

6.6 Wydajność reakcji chemicznej

Wydajność reakcji chemicznej - stosunek **ilości produktu otrzymanego** w reakcji chemicznej do **ilości** tego **produktu obliczonej teoretycznie** z równania reakcji chemicznej.

Ilością może być (np. *liczba moli, masa, objętość, stężenia*). Najczęściej wyrażana w procentach %.

Np.

Gdy **wydajność reakcji chemicznej** wynosi **25%** to otrzymamy **25% ilości** zaplanowanego produktu

$$W = \frac{P_r}{P_t} \cdot 100\%$$

W - wydajność reakcji chemicznej [%]
P_r - rzeczywista ilość produktu [mol, g, dm³]
P_t - teoretyczna ilość produktu [mol, g, dm³]

Nie musisz znać na pamięć tego wzoru, ponieważ można zapisać proporcję w zależności co chcemy obliczyć

Np.

ilość teoretyczna — **100%**

ilość rzeczywista — **x**

$$x = \text{wydajność reakcji chemicznej [\%]}$$

W poprzednich zadaniach zakładaliśmy **wydajność reakcji 100%** i tak będziemy przyjmować, jeżeli nie będzie wskazana w zadaniu. W rzeczywistości **wydajność reakcji chemicznej** rzadko wynosi **100%**.

Nie każda reakcja chemiczna zachodzi z **wydajnością 100%** - czego efektem jest **mniejsza ilość produktu [P_r]**, niż **planowano** w reakcji [**P_t**]

W notatce “6.5 Przebieg reakcji po zmieszaniu substratów w **stosunku niestechiometrycznym**” substraty były w **niedomiarze** i **nadmiarze**.

W tej notatce skupimy się na produkcje reakcji - jak **wydajnie** powstał produkt i na reakcjach biegnących **stechiometrycznie**.

Wydajność teoretyczną [P_t] oblicza się na podstawie ilości **substratu** użytego w **niedomiarze** (reagent ograniczający).

Na przykładzie równania reakcji: $2\text{H}_2 + 1\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$, odczytujemy na podstawie zbilansowanych współczynników stechiometrycznych, że **stosunek molowy** reakcji chemicznej wynosi **2 : 1 : 2** [notatka “6.2 Molowy stosunek stechiometryczny reagentów”]. Rozważmy sytuacje:

I. **stosunek stechiometryczny**: np. **2 mole** H₂ reagują z **1 molem** O₂, dając **2 mole** H₂O

Wydajność reakcji chemicznej: **100%** [teoretycznie]

II. **stosunek niestechiometryczny**: np. **2 mole** H₂ reagują z **2 mole** O₂, więc tlen jest w **nadmiarze**, a wodor w **niedomiarze** (który ogranicza **ilość** powstania wody) i powstało **1,6 mola** wody.

[pomiar - **ilość rzeczywista**]

proporcja I

2 mole H_2 — 2 mole H_2O [stosunek molowy - r.reakcji chemicznej]

2 mola H_2 — x

x = 2 mole H_2O <— ilość teoretyczna

proporcja II / wzór

2 mole H_2O — 100% [ilość teoretyczna]

1,6 mola H_2O — x [ilość rzeczywista - z zadania]

$$W = \frac{1,6 \text{ mol}}{2 \text{ mole}} \cdot 100\%$$

x = 80%

W = 80%

Wydajność reakcji chemicznej: 80%

Dotychczasowo zapisywaliśmy **proporcję I** i to było nasze założenie że **wydajność reakcji** tworzenia produktów jest 100%. W zadaniach z **wydajnością** będziemy zapisywać dokładnie takie same proporcje, aby obliczyć **ilość teoretyczną**, która powstałaby, a na końcu obliczyć **wydajność** lub **rzeczywistą ilość produktu** (znając **wydajność**).

Zależności pomiędzy ilością teoretyczną, ilością rzeczywistą, a wydajnością:

- ilość rzeczywista = ilość teoretyczna —> wydajność 100%
- ilość rzeczywista < ilość teoretyczna —> wydajność < 100%
- ilość rzeczywista > ilość teoretyczna —> wydajność > 100% - ale to oznacza, że produkt jest **zanieczyszczony** (maksymalna wydajność = 100%)

Podsumowanie pojęć:

Stosunki stechiometryczne i stosunki niestechiometryczne dotyczą substratów (pokazują **nadmiar** i **niedomiar** substratów)

Wydajność reakcji chemicznej dotyczy produktów (pokazuje jak skutecznie powstawał produkt)

Aby obliczyć całkowitą wydajność procesu, należy przemnożyć przez siebie **wydajność każdej reakcji chemicznej** [dowód w **zadaniu 6.6.18** na *ostatniej stronie* - 19].

Zadania, zostały podzielone na typy:

- na podstawie produktu oblicz **wydajność reakcji chemicznej**
- na podstawie substratu oblicz **wydajność reakcji chemicznej**
- reagenty w stosunku niestechiometrycznym - obliczanie **wydajności reakcji chemicznej**
- zanieczyszczenie produktu - obliczanie **wydajności reakcji chemicznej**

Zadania - obliczenia związane z ilością produktów:

#6.6.1

Oblicz *wydajność* pewnej *reakcji chemicznej*, w wyniku którego powinno powstać *20g* substancji, a powstało *15g*.

$$Pr = 15g$$

$$Pt = 20g$$

$$20g \text{ — } 100\% \text{ [tyle by powstało, gdyby } W = 100\%]$$

$$15g \text{ — } x$$

$$x = 75\%$$

$$W = \frac{15g}{20g} \cdot 100\%$$

$$W = 75\%$$

Wydajność pewnej **reakcji chemicznej** wynosi **75%**.

