



# Tentamen

## Scheikunde

### Hertentamen Inorganic Chemistry

Datum: 6 juli 2022

Tijdstip: 13.00-16.00 uur

Locatie: SP A1.04

Aantal pagina's: 6 (inclusief voorblad, inclusief periodiek systeem)

Aantal vragen: 6 vragen + 1 bonusvraag

Maximaal aantal te behalen punten:  $100 + 10 = 110$

Bij elke vraag staat het bijbehorende aantal punten vermeld

---

#### VOORDAT U BEGINT

- **Wacht** tot u de instructie krijgt het boekje te openen
- Controleer of uw versie van het tentamen compleet is
- Schrijf **uw naam en studentnummer en indien van toepassing versienummer op elk vel papier** dat u inlevert en **nummer de pagina's**
- U dient uw **mobiele telefoon** uit te schakelen en te bewaren in uw jas of tas. Uw **jas en tas** moeten onder uw tafel liggen.
- **Toegestane hulpmiddelen:** rekenmachine. (ball&stick) model bouwdoos

---

#### HUISHOUDELIJKE MEDEDELINGEN

- *Gesloten boek tentamen.*
- Let goed op de vraagstelling. Als naar argumentatie gevraagd wordt maar u geeft alleen het eindantwoord dan wordt dit fout gerekend.
- De eerste 30 minuten en de laatste 15 minuten mag u de zaal niet verlaten, ook niet voor het bezoeken van het toilet.
- Op verzoek van de examinerator (of diens vertegenwoordiger) moet u zich kunnen legitimeren met een bewijs van inschrijving of een geldig legitimatiebewijs.
- Tijdens het tentamen is toiletbezoek niet toegestaan, tenzij de surveillant hier toestemming voor geeft.
- 15 minuten voor het eind wordt u gewaarschuwd dat het inlevertijdstip nadert
- Vul na afloop van het tentamen alstublieft het evaluatieformulier in.

---

**Succes!**

**Formules en constanten** (waarmee NIET is gezegd dat je ze allemaal nodig hebt)

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

$$\Delta G^\circ = -nFE^\circ$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_{eq}$$

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$$

$$E = E^\circ - (RT/nF) \ln Q$$

$$K = k_1/k_{-1}$$

$$k = A e^{-E_a/RT}$$

$$\ln k = \ln A - E_a/RT$$

$$\text{Marcus: } k_{12} \sim (k_{11}k_{22}K_{12})^{1/2}$$

$$\mu_{eff} = 2\{(S(S+1))\}^{1/2} \text{ (met } S = \frac{1}{2}n)$$

$$R = 8.3145 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$$

$$F = 96500 \text{ C.mol}^{-1}$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$N_A = 6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$k_B = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$$

$$c = 2.998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

$$1 \text{ atm} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$$

**Vraag 1** (15 pt)

- Explain the concept of the “different colors of hydrogen”. (2 points)
- Explain how hydrogen can be produced in the laboratory according to Cavendish and give the reaction equation. (3 points)
- Which method is currently used industrially to produce about 90% of all hydrogen. Briefly describe the process and note down all relevant equations. (5 points)
- Describe an alternative process to produce hydrogen in a more sustainable fashion, including overall reaction and individual equations. (5 points)

**Vraag 2** (20 pt)

a) Geef van elk van de onderstaande verbindingen de formele oxidatietoestanden van de overgangsmetaalcentra en geef aan of de verbinding diamagnetisch of paramagnetisch is. (5 pt)

- $[\text{Ni}(\text{PMe}_3)_2(\text{CO})(\text{H})]^+$
- $\text{Na}_3[\text{Rh}(\text{CN})_5]$
- $(\text{NMe}_4)_2[\text{Fe}(\text{Cl})_4]$
- $[\text{CoCl}_2(\text{OH}_2)_4]_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$
- $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2][\text{Re}(\text{CO})_5]$

b) Wat is de meest waarschijnlijke coördinatie-geometrie van de metaalcentra in bovenstaande verbindingen? (5 pt)

c) Geef de IUPAC naam van zowel  $(\text{NMe}_4)_2[\text{Fe}(\text{Cl})_4]$  als  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2][\text{Re}(\text{CO})_5]$ . (5 pt)

d) Teken alle geometrische isomeren van het chlorido-bromido-(ethyleendiamine)(oxalato)cobalt(III) complex die in oplossing stabiel kunnen zijn en benoem de chirale verbindingen met  $\Delta$  en  $\Lambda$  indien relevant. (5 pt)

**Vraag 3** (15 pt)

Geef van elk van de volgende stellingen (I t/m X) aan of de bewering waar of niet waar is:

