

1-ASIS FIZIKOS TURNYRAS

Užduotis Nr. 1-6 / 2008 01 08 – 01 30 AIŠKINAMASIS SPRENDIMAS

Buvo paruoštas degusis mišinys iš dviejų reaktantų - deguonies ir vandenilio dujų. Praėjus pakankamai ilgam laiko tarpui, abi sudedamosios dalys pakankamai tolygiai pagal Daltono dėsnį pasiskirstė visame uždaryto indo tūryje. Indas gali būti traktuojamas kaip realių matmenų laboratorinė kiuvetė. Indo sienelių temperatūra 20 °C, 1 kubinio metro dujų mišinio masė 3,28 g, slėgis 1kPa.

Mišinys padegamas elektros kibirkštimi nuo elektrodų indo viduje, degimas trumpalaikis, degimas tolydus visame indo tūryje, indas po degimo lieka hermetiškas.

Degimui pasibaigus, inde susidaro naujas mišinys iš vienu dujų likučio (deguonies arba vandenilio) ir reakcijos produkto – vandens garų.

- 1) Kuris reaktantas liko iki galo nesureagavęs, ir kiek jo liko?
- 2) Po reakcijos praėjus tam tikram laiko tarpui, inde užfiksuota 25 °C temperatūra. Koks tada buvo mišinio po reakcijos slėgis p_{25} ?
- 3) Po reakcijos praėjus pakankamai ilgam laiko tarpui, inde nusistovėjo 20 °C temperatūra. Koks tada buvo mišinio po reakcijos slėgis p_{20} ?

Duota:

$T_1=(273+20)$ K	reaktantų (ir produktų) temperatūra
$T_2=(273+25)$ K	produktų temperatūra
$V_Z=1$ m ³	tūrio vienetas
$m_Z=3.28 \cdot 10^{-3}$ kg	mišinio masė tūrio vienetu
$p=1000$ Pa	mišinio slėgis

Pagal žinynus:

$\mu_O=2 \cdot 16 \cdot 10^{-3}$ kg mol ⁻¹	deguonies molekulės molinė masė
$\mu_H=2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}$ kg mol ⁻¹	vandenilio molekulės molinė masė

Rasti:

p_{25} ,	slėgis po reakcijos, kai temperatūra T_2 ,
p_{20} .	slėgis po reakcijos, kai temperatūra T_1 ,

SPRENDIMAS

Modelio – artinio pasirinkimas. Pirmiausia reikia nuspręsti, kuriuo artiniu spėjime uždavinį. Buvo sumaišytos dujos – vandenilis ir deguonis. Mišinio slėgis $p=1000$ Pa. Atmosferos slėgis $p=101325$ Pa (atitinka 760 mm Hg). Matome, kad slėgis kiuvetėje yra ~100 kartų mažesnis už atmosferos slėgį. Vadinasi, galima daryti prielaidą, kad dujas iki reakcijos ir po reakcijos galima laikyti idealiosiomis dujomis (t.y., nekreipti dėmesio į molekulių matmenis).

Reakcijos balanso lygtis. Svarbiausia uždavinio problema yra ta, kad nėra žinoma, kurios dujos sureagavo iki galo, o kurios liko. Pirmiausia reikia nustatyti tokios reakcijos eigą teoriškai:



čia reaktantai yra vandenilis ir deguonis, o produktas – vanduo. Reakcijos metu išsiskiria šiluma. Užrašius reakcijos balanso lygtį, akivaizdu, kad skaičiuojant moliais, vandenilio reikia dvigubai daugiau, negu deguonies – t.y., vandenilio ir deguonies medžiagų teorinių (T) kiekių santykis pagal (1) lygtį turi būti lygus 2 – tada abu reaktantai sureaguos PILNAI.

$$A_1 = \frac{v_H^T}{v_O^T} = \frac{2}{1} = 2 \quad (2)$$

Reaktantų pasiskirstymas iki reakcijos. Nustačius reakcijos eigą, galima suskaičiuoti, kaip degė vandenilis ir ar sudegė vandenilis – t.y., koks reaktantų medžiagos kiekių santykis buvo prieš reakciją. Toliau bus rašomos balanso lygtys pagal 1 lentelės reaktantų sandų parametrus.

