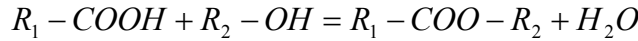
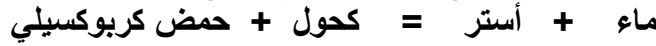


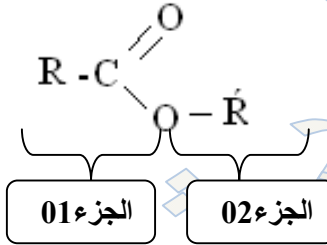
1- الأسترات:

مركبات عضوية صغتها العامة  $C_nH_{2n}O_2$  حيث:  $n \geq 2$  وتتحصل عليها بتفاعل حمض كربوكسيلي مع كحول في وجود حمض الكبريت الذي يلعب دور وسيط يساعد على تسريع التحول والذي ينمذج بتفاعل بصيغة التالي:



2- تسمية الأسترات:

يشتق أسماها من الحمض العضوي والكحول الموافقين، لذلك يحتوي على جزأين:

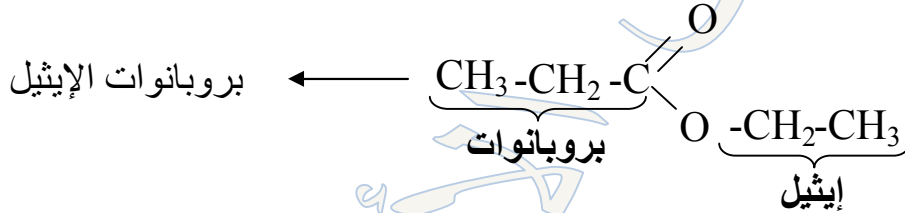


- الجزء 01 الشق الحمضي : نطلق عليه اسم الكانوات.

- الجزء 02: الشق الكحولي: نطلق عليه اسم الألكيل.

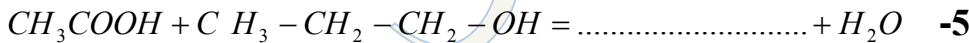
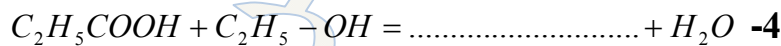
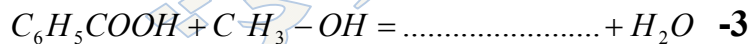
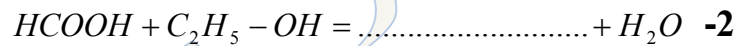
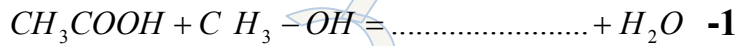
ويكون أسم الأستر على الشكل: الكانوات الألكيل

مثال:



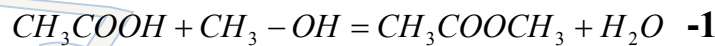
أمثلة بسيطة للتوضيح -01- :

أكمل التفاعلات التالية مع تسمية الأستر المتشكل:

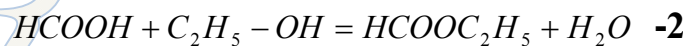


**الحل:**

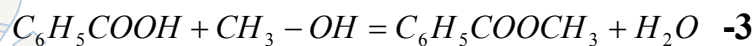
إكمال التفاعلات مع تسمية الأستر المتشكل:



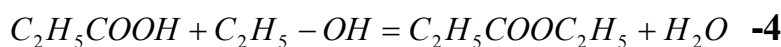
إسم الأستر:  $CH_3COOCH_3$  إيثانوات الميثيل



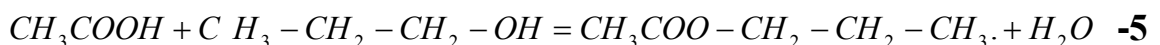
إسم الأستر:  $HCOOC_2H_5$  ميثانوات الإيثيل



إسم الأستر:  $C_6H_5COOCH_3$  بنزوات الميثيل



إسم الأستر:  $C_2H_5COOC_2H_5$  بروبانوات الإيثيل



إسم الأستر:  $CH_3COO - CH_2 - CH_2 - CH_3$  إيثانوات البروبيل.



