Efnafræðifélag Íslands

21. Landskeppnin í efnafræði

Úrslitakeppni - fræðilegur hluti

2. apríl 2022, kl. 9:00-12:15

Nafn:_____

Kennitala:_____

Almennar leiðbeiningar

- Ekki opna verkefnaheftið fyrr en þú hefur fengið merki.
- **Lestur prófs:** Þú hefur 15 mínútur til að lesa þetta hefti áður en þú byrjar að vinna. Ekki skrifa eða reikna á þessum tíma. Merki verður gefið þegar 15 mínútna lestrartíma er lokið. Þá hefur þú 3 klst til að ljúka verkefninu.
- **Dæmin eru alls sjö og vega þau öll jafnt, en sex dæmi gilda. Dæmi 1-4 eru skyldudæmi en valin verða til stiga þau tvö dæmi sem eru best leyst af dæmum 5-7 (val).** Þú mátt semsagt sleppa að leysa eitt af dæmum 5-7 ef þú kýst svo.
- Verkefnið er á **18** tölusettum blaðsíðum, auk forsíðu og formúlublaðs. Athugaðu að svo sé.
- Einu leyfilegu hjálpargögnin eru óforritanlegar reiknivélar auk lotukerfis og formúlublaðs sem verkefninu fylgja.
- Verkefnunum skal svarað í verkefnaheftið (þetta hefti hér). Ekki verður farið yfir rissblöð.
- Verkefnin eru öll í nokkrum liðum. Ef einhverjum lið er svarað rangt og svarið notað í síðari liðum verður ekki dregið frá í seinni liðum svo framarlega sem útreikningarnir séu réttir.
- Gangi þér vel og góða skemmtun.

Helstu formúlur og fastar

Δx	$=$	$\sum_{\text{myndefni}} x - \sum_{\text{hvarfefni}} x$	pV	$=$	nRT
ΔG	$=$	$\Delta H - T\Delta S$	p	$=$	$\sum_i p_i$
ΔG°	$=$	$\Delta H^\circ - T\Delta^\circ S$	q	$=$	$c_{sp} m \Delta T$
ΔG°	$=$	$-RT \ln K$	pH	$=$	$-\log [H_3O^+]$
ΔG	$=$	$\Delta G^\circ + RT \ln Q$	pK_a	$=$	$-\log K_a$
ΔG°	$=$	$-nFE^\circ$	$[H_3O^+]$	$=$	$\frac{K_a}{2}\left(-1 + \sqrt{1 + \frac{4C_{\text{HA}}}{K_a}}\right)$
ΔG	$=$	$-nFE$	pH	$=$	$pK_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$
E	$=$	$E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln Q$	E	$=$	$\frac{hc}{\lambda}$
k	$=$	$A\, e^{-\frac{E_a}{RT}}$	$V_{\text{kúla}}$	$=$	$\frac{4}{3}\pi r^3$
E	$=$	$h\nu$	$[A]_t$	$=$	$-kt + [A]_0$ (0. stigs hvarf)
$t_{1/2}$	$=$	$\frac{[A]_0}{2k}$ (0. stigs hvarf)	$\ln[A]_t$	$=$	$-kt + \ln[A]_0$ (1. stigs hvarf)
$t_{1/2}$	$=$	$\frac{0{,}693}{k}$ (1. stigs hvarf)	$\frac{1}{[A]_t}$	$=$	$kt + \frac{1}{[A]_0}$ (2. stigs hvarf)
$t_{1/2}$	$=$	$\frac{1}{k[A]_0}$ (2. stigs hvarf)	1 bar	$=$	0,9869 atm
N_A	$=$	$6{,}0223 \times 10^{23}$ mól^{-1}	1 atm	$=$	760 mmHg
R	$=$	$8{,}31451$ J·K^{-1}·mól^{-1}	K_w	$=$	$1{,}00\times10^{-14}$
	$=$	$0{,}08206$ L·atm·K^{-1}·mól^{-1}	1 kal	$=$	4,186 J
F	$=$	96485 J·V^{-1}·mól^{-1}	u (*amu*)	$=$	$1{,}661\times10^{-27}$ kg
e	$=$	$1{,}602\times10^{-19}$ C	m_p	$=$	$1{,}673\times10^{-27}$ kg
h	$=$	$6{,}626\times10^{-34}$ J·s	m_e	$=$	$9{,}109\times10^{-31}$ kg
c	$=$	$2{,}998\times10^{8}$ m·s^{-1}			

