Efnafræðifélag Íslands **Félag raungreinakennara**

10. Landskeppnin í efnafræði
Úrslitakeppni - fræðilegur hluti

12. mars 2011, kl. 10:00-13:00.

Eftirtalin fyrirtæki styrkja keppnina

Málning hf.
Tandur ehf.
NimbleGen Systems

Almennar leiðbeiningar

1. Opnið ekki verkefnaheftin fyrr en ykkur er sagt að gera það.
2. Verkefnin eru alls átta og eru á tíu tölusettum blaðsíðum, auk forsíðu og formúlublaðs. Athugið að svo sé.
3. Einu leyfilegu hjálpargögnin eru óforritanlegar reiknivélar auk lotukerfis og formúlublaðs sem verkefninu fylgja.
4. Verkefnunum skal svarað í prófhefti, ekki í verkefnaheftið. Merkið prófheftin með fullu nafni og kennitölu. Dugi eitt hefti ekki má biðja um annað slíkt. Ekki verður farið yfir rissblöð.
5. Vægi hvers dæmis er 10 stig. Dæmi 1-4 eru skylduverkefni; þeim þurfa allir að svara. Dæmi 5-8 eru valfrjáls; einkunn verður gefin fyrir tvö best leystu verkefnin.
6. Ekki er gert ráð fyrir að allir geti svarað öllum verkefnunum. Þó þið getið ekki svarað nema hluta verkefnanna, þarf það ekki að þýða að þið standið ykkur ekki vel. Sum verkefnin eru mjög erfið.
7. Verkefnin eru öll í nokkrum liðum. Ef einhverjum lið er svarað rangt og svarið notað í síðari liðum verður ekki dregið frá í seinni liðunum svo framarlega sem útreikningarnir séu réttir.

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°	$=$	$-RT \ln K$	q	$=$	$c_{sp} m \Delta T$
ΔG	$=$	$\Delta G^\circ + RT \ln Q$	pH	$=$	$-\log [\mathrm{H_3O^+}]$
ΔG°	$=$	$-nFE^\circ$	K	$=$	$\frac{1}{2}mv^2$
E	$=$	$E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln Q$	$[\mathrm{H_3O^+}]$	$=$	$\frac{K_a}{2}\left(-1 + \sqrt{1 + \frac{4C_{\mathrm{HA}}}{K_a}}\right)$
k	$=$	$A\, e^{-\frac{E_a}{RT}}$	pH	$=$	$pK_a + \log \frac{[\mathrm{A^-}]}{[\mathrm{HA}]}$
E	$=$	$h\nu$	E	$=$	$\frac{hc}{\lambda}$

N_A	$=$	$6,0223 \times 10^{23}$ mól^{-1}	1 bar	$=$	0,9869 atm
R	$=$	8,31451 J·K^{-1}·mól^{-1}	1 atm	$=$	760 torr
	$=$	0,08206 L·atm·K^{-1}·mól^{-1}	K_w	$=$	$1{,}00\times10^{-14}$
F	$=$	96485 J·V^{-1}·mól^{-1}	1 kal	$=$	4,186 J
e	$=$	$1{,}602\times10^{-19}$ C	u (amu)	$=$	$1{,}661\times10^{-27}$ kg
h	$=$	$6{,}626\times10^{-34}$ J·s	m_p	$=$	$1{,}673\times10^{-27}$ kg
c	$=$	$2{,}998\times10^{8}$ m·s^{-1}	m_e	$=$	$9{,}109\times10^{-31}$ kg