1- الكحولات: مركبات عضوية صيغتها العامة  $R-OH$  أو  $C_nH_{2n+1}-OH$  حيث  $n$  عدد طبيعي غير معدوم وتصنف إلى ثلاث اصناف:

كحولات أولية	كحولات ثانوية	كحولات ثالثة
$R-CH_2-OH$	$R-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-R'$	$\begin{array}{c} R \\   \\ R-\underset{\text{OH}}{\text{C}}-R_2 \\   \\ 1 \quad 2 \end{array}$

تمرين تطبيقي 02:

لتكن لدينا الكحولات التالية:  $CH_3-OH$  ،  $C_2H_5-OH$  ،  $C_3H_7-OH$  ،  $C_4H_9-OH$   
أكتب جميع الصيغ النصف مفصلة لكل كحول مع تسميتها وتصنيفها.  
الحل:

الصنف	الإسم	المماكبات	$C_nH_{2n+1}-OH$
أولي	بوتان-1- أول	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-OH$	$C_4H_9-OH$
أولي	2- مثيل بروبان-1- أول	$\begin{array}{c} CH_3-CH-CH_2-OH \\   \\ CH_3 \end{array}$	
ثانوي	بوتان-2- أول	$CH_3-CH_2-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-CH_3$	
ثالثي	2- مثيل بروبان-2- أول	$\begin{array}{c} CH_3 \\   \\ CH_3-C-CH_3 \\   \\ OH \end{array}$	
أولي	بروبان-1- أول	$CH_3-CH_2-CH_2-OH$	$C_3H_7-OH$
ثانوي	بروبان-2- أول	$\begin{array}{c} CH_3-CH-CH_3 \\   \\ OH \end{array}$	
أولي	إيثانول	$CH_3-CH_2-OH$	$C_2H_5-OH$
أولي	ميثانول	$CH_3-OH$	$CH_3-OH$

2- الأحماض الكربوكسيلية:

مركبات عضوية صيغتها العامة  $R-COOH$  أو  $C_nH_{2n+1}-COOH$  حيث  $n$  عدد طبيعي.

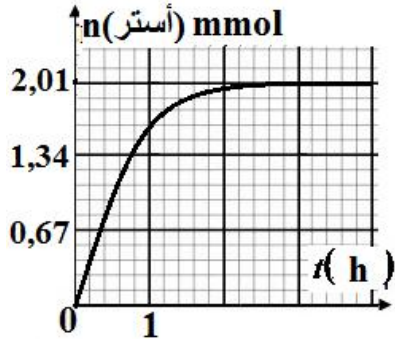
ملاحظة	الإسم	$C_nH_{2n+1}-COOH$	
الحمض الكربوكسيلي $C_6H_5COOH$	حمض ميثانويك	$\begin{array}{c} O \\    \\ H-C-OH \end{array}$	$HCOOH$
عبارة عن حمض عطري يدعى حمض البنزويك	حمض إيثانويك	$\begin{array}{c} O \\    \\ CH_3-C-OH \end{array}$	$CH_3COOH$
$\begin{array}{c} O \\    \\ CH_5-C-OH \\ 6 \quad 5 \end{array}$	حمض بروبانويك	$\begin{array}{c} O \\    \\ CH_3-CH_2-C-OH \end{array}$	$C_2H_5COOH$

## 3- خصائص تفاعل الأسترة: لتفاعل الأسترة مميزات نختصرها في كلمة (( ملاعب ))

1- محدود ( غير تام). 2- لا حراري 3- عكوس 4- بطيء

## تمرين تطبيقي 03

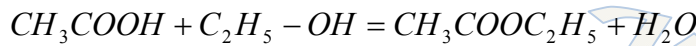
نحقق تجريبيا أسترة بتفاعل خليط متساوي المولات  $n_{\text{acid}} = n_{\text{alcohol}} = 3 \text{ mmol}$  من حمض الإيثانويك  $\text{CH}_3\text{COOH}$  والإيثانول  $\text{C}_2\text{H}_5 - \text{OH}$  في وجود حمض الكبريت. إن المتابعة الزمنية لهذا التحول تمكننا من رسم بيان تغيرات كمية مادة الأستر المتشكل بدلالة الزمن الشكل-01-



- 1- أكتب معادلة التفاعل وسم الأستر الناتج.
- 2- مثل جدول تقدم التفاعل.
- 3- عرف التقدم الأعظمي  $x_{\text{max}}$  وأحسب قيمته.
- 4- عرف التقدم النهائي  $x_f$  وأحسب قيمته.
- 5- أحسب نسبة التقدم النهائي  $\tau_f$  ماذا تستنتج؟

## الحل:

1- كتابة معادلة التفاعل:

إسم الأستر:  $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$  إيثانوات الإيثيل

2- تمثيل جدول تقدم التفاعل الأسترة يجب أن يؤخذ الماء بعين الاعتبار.

