

Theoretical Problems

44th International
Chemistry Olympiad
July 26, 2012
United States
of America

Naam:

Code:

Instructies

- Schrijf je naam en code op elke bladzijde.
- Deze toets bestaat uit 8 opgaven en beslaat 49 bladzijden exclusief voorblad.
- Je hebt 5 uur de tijd om de opgaven te maken. Je mag pas beginnen wanneer het **START**signaal is gegeven.
- Gebruik alleen de verstrekte pen en rekenmachine.
- Alle resultaten moeten worden geschreven binnen de daarvoor bestemde kaders. Alles wat daarbuiten wordt geschreven wordt niet beoordeeld en je krijgt er ook geen punten voor. Gebruik de achterkant van de bladen als je eventueel kladpapier nodig hebt.
- Schrijf, als dat nodig is, de relevante berekeningen ook in daarvoor bestemde kaders. Je krijgt alleen het volledig aantal punten voor een juist antwoord wanneer ook de uitwerking is gegeven.
- Als je de toets af hebt, doe dan je papieren in de envelop die je is verstrekt. Plak die envelop niet dicht.
- Je moet **stoppen** als het **STOP**signaal is gegeven.
- Je mag je plaats pas verlaten wanneer je daarvoor toestemming hebt gekregen van de surveillanten.
- Een officiële Engelstalige versie is, alleen ter verduidelijking, bij de surveillant(e) op verzoek ter inzage te krijgen.

Fysische constanten, formules en vergelijkingen

Constante van Avogadro, $N_A = 6,0221 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Constante van Boltzmann, $k_B = 1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

Universele gas constante, $R = 8,3145 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} = 0,08205 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

Lichtsnelheid, $c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Constante van Planck, $h = 6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

Massa van het elektron, $m_e = 9,10938215 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Standaarddruk, $p_0 = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

Atmosferische druk, $p_{\text{atm}} = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ Torr}$

Nulpunt van de celsiuschaal, $273,15 \text{ K}$

1 nanometer (nm) = 10^{-9} m

1 picometer (pm) = 10^{-12} m

Cirkelvergelijking, $x^2 + y^2 = r^2$

Oppervlakte van een cirkel, πr^2

Omtrek van een cirkel, $2\pi r$

Volume van een bol, $4\pi r^3/3$

Oppervlakte van een bol, $4\pi r^2$

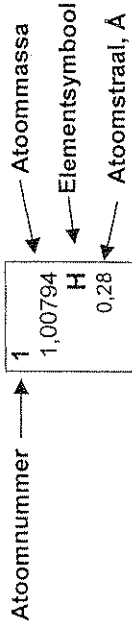
Diffractiewet van Bragg, $\sin \theta = n\lambda/2d$

Naam:

Code: BEJ

18

1	1,00794 H 0,28	2	4	9,01218 Be	13	5	10,811 B 0,89	14	12,011 C 0,77	15	14,0067 N 0,70	16	15,9994 O 0,66	17	18,9984 F 0,64	18	20,1797 Ne 1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
3	6,941 Li	11	22,9898 Na	24,3050 Mg	19	39,0983 K	37	85,4678 Rb	55	132,905 Cs	87	(223,02) Fr	20	40,078 Ca	38	87,62 Sr	56	137,327 Ba	88	(226,03) Ra																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	39,0983 K	19	44,9559 Sc	47,867 Ti	22	47,867 Ti	23	50,9415 V	24	51,9961 Cr	25	54,9381 Mn	26	55,845 Fe	27	58,9332 Co	28	58,6934 Ni	29	63,546 Cu	30	65,39 Zn	31	69,723 Ga	32	72,61 Ge	33	74,9216 As	34	78,96 Se	35	79,904 Br	36	83,80 Kr																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
5	85,4678 Rb	37	88,9059 Y	91,224 Zr	40	91,224 Zr	41	92,9064 Nb	42	95,94 Mo	43	(97,905) Tc	44	101,07 Ru	45	102,906 Rh	46	106,42 Pd	47	107,868 Ag	48	112,41 Cd	49	114,818 In	50	118,710 Sn	51	121,760 Sb	52	127,60 Te	53	126,904 I	54	131,29 Xe																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
6	132,905 Cs	55	178,49 Hf	178,49 Hf	72	178,49 Hf	73	180,948 Ta	74	183,84 W	75	186,207 Re	76	190,23 Os	77	192,217 Ir	78	195,08 Pt	79	196,967 Au	80	200,59 Hg	81	204,383 Tl	82	207,2 Pb	83	208,980 Bi	84	(208,98) Po	85	(209,99) At	86	(222,02) Rn																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
7	(223,02) Fr	87	89-103 Ac-Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo	119	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000



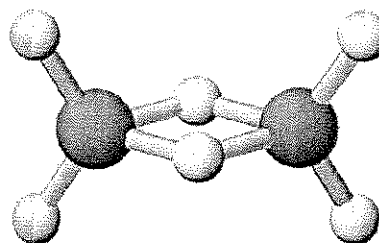
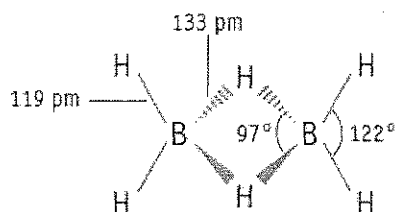
Opgave 1

7,5% van het totaal

a-i	a-ii	a-iii	b	c	Opgave 1	
4	2	2	2	10	20	7,5%

a. Boorhydriden en andere boorverbindingen

De chemie van boorhydriden werd voor het eerst ontwikkeld door Alfred Stock (1876-1946). Tot op heden werden meer dan 20 neutrale (ongeladen) moleculaire boorhydriden met de algemene formule B_xH_y gekarakteriseerd. Het meest eenvoudige boorhydride is B_2H_6 , diboraan



- i. Geef de **molecuulformule** van twee andere stoffen, **A** en **B**, die behoren tot de boorhydriden. Maak hiervoor gebruik van onderstaande gegevens.

Verbinding	Aggregatietoestand (fase) (25 °C, 1 bar)	Massaprocent boor	Molaire massa (g mol ⁻¹)
A	Vloeibaar	83,1	65,1
B	Vast	88,5	122,2

Molecuulformule:

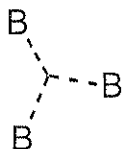
A = _____

B = _____

- ii. William Lipscomb ontving in 1976 de Nobelprijs Chemie voor “de opheldering van de structuur van boorhydriden en de covalente bindingen aanwezig in boorhydriden”. Lipscomb toonde aan dat *in alle boorhydriden elk booratoom aan tenminste één waterstofatoom is gebonden via een normale “twee elektron binding” (B-H)*. Bijkomende bindingen van verschillende types zijn echter mogelijk. Hij ontwikkelde een schema dat de structuur van een boorhydryde beschrijft via het toekennen van een *styx* getal waarbij:

s = het aantal B-H-B bruggen in het molecuul (het boorhydryde)

t = het aantal B-atomen dat gebonden is aan drie andere B-atomen in het molecuul



y = het aantal B-B bindingen in het molecuul

x = het aantal BH₂ groepen in het molecuul

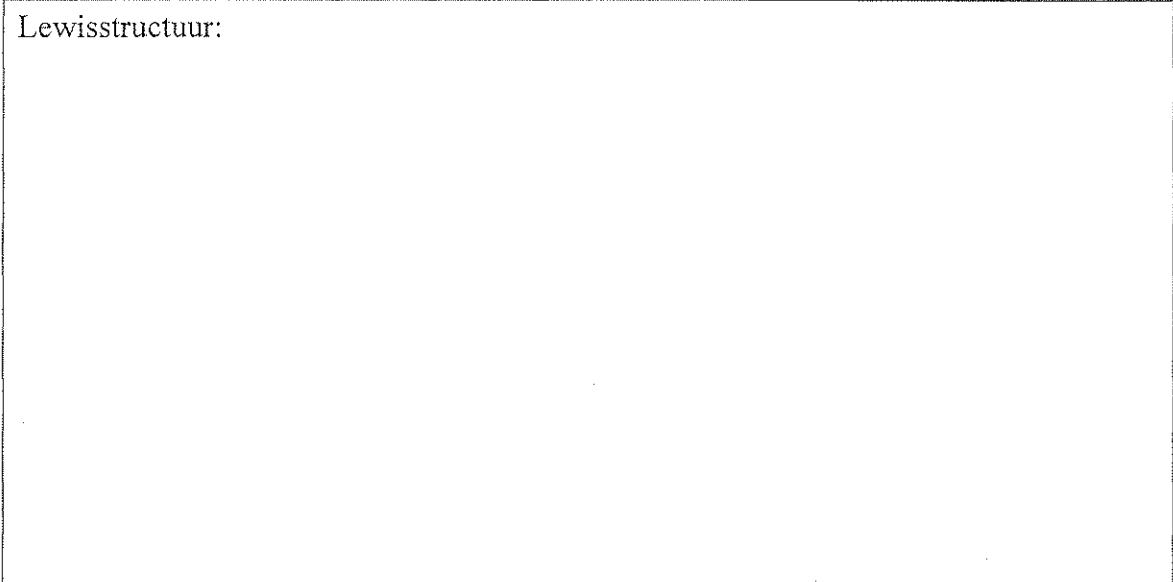
Het *styx* getal voor B₂H₆ is 2002.

Geef de lewisstructuur van tetraboraan, B₄H₁₀, met *styx* getal 4012.

Lewisstructuur:

- iii. Een interessante boorverbinding bestaat uit boor, koolstof, chloor en zuurstof: B_4CCl_6O . Spectraalanalyse toont aan dat het molecuul twee soorten boor-atomen bevat: het ene bezit een tetraëdrische geometrie, de andere een trigonale (driehoekige) vlakke (planaire) geometrie. De verhouding van de B-atomen in dit molecuul is 1:3. Het spectrum wijst eveneens op de aanwezigheid van een drievoudige $C\equiv O$ binding in het molecuul.
Geef de lewisstructuur van het molecuul met formule B_4CCl_6O .

Lewisstructuur:



b. Thermochemie van boorverbindingen

Bereken de **bindingsdissociatie-enthalpie** van de enkelvoudige B-B binding in B_2Cl_4 . Gebruik hiervoor onderstaande gegevens.

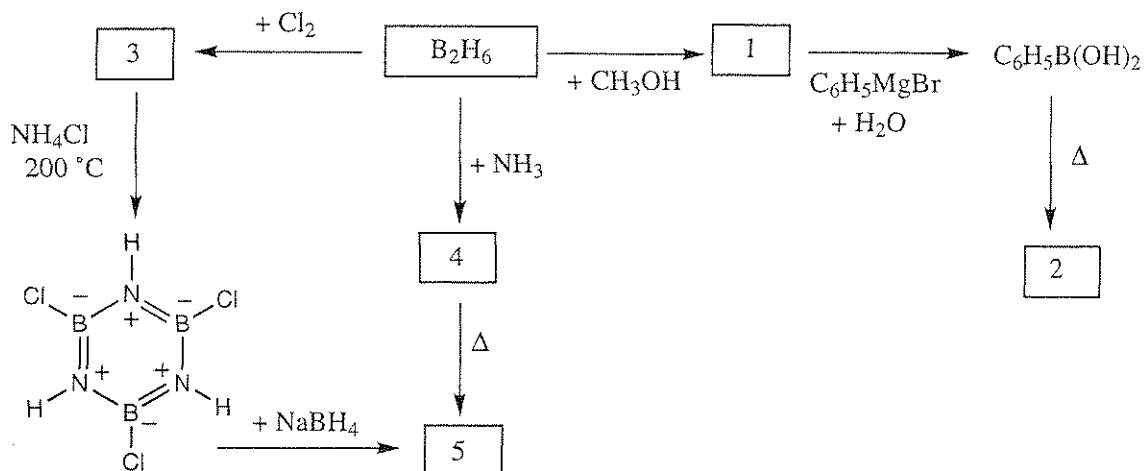
Binding	Bindingsdissociatie-enthalpie (kJ mol^{-1})
B-Cl	443
Cl-Cl	242

Verbinding	$\Delta_f H^\circ$ (kJ mol^{-1})
$BCl_3(g)$	-403
$B_2Cl_4(g)$	-489

Berekeningen:

c. Chemie van diboraan

Geef de lewisstructuur van elke verbinding – genummerd van 1 tot en met 5 – aanwezig in onderstaand schema. Elke genummerde verbinding bevat het element boor.



OPMERKINGEN:

- Het kookpunt van verbinding 5 bedraagt $55\text{ }^\circ\text{C}$.
- Bij alle reacties is er een overmaat aan reagentia.
- De vriespuntverlaging voor $0,312\text{ g}$ van verbinding 2 in $25,0\text{ g}$ benzeen bedraagt $0,205\text{ }^\circ\text{C}$. De vriespuntverlagingsconstante (molaire vriespuntsdaling) van benzeen is $5,12\text{ }^\circ\text{C molal}^{-1}$ ($^\circ\text{C kg mol}^{-1}$; de molaliteit is het aantal mol opgeloste stof per kg oplosmiddel).