Lotukerfið

1 **H** hydrogen 1,008																	2 **He** helium 4,003
3 **Li** lithium 6,941	4 **Be** beryllium 9,012											5 **B** boron 10,81	6 **C** carbon 12,01	7 **N** nitrogen 14,01	8 **O** oxygen 16,00	9 **F** fluorine 19,00	10 **Ne** neon 20,18
11 **Na** sodium 22,99	12 **Mg** magnesium 24,31											13 **Al** aluminum 26,98	14 **Si** silicon 28,09	15 **P** phosphorus 30,97	16 **S** sulfur 32,07	17 **Cl** chlorine 35,45	18 **Ar** argon 39,95
19 **K** potassium 39,10	20 **Ca** calcium 40,08	21 **Sc** scandium 44,96	22 **Ti** titanium 47,88	23 **V** vanadium 50,94	24 **Cr** chromium 52,00	25 **Mn** manganese 54,94	26 **Fe** iron 55,85	27 **Co** cobalt 58,93	28 **Ni** nickel 58,69	29 **Cu** copper 63,55	30 **Zn** zinc 65,39	31 **Ga** gallium 69,72	32 **Ge** germanium 72,61	33 **As** arsenic 74,92	34 **Se** selenium 78,96	35 **Br** bromine 79,90	36 **Kr** krypton 83,80
37 **Rb** rubidium 85,47	38 **Sr** strontium 87,62	39 **Y** yttrium 88,91	40 **Zr** zirconium 91,22	41 **Nb** nubidium 92,91	42 **Mo** molybdenum 95,94	43 **Tc** technetium (98)	44 **Ru** ruthenium 101,1	45 **Rh** rhodium 102,9	46 **Pd** palladium 106,4	47 **Ag** silver 107,9	48 **Cd** cadmium 112,4	49 **In** indium 114,8	50 **Sn** tin 118,7	51 **Sb** antimony 121,8	52 **Te** tellurium 127,6	53 **I** iodine 126,9	54 **Xe** xenon 131,3
55 **Cs** caesium 132,9	56 **Ba** barium 137,3	71 **Lu** lutetium 175,0	72 **Hf** hafnium 178,5	73 **Ta** tantalum 180,9	74 **W** tungsten 183,8	75 **Re** rhenium 186,2	76 **Os** osmium 190,2	77 **Ir** iridium 192,2	78 **Pt** platinum 195,1	79 **Au** gold 197,0	80 **Hg** mercury 200,6	81 **Tl** thallium 204,4	82 **Pb** lead 207,2	83 **Bi** bismuth 209,0	84 **Po** polonium (209)	85 **At** astatine (210)	86 **Rn** radon (222)
87 **Fr** francium (223)	88 **Ra** radium 226	103 **Lr** lawrencium (262)	104 **Rf** rutherfordium (261)	105 **Db** dubnium (262)	106 **Sg** seaborgium (266)	107 **Bh** bohrium (264)	108 **Hs** hassium (269)	109 **Mt** meitnerium (268)	110 **Ds** darmstadtium (281)	111 **Rg** roentgenium (272)	112 **Cn** copernicium (285)	113 **Uut** ununtrium	114 **Fl** flerovium (289)	115 **Uup** ununpentium	116 **Lv** livermorium (293)	117 **Uus** ununseptium	118 **Uuo** ununoctium
				57 **La** lanthanum 138,9	58 **Ce** cerium 140,1	59 **Pr** praseodymium 140,9	60 **Nd** neodymium 144,2	61 **Pm** promethium (145)	62 **Sm** samarium 150,4	63 **Eu** europium 152,0	64 **Gd** gadolinium 157,3	65 **Tb** terbium 158,9	66 **Dy** dysprosium 162,5	67 **Ho** holmium 164,9	68 **Er** erbium 167,3	69 **Tm** thulium 168,9	70 **Yb** ytterbium 173,0
				89 **Ac** actinium (227)	90 **Th** thorium 232,0	91 **Pa** protactinium 231,0	92 **U** uranium 238,0	93 **Np** neptunium (237)	94 **Pu** plutonium (244)	95 **Am** americium (243)	96 **Cm** curium (247)	97 **Bk** berkelium (247)	98 **Cf** californium (251)	99 **Es** einsteinium (252)	100 **Fm** fermium (257)	101 **Md** mendelevium (258)	102 **No** nobelium (259)

Dæmi 1 Nitrýl flúoríð (skylda)

