NATIONALE CHEMIE OLYMPIADE

# Voorronde 2, 2002

## Opgaven

woensdag 17 april

 

1. **Deze voorronde bestaat uit 22 vragen verdeeld over 5 opgaven**
2. **De maximum score voor dit werk bedraagt 100 punten**
3. **De voorronde duurt maximaal 3 klokuren**
4. **Benodigde hulpmiddelen: rekenapparaat**
5. **Bij elke opgave is het aantal punten vermeld dat juiste antwoorden op de vragen oplevert**
6. **Bij deze voorronde mag Binas niet gebruikt worden**
7. **Benodigde gegevens en periodiek systeem gaat hierbij**

**Gegevens**

|  |  |
| --- | --- |
| algemene gasconstante *R* | 8,3145 J mol−1 K−1 |
| constante van Faraday *F* | 9,64853⋅104 C mol−1 |
| elementair lading *e* | 1,6021765⋅10−19 C |
| constante van Avogadro *N*A | 6,02214⋅1023 mol−1 |
| enkele standaardelektrodepotentialen *V*o | Zn(OH)42−/Zn, OH−: −1,22Zn2+/Zn: −0,76 |
| baseconstante | *K*b(NH3) = 1,8⋅10−5 |
| eerste orde snelheidsvergelijking;vergelijking voor radioactief verval | ;  |
| formules voor de gibbsenergie *G* | *G*°(*T*) = −*RT* ln *K* = −*nF**V*° = lading × potentaal (bij elektrische energie) |

1. Een boompje opzetten (20 punten)

Verbindingen waarvan de moleculen een  groep bevatten, kunnen onder invloed van een geschikte katalysator reageren met verbindingen waarvan de moleculen een  groep bevatten.

Daarbij treedt de volgende additie op:



Zo reageert propeen (C3H6) met 1,4-butaandiamine (H2N−CH2−CH2−CH2−CH2−NH2) onder vorming van additieproducten met de formule C7H18N2. Eén van de reacties die optreedt, is de volgende:



Op grond van bovenstaande gegevens mag verwacht worden dat bij het reageren van propeen met 1,4-butaandiamine nog een ander additieproduct met de formule C7H18N2 gevormd wordt.

1. Geef de structuurformule van dat andere additieproduct. 3

Bij het toevoegen van propeen aan 1,4-butaandiamine kan in het reactiemengsel ook een verbinding gevormd worden met de volgende structuurformule:



Men kan het ontstaan van deze verbinding verklaren met behulp van voorgaande gegevens.

1. Leg aan de hand van voorgaande gegevens uit hoe het ontstaan van deze verbinding in het reactiemengsel verklaard moet worden. Betrek in de uitleg de structuurformule van 1,4‑butaandiamine. 3

Acrylonitril (H2C = CH − C ≡ N) reageert met 1,4-butaandiamine op dezelfde manier als propeen dat doet. Bij gebruik van een overmaat acrylonitril ontstaat onder bepaalde omstandigheden vrijwel uitsluitend een verbinding met de volgende structuurformule:



Deze verbinding kan met waterstof reageren. Daarbij treedt additie op. Als deze additie volledig verlopen is, ontstaat een verbinding met de volgende structuurformule:



Uitgaande van 1,4-butaandiamine kunnen, door afwisselende reacties met acrylonitril en met waterstof, polymeermoleculen ontstaan die steeds verder vertakt raken. Onder geschikte omstandigheden kan men steeds maximale aangroei van de moleculen realiseren.

1. Leg uit hoeveel moleculen waterstof nodig zijn om uitgaande van 1 molecuul 1,4−butaandiamine een polymeermolecuul te maken met 16 NH2 groepen. Neem daarbij aan dat alle reactiestappen volledig verlopen. 6

De hierboven genoemde soort polymeren, met NH2 groepen aan de buitenkant van de moleculen, is goed oplosbaar in water.

In de polymeermoleculen zitten ‘holten’. Men onderzoekt de mogelijkheid om die holten te vullen met kleurstofmoleculen, zodat het polymeer als een in water oplosbare kleurstofdrager dienst zou kunnen doen in verf.