Naam:

Code: BEL

Nummer	Lewisstructuur van de verbinding
1	
2	
3	
4	
5	

Opgave 2

7,8% van het totaal

a-i	a-ii	b-i	b-ii	c	Opgave 2	7,8%
4	4	6	1	5	20	

a. Platina(II)verbindingen, isomeren en het *trans*-effect

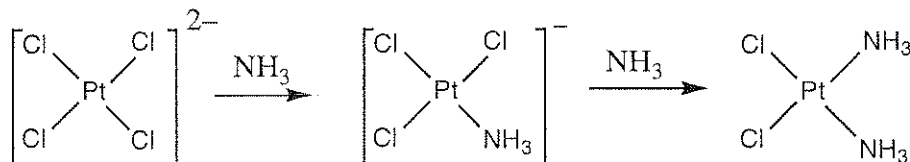
Platina en andere metalen uit groep 10 vormen vlakke vierkante complexen. Het mechanisme van reacties met dergelijke complexen werd uitvoerig bestudeerd. Het is bijvoorbeeld bekend dat substitutiereacties met deze complexen verlopen met behoud van de stereochemie (ruimtelijke structuur).



Het is eveneens bekend dat de snelheid waarmee ligand X door ligand Y wordt vervangen, afhangt van de aard van het ligand aanwezig *trans* (tegenover) ligand X. In bovenstaand voorbeeld is dit ligand T. Dit wordt het *trans-effect* genoemd. Wanneer T één van onderstaande moleculen of ionen is, verlaagt de snelheid van substitutie aan de *trans* positie van links naar rechts.



De bereidingen van *cis*- en *trans*-Pt(NH₃)₂Cl₂ berusten op het *trans*-effect. Voor de bereiding van het *cis*-isomeer – een stof die in de kankerbestrijding wordt gebruikt en bekend is onder de naam cisplatina – wordt de reactie tussen K₂PtCl₄ en ammoniak uitgevoerd.

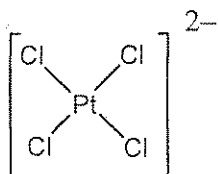


- i. Geef de **lewisstructuur** van alle mogelijke stereo-isomeren met de formule $\text{Pt}(\text{py})(\text{NH}_3)\text{BrCl}$ (waar py = pyridine, $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$). De platina(II)verbindingen bezitten een vierkant planaire structuur.

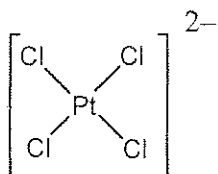
Lewisstructuren:

- ii. Geef **reactieschema's** met inbegrip van één of meerdere intermediairen die de bereiding in waterige oplossing weergeven van elk van de stereo-isomeren van $[\text{Pt}(\text{NH}_3)(\text{NO}_2)\text{Cl}_2]^-$. Maak hierbij gebruik van de reagentia PtCl_4^{2-} , NH_3 , and NO_2^- . De reacties zijn kinetisch gecontroleerd door het *trans*-effect.

cis-isomeer:

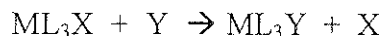


trans-isomeer:



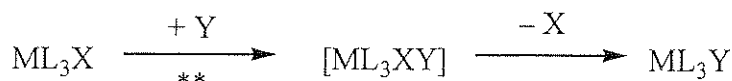
b. Kinetiekstudies van substitutiereacties met vierkant vlakke (planaire) complexen

De substitutie van ligand X door ligand Y in vierkant vlakke (planaire) complexen



kan ofwel op één manier ofwel op twee manieren tegelijk gebeuren:

- *Directe substitutie*: Het ligand Y valt het centrale metaalatoom aan met vorming van een 5-waardig coördinatiecomplex. Dit complex elimineert zeer snel ligand X en vormt het product ML_3Y



** = snelheidsbepalende stap, reactiesnelheidsconstante = k_Y

- *Substitutie met behulp van het oplosmiddel (solvent)*: Een molecuul van het oplosmiddel S valt het centrale metaalatoom aan en vormt ML_3XS . Dit complex elimineert ligand X en vormt ML_3S . Daarna vervangt ligand Y zeer snel S en vormt ML_3Y .



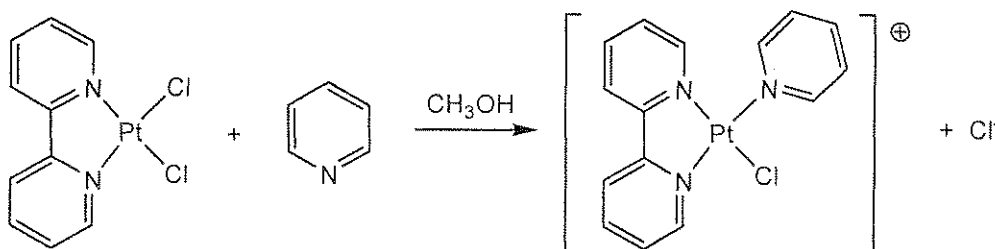
** = snelheidsbepalende stap, reactiesnelheidsconstante = k_S

De algemene reactiesnelheidsvergelijking voor dergelijke substitutiereacties is

$$\text{reactiesnelheid} = k_S[\text{ML}_3\text{X}] + k_Y[\text{Y}][\text{ML}_3\text{X}]$$

Wanneer $[\text{Y}] \gg [\text{ML}_3\text{X}]$, dan is de reactiesnelheid = $k_{\text{exp}}[\text{ML}_3\text{X}]$.

De waarden van k_Y en k_S hangen af van de beginstoffen en van het oplosmiddel. Een voorbeeld is de substitutie van het Cl^- ligand in een vierkant planair platina(II) complex, ML_2X_2 , door pyridine ($\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$). (Het bovenstaand schema voor ML_3X is eveneens van toepassing voor ML_2X_2 .)

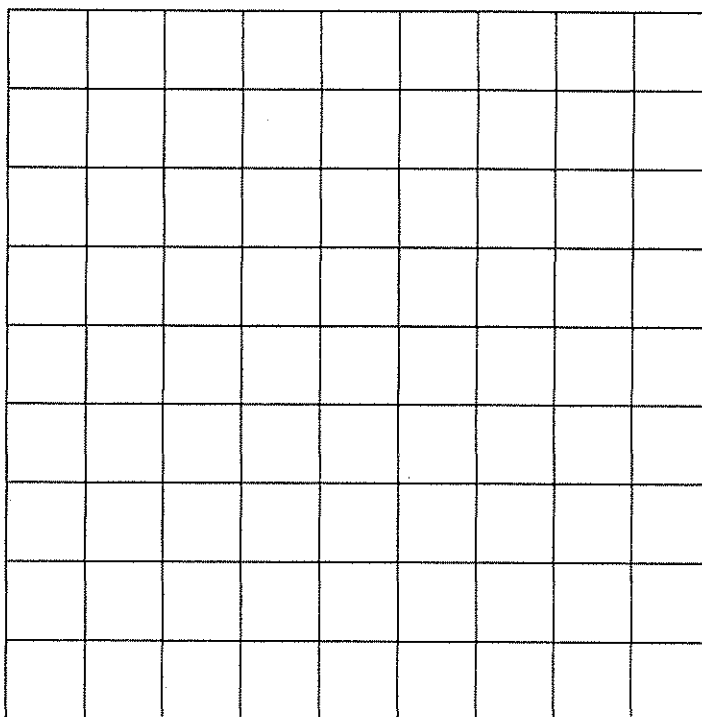


Onderstaande tabel bevat data voor de reactie bij 25 °C in methanol waarbij [pyridine] \gg de concentratie van het platinacomplex.

Concentratie van pyridine (mol L^{-1})	K_{exp} (s^{-1})
0,122	$7,20 \cdot 10^{-4}$
0,061	$3,45 \cdot 10^{-4}$
0,030	$1,75 \cdot 10^{-4}$

i. **Bereken** de waarden van k_s en k_Y . Geef de juiste eenheid voor elke reactiesnelheidsconstante.

Je kan – indien gewenst – gebruikmaken van het ruitjespatroon voor het maken van een grafiek.



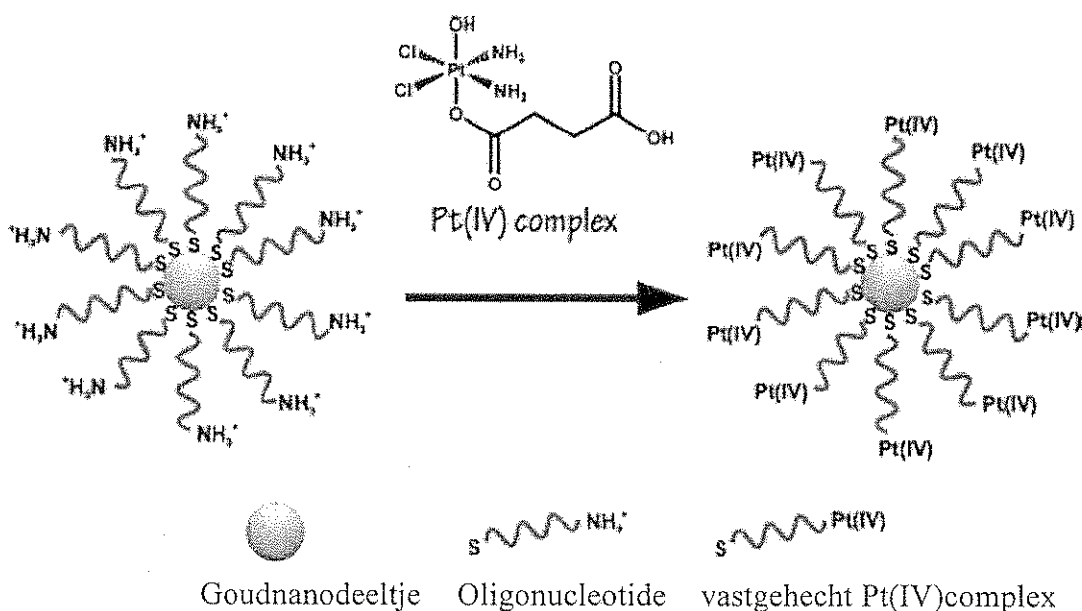
Berekeningen:

- ii. Stel dat $[\text{pyridine}] = 0,10 \text{ mol L}^{-1}$. Welke bewering van onderstaande beweringen is correct? **Vink** de correcte bewering **aan**.

	Het grootste gedeelte van het pyridine-product wordt gevormd door de reactieweg waarbij het oplosmiddel betrokken is (k_s).
	Het grootste gedeelte van het pyridine-product wordt gevormd door een directe substitutie (k_s).
	Beide reactiewegen leveren vergelijkbare hoeveelheden van het pyridine-product op.
	Er kunnen geen conclusies getrokken worden omtrent de vorming van relatieve hoeveelheden van het pyridine-product via beide reactiewegen.

c. Een chemotherapeutische stof

In een poging om cisplatina doeltreffender te maken in de bestrijding van kankercellen hechtte de groep van Professor Lippard van MIT een platina(IV)complex vast aan oligonucleotiden die op hun beurt gebonden zijn aan goudnanodeeltjes.



Bij de experimenten werden goudnanodeeltjes gebruikt met een diameter van 13 nm. 90 oligonucleotidegroepen werden aan elk goudnanodeeltje gebonden.

98% van deze oligonucleotidegroepen waren gebonden aan een Pt(IV)complex.

Neem aan het reactievat, dat wordt gebruikt voor de behandeling van cellen met een Pt(IV) nanodeeltje als reagens, een volume heeft van 1,0 mL en dat de oplossing een Pt-concentratie heeft van $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$.

Bereken de massa goud en de **massa platina** die bij dit experiment werden gebruikt. Dichtheid van goud = $19,3 \text{ g cm}^{-3}$

Naam:

Code: BEL

Berekeningen:

Massa platina:

Berekeningen:

Massa goud:

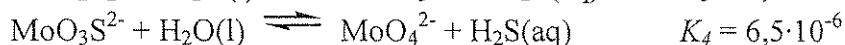
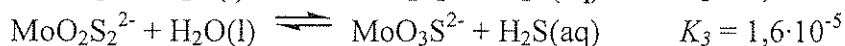
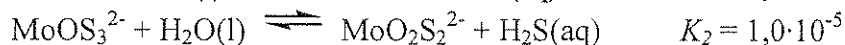
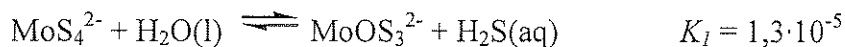
Opgave 3

7,5 % van het totaal

a	b	c-i	c-ii	Opgave 3	7,5%
4	12	6	12	34	

Thiomolybdaationen kun je afgeleid denken van molybdaationen, MoO_4^{2-} , door daarin zuurstofatomen te vervangen door zwavelatomen. Thiomolybdaationen kun je bijvoorbeeld aantreffen in het diepe water van de Zwarte Zee, waar biologische reductie van sulfaat plaatsvindt onder vorming van H_2S . De omzetting van molybdaat tot thiomolybdaat leidt tot een snelle afname van de hoeveelheid opgelost Mo in het zeewater, zodat het Mo gehalte in de oceanen uitgeput raakt. Molybdeen is een sporenelement dat van essentieel belang is voor levende organismen.

