



Delftover 0 Kooldioxide DELVEN 1 MOL CO ₂ - GAS	PRIJS -0,8
---	-------------

Vraag

Wat is de prijs van het opdelven van 1 mol CO₂ - gas uit de dampkring?

Antwoord

		Recept	ΔS_{σ} [kJ/°K]	ΔS_{cf} [kJ/°K]	ΔS_{θ} [kJ/°K]
1		1 Planck'se cilinder	0,00	0,00	0,00
2	"	0 arbeiders	0,00	0,00	0,00
3		2,0E+19 m ³ lucht	0,00	0,00	0,00
4		1 mol CO ₂ betalen	0,21	0,00	0,00
5		1 mol CO ₂ delven	0,10	-0,37	-0,69
DT 0		1 mol CO ₂ delven klaar	0,31	-0,37	-0,69



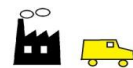
In 1874 behaalt Max op 16-jarige leeftijd zijn gymnasium-diploma.



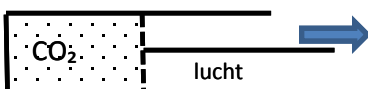
1

1 cilinder van Planck

Gereedschappen



Stel een cilinder op met een wrijvingloze zuiger, net als in het gedachtenexperiment van Max Planck:



De wrijvingloze zuiger is alleen permeabel voor CO₂ - moleculen.

Als gevolg van de Brownse beweging zullen CO₂ - moleculen vanuit de lucht door de zuiger diffunderen en langzaam in de cilinder druk opbouwen. Door deze entropische kracht zal de zuiger naar buiten bewegen. Op het moment dat 1 mol CO₂ in de cilinder is gekomen wordt

het experiment gestopt.

$$\Delta S \text{ inzet cilinder/opgenomen mol CO}_2 = \text{inzetquotient} \cdot \text{Afspeeltover Cilinder} \quad [\text{kJ}/^\circ\text{K}]$$

De cilinder in dit gedachtenexperiment is van oneindig dunne massa en er was oneindig weinig arbeid nodig om haar te maken. De Afspeeltover Cilinder van Planck is 0.

2 0 arbeiders

Nadat de proef is gestart beweegt de zuiger wrijvingloos naar buiten totdat de laatste molecuul CO₂ door middel van zijn Brownse beweging in de cilinder is gekomen.

Er wordt geen arbeid verricht want het bewegen van de massaloze wrijvingloze zuigeratomen is in feite coherente Brownse beweging in wisselwerking met de incoherente Brownse beweging van de CO₂ - moleculen en de andere luchtmoleculen.



Men Neme



3 2,E+19 m³ lucht

De cilinder is opgesteld in de dampkring. Dit heeft geen entropisch effect.

Om aan de dampkring te kunnen rekenen wordt de Standaardatmosfeer 1976 genomen.

hoogte h [m]	temp. T [°C]	luchtdr. p [hPa]
0,0	15,0	1.013,0
11.000,0	-56,0	226,0
20.000,0	-56,0	54,0
32.000,0	-44,0	8,7
47.000,0	-2,0	1,1
51.000,0	-2,0	0,6
71.000,0	-58,0	0.3
84.000,0	-68,0	0.03

r =	6,3E+06 m	Straal aardbol
Ht =	1,1E+04 m	Dikte troposfeer
Hs =	4,0E+04 m	Dikte stratosfeer
Hm =	3,0E+04 m	Dikte mesosfeer
Ha =	8,1E+04 m	Dikte atmosfeer
Vt = 4 . 3,14 . R ² . Ht =	5,5E+18 m ³	Volume troposfeer
Vs = 4 . π . (r+Ht) ² . Hs =	2,0E+19 m ³	Volume stratosfeer
Vm = 4 . π . (r+Ht+Hs) ² . Hm =	1,5E+19 m ³	Volume mesosfeer
Va =	4,1E+19 m ³	Volume atmosfeer
Pt = 100 . (1013+226)/2 =	6,2E+04 N/m ²	Gem.luchtdruk troposfeer
Ps = 100 . (226+1,1)/2 =	1,1E+04 N/m ²	Gem. luchtdruk stratosfeer
Pm = 100 . (0,6+0,1)/2 =	3,5E+01 N/m ²	Gem. luchtdruk mesosfeer
Pmv =	1,0E+05 N/m ²	Luchtdruk maaiveld
Tmv =	291,0 °K	Temperatuur maaiveld
Tt = (291+220)/2 =	255,5 °K	Gem. temperatuur troposfeer
Ts = (220 + 274)/2 =	258,0 °K	Gem. temperatuur stratosfeer
Tm = (276+208)/2 =	242,0 °K	Gem. temperatuur mesosfeer
M =	0,029 kg/mol lucht	Molaire massa
R =	8,3 J/°K.mol	Gasconstante