1. Określ, **ilość rzeczywistą (Pr)** i **ilość teoretyczną (Pt)**.

2. Zapisz **proporcję / wzór** pozwalającą obliczyć:

- **wydajność reakcji chemicznej**

2. Użyj **wzoru** pozwalającego obliczyć:

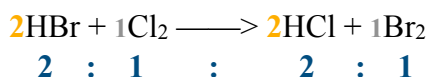
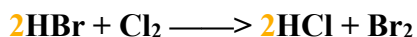
- **wydajność reakcji chemicznej**

$$W = \frac{Pr}{Pt} \cdot 100\%$$

3. Napisz odpowiedź.

#6.6.2

Oblicz *wydajność reakcji chemicznej*, jeżeli roztwór zawierający *1800 mg* bromowodoru - $HBr_{(g)}$ nasyciono chlorem, a *masa* powstałego ciekłego bromu wynosi *740 mg*.



$$M_{HBr} = 81 \text{ g/mol}$$

$$M_{Br_2} = 160 \text{ g/mol}$$

$$m_{HBr} = 1800 \text{ mg} = 1,8g$$

$$m_{Br_2} = 740 \text{ mg} = 0,74g$$

$$2 \cdot 81g \text{ HBr (2 mole)} \text{ — } 1 \cdot 160g \text{ bromu (1 mol) [stosunek molowy reakcji]}$$

$$1,8g \text{ HBr — } x$$

$$x = 1,78g \text{ bromu}$$

$$1,78g \text{ — } 100\% \text{ [tyle by powstało, gdyby } W = 100\%]$$

$$0,74g \text{ — } x$$

$$x = 41,6\%$$

$$W = \frac{0,74g}{1,78g} \cdot 100\%$$

$$W = 41,6\%$$

1. Napisz równanie reakcji chemicznej.

• dobierz **współczynniki**
stechiometryczne

2. Zapisz **stosunek molowy** reakcji chemicznej.

3. Zamień **masy** $HBr_{(g)}$ i bromu z **miligramów** na **gramy**.

4. Zapisz proporcję pozwalającą obliczyć **teoretyczną masę** bromu.

5. Zapisz **proporcję** pozwalającą obliczyć:

- **wydajność reakcji chemicznej**

5. Użyj **wzoru** pozwalającego obliczyć:

- **wydajność reakcji chemicznej**

$$W = \frac{Pr}{Pt} \cdot 100\%$$

Wydajność tej **reakcji chemicznej**, w której w rzeczywistości powstało **740 mg** bromu wynosi **41,6%**.

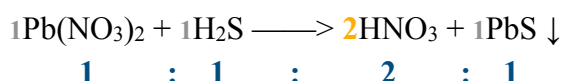
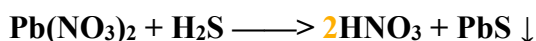
6. Napisz odpowiedź.

#Wskazówka:

- w kroku 4 możesz zapisać proporcje na molach, a w drugiej proporcji / wzorze obliczyć masę substancji na podstawie masy molowej i liczby moli

#6.6.3

Oblicz **wydajność reakcji chemicznej**, jeżeli **30g** azotanu (V) ołowiu (II) - $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ nasyciono siarkowodorem - $\text{H}_2\text{S}_{(\text{g})}$, a **masa** osadu siarczku ołowiu (II) - PbS po odsączeniu i wysuszeniu wynosi **17,8g**.



$$M_{\text{Pb}(\text{NO}_3)_2} = 331 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{PbS}} = 239 \text{ g/mol}$$

$$\begin{array}{lcl} 1 \text{ mol Pb}(\text{NO}_3)_2 & \text{—} & 331 \text{ g} \\ x & \text{—} & 30 \text{ g} \end{array} \quad \begin{array}{lcl} 1 \text{ mol PbS} & \text{—} & 239 \text{ g} \\ x & \text{—} & 17,8 \text{ g} \end{array}$$

$$x = 0,09 \text{ mola Pb}(\text{NO}_3)_2 \quad x = 0,07 \text{ mola PbS}$$

$$n = \frac{30 \text{ g}}{331 \text{ g}} = 0,09 \text{ mol Pb}(\text{NO}_3)_2 \quad n = \frac{17,8 \text{ g}}{239 \text{ g}} = 0,07 \text{ mol PbS}$$

$$\begin{array}{lcl} 1 \text{ mol Pb}(\text{NO}_3)_2 & \text{—} & 1 \text{ mol PbS} \text{ [stosunek molowy reakcji]} \\ 0,09 \text{ mol Pb}(\text{NO}_3)_2 & \text{—} & x \end{array}$$

$$x = 0,09 \text{ mol PbS}$$

$$0,09 \text{ mola} \text{ — } 100\% \text{ [tyle by powstało, gdyby } W = 100\%]$$

$$0,07 \text{ mola} \text{ — } x$$

$$x = 77,8\%$$

$$W = \frac{0,07}{0,09} \cdot 100\%$$

$$W = 77,8\%$$

1. Napisz równanie reakcji chemicznej.

- dobierz **współczynniki stechiometryczne**

2. Zapisz **stosunek molowy** reakcji chemicznej.

3. Zapisz **proporcję** pozwalającą obliczyć:

- liczbę **moli** $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ oraz PbS

