

الجُمَانُ

في الكيمياء

الوحدة الثالثة

سرعة التفاعل الكيميائي

لطلبة التوجيهي الزراعي والاقتصاد المنزلي

جيل ٢٠٠٢ لعام ٢٠٢٠

إعداد الأستاذ: محمد الشيخ

أستاذية خبراء الامتياز الثقافية

أستاذية نادي السباق التعليمية

مقدمة عامة ...

تقسم التفاعلات الكيميائية من حيث سرعة حدوثها إلى :

مثل التفاعلات التي تحدث في المحاليل الأيونية (حموض/قواعد) .
أيضاً تفاعل كربونات الصوديوم الهيدروجينية NaHCO_3 مع الصوديوم Na .

(١) تفاعلات سريعة جداً

مثل تفاعل تكوّن صدأ الحديد .

(٢) تفاعلات بطيئة

مثل تكوّن الماس في باطن الأرض .
وبعضها يحتاج لآلاف السنين مثل تفاعلات تكوّن النفط .

(٣) تفاعلات بطيئة جداً

أيضاً ...

يمكن حساب سرعة هذه التفاعلات بدقة عن طريق معرفة كمية المواد التي تُستهلك أو يتم إنتاجها خلال الزمن .
فمثلاً يمكن حساب سرعة احتراق الوقود في المَرَكَبات بحساب معدل استهلاك الوقود خلال فترة زمنية .

سرعة التفاعل الكيميائي : هي مقياس لمقدار التغير في كميات المواد المتفاعلة أو الناتجة في وحدة الزمن .

يمكن التعبير عن سرعة التفاعل الكيميائي رياضياً حسب العلاقة الآتية :

$$\text{معدل السرعة} = \frac{\Delta [\text{ مادة }]}{\Delta z}$$

أو

$$\text{معدل سرعة التفاعل} = \frac{\text{التغير في كمية المادة}}{\text{التغير في الزمن}}$$

حيث أن :-

Δ : هي التغير وتساوي القيمة النهائية – القيمة الابتدائية .
[] : رمز يستخدم للتعبير عن تركيز المادة المتفاعلة أو الناتجة .

سؤال : في التفاعل $\text{CO} + \text{NO}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{NO}$ إذا كان [CO] في بداية التفاعل يساوي ٠,١ مول/لتر وبعد مرور ٢٠ ثانية أصبح [CO] يساوي ٠,٠٥ مول/لتر ، احسب معدل سرعة التفاعل .

الحل ...

$$\text{معدل السرعة} = \frac{-\Delta [\text{CO}]}{\Delta z} = \frac{-(0,1 - 0,05) \text{ مول/لتر}}{(20 - 0) \text{ ث}} = \frac{0,05 \times 10^{-1} \text{ مول/لتر.ث}}{20}$$

❖ عند حساب معدل سرعة التفاعل باستخدام مادة متفاعلة نضع في القانون إشارة سالبة (-) وذلك لأن التركيز متناقص .

بشكل عام : التفاعل الكيميائي قسمين

- (أ) المتفاعلات : توجد قبل السهم / تُستهلك في التفاعل / يقل تركيزها / تختفي / تُعطى إشارة (-)
(ب) النواتج : توجد بعد السهم / تُنتج في التفاعل / يزداد تركيزها / تظهر / تُعطى إشارة (+)

وفي التفاعل العام الآتي: $aA + bB \longrightarrow cC$

يمكن التعبير عن معدل سرعة التفاعل وعلاقتها بمعدل سرعة الاستهلاك أو الإنتاج للمواد المختلفة على النحو الآتي:

$$\text{معدل سرعة التفاعل} = \frac{1}{a} = \text{معدل سرعة استهلاك A} = \frac{1}{b} = \text{معدل سرعة استهلاك B} = \frac{1}{c} = \text{معدل سرعة إنتاج C}$$

كما يمكن التعبير عن معدل سرعة التفاعل بدلالة التغير في التركيز مع الزمن على النحو الآتي:

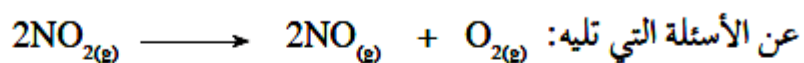
$$\text{معدل سرعة التفاعل} = \frac{1}{a} = \frac{[A]_{\Delta} - [A]_{\Delta-1}}{\Delta t} = \frac{1}{b} = \frac{[B]_{\Delta} - [B]_{\Delta-1}}{\Delta t} = \frac{1}{c} = \frac{[C]_{\Delta} - [C]_{\Delta-1}}{\Delta t}$$

حيث a : عدد مولات المادة A b : عدد مولات المادة B c : عدد مولات المادة C

سؤال : في التفاعل $\text{BrO}_2^- + 5\text{Br}^- + 6\text{H}^+ \longrightarrow 2\text{Br}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

- 1- عبر عن معدل سرعة التفاعل الآتي بدلالة التغير في التركيز مع التغير في الزمن
 - 2- إذا كان معدل سرعة استهلاك H^+ يساوي ٠,٦ مول/لتر.ث فاحسب معدل سرعة إنتاج الماء H_2O
 - 3- إذا كان معدل سرعة إنتاج Br_2 يساوي ٠,٢٥ مول/لتر.ث فاحسب معدل سرعة استهلاك BrO_2^-
- الحل ...

سؤال : ادرس بيانات الجدول أدناه والمتعلقة بالتفاعل الآتي، والذي يحدث عند 300°س، ثم أجب



◀ اكتب العلاقة بين معدل سرعة استهلاك NO_2 ومعدل سرعة إنتاج O_2

الزمن (ث)	$[\text{NO}_2]$ مول/لتر
0	0,0100
50	0,0080
100	0,0065
150	0,0055

◀ احسب معدل سرعة استهلاك NO_2 في الفترة (0-50).

◀ احسب معدل سرعة إنتاج NO في الفترة (100-150).

◀ أي الفترات الآتية يكون معدل سرعة التفاعل فيها أعلى؟

(0-50)، أو (50-100)، أو (100-150) ولماذا؟

الحل ...

من العلاقة السابقة نلاحظ أن السرعة تتناسب طردياً مع التركيز وبالتجربة العملية وجد أن سرعة التفاعل تتناسب طردياً مع تركيز المواد المتفاعلة مرفوعة لقوة ... ولذلك :

$$\text{سرعة التفاعل} \propto [\text{المواد المتفاعلة}]^X$$

وبعد إزالة إشارة التناسب ووضع المساواة تصبح العلاقة :

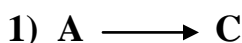
$$\text{سرعة التفاعل} = K [\text{المواد المتفاعلة}]^X$$

تسمى هذه العلاقة الصيغة العامة لقانون سرعة التفاعل والذي من خلاله نستطيع حساب سرعة التفاعل الابتدائية حيث :-
K : ثابت سرعة التفاعل ولكل تفاعل ثابت خاص به .

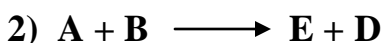
X : رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة وهي قيمة صحيحة (٠، ١، ٢،) وقد تكون قيمة كسرية وتحسب عملياً .
نلاحظ أن قانون السرعة مصمم لحساب سرعة التفاعل اعتماداً على تراكيز المواد المتفاعلة فقط دون المواد الناتجة .

جميع المواد المتفاعلة تدخل في قانون السرعة ولكل مادة متفاعلة رتبة خاصة بها، لذلك فإن عدد الرتب يساوي عدد المواد المتفاعلة ويُرمز لرتبة كل مادة برمز خاص بها .

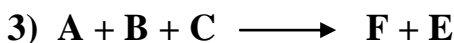
مثال ... اكتب قانون السرعة لكل من التفاعلات الآتية :



الحل : $K = [A]^X$



الحل : $K = [A]^X \cdot [B]^Y$



الحل : $K = [A]^X \cdot [B]^Y \cdot [C]^Z$

ملاحظات :

(١) تقاس سرعة التفاعل بوحدة مول/لتر.ث

(٢) وحدة K تعتمد على عدد المواد المتفاعلة ورتبتها ويمكن معرفتها عن طريق استخدام العلاقة الآتية :

وحدة K = (لتر/مول)^{ن-ث} حيث : الن الرتبة الكلية (مجموع الرتب للتفاعل)

(٣) إذا كانت رتبة المادة = صفر ، فهذا يعني أن هذه المادة لا تؤثر على سرعة التفاعل مهما قلّ تركيزها أو زاد .

(٤) السرعة الابتدائية : هي سرعة التفاعل لحظة خلط المواد (الزمن = صفر)

(٥) رتبة التفاعل : قيمة عددية صحيحة أو كسرية تبين أثر التركيز على سرعة التفاعل تعتمد على طريقة سير التفاعل وتُحسب من التجربة العملية داخل المختبر .

