

การแข่งขันเคมีโอลิมปิกระดับชาติ ครั้งที่ 17

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วันอาทิตย์ที่ 19 ธันวาคม 2564

เวลา 09.00 – 14.00 น.

ข้อสอบภาคทฤษฎี

เลขประจำตัวสอบ _____

คำชี้แจงการสอบภาคทฤษฎี

- ข้อสอบภาคทฤษฎีมี 13 ข้อ คะแนนรวม 120 คะแนน
- เอกสารข้อสอบภาคทฤษฎี มีทั้งหมด 2 ชุด ก่อนลงมือทำให้นักเรียนตรวจสอบเลขประจำตัวสอบในแต่ละชุดว่าเป็นหมายเลขเดียวกันทุกหน้า และตรงกับเลขประจำตัวสอบของผู้เข้าสอบ
 - ข้อสอบภาคทฤษฎี 1 ชุด จำนวน 22 หน้า (รวมปก คำชี้แจง คำที่กำหนดให้ และตารางธาตุ)
 - กระดาษคำตอบภาคทฤษฎี 1 ชุด จำนวน 33 หน้า (รวมปก)
- เอกสารทั้งสองชุดอยู่ในสภาพเรียบร้อย และในแต่ละชุดห้ามแยกหรือฉีกกระดาษออกจากกัน
- ลงมือทำข้อสอบได้เมื่อกรรมการคุมสอบประกาศให้ “ลงมือทำข้อสอบ” และเมื่อประกาศว่า “หมดเวลาสอบ” นักเรียนต้องหยุดทำข้อสอบทันที และวางเอกสารข้อสอบภาคทฤษฎีและกระดาษคำตอบภาคทฤษฎี อุปกรณ์เครื่องเขียน เครื่องคิดเลข ไม้บรรทัด และรอให้กรรมการเก็บข้อสอบก่อนออกจากห้องสอบ
- การทำข้อสอบ มีระเบียบดังนี้
 - ให้เขียนตอบในกระดาษคำตอบด้วยปากกาสีน้ำเงินที่วางไว้บนโต๊ะสอบเท่านั้น หากเขียนด้วยดินสอจะ ไม่ได้รับการตรวจ
 - ให้เขียนตอบในกระดาษคำตอบให้ตรงกับข้อ ในกรอบที่กำหนดให้เท่านั้น ห้ามเขียนนอกกรอบหรือด้านหลังของกระดาษคำตอบ
 - กรณีเขียนผิดให้ขีดฆ่า และเขียนใหม่ให้ชัดเจนภายในกรอบที่กำหนดให้ ห้ามลบด้วยน้ำยาหรือวัสดุลบคำผิด
 - ห้ามทบทวนหรือขีดเขียนอย่างอื่นในกระดาษคำตอบ หากจำเป็นให้ทบทวนหรือเขียนในกระดาษข้อสอบเท่านั้น
- โจทย์คำนวณให้แสดงวิธีคำนวณตามคำสั่งของโจทย์ในแต่ละข้อ กรณีคำตอบที่เป็นตัวเลข ให้ตอบเป็นเลขทศนิยม หรือเลขนัยสำคัญตามที่กำหนดในโจทย์แต่ละข้อ หากข้อใดไม่ระบุให้ตอบโดยคำนึงถึงเลขนัยสำคัญ
- อนุญาตให้รับประทานอาหารว่างที่วางไว้บนโต๊ะในระหว่างการสอบได้
- อนุญาตให้เข้าห้องน้ำในกรณีจำเป็นเท่านั้น โดยยกมือ ร้องกรรมการผู้คุมสอบอนุญาต (กรรมการลงบันทึกในใบบันทึกรายงานเหตุการณ์ในระหว่างการสอบ)
- ห้ามยืมเครื่องเขียนและเครื่องคิดเลขผู้อื่นโดยเด็ดขาด
- ห้ามนำเอกสารและอุปกรณ์ใด ๆ เข้าหรือออกจากห้องสอบโดยเด็ดขาด
- ห้ามพูดคุย หรือปรึกษากันในระหว่างทำการสอบ หากฝ่าฝืนถือว่าทุจริตในการสอบ กรณีทุจริตใด ๆ ก็ตาม นักเรียนจะหมดสิทธิ์ในการแข่งขัน และจะถูกให้ออกจากห้องสอบทันที

Physical Constants

Avogadro constant, N_A	= $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	Faraday's constant, F	= $96,485 \text{ C mol}^{-1}$
atomic mass unit, amu	= $1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$	mass of electron, m_e	= $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
charge of electron, e	= $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$	Planck constant, h	= $6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$
gas constant, R	= $0.0821 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$	speed of light in vacuum, c	= $3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
	= $8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$		

SI Unit Prefixes

p	n	μ	m	c	d	k	M	G
pico-	nano-	micro-	milli-	centi-	deci-	kilo-	mega-	giga-
10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^3	10^6	10^9

Conversions and Relationships

<i>Length (SI unit: m)</i>	<i>Volume (SI unit: m³)</i>	<i>Mass (SI unit: kg)</i>
1 inch = 2.54 cm (exactly)	1 L = 1 dm ³	1 ton = 1000 kg
1 Å = 10^{-10} m	1 mL = 1 cm ³	1 lb = 453.59237 g = 16 oz
<i>Pressure (SI unit: Pa)</i>	<i>Energy (SI unit: J)</i>	<i>Temperature (SI unit: K)</i>
1 Pa = 1 N m ⁻²	1 J = 1 kg m ² s ⁻²	$T/\text{K} = T/^{\circ}\text{C} + 273.15$
= 1 kg m ⁻¹ s ⁻²	= 1 N·m	$\frac{T/^{\circ}\text{C}}{5} = \frac{T/^{\circ}\text{F} - 32}{9}$
1 atm = 101.325 kPa	1 cal = 4.184 J	
= 760 mmHg = 760 torr	1 eV = 1.60×10^{-19} J	
1 bar = 10^5 Pa		

Formulae and Equations

Nernst's equation: $E = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln Q = E^\circ - \frac{0.0592}{n} \log Q$ ที่ 25 °C

Arrhenius's equation: $k = Ae^{-E_a/RT}$

Gibbs Free energy: $\Delta G^\circ = -nFE^\circ = -RT \ln K$

Heat transfer: $q = mc\Delta T$

Heisenberg's uncertainty principle: $(\Delta x)(\Delta p) \geq \frac{h}{4\pi}$

Amino acid	abbreviation		side chain R	pK _a	pI
alanine	A	Ala	-CH ₃	2.35, 9.87	6.11
aspartic acid	D	Asp	-CH ₂ COOH	1.88, 3.65, 9.60	2.77
glutamic acid	E	Glu	-CH ₂ CH ₂ COOH	2.10, 4.07, 9.47	3.08
phenylalanine	F	Phe	-CH ₂ C ₆ H ₅	1.83, 9.13	5.48
glycine	G	Gly	-H	2.35, 9.78	6.06
leucine	L	Leu	-CH ₂ CH(CH ₃) ₂	2.36, 9.60	5.98
serine	S	Ser	-CH ₂ OH	2.21, 9.15	5.68
valine	V	Val	-CH(CH ₃) ₂	2.32, 9.62	5.96

Periodic Table of the Elements

1																	18	
1 H 1.0	2	<div>atomic number</div> <div>Symbol</div> <div>atomic weight</div>										13		14	15	16	17	2
3 Li 6.9	4 Be 9.0											5 B 10.8	6 C 12.0	7 N 14.0	8 O 16.0	9 F 19.0	10 Ne 20.2	
11 Na 23.0	12 Mg 24.3											13 Al 27.0	14 Si 28.1	15 P 31.0	16 S 32.1	17 Cl 35.5	18 Ar 40.0	
19 K 39.1	20 Ca 40.1	21 Sc 45.0	22 Ti 47.9	23 V 50.9	24 Cr 52.0	25 Mn 54.9	26 Fe 55.8	27 Co 58.9	28 Ni 58.7	29 Cu 63.5	30 Zn 65.4	31 Ga 69.7	32 Ge 72.6	33 As 74.9	34 Se 79.0	35 Br 79.9	36 Kr 83.8	
37 Rb 85.5	38 Sr 87.6	39 Y 88.9	40 Zr 91.2	41 Nb 92.9	42 Mo 96.0	43 Tc (98)	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3	
55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57-71 *	72 Hf 178.5	73 Ta 181.0	74 W 183.8	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)	
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89-103 **	104 Rf (265)	105 Db (268)	106 Sg (271)	107 Bh (270)	108 Hs (277)	109 Mt (276)	110 Ds (281)	111 Rg (280)	112 Cn (285)	113 Nh (286)	114 Fl (289)	115 Mc (289)	116 Lv (293)	117 Ts (294)	118 Og (294)	
Lanthanoids*			57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm (145)	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0	
			89 Ac (227)	90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)	
Actinoids**																		

