

試験問題

理科

注意

物理基礎・物理〔Ⅰ〕〔Ⅱ〕〔Ⅲ〕，化学基礎・化学〔Ⅳ〕〔Ⅴ〕〔Ⅵ〕の合計6題から3題を選択して解答しなさい。

- (1) 解答時間は60分間です。
- (2) 試験開始の合図があるまで，問題冊子を裏返したり開いたりしてはいけません。
- (3) 試験監督者の指示があったら，解答用紙左側の受験番号が自分の受験番号であることを確かめてから，その下に受験番号をマークし，所定の欄に氏名を書きなさい。
- (4) 試験開始の合図があったら，問題冊子が1ページから31ページまで順序正しくそろっているかどうかを確かめなさい。不備がある場合は着席のまま手をあげなさい。
- (5) 物理基礎・物理の問題は2ページから13ページまで，化学基礎・化学の問題は14ページから31ページまでです。
- (6) 問題冊子は切り離してはいけません。
- (7) 試験終了後，問題冊子は持ち帰りなさい。

※ 問題を解答する際には，指示がない限り気体はすべて理想気体としてふるまうものとし，必要に応じて1ページにある元素の周期表および定数表を利用しなさい。

解答記入上の注意

- (1) 選択した問題の番号を解答用紙の「選択した問題番号」欄にマークしなさい。マークしない場合または2つ以上マークした場合は無効です。
- (2) 解答はすべて解答用紙の解答欄に黒鉛筆(HB)でマークしなさい。
- (3) 各設問の解答欄に2つ以上マークした場合は無効です。
- (4) 解答を訂正する場合はプラスチック消しゴムを使用してていねいに消し，消しクズが紙面に残らないように注意しなさい。

元素の周期表および定数表

元素の周期表

族 周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 1.0																	2 He 4.0
2	3 Li 6.9	4 Be 9.0	原子番号 元素記号 原子量										5 B 10.8	6 C 12.0	7 N 14.0	8 O 16.0	9 F 19.0	10 Ne 20.2
3	11 Na 23.0	12 Mg 24.3											13 Al 27.0	14 Si 28.1	15 P 31.0	16 S 32.1	17 Cl 35.5	18 Ar 40.0
4	19 K 39.1	20 Ca 40.1	21 Sc 45.0	22 Ti 47.9	23 V 50.9	24 Cr 52.0	25 Mn 54.9	26 Fe 55.9	27 Co 58.9	28 Ni 58.7	29 Cu 63.6	30 Zn 65.4	31 Ga 69.7	32 Ge 72.6	33 As 74.9	34 Se 79.0	35 Br 79.9	36 Kr 83.8
5	37 Rb 85.5	38 Sr 87.6	39 Y 88.9	40 Zr 91.2	41 Nb 92.9	42 Mo 96.0	43 Tc -	44 Ru 101	45 Rh 103	46 Pd 106	47 Ag 108	48 Cd 112	49 In 115	50 Sn 119	51 Sb 122	52 Te 128	53 I 127	54 Xe 131
6	55 Cs 133	56 Ba 137	(a)	72 Hf 179	73 Ta 181	74 W 184	75 Re 186	76 Os 190	77 Ir 192	78 Pt 195	79 Au 197	80 Hg 201	81 Tl 204	82 Pb 207	83 Bi 209	84 Po -	85 At -	86 Rn -
7	87 Fr -	88 Ra -	(b)	104 Rf -	105 Db -	106 Sg -	107 Bh -	108 Hs -	109 Mt -	110 Ds -	111 Rg -	112 Cn -	113 Nh -	114 Fl -	115 Mc -	116 Lv -	117 Ts -	118 Og -

(a) ランタノイド	57 La 139	58 Ce 140	59 Pr 141	60 Nd 144	61 Pm -	62 Sm 150	63 Eu 152	64 Gd 157	65 Tb 159	66 Dy 163	67 Ho 165	68 Er 167	69 Tm 169	70 Yb 173	71 Lu 175
(b) アクチノイド	89 Ac -	90 Th 232	91 Pa 231	92 U 238	93 Np -	94 Pu -	95 Am -	96 Cm -	97 Bk -	98 Cf -	99 Es -	100 Fm -	101 Md -	102 No -	103 Lr -

定数表

電気素量	$e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$
アボガドロ定数	$N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$
気体定数	$R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$
理想気体 1 mol の体積	22.4 L/mol (1.013 × 10 ⁵ Pa, 0 °C)
ファラデー定数	$F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$
絶対零度	-273 °C

物理基礎・物理

〔 I 〕 空欄 I 1 ～ I 6 にあてはまる最も適当な答えを解答群から選びなさい。

図1のように、長さ L の伸び縮みしない軽いひもに質量 m の小球が取り付けられた円錐振り子を考える。なお、水平な床面に原点 O を含む xy 平面をとり、振り子の支点 P は z 軸上で原点 O から上方に距離 L の位置にある。ひもと z 軸とのなす角 α ($0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$) は時間によらず一定で、小球は鉛直上方からみて反時計回りに等速円運動をしている。重力加速度の大きさを g とし、摩擦や空気抵抗は無視できるものとする。

小球に働く力はひもの張力と重力であり、ひもの張力の大きさは I 1 である。小球の加速度は I 2-a に向かい、その大きさ a は小球の角速度の大きさを ω とすると、 $a =$ I 2-b とあらわされる。また、小球の(円運動を行う平面上での)円の中心方向の運動方程式は $ma =$ I 3-a である。この2式より、 ω は I 3-b と求まる。

ここで、ある瞬間にひもが切れた。その瞬間の小球の速さは I 4-a となり、その瞬間から小球が床面に到達するまでに要する時間は I 4-b となる。ひもが切れてから小球が床面に到達するまでの小球の水平移動距離は I 5-a であるから、原点 O と小球の到達点との距離は I 5-b となる。

以下では、小球の円運動の半径が $\frac{\sqrt{21}}{5}L$ である場合を考える。図2のように、ひもが切れる瞬間の小球の位置を xy 平面に鉛直に射影した点を Q とし、これと原点 O を結ぶ直線が x 軸となす角を θ [rad] とする。小球の落下点がこの xy 平面上で $x \leq 0$ かつ $y \geq 0$ の領域であるための θ の範囲は I 6 となる。

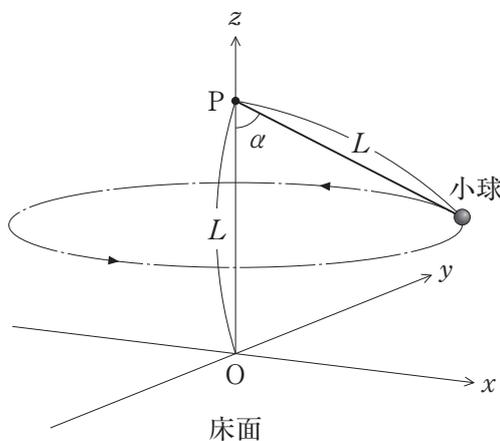


図1

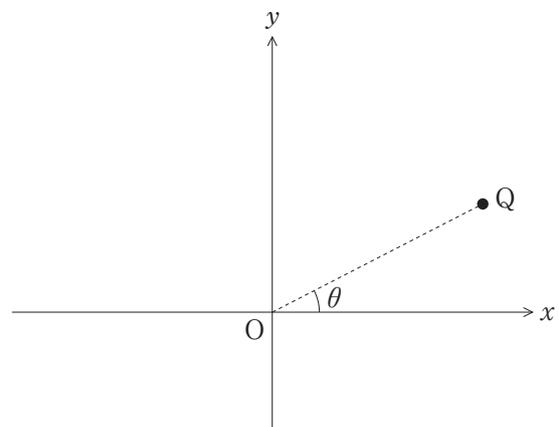


図2

I 1

- ① $mg \sin \alpha$ ② $mg \cos \alpha$ ③ $mg \tan \alpha$ ④ mg
⑤ $\frac{mg}{\sin \alpha}$ ⑥ $\frac{mg}{\cos \alpha}$ ⑦ $\frac{mg}{\tan \alpha}$

I 2

[I 2-a], [I 2-b] として最も適当なものを以下から選びなさい.