سؤال : الجدول المجاور يوضّح بيانات تتعلق بالتفاعل $2\text{N}_2\text{O}_5 \longrightarrow 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$

معتمداً على البيانات أجب عن الأسئلة :

- (١) احسب رتبة التفاعل بالنسبة للمادة N_2O_5
- (٢) احسب قيمة الثابت K
- (٣) احسب وحدة الثابت K
- (٤) اكتب قانون سرعة التفاعل .

السرعة الابتدائية (مول/لتر.ث)	$[\text{N}_2\text{O}_5]$ مول/لتر	رقم التجربة
$10^{-1} \times 6,7$	0,0113	١
$10^{-1} \times 5$	0,0084	٢
$10^{-1} \times 2,5$	0,0042	٣

الحل ...

نلاحظ أن المعلومات المتوفرة هي التركيز والسرعة وهناك مجهولين هما الثابت K والرتبة لذلك نكون معادلتين باستخدام العلاقة $K = \text{س} [\text{N}_2\text{O}_5]^X$ بحيث نختار تجربتين

$$1 - \text{من تجربة رقم ٢ : } K = 10^{-1} \times 5 = X [0,0084]^X \quad (١)$$

$$\text{من تجربة رقم ٣ : } K = 10^{-1} \times 2,5 = X [0,0042]^X \quad (٢)$$

بقسمة (١) على (٢) ينتج

$$2 = X \times 2 \quad (رتبة أولى) \text{ أو } (أحادي الرتبة)$$

٢- لحساب قيمة K نختار أي تجربة ونعوض بياناتها في القانون وكذلك نعوض الرتبة

$$\text{من تجربة ٢ : } K = 10^{-1} \times 5 = [0,0084]^2$$

$$K = 10^{-1} \times 6 = 6 \times 10^{-2}$$

٣- وحدة K = (لتر/مول)⁻¹ . ث^{-١} إذا وحدة K هي : ث^{-١}

٤- قانون السرعة هو : $\text{س} = K [\text{N}_2\text{O}_5]^1$

سؤال : الجدول المجاور يوضّح بيانات تتعلق بالتفاعل $2\text{NOCl} \longrightarrow 2\text{NO} + \text{Cl}_2$

معتمداً على البيانات أجب عن الأسئلة :

- (١) اكتب الصيغة العامة لقانون السرعة .
- (٢) احسب رتبة التفاعل بالنسبة للمادة NOCl
- (٣) احسب قيمة الثابت K
- (٤) احسب وحدة الثابت K
- (٥) اكتب قانون سرعة التفاعل .
- (٦) احسب سرعة التفاعل في التجربة رقم ٤

السرعة الابتدائية (مول/لتر.ث)	$[\text{NOCl}]$ مول/لتر	رقم التجربة
$10^{-1} \times 1,6$	0,2	١
$10^{-1} \times 6,4$	0,4	٢
$10^{-1} \times 1,44$	0,6	٣
س	0,8	٤

الحل ...

سؤال : يحدث التفاعل $A + 2B \rightarrow C$ عند درجة حرارة ١٠٠°س ، أدرس بياناته الواردة في الجدول ثم أجب عن الأسئلة :

رقم التجربة	[A] مول/لتر	[B] مول/لتر	السرعة الابتدائية (مول/لتر.ث)
١	٠,٢	٠,١	$3,4 \times 10^{-3}$
٢	٠,٢	٠,٣	$1,0 \times 10^{-3}$
٣	٠,٤	٠,٣	$4,8 \times 10^{-3}$

- ١) اكتب الصيغة العامة لقانون السرعة .
- ٢) احسب رتبة التفاعل بالنسبة للمادة A .
- ٣) احسب رتبة التفاعل بالنسبة للمادة B .
- ٤) ما هي الرتبة الكلية للتفاعل .
- ٥) احسب قيمة الثابت K مبيناً الوحدة .
- ٦) اكتب قانون سرعة التفاعل .

٧) احسب سرعة التفاعل إذا كان $[A] = [B] = 0,5$ مول/لتر .
الحل ...

سؤال : يحدث التفاعل $2A + B \longrightarrow 3C + D$ عند درجة حرارة معينة ، أدرس بياناته الواردة في الجدول ثم أجب عن الأسئلة :

رقم التجربة	[A] مول/لتر	[B] مول/لتر	السرعة الابتدائية (مول/لتر.ث) ^٢
١	٠,١	٠,١	$١,٢ \times ١٠^{-٢}$
٢	٠,٢	٠,١	$١,٢ \times ١٠^{-٢}$
٣	٠,٢	٠,٣	$٣,٦ \times ١٠^{-٢}$

- ١) اكتب الصيغة العامة لقانون السرعة .
- ٢) احسب رتبة التفاعل بالنسبة للمادة A .
- ٣) احسب رتبة التفاعل بالنسبة للمادة B .
- ٤) ما هي الرتبة الكلية للتفاعل .
- ٥) احسب قيمة الثابت K مبيناً الوحدة .
- ٦) اكتب قانون سرعة التفاعل .

الحل ...

سؤال : في المعادلة $2NO + 2H_2 \longrightarrow N_2 + 2H_2O$ إذا كان التفاعل من الرتبة الثانية بالنسبة لـ NO ، ومن الرتبة الأولى بالنسبة لـ H₂ ، جد قانون السرعة للتفاعل .

الحل ...

سؤال : يحدث التفاعل $A + B \rightarrow C$ عند درجة حرارة معينة ، أدرس بياناته الواردة في الجدول ثم أجب عن الأسئلة :

رقم التجربة	[A] مول/لتر	[B] مول/لتر	السرعة الابتدائية (مول/لتر.ث)
١	٠,٢	٠,٢	$3,5 \times 10^{-4}$
٢	٠,٤	٠,٤	$2,8 \times 10^{-3}$
٣	٠,٨	٠,٤	$1,12 \times 10^{-2}$

- ١) اكتب الصيغة العامة لقانون السرعة .
- ٢) احسب رتبة التفاعل بالنسبة للمادة A .
- ٣) احسب رتبة التفاعل بالنسبة للمادة B .
- ٤) ما هي الرتبة الكلية للتفاعل .
- ٥) احسب قيمة الثابت K مبيناً الوحدة .
- ٦) اكتب قانون سرعة التفاعل .

الحل ...

سؤال : في التفاعل الافتراضي : $F + E + D \rightarrow$ نواتج تم تسجيل البيانات المُدرجة في الجدول الآتي عملياً

السرعة الابتدائية (مول/لتر.ث)	[F] مول/لتر	[E] مول/لتر	[D] مول/لتر	رقم التجربة
$10^{-1} \times 4,40$	0,2	0,1	0,1	1
$10^{-1} \times 8,80$	0,4	0,1	0,1	2
$10^{-1} \times 4,40$	0,2	0,05	0,1	3
$10^{-1} \times 1,32$	0,2	0,1	0,3	4
س	0,2	0,2	0,2	5
$10^{-1} \times 8,80$	0,1	0,1	ص	6

- ١) اكتب الصيغة العامة لقانون السرعة .
 - ٢) احسب رتبة التفاعل بالنسبة للمواد :
D E F
 - ٣) ما هي الرتبة الكلية للتفاعل .
 - ٤) احسب قيمة الثابت K مبيناً الوحدة .
 - ٥) اكتب قانون سرعة التفاعل .
 - ٦) احسب (س) في التجربة رقم ٥
 - ٧) احسب تركيز المادة D (قيمة ص) في التجربة رقم 6
- الحل ...

سؤال : تم إجراء التفاعل $\text{BrO}_2^- + 5\text{Br}^- + 6\text{H}^+ \longrightarrow 2\text{Br}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ عملياً ، فكانت النتائج كالاتي :

السرعة الابتدائية (مول/لتر.ث)	[H ⁺] مول/لتر	[Br ⁻] مول/لتر	[BrO ₂ ⁻] مول/لتر	رقم التجربة
8×10^{-4}	٠,١	٠,١	٠,١	١
$1,6 \times 10^{-3}$	٠,١	٠,١	٠,٢	٢
$3,2 \times 10^{-3}$	٠,١	٠,٢	٠,٢	٣
$3,2 \times 10^{-3}$	٠,٢	٠,١	٠,١	٤

- (١) اكتب الصيغة العامة لقانون السرعة .
 - (٢) احسب رتبة التفاعل بالنسبة لجميع المواد المتفاعلة .
 - (٣) ما هي الرتبة الكلية للتفاعل .
 - (٤) احسب قيمة الثابت K
 - (٥) ما هي وحدة الثابت K
 - (٦) اكتب قانون سرعة التفاعل .
- الحل ...