1 lentelė. Eksperimentiniai reaktantų sandų parametrai			
SANDAI	masė	medžiagos kiekis	slėgis
vandenilio (H) sandas	m_H	v_H	p_H
deguonies (O) sandas	m_O	v_O	p_O
mišinys (be indekso)	m	v	p

Bendras reakcijoje dalyvaujančių mišinio sandų kiekis v ir masė m :

$$v = v_H + v_O \quad ; \quad (3)$$

$$m = m_H + m_O \quad . \quad (4)$$

Reikia atkreipti dėmesį, kad uždavinio sąlygoje pateikta „1 kubinio metro dujų mišinio masė 3,28 g“, pažymėta kaip m_Z , nėra lygi m . Pagal šį apibrėžimą galima suskaičiuoti tik dujų tankį:

$$\rho = \frac{m_Z}{V_Z} \quad . \quad (5)$$

Sąlygoje pateiktas dydis „1 kubinis metras“, pažymėtas kaip V_Z , iš tikrųjų nėra kiuvetės tūris V_X , kuris čia ir toliau lieka kaip nežinomasis. V_Z yra tik sąlyginis tūrio vienetas, skirtas dujų mišinio tankiui apibrėžti.

Dujų mišiniams galioja Daltono dėsnis, kuris nusako mišinio slėgį kaip atskirų mišinio sandų slėgių sumą:

$$p = p_H + p_O \quad . \quad (6)$$

Reaktantų (vandenilio ir deguonies) kiekiai v_H ir v_O , kurie dalyvaus reakcijoje, užrašomi taip:

$$v_H = \frac{m_H}{\mu_H} \quad ; \quad (7)$$

$$v_O = \frac{m_O}{\mu_O} \quad . \quad (8)$$

Atskirai kiekvienam mišinio sandui ir visam mišiniui užrašome Mendelejevo – Klaiperono dėsnio lygtį:

$$p_H V_X = v_H RT_1 \quad ; \quad (9)$$

$$p_O V_X = v_O RT_1 \quad ; \quad (10)$$

$$p V_X = v RT_1 = (v_H + v_O) RT_1 \quad . \quad (11)$$

Pagal (5) ir (4) lygtis išreiškiame mišinio tankį iki reakcijos:

$$\rho = \frac{m_Z}{V_Z} = \frac{m}{V_X} = \frac{m_H + m_O}{V_X} \quad . \quad (12)$$

Pagal tai išreiškiame kiuvetės tūrį V_X :

$$V_X = \frac{m_H + m_O}{\rho} \quad . \quad (13)$$

Iš (11) lygties išreiškiame slėgį p ir į (14) lygtį įstatome (13) lygtį:

$$p = \frac{(v_H + v_O)}{V_X} RT_1 \quad ; \quad (14)$$

$$p = \frac{(v_H + v_O)}{\frac{m_H + m_O}{\rho}} RT_1 = \frac{v_H + v_O}{m_H + m_O} \rho RT_1 \quad (15)$$

Iš (7) ir (8) lygčių išreikštos reaktantų masės m_H ir m_O įstatomos į (15) lygtį:

$$p = \frac{v_H + v_O}{v_H \mu_H + v_O \mu_O} \rho RT_1 \quad (16)$$

Dabar (16) lygtyje skaitiklis ir vardiklis padalinami iš v_O :

$$p = \frac{\frac{v_H + v_O}{v_O} \rho RT_1}{\frac{v_H \mu_H + v_O \mu_O}{v_O}} = \frac{\frac{v_H}{v_O} + 1}{\frac{v_H}{v_O} \mu_H + \mu_O} \rho RT_1 \quad (17)$$