Lotukerfið

1 **H** Hydrogen 1.00794																	2 **He** Helium 4.003
3 **Li** Lithium 6.941	4 **Be** Beryllium 9.012182											5 **B** Boron 10.811	6 **C** Carbon 12.0107	7 **N** Nitrogen 14.00674	8 **O** Oxygen 15.9994	9 **F** Fluorine 18.9984032	10 **Ne** Neon 20.1797
11 **Na** Sodium 22.989770	12 **Mg** Magnesium 24.3050											13 **Al** Aluminum 26.981538	14 **Si** Silicon 28.0855	15 **P** Phosphorus 30.973761	16 **S** Sulfur 32.066	17 **Cl** Chlorine 35.4527	18 **Ar** Argon 39.948
19 **K** Potassium 39.0983	20 **Ca** Calcium 40.078	21 **Sc** Scandium 44.955910	22 **Ti** Titanium 47.867	23 **V** Vanadium 50.9415	24 **Cr** Chromium 51.9961	25 **Mn** Manganese 54.938049	26 **Fe** Iron 55.845	27 **Co** Cobalt 58.933200	28 **Ni** Nickel 58.6934	29 **Cu** Copper 63.546	30 **Zn** Zinc 65.39	31 **Ga** Gallium 69.723	32 **Ge** Germanium 72.61	33 **As** Arsenic 74.92160	34 **Se** Selenium 78.96	35 **Br** Bromine 79.904	36 **Kr** Krypton 83.80
37 **Rb** Rubidium 85.4678	38 **Sr** Strontium 87.62	39 **Y** Yttrium 88.90585	40 **Zr** Zirconium 91.224	41 **Nb** Niobium 92.90638	42 **Mo** Molybdenum 95.94	43 **Tc** Technetium (98)	44 **Ru** Ruthenium 101.07	45 **Rh** Rhodium 102.90550	46 **Pd** Palladium 106.42	47 **Ag** Silver 107.8682	48 **Cd** Cadmium 112.411	49 **In** Indium 114.818	50 **Sn** Tin 118.710	51 **Sb** Antimony 121.760	52 **Te** Tellurium 127.60	53 **I** Iodine 126.90447	54 **Xe** Xenon 131.29
55 **Cs** Cesium 132.90545	56 **Ba** Barium 137.327	57 **La** Lanthanum 138.9055	72 **Hf** Hafnium 178.49	73 **Ta** Tantalum 180.9479	74 **W** Tungsten 183.84	75 **Re** Rhenium 186.207	76 **Os** Osmium 190.23	77 **Ir** Iridium 192.217	78 **Pt** Platinum 195.078	79 **Au** Gold 196.96655	80 **Hg** Mercury 200.59	81 **Tl** Thallium 204.3833	82 **Pb** Lead 207.2	83 **Bi** Bismuth 208.98038	84 **Po** Polonium (209)	85 **At** Astatine (210)	86 **Rn** Radon (222)
87 **Fr** Francium (223)	88 **Ra** Radium (226)	89 **Ac** Actinium (227)	104 **Rf** Rutherfordium (261)	105 **Db** Dubnium (262)	106 **Sg** Seaborgium (263)	107 **Bh** Bohrium (262)	108 **Hs** Hassium (265)	109 **Mt** Meitnerium (266)	110 (269)	111 (272)	112 (277)	113	114				

58 **Ce** Cerium 140.116	59 **Pr** Praseodymium 140.90765	60 **Nd** Neodymium 144.24	61 **Pm** Promethium (145)	62 **Sm** Samarium 150.36	63 **Eu** Europium 151.964	64 **Gd** Gadolinium 157.25	65 **Tb** Terbium 158.92534	66 **Dy** Dysprosium 162.50	67 **Ho** Holmium 164.93032	68 **Er** Erbium 167.26	69 **Tm** Thulium 168.93421	70 **Yb** Ytterbium 173.04	71 **Lu** Lutetium 174.967
90 **Th** Thorium 232.0381	91 **Pa** Protactinium 231.03588	92 **U** Uranium 238.0289	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)	103 **Lr** Lawrencium (262)

1. dæmi (skylda)
Meðal þeirra jóna sem uppleystar eru í þvagi eru magnesíum- og kalsíumjónir. Á hverjum degi losar heilbrigður maður á bilinu 15-300 mg af magnesíum og 50-400 mg af kalsíum með þvaginu. Báðar þessar jónir bindast etýlendíamíntetraediksýru (EDTA) í hlutföllunum 1:1 og því er hentugt að títra þvagsýni með EDTA til að greina magn þessara jóna í þvagi.

(i) Til að staðla óþekkta EDTA lausn var hún notuð til að títra 50,00 mL skammta af 0,004517 M Mg^{2+}. Að meðaltali þurfti 65,01 mL af EDTA lausninni til að hvarfa allt Mg^{2+}. Hver er styrkur EDTA lausnarinnar?

(ii) Þvagi manns var safnað í sólarhring og það þynnt að 2,000 L með vatni. Þá var 10,00 mL skammtur af þvaglausninni títraður með 26,81 mL af EDTA lausninni. Hver er heildarmólfjöldi Ca^{2+} og Mg^{2+} í þessum 10,00 mL?

(iii) Nú eru kalsíumjónirnar í annarri 10,00 mL þvaglausn felldar út sem CaC_2O_4, botnfallið síað frá, það svo leyst upp í sýru og títrað með 11,63 mL af EDTA lausninni. Er magn magnesíum- og kalsíumjóna í þvaginu innan eðlilegra marka?