โจทย์ข้อที่ 1 (9 คะแนน)

พิจารณา ธาตุ M, D, R, T, X และ Z ต่อไปนี้

M	เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ทำปฏิกิริยากับน้ำได้แก๊ส เมื่อนำธาตุ M 1.752 g มาทำปฏิกิริยากับแก๊สคลอรีนมากเกินไปพอ ได้สารประกอบคลอไรด์ 3.172 g ซึ่งละลายน้ำได้
D	อยู่หมู่เดียวกับ M แต่มีมวลอะตอมน้อยที่สุด และไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ
R	มีความสัมพันธ์ตามแนวทแยงมุม (diagonal relationship) กับ D
T	อยู่ติดกับธาตุ R ในตารางธาตุ ถัดมาทางขวา สารประกอบออกไซด์ใช้ประโยชน์มากในงานก่อสร้าง
Z	อยู่ติดกับธาตุ R ในตารางธาตุ ถัดขึ้นไปข้างบน จุดหลอมเหลวของสารประกอบไฮไดรด์ของ Z เท่ากับ 49.9 °C
X	มีเลขอะตอมน้อยกว่า M อยู่ 3 มีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า และบาง species เกิดปฏิกิริยา disproportionation ได้

1.1 (2 คะแนน) เขียนสมการไอออนิกสุทธิที่เกิดจากการผสมสารต่อไปนี้ พร้อมดุล และระบุสถานะ ถ้าไม่เกิดปฏิกิริยาให้ระบุเหตุผล

1.1.1 ผสมสารละลายโซเดียมซัลเฟตกับสารละลายคลอไรด์ของ M

1.1.2 ผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางมาก (0.01 mol/L) กับสารละลายคลอไรด์ของ M

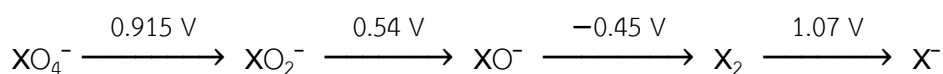
1.1.3 ผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นปานกลาง (2.0 mol/L) กับสารละลายคลอไรด์ของ M

1.1.4 เติมน้ำลงในสารประกอบไฮไดรด์ของ Z

กำหนดให้ สารละลายคลอไรด์ของ M ที่ใช้มีความเข้มข้น = 0.50 mol/L

$$K_{sp} \text{ ของไฮดรอกไซด์ของ M} = 3.2 \times 10^{-4}$$

1.2 (2 คะแนน) กำหนดค่า E° ของ X ที่มีเลขออกซิเดชันต่าง ๆ ในสารละลายเบสเป็นดังต่อไปนี้



species ใดเกิดปฏิกิริยา disproportionation ได้เอง เขียนสมการไอออนิกสุทธิ พร้อมดุล ระบุสถานะ และหาค่า E° ของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

1.3 (1 คะแนน) เขียนสูตรโครงสร้างของสารประกอบไฮไดรด์ของ T ที่มี T 3 อะตอมในโมเลกุล

1.4 (1 คะแนน) เขียนรูปแบบโครงสร้างสามมิติของสารประกอบออกไซด์ของ T ในสถานะปกติที่แสดงรูปร่างตามหลัก VSEPR รอบอะตอมทุกชนิดมาพอเข้าใจ

1.5 (1 คะแนน) ยกตัวอย่างความสัมพันธ์ตามแนวทแยงมุมระหว่างธาตุ D และ R มา 1 ตัวอย่าง

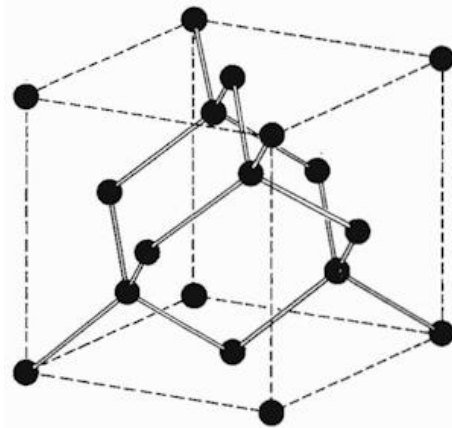
1.6 (1 คะแนน) เขียนการจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอมของธาตุ M

1.7 (1 คะแนน) เรียงลำดับค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีของธาตุ D, M, X, Z จากน้อยไปมาก

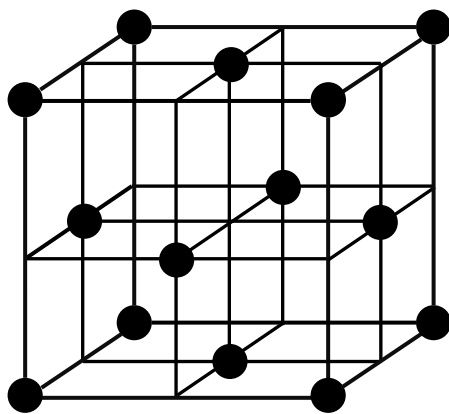
โจทย์ข้อที่ 2 (10 คะแนน)

ข้อมูลโครงสร้างผลึกของเพชรและฟูลเลอร์ีน (C_{60}) ซึ่งเป็นอีกรูปของคาร์บอน เป็นดังนี้

- (a) เพชรมีหน่วยเซลล์ (unit cell) เป็นแบบ face-centered cubic (FCC) โดยอะตอมคาร์บอนอยู่ที่จุดแลตทิซ (lattice point) และอาจมีอะตอมคาร์บอนอยู่ในช่องเททราฮีดรัลของหน่วยเซลล์ได้ด้วย ทำให้ความหนาแน่นของเพชรมีค่าอยู่ระหว่าง $3.01\text{--}3.52\text{ g/cm}^3$ โดยมีความหนาแน่นมากที่สุดเมื่ออะตอมคาร์บอนอยู่ในช่องเททราฮีดรัลแบบช่องเว้นช่อง ดังรูป

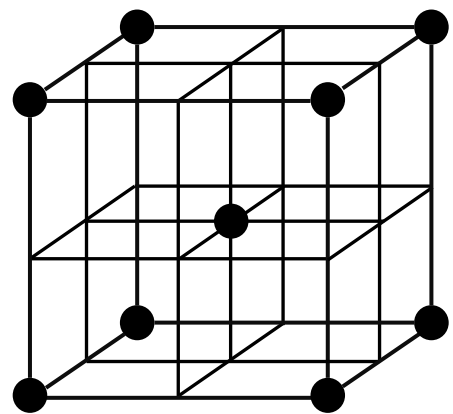


- (b) ฟูลเลอร์ีน (C_{60}) มีหน่วยเซลล์ได้ทั้งแบบ FCC และ body-centered cubic (BCC) โดยโมเลกุลของฟูลเลอร์ีนอยู่ที่จุดแลตทิซ ถ้าเติมหรือโด๊ปโลหะแอลคาไลบางชนิด เช่น K ลงไปในหน่วยเซลล์ของฟูลเลอร์ีนจะทำให้ alkali-doped fullerene มีสมบัติเป็นสารตัวนำยวดยิ่ง (superconductor)



โครงสร้างแบบ FCC

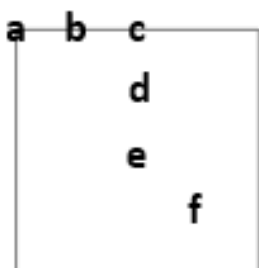
● โมเลกุล C_{60}



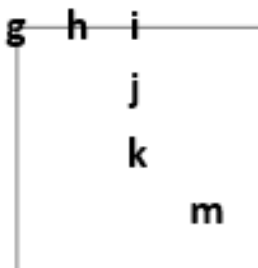
โครงสร้างแบบ BCC

- 2.1 (1.75 คะแนน) ในกรณีที่เพชรมีความหนาแน่นสูงสุด จำนวนอะตอมคาร์บอนในหน่วยเซลล์และความยาวของหน่วยเซลล์เป็นเท่าใด
- 2.2 (1.25 คะแนน) ในกรณีที่เพชรมีความหนาแน่นต่ำสุด และความยาวของหน่วยเซลล์ไม่เปลี่ยนแปลง จำนวนอะตอมคาร์บอนในหน่วยเซลล์เป็นเท่าใด