- ① [鉛直上方, $(L \cos \alpha) \omega^2$] ② [鉛直上方, $(L \sin \alpha) \omega^2$]
③ [鉛直下方, $(L \cos \alpha) \omega^2$] ④ [鉛直下方, $(L \sin \alpha) \omega^2$]
⑤ [振り子の支点方向, $(L \cos \alpha) \omega^2$] ⑥ [振り子の支点方向, $(L \sin \alpha) \omega^2$]
⑦ [円の中心, $(L \cos \alpha) \omega^2$] ⑧ [円の中心, $(L \sin \alpha) \omega^2$]

I 3

[I 3-a], [I 3-b] として最も適当なものを以下から選びなさい.

- ① $\left[mg \tan \alpha, \sqrt{\frac{g}{L \cos \alpha}} \right]$ ② $\left[mg \tan \alpha, \sqrt{\frac{g \tan \alpha}{L \cos \alpha}} \right]$
③ $\left[\frac{mg}{\tan \alpha}, \sqrt{\frac{g}{L \cos \alpha}} \right]$ ④ $\left[\frac{mg}{\tan \alpha}, \sqrt{\frac{g}{L \sin \alpha}} \right]$
⑤ $\left[mg \sin \alpha, \sqrt{\frac{g}{L}} \right]$ ⑥ $\left[mg \sin \alpha, \sqrt{\frac{g \tan \alpha}{L}} \right]$
⑦ $\left[\frac{mg}{\sin \alpha}, \frac{1}{\sin \alpha} \sqrt{\frac{g}{L}} \right]$ ⑧ $\left[\frac{mg}{\sin \alpha}, \sqrt{\frac{2g}{L \sin 2\alpha}} \right]$

I 4 [I 4-a , I 4-b] として最も適当なものを以下から選びなさい。

- ① $\left[\cos\alpha\sqrt{\frac{gL}{\sin\alpha}}, \sqrt{\frac{2L(1-\cos\alpha)}{g}} \right]$ ② $\left[\cos\alpha\sqrt{\frac{gL}{\sin\alpha}}, \sqrt{\frac{2L(1-\sin\alpha)}{g}} \right]$
 ③ $\left[\cos\alpha\sqrt{\frac{gL}{\sin\alpha}}, \sqrt{\frac{2L(1+\cos\alpha)}{g}} \right]$ ④ $\left[\cos\alpha\sqrt{\frac{gL}{\sin\alpha}}, \sqrt{\frac{2L(1+\sin\alpha)}{g}} \right]$
 ⑤ $\left[\sin\alpha\sqrt{\frac{gL}{\cos\alpha}}, \sqrt{\frac{2L(1-\cos\alpha)}{g}} \right]$ ⑥ $\left[\sin\alpha\sqrt{\frac{gL}{\cos\alpha}}, \sqrt{\frac{2L(1-\sin\alpha)}{g}} \right]$
 ⑦ $\left[\sin\alpha\sqrt{\frac{gL}{\cos\alpha}}, \sqrt{\frac{2L(1+\cos\alpha)}{g}} \right]$ ⑧ $\left[\sin\alpha\sqrt{\frac{gL}{\cos\alpha}}, \sqrt{\frac{2L(1+\sin\alpha)}{g}} \right]$

I 5 [I 5-a , I 5-b] として最も適当なものを以下から選びなさい。

- ① $\left[L\cos\alpha\sqrt{\frac{2-\sin\alpha}{\sin\alpha}}, L\cos\alpha\sqrt{\frac{2(1-\sin\alpha)}{\sin\alpha}} \right]$
 ② $\left[L\cos\alpha\sqrt{\frac{2-\sin\alpha}{\sin\alpha}}, L\sin\alpha\sqrt{\frac{2(1-\cos\alpha)}{\cos\alpha}} \right]$
 ③ $\left[L\cos\alpha\sqrt{\frac{2(1-\sin\alpha)}{\sin\alpha}}, L\cos\alpha\sqrt{\frac{2-\sin\alpha}{\sin\alpha}} \right]$
 ④ $\left[L\cos\alpha\sqrt{\frac{2(1-\sin\alpha)}{\sin\alpha}}, L\sin\alpha\sqrt{\frac{2-\cos\alpha}{\cos\alpha}} \right]$
 ⑤ $\left[L\sin\alpha\sqrt{\frac{2-\cos\alpha}{\cos\alpha}}, L\sin\alpha\sqrt{\frac{2(1-\cos\alpha)}{\cos\alpha}} \right]$
 ⑥ $\left[L\sin\alpha\sqrt{\frac{2-\cos\alpha}{\cos\alpha}}, L\cos\alpha\sqrt{\frac{2(1-\sin\alpha)}{\sin\alpha}} \right]$
 ⑦ $\left[L\sin\alpha\sqrt{\frac{2(1-\cos\alpha)}{\cos\alpha}}, L\sin\alpha\sqrt{\frac{2-\cos\alpha}{\cos\alpha}} \right]$
 ⑧ $\left[L\sin\alpha\sqrt{\frac{2(1-\cos\alpha)}{\cos\alpha}}, L\cos\alpha\sqrt{\frac{2-\sin\alpha}{\sin\alpha}} \right]$

I 6

- ① $0 \leq \theta \leq \frac{2\pi}{3}$ ② $0 \leq \theta \leq \frac{3\pi}{4}$ ③ $\frac{\pi}{6} \leq \theta \leq \frac{2\pi}{3}$
 ④ $\frac{\pi}{6} \leq \theta \leq \frac{5\pi}{6}$ ⑤ $\frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{3\pi}{4}$ ⑥ $\frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{5\pi}{6}$
 ⑦ $\frac{\pi}{3} \leq \theta \leq \frac{3\pi}{4}$ ⑧ $\frac{\pi}{3} \leq \theta \leq \frac{5\pi}{6}$

