

Atoommassa en molecuulmassa

Eén milligram goud (Au) is niet veel, maar dit bestaat al uit een ontelbaar aantal goudatomen. Dan moet de massa van één goudatoom wel heel erg klein zijn.

Berekening van de atoommassa

De massa's van de deeltjes waaruit een atoom is opgebouwd, zijn uiterst klein. De massa van een elektron is zo klein, dat je de bijdrage van de elektronen aan de atoommassa mag verwaarlozen. De massa van een atoom is daarom gelijk aan de som van de massa van het aantal protonen en het aantal neutronen.

De som van het aantal protonen en neutronen is het massagetal. Als je het massagetal weet, kun je de massa van dat atoom berekenen.

De eenheid van die massa is de atomaire massa-eenheid u.

Vervolgens kan je de atomaire massa-eenheid omrekenen naar de hoeveelheid kg.

$1,0 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. Dit is 0,000 000 000 000 000 000 000 000 001 66 kg.

Voorbeeldopgave 1

Bereken de atoommassa van een ^{197}Au -atoom in kg. Het atoomnummer van goud is 79.

Uitwerking

Je zoekt in het periodiek systeem de atoommassa op van goud, dat is 197,0 u
 $1,0 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, dus $197,0 \text{ u} = 197,0 \times 1,66 \cdot 10^{-27} = 3,27 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$.

Omdat in de natuur van veel atoomsoorten verschillende isotopen voorkomen, wordt gewerkt met een gemiddelde atoommassa. Deze gemiddelde **atoommassa** wordt berekend met behulp van het voorkomen in de natuur van de isotopen en de massa's van de desbetreffende isotopen.

Voorbeeldopgave 2

Geven zijn de volgende percentages:

C-12 komt 99,0% voor in de natuur en

C-13 komt 1,00% voor in de natuur

Bereken de *gemiddelde* atoommassa van koolstof in u

Uitwerking

C-12 heeft een massa van 12,00 u en C-13 heeft een massa van 13,00 u.

$12,00 \times 0,990 + 13,00 \times 0,0100 = 12,01 \text{ u}$ is de gemiddelde atoommassa van koolstof.

Voorbeeldopgave 3

Bereken hoeveel Au-atomen er voorkomen in 1,0 mg zuiver goud.
De atoommassa van goud is 197,0 u.

Uitwerking

$1,0 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. Dit is gelijk aan $1,66 \cdot 10^{-21} \text{ mg}$. Een goudatoom heeft dan een massa van $197,0 \times 1,66 \cdot 10^{-21} \text{ mg} = 3,27 \cdot 10^{-19} \text{ mg}$.

In 1,0 mg zitten dus $\frac{1}{3,27 \cdot 10^{-19}} = 3,1 \cdot 10^{18}$ goudatomen.

Molecuulmassa

De massa van een molecuul wordt ook uitgedrukt in u. De molecuulmassa wordt berekend door de massa's van de atomen in het molecuul bij elkaar op te tellen. Als massa voor een atoom wordt de gemiddelde atoommassa gebruikt. Deze staan in het periodiek systeem.

Voorbeeldopgave 4

Bereken de massa van een watermolecuul in u.

Uitwerking

Een watermolecuul, H_2O , bestaat uit twee waterstofatomen en een zuurstofatoom. De molecuulmassa wordt dan $2 \times 1,008 \text{ u} + 1 \times 16,00 \text{ u} = 18,02 \text{ u}$.

De hoeveelheid stof

Wanneer je een cake of taart bakt, moet je de ingrediënten in bepaalde hoeveelheden bij elkaar voegen om een goed resultaat te krijgen. Deze hoeveelheden kunnen op verschillende manieren worden gegeven. Bekijk het recept voor citroencupcakes (zie figuur). In dit recept worden de hoeveelheden gegeven in massa (300 g zeefrijzend bakmeel), aantal theelepels of eetlepels (1/4 tl bakpoeder; 2 el geraspte citroenschil), volume (1,85 dl karnemelk) en aantal stuks (2 eieren).

