

# 令和2年度専攻科入学者選抜（学力選抜）検査問題

## 物質工学専攻

# 専 門 科 目

### (注意)

- 1 問題用紙は、指示があるまで開かないこと。
- 2 下記の4科目から3科目を選択して解答すること。  
無機化学  
有機化学  
生物化学  
物理化学
- 3 解答は、すべて解答用紙に記入すること。
- 4 試験会場で用意された電卓のみ使用を可とします。

## 無機化学（問題用紙）

（1/3 ページ）

[1] 次の電子、原子、元素等に関する問いに答えよ。

- (1) 4f 軌道の方位量子数  $l$  はいくつか答えよ。
- (2) 4f 軌道の節面の総数はいくつか答えよ。
- (3) N と O で、第一イオン化エネルギーが高いのはどちらか示せ。
- (4) C と N で、第一電子親和力が高いのはどちらか示せ。
- (5) H と Li で、電気陰性度が高いのはどちらか示せ。

[2] 分子およびそのモデルに関する以下の問いに答えよ。

- (1)  $\text{NO}_3^-$  の共鳴構造を示せ。（形式電荷も記入して示せ。）
- (2)  $\text{NO}_3^-$  における N-O 結合の結合次数を推定せよ。
- (3) 次の分子の中で、極性分子を一つ選び丸で囲んで示せ。

(  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{SF}_6$  )

## 無機化学（問題用紙）

(2/3 ページ)

[3] 固体の結晶構造および性質に関する次の問いに答えよ。

- (1) セン亜鉛鉱型構造をとる  $\text{ZnS}$  において、 $\text{Zn}$  イオンはいくつの  $\text{S}$  イオンに囲まれているか答えよ。
- (2) ペロブスカイト型構造をとる  $\text{CaTiO}_3$  において、 $\text{Ti}$  イオンはいくつの  $\text{O}$  イオンに囲まれているか答えよ。
- (3) ファヤンス則において、 $\text{Ag}^+$  と  $\text{Na}^+$  で起分極力が高いのはどちらか答えよ。
- (4)  $\text{KCl}$  と  $\text{SiCl}_4$  で、融点が高いのはどちらか答えよ。
- (5) 不純物半導体には  $p$  型半導体と  $n$  型半導体が存在する。ケイ素にホウ素をドーピングするとどちらの半導体となるか。

[4] 次の酸と塩基に関する問いに答えよ。

- (1)  $\text{HS}^-$  の酸に対応する共役塩基を示せ。
- (2)  $\text{HClO}_2$  と  $\text{HClO}$  で、 $pK_a$  が小さいのはどちらか示せ。
- (3)  $\text{H}_3\text{PO}_4$  の  $pK_{a1}$  は約 2 である。 $pK_{a2}$  はいくつになると推定されるか。

## 無機化学 (問題用紙)

(3/3 ページ)

[5] 次の錯体に関する問いに答えよ。

(1) 以下の錯体の中で三方両錐型であるものを一つ丸で囲んで示せ。

(  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  ,  $[\text{Fe}(\text{Cl})_4]^{2-}$  ,  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  ,  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  )

(2) 平面四角形型錯体において、四つの全て異なった単座配位子が配位している場合、いくつの幾何異性体が可能であるか答えよ。

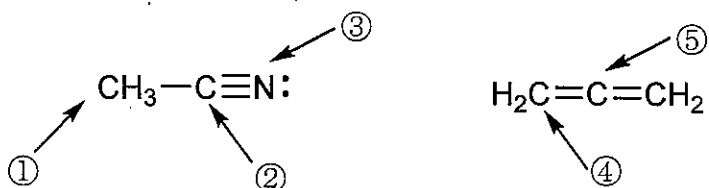
(3) 6 配位八面体錯体である  $[\text{CoCl}_2(\text{NH}_3)_4]^+$  の幾何異性体の数はいくつか答えよ。

(4)  $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  の不対電子数を推定せよ。(Cr の原子番号は、24 である。)