計 算 余 白

〔Ⅱ〕 空欄 Ⅱ 1 ～ Ⅱ 6 にあてはまる最も適当な答えを解答群から選びなさい。

以下の(1), (2)では, 荷電粒子の運動は各図中の紙面内に限定されており, 重力や地磁気の影響は無視できるものとする。

- (1) 図1のように, 真空中に平らな金属板 A_1 , A_2 , A_3 が平行に置かれている。ただし, 金属板には小さな穴 S_0 , S_1 , S_2 , S_3 が開けられており, $S_0 S_1$ 間の距離は L , $S_2 S_3$ 間の距離は $2R$ である。また, $A_1 A_2$ 間には A_1 から A_2 の向きに大きさ E_0 の一様な電場(電界)が, A_3 で区分けされた領域 Z_0 には紙面に垂直な向きに磁束密度の大きさ B_0 の一様な磁場(磁界)がかかっている。

質量 m , 電荷 $q (> 0)$ の荷電粒子が A_1 に対して垂直に S_0 を通って $A_1 A_2$ 間に入射した。図1に示したように, 荷電粒子は $A_1 A_2$ 間で加速された後に S_1 を通り, S_2 から時計回りに半円の軌道を描いて速さ v で S_3 を通過した。このとき, 磁場の向きは紙面に垂直に Ⅱ 1-a の向きであり, 速さ v と磁束密度の大きさ B_0 との関係は $v =$ Ⅱ 1-b である。この結果より S_0 を通過したときの荷電粒子の運動エネルギーは Ⅱ 2 だったとわかる。

次に, 荷電粒子の質量を $2m$ とし, 磁束密度の大きさを B_1 に変えた場合を考える。この荷電粒子(電荷 q)が S_0 から入射して, 図1に示したのと同じ軌道を通った場合, S_0 を通過したときの荷電粒子の運動エネルギーが Ⅱ 2 と同じであったとすると, S_3 における荷電粒子の速さは v の Ⅱ 3-a 倍となる。また, 領域 Z_0 にかけてられている磁場の磁束密度の大きさ B_1 は B_0 の Ⅱ 3-b 倍である。

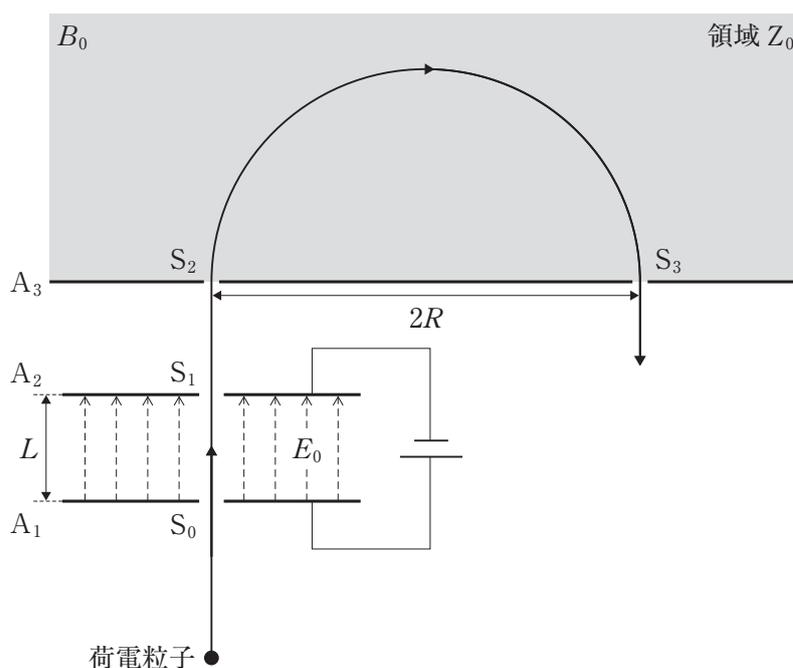


図1

Ⅱ 1 [Ⅱ1-a , Ⅱ1-b] として最も適当なものを以下から選びなさい。

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| ① [表から裏, $\frac{mB_0}{qR}$] | ② [表から裏, $\frac{qR}{mB_0}$] |
| ③ [表から裏, $\frac{qB_0R}{m}$] | ④ [表から裏, $\frac{m}{qB_0R}$] |
| ⑤ [裏から表, $\frac{mB_0}{qR}$] | ⑥ [裏から表, $\frac{qR}{mB_0}$] |
| ⑦ [裏から表, $\frac{qB_0R}{m}$] | ⑧ [裏から表, $\frac{m}{qB_0R}$] |

Ⅱ 2

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| ① $\frac{q^2 B_0^2 R^2}{2m} - 2qE_0L$ | ② $\frac{q^2 B_0^2 R^2}{2m} - qE_0L$ |
| ③ $\frac{q^2 B_0^2 R^2}{m} - qE_0L$ | ④ $\frac{2q^2 B_0^2 R^2}{m} - qE_0L$ |
| ⑤ $\frac{q^2 B_0^2 R^2}{2m} + 2qE_0L$ | ⑥ $\frac{q^2 B_0^2 R^2}{2m} + qE_0L$ |
| ⑦ $\frac{q^2 B_0^2 R^2}{m} + qE_0L$ | ⑧ $\frac{2q^2 B_0^2 R^2}{m} + qE_0L$ |

Ⅱ 3 [Ⅱ3-a , Ⅱ3-b] として最も適当なものを以下から選びなさい。

- | | | | |
|--|---|---|--|
| ① $\left[\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{1}{2} \right]$ | ② $\left[\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2} \right]$ | ③ $\left[\frac{\sqrt{2}}{2}, \sqrt{2} \right]$ | ④ $\left[\frac{\sqrt{2}}{2}, 2 \right]$ |
| ⑤ $\left[\sqrt{2}, \frac{1}{2} \right]$ | ⑥ $\left[\sqrt{2}, \frac{\sqrt{2}}{2} \right]$ | ⑦ $\left[\sqrt{2}, \sqrt{2} \right]$ | ⑧ $\left[\sqrt{2}, 2 \right]$ |

(2) 図2のように、真空中に、十分長く平行な境界 aa' 、 bb' で分けられた領域 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 がある。なお、 Z_1 と Z_2 にのみ、紙面に垂直に磁束密度の大きさ B の一様な磁場がかけられている。

ここでは、点 O から Z_1 に速さ v_0 、 aa' に垂直な向きで入射した質量 m 、電荷 $q (> 0)$ の荷電粒子の運動を考える。 Z_1 に入射した荷電粒子が時計回りに半円を描いて aa' 上の点 P_1 に達したとすると、 O を出た荷電粒子が P_1 に達するまでの時間は $\boxed{\text{II 4-a}}$ であり、この間に荷電粒子が磁場(による力)からされた仕事は $\boxed{\text{II 4-b}}$ である。

その後、荷電粒子は P_1 から Z_3 に入射した。 Z_3 内で大きさ E の一様な電場を荷電粒子の進行方向にかけたところ、これによって荷電粒子は加速され、 bb' 上の点 P_2 から $3v_0$ の速さで Z_2 に入射した。このとき、 Z_3 の幅(P_1P_2 間の距離)は $\boxed{\text{II 5}}$ である。

そして、荷電粒子は Z_2 内を時計回りに半周し、 bb' 上の点 P_3 から再び Z_3 に入射した。荷電粒子が Z_3 を通過している間、荷電粒子の進行方向に大きさ E の一様な電場を Z_3 内にかけて、 Z_1 に飛び込む荷電粒子の速さは v_0 の $\boxed{\text{II 6-a}}$ 倍となる。

