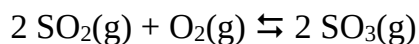

Opgave A

Voor het onderstaande evenwicht is de evenwichtsconstante bij een bepaalde temperatuur 3,13.



In een ruimte van 5 dm³ brengt men 0,20 mol SO₂(g), 0,40 mol O₂(g) en 0,50 mol SO₃(g) bijeen.

- 1 Ga na of er evenwicht is.
- 2 Hoeveel mol O₂(g) moet men aan het mengsel toevoegen of onttrekken om juist de evenwichtssamenstelling te krijgen?

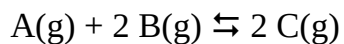
Opgave B

Bij een zekere temperatuur bevindt zich in een vat van 20 dm³ het volgende mengsel: 0,30 mol NO(g), 0,10 mol O₂(g) en 0,40 mol NO₂(g). Er heerst een evenwicht tussen deze stoffen.

- 3 Bereken de evenwichtsconstante.
- 4 Hoeveel mol O₂ moet men bij de desbetreffende temperatuur toevoegen om de hoeveelheid NO(g) tot 0,05 mol terug te brengen?

Opgave C

In een vat van 10 dm³ bevinden zich 5,0 mol A en 8,0 mol B. Beide stoffen zijn gasvormig en er stelt zich een homogeen evenwicht in volgens:



Zodra het evenwicht zich heeft ingesteld, blijkt er nog 6,0 mol B(g) aanwezig te zijn. Er is sprake van een homogeen evenwicht, dus de stof C is ook gasvormig.

- 5 Schets een grafiek van het aantal mol van de stoffen uit dit evenwicht tegen de tijd.
- 6 Schets een grafiek van de reactiesnelheid (RS) tegen de tijd.
- 7 Bereken de evenwichtsconstante.

Bij dezelfde temperatuur wordt zoveel A(g) toegevoegd, dat in de nieuwe evenwichtstoestand 4,0 mol C(g) aanwezig is.

- 8 Bereken hoeveel A(g) is toegevoegd om deze evenwichtstoestand te bereiken.

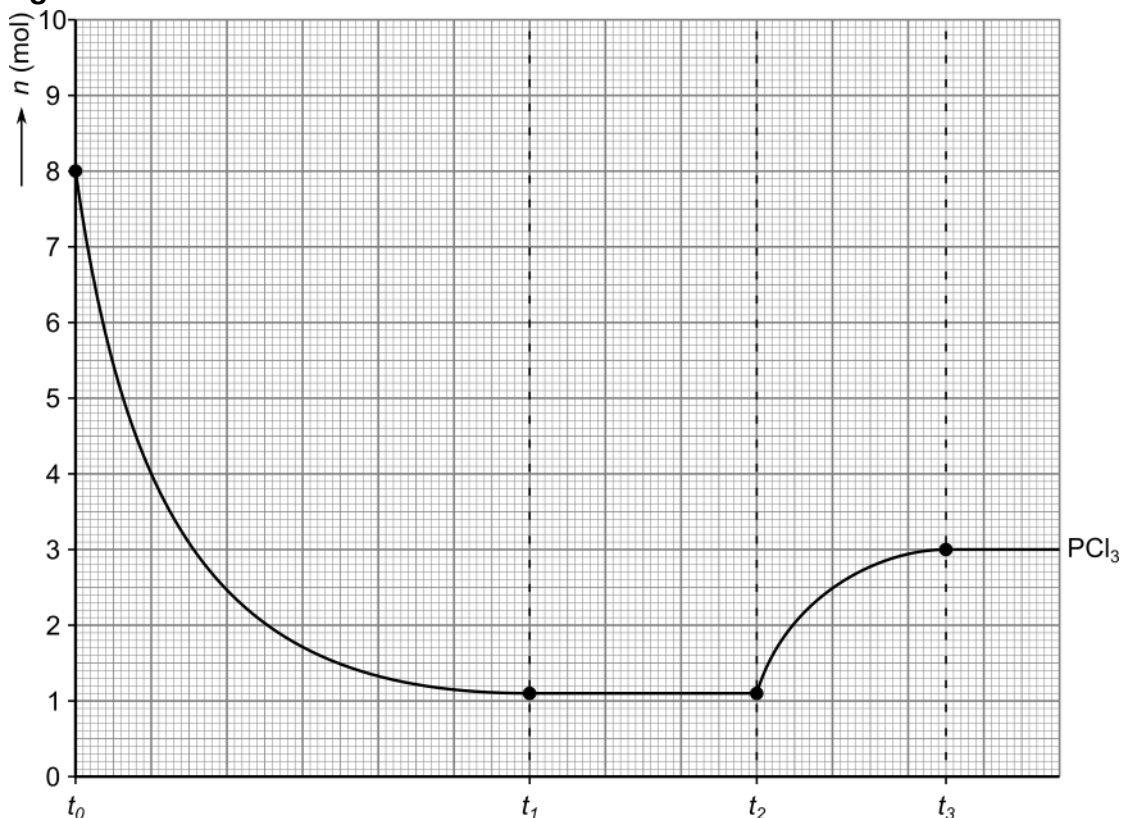
Fosfortrichloride en fosforpentachloride