# 有機化学 (問題用紙)

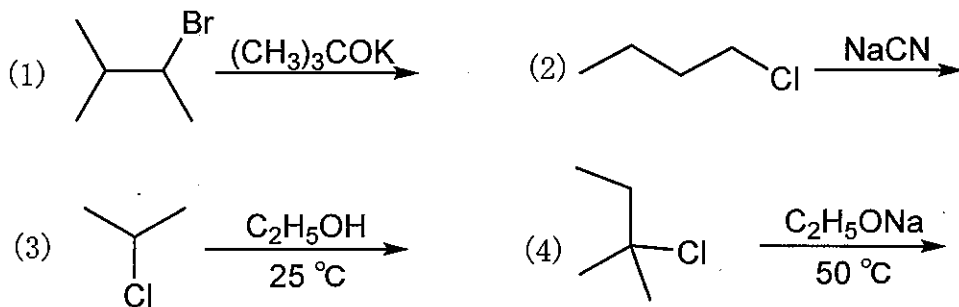
(1/2 ページ)

[1] 以下の分子を構成している矢印の原子の混成軌道(sp, sp<sup>2</sup>, sp<sup>3</sup>)を答えよ。

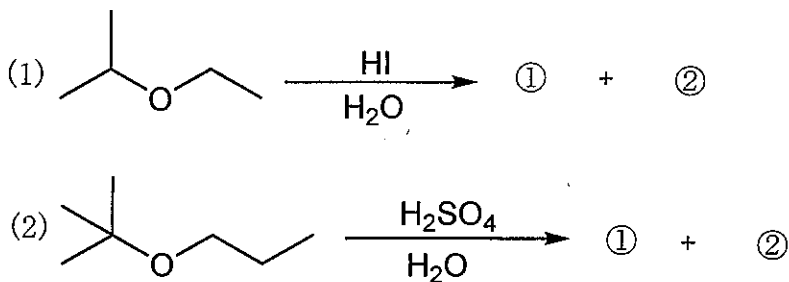


[2] ブタンの最も安定な立体配座異性体および最も不安定な立体配座異性体の構造を、ブタンの2および3番目の炭素を規準とする Newman 投影式で示せ。

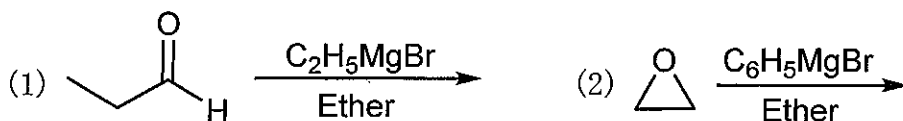
[3] 以下の反応で得られる主生成物の構造を示せ。



[4] 次の反応の生成物の構造を全て示せ (①と②は順不同)。



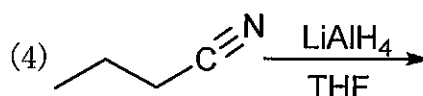
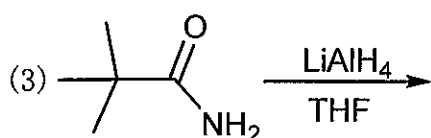
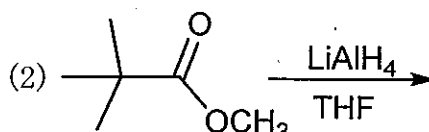
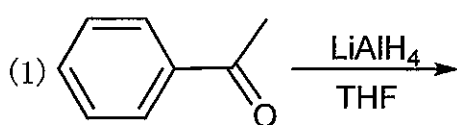
[5] 次の Grignard 反応で得られる最終生成物の構造を示せ。



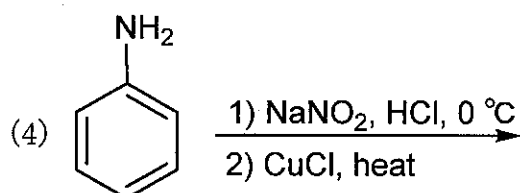
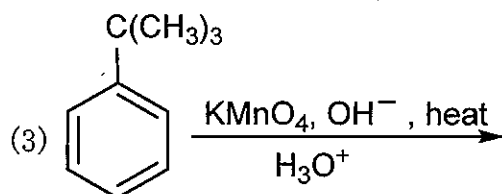
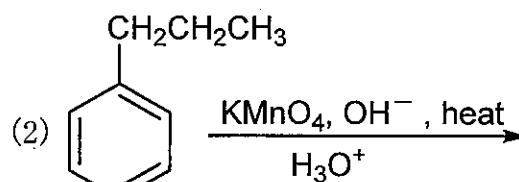
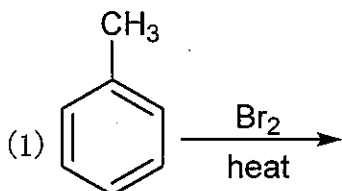
# 有機化学 (問題用紙)