Om te verhinderen dat de ingesloten kleurstofmoleculen uit de holten zouden kunnen ontsnappen, moeten de holten via de NH2 groepen afgesloten worden. Men zou het polymeer ter afsluiting van de holten kunnen laten reageren met bijvoorbeeld butaandizuur, maar ook met bijvoorbeeld asparaginezuur (2-aminobutaandizuur). Voor de bereiding van de kleurstofdrager geeft men daarbij de voorkeur aan het gebruik van asparaginezuur,  , boven het gebruik van butaandizuur. De reactie van één molecuul asparaginezuur (A) met een stukje van het polymeer is als volgt weer te geven:



1. Geef het gedeelte dat hierboven met X is aangeduid, in structuurformule weer. 4
2. Leg duidelijk uit waarom men voor het aldus afsluiten van de holten asparaginezuur zou gebruiken en niet butaandizuur. 4
3. Schudden maar! (22 punten)

Als men een oplosmiddel A, waarin een stof X is opgelost, in contact brengt met een oplosmiddel B, dat niet met A mengbaar is, dan zal er diffusie optreden van X van A naar B (en al spoedig ook omgekeerd) tot een evenwichtssituatie is bereikt voor de verdeling van X over A en B.

Schudden versnelt het bereiken van deze evenwichtssituatie. Men kan dit zien als een evenwichtsproces: XA  XB waarvoor een evenwichtsconstante *K*v geldt: .

Om het verdelingsevenwicht van azijnzuur CH3COOH (=X) over tetra (CC14) (=A) en water (=B) te bepalen, brengt men 1,0 liter tetra met daarin 6,0 g azijnzuur opgelost in contact met 1,0 liter water.

Na instelling van het evenwicht titreert men ter bepaling van de azijnzuurconcentratie in de waterlaag een monster van 1,0 mL van die waterlaag met 0,90 mL 0,10 M NaOH-oplossing.

1. Bereken hieruit de *K*v van de verdeling van azijnzuur over water en tetra. 4

Op soortgelijke wijze kan men ook de *K*v van de verdeling van butaanzuur over water en tetra bepalen.

1. Beredeneer of die *K*v bij butaanzuur groter of kleiner zal zijn dan bij azijnzuur. 4

Dit principe kan men ook gebruiken om geleidelijk steeds meer azijnzuur uit een oplossing van azijnzuur in tetra te extraheren. Dit doet men als volgt. Bij een oplossing van azijnzuur in tetra wordt 1,0 liter water gevoegd. Het geheel wordt geschud, zodat de azijnzuur zich gaat verdelen over water en tetralaag. Na evenwichtsinstelling verwijdert men voorzichtig de waterlaag. Bij de overblijvende tetralaag wordt opnieuw een verse portie water gevoegd, het geheel weer geschud enzovoort, enzovoort.

1. Bereken hoeveel porties van 1,0 liter water men achtereenvolgens in contact moet brengen met 1,0 liter tetra, waar 6,0 gram azijnzuur in zit opgelost, om het azijnzuurgehalte in de tetralaag terug te brengen tot minder dan 0,10 mg per liter. 6

In werkelijkheid is het evenwichtsproces bij het verdelen van azijnzuur over water en tetra ingewikkelder.

In de tetralaag komt azijnzuur namelijk voor in de vorm van ‘dimeer’deeltjes met formule (CH3COOH)2 en in de waterlaag als enkelvoudige deeltjes CH3COOH.