Het gas fosforpentachloride kan worden geproduceerd door het gas fosfortrichloride te laten reageren met chloorgas.

- 9 Geef de reactievergelijking met toestandsaanduidingen en de evenwichtsvoorwaarde voor het hierboven beschreven evenwicht.
- 10 Leg uit of het hier gaat om een homogeen of een heterogeen evenwicht.

Op tijdstip t_0 wordt in een reactievat van 15 L bij een temperatuur van 250 °C 8 mol fosfortrichloride en 10 mol chloorgas ingebracht. Het evenwicht stelt zich in en is bij tijdstip t_1 bereikt. Figuur 1 laat zien hoe de hoeveelheid fosfortrichloride hierbij verandert. Vanaf t_1 tot t_2 verandert deze hoeveelheid niet meer, omdat het evenwicht bereikt is.

figuur 1



- 11 Teken in figuur 1 ook de lijnen voor fosforpentachloride en chloorgas. Teken de lijnen **tot aan** t_2 .
- 12 Bereken de evenwichtsconstante op t_1 . Geef ook de juiste eenheid.

Op tijdstip t_2 wordt plotseling de temperatuur verhoogd. In figuur 1 is te zien dat het evenwicht verschuift en zich opnieuw instelt. Vanaf tijdstip t_3 is er weer sprake van een evenwichtssituatie.

- 13 Teken in figuur 1 ook de lijnen voor fosforpentachloride en chloorgas.
- 14 Leg aan de hand van figuur 1 uit of de vorming van fosforpentachloride exotherm of endotherm is.

Op tijdstip t_4 (buiten het bereik van de grafiek) wordt extra chloorgas aan het reactievat toegevoegd.

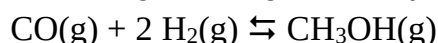
- 15 Leg uit hoe de ligging van het evenwicht wordt beïnvloed door deze toevoeging van chloorgas. Gebruik in je antwoord de evenwichtsvoorwaarde.

Op tijdstip t_5 wordt het volume van het reactievat gehalveerd.

- 16 Bereken hoe de waarde van de concentratiebreuk verandert. Leg uit hoe de ligging van het evenwicht verschuift.

Methanol produceren

Methanol kan worden geproduceerd door koolstofmonoxide te laten reageren met waterstofgas. Het gaat hierbij om een evenwichtsreactie:



- 17 Bereken m.b.v. Binastabel 57 de reactiewarmte voor deze vorming van methanol in $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ methanol. Ga er van uit dat je de waarde van vloeibaar methanol hier mag gebruiken.