Nitrýl flúoríð er hvarfgjarnt gas sem er m.a. notað í eldflaugaeldsneyti. Massahlutfall frumefna í nitrýl flúoríð er eftirfarandi:

Frumefni	massaprósenta
N	21,55%
O	49,23%
F	29,23%

Eðlismassi efnisins er 2,7 g/L við 20 °C og 1,00 atm þrýsting.

a) Hver er reynsluformúla nitrýl flúoríðs?

b) Hver er mólmassi nitrýl flúoríðs?

c) Hver er sameindaformúla nitrýl flúoríðs?

d) Teiknið allar mögulegar Lewis myndir af efninu þar sem formleg hleðsla allra atóma kemur fram. (Ef ekki tókst að leysa liði a-c skal vinna liði d-g með efnasambandið SO_2).

e) Hver er svigrúmabröndun miðatómsins?

f) Hver er þrívíddarlögun sameindarinnar og hversu stór eru tengjahornin?

g) Er sameindin skautuð? Gerðu grein fyrir svari þínu.

Dæmi 2 Líf á Mars? (skylda)

Í maí 2021 lenti kínverski geimkanninn Zhurong á rauðu plánetunni Mars. Rannsóknir geimkannans leiddu í ljós að lofthjúpur plánetunnar samanstendur aðallega af CO_2 (95,3%), N_2 (2,7%), Ar (1,6%), O_2 (0,15%) og H_2O (0,03%) en í lofthjúpnum er einnig metan (CH_4) í snefilmagni. Þar sem örverur framleiða metan gæti tilvist þess verið vísbending um líf á plánetu, en metan getur þó líka myndast úr ólífrænum efnum.

a) Hingað til hafa engin merki fundist um líf á Mars og því er líklegast að metangasið eigi sér ólífrænan uppruna. Plánetan er rík af Fe_2SiO_4 sem getur hvarfast við gös í lofthjúpnum, en við hvarfið myndast magnetít (Fe_3O_4), SiO_2 og CH_4. Skrifaðu stillta efnajöfnu fyrir þetta hvarf.

b) Þvermál Mars er 6796 km og lofthjúpurinn er 200 km þykkur.
Hvert er rúmmál lofthjúpsins í m^3?

c) Zhurong mældi að styrkur metans í lofthjúpnum hefur aukist úr 0,3 ppb í 0,7 ppb á innan við hálfu Mars-ári (ppb merkir „parts per billion“ eða $\times 10^{-9}$).

i. Hvað samsvaraði breytingin á þessu tímabili mikilli aukningu á CH_4 í m^3? Gerum ráð fyrir að lofthjúpurinn sé einsleitur og alls staðar jafnþéttur.

ii. Meðalþrýstingur lofthjúpsins er 750 Pa og hitastig hans er 210 K. Hversu mörg mól af CH_4 losnaði út í lofthjúpinn á þessu tímabili? (Nota má gasfastann $R = 8{,}314 \frac{\mathrm{m^3\ Pa}}{\mathrm{K\ mol}}$)

iii. Hversu mörg grömm af Fe_2SiO_4 þurfti að hvarfast til að valda þessari styrkaukningu á CH_4?

d) Jarðvegur Mars inniheldur um 18% járn. Járnið er á formi magnetíts og hematíts. Magnetít inniheldur bæði Fe(II) og Fe(III), og formúla þess er $Fe^{2+}Fe_2^{3+}O_4$. Hematít inniheldur hins vegar eingöngu Fe(III) og formúla þess er Fe_2O_3. Hægt er, með einfaldri tilraun, að ákvarða hvort sýni sé magnetít eða hematít. Sýnið er þá leyst upp í sýru og nokkrum dropum af $KMnO_4$ bætt út í. $KMnO_4$ er oxunarmiðill og er fjólublátt á lit. Ef fjólublái liturinn dofnar gefur það til kynna að $KMnO_4$ hafi hvarfast.
Dragið hring utan um rétt svar: Ef litur $KMnO_4$ dofnar gefur það til kynna að (Fe^{2+} / Fe^{3+}) hafi verið í sýninu, og að sýnið hafi verið (magnetít / hematít).
Ef liturinn breyttist ekki var sýnið (magnetít / hematít).

e) Gefin eru tvö efnahvörf ásamt vermibreytingu þeirra:

$$CH_4(g) + H_2O(g) \rightarrow CO(g) + 3H_2(g) \qquad \Delta H_1 = +206 \text{ kJ/mól}$$
$$CO(g) + H_2O(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2(g) \qquad \Delta H_2 = -41 \text{ kJ/mól}$$