De volgende evenwichten controleren de relatieve concentraties van molybdaat en thiomolybdaat in verdunde waterige oplossingen:



- a. In een bepaalde oplossing is $[\text{MoO}_4^{2-}] = 1 \cdot 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$ en $[\text{H}_2\text{S}(\text{aq})] = 1 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$; er is evenwicht. **Bereken** de $[\text{MoS}_4^{2-}]$.

Berekeningen:

Oplossingen die $\text{MoO}_2\text{S}_2^{2-}$, MoOS_3^{2-} en MoS_4^{2-} bevatten, vertonen absorptiepieken in het golflengtegebied bij 395 en 468 nm van het zichtbare licht. De absorptie door de andere ionsoorten evenals door H_2S is te verwaarlozen. De molaire extinctiecoëfficiënten (ϵ) bij deze twee golflengtes staan in onderstaande tabel:

	ϵ_{max} bij 468 nm $\text{L mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$	ϵ_{max} bij 395 nm $\text{L mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$
MoS_4^{2-}	11870	120
MoOS_3^{2-}	0	9030
$\text{MoO}_2\text{S}_2^{2-}$	0	3230

- b. Een oplossing waarin *geen* evenwicht heerst, bevat MoS_4^{2-} , MoOS_3^{2-} en $\text{MoO}_2\text{S}_2^{2-}$. Er zijn geen andere Mo bevattende deeltjes aanwezig. De totale concentratie van Mo bevattende deeltjes is $6,0 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$. De extinctie van de oplossing bij 468 nm is 0,365 en bij 395 nm 0,213. Er is een cuvet gebruikt met een weglengte van 10,0 cm. **Bereken** de concentraties van alle drie Mo bevattende ionsoorten in dit mengsel.

Berekeningen:

$\text{MoO}_2\text{S}_2^{2-}$: _____

MoOS_3^{2-} : _____

MoS_4^{2-} : _____

- c. In een afgesloten oplossing waarin aanvankelijk de $[\text{MoS}_4^{2-}] = 2,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$ treedt hydrolyse op. Het ontstane H_2S hoopt zich op tot evenwicht is bereikt. Bereken de eindconcentraties van $\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$ en alle vijf Mo bevattende ionsoorten (dat zijn: MoO_4^{2-} , $\text{MoO}_3\text{S}^{2-}$, $\text{MoO}_2\text{S}_2^{2-}$, MoOS_3^{2-} en MoS_4^{2-}). Ga ervan uit dat H_2S niet ioniseert tot HS^- . (Eenderde van het totale aantal punten voor deze vraag krijg je voor het opschrijven van de zes onafhankelijke vergelijkingen die het probleem omvatten en tweederde van het aantal punten verdien je voor het berekenen van de juiste concentraties.)
- i. **Schrijf** de zes onafhankelijke vergelijkingen op die het systeem bepalen.

- ii. **Bereken** de zes concentraties, gebruikmakend van redelijke benaderingen. Geef de uitkomsten in twee significante cijfers.

Berekeningen:

H_2S _____

MoO_4^{2-} _____

$\text{MoO}_3\text{S}^{2-}$ _____

$\text{MoO}_2\text{S}_2^{2-}$ _____

MoOS_3^{2-} _____

MoS_4^{2-} _____

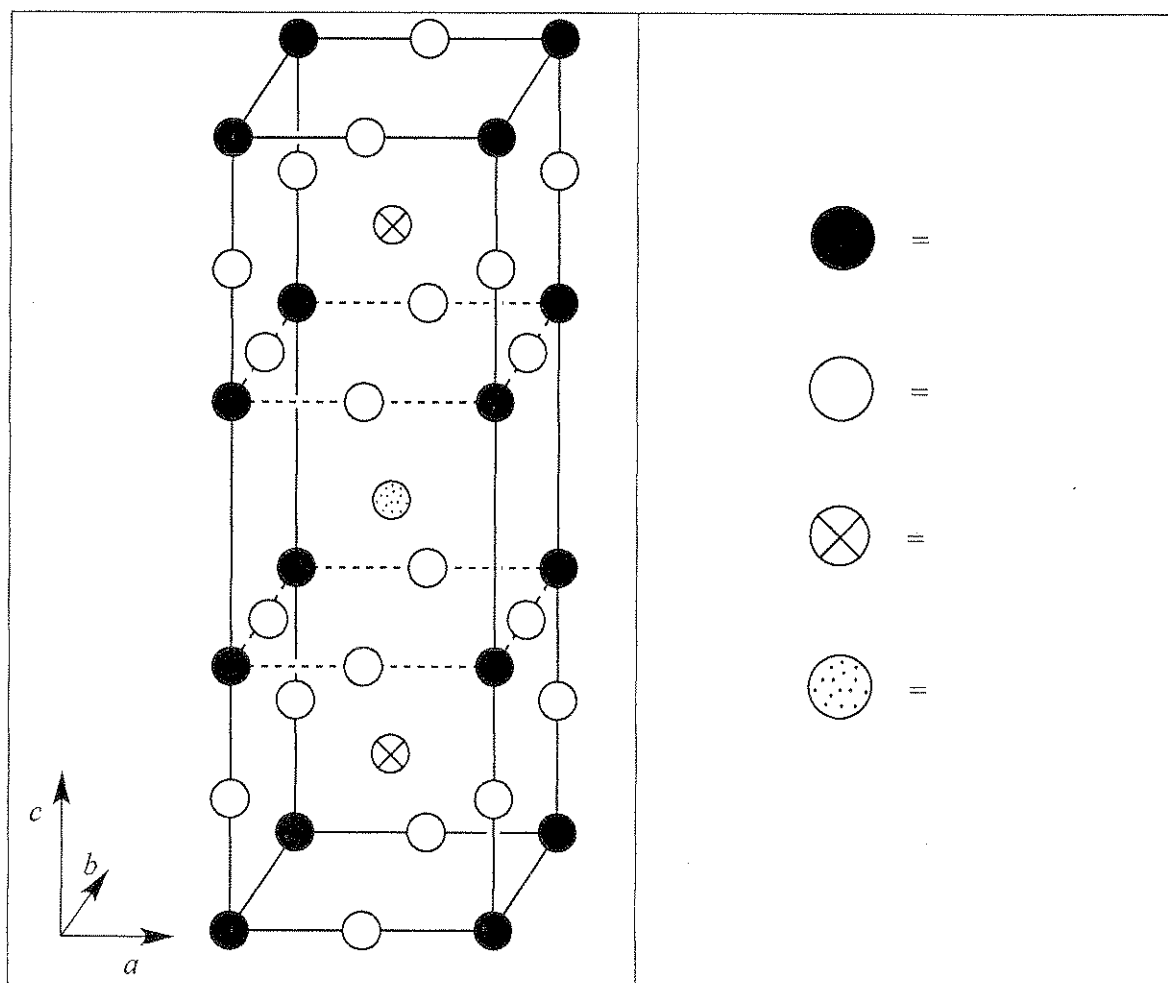
Opgave 4

8,4% van het totaal

a	b	c	d-i	d-ii	d-iii	d-iv	e-i	e-ii	Opgave 4	
12	14	10	4	2	2	4	4	8	60	8,4%

In de jaren tachtig van de vorige eeuw is een groep keramische verbindingen ontdekt die supergeleiding vertoonden bij de ongewoon hoge temperatuur van 90 K. Eén van die materialen is een verbinding van yttrium, barium, koper en zuurstof. Het wordt vaak 'YBCO' genoemd. De basisformule is $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, maar het zuurstofgehalte kan variëren. De eigenlijke formule wordt weergegeven met $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{(7-\delta)}$, waarbij $0 < \delta < 0,5$.

- a. Hieronder is de eenheidscel weergegeven van de ideale structuur van YBCO. Geef voor elke bol **aan** welk element die bol in de structuur voorstelt.



De werkelijke structuur is eigenlijk orthorhombisch ($a \neq b \neq c$), maar bij benadering tetragonaal, met $a \approx b \approx (c/3)$.

- b. Een monster YBCO, met $\delta = 0,25$ werd onderworpen aan röntgendiffractie, waarbij Cu $K\alpha$ straling werd gebruikt met $\lambda = 154,2$ pm. De diffractiepiek die bij de kleinste diffractiehoek hoort, werd waargenomen bij $2\theta = 7,450^\circ$. **Bereken** de waarden van a en c , als je aanneemt dat $a = b = (c/3)$.

Berekeningen:

$a =$

$c =$

- c. **Bereken** de dichtheid van dit monster YBCO (met $\delta = 0,25$) in g cm^{-3} . Als je er in vraag b. niet in bent geslaagd waarden voor a en c te berekenen, gebruik dan $a = 500$ pm en $c = 1500$ pm.

Berekeningen:

dichtheid =

- d. Als YBCO wordt opgelost in 1,0 M zoutzuur, treedt gasontwikkeling op. Met behulp van gaschromatografie werd aangetoond dat dit gas O_2 is. Als de oplossing gedurende 10 minuten wordt gekookt, om de opgeloste gassen te verwijderen, en daarna overmaat KI oplossing wordt toegevoegd, treedt een reactie op waarbij de oplossing geelbruin kleurt. Deze oplossing kan worden getitreerd met een thiosulfaatoplossing met stijfsel (zetmeel) als indicator.
Als YBCO, onder een Ar atmosfeer, meteen wordt toegevoegd aan een oplossing die 1,0 M is in zowel HCl als KI, wordt de oplossing ook geelbruin, maar treedt geen gasontwikkeling op.
- i. Geef een kloppende vergelijking in ionen voor de reactie die optreedt als vast $YBa_2Cu_3O_{(7-8)}$ oplost in het zoutzuur, waarbij onder andere O_2 ontstaat.

- ii. Geef een kloppende vergelijking in ionen voor de reactie die optreedt als de oplossing van i. reageert met overmaat KI in de zure oplossing nadat alle opgeloste zuurstof is verwijderd.

- iii. Geef een kloppende vergelijking in ionen voor de reactie die optreedt als de oplossing uit ii. wordt getitreerd met thiosulfaat ($S_2O_3^{2-}$).

- iv Geef een kloppende vergelijking in ionen voor de reactie die optreedt als het vaste $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{(7-8)}$ oplost in het zoutzuur, met overmaat KI, in een Ar atmosfeer.

- e. Men heeft de beschikking over twee identieke monsters YBCO, met onbekende δ . Het eerste monster werd opgelost in 5 mL 1,0 M HCl oplossing. Er ontstond O_2 . Na koken om de gassen te verwijderen en toevoeging van 10 mL 0,7 M KI oplossing onder Ar atmosfeer werd de uiteindelijk ontstane oplossing getitreerd met een thiosulfaatoplossing. Er was $1,542 \cdot 10^{-4}$ mol thiosulfaat nodig om het eindpunt van de titratie te bereiken. Het tweede YBCO monster werd, in een Ar atmosfeer, direct toegevoegd aan 7 mL van een oplossing die 1,0 M was in KI en 0,7 M in HCl. Bij de titratie van deze oplossing was $1,696 \cdot 10^{-4}$ mol thiosulfaat nodig.
- i. Bereken het aantal mol Cu in elk van deze YBCO monsters.

Berekeningen:

ii. **Bereken** de waarde van δ voor deze YBCO monsters.

Berekeningen:

Opgave 5

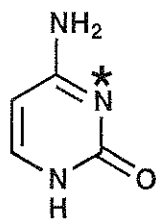
7,0 % van het totaal

a-i	a-ii	b	c	d	e	f	Opgave 5	
2	4	4	2	12	6	4	34	7,0%

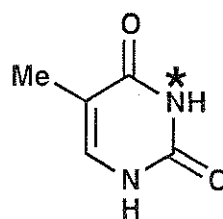
Deoxyribonucleïnezuur (DNA) is een van de moleculen die bepalend is voor het leven. Deze opgave zal zich bezig houden met manieren waarop de moleculaire structuur van DNA kan worden gewijzigd, zowel door natuurlijke oorzaken als door manieren bedacht door mensen.

a. Beschouw de pyrimidine-basen cytosine (C) en thymine (T). Het N-3 atoom, aangegeven met een sterretje (*) van een van deze basen is een gebruikelijke nucleofiele plaats bij een enkelstrengs DNA-alkylering, terwijl dat bij de andere base niet het geval is.

i. **Omcirkel** welke base, C of T, het meest nucleofiele N-3 atoom heeft.