- 18 Geef de evenwichtsvoorwaarde voor dit evenwicht.

Een producent van methanol kiest voor een hoge temperatuur in het proces.

- 19 Leg m.b.v. het antwoord van opgave 17 uit wat de invloed is van temperatuursverhoging op de waarde van de evenwichtsconstante. Geef ook aan waarom dat voor de productie van methanol ongunstig lijkt.
- 20 Leg met het botsende deeltjes model uit waarom de producent toch voor een hogere temperatuur heeft gekozen.

De producent laat een fijne nevel van waterdruppeltjes door de reactor naar beneden dalen. Hierbij lost het methanol op in de nevel. De verzamelde methanoloplossing wordt onderaan de reactor afgevoerd.

- 21 Leg op microniveau uit waarom methanol goed oplosbaar is in water.
- 22 Leg uit wat de behandeling met de nevel doet met de ligging van het evenwicht in de reactor.

Uitwerkingen



Concentratiebreuk uitrekenen:

$$Q = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 \cdot [\text{O}_2]} \quad [\text{SO}_3] = \frac{0,50}{5} = 0,10 \text{ M} \quad [\text{SO}_2] = 0,04 \text{ M} \quad [\text{O}_2] = 0,08 \text{ M}$$

$$Q = \frac{(0,10)^2}{(0,04)^2 \cdot 0,08} = 78$$

$Q \neq K$, dus geen evenwicht

2 Als er evenwicht is, geldt $Q = K$:

$$K = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 \cdot [\text{O}_2]} = 3,13$$

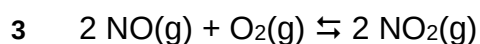
$$K = \frac{(0,10)^2}{(0,04)^2 \cdot [\text{O}_2]} = 3,13$$

$$[\text{O}_2] = \frac{(0,10)^2}{(0,04)^2 \cdot 3,13} = 2,0 \text{ M}$$

$$V = 5 \text{ L}$$

$$n = [\text{O}_2] \cdot V = 2,0 \cdot 5 = 10 \text{ mol}$$

Er is dus evenwicht als de hoeveelheid O_2 gelijk is aan 10 mol, dus moet er $10 - 0,4 = 9,6 \text{ mol}$ bij.



Er is evenwicht, dus geldt:

$$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]^2 \cdot [\text{O}_2]} \quad [\text{NO}_2] = 0,40 / 20 = 0,02 \text{ M}, [\text{O}_2] = 0,005 \text{ M}, [\text{NO}] = 0,015 \text{ M}$$

$$K = \frac{(0,02)^2}{(0,015)^2 (0,005)} = \underline{\underline{356 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}}}$$

4 Er moet $0,30 - 0,05 = 0,25 \text{ mol}$ NO weg reageren en dus komt er $0,25 \text{ mol}$ NO_2 bij.

Door het verschuiven van de ligging van het evenwicht, zal ook de hoeveelheid O_2 afnemen met $0,125 \text{ mol}$.

Om het evenwicht te laten verschuiven werd er juist iets O_2 toegevoegd:

$x \text{ mol}$.

Z.O.Z

Stel de hoeveelheid O₂ na verschuiven op x.

Met behulp van onderstaande tabel en de evenwichtsvoorwaarde kun je de molariteit O₂ tijdens evenwicht 2 berekenen:

Aantal mol	NO	O ₂	NO ₂
Evenwicht 1	0,30	0,10 + x	0,40
Tijdens reactie	- 0,25	- 0,125	+ 0,25
Evenwicht 2	0,05		0,65

Voor de evenwichtsvoorwaarde in situatie 2 geldt:

$$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]^2 \cdot [\text{O}_2]} \quad [\text{NO}_2] = \frac{0,65}{20} = 0,0325 \text{ M} \quad [\text{NO}] = \frac{0,05}{20} = 0,0025 \text{ M}$$

$$K = \frac{(0,0325)^2}{(0,0025)^2 \cdot [\text{O}_2]} = 356$$

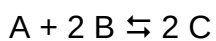
$$[\text{O}_2] = 0,475 \text{ M} \quad \Rightarrow \quad n = [\text{O}_2] \cdot V = 0,475 \cdot 20 = 9,5 \text{ mol}$$

Op evenwicht 2 dus 9,5 mol O₂. Tijdens instellen van evenwicht 2 is er 0,125 mol weg gereageerd, dus was er 9,625 mol O₂.