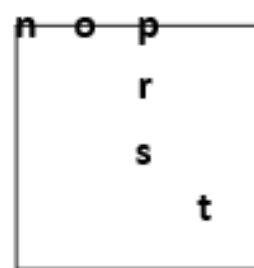
- 2.3 (2 คะแนน) ถ้าโลหะ K ที่ใช้โด๊ปเข้าไปอยู่ทั้งในช่องเทระฮีดรัลและช่องออกตะฮีดรัลของโครงสร้างแบบ FCC ครบทุกช่อง จากตัวเลือกบางตำแหน่ง (a-t) ตามแกน z ที่ให้ ตำแหน่งใดบ้างเป็นช่องเทระฮีดรัลและช่องออกตะฮีดรัล จำนวนอะตอมรวมของ K ในช่องว่างทั้งสองชนิดในหน่วยเซลล์ และอัตราส่วนอย่างง่ายของ K : C₆₀ มีค่าเท่าใด



$$z = \frac{1}{2}$$



$$z = \frac{3}{4}$$



$$z = 1$$

- 2.4 (1.5 คะแนน) ถ้าความยาวของหน่วยเซลล์ K-doped C₆₀ แบบ FCC เท่ากับ 1425.3 pm ความหนาแน่นของผลึกนี้เป็นเท่าใด
- 2.5 (2.25 คะแนน) ในกรณีที่ alkali-doped C₆₀ มีโครงสร้างแบบ BCC โลหะแอลคาไลชนิดอื่น (M) ที่โด๊ปลงไปอาจเข้าไปอยู่ในช่องออกตะฮีดรัลได้ครบทุกช่อง วาดรูปแสดงตำแหน่งของ M ที่ระยะต่าง ๆ ตามแกน z โดยใช้ • แทน M จำนวนอะตอมรวมของ M ในหน่วยเซลล์ และอัตราส่วนอย่างง่ายของ M : C₆₀ มีค่าเท่าใด
- 2.6 (1.25 คะแนน) ถ้า C₆₀ มีรัศมี van der Waals เท่ากับ 355 pm และ alkali-doped C₆₀ ที่มีโครงสร้างแบบ BCC มีโลหะแอลคาไล M อยู่ในช่องออกตะฮีดรัลทุกช่อง พบว่า C₆₀ และโลหะ M มีปริมาตรรวมเป็น 83.58 % ของปริมาตรของหน่วยเซลล์ ถ้าความยาวของหน่วยเซลล์เท่ากับ 1184.5 pm รัศมีอะตอมของโลหะ M เป็นเท่าใด

โจทย์ข้อที่ 3 (10 คะแนน)

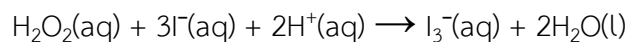
สารเชิงซ้อนคีเลตที่เกิดจากกรดอะมิโนทำประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น เป็นอาหารเสริมเมื่ออะตอมกลางเป็นแมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวเลือกไครัล (chiral selector) ในการแยกด้วยโครมาโทกราฟี ตัวเลือกไครัลที่น่าสนใจชนิดหนึ่งคือ สารประกอบเชิงซ้อนของคอปเปอร์กับ L-phenylalanine ซึ่งสามารถแยกสารละลายผสม D- และ L-isomers ของกรดแอลฟาอะมิโนต่าง ๆ ออกจากกันโดยผ่านกลไก chiral ligand exchange

ตอบคำถามต่อไปนี้โดยเขียนข้อสารด้วยตัวอักษรอังกฤษ ในการวาดรูปโครงสร้างให้แสดงสเตอริโอเคมีที่ชัดเจน และใช้สัญลักษณ์ R และ R' แทน side chain ของกรดอะมิโน

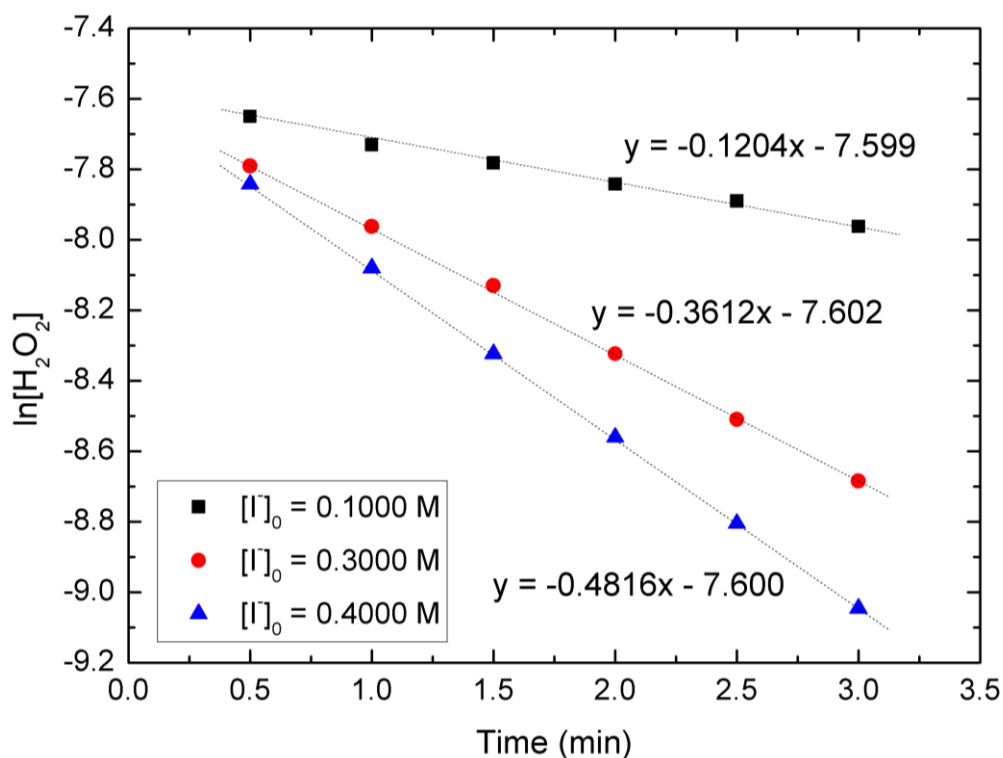
- 3.1 (3 คะแนน) ระบุสูตรและชื่อที่ระบุชนิดของไอโซเมอร์ (ถ้ามี) ของสารประกอบคีเลตออกเตฮีดรัล magnesium amino acid ที่เตรียมจากกรดแอสพาทิกในสารละลายเบส pH 10 ที่เป็นไปได้ทั้งหมด วาดรูปแสดงโครงสร้างโดยแสดง donor atoms ให้ชัดเจน ทั้งนี้ สามารถใช้เส้นแสดงส่วนที่เป็นคีเลตได้
- 3.2 (1 คะแนน) ในการเตรียมสารละลายตัวเลือกไครัลที่ pH 6 ปริมาตร 450 mL หากใช้คอปเปอร์(II)แอสซิเตต 1.25 mM ต้องใช้ L-phenylalanine กี่กรัม
- 3.3 (2 คะแนน) วาดรูปโครงสร้างสารเชิงซ้อนคีเลตในข้อ 3.2 ที่แสดง diastereomer พร้อมระบุชนิดของไอโซเมอร์ได้โครงสร้างโดยไม่ต้องเขียนข้อสาร
- 3.4 (2 คะแนน) เติมอิเล็กตรอน และเขียนชนิดของ d-orbital ในแผนภาพแสดงระดับพลังงาน พร้อมระบุรูปร่างของโครงสร้างในข้อ 3.3
- 3.5 (1 คะแนน) หากใช้สารละลายตัวเลือกไครัลเป็นตัวชะสารผสมของ aspartic acid, serine, leucine และ valine ที่มีทั้ง D- และ L-isomers ด้วยเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยปรับ pH ของตัวชะให้สูงขึ้น พบว่า aspartic acid เป็นสารชนิดแรก而出จากคอลัมน์ และ leucine ออกมาเป็นตัวสุดท้าย โดย D-isomer จะออกมาก่อน L-isomer เสมอ เรียงลำดับความสามารถของคอลัมน์ในการดูดซับสารเชิงซ้อนที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ของตัวเลือกไครัลกับกรดอะมิโนทั้ง 4 ชนิดนี้จากมากไปน้อย เมื่อ 1 คือ มากที่สุด และ 4 คือ น้อยที่สุด
- 3.6 (1 คะแนน) วาดรูปโครงสร้างของ heterochiral ของสารประกอบ ternary ของคอปเปอร์กับ L-phenylalanine และ D-serine จำนวน 1 โครงสร้าง

โจทย์ข้อที่ 4 (10 คะแนน)

การทดลองนาฬิกาไอโอดีน (iodine clock experiment) เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และไอโอดีนในสารละลายกรดดังสมการ