Taigi, gauta išraiška, kurią galima panaudoti medžiagų kiekių vertinimui. (17) lygtyje pažymėkime kintamąjį A_2 , kuris išreiškia eksperimentinį kiekių santykį – prieš reakciją susimaišiusių medžiagų kiekių santykį. Perrašykime (17) lygtį pagal (18) lygtį:

$$A_2 = \frac{v_H}{v_O} \quad ; \quad (18)$$

$$p = \frac{A_2 + 1}{A_2 \mu_H + \mu_O} \rho RT_1 \quad (19)$$

Gauta lygtis su vienu kintamuoju A , kurią galima išspręsti:

$$p(A_2 \mu_H + \mu_O) = (A_2 + 1) \rho RT_1 \quad ; \quad (20)$$

$$pA_2 \mu_H + p\mu_O = A_2 \rho RT_1 + \rho RT_1 \quad ; \quad (21)$$

$$pA_2 \mu_H - A_2 \rho RT_1 = \rho RT_1 - p\mu_O \quad ; \quad (22)$$

$$A_2 (p\mu_H - \rho RT_1) = \rho RT_1 - p\mu_O \quad ; \quad (23)$$

$$A_2 = \frac{\rho RT_1 - p\mu_O}{p\mu_H - \rho RT_1} = - \frac{\rho RT_1 - p\mu_O}{\rho RT_1 - p\mu_H} \quad (24)$$

(24) lygtyje skaitiklis ir vardiklis padalinami iš p ir įstatoma tankio išraiška iš (5) lygties:

$$A_2 = - \frac{\frac{m_Z RT_1}{pV_Z} - \mu_O}{\frac{m_Z RT_1}{pV_Z} - \mu_H} \quad ; \quad (25)$$

$$A_2 = - \frac{3.28 * 10^{-3} * 8.31 * (273 + 20) - 2 * 16 * 10^{-3}}{1000 * 1} \quad ; \quad (26)$$

$$A_2 = - \frac{10^{-3} (7.9862424 - 32)}{10^{-3} (7.9862424 - 2)} = \frac{24.0137576}{5.9862424} = 4.0115 \quad (27)$$

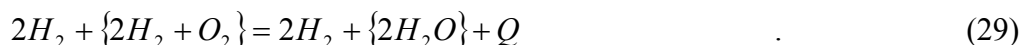
Taigi, pagal (18) lygties pažymėjimą

$$A_2 = \frac{v_H}{v_O} \approx 4 \quad (28)$$

Tai reiškia, kad kiuvetė buvo užpildyta taip, kad vandenilio kiekis (išreikštas moliais) viršijo deguonies kiekį keturis kartus $A_2=4$. Pagal reakcijos balanso lygtį (1) suskaičiuotas vandenilio kiekis (išreikštas moliais) turi viršyti deguonies kiekį tik du kartus – $A_1=2$. Vadinasi, sureagavo visos deguonies, o vandenilio liko perteklius. Du vandenilio moliai iš keturių buvo sunaudoti

reakcijoje, o po reakcijos liko $4-2=2$ moliai. Ta reiškia, kad $2/4=1/2=0.5=50\%$ pradinio vandenilio kiekio buvo sunaudota, o 50% pradinio vandenilio kiekio liko. Norint nusakyti vandenilio likutį kaip masę, reikėtų žinoti kiuvetės tūrį.

Dabar galima patikslinti teoriškai užrašytą (1) balanso lygtį:



Slėgių po reakcijos skaičiavimas. Įvykus reakcijai, būtina įvertinti vandens kondensacijos galimybes. Vanduo kondensuos (t.y., pereis iš dujinio į skystą būvį tik tuo atveju, jei jo slėgis viršys sočiųjų garų slėgį toje temperatūroje). 2 lentelėje yra pateiktos vandens sočiųjų garų slėgių p^S vertės.

2 lentelė. Vandens sočiųjų garų slėgių p^S vertės	
Temperatūra / °C	Slėgis / Pa
20	2338
25	3168

Gautas slėgio vertes reikės įvertinti pagal šią lentelę – jei slėgio vertė viršys sočiųjų garų slėgio vertę – dujos kondensuos, ir slėgis bus mažesnis už suskaičiuotąjį.

