

مراجعة (السنة الثانية)

ماذا يجب أن نعرف في درس الناقلية ؟

- يجب أن نعرف أن وجود الشوارد في محلول مائي ضروري لضمان الناقلية الكهربائية لهذا المحلول .

نعلم أن للتيار الكهربائي طبيعة إلكترونية في النواقل المعدنية وطبيعة شاردية في المحاليل الشاردية ، أي أن المحلول الجزيئي لا ينقل التيار الكهربائي .

الناقلية (G) لمحلول هي مقلوب مقاومته (R) : $G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U}$ ، حيث تقاس G بـ $Siemens$ و R بـ Ohm ، أما شدة التيار

الكهربائي (I) والتوتر الكهربائي (U) يقاسان على الترتيب بـ $Ampère$ و $Volt$

ملاحظة : لا نستعمل في قياس الناقلية مولدا للتيار المستمر ، لأنه يحلل المحلول كهربائيا مما يؤثر على الناقلية لهذا المحلول ، بل نستعمل مولدا للتيار المتناوب ، حيث (I) هو الشدة المنتجة للتيار المتناوب و (U) التوتر المنتج له . (درس التيار المتناوب مبرمج فقط لشعبة الرياضيات والتقني رياضي في السنة الثانية) .

- يجب أن نعرف العلاقة بين ناقلية محلول (G) وناقليته النوعية (σ) والعوامل المتعلقة بخليّة القياس .

لدينا : $G = K \sigma$ ، حيث σ هي الناقلية النوعية وتقاس بـ $S.m^{-1}$ و K هو ثابت خلية القياس : $K = \frac{S}{L}$ ، حيث :

S : سطح إحدى صفيحتي الخلية (m^2) و L : البعد بين الصفيحتين (m) . وحدة K هي (m)

- يجب حُسن استغلال الرسم البياني الذي يُعطي تغيرات الناقلية بدلالة التركيز $G = f(C)$ من أجل تحديد التركيز المجهول

لمحلول . الرسم البياني يكون عبارة عن خط مستقيم في حالة محلول تركيزه محصور بين $10^{-3} mol/l$ و $10^{-2} mol/l$ مثال :

نريد تحديد التركيز المولي لمحلول (S) لكلور البوتاسيوم (K^+_{aq}, Cl^-_{aq}) . من أجل هذا نحضر انطلافا من محلول آخر لكلور

البوتاسيوم (S_0) تركيزه $C_0 = 10^{-2} mol/l$ محاليل أخرى S_1 ، S_2 ، S_3 بواسطة التمديد تراكيها :

$$C_3 = 10^{-3} mol/l \quad , \quad C_2 = 2 \times 10^{-3} mol/l \quad , \quad C_1 = 5 \times 10^{-3} mol/l$$

نقيس ناقلية كل هذه المحاليل بالطريقة التالية :

نثبت التوتر بين صفيحتي الخلية $U = 1 Volt$ ثم نغمر الخلية بالتالي في كل المحاليل ، ومن أجل كل محلول نقيس شدة التيار ، ثم نملاً النتائج في الجدول التالي :

المحلول	S_0	S_1	S_2	S_3	S
$C (mmol/L)$	10	5	2	1	
$I (mA)$	1,31	0,70	0,28	0,15	0,91

1 – هل نتغير الناقلية لو استعملنا توترا $U' = 2 Volt$ ؟

2 - ارسم البيان $G = f(C)$

3 - احسب ناقلية المحلول (S) .

4 - لو فرضنا أن تركيز المحلول (S) كان 10 مرات أكبر من الذي حسبناه ، هل تكون هذه الطريقة صحيحة في حساب تركيز المحلول (S) ؟

الحل

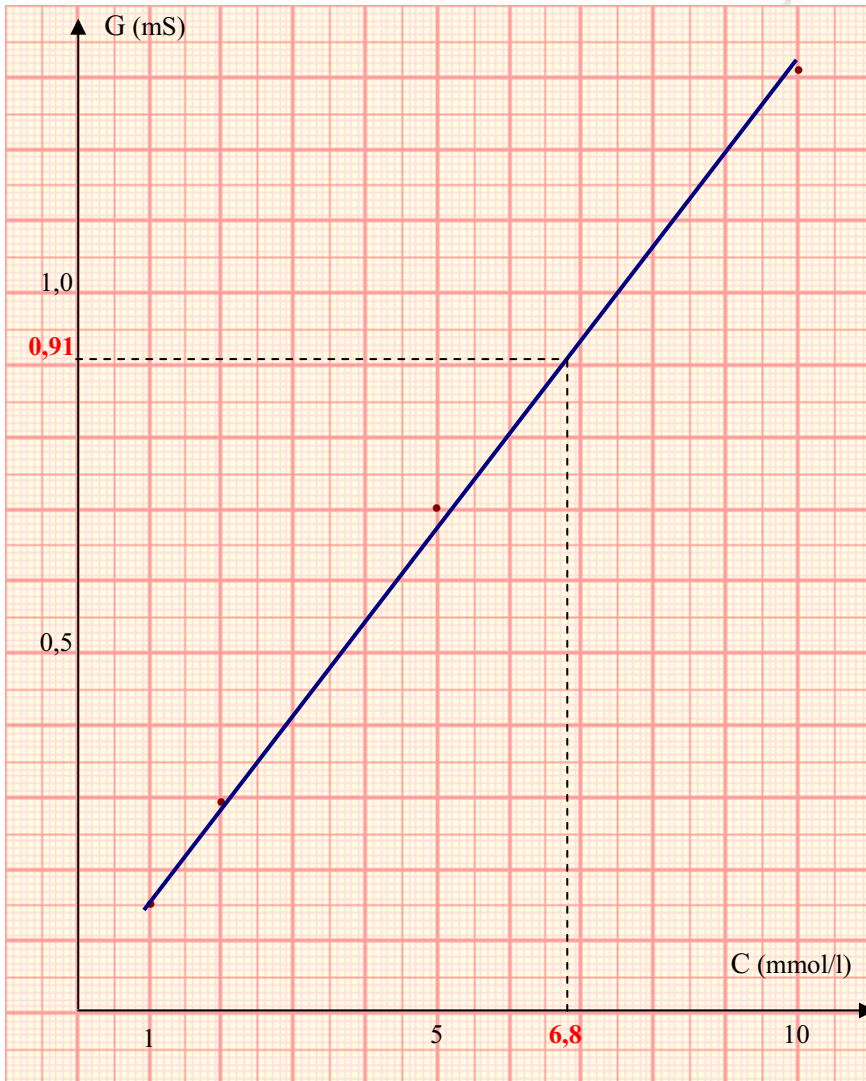
1 - لو ضاعفنا التوتر بين الصفيحتين تتضاعف كذلك شدة التيار ، بحيث تبقى الناقلية ثابتة ، لأن الناقلية هي ميزة خاصة بالجزء من المحلول المحصور بين صفيحتي الخلية .