المعادلة		$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5 - \text{OH} = \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$			
الحالة	التقدم	كمية المادة			
إبتدائية	0	3mmol	3mmol	0	0
إنتقالية	x	3-x	3-x	x	x
نهائية (حالة توازن)	$x_f$	3- $x_f$	3- $x_f$	$x_f$	$x_f$

3- تعريف التقدم الأعظمي  $x_{\text{max}}$ :التقدم الأعظمي  $x_{\text{max}}$  هو التقدم الموافق لإستهلاك أحد المتفاعلين أو كلاهما ويحسب على إعتبار التفاعل تام.حساب التقدم الأعظمي  $x_{\text{max}}$ :

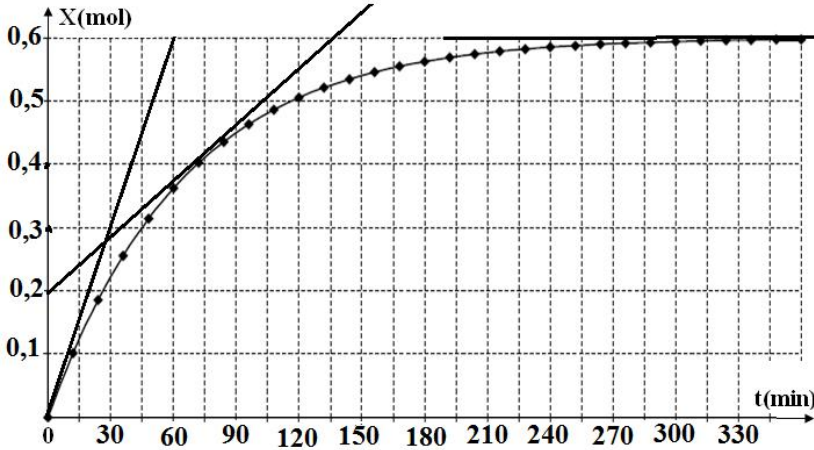
$$x_{\text{max}} = 3 \text{ mmol} \quad \text{إذن التقدم الأعظمي هو:} \quad \begin{cases} 3-x=0 \\ 3-x=0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x=3 \text{ mmol} \\ x=3 \text{ mmol} \end{cases}$$

4- تعريف التقدم النهائي  $x_f$ :التقدم النهائي  $x_f$  هو التقدم الموافق لتوقف الجملة عن التطور ويحسب من النتائج التجريبية.حساب التقدم النهائي  $x_f$ :من البيان نجد: كمية مادة الأستر النهائية المتشكلة هي:  $n_f(\text{este}) = 2,01 \text{ mmol}$ من الجدول نجد: كمية مادة الأستر النهائية المتشكلة هي:  $n_f(\text{este}) = x_f$ إذن قيمة التقدم النهائي هي:  $x_f = 2,01 \text{ mmol}$ 5- حساب نسبة التقدم النهائي  $\tau_f$ :

$$\tau_f = \frac{x_f}{x_{\text{max}}} = \frac{2,01}{3} = 0,67$$

بما أن  $\tau_f < 1$  نستنتج أن تفاعل الأسترة غير تام.