Notaðu efnahvörfin að ofan til að ljúka við efnahvarfið að neðan og reiknaðu vermibreytingu þess:

$$CH_4(g) + CO_2(g) \rightarrow \qquad \Delta H_3 = _____$$

Dæmi 3 Kolsýra (skylda)

Kolsýra (H_2CO_3) er tvívirk sýra. Sýruklofnun kolsýru er lýst með eftirfarandi efnajöfnum.

$$H_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + HCO_3^- \qquad K_{a1} = 4{,}3 \times 10^{-7} \tag{1}$$

$$HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + CO_3^{2-} \qquad K_{a2} = 5{,}6 \times 10^{-11} \tag{2}$$

a) Vetniskarbónat (HCO_3^-) hefur þann eiginleika að geta hvarfast bæði sem sýra og sem basi. Slík efni kallast amfóter. Jafna (2) sýnir hvernig HCO_3^- hvarfast sem sýra í vatni. Skrifaðu efnajöfnu sem lýsir hvernig HCO_3^- hvarfast sem basi í vatni og reiknaðu gildi jafnvægisfasta þess hvarfs (þessi fasti kallast K_{b2}).

b) Nú höfum við lausn af $NaHCO_3$. Ef $K_{a2} > K_{b2}$ þá er jafna (2) ríkjandi í lausninni og lausnin er þá súr. Hins vegar, ef $K_{b2} > K_{a2}$, þá er basahvarfið sem þú skrifaðir í lið a) ríkjandi í lausninni og lausnin er þá basísk. Hvert eftirfarandi gildir um pH gildi $NaHCO_3$ lausnar?

- ☐ pH < 7
- ☐ pH > 7
- ☐ pH = 7

c) Efnajafnvægi í $NaHCO_3$ lausn má setja fram á eftirfarandi hátt:

$$2HCO_3^- \rightleftharpoons H_2CO_3 + CO_3^{2-} \tag{3}$$

Reiknaðu gildi jafnvægisfasta hvarfs (3).

d) Eins og sjá má í jöfnu (3) gildir að í $NaHCO_3$ lausn er $[H_2CO_3] = [CO_3^{2-}]$.
Ef efnajöfnur (1) og (2) eru lagðar saman fæst efnajafna (4):

$$H_2CO_3 + 2H_2O \rightleftharpoons 2H_3O^+ + CO_3^{2-} \qquad (4)$$

Notaðu efnajöfnu (4) til að leiða út jöfnu fyrir pH í $NaHCO_3$ lausn, sem fall af K_{a1} og K_{a2}

e) Hvert er pH $NaHCO_3$ lausnar?

Dæmi 4 Hraðafræði (skylda)

a) Niðurbrot efnasambandsins A_2B fylgir eftirfarandi efnajöfnu

$$2A_2B \xrightarrow{k} 2A_2 + B_2$$

og hraðajafna hvarfsins er *hraði* $= k\,[A_2B]^2$. Niðurstöður úr hraðamælingu á hvarfinu eru gefnar í töflunni hér að neðan:

Tilraun númer	1	2	3	4
Hitastig (K)	967	967	1030	1030
Upphafsstyrkur A_2B (mmól/L)	156	39	7	49
Fyrsti helmingunartími A_2B (s)	380	1520	1442	206

i) Hraðajafna hvarfsins, *hraði* $= k[A_2B]^2$, gefur upplýsingar um stig niðurbrotsins. Af hvaða stigi er niðurbrotið? Dragið hring um rétt svar.

0. stig 1. stig 2. stig

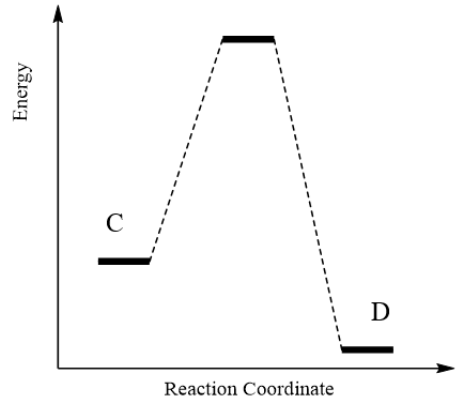
ii) Reiknið hraðafastann, k, við bæði 967 K og 1030 K.

iii) Reiknið virkjunarorku niðurbrotsins, E_a.