荷電粒子が $Z_1 \rightarrow Z_3 \rightarrow Z_2 \rightarrow Z_3 \rightarrow Z_1 \rightarrow \dots$ のように運動を続けて、 Z_3 を N 回通過した場合、荷電粒子が電場(による力)からされた仕事は $\boxed{\text{II 6-b}}$ である。

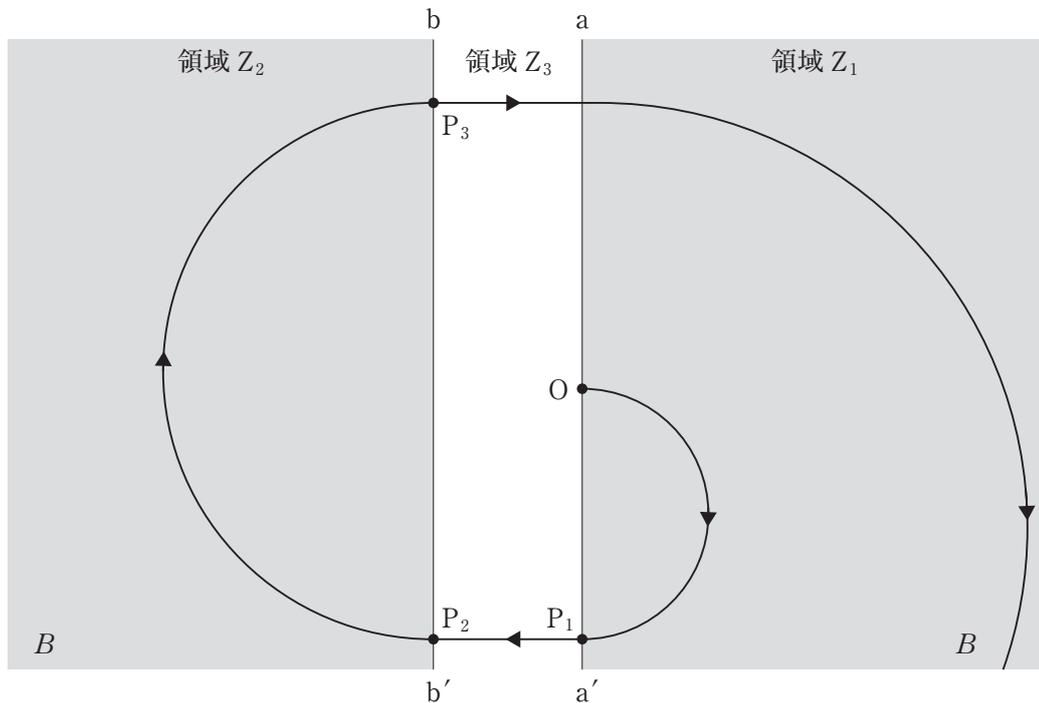


図2

Ⅱ 4 [Ⅱ4-a , Ⅱ4-b] として最も適当なものを以下から選びなさい。

- | | |
|---|---|
| ① $\left[\frac{\pi m}{qB}, 0 \right]$ | ② $\left[\frac{\pi m}{qB}, 2mv_0^2 \right]$ |
| ③ $\left[\frac{2\pi m}{qB}, 0 \right]$ | ④ $\left[\frac{2\pi m}{qB}, 2mv_0^2 \right]$ |
| ⑤ $\left[\frac{qB}{\pi m}, 0 \right]$ | ⑥ $\left[\frac{qB}{\pi m}, 2mv_0^2 \right]$ |
| ⑦ $\left[\frac{2qB}{\pi m}, 0 \right]$ | ⑧ $\left[\frac{2qB}{\pi m}, 2mv_0^2 \right]$ |

Ⅱ 5

- | | | | |
|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| ① $\frac{mv_0^2}{4qE}$ | ② $\frac{mv_0^2}{3qE}$ | ③ $\frac{mv_0^2}{2qE}$ | ④ $\frac{2mv_0^2}{3qE}$ |
| ⑤ $\frac{3mv_0^2}{2qE}$ | ⑥ $\frac{2mv_0^2}{qE}$ | ⑦ $\frac{3mv_0^2}{qE}$ | ⑧ $\frac{4mv_0^2}{qE}$ |

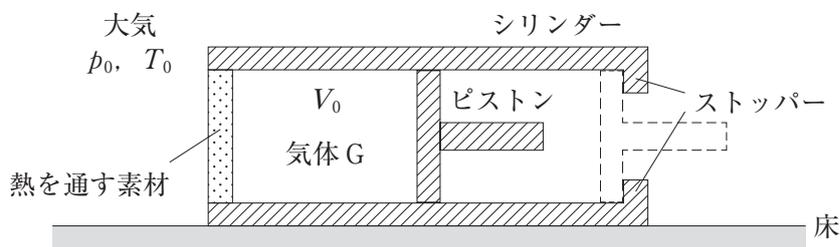
Ⅱ 6 [Ⅱ6-a , Ⅱ6-b] として最も適当なものを以下から選びなさい。

- | | |
|--|--|
| ① $\left[\sqrt{17}, \frac{5}{2}Nmv_0^2 \right]$ | ② $\left[\sqrt{17}, 3Nmv_0^2 \right]$ |
| ③ $\left[\sqrt{17}, \frac{7}{2}Nmv_0^2 \right]$ | ④ $\left[\sqrt{17}, 4Nmv_0^2 \right]$ |
| ⑤ $\left[\sqrt{19}, \frac{5}{2}Nmv_0^2 \right]$ | ⑥ $\left[\sqrt{19}, 3Nmv_0^2 \right]$ |
| ⑦ $\left[\sqrt{19}, \frac{7}{2}Nmv_0^2 \right]$ | ⑧ $\left[\sqrt{19}, 4Nmv_0^2 \right]$ |

〔Ⅲ〕 空欄 Ⅲ 1 ～ Ⅲ 6 にあてはまる最も適当な答えを解答群から選びなさい。

〔A〕 図のように、圧力 p_0 、絶対温度 T_0 の大気中において、水平な床の上に固定されたシリンダーの中に、なめらかに動くことができるピストンによって単原子分子理想気体 G が封入されている。ピストンの右側の面は大気に接している。シリンダーの左端の壁は熱をよく通す素材でできているが、シリンダーの他の部分とピストンは断熱材でできている。はじめ、ピストンは静止しており、気体 G の体積は V_0 、圧力は p_0 、絶対温度は T_0 であった。気体定数を R とし、シリンダーおよびピストンの熱容量や熱膨張は無視できるものとする。

- (1) はじめの状態における気体 G の物質量は Ⅲ 1-a , 内部エネルギーは Ⅲ 1-b である。
- (2) 次に、ピストンに外力を加えてピストンをゆっくりと右に動かしてシリンダーの右端のストッパーの位置(図の点線の位置)まで移動させたところ、気体 G は等温膨張して、圧力がはじめの半分になった。この間に外力の大きさは 0 から徐々に増加していった。この等温膨張の間に外力がした仕事を W_0 とすると、気体 G が吸収した熱量は Ⅲ 2 である。
- (3) その後、シリンダーの左端の壁を断熱材でおおって気体 G と外部を熱的に遮断してから、ピストンをゆっくりと左に動かしてはじめの位置に戻したところ、気体 G は断熱圧縮されて、圧力が p' 、体積が V_0 となった。 p' と p_0 の大小関係は Ⅲ 3-a である。また、はじめの状態から等温膨張と断熱圧縮を経て気体 G の体積が元に戻るまでの間に気体 G が外部にした仕事 W' は Ⅲ 3-b であることがわかる。