C



T

(i)

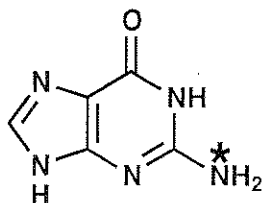
C

T

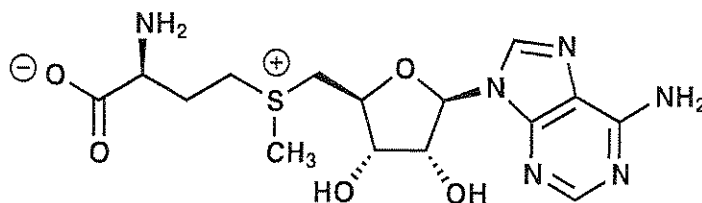
ii. **Teken** twee mesomere structuren van het door jou geselecteerde molecuul dat je keuze bij i. rechtvaardigt. Geef daarbij de formele ladingen aan bij de betreffende atomen.

(ii)

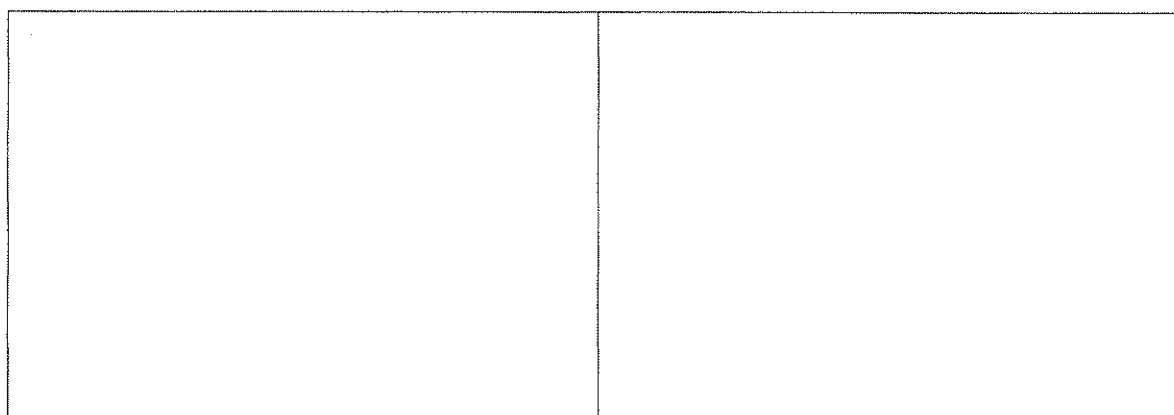
- b. Een in de natuur gebruikelijke modificatie van DNA is de methylering van de met een sterretje (*) aangegeven plaats op guanine (G) door S-adenosylmethionine (SAM). **Teken** de structuurformules van beide producten die ontstaan bij de reactie tussen guanine en SAM.



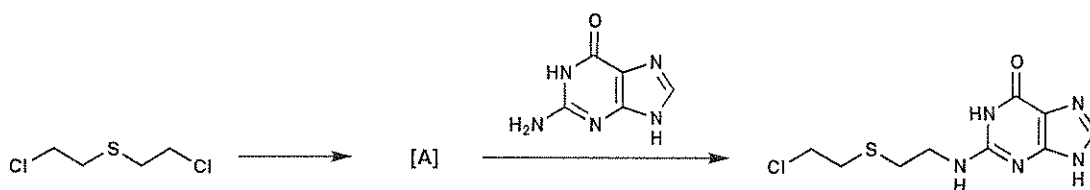
G



SAM

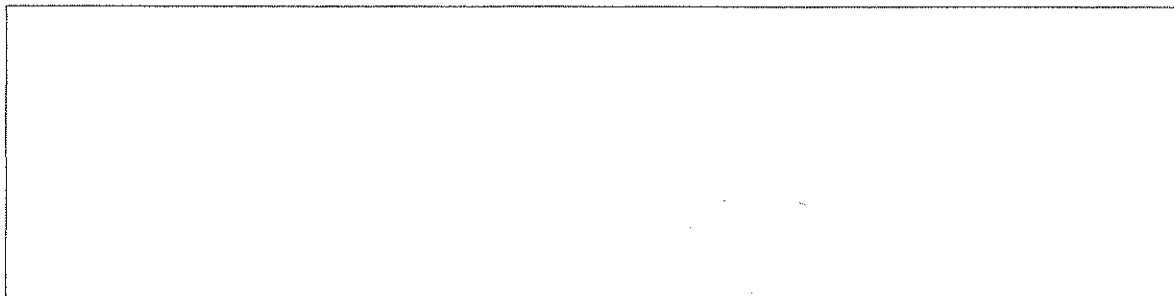


- c. Een van de eerste door de mens gemaakte DNA alkylerende stoffen was mosterdgas.



Mosterdgas reageert eerst onder vorming van een intermediair A dat DNA direct alkyleert, waarbij een nucleïnezuur gevormd wordt zoals in de vergelijking hierboven weergegeven is.

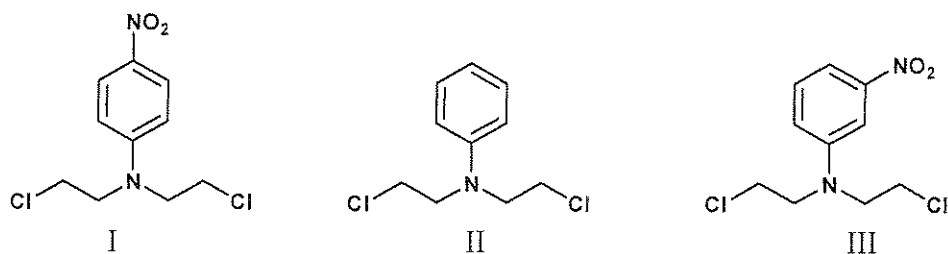
Teken de structuurformule van het reactieve intermediair A.



- d. Het zwavelatoom in het mosterdgasmolecuul kan vervangen zijn door stikstof. De stikstof van dit molecuul (stikstofmosterdgas) reageert op een soortgelijke wijze als de zwavel in mosterdgas zoals weergegeven in onderdeel c. De reactiviteit van de verbinding kan worden aangepast worden afhankelijk van de derde substituent op het stikstofatoom. De reactiviteit van stikstofmosterdgas neemt toe met toenemende nucleofiliciteit van het centrale stikstofatoom.

Kies het meest en het minst reactieve molecuul uit de onderstaande drie stikstofmosterdgasmoleculen. (Gebruik in je antwoord de eronderstaande Romeinse cijfers.)

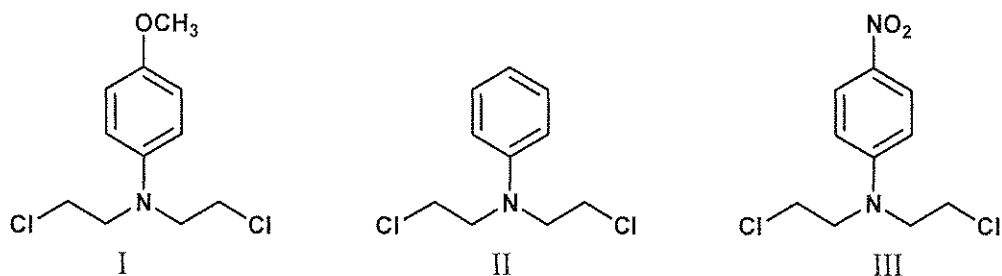
i.



Meest reactief:

Minst reactief:

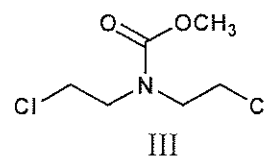
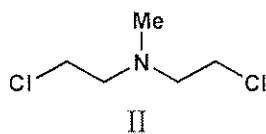
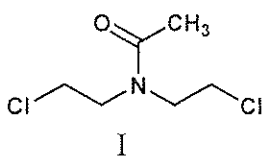
ii.



Meest reactief:

Minst reactief:

iii.

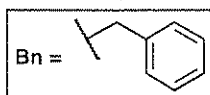
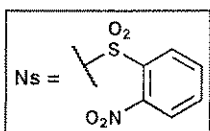
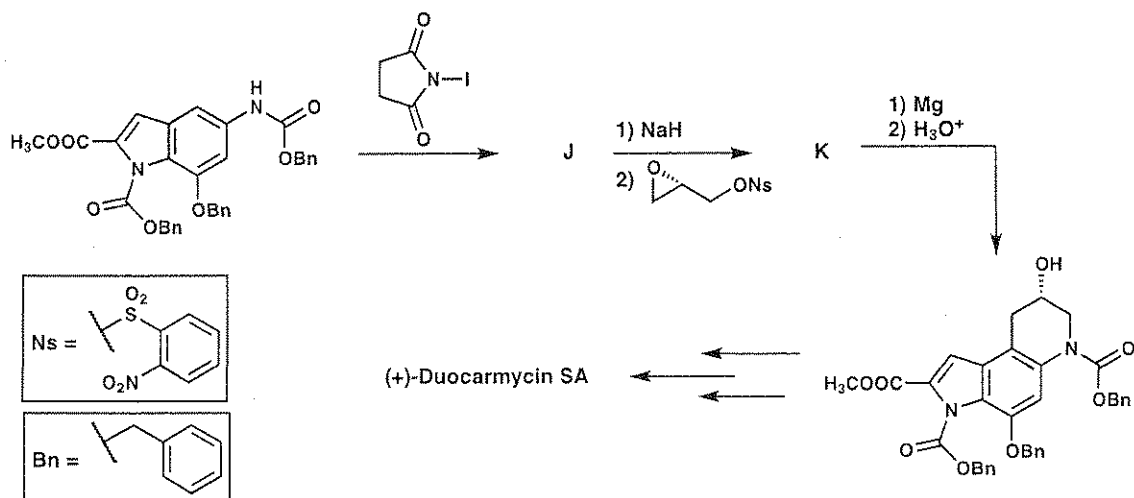


Meest reactief:

Minst reactief:

- e. Sommige klassen van natuurlijke producten treden op als DNA alkyleerders. Op die manier kunnen ze mogelijk gebruikt worden bij kankertherapie vanwege hun anti-tumoractiviteit. Een van die klassen is de duocarmycinen. Hieronder staat een asymmetrische totaalsynthese van het natuurproduct weergegeven in stappen.

Teken de structuren van de isoleerbare verbindingen **J** en **K**.

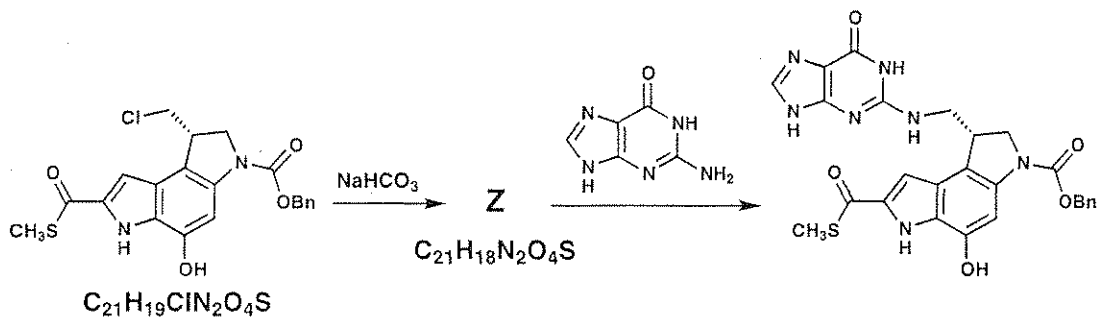


J

K

- f. Kleine erop lijkende moleculen werden gesynthetiseerd om de werking van duocarmycinen te onderzoeken. Een voorbeeld hiervan is het hieronderstaande thioester.

Teken de structuurformule van het reactieve intermediair **Z**.