نفس الشيء بالنسبة لناقل أومي ، عندما نزيد في قيمة التوتر المطبق بين طرفيه تزداد شدة التيار المارة به ، بحيث تبقى مقاومته R ثابتة

في حدود خطية العلاقة بين التوتر وشدة التيار $R = \frac{U}{I}$.

2 - لدينا : $G = \frac{I}{U}$. نملاً جدولاً به قيمتا C و G

$C \text{ (mmol/L)}$	10	5	2	1
$G \text{ (mS)}$	1,31	0,70	0,28	0,15



الرسم البياني $G = f(C)$ (الشكل - 3)

3 - من أجل استنتاج التركيز المولي للمحلول (S) ، نحدد قيمة ناقليته على محور الترتيب $G = 0,91 S$ ثم نقوم بإسقاطها على البيان ونستنتج على محور الفواصل التركيز المولي لهذا المحلول :

$$C = 6,8 \text{ mmol/l}$$

4 - يصبح التركيز المولي في هذه الحالة

$$C' = 6,8 \times 10 = 68 \text{ mmol/l}$$

وهذه القيمة أكبر من 10^{-2} mol/l ، وبالتالي التناسب لا يتحقق بين الناقلية والتركيز ، أي البيان لا يكون عبارة عن مستقيم .

الشكل - 3

- يجب أن نعرف العلاقة بين الناقلية النوعية (σ) لمحلول شاردي ممدّد والناقلية المولية الشاردية للأفراد الكيميائية والتراكيز المولية لهذه الأفراد .

المحلول المائي للمركب $A_x B_y$ هو (xA^{y+}, yB^{x-}) . تُعطى الناقلية النوعية لهذا المحلول بالعلاقة التالية :

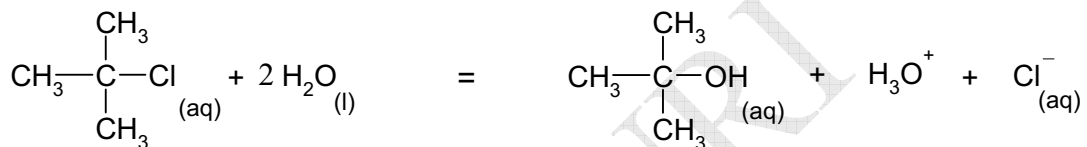
$$\sigma = \lambda_{A^{y+}} [A^{y+}] + \lambda_{B^{x-}} [B^{x-}]$$

حيث $\lambda_{A^{y+}}$ و $\lambda_{B^{x-}}$ الناقليتان النوعيتان الموليتان الشارديتان لكل من A^{y+} و B^{x-} وتقاسان بـ $(S.m^2.mol^{-1})$.

انتهت المراجعة

1 - المتابعة الزمنية لتحول كيميائي بواسطة قياس الناقلية

نأخذ كمثال انحلال 2 - كلورو - 2 - ميثيل بروبان في الماء ، حيث أن هذا التفاعل تام وبطيء بالنسبة لتقنية المتابعة بقياس الناقلية .



لدينا في هذا التحول الكيميائي فردان كيميائيان شارديان ، هما : شاردة الهيدرونيوم H_3O^+ و شاردة الكلور Cl^- . إذن يمكن متابعة التحول بقياس الناقلية .

نضع كمية من 2 - كلورو - 2 - ميثيل بروبان قدرها $n_0 \text{ mol}$ في كمية زائدة من الماء ، بحيث يكون حجم المزيج V . لدينا في اللحظة t الناقلية النوعية للمحلول هي :

$$(1) \quad \sigma(t) = \lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} [\text{H}_3\text{O}^+] + \lambda_{\text{Cl}^-} [\text{Cl}^-]$$

نُنشئ جدول التقدم

معادلة التفاعل		$R-\text{Cl}_{(\text{aq})} + 2 \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} = R-\text{OH}_{(\text{aq})} + \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$				
حالة الجملة	التقدم	كمية المادة بـ (mol)				
الحالة الابتدائية	0	n_0	زيادة	0	0	0
الحالة الانتقالية	$x(t)$	$n_0 - x(t)$	زيادة	$x(t)$	$x(t)$	$x(t)$
الحالة النهائية	$x_{\text{max}} = n_0$	$n_0 - x_{\text{max}} = 0$	زيادة	x_{max}	x_{max}	x_{max}

ملاحظة : اختصارا رمزا للجذر الألكيلي $\text{C}_4\text{H}_9 -$ بـ R .

في اللحظة t يكون التقدم $x(t)$ مساويا لعدد مولات Cl^- وكذلك H_3O^+ : $x(t) = n_{\text{Cl}^-} = n_{\text{H}_3\text{O}^+}$

لدينا $[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{n_{\text{H}_3\text{O}^+}}{V}$ و $[\text{Cl}^-] = \frac{n_{\text{Cl}^-}}{V}$. وبالتعويض في العلاقة (1) نكتب :

$$\sigma(t) = \lambda_{H_3O^+} \frac{n_{H_3O^+}}{V} + \lambda_{Cl^-} \frac{n_{Cl^-}}{V}$$

$$\sigma(t) = \frac{x(t)}{V} (\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{Cl^-})$$

نضع $K = \left(\frac{\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{Cl^-}}{V} \right)$ وهو ثابت بالنسبة لمحلول واحد ، وبالتالي :

$$(2) \quad \sigma(t) = K \cdot x(t)$$

ومنه :