Nu voor evenwicht 1 x berekenen:

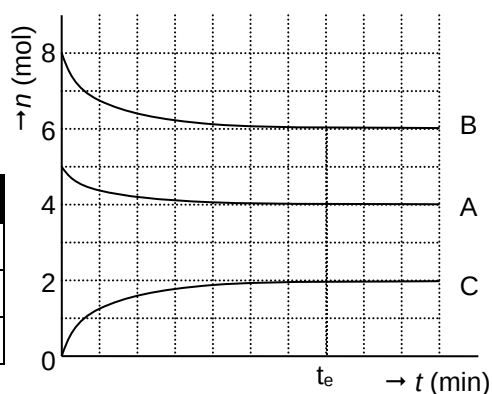
x = 9,625 – 0,10 = 9,525 mol. Er moet dus 9,525 mol O₂ bij om de juiste verschuiving van het evenwicht te krijgen.

5 Evenwichtsbalans opmaken:

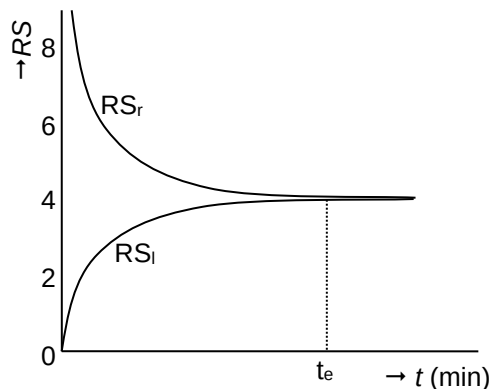


1 : 2 : 2

Aantal mol	A	B	C
t = t₀	5,0	8,0	0,0
Tijdens reactie	-1,0	- 2,0	+2,0
t = t_e	4,0	6,0	2,0



- 6 Op $t = t_0$ nog géén C, dus geen reactie naar links, dus $RS_l = 0$
 Op $t = t_0$ zijn A en B max, dus op $t = t_0$ is $RS_r = \text{max}$.
 Op $t = t_e$ geldt: $RS_l = RS_r$:



- 7 Hoeveelheden A, B en C zijn bekend (zie opg a) en dat zit in 10 dm^3

$$[A] = \frac{4,0}{10} = 0,40 \text{ M} \quad [B] = 0,60 \text{ M} \quad [C] = 0,20 \text{ M}$$

Er is evenwicht, dus $Q = K$:

$$K = \frac{[C]^2}{[A][B]^2} = \frac{(0,20)^2}{0,40 \cdot (0,60)^2} = \underline{\underline{0,28 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}}}$$

- 8 Er moet $4,0 - 2,0 = 2,0 \text{ mol}$ C bij komen en dus reageert er ook $2,0 \text{ mol}$ B weg ($2 : 2$)

Door het verschuiven van de ligging van het evenwicht, zal ook de hoeveelheid A afnemen met $1,0 \text{ mol}$.

Om het evenwicht te láten verschuiven werd er juist iets A toegevoegd: $x \text{ mol}$.
 Stel de hoeveelheid A na verschuiven op x :

Aantal mol	A	B	C
Evenwicht 1	$4,0 + x$	$6,0$	$2,0$
Tijdens reactie	$- 1,0$	$- 2,0$	$+2,0$
Evenwicht 2		$4,0$	$4,0$

Omdat deze verstoring bij dezelfde temperatuur wordt uitgevoerd, blijft de evenwichtsconstante gelijk, dus $K = 0,28$.