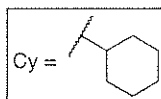
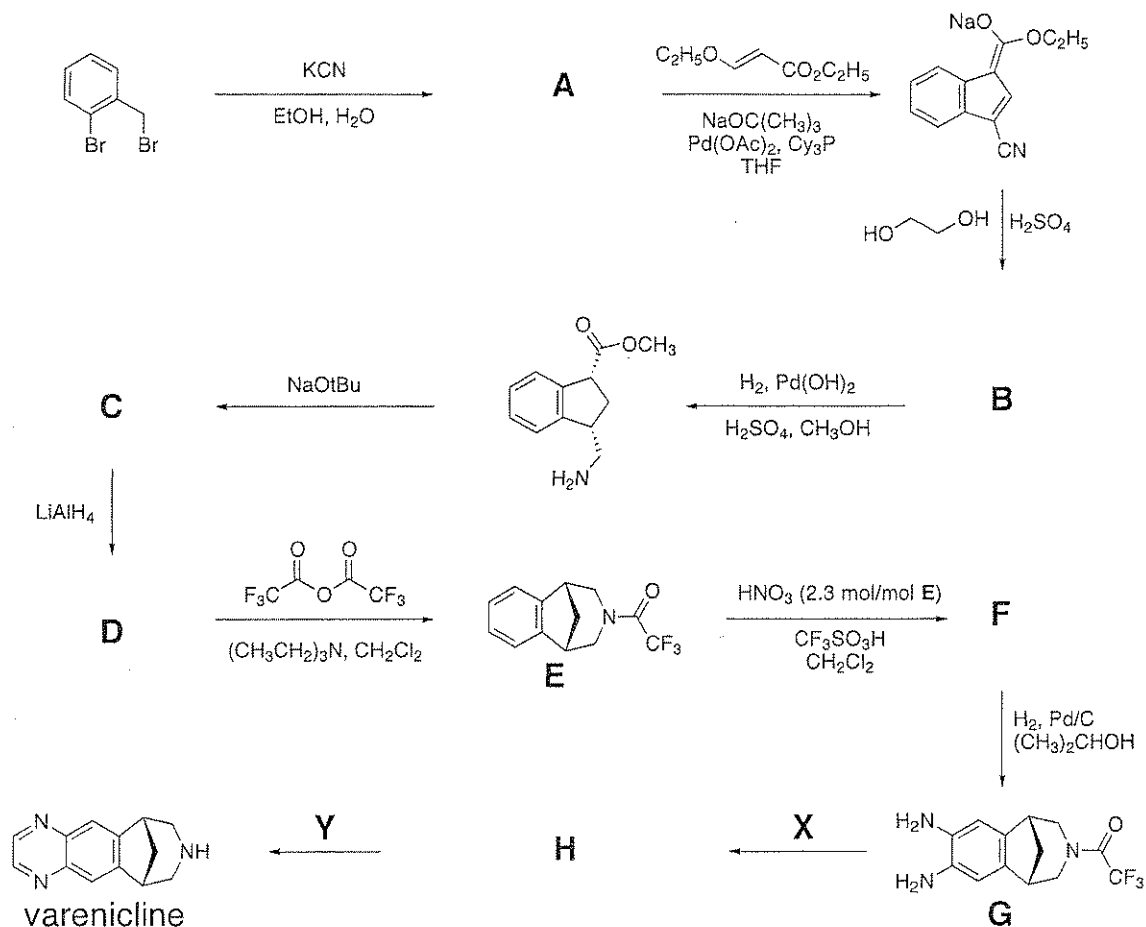
Z

Opgave 6

6,6 % van het totaal

a	b	c	d	Opgave 6	
2	4	6	8	20	6,6%

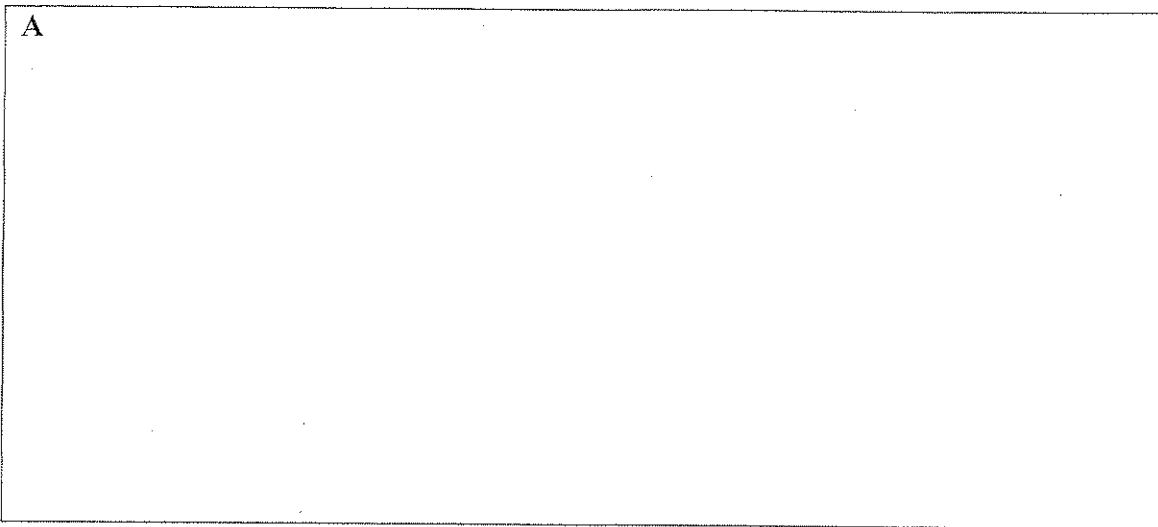
Varenicline is een stof die ontwikkeld werd voor orale behandeling tegen rookverslaving. De stof kan worden gesynthetiseerd via de onderstaande route. Alle verbindingen aangegeven met de letters A t/m H zijn ongeladen en ook isoleerbaar.



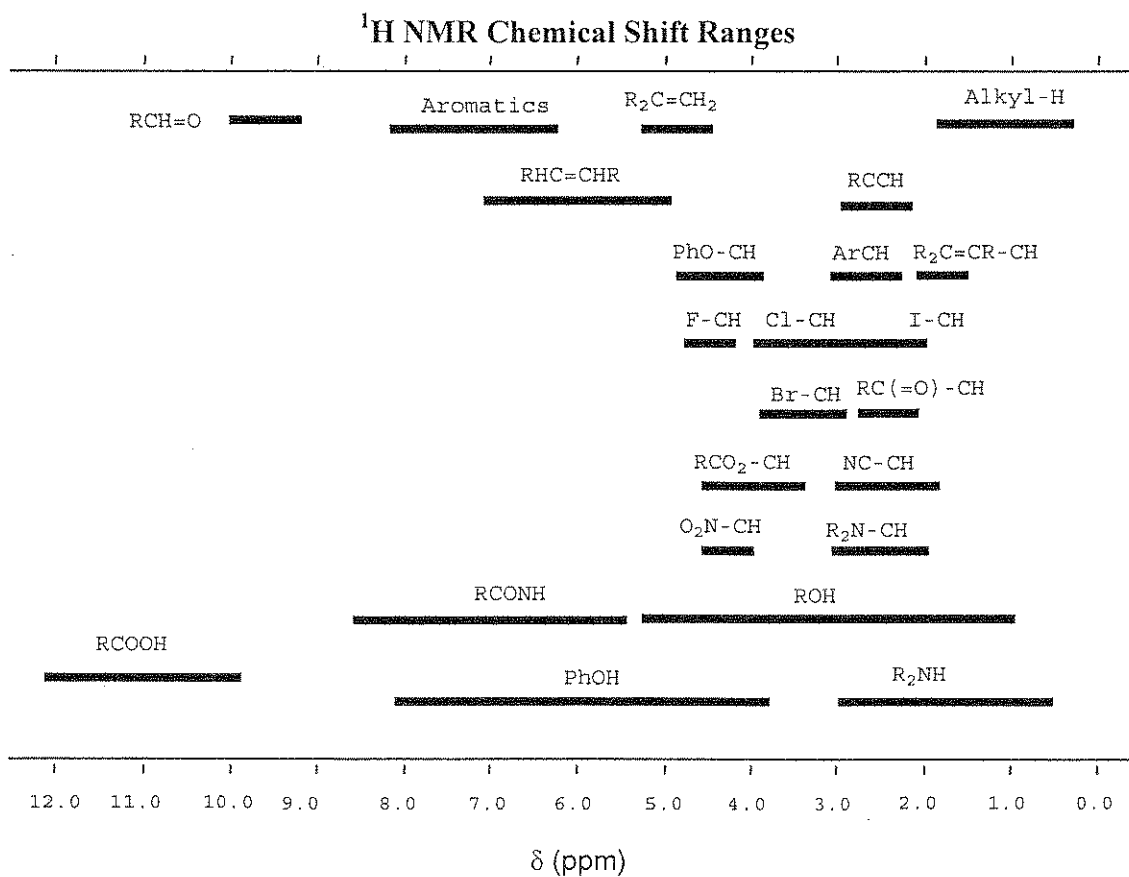
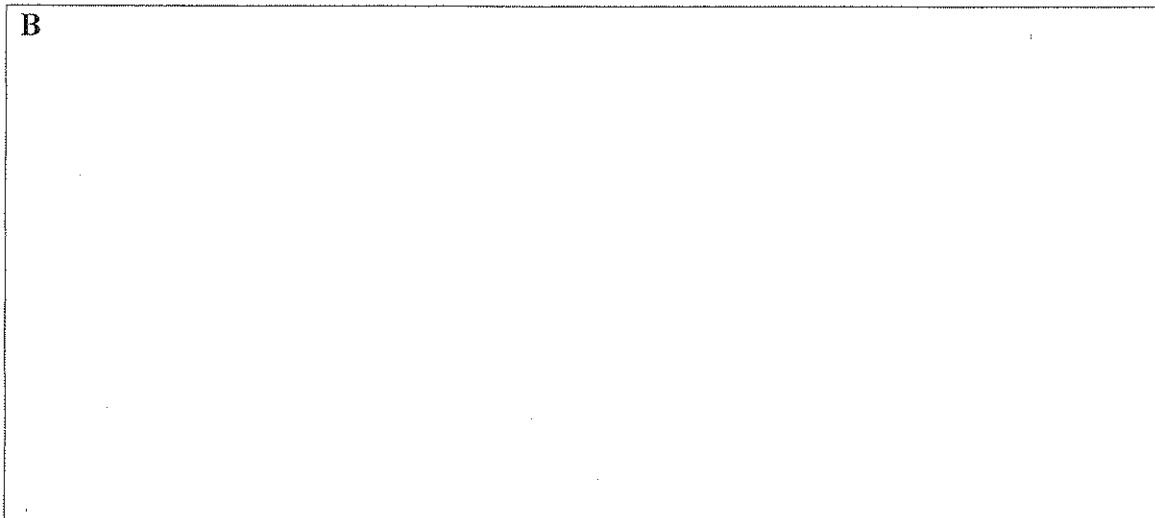
Naam:

Code: BEL

a. Geef een mogelijke structuurformule voor verbinding A.



- b. Geef een mogelijke structuurformule voor verbinding **B** rekening houdend met de volgende $^1\text{H-NMR}$ data: δ 7,75 (singlet, 1H), 7,74 (doublet, 1H, $J = 7,9$ Hz), 7,50 (doublet, 1H, $J = 7,1$ Hz), 7,22 (multiplet, 2 niet-equivalente H's), 4,97 (triplet, 2H, $J = 7,8$ Hz), 4,85 (triplet, 2H, $J = 7,8$ Hz).



c. Geef een mogelijke structuurformule voor de verbindingen **C**, **D** en **F**.

C	D
F	

d. Geef mogelijke reagentia **X** en **Y** die geschikt zijn om verbinding **G** om te zetten in varenicline.

Geef de structuurformule voor het isoleerbare intermediair **H** in deze syntheroute.

X	Y
H	

Opgave 7

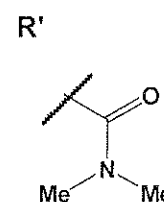
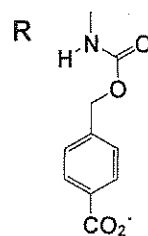
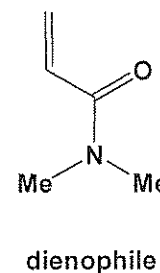
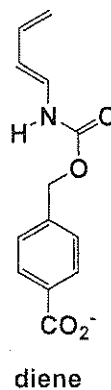
7,5 % van het totaal

a	b	c	d	e	f	Opgave 7	
9	15	8	6	8	6	52	7,5%

Een kunstmatig enzym was ontworpen om de twee hieronderstaande substraatmoleculen (diene en diënofiel) te binden en de diels-alderreactie tussen deze twee te katalyseren

- a. Bij de diels-alderreactie zonder katalysator tussen deze twee moleculen kunnen in principe acht mogelijke producten ontstaan.

- i. **Teken** de structuurformules van twee van de mogelijke reactieproducten die elkaars **regio-isomeren** zijn (d.i. de substituenten zitten niet op dezelfde plaatsen aan de ring). **Geef** daarbij de stereo-isomerie van iedere regio-isomeer **aan** in de structuurformule door gebruik te maken van '—' (binding boven het vlak van papier) en '.....' (binding onder het vlak van papier). Gebruik **R** en **R'** zoals hieronder staat weergegeven om de substituenten aan te geven die niet direct betrokken zijn bij deze reactie.