تناسب الناقلية النوعية للمحلول σ مع تقدم التفاعل x

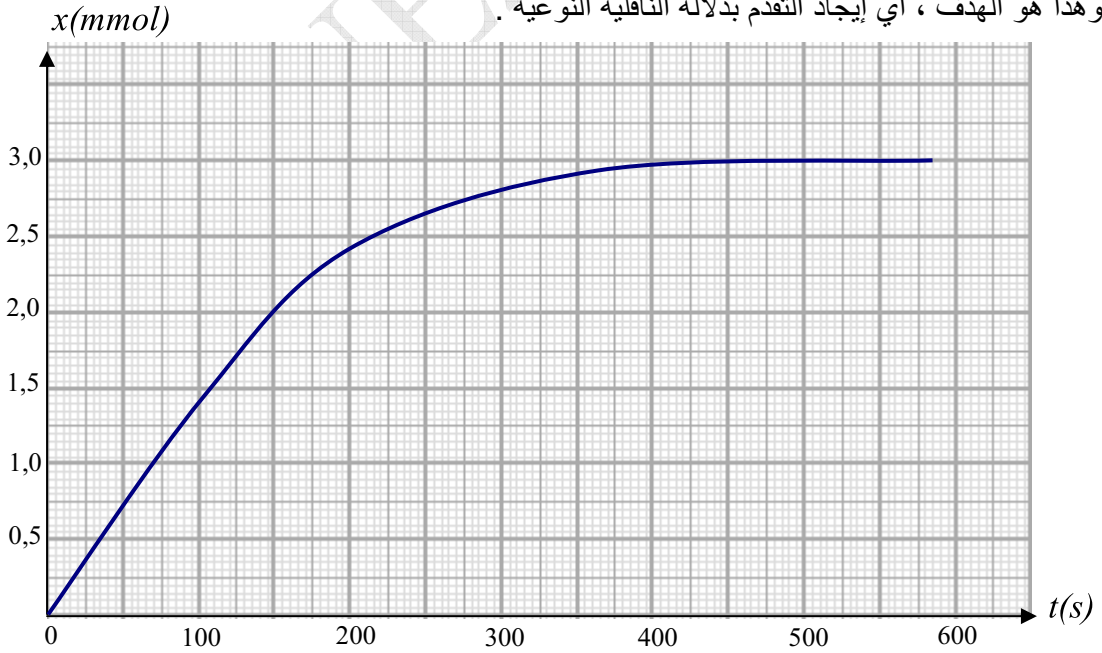
في نهاية التفاعل يكون لدينا $x(t) = n_0$ ، لأن المتفاعل المحد هو 2 - كلورو - 2 - ميثيل بروبان . وتكون حينذاك قيمة الناقلية النوعية

المحلول هي القيمة النهائية σ_{final} ، وبالتالي نكتب : $\sigma(t) = Kn_0$ ، ومنه $K = \frac{\sigma_{final}}{n_0}$

$$x(t) = \frac{n_0}{\sigma_f} \sigma(t)$$

بالتعويض في العلاقة (2) نجد :

بمعرفة n_0 و σ_f ، يُمكن تمثيل تقدم التفاعل بدلالة الزمن (الشكل - 5) ، وذلك بقياس ناقلية المحلول في كل لحظة خلال التفاعل ، وهذا هو الهدف ، أي إيجاد التقدم بدلالة الناقلية النوعية .



الشكل - 5 . الرسم البياني لتغيرات تقدم التفاعل بدلالة الزمن بأخذ $n_0 = 3 \text{ mmol}$

صورة عن Bordas



الشكل - 4 . جهاز قياس الناقلية

2 - المتابعة الزمنية لتحوّل كيميائي بواسطة المعايرة

الهدف هو الكشف عن كمية مادة فرد كيميائي متفاعل أو ناتج في فترات زمنية متوالية بطريقة المعايرة الحجمية التي تعرفنا عليها في السنة الماضية .

مثال :

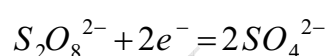
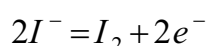
معايرة ثنائي اليود I_2 الناتج في تفاعل محلول يود البوتاسيوم ($K^+_{(aq)}, I^-_{(aq)}$) مع محلول بيروكسوديكبريتات الصوديوم

($2Na^+, S_2O_8^{2-}$) ذي الصيغة (Peroxodisulfate de sodium)

يحدث التفاعل بين الثنائيتين I_2 / I^- : Ox/ Red و $S_2O_8^{2-} / SO_4^{2-}$

نمزج حجمين V_1 من يود البوتاسيوم و V_2 من بيروكسوديكبريتات الصوديوم (حجم المزيج $V_T = V_1 + V_2$)

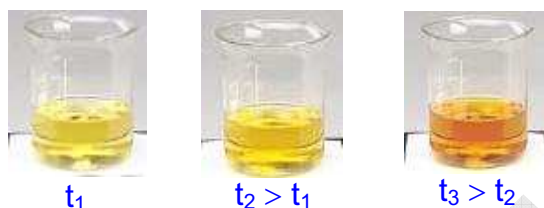
المعادلتان النصفيتان :



معادلة الأكسدة – إرجاع :



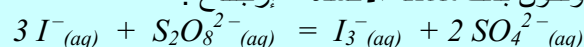
هذا التفاعل بطيء ، بحيث يتحول الناتج تدريجيا للون الأسمر (الشكل – 6)



الشكل – 6 . تحول الناتج تدريجيا في اللحظات t_1, t_2, t_3

← للمزيد

ثنائي اليود I_2 جسم صلب ، ولما نحلله في الماء نحصل على محلول لليود $I_{2(aq)}$.
اللون الأسمر لناتج التفاعل سببه لون شوارد ثلاثي اليود (I_3^-) ، لأن في الحقيقة ثنائي اليود الناتج يتحلل بوجود شوارد اليود (I^-) ، بحيث يتكون معقد (Complexe) جزيئي بين ثنائي اليود وشاردة اليود (I^-) حسب المعادلة :
 $I_2 + I^- = I_3^-$. لهذا يجب أن نستعمل زيادة من يود البوتاسيوم .
وتكون بذلك معادلة الأكسدة – إرجاع :



نلاحظ وجود 3 moles من شوارد I^- في المعادلة ، بحيث أن 2 moles من أجل تكوين 1 mole من ثنائي اليود (I_2) و 1 mole من أجل تكوين المعقد مع ثنائي اليود الناتج .
نلاحظ أن عدد مولات ثنائي اليود الناتج هو نفس عدد مولات المعقد (I_3^-) ، وبالتالي معايرة (I_3^-) تؤول لمعايرة I_2 ، لهذا لا مانع أن نكتب في معادلة الأكسدة – إرجاع I_2 بدل I_3^- .

طريقة المعايرة :

نأخذ في كأس حتما V من المزيج المتفاعل في اللحظة (t) ونغمره في الثلج المهشّم أو نضيف له الماء المقطر البارد ، وذلك من أجل توقيف التفاعل (تقدم هذا التفاعل شبه منعدم في البرودة) .