De mol

Bij reacties maak je gebruik van de deeltjesverhouding in de reactievergelijking. Daarom werk je vaak met molecuulmassa's. Alleen is de massa-eenheid u daarbij minder goed bruikbaar. Je werkt in de praktijk bij reacties meestal met gram en soms met kilogram.

In de scheikunde wordt daarom internationaal gebruikgemaakt van een andere manier om de hoeveelheid aan te geven, namelijk de hoeveelheid stof n , ook wel chemische hoeveelheid genoemd. Deze chemische hoeveelheid is een grootheid om het aantal atomen en moleculen uit te drukken. De eenheid waarin dit wordt gegeven, is de mol.

De afspraak is daarbij: $1 \text{ mol} = 6,02 \cdot 10^{23}$ deeltjes

Dus 1,00 mol water bestaat $6,02 \cdot 10^{23}$ watermoleculen en 1,00 mol ijzer ook uit $6,02 \cdot 10^{23}$ ijzeratomen.

Citroencupcakes
(24 stuks)

Ingrediënten

300 g zelfrijzend
bakmeel
1/4 tl bakpoeder
125 g suiker
2 el geraspte citroenschil
1,85 dl karnemelk
2 eieren
110 g gesmolten kaas

Toplaagje

20 g zachte boter
100 g roomkaas
2 el poedersuiker
1 el citroenrasp
citroen in partjes

Het getal $6,02 \cdot 10^{23}$ wordt de constante van Avogadro (N_A) genoemd

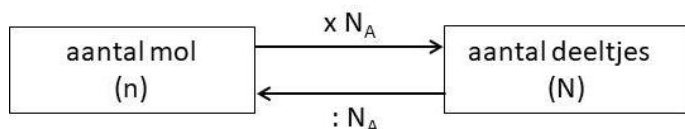
Dit getal is zo gekozen dat:

$$1,0 \text{ u} \times 1 \text{ mol deeltjes} = 1,0 \text{ g}$$

$$1,0 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g en } 1 \text{ mol} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ moleculen}$$

$$1,66 \cdot 10^{-24} \times 6,02 \cdot 10^{23} = 1,00 \text{ g}$$

Het aantal mol is gelijk aan het aantal deeltjes gedeeld door het getal van Avogadro.



In de figuur hierboven is schematisch weergegeven hoe je het aantal deeltjes kunt omrekenen naar het aantal mol en omgekeerd.

Je kunt dit ook in formules opschrijven:

$$N = n \cdot N_A \text{ of } n = \frac{N}{N_A}$$

Hierin is:

N het aantal deeltjes;

N_A het getal van Avogadro, $6,02 \cdot 10^{23}$;

n het aantal mol.

Molaire massa

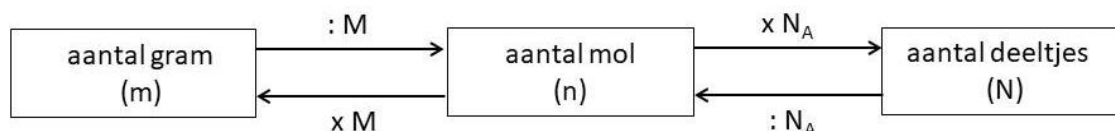
Het gebruik van de mol maakt het rekenen aan een chemische reactie een stuk eenvoudiger. Met de molaire massa M , de massa van 1 mol stof, kan een hoeveelheid massa worden omgerekend tot het aantal mol stof.

De molecuulmassa van water is 18,02 u. Dan is de molaire massa van water ook 18,02 g.

Oftewel: 1 mol water heeft een massa van 18,02 g.

De molaire massa en het aantal mol zorgen ervoor dat eenvoudig kan worden uitgerekend hoeveel mol of hoeveel gram stof aanwezig is.

In de onderstaande figuur is schematisch weergegeven hoe je van massa kunt omrekenen naar aantal mol en omgekeerd.



$$m = n \cdot M \text{ of } n = \frac{m}{M}$$

Hierin is:

m de massa in gram;

n het aantal mol;

M de molaire massa in g/mol.