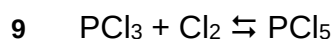
Voor de evenwichtsvoorwaarde in situatie 2 geldt:

$$K = \frac{[C]^2}{[A][B]^2} \quad [B] = 4,0 / 10 = 0,40 \text{ M}, [C] = 0,40 \text{ M}$$

$$K = \frac{[0,40]^2}{[A][0,40]^2} = 0,28 \Rightarrow [A] = 3,6 \text{ M} \Rightarrow n = [A] \cdot V = 3,6 \cdot 10 = 36 \text{ mol}$$

Op evenwicht 2 dus 36 mol A. Tijdens instellen van evenwicht 2 is er $1,0 \text{ mol}$ A weg gereageerd, dus was er 37 mol A.

Er geldt dus dat $x = 37 - 4,0 = 33 \text{ mol}$. Er moet dus 33 mol A bij om de juiste verschuiving van het evenwicht te krijgen.



$$K = \frac{[\text{PCl}_5]}{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]}$$

10 Voor en na de evenwichtspijl zijn alle stoffen in dezelfde fase (gas), dus gaat het om een homogeen evenwicht.

11 Rode lijn voor Cl_2 en blauwe lijn voor PCl_5 . Zie antwoord bij opg 13.

12 PCl_3 : $n = 1,1 \text{ mol}$ (aflezen)

$V = 15 \text{ L}$

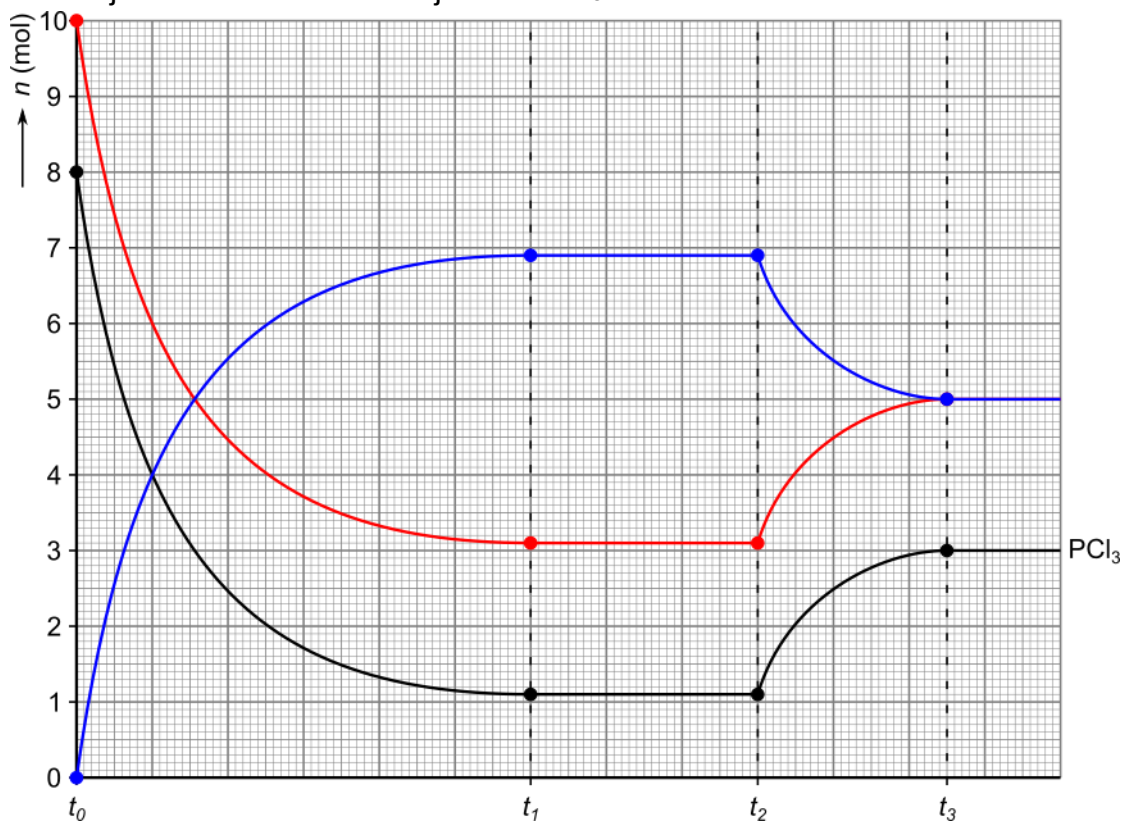
$$[\text{PCl}_3] = \frac{n}{V} = \frac{1,1}{15} = 0,073 \text{ M}$$