3. Użyj **wzoru** pozwalającego obliczyć:

- liczbę **moli** PbS

$$n = \frac{m}{M}$$

4. Zapisz **proporcję** pozwalającą obliczyć **teoretyczną** liczbę **moli** PbS .

5. Zapisz **proporcję** pozwalającą obliczyć:

- wydajność** reakcji chemicznej

5. Użyj **wzoru** pozwalającego obliczyć:

- wydajność** reakcji chemicznej

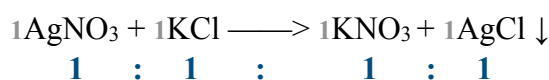
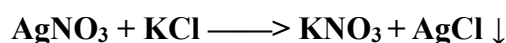
$$W = \frac{P_r}{P_t} \cdot 100\%$$

#Wskazówka:

- w kroku 4 można zamienić **stosunek molowy** na **stosunek objętościowy**, ponieważ wszystkie reagenty występują w fazie gazowej
- możesz zamienić **70 dm³ N₂O** z **prawo Avogadro** na **masę** i obliczyć **wydajność** mając **masę teoretyczną** i **masę rzeczywistą** NO



#6.6.5 Oblicz **wydajność reakcji** zachodzącej w wyniku zmieszania azotanu (V) srebra (I) - AgNO₃ z chlorkiem potasu - KCl, gdy **stosunek masowy** AgNO₃ do soli, która jest osadem wynosi **5 : 4**.



$$M_{\text{AgNO}_3} = 170 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{AgCl}} = 143,5 \text{ g/mol}$$

$$1 \cdot 170 \text{ g AgNO}_3 (1 \text{ mol}) \longrightarrow 1 \cdot 143,5 \text{ g AgCl} (1 \text{ mol}) \text{ [stosunek molowy reakcji]}$$

$$5 \text{ g AgNO}_3 \longrightarrow x \text{ [stosunek masowy reagentów]}$$

$$x = 4,22 \text{ g AgCl}$$

Masa rzeczywista AgCl to **4g**, ponieważ w poprzedniej proporcji założyliśmy że mamy **5g** to będą też **4g** AgCl [stosunek masowy reagentów]

$$4,22 \text{ g} \longrightarrow 100\% \text{ [tyle by powstało, gdyby } W = 100\%]$$

$$4 \text{ g} \longrightarrow x$$

$$x = 95\%$$

$$W = \frac{4 \text{ g}}{4,22 \text{ g}} \cdot 100\%$$

$$W = 95\%$$

Wydajność tej **reakcji chemicznej**, w której **stosunek masowy** AgNO₃ do AgCl to **5 : 4** wynosi **95%**.

1. Napisz równanie reakcji chemicznej.

- dobierz **współczynniki stechiometryczne**

2. Zapisz **stosunek molowy** reakcji chemicznej.

3. Zapisz proporcję pozwalającą obliczyć:

- **teoretyczną masę** AgCl

4. Określ **rzeczywistą masę** AgCl

proporcja / wzór

5. Zapisz proporcję pozwalającą obliczyć:

- **wydajność reakcji chemicznej**

5. Użyj wzoru pozwalającego obliczyć:

- **wydajność reakcji chemicznej**

$$W = \frac{P_r}{P_t} \cdot 100\%$$

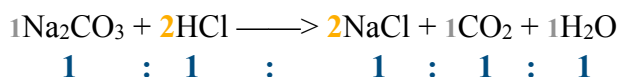
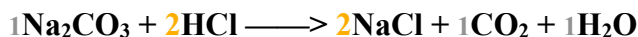
6. Napisz odpowiedź.



#6.6.6

Oblicz **masę** chlorku sodu - NaCl, którą otrzymaną w wyniku reakcji syntezy kwasu solnego - HCl z

25g węglanu sodu - Na₂CO₃, przebiegającej wg równania: Na₂CO₃ + 2HCl → 2NaCl + CO₂ + H₂O z **wydajnością 78%**.



$$M_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 106 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{NaCl}} = 58,5 \text{ g/mol}$$

$$1 \cdot 106 \text{ g Na}_2\text{CO}_3 (1 \text{ mol}) \longrightarrow 2 \cdot 58,5 \text{ g NaCl} (2 \text{ mole}) \text{ [stosunek molowy reakcji]}$$

$$25 \text{ g Na}_2\text{CO}_3 \longrightarrow x$$

$$x = 27,6 \text{ g NaCl}$$

$$27,6 \text{ g NaCl} \longrightarrow 100\% \text{ (wydajności reakcji chemicznej)}$$

$$x \longrightarrow 78\% \text{ (wydajności reakcji chemicznej)}$$

$$x = 21,53 \text{ g NaCl}$$

$$W = \frac{P_r}{P_t} \cdot 100\%$$

[obustronnie
mnożymy przez P_t]

$$W \cdot P_t = P_r \cdot 100\%$$

[obustronnie dzielimy
przez 100%]

$$P_r = \frac{W \cdot P_t}{100\%}$$

$$P_r = \frac{78\% \cdot 27,6 \text{ g}}{100\%}$$

$$P_r = 21,53 \text{ g}$$

Masa chlorku sodu - NaCl, otrzymaną w tej reakcji o **wydajności 78%** wynosi **21,53g**.