Ⅲ 1 [Ⅲ1-a , Ⅲ1-b] として最も適当なものを以下から選びなさい。

- ① $\left[\frac{p_0 T_0}{RV_0}, \frac{3}{2} p_0 V_0 \right]$ ② $\left[\frac{p_0 T_0}{RV_0}, p_0 V_0 \right]$ ③ $\left[\frac{p_0 T_0}{RV_0}, 3p_0 V_0 \right]$
④ $\left[\frac{p_0 V_0}{RT_0}, \frac{3}{2} p_0 V_0 \right]$ ⑤ $\left[\frac{p_0 V_0}{RT_0}, p_0 V_0 \right]$ ⑥ $\left[\frac{p_0 V_0}{RT_0}, 3p_0 V_0 \right]$
⑦ $\left[\frac{V_0 T_0}{p_0 R}, \frac{3}{2} p_0 V_0 \right]$ ⑧ $\left[\frac{V_0 T_0}{p_0 R}, p_0 V_0 \right]$ ⑨ $\left[\frac{V_0 T_0}{p_0 R}, 3p_0 V_0 \right]$

Ⅲ 2

- ① $-W_e$ ② $-p_0 V_0$ ③ $-p_0 V_0 - W_e$ ④ $-p_0 V_0 + W_e$
⑤ W_e ⑥ $p_0 V_0$ ⑦ $p_0 V_0 + W_e$ ⑧ $p_0 V_0 - W_e$

Ⅲ 3 [Ⅲ3-a , Ⅲ3-b] として最も適当なものを以下から選びなさい。

- ① $[p' < p_0, W' < 0]$ ② $[p' < p_0, W' = 0]$ ③ $[p' < p_0, W' > 0]$
④ $[p' = p_0, W' < 0]$ ⑤ $[p' = p_0, W' = 0]$ ⑥ $[p' = p_0, W' > 0]$
⑦ $[p' > p_0, W' < 0]$ ⑧ $[p' > p_0, W' = 0]$ ⑨ $[p' > p_0, W' > 0]$

〔B〕 一般に、レンズは光を集めたり広げたりすることが可能で、これらによって物体(光源)の拡大・縮小像をつくることができる。

- (1) 図1は凸レンズによる結像の様子である。凸レンズと左側の焦点Fの間に物体を置くと、レンズの右側にいる観測者には拡大された虚像が見える。レンズの中心Oから焦点Fまでの距離(焦点距離)を f 、Oから物体までの距離を d とすると、Oから虚像までの距離 D は **Ⅲ4-a** である。また、この凸レンズの倍率は **Ⅲ4-b** である。

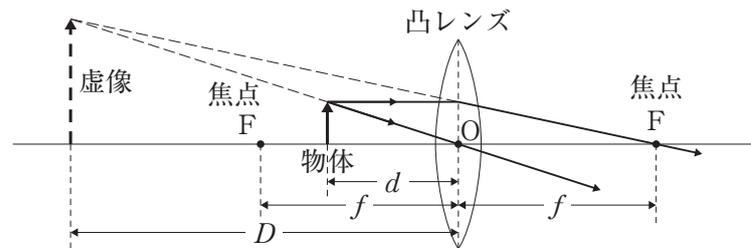


図1

- (2) 図2のように、焦点距離 f_1 の凸レンズ L_1 と焦点距離 f_2 (ただし、 $f_2 < f_1$)の凹レンズ L_2 を距離 f_1 だけ離して光軸が一致するように配置する。このとき、 L_1 の左側の距離 a (ただし、 $a > f_1$)に光源Aを置くと、2枚のレンズによって実像Cがつくられた。なお、図中の F_1 は L_1 の焦点、 F_2 は L_2 の焦点の位置をあらわしている。

ここでは以下の手順にしたがって、実像Cについて検討する。まず、 L_2 がない場合を考える。 L_1 によってつくられた光源Aの実像Bは L_1 の右側の位置につくられる。右側の F_1 から実像Bまでの距離 a' を f_1 と a を用いてあらわすと **Ⅲ5** となる。次に、 L_2 がある場合を考える。このとき、実像Bは光源とみなすことができ(虚光源)、実像Cが得られる。 L_2 が凹レンズであることと、Bが L_2 の右側にあることに注意すると、 L_2 から実像Cまでの距離 b' は **Ⅲ6-a** となる。なお、光源Aに対する実像Cの大きさの比が倍率をあらわすことを踏まえると、2枚のレンズによる光源Aに対する実像Cの倍率は **Ⅲ6-b** である。

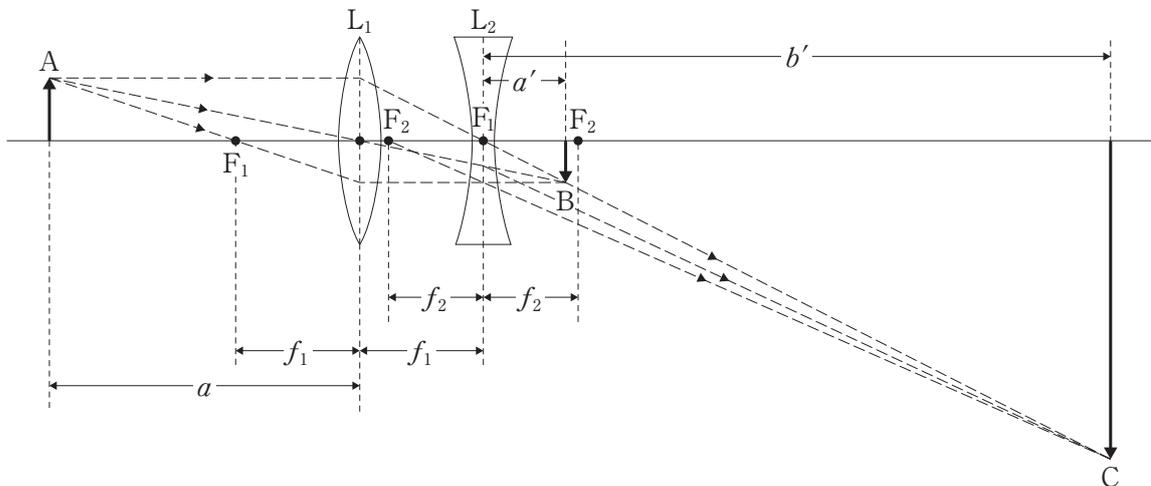


図2

Ⅲ 4 [Ⅲ4-a , Ⅲ4-b] として最も適当なものを以下から選びなさい。

- | | |
|--|--|
| ① $\left[\frac{fd}{f-d}, \frac{f}{f-d} \right]$ | ② $\left[\frac{fd}{f-d}, \frac{d}{f-d} \right]$ |
| ③ $\left[\frac{fd}{f-d}, \frac{f}{f+d} \right]$ | ④ $\left[\frac{fd}{f-d}, \frac{d}{f+d} \right]$ |
| ⑤ $\left[\frac{fd}{f+d}, \frac{f}{f-d} \right]$ | ⑥ $\left[\frac{fd}{f+d}, \frac{d}{f-d} \right]$ |
| ⑦ $\left[\frac{fd}{f+d}, \frac{f}{f+d} \right]$ | ⑧ $\left[\frac{fd}{f+d}, \frac{d}{f+d} \right]$ |