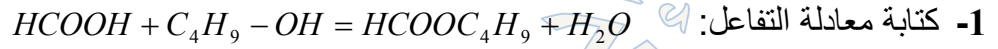
نحقق تجريبيا أسترة بتفاعل خليط متساوي المولات  $n_{0acid}=n_{0alcohol}=1mol$  من حمض الميثانويك  $HCOOH$  وكحول صيغته المجملية  $C_4H_9 - OH$  في وجود قطرات من حمض الكبريت. إن المتابعة الزمنية لهذا التحول تمكننا من



رسم بيان تغيرات التقدم  $x$  بدلالة الزمن  $x = f(t)$

- 1- أكتب معادلة التفاعل.
- 2- مثل جدول تقدم التفاعل مع تقديم حصلة كمية المادة للحالة النهائية.
- 3- أحسب سرعة التفاعل عند اللحظات الزمنية  $t = 330 \text{ min}$  ،  $t = 75 \text{ min}$  ،  $t = 0$  ناقش النتائج المتحصل عليها ماذا تستنتج؟
- 4- أحسب نسبة التقدم النهائي  $\tau_f$  ماذا تستنتج؟
- 5- ماذا تستخلص عن تحول الأسترة.

الحل:



- 2- تمثيل جدول تقدم التفاعل الأسترة:  
( من خلال البيان نلاحظ أن  $x_f = 0,6mol$  نعوض في الحالة النهائية من أجل تحديد حصلة كمية المادة).

المعادلة		$HCOOH + C_4H_9 - OH = HCOOC_4H_9 + H_2O$			
		كمية المادة (mol)			
الحالة	التقدم				
إبتدائية	0	1	1	0	0
إنتقالية	$x$	$1-x$	$1-x$	$x$	$x$
نهائية (حالة توازن)	$x_f$	$1-x_f$	$1-x_f$	$x_f$	$x_f$
	$x_f = 0,6$	0,4	0,4	0,6	0,6

- 3- حساب سرعة التفاعل: لدينا عبارة سرعة التفاعل هي:  $v = \frac{dx}{dt}$

$$\leftarrow \text{عند اللحظة } t = 0 \quad v = \frac{dx}{dt} = \frac{0,6 - 0}{60 - 0} = 10^{-2} \text{ mol/min}$$

$$\leftarrow \text{عند اللحظة } t = 75 \text{ min} \quad v = \frac{dx}{dt} = \frac{0,6 - 0,2}{135 - 0} = 2,96 \times 10^{-3} \text{ mol/min}$$

$$\leftarrow \text{عند اللحظة } t = 330 \text{ min} \quad v = 0$$

مناقشة النتائج: السرعة عند اللحظة  $t=0$  اعظمية ثم تتناقص بمرور الزمن حتى تنعدم بعد مدة طويلة وذلك لأن الجملة تتطور نحو حالة التوازن.

الإستنتاج: نستنتج أن تحول الأسترة بطئ

- 4- حساب نسبة التقدم النهائي  $\tau_f$ :  $\tau_f = \frac{x_f}{x_{max}}$  التقدم النهائي  $x_f$ : من البيان نجد:  $x_f = 0,6mol$

$$\tau_f = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{0,6}{1} = 0,6 \text{ وعليه: } x_{max} = 1mol$$

بما أن  $\tau_f < 1$  نستنتج أن تفاعل الأسترة غير تام.

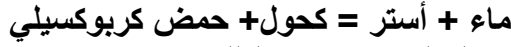
5- الإستخلاص:

نستخلص بأن تحول الأسترة بطئ وغير تام فهو يندمج بتفاعل يحدث في إتجاهين متعاكسين بحيث في النهاية تكون الجملة في حالة توازن كيميائي.

4- حالة التوازن:

إن تفاعل الأسترة يتطور تلقائيا نحو حالة التوازن فبعد مدة كافية نحصل على مزيج في حالة « توازن حركي » و تعني هذه العبارة أن السرعة الظاهرية معدومة بينما يستمر التفاعل في الإتجاهين حيث تكون سرعة الأسترة مساوية لسرعة إماهة الإستر.

