الكيمياء، البكالوريا، الفرع العلمي

بسيطة

سرعة التّفاعل والسّرعة الوسطيّة

تفاعلاتٌ سريعة وبطيئة، وتغيّر تراكيز الموادّ مع الزّمن، والسّرعة الوسطيّة لاستهلاك مادّةٍ متفاعلة ولتشكّل مادّةٍ ناتجة.

حركيّة التّفاعلات الكيميائيّة . الوحدة 3 . الدرس 1 (1 من 3)

تنتفخ الوسادة الهوائيّة في السّيّارة لحظة الحادث، لأنّ مادّةً كيميائيّةً تُدعى أزيد الصّوديوم $\mathrm{NaN_3}$ تتفكّك خلال زمنٍ لا يتعدّى $0.04\ \mathrm{s}$. وصدأ الحديد تفاعلٌ أيضاً، لكنّه بطيء. في هذا الدّرس نصنّف التّفاعلات حسب سرعتها، ونحسب السّرعة الوسطيّة لتفاعلٍ من تغيّر تراكيز موادّه مع الزّمن.

تصنيف التّفاعلات حسب سرعتها

تختلف التّفاعلات الكيميائيّة كثيراً في سرعتها. في نشاط (1)، الكتاب، الصّفحة 39، نصنّف ثلاثة تفاعلاتٍ من حيث السّرعة إلى سريعة وبطيئة وبطيئة جدّاً: احتراق غاز البوتان تفاعلٌ سريع يتمّ في لحظات، وصدأ الحديد تفاعلٌ بطيء، وتشكّل النّفط والغاز تفاعلٌ بطيءٌ جدّاً يستغرق زمناً طويلاً جدّاً.

تذكّر: سرعة التّفاعل تصف مقدار تغيّر تراكيز الموادّ، أي كمّيّاتها في وحدة الحجم، خلال الزّمن: كلّما حدث التّغيّر نفسه في زمنٍ أقصر كان التّفاعل أسرع.

أيّ هذه التّفاعلات بطيءٌ جدّاً؟

أ) احتراق غاز البوتان

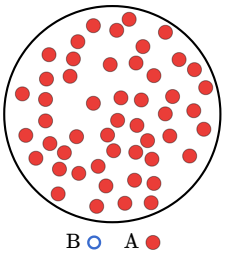
ب) تشكّل النّفط والغاز

ج) صدأ الحديد

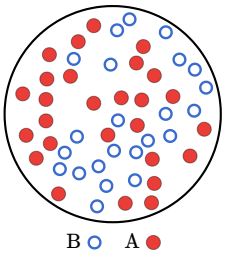
ب. نعم: يستغرق زمناً طويلاً جدّاً.

تغيّر كمّيّات الموادّ مع الزّمن

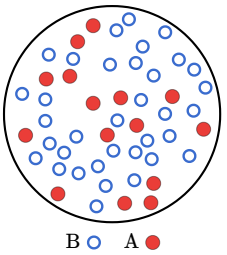
نشاط (2)، الكتاب، الصّفحة 39: يحدث التّفاعل $\mathrm{A_{(g)} \longrightarrow B_{(g)}}$ في وعاءٍ حجمه $1\ \mathrm{L}$ ، وتُسجَّل كمّيّتا المادّتين في لحظاتٍ متتالية. في الصّور كلّ كرةٍ $0.02\ \mathrm{mol}$ ، الكرات الممتلئة للمادّة A والحلقات للمادّة B :



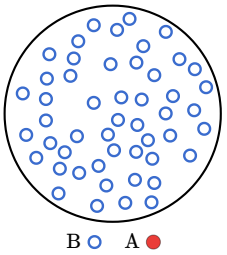
1. $t = 0\,\text{s}$: $1.00\,\text{mol}$ من A و $0\,\text{mol}$ من B .



2. $t = 20\,\text{s}$: $0.54\,\text{mol}$ من A و $0.46\,\text{mol}$ من B .



3. $t = 40\,\text{s}$: $0.30\,\text{mol}$ من A و $0.70\,\text{mol}$ من B .



4. $t = 80\,\text{s}$: $0\,\text{mol}$ من A و $1.00\,\text{mol}$ من B : تحوّلت A كلّها.

تتحوّل A إلى B مع مرور الزّمن. الكتاب، الصّفحة 39. الرّسم من عندنا.