--	--

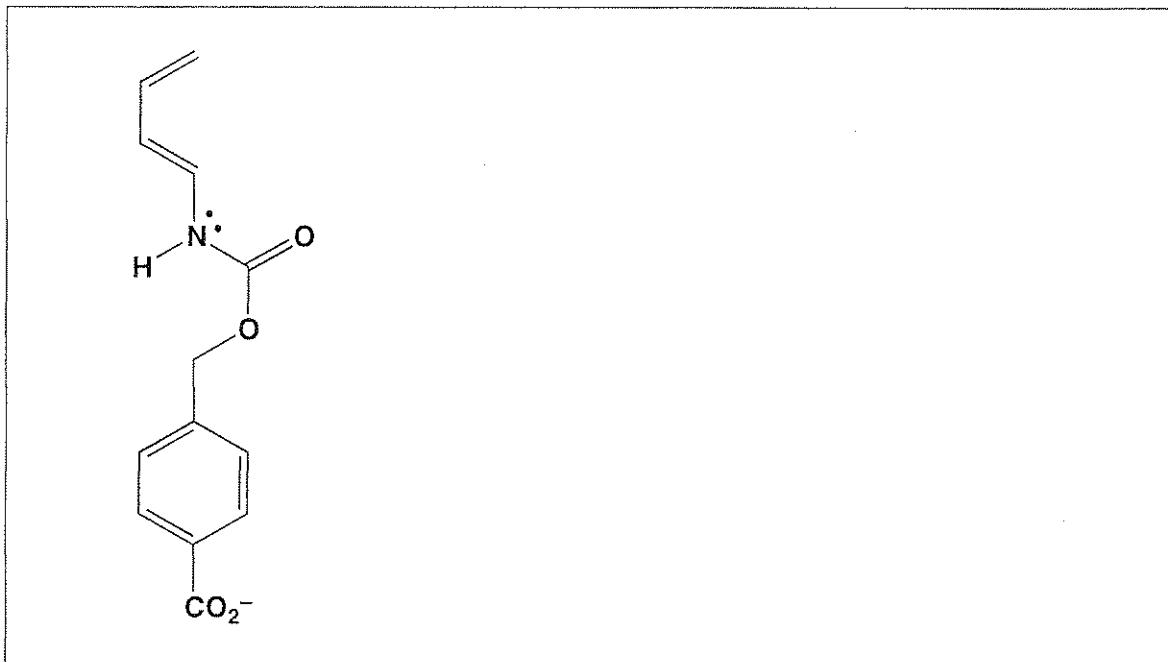
- ii. **Teken** de structuurformules van twee van de mogelijke reactieproducten die elkaars **enantiomeren** zijn. **Geef** daarbij de stereo-isomerie van iedere enantiomeer **aan** in de structuurformule door gebruik te maken van '—' en '.....'. Gebruik **R** en **R'** zoals in onderdeel i.

--	--

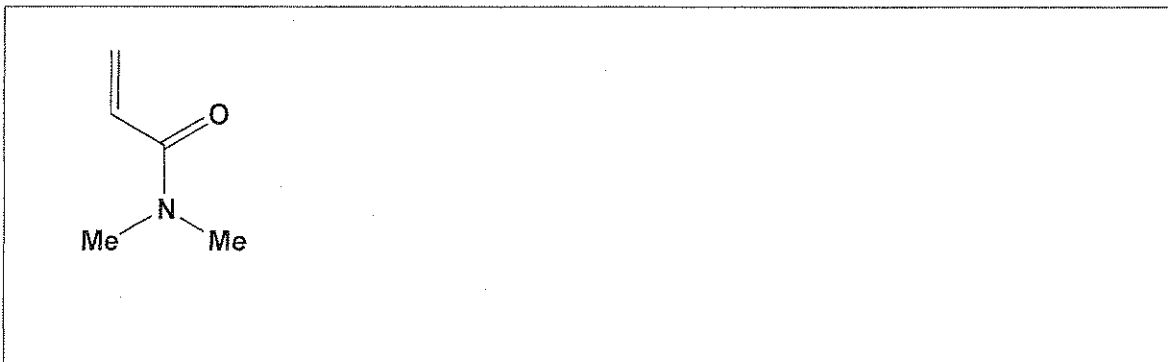
- iii. **Teken** de structuurformules van twee van de mogelijke reactieproducten die elkaars **diastereomeren** zijn. **Geef** daarbij de stereo-isomerie van iedere diastereomeer **aan** in de structuurformule door gebruik te maken van '—' en '.....'. Gebruik **R** en **R'** zoals in onderdeel i.

--	--

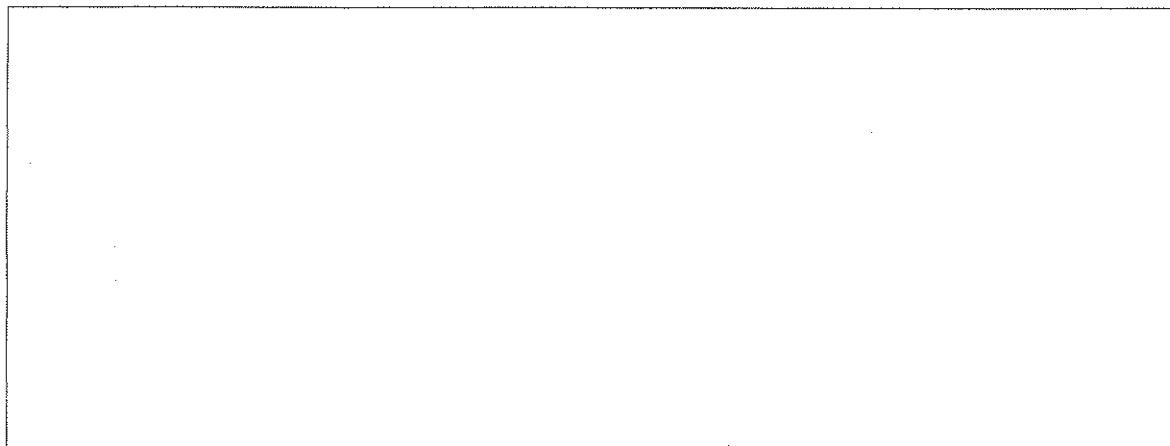
- b. De snelheid en regioselectiviteit van een diels-alderreactie hangt samen met de elektronische complementariteit tussen de twee reactanten. De structuren van het dieen en het diënofiel van onderdeel a. zijn hieronder gegeven.
- i. **Omcirkel** het koolstofatoom in het dieen dat een toegenomen elektronendichtheid heeft en daarom kan dienst doen als elektronendonor tijdens de reactie. **Teken** een mesomere structuur van het dieen in de box om je antwoord te ondersteunen. **Geef** alle aanwezige formele ladingen op de atomen aan in de mesomere structuur die je hebt getekend.



- ii. **Omcirkel** het koolstofatoom in het diënofiel dat een afgenomen elektronendichtheid heeft en daarom kan dienst doen als een elektroneacceptor tijdens de reactie. **Teken** een mesomere structuur van het diënofiel in de box om je antwoord te ondersteunen. **Geef** alle aanwezige formele ladingen op de atomen aan in de mesomere structuur die je hebt getekend.

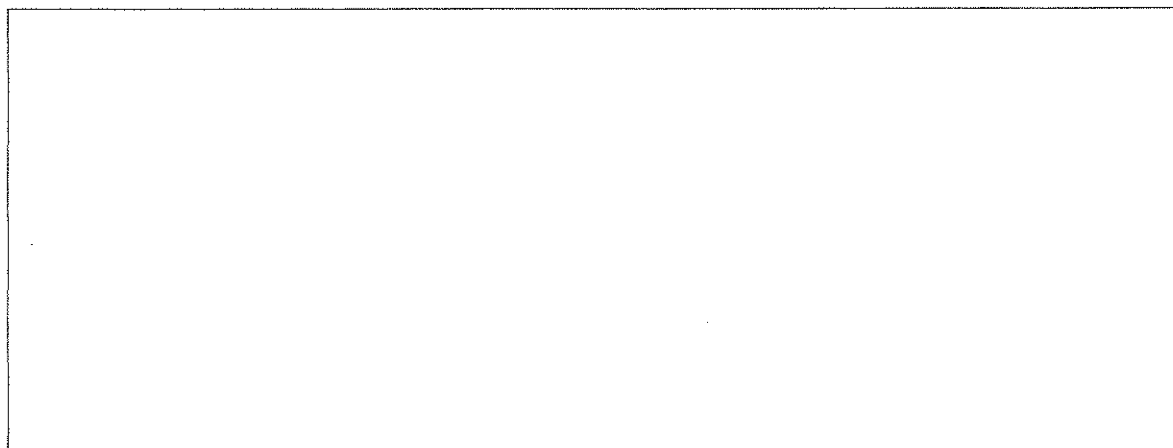
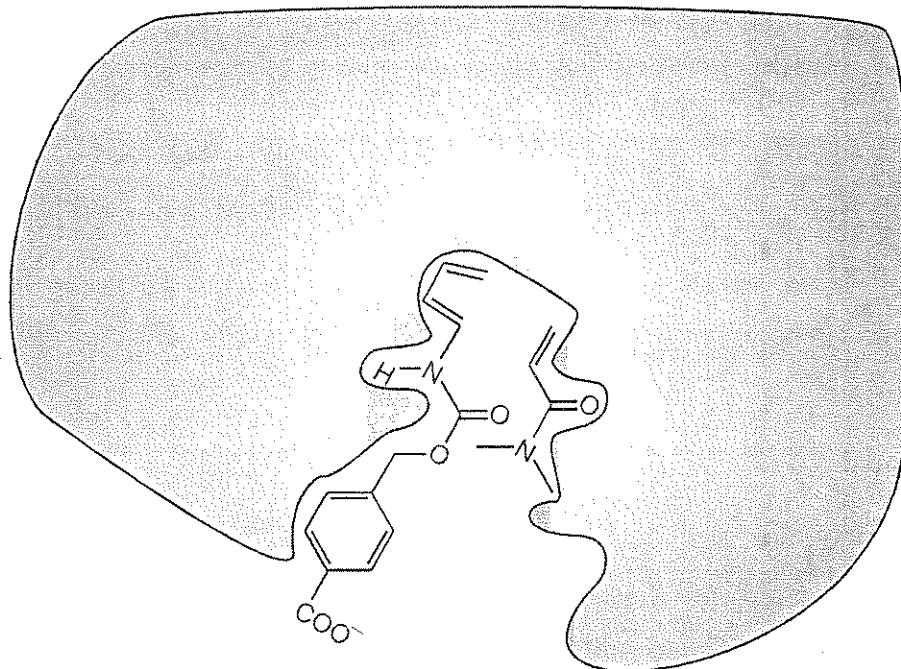


iii. Voorspel de regiochemie van de niet-gekatalyseerde diels-alderreactie van het diene en het diënofiel op basis van je toewijzingen bij de onderdelen **i.** en **ii.** door de structuurformule van het hoofdproduct te tekenen. Je hoeft hier niet de stereochemie aan te geven in de structuurformule.



- c. De figuur hieronder laat de diels-alderreactanten zien als zij aankomen op de overgangstoestand voor de productvorming in de actieve plaats van het kunstmatige enzym. Het grijze gebied stelt een doorsnede voor van het enzym. Het diënofiel bevindt zich **onder** het vlak van de doorsnede en het dieen **boven** het doorsnedevlak wanneer de twee moleculen worden gebonden in de actieve plaats zoals wordt getoond.

Teken in het vak hieronder de structuurformule van het product van de enzymgekatalyseerde reactie. Geef daarbij de stereo-isomerie van het reactieproduct aan in de structuurformule. Gebruik **R** en **R'** zoals je deed bij vraag a.