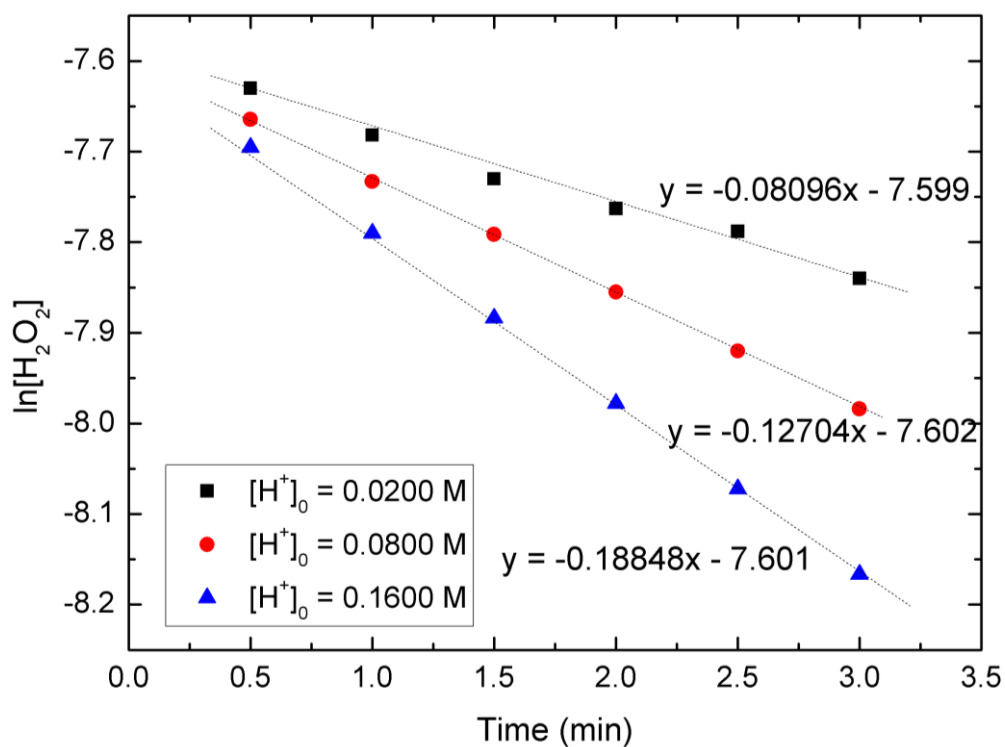


การศึกษาทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาข้างต้นทำได้โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในการทดลอง 3 ชุด แต่ละชุดมีความเข้มข้นเริ่มต้นของไอโอดีน $[\text{I}^-]_0$ แตกต่างกัน โดยมี $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 5.00 \times 10^{-4} \text{ M}$ และ $[\text{H}^+]_0 = 4.00 \times 10^{-2} \text{ M}$ ได้กราฟดังแสดง



- 4.1 (2.5 คะแนน) หาอันดับของปฏิกิริยานี้เมื่อเทียบกับ $[\text{H}_2\text{O}_2]$ และ $[\text{I}^-]$
- 4.2 (2 คะแนน) คำนวณค่าคงที่อัตราจากการทดลองข้างต้น ระบุหน่วยโดยใช้ความเข้มข้นในหน่วย M และเวลาในหน่วย min

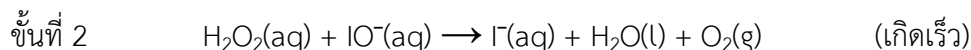
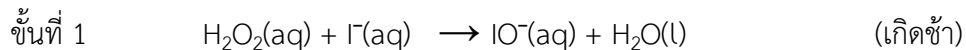
จากนั้น ทดลองเพิ่มอีก 3 ชุด แต่ละชุดมีความเข้มข้นเริ่มต้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ $[H^+]_0$ แตกต่างกันไป โดยมี $[H_2O_2]_0 = 5.00 \times 10^{-4} \text{ M}$ และ $[I^-]_0 = 8.00 \times 10^{-2} \text{ M}$ ได้กราฟดังแสดง



- 4.3 (3.5 คะแนน) พล็อตกราฟระหว่าง $-\text{slope}$ และ $[H^+]_0$ และเขียนกฎอัตราโดยแสดงค่าคงที่เป็นตัวเลขพร้อมหน่วย ระบุหน่วยโดยใช้ความเข้มข้นในหน่วย M และเวลาในหน่วย min
- 4.4 (2 คะแนน) อธิบายความหมายของกฎอัตราในข้อ 4.3 ที่สอดคล้องกับผลการทดลองทั้งหมดในเชิงกลไกของปฏิกิริยา

โจทย์ข้อที่ 5 (4.5 คะแนน)

พิจารณาการเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของ hydrogen peroxide (H_2O_2) ด้วย iodide ion (I^-) ซึ่งเกิดขึ้นตามกลไกดังนี้



กำหนดข้อมูลทางอุณหพลศาสตร์

พลังงานพันธะ / kJ mol^{-1}

I – O	H – O	O – O	O = O
201	459	142	494

เอนทัลปีมาตรฐานการเกิด / kJ mol^{-1}

และเอนโทรปีมาตรฐาน / $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$

ที่ 25°C

	$\text{I}^-(\text{aq})$	$\text{IO}^-(\text{aq})$	$\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	$\text{O}_2(\text{g})$
$\Delta_f H^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$	-55.19	-107.5	-191.17	-285.83	—
$S^\circ / \text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$	111.3	-5.44	143.9	69.91	205.14

- 5.1 (1.5 คะแนน) คำนวณเอนทัลปีของปฏิกิริยาในแต่ละขั้นย่อยโดยใช้ (a) พลังงานพันธะ และ (b) เอนทัลปีมาตรฐานการเกิด ระบุสาเหตุของความแตกต่างของค่าที่คำนวณได้จากทั้งสองวิธี
- 5.2 (2 คะแนน) คำนวณการเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปีมาตรฐาน ($\Delta_r H^\circ$) และเอนโทรปีมาตรฐาน ($\Delta_r S^\circ$) ของปฏิกิริยาการสลายตัวของ H_2O_2 ที่เร่งด้วย I^- รวมถึงงาน (w) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน ($\Delta_r U$) เมื่อเกิดแก๊สรวมทั้งสิ้น 1.00 โมล
- 5.3 (1 คะแนน) จากข้อมูลที่กำหนด สามารถสรุปเกี่ยวกับจลนพลศาสตร์และสมดุลเคมีสำหรับปฏิกิริยาการสลายตัวของ H_2O_2 นี้ได้ตรงกับข้อความใดบ้าง

โจทย์ข้อที่ 6 (11 คะแนน)

แสงซินโครตรอน คือ แสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากอิเล็กตรอนที่เลี้ยวโค้งด้วยความเร็วใกล้ความเร็วแสง มีความเข้มสูง และมีค่าพลังงานต่อเนื่องครอบคลุมช่วงพลังงานกว้างตั้งแต่ช่วงรังสีอินฟราเรดจนถึงรังสีเอกซ์ ทำให้สามารถใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงของเทคนิคทางสเปกโทรสโกปีได้หลากหลาย

กำหนดให้ เครื่องเร่งอนุภาคเร่งอิเล็กตรอนให้มีความเร็วเท่ากับ 2.70×10^7 m/s และพลังงานจลน์เปลี่ยนเป็นพลังงานแสงได้ทั้งหมด

- 6.1 (2.25 คะแนน) การผลิตรังสีที่มีความยาวคลื่น 1.000×10^3 Å จะต้องทำให้อิเล็กตรอนเลี้ยวโค้งแล้วมีความเร็วเท่าใด และเมื่ออิเล็กตรอนปลดปล่อยรังสีแล้ว จะมีความยาวคลื่นของเดอบรอยล์เป็นเท่าใด
- 6.2 (2.3 คะแนน) ถ้าแสงซินโครตรอนที่เกิดขึ้นจากข้อ 6.1 ชนกับผิวหน้าโลหะชนิดหนึ่งภายใต้สภาวะสุญญากาศ ทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนที่มีความเร็ว 1.73×10^6 m/s ถ้าไม่มีการสูญเสียพลังงานในขั้นตอนนี้
- 6.2.1 electron binding energy ของโลหะชนิดนี้มีค่าเท่าใดในหน่วยจูล
- 6.2.2 จากตารางแสดงค่า electron binding energy ของโลหะชนิดต่าง ๆ โลหะดังกล่าวควรเป็นโลหะใด
- 6.2.3 หากโฟโตอิเล็กตรอนที่ได้นี้มาจากอิเล็กตรอนชั้นนอกสุด เลขควอนตัมทั้งสิ้นที่เป็นไปได้ทั้งหมดของอิเล็กตรอนนี้เป็นเท่าใด

electron binding energy ของโลหะชนิดต่าง ๆ (eV)							
Se	5.90	Pb	4.25	Th	3.40	Sm	2.70
Te	4.95	Mn	4.10	Lu	3.30	Yb	2.60
Ru	4.71	Zr	4.05	Nd	3.20	Ba	2.52
Cr	4.50	Hf	3.90	Y	3.10	Na	2.36
Sn	4.42	As	3.75	Tb	3.00	Rb	2.26
Ti	4.33	Mg	3.66	Ca	2.87	Cs	1.95