لا يمكن أن نعاير ثنائي اليود وهو يتشكل في نفس الوقت ، لهذا يجب توقيف التفاعل .

نملأ السحاحة بمحلول ثيوكبريتات الصوديوم (Thiosulfate de sodium) ، الذي صيغته ($2Na^+_{(aq)}, S_2O_3^{2-}_{(aq)}$) ، وهو المحلول الذي نعاير به في هذه العملية ، تركيزه المولي (C) .

نضيف تدريجيا هذا المحلول للكأس ، ولما يكاد يختفي اللون الأسمر نضيف للمزيج صمغ النشأ (*Empois d'amidon*) ، فيصبح لون المزيج أزرق داكن .

نواصل إضافة محلول ثيوكبريتات الصوديوم حتى يختفي اللون الأزرق ، حينذاك نكون قد صببنا حجما V_E من هذا المحلول ، وهو الحجم اللازم للتكافؤ ($V_{Equivalence}$)

يمكن إضافة مادة الثيودان (*Thiodène*) بدلا من صمغ النشأ .

تنبيه : لا نضيف صمغ النشأ قبل المعايرة ، لأننا لو فعلنا ذلك فإن المركب الذي ينتج عن ثنائي اليود مع صمغ النشأ بكمية كبيرة يؤثر ببطء شديد على شوارد الثيوكبريتات ، وهذا يؤدي إلى خطأ في المعايرة !

لكن في نصوص التمارين يمكن أن تجد العبارة : << نضيف للكأس صمغ النشأ ونعاير ... >> وذلك اختصارا للنص فقط .

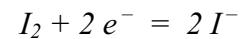
← للمزيد

- ♦ النشأ هو بوليمر (Polymère) للغليكوز ، أي هو ناتج ترابط جزيئات الكليكوز مع بعضها ، بحيث تكون فيه اللبنة (Motif) ذات شكل لولبي . اللون الأزرق الداكن ناتج عن تعلق جزيئات ثنائي اليود داخل الأشكال اللولبية للنشأ .
- لا يمكن لثنائي اليود الارتباط داخل النشأ إلا في البرودة وفي وسط معتدل أو حمضي .
- ♦ إذا سخنا المزيج أو أضفنا له محلولاً أساسيا ، فإن اللون الأزرق يختفي تلقائيا .
- ♦ نحضر في المخبر صمغ النشأ كما يلي :
- مثلا نريد تحضير محلول بـ 5% ، نحل 5 g من النشأ في 100 mL من الماء المقطر ، ثم نضيف هذا المحلول إلى 900 mL من الماء الساخن (في درجة الغليان) . نبرد الناتج ثم نقوم بترشيحه ، فيكون الناتج هو صمغ النشأ .
- بنفس الطريقة نحضر صمغ النشأ بـ 1% باستعمال 0,1g من النشأ ، وإذا استعملنا 10g نكون قد حضرناه بـ 10 % .
- ♦ مادة الثيودان هي النشأ ممزوج مع مادة البولة (L'urée) .

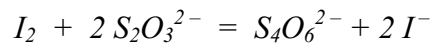
معادلة تفاعل ثيوكبريتات الصوديوم مع ثنائي اليود :

التناييتان Ox/Rd هما : I_2 / I^- و $S_4O_6^{2-} / S_2O_3^{2-}$. ($S_4O_6^{2-}$ هي شاردة *Tétrathionate*)

المعادلتان النصفيتان :



معادلة الأكسدة - إرجاع :



جدول تقدّم تفاعل المعايرة :

معادلة التفاعل	$2 S_2O_3^{2-}(aq) + I_{2(aq)} = 2 I^-(aq) + S_4O_6^{2-}$				
حالة الجملة	التقدم	كمية المادة (mol)			
الحالة الابتدائية	0	$n(S_2O_3^{2-})_E$	$n(I_2)$	0	0
الحالة النهائية	x_{max}	$n(S_2O_3^{2-})_E - 2 x_{max} = 0$	$n(I_2) - x_{max} = 0$	$2 x_{max}$	x_{max}

المتفاعل المحد في هذا التفاعل قبل التكافؤ هو شوارد الثيوكبريتات ($S_2O_3^{2-}$) .

عند التكافؤ يكون لدينا :

$$n(S_2O_3^{2-})_E - 2x_{max} = 0 \quad (1)$$

$$n(I_2) - x_{max} = 0 \quad (2)$$

من العلاقة (1) نستخرج عبارة x_{max} ونعوّضها في العلاقة (2) ، نجد : $n(I_2) = \frac{1}{2} n(S_2O_3^{2-})$

$$n'(I_2) = 0,5 CV_E \quad \text{، ومنه :} \quad n(S_2O_3^{2-}) = C V_E$$

هذه الكمية من ثنائي اليود موجودة في الحجم V من المزيج (الذي عايرناه) ، أما في المزيج المتفاعل يوجد $n(I_2) = \frac{1}{2} \frac{V_T}{V} CV_E$

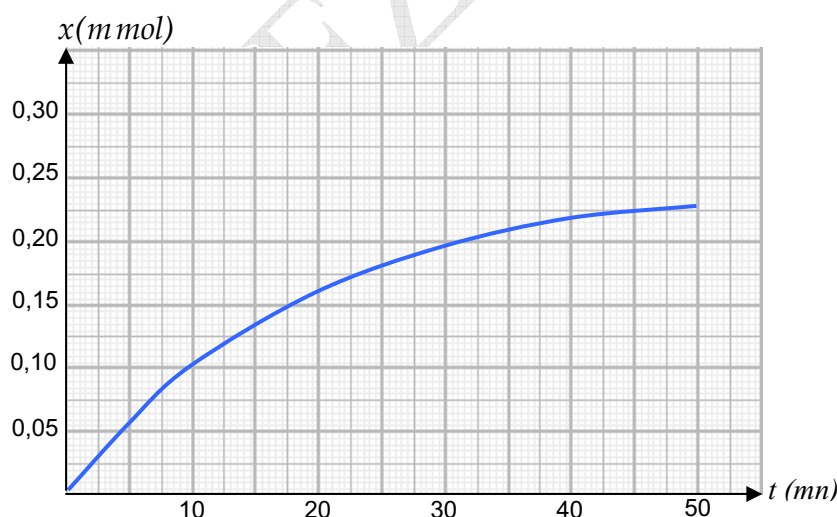
جدول تقدم تفاعل شوارد بيروكسو ديكبريتات مع شوارد اليود (التفاعل الذي ندرسه) :