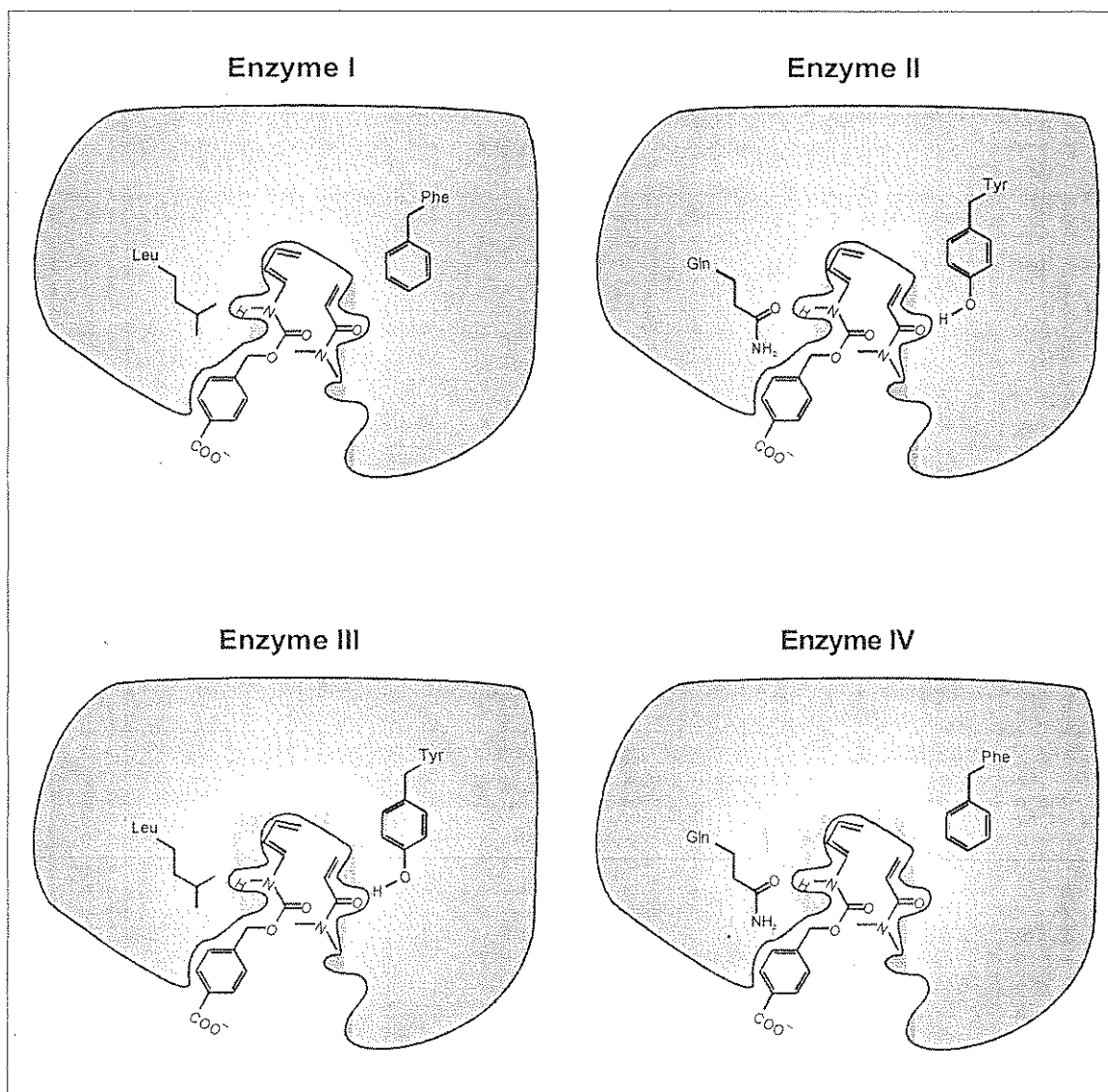


- d.** Beschouw de onderstaande beweringen over enzymen (kunstmatig en natuurlijk). Geef bij elke bewering aan of het waar (= **True**) of onwaar (= **False**) is door het betreffende woord te **omcirkelen**.
- i.** Enzymen zijn steviger gebonden aan de overgangstoestand dan de reactanten of de reactieproducten.
- True** **False**
- ii.** Enzymen verschuiven het evenwicht van de reactie ten gunste van het product.
- True** **False**
- iii.** Enzymatische katalyse laat altijd de activeringsentropie toenemen vergeleken met de niet-gekatalyseerde reactie.
- True** **False**

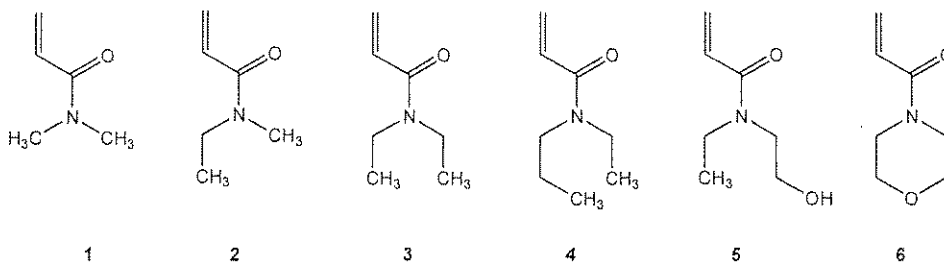
- e. Gemodificeerde versies van kunstmatige enzymen met verschillende katalytische activiteit zijn gemaakt (enzymen I, II, III en IV, zoals in de figuur hieronder wordt weergegeven). Twee stukjes van aminozuren die verschillen bij de verschillende enzymen zijn er aangegeven. Neem aan dat de getoonde functionele groepen van de enzymen zijn gepositioneerd vlakbij de corresponderende fragmenten van de reagentia wanneer zij de overgangstoestand vormen in de actieve plaats van het enzym.

Welke van deze vier enzymen zal de grootste toename geven van de snelheid van de diels-alderreactie vergeleken met de niet-gekatalyseerde reactie?

Enzym ...



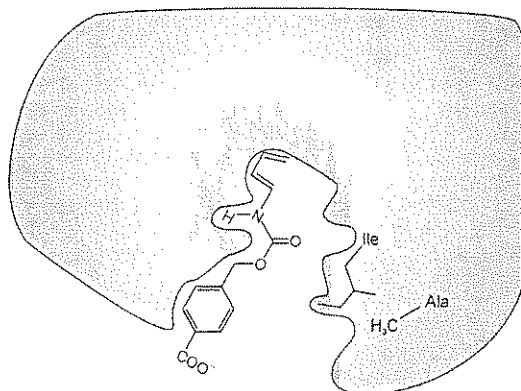
- f. De specificiteit van het substraat van kunstmatige enzymen werd getest door gebruik te maken van de diënofiele reactanten **1** t/m **6**, hieronder aangegeven.



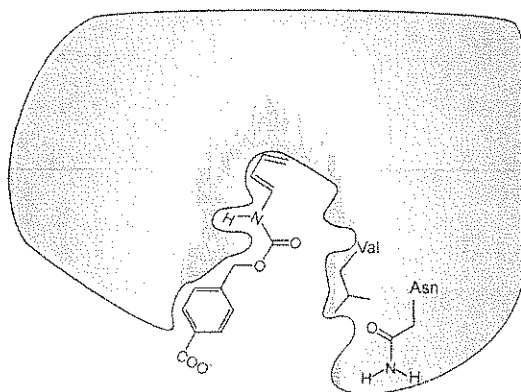
Diënofiel **1** reageert het snelst in de reactie gekatalyseerd door de kunstmatige **enzym V** (zie hieronder). Maar de kunstmatige **enzym VI** katalyseert veel sneller met een andere diënofiel. Welke van de hierboven weergegeven diënofielen reageert het snelst in de door **enzym VI** gekatalyseerde diels-alderreactie?

Diënofiel ...

Enzyme V



Enzyme VI

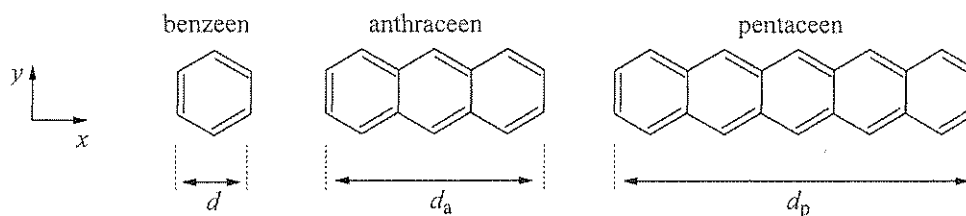


Opgave 8

8,3% van het totaal

a	b-i	b-ii	b-iii	b-iv	b-v	c-i	c-ii	c-iii	Opgave 8	8,3%
2	3	4	6	4	2	5	8	2	36	

Polycyclische aromatische koolwaterstoffen, PAKs, zijn luchtverontreinigers, ze zitten in organische lichtuitzendende diodes en in de interstellaire ruimte. Deze opgave gaat over de zogenoemde lineaire PAKs, dat wil zeggen dat de moleculen één benzeenring dik zijn terwijl de lengte varieert. Specifieke voorbeelden zijn benzeen, anthraceen en pentaceen. Hun structuurformules zijn hieronder afgebeeld. Hun fysische en chemische eigenschappen hangen af van de mate waarin de π elektronenwolk is uitgesmeerd over het molecuul.



- a. De afstand over de benzeenring is $d = 240$ pm. Gebruik deze informatie om de afstanden te **berekenen** over de horizontale as (x) voor een molecuul anthraceen en een molecuul pentaceen, respectievelijk d_a en d_p .

Voor anthraceen $d_a =$

Voor pentaceen $d_p =$

- b. Neem voor het gemak aan dat de π elektronen in een benzeenmolecuul opgesloten zitten in een vierkant. Dan kunnen de geconjugeerde π elektronen van PAKs worden beschouwd als vrije deeltjes in een tweedimensionale rechthoekige doos in het x - y vlak.

Voor elektronen in een tweedimensionale doos langs de x - en y -as worden de gekwantiseerde energietoestanden door de volgende vergelijking beschreven:

$$E = \left(\frac{n_x^2}{L_x^2} + \frac{n_y^2}{L_y^2} \right) \frac{h^2}{8m_e}$$

In deze vergelijking zijn n_x en n_y de kwantumgetallen voor de energietoestand, het zijn gehele getallen tussen 1 en ∞ ; h is de constante van Planck, m_e is de massa van het elektron en L_x en L_y zijn de afmetingen van de doos.

Behandel voor dit probleem de π elektronen van de PAKs als deeltjes in een tweedimensionale doos. In dit geval zijn de kwantumgetallen n_x en n_y **onafhankelijk** van elkaar.

- i. Neem voor dit probleem aan dat de x en y dimensies van de benzeeneenheid allebei een lengte d hebben. **Leid** een algemene formule **af** voor de gekwantiseerde energieën van lineaire PAKs als een functie van de kwantumgetallen n_x en n_y , de lengte d , het aantal gekoppelde ringen w en de fundamentele constanten h en m_e .

- ii. In het onderstaande diagram voor de energieniveaus van pentaceen staan kwalitatief de energieën en kwantumgetallen n_x en n_y voor alle niveaus, die zijn bezet met π elektronen, en het laagste onbezette energieniveau. Elektronen met tegengestelde spin zijn weergegeven met pijlen die naar boven of naar beneden wijzen. De niveaus zijn aangegeven met de kwantumgetallen $(n_x; n_y)$.

Pentaceen:

— (3; 2)
 $\uparrow\downarrow$ (9; 1)
 $\uparrow\downarrow$ (2; 2)
 $\uparrow\downarrow$ (1; 2)
 $\uparrow\downarrow$ (8; 1)
 $\uparrow\downarrow$ (7; 1)
 $\uparrow\downarrow$ (6; 1)
 $\uparrow\downarrow$ (5; 1)
 $\uparrow\downarrow$ (4; 1)
 $\uparrow\downarrow$ (3; 1)
 $\uparrow\downarrow$ (2; 1)
 $\uparrow\downarrow$ (1; 1)

Het diagram voor de energieniveaus van anthraceen is hieronder weergegeven. Merk op dat sommige niveaus dezelfde energie hebben. **Vul** dit diagram **in** met het juiste aantal naar boven en naar beneden wijzende pijlen om de π elektronen in anthraceen weer te geven. In dit diagram staan lege plekken tussen de haakjes; hier moeten de kwantumgetallen n_x en n_y komen te staan die jij moet bepalen. **Vul** de lege plekken **in** met de juiste waarden voor n_x en n_y voor elk bezet niveau en het laagste onbezette energieniveau(s).

Anthraceen:

__ (;)
 __ (;) __ (;)
 __ (;)
 __ (;)
 __ (;)
 __ (;)
 __ (;)
 __ (;)
 __ (;)

- iii. Gebruik dit model om een diagram voor de energieniveaus van benzeen te maken en vul de juiste energieniveaus met elektronen. Neem energieniveaus op tot en met het laagste onbezette energieniveau. Zet bij elk energieniveau de corresponderende waarden voor n_x en n_y . Ga er niet van uit dat het 'deeltje in een doos' model dat hier wordt gebruikt dezelfde energieniveaus oplevert als andere modellen.

Benzeen:

- iv De reactiviteit van PAKs hangt samen met het energieverschil ΔE tussen het hoogste met π elektronen bezette energieniveau en het laagste onbezette energieniveau. Vaak is het zo dat hoe groter dit energieverschil, hoe lager de reactiviteit is. **Bereken** het energieverschil ΔE (in Joules) tussen het hoogste bezette energieniveau en het laagste onbezette energieniveau voor benzeen, anthraceen en pentaceen. Gebruik je antwoorden uit de onderdelen **ii.** en **iii.** voor respectievelijk anthraceen en benzeen; of, indien je die antwoorden niet hebt, gebruik (2,2) voor het hoogste bezette energieniveau en (3,2) voor het laagste onbezette energieniveau voor deze twee moleculen (dit hoeven niet de juiste waarden te zijn). Geef ook aan welke stof het meest reactief is en welke het minst.