سؤال : إذا علمت أن قانون سرعة التفاعل $A + B \longrightarrow C$ هو $K = [A]^2 \cdot [B]$ فأجب عما يأتي :

(١) ماذا يحدث لسرعة التفاعل إذا تضاعف [A] مرتين و [B] مرتين ؟

(٢) ماذا يحدث لسرعة التفاعل إذا تضاعف [A] مرتين و [B] ثابت ؟

(٣) ماذا يحدث لسرعة التفاعل إذا تضاعف [B] مرتين و [A] ثابت ؟

(٤) ماذا يحدث لسرعة التفاعل إذا تضاعف [A] مرتين و [B] قلّ إلى النصف ؟

(٥) ماذا يحدث لسرعة التفاعل إذا قلّ [A] إلى النصف وتضاعف [B] ٤ مرات ؟

(٦) ماذا يحدث لسرعة التفاعل إذا قلّ حجم الوعاء إلى النصف ؟

(٧) ماذا يحدث لسرعة التفاعل إذا تضاعف حجم الوعاء مرتين ؟

سؤال : ادرس الجدول الآتي ثم أجب عن الأسئلة التي تليه :-

المعلومات				قانون السرعة	معادلة التفاعل	رقم التفاعل
				$k = [A]^2[B]$	$A + B + C \rightarrow$ نواتج	١
سرعة التفاعل	[M]	[R]	رقم التجربة			
مول/لتر.ث	مول/لتر	مول/لتر				
10×2^{-5}	٠,١	٠,١	١	R + M \rightarrow نواتج		
10×8^{-5}	٠,١	٠,٢	٢			
				$k = [N_2O_3]$	$2N_2O_5 \rightarrow 4NO_2 + O_2$	٣
$k = 10 \times 2,5^{-4}$ لتر/مول.ث					$CH_3CHO \rightarrow CH_4 + CO$	٤

- (١) ماذا يحدث لسرعة التفاعل رقم (١) إذا تضاعف [C] ثلاث مرات مع ثبوت باقي العوامل .
 (٢) اكتب قانون السرعة للتفاعل رقم (٢) علماً بأن الرتبة الكلية للتفاعل تساوي ٢ .
 (٣) ما هي وحدة الثابت K في التفاعل رقم (٣) .
 (٤) احسب سرعة التفاعل رقم (٤) عندما يكون [CH₃CHO] يساوي ٠,٢ مول/لتر مع ثبوت العوامل الأخرى .
 الحل

سؤال : في التفاعل الافتراضي نواتج $E + 2B \longrightarrow$ إذا علمت أن قانون السرعة هو

$$K = [B]^X [E]^3$$

وعند مضاعفة $[E]$ ثلاث مرات و $[B]$ أربع مرات ، تضاعفت سرعة التفاعل ٣٦ مرة . فما رتبة E ؟

الحل ...

$$36 = [4]^X [3]^3 \quad \text{ومنه } [3]^3 = 9 \quad \text{ومنه } 2 = X$$

سؤال : في التفاعل الافتراضي $A + 2B \longrightarrow C$ إذا علمت أن سرعة التفاعل تتضاعف أربع مرات عندما

يتضاعف $[A]$ مرتين وثبات $[B]$ ، وأن الرتبة الكلية تساوي ٢ ، فأجب عن الآتي :

(١) ما رتبة التفاعل بالنسبة للمادة B .

(٢) اكتب قانون السرعة للتفاعل .

(٣) إذا كانت سرعة التفاعل $= 2 \times 10^{-1}$ مول/لتر.ث عندما $[A] = [B] = 0.2$ مول/لتر ، احسب قيمة K .

الحل ...

سؤال : في التفاعل الافتراضي $2R + 2M \longrightarrow 3X + Z$ والذي يحدث عند درجة حرارة معينة وجد أنه عند

مضاعفة $[R]$ ثلاث مرات مع بقاء $[M]$ ثابت تتضاعف سرعة التفاعل ثلاث مرات ، وعند مضاعفة $[R]$

و $[M]$ معاً ثلاث مرات تتضاعف السرعة ٢٧ مرة ، فأجب عن الآتي :

(١) ما رتبة التفاعل بالنسبة للمادة R (٢) ما رتبة التفاعل بالنسبة للمادة M

(٢) إذا كانت سرعة التفاعل $= 2 \times 10^{-1}$ مول/لتر.ث عندما $[M] = [R] = 0.1$ مول/لتر ، احسب قيمة الثابت K .

الحل ...

تغيير سرعة التفاعل مع الزمن (السرعة اللحظية)

عرفنا سابقاً أنه يمكن حساب معدل سرعة التفاعل خلال فترة زمنية ، ولكن هل يمكن حساب سرعة التفاعل في لحظة زمنية محددة وبدقة ؟ طبعاً يمكن ذلك وعندها تسمى سرعة التفاعل بالسرعة اللحظية .

السرعة اللحظية : هي سرعة التفاعل الكيميائي عند أي لحظة زمنية محددة .

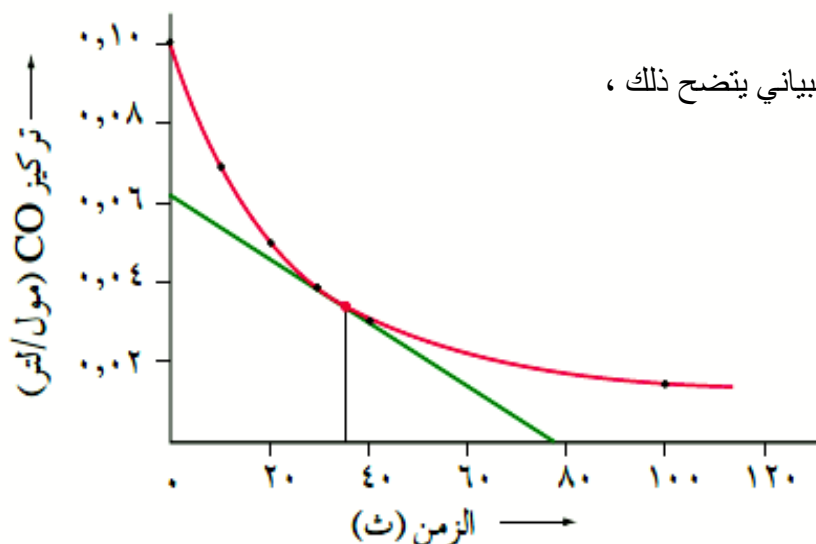
ولتحديد السرعة اللحظية نقوم بالآتي :

- (١) نحدد سرعة التفاعل خلال فترات زمنية مختلفة
- (٢) نقوم برسم منحنى يمثل التغيير في تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة مع الزمن
- (٣) نرسم مماس على المنحنى عند اللحظة الزمنية المطلوبة .

مثال : في التفاعل $\text{CO} + \text{NO}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{NO}$ ، تم الحصول على النتائج المبينة في الجدول عملياً .

الزمن (ث)	[CO] (مول/لتر)	[NO ₂] (مول/لتر)	السرعة اللحظية (مول/لتر.ث)
٠	٠,١٠٠	٠,١٠٠	$٣٠ \times ٤,٩$
١٠	٠,٠٦٧	٠,٠٦٧	$٣٠ \times ٢,٢$
٢٠	٠,٠٥٠	٠,٠٥٠	$٣٠ \times ١,٢$
٣٠	٠,٠٤٠	٠,٠٤٠	$٣٠ \times ٠,٨$
٤٠	٠,٠٣٣	٠,٠٣٣	$٣٠ \times ٠,٥$
١٠٠	٠,٠١٧	٠,٠١٧	$٣٠ \times ٠,١$

مثلاً نريد حساب سرعة التفاعل عند الزمن ٣٥ ث ،



CO مادة متفاعلة ولذلك فإن تركيزها يقل مع الزمن وعند رسم النقاط على المستوى البياني يتضح ذلك ،

عند رسم المماس نتج الآتي :

التركيز = ٠,٠٦٢ مول/لتر

الزمن = ٧٨ ث

[CO]