iv) Reiknið tímann sem tekur 37% af A_2B að brotna niður við 1030 K, ef upphafsstyrkur A_2B er 54 mmól/L.

b) Hvarfið $C \rightarrow D$ getur átt sér stað í gegnum tvo mismunandi hvarfganga, annars vegar í einu skrefi (i), og hins vegar í tveimur skrefum (ii):

i) Efnahvarfið $C \xrightarrow{k_a} D$ gerist í einu skrefi og helmingunartíminn er óháður upphafsstyrknum. Við 294K er helmingunartíminn 1000 mín en við 340K tekur aðeins 0,10 mín fyrir styrk A að verða 1/1024 af upphafsstyrknum.



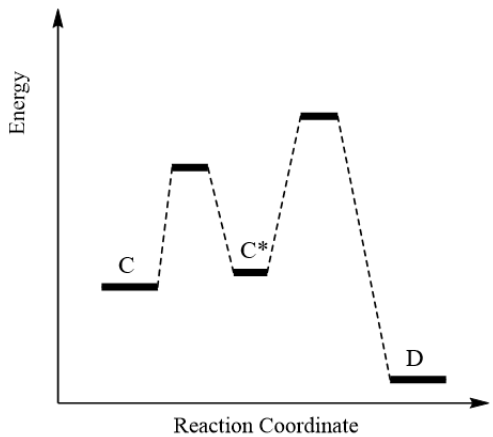
Af hvaða stigi er niðurbrotið í hvarfgangi (i)? Dragið hring utan um rétt svar.

0. stig 1. stig 2. stig

ii) Hvarfið gerist í tveimur skrefum:

$$C \underset{k_{-1}}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} C^*$$

$$C^* \xrightarrow{k_2} D$$



Út frá orkuriti hvarfgangs (ii), raðaðu hraðaföstunun k_1, k_{-1} og k_2 eftir hækkandi gildi:

_____ < _____ < _____

iii) Hvort skrefið er hraðatakmarkandi? Dragðu hring utan um rétt svar

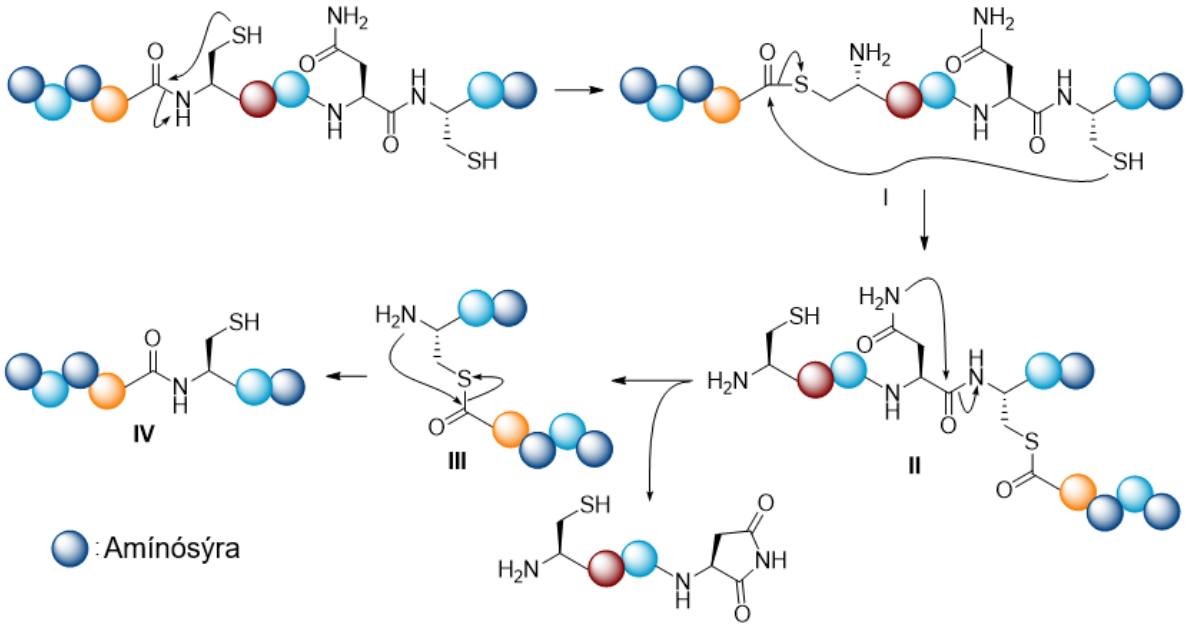
$$C \underset{k_{-1}}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} C^* \qquad\qquad C^* \xrightarrow{k_2} D$$

iv) Virkjunarorka hvarfgangs (i) er $E_{a(i)}$ = 208 kJ/mól en virkjunarorka hvarfgangs (ii) er $E_{a(ii)}$ = 172 kJ/mól. Dragðu hring utan um rétt svar.