ΔE voor benzeen:

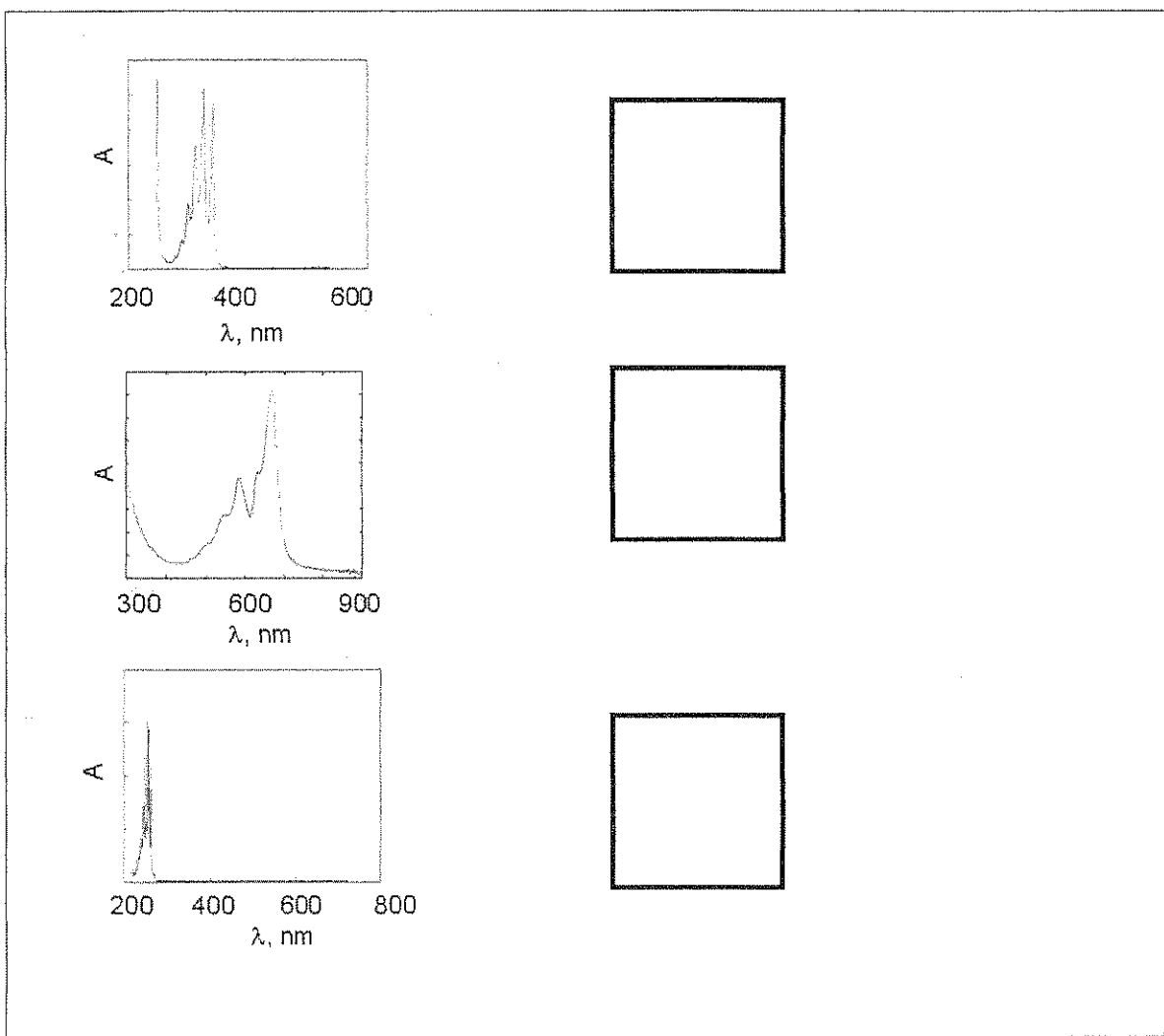
ΔE voor anthraceen:

ΔE voor pentaceen:

Rangschik benzeen (**B**), anthraceen (**A**) en pentaceen (**P**) volgens opklimmende reactiviteit, door van links naar rechts de corresponderende letters te plaatsen in onderstaand vak.

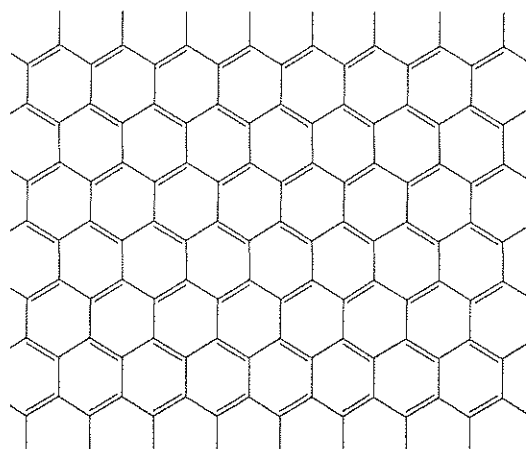
Minst reactief ----- → meest reactief

- v. De elektronabsorptiespectra (molaire extinctie A tegen golflengte λ) voor benzeen (**B**), anthraceen (**A**) en pentaceen (**P**) staan hierna. **Geef aan** welk spectrum hoort bij welke stof door de juiste letter te zetten in het vak rechts van het spectrum. Gebruik hierbij een kwalitatief begrip van het 'deeltje in een doos' model.



- c. Grafeen is een vorm van koolstof die opgebouwd is uit vlakken koolstofatomen die een tweedimensionaal honingraatpatroon vormen. Grafeen kan worden beschouwd als een extreme polyaromatische koolwaterstof met in essentie oneindig lange dimensies. De Nobelprijs voor Natuurkunde werd in 2010 toegekend aan André Geim en Konstantin Novoselov voor hun baanbrekende werk aan grafeen.

Beschouw een vlak stuk grafeen met dimensies $L_x = 25$ nm en $L_y = 25$ nm. Een deel van dit vlak is hieronder afgebeeld.

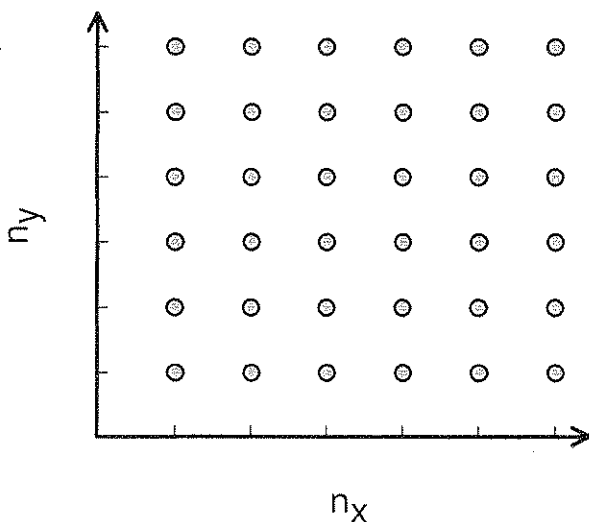


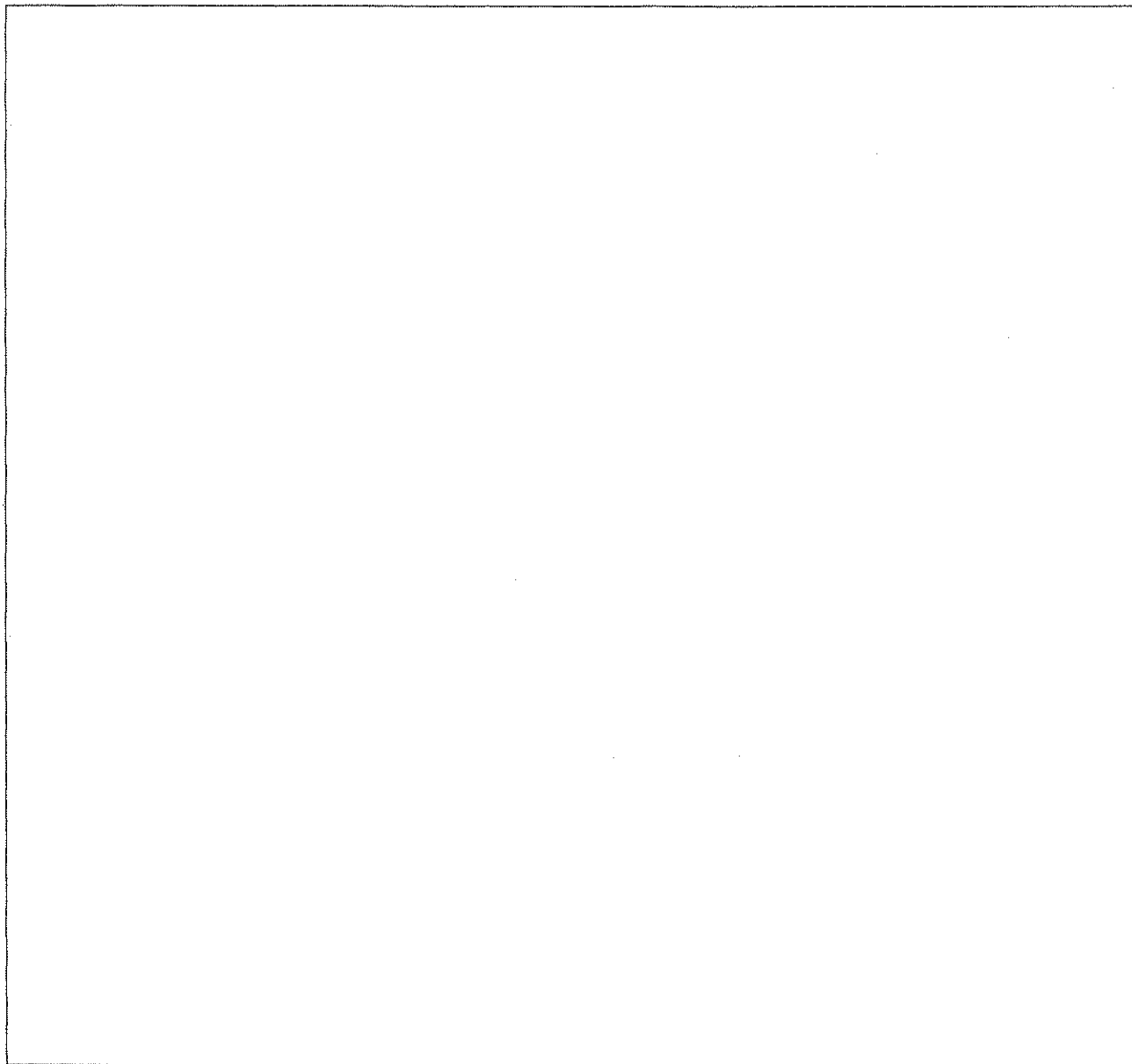
- i. De oppervlakte van één hexagonale eenheid van zes koolstofatomen is ~ 52400 pm². **Bereken** het aantal π elektronen in een (25 nm \times 25 nm) vlak van grafeen. Houd bij deze vraag geen rekening met randelektronen (dat zijn de elektronen buiten de gevulde zeshoeken in de afbeelding).

Berekeningen:

- ii. We kunnen de elektronen in grafeen opvatten als vrije elektronen in een tweedimensionale doos.

In systemen met grote aantallen elektronen is er niet één hoogste bezette energieniveau. In plaats daarvan zijn er veel toestanden met ongeveer dezelfde energie terwijl de niveaus daarboven onbezett blijven. De hoogste bezette toestanden bepalen het zogenoemde ferminiveau. Het ferminiveau in grafeen bestaat uit veel combinaties van de kwantumgetallen n_x en n_y . Bepaal de energie van het ferminiveau voor het $25 \text{ nm} \times 25 \text{ nm}$ vierkant van grafeen ten opzichte van het laagste bezette niveau. De energie van het laagste bezette niveau is weliswaar niet nul, maar verwaarloosbaar klein en mag op nul worden gesteld. Om dit probleem op te lossen, helpt het om de (n_x, n_y) kwantumtoestanden weer te geven als punten in een tweedimensionaal rooster (zoals hieronder) en te overwegen hoe de energieniveaus worden gevuld met elektronenparen. Gebruik je antwoord op onderdeel i. voor het aantal elektronen of, indien je dit antwoord niet hebt, gebruik dan de waarde 1000 (dit hoeft niet de juiste waarde te zijn).





- iii. Het geleidingsvermogen van grafeenachtige materialen hangt samen met het energieverval tussen het laagste onbezette energieniveau en het hoogste bezette energieniveau. Hoe groter dit verschil, hoe kleiner het geleidingsvermogen. Voorspel of het geleidingsvermogen van een grafeenvierkant van $25 \text{ nm} \times 25 \text{ nm}$ groter of kleiner is dan het geleidingsvermogen van een grafeenvierkant van $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ (het tot nu toe grootste stuk dat is gemaakt) of dat die geleidingsvermogens aan elkaar gelijk zijn. Maak gebruik van je analyse en begrip van π elektronen in PAKs. **Omcirkel** het juiste antwoord.

kleiner

even groot

groter