2. dæmi (skylda)
Skoðum efnahvarfið sem verður þegar grafít (sem er hreint kolefni) brennur í súrefni við 1000°C og myndar kolmónoxíð.

(i) Ritið stillta efnajöfnu með fasatáknum fyrir efnahvarfið.

Þegar hvarfið hér að ofan á sér stað í lokuðu kerfi, nær það jafnvægi. Jafnvægisfasti hvarfsins við 1000°C og fastan þrýsting er $K_p = 1{,}5 \times 10^{18}$.

(ii) Ritið jafnvægislíkingu hvarfsins, þ.e. jöfnu fyrir jafnvægisfastann.

(iii) Reiknið staðalfríorku hvarfsins, ΔG°, við 1000°C.

Blanda af súrefni og kolmónoxíði er sett í lofttæmt ílát sem svo er hitað í 1000°C. Þá er $p_{O_2} = 1{,}00$ bar og $p_{CO} = 0{,}130$ bar. Gerið ráð fyrir að í upphafi sé ekkert annað gas til staðar.

(iv) Reiknið hvarfkvótann, Q, við þessar aðstæður og segið til um hvort hvarfið leiti til hægri eða vinstri.

(v) Hvarfvermið við þessar aðstæður er $\Delta H = -225$ kJ. Reiknið óreiðubreytingu hvarfsins, ΔS, við 1000°C.

3. dæmi (skylda)
Bór er mikilvægt frumefni fyrir margra hluta sakir. Bóröt eru meðal annars mikið notuð sem bleikiefni í þvottaefnum auk þess sem bórsambönd eru algeng hvarfefni í lífrænum efnasmíðum, meðal annars við lyfjaframleiðslu. Bór er súrefnissækið frumefni og finnst því einkum á formi bóroxíða í náttúrunni. Það svæði í heiminum þar sem mest er að finna af bórinnihaldandi steinefnum er vesturhluti Tyrklands. Ein af mikilvægustu bórsteindunum er svokallað colemanít. Það hefur efnaformúluna $2\,CaO{\cdot}3\,B_2O_3{\cdot}5\,H_2O$.

Úr colemaníti má framleiða bórsýru (H_3BO_3) með hvarfi við brennisteinssýru. Þessi framleiðsla á sér stað við hitastig yfir 80°C. Út úr hvarflausninni fellur vatnaða saltið gips (kalsíumsúlfat díhýdrat), sem síað er úr heitri lausninni. Lausnin er svo kæld niður í stofuhita og við það fellur bórsýran út. Það er lykilatriði í framleiðsluferlinu að sía gipsið úr lausninni, þar sem mengun hvarflausnarinnar getur haft veruleg áhrif á kristöllun bórsýrunnar.

Hvarf brennisteinssýrunnar við colemanít gerist í tveimur skrefum. Í fyrra skrefinu leysist colemanítið upp í vatnslausn af brennisteinssýrunni og myndar við það kalsíumjónir og bórsýru. Í því síðara bindast kalsíumjónirnar súlfatjónum sýrunnar og kalsíumsúlfat kristallast út úr lausninni sem gips.

(i) Ritið rétt stillta efnajöfnu með fasatáknum fyrir heildarhvarf colemaníts við vatnslausn af brennisteinssýru.

Í tiltekinni tilraun var 281,4 g sýni af vatnsblautu colemaníti, sem reyndist innihalda 25,40% B_2O_3 og 13,64% CaO að massa, leyst upp í brennisteinssýrulausn. Eftir upprunalega leysnihvarfið innihélt lausnin 1,554 M bórsýru við 80°C. Hvarfið var framkvæmt í lokuðu kerfi svo að gera má ráð fyrir að rúmmál lausnarinnar sé fasti. Mettunarstyrkur kalsíumjóna í svona lausn er $[Ca^{2+}]_{mettun} = 0{,}0310$ M við 80°C.

(ii) Reiknið massa gipsins sem kristallast við þessar aðstæður.

(iii) Reiknið massa kalsíumsins sem verður eftir í upplausn.

Þegar gipsið hafði verið síað úr var lausnin kæld niður að stofuhita til að fella bórsýruna. Gerum ráð fyrir að hún falli út með 98% nýtingu miðað við upphafsmagn B_2O_3 í sýninu. Við kælinguna fellur líka út dálítið gips til viðbótar, en leysni þess í hvarflausninni við 25°C er $0,267$ g/L.