Ⅲ 5

- | | | | |
|---------------------|-----------|----------------------------|-------------------------|
| ① $\frac{a-f_1}{2}$ | ② $a-f_1$ | ③ $\frac{f_1^2}{2(a-f_1)}$ | ④ $\frac{f_1^2}{a-f_1}$ |
| ⑤ $\frac{a+f_1}{2}$ | ⑥ $a+f_1$ | ⑦ $\frac{f_1^2}{2(a+f_1)}$ | ⑧ $\frac{f_1^2}{a+f_1}$ |

Ⅲ 6 [Ⅲ6-a , Ⅲ6-b] として最も適当なものを以下から選びなさい。

- | |
|---|
| ① $\left[\frac{f_1^2 f_2}{af_2 - f_1 f_2 - f_1^2}, \frac{f_1 f_2}{af_2 + f_1 f_2 + f_1^2} \right]$ |
| ② $\left[\frac{f_1^2 f_2}{af_2 - f_1 f_2 - f_1^2}, \frac{f_1^2}{af_2 - f_1 f_2 - f_1^2} \right]$ |
| ③ $\left[\frac{f_1^2 f_2}{af_2 - f_1 f_2 - f_1^2}, \frac{f_1 f_2}{af_2 - f_1 f_2 - f_1^2} \right]$ |
| ④ $\left[\frac{f_1^2 f_2}{af_2 - f_1 f_2 - f_1^2}, \frac{f_2^2}{af_2 - f_1 f_2 - f_1^2} \right]$ |
| ⑤ $\left[\frac{f_1 f_2}{a - f_1 - f_2}, \frac{f_1}{a + f_1 + f_2} \right]$ |
| ⑥ $\left[\frac{f_1 f_2}{a - f_1 - f_2}, \frac{f_1^2}{af_2 - f_1 f_2 - f_2^2} \right]$ |
| ⑦ $\left[\frac{f_1 f_2}{a - f_1 - f_2}, \frac{f_1}{a - f_1 - f_2} \right]$ |
| ⑧ $\left[\frac{f_1 f_2}{a - f_1 - f_2}, \frac{f_2}{a - f_1 - f_2} \right]$ |

化学基礎・化学

〔IV〕 空欄 ～ にあてはまる最も適切な答えを解答群から選びなさい。

(1) 原子の質量の表し方に関する次の記述で、正しいものの組合せは である。

- (a) 原子1個の相対質量は、 ^{12}C 原子1個の質量に対する比率に12を乗じた値である。
- (b) 12 gを ^{12}C 原子1個の質量で割った値は、アボガドロ定数の値にほぼ等しい。
- (c) 原子量は、各元素を構成する同位体の質量数と存在比から求めた平均値で表される。
- (d) Al 1.00 gには、Al原子が 2.23×10^{21} 個含まれる。
- (e) 原子量、分子量および式量の単位は、いずれも g/mol である。

- ① (a), (b)
- ② (a), (c)
- ③ (a), (d)
- ④ (a), (e)
- ⑤ (b), (c)
- ⑥ (b), (d)
- ⑦ (b), (e)
- ⑧ (c), (d)
- ⑨ (c), (e)
- ⑩ (d), (e)

(2) 固体の溶解に関する次の記述中の(a)～(c)にあてはまる語句の組合せで、正しいのは IV 2 である。

固体の溶解度は、(a) 100 g に溶ける溶質の最大質量を g 単位で示すことが多い。一般に、水に対する固体の溶解度は、温度の上昇にともない大きくなる傾向を示すが、水酸化カルシウムのように、0～100℃において、温度が上昇するにつれて溶解度が小さくなる物質もある。これらの物質の水溶液では、温度上昇にともない析出が進むことから、(b)より、これらの物質が水に溶解する際には、(c)すると考えられる。

IV 2	(a)	(b)	(c)
①	溶媒	ヘンリーの法則	発熱
②	溶媒	ヘンリーの法則	吸熱
③	溶媒	ルシャトリエの原理	発熱
④	溶媒	ルシャトリエの原理	吸熱
⑤	溶液	ヘンリーの法則	発熱
⑥	溶液	ヘンリーの法則	吸熱
⑦	溶液	ルシャトリエの原理	発熱
⑧	溶液	ルシャトリエの原理	吸熱

(3) 石油(原油)の精製と燃焼に関する次の記述中の(a)～(c)にあてはまる語句と数値の組合せで、正しいのは IV 3 である。

自動車のエンジンは、石油を(a)して得られるガソリンの燃焼によって動力を得ている。一方で、地球温暖化の原因となる二酸化炭素の排出が問題視されている。仮に、ガソリンがオクタン C_8H_{18} のみからなるとすると、28.5 kg のガソリンを完全燃焼して排出される二酸化炭素の量は(b) kg である。また、この燃焼で消費される酸素は、標準状態(1.013×10^5 Pa, $0^\circ C$)で(c) L である。

IV 3	(a)	(b)	(c)
①	酸化	44.0	7.00×10^4
②	酸化	44.0	1.40×10^5
③	酸化	88.0	7.00×10^4
④	酸化	88.0	1.40×10^5
⑤	分留	44.0	7.00×10^4
⑥	分留	44.0	1.40×10^5
⑦	分留	88.0	7.00×10^4
⑧	分留	88.0	1.40×10^5

(4) 緩衝作用に関する次の記述中の(a)～(c)にあてはまる数値と語句の組合せで、正しいのは IV 4 である。

0.62 mol/L 酢酸水溶液 500 mL に酢酸ナトリウム CH_3COONa 17.2 g を混合し、水を加えて全体を 1.00 L とした。この混合水溶液の pH は (a) である。これに少量の酸を加えると、水素イオンは多量に存在する酢酸 (b) と反応するため、pH はほとんど変化しない。一方、この混合水溶液に少量の塩基を加えたとしても、水酸化物イオンは多量に存在する酢酸 (c) と反応するため、pH はほとんど変化しない。ただし、酢酸ナトリウムはすべて水に溶解するものとし、酢酸の電離定数 K_a を 2.7×10^{-5} mol/L, $\log_{10}2$ を 0.30 とする。

IV 4	(a)	(b)	(c)
①	5.6	分 子	分 子
②	5.6	分 子	イオン
③	5.6	イオン	分 子
④	5.6	イオン	イオン
⑤	4.4	分 子	分 子
⑥	4.4	分 子	イオン
⑦	4.4	イオン	分 子
⑧	4.4	イオン	イオン