السرعة اللحظية =

الزمن

٠,٠٦٢ مول/لتر

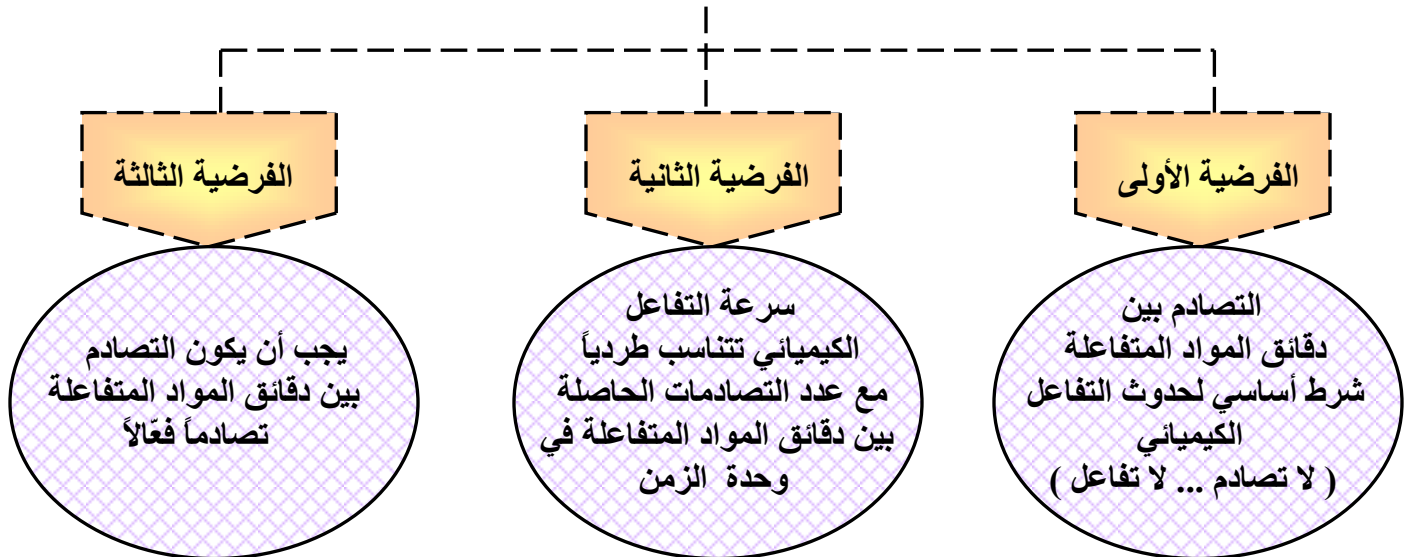
٧٨ ث

= $٧,٩٥ \times ١٠^{-٤}$ مول/لتر.ث (سرعة التفاعل اللحظية عندما الزمن = ٣٥ ث) .

❖ نلاحظ أن سرعة التفاعل تكون أكبر ما يمكن في بداية التفاعل لأن تركيز المتفاعلات يكون أكبر ما يمكن .

- من المهم جداً معرفة ما هي العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل وذلك لاستخدامها في :
- ١- إما زيادة إنتاجية مادة بسبب الحاجة إليها في الصناعات المختلفة مثل عملية إنتاج الأمونيا NH_3 .
 - ٢- أو لتقليل إنتاج مواد معينة للتخفيف من أثرها مثل المواد المسببة لفساد الأغذية .
- ولا يمكن فهم آلية حدوث التفاعل أو العوامل المؤثرة في سرعته إلا بفهم نظرية التصادم

نظرية التصادم : هي نظرية وضعها العلماء لتفسير آلية حدوث التفاعل الكيميائي ، وتتضمن ٣ فرضيات هي



ما معنى التصادم الفعّال ؟

حتى يكون التصادم فعالاً يجب أن يمتلك شرطين هما :

- ١- أن يكون اتجاه التصادم مناسباً بحيث يؤدي إلى تكوين النواتج المطلوبة
- ٢- أن تمتلك الجزيئات المتصادمة حداً أدنى من الطاقة اللازمة لكسر الروابط بين ذراتها وتكوين روابط جديدة ، وتسمى هذه الطاقة (طاقة التنشيط E_a) .

وبذلك يمكن تعريف التصادم الفعّال بأنه : هو التصادم الذي يحدث بين الدقائق التي تمتلك طاقة التنشيط E_a ويكون اتجاه تصادمها مناسباً .

النص العام لنظرية التصادم :

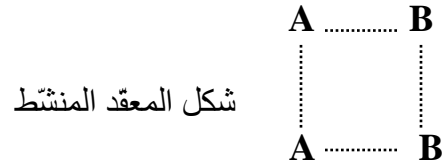
((لحدوث تفاعل كيميائي لا بدّ أن يحدث تصادم بين الجزيئات المتفاعلة بحيث تمتلك الجزيئات المتصادمة الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لحدوث تصادم فعّال))

❖ عند حدوث التصادم الفعّال تضعف الروابط بين المواد ويبدأ تكوين روابط جديدة وعندها يتكون مركب كيميائي جديد له تركيب خاص وطاقة عالية جداً ولذلك يكون غير مستقر فيتفكك مكوناً النواتج ، ويسمى هذا المركب **المعقد المنشط**

المعقد المنشط : هو بناء كيميائي غير مستقر له طاقة وضع عالية يتفكك مكوناً النواتج .

مثال : ارسم المعقد النشط للتفاعل الافتراضي $A_2 + B_2 \longrightarrow 2AB$

الحل ...

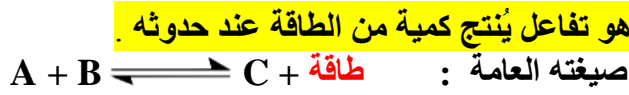


سؤال : ارسم المعقد المنشط للتفاعل $H_2 + I_2 \longrightarrow 2HI$

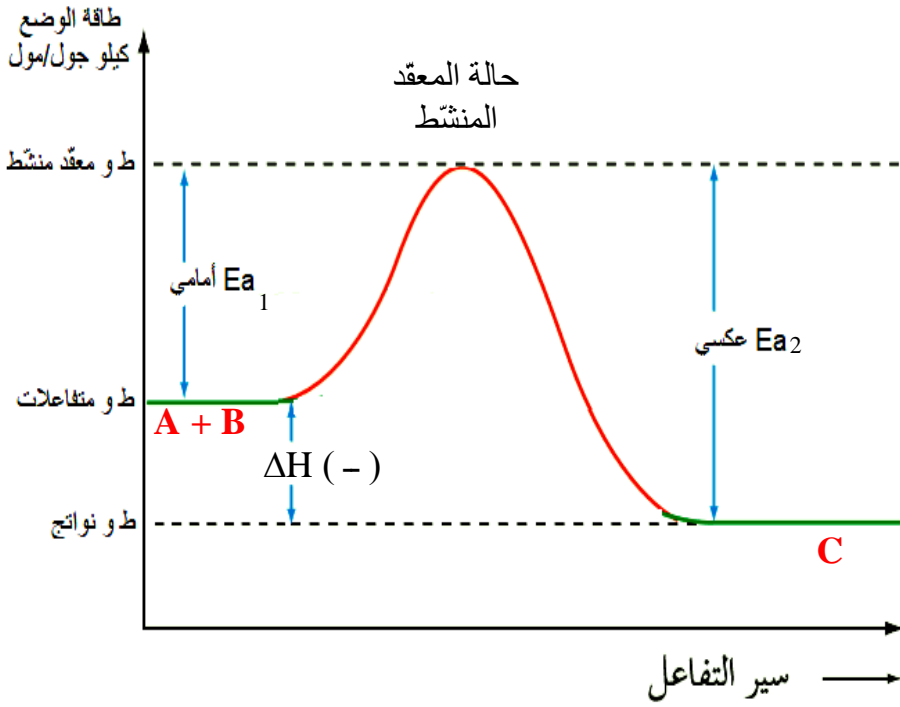
الحل ...



❖ تقسم التفاعلات الكيميائية من حيث الطاقة المصاحبة لها إلى نوعين :



تفاعل طارد للطاقة
(-)



$\Delta H = (-)$ لأن :
ط و نواتج > ط و متفاعلات

Ea_1 أمامي > Ea_2 عكسي

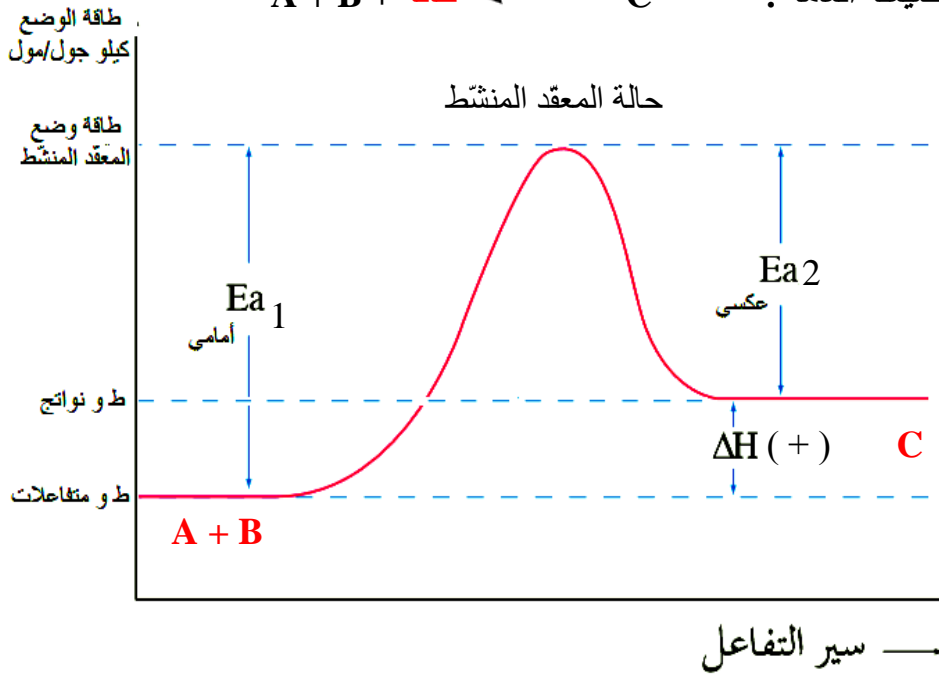
النواتج أكثر استقراراً

التفاعل الأمامي أسرع

هو تفاعل يحتاج كمية من الطاقة ليحدث .