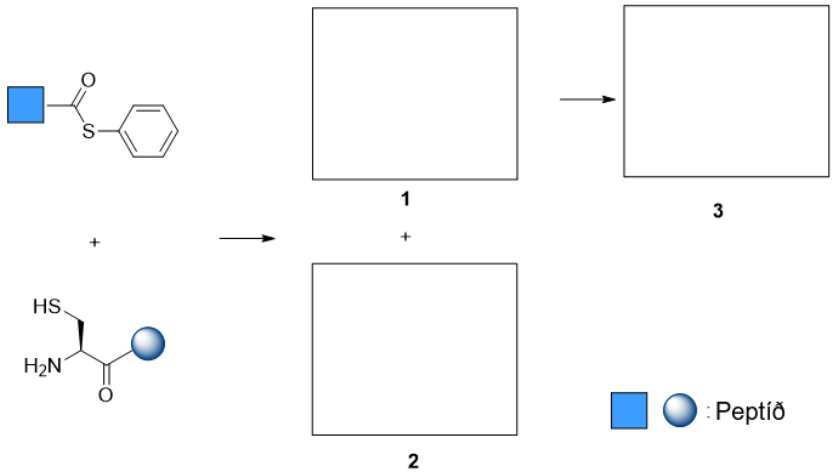
$\frac{hraði_{(ii)}}{hraði_{(i)}} > 1$ $\qquad\qquad$ $\frac{hraði_{(ii)}}{hraði_{(i)}} < 1$

Dæmi 5 Efnahvörf peptíða (val)

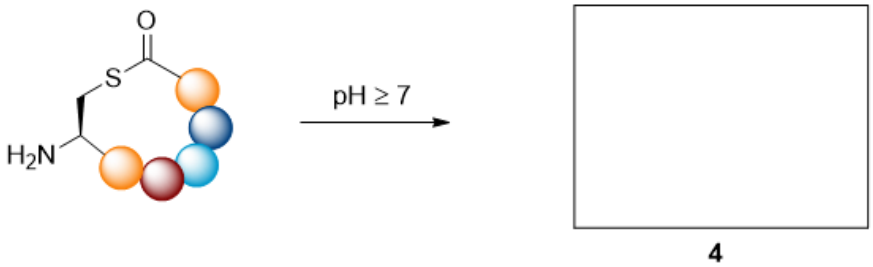
Árið 1990 var fyrst uppgötvað að prótein geta skeytt sjálfum sér saman (e. self-splicing). Eins og sýnt er hér að neðan, þá byrjar sjálf-samskeytingarferli próteina á því að peptíð sem tengt er nitur atómi í innansameindar cysteine einingu er klofið af −SH hópi hliðarkeðjunnar. Þetta gefur þíóester milliefni **I**. Þíóester **I** fer síðan í gegnum innansameindar ester skiptihvarf við annan −SH hóp til að mynda þíóester **II**. Eftir innansameindar hringmyndun með nærliggjandi amíð hópi myndast (auk hliðarmyndefnis) þriðji þíóesterinn, **III**, sem fer í gegnum acýl færslu (e. acyl migration) til að mynda lokamyndefnið, **IV**.



