SYR-2 C-0 C
AHMAD THAER ATER

IChO
General instructions
Cover sheet

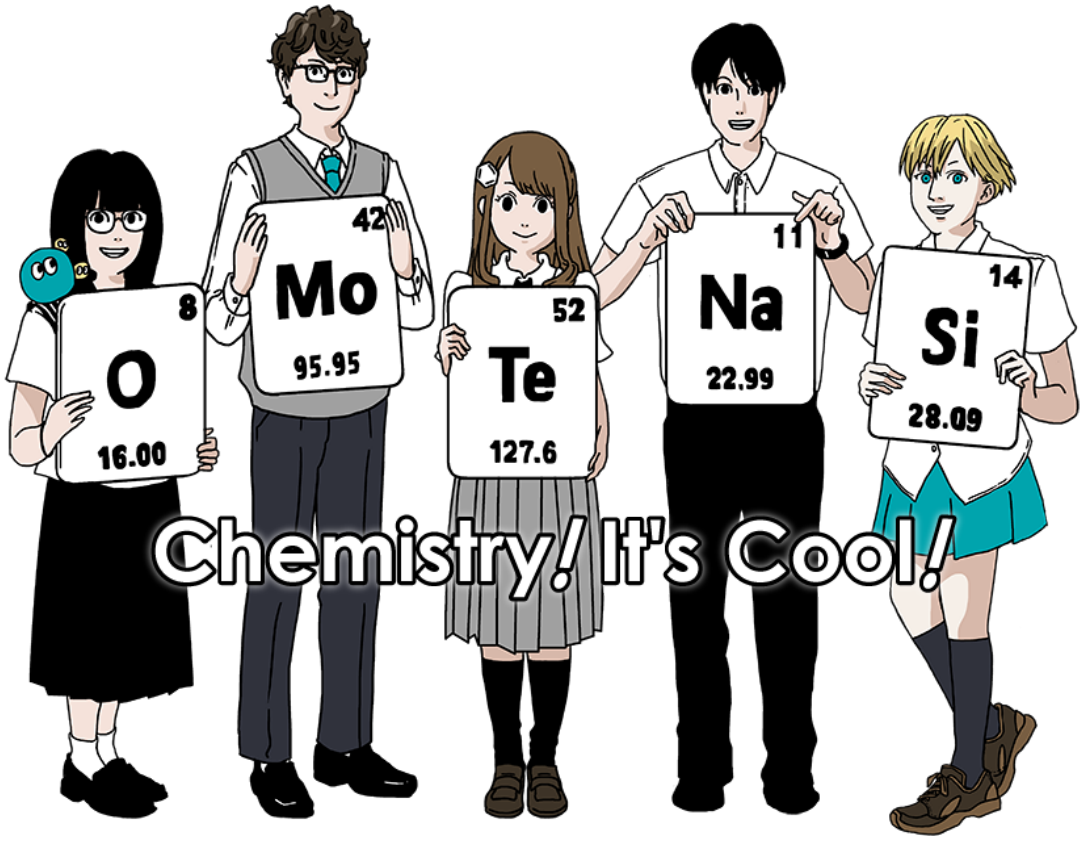
Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

International Chemistry Olympiad 2021 Japan

53rd IChO2021 Japan

25th July – 2nd August, 2021

https://www.icho2021.org



General Instruction

- You are allowed to use only pen to write the answer.
- Your calculator must be non-programmable.
- This examination has **9 problems**.
- You can solve the problems in any order.
- You will have **5 hours** to solve all problems.
- You can **begin** working only after the **START** command is given.
- All results must be written in the appropriate answer boxes with pen on the **answer sheets**. Use the back of the question sheets if you need scratch paper. Remember that answers written outside the answer boxes will not be graded.
- Write relevant calculations in the appropriate boxes when necessary. Full marks will be given for correct answers only when your work is shown.
- The invigilator will announce a **30-minute** warning before the **STOP** command.
- You **must stop** working when the **STOP** command is given. Failure to stop writing will lead to the nullification of your examination.
- The official English version of this examination is available on request only for clarification.
- You are not allowed to leave your working place without permission. If you need any assistance (broken calculator, need to visit a restroom, etc), raise your hand and wait until an invigilator arrives.

GOOD LUCK!

Problems and Grading Information

	Title	Total Score	Percentage
1	Hydrogen at a Metal Surface	**24**	**11**
2	Isotope Time Capsule	**35**	**11**
3	Lambert–Beer Law?	**22**	**8**
4	The Redox Chemistry of Zinc	**32**	**11**
5	Mysterious Silicon	**60**	**12**
6	The Solid-State Chemistry of Transition Metals	**45**	**13**
7	Playing with Non-benzenoid Aromaticity	**36**	**13**
8	Dynamic Organic Molecules and Their Chirality	**26**	**11**
9	Likes and Dislikes of Capsules	**23**	**10**
		Total	**100**

Physical Constants and Equations

Constants

Speed of light in vacuum	$c = 2.99792458 \times 10^{8}\ \mathrm{m\ s^{-1}}$
Planck constant	$h = 6.62607015 \times 10^{-34}\ \mathrm{J\ s}$
Elementary charge	$e = 1.602176634 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}$
Electron mass	$m_{\mathrm{e}} = 9.10938370 \times 10^{-31}\ \mathrm{kg}$
Electric constant (permittivity of vacuum)	$\varepsilon_0 = 8.85418781 \times 10^{-12}\ \mathrm{F\ m^{-1}}$
Avogadro constant	$N_{\mathrm{A}} = 6.02214076 \times 10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$
Boltzmann constant	$k_{\mathrm{B}} = 1.380649 \times 10^{-23}\ \mathrm{J\ K^{-1}}$
Faraday constant	$F = N_{\mathrm{A}} \times e = 9.64853321233100184 \times 10^{4}\ \mathrm{C\ mol^{-1}}$
Gas constant	$R = N_{\mathrm{A}} \times k_{\mathrm{B}} = 8.31446261815324\ \mathrm{J\ K^{-1}\ mol^{-1}}$ $= 8.2057366081 \times 10^{-2}\ \mathrm{L\ atm\ K^{-1}\ mol^{-1}}$
Unified atomic mass unit	$u = 1\ \mathrm{Da} = 1.66053907 \times 10^{-27}\ \mathrm{kg}$
Standard pressure	$p = 1\ \mathrm{bar} = 10^{5}\ \mathrm{Pa}$
Atmospheric pressure	$p_{\mathrm{atm}} = 1.01325 \times 10^{5}\ \mathrm{Pa}$
Zero degree Celsius	$0\ ^{\circ}\mathrm{C} = 273.15\ \mathrm{K}$
Ångstrom	$1\ \text{Å} = 10^{-10}\ \mathrm{m}$
Picometer	$1\ \mathrm{pm} = 10^{-12}\ \mathrm{m}$
Electronvolt	$1\ \mathrm{eV} = 1.602176634 \times 10^{-19}\ \mathrm{J}$
Part-per-million	$1\ \mathrm{ppm} = 10^{-6}$
Part-per-billion	$1\ \mathrm{ppb} = 10^{-9}$
Part-per-trillion	$1\ \mathrm{ppt} = 10^{-12}$
pi	$\pi = 3.141592653589793$
The base of the natural logarithm (Euler's number)	$e = 2.718281828459045$

Equations

The ideal gas law	$PV = nRT$, where P is the pressure, V is the volume, n is the amount of substance, T is the absolute temperature of ideal gas.
Coulomb's law	$F = k_{\mathrm{e}} \dfrac{q_1 q_2}{r^2}$, where F is the electrostatic force, $k_{\mathrm{e}} (\simeq 9.0 \times 10^9\ \mathrm{N\,m^2\,C^{-2}})$ is Coulomb's constant, q_1 and q_2 are the magnitudes of the charges, and r is the distance between the charges.
The first law of thermodynamics	$\Delta U = q + w$, where ΔU is the change in the internal energy, q is the heat supplied, w is the work done.
Enthalpy H	$H = U + PV$
Entropy based on Boltzmann's principle S	$S = k_{\mathrm{B}} \ln W$, where W is the number of microstates.
The change of entropy ΔS	$\Delta S = \dfrac{q_{\mathrm{rev}}}{T}$, where q_{rev} is the heat for the reversible process.
Gibbs free energy G	$G = H - TS$ $\Delta_{\mathrm{r}} G^\circ = -RT \ln K = -zFE^\circ$, where K is the equilibrium constant, z is the number of electrons, E° is the standard electrode potential.
Reaction quotient Q	$\Delta_{\mathrm{r}} G = \Delta_{\mathrm{r}} G^\circ + RT \ln Q$ For a reaction $a\mathrm{A} + b\mathrm{B} \rightleftharpoons c\mathrm{C} + d\mathrm{D}$ $Q = \dfrac{[\mathrm{C}]^c [\mathrm{D}]^d}{[\mathrm{A}]^a [\mathrm{B}]^b}$, where $[\mathrm{A}]$ is the concentration of A.

Heat change Δq	$\Delta q = nc_{\mathrm{m}}\Delta T$, where c_{m} is the temperature-independent molar heat capacity.
Nernst equation for redox reaction	$E = E^{\circ} + \dfrac{RT}{zF} \ln \dfrac{C_{\mathrm{ox}}}{C_{\mathrm{red}}}$, where C_{ox} is the concentration of oxidized substance, C_{red} is the concentration of reduced substance.
Arrhenius equation	$k = A \exp\left(-\dfrac{E_a}{RT}\right)$, where k is the rate constant, A is the pre-exponential factor, E_a is the activation energy. $\exp(x) = e^x$
Lambert–Beer equation	$A = \varepsilon l c$, where A is the absorbance, ε is the molar absorption coefficient, l is the optical path length, c is the concentration of the solution.
Henderson–Hasselbalch equation	For an equilibrium $\mathrm{HA} \rightleftharpoons \mathrm{H^+} + \mathrm{A^-}$, where equilibrium constant is K_{a}, $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_{\mathrm{a}} + \log\left(\dfrac{[\mathrm{A^-}]}{[\mathrm{HA}]}\right)$
Energy of a photon	$E = h\nu = h\dfrac{c}{\lambda}$, where ν is the frequency, λ is the wavelength of the light.
The sum of a geometric series	When $x \neq 1$, $1 + x + x^2 + \cdots + x^n = \sum_{i=0}^{n} x^i = \dfrac{1 - x^{n+1}}{1 - x}$
Approximation equation that can be used to solve problems	When $x \ll 1$, $\dfrac{1}{1 - x} \simeq 1 + x$

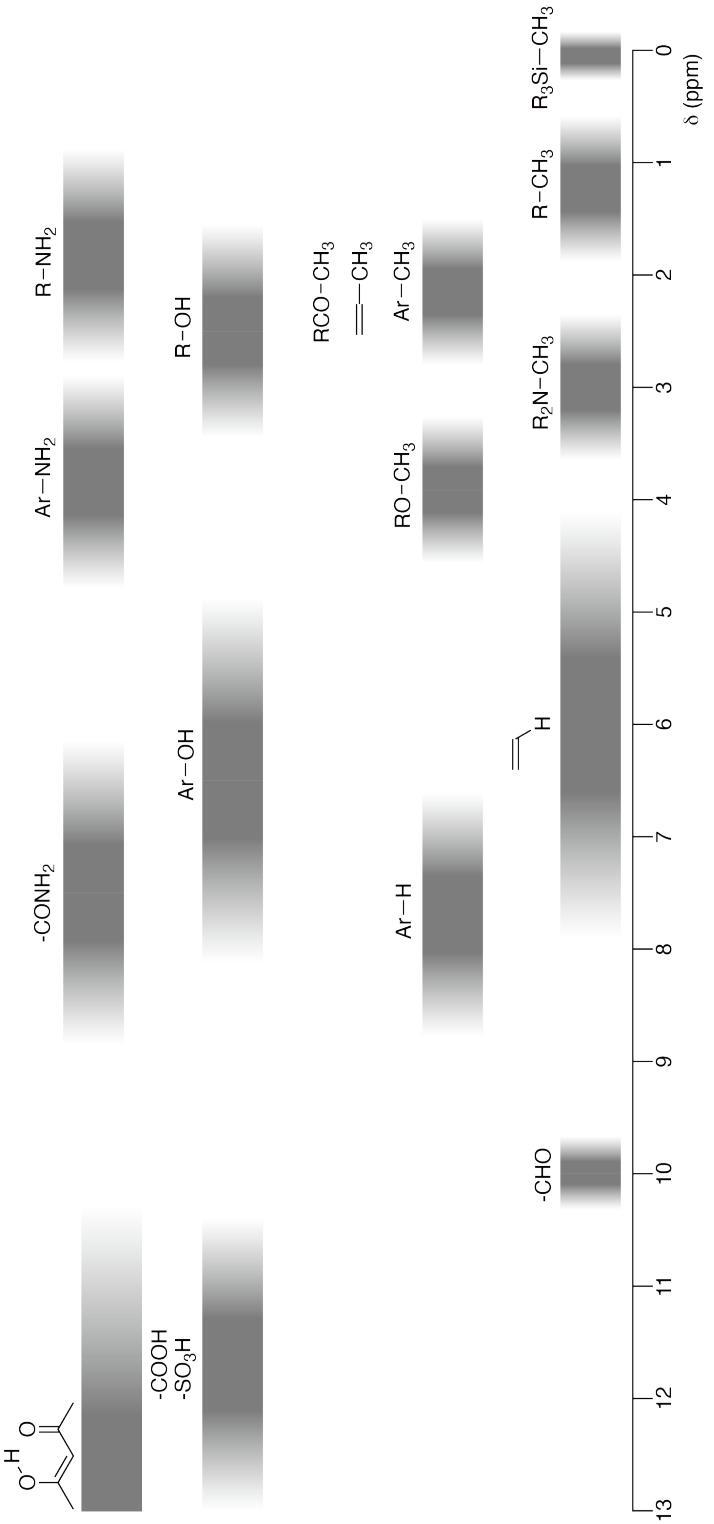
Periodic Table

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H Hydrogen 1.008																	2 He Helium 4.003
3 Li Lithium 6.968	4 Be Beryllium 9.012											5 B Boron 10.814	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.306											13 Al Aluminium 26.982	14 Si Silicon 28.085	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.068	17 Cl Chlorine 35.452	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.630	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.971	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798
37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium [99]	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.906	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.414	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.904	54 Xe Xenon 131.293
55 Cs Caesium 132.905	56 Ba Barium 137.327	57-71 La-Lu Lanthanoids	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.592	81 Tl Thallium 204.384	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98	84 Po Polonium [210]	85 At Astatine [210]	86 Rn Radon [222]
87 Fr Francium [223]	88 Ra Radium [226]	89-103 Ac-Lr Actinoids	104 Rf Rutherfordium [267]	105 Db Dubnium [268]	106 Sg Seaborgium [271]	107 Bh Bohrium [272]	108 Hs Hassium [277]	109 Mt Meitnerium [276]	110 Ds Darmstadtium [281]	111 Rg Roentgenium [280]	112 Cn Copernicium [285]	113 Nh Nihonium [278]	114 Fl Flerovium [289]	115 Mc Moscovium [289]	116 Lv Livermorium [293]	117 Ts Tennessine [293]	118 Og Oganesson [294]

Key: 113 Nh Nihonium [278] — atomic number / Symbol / name / atomic weight [in parenthesis for the radioactive element]

57-71 La-Lu Lanthanoids :	57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium [145]	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.045	71 Lu Lutetium 174.967
89-103 Ac-Lr Actinoids :	89 Ac Actinium [227]	90 Th Thorium 232.038	91 Pa Protactinium 231.036	92 U Uranium 238.029	93 Np Neptunium [237]	94 Pu Plutonium [239]	95 Am Americium [243]	96 Cm Curium [247]	97 Bk Berkelium [247]	98 Cf Californium [252]	99 Es Einsteinium [252]	100 Fm Fermium [257]	101 Md Mendelevium [258]	102 No Nobelium [259]	103 Lr Lawrencium [262]

^{1}H NMR Chemical Shifts



$\Delta\delta$ for one alkyl group-substitution: *ca.* +0.4 ppm

G0-1

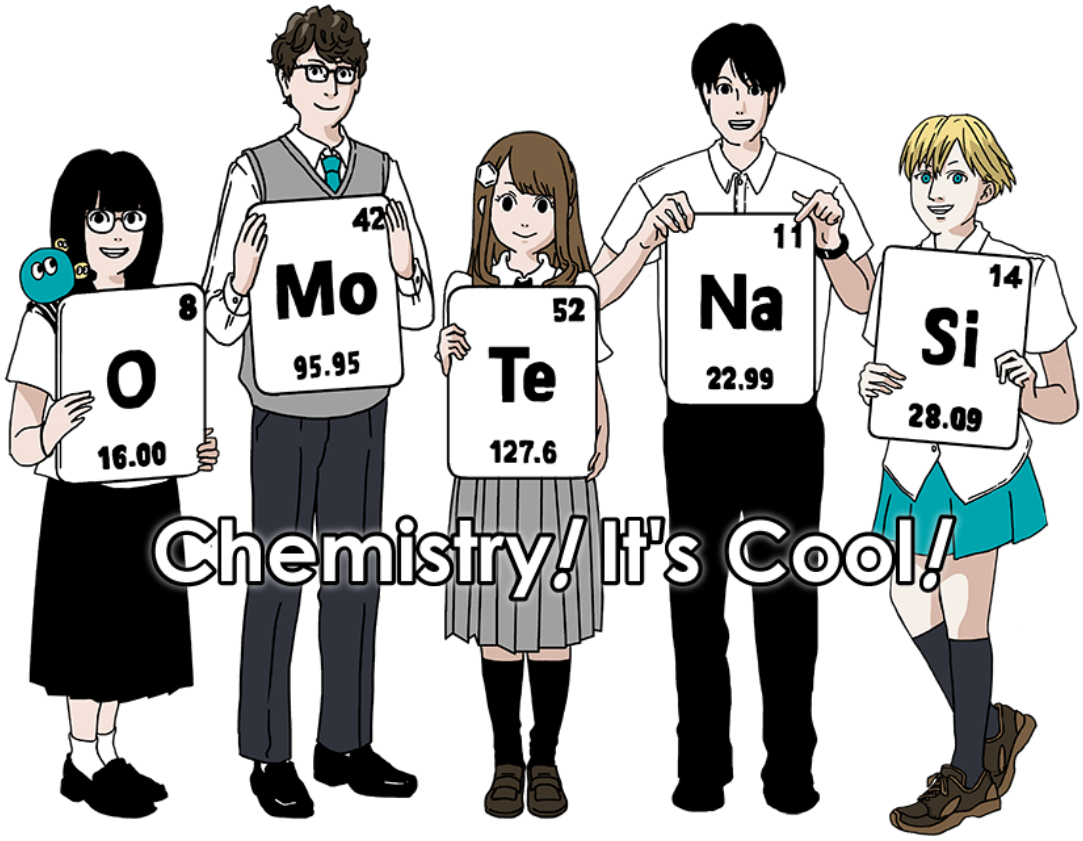
arabic (Syria)

Japan 2021 Olympiad Chemistry International

Japan IChO2021 53rd

2021 August, 2nd – July 25th

https://www.icho2021.org



G0-2

arabic (Syria)

التعليمات العامة

- مسموح لك باستعمال قلم الحبر الناشف فقط لكتابة الإجابة
- يجب أن تكون آلتك الحاسبة غير قابلة للبرمجة
- يتألف هذا الامتحان من **تسع مسائل**.
- يمكنك حل المسائل وفق أي ترتيب تريده.
- لديك **خمس ساعات** لحل كل المسائل.
- يمكنك **البدء** بالعمل فقط بعد أن يعطى أمر **البدء**.
- يجب كتابة كل النتائج في صناديق الإجابة المناسبة باستخدام قلم الحبر الناشف على **أوراق الإجابة**. استخدم خلفية أوراق الأسئلة في حال حاجتك لورق مسودة. وتذكر أنّ الإجابات المكتوبة خارج صناديق الإجابة لن تحتسب.
- اكتب الحسابات التوضيحية ذات الصلة عند الضرورة في الصناديق المناسبة. ستعطى العلامات الكاملة للإجابات الصحيحة فقط عندما تقوم بإظهار عملك.
- سيقوم المراقبون بإعطاء تنبيه قبل **30 دقيقة** من أمر **التوقف**.
- **يجب عليك التوقف** عندما يُعطى **أمر التوقف**. سيقود الإخفاق في التوقف عن الكتابة إلى إلغاء امتحانك.
- تتوافر النسخة الإنكليزية الرسمية لهذا الامتحان عند الطلب فقط للتوضيح.
- لا يسمح لك ترك مكان عملك وامتحانك من دون إذن. في حال حاجتك لأي مساعدة (تعطل آلة حاسبة، الذهاب للحمام، وغيره) ، ارفع يدك وانتظر وصول المراقب.

حظاً موفقاً

معلومات عن المسائل وتوزيع الدرجات

	العنوان	العلامة الكلية	النسبة المئوية
1	الهيدروجين على سطح معدن	24	11
2	كبسولة الزمن النظيرية Capsule Time Isotope	35	11
3	قانون بير - لامبير Law? Lambert–Beer	22	8
4	كيمياء الأكسدة- إرجاع للتوتياء	32	11
5	السيليكون الغامض	60	12
6	كيمياء الحالة الصلبة للمعادن الانتقالية	45	13
7	اللعب مع المركبات العطرية اللابنزوئية	36	13
8	الجزيئات العضوية الديناميكية وكيرالياتها	26	11
9	ما تحبه وما تكرهه الكبسولة	23	10
Total			100

G0-3

arabic (Syria)

Equations and Constants Physical

Constants

$c = 2.99792458 \times 10^{8}\ \mathrm{m\ s^{-1}}$	vacuum in light of Speed
$h = 6.62607015 \times 10^{-34}\ \mathrm{J\ s}$	constant Planck
$e = 1.602176634 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}$	charge Elementary
$m_{\mathrm{e}} = 9.10938370 \times 10^{-31}\ \mathrm{kg}$	mass Electron
$\varepsilon_0 = 8.85418781 \times 10^{-12}\ \mathrm{F\ m^{-1}}$	constant Electric vacuum) of (permittivity
$N_{\mathrm{A}} = 6.02214076 \times 10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$	constant Avogadro
$k_{\mathrm{B}} = 1.380649 \times 10^{-23}\ \mathrm{J\ K^{-1}}$	constant Boltzmann
$F = N_{\mathrm{A}} \times e = 9.64853321233100184 \times 10^{4}\ \mathrm{C\ mol^{-1}}$	constant Faraday
$R = N_{\mathrm{A}} \times k_{\mathrm{B}} = 8.31446261815324\ \mathrm{J\ K^{-1}\ mol^{-1}}$ $= 8.2057366081 \times 10^{-2}\ \mathrm{L\ atm\ K^{-1}\ mol^{-1}}$	constant Gas
$u = 1\ \mathrm{Da} = 1.66053907 \times 10^{-27}\ \mathrm{kg}$	unit mass atomic Unified
$p = 1\ \mathrm{bar} = 10^{5}\ \mathrm{Pa}$	pressure Standard
$p_{\mathrm{atm}} = 1.01325 \times 10^{5}\ \mathrm{Pa}$	pressure Atmospheric
$0\ ^{\circ}\mathrm{C} = 273.15\ \mathrm{K}$	Celsius degree Zero
$1\ \text{Å} = 10^{-10}\ \mathrm{m}$	Ångstrom
$1\ \mathrm{pm} = 10^{-12}\ \mathrm{m}$	Picometer
$1\ \mathrm{eV} = 1.602176634 \times 10^{-19}\ \mathrm{J}$	Electronvolt
$1\ \mathrm{ppm} = 10^{-6}$	Part-per-million
$1\ \mathrm{ppb} = 10^{-9}$	Part-per-billion
$1\ \mathrm{ppt} = 10^{-12}$	Part-per-trillion
$\pi = 3.141592653589793$	pi
$e = 2.718281828459045$	logarithm natural the of base The number) (Euler's

Equations

law gas ideal The	$PV = nRT$ substance, of amount the is n volume, the is V pressure, the is P where , gas. ideal of temperature absolute the is T
law Coulomb's	$F = k_\mathrm{e}\frac{q_1 q_2}{r^2}$ Coulomb's is $k_\mathrm{e}(\simeq 9.0 \times 10^9\,\mathrm{N\,m^2\,C^{-2}})$ force, electrostatic the is F where , the is r and charges, the of magnitudes the are q_2 and q_1 constant, charges. the between distance
of law first The thermodynamics	$\Delta U = q + w$ supplied, heat the is q energy, internal the in change the is ΔU where , done. work the is w
H Enthalpy	$H = U + PV$
on based Entropy S principle Boltzmann's	$S = k_\mathrm{B}\ln W$ microstates. of number the is W where ,
entropy of change The ΔS	$\Delta S = \frac{q_\mathrm{rev}}{T}$ process. reversible the for heat the is q_rev where ,
G energy free Gibbs	$G = H - TS$ $\Delta_\mathrm{r}G^\circ = -RT\ln K = -zFE^\circ$ E° electrons, of number the is z constant, equilibrium the is K where , potential. electrode standard the is
Q quotient Reaction	$\Delta_\mathrm{r}G = \Delta_\mathrm{r}G^\circ + RT\ln Q$ reaction a For $a\mathrm{A} + b\mathrm{B} \rightleftharpoons c\mathrm{C} + d\mathrm{D}$ $Q = \frac{[\mathrm{C}]^c[\mathrm{D}]^d}{[\mathrm{A}]^a[\mathrm{B}]^b}$ .A of concentration the is $[\mathrm{A}]$ where ,

Δq change Heat	$\Delta q = nc_{\text{m}}\Delta T$ capacity. heat molar temperature-independent the is c_{m} where ,
for equation Nernst reaction redox	$E = E^\circ + \frac{RT}{zF}\ln\frac{C_{\text{ox}}}{C_{\text{red}}}$ the is C_{red} substance, oxidized of concentration the is C_{ox} where , substance. reduced of concentration
equation Arrhenius	$k = A\exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$ the is E_a factor, pre-exponential the is A constant, rate the is k where , energy. activation $\exp(x) = e^x$
equation Lambert–Beer	$A = \varepsilon l c$ is l coefficient, absorption molar the is ε absorbance, the is A where , solution. the of concentration the is c length, path optical the
Henderson–Hasselbalch equation	equilibrium an For $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-$,K_{a} is constant equilibrium where , $\text{pH} = \text{p}K_{\text{a}} + \log\left(\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}\right)$
photon a of Energy	$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$ light. the of wavelength the is λ frequency, the is ν where ,
geometric a of sum The series	,$x \neq 1$ When $1 + x + x^2 + \cdots + x^n = \sum_{i=0}^{n} x^i = \frac{1 - x^{n+1}}{1 - x}$
Approximation be can that equation problems solve to used	,$x \ll 1$ When $\frac{1}{1-x} \simeq 1 + x$

G0-6

arabic (Syria)

Table Periodic

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H Hydrogen 1.008																	2 He Helium 4.003
3 Li Lithium 6.968	4 Be Beryllium 9.012											5 B Boron 10.814	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.306											13 Al Aluminium 26.982	14 Si Silicon 28.085	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.068	17 Cl Chlorine 35.452	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.630	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.971	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798
37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium [99]	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.906	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.414	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.904	54 Xe Xenon 131.293
55 Cs Caesium 132.905	56 Ba Barium 137.327	57-71 La-Lu Lanthanoids	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.592	81 Tl Thallium 204.384	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98	84 Po Polonium [210]	85 At Astatine [210]	86 Rn Radon [222]
87 Fr Francium [223]	88 Ra Radium [226]	89-103 Ac-Lr Actinoids	104 Rf Rutherfordium [267]	105 Db Dubnium [268]	106 Sg Seaborgium [271]	107 Bh Bohrium [272]	108 Hs Hassium [277]	109 Mt Meitnerium [276]	110 Ds Darmstadtium [281]	111 Rg Roentgenium [280]	112 Cn Copernicium [285]	113 Nh Nihonium [278]	114 Fl Flerovium [289]	115 Mc Moscovium [289]	116 Lv Livermorium [293]	117 Ts Tennessine [293]	118 Og Oganesson [294]