معادلة التفاعل	$2 I^-_{(aq)} + S_2O_8^{2-}_{(aq)} = I_{2(aq)} + 2 SO_4^{2-}$				
حالة الجملة	التقدم	كمية المادة (mol)			
الحالة الابتدائية	0	$n(I^-)_0$	$n(S_2O_8^{2-})_0$	0	0
الحالة الإنتقالية	$x(t)$	$n(I^-)_0 - 2x(t)$	$n(S_2O_8^{2-})_0 - x(t)$	$x(t)$	$2x(t)$

$$x(t) = \frac{1}{2} \frac{V_T}{V} CV_E \quad \text{هو كمية مادة ثنائي اليود في اللحظة } (t) \text{ ، وبالتالي}$$

وهذا هو الهدف ، أي إيجاد التقدم بدلالة الحجم V_E

نكرر تجربة المعايرة في لحظات مختلفة بإتباع نفس الطريقة السابقة ، فنتمكن بذلك من رسم البيان $x = f(t)$ (الشكل - 7)



الشكل - 7 . تغيرات عدد مولات ثنائي اليود [$x(t)$] بدلالة الزمن

3 - مفهوم السرعة في التحولات الكيميائية

3-1 - سرعة تشكل فرد كيميائي

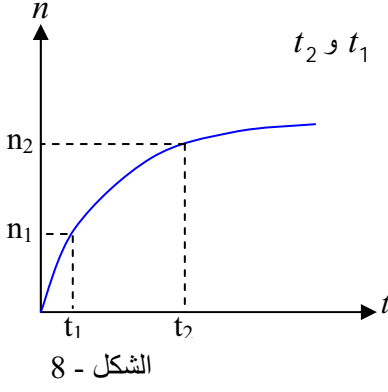
الفرد الكيميائي المتشكل هو أحد النواتج .

ليكن n_1 كمية المادة المتشكلة من النوع الكيميائي في اللحظة t_1 و n_2 كمية المادة المتشكلة في اللحظة t_2 . نسمي النسبة :

$$v_m = \frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta n}{\Delta t}$$

السرعة المتوسطة لتشكل الفرد الكيميائي بين اللحظتين t_1 و t_2

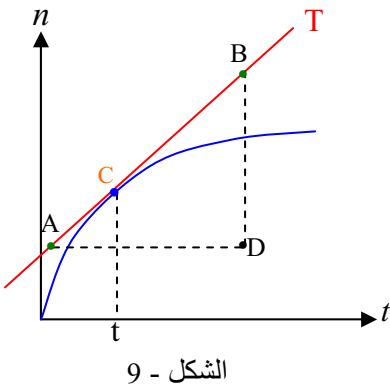
انظر للشكل - 8 .



عندما يقترب t_2 من t_1 تؤول السرعة المتوسطة إلى قيمة السرعة اللحظية (v) ، وهي مشتق عدد المولات n بالنسبة للزمن .

$$v = \frac{dn}{dt}$$

تمثل السرعة اللحظية ميل المماس T للمنحني $n = f(t)$ في الشكل - 9 في النقطة (C) من البيان التي فاصلتها (t) .



من أجل تحديد السرعة اللحظية نختار نقطتين كئيفيتين من المماس T ونحسب معامل توجيهه

الذي يمثل السرعة اللحظية $v = \frac{BD}{AD}$. انظر للشكل - 9 .

إذا كانت وحدة n هي mol ووحدة t هي الساعة ، تكون وحدة السرعة mol/h .

3 - 2 - سرعة اختفاء فرد كيميائي

الفرد الكيميائي الذي يختفي هو أحد المتفاعلات ، فإذا كانت كمية مادته في اللحظة t_1 هي n_1

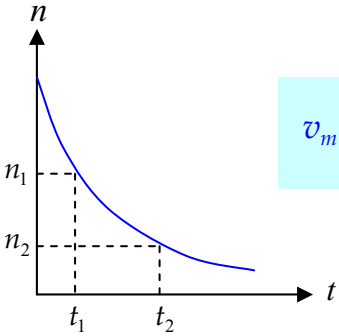
وفي اللحظة t_2 هي n_2 ، تكون السرعة المتوسطة لاختفاء هذا الفرد هي :

$$v_m = -\frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1} = -\frac{\Delta n}{\Delta t}$$

الإشارة (-) معناها اختفاء الفرد الكيميائي .

أما السرعة اللحظية لاختفاء الفرد الكيميائي فهي مشتق كمية المادة بالنسبة للزمن :

ونحصل عليها بنفس الطريقة السابقة (طريقة المماس) .



$$v = -\frac{dn}{dt}$$

ملاحظة : السرعة قيمة موجبة دائما ، فهنا الميل أو Δn سالب ولما يُضرب في الإشارة (-) تصبح قيمة السرعة موجبة .

3 - 3 - السرعة الحجمية لتشكل أو اختفاء نوع كيميائي

ليكن التفاعل الكيميائي النمذج بالمعادلة الكيميائية : $\alpha A + \beta B = \gamma C + \delta D$

نعرف السرعة الحجمية لتشكل واختفاء الأنواع الكيميائية كما يلي ، حيث V هو حجم المزيج و n كمية مادة النوع الكيميائي :

$$v_A = -\frac{1}{V} \frac{dn_A}{dt} \quad \text{السرعة الحجمية لاختفاء النوع الكيميائي } A$$

$$v_B = -\frac{1}{V} \frac{dn_B}{dt} \quad \text{السرعة الحجمية لاختفاء النوع الكيميائي } B$$

$$v_C = \frac{1}{V} \frac{dn_C}{dt} \quad \text{السرعة الحجمية لتشكل النوع الكيميائي } C$$

$$v_D = \frac{1}{V} \frac{dn_D}{dt} \quad \text{السرعة الحجمية لتشكل النوع الكيميائي } D$$

بما أن الحجم V ثابت أثناء التفاعل ، إذن يمكن كتابة السرعة على الشكل : $v = \frac{d\left(\frac{n}{V}\right)}{dt}$ ، ولدينا $\frac{n}{V} = C$ ، وبالتالي : $v = \frac{dC}{dt}$

3 - 4 - العلاقة بين هذه السرعات

حسب معاملات معادلة التفاعل α ، β ، γ ، δ ، فإن كميات المادة المختفية من المتفاعلات والنتيجة من النواتج تُكتب خلال المدة