1. Geef de vergelijking van dit evenwichtsproces. 2
2. Voor dit evenwichtsproces kun je ook een ‑andere‑ evenwichtsconstante *K’*v definiëren: geef de formule voor die *K’*v. 2
3. Bereken de waarde van *K’*v, die uit de titratie van het monster uit de waterlaag volgt (zie de meetgegevens boven vraag . 4
4. Deze buffer staat! (26 punten)

Je hebt een bufferoplossing nodig met een pH van 8,50 (*T* = 298 K). Aanwezig is 5,00 g salmiak (ammoniumchloride), demiwater, 0,10 M zoutzuur en 0,10 M natronloog en wat glaswerk (buret, maatkolf, pipet, bekerglas, trechter e.d.). *K*b(NH3)= 1,8⋅10−5

1. Leg uit dat je met deze middelen zo’n bufferoplossing kunt maken. 5
2. Bereken hoeveel mL van een of meer vloeistoffen je moet toevoegen aan 5,00 g salmiak om 1,00 L bufferoplossing te maken met een pH van 8,50. 8
3. Bereken de pH-verandering als je aan 100 mL van deze bufferoplossing 10,0 mL 0,10 M zoutzuur toevoegt. 6
4. Bereken ook de pH-verandering als je aan 100 mL van deze bufferoplossing 10,0 mL 0,10 M natronloog toevoegt. 4
5. Leg uit waarom de pH-verandering bij de ene toevoeging kleiner is (grotere buffercapaciteit) dan bij de andere. 3
6. De Engelse staaf (13 punten)

Een Engelse batterij (gewone staafbatterij) werkt op basis van de volgende omzettingen.

* zink treedt op als reductor
* mangaan(IV)oxide reageert tot mangaan(III)oxidehydroxide, MnO(OH). Het elektrolyt is ammoniumchloride (salmiak)
1. Geef de halfreacties van beide redoxkoppels en leid uit deze halfreacties de reactievergelijking af van de totale redoxreactie in deze batterij. 4

Onder standaardomstandigheden levert zo’n batterij een bronspanning van 1,26 V

1. Hoe groot is de standaardpotentiaal van het mangaanredoxkoppel? 2

Het vermogen van een batterij geeft men aan in ampèreuur, A h.

1. Hoeveel A h levert deze batterij per g bruinsteen, MnO2? 4

De gibbsenergie *G* is een maat voor de werkzame energie (energie die arbeid levert). Bij de gegevens vind je dat de verandering van de gibbsenergie bij een reactie onder standaardomstandigheden r*G*° evenredig is met de evenwichtsconstante *K*. Voor een galvanische element geldt dat de werkzame energie r*G*° gelijk is aan de elektrische arbeid (lading × potentiaal). Hierin is *V*° de bronspanning onder standaardomstandigheden.

1. Bereken r*G*° en *K* voor deze reactie bij 298 K. 3
2. Tikken tellen (19 punten)

Bij het bestralen van joodethaan met neutronen wordt de C−I-binding verbroken. Hierbij ontstaat onder meer 128I2. Dit radioactieve jood wordt geëxtraheerd met Na2S2O3-oplossing in water.

1. Geef de reactievergelijking van de vorming van radioactief jood door bestraling van joodethaan met neutronen en de reactievergelijking van de reactie die optreedt tijdens de extractie van jood met thiosulfaatoplossing. 6

De radioactiviteit van het extract wordt op verschillende tijdstippen gemeten met een teller. De meetresultaten staan in de tabel.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| tijd *t* in minuten | 17 | 29 | 50 | 60 | 76 | 105 | 123 |
| aantal tikken *Nt* per min in de teller | 6985 | 5111 | 2753 | 2117 | 1256 | 584 | 351 |

Radioactief verval heeft een eerste-ordeverloop (zie gegevens). Hierin is *k* de vervalconstante (snelheidsconstante van het radioactief vervalproces).

1. Bepaal grafisch: 13
* de vervalconstante *k* van 128I.
* *N*o
* de halveringstijd  van 128I.

Aanwijzing: zet ln *Nt* uit tegen de tijd.

NATIONALE CHEMIE OLYMPIADE

## Antwoordmodel

woensdag 17 april 2002

1. **Deze voorronde bestaat uit 22 vragen verdeeld over 5 opgaven**
2. **De maximum score voor dit werk bedraagt 100 punten (geen bonuspunten)**
3. **Bij elke opgave is het aantal punten vermeld dat juiste antwoorden op de vragen oplevert**
4. **Bij de correctie van het werk moet bijgaand antwoordmodel worden gebruikt. Daarnaast gelden de algemene regels, zoals die bij de correctievoorschriften voor het CSE worden verstrekt.**
5. Een boompje opzetten (20 punten)
6. maximaal 3 punten



(Toelichting: In propeen zijn de groepen aan beide kanten van de dubbele binding verschillend.