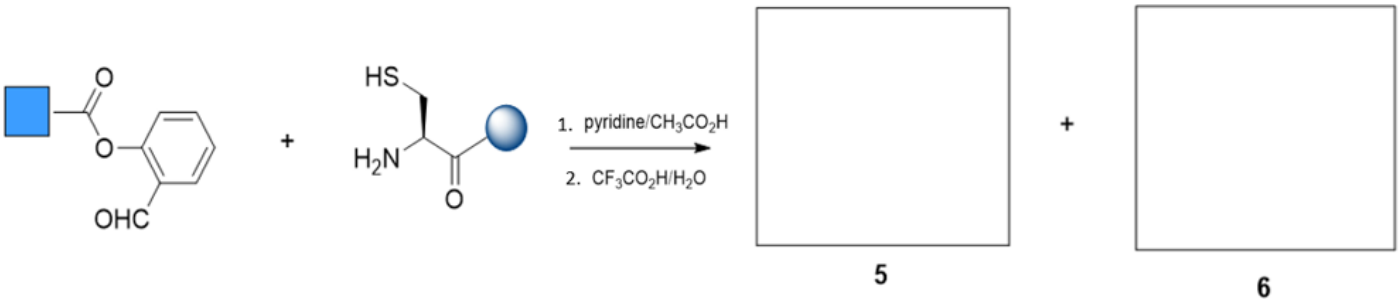
a) Byggt á ofangreindum hvarfgangi var þróuð aðferð til að smíða prótein með því að kúpla saman tveimur peptíðum. Við hvarfið myndast fyrst milliefni **1** og hliðarmyndefni **2** í skrefi sem er sambærilegt öðru skrefinu í skemanu að ofan (**I**-**II**). Milliefni **1** fer svo í gegnum acýl færslu til að mynda prótein **3**, í skrefi sem er sambærilegt lokaskrefinu í skemanu að ofan (**III**-**IV**). Teiknið byggingar milliefnis **1**, hliðarmyndefnis **2** og próteins **3** í viðeigandi box.



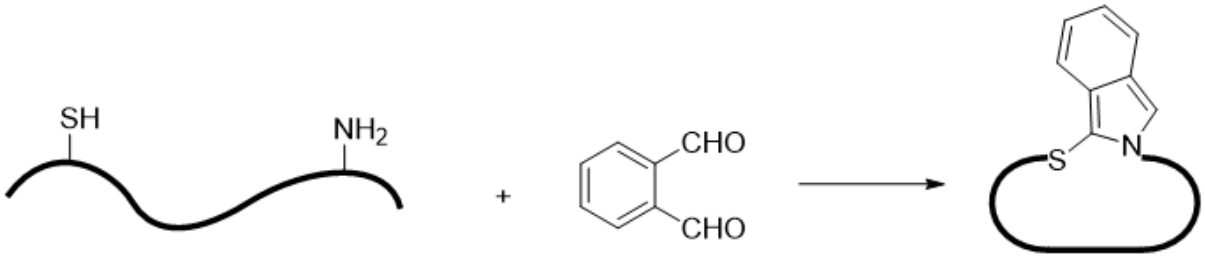
b) Sum hringpeptíð geta líka farið í gegnum innansameindar umröðunarhvarf, sem fylgir sambærilegum hvarfgangi. Þetta leiðir til myndunar á nýju hringpeptíði. Teiknið byggingu efnis **4**.



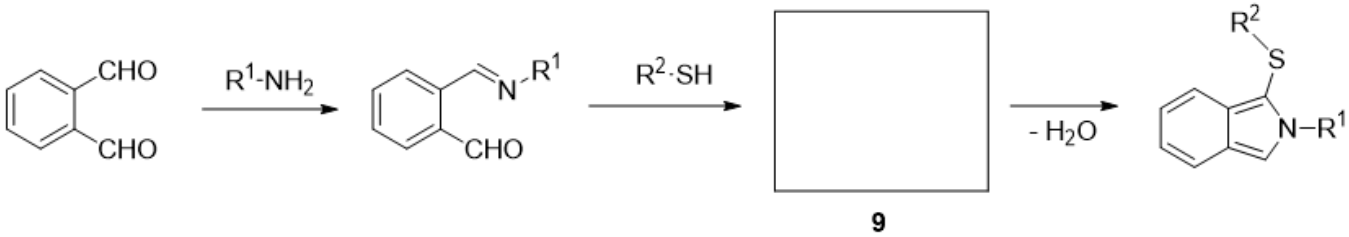
c) Ester salicylaldehýðs getur hvarfast við peptíð sem eru með amínó sýruna cysteine á N-endanum. Í hvarfinu myndast nýtt amíð tengi. Teiknið byggingar amíð myndefnisins **5** og hliðarmyndefnisins **6**.



d) Línuleg peptíð sem hafa að geyma cysteine og lysine geta hvarfast við ortho-phthalaldehýð til að mynda hringpeptíð með isoindól tengil.



Röð efnahvarfanna sem taka þátt í heildarefnahvarfinu er sýnd hér að neðan. Teiknið byggingu hringlaga efnisins, **9**.