(2/2 ページ)

[6] 以下の化合物を THF 中で  $\text{LiAlH}_4$  と反応させたときの生成物の構造を示せ。



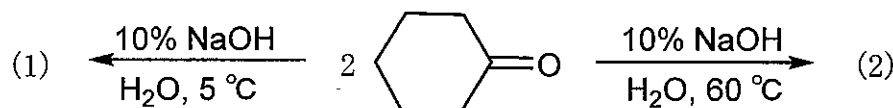
[7] 次の反応で得られる主生成物の構造を示せ (反応しない場合は×で示せ)。



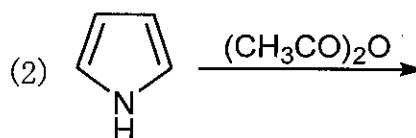
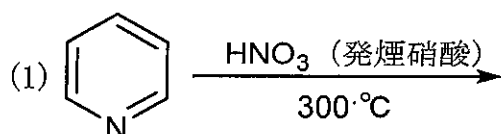
[8] 次の化合物を  $\text{pK}_a$  の小さい順番 (小→大) に番号で並べよ。

- ①  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ②  $\text{FCH}_2\text{COOH}$  ③  $\text{CH}_3\text{OH}$  ④  $\text{HCOOH}$  ⑤  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$

[9] 次に示す条件でカルボニル化合物を反応させたときの主生成物の構造を示せ。



[10] 次の反応の主生成物の構造を示せ。



# 生物化学（問題用紙）

(1/5 ページ)

[1] 以下の(1)～(6)が説明している物質名または用語を答えなさい。

- (1) デンプンの主要な構成成分で、D-グルコースが $\alpha$  (1→4)グリコシド結合でつながり、グルコース残基6個で1回転する、らせん構造をとっている物質。
- (2) 中性脂肪（トリグリセリド）の分解により生じた脂肪酸は、 $\beta$ 酸化により、その鎖の端から炭素2個ずつ切断される。この切断により生成し、後にクエン酸回路で水と二酸化炭素に分解される物質で、脂肪酸の代謝で鍵となる物質。
- (3) タンパク質を構成するアミノ酸の一つで、側鎖にカルボキシル基をもつアミノ酸。このアミノ酸のL形は昆布のだし汁の旨味の元と同定されている。
- (4) タンパク質の4次構造における各々のポリペプチド鎖のこと。
- (5) 脂溶性ビタミンの一つで、欠乏症として夜盲症が有名なビタミン。
- (6) 生体内でのエネルギーの貯蔵、供給、運搬に重要な役割を果たす三リン酸型のリボヌクレオチド。