- I)  $[\text{Rh}(\text{CN})_6]^{3-}$  heeft alle metaal-ligand bindingsafstanden langer dan  $[\text{Rh}(\text{CN})_6]^{4-}$ .
- II) De bindingsafstanden van  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  zijn korter dan die van  $[\text{Fe}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ .
- III)  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^+$  vertoont een Jahn-Teller effect.
- IV)  $[\text{Cr}(\text{CN})_6]^{3-}$  vertoont een Jahn-Teller effect.
- V) Een-elektron oxidatie van  $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{3-}$  resulteert in een grote structurele verandering, waarbij een verbinding ontstaat die slechts één enkel signaal vertoont in het  $^{13}\text{C}$  NMR spectrum.
- VI)  $\text{NH}_3$  bindt sterker als donor aan metalen dan  $\text{H}_2\text{O}$  en dit komt door het verschil in electronegativiteit tussen N en O.
- VII)  $\text{Cl}^-$  bindt zwakker als donor aan metalen dan  $\text{CN}^-$ , want  $\text{Cl}^-$  is een pi-donor.
- VIII) Het Jahn-Teller effect zorgt ervoor dat  $\text{Co}^{\text{II}}$  complexen altijd een sterk verstoorde geometrie aannemen, ongeacht de ligandveldsterkte.
- IX) Het Jahn-Teller effect zorgt ervoor dat  $\text{Ir}^{\text{II}}$  complexen altijd een sterk verstoorde geometrie aannemen, ongeacht de ligandveldsterkte.
- X) Het chelaat effect zorgt ervoor dat  $\text{Co}^{\text{III}}$  complexen met het bidentaat ligand bipyridine een sterkere kleur hebben dan  $\text{Co}^{\text{III}}$  complexen met  $\text{NH}_3$ .

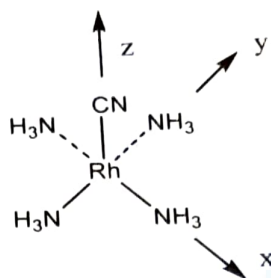
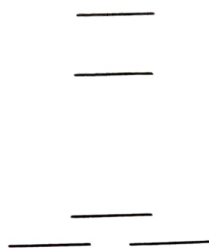
**Vraag 4** (15 pt)

- a) Verklaar waarom  $[\text{Fe}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$  slechts zwak (groen-geel) gekleurd is. (5 pt)
- b) Je hebt twee oplossingen van metaalcomplexen in je zuurkast gemaakt: Een oplossing van  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$  en een oplossing van  $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ , beide in water opgelost. Na de koffiepauze op het practicum ben je helaas vergeten welke verbinding ook alweer in welke erlenmeyer zat. Je kunt het echter beredeneren op basis van de kleur. Één van de twee oplossingen is diep-paars gekleurd en de andere oplossing is geel. Welke kleur hoort bij  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$  en welke kleur hoort bij  $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ ? (5 pt)
- c) Het complex  $[\text{Fe}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$  heeft een magnetisch moment  $\mu_{\text{eff}} = 4.90$ . Dit verandert naar een magnetisch moment van  $\mu_{\text{eff}} = 5.92$  als je het complex oxideert (waarbij je er slechts 1 elektron uithaalt). Verklaar dit.

**Vraag 5** (20 pt)

Hieronder staat de opsplitsing van de d-orbitalen van het metaal veroorzaakt door het kristalveld van de liganden in  $[\text{Rh}(\text{NH}_3)_4(\text{CN})]$ . De elektronen zijn nog niet ingevuld in het energieschema. Als benadering is hierbij aangenomen dat CN en  $\text{NH}_3$  een even grote kristalveldopsplitsing geven per ligand. Het assenstelsel is zo gekozen dat een  $\text{NH}_3$  ligand en het cyano ligand zich op de z-as van het molecuul bevindt.





- a) Benoem de d-orbitalen in het energie-schema aan de hand van dit assenstelsel. Teken het energie-schema (d-orbitaal opsplitsing) over op het antwoord papier en benoem daarin ieder d-orbitaal. (5 pt)
- b) Vul het bovengenoemde energie-schema in met de benodigde elektronen en bereedeneer of je een (extra) Jahn-Teller verstoring verwacht of niet. (5 pt)

Naast  $\sigma$ -interacties tussen het metaal en de liganden spelen bij dit complex ook  $\pi$ -interacties een rol. Die  $\pi$ -interacties worden meestal behandeld als een verstoring op de bovengenoemde opsplitsing van de d-orbitalen ten gevolge van  $\sigma$ -interacties.