1- ثابت التوازن  $K$  : يمثل ثابت التوازن كسر التفاعل للحالة النهائية  $K$



( الماء في هذه الحالة يعتبر ناتج فلذلك تركيزه يؤخذ بعين الإعتبار).

$$* K = \frac{n_f(\text{ماء}) \cdot n_f(\text{أستر})}{n_f(\text{كحول}) \cdot n_f(\text{حمض.ك})}$$

$$K = \frac{[ \text{أستر} ]_f \cdot [ \text{ماء} ]_f}{[ \text{كحول} ]_f \cdot [ \text{حمض} ]_f}$$

- الماء ناتج وليس مذيب  
- حجم الوسط التفاعلي  
V يعتبر ثابت

ملاحظات مهمة جدا

- 1- إن ثابت توازن تفاعل الأسترة لايتعلق بدرجة الحرارة لأن تفاعل الأسترة لاجراري. وكذلك لايتعلق بالحالة الابتدائية للجملة سواء كان المزيج الابتدائي متساوي المولات أم غير متساوي المولات .
- 2- إن ثابت التوازن يتعلق بصنف الكحول المستعمل فقط مهما كان المزيج الابتدائي ودرجة الحرارة.

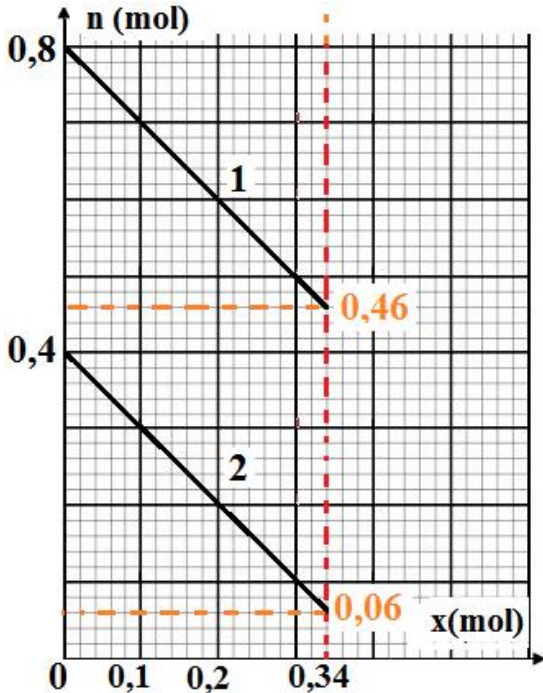
صنف الكحول المستعمل	ثابت التوازن $K$	إذا كان الكحول المستعمل اولي فإن: $K \approx 4$ ولايتعلق بدرجة الحرارة أو باحالة الابتدائية للجملة.
كحول أولي: $R-CH_2-OH$	$K \approx 4$	
كحول ثانوي: $R-CH-OH$	$K = 2,25$	إذا كان الكحول المستعمل ثانوي فإن $K = 2,25$ ولايتعلق بدرجة الحرارة أو باحالة الابتدائية للجملة.

تمرين تطبيقي 05:

نخضر مزيجا في اللحظة  $t=0$  يتكون من  $n_1 = 0,8mol$  من حمض البروبانويك  $C_2H_5COOH$  و  $n_2 = 0,4mol$  من كحول صيغته  $C_3H_7-OH$  في وجود حمض الكبريت.

إن المتابعة الزمنية لهذا التحول تمكننا من رسم البيان 1 و 2 الشكل المقابل

- 1- أكتب معادلة التفاعل .
- 2- إعتماذ على البيانات أكمل جدول تقدم التفاعل التالي:



المعادلة		$C_2H_5COOH + C_3H_7-OH = \dots + \dots$			
الحالة	التقدم	كمية المادة (mol)			
إبتدائية	0				
إنتقالية	x				
	$x = 0,1$				
	$x = 0,2$				
	$x = 0,3$				
نهائية (توازن)	$x_f = \dots$				

3- أكتب عبارة كسر التفاعل  $Q_r$  بدلالة التقدم  $x$ ، ثم إستنتج عبارة كسر التفاعل للحالة النهائية  $Q_{r,f}$

4- ماذا يمثل كسر التفاعل للحالة النهائية؟ أحسب قيمته وإستنتج صنف الكحول المستعمل.

5- أحسب كسر التفاعل من أجل قيم التقدم  $x$  التالية:  $x = 0$ ،  $x = 0,1$ ،  $x = 0,2$ ،  $x = 0,3$  ماذا تلاحظ؟ ماذا تستنتج؟

- 1- كتابة معادلة التفاعل:  $C_2H_5COOH + C_3H_7 - OH = C_2H_5COOC_3H_7 + H_2O$   
2- إكمال الجدول ( من خلال البيان نلاحظ أن  $x_f = 0,34 mol$  ).