(iv) Reiknið heildarmassa þeirra efna sem botnfalla við kælinguna og massahlutfall (%) bórsýru í botnfallinu.

4. dæmi (skylda)
Lífrænum skiptihvörfum er skipt í

1. S_N2 hvörf – stytting á skiptihvarf, kjarnsækið, tveggja sameinda. Gerist í einu skrefi. Tveggja sameinda því hraði efnahvarfs er háður báðum hvarfefnum.

2. S_N1 hvörf – stytting á skiptihvarf, kjarnsækið, einnar sameindar. Gerist í tveimur skrefum þar sem milliefnið er karbókatjón. Einnar sameindar því hraði efnahvarfs er aðeins háður því að karbókatjón myndast.

Það sem einkennir skiptihvörfin er að kjarnsækirinn (Lewis basinn) gerir bakstæða árás á rafsækinn (Lewis sýra) undir 180° horni við fráfarandi farhóp. Svo þetta sé mögulegt þarf kjarnsækirinn að komast óhindrað að rafsækinum en stórir hópar á rafsæki geta komið í veg fyrir kjarnsækna árás. Einnig þarf farhópurinn að geta stöðgað neikvæða hleðslu svo skiptihvarf geti átt sér stað.

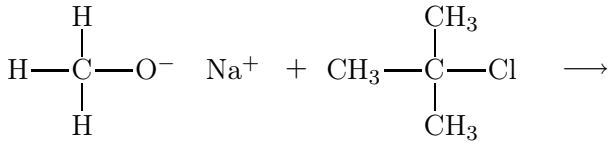
Lífrænu brottnámshvörfin skiptast í

1. E2 hvörf – stytting á brottnámshvarf, tveggja sameinda. Gerist í einu skrefi og hraðinn er háður báðum hvarfefnum.

2. E1 hvörf – stytting á brottnámshvarf, einnar sameindar. Gerist í tveimur skrefum þar sem milliefnið er karbókatjón. Einnar sameindar því hraði efnahvarfs er aðeins háður því að karbókatjón myndast.

Kjarnsækir (Lewis basi) sækir sér prótónu á kolefni næst farhóp, C−H tengi rofnar og C=C tengi myndast. Gilda þarf að C−H tengi og C-farhópur séu andstæðir í plani svo skörun svigrúma sé möguleg.

(i) Efnafræðingur einn hefur verið að nota metýl tert-bútýl eter sem leysi í einu hvarfanna sinna. Nú vill svo til að hann hefur klárað leysinn og til að spara pening ákveður hann að búa til leysinn úr natríum metoxíði og tert-bútýl klóríði. Hvert verður myndefnið og útskýrið hvers vegna.

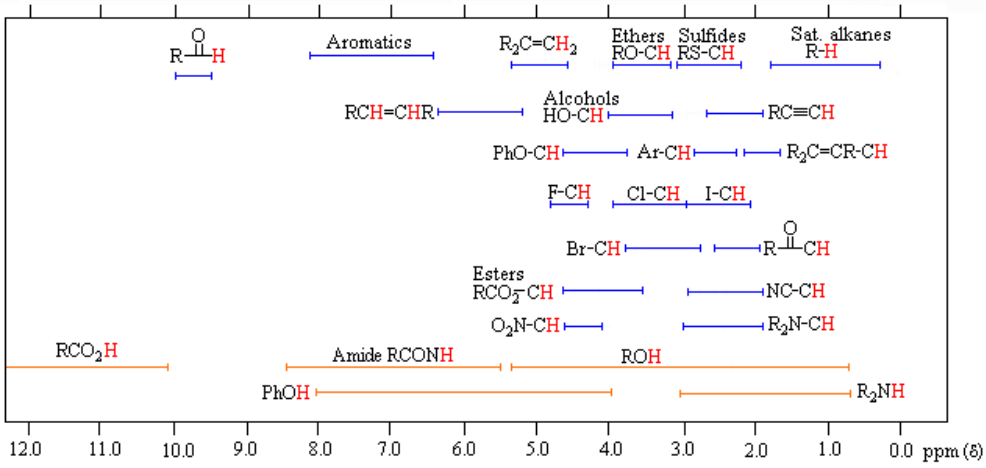


(ii) Hvernig hefði efnafræðingurinn átt að búa til metýl tert-bútýl eter.