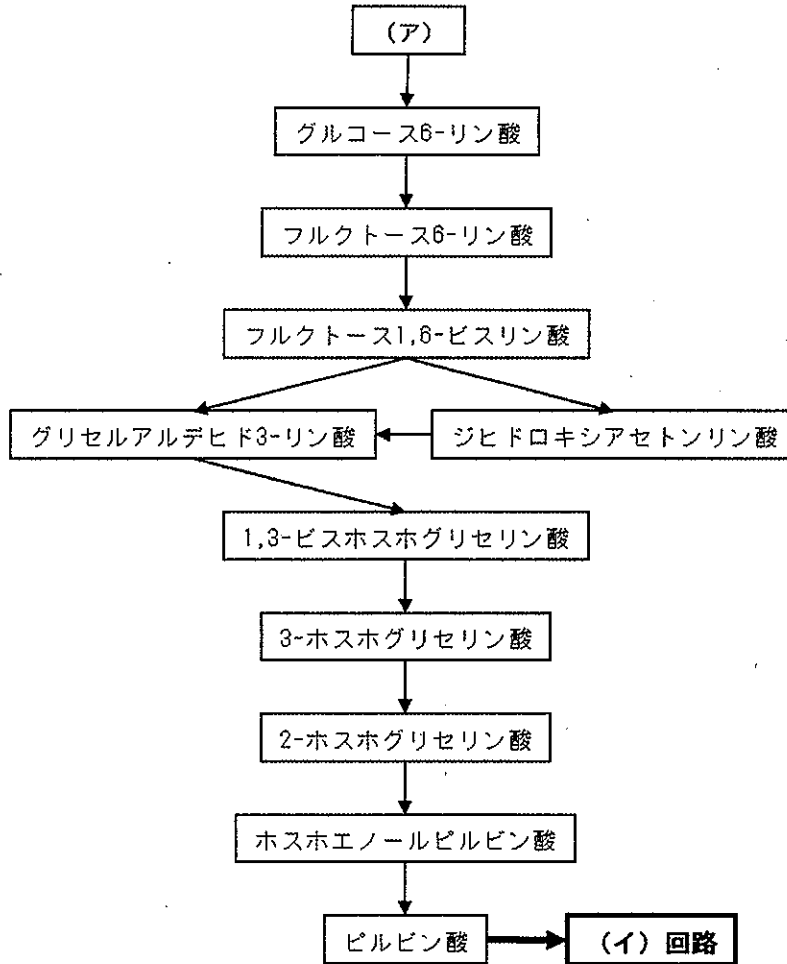
[2] 酵素反応の速度論における以下の(1)～(3)について説明しなさい。

- (1) ミカエリス定数 ( $K_m$ )
- (2) 最大速度 ( $V_{max}$ )
- (3)  $K_m$ が小さいということの意味

# 生物化学（問題用紙）

(2/5 ページ)

[3] 解糖系を表す下図をみて、以下の問いに答えなさい。



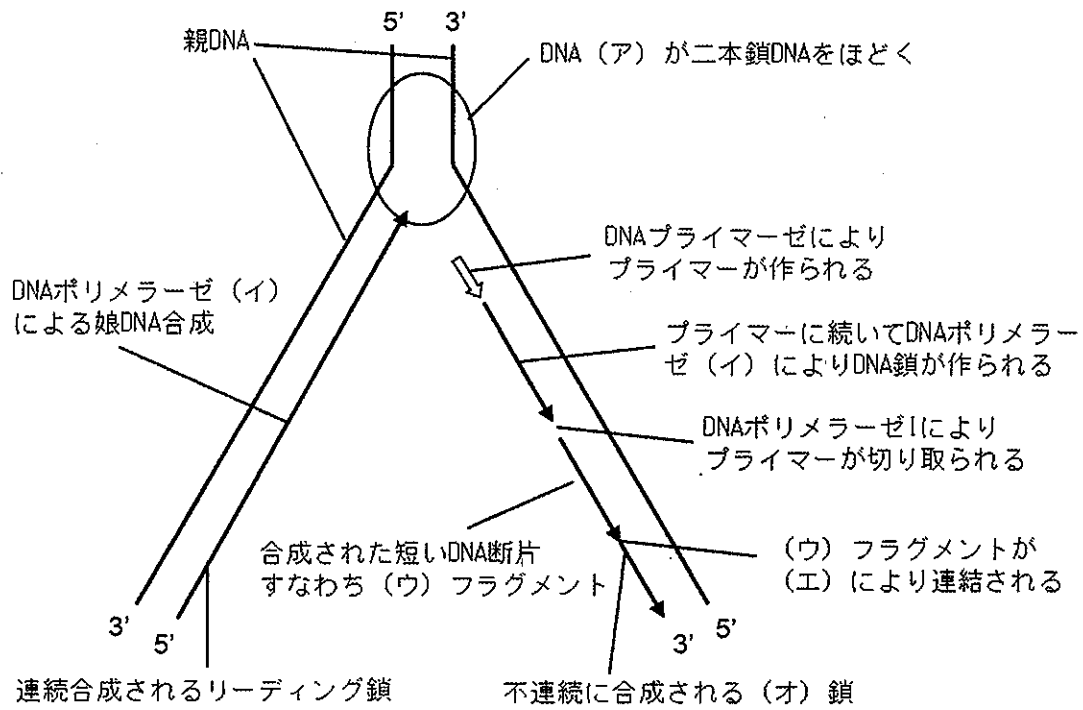
- (1) 空欄 (ア) に適する物質名を入れよ。
- (2) 解糖系は細胞内のどこで進行するか、答えよ。
- (3) 解糖系で消費している ATP と生成している ATP は何分子あるか、答えよ。
- (4) 解糖系で生じたピルビン酸は、好気条件下では、さらに (イ) 回路で代謝される。空欄 (イ) に適する用語を入れよ。
- (5) (イ) 回路は、細胞内のどこで進行するか、答えよ。