- 6.3 (2.45 คะแนน) ถ้าอิเล็กตรอนในอะตอมของไฮโดรเจนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งด้วยเครื่องเร่งอนุภาค และมีความไม่แน่นอนของความเร็วอยู่ที่ 0.10 %
- 6.3.1 ความไม่แน่นอนของตำแหน่งอิเล็กตรอนเป็นเท่าใด และคิดเป็นอย่างน้อยกี่เท่าของขนาดอะตอม (กำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางของอะตอมไฮโดรเจน เท่ากับ 106 pm)
- 6.3.2 ถ้าต้องการให้ความไม่แน่นอนของตำแหน่งอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนไม่เกิน 1.00 pm จะทำให้ความไม่แน่นอนของการวัดความเร็วอิเล็กตรอนเป็นอย่างน้อยกี่เปอร์เซ็นต์
- 6.4 (4 คะแนน) จากการใช้แสงซินโครตรอนศึกษา CN^- (cyanide ion) พบว่า มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ใน highest occupied molecular orbital (HOMO) จำนวน 2 อิเล็กตรอน
- 6.4.1 เขียนแผนภาพออร์บิทัลเชิงโมเลกุล (MO diagram) ที่สอดคล้องกับผลการทดลองดังกล่าว โดยระบุสัญลักษณ์ของธาตุ สัญลักษณ์แสดงชนิดของออร์บิทัลเชิงโมเลกุล และบรรจุอิเล็กตรอนทั้งหมด
- 6.4.2 หากอิเล็กตรอนตัวหนึ่งใน HOMO ถูกกระตุ้นไปที่ lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) อันดับพันธะของ CN^- ในสถานะกระตุ้นเป็นเท่าใด

โจทย์ข้อที่ 7 (5.5 คะแนน)

แสงซินโครตรอนที่ผลิตได้นำมาสู่การค้นพบโครงสร้างผลึกแบบใหม่ของ L-tyrosine ethyl ester (L-TEE) ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD) โดยเก็บข้อมูลการเลี้ยวเบน (diffraction pattern) ที่ความดันและอุณหภูมิ (T) ต่าง ๆ พบว่า โครงสร้างของของแข็ง L-TEE เปลี่ยนแปลงเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ได้วัฏภาคใหม่ที่เรียกว่า “NEW” โดยความดันสูงสุดจากการทดลองที่ยังไม่เกิด NEW (P_{high}) และความดันต่ำสุดจากการทดลองที่มีเพียง NEW เท่านั้น (P_{low}) เป็นดังนี้

T / K	250	294	303	323	337
$P_{\text{high}} / \text{GPa}$	0.19	0.27	0.15	0.35	0.40
$P_{\text{low}} / \text{GPa}$	0.30	0.45	0.44	0.58	0.50

- 7.1 (1 คะแนน) จากผลการทดลอง สมการใดแสดงเส้นสมดุลระหว่างของแข็งทั้งสองวัฏภาคนี้อย่างดีที่สุด ลากเส้นที่เลือกพร้อมทั้งระบุวัฏภาคที่เสถียรในบริเวณต่าง ๆ ลงบนแผนผังวัฏภาคที่กำหนดให้ โดยความดันไอของ L-TEE ในช่วงอุณหภูมิ 100–500 K มีค่าไม่เกิน 0.01 MPa
- 7.2 (1 คะแนน) จุดรวมสาม (triple point) ที่เกิดขึ้น ระหว่างของแข็งทั้งสองวัฏภาคกับแก๊ส (T_{GS}) และระหว่างของแข็งทั้งสองวัฏภาคกับของเหลว (T_{LS}) พบได้ที่สภาวะใด
- 7.3 (2 คะแนน) หากเส้นสมดุลวัฏภาคที่ลากขึ้นมาใหม่เป็นไปตามความสัมพันธ์ Clausius–Clapeyron คำนวณการเปลี่ยนแปลงของเอนโทรปี (ΔS) และเอนทัลปี (ΔH) เมื่อ L-TEE เปลี่ยนวัฏภาคขณะทดลองที่ 294 K กำหนดให้ หนึ่งหน่วยเซลล์ประกอบด้วย 4 โมเลกุล และมีปริมาตร 1114 \AA^3 และ 1050 \AA^3 ตามลำดับ

$$\text{Clausius–Clapeyron Relation: } \frac{dP}{dT} = \frac{\Delta S}{\Delta V}$$

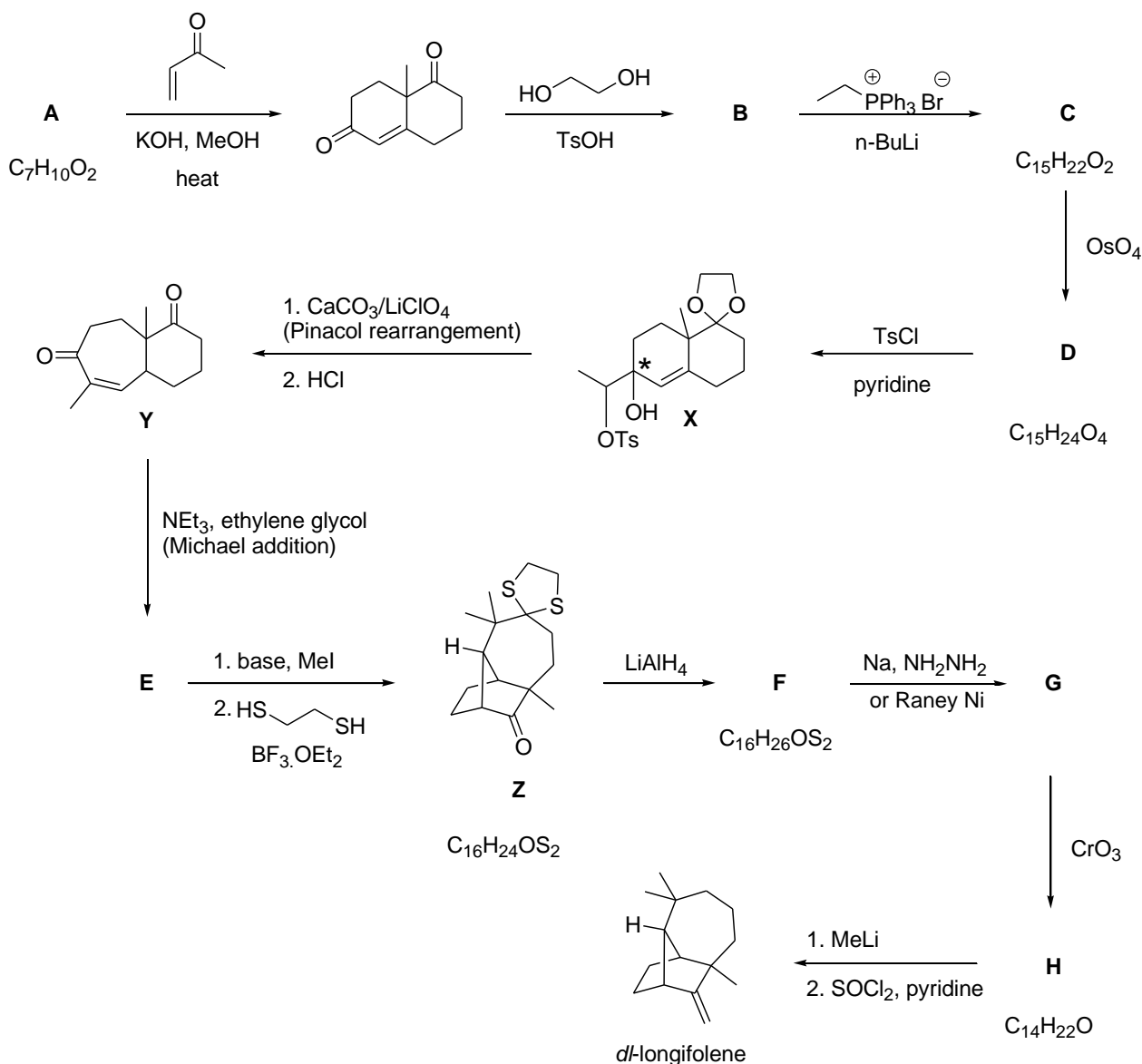
- 7.4 (1.5 คะแนน) หากของแข็งในวัฏภาคเดิม (S) หลอมเหลวที่ 376.42 K ด้วยการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี $31.846 \text{ kJ mol}^{-1}$ คำนวณเอนทัลปีการหลอมเหลวของวัฏภาค NEW ($\Delta_{\text{NEW} \rightarrow \text{L}} H$) ที่ความดันปกติ และประมาณค่าจุดหลอมเหลวนี้อีกจากสมการ

$$T_{\text{NEW} \rightarrow \text{L}} = \frac{\Delta_{\text{NEW} \rightarrow \text{S}} H - \Delta_{\text{L} \rightarrow \text{S}} H}{\frac{\Delta_{\text{NEW} \rightarrow \text{S}} H}{T_{\text{NEW} \rightarrow \text{S}}} - \frac{\Delta_{\text{L} \rightarrow \text{S}} H}{T_{\text{L} \rightarrow \text{S}}}}$$

โจทย์ข้อที่ 8 (10 คะแนน)

Longifolene is a tricyclic sesquiterpene, found primarily in the high-boiling fraction of certain pine resins. Due to its compact structure and lack of functional groups, longifolene becomes a challenging target for synthetic methodology research.