#Wskazówka:

- możesz wykonywać obliczenia na liczbie **moli**

1. Napisz równanie reakcji chemicznej.

- dobierz **współczynniki** **stechiometryczne**

2. Zapisz **stosunek molowy** reakcji chemicznej.

3. Zapisz **proporcję** pozwalającą obliczyć:

- **teoretyczną masę** NaCl

4. Zapisz **proporcję** pozwalającą obliczyć:

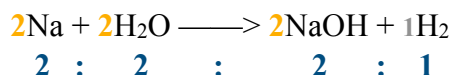
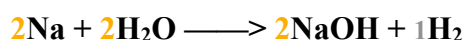
- **rzeczywistą masę** NaCl

4. Użyj **wzoru** pozwalającego obliczyć:

- **rzeczywistą masę** NaCl

6. Napisz odpowiedź.

#6.6.7 Oblicz ile cm^3 wodoru wydzielilo się w przeliczeniu na warunki normalne, jeśli do wody wprowadzono 2,19g sodu, a reakcja chemiczna przebiegła z wydajnością 85%.



$$M_{\text{Na}} = 23 \text{ g/mol}$$

$$1 \text{ mol sodu} \text{ — } 23\text{g}$$

$$x \text{ — } 2,19\text{g}$$

$$x = 0,095 \text{ mola sodu}$$

$$n = \frac{2,19\text{g}}{23\text{g}} = 0,095 \text{ mol sodu}$$

$$2 \text{ mole sodu} \text{ — } 1 \text{ mol wodoru [stosunek molowy reakcji]}$$

$$0,095 \text{ mole sodu} \text{ — } x$$

$$x = 0,0475 \text{ moli wodoru}$$

$$0,0475 \text{ moli wodoru} \text{ — } 100\% \text{ (wydajności reakcji chemicznej)}$$

$$x \text{ — } 85\% \text{ (wydajności reakcji chemicznej)}$$

$$x = 0,04 \text{ moli wodoru}$$

$$P_r = \frac{85\% \cdot 0,0475 \text{ moli}}{100\%}$$

$$P_r = 0,04 \text{ moli wodoru}$$

$$1 \text{ mol wodoru} \text{ — } 22,4 \text{ dm}^3 \text{ [prawo Avogadro]}$$

$$0,04 \text{ moli wodoru} \text{ — } x$$

$$x = 0,896 \text{ dm}^3 \text{ wodoru}$$

$$x = 0,896 \text{ dm}^3 = 896 \text{ cm}^3$$

W tej reakcji chemicznej z wydajnością 85% w warunkach normalnych powstało **896 cm^3 wodoru**.

1. Napisz równanie reakcji chemicznej.

• dobierz współczynniki
stechiometryczne

2. Zapisz stosunek molowy reakcji chemicznej.

3. Zapisz proporcję / wzór pozwalającą obliczyć:

- liczbę moli sodu

3. Użyj wzoru pozwalającego obliczyć:

- liczbę moli sodu

$$n = \frac{m}{M}$$

4. Zapisz proporcję pozwalającą obliczyć:

- teoretyczną liczbę moli wodoru

5. Zapisz proporcję / wzór pozwalającą obliczyć:

- rzeczywistą liczbę moli wodoru

5. Użyj wzoru pozwalającego obliczyć:

- rzeczywistą liczbę moli wodoru

$$P_r = \frac{W \cdot P_t}{100\%}$$

6. Zapisz proporcję pozwalającą obliczyć:

- objętość wodoru [korzystając z prawo Avogadro]

$$1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$$

7. Napisz odpowiedź.

#Wskazówka:

- możesz po kroku 4 zastosować proporcję, aby obliczyć **objętość** wodoru, a na końcu zastosować proporcję o **wydajności reakcji chemicznej**

2 mole sodu — 1 mol wodoru [stosunek molowy reakcji]
 0,095 mole sodu — x

x = **0,0475 moli wodoru**

1 mol wodoru — 22,4 dm³ [prawo Avogadro]
 0,0475 moli wodoru — x

x = **1,01 dm³ wodoru**

1,06 dm³ wodoru — 100% (wydajności reakcji chemicznej)
 x — 85% (wydajności reakcji chemicznej)

x = **904 dm³ wodoru**

x = **0,904 dm³ = 904 cm³**

Błąd pomiarowy to 9 cm³, który wynika z zaokrąglenia, a nie z błędu metody

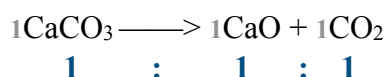
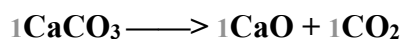
- różnica w **objętości** wodoru uwzględniając **wydajność reakcji chemicznej** wynosi:

$$1060 \text{ cm}^3 - 904 \text{ cm}^3 = 106 \text{ cm}^3$$

wydajność: 100% 85% 15% strat

#6.6.8 Zadania - obliczenia związane z ilością substratów:

Oblicz **masę** węglanu wapnia - CaCO₃, którą należy podać całkowitemu roztworzeniu, aby uzyskać **28 dm³** tlenku węgla (IV) - CO₂ w przeliczeniu na warunki normalne, wiedząc że **wydajność reakcji** wynosi **65%**.