تحت الصّورة الثّانية في الكتاب الكمّيّة $1.54\,\text{mol}$ للمادّة A ، والصّحيح $0.54\,\text{mol}$ كما في الجدول بجانبها.

التّركيز كمّيّة المادّة في وحدة الحجم:

$$C = \frac{n}{V}$$

والحجم هنا $1\,\text{L}$ ، فتركيز كلّ مادّةٍ يساوي عدد مولاتها، كما في الحلّ، الكتاب، الصّفحة 39:

$t\,(\text{s})$	$[\text{A}]\,(\text{mol.L}^{-1})$	$[\text{B}]\,(\text{mol.L}^{-1})$
0	1.00	0
20	0.54	0.46
40	0.30	0.70
80	0.00	1.00

التّراكيز في اللّحظات الأربع. الكتاب، الصّفحة 39.

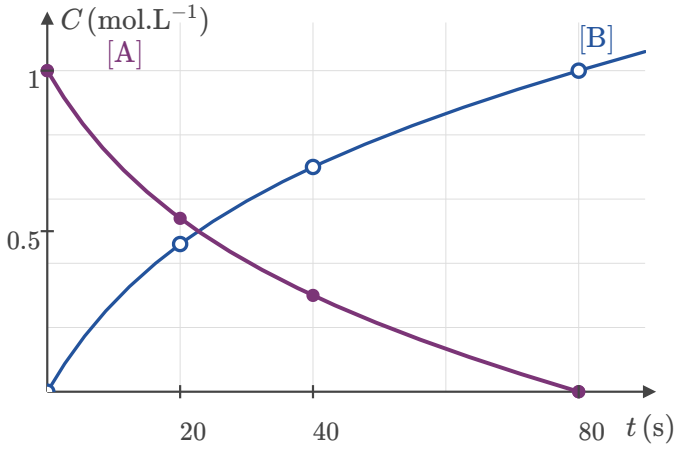
ما تركيز المادّة B في اللّحظة $t = 40\,\mathrm{s}$ ؟

أ) $[\mathrm{B}] = 0.70\,\mathrm{mol.L^{-1}}$
ب) $[\mathrm{B}] = 0.30\,\mathrm{mol.L^{-1}}$
ج) $[\mathrm{B}] = 0.24\,\mathrm{mol.L^{-1}}$

أ. نعم: $0.70\,\mathrm{mol}$ في $1\,\mathrm{L}$.

الرّسم البيانيّ للتّراكيز

نمثّل تراكيز المادّتين بدلالة الزّمن كما يطلب السّؤال 3 من النّشاط، والرّسم في الكتاب، الصّفحة 40:



تراكيز A و B بدلالة الزّمن. الكتاب، الصّفحة 40. الرّسم من عندنا، يمرّ المنحنيان بقيم الجدول.

تذكّر: تراكيز الموادّ المتفاعلة في تناقصٍ مستمرّ، وتراكيز الموادّ النّاتجة في تزايدٍ مستمرّ، الكتاب، الصّفحة 40.

نقص تركيز A بمقدار $0.46\,\mathrm{mol.L^{-1}}$ من 0 إلى $20\,\mathrm{s}$ ، وبمقدار $0.24\,\mathrm{mol.L^{-1}}$ من 20 إلى $40\,\mathrm{s}$. ماذا نستنتج؟

أ) يتسارع التّفاعل مع مرور الزّمن
ب) سرعة التّفاعل ثابتة
ج) يتباطأ التّفاعل مع مرور الزّمن

ج. نعم: يتغيّر التّركيز في الفترة الثّانية أقلّ منه في الأولى، ولذلك ينبسط المنحنى.

السّرعة الوسطيّة

نقسم تغيّر التّركيز على تغيّر الزّمن، كما في الحلّ، الكتاب، الصّفحتان 39 و40:

الكتاب، الصّفحتان 39 و40: احسب تغيّر تركيز كلٍّ من A و B بالنّسبة للزّمن من 0 إلى $20\,\mathrm{s}$ ومن 20 إلى $40\,\mathrm{s}$.

$$\frac{\Delta[\mathrm{A}]}{\Delta t},\ \frac{\Delta[\mathrm{B}]}{\Delta t} = ?$$