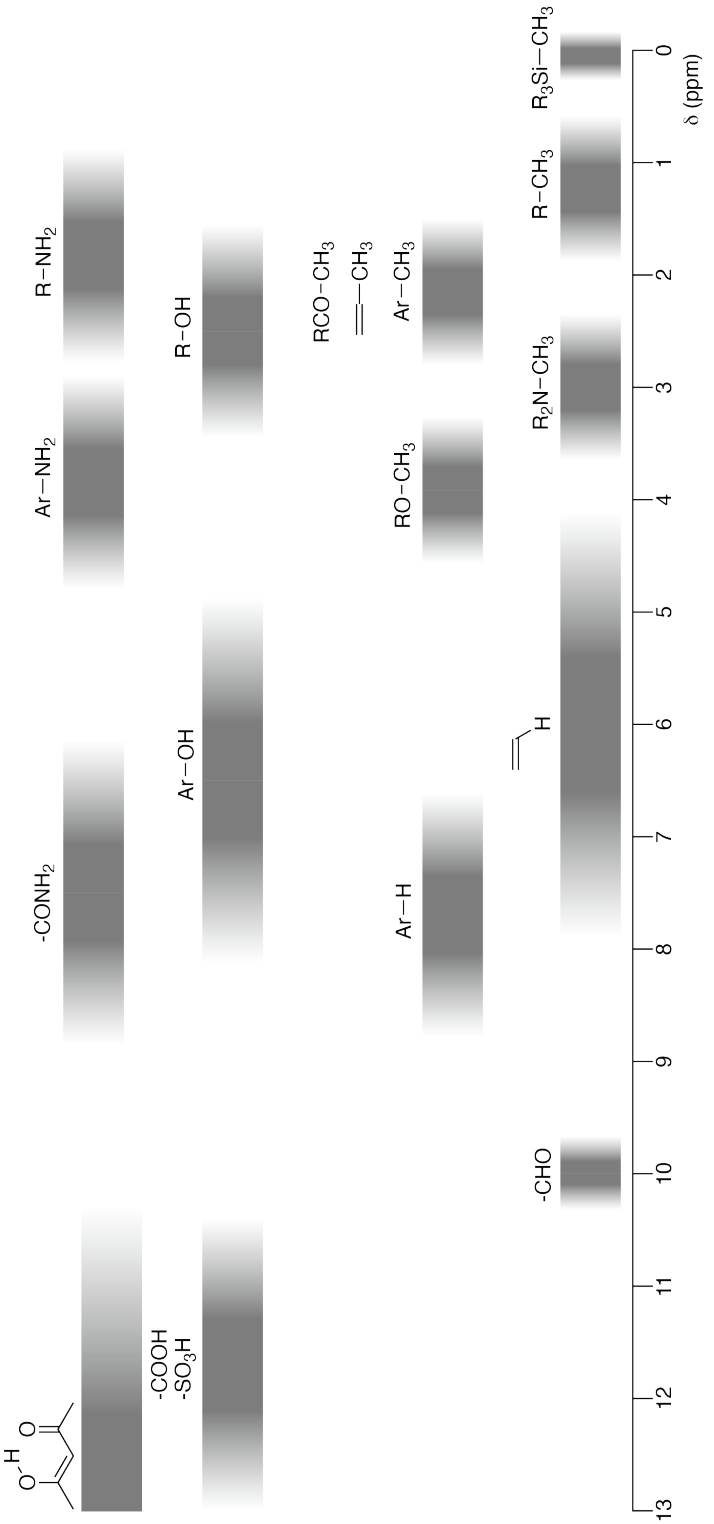
Key: 113 Nh Nihonium [278] — atomic number / Symbol / name / atomic weight [in parenthesis for the radioactive element]

57-71 La-Lu Lanthanoids :	57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium [145]	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.045	71 Lu Lutetium 174.967
89-103 Ac-Lr Actinoids :	89 Ac Actinium [227]	90 Th Thorium 232.038	91 Pa Protactinium 231.036	92 U Uranium 238.029	93 Np Neptunium [237]	94 Pu Plutonium [239]	95 Am Americium [243]	96 Cm Curium [247]	97 Bk Berkelium [247]	98 Cf Californium [252]	99 Es Einsteinium [252]	100 Fm Fermium [257]	101 Md Mendelevium [258]	102 No Nobelium [259]	103 Lr Lawrencium [262]

G0-7

arabic (Syria)

Shifts Chemical NMR H^1



ppm 4.0+ ca. group-substitution: alkyl one for $\Delta\delta$

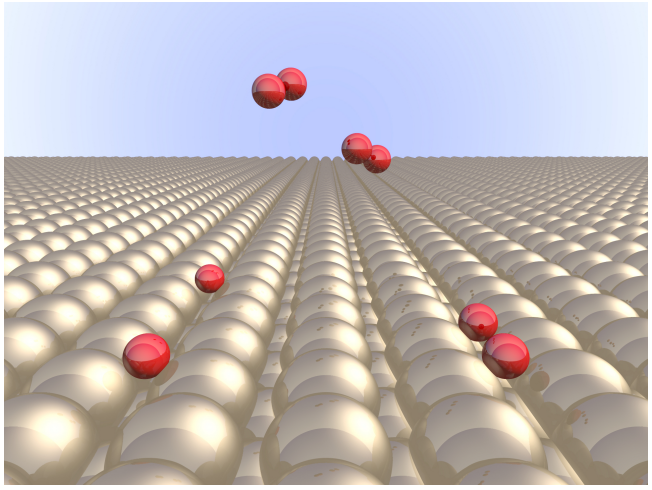
SYR-2 C-1 C
AHMAD THAER ATER

IChO
Problem 1
Cover sheet

Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

Hydrogen at a Metal Surface

11 % of the total							
Question	A.1	A.2	B.1	B.2	B.3	B.4	**Total**
Points	6	4	5	3	3	3	**24**
Score							



Hydrogen is expected to be a future energy source that does not depend on fossil fuels. Here, we will consider the hydrogen-storage process in a metal, which is related to hydrogen-transport and -storage technology.

Part A

As hydrogen is absorbed into the bulk of a metal via its surface, let us first consider the adsorption process of hydrogen at the metal surface, $H_2(g) \rightarrow 2H(ad)$, where the gaseous and adsorbed states of hydrogen are represented as (g) and (ad), respectively. Hydrogen molecules (H_2) that reach the metal surface (M) dissociate at the surface and are adsorbed as H atoms (Fig. 1). Here, the potential energy of H_2 is represented by two variables: the interatomic distance, d, and the height relative to the surface metal atom, z. It is assumed that the axis along the two H atoms is parallel to the surface and that the center of gravity is always on the vertical dotted line in Fig. 1. Fig. 2 shows the potential energy contour plot for the dissociation at the surface. The numerical values represent the potential energy in units of kJ per mole of H_2. The solid line spacing is 20 kJ mol^{-1}, the dashed line spacing is 100 kJ mol^{-1}, and the spacing between solid and dashed lines is 80 kJ mol^{-1}. The zero-point vibration energy is ignored.

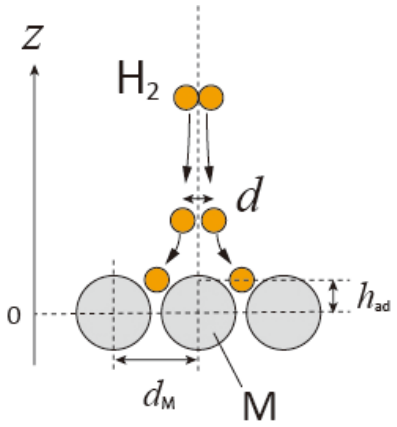


Fig.1 Definition of variables. Drawing is not in scale.

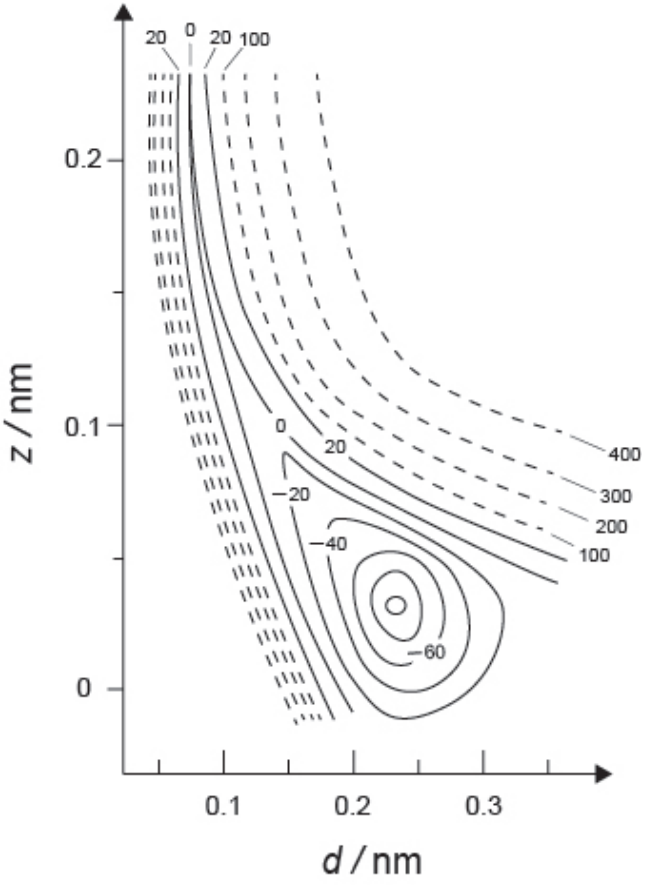


Fig.2

A.1 For each of the following items (i)–(iii), **select** the closest value from A–G. 6pt

(i) The interatomic distance for a gaseous H_2 molecule
(ii) The interatomic distance between metal atoms (d_M in Fig. 1)
(iii) The distance of adsorbed H atoms from the surface (h_{ad} in Fig. 1)

A. 0.03 nm	B. 0.07 nm	C. 0.11 nm	D. 0.15 nm
E. 0.19 nm	F. 0.23 nm	G. 0.27 nm	

A.2 For each of the following items (i)–(ii), **select** the closest value from A–H. 4pt

(i) the energy required for the dissociation of gaseous H_2 to gaseous H [$H_2(g) \rightarrow 2H(g)$]
(ii) the energy released during the adsorption of a gaseous H_2 [$H_2(g) \rightarrow 2H(ad)$]

A. 20 kJ mol^{-1}	B. 40 kJ mol^{-1}	C. 60 kJ mol^{-1}	D. 100 kJ mol^{-1}
E. 150 kJ mol^{-1}	F. 200 kJ mol^{-1}	G. 300 kJ mol^{-1}	H. 400 kJ mol^{-1}

Part B

The adsorbed hydrogen atoms are then either absorbed into the bulk, or recombine and desorb back into the gas phase, as shown in the reactions (1a) and (1b). H(ab) represents a hydrogen atom absorbed in the bulk.

$$\mathrm{H_2(g)} \underset{k_2}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} \mathrm{2H(ad)} \tag{1a}$$

$$\mathrm{H(ad)} \xrightarrow{k_3} \mathrm{H(ab)} \tag{1b}$$

The reaction rates per surface site for adsorption, desorption, and absorption are $r_1[\mathrm{s}^{-1}], r_2[\mathrm{s}^{-1}]$ and $r_3[\mathrm{s}^{-1}]$, respectively. They are expressed as:

$$r_1 = k_1 P_{\mathrm{H_2}} (1-\theta)^2 \tag{2}$$

$$r_2 = k_2 \theta^2 \tag{3}$$

$$r_3 = k_3 \theta \tag{4}$$

where $k_1\,[\mathrm{s}^{-1}\,\mathrm{Pa}^{-1}], k_2\,[\mathrm{s}^{-1}]$ and $k_3\,[\mathrm{s}^{-1}]$ are the reaction rate constants and $P_{\mathrm{H_2}}$ is the pressure of $\mathrm{H_2}$. Among the sites available on the surface, θ ($0 \leq \theta \leq 1$) is the fraction occupied by H atoms. It is assumed that adsorption and desorption are fast compared to absorption ($r_1, r_2 \gg r_3$) and that θ remains constant.

B.1 r_3 can be expressed as: 5pt

$$r_3 = \frac{k_3}{1 + \sqrt{\dfrac{1}{P_{\mathrm{H_2}} C}}} \tag{5}$$

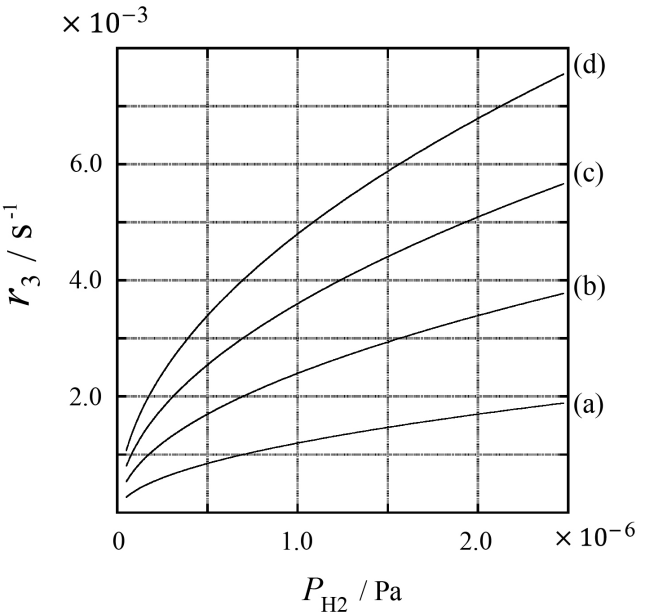
Express C using k_1 and k_2.

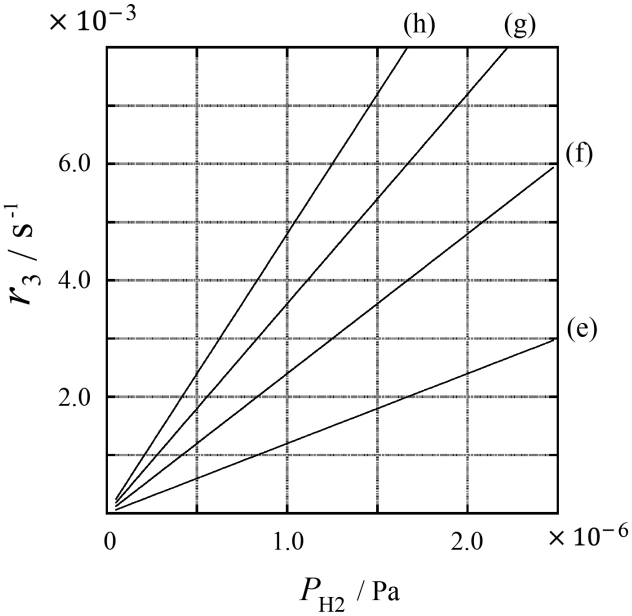
A metal sample with a surface area of $S = 1.0 \times 10^{-3}$ m^2 was placed in a container (1L = 1.0×10^{-3} m^3) with H_2 ($P_{H_2} = 1.0 \times 10^2$ Pa). The density of hydrogen-atom adsorption sites on the surface was $N = 1.3 \times 10^{18}$ m^{-2}. The surface temperature was kept at $T = 400$ K. As the reaction (1) proceeded, P_{H_2} decreased at a constant rate of $v = 4.0 \times 10^{-4}$ Pa s^{-1}. Assume that H_2 is an ideal gas and that the volume of the metal sample is negligible.

B.2 **Calculate** the amount of H atoms in moles absorbed per unit area of the surface per unit time, A [mol s^{-1} m^{-2}]. 3pt

B.3 At $T = 400$ K, C equals 1.0×10^2 Pa^{-1}. **Calculate** the value of k_3 at 400 K. If you did not obtain the answer to **B.2**, use $A = 3.6 \times 10^{-7}$ mol s^{-1} m^{-2}. 3pt

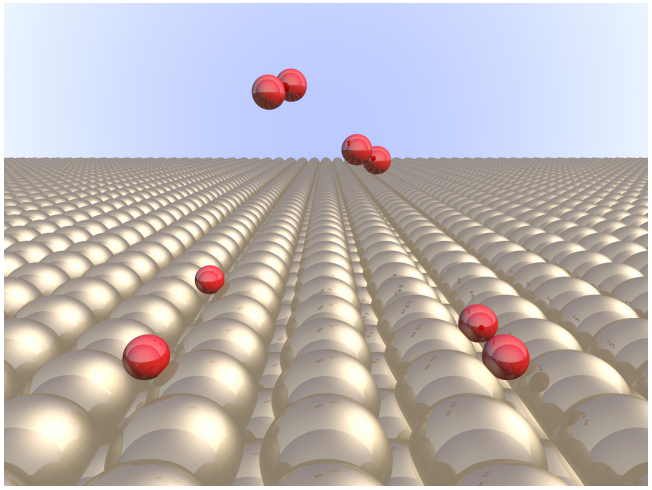
B.4 At a different T, $C = 2.5 \times 10^3$ Pa^{-1} and $k_3 = 4.8 \times 10^{-2}$ s^{-1} are given. For r_3 as a function of P_{H_2} at this temperature, **select** the correct plot from (a)–(h). 3pt





الهيدروجين على سطح المعدن

total the of % 11							
Total	B.4	B.3	B.2	B.1	A.2	A.1	Question
24	3	3	3	5	4	6	Points
							Score



يتوقع أن يكون الهيدروجين مصدر طاقة المستقبل التي لا تعتمد على الوقود الحجري. في هذه المسالة سندرس تخزين الهيدروجين في المعدن وهذه العملية ترتبط بتنكنولوجيا نقل وتخزين الهيدروجين

الجزء A

بما أن امتصاص الهيدروجين إلى داخل المعدن يتم عبر سطحه، لذلك نعتبر أولاً عملية ادمصاص (امتزاز) الهيدروجين على سطح المعدن:

$$H_2(g) \rightarrow 2H(ad)$$

حيث يتم ترميز حالة الهيدروجين الغازي بـ (g) والهيدروجين الممتز بـ (ad) .

عندما يصل جزيء الهيدروجين (H_2) إلى سطح المعدن (M) يتفكك على السطح ويدمص (يمتز) على شكل ذرات هيدروجين (H) كما هو موضح في الشكل 1.

يتم تمثيل الطاقة الكامنة للهيدروجين (H_2) بمتغيرين: الاول هو المسافة بين الذرات (d)، والثاني الارتفاع النسبي عن ذرات سطح المعدن (z).

نفترض ان المحور الواصل بين ذرتي الهيدروجين موازي للسطح وأن مركز الثقل يقع دائماً على العمود المنقط الموضح بالشكل 1.

يظهر الشكل 2 خريطة تساوي الكمون (potential energy contour plot) للتفكك على السطح. تمثل القيمة العددية على المخطط الطاقة الكامنة مقدرة بواحدة الكيلوجول (kJ) لكل واحد مول من الهيدروجين (H_2). يمثل الفراغ ما بين

خطين متصلين ماقيمته 20 كيلوجول لكل مول ($20\ \mathrm{kJ\,mol^{-1}}$)، والفراغ مابين الخطوط المتقطعة هو 100 كيلوجول لكل مول ($100\ \mathrm{kJ\,mol^{-1}}$) و الفراغ بين خط متصل وخط متقطع 80 كيلوجول لكل مول.

نهمل طاقة نقطة الاهتزاز الصفري.

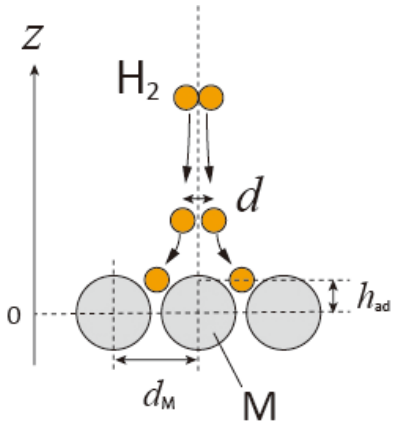


Fig.1 □□□□□ .□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□□

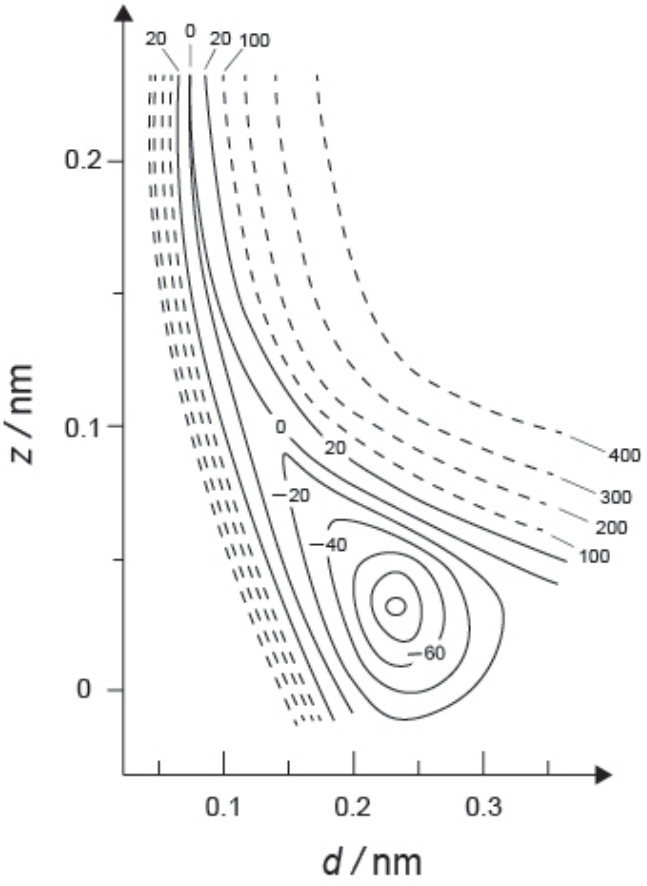


Fig.2

A.1 اختر اقرب قيمة من بين القيم A حتى G والتي تناسب كل من العبارات التالية: 6pt

(i) المسافة بين ذرتي جزيء الهيدروجين الغازي (H_2)

(ii) المسافة بين ذرات المعدن (d_M) الموضحة في الشكل 1.

(iii) المسافة بين ذرة الهيدروجين المدمصة (الممتزة) وسطح المعدن (h_{ad}) الموضحة في الشكل 1.

D. 0.15 nm	C. 0.11 nm	B. 0.07 nm	A. 0.03 nm
	G. 0.27 nm	F. 0.23 nm	E. 0.19 nm

A.2 اختر اقرب قيمة من بين القيم A حتى H والتي تناسب كل من العبارات التالية (i) و (ii): 4pt

(i) الطاقة اللازمة لتفكك جزيء الهيدروجين الغازي (H_2 gaseous) إلى ذرات الهيدروجين الغازية (H gaseous) [$H_2(g) \rightarrow 2H(g)$]

(ii) الطاقة المتحررة أثناء ادمصاص (امتزاز) جزيء الهيدروجين الغازي (H_2 gaseous) [$H_2(g) \rightarrow 2H(ad)$]

D. 100 kJ mol^{-1}	C. 60 kJ mol^{-1}	B. 40 kJ mol^{-1}	A. 20 kJ mol^{-1}
H. 400 kJ mol^{-1}	G. 300 kJ mol^{-1}	F. 200 kJ mol^{-1}	E. 150 kJ mol^{-1}

الجزء B

تسلك ذرات الهيدروجين المدمصة (الممتزة) بعد ذلك إما طريق الامتصاص نحو داخل المعدن الموضح في التفاعل 1b او طريق الاتحاد والتحرر إلى الحالة الغازية الموضح في التفاعل 1a. تمثل الرمز H(ab) ذرات الهيدروجين الممتصة نحو داخل المعدن.

$$\mathrm{H_2(g)} \underset{k_2}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} \mathrm{2H(ad)} \qquad (1a)$$

$$\mathrm{H(ad)} \xrightarrow{k_3} \mathrm{H(ab)} \qquad (1b)$$

ترمز معدلات التفاعل بواحدة الموقع السطحي للامتزاز r1 ونزع الامتزاز r2 والامتصاص r3 كما يلي: $r_1[\mathrm{s^{-1}}], r_2[\mathrm{s^{-1}}]$ و $r_3[\mathrm{s^{-1}}]$ وفق العلاقات التالية:

$$r_1 = k_1 P_{\mathrm{H_2}} (1-\theta)^2 \qquad (2)$$

$$r_2 = k_2 \theta^2 \qquad (3)$$

$$r_3 = k_3 \theta \qquad (4)$$

حيث:

$k_3\,[\mathrm{s^{-1}}]$,$k_1\,[\mathrm{s^{-1}\,Pa^{-1}}], k_2\,[\mathrm{s^{-1}}]$ هي ثوابت التفاعلات

$P_{\mathrm{H_2}}$ ضغط غاز الهيدروجين $\mathrm{H_2}$

تمثل θ $(0 \le \theta \le 1)$ نسبة عدد المواقع المشغولة بذرات الهيدروجين إلى عدد المواقع المتوفرة على السطح.

نفترض أن الامتزاز ونزع الامتزاز اسرع من الامتصاص $(r_1, r_2 \gg r_3)$ وأن نسبة المواقع المشغولة θ تبقى ثابتة.

B.1 يمكن التعبير عن r_3 بالعلاقة: 5pt

$$r_3 = \frac{k_3}{1 + \sqrt{\dfrac{1}{P_{\mathrm{H_2}} C}}} \qquad (5)$$

عبر عن C بدلالة كل من k_1 و k_2

أخذ عينة معدنية ذات سطح مساحته ($S = 1.0 \times 10^{-3}\ \mathrm{m^2}$) ونضعه في حاوية حجمها 1 ليتر ($1.0 \times 10^{-3}\ \mathrm{m^3}$) تحوي على غاز الهيدروجين ($P_{\mathrm{H_2}} = 1.0 \times 10^{2}\ \mathrm{Pa}$). إن كثافة مواقع ذرات الهيدروجين الممتزة على السطح هي ($N = 1.3 \times 10^{18}\ \mathrm{m^{-2}}$). تترك درجة حرارة السطح عند درجة حرارة ($T = 400\ \mathrm{K}$).

عند بدء التفاعل 1، يتناقص الضغط $P_{\mathrm{H_2}}$ بمعدل ثابت ($v = 4.0 \times 10^{-4}\ \mathrm{Pa\ s^{-1}}$). نفترض أن غاز الهيدروجين هو غاز مثالي وأن حجم عينة المعدن مهملة.

B.2 3pt

احسب كمية ذرات الهيدروجين الممتزة مقدرة بالمول بواحدة السطح وواحدة الزمن.
($A\ [\mathrm{mol\ s^{-1}\ m^{-2}}]$)

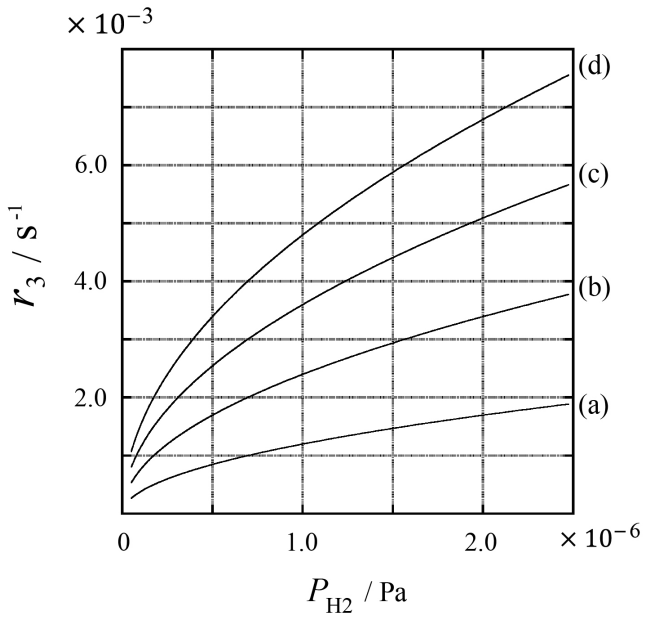
B.3 3pt

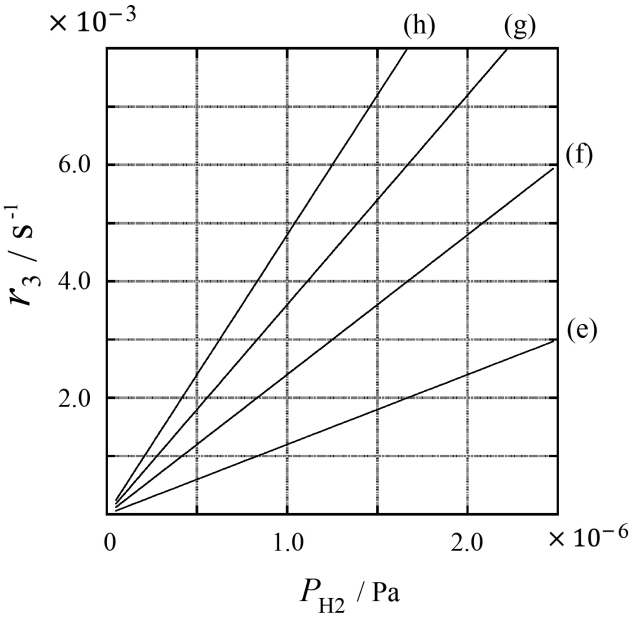
عند درجة حرارة ($T = 400\ \mathrm{K}$) كانت C تساوي ($1.0 \times 10^{2}\ \mathrm{Pa^{-1}}$). **احسب** قيمة k_3 عند درجة حرارة 400 كيلفن.

إذا لم تحصل على جواب للطلب B.2 استخدم $A = 3.6 \times 10^{-7}\ \mathrm{mol\ s^{-1}\ m^{-2}}$

B.4 3pt

عند درجات حرارة مختلفة T، لدينا $C = 2.5 \times 10^{3}\ \mathrm{Pa^{-1}}$، $k_3 = 4.8 \times 10^{-2}\ \mathrm{s^{-1}}$. تعطي الاشكال التالية منحنيات علاقة r_3 بدلالة $P_{\mathrm{H_2}}$ عند درجة الحرارة. اختر المنحني المناسب للمعطيات السابقة من الاشكال (a) حتى (h)





Hydrogen at a Metal Surface

Part A

A.1 (6 pt)

(i)	(ii)	(iii)

A.2 (4 pt)

(i)	(ii)

Part B

B.1 (5 pt)

$C =$ _____

B.2 (3 pt)

$A =$ _____ mol s^{-1} m^{-2}

B.3 (3 pt)

$k_3 =$ _____ s^{-1}

B.4 (3 pt)

_____

SYR-2 C-2 C
AHMAD THAER ATER

IChO
Problem 2
Cover sheet

Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

Isotope Time Capsule

11 % of the total					
Question	A.1	A.2	A.3	A.4	**Total**
Points	8	8	10	9	**35**
Score					



Molecular entities that differ only in isotopic composition, such as CH_4 and CH_3D, are called isotopologues. Isotopologues are considered to have the same chemical characteristics. In nature, however, there exists a slight difference.