28 dm³ CO₂ — 65% (wydajności reakcji chemicznej)
 x — 100% (wydajności reakcji chemicznej)

x = **43,1 dm³ CO₂**

$$P_t = \frac{28 \text{ dm}^3 \cdot 100\%}{65\%}$$

P_t = **43,1 dm³ CO₂**

1 mol CO₂ — 22,4 dm³ [prawo Avogadro]
 x — 43,1 dm³

x = **1,92 mola CO₂**

1. Napisz równanie reakcji chemicznej.

- dobierz **współczynniki** **stechiometryczne**

2. Zapisz **stosunek molowy** reakcji chemicznej.

3. Zapisz **proporcja / wzór** **proporcję** pozwalającą obliczyć:

- **teoretyczną objętość** CO₂

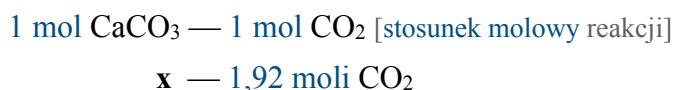
3. Użyj **wzoru** pozwalającego obliczyć:

- **teoretyczną objętość** CO₂

$$P_t = \frac{P_r \cdot 100\%}{W}$$

4. Zapisz **proporcję** pozwalającą obliczyć:

- **objętość** wodoru [korzystając z **prawo Avogadro**]



$$x = 1,92 \text{ moli CaCO}_3$$

$$M_{\text{CaCO}_3} = 100 \text{ g/mol}$$



$$x = 192 \text{ g CaCO}_3$$

$$m = 1,92 \cdot 100 \text{ g} = 192 \text{ g CaCO}_3$$

W tej reakcji chemicznej należało użyć **192g** węglanu wapnia - CaCO_3 ,
aby powstało **28dm³** tlenku węgla (IV) - CO_2 z **wydajnością 65%**

5. Zapisz proporcję pozwalającą obliczyć:

- liczbę **moli** CaCO_3

6. Zapisz proporcję / wzór pozwalającą obliczyć:

- **masę** CaCO_3

6. Użyj wzoru pozwalającego obliczyć:

- **masę** CaCO_3

$$m = n \cdot M$$

7. Napisz odpowiedź.

#Wskazówka:

• proporcję zapisaną w krok 3 należy zapisać: **28 dm³ CO₂ — 65% (wydajności reakcji chemicznej)**
ponieważ gdybyśmy zapisali odwrotnie



otrzymalibyśmy mniejszą wartość (tak $x = 43,1 \text{ dm}^3 \text{ CO}_2$

jakbyśmy mówili, że z **65% wydajności** otrzymaliśmy więcej produktu niż można maksymalnie, co nie ma sensu fizycznego)

Aby sprawdzić czy zapisało się poprawnie proporcje, można wykonać w brudnopisie poniższe działanie:

*otrzymany wynik (ilość rzeczywista) dzielimy przez policzoną ilość teoretyczną, a wynik powinien odpowiadać wartości **wydajność reakcji chemicznej***



sprawdzenie

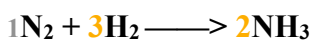
$$W = \frac{28 \text{ dm}^3}{43,1 \text{ dm}^3} \cdot 100\%$$

$$W = 65\%$$

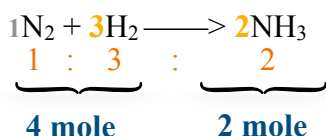
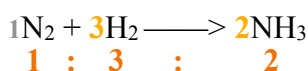




#6.6.9 Oblicz **objętość** w m^3 mieszaniny gazów - $1N_2 + 3H_2$ potrzebna do otrzymania w warunkach normalnych $3,2 \cdot 10^{25}$ **cząsteczek** amoniaku - NH_3 , wiedząc że **wydajność reakcji** wynosi **72%**, a **stosunek objętościowy** azotu do wodoru jest równy **1 : 3**.



1 : 3



#Przypomnienie:

Z notatki “6.4 Objętościowy stosunek stechiometryczny reagentów” wiemy, że **stosunek objętościowy** = **stosunek molowy**, gdy reakcja przebiega w fazie gazowej (substraty i produkty są w stanie gazowym)

$4 \cdot 22,4 \text{ dm}^3$ mieszaniny gazów — $2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}$ **cząsteczek** amoniaku
 x — $3,2 \cdot 10^{25}$ **cząsteczek** amoniaku

$x = 2381,4 \text{ dm}^3$ mieszaniny gazów

$2381,4 \text{ dm}^3$ — 72% (wydajności reakcji chemicznej)

x — 100% (wydajności reakcji chemicznej)

$x = 3307,5 \text{ dm}^3$

$$P_r = \frac{72\% \cdot 2381,4 \text{ dm}^3}{100\%}$$

$P_r = 3307,5 \text{ dm}^3$ wodoru

$x = 3307,5 \text{ dm}^3 = 3,31 \text{ m}^3$ wodoru

Aby w wyniku reakcji chemicznej zachodzącej z **wydajnością 72%** otrzymać $3,2 \cdot 10^{25}$ **cząsteczek** amoniaku - NH_3 o należy użyć **3,31 m³** mieszaniny gazów $1N_2 + 3H_2$