1. تغيّر تركيز A في الفترة الأولى من $t_1 = 0$ إلى $t_2 = 20\,\mathrm{s}$:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta[\mathrm{A}]}{\Delta t} &= \frac{[\mathrm{A}]_2 - [\mathrm{A}]_1}{t_2 - t_1} = \frac{0.54 - 1}{20 - 0} \\ &= -0.023\,\mathrm{mol.L^{-1}.s^{-1}}\end{aligned}$$

2. تغيّر تركيز A في الفترة الثّانية من 20 إلى $40\,\mathrm{s}$:

$$\frac{\Delta[\mathrm{A}]}{\Delta t} = \frac{0.30 - 0.54}{40 - 20} = -0.012\,\mathrm{mol.L^{-1}.s^{-1}}$$

3. تغيّر تركيز B في الفترتين نفسيهما:

$$\frac{\Delta[\mathrm{B}]}{\Delta t} = \frac{0.46 - 0}{20 - 0} = 0.023\,\mathrm{mol.L^{-1}.s^{-1}}$$
$$\frac{\Delta[\mathrm{B}]}{\Delta t} = \frac{0.70 - 0.46}{40 - 20} = 0.012\,\mathrm{mol.L^{-1}.s^{-1}}$$

تغيّر تركيز المادّة المتفاعلة بالنّسبة للزّمن سالب لأنّ تركيزها يتناقص، وتغيّر تركيز المادّة النّاتجة موجب. والسّرعة الوسطيّة موجبةٌ للمادّتين:

$$v_{\mathrm{avg}}(\mathrm{A}) = -\frac{\Delta[\mathrm{A}]}{\Delta t} \qquad v_{\mathrm{avg}}(\mathrm{B}) = +\frac{\Delta[\mathrm{B}]}{\Delta t}$$

أستنتج

$v_{\mathrm{avg}}(\mathrm{A}) = -\dfrac{\Delta[\mathrm{A}]}{\Delta t}$ السّرعة الوسطيّة لاستهلاك المادّة المتفاعلة A .

$v_{\mathrm{avg}}(\mathrm{B}) = +\dfrac{\Delta[\mathrm{B}]}{\Delta t}$ السّرعة الوسطيّة لتشكّل المادّة النّاتجة B .

$v_{\mathrm{avg}} = -\dfrac{\Delta[\mathrm{A}]}{\Delta t} = \dfrac{\Delta[\mathrm{B}]}{\Delta t}$ سرعة التّفاعل الوسطيّة. السّرعتان متساويتان هنا لتساوي عدد المولات في المعادلة.

الكتاب، الصفحة 40

انتبه: لا تنسَ إشارة النّاقص أمام المادّة المتفاعلة، فمن دونها تخرج سرعة الاستهلاك سالبة. في سلّم تصحيح الدّورة الثّانية 2024 يخسر الطّالب درجةً واحدةً إذا أغفل إشارة $(-)$.

إثراء، الكتاب، الصّفحة 40: تُقاس سرعة بعض التّفاعلات بجهاز المطيافيّة اللّونيّة، الذي يتتبّع تغيّر الشّدّة اللّونيّة لمحلولٍ في أثناء التّفاعل تبعاً لتغيّر تركيزه، كما في تفاعل حمض النّمل مع ماء البروم.

في التّفاعل $\mathrm{A} \longrightarrow \mathrm{B}$ نقص تركيز A من 0.80 إلى $0.50\,\mathrm{mol.L^{-1}}$ خلال $60\,\mathrm{s}$. السّرعة الوسطيّة لاستهلاك A :

أ) $-5.0 \times 10^{-3}\,\mathrm{mol.L^{-1}.s^{-1}}$

ب) $0.30\,\mathrm{mol.L^{-1}.s^{-1}}$

ج) $5.0 \times 10^{-3}\,\mathrm{mol.L^{-1}.s^{-1}}$

ج. نعم: $v_{\mathrm{avg}}(\mathrm{A}) = -\dfrac{0.50 - 0.80}{60}$ ، أي $5.0 \times 10^{-3}\,\mathrm{mol.L^{-1}.s^{-1}}$.