تفاعل ماص للطاقة
(+)



$\Delta H = (+)$ لأن :
ط و نواتج < ط و متفاعلات

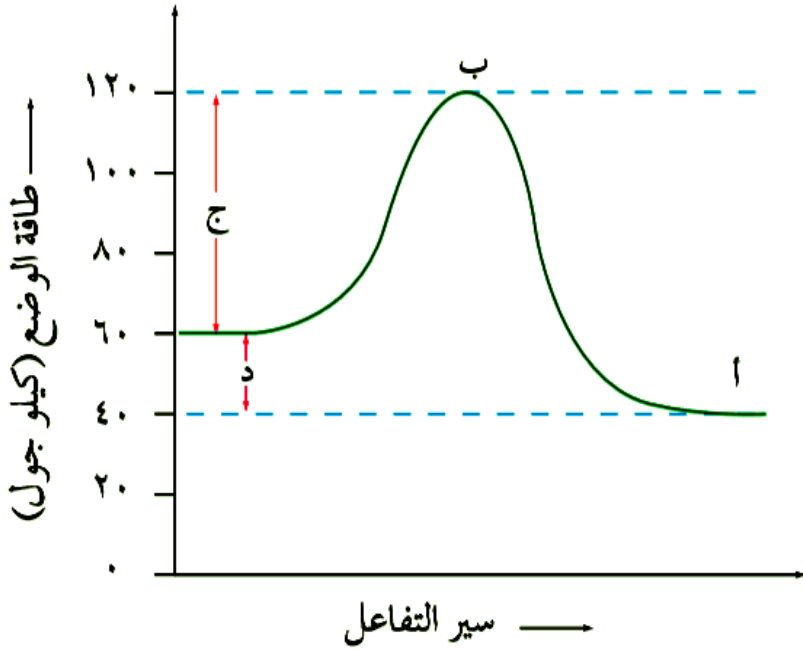
Ea_1 أمامي < Ea_2 عكسي

المتفاعلات أكثر استقراراً

التفاعل العكسي أسرع

ΔH : هي المحتوى الحراري للتفاعل ، رياضياً $\Delta H = (\text{ط و نواتج}) - (\text{ط و متفاعلات})$

سؤال : الشكل الآتي يمثل منحني سير طاقة الوضع للتفاعل $A + B \rightleftharpoons C$ ، أدرسه ثم أجب عما يليه من أسئلة .



- ١- إلام تشير الرموز أ، ب، ج، د؟
- ٢- هل التفاعل طارد أم ماص؟
- ٣- ما مقدار ط و متفاعلات
- ٤- ما مقدار ط و نواتج
- ٥- ما مقدار ط و المعقد المنشط
- ٦- احسب المحتوى الحراري ΔH
- ٧- احسب E_{a1} أمامي
- ٨- احسب E_{a2} عكسي
- ٩- أي الأجزاء هو الأكثر استقراراً؟
- ١٠- أي الأجزاء هو الأقل استقراراً؟
- ١١- أيهما أسرع تكوّن C أم تفككه؟
- ١٢- أعد كتابة التفاعل متضمناً ΔH

الحل ...

- (١) أ : طاقة وضع النواتج ب: حالة المعقد المنشط ج: طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي (E_{a1}) .
 د: المحتوى الحراري للتفاعل (ΔH) .
- (٢) طارد للطاقة
 - (٣) ٦٠ كيلو جول
 - (٤) ٤٠ كيلوجول
 - (٥) ١٢٠ كيلو جول
 - (٦) $\Delta H = 60 - 40 = 20$ كيلو جول
 - (٧) ٦٠ كيلو جول
 - (٨) ٨٠ كيلو جول
 - (٩) أ (النواتج) لأنها الأقل طاقة
 - (١٠) ب (المعقد المنشط) لأنها الأعلى طاقة .
 - (١١) تكون C
 - (١٢) $A + B \rightleftharpoons C + 20 \text{ KJ/mol}$

سؤال : في التفاعل الافتراضي $R + M \rightleftharpoons F$ إذا علمت أن

- ❖ ط و متفاعلات = ٥٨ كيلو جول/مول
- ❖ ط و نواتج = ٢٢ كيلو جول/مول
- ❖ ط و معقد منشط = ٩٦ كيلو جول/مول

فأوجد :-

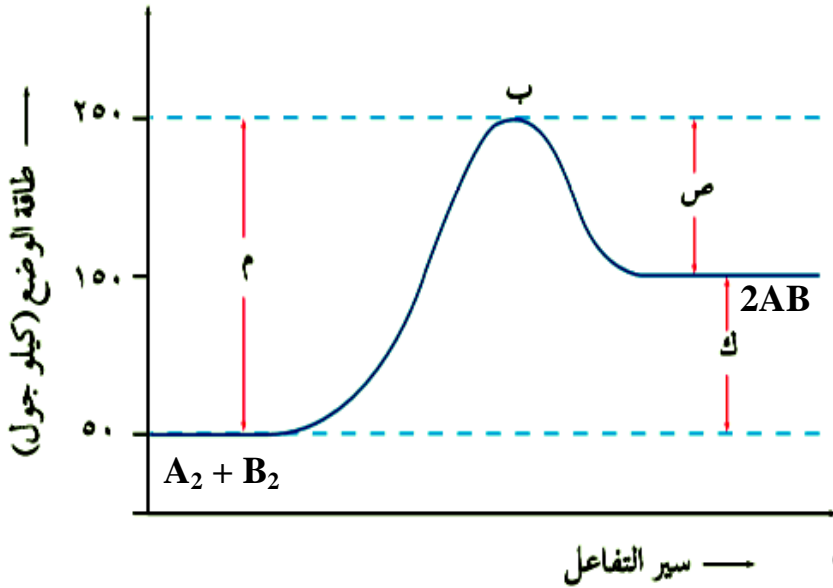
١- المحتوى الحراري ΔH

٢- E_{a1} أمامي

٣- E_{a2} عكسي

٤- أيهما أسرع تكوّن F أم تفككه .

سؤال : الرسم الآتي يمثل منحنى طاقة الوضع لسير التفاعل $A_2 + B_2 \rightleftharpoons 2AB$ ، أدرسه ثم أجب عن الأسئلة



- ١- إلام تشير الرموز م، ب، ص، ك؟
- ٢- هل التفاعل طارد أم ماص؟
- ٣- ما مقدار ط و متفاعلات
- ٤- ما مقدار ط و نواتج
- ٥- ما مقدار ط و المعقد المنشط
- ٦- احسب المحتوى الحراري ΔH
- ٧- احسب E_{a1} أمامي
- ٨- احسب E_{a2} عكسي
- ٩- أي الأجزاء هو الأكثر استقراراً؟
- ١٠- أي الأجزاء هو الأقل استقراراً؟
- ١١- أيهما أسرع تكوّن AB أم تفككه؟
- ١٢- أعد كتابة التفاعل متضمناً ΔH
- ١٣- ارسم حالة المعقد المنشط (التصادم الفعال)

الحل ...

(١) م: E_{a1} أمامي ب: حالة المعقد المنشط ص: E_{a2} عكسي ك: المحتوى الحراري ΔH

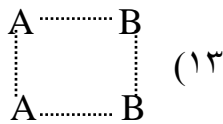
(٢) ماص (٣) ٥٠ كيلو جول (٤) ١٥٠ كيلو جول (٥) ٢٥٠ كيلو جول

(٦) $\Delta H = 100 - 50 = 50$ كيلو جول (٧) ٢٠٠ كيلو جول (٨) ١٠٠ كيلو جول

(٩) المتفاعلات ($A_2 + B_2$) (١٠) ب (المعقد المنشط)

(١١) تفككه

(١٢) $A_2 + B_2 + 100 \text{ KJ/mol} \rightleftharpoons 2AB$



سؤال : في التفاعل الافتراضي : $D + G + 65 \text{ KJ/mol} \rightleftharpoons X$ ، إذا علمت أن

❖ ط و متفاعلات = ١٠ كيلو جول

❖ $E_{a2} = 35$ كيلو جول

فأوجد :-

(١) ط و النواتج

(٢) E_{a1}

(٣) ط و معقد منشط

(٤) أيهما أسرع تكوّن X أم تكون $D + G$

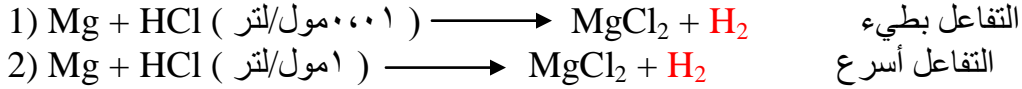
العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل

والآن ما هي العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل وكيف يمكن تفسير آلية عملها باستخدام نظرية التصادم ؟

(١) تركيز المواد المتفاعلة

((زيادة التركيز تزيد عدد الدقائق في وحدة الحجم فتزداد عدد التصادمات الكلية المحتملة فتزداد التصادمات الفعالة فتزداد سرعة التفاعل)) .