Assume that all of the substances shown in this Question are in a gas phase.

Let us consider the following equilibrium:

$$^{12}C^{16}O_2 + {}^{12}C^{18}O_2 \rightleftharpoons 2\,{}^{12}C^{16}O^{18}O \qquad K = \frac{[{}^{12}C^{16}O^{18}O]^2}{[{}^{12}C^{16}O_2][{}^{12}C^{18}O_2]} \tag{1}$$

The entropy, S, increases with increasing the number of possible microscopic states of a system, W:

$$S = k_B \ln W \tag{2}$$

$W = 1$ for $^{12}C^{16}O_2$ and $^{12}C^{18}O_2$. In contrast, $W = 2$ for a $^{12}C^{16}O^{18}O$ molecule because the oxygen atoms are distinguishable in this molecule. As the right-hand side of the equilibrium shown in eq. 1 has two $^{12}C^{16}O^{18}O$ molecules, $W = 2^2 = 4$.

A.1 The enthalpy change, ΔH, of eq. 3 is positive regardless of the temperature. 8pt

$$H_2 + DI \rightleftharpoons HD + HI \quad (3)$$

Calculate the equilibrium constants, K, for eq. 3 at very low (think of $T \to 0$) and very high (think of $T \to +\infty$) temperatures. Assume that the reaction remains unchanged at these temperatures and that ΔH converges to a constant value for high temperatures.

The Δ*H* of the following process can be explained by molecular vibrations.

$$2HD \rightleftharpoons H_2 + D_2 \qquad K = \frac{[H_2][D_2]}{[HD]^2} \quad (4)$$

At T = 0 K, the vibrational energy of a diatomic molecule whose vibration frequency is ν [s^{-1}] is expressed as:

$$E = \frac{1}{2}h\nu \quad (5)$$

$$\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{\mu}} \quad (6)$$

Wherein k is the force constant and μ the reduced mass, which is expressed in terms of the mass of the two atoms in the diatomic molecule, m_1 and m_2, according to:

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad (7)$$

A.2 The vibration of H_2 is at 4161.0 cm^{-1} when reported as a wavenumber. 8pt
Calculate the ΔH of the following equation at T = 0 K in units of J mol^{-1}.

$$2HD \to H_2 + D_2 \quad (8)$$

Assume that:
- only the vibrational energy contributes to the ΔH.
- the k values for H_2, HD, and D_2 are identical.
- the mass of H to be 1 Da and the mass of D to be 2 Da.

The molar ratio of H_2, HD, and D_2 depends on the temperature in a system in equilibrium. Here, Δ_{D_2} is defined as the change of the molar ratio of D_2.

$$\Delta_{D_2} = \frac{R_{D_2}}{R^*_{D_2}} - 1 \tag{9}$$

Here, R_{D_2} refers to $\frac{[D_2]}{[H_2]}$ in the sample and $R^*_{D_2}$ to $\frac{[D_2]}{[H_2]}$ at $T \to +\infty$. It should be noted here that the distribution of isotopes becomes random at $T \to +\infty$.

A.3	**Calculate** Δ_{D_2} with natural D abundance when the isotopic exchange is in equilibrium at the temperature where K in eq. 4 is 0.300. Assume that the natural abundance ratios of D and H are 1.5576×10^{-4} and $1 - 1.5576 \times 10^{-4}$, respectively.	10pt

In general, the molar ratio of the doubly substituted isotopologue, which contains two heavy isotope atoms in one molecule, increases with decreasing temperature. Let us consider the molar ratio of CO_2 molecules with molecular weights of 44 and 47, which are described as $CO_2[44]$ and $CO_2[47]$ below. The quantity Δ_{47} is defined as:

$$\Delta_{47} = \frac{R_{47}}{R_{47}^*} - 1 \tag{10}$$

R_{47} refers to $\frac{[CO_2[47]]}{[CO_2[44]]}$ in the sample and R_{47}^* to $\frac{[CO_2[47]]}{[CO_2[44]]}$ at $T \to +\infty$. The natural abundances of carbon and oxygen atoms are shown below; ignore isotopes that are not shown here.

	^{12}C	^{13}C
natural abundance	0.988888	0.011112

	^{16}O	^{17}O	^{18}O
natural abundance	0.997621	0.0003790	0.0020000

The temperature dependence of Δ_{47} is determined as follows, where T is given as the absolute temperature in units of K:

$$\Delta_{47} = \frac{36.2}{T^2} + 2.920 \times 10^{-4} \tag{11}$$

A.4 The R_{47} of fossil plankton obtained from the Antarctic seabed was 4.50865×10^{-5}. **Estimate** the temperature using this R_{47}. This temperature is interpreted as the air temperature during the era in which the plankton lived. Consider only the most common isotopologue of $CO_2[47]$ for the calculation. 9pt

Q2-1

arabic (Syria)

Capsule Time Isotope

total the of % 11					
Total	A.4	A.3	A.2	A.1	Question
35	9	10	8	8	Points
					Score



تسمى الجزيئات التي تختلف عن بعضها فقط بالنظائر مثل (CH_4) و (CH_3D) بالجزيئات الايزوتبولوغ (isotopologues) . تمتاز جزيئات الايزوتبولوغ بان لها الخواص الكيميائية نفسها. لكن في الطبيعة، يوجد اختلاف بسيط.

نفترض ان كل المركبات في هذا السؤال هي في الحالة الغازية.

لناخذ تفاعل التوازن التالي:

$$^{12}C^{16}O_2 + {}^{12}C^{18}O_2 \rightleftharpoons 2\,{}^{12}C^{16}O^{18}O \qquad K = \frac{[{}^{12}C^{16}O^{18}O]^2}{[{}^{12}C^{16}O_2][{}^{12}C^{18}O_2]} \qquad (1)$$

تزداد الانتروبيه S بازدياد عدد الحالات الميكروسكوبية المحتملة للجملة W :

$$S = k_B \ln W \qquad (2)$$

لدينا $W = 1$ من أجل $^{12}C^{16}O_2$ و $^{12}C^{18}O_2$. بالمقابل $W = 2$ من أجل الجزيء $^{12}C^{16}O^{18}O$ لان ذرات الأوكسجين متمايزة في هذا الجزيء. بما أن الجزء اليميني من التفاعل المتوازن السابق (eq. 1) يظهر جزيئتين من $^{12}C^{16}O^{18}O$ فإن: $W = 2^2 = 4$

Q2-2

arabic (Syria)

A.1 8pt تغير الانتالبية ΔH في معادلة التفاعل 3 (eq. 3) هي موجبة بغض النظر عن درجة الحرارة

$$H_2 + DI \rightleftharpoons HD + HI \quad (3)$$

احسب ثابت التوازن K للتفاعل 3 (eq. 3) عند درجة حرارة منخفضة (اعتبر $T \to 0$) وعند درجة حرارة مرتفعة (اعتبر $T \to +\infty$).
افترض أن التفاعل يبقى ثابتاً ولايتغير عند درجات الحرارة هذه وان تغير الانتالبية ΔH يتقارب إلى قيمة ثابتة عند درجات الحرارة المرتفعة.

يمكن شرح تغير الانتالبية ΔH للعمليات التالية عن طريق اهتزازات الجزيئات.

$$2HD \rightleftharpoons H_2 + D_2 \qquad K = \frac{[H_2][D_2]}{[HD]^2} \quad (4)$$

عند درجة حرارة T = 0 كيلفن، يعبر عن طاقة الاهتزاز للجزيئات الثنائية والتي تواتر الاهتزاز هو ν [s^{-1}] كمايلي:

$$E = \frac{1}{2}h\nu \quad (5)$$

$$\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{\mu}} \quad (6)$$

حيث ان k هو تابت القوة و أن μ هي الكتلة المختزلة والتي يعبر عنها بكتلة الذرتين في الجزيئات الثنائية الذرة m_1 و m_2 وفق مايلي:

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad (7)$$

A.2 8pt يكون اهتزاز جزيئة الهيدروجين H_2 عند (4161.0 cm^{-1}) وذلك باستعمال العدد الموجي.
احسب تغير الانتالبية ΔH للتفاعل التالي عند درجة حرارة T = 0 كيلفن مقدرا بالواحدة ($J\ mol^{-1}$)

$$2HD \to H_2 + D_2 \quad (8)$$

نفترض أن:
- أنه طاقة الاهتزاز فقط هي التي تساهم في ΔH
- قيمة k لكل من HD و H_2 و D_2 متماثلة
- كتلة ذرة الهيدروجين H تساوي (1 Da) وكتلة ذرة الديتريوم D تساوي (2 Da)

ترتبط النسبة المولية لـ H_2، HD، D_2 بدرجة الحرارة في الجملة في حالة التوازن. يعبر الرمز Δ_{D_2} عن التغير بالنسبة المولية بـ D_2.

$$\Delta_{D_2} = \frac{R_{D_2}}{R^*_{D_2}} - 1 \tag{9}$$

لدينا R_{D_2} تشير إلى $\frac{[D_2]}{[H_2]}$ في العينة و $R^*_{D_2}$ إلى $\frac{[D_2]}{[H_2]}$ عند ($T \to +\infty$). يجب أن نلاحظ هنا أن توزع النظائر يصبح عشوائياً عند ($T \to +\infty$)

A.3 **احسب** Δ_{D_2} مع وفرة D الطبيعية عندما يكون التبادل النظيري في حالة توازن عند درجة الحرارة حيث K في المعادلة (eq. 4) يساوي (0.300). 10pt

افترض ان نسبة الوفرة الطبيعية لـ D و H هي (1.5576×10^{-4}) و ($1 - 1.5576 \times 10^{-4}$) على التوالي.

بشكل عام، تزداد النسبة المولية مع ازدياد درجة الحرارة للايزوتبولوغ المستبدل مرتين والذي يحتوي على ذرتين نظيرتين ثقيلتين في جزيئة واحدة.

لنأخذ بعين الاعتبار النسبة المولية لجزئيات CO_2 التي لها وزن جزيئي 44 و 47 والذي يوصف كـ $CO_2[44]$ و $CO_2[47]$. تعرف الكمية Δ_{47} كما يلي:

$$\Delta_{47} = \frac{R_{47}}{R^*_{47}} - 1 \tag{10}$$

تشير R_{47} إلى $\frac{[CO_2[47]]}{[CO_2[44]]}$ في العينة و R^*_{47} إلى $\frac{[CO_2[47]]}{[CO_2[44]]}$ عندما ($T \to +\infty$). يظهر الجدول التالي الوفرة الطبيعية لذرات الكربون والاوكسجين، نهمل النظائر غير الموجودة هنا.

^{13}C	^{12}C	
0.011112	0.988888	abundance natural

^{18}O	^{17}O	^{16}O	
0.0020000	0.0003790	0.997621	الوفرة الطبيعية

يحدد ارتباط Δ_{47} بدرجة الحرارة كما يلي، حيث تعطى T بدرجة الحرارة المطلقة بواحدة الكلفن k.

$$\Delta_{47} = \frac{36.2}{T^2} + 2.920 \times 10^{-4} \tag{11}$$

A.4 9pt

تم الحصول على قيمة R_{47} لمستحاثة البلانكتون هذه من قاع المحيط المتجمدة وتساوي (4.50865×10^{-5}).

قدر درجة الحرارة مستعملا قيمة R_{47} . تفسر درجة الحرارة هذه بأنها درجة الحرارة السائدة أثناء الفترة التي عاش فيها البلانكتون. اعتبر فقط الايزوتبولوغ الاكثر شهرة لـ $CO_2[47]$ في الحسابات.

Isotope Time Capsule

A.1 (8 pt)

$T \to 0 : K =$ _____ , $T \to +\infty : K =$ _____

A.2 (8 pt)

$\Delta H =$ _____ J mol^{-1}

A.3 (10 pt)

Δ_{D_2} = _____

A.4 (9 pt)

$T =$ _____ K

SYR-2 C-3 C
AHMAD THAER ATER

IChO
Problem 3
Cover sheet

Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

Lambert–Beer Law?

8 % of the total				
Question	A.1	B.1	B.2	**Total**
Points	10	6	6	**22**
Score				

In this problem, ignore the absorption of the cell and the solvent. The temperatures of all solutions and gases are kept constant at 25 °C.

Part A

An aqueous solution **X** was prepared using HA and NaA. The concentrations $[A^-]$, $[HA]$, and $[H^+]$ in solution **X** are 1.00×10^{-2} mol L^{-1}, 1.00×10^{-3} mol L^{-1}, and 1.00×10^{-4} mol L^{-1}, respectively, which are correlated via the following acid-base equilibrium:

$$HA \rightleftharpoons A^- + H^+ \qquad K = \frac{[A^-][H^+]}{[HA]} \tag{1}$$

The optical path length is l in Part A. Ignore the density change upon dilution. Assume that no chemical reactions other than eq 1 occur.

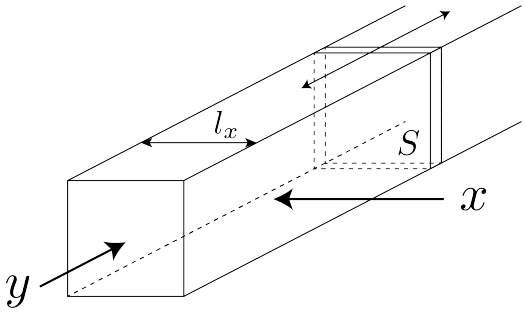
A.1 The absorbance of **X** was A_1 at a wavelength of λ_1. Then, solution **X** was diluted to twice its initial volume using hydrochloric acid with pH = 2.500. After the dilution, the absorbance was still A_1 at λ_1. **Determine** the ratio $\varepsilon_{HA}/\varepsilon_{A^-}$, where ε_{HA} and ε_{A^-} represent the absorption coefficients of HA and of A^-, respectively, at λ_1. 10pt

Part B

Let us consider the following equilibrium in the gas phase.

$$\mathrm{D} \rightleftharpoons 2\mathrm{M} \tag{2}$$

Pure gas D is filled into a cuboid container that has a transparent movable wall with a cross-section of S (see the figure below) at a pressure P, and equilibrium is established while the total pressure is kept at P. The absorbance of the gas is $A = \varepsilon(n/V)l$, where ε, n, V, and l are the absorption coefficient, amount of the gas in moles, volume of the gas, and optical path length, respectively. Assume that all components of the gas mixture behave as ideal gases.



Use the following definitions if necessary.

	Initial state		After equilibrium	
	D	M	D	M
Partial pressure	P	0	p_{D}	p_{M}
Amount in moles	n_0	0	n_{D}	n_{M}
Volume	V_0		V	

B.1 The absorbance of the gas at λ_{B1} measured from direction x ($l = l_x$) was A_{B1} both at the initial state and after the equilibrium. **Determine** the ratio $\varepsilon_{\mathrm{D}}/\varepsilon_{\mathrm{M}}$ at λ_{B1}, where ε_{D} and ε_{M} represent the absorption coefficients of D and of M, respectively. 6pt

B.2 The absorbance of the gas at λ_{B2} measured from direction y was A_{B2} both at the initial state ($l = l_{y0}$) and after the equilibrium ($l = l_y$). **Determine** the ratio $\varepsilon_{\mathrm{D}}/\varepsilon_{\mathrm{M}}$ at λ_{B2}. 6pt

Q3-1

arabic (Syria)

قانون بيير لامبير؟

total the of % 8				
Total	B.2	B.1	A.1	Question
22	6	6	10	Points
				Score

في هذه المسألة، نهمل امتصاص الخلية والمذيب. ونعتبر ان درجة حرارة كل المحاليل والغازات تبقى ثابتة عند 25 درجة سيلسيوس

الجزء A

تم تحضير محلول مائي **X** باستخدام HA و NaA, تركيز كل من $[A^-]$، $[HA]$، $[H^+]$ في المحلول **X** هو على التتالي: 1.00×10^{-2} mol L^{-1}، 1.00×10^{-3} mol L^{-1}، 1.00×10^{-4} mol L^{-1}. والتي ترتبط وفق تفاعل التوازن حمض - اساس التالي:

$$HA \rightleftharpoons A^- + H^+ \qquad K = \frac{[A^-][H^+]}{[HA]} \qquad (1)$$

المسار الضوئي في الجزء A هو l. نهمل تغير الكثافة بالتمديد. نفترض أنه لايوجد تفاعل كيميائي اخر غير الموضح في المعادلة (eq 1)

A.1 10pt

كان امتصاص المركب **X** هو A_1 عند طول الموجة λ_1. ثم تم تمديد المحلول **X** إلى ضعفي الحجم الأولي باستخدام حمض كلور الماء ذي درجة الحموضة (pH=2.500). بعد التمديد، يبقى الامتصاص A_1 عند طول الموجة λ_1.
حدد النسبة ($\varepsilon_{HA}/\varepsilon_{A^-}$) حيث تمثل كل من ε_{HA} و ε_{A^-} معامل الامتصاص لكل من HA و A^- على التوالي عند طول الموجة λ_1.

الجزء B

لنأخذ التوازن التالي في الحالة الغازية.

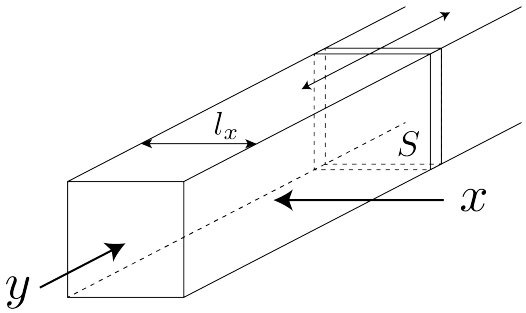
$$D \rightleftharpoons 2M \qquad (2)$$

نملأ غاز نقي D عند ضغط P في الحاوية الموضحة بالشكل والتي لها جدار شفاف متحرك ومقطع مساحته S، يحدث التوازن مع بقاء الضغط الكلي ثابتاً عند P.

تعطى امتصاصية الغاز بالعلاقة ($A = \varepsilon(n/V)l$)

حيث ε، n، V، l هي معامل الامتصاصية، عدد مولات الغاز، حجم الغاز، طول المسار الضوئي على التتالي.

نفترض أن كل مكونات الغاز تتصرف تصرف الغاز المثالي.



استخدم التعريفات التالية في حال الضرورة.

	الحالة الابتدائية		بعد التوتزن	
	D	M	D	M
الضغط الجزئي	P	0	p_D	p_M
عدد المولات	n_0	0	n_D	n_M
الحجم	V_0		V	

B.1 6pt

امتصاصية الغاز عند طول الموجة λ_{B1} والمقاسة بالاتجاه x ($l = l_x$) هي A_{B1} في الحالتين الابتدائية وبعد التوازن.
<u>حدد</u> النسبة ($\varepsilon_D/\varepsilon_M$) عند طول الموجة λ_{B1} حيث ε_D و ε_M تمثلان معامل الامتصاصية لـ D و M على التتالي.

B.2 6pt

امتصاصية الغاز عند طول الموجة λ_{B2} والمقاسة بالاتجاه y هي A_{B2} في الحالتين الابتدائية ($l = l_{y0}$) وبعد التوازن ($l = l_y$).
<u>حدد</u> النسبة ($\varepsilon_D/\varepsilon_M$) عند طول الموجة λ_{B2}

Lambert–Beer Law?

Part A

A.1 (10 pt)

(Continued on the next page)

A.1 (cont.)

$\varepsilon_{HA}/\varepsilon_{A^-}$ = _____

Part B

B.1 (6 pt)

$\varepsilon_D/\varepsilon_M =$ _____

B.2 (6 pt)

$\varepsilon_D/\varepsilon_M =$ _____

SYR-2 C-4 C-1

SYR-2 C-4 C
AHMAD THAER ATER

IChO
Problem 4
Cover sheet

Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

The Redox Chemistry of Zinc

11 % of the total							
Question	A.1	A.2	B.1	B.2	B.3	B.4	**Total**
Points	6	5	4	3	5	9	**32**
Score							



Zinc has long been used as alloys for brass and steel materials. The zinc contained in industrial wastewater is separated by precipitation to detoxify the water, and the obtained precipitate is reduced to recover and reuse it as metallic zinc.

Part A

The dissolution equilibrium of zinc hydroxide $Zn(OH)_2(s)$ at 25 °C and the relevant equilibrium constants are given in eq. 1–4.

$$Zn(OH)_2(s) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \qquad K_{sp} = 1.74 \times 10^{-17} \tag{1}$$

$$Zn(OH)_2(s) \rightleftharpoons Zn(OH)_2(aq) \qquad K_1 = 2.62 \times 10^{-6} \tag{2}$$

$$Zn(OH)_2(s) + 2OH^-(aq) \rightleftharpoons Zn(OH)_4^{2-}(aq) \qquad K_2 = 6.47 \times 10^{-2} \tag{3}$$

$$H_2O(l) \rightleftharpoons H^+(aq) + OH^-(aq) \qquad K_w = 1.00 \times 10^{-14} \tag{4}$$

The solubility, S, of zinc (concentration of zinc in a saturated aqueous solution) is given in eq. 5.

$$S = [\mathrm{Zn^{2+}(aq)}] + [\mathrm{Zn(OH)_2(aq)}] + [\mathrm{Zn(OH)_4^{2-}(aq)}] \tag{5}$$

A.1	When the equilibria in eq. 1–4 are established, **calculate** the pH range in which $[\mathrm{Zn(OH)_2(aq)}]$ is the greatest among $[\mathrm{Zn^{2+}(aq)}]$, $[\mathrm{Zn(OH)_2(aq)}]$ and $[\mathrm{Zn(OH)_4^{2-}(aq)}]$.	6pt

A.2	A saturated aqueous solution of $\mathrm{Zn(OH)_2(s)}$ with pH = 7.00 was prepared and filtered. NaOH was added to this filtrate to increase its pH to 12.00. **Calculate** the molar percentage of zinc that precipitates when increasing the pH from 7.00 to 12.00. Ignore the volume and temperature changes.	5pt

Part B

Next, the recovered zinc hydroxide is heated to obtain zinc oxide according to the reaction below:

$$\mathrm{Zn(OH)_2(s)} \rightarrow \mathrm{ZnO(s)} + \mathrm{H_2O(l)} \tag{6}$$

The zinc oxide is then reduced to metallic zinc by reaction with hydrogen:

$$\mathrm{ZnO(s)} + \mathrm{H_2(g)} \rightarrow \mathrm{Zn(s)} + \mathrm{H_2O(g)} \tag{7}$$

B.1	In order for reaction (7) to proceed at a hydrogen pressure kept at 1 bar, it is necessary to reduce the partial pressure of the generated water vapor. **Calculate** the upper limit for the partial pressure of water vapor to allow reaction (7) to proceed at 300 °C. Here, the Gibbs formation energies of zinc oxide and water vapor at 300 °C and 1 bar for all gaseous species are $\Delta G_{\mathrm{ZnO}}(300^\circ\mathrm{C}) = -2.90 \times 10^2\ \mathrm{kJ\,mol^{-1}}$ and $\Delta G_{\mathrm{H_2O}}(300^\circ\mathrm{C}) = -2.20 \times 10^2\ \mathrm{kJ\,mol^{-1}}$, respectively.	4pt

Metallic zinc is used as a negative electrode (anode) material for metal-air batteries. The electrode consists of Zn and ZnO. It uses the following redox reaction to generate electricity with the electromotive force (e.m.f.) at 25 °C and pressure of 1 bar, E°.

$$\mathrm{Zn(s)} + \frac{1}{2}\mathrm{O_2(g)} \rightarrow \mathrm{ZnO(s)} \qquad E^\circ = 1.65\,\mathrm{V} \tag{8}$$

B.2	A zinc–air battery was discharged at 20 mA for 24 hours. **Calculate** the change in mass of the negative electrode (anode) of the battery.	3pt



Mt. Fuji

B.3 Consider the change of e.m.f. of a zinc–air battery depending on the environment. **Calculate** the e.m.f. at the summit of Mt. Fuji, where the temperature and altitude are $-38\,^{\circ}$C (February) and 3776 m, respectively. The atmospheric pressure is represented by 5pt

$$P\,[\mathrm{bar}] = 1.013 \times \left(1 - \frac{0.0065h}{T + 0.0065h + 273.15}\right)^{5.257} \tag{9}$$

at altitude $h\,[\mathrm{m}]$ and temperature $T\,[^{\circ}\mathrm{C}]$. The molar ratio of oxygen in the atmosphere is 21%. The Gibbs energy change of reaction (8) is $\Delta G_{\mathrm{ZnO}}(-38^{\circ}\mathrm{C}) = -3.26 \times 10^2\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$ at $-38\,^{\circ}$C and 1 bar.

B.4 **Calculate** the Gibbs energy change for reaction (6) at $25\,^{\circ}$C. Note that the standard reduction potentials, $E^{\circ}(\mathrm{Zn^{2+}/Zn})$ and $E^{\circ}(\mathrm{O_2/H_2O})$ at $25\,^{\circ}$C and 1 bar are given as (10) and (11), respectively. 9pt

$$\mathrm{Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn} \qquad E^{\circ}(\mathrm{Zn^{2+}/Zn}) = -0.77\,\mathrm{V} \tag{10}$$

$$\mathrm{O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O} \qquad E^{\circ}(\mathrm{O_2/H_2O}) = 1.23\,\mathrm{V} \tag{11}$$

Q4-1

arabic (Syria)

كيمياء الأكسدة والإرجاع للتوتياء

total the of % 11							
Total	B.4	B.3	B.2	B.1	A.2	A.1	Question
32	9	5	3	4	5	6	Points
							Score



يُستعمل التوتياء منذ زمن بعيد في الخلائط مثل الصُّفر ومواد الفولاذ. يجري فصل التوتياء الموجودة في مياه الصرف الصناعية بالترسيب وذلك لإزالة السمية من المياه، ويجري بعد ذلك إرجاع الراسب لاستعادة التوتياء وإعادة استعمالها.

الجزء A

إن توازن انحلال هيدروكسيد التوتياء $Zn(OH)_2(s)$ عند 25 °C وثوابت التوازنات المتعلقة بذلك معطاة بالمعادلات eq. 4-1.

$$Zn(OH)_2(s) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \qquad K_{sp} = 1.74 \times 10^{-17} \qquad (1)$$

$$Zn(OH)_2(s) \rightleftharpoons Zn(OH)_2(aq) \qquad K_1 = 2.62 \times 10^{-6} \qquad (2)$$

$$Zn(OH)_2(s) + 2OH^-(aq) \rightleftharpoons Zn(OH)_4^{2-}(aq) \qquad K_2 = 6.47 \times 10^{-2} \qquad (3)$$

$$H_2O(l) \rightleftharpoons H^+(aq) + OH^-(aq) \qquad K_w = 1.00 \times 10^{-14} \qquad (4)$$

Q4-2

arabic (Syria)

إن الانحلالية، S، للتوتياء (تركيز التوتياء في محلول مائي مشبع) معطاة بالمعادلة 5.

$$S = [Zn^{2+}(aq)] + [Zn(OH)_2(aq)] + [Zn(OH)_4^{2-}(aq)] \quad (5)$$

A.1 6pt

عندما تتحقق التوازنات في المعادلات 1-4، **احسب** مجال الـ pH الذي يكون فيه تركيز $[Zn(OH)_2(aq)]$ هو الأكبر من بين $[Zn^{2+}(aq)]$ ، $[Zn(OH)_2(aq)]$ ، و $[Zn(OH)_4^{2-}(aq)]$.

A.2 5pt

جرى تحضير محلول مائي مشبع من $Zn(OH)_2(s)$ عند pH= 7.00 وجرى ترشيحه. أضيف إلى الرشاحة NaOH لرفع pH المحلول إلى 12.00. **احسب** النسبة المئوية المولية للتوتياء المترسبة عند رفع الـ pH من 7.00 إلى 12.00. أهمل التغيرات في الحجم ودرجة الحرارة.

الجزء B

فيما يلي، جرى تسخين هيدروكسيد التوتياء المستعاد للحصول على أوكسيد التوتياء وفق التفاعل أدناه:

$$Zn(OH)_2(s) \rightarrow ZnO(s) + H_2O(l) \quad (6)$$

وبعد ذلك، جرى إرجاع أكسيد التوتياء إلى التوتياء المعدني بالتفاعل مع الهيدروجين:

$$ZnO(s) + H_2(g) \rightarrow Zn(s) + H_2O(g) \quad (7)$$

B.1 4pt

لكي يجري التفاعل (7) عند ضغط هيدروجين ثابت عند 1bar، من الضروري تخفيض الضغط الجزئي لبخار الماء الناتج. **احسب** الحد الأعلى للضغط الجزئي لبخار الماء ليجري التفاعل (7) عند 300°C . لدينا طاقتا جيبس القياسية لتشكل كل من أكسيد التوتياء وبخار الماء عند 300°C و 1 bar هما بالترتيب:
$\Delta G_{ZnO}(300°C) = -2.90 \times 10^2\ kJ\ mol^{-1}$ و $\Delta G_{H_2O}(300°C) = -2.20 \times 10^2\ kJ\ mol^{-1}$.

يُستعمل التوتياء المعدني بوصفه إلكتروداً سالباً (مصعداً) في بطاريات معدن-هواء. يتألف الإلكترود من Zn و ZnO. ويحصل تفاعل الأكسدة والإرجاع التالي لتوليد الكهرباء بقوة محركة كهربائية (e.m.f.) قدرها E° عند 25°C والضغط 1 بار.

$$Zn(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow ZnO(s) \qquad E^\circ = 1.65\,V \quad (8)$$

B.2 3pt

جرى تفريغ بطارية توتياء-هواء عند 20mA لمدة 24 ساعة. **احسب** التغير في كتلة الإلكترود السالب (المصعد) للبطارية.