$$\text{PCl}_5: [\text{PCl}_5] = \frac{n}{V} = \frac{6,9}{15} = 0,46 \text{ M}$$

$$\text{Cl}_2: [\text{Cl}_2] = \frac{n}{V} = \frac{3,1}{15} = 0,21 \text{ M}$$

$$K = \frac{[\text{PCl}_5]}{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]} = \frac{0,46}{0,073 \cdot 0,21} = \underline{\underline{30 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}}}$$

13 Rode lijn voor Cl_2 en blauwe lijn voor PCl_5 :



- 14 Op t_2 wordt de temperatuur verhoogd. Bij verhoging van de temperatuur verschuift het evenwicht in de richting van de endotherme reactie. In de figuur is te zien dat PCl_3 meer wordt, dus is de reactie naar links endotherm. De vorming van PCl_5 is dus exotherm.

$$15 \quad K = \frac{[\text{PCl}_5]}{\underbrace{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]}_Q}$$

Door toevoeging van Cl_2 wordt de noemer van de concentratiebreuk (Q) groter en dus wordt de concentratiebreuk kleiner, dus: $K > Q$.

Om dus weer evenwicht te krijgen, moet Q weer groter worden. De teller moet dus groter en de noemer kleiner worden, dus minder PCl_3 en Cl_2 en meer PCl_5 , dus verschuiving naar rechts.

- 16 Door halvering van het volume worden alle concentraties $2\times$ groter. De noemer wordt $2\times$ groter, de noemer wordt $4\times$ groter. De Q wordt dus $2\times$ kleiner. Om dus weer evenwicht te krijgen, moet Q weer groter worden. De teller moet dus groter en de noemer kleiner worden, dus minder PCl_3 en Cl_2 en meer PCl_5 , dus verschuiving naar rechts.

$$17 \quad \Delta E = -1,29 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$18 \quad K = \frac{[\text{CH}_3\text{OH}]}{[\text{CO}][\text{H}_2]^2}$$

Een producent van methanol kiest voor een hoge temperatuur in het proces.

- 19 ΔE is negatief, dus de reactie naar rechts is exotherm. Bij temperatuursverhoging verschuift de ligging van het evenwicht in de richting van de endotherme reactie, dus naar links. Daarmee wordt de K kleiner. Dit lijkt ongunstig, omdat de producent methanol wil maken, dus zo een rechtsliggend evenwicht gunstiger zijn.
- 20 Door een hogere temperatuur botsen de moleculen vaker én harder, dus zijn er meer effectieve botsingen. Daardoor is de reactiesnelheid groter en stelt het evenwicht zich sneller in.
- 21 Methanolmoleculen hebben **OH-groepen** en kunnen dus **waterstofbruggen** vormen met watermoleculen (Let op de vetgedrukte onderdelen!).

- 22** Doordat het methanol oplost in het water, wordt het onttrokken aan het evenwicht. Omdat er aan de rechterkant van het evenwicht methanol wordt onttrokken, wordt het evenwicht aflopend naar rechts.