Voorbeeldopgave 5

Bereken de massa in gram van 0,17 mol koolstofdioxide.

Uitwerking

De molaire massa van CO_2 is $12,01 + 2 \times 16,00 = 44,01 \text{ g/mol}$.

Invullen in de formule $m = n \cdot M$ levert: $0,17 \text{ mol} \times 44,01 \text{ g/mol} = 7,5 \text{ g}$

opgaven

1 Hoeveel moleculen zitten er in:

- a 0,064 mol stikstof?
- b 870 mol methaan?
- c 4,7 mmol aspartaam?

2 Hoeveel mol waterstofatomen en hoeveel zuurstofatomen zitten in:

- a 0,5 mol watermoleculen?
- b 6,1 mol methanol, CH_4O (l)?
- c 1,9 mmol cafeïne, $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_4\text{O}_2$ (s)?

3 Bereken van de volgende stoffen de molaire massa.

- a H_2O_2 (l)
- b HNO_3 (l)
- c $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (s)

4 Bereken hoeveel gram overeenkomt met:

- a 1,25 mol HCl (g).
- b 0,0250 mol BaS (s).
- c 16 mol $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (s).
- d 4,3 mmol AuCl_2 (s).
- e 14,2 mol N_2 (l).

5 Bereken hoeveel mol overeenkomt met:

- a 60 g I_2 (s).
- b 1,75 kg Ag (s).
- c 3,50 ton Fe_2O_3 (s).
- d 100 g $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ (l).
- e 2,5 mg Pb (s).

Rekenen aan reacties

Wanneer een farmaceutisch bedrijf medicijnen maakt, is het erg belangrijk dat de juiste hoeveelheden worden gemengd. Rekenen aan reacties vormt een belangrijk deel van de scheikunde, zowel in het laboratorium, in de chemische industrie als op school.

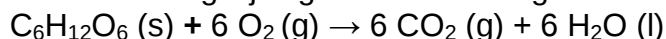
Inleiding

Molverhouding

Bij chemische reacties blijft de massa voor en na de reactie altijd gelijk. Dit kun je op microniveau verklaren doordat het aantal atomen van elke soort hetzelfde blijft.

Je hebt al eerder geleerd dat bij chemische reacties moleculen van beginstoffen verdwijnen en nieuwe moleculen van reactieproducten ontstaan. De verhouding waarin deze moleculen verdwijnen en ontstaan, kun je afleiden uit de reactievergelijking. Als je wilt rekenen aan reacties is het opstellen van een kloppende reactievergelijking dus erg belangrijk.

De reactievergelijking voor de volledige verbranding van glucose is:



Uit de coëfficiënten in deze reactievergelijking kun je afleiden dat voor de verbranding van elk glucosemolecuul zes zuurstofmoleculen nodig zijn en dat daaruit zes koolstofdioxidemoleculen en zes watermoleculen worden gevormd.

De molecuulverhouding $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 : \text{O}_2 : \text{CO}_2 : \text{H}_2\text{O}$ is dus 1:6:6:6

Er zijn heel veel moleculen nodig voor een reactie. In 100 g glucose zitten bijvoorbeeld $3,34 \cdot 10^{23}$ glucose moleculen.

Om deze allemaal te verbranden zijn $6 \times 3,34 \cdot 10^{23} = 2,00 \cdot 10^{24}$ zuurstofmoleculen nodig.

Deze grote getallen zijn erg lastig om mee te werken. Rekenen met de chemische hoeveelheid n maakt dit een stuk gemakkelijker. Omdat de mol een vast aantal moleculen is, is de **molverhouding** gelijk aan de molecuulverhouding.

Hoeveel mol komt overeen met 100 g $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$?

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{3,34 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,555 \text{ mol } \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$$

Dit antwoord krijg je gemakkelijker als je het aantal gram deelt door de molaire massa (180,16 g/mol):

$$n = \frac{m}{M} = \frac{100}{180,16} = 0,555 \text{ mol } \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$$

Met de molverhouding 1 : 6 kun je vervolgens berekenen dat er $6 \times 0,555 \text{ mol} = 3,33 \text{ mol}$ zuurstof nodig is voor deze verbranding. Deze getallen werken gemakkelijker dan de grote molecuulaantallen.