Q4-3



جبل فوجي

B.3 5pt

لنتأمل تغير القوة المحركة الكهربائية e.m.f لبطارية التوتياء-هواء تبعاً لظروف الوسط المحيط. **احسب** الـ e.m.f. عند قمة جبل فوجي، حيث درجة الحرارة $-38\,^{\circ}\mathrm{C}$ (شباط)، والارتفاع 3776 متراً. إنّ الضغط الجوي معطى بالعلاقة:

$$P\,[\mathrm{bar}] = 1.013 \times \left(1 - \frac{0.0065h}{T + 0.0065h + 273.15}\right)^{5.257} \qquad (9)$$

عند الارتفاع $h\,[\mathrm{m}]$ ودرجة الحرارة $T\,[^{\circ}\mathrm{C}]$. إن النسبة المولية للأكسجين في الجو هي21%. تغير طاقة جيبس القياسية للتفاعل (8) هي $\Delta G_{\mathrm{ZnO}}(-38^{\circ}\mathrm{C}) = -3.26 \times 10^{2}\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$ عند $-38\,^{\circ}\mathrm{C}$ و 1 bar.

B.4 9pt

احسب التغير في طاقة جيبس للتفاعل (6) عند $25\,^{\circ}\mathrm{C}$. لاحظ أنّ كمونات الإرجاع القياسية لـ $E^{\circ}(\mathrm{Zn^{2+}/Zn})$ و $E^{\circ}(\mathrm{O_2/H_2O})$ عند $25\,^{\circ}\mathrm{C}$ و 1 bar معطاة بالمعادلتين (10) و (11) بالترتيب.

$$\mathrm{Zn^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Zn} \qquad E^{\circ}(\mathrm{Zn^{2+}/Zn}) = -0.77\,\mathrm{V} \qquad (10)$$

$$\mathrm{O_2 + 4H^{+} + 4e^{-} \rightarrow 2H_2O} \qquad E^{\circ}(\mathrm{O_2/H_2O}) = 1.23\,\mathrm{V} \qquad (11)$$

The Redox Chemistry of Zinc

Part A

A.1 (6 pt)

$<$ pH $<$ _____

A.2 (5 pt)

_____ %

Part B

B.1 (4 pt)

$p_{H_2O=}$ _____ bar

B.2 (3 pt)

_____ g

B.3 (5 pt)

V

B.4 (9 pt)

$\Delta G^\circ =$ _____ $\mathrm{J\,mol^{-1}}$

SYR-2 C-5 C
AHMAD THAER ATER

IChO
Problem 5
Cover sheet

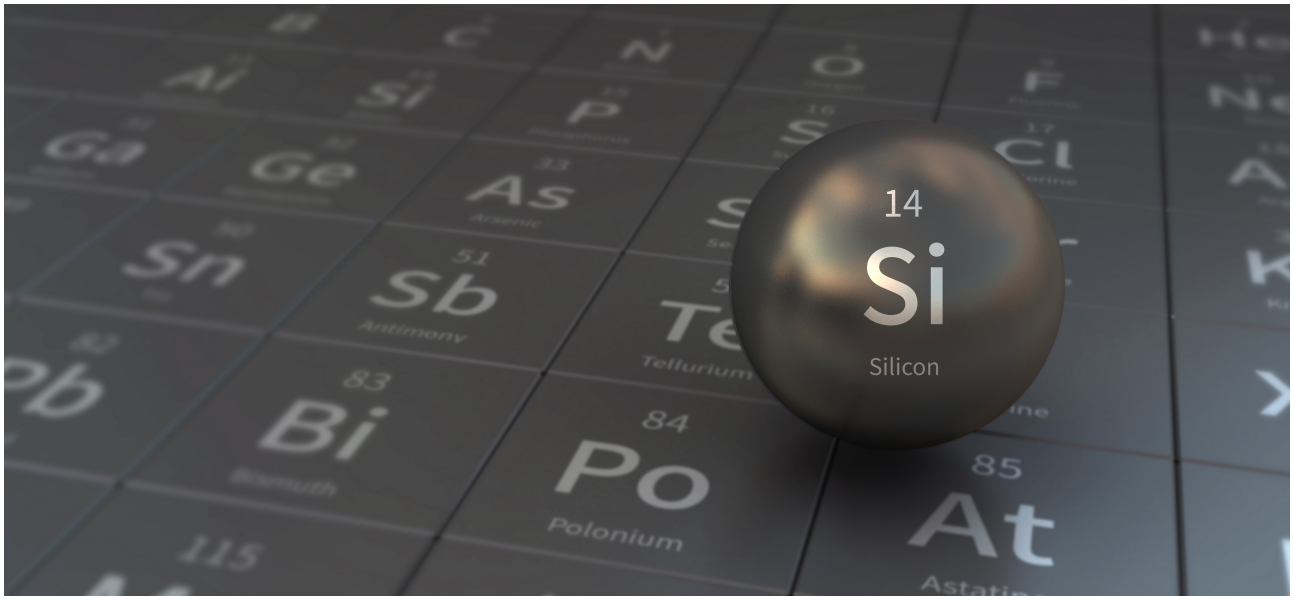
Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

Q5-1

English (Official)

Mysterious Silicon

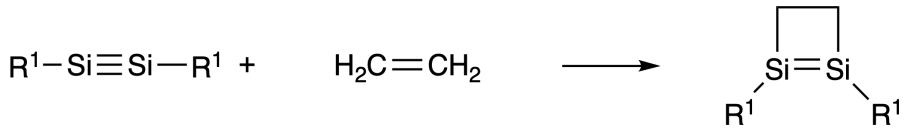
12 % of the total								
Question	A.1	A.2	A.3	A.4	B.1	B.2	B.3	**Total**
Points	9	7	6	10	5	15	8	**60**
Score								



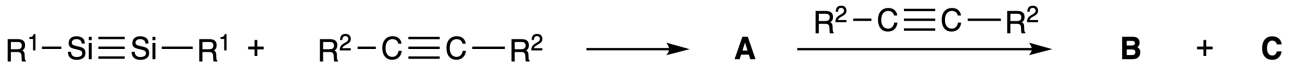
Although silicon is also a group 14 element like carbon, their properties differ significantly.

Part A

Unlike the carbon–carbon triple bond, the silicon–silicon triple bond in a compound formulated as R^1–Si ≡ Si–R^1 (R: organic substituent) is extremely reactive. For example, it reacts with ethylene to form a cyclic product that contains a four-membered ring.



When R^1–Si ≡ Si–R^1 is treated with an alkyne (R^2–C ≡ C–R^2), the four-membered-ring compound **A** is formed as an initial intermediate. Further reaction of another molecule of R^2–C ≡ C–R^2 with **A** affords isomers **B** and **C**, both of which have benzene-like cyclic conjugated structures, so-called 'disilabenzenes' that contain a six-membered ring and can be formulated as $(R^1\text{–Si})_2(R^2\text{–C})_4$.



The ^{13}C NMR analysis of the corresponding six-membered ring skeletons Si_2C_4 shows two signals for **B** and one signal for **C**.

A.1 **Draw** the structural formulae of **A**, **B**, and **C** using R^1, R^2, Si, and C, with one of the possible resonance structures. 9pt

A.2 **Calculate** the aromatic stabilization energy (ASE) for benzene and **C** (in the case of $R^1 = R^2 = H$) as positive values, considering the enthalpy change in some hydrogenation reactions of unsaturated systems shown below (Fig. 1). 7pt

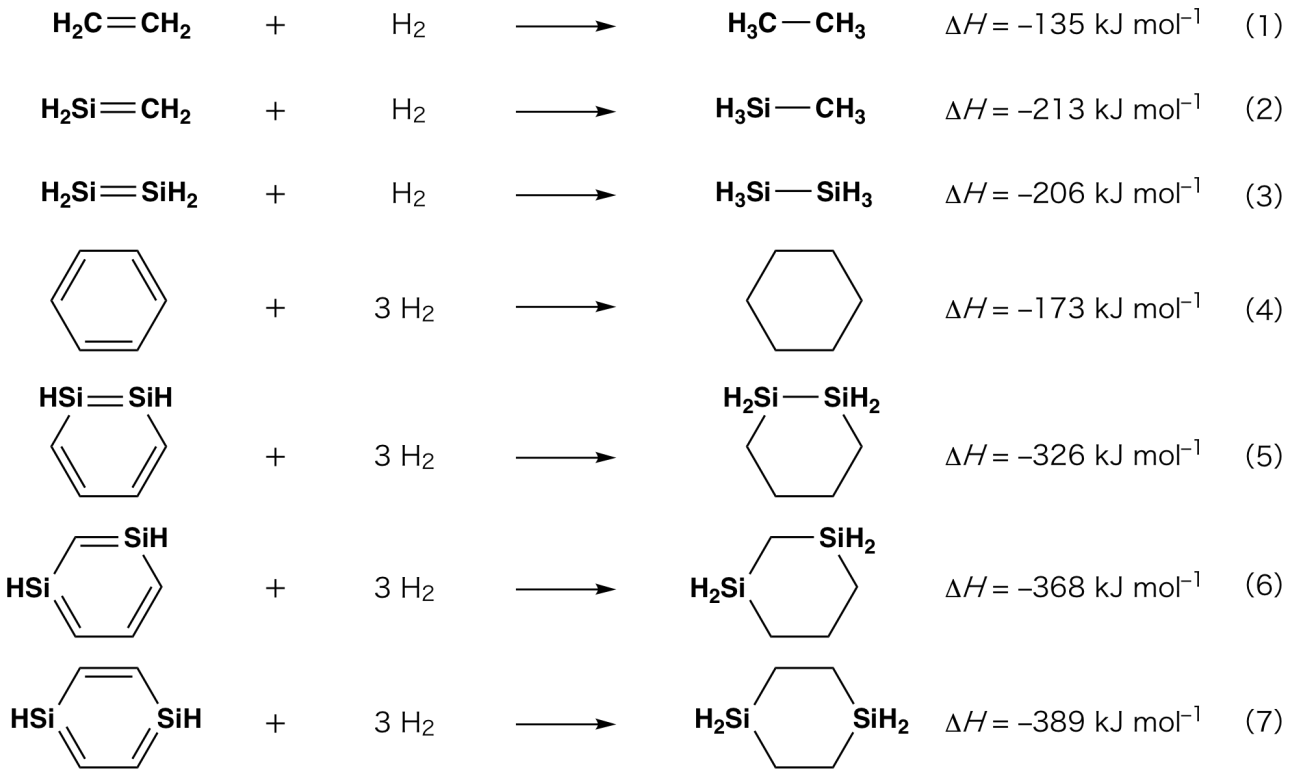


Fig. 1

When a xylene solution of **C** is heated, it undergoes isomerization to give an equilibrium mixture of compounds **D** and **E**. The molar ratio is **D** : **E** = 1 : 40.0 at 50.0 ˚C and **D** : **E** = 1 : 20.0 at 120.0 ˚C.

A.3 **Calculate** ΔH for the transformation of **D** to **E**. Assume that ΔH does not depend on temperature. 6pt

The isomerization from **C** to **D** and to **E** proceeds via transformations of π-bonds into σ-bonds without breaking any σ-bonds. A ^{13}C NMR analysis revealed one signal for the Si_2C_4 skeleton of **D** and two signals for that of **E**. The skeleton of **D** does not contain any three-membered rings, while **E** has two three-membered rings that share an edge.

A.4 **Draw** the structural formulae of **D** and **E** using R^1, R^2, Si, and C. 10pt

Part B

Silicon is able to form highly coordinated compounds (> four substituents) with electronegative elements such as fluorine. As metal fluorides are often used as fluorination reagents, highly coordinated silicon fluorides also act as fluorination reagents.

The fluorination reaction of CCl_4 using Na_2SiF_6 was carried out as follows.

- **Standardization of Na_2SiF_6 solution** :

· Preparation

Aqueous solution **F**: 0.855 g of Na_2SiF_6 (188.053 g mol^{-1}) dissolved in water (total volume: 200 mL).

Aqueous solution **G**: 6.86 g of $Ce_2(SO_4)_3$ (568.424 g mol^{-1}) dissolved in water (total volume: 200 mL).

· Procedure

Precipitation titration of a solution **F** (50.0 mL) by dropwise adding solution **G** in the presence of xylenol orange, which coordinates to Ce^{3+}, as an indicator. After adding 18.8 mL of solution **G**, the color of the solution changes from yellow to magenta. The generated precipitate is a binary compound that contains Ce^{3+}, and the only resulting silicon compound is $Si(OH)_4$.

B.1 **Write** the balanced equation for the reaction of Na_2SiF_6 with $Ce_2(SO_4)_3$. 5pt

- **Reaction of CCl_4 with Na_2SiF_6:**

(Substance losses by *e.g.* evaporation are negligible during the following operations.)

Na_2SiF_6(x [g]) was added to CCl_4 (500.0 g) and heated to 300˚C in a sealed pressure-resistant reaction vessel. The unreacted Na_2SiF_6 and generated NaCl were removed by filtration. The filtrate was diluted to a total volume of 1.00 L with CCl_4 (solution **H**). The ^{29}Si and ^{19}F NMR spectra of solution **H** showed SiF_4 as the only silicon compound. In the ^{19}F NMR spectrum, in addition to SiF_4, signals corresponding to $CFCl_3$, CF_2Cl_2, CF_3Cl, and CF_4 were observed (*cf.* Table 1). The integration ratios in the ^{19}F NMR spectrum are proportional to the number of fluorine nuclei.

Table 1

^{19}F NMR data	$CFCl_3$	CF_2Cl_2	CF_3Cl	CF_4
Integration ratio	45.0	65.0	18.0	2.0

SiF_4 is hydrolyzed to form H_2SiF_6 according to the following eq. 8:

$$3SiF_4 + 2H_2O \rightarrow SiO_2 + 2H_2SiF_6 \quad (8)$$

Solution **H** (10 mL) was added to an excess amount of water, which resulted in the complete hydrolysis of SiF_4. After separation, the H_2SiF_6 generated from the hydrolysis in the aqueous solution was neutralized and completely converted to Na_2SiF_6 (aqueous solution **J**).

The precipitate of unreacted Na_2SiF_6 and NaCl, which was removed by filtration in the initial step (underlined), was completely dissolved in water to give an aqueous solution (solution **K**; 10.0 L).

Then, additional precipitation titrations using solution **G** were carried out, and the endpoints of the titrations with **G** were as follows:

·For solution **J** (entire amount): 61.6 mL.

·For 100 mL of solution **K**: 44.4 mL.

It should be noted here that the coexistence of NaCl or SiO_2 has no effect on the precipitation titration.

B.2	**Calculate** the mass of the NaCl produced in the reaction vessel (information underlined), and **calculate** the mass (x [g]) of the Na_2SiF_6 used as a starting material.	15pt

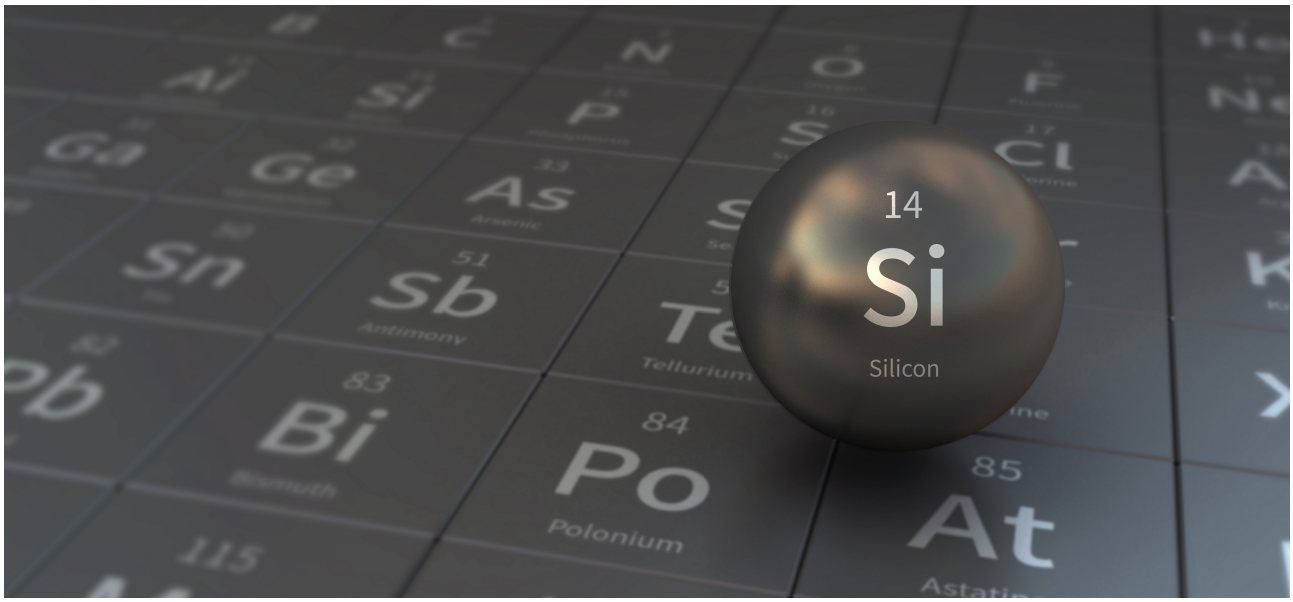
B.3	77.8% of the CCl_4 used as a starting material was unreacted. **Calculate** the mass of CF_3Cl generated.	8pt

Q5-1

arabic (Syria)

السيليكون الغامض

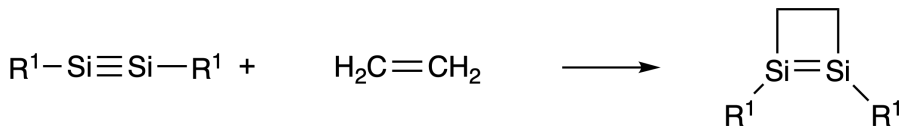
total the of % 12								
Total	B.3	B.2	B.1	A.4	A.3	A.2	A.1	Question
60	8	15	5	10	6	7	9	Points
								Score



على الرغم من أنّ السيليكون عنصر من المجموعة 14 مثل الكربون، إلا أنّ خواصهما مختلفة اختلافاً كبيراً.

الجزء A

على نحو مغاير للرابطة الثلاثية كربون-كربون، فإنّ الرابطة الثلاثية سيليكون-سيليكون في مركب ذي الصيغة $R^1–Si \equiv Si–R^1$ (حيث R هو مستبدل عضوي) تكون فعالة للغاية. على سبيل المثال، فهو يتفاعل مع الإثيلين ليعطي مركباً حلقياً يضمّ حلقة رباعية العناصر.

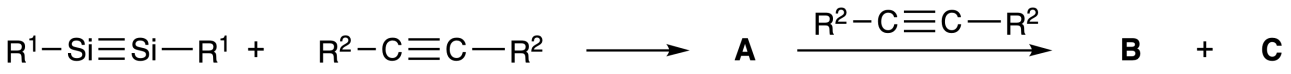


عندما يُعالج $R^1–Si \equiv Si–R^1$ مع الألكين($R^2–C \equiv C–R^2$)، يتشكل المركب **A** ذو الحلقة الرباعية كوسيط أولي. ويعطي تفاعل آخر لجزيئة $R^2–C \equiv C–R^2$ مع **A** المتصاوغين **B** و **C**، اللذين لهما بنيتان حلقيتان مترافقتان تشبهان البنزن، ولهذا يُسميان ثنائي سيليكون البنزن، disilabenzene وبحيث يضم كل منهما حلقة سداسية ولهما الصيغة

Q5-2

arabic (Syria)

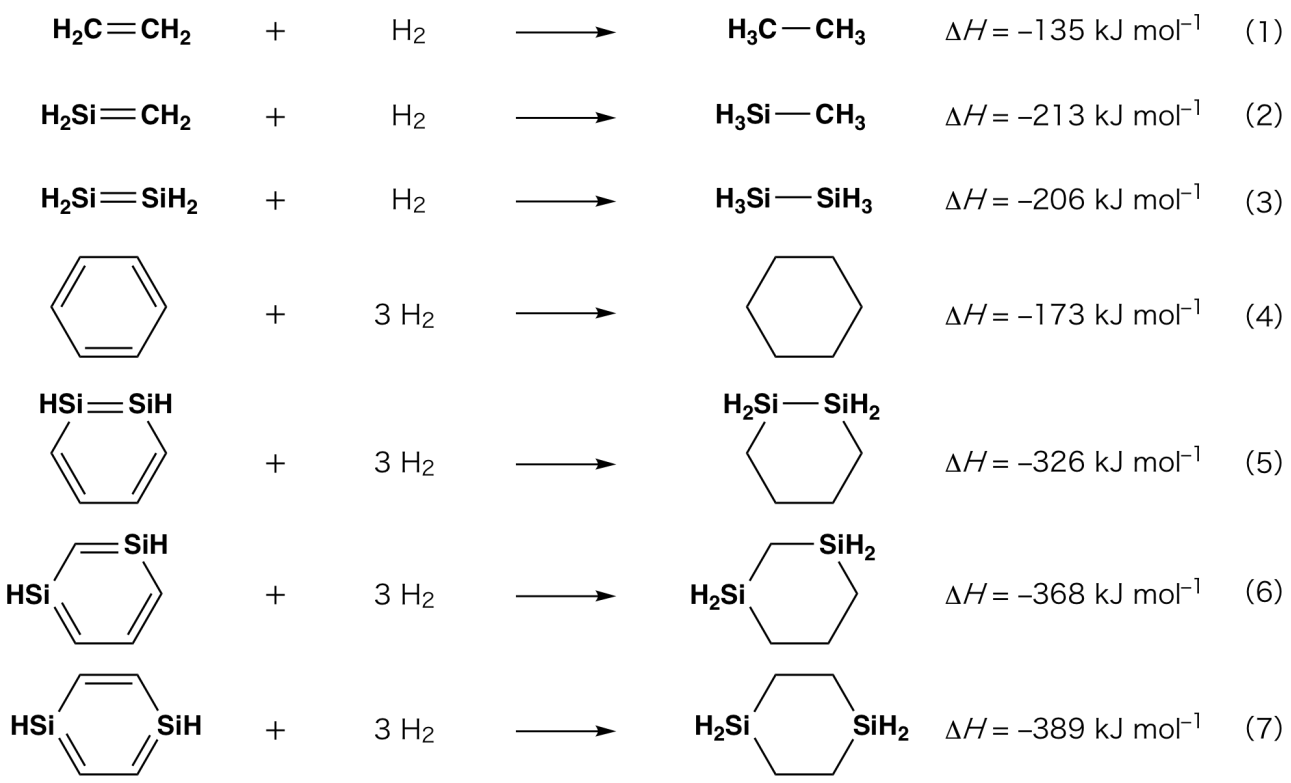
.$(R^1\text{–}Si)_2(R^2\text{–}C)_4$



يظهر تحليل الرنين المغناطيسي ^{13}C NMR للهيكلين السداسيي الحلقة Si_2C_4 إشارتين للمركب **B** وإشارة للمركب **C**.

A.1 **ارسم** الصيغ المنشورة للمركبات **A** و **B** و **C** باستعمال R^1،R^2، Si ، C. 9pt

A.2 **احسب** طاقة الاستقرار العطري (Aromatic Stabilization Energy) لكل من البنزن و **C** (في الحالة $R^1 = R^2 = H$) كقيم موجبة ومعتبراً تغيرات الأنتالبية لعدد من تفاعلات الهدرجة لبعض من الجمل غير المشبعة أدناه (شكل 1). 7pt



الشكل 1

عندما يجري تسخين محلول لـ **C** في الكزيلين، فإنه يخضع لتفاعل تصاوغ ويعطي مزيجاً توازنياً من المركبين **D** و **E**. فإذا علمت أن النسبة المولية للمركب **D** إلى **E** هي 1 إلى40.0 أي 40.0 : 1 = **D** : **E** عند50.0 درجة مئوية وتصبح 1 إلى 20.0 أي 20.0 : 1 = **D** : **E** عند 120.0 درجة مئوية .

A.3	**احسب** ΔH للتحول من **D** إلى **E** . افترض أنّ ΔH لا يتعلق بدرجة الحرارة.	6pt

يجري تفاعل التصاوغ من **C** إلى **D** و إلى **E** من خلال تحولات الروابط π إلى روابط σ من دون كسر أي من الروابط σ. يظهر تحليل الرنين المغناطيسي ^{13}C NMR وجودإشارة واحدة للهيكل Si_2C_4 للمركب **D** وإشارتين للمركب **E**. لايضم هيكل **D** أي حلقات ثلاثية العناصر، بينما يضم **E** حلقتان ثلاثيتا العناصر تتشاركان بحرف.

A.4	**ارسم** الصيغ المنشورة لكل من **D** و **E** باستعمال R^1،R^2، Si ، C.	10pt

الجزء B

إن السيليكون قادر على تشكيل مركبات تساندية (أي بأكثر من 4 مستبدلات) مع العناصر الكهرسلبية مثل الفلور. وكما أنّ فلوريدات المعادن تُستعمل غالباً ككواشف فلورية، فإنّ فلوريدات السيليكون عالية التساند تعمل ككواشف فلورية.

جرى تفاعل فلورة CCl_4 باستعمال Na_2SiF_6 كما يلي:

- **تقييس محلولNa_2SiF_6**:

. التحضير

محلول مائي **F** : جرى حل 0.855 g من Na_2SiF_6 (188.053 g mol^{-1}) في الماء (الحجم الكلي :200mL).

محلول مائي **G** : جرى حل 6.86 g من $Ce_2(SO_4)_3$ (568.424 g mol^{-1}) في الماء (الحجم الكليـ200mL :).

. الإجرائية:

جرى تفاعل معايرة بالترسيب للمحلول **F** بحجم **(** 50.0 mL**)** بإضافة قطرة قطرة من محلول **G** بوجود برتقالي الكزيلنول، الذي يتساند مع Ce^{3+}، بوصفه مشعراً. بعد إضافة18.8 mL من محلول **G** تحول لون المحلول من الأصفر إلى الأرجواني. إنّ الراسب المتشكل هو مركب ثنائي يضم Ce^{3+} ، والمركب الوحيد الذي يضم السيليكون هو $Si(OH)_4$.

B.1	**اكتب** المعادلة الموزونة لتفاعل Na_2SiF_6 مع $Ce_2(SO_4)_3$.	5pt

- تفاعل **CCl_4** مع **Na_2SiF_6**:

(ضياع المواد بالتبخر مثلاً مهمل أثناء العمليات التالية)

جرت إضافة (x [g]) من Na_2SiF_6 إلى (500.0 g) من CCl_4 وسُخّنت إلى 300 درجة مئوية في وعاء تفاعلي مغلق ومقاوم للضغط. جرى التخلص بالترشيح من Na_2SiF_6 غير المتفاعل و NaCl المتولد. جرى تمديد الرشاحة إلى حجم 1.00L باستعمال CCl_4 (محلول **H**). أظهر طيفا الرنين المغناطيسي ^{19}F NMR و ^{29}Si لمحلول **H** أنSiF_4 هو المركب السيليكوني الوحيد. في طيف ^{19}F NMR، جرى ملاحظة أنه بالإضافة إلى SiF_4، هنالك إشارات توافق $CFCl_3$ ، CF_2Cl_2 ، CF_3Cl و CF_4 (انظر الجدول 1). تتناسب نسب التكاملات في طيف ^{19}F NMR مع عدد مولات نوى الفلور.

الجدول 1

معطيات ^{19}F NMR	$CFCl_3$	CF_2Cl_2	CF_3Cl	CF_4
نسب التكامل	45.0	65.0	18.0	2.0

جرت حلمهة SiF_4 لتشكيل H_2SiF_6 وفق المعادلة 8 التالية:

$$3SiF_4 + 2H_2O \rightarrow SiO_2 + 2H_2SiF_6 \quad (8)$$

أضيف المحلول **H** (10 mL) إلى كمية فائضة من الماء، مما نتج عنه حلمهة كاملة لـ SiF_4. بعد الفصل، جرى تعديل H_2SiF_6 الناتج عن الحلمهة في وسط مائي، وتحويله كلياً إلى Na_2SiF_6 (محلول مائي **J**).

جرى حل الراسب من Na_2SiF_6 غير المتفاعل و **NaCl** الذي أزيل بالترشيح في المرحلة الأولى (الجزء المسطر تحته خط) حلاً تاماً في الماء ليعطي محلولاً مائياً (محلول K ، 10.0L).

بعد ذلك، جرت معايرتان بالترسيب باستعمال المحلول **G**، وكانت نقط انتهاء المعايرة لـ **G** كما يلي:

-من أجل المحلول **J** (كامل الكمية) لزم 61.6 mL.

-من أجل 100mL من المحلول **K** لزم : 44.4 mL.

يجب أن نشير هنا إلى أنّ وجود **NaCl** و SiO_2 لن يؤثر على معايرة الترسيب.

B.2	**احسب** كتلة **NaCl** الناتج في وعاء التفاعل (المعلومة المسطر تحتها)، و**احسب** الكتلة (x [g]) الخاصة بـ Na_2SiF_6 المستعمل كمادة بدء.	15pt

B.3	إنّ 77.8 % من CCl_4 المستعمل كمادة أولية لم يتفاعل. **احسب** كتلة CF_3Cl الناتج.	8pt

Mysterious Silicon

Part A

A.1 (9 pt)

A (3 pt)	**B** (3 pt)	**C** (3 pt)

A.2 (7 pt)

C_6H_6 : kJ mol^{-1}, **C** : kJ mol^{-1}

A.3 (6 pt)

ΔH = _____ kJ mol^{-1}

A.4 (10 pt)

D (5 pt)	**E** (5 pt)

Part B

B.1 (5 pt)

B.2 (15 pt)

(Continued on the next page)

B.2 (cont.)