The following is the total synthesis of *dl*-longifolene published by Corey, *et al.*



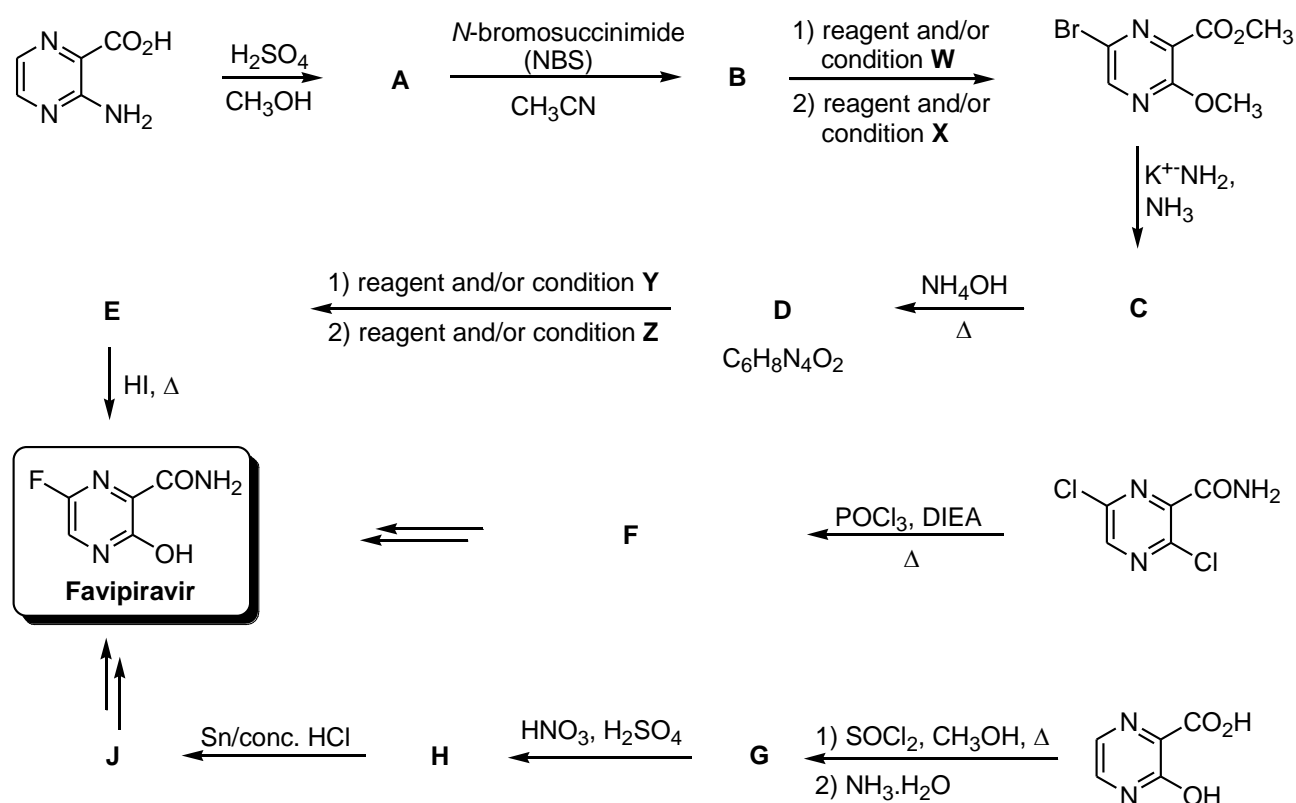
8.1 (8 points) Draw the structures of compounds A - H.

8.2 (1 point) Place an asterisk (*) on a carbon in compounds Y and Z that is derived from the carbon marked with * in compound X.

8.3 (1 point) Draw an arrow starting from a potential nucleophilic site to a potential electrophilic site to show the C-C bond formation in the Michael addition step in the conversion of compound Y to E.

โจทย์ข้อที่ 9 (10 คะแนน)

Favipiravir is one of the antiviral medicines being used with COVID-19 patients. Among various preparation methods available, some routes starting from different starting materials are outlined below.



9.1 (8 points) Draw correct structures of Compounds A-J.

9.2 (2 points) What are the reagents and/or conditions W-Z?

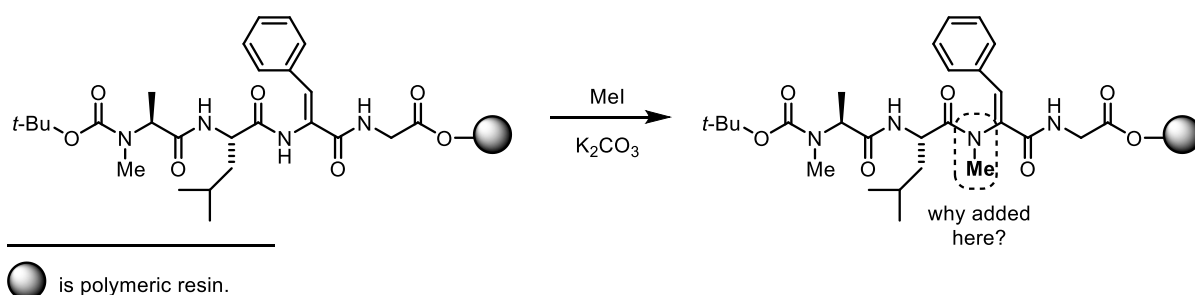
โจทย์ข้อที่ 10 (10 คะแนน)

Tentoxin is a metabolite that is synthesized from the pathogenic fungus *Alternaria tenuis* Ness. Tentoxin is unique in its cyclic structure (see the structure in the answer sheet) with an unnatural amino acid.

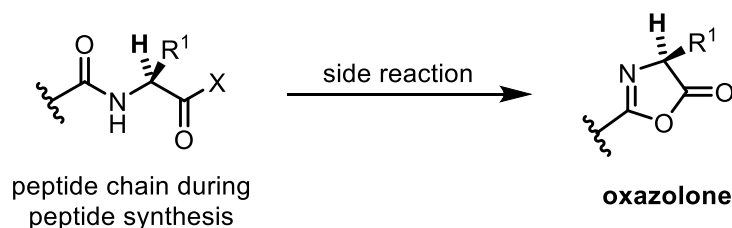
10.1 (1 point) Locate the peptide bond(s) by drawing an arrow pointing to each.

10.2 (1 point) Determine the absolute configuration of all stereogenic center(s) by writing *R* or *S* nearby each center.

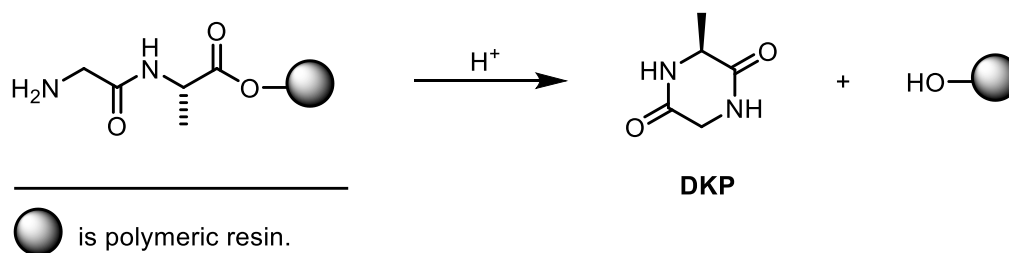
10.3 (2 points) Jimenez and coworkers reported a synthesis of tentoxin by solid phase peptide synthesis. During the synthesis, there is a step that adds a methyl group selectively to the target nitrogen atom. Explain, with drawings, why the methyl group was added to only this nitrogen, but not on other nitrogen atoms.



10.4 (2 points) Epimerization is a stereoisomerization that is caused by the conversion of a stereogenic center to the opposite configuration. This is commonly found at the stereogenic centers that contain an acidic proton such as that at the α -position of amino acids. Therefore, epimerization can be found in peptide synthesis where either bases or acids are present. However, it was found that oxazolone, a side product formed during peptide synthesis, is more likely to epimerize than normal amino acids. Explain, with drawings, why it is easier for epimerization to occur in oxazolone.



- 10.5 (2 points) Another known side product is called diketopiperazine (DKP). Write a mechanism to show how the starting molecule is changed to the product.



- 10.6 (2 points) Rank the order of R_f values of tentoxin, Derivative **A**, and Derivative **B** if all of them are analyzed by paper chromatography with 9 : 1 acetone : water as a mobile phase. Also explain your reason.

Derivative **A** = tentoxin with glutamic acid as a peptide unit instead of glycine

Derivative **B** = tentoxin with leucine instead of glycine.