Δt على الشكل : $-\frac{\Delta n_A}{\alpha} = -\frac{\Delta n_B}{\beta} = \frac{\Delta n_C}{\gamma} = \frac{\Delta n_D}{\delta}$ ، وبالتقسيم على Δt نكتب :

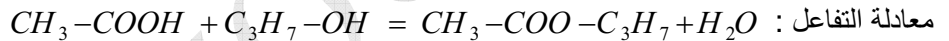
، وعندما تنتهي Δt إلى الصفر فإن $\frac{\Delta n}{\Delta t}$ تنتهي إلى $\frac{dn}{dt}$ ، وبالتالي :

$$\frac{v_A}{\alpha} = \frac{v_B}{\beta} = \frac{v_C}{\gamma} = \frac{v_D}{\delta}$$

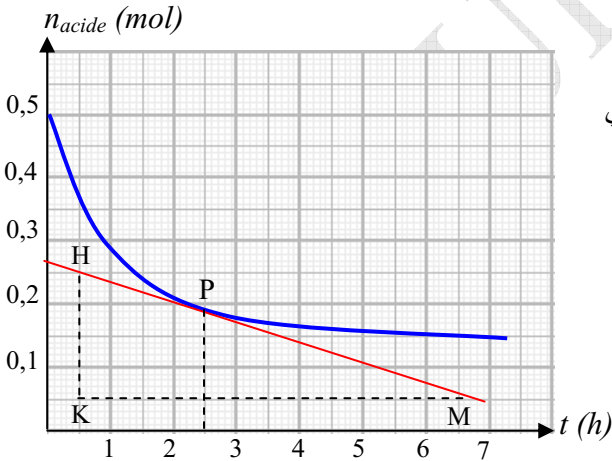
ملاحظة

نستفيد خاصة من هذه العلاقة في تحديد سرعة تشكل أو اختفاء كل الأنواع الكيميائية في تحول كيميائي إذا علمنا سرعة نوع كيميائي واحد فقط .

مثال : نمزج في اللحظة $t = 0$ من حمض الإيثانويك مع كمية من $Propan-2-ol$. نمثل في البيان تغيرات كمية مادة الحمض المتبقية بدلالة الزمن $n_{acide} = f(t)$.



أوجد من البيان سرعة اختفاء الحمض في اللحظة $t = 2,5 h$ واستنتج سرعة تشكل النوع $(CH_3-COO-C_3H_7)$ في نفس اللحظة .
للعلم ، إن تفاعل كحول مع حمض كربوكسيلي يُعطينا مركبا عضويا يسمى أستر (الوحدة 6) وكذلك الماء .
الحل :



نرسم المماس للبيان في النقطة P التي فاصلتها $t_p = 2,5h$ ، ثم

نحسب معامل توجيه هذا المماس ، وهو الذي يمثل سرعة اختفاء الحمض في

$$a = -\frac{HK}{KM} \cdot t_p$$

$$v_{acide} = -\frac{dn_{acide}}{dt} = -\left(-\frac{0,2}{6}\right) = 0,033 \text{ mol/h}$$

لدينا في معادلة التفاعل المعاملات كلها متساوية ، أي :

وبالتالي سرعة تشكل الأستر تساوي سرعة

$$v_{ester} = 0,033 \text{ mol/h} \text{ ، اختفاء الحمض}$$

3 - 5 - سرعة التفاعل

سرعة التفاعل هي مقدار تغير تقدم التفاعل في المدة الزمنية dt ، وتمثل ميل المماس للمنحنى $x = f(t)$ في اللحظة t .

$$v = \frac{dx}{dt}$$

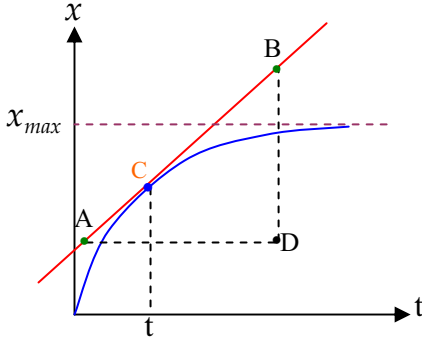
3 - 6 - السرعة الحجمية للتفاعل

هي سرعة التفاعل في لتر من المزيج المتفاعل .

$$v = \frac{1}{V} \frac{dx}{dt}$$

حيث V هو حجم المزيج المتفاعل والذي يكون ثابتا في كل التحولات الكيميائية التي ندرسها .

إذا كانت وحدة $\frac{dx}{dt}$ هي mol/h ووحدة الحجم V هي L ، تكون وحدة السرعة الحجمية $mol \cdot L^{-1} \cdot h^{-1}$



الشكل - 10

$$v = \frac{v_A}{\alpha} = \frac{v_B}{\beta} = \frac{v_C}{\gamma} = \frac{v_D}{\delta}$$

وخلاصة :

تحديد السرعة الحجمية للتفاعل بيانيا في اللحظة t :

نحدد أولا قيمة معامل توجيه المماس للمنحني $x = f(t)$ في نقطة التماس (C) التي

فاصلتها t ، $\frac{dx}{dt} = \frac{BD}{AD}$ (الشكل - 10) ، ثم نقسم الناتج على حجم المزيج المتفاعل (V) .

- تنقص السرعة الحجمية للتفاعل بمرور الزمن لكي تؤول للصفر .

- البيان $x = f(t)$ متشابه في كل التفاعلات ، حيث يؤول إلى خط مقارب أفقي يقطع محور الترتيب في القيمة x_{max} في التفاعلات

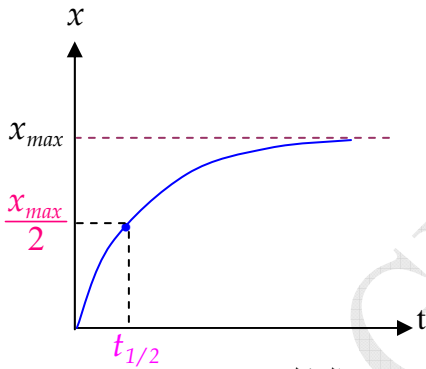
التامة وفي القيمة x_{final} في التفاعلات غير التامة .