3- كتابة عبارة  $Q_r$  بدلالة  $x$ :

$$Q_r = \frac{n_{estr} \times n_{eau}}{n_{al} \times n_{ac}}$$

ولديه نجد:

$$Q_r = \frac{x^2}{(0,4-x)(0,8-x)}$$

إذن عبارة  $Q_{rf}$ :

$$Q_{rf} = \frac{x_f^2}{(0,4-x_f)(0,8-x_f)}$$

4- يمثل كسر التفاعل للحالة النهائية ثابت التوازن  $Q_{rf} = K$

$$K = \frac{x_f^2}{(0,4-x_f)(0,8-x_f)} = \frac{(0,34)^2}{(0,4-0,34) \times (0,8-0,34)} = 4,18$$

بمأن ثابت التوازن  $K \approx 4$  فإن صنف الكحول أولي

5- أحسب كسر التفاعل من أجل قيم التقدم  $x$  التالية:  $x = 0, x = 0,1, x = 0,2, x = 0,3$  ماذا تلاحظ؟ ماذا تستنتج؟

$$Q_{ri} = \frac{x^2}{(0,4-x)(0,8-x)} = 0 \text{ من أجل } x = 0 \text{ نجد:}$$

$$Q_{r1} = \frac{x^2}{(0,4-x)(0,8-x)} = \frac{(0,1)^2}{(0,4-0,1) \times (0,8-0,1)} = 4,76 \times 10^{-2} \text{ من أجل } x = 0,1 \text{ نجد:}$$

$$Q_{r2} = \frac{x^2}{(0,4-x)(0,8-x)} = \frac{(0,2)^2}{(0,4-0,2) \times (0,8-0,2)} = 3,33 \times 10^{-1} \text{ من أجل } x = 0,2 \text{ نجد:}$$

$$Q_{r3} = \frac{x^2}{(0,4-x)(0,8-x)} = \frac{(0,3)^2}{(0,4-0,3) \times (0,8-0,3)} = 1,8 \text{ من أجل } x = 0,3 \text{ نجد:}$$

$$Q_{ri} < Q_{r1} < Q_{r2} < Q_{r3} < K$$

ولديه نستنتج بأن الجملة تتطور تلقائيا نحو حالة التوازن وذلك في الإتجاه المباشر للتفاعل (تشكل الأستر).

$$Q_{ri} < Q_{r1} < Q_{r2} < Q_{r3} < K \rightarrow Q_r$$

### 5- معيار التطور التلقائي:

يمثل كسر التفاعل  $Q_r$  معيار التحديد وتوقع جهة تطور التلقائي لجملة كيميائية:

1-  $Q_{ri} < k$  الجملة تتطور تلقائيا في الإتجاه المباشر للتفاعل تشكل الأستر.

2-  $Q_{ri} = k$  الجملة في حالة توازن (الجملة لا تتطور).

3-  $Q_{ri} > k$  الجملة تتطور تلقائيا في الإتجاه العكسي للتفاعل إمهاة الأستر.

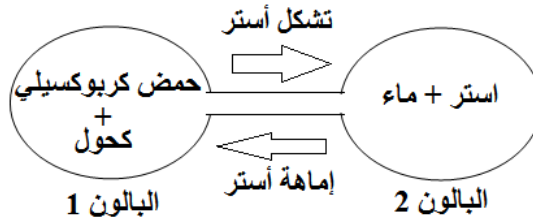
### 6- التأثير على حالة التوازن الكيميائي لتفاعل الأستر:

في حالة النهائية تمتلك الجملة توازن حركي بحيث سرعة تشكل الأستر تساوي سرعة إمهاة الأستر وتبقى الجملة على هذه الحالة إن لم نحدث تغيرا فيها.

نماثل حالة التوازن بـ بالونين بهما كمية معتبرة من الهواء في حالة التوازن.