De coëfficiënten in een reactievergelijking geven de molverhouding aan en zeggen dus iets over aantallen moleculen maar niets over de massaverhouding.

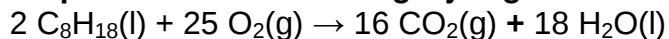
Voorbeeldopgave 6

Een auto rijdt op benzine. Neem als molecuulformule voor benzine $C_8H_{18}(l)$.

Bereken hoeveel kilogram zuurstof je nodig hebt voor de volledige verbranding van 1,00 kg benzine in een automotor.

Uitwerking

Stap 1 Geef de reactievergelijking.



Stap 2

Reken de gegeven massa om naar mol.

De molaire massa van $C_8H_{18}(l)$ is $8 \times 12,01 + 18 \times 1,008 = 114,2 \text{ g}$.

1,00 kg benzine = 1000 g, dus $n =$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1000}{114,2} = 8,76 \text{ mol } C_8H_{18}(l)$$

Stap 3 Gebruik de molverhouding uit de reactievergelijking.

2 mol benzine reageert met 25 mol zuurstof.

1 mol benzine reageert met $25/2 = 12,5$ mol zuurstof.

8,76 mol benzine reageert dan met $8,76 \times 12,5 = 110$ mol zuurstof.

Stap 4 Reken de hoeveelheid mol om naar de juiste grootte en eenheid.

De molaire massa van $O_2(g)$ is $2 \times 16,00 = 32,00 \text{ g/mol}$.

De massa van 110 mol zuurstof is:

$$m = n M = 110 \times 32,00 = 3520 \text{ g} = 3,520 \text{ kg zuurstof.}$$

opgaven

- 6 Aspirine is een bekend medicijn tegen hoofdpijn. Het werkzame bestanddeel in aspirine (acetylsalicylzuur, $C_9H_8O_4(s)$) werkt pijnstillend, koortsverlagend en ontstekingsremmend. Deze stof wordt gesynthetiseerd door salicylzuur en azijnzuuranhydride bij elkaar te voegen en daarna zachtjes te verwarmen. Het reactieschema en de reactievergelijking voor deze synthese zijn:
 $\text{salicylzuur}(s) + \text{azijnzuuranhydride}(l) \rightarrow \text{aspirine}(s) + \text{azijnzuur}(aq)$
 $C_7H_6O_3(s) + C_4H_6O_3(l) \rightarrow C_9H_8O_4(s) + C_2H_4O_2(aq)$

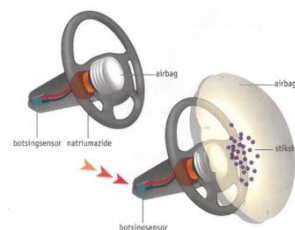
Aisha maakt 10,0 g aspirine.

- Bereken het aantal mol aspirine in 10,0 g.
- Bereken hoeveel mol azijnzuuranhydride, $C_4H_6O_3(l)$, nodig is.
- Bereken hoeveel gram azijnzuuranhydride minimaal is gebruikt voor de synthese van 10,0 g aspirine.