- (5) 安息香酸の電離平衡に関する次の記述中の(a)および(b)にあてはまる数値の組合せで、正しいのは IV 5 である。

安息香酸ナトリウム $\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$ 4.42 g が溶解した水溶液 1.00 L から、安息香酸 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ を沈殿させて回収したい。電離平衡から考えると、この溶液の pH が(a)であるとき溶液中の安息香酸の濃度と安息香酸イオン $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$ の濃度が等しくなる。十分に沈殿させるには少なくともこれより pH を下げる必要があり、この条件では安息香酸は pH (b) 程度から析出し始めると考えられる。ただし、安息香酸の電離定数 K_a は 1.00×10^{-4} mol/L、溶解度は 0.340(溶質の溶解により溶媒の体積は変わらないものとする)、また、安息香酸ナトリウムは完全に電離し、pH の調整により溶液の体積は変わらないものとする。

IV 5	(a)	(b)
①	4.0	1.0
②	4.0	2.0
③	4.0	3.0
④	5.0	2.0
⑤	5.0	3.0
⑥	5.0	4.0
⑦	6.0	3.0
⑧	6.0	4.0
⑨	6.0	5.0

(6) 反応速度に関する次の記述中の(a)～(c)にあてはまる数値と語句の組合せで、正しいのは IV 6 である。

1.4 mol/L の過酸化水素水 6.0 mL に少量の酸化マンガ(IV)粉末を加えると、過酸化水素が分解し、過酸化水素水の濃度は 30.0 秒後に 0.32 mol/L となった。このときの過酸化水素の平均分解速度は (a) mol/(L·s) である。また、生成した酸素の物質量は (b) mol である。使用した酸化マンガ(IV)は、反応速度を大きくするための (c) 系触媒である。ただし、反応の前後で体積は変わらないものとする。

IV 6	(a)	(b)	(c)
①	4.7×10^{-2}	3.2×10^{-3}	均一
②	4.7×10^{-2}	3.2×10^{-3}	不均一
③	4.7×10^{-2}	6.4×10^{-3}	均一
④	4.7×10^{-2}	6.4×10^{-3}	不均一
⑤	3.6×10^{-2}	3.2×10^{-3}	均一
⑥	3.6×10^{-2}	3.2×10^{-3}	不均一
⑦	3.6×10^{-2}	6.4×10^{-3}	均一
⑧	3.6×10^{-2}	6.4×10^{-3}	不均一

〔V〕 空欄 ～ にあてはまる最も適当な答えを解答群から選びなさい。

(1) 金属結晶に関する次の記述中の(a)および(b)にあてはまる文章と語句の組合せで、正しいのは である。

鉄は体心立方格子、銅および銀は面心立方格子の結晶構造をとる。これらの結晶格子において、単位格子中に含まれる金属原子の数は、(a)。また、鉄および銅の原子半径がいずれも 1.17×10^{-8} cm、銀の原子半径が 1.34×10^{-8} cm であるとする、これらの金属のうち最も密度が大きいのは(b)である。

<input type="text" value="V 1"/>	(a)	(b)
	① 体心立方格子の方が多い	鉄
	② 体心立方格子の方が多い	銅
	③ 体心立方格子の方が多い	銀
	④ どちらも同じである	鉄
	⑤ どちらも同じである	銅
	⑥ どちらも同じである	銀
	⑦ 面心立方格子の方が多い	鉄
	⑧ 面心立方格子の方が多い	銅
	⑨ 面心立方格子の方が多い	銀

(2) 亜鉛とその化合物に関する次の記述で、正しいものの組合せは V 2 である。

- (a) 亜鉛(Ⅱ)イオンを含む中性の水溶液に硫化水素を吹き込むと、白色沈殿が生じる。
- (b) テトラアンミン亜鉛(Ⅱ)イオンでは、アンモニウムイオンが配位子である。
- (c) 負極活物質に酸化剤として亜鉛が利用されているマンガン乾電池は、一次電池である。
- (d) 鉄の腐食を防ぐために、亜鉛で鉄の表面をめっきしたものをブリキとよぶ。
- (e) 銅と亜鉛との合金を黄銅といい、五円硬貨などに使用されている。

- | | |
|-----|------------|
| V 2 | ① (a), (b) |
| | ② (a), (c) |
| | ③ (a), (d) |
| | ④ (a), (e) |
| | ⑤ (b), (c) |
| | ⑥ (b), (d) |
| | ⑦ (b), (e) |
| | ⑧ (c), (d) |
| | ⑨ (c), (e) |
| | ⑩ (d), (e) |

(3) 2族元素とその化合物に関する次の記述で、正しいものの組合せは V 3 である。

- (a) 単体は、いずれも冷水と激しく反応する。
- (b) 単体は、いずれも炎色反応を示す。
- (c) マグネシウム、カルシウムおよびバリウムの酸化物は、いずれも塩基性酸化物である。
- (d) 消石灰に二酸化炭素を反応させると、生成する炭酸カルシウムの質量は消石灰の約 1.8 倍となる。
- (e) 硫酸マグネシウムは水に溶けやすいが、硫酸バリウムは水に溶けにくい。

- | | |
|-----|------------|
| V 3 | ① (a), (b) |
| | ② (a), (c) |
| | ③ (a), (d) |
| | ④ (a), (e) |
| | ⑤ (b), (c) |
| | ⑥ (b), (d) |
| | ⑦ (b), (e) |
| | ⑧ (c), (d) |
| | ⑨ (c), (e) |
| | ⑩ (d), (e) |

(4) 金属イオンの定性分析に関する次の記述中の(a)～(c)にあてはまる金属イオンの組合せで、正しいのは V 4 である。

金属イオン(a), (b), (c)を含む混合水溶液に希塩酸を加えると、金属イオン(a)由来の白色の沈殿が生じた。これをろ過して沈殿1およびろ液1を得た。沈殿1に熱水を加えた後、クロム酸カリウム水溶液を加えると黄色沈殿が生じた。また、ろ液1に硝酸を加えて加熱後、塩化アンモニウム水溶液とアンモニア水を加えると、金属イオン(b)由来の白色の沈殿が生じた。これをろ過して得たろ液2に硫化水素を通じると、金属イオン(c)由来の淡桃色の沈殿が生じた。

V 4	(a)	(b)	(c)
①	Ag^+	Al^{3+}	Zn^{2+}
②	Ag^+	Al^{3+}	Mn^{2+}
③	Ag^+	Fe^{3+}	Zn^{2+}
④	Ag^+	Fe^{3+}	Mn^{2+}
⑤	Pb^{2+}	Al^{3+}	Zn^{2+}
⑥	Pb^{2+}	Al^{3+}	Mn^{2+}
⑦	Pb^{2+}	Fe^{3+}	Zn^{2+}
⑧	Pb^{2+}	Fe^{3+}	Mn^{2+}

(5) 硝酸に関する次の記述中の(a)～(c)にあてはまる語句の組合せで、正しいのは V 5 である。

硝酸は酸化力が強く、銅のようなイオン化傾向の小さい金属とも反応してこれを溶解する。銅に(a)硝酸を反応させると、赤褐色で水に(b)気体を発生する。この気体を常温で注射器に入れて密閉し、一定時間放置したのちピストンを引くと、気体の色は次第に(c)くなる。