# 生物化学（問題用紙）

(3/5 ページ)

[4] 下図は大腸菌における複製について分かりやすく図解したものである。以下の問いに答えなさい。



(1) 空欄 (ア) ~ (オ) に適合する言葉を入れよ。

(2) 図のプライマーの構造的な特徴とその機能を答えなさい。

## 生物化学（問題用紙）

（4/5 ページ）

[5] 下記の二本鎖 DNA における上の鎖または下の鎖に、12 個のアミノ酸から構成されるペプチドの遺伝情報が含まれている。標準遺伝暗号表（コドン表）を参考にして、以下の設問に答えよ。

5' -TTACCTTTCGTATGCGAGCGTAGGTAAAGCGTATTTTCATTATCACTGTCCTCCTT- 3'  
3' -AATGAAAAGCATACGCTCGCATCCATTTTCGCATAAAGTAATAGTGACAGAGGAA- 5'

- (1) 下記の文章の空欄に最も適切な言葉を入れなさい。  
生体内において DNA は通常二本鎖で存在している。二本鎖 DNA のうち、mRNA と同じ遺伝情報（アミノ酸配列の情報）をもつ方の鎖を、その意味（理由）から（ア）鎖と呼ぶ。また、もう一方の鎖を、mRNA 合成の材料となるという意味（理由）から、（イ）鎖と呼ぶ。
- (2) アミノ酸配列の情報をもつ部分のみの mRNA の塩基配列とその mRNA の情報を基に合成されるペプチドのアミノ酸配列を記せ。ただし、AUG は、翻訳の開始暗号であり、メチオニンの遺伝暗号でもある。終止暗号は、UGA、UAG、UAA のいずれかである。
- (3) コドン表は、わずかな例外を除いて全生物種の間で普遍的（共通）である。これは、生物の進化において、あることを示していると考えられている。何を示しているのか、答えなさい。
- (4) コドン表において、多くのアミノ酸が1種類以上のコドンによって規定されていることを何というか答えなさい。
- (5) 細菌（大腸菌）の mRNA には、開始暗号（開始コドン）の前にプリン塩基が連続した SD 配列が見出される。この配列はどのような役割を果たすと考えられているか、説明せよ。
- (6) タンパク質生合成の際に、リボソーム大サブユニットに存在するアミノアシル-tRNA が結合する場所を何部位というか答えよ。

# 生物化学 (問題用紙)

(5/5 ページ)

[5]

標準遺伝暗号表 (コドン表)

第一塩基 (5' 末端側)	第二塩基								第三塩基 (3' 末端側)
	U		C		A		G		
U	UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys	U
	UUC	Phe	UCC	Ser	UAC	Tyr	UGC	Cys	C
	UUA	Leu	UCA	Ser	UAA	終止	UGA	終止	A
	UUG	Leu	UCG	Ser	UAG	終止	UGG	Trp	G
C	CUU	Leu	CCU	Pro	CAU	His	CGU	Arg	U
	CUC	Leu	CCC	Pro	CAC	His	CGC	Arg	C
	CUA	Leu	CCA	Pro	CAA	Gln	CGA	Arg	A
	CUG	Leu	CCG	Pro	CAG	Gln	CGG	Arg	G
A	AUU	Ile	ACU	Thr	AAU	Asn	AGU	Ser	U
	AUC	Ile	ACC	Thr	AAC	Asn	AGC	Ser	C
	AUA	Ile	ACA	Thr	AAA	Lys	AGA	Arg	A
	AUG*	Met	ACG	Thr	AAG	Lys	AGG	Arg	G
G	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly	U
	GUC	Val	GCC	Ala	GAC	Asp	GGC	Gly	C
	GUA	Val	GCA	Ala	GAA	Glu	GGA	Gly	A
	GUG	Val	GCG	Ala	GAG	Glu	GGG	Gly	G