- 7 Er rijden al auto's op waterstof. Waterstof is onder druk als vloeistof opgeslagen in een vrij grote brandstoftank die veel ruimte inneemt. Een mogelijk alternatief voor de opslag van waterstof is een veel kleinere tank gemaakt van magnesiumhydride, $\text{MgH}_2(\text{s})$. Via een chemische reactie met magnesium wordt de waterstof gebonden in de vorm van magnesiumhydride. Als de auto gaat rijden, wordt de waterstof vrijgemaakt uit de tank door er gecontroleerd water aan toe te voegen. Hierbij ontstaan magnesiumhydroxide, $\text{MgO}_2\text{H}_2(\text{s})$, en waterstof. Er wordt 4,00 kg waterstof gemaakt uit magnesiumhydride.
- Geef de reactievergelijking van de vorming van waterstof uit magnesiumhydride.
 - Bereken het aantal mol waterstof in 4,00 kg.
 - Bereken het aantal mol magnesiumhydride dat nodig is voor de vorming van 4,00 kg waterstof.
 - Bereken het aantal kilogram magnesiumhydride dat minimaal in de tank moet zitten.
- 8 Voor het maken van aluminiumfolie wordt uit 1,00 kg vloeibaar aluinaarde, $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{l})$, met behulp van elektrolyse vloeibaar aluminium gemaakt. Daarbij ontstaat ook zuurstof.
- Geef de reactievergelijking.
 - Bereken hoeveel mol aluminiumoxide, $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$, in 1,00 kg aluinaarde zit.
 - Bereken hoeveel mol aluminium gevormd kan worden uit 1,00 kg aluinaarde.
 - Bereken hoeveel gram aluminium kan worden gevormd uit 1,00 kg aluinaarde.
- 9 Gegeven is de reactievergelijking van de vorming van natriumchloride uit de niet-ontleedbare stoffen natrium en chloor:
- $$2 \text{Na}(\text{s}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{NaCl}(\text{s})$$

Bereken hoeveel gram natriumchloride maximaal kan ontstaan uit 60,0 g natrium.

- 10 Auto's zijn uitgerust met een airbag. Bij een botsing vult de airbag zich heel snel met stikstof (zie figuur). Dit zorgt ervoor dat de bestuurder niet tegen het stuur of de voorruit slaat. Om de ballon op te kunnen blazen, wordt natriumazide, $\text{NaN}_3(\text{s})$, ontleed. Door een elektrisch signaal brengt een ontstekingsmechanisme het natriumazide tot ontleding. Bij deze reactie ontstaan de niet-ontleedbare stoffen natrium en stikstof.



- Geef de reactievergelijking voor de ontleding van natriumazide.

In het airbagsysteem zit 60 g $\text{NaN}_3(\text{s})$.

- Bereken hoeveel liter $\text{N}_2(\text{g})$ hieruit kan ontstaan.
Gegeven: de dichtheid van stikstof is 1,25 g/L.

- 11 De CO_2 -uitstoot van een auto wordt uitgedrukt in het aantal gram CO_2 per gereden kilometer. Zo is de CO_2 -uitstoot van een Volkswagen Up! volgens fabrieksopgave 92 g CO_2/km . Als we ervan uitgaan dat alle CO_2 -uitstoot ontstaat door de verbranding van benzine, $\text{C}_8\text{H}_{18}(\text{l})$, kan ook het aantal gereden kilometers per liter (km/L) benzine worden uitgerekend. De dichtheid van benzine is 0,72 g/L.
- Geef de reactievergelijking van de volledige verbranding van benzine.
 - Bereken hoeveel kilometer er op 1,0 L benzine kan worden gereden.

- 12 Sam laat 10 g waterstof reageren met 15,0 g zuurstof. Hierbij ontstaat waterdamp. Als een beginstof overblijft nadat de reactie is afgelopen, wordt dit een overmaat genoemd.
- Bereken welke beginstof in overmaat aanwezig is.
 - Bereken hoeveel gram er van deze stof overblijft na afloop van de reactie.
- 13 In een vertrek met een vloeroppervlak van $20,7 \text{ m}^2$ en een hoogte van 2,50 m wordt 1,00 L olie, $\text{C}_{18}\text{H}_{38}$ (l) verbrand.
- Gegevens:
- de dichtheid van olie is $0,777 \text{ g/mL}$;
 - de dichtheid van zuurstof is $1,43 \text{ g/dm}^3$;
 - lucht bevat 21,0 vol% zuurstof.
- Geef de reactievergelijking van de volledige verbranding van de olie.
 - Bereken hoeveel kilogram water wordt gevormd bij deze verbranding.
 - Bereken hoeveel procent van de aanwezige zuurstof in het vertrek tijdens de volledige verbranding wordt verbruikt.

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

1,008																4,003
<																