

§ 39. Паняцце пра выхад прадукту хімічнай рэакцыі

На практыцы пры правядзенні хімічных рэакцый звычайна атрымліваецца некалькі меншая колькасць прадукту, чым разлічаная тэарэтычна ў адпаведнасці з ураўненнем рэакцыі. Гэта можа адбывацца па некалькіх прычынах.

Шмат якія хімічныя рэакцыі абарачальныя, г. зн. працякаюць не да канца. Страты рэчываў могуць быць таксама абумоўлены іх выпарэннем, частковым растварэннем (бо абсалютна нерастваральных рэчываў няма), стратамі пры ўпарванні або фільтраванні раствораў і да т. п. Немалаважнае значэнне мае абсталяванне, з дапамогай якога ажыццяўляецца хімічная рэакцыя. Негерметычнасць абсталявання, у якім праходзяць хімічныя працэсы, заўсёды прыводзіць да страт газападобных рэчываў. І нарэшце, частка рэчываў можа не ўступіць у рэакцыю або ўтварыць пры ўзаемадзеянні пабочныя прадукты.

Для ацэнкі паўнаты працякання працэсу карыстаюцца паняццем **выхад прадукту хімічнай рэакцыі**. Яно падобнае да паняцця «каэфіцыент карыснага дзеяння», якое ўжываецца ў фізіцы для характарыстыкі працэсаў пераўтварэння і выкарыстання энергіі, работы розных рухавікоў і механізмаў.

Выхад прадукту хімічнай рэакцыі абазначаецца літарай грэчаскага алфавіта η (*эта*). Ён уяўляе сабой велічыню, роўную адносіне рэальна атрыманай, г. зн. *практычнай масы рэчыва* ($m_{\text{практ}}$) да масы гэтага рэчыва, разлічанай па ўраўненні рэакцыі, г. зн. да яго тэарэтычнай масы ($m_{\text{тэар}}$):

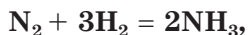
$$\eta = \frac{m_{\text{практ}}}{m_{\text{тэар}}}.$$

Выхад прадукту хімічнай рэакцыі — безразмерная велічыня, напрыклад: $\eta(\text{CaO}) = 0,75$, або 75 %.

Паколькі маса рэчыва прапарцыянальная яго хімічнай колькасці, то выхад прадукту рэакцыі можна вызначаць і як адносіну адпаведных хімічных колькасцей рэчыва або аб'ёмаў (для газаў):

$$\eta = \frac{m_{\text{практ}}}{m_{\text{тэар}}}, \quad \eta = \frac{V_{\text{практ}}}{V_{\text{тэар}}}.$$

Напрыклад, калі вядома, што ў рэакцыі сінтэзу аміяку



выхад прадукту складае 0,75 ($\eta = 0,75$, або 75 %), то гэта азначае, што з азоту масай 28 г (аб'ёмам 22,4 дм³, хімічнай колькасцю 1 моль) мы атрымаем аміяк масай не 34 г (аб'ёмам 44,8 дм³, хімічнай колькасцю 2 моль), а масай $34 \text{ г} \cdot 0,75 = 25,5 \text{ г}$ (аб'ёмам 33,6 дм³, хімічнай колькасцю 1,5 моль).

Такім чынам, **выхад прадукту рэакцыі** — гэта велічыня, роўная адносіне рэальна атрыманай масы (хімічнай колькасці, аб'ёму) рэчыва да масы (хімічнай колькасці, аб'ёму) гэтага рэчыва, разлічанай па ўраўненні рэакцыі.

Велічыня выхаду прадукту рэакцыі не можа перавышаць 100 %. Калі выхад роўны 100 %, то гавораць, што рэакцыя працякае *колькасна*. У гэтым выпадку

$$m_{\text{практ}} = m_{\text{тэар}}; \quad n_{\text{практ}} = n_{\text{тэар}}; \quad V_{\text{практ}} = V_{\text{тэар}}.$$

Акрамя выразу «выхад прадукту хімічнай рэакцыі», часта выкарыстоўваюць і больш кароткія формы гэтага паняцця: «выхад прадукту», «выхад рэакцыі», «рэакцыя працякае з 90 %-м выхадам».

На практыцы часта даводзіцца разлічваць хімічную колькасць, масу ці аб'ём прадукту рэакцыі, калі яго выхад адрозніваецца ад 100 %, або, наадварот, вызначаць выхад прадукту рэакцыі. Разгледзім тыпы разлікаў з выкарыстаннем гэтага паняцця.

Тып 1. Дадзены масы (аб'ёмы, хімічныя колькасці) зыходнага рэчыва і прадукту рэакцыі. Патрабуецца вызначыць выхад прадукту рэакцыі.