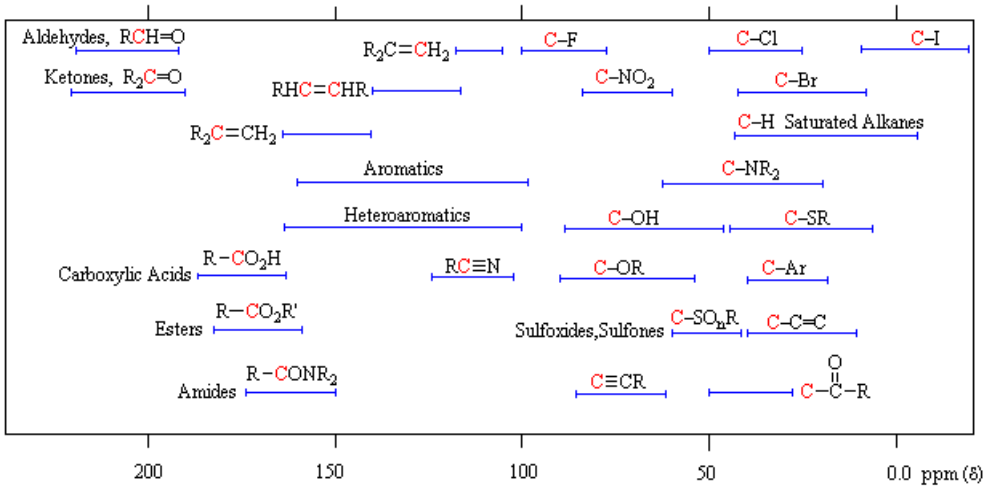
5. dæmi (val)

Í fjarveru segulsviðs er stefna kjarnspuna atóma raðað á tilviljunarkenndan hátt. Í viðurvist segulsviðs byrja kjarnarnir að raða sér upp í stefnu segulsviðs og er möguleg upprröðun háð spunaskammtatölu kjarnans, ^{1}H kjarni hefur tvo möguleika á upprröðun. ^{1}H kjarni getur annaðhvort verið meðseglandi eða mótseglandi þar sem meðseglandi upprröðun er aðeins lægri í orku heldur en mótseglandi og er þessi orkumunur háður styrk segulsviðsins sem kjarninn er í. Ef kjarnarnir eru örvaðir með rafsegulbylgjum af réttri tíðni, á sér stað örvun frá orkulægra ástandi til orkuhærra ástands. Svo aförvast kjarninn og sendir þá frá sér rafsegulbylgju sem má mæla. Talað er um aförvunartíma kjarna og getur hann tekið allt frá 1500 til 2000 ms. Mismunandi kjarnar örvast við mismunandi tíðni rafsegulbylgna og skiptir hér máli styrkur segulsviðs og tegund kjarna.

^{1}H kjarnarófsmælingar leyfa okkur að sjá og bera kennsl á mismunandi prótónur (H kjarna) í lífrænum efnum. Með því að skoða staðsetningu toppa og hvernig/hvort þeir klofna má auðveldlega sjá hvaða tegund prótónu er um að ræða og hverju hún er tengd. Flatarmálið undir toppnum gefur svo til kynna hve margar prótónur hann táknar.



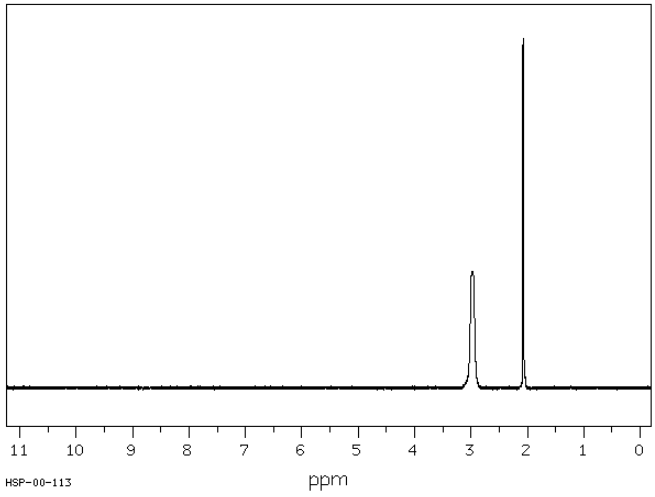
^{13}C kjarnarófsmælingar eru hliðstæðar ^{1}H mælingum. Þar fáum við toppa (singlettar) fyrir hvert kolefni í sameindinni. Þannig má auðveldlega ákvarða fjölda kolefna í sameind.