โจทย์ข้อที่ 11 (10 คะแนน)

ในปี พ.ศ. 2558 เกิดเหตุน้ำประปาปนเปื้อนในเมืองฟลินท์ รัฐมิชิแกน สหรัฐอเมริกา จากการสอบสวนพบว่า ระบบประปาในเมืองนี้ใช้ท่อตะกั่ว ทำให้เกิดปฏิกิริยาหนึ่งที่สำคัญคือ



สมดุลการละลายของผลิตภัณฑ์ Pb(OH)_2 ทำให้เกิด Pb^{2+} ปนเปื้อนในน้ำ โดยในหมู่บ้านหนึ่งพบความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำประปาสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานถึงเกือบพันเท่า

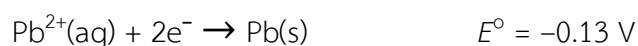
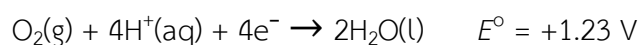
กำหนดให้ ที่ 25 °C

$$K_w \text{ ของน้ำ} = 1.00 \times 10^{-14}$$

$$K_{sp} \text{ ของ lead(II) phosphate} = 9.90 \times 10^{-55}$$

$$K_{sp} \text{ ของ lead(II) hydroxide} = 1.40 \times 10^{-20}$$

$$K \text{ ของปฏิกิริยาระหว่าง } \text{Pb}^{2+} \text{ กับ dithizone (L)} = 7.00 \times 10^7$$



11.1 (4 คะแนน) คำนวณค่าคงที่สมดุลที่ 25 °C ของปฏิกิริยาข้างต้น จากข้อมูลที่กำหนดให้

11.2 (2.25 คะแนน) หนึ่งในวิธีป้องกันการละลายของตะกั่วในระบบประปาคือการเติมฟอสเฟตไอออน ซึ่งทำให้เกิด lead(II) phosphate เคลือบผิวท่อประปา คำนวณความเข้มข้นของ Pb^{2+} ในสารละลายอิ่มตัวของ lead(II) phosphate ในหน่วย ppb หากไม่พิจารณาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของฟอสเฟตไอออน

11.3 (0.5 คะแนน) หาก pH ของน้ำลดลง จะทำให้ความเข้มข้นของ Pb^{2+} จากการละลายของ lead(II) phosphate เปลี่ยนไปอย่างไร

การเติมลิแกนด์ที่สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับ Pb^{2+} แล้วแยกสารเชิงซ้อนออก สามารถลดปริมาณตะกั่วจากน้ำเสียได้ พิจารณา dithizone (โครงสร้างดังรูป) ซึ่งเป็น bidentate ligand มี $\text{pK}_a = 4.7$ และสามารถเกิดสารเชิงซ้อนที่เป็นสี่เหลี่ยมแบนราบ (square planar) กับ Pb^{2+} ได้ในภาวะเบส



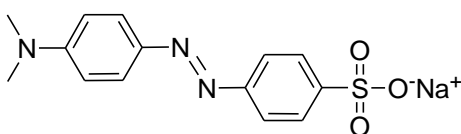
11.4 (0.75 คะแนน) เขียนสูตรเคมีของสารเชิงซ้อนระหว่าง Pb^{2+} กับ dithizone โดยใช้สัญลักษณ์ L แทน dithizone ให้แสดงเฉพาะสูตรโมเลกุล ไม่ต้องแสดงสูตรโครงสร้าง

11.5 (2.5 คะแนน) เก็บตัวอย่างน้ำเสีย 10.0 L จากแหล่งน้ำแห่งหนึ่ง ซึ่งมี Pb^{2+} เข้มข้น 10 μM คำนวณว่าจะต้องเติม dithizone เข้มข้น 0.10 M ปริมาตรเท่าใด เพื่อให้ที่สมดุลมี Pb^{2+} เกิดเป็นสารเชิงซ้อนครึ่งหนึ่ง สมมติให้ปริมาตรรวมของน้ำเสียไม่เปลี่ยนแปลง

โจทย์ข้อที่ 12 (9 คะแนน)

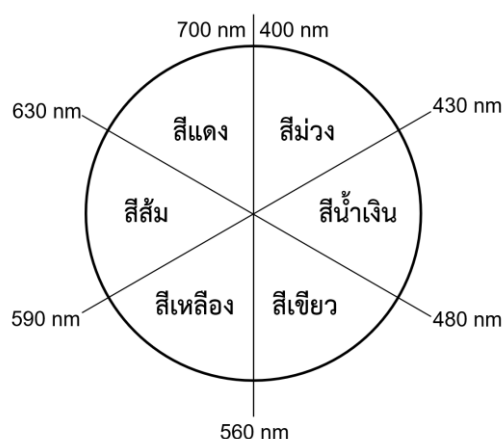
ผ้าไหมโคราชเป็นสินค้าศิลปหัตถกรรมที่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายของจังหวัดนครราชสีมา ดังคำขวัญประจำจังหวัดที่ว่า “เมืองหญิงกล้า ผ้าไหมดี หมี่โคราช ปราสาทหิน ดินด่านเกวียน”

Methyl orange เป็นอินดิเคเตอร์กรด-เบส ($pK_{in} = 3.47$) ซึ่งรูปกรดมีสีแดง ส่วนรูปเบสมีสีเหลือง สามารถใช้ย้อมผ้าไหมให้มีสีเหลืองได้โดยปรับ pH ให้เหมาะสม เพื่อให้ย้อมสีได้ติดทนนาน

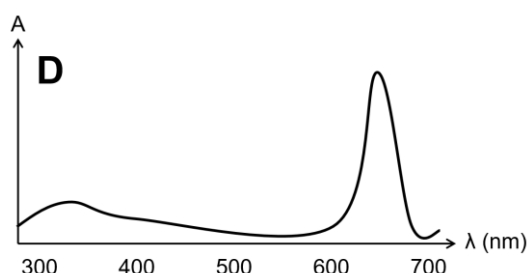
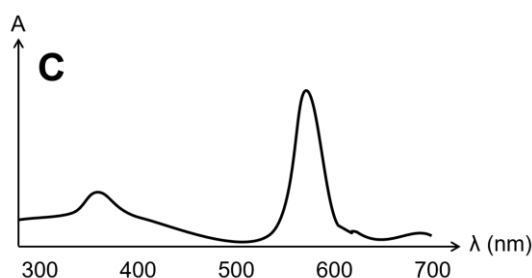
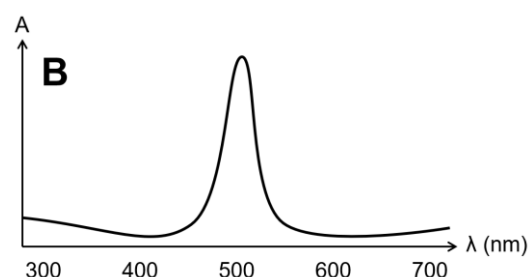
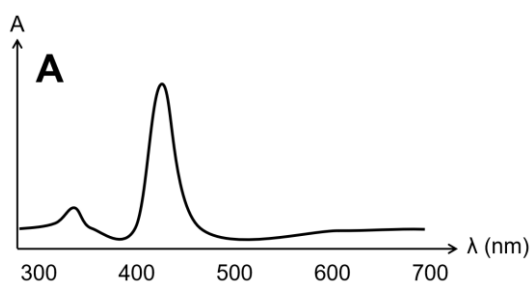


methyl orange ในรูปเกลือโซเดียม (มวลโมเลกุล 327.3)

กำหนดวงล้อสี (color wheel) เป็นดังนี้

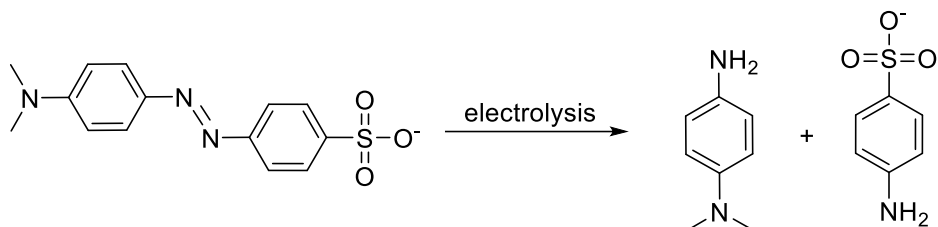


12.1 (1 คะแนน) ระบุสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ methyl orange ในรูปกรดและรูปเบส จากตัวเลือกต่อไปนี้