Taigi, čia ir toliau naudosimės idealiųjų dujų modelių. Užrašykime Mendelejevo – Klaperono lygtis dujoms iki reakcijos (IKI), dujoms po reakcijos (PO), kai temperatūra po reakcijos siekė T_2 , ir kai temperatūra po reakcijos nusistovėjo tokia, kokia buvo prieš reakciją - T_1

$$pV_X = \nu_{IKI}RT_1 \quad ; \quad (30)$$

$$p_{25}V_X = \nu_{PO}RT_2 \quad . \quad (31)$$

$$p_{20}V_X = \nu_{PO}RT_1 \quad . \quad (32)$$

Kiuvetė reakcijos metu neišsihermetino, vadinasi, tūris V_X lieka toks pats. Dabar reikia įvertinti, kokie medžiagų kiekiai buvo iki reakcijos ir kokie – po reakcijos. Mes nežinome, kokie medžiagų kiekiai iš tikrųjų dalyvavo reakcijoje. Pagal (28) lygtį skaičiuosime išėigą skaičiuosime sąlyginiais deguonies kiekiais ν_O , - taip, kad

$$\nu_H = 4\nu_O \quad . \quad (33)$$

Pagal patikslintą reakcijos balanso lygtį (29) medžiagų kiekis prieš reakciją ν_{IKI} : du sąlyginiai kiekiai vandenilio, kurie nedalyvavo reakcijoje, du sąlyginiai kiekiai vandenilio, kurie dalyvavo reakcijoje, vienas sąlyginis kiekis deguonies, kuris dalyvavo reakcijoje:

$$\nu_{IKI} = 4\nu_O + \nu_O = 5\nu_O \quad ; \quad (34)$$

Pagal patikslintą reakcijos balanso lygtį (29) medžiagų kiekis po reakcijos ν_{PO} : du sąlyginiai kiekiai vandenilio, kurie nedalyvavo reakcijoje, du sąlyginiai kiekiai vandens, kurie dalyvavo reakcijoje,

$$\nu_{PO} = 2\nu_O + 2\nu_O = 4\nu_O \quad ; \quad (35)$$

Dabar skaičiuosime slėgį p_{25} . Padaliname (30) lygtį iš (31) lygties:

$$\frac{p}{p_{25}} = \frac{\nu_{IKI} T_1}{\nu_{PO} T_2} \quad . \quad (36)$$

$$p_{25} = p \frac{\nu_{PO} T_2}{\nu_{IKI} T_1} \quad . \quad (37)$$

Į (37) lygtį įstatoma (34) ir (35) lygtis:

$$p_{25} = p \frac{\nu_{PO} T_2}{\nu_{IKI} T_1} = p \frac{4\nu_O T_2}{5\nu_O T_1} = 0.8p \frac{T_2}{T_1} \quad ; \quad (38)$$

$$p_{25} = 0.8 * 1000 \frac{298}{293} = 813,65 \text{ Pa} \quad . \quad (39)$$

Kaip matome, šis slėgis yra mažesnis už sočiųjų garų slėgį (žr. 2 lentelę). Kai temperatūra T_2 , vandens kondensato nebus.

$$p_{25} = 813.65 \text{ Pa} < p_{25}^S = 3168 \text{ Pa} \quad . \quad (40)$$

Dabar skaičiuosime slėgį p_{20} . Padaliname (30) lygtį iš (32) lygties:

$$\frac{p}{p_{20}} = \frac{v_{IKI} T_1}{v_{PO} T_1} = \frac{v_{IKI}}{v_{PO}} \quad . \quad (41)$$

$$p_{20} = p \frac{v_{PO}}{v_{IKI}} \quad . \quad (42)$$

I (42) lygį įstatoma (34) ir (35) lygtis:

$$p_{20} = p \frac{v_{PO}}{v_{IKI}} = p \frac{4v_O}{5v_O} = 0.8p \quad ; \quad (43)$$

$$p_{20} = 0.8 * 1000 = 800 \text{ Pa} \quad . \quad (44)$$

Kaip matome, šis slėgis yra mažesnis už sočiųjų garų slėgį (žr. 2 lentelę). Kai temperatūra T_1 , vandens kondensato nebus.

$$p_{20} = 800 \text{ Pa} < p_{20}^S = 2338 \text{ Pa} \quad . \quad (45)$$

Atsakymai:

- 1) buvo sunaudotas visas deguonis, o 50% pradinio vandenilio kiekio liko po reakcijos;
- 2) $p_{25} = 813,65 \text{ Pa}$;
- 3) $p_{20} = 800 \text{ Pa}$.

Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt skelbiamas nuo 2008 02 22.