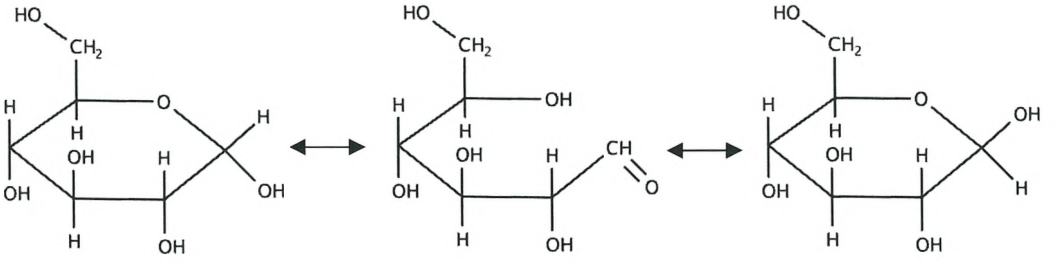
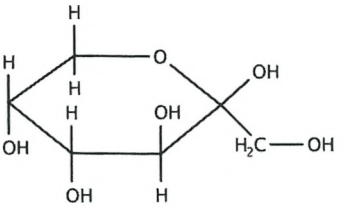


図 1　　図 2　　図 3

二糖には，グルコースとフルクトースが脱水縮合してできたスクロースが含まれる。グルコースとフルクトースに基づく 2 個の環状構造の部分はどちらも鎖状構造には変化できない。そのため，スクロースは（　イ　）性を示さない糖である。スクロースを希硫酸と加熱したり，酵素であるインベルターゼやスクラーゼを作用させたりして加水分解すると，グルコースとフルクトースの等量混合物が生じる。この反応を（　ウ　），得られた混合物を（　ウ　）糖といい，（　ウ　）糖の水溶液は（　イ　）性を示す。

（1）空欄（　ア　），（　イ　），（　ウ　）に当てはまる語句を答えよ。

（2）下線部①に関して，下図はフルクトースの六員環構造である。フルクトースも同様に環を開いて鎖状構造をとるが，そこから五員環構造をとる異性体にもなる。五員環構造のフルクトースの構造式を書け。



（3）下線部②に関して，100g のグルコースを完全にアルコール発酵させたときに生じるエタノールの質量を有効数字 2 桁で求めよ。

（4）鎖状構造のグルコースは不斉炭素原子を複数個持つため，立体異性体も複数個存在する。鎖状構造のグルコースの立体異性体の数を答えよ。

〔解　答　欄〕

<table>
<tr><td rowspan="5">No. 3</td><td rowspan="3">（1）</td><td>ア：</td></tr>
<tr><td>イ：</td></tr>
<tr><td>ウ：</td></tr>
<tr><td>（2）</td><td></td></tr>
<tr><td>（3）</td><td>g</td></tr>
<tr><td></td><td>（4）</td><td>個</td></tr>
</table>