NaCl : _____ g, Na_2SiF_6 : _____ g

B.3 (8 pt)

CF_3Cl : _____ g

SYR-2 C-6 C
AHMAD THAER ATER

IChO
Problem 6
Cover sheet

Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

The Solid-State Chemistry of Transition Metals

13 % of the total											
Question	A.1	A.2	A.3	B.1	B.2	B.3	B.4	C.1	C.2	C.3	**Total**
Points	6	3	3	6	4	4	4	5	5	5	**45**
Score											



Volcano at Sakurajima island

Part A

Japan is one of the countries with the highest numbers of volcanos worldwide. When silicate minerals crystallize from magma, a part of the transition-metal ions (M^{n+}) in the magma is incorporated into the silicate minerals. The M^{n+} studied in the problem are coordinated by oxide ions (O^{2-}) and adopt a four-coordinate tetrahedral (T_d) geometry in the magma and six-coordinate octahedral (O_h) geometry in the silicate minerals, both of which exhibit a high-spin electron configuration. The distribution coefficient of M^{n+} between the silicate minerals and magma, D, can be expressed by:

$$D = \frac{[\mathrm{M}]_\mathrm{s}}{[\mathrm{M}]_\mathrm{l}}$$

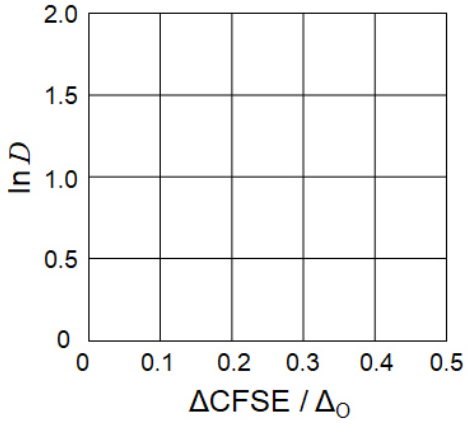
where $[M]_s$ and $[M]_l$ are the concentrations of M^{n+} in the silicate minerals and the magma, respectively. The table below shows the D values of Cr^{2+} and Mn^{2+} as examples.

	Cr^{2+}	Mn^{2+}
D	7.2	1.1

Let Δ_O and $CFSE^O$ be the energy separation of the d-orbitals of M^{n+} and the crystal-field stabilization energy in a O_h field, respectively. Let Δ_T and $CFSE^T$ be those in a T_d field.

A.1 **Calculate** $|CFSE^O - CFSE^T| = \Delta CFSE$ in terms of Δ_O for Cr^{2+}, Mn^{2+}, and Co^{2+}; assume $\Delta_T = 4/9\Delta_O$. 6pt

A.2 A linear relationship is observed by plotting $\ln D$ against $\Delta CFSE / \Delta_O$ in the Cartesian coordinate system shown below. 3pt
Estimate D for Co^{2+}.



Metal oxides MO (M: Ca, Ti, V, Mn, or Co) crystallize in a rock-salt structure wherein the M^{n+} adopts an O_h geometry with a high-spin electron configuration. The lattice enthalpy of these oxides is mainly governed by the Coulomb interactions based on the radius and charge of the ions and some contributions from the CFSE of M^{n+} in the O_h field.

A.3 **Choose** the appropriate set of lattice enthalpies [kJ mol^{-1}] from one of the options (a) to (f). 3pt

	CaO	TiO	VO	MnO	CoO
(a)	3460	3878	3913	3810	3916
(b)	3460	3916	3878	3810	3913
(c)	3460	3913	3916	3810	3878
(d)	3810	3878	3913	3460	3916
(e)	3810	3916	3878	3460	3913
(f)	3810	3913	3916	3460	3878

Part B

A mixed oxide **A**, which contains La^{3+} and Cu^{2+}, crystallizes in a tetragonal unit cell shown in Fig.1. In the $[CuO_6]$ octahedron, the Cu–O length along the *z*-axis (l_z) is longer than that of the *x*-axis (l_x), and $[CuO_6]$ is distorted from the regular O_h geometry. This distortion removes the degeneracy of the e_g orbitals ($d_{x^2-y^2}$ and d_{z^2}).

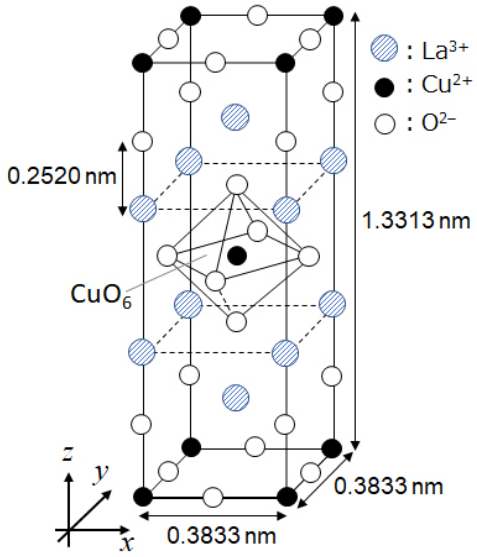


Fig. 1

A can be synthesized by thermal decomposition (pyrolysis) of complex **B**, which is formed by mixing metal chlorides in dilute aqueous ammonia solution containing squaric acid $C_4H_2O_4$, i.e., a diacid. The pyrolysis behavior of **B** in dry air shows a weight loss of 29.1% up to 200 °C due to the loss of crystallization water, followed by another weight loss up to 700 °C due to the release of CO_2. The total weight loss during the formation of **A** from **B** is 63.6%. It should be noted that only water and CO_2 are released in the pyrolysis reaction.

B.1	**Write** the chemical formulae for **A** and **B**.	6pt
B.2	**Calculate** l_x and l_z using Fig. 1.	4pt
B.3	For Cu^{2+} in the distorted $[CuO_6]$ octahedron in **A** of Fig. 1, **write** the names of the split e_g orbitals ($d_{x^2-y^2}$ and d_{z^2}) in (i) and (ii), and **draw** the electron configuration in the dotted box in your answer sheet.	4pt

A is an insulator. When one La^{3+} is substituted with one Sr^{2+}, one hole is generated in the crystal lattice that can conduct electricity. As a result, the Sr^{2+}-doped **A** shows superconductivity below 38 K. When a substitution reaction took place for **A**, 2.05×10^{27} holes m^{-3} were generated.

B.4	**Calculate** the percentage of Sr^{2+} substituted for La^{3+} based on the mole ratio in the substitution reaction. Note that the valences of the constituent ions and the crystal structure are not altered by the substitution reaction.	4pt

Part C

$Cu_2(CH_3CO_2)_4$ is composed of four $CH_3CO_2^-$ coordinated to two Cu^{2+} (Fig. 2A). $Cu_2(CH_3CO_2)_4$ exhibits high levels of structural symmetry, with two axes passing through the carbon atoms of the four $CH_3CO_2^-$ and an axis passing through the two Cu^{2+}, all of which are oriented orthogonal relative to each other. When a dicarboxylate ligand is used instead of $CH_3CO_2^-$, a "cage complex" is formed. The cage complex $Cu_4(\mathbf{L1})_4$ is composed of planar dicarboxylate **L1** (Fig. 2B) and Cu^{2+} (Fig. 2C). The angle θ between the coordination directions of the two carboxylates, indicated by the arrows in Fig. 2B, determines the structure of the cage complex. The θ is 0° for **L1**. Note that hydrogen atoms are not shown in Fig. 2.

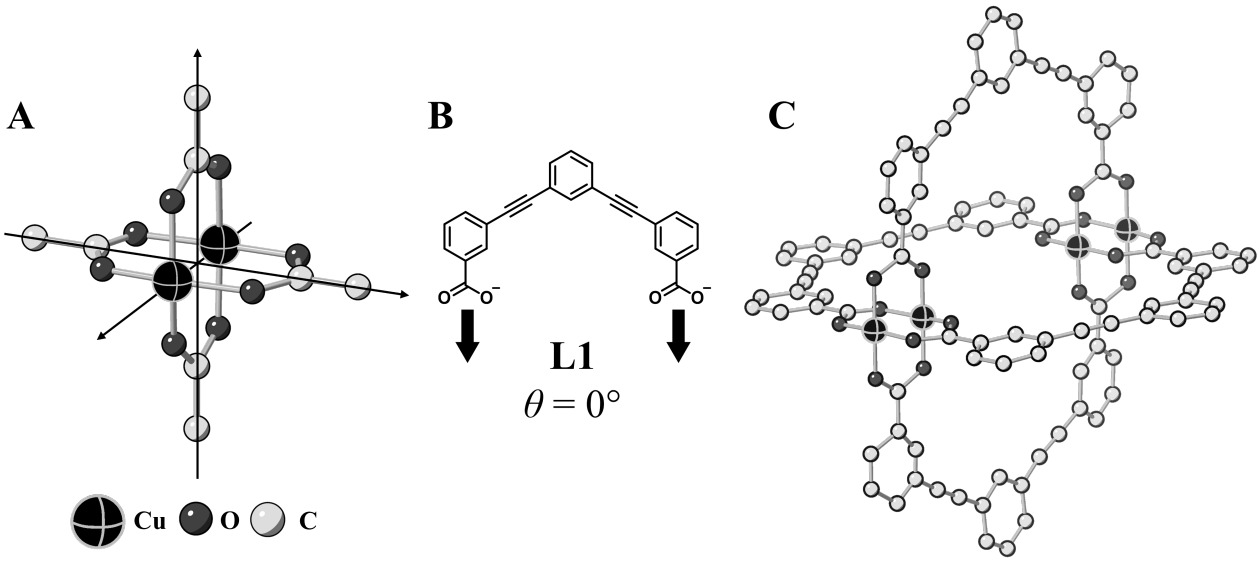
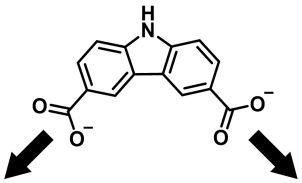


Fig. 2

C.1 The θ of the planar dicarboxylate **L2** below is fixed to 90˚. If the composition of the cage complex formed from **L2** and Cu^{2+} is $Cu_n(\mathbf{L2})_m$, **give** the smallest integer combination of *n* and *m*. Assume that only the CO_2^- groups of **L2** form a coordination bond to Cu^{2+} ions. 5pt



L2

$\theta = 90°$

A zinc complex, $Zn_4O(CH_3CO_2)_6$, contains four tetrahedral Zn^{2+}, six $CH_3CO_2^-$, and one O^{2-} (Fig. 3A). In $Zn_4O(CH_3CO_2)_6$, the O^{2-} is located at the origin, and the three axes passing through the carbon atoms of $CH_3CO_2^-$ are oriented orthogonal relative to each other. When *p*-benzenedicarboxylate (Fig. 3B, **L3**, θ = 180°) is used instead of $CH_3CO_2^-$, the Zn^{2+} clusters are linked to each other to form a crystalline solid (**X**) that is called a "porous coordination polymer" (Fig. 3C). The composition of **X** is $[Zn_4O(\mathbf{L3})_3]_n$, and it has a cubic crystal structure with nano-sized pores. One pore is represented as a sphere in Fig. 3D, and each tetrahedral Zn^{2+} cluster is represented as a dark gray polyhedron in Fig. 3C and 3D. Note that hydrogen atoms are not shown in Fig. 3.

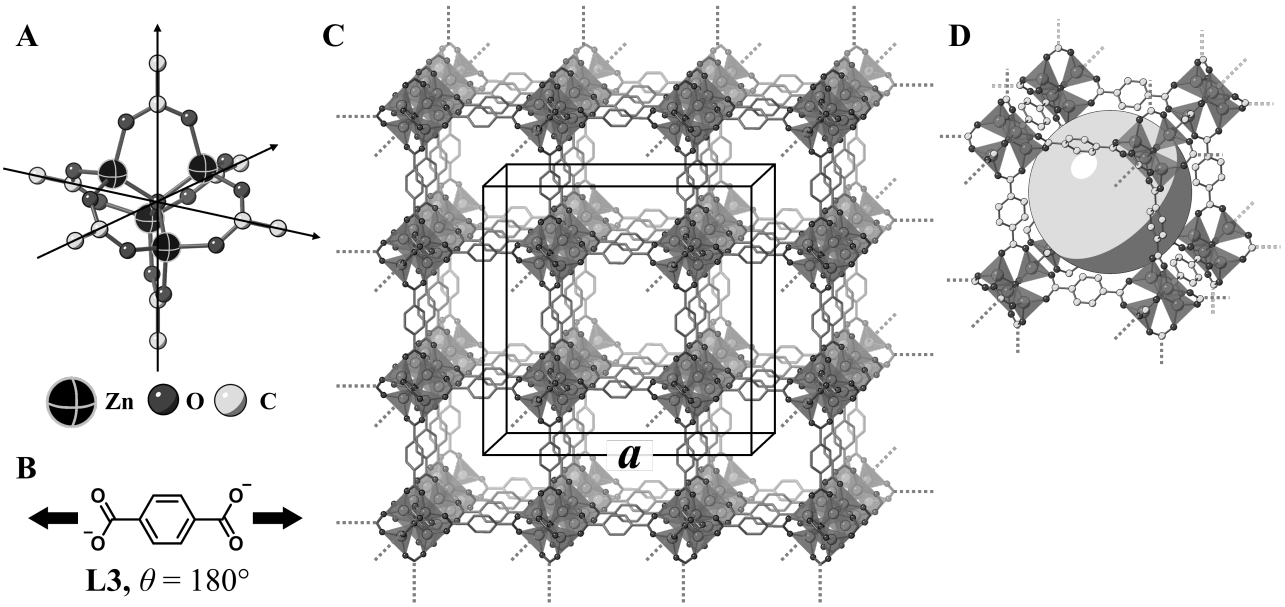


Fig. 3

C.2	**X** has a cubic unit cell with a side length of a (Fig. 3C) and a density of 0.592 g cm^{-3}. **Calculate** a in [cm].	5pt

C.3	**X** contains a considerable number of pores, and 1 g of **X** can accommodate 3.0×10^2 mL of CO_2 gas in the pores at 1 bar and 25 °C. **Calculate** the average number of CO_2 molecules per pore.	5pt

Q6-1

arabic (Syria)

كيمياء الحالة الصلبة للمعادن الانتقالية

total the of % 13											
Total	C.3	C.2	C.1	B.4	B.3	B.2	B.1	A.3	A.2	A.1	Question
45	5	5	5	4	4	4	6	3	3	6	Points
											Score



البركان في جزيرة Sakurajima

الجزء A:

إن اليابان هي واحدة من الدول ذات الأعداد الأعلى من البراكين على مستوى العالم. عندما تتبلور الفلزات المعدنية الحاوية على السيليكات انطلاقاً من المصهور (الصهارة، magma) فإن جزءاً من أيونات المعدن الانتقالي (M^{n+}) في المصهور سوف يدخل إلى داخل الفلزات المعدنية الحاوية على السيليكات. ترتبط أيونات المعدن الانتقالي M^{n+} المدروسة في هذه المسألة، بروابط تساندية مع أيونات الأوكسيد (O^{2-}) وتتبنى هندسة رباعي الوجوه رباعي التساند (T_d) في المصهور، وهندسة ثماني وجوه سداسي التساند (O_h) في الفزات المعدنية الحاوية على السيليكات، وكلا الهندستين تتمتعان بتشكيل إلكتروني عالي السبين. ويمكن التعبير عن معامل التوزيع D، لأيونات المعدن الانتقالي M^{n+} بين الفلزات المعدنية الحاوية على السيليكات والمصهور، عبر العلاقة :

$$D = \frac{[\mathrm{M}]_s}{[\mathrm{M}]_l}$$

Q6-2

arabic (Syria)

حيث $[M]_s$ و $[M]_l$ هما تراكيز M^{n+} في الفلزات المعدنية الحاوية على السيليكات وفي المصهور على الترتيب. ويظهر الجدول التالي قيم D لأيونات الـكروم Cr^{2+} و الــمنغنيز Mn^{2+} كأمثلة.

	Cr^{2+}	Mn^{2+}
D	7.2	1.1

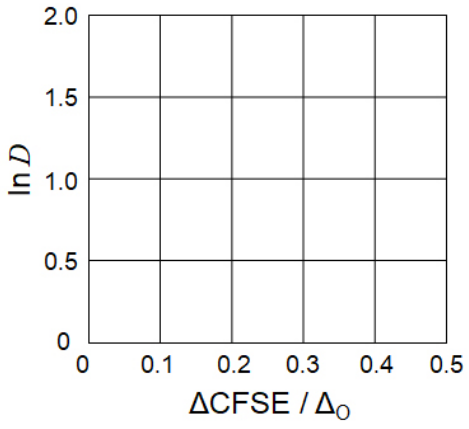
لنرمز بـ Δ_O و$CFSE^O$ للفاصل الطاقي للمدارات d للأيونات M^{n+} وطاقة استقرار الحقل البلوري في حقل O_h، على الترتيب. ولتكن Δ_T و $CFSE^T$ تلك الموافقة في حقل T_d .

A.1 6pt

A.1. احسب
$|CFSE^O - CFSE^T| = \Delta CFSE$
بدلالة Δ_O من أجل كل من أيونات الكروم Cr^{2+}، المنغنيز Mn^{2+}، و Co^{2+}.
افترض أن:
$\Delta_T = 4/9\ \Delta_O$

A.2 3pt

A.2. تمّ ملاحظة وجود علاقة خطية عند رسم ln D بدلالة $\Delta CFSE/\Delta_O$ في جملة الإحداثيات الديكارتية المعروضة فيما يلي.
أوجد قيمة D من أجل أيون الكوبالت Co^{2+}.



تتبلور أكاسيد المعادن Oxides Metal MO حيث M) : الكالسيوم Ca، التيتانيوم Ti ، الفاناديوم V ، المنغنيز Mn، أو

Q6-3

arabic (Syria)

الكوبالت (Co وفق بنية ملح صخري، والذي تتبنى فيه الأيونات M^{n+} هندسةَ ثماني وجوه Oh مع تشكيل إلكتروني عالي السبين. وتكون أنطالبية الشبكة لهذه الأكاسيد متحكم بها عبر تأثيرات كولون المتبادلة اعتماداً على نصف قطر وشحنة الأيونات، مع بعض المساهمة لطاقة استقرار الحقل البلوري (CFSE) للأيونات M^{n+} في الحقل Oh.

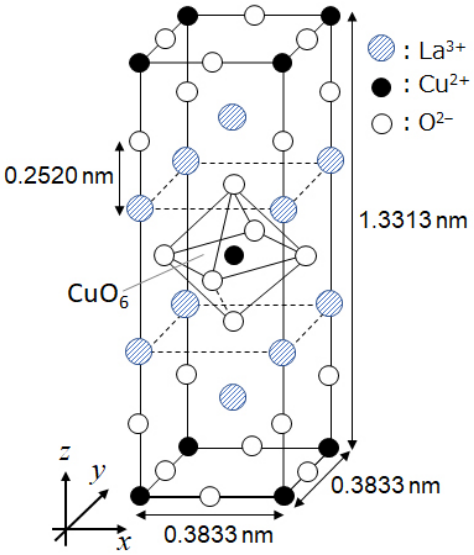
A.3 3pt

A.3. اختر المجموعة المناسبة من أنطالبيات الشبكة (مقدرة بالـ $[kJ\,mol^{-1}]$ من بين واحد من الخيارات من (a) إلى (f).

	CaO	TiO	VO	MnO	CoO
(a)	3460	3878	3913	3810	3916
(b)	3460	3916	3878	3810	3913
(c)	3460	3913	3916	3810	3878
(d)	3810	3878	3913	3460	3916
(e)	3810	3916	3878	3460	3913
(f)	3810	3913	3916	3460	3878

الجزء B

يتبلور أوكسيدٌ مزيجٌ A، يحتوي على اللانتانوم La^{3+} والنحاس Cu^{2+}، في خلية واحدية رباعية الزوايا tetragonal تماماً كما يظهر في الشكل (1). في ثماني الوجوه $[CuO_6]$، تكون المسافة Cu–O عبر المحور z (l_z) أطول منها عبر المحور x (l_x)، ويكون ثماني الوجوه $[CuO_6]$ مشوهاً عن هندسة ثماني الوجوه النظامية O_h. وهذا التشوه يزيل الانحطاط (أي تساوي طاقتها) degeneracy للمدارات e_g (d_{z^2} و $d_{x^2-y^2}$).



1 Fig.

يمكن اصطناع الأوكسيد المزيج A عبر التفكك الحراري لمعقَّد B، الذي يتشكل عبر مزج كلوريدات المعادن metal chlorides في محلول مائي ممدّد من الأمونيا الحاوي على حمض السكواريك $C_4H_2O_4$؛ أي حمض ثنائي diacid. يُظهر سلوك التفكك بالحرارة pyrolysis لـ B في الهواء الجاف فقدانَ وزن قدره 29.1 % حتى درجة حرارة 200 درجة مئوية يعزا إلى فقدان ماء التبلور، متبوعاً بفقدان وزن آخر حتى درجة حرارة 700 درجة مئوية معزو إلى تحرر CO_2. ويكون فقدان الوزن الكلي خلال تشكل المركب A انطلاقاً من المركب B هو63.6% . ويجب ملاحظة أنه يتم تحرير فقط الماء و CO2 أثناء تفاعل التفكك بالحرارة.

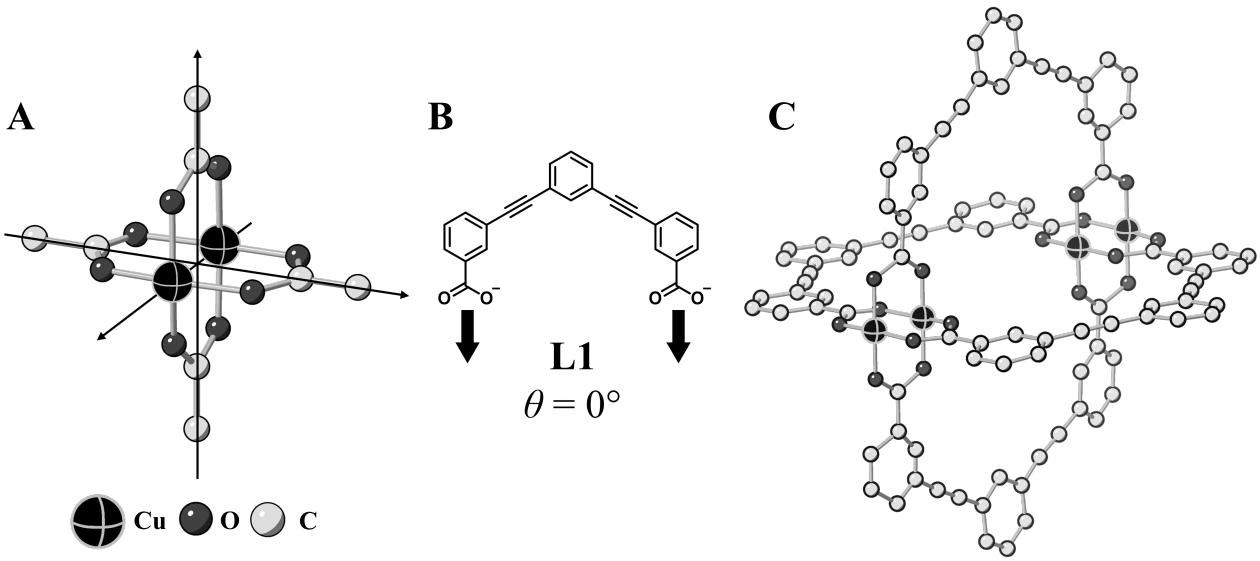
B.1	B.1. اكتب الصيغ الكيميائية للمركبين A وB.	6pt
B.2	B.2. احسب l_x و l_z باستخدام الشكل (1).	4pt
B.3	بالنسبة لأيون Cu^{2+} في ثماني الوجوه المشوه $[CuO_6]$ في المركب A في الشكل 1. اكتب أسماء المدارات e_g المنقسمة (d_{z^2} و $d_{x^2-y^2}$) في (i) و (ii)، وارسم التشكيل الإلكتروني في الصندوق المنقط في ورقة إجابتك.	4pt

يكون المركب A عازلاً. عندما نستبدل أيون La^{3+} واحد عبر أيون Sr^{2+} واحد، يجري توليد ثقب واحد في الشبكة البلورية التي يمكنها نقل الكهرباء. وكنتيجة، يظهر المركب A المشاب بالـ Sr^{2+} ناقلية فائقة تحت درجة حرارة 38 كلفن. عندما حصل تفاعل الاستبدال للمركب A، جرى توليد 2.05×10^{27} ثقباً في المتر المكعب ($holesm^{-3}$.).

B.4	احسب النسبة المئوية لأيونات السترونسيوم Sr^{2+} المستبدلة مكان أيونات Sr^{2+} اعتماداً على النسبة المولية في تفاعل الاستبدال. لاحظ أن تكافؤات الأيونات المكونة والبنية البلورية لا تتغير عبر تفاعل الاستبدال.	4pt

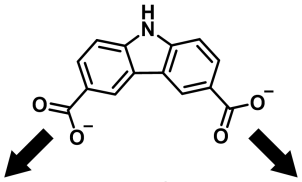
الجزء C

يتكون $Cu_2(CH_3CO_2)_4$ من أربع $CH_3CO_2^-$ مرتبطة بروابط تساندية مع أيونين Cu^{2+} (الشكل 2A). يتمتع $Cu_2(CH_3CO_2)_4$ بمستويات عالية من التناظر البنيوي، مع محورين مارين عبر ذرات الكربون لأيونات $CH_3CO_2^-$ الأربع، و ومحور مار عبر الأيونين Cu^{2+} ، والتي تكون كل منها متوجهة بشكل متعامد بالنسبة لبعضها الأخر. عندما نستخدم ربيطة ثنائي كربوكسيلات بدلاً من $CH_3CO_2^-$، يتشكل "معقد قفص cage complex". يتكون المعقد القفص $Cu_4(\mathbf{L1})_4$ من ثنائي كربوكسيلات **L1** مستوي (الشكل 2B) وأيون Cu^{2+} (الشكل 2C). تحدد الزاوية θ بين اتجاهات التساند للكربوكسيلات الاثنتين، والمشار إليها عبر الأسهم في الشكل 2B، بنيةَ المعقد القفص. تكون الزاوية θ هي 0° من أجل L1. لاحظ أنه لم يتم تمثيل ذرات الهيدروجين في الشكل 2.



2 Fig.

C.1 5pt تثبت الزاوية θ لثنائي الكربوكسيلات L2 فيما يلي على القيمة 90°. إذا كان تركيب المعقد القفص المشكل من L2 و Cu^{2+} هو $Cu_n(\mathbf{L2})_m$ ، أعط التركيب الأصغر للأعداد الصحيحة n و m. افترض أنه فقط زمر CO_2^- لـ L2 تشكل رابطة تساندية مع أيونات Cu^{2+}.



L2

$\theta = 90°$

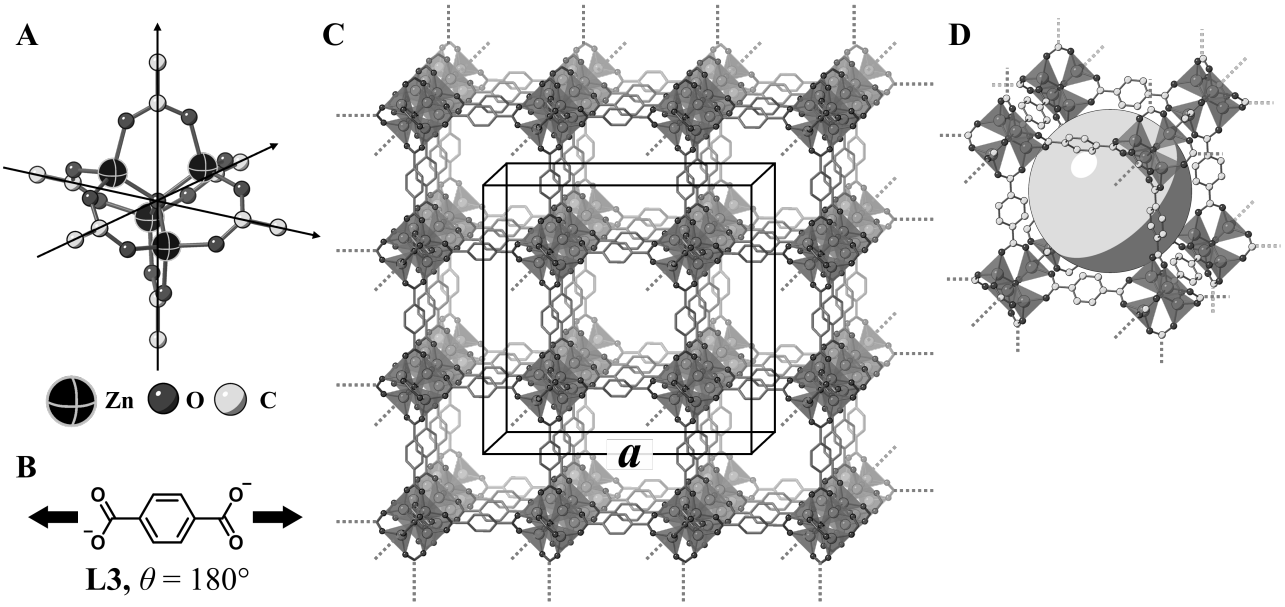
Q6-7

arabic (Syria)

يحتوي معقد توتياء، $Zn_4O(CH_3CO_2)_6$، على أربع Zn^{2+} رباعية الوجوه ، ستة $CH_3CO_2^-$، وأيون O^{2-} واحد (الشكل 3A).