- c) Geef aan hoe de energieniveaus verschuiven door het maken van  $\pi$ -binding met het cyanido ( $\text{CN}^-$ ) ligand. Benoem weer de d-orbitalen in het nieuwe energieschema en geef duidelijk aan welke orbitalen  $\pi$ -binding,  $\pi^*$ -antibinding en  $\pi$ -nonbonding zijn. (5 pt)
- d) Dit complex verliest gemakkelijk een  $\text{NH}_3$  ligand. Verklaar waarom. (5 pt)

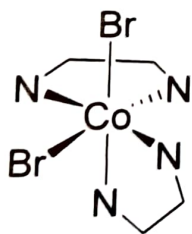
**Vraag 6** (15 pt)

Een Galvanische cel opgebouwd uit een goud electrode ( $\text{Au}_{(s)}$ ), een lood electrode ( $\text{Pb}_{(s)}$ ), een  $\text{Pb}^{2+}_{(aq)}$  oplossing van 0.44 M, een  $\text{Au}^{+}_{(aq)}$  oplossing van 0.25 M en een zoutbrug wordt aangesloten op een voltmeter. De cel is aangesloten volgens IUPAC afspraken en je meet dus een positieve celpotentiaal. De standaard reductie-potentiaal van het  $\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}$  koppel is  $-0.13$  V en de standaard reductie-potentiaal van het  $\text{Au}^{+}/\text{Au}$  koppel is  $+1.69$  V.

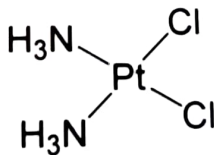
- Maak een duidelijke tekening van deze Galvanische cel. Aan welke electrode (in welke halfcel) is de plus-pool van de voltmeter aangesloten? Geef dit duidelijk aan met een tekening. Is dit de kathode of de anode van de Galvanische cel? (4 pt)
- Geef de celnotatie van deze Galvanische cel  
Wat is de reductor en wat is de oxidator in dit systeem? (3 pt)
- Bereken de celpotentiaal van deze Galvanische cel. (8 pt)

**Bonusvraag** (10 pt)

Geef van elk van de volgende stelling aan of de bewering waar of niet waar is:



A



B

- Verbinding **A** is een voorbeeld van een optisch actieve stof met een  $\Lambda$  geometrie.
- Verbinding **B** wordt gebruikt als anti-tumor medicijn.
- Het enantiomeer van verbinding **A** lost beter op dan **A** zelf.
- Verbinding **A** ondergaat snelle substitutiereacties van de bromide liganden in oplossing.
- Van verbinding **B** bestaan in totaal 4 stereo-isomeren.
- Redoxreacties met verbinding **A** verlopen altijd snel.
- De metaal-ligand interacties in verbinding **B** zijn sterker dan in **A**.
- 1e-oxidatie van verbinding **A** zorgt ervoor dat alle metaal-ligand bindingslengtes evenveel korter worden.
- één-elektron reductie van verbinding **B** via een outer sphere reactie zal altijd snel verlopen.
- Als in verbinding **A** het Co ion vervangen wordt door Ni verandert de structuur in een tetraeder door het Jahn-Teller effect.

I 1 II 2  
 III 13 IV 14 V 15 VI 16 VII 17 VIII 18

### Periodic Table of the Elements

1 H 1.008	2 He 4.003											3 Li 6.941	4 Be 9.012	5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.180
11 Na 22.990	12 Mg 24.305											13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.066	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948		
19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.956	22 Ti 47.88	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.847	27 Co 58.933	28 Ni 58.69	29 Cu 63.546	30 Zn 65.39	31 Ga 69.723	32 Ge 72.61	33 As 74.972	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80		
37 Rb 85.468	38 Sr 87.62	39 Y 88.906	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.906	46 Pd 106.42	47 Ag 107.868	48 Cd 112.411	49 In 114.82	50 Sn 118.710	51 Sb 121.757	52 Te 127.60	53 I 126.905	54 Xe 131.29		
55 Cs 132.905	56 Ba 137.327	57 La 174.967	58 Ce 178.49	59 Pr 180.948	60 Nd 183.85	61 Pm 186.207	62 Sm 190.2	63 Eu 192.22	64 Gd 195.08	65 Tb 196.967	66 Dy 200.59	67 Ho 204.383	68 Er 207.2	69 Bi 208.980	70 Po (209)	71 At (210)	72 Rn (222)		
87 Fr (223)	88 Ra 226.025	89 Ac 227.028	90 Th 232.038	91 Pa 231.036	92 U 238.029	93 Np 237.048	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (288)	102 No (289)				

57 La 138.906	58 Ce 140.115	59 Pr 140.908	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.965	64 Gd 157.25	65 Tb 158.925	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.934	70 Yb 173.04
---------------------	---------------------	---------------------	--------------------	-------------------	--------------------	---------------------	--------------------	---------------------	--------------------	--------------------	--------------------	---------------------	--------------------