Daardoor kunnen er twee producten ontstaan, afhankelijk van het koolstofatoom waaraan het N-atoom van de aminogroep zich bindt. Binding van het N-atoom aan C(1) leidt tot het product in de opgave, binding aan C(2) tot het bovenstaande product.)

1. maximaal 3 punten
* de vorming van de beschreven verbinding is te verklaren met een herhaling van de additiereactie zoals deze in de opgave is vermeld. 1
* elke N-H-binding van de aminogroep is in staat aan een propeenmolecuul te adderen. 1
* omdat er vier van dergelijke bindingen in 1,4-butaandiamine voorkomen, zijn er ook vier moleculen propeen in het reactieproduct te herkennen. 1
1. maximaal 6 punten
* per molecuul 1,4-butaandiamine worden vier acrylonitrilmoleculen gebonden 1
* die elk met twee H2-moleculen in een verzadigde binding met aminogroepen worden omgezet (zie opgave). 1
* voor deze stap van twee (eindstandige) aminogroepen naar vier (eindstandige) aminogroepen zijn dus 2 × 4 = 8 waterstofmoleculen nodig. 1
* voor de verdubbeling van vier naar acht en van acht naar zestien aminogroepen zijn 8 + 16 = 24 acrylonitrilmoleculen nodig. 2
* ook hier zijn weer tweemaal zoveel waterstofmoleculen nodig voor de vorming van aminogroepen, in totaal dus 8 + 2 × 24 = 56 H2-moleculen. 1
1. maximaal 4 punten

Er wordt hier water afgesplitst, dus is er sprake van een condensatiereactie tussen de aminogroepen van het polymeer en de zuurgroepen van asparaginezuur. Daarbij worden peptide- of amidebindingen gevormd, zodat de groep X kan worden voorgesteld zoals hiernaast is weergegeven.



* 2 peptidebindingen juist 2
* aminogroep juist 1
* rest structuur 1

*Toelichting: De reactie verloopt zoals op hier is uitgeschreven in structuurformules (hierbij zijn de atomen die als water worden afgesplitst omkaderd).*



1. maximaal 4 punten
* indien butaandizuur wordt genomen om de holten af te sluiten, gaan er ook vrije aminogroepen verloren 1
* maar komen er geen nieuwe voor in de plaats. 1
* de oplosbaarheid in water zal door het verdwijnen van NH2-groepen minder worden en dat maakt de kleurstof in waterverf moeilijker toepasbaar. 2
1. Schudden maar! (22 punten)
2. maximaal 4 punten
* 0,090 mmol OH−, dus 0,090 mmol HAc per mL ofwel 0,090 mol HAc per liter. 1
* oorspronkelijk 6,0 g, dat is 0,10 mol HAc. Dus in tetra nog aanwezig 0,010 mol. 2
*  = 9,0. 1
1. maximaal 4 punten
* butaanzuur lost minder goed op in water (meer apolair) 2
* dus wordt de teller kleiner en dus ook de Kv. 2
1. maximaal 6 punten
* steeds blijft 1/10 deel achter in de tetralaag. 1
* na n keer uitschudden is er dus nog ⋅ 6,0 g over. 2
* dit moet kleiner zijn dan 0,1 mg. 1
* ofwel 6 ⋅ < 10−4. Dit is zo vanaf n = 5. 2
1. maximaal 2 punten

(CH3COOH)2 →← 2 CH3COOH

1. maximaal 2 punten



1. maximaal 4 punten



* factor ½ 2
* invullen concentraties 1
* berekening 1
1. Deze buffer staat! (26 punten)
2. maximaal 5 punten