$$\begin{aligned}
V_{\text{mol mv}} &= R \cdot T_{\text{mv}} / P_{\text{mv}} = 0,024 \text{ m}^3 & V \text{ mol lucht op maaiveldhoogte} \\
V_{\text{mol stra}} &= R \cdot T_{\text{s}} / P_{\text{s}} = 0,189 \text{ m}^3 & V_{\text{gem}} \text{ mol lucht in stratosfeer} \\
n_{\text{str}} &= V_{\text{stra}} / V_{\text{mol lucht str}} = 1,1E+20 \text{ molen} & \text{Aantal mol lucht in stratosfeer} \\
V_{\text{mol tropo}} &= R \cdot T_{\text{t}} / P_{\text{t}} = 0,026 \text{ m}^3 \\
n_{\text{tropo}} &= V_{\text{tropo}} / V_{\text{mol tropo}} = 2,1E+20 \text{ molen} \\
V_{\text{mol meso}} &= R \cdot T_{\text{m}} / P_{\text{m}} = 57,4 \text{ m}^3 \\
n_{\text{meso}} &= V_{\text{meso}} / V_{\text{mol meso}} = 2,6E+17 \text{ molen} \\
\rho_{\text{lucht maaiveld}} &= P_{\text{mv}} \cdot M / R \cdot T_{\text{mv}} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \\
\rho_{\text{lucht tropo}} &= P_{\text{t}} \cdot M / R \cdot T_{\text{t}} = 0,7 \text{ kg/m}^3 \\
\rho_{\text{lucht strato}} &= P_{\text{stra}} \cdot M / R \cdot T_{\text{stra}} = 0,2 \text{ kg/m}^3 \\
\rho_{\text{lucht meso}} &= P_{\text{m}} \cdot M / R \cdot T_{\text{m}} = 0,001 \text{ kg/m}^3 \\
Cl_{\text{lucht}} &= 1,0 \text{ kJ/kg.K} = 0,03 \text{ kJ/K.mol}
\end{aligned}$$



4



0,2

voor

Pandgeld

0,04 kg CO₂

De dampkring mag gratis worden gebruikt.

De eigenwaarde van de eraan te ontnemen mol CO₂ moet echter worden betaald.

De prijs hiervoor is:

S_σ 1 mol CO₂ =

0,213 kJ/°K

Eigenwaarden



5

1

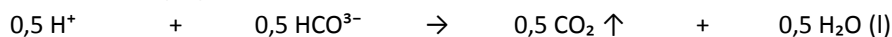
mol CO₂ delven

Roeren & Mengten



• **Vorming ΔS_σ :**

De CO₂-onttrekking aan de lucht wordt voor ca 50% gecompenseerd door CO₂-toevoeging vanuit de oceaan.



't Overzicht.							
Thermen reactievl	M [kg/mol]	n	m [kg]	S _σ [kJ/°K.mol]	S _σ [kJ/°K]	H _f [kJ/mol]	H _f [kJ]
Vóór							
0,5 H ⁺	0,001	0,5	0,0005	0,000	0,000		
0,5 HCO ³⁻	0,061	0,5	0,0305	0,091	0,046		
Na							
0,5 CO ₂ ↑	0,04	0,5	0,02	0,213	0,107		
0,5 H ₂ O (l)	0,018	0,5	0,01	0,070	0,035		
ΔS_σ =					0,096	ΔH_f =	

Toelichting:

- bron

Eigenwaarden

• **Spreiding ΔS_{cf} :**

> 1 mol CO₂ uit de lucht in de cilinder

Vat dit op als negatieve spreiding.

Stel het volume van 1 mol CO₂ bij gelijke druk gelijk aan dat van 1 mol lucht.

Het entropisch effect van het inzamelen uit de dampkring in de cilinder kan worden benaderd met de formule:

ΔS_{cf}, 1 mol CO₂ uit d.kring =

$$- R \cdot \ln (V_a / V_{\text{mol mv}}) \cdot 0,001 =$$

-0,41 kJ/°K

> 0,5 mol CO₂ uit de oceaan in de lucht.

$$\begin{aligned}\Delta S_{cf, 0,5 \text{ mol CO}_2 \text{ uit oceaan in lucht}} &= \\ 0,5 * R * \ln(V_a / 0,01 * V_o) * 0,001 &= & 0,03 \quad \text{kJ/}^\circ\text{K} \\ \text{met } V_{\text{oceaan}} &= & 1,3\text{E}+18 \quad \text{m}^3\end{aligned}$$

Slechts de toplaag van de oceaan, 1 volume %, neemt deel aan deze stijging.