V 5	(a)	(b)	(c)
①	希	溶けやすい	薄
②	希	溶けやすい	濃
③	希	溶けにくい	薄
④	希	溶けにくい	濃
⑤	濃	溶けやすい	薄
⑥	濃	溶けやすい	濃
⑦	濃	溶けにくい	薄
⑧	濃	溶けにくい	濃

(6) 塩素の製法に関する次の記述中の(a)～(c)にあてはまる語句と数値の組合せで、正しいのは V 6 である。

酸化マンガン(IV)に(a)塩酸を加えて塩素を発生させる方法がある。この方法で発生した塩素には、塩化水素および水蒸気が混入しているため、(b)の順に通じて洗浄したのち、下方置換で捕集する。また、高度さらし粉に塩酸を加えても同様に塩素が得られる。高度さらし粉(c)gに十分な量の塩酸を加えると、標準状態(1.013×10^5 Pa, 0°C)で塩素が1.12 L発生する。ただし、反応は完全に進行するものとする。

V 6	(a)	(b)	(c)
①	希	濃硫酸 → 水	3.58
②	希	濃硫酸 → 水	4.03
③	希	水 → 濃硫酸	3.58
④	希	水 → 濃硫酸	4.03
⑤	濃	濃硫酸 → 水	3.58
⑥	濃	濃硫酸 → 水	4.03
⑦	濃	水 → 濃硫酸	3.58
⑧	濃	水 → 濃硫酸	4.03

〔VI〕 空欄 ～ にあてはまる最も適当な答えを解答群から選びなさい。

(1) 有機化合物の分子構造に関する次の記述で、正しいものの組合せは である。

- (a) ベンゼンおよびシクロヘキサンでは、それぞれの分子内の炭素原子はいずれも同一平面上に存在する。
- (b) 2価のカルボン酸であるフマル酸 $C_2H_2(COOH)_2$ は、 $C=C$ 二重結合に対してカルボキシ基が同じ側に存在する。
- (c) 炭素数 n のアルカン C_nH_{2n+2} では、構造異性体が、 $n = 4$ では2種類、また $n = 6$ では5種類存在する。
- (d) 不斉炭素を有する3-クロロ-2-ブタノール $CH_3CH(OH)CHClCH_3$ の立体異性体どうしは、全て鏡像関係にある。
- (e) エチレンの全ての水素原子は同一平面上に存在するが、エタンの全ての水素原子は同一平面上には存在しない。

- | | |
|------|------------|
| VI 1 | ① (a), (b) |
| | ② (a), (c) |
| | ③ (a), (d) |
| | ④ (a), (e) |
| | ⑤ (b), (c) |
| | ⑥ (b), (d) |
| | ⑦ (b), (e) |
| | ⑧ (c), (d) |
| | ⑨ (c), (e) |
| | ⑩ (d), (e) |

(2) 有機化合物の官能基に関する次の記述で、正しいものの組合せは VI 2 である。

- (a) ギ酸は飽和脂肪酸であるが、ホルミル基をもつため還元性を示す。
- (b) 2価のアルコールであるグリセリンは、1価のアルコールである1-プロパノールよりも沸点が高く、水に溶けやすい。
- (c) 第2級アルコールを酸化すると、アルデヒドを生じる。
- (d) フェノール類のヒドロキシ基は、水溶液中でわずかに電離し、弱酸性を示す。
- (e) エステルに希硫酸を加えて加熱すると、スルホン酸とアルコールを生じる。

- | | |
|------|------------|
| VI 2 | ① (a), (b) |
| | ② (a), (c) |
| | ③ (a), (d) |
| | ④ (a), (e) |
| | ⑤ (b), (c) |
| | ⑥ (b), (d) |
| | ⑦ (b), (e) |
| | ⑧ (c), (d) |
| | ⑨ (c), (e) |
| | ⑩ (d), (e) |

(3) 有機化合物の構造決定に関する次の記述中の(a)～(d)にあてはまる数値と語句の組合せで、正しいのは VI 3 である。

炭素、水素、酸素からなる有機化合物 0.79 g の元素分析を行ったところ、塩化カルシウム管の質量は (a) g 増加し、ソーダ石灰管の質量は (b) g 増加した。このことから、化合物の組成式は C_2H_4O であることがわかった。この化合物の分子量が 88.0 で (c) を有するとき、考えられる構造は (d) 種類ある。

VI 3	(a)	(b)	(c)	(d)
①	0.64	1.6	エステル結合	3
②	0.64	1.6	エステル結合	4
③	0.64	1.6	カルボキシ基	3
④	0.64	1.6	カルボキシ基	4
⑤	1.6	0.64	エステル結合	3
⑥	1.6	0.64	エステル結合	4
⑦	1.6	0.64	カルボキシ基	3
⑧	1.6	0.64	カルボキシ基	4

(4) 窒素を含む芳香族化合物に関する次の記述で、正しいものの組合せは VI 4 である。

- (a) アニリンは水に溶けにくいですが、塩酸を加え塩酸塩になると水によく溶ける。この溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加えると、油状のアニリンが遊離する。
- (b) アニリンを無水酢酸でアセチル化すると、アセトアニリドが生成する。この反応により生じるアミド結合は、ポリエステル構造中にも存在する。
- (c) pH 指示薬として利用されるメチルオレンジは、アゾ基を有する化合物である。
- (d) ニトロベンゼンは、水に溶けにくく、水に加えると浮く。
- (e) ベンゼンを濃硝酸と共に加熱すると、弱酸性のニトロベンゼンが生成する。

- | | |
|------|------------|
| VI 4 | ① (a), (b) |
| | ② (a), (c) |
| | ③ (a), (d) |
| | ④ (a), (e) |
| | ⑤ (b), (c) |
| | ⑥ (b), (d) |
| | ⑦ (b), (e) |
| | ⑧ (c), (d) |
| | ⑨ (c), (e) |
| | ⑩ (d), (e) |

- (5) マルトース(麦芽糖)に関する次の記述中の(a)～(c)にあてはまる語句と数値の組合せで、正しいのは VI 5 である。

マルトース $C_{12}H_{22}O_{11}$ (分子量 342.0) は、グルコース $C_6H_{12}O_6$ (分子量 180.0) 2 分子が脱水縮合して、グリコシド結合とよばれる (a) 結合と同様の結合様式により結びついた構造をもつ化合物である。マルトース 34.2 g を水に溶解し、一部を加水分解した後、反応液に十分量のフェーリング液を加えて加熱して反応させたところ、(b) の赤色沈殿が 15.0 g 得られた。これより、はじめのマルトース量の (c) % が加水分解されたことがわかる。ただし、還元性の糖 1 mol から (b) の赤色沈殿 1 mol が生成するものとする。

VI 5	(a)	(b)	(c)
①	エステル	酸化銅(I)	4.74
②	エステル	酸化銅(I)	52.4
③	エステル	酸化銅(II)	88.4
④	エステル	酸化銅(II)	94.2
⑤	エーテル	酸化銅(I)	4.74
⑥	エーテル	酸化銅(I)	52.4
⑦	エーテル	酸化銅(II)	88.4
⑧	エーテル	酸化銅(II)	94.2