Deze bufferoplossing moet gemaakt worden van 5,00 g NH4Cl

* een bufferoplossing moet een (zwak) zuur-basekoppel bevatten, hier dus NH4+/NH3. 1
* een gedeelte van NH4+ moet omgezet worden in NH3 met behulp van loog volgens NH4+ + OH− → NH3 + H2O. 2
* de pOH van een (goede) basische buffer ligt tussen pKb + 1 en pKb −1, voor de ammoniabuffer dus tussen 3,75 en 5,75 (een pH tussen 8,25 en 10,25) en ligt dus in het gewenste gebied. 2
1. maximaal 8 punten
*  ofwel  (pOH = pKb + log) 1
* pH = 8,50; pKw = 14,00 ⇒ pOH = 5,50; [OH−] = 3,16⋅10−6 1
*  = 5,70 2
*  = 9,35⋅10−2 mol 1

Aan NH4+ moet *x* mol base toegevoegd worden om NH3 in oplossing te vormen.

NH4+ + OH− → NH3 + H2O.

(9,35⋅10−2 − *x*) mol, *x*  mol → *x* mol

*  = 5,70 ⇒ 6,70 x = 9,35⋅10−2 ⇒ x = 14,0 mmol OH− 2
* Dus: aan 5,00 g NH4Cl wordt  = 1,4⋅102 mL loog toegevoegd en verder tot 1 liter oplossing aangevuld met demiwater (8,6⋅102 mL). 1
1. maximaal 6 punten
* 100 mL bufferoplossing bevat  = 79,5 mmol NH4+ en 93,5 − 79,5= 14 mmol NH3 2
* 10,0 mL 0,100 M zoutzuur bevat 1,00 mmol H3O+ 1
* Dit reageert volgens NH3 + H3O+ → NH4+ + H2O 1
* De nieuwe pOH wordt 4,75 +  = 4,75 +  = 6,10 ⇒ pH = −0,60 2
1. maximaal 4 punten
* 10,0 mL 0,100 M loog bevat 1,00 mmol OH− 1
* dit reageert volgens NH4+ + OH− → NH3 + H2O 1
* de nieuwe pOH wordt 4,75 +  = 4,75 +  = 5,21 ⇒ pH = 0,29 2
1. maximaal 3 punten

Deze bufferoplossing heeft niet zijn maximale buffercapaciteit (een 1 : 1 buffer zou een pH van 9,25 hebben). Deze buffer heeft meer zure dan basische deeltjes, waardoor hij beter in staat is basische toevoegingen tegen te gaan, vandaar dat de pH-verandering bij toevoegen van loog kleiner is.

1. De Engelse staaf (13 punten)
2. |maximaal 4 punten
* Zn →← Zn2+ + 2 e− |1| 1
* MnO2 + NH4+ + e− →← MnO(OH) + NH3 |2| 2
* Zn + 2 MnO2 + 2 NH4+ → Zn2+ + 2 MnO(OH) + 2 NH3 1

*Als er in de mangaan halfreactie kloppend gemaakt is met H+ i.p.v. met NH4+ 1 punt*

1. maximaal 2 punten
* V° = 1,26 V;  = −0,76 V 1
*  = 0,50 V 1
1. maximaal 4 punten
*  =^ 0,01150 mol e− 1
* 1 mol e− =^ 1,6021765⋅10−19 ⋅ 6,02214⋅1023 C = 1 F = 9,64853⋅104 A s 1
* 0,01150 mol e− =^ 0,0115 ⋅ 9,64853⋅104 As =^  = 0,308 A h 2
1. maximaal 3 punten
* G° = − n⋅FV° ⇒ G° = −2⋅9,648⋅104⋅1,26 = −243,1 kJ mol−1 1
*  = e98,1 = 4,1⋅1042. 2
1. Tikken tellen (19 punten)
2. maximaal 6 punten
* 2 H3C−CH2I +  → H3C−CH2−CH2−CH3 + I2\* (hierin is I\* = 128I) 4
* I2\* + 2 S2O32− → S4O62− + 2 I−\* 2

(radioactief jood wordt gereduceerd tot jodide dat wateroplosbaar is)