في المعقد $Zn_4O(CH_3CO_2)_6$، يكون O^{2-} متوضعاً في المركز، وتتوجه المحاور الثلاثة المارة من ذرات الكربون لـ $CH_3CO_2^-$ بشكل متعامد بالنسبة لبعضها البعض.

عندما نستخدم p-benzenedicarboxylate (الشكل 3B ، L3, θ = 180°) بدلاً من $CH_3CO_2^-$، تكون عناقيد Zn^{2+} مرتبطة مع بعضها البعض لتشكل جسماً صلباً بلورياً (X) الذي يسمى "بوليمير تساند مسامي coordination porous polymer" الشكل (3C). يكون تركيب X هو $[Zn_4O(\mathbf{L3})_3]_n$، ويتمتع ببنية بلورية مكعبة مع مسامات بأبعاد نانوية. جرى تمثيل مسام واحد على شكل كرة في الشكل 3D ، ويكون كل عنقود Zn^{2+} رباعي الوجوه ممثلاً على شكل مجسم غامق رمادي في الشكل 3C و 3D. لاحظ أنّه لم يتم تمثيل ذرات الهيدروجين في الشكل 3.



3 Fig.

C.2 5pt

يتمتّع X بخلية واحدية مكعبة مع طول حرف أو جانب a ، الشكل 3C، وكثافة قدرها 0.592 $g\,cm^{-3}$. احسب a مقدراً بالـ [cm].

C.3 5pt

يحتوي X على عدد معتبر من المسامات، ويمكن لـ 1g من X أن يستوعب 3.0×10^2 mL من غاز CO_2 في المسامات عند ضغط 1 bar ودرجة حرارة 25 درجة مئوية. احسب العدد الوسطي لجزيئات CO_2 في واحدة المسام.

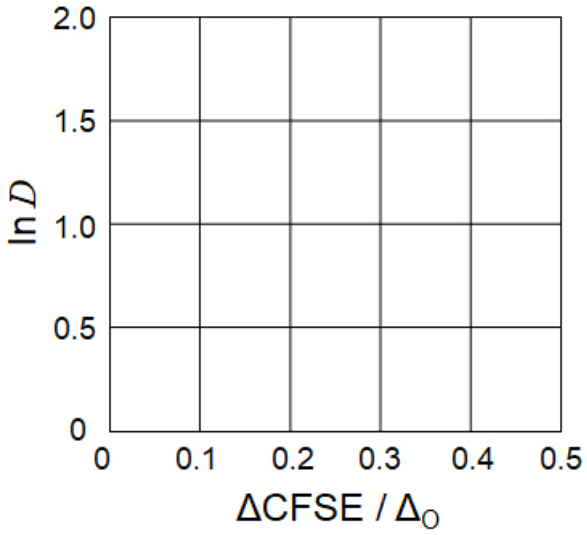
The Solid-State Chemistry of Transition Metals

Part A

A.1 (6 pt)

Cr^{2+} : _____ Δ_O, Mn^{2+} : _____ Δ_O, Co^{2+} : _____ Δ_O

A.2 (3 pt)



D : _____

A.3 (3 pt)

_____

Part B

B.1 (6 pt)

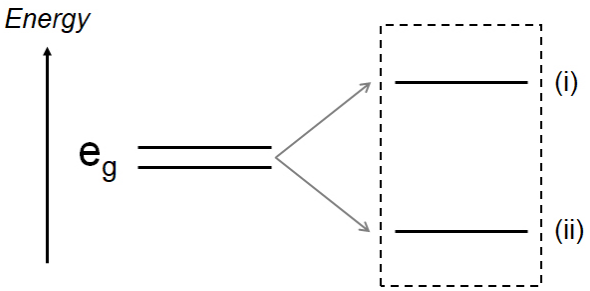
A : _____, B : _____

B.2 (4 pt)

$l_x =$ _____ nm, $l_z =$ _____ nm

B.3 (4 pt)

(i) : _____ , (ii) : _____



B.4 (4 pt)

_____ %

Part C

C.1 (5 pt)

$n =$ _____, $m =$ _____

C.2 (5 pt)

$a =$ _____ cm

C.3 (5 pt)

SYR-2 C-7 C
AHMAD THAER ATER

IChO
Problem 7
Cover sheet

Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

Playing with Non-benzenoid Aromaticity

13 % of the total					
Question	A.1	A.2	A.3	B.1	**Total**
Points	5	2	19	10	**36**
Score					

Prof. Nozoe (1902–1996) opened the research field of non-benzenoid aromatic compounds, which are now ubiquitous in organic chemistry.



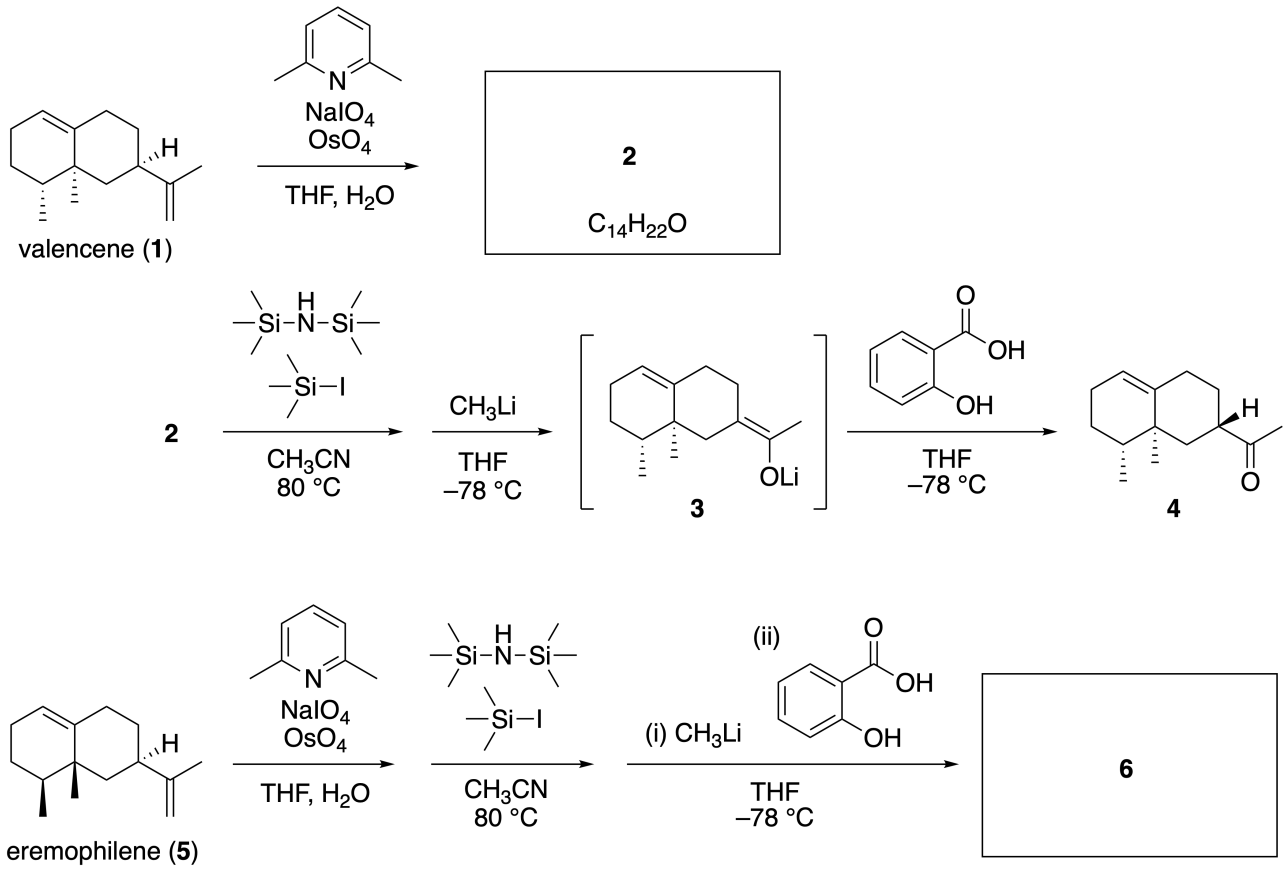
Photo courtesy: Tohoku Univ.

Part A

Lineariifolianone is a natural product with a unique structure, which was isolated from *Inula linariifolia*. From valencene (**1**), a one-step conversion yields **2**, before a three-step conversion via **3** yields ketone **4**. Eremophilene (**5**) is converted into **6** by performing the same four-step conversion.



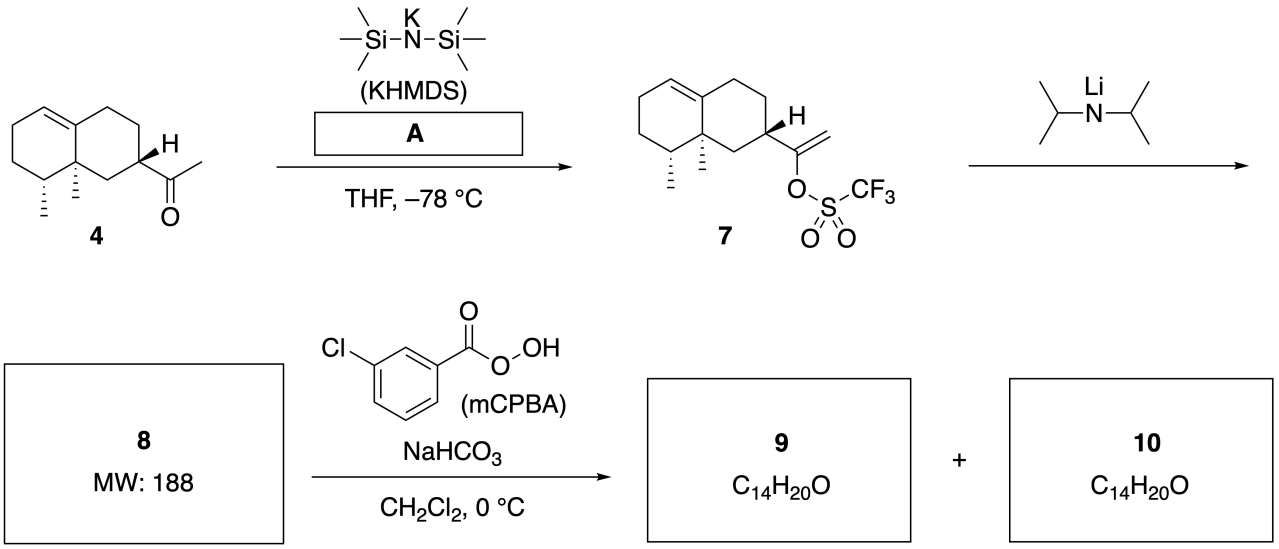
Inula linariifolia

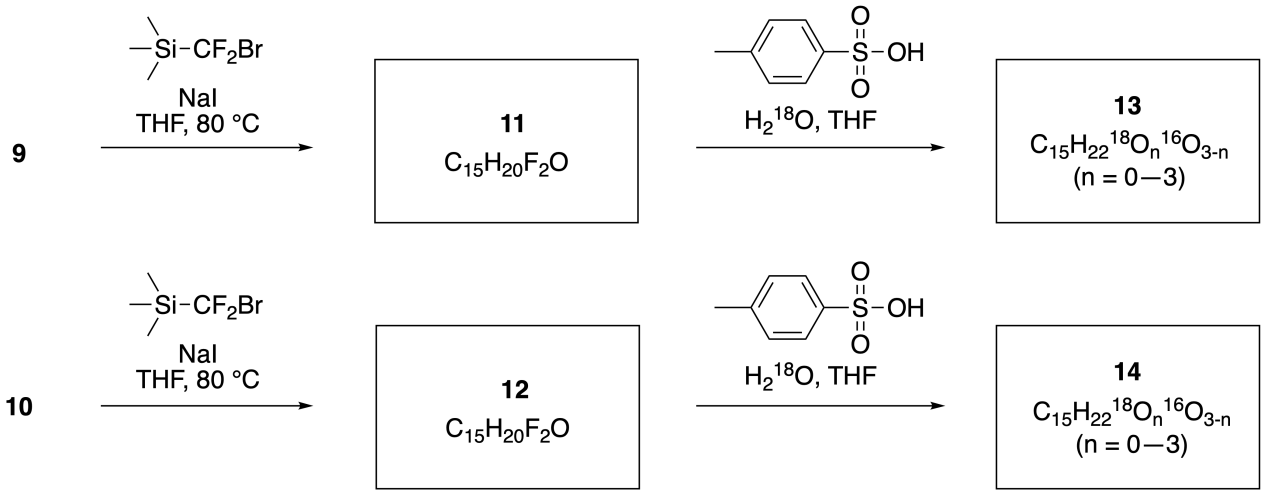


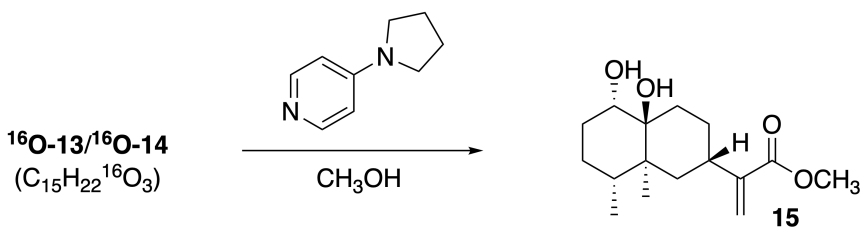
A.1 **Draw** the structures of **2** and **6** and clearly identify the stereochemistry where necessary. 5pt

Then, ketone **4** is converted into ester **15**. Compound **8** (molecular weight: 188) retains all the stereocenters in **7**. Compounds **9** and **10** have five stereocenters and no carbon-carbon double bonds. Assume

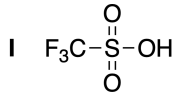
that $H_2{}^{18}O$ is used instead of $H_2{}^{16}O$ for the synthesis of ^{18}O-labelled-linearifolianones **13** and **14** from **11** and **12**, respectively. Compounds **13** and **14** are ^{18}O-labelled isotopomers. Ignoring isotopic labelling, both **13** and **14** provide the same product **15** with identical stereochemistry.

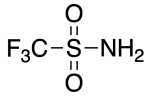


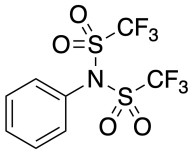


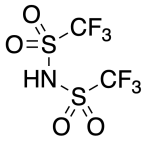


A.2 **Choose** the appropriate structure for **A**. 2pt

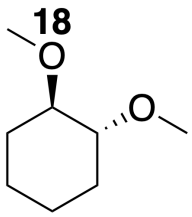
I 

II 

III 

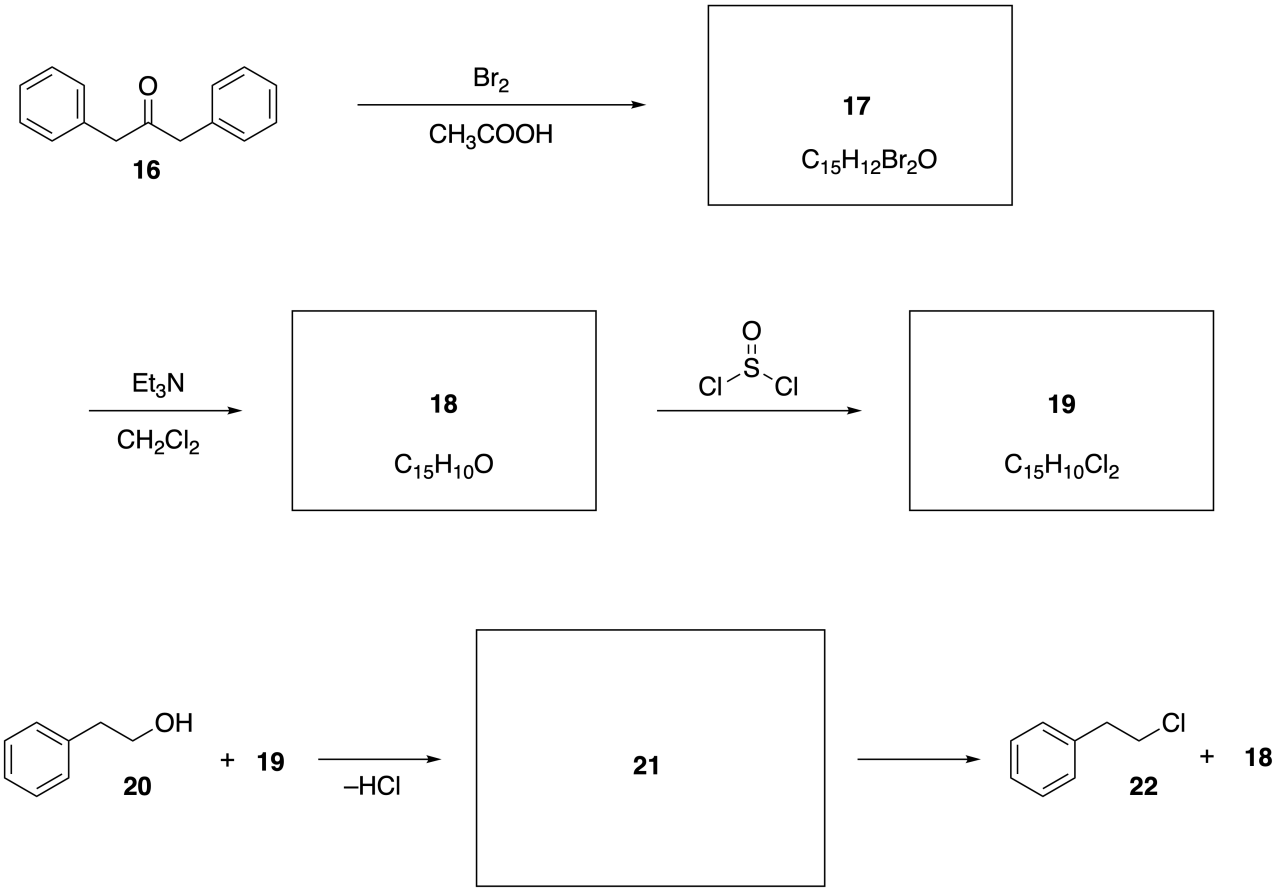
IV 

A.3 **Draw** the structures of **8**–**14** and clearly identify the stereochemistry where necessary. Also, **indicate** the introduced ^{18}O atoms for **13** and **14** as shown in the example below. 19pt



Part B

Compound **19** is synthesized as shown below. In relation to non-benzenoid aromaticity, **19** can be used as an activator for alcohols, and **20** was converted to **22** via ion-pair intermediate **21**. Although the formation of **21** was observed by NMR, **21** gradually decomposes to give **18** and **22**.



^{1}H NMR (CD_3CN, ppm) **20**: δ 7.4–7.2 (5H), 3.7 (2H), 2.8 (2H), 2.2 (1H)
21: δ 8.5–7.3 (15H), 5.5 (2H), 3.4 (2H)

B.1	**Draw** the structures of **17**–**19** and **21**. Identifying the stereochemistry is not necessary.	10pt

Q7-1

arabic (Syria)

اللعب مع المركبات العطرية اللابنزوئية

total the of % 13					
Total	B.1	A.3	A.2	A.1	Question
36	10	19	2	5	Points
					Score

البروفيسور نوزوي (1902-1996) افتتح مجال البحث عن المركبات العطرية اللابنزوئية ، والتي أصبحت تطبيقاتها منتشرة بشكل كبير في الكيمياء العضوية.



Univ. Tohoku courtesy: Photo

الجزء A

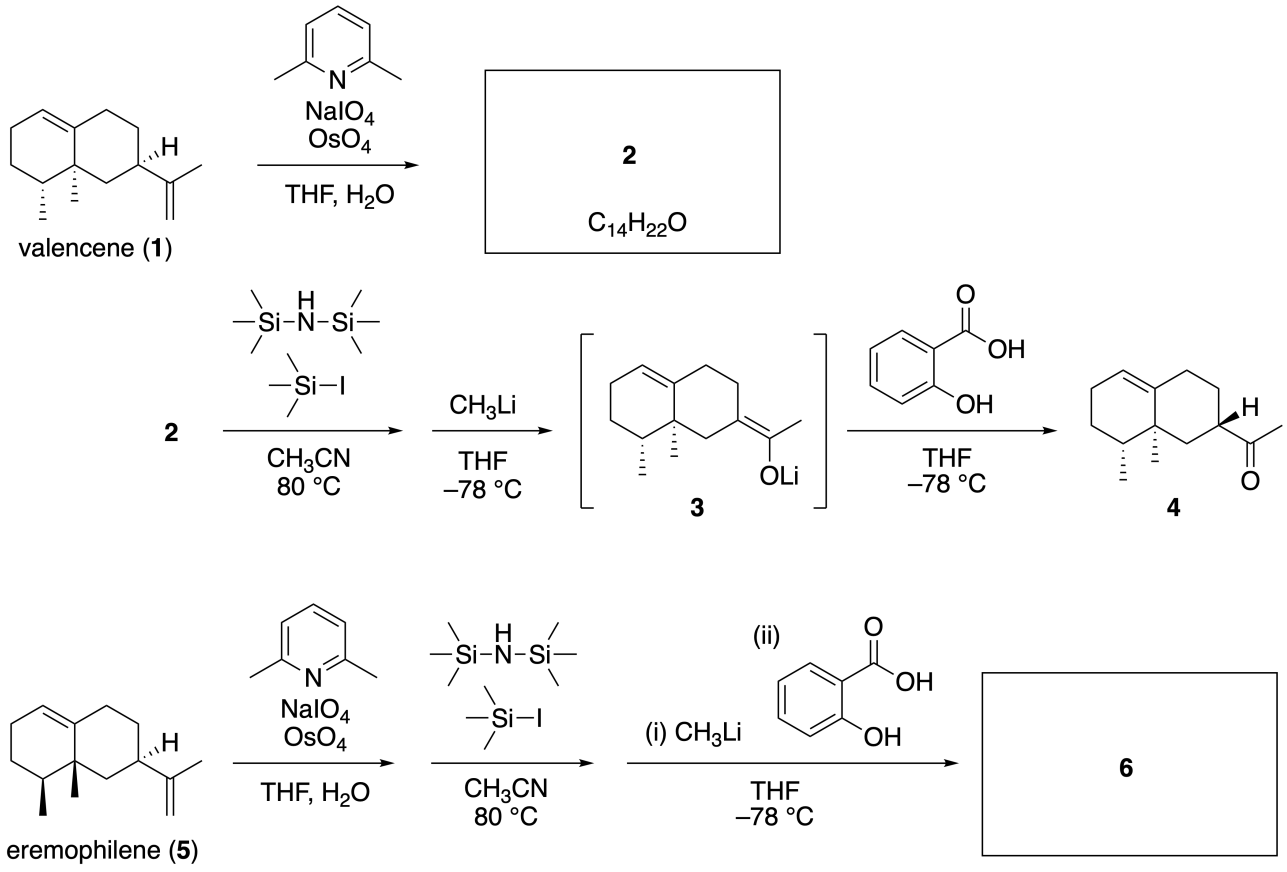
Linearііfolianone هو منتج طبيعي بهيكل فريد تم عزله من **linariifolia Inula**. انطلاقا من **(1) valencene**، وعبر خطوة واحدة ينتج **المركب 2** ، **الكيتون 4** نحصل عليه من خلال ثلاث خطوات مروراً **بالمركب 3** .يتم تحويل **Eremophilene (5)** إلى **المركب 6** عن طريق إجراء نفس الخطوات الأربعة السابقة.

Q7-2

arabic (Syria)



linariifolia Inula



A.1	**ارسم** البنية الهيكلية للمركبات **2** و **6** وحدد الكيمياء الفراغية بوضوح عند الضرورة	5pt

بعد ذلك ، يتم تحويل **الكيتون 4** إلى **استر 15**. **المركب 8** (الوزن الجزيئي: 188) يحتفظ بجميع مراكز الفعالية الضوئية الموجودة في **المركب 7**. **المركبات 9** و **10** تحتوي على خمسة مراكز فعالية ضوئية ولا توجد روابط كربون-كربون

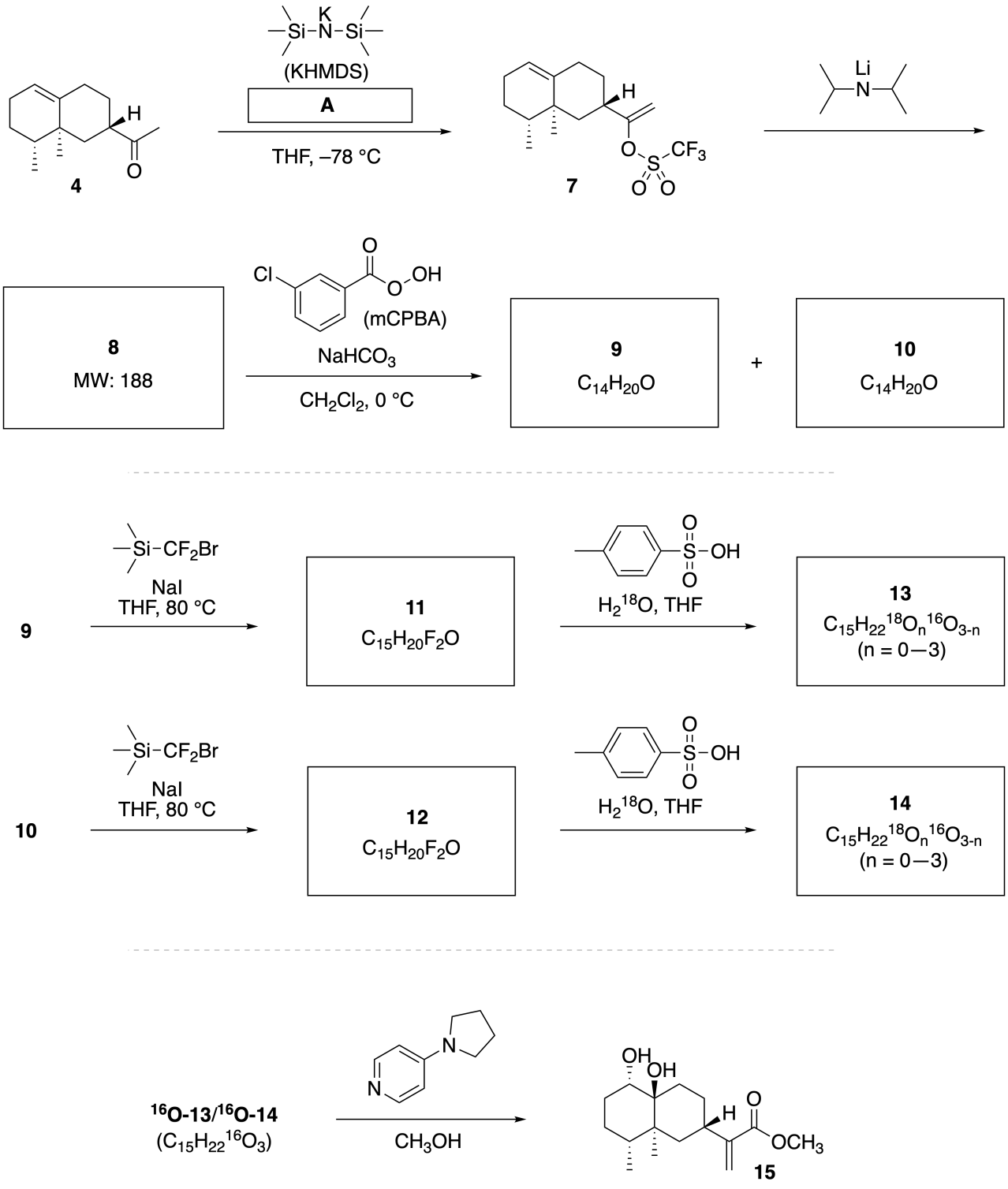
Q7-3

arabic (Syria)

مزدوجة. افترض أنه تم استخدام $H_2{}^{18}O$ بدلاً $H_2{}^{16}O$ لاصطناع المركبات (**13 linearііfolianones**) الموسومة بنظير الأوكسجين -^{18}O و المركب **14** من المركبين **11** و **12** على التوالي. المركبات **13** و **14** الموسومة بنظير الأوكسجين -^{18}O وهي مصاوغات ايزوتوبية (التي تختلف بموضوع الايزوتوب)، بأهمال وجود العناصر الموسومة يمتلك المركبان **13** و **14** نفس فراغية المركب **15** .