• **Opwarming ΔS_θ :**

> atmosfeer

Het aandeel CO₂ in de lucht is anno 2015 tot op een hoogte van ca 100 km 0,038 volumeprocent

$$\text{Dan is } n_{\text{CO}_2} = 0,00038 * n_{\text{atmo}} = 1,2\text{E}+17 \quad \text{mol CO}_2$$

De afgelopen eeuw is het CO₂-gehalte in de atmosfeer met ca 0,008 volumeprocent gestegen

Sinds 1900:

$$\begin{aligned}- \Delta n_{\text{CO}_2} &= 0,00008 * n_{\text{atmo}} = & 2,6\text{E}+16 \quad \text{mol CO}_2 \\ - \Delta T_{\text{broeikas}} &= & 0,7 \quad ^\circ\text{K} \\ - \Delta Q_{\text{atmosfeer}} &= \Delta T * C_{\text{lucht}} * n_{\text{tropo}} = & 4,3\text{E}+18 \quad \text{kJ} \\ - \Delta S_\theta &= \Delta Q / T_t = & 1,7\text{E}+16 \quad \text{kJ/}^\circ\text{K} \\ - \Delta S_\theta / \Delta n_{\text{CO}_2} &= & 0,66 \quad \text{kJ/}^\circ\text{K} \\ && \text{per toegevoegde mol CO}_2 \\ &\text{ofwel} & -0,33 \quad \text{kJ/}^\circ\text{K} \\ && \text{per onttrokken 0,5 mol CO}_2\end{aligned}$$

> oceaan

De oceaankoelt mee af door onttrekking CO₂ aan de dampkring en zal weer enigszins opwarmen wanneer de dampkring opwarmt door het broeikas effect.

Per saldo geeft dit het volgende empirisch resultaat.

Stel - met een half oor luisterend naar verschillende wetenschappelijke discussies -

$$\text{dat de oceaan de afgelopen 100 jaar ca } \Delta T = 0,1 \quad ^\circ\text{K}$$

warmer is geworden als gevolg van de toename van de atmosferische CO₂

Slechts de toplaag van de oceaan, 1 volume %, nam deel aan deze stijging.

$$\begin{aligned}C_{\text{water}} &= & 4.186 \quad \text{kJ/}^\circ\text{K.m}^3 \\ \Delta Q &= C_{\text{water}} * 0,01 * V_{\text{oceaan}} * \Delta T = & 5,4\text{E}+18 \quad \text{kJ} \\ \Delta Q_{1\text{molCO}_2 \text{ in de lucht}} &= \Delta Q / \Delta n_{\text{CO}_2} = & 2,1\text{E}+02 \quad \text{kJ} \\ T_{\text{gem.watertemp.}} &= & 293 \quad ^\circ\text{K.} \\ \Delta S_\theta &= \Delta Q / T = & 1,9\text{E}+16 \quad \text{kJ/}^\circ\text{K} \\ \Delta S_\theta \text{ per mol CO}_2 \text{ in lucht} &= \Delta S / \Delta n_{\text{CO}_2} = & 0,7 \quad \text{kJ/}^\circ\text{K.mol CO}_2 \\ \Delta S_\theta \text{ per 0,5mol CO}_2 \text{ uit lucht} &= -0,5 \Delta S / \Delta n_{\text{CO}_2} = & -0,4 \quad \text{kJ/}^\circ\text{K.mol CO}_2\end{aligned}$$



Klaar !

1947, jaar van einde.
De 90-jarige Max
streelt een achterkleinkind.



Bronnen :

'Die mechanische Wärmetheorie' door Rudolf Julius Emmanuel Clausius; 1876

'Vorlesungen über Gastheorie' door Ludwig Boltzmann; 1896

'Vorlesingen über Thermodynamik' door Max Planck 1897

'Entropie' door J.D. Fast, tweede druk 1959

'Entropy. The devil on the pillion' door J. Zernike, 1972

'Entropy Analysis' door Norman C. Graig, 1992

'What is life? The Physical Aspect of the Living Cell' door Erwin Schrödinger, 1948

<https://nl.wikipedia.org/wiki/Standaardatmosfeer>