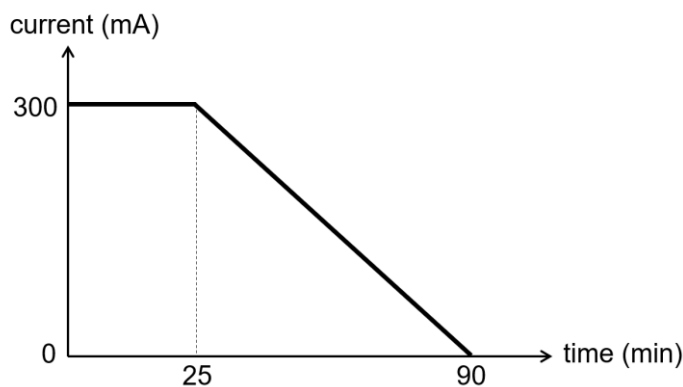
- 12.2 (2.25 คะแนน) โครงสร้างทางเคมีของเส้นไหมนั้นเป็นโปรตีนที่ประกอบจากพอลิเพปไทด์ Ala-Gly-Ser-Gly-Ala-Gly ระบุประจุของพอลิเพปไทด์นี้ที่ pH 2.0, pH 5.0 และ pH 10.0 จากนั้นเลือก pH ที่เหมาะสมที่สุดในการย้อมผ้าไหมให้มีสีเหลือง พร้อมอธิบายเหตุผล

การแยกสลายด้วยไฟฟ้า (electrolysis) สามารถกำจัด methyl orange ที่เหลือในน้ำเสียได้ ดังสมการ



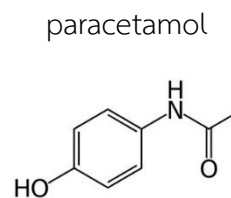
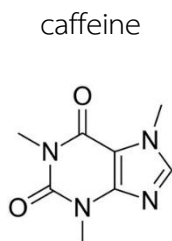
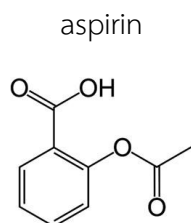
โดย methyl orange 1 โมล เกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอน 4 โมล

- 12.3 (2.75 คะแนน) การแยกสลายด้วยไฟฟ้าของ methyl orange นี้เป็นปฏิกิริยารีดักชันหรือออกซิเดชัน อะตอมใดมีสถานะออกซิเดชันเปลี่ยนแปลง และเปลี่ยนแปลงอย่างไร
- 12.4 (3 คะแนน) เมื่อนำน้ำเสียที่มี methyl orange เข้มข้น 0.797 mM ปริมาตร 10.0 L มาแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ แล้ววัดกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเซลล์ตามเวลาได้ดังรูป หากกระแสไฟฟ้าในเซลล์เกิดจากการแยกสลาย methyl orange ด้วยไฟฟ้าเท่านั้น ร้อยละของ methyl orange ที่ลดลงเป็นเท่าใด



โจทย์ข้อที่ 13 (11 คะแนน)

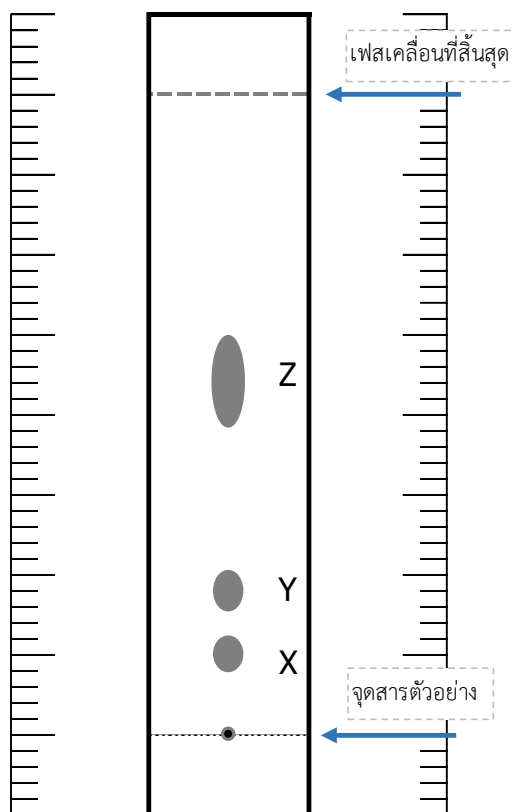
ยาบรรเทาอาการปวดศีรษะและไมเกรน มีส่วนประกอบหลัก 3 ชนิด คือ aspirin, caffeine และ paracetamol โครงสร้างดังแสดง



นำไปวิเคราะห์ปริมาณของส่วนประกอบหลัก โดยทำการทดลองดังนี้

ตอน A

- ชั่งน้ำหนักยา รวม 10 เม็ด ได้ 6.7600 g บดยาทั้งหมด ให้ละเอียด
- แบ่งยาที่บดแล้วมาเล็กน้อย ละลายใน ethyl acetate วิเคราะห์องค์ประกอบของยาด้วย TLC (thin layer chromatography) ที่มีเฟสคงที่ชนิดซิลิกาเจล (silica gel) และเฟสเคลื่อนที่เป็น hexane : ethyl acetate : acetic acid (15:9:1) พบจุดสารที่ตำแหน่ง X, Y, Z บนแผ่น TLC แสดงพร้อมสเกลดังรูป โดยที่ aspirin มีค่า R_f มากที่สุด และ caffeine มีค่า R_f น้อยที่สุด



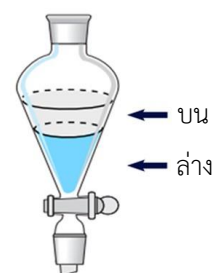
13.1 (0.5 คะแนน) คำนวณค่า R_f ของสารที่ตำแหน่ง Z

13.2 (0.5 คะแนน) หากเปลี่ยนเฟสเคลื่อนที่เป็น hexane : ethyl acetate : acetic acid (37:11:2) ค่า R_f ของสารที่ตำแหน่ง Y จะเป็นอย่างไร การแยกแยะสารที่ตำแหน่ง X และ Y จะเป็นอย่างไร

ตอน B

- ชั่งยาที่บดแล้ว 1.5022 g ละลายใน ethyl acetate 25 mL แล้วเทสารละลายทั้งหมดลงในกรวยแยก (separatory funnel) เติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 6.50 ปริมาตร 25 mL เขย่า แยกชั้นน้ำ (aq1) ออกมาเก็บในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 250 mL เติมน้ำจนถึงขีดปริมาตร (ขวด B1) และใส่ชั้น ethyl acetate ไว้ในกรวยแยกเดิม
- เติมสารละลาย 1 M NaOH 25 mL ลงในกรวยแยกที่มีชั้น ethyl acetate เขย่า แยกชั้นน้ำ (aq2) และชั้น ethyl acetate จากกัน นำสารละลายแต่ละชั้นไปปรับภาวะให้เหมาะสมและกำจัดตัวทำละลายออก พบว่า ได้ของแข็งน้ำหนัก 0.5511 g จากชั้นน้ำ และ 0.1356 g จากชั้น ethyl acetate

13.3 (0.25 คะแนน) สารละลาย aq1 อยู่ชั้นบนหรือชั้นล่างในกรวยแยกดังรูป



- 13.4 (0.25 คะแนน) ก่อนเติม NaOH ลงในกรวยแยก หากนำชั้น ethyl acetate มาวิเคราะห์ด้วย TLC จะไม่พบจุดสารที่ตำแหน่งใดบ้าง
- 13.5 (3.5 คะแนน) กำหนดสารเคมีให้ดังนี้ H_3PO_4 (98.0 g/mol, 85% w/w, density 1.69 g/mL); $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (138.0 g/mol); $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (268.0 g/mol); Na_3PO_4 (164.0 g/mol) เลือกสารที่เหมาะสมและระบุปริมาณที่ใช้ เพื่อเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.50 เข้มข้น 0.10 M ปริมาตร 500 mL
- ค่าคงที่การแตกตัวของกรดฟอสฟอริก: $K_{a1} = 7.11 \times 10^{-3}$; $K_{a2} = 6.31 \times 10^{-8}$; $K_{a3} = 4.2 \times 10^{-13}$

ตอน C

- นำสารละลายในขวด B1 ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางสเปกโทรสโกปี โดยปิเปตสารละลายจากขวด B1 ปริมาตร 4.00 mL ใส่ลงในขวดกำหนดปริมาตร 100 mL (ขวด B2) เติม reagent ปรับภาวะให้เหมาะสม และเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร นำสารละลายขวด B2 ไปวัดค่า absorbance ได้ 0.720
 - วัดค่า absorbance ของสารมาตรฐานเดียวกันในช่วงความเข้มข้น 1.40×10^{-4} ถึง 7.00×10^{-4} M ได้สมการของกราฟมาตรฐาน คือ $y = 1535.7x - 0.017$
- 13.6 (1 คะแนน) ความเข้มข้นของสารในขวด B1 และ B2 ในหน่วย M เป็นเท่าใด
- 13.7 (5 คะแนน) คำนวณปริมาณ aspirin, caffeine และ paracetamol ที่วิเคราะห์ได้เป็น mg ต่อยา 1 เม็ด (ตอบเป็นเลขจำนวนเต็ม)