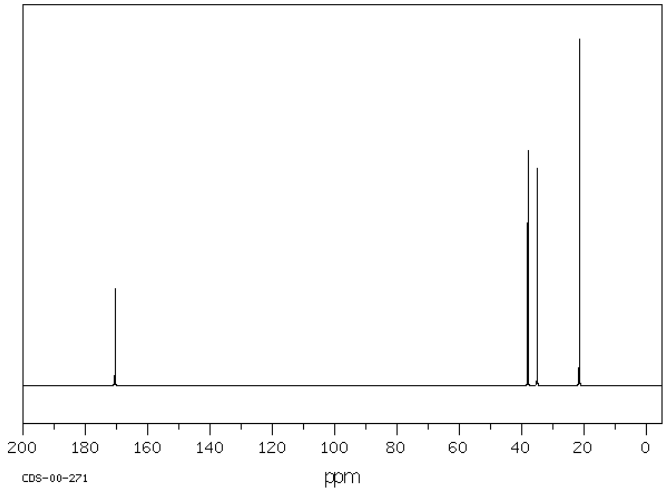
framhald á næstu síðu...

Ýmsar gagnlegar upplýsingar má lesa úr innrauðum rófum (IR) þar sem sjá má teygjur og beygjur mismunandi atóma en þær örvast við mismunandi tíðni ljóss.

(i) Finnið og sýnið byggingu efnis skv. eftirfarandi upplýsingum. Færið rök fyrir niðurstöðum ykkar. Öll róf eru mæld við herbergishita.



^{1}H NMR ($CDCl_3$): δ =2,077(s,6H), δ =2.98(s,3H)



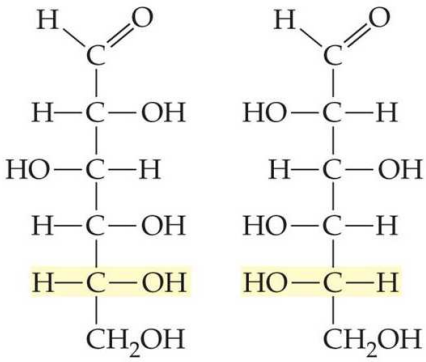
^{13}C NMR ($CDCl_3$): δ =21.25, 35.03, 38.00, 170.49

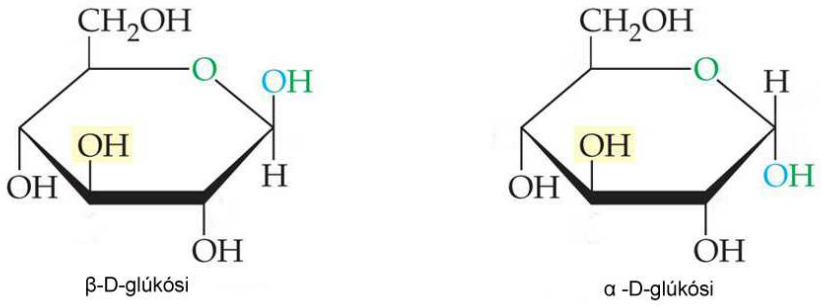
Enn fremur eru til staðar upplýsingar úr IR-rófi þar sem sterk teygja er við 1725–1705 cm^{-1} (C=O) og meðalsterk teygja við 1350–1000 cm−1 (C−N).

(ii) Þegar sýni var kælt niður í −196°C og mælingar endurteknar reynist singlettinn við 2,077 ppm vera doublett (tvöfaldur toppur) fyrir ^{1}H kjarnarófsmælingu en ^{13}C og IR mælingar haldast óbreyttar. Hvernig stendur á þessu? Útskýrið og færið rök fyrir máli ykkar.

6. dæmi (val)

Sykrur koma víða við sögu í lífríkinu. Þær geta verið byggingarefni lífvera eða orkuuppspretta þeirra. Í plöntum er sellúlósi algengastur en hann er gerður úr nokkur þúsund glúkósaeiningum, tengdum saman með β-1,4 glýkósíðtengjum. Tré eru óhentug til matar vegna þess að hvergi í meltingarvegi fólks finnast ensím sem vatnsrjúfa β-1,4 tengið. Sé tengið hins vegar α-1,4 getum við rofið það og nýtt orkuna sem býr í glúkósanum. Á sama hátt fáum við enga orku úr L-glúkósa á meðan D-glúkósi er fyrirtaks orkugjafi þó svo að bragðmunurinn á þessum tveimur handhverfum (*e.* enantiomers) sé enginn. Hér að neðan má sjá svokallaða Fischer vörpun (lóðrétt keðja) D- og L-glúkósa ásamt Haworth vörpuninni (sexhringur) fyrir α og β D-glúkósa.