4 - زمن نصف التفاعل ($t_{1/2}$) :

زمن نصف التفاعل هو المدة التي يبلغ فيها تقدم التفاعل نصف قيمة التقدم الأعظمي x_{max} في تفاعل تام . وكذلك هو المدة التي تُستهلك

$$x(t_{1/2}) = \frac{1}{2} x_{max}$$

فيها نصف كمية مادة المتفاعل المحد . ومنه :



الشكل - 11

استنتاج زمن نصف التفاعل من بيان التقدم بدلالة الزمن $x = f(t)$:

نحدد أولا التقدم الأعظمي للتفاعل x_{max} من بيان التقدم بدلالة الزمن أو من جدول قيم التقدم ،

ثم نعين نصف هذه القيمة على محور الترتيب ، وبواسطة الإسقاط على محور الفواصل

نستنتج مباشرة زمن نصف التفاعل . (الشكل - 11)

ملاحظة 1

بالنسبة لتفاعل بطيء ولم ينته ، يُمكن حساب زمن نصف التفاعل بشرط أن يتجاوز التفاعل قيمة التقدم $x = \frac{x_{max(th)}}{2}$ ، حيث

$x_{max(th)}$ هي قيمة التقدم الأعظمي النظري ، والتي نحددها على أساس أن التفاعل تام .

ملاحظة 2

من كل البيانات ، مهما كان المقدار الفيزيائي الممثل على الترتيب $y = f(t)$ يُمكن تحديد زمن نصف التفاعل ، وذلك بتقسيم القيمة

العظمى للمقدار الفيزيائي y على 2 ، ثم بالإسقاط نحدد قيمة $t_{1/2}$ على محور الزمن . يُمكن أن يكون المقدار y :

- التقدم x

- كمية مادة لنوع كيميائي متفاعل أو نوع ناتج أو تركيز مولي

- الناقلية أو الناقلية النوعية

- ضغط غاز

- حجم التكافؤ في المعايرة

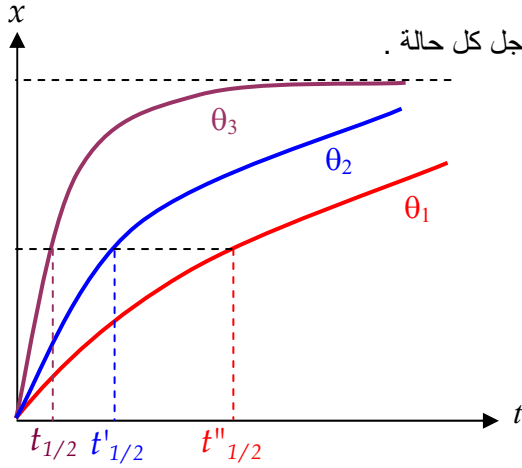
5 - العوامل الحركية المؤثرة في تفاعل كيميائي

نسمي عاملا حركيا لتفاعل كيميائي كل ما يغير سرعة التفاعل .

- درجة الحرارة :

تصبح التفاعلات الكيميائية أسرع عندما نرفع درجة حرارتها (باستثناء التفاعلات الناشئة للحرارة) ، وبالتالي يقل زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$.

إذن درجة الحرارة عامل حركي .



الشكل - 12

في درجات حرارة متفاوتة ، حيث $\theta_3 > \theta_2 > \theta_1$ ، و تراكيز المتفاعلات نفسها من أجل كل حالة . نلاحظ التناسب العكسي بين θ و $t_{1/2}$ في الشكل - 12 .

إذا كانت لدينا جملة كيميائية في وسط درجة حرارته θ_1 ، ثم خفضنا درجة حرارتها فجأة إلى القيمة θ_2 ، فإن سرعة التفاعل تنقص مباشرة . فإذا كان الفرق بين الدرجتين شاسعا يمكن اعتبار التفاعل في الدرجة θ_2 متوقفا . تسمى هذه العملية سقي التفاعل .

يمكن معايرة أحد الأفراد الكيميائية في المزيج ما دام التفاعل متوقفا .

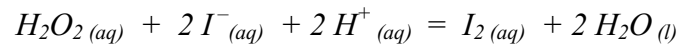
- تراكيز المتفاعلات :

في نفس درجة الحرارة ، كلما كانت تراكيز المتفاعلات أو أحدها أكبر كلما كانت سرعة التفاعل أكبر في اللحظة $t = 0$. (نقارن سرعات التفاعلات في لحظة واحدة ، ولتكن $t = 0$ مثلا) .

ملاحظة :

يتعلق التقدم الأعظمي للتفاعل فقط بالمتفاعل المحدد .

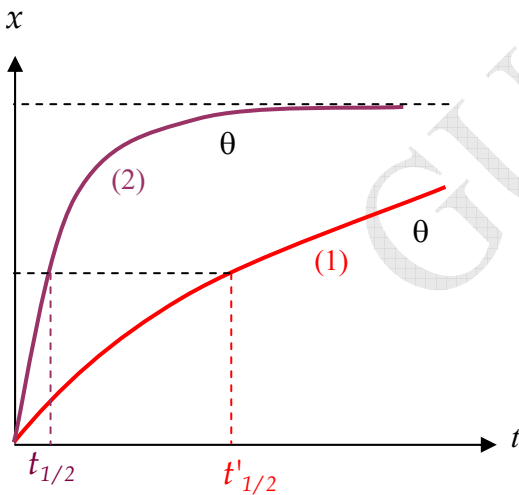
مثلا في تفاعل شوارد اليود (I^-) مع الماء الأكسجيني (H_2O_2)



إذا كان مثلا المتفاعل المحدد هو الماء الأكسجيني :

في البيان (1) استعملنا حجما V من الماء الأكسجيني $[H_2O_2] = 0,2 mol / L$

في البيان (2) استعملنا حجما V من الماء الأكسجيني $[H_2O_2] = 0,4 mol / L$



الشكل - 13

- سطح الالتقاء بين المتفاعلات :

عندما يكون المتفاعلات من طورين مختلفين (مثلا جسم صلب مع جسم منحل) ، تتعلق سرعة التفاعل

بسطح التلامس بين المتفاعلين . مثلا برادة التوتياء مع حمض كلور الهيدروجين يكون التفاعل أسرع مما لو كان التوتياء مجزءا .

الوساطة :

- الوسيط هو نوع كيميائي يعمل على تسريع التفاعل الكيميائي دون التأثير على كمية النواتج .
- نقول أن الوساطة أنها متجانسة إذا كان الوسيط من نفس الحالة الفيزيائية للمتفاعلات .