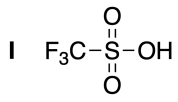
Q7-4

arabic (Syria)

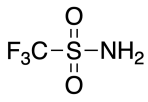


A.2 **اختر** البنية الهيكلية المناسبة لـ **A**. 2pt

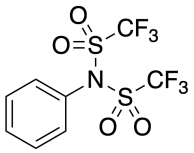
I



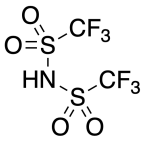
II



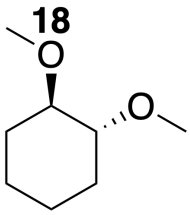
III



IV

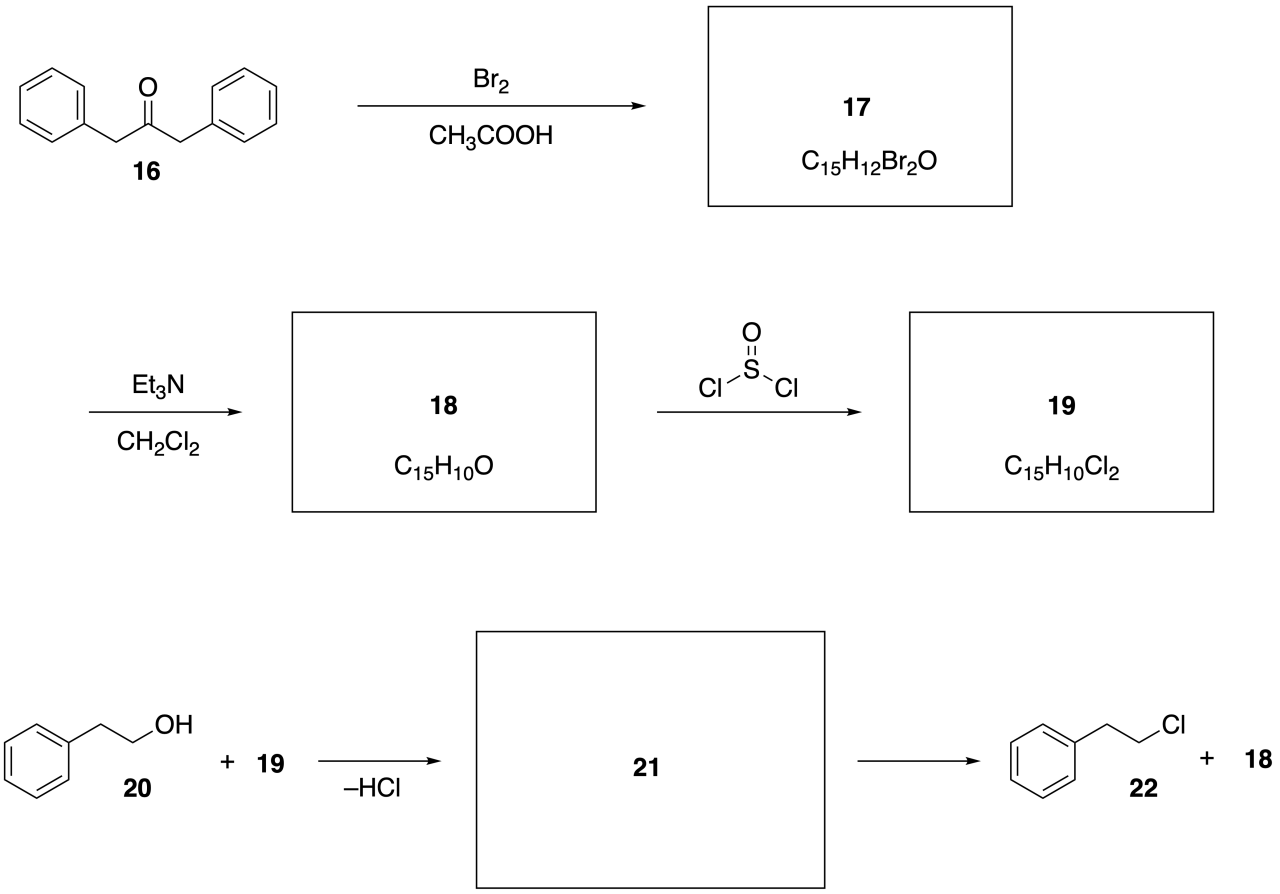


A.3 **ارسم** البنية الهيكلية للمركبات **8-14** و موضحاً الكيمياء الفراغية عند الضرورة. أشر أيضًا إلى ذرات الأوكسجين الموسومة O^{18} والتي تم إدخالها لـلمركبات **13** و **14** كما هو موضح في المثال أدناه. 19pt



B Part

يُصنع المركب **19** كما هو موضح أدناه. فيما يتعلق بالمركب العطري اللابنزوئي ، يمكن استخدام المركب **19** كمنشط للكحول ، وتم تحويل المركب **20** إلى **22** عبر مركب وسطي (زوج أيوني) المركب**21** . على الرغم من أن تشكل المركب 21 قد لوحظ بواسطة الرنين المغناطيسي النووي، فإن المركب **21** يتحلل تدريجيًا ليعطي المركبين **18** و **22**.



^{1}H NMR (CD_3CN, ppm) **20**: δ 7.4–7.2 (5H), 3.7 (2H), 2.8 (2H), 2.2 (1H)
21: δ 8.5–7.3 (15H), 5.5 (2H), 3.4 (2H)

B.1 **ارسم** البنى الهيكلية للمركبات **17-19** و **21**. تحديد الكيمياء الفراغية للمركبات غير ضروري. 10pt

Playing with Non-benzenoid Aromaticity

Part A

A.1 (5 pt)

2 (2 pt)	**6** (3 pt)

A.2 (2 pt)

A.3 (19 pt)

8 (3 pt)

9 (2 pt)

10 (2 pt)

11 (2 pt)

12 (2 pt)

13 (4 pt)

14 (4 pt)

Part B

B.1 (10 pt)

17 (2 pt)	**18** (2 pt)
19 (3 pt)	**21** (3 pt)

SYR-2 C-8 C
AHMAD THAER ATER

IChO
Problem 8
Cover sheet

Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

Q8-1

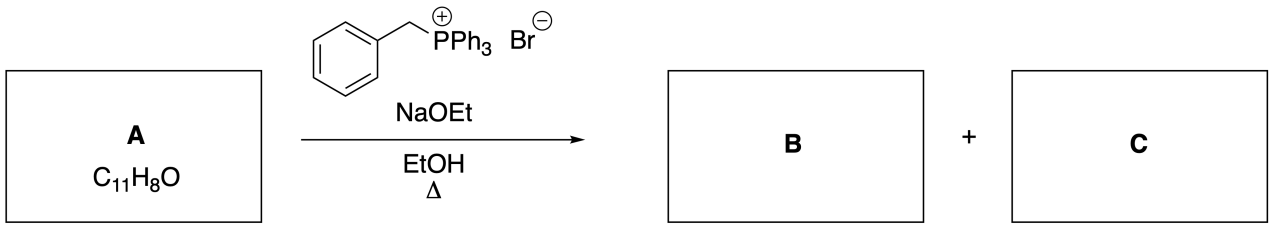
English (Official)

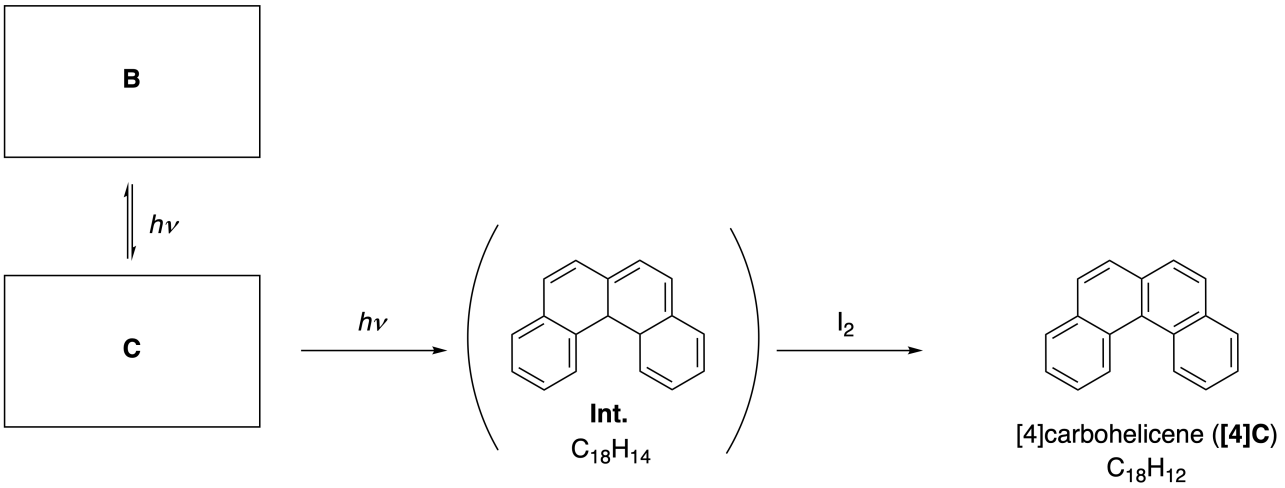
Dynamic Organic Molecules and Their Chirality

11 % of the total						
Question	A.1	A.2	A.3	B.1	B.2	**Total**
Points	9	3	7	3	4	**26**
Score						

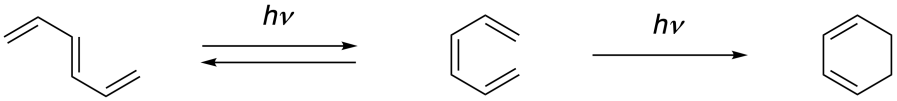
Part A

Polycyclic aromatic hydrocarbons with successive ortho-connections are called [n]carbohelicenes (here, n represents the number of six-membered rings) (see below). [4]Carbohelicene (**[4]C**) is efficiently prepared by a route using a photoreaction as shown below, via an intermediate (**Int.**) that is readily oxidized by iodine.





The photoreaction proceeds in a manner similar to the following example.

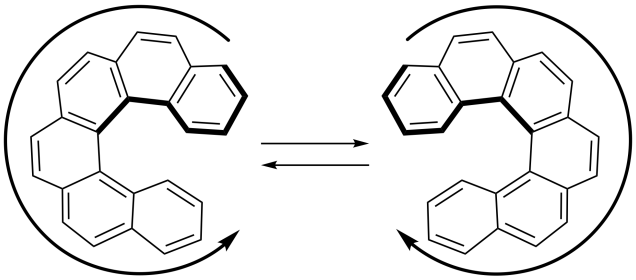


Note: For all of Question 8, please draw alternating single and double bonds in your answers to the problems as depicted in the examples of carbohelicene. Do not use circles for conjugated π systems.

A.1	**Draw** the structures of **A**–**C**. Stereoisomers should be distinguished.	9pt

A.2	Attempts to synthesize [5]carbohelicene from the same phosphonium salt and an appropriate starting compound resulted in the formation of only a trace amount of [5]carbohelicene, instead affording product **D** whose molecular weight was 2 Da lower than that of [5]carbohelicene. The ^{1}H NMR chemical shifts of **D** are listed below. **Draw** the structure of **D**. **[D** (δ, ppm in CS_2, r.t.), 8.85 (2H), 8.23 (2H), 8.07 (2H), 8.01 (2H), 7.97 (2H), 7.91 (2H)**]**	3pt

[5]- and larger [n]carbohelicenes have helical chirality and interconversion between enantiomers of these helicenes is significantly slow at room temperature. The chirality of [n]carbohelicenes is defined as (*M*) or (*P*) as shown below.



(*M*) (*P*)

[n]Carbohelicenes with n larger than 4 can be enantiomerically separated by a chiral column chromatography, which was developed by Prof. Yoshio Okamoto.

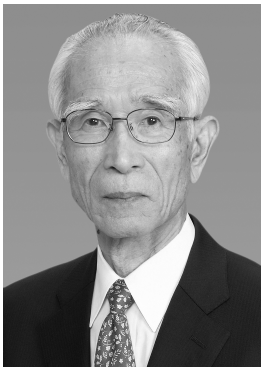
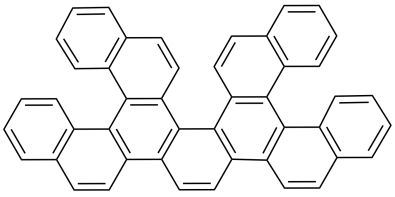
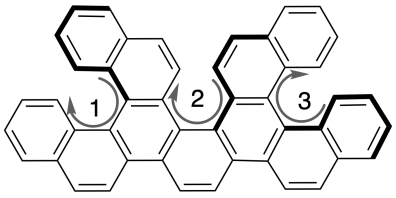


Photo courtesy: The Japan Prize Foundation

Multiple helicenes are molecules that contain two or more helicene-like structures. If its helical chirality is considered, several stereoisomers exist in a multiple helicene. For example, compound **E** contains three [5]carbohelicene-like moieties in one molecule. One of the stereoisomers is described as (*P*, *P*, *P*) as shown below.

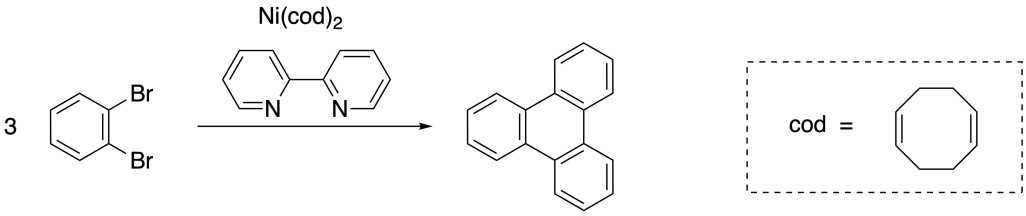


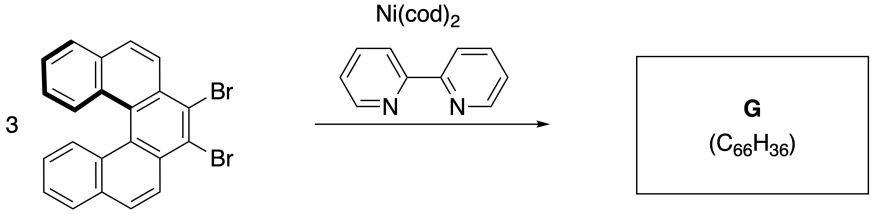
E



(1, 2, 3) = (*P*, *P*, *P*)

A.3 The nickel-mediated trimerization of 1,2-dibromobenzene generates triphenylene. When the same reaction is applied to an enantiomer of **F**, (*P*)-**F**, multiple helicene **G** ($C_{66}H_{36}$) is obtained. Given that interconversion between stereoisomers does not occur during the reaction, **identify all** the possible stereoisomers of **G** formed in this process, without duplication. As a reference, one isomer should be drawn completely with the chirality defined as in the example above, with numerical labels; the other stereoisomers should be listed with location numbers and *M* and *P* labels according to the same numbering. For instance, the other stereoisomers of **E** should be listed as (1, 2, 3) = (*P*, *M*, *P*), (*P*, *M*, *M*), (*P*, *P*, *M*), (*M*, *M*, *M*), (*M*, *M*, *P*), (*M*, *P*, *P*), and (*M*, *P*, *M*). 7pt

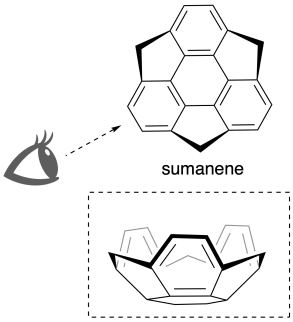




(*P*)-**F**

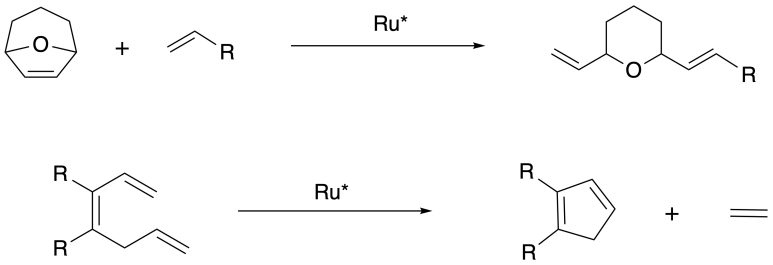
Part B

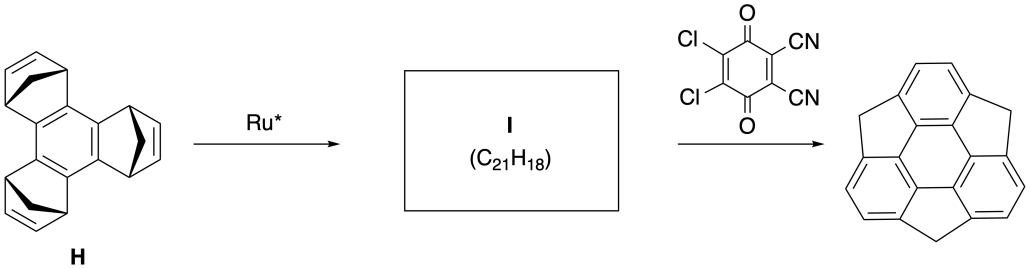
Sumanene is a bowl-shaped hydrocarbon that was first reported in Japan in 2003. The name "sumanene" derives from a Sanskrit-Hindi word "suman" that means sunflower. The synthesis of sumanene was achieved by a reaction sequence that consists of a ring-opening and a ring-closing metathesis.



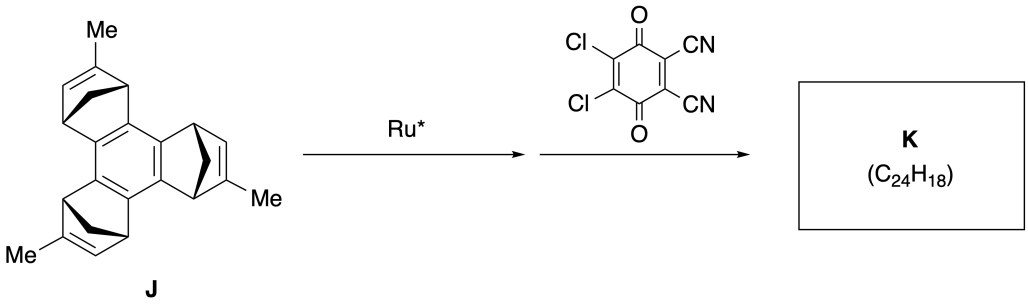


Representative metathesis reactions catalyzed by a ruthenium catalyst (Ru*) are shown below.





B.1	**Draw** the structure of intermediate **I** (its stereochemistry is not required).	3pt



J

B.2	Starting from the optically active precursor **J**, the same reaction sequence gives the optically active sumanene derivative **K**. The stereocenters in **J** suffer no inversion during the metathesis reaction. **Draw** the structure of **K** with the appropriate stereochemistry.	4pt

Q8-1

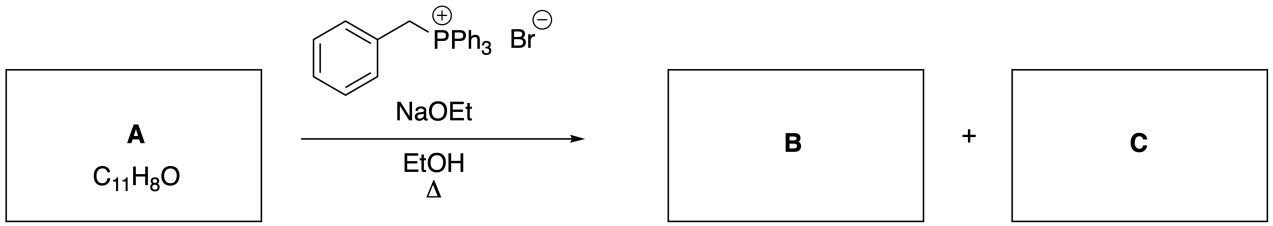
arabic (Syria)

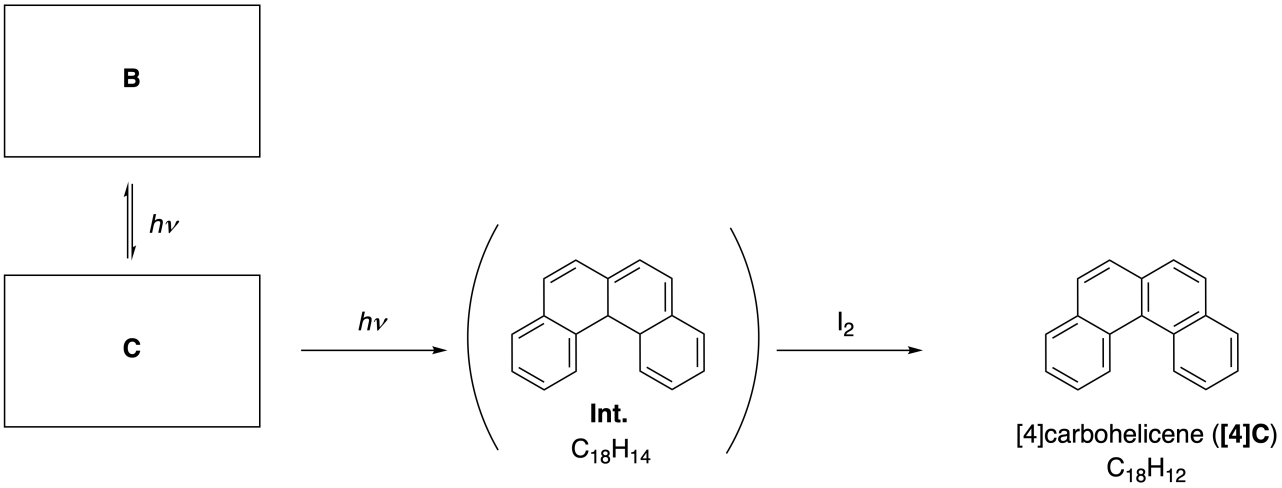
الجزيئات العضوية الديناميكية وكيراليتها

total the of % 11						
Total	B.2	B.1	A.3	A.2	A.1	Question
26	4	3	7	3	9	Points
						Score

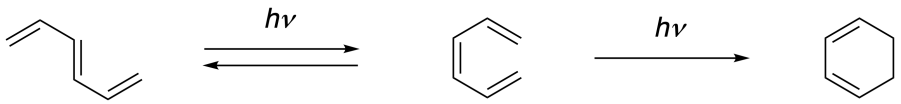
A Part

المركبات الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات التي تندمج فيها الحلقات بشكل متعاقب في الموقع اورتو تدعى [n] كربو هيلسينات (يمثل n عدد الحلقات السداسية) (انظر أدناه). [4]كربو هيلسين (**[4]C**) يُحضر بكفاءة عن طريق استخدام تفاعل ضوئي كما هو موضح أدناه ، مروراً بمركب وسيطي (**Int.**) يتأكسد بسهولة بواسطة اليود.





التفاعل الضوئي يجري بطريقة مشابهة للمثال التالي.



Q8-2

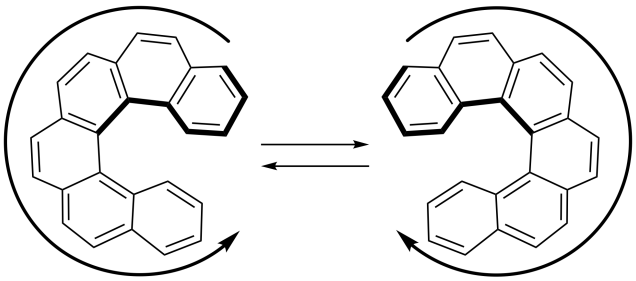
arabic (Syria)

ملاحظة: لجميع الأسئلة في المسألة 8 ، يرجى رسم روابط مفردة ومزدوجة متناوبة في إجاباتك على الأسئلة كما هو موضح في أمثلة الكربو هيلسين .(carbohelicene) لا تستخدم الدوائر للأنظمة العطرية المترافقة.

A.1	**ارسم** البنى الهيكلية **A – C**. يجب تمييز المتصاوغات الفراغية.	9pt

A.2	أدت محاولات تصنيع المركب [5] كربو هيلسين من ملح الفوسفونيوم ومركب بدء مناسب إلى تكوين كمية ضئيلة من المركب [5]كربوهيلسين ،وبالمقابل نتج لدينا المركب **D** الذي وزنه الجزيئي أقل بمقدار 2 دالتون من المركب [5] كربوهيلسين. المعطيات الطيفية NMR للمركب **D** موجودة أدناه. **ارسم** البنية الهيكلية للمركب **D**. [D (δδ, ppm in CS2CS2, r.t.), 8.85 (2H), 8.23 (2H), 8.07 (2H), 8.01 (2H), 7.97 (2H), 7.91 (2H)]	3pt

[5] - والكربوهيلسينات الأكبر من حيث عدد الحلقات [n] لها بنية حلزونية وتمتاز بالكيرالية والتحول البيني بين المصاوغات الايناتوميرية في هذه الهيلسينات يكون بطيئًا بشكل ملحوظ في درجة حرارة الغرفة. يتم تعريف الكيرالية لمركبات [n] كربو هيلسينات ([n] carbohelicenes) على أنها (M) أو (P) كما هو موضح أدناه.



(*M*) (*P*)

يمكن فصل المتصاوغات الايناتوميرية للكربوهيليسينات حيث n أكبر من 4 باستخدام عمود كروماتوغرافيا كيرالي ،والذي طوره البروفيسور يوشيو أوكاموتو.

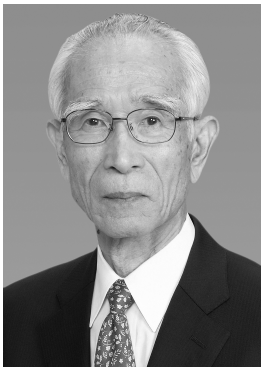
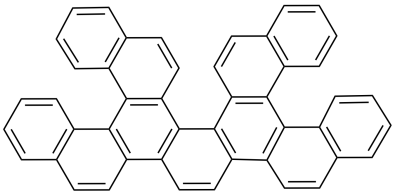


Photo: courtesy The Japan Prize Foundation

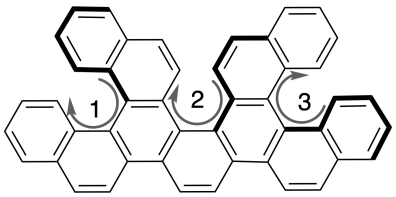
Q8-3

arabic (Syria)

الهيليسينات المتعددة عبارة عن جزيئات تحتوي على اثنين أو أكثر من الهياكل الشبيهة بالهيليسين.اذا أُخذت الكيرالية الحلزونية بعين الاعتبار ، فإن العديد من المصاوغات الفراغية موجودة في الهيليسينات المتعددة. على سبيل المثال ، يحتوي المركب **E** على ثلاثة قطع من مشابهات الـ [5]كربوهيليسين في جزيء واحد.يتم توصف أحد الأيزومرات الفراغية بأنه (P ، P ، P) كما هو موضح أدناه.



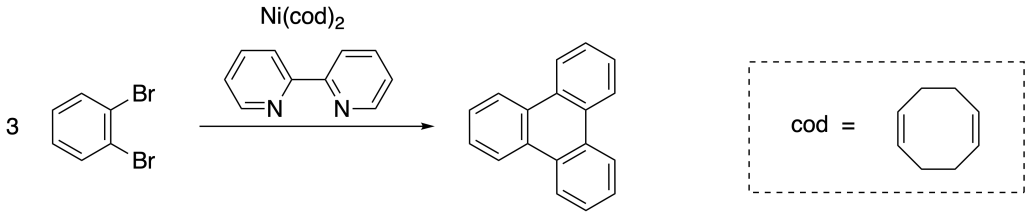
E

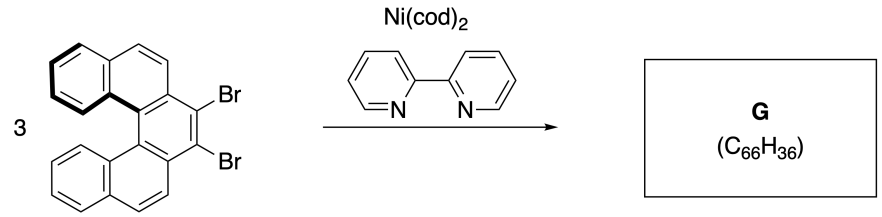


(1, 2, 3) = (*P*, *P*, *P*)

A.3 7pt

تشكيل تريمير من خلال النيكل للمركب 2،1-ثنائي بروموبينزين يعطي المركب ثلاثي الفينلين. عندما يتم تطبيق نفس التفاعل على المصاوغ **F** من **(*P*) -F** ، يتم الحصول على الهيليسين المتعدد **G** ($C_{66}H_{36}$). فإذا علمت أن التحول البيني بين المتصاوغات الفراغية لا يحدث أثناء التفاعل ، **حدد جميع** المتصاوغات الفراغية الممكنة لـ **G** ($C_{66}H_{36}$). المتكونة في هذه العملية ، بدون تكرارية . كمرجع للحل ، يجب رسم المتصاوغات بالكامل باستخدام الكيرالية المحددة كما في المثال أعلاه ، مع تسميات عددية ؛ يجب أن يتم سرد المتصاوغات الفراغية الأخرى بأرقام الموقع وتسميات M و P وفقًا لنفس الترقيم. على سبيل المثال ، يجب إدراج المتصاوغات الفراغية الأخرى للمركب **E** على النحو التالي:
(1, 2, 3) = (P, M, P), (P, M, M), (P, P, M), (M, M, M), (M, M, P), (M, P, P), and (M, P, M)





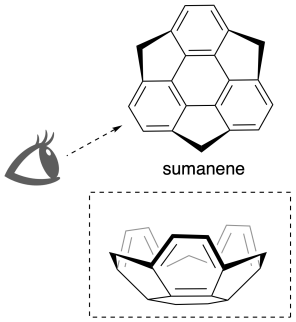
(*P*)-**F**

Q8-4

arabic (Syria)

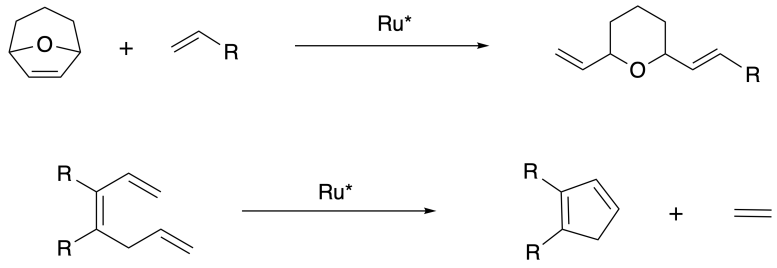
B Part

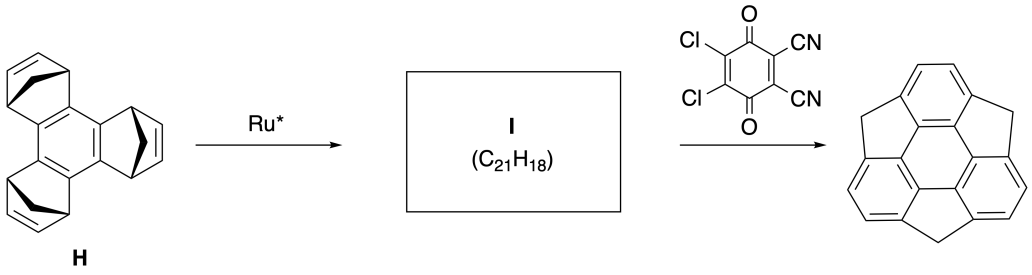
السومانين عبارة عن هيدروكربون على شكل وعاء تم ذكره لأول مرة في اليابان في عام 2003. اسم "سومانين" مشتق من الكلمة السنسكريتية الهندية "سومان" والتي تعني عباد الشمس. تم اصطناع السومانين من خلال سلسلة من تفاعلات التبادل التماثلي (metathesis) المتضمنة فتح وإغلاق الحلقة.