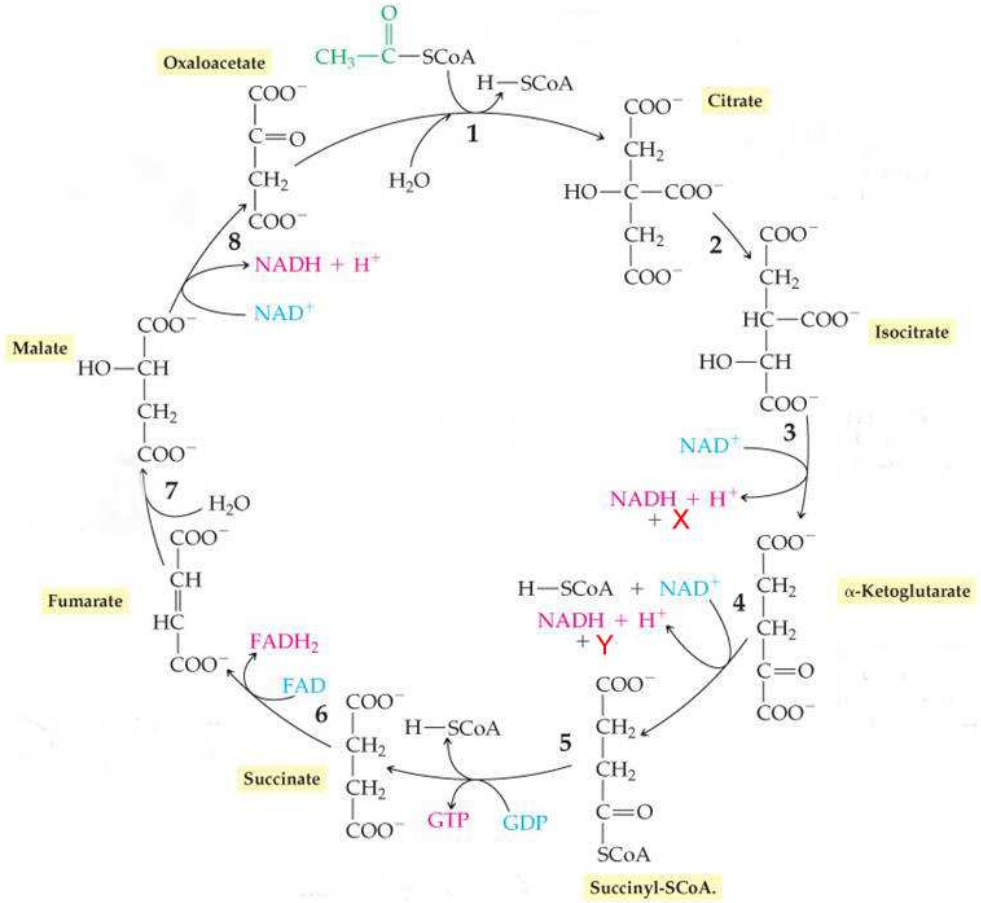


(i) Teiknið Haworth vörpun β-L-glúkósa.

(ii) Kolefni sykranna eru númeruð þannig að efsta kolefnið í Fischer vörpuninni er númer 1 og það neðsta er númer 6. Teiknið tvísykru tveggja α-D-glúkósa með α-1,4 glýkósíðtengi.

framhald á næstu síðu...

(iii) Til að nýta þá orku sem býr í sykrunum þurfum við ákveðin ferli sem knúin eru áfram af röð ensíma. Eitt þeirra er sítrónusýruhringurinn, oftast kenndur við Sir Hans Adolf Krebs, en hringinn má sjá á mynd hér að neðan. Fyrir hvað standa X og Y á myndinni?



(iv) Ritið efnajöfnu sem sýnir öll hvarf- og myndefni sítrónusýruhringsins.

(v) Í fyrsta skrefi hringsins kemur acetýl-SCoA inn en kolefnisatóm þess koma meðal annars úr sykrum sem hafa þá farið í gegnum glýkólýsu, þar sem sykrur eru brotnar niður og pýrúvat er myndað. Hvert pýrúvat inniheldur þrjú kolefnisatóm. Hversu mörg acetýl-SCoA fást úr einni glúkósasameind ($C_6H_{12}O_6$)?