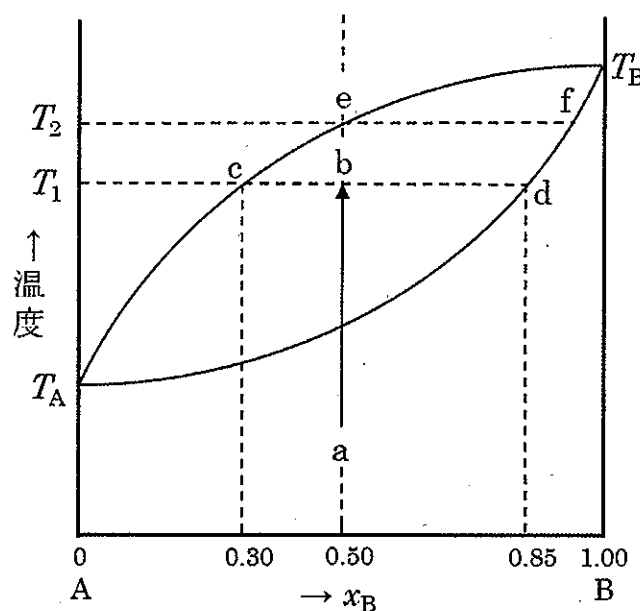
\*AUG は開始コドンにも内部 Met 残基のコドンにもなる。

# 物理化学（問題用紙）

(1/3 ページ)

[1] 右図は物質 A、B の混合物についての相図である。横軸は B のモル分率、縦軸は温度である。 $T_A$ 、 $T_B$  はそれぞれ A、B の沸点である。以下の問いに答えよ。

- ① 混合物 a ( $x_B=0.50$ ) の温度を上昇させ、 $T_1$  で平衡になるまで静置した (b)。この状態で系内に存在する相はいくつか。また、それぞれの相の組成 (モル分率  $x_B$  の値で答えよ、有効数字 2 桁) と状態 (三態) を答えよ。B のモル分率の低い相から順に相 1、相 2、… とする (解答欄には相の数に応じて記入せよ)。
- ② それぞれの相の物質質量比はいくらか。相 1 の物質質量に対する比の値で答えよ (解答欄には相の数に応じて記入せよ、有効数字 2 桁)。
- ③ b ( $T_1$ ) から更に温度を上昇させていき、温度が  $T_2$  を超えると、相はいくつになるか。



[2] 原子軌道と量子数、各軌道に収容可能な電子数の関係などについてまとめた次の表の空欄を埋め、表を完成させよ。解答は全て解答用紙に記入せよ。

主量子数	電子殻	軌道名	方位量子数	磁気量子数	スピン量子数	収容電子数
1	K	1s	0	0	-1/2, +1/2	2
2			0	0	-1/2, +1/2	
		2p			-1/2, +1/2	
3			0		-1/2, +1/2	2
				-1, 0, +1	-1/2, +1/2	
					-1/2, +1/2	

# 物理化学（問題用紙）

(2/3 ページ)

[3] 以下は、ファンデルワールスの状態方程式を導く物理的な考え方を記した文章である。文章中の②、④には増加、減少のいずれかの語句、①、③、⑤～⑦には適切な式を入れ、文章を完成させよ。①、③、⑤～⑦の式に用いる定数、物理量は、文章中で使用されているもの以外を用いないこと。

実在気体の状態方程式の一つにファンデルワールスの状態方程式がある。この式は完全気体の状態方程式に補正を加えた式であると考えることができる。以下に  $n$  モルの実在気体が体積  $V$  の密閉容器中に入っているものと考え、この式を導いてみる。

完全気体の状態方程式は、圧力  $p$ 、体積  $V$ 、物質質量  $n$ 、気体定数  $R$ 、温度  $T$  として、

$$p = \textcircled{1} \quad (1) \text{式}$$

で表される。ここで  $V$  は気体分子が自由に飛び回ることのできる空間の広さを表している。完全気体では気体分子に大きさが無く、分子間に相互作用が無いと仮定している。しかし実在気体では分子には体積があり、分子間の相互作用も存在する。