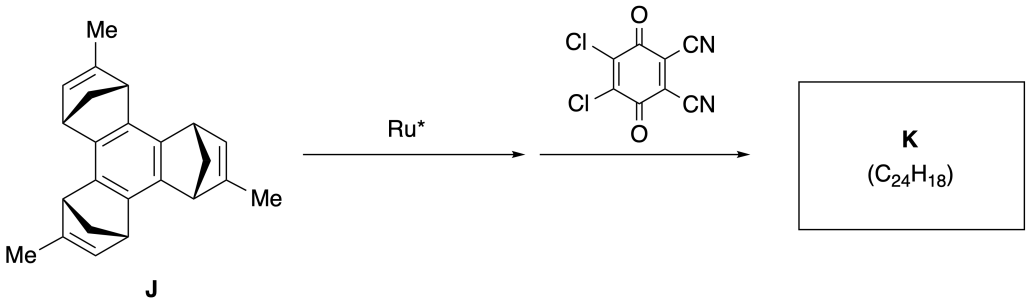
تفاعلات التبادل التماثلي المحفزة بواسطة حفاز الروثينيوم (Ru *) موضحة أدناه.





H

B.1	**ارسم** البنية الهيكلية للمركب الوسيطي **I** (الكيمياء الفراغية الخاصة به غير مطلوبة).	3pt



B.2 4pt

بدءًا من الطليعة الفعالة ضوئياً **J** ، استخدمت نفس سلسلة التفاعلات لتحضير مشتق السومانين الفعال ضوئياً **K**. مراكز الفعالية الفراغية في **J** لا تعاني من أي انعكاس أثناء تفاعل التبادل التماثلي (metathesis) . **ارسم** هيكل **K** مستعيناً بالكيمياء الفراغية المناسبة.

Dynamic Organic Molecules and Their Chirality

Part A

A.1 (9 pt)

A (3 pt)	**B** (3 pt)	**C** (3 pt)

A.2 (3 pt)

A.3 (7 pt)

Part B

B.1 (3 pt)

B.2 (4 pt)

SYR-2 C-9 C
AHMAD THAER ATER

IChO
Problem 9
Cover sheet

Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

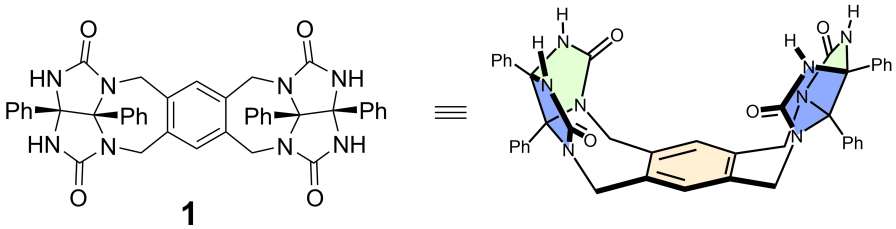
Likes and Dislikes of Capsule

10 % of the total						
Question	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5	**Total**
Points	13	2	2	3	3	**23**
Score						

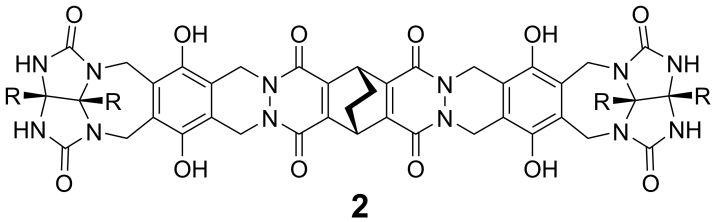
Good kids don't do this, but if you unseam a tennis ball, you can disassemble it into two U-shaped pieces.



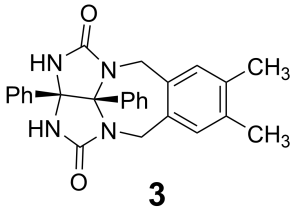
Based on this idea, compounds **1** and **2** were synthesized as U-shaped molecules with different sizes. Compound **3** was prepared as a comparison of **1** and the encapsulation behavior of these compounds was investigated.



1

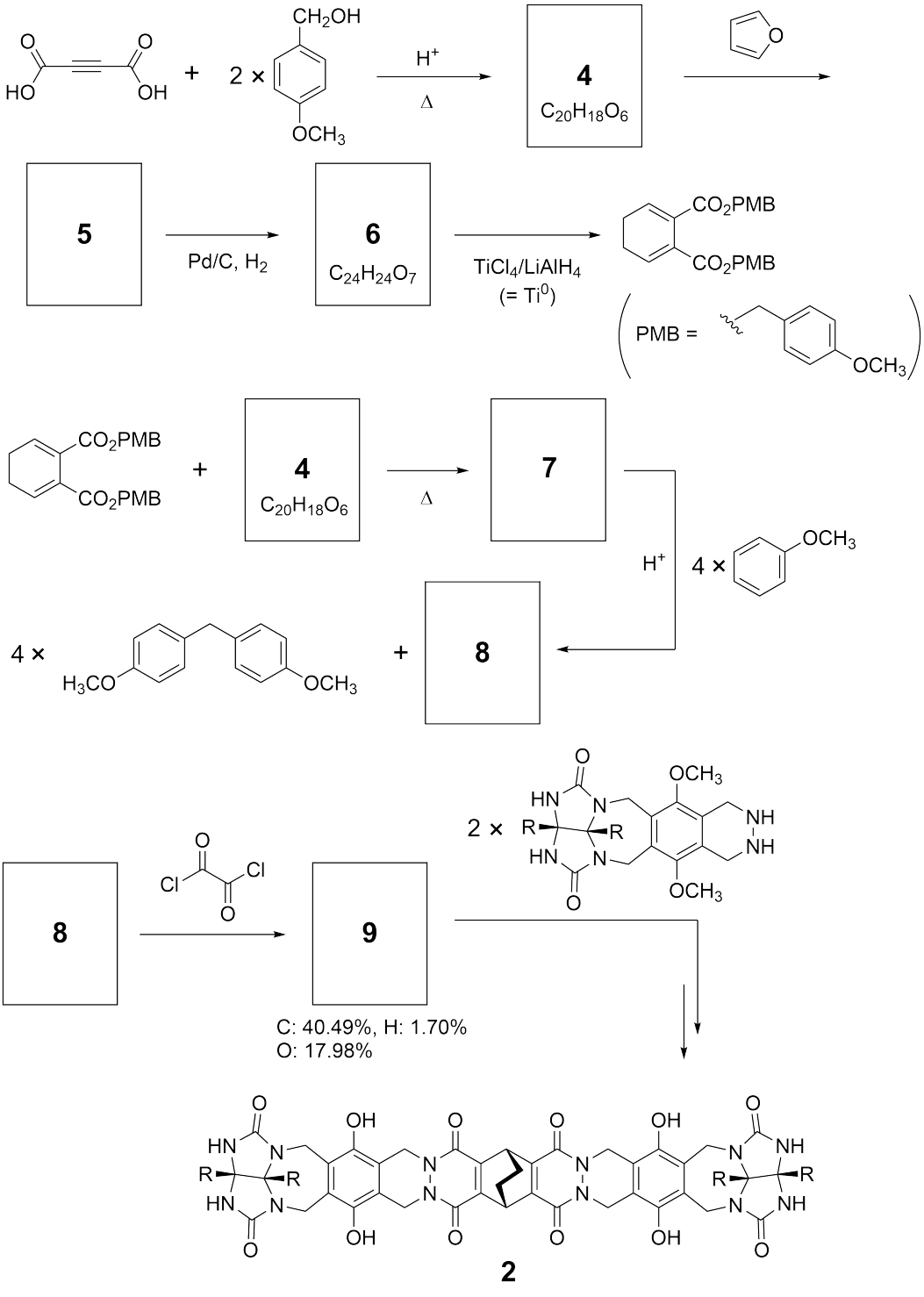


2



3

The synthetic route to **2** is shown below. The elemental composition of compound **9**: C; 40.49%, H; 1.70%, and O; 17.98% by mass.



A.1	**Draw** the structures of **4**–**9**; the stereochemistry can be neglected. Use "PMB" as a substituent instead of drawing the whole structure of *p*-methoxybenzyl group shown in the scheme above.	13pt

In the mass spectrum of **1**, the ion peak corresponding to its dimer ($\mathbf{1}_2$) was clearly observed, whereas an ion peak for $\mathbf{3}_2$ was not observed in the spectrum of **3**. In the ^{1}H NMR spectra of a solution of $\mathbf{1}_2$, all the NH protons derived from **1** were observed to be chemically equivalent, and their chemical shift was significantly different from that of the NH protons of **3**. These data indicate that hydrogen bonds are formed between the NH moieties of **1** and atoms **X** of another molecule of **1** to form the dimeric capsule.

A.2	**Circle** all the appropriate atom(s) **X** in **1**.	2pt

A.3	**Give** the number of the hydrogen bonds in the dimeric capsule ($\mathbf{1}_2$).	2pt

The dimeric capsule of **1** ($\mathbf{1}_2$) has an internal space wherein an appropriate small molecule Z can be encapsulated. This phenomenon is expressed by the following equation:

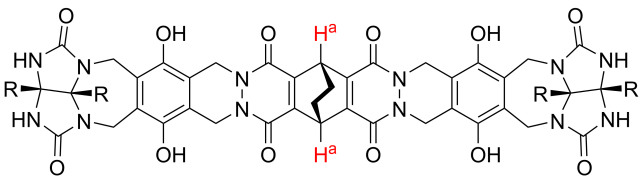
$$\mathrm{Z} + \mathbf{1}_2 \rightarrow \mathrm{Z}@\mathbf{1}_2 \tag{1}$$

The equilibrium constant of the encapsulation of Z into $\mathbf{1}_2$ is given as below:

$$K_\mathrm{a} = \frac{[\mathrm{Z}@\mathbf{1}_2]}{[\mathrm{Z}][\mathbf{1}_2]} \tag{2}$$

Encapsulation of a molecule into a capsule could be monitored by NMR spectroscopy. For example, $\mathbf{1}_2$ in C_6D_6 gave different signals in the ^{1}H NMR spectra before and after addition of CH_4.

Compound **2** also forms a rigid and larger dimeric capsule ($\mathbf{2}_2$). The ^{1}H NMR spectrum of $\mathbf{2}_2$ was measured in C_6D_6, C_6D_5F, and a C_6D_6/C_6D_5F solvent mixture, with all other conditions being kept constant. The chemical shifts for the H^a proton of **2** in the above solvents are summarized below, and no other signals from the H^a in **2**, except for the listed, were observed. Assume that the interior of the capsule is always filled with the largest possible number of solvent molecules and that each signal corresponds to one species of the filled capsule.



2

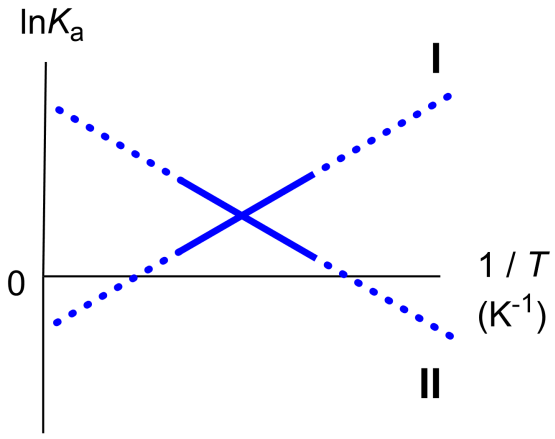
solvent	δ (ppm) of H^a
C_6D_6	4.60
C_6D_5F	4.71
C_6D_6 / C_6D_5F	4.60, 4.71, 4.82

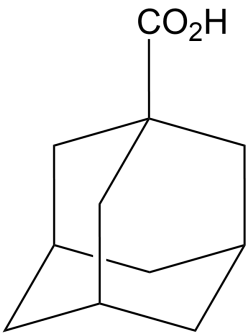
A.4 **<u>Determine</u>** the number of C_6D_6 and C_6D_5F molecules encapsulated in $\mathbf{2}_2$ giving each H^a signal. 3pt

^{1}H NMR measurements in C_6D_6 revealed that $\mathbf{2}_2$ can incorporate one molecule of 1-adamantanecarboxylic acid (AdA), and the association constants (K_a) which are expressed below were determined for various temperatures. [solvent@$\mathbf{2}_2$] denotes a species containing one or more solvent molecules.

$$K_a = \frac{[Z@\mathbf{2}_2]}{[Z][\text{solvent}@\mathbf{2}_2]} \tag{3}$$

Similarly, the K_a values of CH_4 and $\mathbf{1}_2$ given as eq (2) at various temperatures in C_6D_6 were also determined by ^{1}H NMR measurements. The plots of the two association constants (as ln K_a vs 1/T) are shown below.





AdA

No C_6D_6 molecule is encapsulated in $\mathbf{1}_2$. In line **II**, the entropy change (ΔS) is (1) and enthalpy change (ΔH) is (2), indicating that the driving force for the encapsulation in line **II** is (3). Therefore, line **I** corresponds to (4), and line **II** corresponds to (5).

A.5 **Choose** the correct options in gaps (1)–(5) in the following paragraph from A and B. 3pt

	A	B
(1)	positive	negative
(2)	positive	negative
(3)	ΔS	ΔH
(4)	$\mathbf{1}_2$ and CH_4	$\mathbf{2}_2$ and AdA
(5)	$\mathbf{1}_2$ and CH_4	$\mathbf{2}_2$ and AdA

Q9-1

arabic (Syria)

ما تحبه وما تكرهه الكبسولة

total the of % 10						
Total	A.5	A.4	A.3	A.2	A.1	Question
23	3	3	2	2	13	Points
						Score

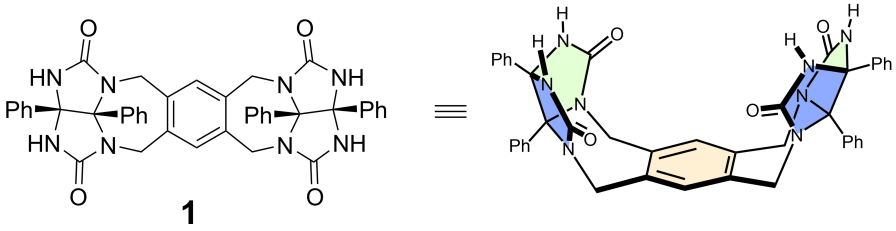
الصغار الجيدون لا يفعلون هذا، ولكن إذا فتقت أو قطعت كرة تنس ، فإنّه يمكنك أن تفككها إلى قطعتين بشكل حرف .U



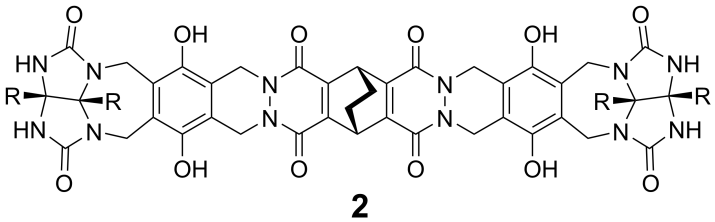
بناء على هذه الفكرة، تمّ اصطناع المركبين 1 و2 كجزيئات على شكل حرف U بأبعاد مختلفة. وجرى اصطناع المركب 3 كشبيه للمركب 1 ، كما جرى تقصي سلوك الكبسلة لهذه المركبات.

Q9-2

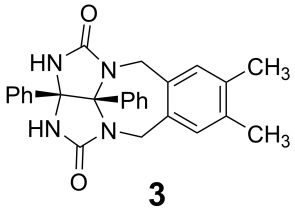
arabic (Syria)



1

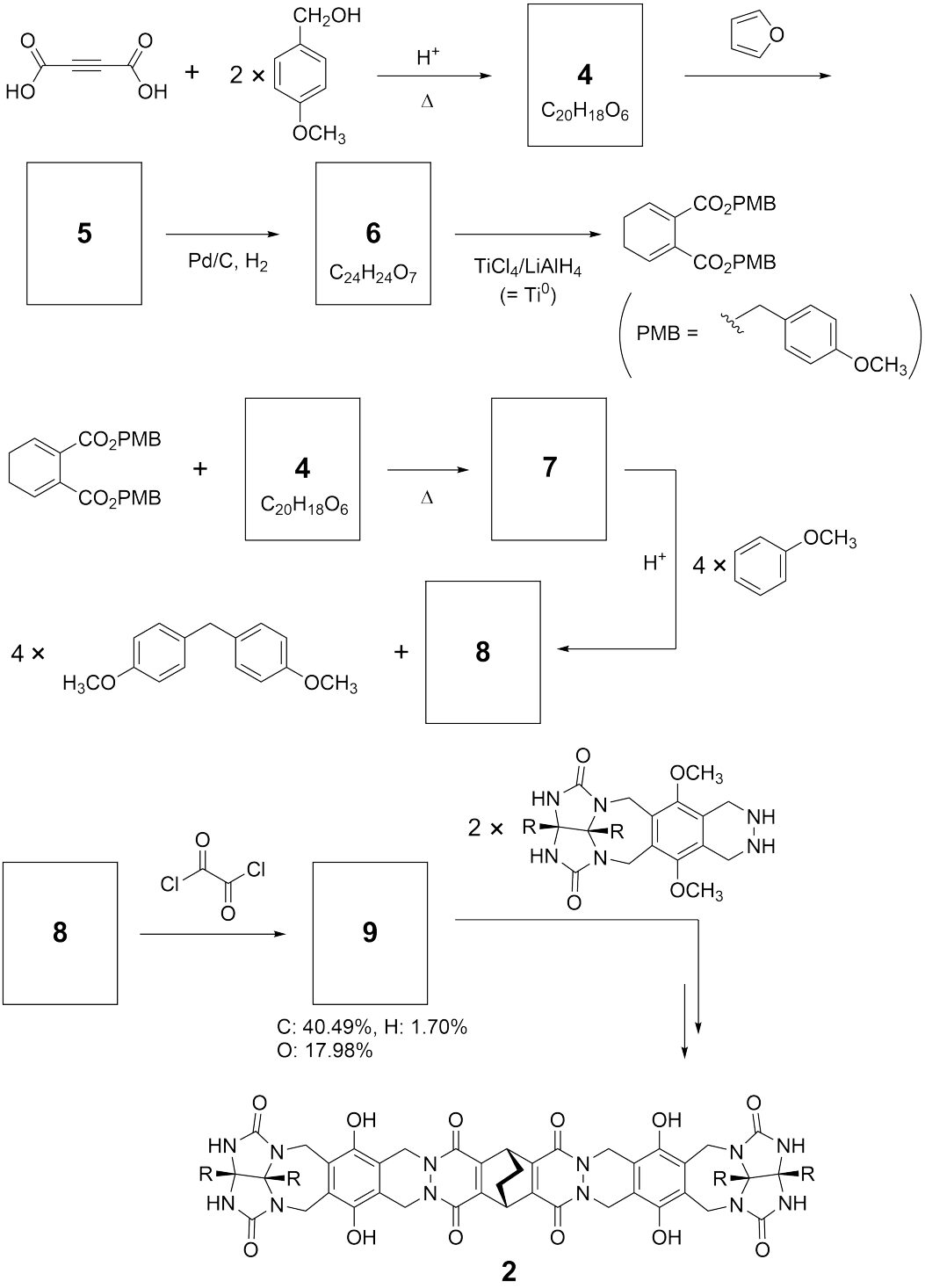


2



3

نعرض فيما يلي طريق الاصطناع للمركب 2. أعطى التحليل العنصري للمركب 9 التركيب الكتلي التالي:
(C; 40.49%, H; 1.70%, and O; 17.98%)



2

A.1 ارسم بنية المركبات من 4 إلى 9؛ يمكن إهمال الكيمياء الفراغية. استخدم "PMB" كمستبدِل بدلاً من رسم البنية الكاملة لـزمرةp-methoxybenzyl في المخطط أعلاه. 13pt

Q9-4

arabic (Syria)

في طيف الكتلة للمركب **1**، تم بوضوح ملاحظة قمة الأيون التي تتفق مع ديميره أي ($\mathbf{1}_2$)، في حين أنّه لم تتم ملاحظة قمة أيون لـ ($\mathbf{3}_2$) في طيف الكتلة للمركب **3**. في أطياف الرنين المغناطيسي النووي ^{1}H لمحلول من ($\mathbf{1}_2$)، تمّ ملاحظة أنّ كل البروتونات NH الآتية من المركب **1** يجب أن تكون متكافئة كيميائياً، وأنّ انزياحها الكيميائي كان مختلفاً بشكل معتبر عن تلك العائدة لبروتونات NH من المركب **3**. تشير هذه المعطيات إلى تشكل روابط هيدروجينية بين الأجزاء NH في المركب **1** والذرات X من جزيئة أخرى من المركب **1** لتشكيل كبسولة الديمير.

A.2	أحط كل الذرة (الذرات) **X** المناسبة في المركب **1**.	2pt

A.3	أعط عدد الروابط الهيدروجينية في كبسولة الديمير ($\mathbf{1}_2$).	2pt

Q9-5

arabic (Syria)

تتمتع الكبسولة الديميرية ($\mathbf{1}_2$) للمركب **1** بفراغ داخلي space internal ، يمكن أن تتم فيه كبسلة جزيئة صغيرة مناسبة Z . ويمكن التعبير عن هذه الظاهرة باستخدام المعادلة التالية:

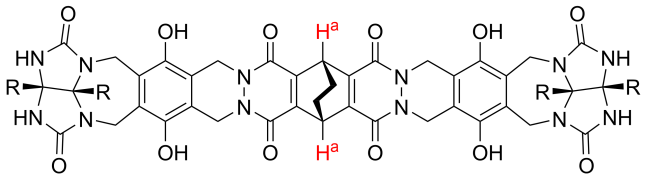
$$Z + \mathbf{1}_2 \rightarrow Z@\mathbf{1}_2 \quad (1)$$

ويعطى ثابت التوازن لكبسلة Z في $\mathbf{1}_2$ كما يلي:

$$K_a = \frac{[Z@\mathbf{1}_2]}{[Z][\mathbf{1}_2]} \quad (2)$$

يمكن تتبع كبسلة جزيئة ضمن كبسولة باستخدام مطيافية الرنين المغناطيسي النووي .NMR فعلى سبيل المثال أعطى $\mathbf{1}_2$ في C_6D_6 إشارات مختلفة في أطياف ^{1}H NMR قبل وبعد إضافة CH_4.

يشكل المركب **2** أيضاً كبسولة ديميرية قاسية وكبيرة ($\mathbf{2}_2$). تمّ قياس طيف ^{1}H NMR للكبسولة الديميرية $\mathbf{2}_2$ في C_6D_6، C_6D_5F ، وفي مزيج مذيبات C_6D_5F / C_6D_6، مع المحافظة على كل الشروط الأخرى ثابتة. ونلخص فيما يلي الانزياحات الكيميائية للبروتون H^a للمركب **2** في المذيبات المذكورة أعلاه، ولم تتم ملاحظة إشارات أخرى انطلاقاً من H^a في **2**، باستثناء المذكورة في القائمة. افترض أنّ داخل الكبسولة ممتلىء دائماً مع أكبر عدد ممكن من جزيئات المذيب، وأنّ كل إشارة تعود لنوع أو صنف واحد من الكبسولة الممتلئة.



2

مذيب	H^a of (ppm) δ
C_6D_6	4.60
C_6D_5F	4.71
C_6D_5F / C_6D_6	4.60, 4.71, 4.82

A.4	حدد عدد جزيئات C_6D_6 و C_6D_5F المتكبسلة في $\mathbf{2}_2$ معطياً كل إشارة H^a.	3pt

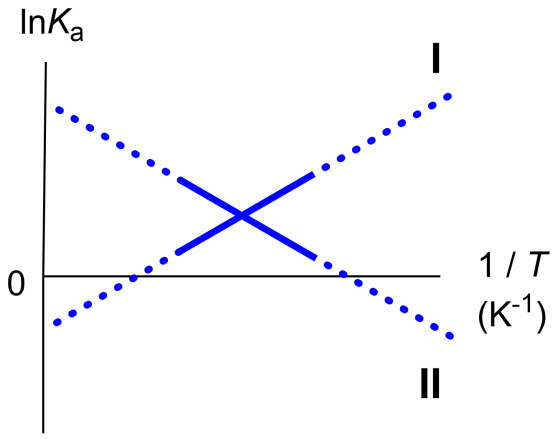
Q9-6

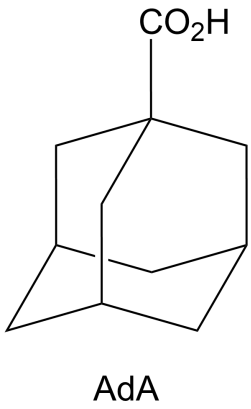
arabic (Syria)

كشفت قياسات ^{1}H NMR في C_6D_6 أنّ $\mathbf{2}_2$ يمكن أن يتضمن جزيئة واحدة من الحمض 1-adamantanecarboxylic (AdA) acid ، وجرى تحديد الثوابت الموافقة (K_a)، التي تمّ التعبير عنها فيما يلي، عند درجات حرارة مختلفة. حيث تشير [solvent@$\mathbf{2}_2$] إلى انواع حاوية على جزيئة مذيب واحدة أو أكثر

$$K_a = \frac{[Z@\mathbf{2}_2]}{[Z][\text{solvent}@\mathbf{2}_2]} \quad (3)$$

وبشكل مشابه، تمّ تحديد قيم K_a للـ CH_4والـ $\mathbf{1}_2$، المعطاة كما في المعادلة (2) عند درجات حرارة محتلفة في C_6D_6 ، عبر قياسات ^{1}H NMR. ونعرض فيما يلي رسم الخط البياني للثابتين الموافقين.($\ln K_a$ vs 1/T)





لم تتكبسل أي جزيئة من C_6D_6 في ($\mathbf{1}_2$). في الخط **II** ، يكون تغير الإنتروبي (ΔS) هو (1) وتغير الإنتالبي (ΔH) هو (2)، مشيراً إلى أنّ القوة المحركة للكبسلة في الخط (**II**) هي (3). وهكذا يتوافق الخط I مع (4)، في حين يتوافق الخط II مع (5).

A.5 اختر الخيارات الصحيحة في الفراغات من (1) إلى (5) في الفقرة التالية من A و B. 3pt

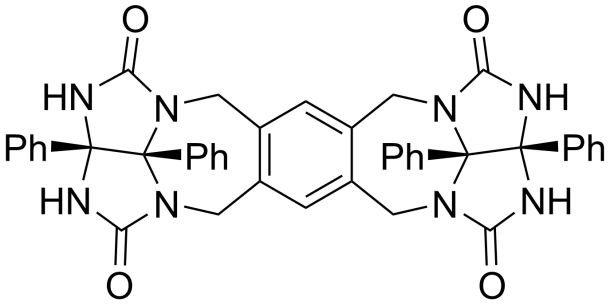
	A	B
(1)	positive	negative
(2)	positive	negative
(3)	ΔS	ΔH
(4)	CH_4 and $\mathbf{1}_2$	AdA and $\mathbf{2}_2$
(5)	CH_4 and $\mathbf{1}_2$	AdA and $\mathbf{2}_2$

Likes and Dislikes of Capsule

A.1 (13 pt)

4 (2 pt)	**5** (3 pt)
6 (2 pt)	**7** (2 pt)
8 (2 pt)	**9** (2 pt)

A.2 (2 pt)



A.3 (2 pt)

A.4 (3 pt)

δ (ppm) of H[a]	numbers of C_6D_6	numbers of C_6D_5F
4.60 ppm		
4.71 ppm		
4.82 ppm		

A.5 (3 pt)

(1) : (2) : (3) :

(4) : (5) :