7. dæmi (val)
Hlutföll ýmissa geislavirkra samsætna eru notuð til að aldursgreina sýni, frægust er líklega ^{14}C aldursgreining sem notuð er þegar ákvarða þarf aldur lífrænna efna. Þegar aldursgreina þarf grjót er hlutfall ^{40}K og ^{40}Ar yfirleitt notað.

Í náttúrunni finnast þrjár samsætur kalíums, en aðeins ein þeirra, ^{40}K er geislavirk. Hún hrörnar á tvo mismunandi vegu; annaðhvort gefur hún frá sér rafeind (β-geislun) eða hún gleypir rafeind (stundum nefnt β^+-geislun) og myndar þannig ^{40}Ar á örvuðu ástandi sem svo geislar frá sér ljóseind (γ-geislun) og kemst þannig í grunnástand

(i) Ritið stilltar efnajöfnur fyrir báðar hrörnunarleiðir ^{40}K.

Styrkur β-geislunarinnar frá 1,00 kg af kalíum er $I_\beta = 2{,}7\times10^4$ rafeindir/s og að meðaltali sendir kalíum frá sér 12 ljóseindir á sama tíma og 100 rafeindir. Samsætuhlutfall ^{40}K er 0,0118%.

(ii) Reiknið hlutfall rafeindagleypingar af heildarhrörnunarhraða ^{40}K.

Hrörnun geislavirkra kjarna er lýst með 1. stigs hraðalögmáli

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

þar sem N er fjöldi geislavirkra atóma og λ er hraðafasti.

(iii) Reiknið fjölda ^{40}K atóma í 1,00 kg af kalíum.

(iv) Reiknið helmingunartíma ^{40}K, $\tau_{1/2}$.

Til að reikna aldur grjótsins þarf að vita hversu mikið af ^{40}Ar hefur myndast úr ^{40}K og hversu mikið er komið úr andrúmsloftinu. Samsetning argons í andrúmsloftinu og í granítsýni frá Suðurskautslandinu er eftirfarandi:

samsæta	andrúmsloft	sýni
^{36}Ar	0,337%	0,310%
^{38}Ar	0,063%	0,058%
^{40}Ar	99,600%	99,634%

Heildarrúmmál argons í sýninu var 2,466 mm^3 við staðalaðstæður.

(v) Hversu mörg mól af ^{40}Ar hafa myndast úr ^{40}K í sýninu?

Hluti sýnisins var svo leystur upp í sýru og massagreinir svo notaður til að ákvarða magn ^{40}K í sýninu. Það reyndist innihalda $1{,}940 \times 10^{-7}$ mól.

(vi) Reiknið aldur granítsins í sýninu.

8. dæmi (val)
Vinnufall, Ψ, er lágmarksorka sem ljóseind þarf að hafa til að geta losað rafeind af yfirborði tiltekins málms. Orka ljóseindar er $E = h\nu$ þar sem h er fasti Plancks og ν er tíðni ljóssins. Hafi ljóseindin orku lægri en Ψ getur hún ekki losað rafeindir af málmyfirborðinu, en sé orkan meri en Ψ fer restin af orkunni í að veita rafeindinni hreyfiorku „frá“ yfirborði málmsins.

Ljósi úr Excimer laser (bylgjulengd: $\lambda = 193\,\mathrm{nm}$) er skotið á gullyfirborð. Gull hefur $\Psi = 5{,}1\,\mathrm{eV}$ ($1\,\mathrm{eV} = 1{,}602 \times 10^{-19}\,\mathrm{J}$).

(i) Reiknið orku einnar ljóseindar úr Excimer laser í rafeindavoltum.

(ii) Reiknið hraða rafeindana sem losna frá gullyfirborðinu.

(iii) Nú bilar Excimer laserinn og í staðinn dettur BS nema í hug að beina grænu ljósi úr ND:YAG laser ($\lambda = 532\,\mathrm{nm}$) á gullyfirborðið. Af hverju er það ekki góð hugmynd?

(iv) MS nemi sækir annan ómerktan laser sem lá undir skemmdum í einu horni tilraunastofunnar. Henni reiknast til að hraði rafeindana sem losna frá gullyfirborðinu þegar hún notar þennan laser sé $v = 2{,}0 \times 10^5\,\mathrm{m/s}$. Hver er bylgjulengd ljóssins úr þessum laser?