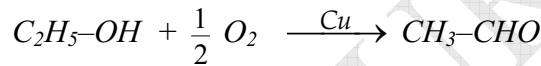
مثال :

نحضر محلولين متماثلين لمزيج من يود البوتاسيوم وبيروكسو ثنائي كبريتات البوتاسيوم . نضيف للمزيج الأول كمية قليلة من محلول كبريتات الحديد الثلاثي $(2Fe^{3+}, 3SO_4^{2-})$ ، أما المزيج الثاني لا نضيف له أي شيء ، فنلاحظ أن اللون الأسمر البني يظهر بسرعة في المزيج الأول ، والسبب هو أن شوارد الحديد III (Fe^{3+}) تلعب دور وسيط . وهنا الوسيط متجانس لأنه الوسيط محلول والمتفاعلات كذلك عبارة عن محاليل .

- نقول أن الوساطة أنها غير متجانسة إذا كانت الحالة الفيزيائية للوسيط تختلف عن الحالة الفيزيائية للمتفاعلات .

مثال :

الأكسدة الجافة للإيثانول (تجربة المصباح بدون لهب) ، استعملنا سلكا نحاسيا في درجة الاحمرار الذي يلعب دور وسيط وهو جسم صلب أما ثنائي الأكسجين وأبخرة الإيثانول فهما غازان ، فهنا الوساطة غير متجانسة .



- نقول عن الوساطة أنها إنزيمية إذا كان الوسيط عبارة عن إنزيم . مثلا في المادة الحية تحدث تفاعلات بيوكيميائية تتدخل فيها الإنزيمات كوسائط . يُمكن مثلا تسريع التحلل الذاتي للماء الأكسوجيني $2H_2O_2 = 2H_2O + O_2$ بواسطة بعض القطرات من الدم .
- بصفة عامة الإنزيمات عبارة عن بروتينات تحتوي في تركيبها على فجوات بمثابة مراكز فعالة تتعلق بها المتفاعلات لتتحول كيميائيا .
- تُستعمل الإنزيمات كوسائط في صناعة مجمل المواد الغذائية (خميرة العجين ، الجبن ...)

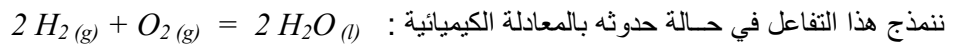
للمزيد ←

أهمية الوسائط في الصناعة :

تعتمد الصناعة الغذائية وبعض الصناعات الأخرى في تسريع إنتاجها على العوامل الحركية في التحضير الكيميائي ، فعامل الحرارة مكلف صناعيا ، (ارتفاع سعر البترول) ، لهذا تنصب الأبحاث حاليا نحو استعمال أنجع الوسائط الكيميائية لأنها غير مكلفة .

5 - التفسير المجهرى لفعل العوامل الحركية :

ندخل في مقياس غاز حجما V من غاز ثنائي الأكسجين وحجمين $2V$ من غاز ثنائي الهيدروجين .



في المزيج تتحرك جزيئات O_2 و جزيئات H_2 حركة عشوائية (الحركة البرونية) الناتجة عن الإهاجة الحرارية .

إن الطاقة الحركية المجهرية الناتجة عن التصادمات للجزيئات لا تكفي لانطلاق التفاعل .

لو قربنا الآن عود ثقاب مشتعل من المزيج الغازي يحدث انفجار ناتج عن حدوث التفاعل بين O_2 و H_2 ، ونلاحظ بخارا في أسفل مقياس الغاز دلالة على تكوّن الماء .

ما هو دور درجة الحرارة ؟

إكساب الجزيئات (المتفاعلات) طاقة أكبر تؤدي إلى تصادمات عنيفة بين الجزيئات ، مما يؤدي إلى فك الروابط $O=O$ و $H-H$ وتكوين روابط جديدة $H-O$ في الماء .

5 - 1 - التصادمات المنتجة وتواتر التصادمات :

ليس كل تصادم بين H_2 و O_2 ينتج عنه تفاعل ، بل نتكلم هنا عن التصادمات المنتجة ، أي التي تؤدي إلى فك الروابط .
نعبّر بتواتر التصادمات عن عدد هذه التصادمات في وحدة الزمن .

كلما كان تواتر التصادمات مرتفعاً ، كان التحول الكيميائي أسرع

التركيز الأكبر للمفاعلات يزيد من احتمال التصادمات المنتجة .

يتناسب تواتر التصادمات مع درجة الحرارة وتراكيز المتفاعلات

5 - 2 - توضيحات عن التفسير المجهري :

(أ) تصوّر مظاهرة شعبية سياسية في شارع ضيق عدد المشاركين فيها حوالي 1000 شخص ، عدد التصادمات بين المتظاهرين يكون ضئيلاً لأن أولاً كلهم يتحركون في نفس الجهة وثانياً لأنهم يتحركون ببطء . تصوّر عندما يتدخل بوليس مكافحة الشغب !! ويطلق الرصاص **المطاطي** والقنابل المسيلة للدموع ، فتزداد حرارة الشارع فيركض الناس في كل الاتجاهات ، فهنا يزداد تواتر التصادمات وتحدث التفاعلات الكيميائية (المتفاعلات هي الأشخاص سالمون والنواتج هي الضحايا والجرحى) .

تصور الآن لو كان عدد المشاركين حوالي 10 آلاف (ازداد تركيز المتفاعلات) وحدث ما حدث ... أترك لك التعليق !!

(ب) نملاً كيساً غير شفاف بكريات سوداء وكريات حمراء ، ونضع على الطاولة قارورتان إحداهما تحتوي على كريات زرقاء والأخرى على كريات خضراء .

نعتبر التحول الكيميائي هو : 

ندخل يدنا في الكيس ونخرج منه كرتين ، فإذا كانتا من نفس اللون فإن التصادم لم يحدث ، أما إذا كانت إحداهما سوداء والأخرى حمراء فإن التصادم حدث ، لكن لا ندري إن كان هذا التصادم منتجاً .

نستعمل زهرة النرد (*Un dé*) ، حيث نرميه على الطاولة وننتق أنه مثلاً إذا حصلنا على عدد أقل أو يساوي 4 فإن التصادم يكون منتجاً أي حدوث التفاعل ، وبالتالي نأخذ كرتين من القارورتين (زرقاء + خضراء) ونضعهما في الكيس .

نعيد التجربة عدة مرات ، فأنت تلاحظ الآن أنه كلما حدث التفاعل تكثر الكريات الخضراء والزرقاء في الكيس ، وبالتالي ينقص احتمال إخراج كرتين إحداهما سوداء والأخرى حمراء (هنا في الواقع تبدأ سرعة التفاعل في التناقص) .

هذا ما يحدث بالضبط أثناء التحول الكيميائي على المستوى المجهري .