مثال ...



والدليل ...

في التفاعل الثاني يتصاعد غاز الهيدروجين H_2 ذو اللون الرمادي بسرعة أكبر .

التفسير ...

زيادة تركيز HCl يزيد من عدد أيونات H^+ و Cl^- في وحدة الحجم ، فتزداد عدد التصادمات الكلية والفعالة فتزداد سرعة التفاعل .

(٢) طبيعة ونوع المواد المتفاعلة

((تختلف المواد في سرعة تفاعلها تبعاً لاختلاف تركيبها الكيميائي وخصائصها))

مثال(١)...

يتفاعل الصوديوم Na مع الماء H_2O بسرعة أكبر من تفاعل المغنيسيوم Mg مع الماء H_2O

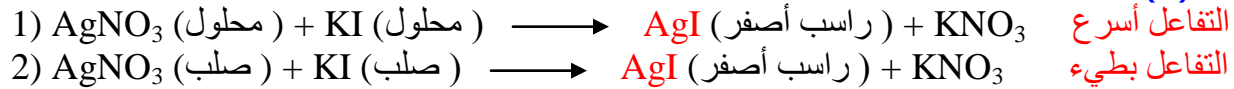
الدليل ...

مجرد وضع Na في الماء تبدأ عملية فوران شديدة في الوعاء بينما يحتاج Mg لوقت أطول بكثير لذلك .

التفسير ...

Na أنشط كيميائياً من Mg وذلك بسبب التركيب الكيميائي حيث يوجد e واحد في المدار الأخير عند Na مما يُسهّل فقده ، بينما يوجد $2e$ في المدار الأخير عند Mg فيكون الفقد أصعب .

مثال(٢)...



الدليل ...

في التفاعل الأول يظهر الراسب الأصفر بسرعة أكبر من التفاعل الثاني .

التفسير ...

لأن أيونات المواد المتفاعلة في حالة المحاليل تكون حرة الحركة فتزداد عدد التصادمات الكلية المحتملة ، فتزداد عدد التصادمات الفعالة فتزداد سرعة التفاعل .
أما المواد المتفاعلة في الحالة الصلبة تكون مقيدة الحركة فيكون تفاعلها بطيء جداً .

(٣) مساحة سطح المواد المتفاعلة في الحالة الصلبة

((سرعة تفاعل المواد الصلبة وهي على شكل مسحوق أكبر منه في حالة القطع الصلبة الكبيرة))

مثال(١) ... طباشير (مسحوق) + خلّ : يتصاعد غاز CO_2 بشكل أسرع

طباشير (قطع كبيرة) + خلّ : يتصاعد غاز CO_2 بشكل بطيء

مثال(٢) ... يصدأ ٢٠ غم من برادة الحديد بشكل أسرع من سلك حديد كتلته ٢٠ غم .

التفسير ... مساحة السطح المعرض للتفاعل في حالة المسحوق والبرادة أكبر منه في حالة القطع الكبيرة والسلك

فتزداد عدد التصادمات الكلية المحتملة والفعالة فتزداد سرعة التفاعل .

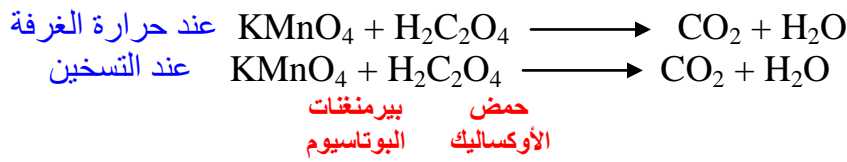
(٤) درجة الحرارة

((زيادة درجة الحرارة يزيد من متوسط الطاقة الحركية للجزيئات فتزداد عدد الجزيئات التي تمتلك طاقة التنشيط E_a فتزداد عدد التصادمات الفعالة فتزداد سرعة التفاعل)) .

مثال (١) ... نرفع درجة الحرارة لإنضاج الطعام بسرعة أكبر .

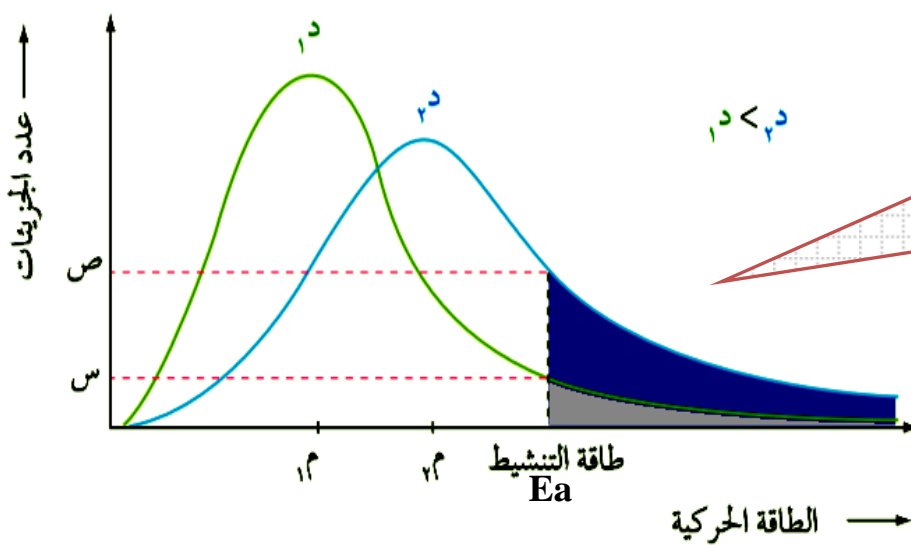
مثال (٢) ... توضع الأطعمة وعبوات الأدوية في الثلاجة لمنع فسادها .

مثال (٣) ...



يبقى اللون بنفسجي بعد ١٠ دقائق
 يختفي اللون البنفسجي بعد ١٠ دقائق

ولتفسير أثر الحرارة على سرعة التفاعل نستخدم مخطط (ماكسويل - بولتزمان)



مخطط ماكسويل - بولتزمان

هو مخطط يبين توزيع الطاقة الحركية على جزيئات مادة ما عند درجات حرارة مختلفة .

من المخطط نلاحظ الآتي :

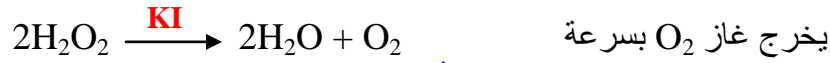
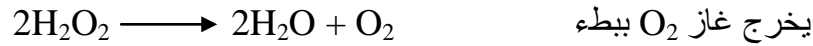
- (١) تغير درجة الحرارة لا يؤثر على قيمة طاقة التنشيط E_a للتفاعل .
- (٢) عند (٢د) فإن عدد الجزيئات التي تمتلك E_a أكبر من عدد الجزيئات التي تمتلك E_a عند (١د) وكلما زادت عدد الجزيئات التي تمتلك E_a تزداد سرعة التفاعل .
- (٣) $١م$: هي متوسط الطاقة الحركية للجزيئات عند $١د$
 $٢م$: هي متوسط الطاقة الحركية للجزيئات عند $٢د$
 ونلاحظ أن $١م < ٢م$
- (٤) $س$: هي عدد الجزيئات التي تمتلك طاقة التنشيط E_a عند $١د$
 $ص$: هي عدد الجزيئات التي تمتلك طاقة التنشيط E_a عند $٢د$
 ونلاحظ أن $ص < س$

الخلاصة ...

(بما أن متوسط الطاقة الحركية يزداد عند زيادة درجة الحرارة مع بقاء E_a ثابتة إذا تزداد عدد الجزيئات التي تمتلك E_a فتزداد عدد التصادمات الفعالة فتزداد سرعة التفاعل) .

❖ العوامل المساعدة : هي مواد تعمل على زيادة سرعة التفاعلات الكيميائية دون أن تُستهلك أثناء التفاعل .

مثال (١) يُستخدم أكسيد الفناديوم V_2O_5 لتسريع إنتاج حمض الكبريتيك H_2SO_4 المستخدم بكثرة في الصناعات .
مثال (٢) ...



- يوديد البوتاسيوم **KI** يساعد على تحلل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 بسرعة والدليل تصاعد غاز الأوكسجين بسرعة أكبر .

- بما أن **KI** عامل مساعد ، إذا يدخل إلى التفاعل ويخرج دون أن يُستهلك (لا تتغير كتلته) .

مثال (٣) ...

الأنزيمات : هي مواد تنتجها خلايا جسم الكائن الحي تعمل على تخفيض طاقة التنشيط للتفاعلات الحيوية وبذلك تسرع العمليات الحيوية في الجسم .

فمثلاً ... يحترق السكر داخل الجسم عند درجة حرارة $37^\circ C$ بينما يحتاج درجة حرارة أكبر بكثير ليحترق خارجه ، والسبب في ذلك وجود أنزيمات داخل الجسم مسؤولة عن ذلك .