Прыклад. Пры гартаванні гідраксиду алюмінію $\text{Al}(\text{OH})_3$ масай 93,6 г атрыманы аксід алюмінію Al_2O_3 масай 52,02 г. Вызначыце выхад прадукту рэакцыі.

Дадзена:

$$m(\text{Al}(\text{OH})_3) = 93,6 \text{ г}$$

$$m_{\text{практ}}(\text{Al}_2\text{O}_3) = 52,02 \text{ г}$$

$$\eta(\text{Al}_2\text{O}_3) = ?$$

Рашэнне

1. Вызначаем малярныя масы гідраксиду і аксиду алюмінію:

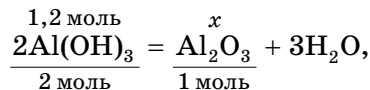
$$M(\text{Al}(\text{OH})_3) = 27 + 3 \cdot 16 + 3 \cdot 1 = 78 \text{ (г/моль)}.$$

$$M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 2 \cdot 27 + 3 \cdot 16 = 102 \text{ (г/моль)}.$$

2. Знаходзім хімічныя колькасці гідраксиду і аксиду алюмінію:

$$n(\text{Al}(\text{OH})_3) = \frac{93,6 \text{ г}}{78 \text{ г/моль}} = 1,2 \text{ моль}; \quad n(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{52,02 \text{ г}}{102 \text{ г/моль}} = 0,51 \text{ моль}.$$

3. Запісваем ураўненне рэакцыі раскладання гідраксиду алюмінію і выконваем разлік тэарэтычнай хімічнай колькасці (x) і тэарэтычнай масы атрыманага аксиду алюмінію:



адкуль атрымліваем: $x = 0,6$ моль. Гэта — $n_{\text{тэар}}(\text{Al}_2\text{O}_3)$.

Тады тэарэтычная маса аксиду алюмінію складзе:

$$m_{\text{тэар}}(\text{Al}_2\text{O}_3) = n_{\text{тэар}}(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0,6 \text{ моль} \cdot 102 \text{ г/моль} = 61,2 \text{ г}.$$

4. Вызначаем выхад прадукту рэакцыі (двума спосабамі):

$$\text{а) } \eta(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{m_{\text{практ}}(\text{Al}_2\text{O}_3)}{m_{\text{тэар}}(\text{Al}_2\text{O}_3)} = \frac{52,02 \text{ г}}{61,2 \text{ г}} = 0,85, \text{ або } 85 \%.$$

$$\text{б) } \eta(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{n_{\text{практ}}(\text{Al}_2\text{O}_3)}{n_{\text{тэар}}(\text{Al}_2\text{O}_3)} = \frac{0,51 \text{ моль}}{0,6 \text{ моль}} = 0,85, \text{ або } 85 \%.$$

Адказ: выхад прадукту рэакцыі роўны 85 %.

Тып 2. Дадзены маса (аб'ём, хімічная колькасць) зыходнага рэчыва і выхад прадукту рэакцыі. Патрабуецца вызначыць масу (аб'ём, хімічную колькасць) прадукту рэакцыі.

Прыклад. Разлічыце масу нітрату амонію NH_4NO_3 , які можа быць атрыманы з аміяку аб'ёмам $4,48 \text{ м}^3$ (н. у.) і неабходнай колькасці азотнай кіслаты, калі выхад прадукту складае 90 %?

Дадзена:

$$V(\text{NH}_3) = 4,48 \text{ м}^3 = 4480 \text{ дм}^3$$

$$\eta(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 90 \%$$

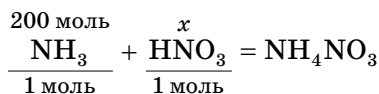
$$m_{\text{практ}}(\text{NH}_4\text{NO}_3) = ?$$

Рашэнне

1. Знойдзем хімічную колькасць аміяку:

$$\begin{aligned} n(\text{NH}_3) &= \frac{V(\text{NH}_3)}{V_m} = \\ &= \frac{4480 \text{ дм}^3}{22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}} = 200 \text{ моль}. \end{aligned}$$

2. Складзём ураўненне рэакцыі і разлічым тэарэтычную хімічную колькасць NH_4NO_3 :



$$x = \frac{200 \cdot 1}{1} = 200 \text{ моль } \text{NH}_4\text{NO}_3. \text{ Гэта — } n_{\text{тэар}}(\text{NH}_4\text{NO}_3).$$