まず、気体分子が体積を持つと考えると、気体分子が自由に飛び回ることのできる空間が ② することになるだろう。気体分子1モルあたりの体積の ② に関する定数を  $b$  (正の値) として(1) 式を修正すると

$$p = \textcircled{3} \quad (2) \text{式}$$

となる。

次に、分子間に引力が働いているものと考え、今まさに容器内部の壁面に当たろうとする気体分子は内部の気体分子から引っ張られることになり、引力が働かないと考えている完全気体の場合に比べ、気体分子が壁に及ぼす圧力は ④ することになるだろう。壁面に当たろうとする気体分子が内部の気体分子から受ける引力の強さは容器内の気体分子の濃度すなわち ⑤ に比例すると考えられ、単位時間内に壁面に当たる分子数も同様に ⑤ に比例すると考えられるので、気体が壁に及ぼす圧力の ④ 分は ⑥ に比例すると考えられる。この引力の強さに関する定数を  $a$  (正の値) とすれば(2) 式は

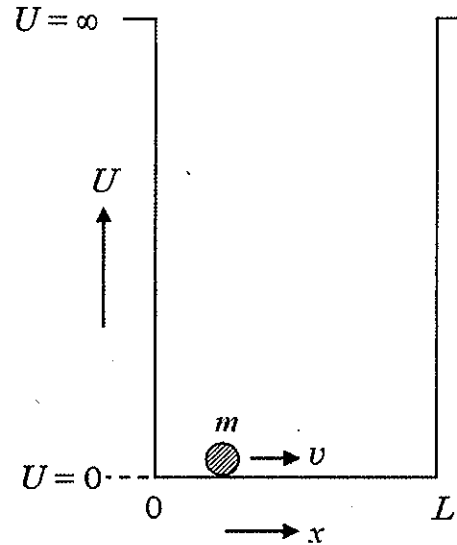
$$p = \textcircled{7} \quad (3) \text{式}$$

となる。これがファンデルワールスの状態方程式である。

# 物理化学 (問題用紙)

(3/3 ページ)

[4] 右図のような幅  $L$  の 1 次元井戸型ポテンシャル内 ( $0 < x < L$ ) を自由に運動する粒子 (質量:  $m$ ) の持つエネルギーが離散的な値を取ることを説明した以下の文章について①～⑤には適切な式、⑥には数値を入れ文章を完成させよ。式に用いる物理量や定数は以下の問題文中で使用されているもの以外を用いないこと。⑥については算出過程を解答用紙に記述し、有効数字 3 桁で答えよ。井戸の幅  $L$  の内側の粒子のポテンシャルエネルギーはゼロ ( $U = 0$ )。外側 ( $x \leq 0$ 、 $x \geq L$ ) のポテンシャルエネルギーは無有限大( $U = \infty$ )とする。



粒子が井戸型ポテンシャルの中で定常波を作ると考えると、幅  $L$  の中に半波長の整数倍の波が入ることになる。波長を  $\lambda$ 、整数を  $n (= 1, 2, 3, \dots)$  とすると

$$\textcircled{1} = L \quad (1) \text{式} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

粒子の de Broglie 波長  $\lambda$  は、運動量  $p$  とプランク定数  $h$  で表すと

$$\lambda = \textcircled{2} \quad (2) \text{式}$$

粒子の持つエネルギー  $E$  は、井戸の幅の内側では  $U = 0$  より、運動エネルギーだけであり、粒子の運動量  $p$  と質量  $m$  で表すと

$$E = \textcircled{3} \quad (3) \text{式}$$

(3)式に(2)式の関係を用い、 $m$ 、 $h$ 、 $\lambda$  で表すと

$$E = \textcircled{4} \quad (4) \text{式}$$

さらに、(1)式の関係を用い、 $m$ 、 $h$ 、 $L$ 、 $n$  で表すと

$$E_n = \textcircled{5} \quad (5) \text{式} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

となり、粒子は離散的なエネルギーを取るようになる。

いま  $L = 0.100 \text{ nm}$  で、電子が井戸型ポテンシャル内に 1 個存在しているとし、 $n = 2$  から  $n = 1$  のエネルギー状態に電子が遷移するとき、このエネルギー差に相当する光を放出するとすると、この光の波長は  $\textcircled{6} \text{ nm}$  と計算される。ここで、電子の質量は  $9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 、光の速さ  $c$  は  $2.998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 、プランク定数は  $6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}^{-1}$  とした。