أمثلة على الأنزيمات :-

١ . أنزيم الأميليز : يعمل على تحليل النشا الموجود في الطعام داخل الفم .

٢ . الأنزيمات الهاضمة في المعدة .

٣ . الأنزيمات الموجودة في مسببات المرض (البكتيريا) .

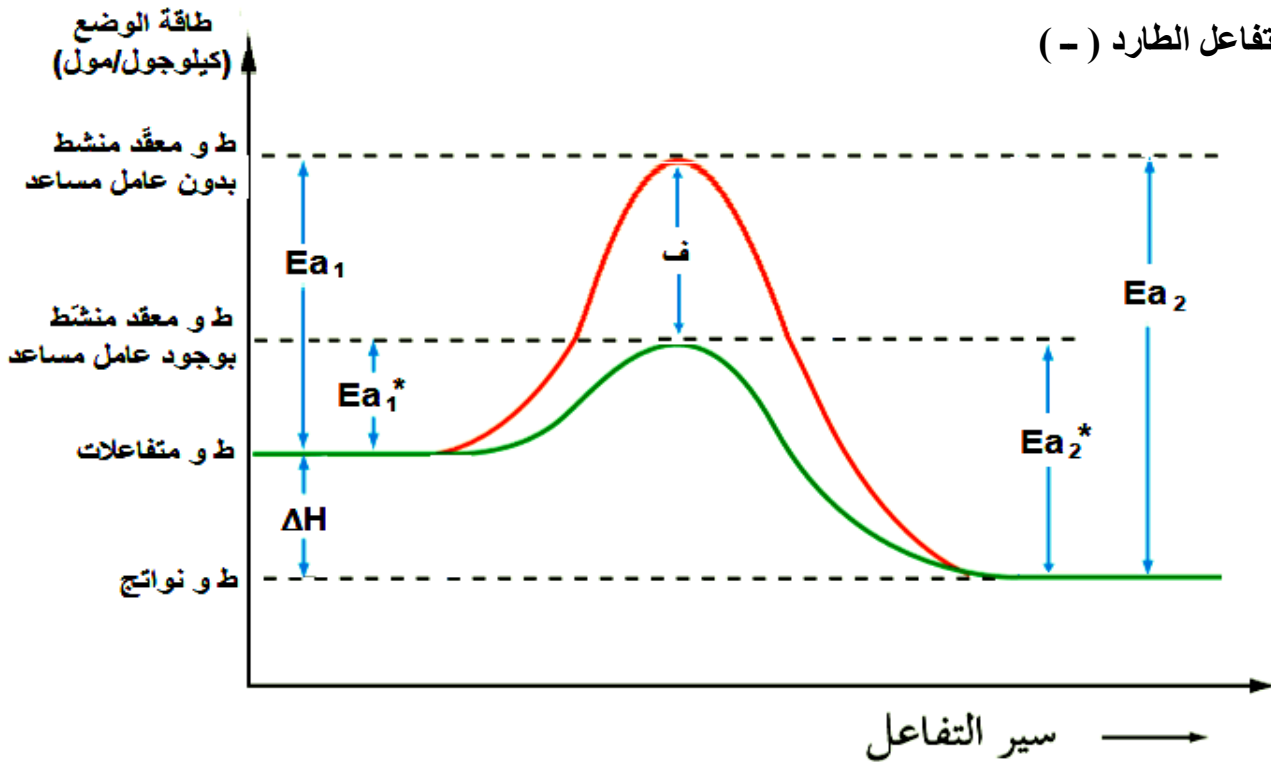
❖ الهدف من استخدام العامل المساعد : تقليل زمن حدوث التفاعل وبالتالي زيادة الإنتاج .

والآن يمكن توضيح أثر إضافة العامل المساعد على منحنى تغيير الطاقة للتفاعلات المختلفة ، ولكن كيف؟

❖ آلية عمل العامل المساعد :

يدخل العامل المساعد إلى التفاعل فيكون مسار بديل لسير التفاعل حيث يقلل طاقة التنشيط E_a للتفاعل فتزداد عدد الجزيئات التي تمتلك طاقة التنشيط فتزداد عدد التصادمات الكلية والفعالة فتزداد سرعة التفاعل .

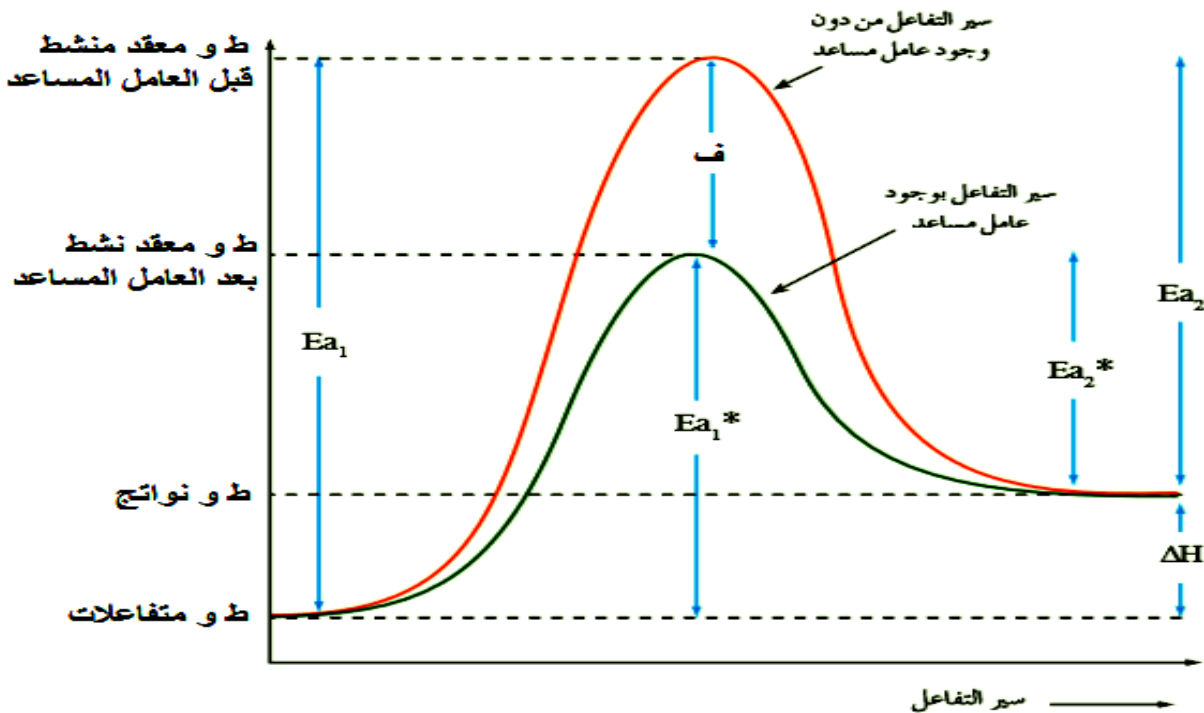
(١) في التفاعل الطارد (-)



حيث أن :-

- (١) Ea_1 : طاقة التنشيط الأمامي قبل (بدون) استخدام العامل المساعد .
- (٢) Ea_1^* : طاقة التنشيط الأمامي بعد (مع) استخدام العامل المساعد .
- (٣) Ea_2 : طاقة التنشيط العكسي قبل (بدون) استخدام العامل المساعد .
- (٤) Ea_2^* : طاقة التنشيط العكسي بعد (مع) استخدام العامل المساعد .
- (٥) f : فرق الطاقة للمعقد المنشط نتيجة استخدام العامل المساعد .

(٢) في التفاعل الماص (+)



حيث أن :-

- (١) E_{a1} : طاقة التنشيط الأمامي قبل دخول العامل المساعد .
- (٢) E_{a1}^* : طاقة التنشيط الأمامي بعد دخول العامل المساعد .
- (٣) E_{a2} : طاقة التنشيط العكسي بدون العامل المساعد .
- (٤) E_{a2}^* : طاقة التنشيط العكسي بوجود عامل مساعد .