*de vorming van een joodisotoop mag ook op een andere manier worden aangegeven*

1. maximaal 13 punten
* 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *t* (min) | 17 | 29 | 50 | 60 | 76 | 105 | 123 |
| *Nt* | 6985 | 5111 | 2753 | 2117 | 1256 | 584 | 351 |
| ln *Nt* | 8,85 | 8,54 | 7,92 | 7,66 | 7,14 | 6,37 | 5,86 |

*  ⇒ ln Nt = ln No − kt, dus recht evenredig verband 2
* grafiek juist en nauwkeurig (zie onder) 4
* richtingscoëfficiënt goed afgelezen 2
* extrapoleren naar t = 0 levert ln No = 9,32 ⇒ No = 1,12⋅104 2
* *k*= 0,0281 min−1; = (ln 2)/k = 24,7 min 1

(De vervalsnelheid *k* is gelijk aan de negatieve richtingscoëfficiënt = )



### Periodiek systeem der elementen met (afgeronde) relatieve atoommassa's en elektronenconfiguraties

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | groep | 1 | 2 | 3 |  | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| periode |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 |  | 1,008 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 4,003 |
|  |  | 1H |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 2He |
|  |  | waterstof |  |  |  |  |  |  | relatieve atoommassa |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | helium |
|  |  | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 |
| 2 |  | 6,941 | 9,012 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 10,81 | 12,01 | 14,01 | 16,00 | 19,00 | 20,18 |
|  |  | 3Li | 4Be |  |  |  |  |  | atoomnummer Symbool |  |  |  |  |  | 5B | 6C | 7N | 8O | 9F | 10Ne |
|  |  | lithium | beryllium |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | boor | koolstof | stikstof | zuurstof | fluor | neon |
|  |  | 2,1 | 2,2 |  |  |  |  |  | naam |  |  |  |  |  | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 |
| 3 |  | 22,99 | 24,31 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 26,98 | 28,09 | 30,97 | 32,06 | 35,45 | 39,95 |
|  |  | 11Na | 12Mg |  |  |  |  |  | elektronenconfiguratie    |  |  |  |  | 13Al | 14Si | 15P | 16S | 17Cl | 18Ar |
|  |  | natrium | magnesium |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | aluminium | silicium | fosfor | zwavel | chloor | argon |
|  |  | 2,8,1 | 2,8,2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 2,8,3 | 2,8,4 | 2,8,5 | 2,8,6 | 2,8,7 | 2,8,8 |
| 4 |  | 39,10 | 40,08 | 44,96 |  | 47,90 | 50,94 | 52,00 | 54,94 | 55,85 | 58,93 | 58,71 | 63,55 | 65,38 | 69,72 | 72,59 | 74,92 | 78,96 | 79,90 | 83,80 |
|  |  | 19K | 20Ca | 21Sc |  | 22Ti | 23­V | 24Cr | 25Mn | 26Fe | 27Co | 28Ni | 29Cu | 30Zn | 31Ga | 32Ge | 33As | 34Se | 35Br | 36Kr |
|  |  | kalium | calcium | scandium |  | titaan | vanadium | chroom | mangaan | ijzer | kobaklt | nikkel | koper | zink | gallium | germanium | arseen | seleen | broom | krypton |
|  | 2,8, | 8,1 | 8,2 | 9,2 |  | 10,2 | 11,2 | 13,1 | 13,2 | 14,2 | 15,2 | 16,2 | 18,1 | 18,2 | 18,3 | 18,4 | 18,5 | 18,6 | 18,7 | 18,8 |