3. Знаходзім тэарэтычную масу NH_4NO_3 :

$$M(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 2 \cdot 14 + 4 \cdot 1 + 3 \cdot 16 = 80 \text{ (г/моль)}.$$

$$m_{\text{тэар}}(\text{NH}_4\text{NO}_3) = n_{\text{тэар}}(\text{NH}_4\text{NO}_3) \cdot M(\text{NH}_4\text{NO}_3) = \\ = 200 \text{ моль} \cdot 80 \text{ г/моль} = 16\,000 \text{ г}.$$

4. З формулы для вызначэння выхаду прадукту рэакцыі выражаем $m_{\text{практ}}$ і выконваем разлік:

$$\eta = \frac{m_{\text{практ}}}{m_{\text{тэар}}}, \text{ адкуль } m_{\text{практ}} = \eta \cdot m_{\text{тэар}} = 0,9 \cdot 16\,000 \text{ г} = 14\,400 \text{ г} = 14,4 \text{ кг}.$$

Адказ: практычная маса нітрату амонію роўна 14,4 кг.

Тып 3. Дадзены маса (аб'ём, хімічная колькасць) прадукту і выхад прадукту. Патрабуецца вызначыць масу (аб'ём, хімічную колькасць) зыходнага рэчыва.

Прыклад. Вызначыце аб'ём (н. у.) вадароду, які спатрэбіцца для атрымання аміяку аб'ёмам $13,44 \text{ м}^3$ (н. у.), калі яго практычны выхад роўны 20 %.

Дадзена:

$$V_{\text{практ}}(\text{NH}_3) = 13,44 \text{ м}^3$$

$$\eta(\text{NH}_3) = 20 \% = 0,2$$

$$V(\text{H}_2) = ?$$

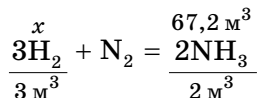
Рашэнне

1. Разлічым тэарэтычны аб'ём аміяку:

$$\eta = \frac{V_{\text{практ}}}{V_{\text{тэар}}}; \text{ адкуль } V_{\text{тэар}} = \frac{V_{\text{практ}}}{\eta};$$

$$V_{\text{тэар}}(\text{NH}_3) = \frac{V_{\text{практ}}(\text{NH}_3)}{\eta} = \\ = \frac{13,44 \text{ м}^3}{0,2} = 67,2 \text{ м}^3.$$

2. Складзём ураўненне рэакцыі сінтэзу аміяку і разлічым аб'ём (x) вадароду:



$$x = \frac{3 \cdot 67,2}{2} = 100,8 \text{ м}^3. \text{ Гэта — } V(\text{H}_2).$$

Адказ: для сінтэзу аміяку спатрэбіцца вадарод аб'ёмам $100,8 \text{ м}^3$.

Выхад прадукту рэакцыі — гэта велічыня, роўная адносіне рэальна атрыманай у выніку рэакцыі масы (хімічнай колькасці, аб'ёму) рэчыва да масы (хімічнай колькасці, аб'ёму) гэтага рэчыва, разлічанай па ўраўненні рэакцыі.



Пытанні і заданні

1. Чаму на практыцы звычайна атрымліваецца меншая колькасць прадукту, чым разлічаная тэарэтычна па ўраўненні рэакцыі?
2. Як разлічваюць выхад прадукту хімічнай рэакцыі?
3. Пры акісленні аксіду серы(IV) аб'ёмам (н. у.) $17,92 \text{ дм}^3$ утварыўся аксід серы(VI) масай 60 г. Вызначыце выхад прадукту рэакцыі ў працэнтах.
4. Пры сплаўленні аксіду крэмнію(IV) з карбанатам натрыю хімічнай колькасцю 5 моль атрымалі сілікат натрыю і вуглякіслы газ аб'ёмам (н. у.) $89,6 \text{ дм}^3$. Вызначыце выхад вуглякіслага газу.
5. Знайдзіце аб'ём (н. у.) аміяку, неабходны для атрымання сульфату амонію масай 26,4 г, калі яго выхад роўны 80 %.
6. Разлічыце аб'ём (н. у.) паветра, які неабходны для атрымання аксіду серы(IV) аб'ёмам (н. у.) $85,12 \text{ дм}^3$ з прыроднай серы, калі выхад SO_2 складае 90 %.
7. Пры ўзаемадзеянні аксіду крэмнію(IV) з аксідам кальцыю атрымалі сілікат кальцыю масай 200 кг, што склала 93 % ад тэарэтычна магчымага. Вызначыце хімічную колькасць аксіду кальцыю, які ўступіў у рэакцыю.
8. Вапняк складаецца з карбанату кальцыю і прымесей, масавая доля якіх роўна 15 %. Разлічыце масу вапняку, пры гартаванні якога вылучыцца вуглякіслы газ аб'ёмам 80 дм^3 (н. у.), калі яго выхад роўны 90 %.