Dæmi 6 Rafefnafræði (val)

Til skoðunar er eftirfarandi sella:

$$Hg(l)|Hg_2Br_2(s)|KBr(0{,}1\ \ M)||KCl(0{,}1\ \ M)|Hg_2Cl_2(s)|Hg(l)$$

Þegar sellur eru settar fram á skematískan hátt eins og hér að ofan, er katóðan hægra megin, anóðan vinstra megin og skilin milli hálfsellana táknuð með ||. Í þessari sellu taka tvær rafeindir þátt í bæði oxunarhálfhvarfinu við anóðu og afoxunarhálfhvarfinu við katóðu.

a) Segið til um oxunartölu allra frumefna sem koma við sögu í sellunni:

Efni	Oxunartölur	
$Hg(l)$	Hg:_____	
$Hg_2Br_2(s)$	Hg:_____	Br:_____
KBr	K:_____	Br:_____
KCl	K:_____	Cl:_____
$Hg_2Cl_2(s)$	Hg:_____	Cl:_____

b) Skrifið hálfhvörf rafskautanna og heildarhvarf sellunnar.

c) Íspenna (e. cell potential), E, sellunnar breytist með hitastigi, T, og fylgir sambandinu

$$E = a - bT$$

Einingin á E er V, einingin á T er K, $a = 0{,}1318$ V og b er hitastigsstuðull selluspennunnar $b = 1{,}58 \times 10^{-5}$ V/K.
Reiknið íspennu sellunnar við 298,15 K.

d) Segið til um hvort $\Delta G < 0$ eða $\Delta G > 0$ við 298,15 K og segið svo til um hvort hvarfið sé sjálfgengt eða ekki með því að merkja við rétta svarmöguleika hér að neðan.

☐	$\Delta G < 0$	☐	Hvarfið er sjálfgengt
☐	$\Delta G > 0$	☐	Hvarfið er ekki sjálfgengt

e) Sambandið milli hitastigsstuðuls selluspennunnar og óreiðubreytingu selluhvarfsins, ΔS, er gefið með

$$b = -\frac{\Delta S}{nF}$$

þar sem n er fjöldi rafeinda sem taka þátt í heildarhvarfinu og $F = 96485\ \mathrm{J \cdot V^{-1} \cdot mol^{-1}}$ er fasti Faraday.
Reiknið ΔS fyrir selluhvarfið við 298,15 K.

f) Reiknið ΔH fyrir selluhvarfið við 298,15 K.

Dæmi 7 Niðurbrot kalsíumkarbónats (val)

Við hitun brotnar kalsíumkarbónat niður í kalsíumoxíð og koltvíoxíð. Efnahvarfið er:

$$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$$

Jafnvægisfasti efnahvarfsins, K_P, hækkar með hækkandi hitastigi.
Í töflunni hér að neðan er staðalmyndunarvarmi (ΔH_f°) og staðalmyndunarfrjálsorka (ΔG_f°) efnanna við 25°C. Gerum ráð fyrir að ΔH_f° og ΔG_f° breytist ekki með hitastigi.

Efni	ΔH_f°(kJ/mól)	ΔG_f°(kJ/mól)
$CaCO_3(s)$	-1207	-1129
$CaO(s)$	-635,1	-604,0
$CO_2(g)$	-393,5	-394,4

a) Reiknaðu staðalfrjálsorkubreytingu (ΔG°) efnahvarfsins.
Er efnahvarfið sjálfgengt við 25°C?

b) Reiknaðu jafnvægisfastann, K_P, við 25°C.

Nú er sýni af hreinu $CaCO_3(s)$ komið fyrir í íláti og það tengt við loftdælu sem er fær um að minnka þrýsting kerfisins niður í 10^{-9} mmHg. Við 25°C er þrýstingur $CO_2(g)$ vegna niðurbrotshvarfsins þó mun minni en 10^{-9} mmHg svo að $CO_2(g)$ er ekki greinanlegt í þessu kerfi. Sé hitastigið hins vegar hækkað brotnar kalsíumkarbónat mun betur niður. Þá eykst þrýstingur $CO_2(g)$ og verður loks greinanlegt í kerfinu þegar $P_{CO_2} = 10^{-9}$ mmHg

c) Hver er þrýstingur $CO_2(g)$ í mmHg vegna niðurbrotshvarfsins við 25°C?

d) Reiknið staðalóreiðubreytingu efnahvarfsins ($\Delta S°$).

e) Hvert er lágmarks hitastig sem þarf að hita $CaCO_3(s)$ í svo að þrýstingur $CO_2(g)$ sé nægur til að greinast í kerfinu?