- Napisz równanie reakcji chemicznej.
 - dobierz **współczynniki stechiometryczne** na podstawie **stosunku objętościowego**
- Zapisz **stosunek objętościowy** produktu.
- Ustal liczbę **moli** gazowych reagentów (substraty i produkty):
 - odwołując się do **stosunku objętościowego** dla reakcji w fazie gazowej
- Zapisz proporcję pozwalającą obliczyć:
 - objętość** mieszaniny gazów w warunkach normalnych [korzystając z **stałej Avogadro** i **prawo Avogadro**]
1 mol gazu ma **objętość 22,4 dm³**
1 mol gazu ma **6,02 · 10²³ cząsteczek/atomów**
- Zapisz proporcję pozwalającą obliczyć:
 - proporcja / wzór**
rzeczywistą objętość mieszaniny gazów
- Użyj wzoru pozwalającego obliczyć:
 - rzeczywistą objętość** mieszaniny gazów

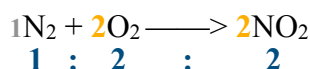
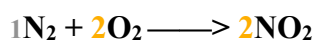
$$P_r = \frac{W \cdot P_t}{100\%}$$
1 m³ = 1000 dm³
- Napisz odpowiedź.

#Wskazówka:

- w przypadku kroku 3 liczba moli jest założona na podstawie najprostszych wartości tzn. zamiast 4 mole : 2 moli mogą być 2 mole : 1 mol lub 6 moli : 3 moli itd.
- proporcję z kroku 4 możesz rozdzielić i na początku obliczyć liczbę moli korzystając z N_A , a następnie objętość z prawa Avogadro

#6.6.10

Oblicz objętość w m^3 azotu cząsteczkowego w przeliczeniu na warunki normalne, która należy użyć, aby uzyskać 170g tlenku azotu (IV) - NO_2 , skoro wydajność tej reakcji chemicznej wynosi 23%.



$$\begin{array}{l} 170g \text{ NO}_2 \text{ — } 23\% \text{ (wydajności reakcji chemicznej)} \\ x \text{ — } 100\% \text{ (wydajności reakcji chemicznej)} \end{array}$$

$$x = 739,1 \text{ g NO}_2$$

$$P_t = \frac{170g \cdot 100\%}{23\%}$$

$$P_t = 739,1 \text{ g NO}_2$$

$$M_{N_2} = 28 \text{ g/mol}$$

$$M_{NO_2} = 46 \text{ g/mol}$$

$$\begin{array}{l} 1 \cdot 28g \text{ azotu (1 mol)} \text{ — } 2 \cdot 46g \text{ NO}_2 \text{ (2 mole) [stosunek molowy reakcji]} \\ x \text{ — } 739,1g \text{ NO}_2 \end{array}$$

$$x = 224,9g \text{ azotu}$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ mol azotu — } 28g \text{ azotu — } 22,4 \text{ dm}^3 \text{ [prawo Avogadro]} \\ 224,9g \text{ azotu — } x \end{array}$$

$$x = 180,00 \text{ dm}^3 \text{ azotu}$$

$$x = 180 \text{ dm}^3 = 0,18 \text{ m}^3 \text{ wodoru}$$

- Napisz równanie reakcji chemicznej.
 - dobierz współczynniki stechiometryczne
- Zapisz stosunek molowy reakcji chemicznej.
- Zapisz proporcję pozwalającą obliczyć:
 - teoretyczną masę NO_2
- Użyj wzoru pozwalającego obliczyć:
 - teoretyczną masę NO_2
$$P_t = \frac{P_r \cdot 100\%}{W}$$
- Zapisz proporcję pozwalającą obliczyć:
 - masę azotu
- Zapisz proporcję pozwalającą obliczyć:
 - objętość azotu [korzystając z prawa Avogadro]
$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$$
- Napisz odpowiedź.

Należy użyć **0,18 m³ wodoru**, aby uzyskać 170g tlenku azotu (IV) - NO_2 o wydajności reakcji 23% w przeliczeniu na warunki normalne.

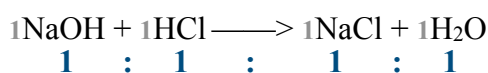
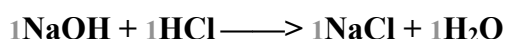
#Wskazówka:

- obliczenia, związane z **wydajnością** możesz zapisywać na podstawie liczby **moli** (ilość teoretyczna może być wyrażona w **gramach**, **molach**, **decymetrach sześciennych** itp.)

Zadania - zanieczyszczenia próbek:

#6.6.11

Oceń, czy próbka z powstałym chlorkiem sodu - NaCl w wyniku reakcji **0,1 mola** kwasu solnego - HCl i **0,1 mola** zasady sodowej - NaOH jest zanieczyszczona, skoro próbka po wysuszeniu i zważeniu ma **masę 6,2g**.



x = 0,1 moli HCl

x = 0,1 moli NaOH

to oznacza, że substraty zostały zmieszane w stosunku stechiometrycznym

więc zgodnie ze stosunkiem molowym



M_{NaCl} = 58,5 g/mol

1 mol NaCl — 58,5g

0,1 mol NaCl — x

x = 5,85g NaCl

m = 0,1 · 58,5g = 5,85g NaCl

5,85g — 100% [tyle by powstało, gdyby **W = 100%**]