التّعميم: عدد المولات في المعادلة

تعميم، الكتاب، الصّفحة 40: في وسطٍ متجانس لدينا التّفاعل العامّ

$$m\,\mathrm{A} + n\,\mathrm{B} \longrightarrow p\,\mathrm{C} + q\,\mathrm{D}$$

حيث m, n, p, q عدد المولات في المعادلة الموزونة. علاقة السّرعة الوسطيّة لتفاعلٍ كيميائيّ:

$$v_{\mathrm{avg}} = -\frac{1}{m}\frac{\Delta[\mathrm{A}]}{\Delta t} = -\frac{1}{n}\frac{\Delta[\mathrm{B}]}{\Delta t} = \frac{1}{p}\frac{\Delta[\mathrm{C}]}{\Delta t} = \frac{1}{q}\frac{\Delta[\mathrm{D}]}{\Delta t}$$

$$v_{\mathrm{avg}} = \frac{1}{m}\,v_{\mathrm{avg}}(\mathrm{A}) = \frac{1}{n}\,v_{\mathrm{avg}}(\mathrm{B}) = \frac{1}{p}\,v_{\mathrm{avg}}(\mathrm{C}) = \frac{1}{q}\,v_{\mathrm{avg}}(\mathrm{D})$$

ووحدة قياس سرعة التّفاعل الكيميائيّ $\mathrm{mol.L^{-1}.s^{-1}}$.

مثالٌ من عندنا: يتفكّك $\mathrm{N_2O_5}$ وفق المعادلة $2\,\mathrm{N_2O_{5\,(g)}} \longrightarrow 4\,\mathrm{NO_{2\,(g)}} + \mathrm{O_{2\,(g)}}$ ، فينقص تركيزه من 0.50 إلى $0.30\,\mathrm{mol.L^{-1}}$ خلال $100\,\mathrm{s}$. احسب السّرعة الوسطيّة للتّفاعل وسرعة تشكّل كلٍّ من $\mathrm{NO_2}$ و $\mathrm{O_2}$.

$$v_{\text{avg}},\ v_{\text{avg}}(\text{NO}_2),\ v_{\text{avg}}(\text{O}_2) = ?$$

1. سرعة استهلاك N_2O_5 المادّة متفاعلة، فنضع إشارة النّاقص:

$$v_{\text{avg}}(\text{N}_2\text{O}_5) = -\frac{0.30 - 0.50}{100}$$
$$= 2.0 \times 10^{-3}\,\text{mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$$

2. سرعة التّفاعل نقسم على عدد مولات N_2O_5 في المعادلة، وهو 2 :

$$v_{\text{avg}} = \frac{1}{2}\,v_{\text{avg}}(\text{N}_2\text{O}_5) = 1.0 \times 10^{-3}\,\text{mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$$

3. سرعة تشكّل النّواتج نضرب سرعة التّفاعل في عدد مولات كلّ مادّةٍ ناتجة:

$$v_{\text{avg}}(\text{NO}_2) = 4\,v_{\text{avg}} = 4.0 \times 10^{-3}\,\text{mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$$
$$v_{\text{avg}}(\text{O}_2) = 1 \times v_{\text{avg}} = 1.0 \times 10^{-3}\,\text{mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$$

كلّ مادّةٍ تتغيّر بسرعةٍ تتناسب مع عدد مولاتها في المعادلة، وسرعة التّفاعل واحدة:

$$v_{\text{avg}} = \frac{1}{2}\,v_{\text{avg}}(\text{N}_2\text{O}_5) = \frac{1}{4}\,v_{\text{avg}}(\text{NO}_2) = v_{\text{avg}}(\text{O}_2)$$

انتبه: سرعة التّفاعل غير سرعة كلّ مادّة: تُقسم سرعة استهلاك المادّة أو سرعة تشكّلها على عدد مولاتها في المعادلة الموزونة. في المثال تتشكّل NO_2 بسرعةٍ أكبر من سرعة التّفاعل أربع مرّات.

في التّفاعل $2\,\text{H}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow 2\,\text{H}_2\text{O}\text{(g)}$ السّرعة الوسطيّة لاستهلاك H_2 تساوي $0.06\,\text{mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$. السّرعة الوسطيّة لاستهلاك O_2 :

أ) $0.03\,\text{mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$
ب) $0.06\,\text{mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$
ج) $0.12\,\text{mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$

أ. نعم: $v_{\text{avg}} = \frac{1}{2} \times 0.06$ ، أي $0.03\,\text{mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ، وعدد مولات O_2 في المعادلة واحد.

المصدر: الكيمياء، الصفحات 38 إلى 40 من الطبعة الرسمية 2025 / 2026.