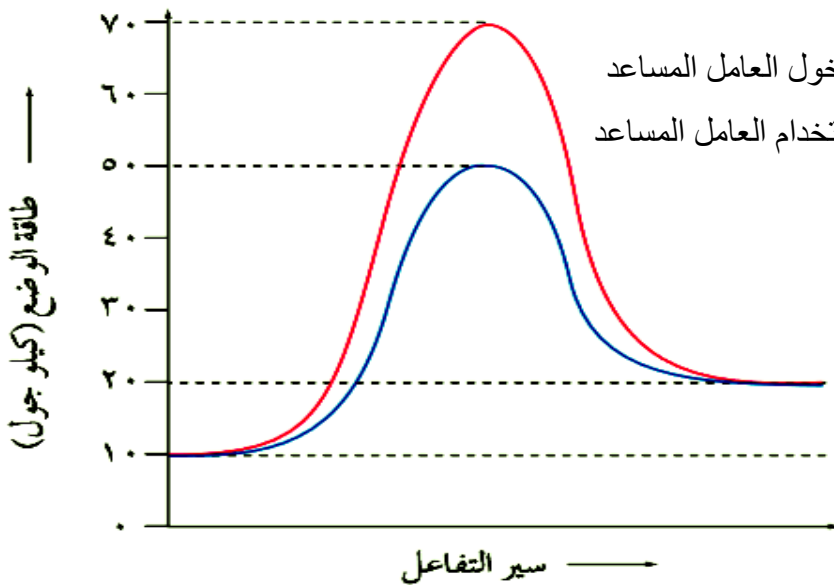
مما سبق نلاحظ أن :

العامل المساعد
يُغيّر مسار التفاعل
ليصبح التفاعل
أسرع

العامل المساعد لا يؤثر على قيمة كل من
١ - طاقة وضع المتفاعلات
٢ - طاقة وضع النواتج
٣ - المحتوى الحراري ΔH

بعد دخول العامل المساعد إلى التفاعل
فإن طاقة التنشيط الأمامي والعكسي
وطاقة المعقد المنشط جميعها تقل
بنفس المقدار (ف) .

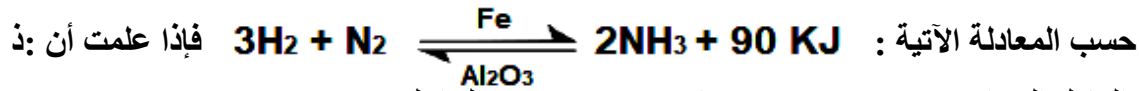
سؤال : أدرس منحنى تغير الطاقة الآتي والذي يمثل التفاعل $E + B \rightleftharpoons C + D$ ثم أجب عما يليه



- ١ - ما مقدار طاقة وضع النواتج
- ٢ - ما مقدار طاقة وضع المعقد المنشط بعد دخول العامل المساعد
- ٣ - ما مقدار التغير في طاقة الوضع نتيجة استخدام العامل المساعد
- ٤ - احسب المحتوى الحراري ΔH
- ٥ - هل التفاعل طارد أم ماص ؟
- ٦ - احسب E_{a1}
- ٧ - احسب E_{a2}^*
- ٨ - أيهما أسرع تكون C أم تكون B .

الحل

سؤال : يتفاعل الهيدروجين مع النيتروجين لإنتاج الأمونيا بوجود خليط من الحديد وأكسيد الألومنيوم كعامل مساعد



فإذا علمت أن ذ:

١- كتلة العامل المساعد ($\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}$) تساوي ٣ غم عند بدء التفاعل .

٢- E_{a2}^* تساوي ١٦٣ كيلو جول

فأوجد :-

(١) E_{a1}^*

(٢) ΔH

(٣) كتلة العامل المساعد في نهاية التفاعل

(٤) بيّن بالرسم أثر وجود وغياب العامل المساعد في التفاعل السابق .

الحل ...

سؤال : في التفاعل الافتراضي $2\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons 2\text{C}$ إذا علمت أن

❖ ط و المتفاعلات تساوي ٢٤٠ كيلو جول

❖ ط و نواتج تساوي ٢٠ كيلو جول

❖ طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي E_{a1} تساوي ١٠ كيلو جول

فأوجد :-

(١) E_{a2} ط و معقد منشط (٢) ما أثر زيادة درجة الحرارة على E_a للتفاعل ؟

(٤) عند إضافة عامل مساعد إلى التفاعل قلت طاقة التنشيط الأمامي بمقدار ٢ كيلو جول ، فأوجد :-

أ- E_{a1}^* ب- E_{a2}^* ج- ΔH د- ط و معقد منشط بوجود عامل مساعد

الحل ...

سؤال : ادرس المعلومات الآتية المتعلقة بتفاعل ما ثم أجب عن الأسئلة التي تليها

أ- $\Delta H = -30$ كيلو جول .

ب- ط و متفاعلات = 40 كيلو جول

ج- ط و معقد منشط بدون عامل مساعد = 60 كيلو جول .

د- مقدار الانخفاض في طاقة المعقد المنشط نتيجة استخدام العامل المساعد = 8 كيلو جول .

(1) ما مقدار ط و نواتج

(2) ما مقدار ط و معقد منشط بوجود عامل مساعد

(3) احسب E_{a1}

(4) احسب E_{a1}

(5) احسب E_{a2}

الحل

طاقة
الوضع

سؤال : يمثل الشكل المجاور منحنى طاقة الوضع (كيلو جول / مول) للتفاعل الآتي



1. ما قيمة كل مما يأتي :

(أ) ط و متفاعلات

(ب) ط و معقد منشط بدون عامل مساعد

(ج) ط و نواتج بدون عامل مساعد

(د) E_{a2}

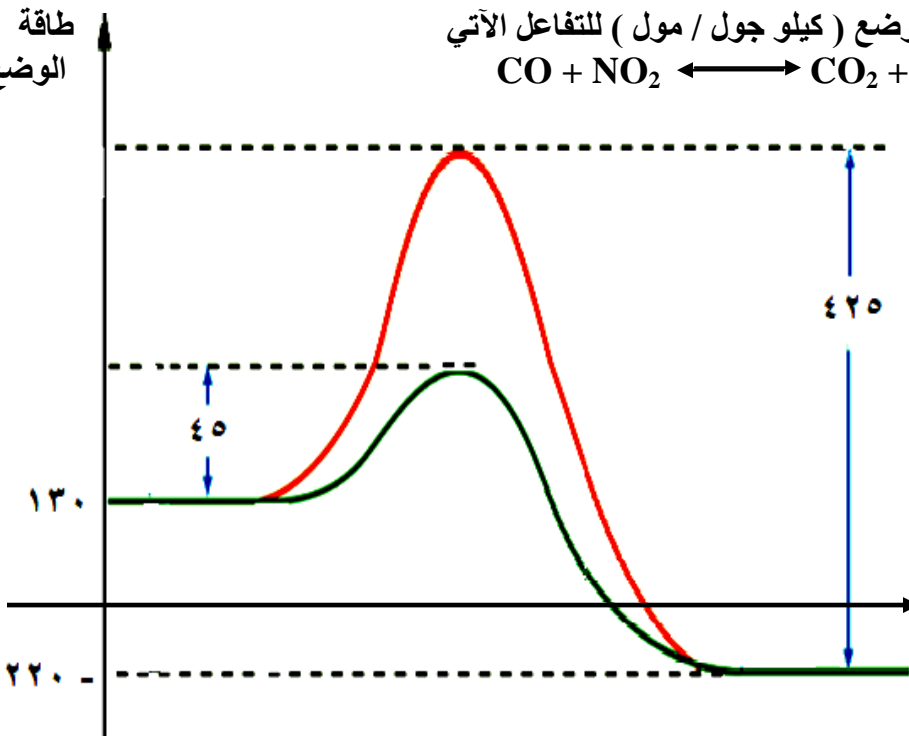
(هـ) E_{a1}

(و) ΔH متضمناً الإشارة

2. هل التفاعل طارد أم ماص للطاقة ؟

3. أعد كتابة التفاعل متضمناً ΔH

الحل ...



1- (أ) 130 كيلو جول (ب) 205 كيلو جول (ج) 220 كيلو جول

(د) 395 كيلو جول (هـ) 75 كيلو جول (و) 350 كيلو جول

2- طارد



قائمة المصطلحات

المصطلح باللغة العربية	المصطلح باللغة الإنجليزية	المدلول
التصادم الفعال	Effective Collision	التصادم الذي يؤدي الى تكوين نواتج.
رتبة التفاعل للمادة	Reaction Order	قيمة عددية صحيحة أو كسرية، تبين أثر التركيز في سرعة التفاعل وتعتمد على طريقة سير التفاعل، ويمكن حسابها من التجربة العملية.
سرعة ابتدائية	Initial Rate	سرعة التفاعل لحظة خلط المواد المتفاعلة في بداية التفاعل أي عند الزمن صفر.
سرعة لحظية	Instantaneous Rate	سرعة التفاعل عند زمن معين خلال سير التفاعل.
طاقة التنشيط	Activation Energy (Ea)	هي الحد الأدنى من الطاقة الذي يجب توافره، لكسر الروابط بين ذرات المواد المتفاعلة كي تتفاعل وتكوّن نواتج.
عوامل مساعدة	Catalysts	هي مواد تزيد من سرعة التفاعلات الكيميائية من دون أن تستهلك أثناء التفاعل.
قانون سرعة التفاعل	Rate Law	علاقة رياضية تبين العلاقة بين سرعة التفاعل وتراكيز المواد المتفاعلة.
معدل سرعة التفاعل	Rate of Chemical Reaction	التغير في كميات إحدى المواد المتفاعلة أو الناتجة في وحدة زمن.
معقد منشط	Activated Complex	بناء غير مستقر بين المواد المتفاعلة والمواد الناتجة له طاقة وضع عالية.