6,25g — x

x = 106,8%

$$W = \frac{6,25\text{g}}{5,85\text{g}} \cdot 100\%$$

W = 106,8%

- Napisz równanie reakcji chemicznej.
 - dobierz **współczynniki stechiometryczne**
- Zapisz **stosunek molowy** reakcji chemicznej.
- Określ, czy substraty zostały zmieszane w stosunku stechiometrycznym / niestechiometrycznym.
- Zapisz **proporcję / wzór** pozwalającą obliczyć:
 - masę NaCl**
- Użyj **wzoru** pozwalającego obliczyć:
 - masę NaCl**
 - m = n · M**
- Zapisz **proporcję / wzór** pozwalającą obliczyć:
 - wydajność reakcji chemicznej**
- Użyj **wzoru** pozwalającego obliczyć:
 - wydajność reakcji chemicznej**
 - W = $\frac{P_r}{P_t} \cdot 100\%$**

Gdy **wydajność reakcji chemicznej** jest powyżej 100% to oznacza, że **produkt jest zanieczyszczony**.

Gdy **wydajność reakcji chemicznej** jest poniżej 100% to *teoretycznie* też mógłby być *zanieczyszczony*, ale nie da się tego udowodnić obliczeniami, bez informacji w poleceniu o np. % zanieczyszczeń w próbce.

Próbka z chlorkiem sodu - **NaCl** powstałym w tej reakcji chemicznej **jest zanieczyszczona**, ponieważ **wydajność reakcji chemicznej** jest powyżej 100%.

[prawdopodobnie próbka nie została dokładnie wysuszona, skąd **masa próbki** jest większa niż to wynika z **wydajności 100%**]

#Wskazówka:

- jeżeli w zadaniu mamy informacje wyłącznie o substratach, to trzeba sprawdzić w jaki sposób zostały zmieszane (stechiometrycznym/niestechiometrycznym), ponieważ gdyby były zmieszane w stosunku niestechiometrycznym to **masę** produktu liczymy wyłącznie z substratu z niedomiaru (a w stosunku stechiometrycznym nie ma to znaczenia)
- drugi komentarz do kroku 7 jest pokazany w kolejnym **zadaniu 6.6.12**

#6.6.12 Oblicz **objętość** w **cm³** wydzielonego dwutlenku węgla - CO₂ w przeliczeniu na warunki normalne otrzymanego w wyniku ogrzania próbki wodorowęglanu sodu - NaHCO₃ o **masie 8g**, która zawierała **8% zanieczyszczeń**, a reakcja zaszła z **wydajnością 88%**.



$$100\% \text{ (próbka z zanieczyszczeniem)} - 8\% \text{ (zanieczyszczeń)} = 92\%$$

↓
(próbka bez zanieczyszczania)

$$\begin{array}{l} 8\text{g NaHCO}_3 \text{ — } 100\% \text{ [masa całej próbki z zanieczyszczeniem]} \\ x \text{ — } 92\% \text{ [masa próbki bez zanieczyszczeniem]} \end{array}$$

$$x = 7,36\text{g czystego NaHCO}_3$$

$$M_{\text{NaHCO}_3} = 84 \text{ g/mol}$$

$$1 \text{ mol NaHCO}_3 \text{ — } 84\text{g}$$

$$x \text{ — } 7,36\text{g}$$

$$x = 0,088 \text{ mola NaHCO}_3$$

$$n = \frac{7,36\text{g}}{84\text{g}} = 0,088 \text{ mol NaHCO}_3$$

7. Dokonaj analizy na podstawie **wydajności**, czy produkt został zanieczyszczony.

8. Napisz odpowiedź.

1. Napisz równanie reakcji chemicznej.

- dobierz **współczynniki stechiometryczne**

2. Zapisz proporcję pozwalającą obliczyć:

- **masę soli bez zanieczyszczenia**

3. Zapisz **proporcja / wzór** proporcję pozwalającą obliczyć:

- liczbę **moli** NaHCO₃

3. Użyj wzoru pozwalającego obliczyć:

- liczbę **moli** NaHCO₃ $n = \frac{m}{M}$

2 mole NaHCO_3 — 1 mol CO_2 [stosunek molowy reakcji]

0,088 mole NaHCO_3 — x

x = 0,044 moli CO_2

1 mol CO_2 — 22,4 dm^3 CO_2 [prawo Avogadro]

0,044 moli CO_2 — x

x = 0,986 dm^3 CO_2

0,986 dm^3 — 100% [tyle by powstało, gdyby W = 100%]

x — 88%

x = 0,868 dm^3 CO_2

$$P_r = \frac{88\% \cdot 1,008 \text{ dm}^3}{100\%}$$

$P_r = 0,868 \text{ dm}^3 \text{ CO}_2$

x = 0,868 $\text{dm}^3 = 868 \text{ cm}^3 \text{ CO}_2$

W wyniku ogrzania zanieczyszczonej próbki wodorowęglanu sodu - NaHCO_3 p masie 8g z wydajnością 88% powstało 868 cm^3 tlenku węgla (IV) - CO_2 .