| 5 |  | 85,47 | 87,62 | 88,91 |  | 91,22 | 92,91 | 95,94 | 97 | 101,1 | 102,9 | 106,4 | 107,9 | 112,4 | 114,8 | 118,7 | 121,8 | 127,6 | 126,9 | 131,3 |
|  |  | 37Rb | 38Sr | 39Y |  | 40Zr | 41Nb | 42Mo | 43Tc | 44Ru | 45Rh | 46Pd | 47Ag | 48Cd | 49In | 50Sn | 51Sb | 52Te | 53I | 54Xe |
|  |  | rubidium | strontium | yttrium |  | zirkonium | niobium | molybdeen | technetium | ruthenium | rhodium | palladium | zilver | cadmium | indium | tin | antimoon | telluur | jood | xenon |
|  | 2,8,18 | 8,1 | 8,2 | 9,2 |  | 10,2 | 12,1 | 13,1 | 13,2 | 15,1 | 16,1 | 18 | 18,1 | 18,2 | 18,3 | 18,4 | 18,5 | 18,6 | 18,7 | 18,8 |
| 6 |  | 132,9 | 137,3 | 138,9 |  | 178,5 | 180,9 | 183,9 | 186,2 | 190,2 | 192,2 | 195,1 | 197,0 | 200,6 | 204,4 | 207,2 | 209,0 | 209 | 210 | 222 |
|  |  | 55Cs | 56Ba | 57La |  | 72Hf | 73Ta | 74W | 75Re | 76Os | 77Ir | 78Pt | 79Au | 80Hg | 81Tl | 82Pb | 83Bi | 84Po | 85At | 86Rn |
|  |  | cesium | barium | lanthaan |  | hafnium | tantaal | wolfraam | renium | osmium | iridium | platina | goud | kwik | thallium | lood | bismut | polonium | astaat | radon |
|  | 2,8,18, | 18,8,1 | 18,8,2 | 18,9,2 |  | 32,10,2 | 32,11,2 | 32,12,2 | 32,13,2 | 32,14,2 | 32,15,2 | 32,17,1 | 32,18,1 | 32,18,2 | 32,18,3 | 32,18,4 | 32,18,5 | 32,18,6 | 32,18,7 | 32,18,8 |
| 7 |  | 223 | 226 | 227 |  | 259 | 262 | 263 | 262 | 265 | 265 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 87Fr | 88Ra | 89Ac |  | 104Rf | 105Db | 106Sg | 107Bh | 108Hs | 109Mt |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | francium | radium | actinium |  | rutherfordium | dubnium | seaborgium | bohrium | hassium | meitnerium |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 2,8,18,32, | 18,8,1 | 18,8,2 | 18,9,2 |  | 32,10,2 | 32,11,2 | 32,12,2 | 32,13,2 | 32,14,2 | 32,15,2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | lanthaniden |  | 140,1 | 140,9 | 144,2 | 145 | 150,4 | 152,0 | 157,3 | 158,9 | 162,5 | 164,9 | 167,3 | 168,9 | 173,0 | 175,0 |
|  |  |  |  |  |  |  | 58Ce | 59Pr | 60Nd | 61Pm | 62Sm | 63Eu | 64Gd | 65Tb | 66Dy | 67Ho | 68Er | 69Tm | 70Yb | 71Lu |
|  |  |  |  |  |  |  | cerium | praseodymium | neodymium | promethium | samarium | europium | gadolinium | terbium | dysprosium | holmium | erbium | thulium | ytterbium | lutetium |
|  |  |  |  |  |  | 2,8,18, | 19,9,2 | 21,8,2 | 22,8,2 | 23,8,2 | 24,8,2 | 25,8,2 | 25,9,2 | 27,8,2 | 28,8,2 | 29,8,2 | 30,8,2 | 31,8,2 | 32,8,2 | 32,9,2 |
|  |  |  |  |  | actiniden |  | 232,0 | 231 | 238,0 | 237 | 244 | 243 | 247 | 247 | 251 | 252 | 257 | 257 | 255 | 257 |
|  |  |  |  |  |  |  | 90Th | 91Pa | 92U | 93Np | 94Pu | 95Am | 96Cm | 97Bk | 98Cf | 99Es | 100Fm | 101Md | 102No | 103Lr |
|  |  |  |  |  |  |  | thorium | protactinium | uraan | neptunium | plutonium | americium | curium | berkelium | californium | einsteinium | fermium | mendelevium | nobelium | lawrencium |
|  |  |  |  |  |  | 2,8,18,32, | 18,10,2 | 20,9,2 | 21,9,2 | 22,9,2 | 24,8,2 | 25,8,2 | 25,9,2 | 27,8,2 | 28,8,2 | 29,8,2 | 30,8,2 | 31,8,2 | 32,8,2 | 32,9,2 |