#Wskazówka:

- kroki 2 - 5 można zapisać w jednej proporcji

2 · 84g NaHCO_3 (2 mole) — 1 · 22,4 dm^3 CO_2 (1 mol) [z reakcji chemicznej]

7,36g NaHCO_3 — x

x = 0,981 dm^3 CO_2

A następnie zapisujemy proporcję na wydajność reakcji chemicznej

0,981 dm^3 — 100% [tyle by powstało, gdyby W = 100%]

x — 88%

x = 0,863 dm^3 CO_2

x = 0,863 $\text{dm}^3 = 863 \text{ cm}^3 \text{ CO}_2$

Błąd pomiarowy to 5 cm^3 , który wynika z zaokrąglenia, a nie z błędu metody

4. Zapisz proporcję pozwalającą obliczyć:

- teoretyczną liczbę moli CO_2

5. Zapisz proporcję pozwalającą obliczyć:

- teoretyczną objętość CO_2

proporcja / wzór

6. Zapisz proporcję pozwalającą obliczyć:

- rzeczywistą objętość CO_2

6. Użyj wzoru pozwalającego obliczyć:

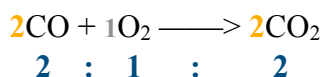
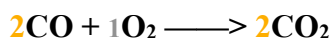
- rzeczywistą objętość CO_2

$$P_r = \frac{W \cdot P_t}{100\%} \quad 1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$$

7. Napisz odpowiedź.

Zadania - nadmiar i niedomiar substratów:

#6.6.13 Oblicz *wydajność reakcji chemicznej*, jeżeli zmieszano 5 moli tlenku węgla (II) - CO z 4 molami tlenu w odpowiednich warunkach i otrzymano 4,2 mola tlenku węgla (IV) - CO₂.



2 mole CO — 1 mol tlenu

5 moli CO — x

x = 2,5 mola tlenu

tlenu jest w **nadmiarze**

więc CO jest w **niedomiarze**

2 mole CO — 1 mol tlenu

x — 4 mole tlenu

x = 8 moli CO

CO jest w **niedomiarze**

więc tlen jest w **nadmiarze**

2 mole CO — 2 mole CO₂ [stosunek molowy]

5 moli CO — x

x = 5 moli CO₂ {ilość teoretyczna, która powstałaby z reagenta w niedomiarze}

5 moli — 100% [tyle by powstało, gdyby W = 100%]

4,2 moli — x

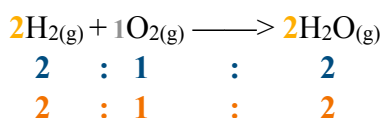
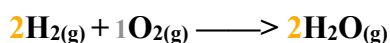
x = 84%

$$W = \frac{4,2 \text{ moli}}{5 \text{ moli}} \cdot 100\%$$

W = 84%

Wydajność reakcji syntezy tlenku węgla (IV) - CO₂ z tlenku węgla (II) - CO wynosi **84%**.

#6.6.14 Oblicz *wydajność reakcji chemicznej*, jeżeli do zbiornika wprowadzono 8 dm³ wodoru i 4 dm³ tlenu i zainicjowano reakcję, w której powstało 7 dm³ pary wodnej.



- Napisz równanie reakcji chemicznej.
 - dobierz **współczynniki stechiometryczne**
- Zapisz **stosunek molowy** reakcji chemicznej.
- Zapisz **proporcję** pozwalającą ustalić:
 - reagent w **niedomiarze** i reagent w **nadmiarze**
- Dokonaj **interpretacji molowej**.
- Zapisz **proporcję** pozwalającą obliczyć:
 - liczbę **moli** CO₂ [zawsze się odwołujemy do reagenta w niedomiarze]
- proporcja / wzór**
- Zapisz **proporcję** pozwalającą obliczyć:
 - wydajność reakcji chemicznej**
- Użyj **wzoru** pozwalającego obliczyć:
 - wydajność reakcji chemicznej**
$$W = \frac{P_r}{P_t} \cdot 100\%$$
- Napisz odpowiedź.

W wstępie teoretycznym, podano wzór który teraz udowodnimy:

1': $2P + 3Cl_2 \longrightarrow 2PCl_3$ - zakładam 1 mol fosforu, więc 2 mole fosforu — 2 mole PCl_3

1 mol fosforu — x

$x = 1 \text{ mol } PCl_3$ {ilość teoretyczna}



1 mol — 100% [tyle by powstało, gdyby W = 100%]

x — 91%

$x = 0,91 \text{ mola } PCl_3$

skoro w reakcji 1' powstało 0,91 mola PCl_3 to tyle samo użyto w reakcji 2'

2': $2PCl_3 + 2Cl_2 \longrightarrow 2PCl_5$ - 2 mole PCl_3 — 2 mole PCl_5

0,91 moli PCl_3 — x

$x = 0,91 \text{ mol } PCl_5$ {ilość teoretyczna}



0,91 moli — 100% [tyle by powstało, gdyby W = 100%]

x — 75%

$x = 0,6825 \text{ mola } PCl_5$

Obliczamy całkowitą wydajność procesu, znając ilość rzeczywistą PCl_5 i ilość teoretyczną PCl_3

(stosunek PCl_3 do PCl_5 jest 1 : 1, a na początku użyto 1 mol PCl_3):

1 mol — 100% [tyle by powstało, gdyby W = 100%]

0,6825 mol — x

$x = 68,25 \%$

Otrzymany wynik jest zgodny z metodą na wzór całkowitej wydajności reakcji chemicznej.