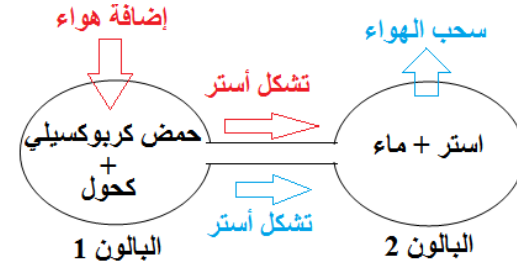
(بالون 1 يحتوي متفاعلات) و (بالون 2 يحتوي نواتج) ، نمذج التغيرات الحادثة في الأشكال التالية:

تبقى الجملة في حالة توازن  
سرعة تشكل الأستر تساوي سرعة  
إماهة الأستر



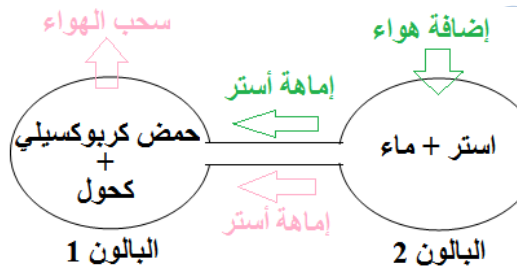
حالة التوازن

من أجل تطور الجملة تلقائيا في  
الإتجاه المباشر تشكل الأستر نقوم بـ:  
1- إضافة أحد المتفاعلات.  
2- نزع احد النواتج.



\* في حالة إضافة هواء للبالون 1 فإن  
الهواء ينزاح من بالون 1 إلى 2.  
\* سحب الهواء من البالون 2 يؤدي إلى  
إنزياح الهواء من البالون 1 إلى 2.

من أجل تطور الجملة تلقائيا في  
الإتجاه العكسي إماهة الأستر نقوم بـ:  
1- إضافة أحد النواتج.  
2- نزع احد المتفاعلات.



\* في حالة إضافة هواء للبالون 2 فإن  
الهواء ينزاح من بالون 2 إلى 1.  
\* سحب الهواء من البالون 1 يؤدي إلى  
إنزياح الهواء من البالون 2 إلى 1.

### تمرين تطبيقي 06

نمزج 0,6mol من حمض الإيثانويك  $CH_3COOH$  و 0,6mol من  $C_4H_9-OH$  في وجود قطرات من حمض الكبريت المركز وبالتسخين المرتد لمدة من الزمن بعد ذلك يسكب المزيج في ماء مالح

نلاحظ طفو مادة عضوية إذا علمت أن ثابت التوازن هو  $K = 4$  .

1- ماهودور التسخين المرتد؟ ولماذا نستعمل الماء المالح؟

2- مثل جدول تقدم التفاعل.

3- أحسب التقدم النهائي  $x_f$  .

4- حدد حصيللة كمية المادة للحالة النهائية.

5- نضيف لحالة التوازن 0,2mol من نفس الكحول أحسب عندئذ كسر التفاعل

للحالة الابتدائية وحدد جهة تطور الجملة ثم جد التركيب المولي لحالة التوازن الجديدة.

الحل:

1- التسخين المرتد يعمل على تسريع التفاعل والمحافظة على كمية المادة

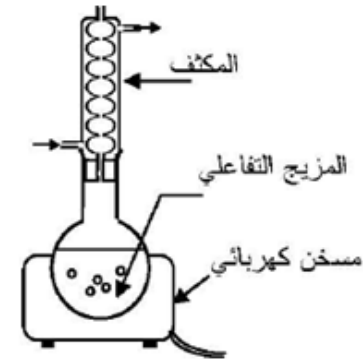
أما الماء المالح من أجل فصل المادة العضوية.

2- جدول تقدم التفاعل:

3- حساب التقدم النهائي  $x_f$

$$\text{لدينا: } K = \frac{n_{f\text{ estr}} \times n_{f\text{ eau}}}{n_{f\text{ al}} \times n_{f\text{ ac}}}$$

$$K = \frac{x_f^2}{(0,6 - x_f)^2}$$



المعادلة		$CH_3COOH + C_4H_9 - OH = C H_3COOC_4H_9 + H_2O$			
الحالة	التقدم	كمية المادة (mol)			
إبتدائية	0	0,6	0,6	0	0
إنتقالية	$x$	$0,6 - x$	$0,6 - x$	$x$	$x$
نهائية	$x_f$	$0,6 - x_f$	$0,6 - x_f$	$x_f$	$x_f$



4- حصيد كمية المادة النهائية:

$$n_f(al) = 0,6 - x_f = 0,2 mol$$

$$n_f(acid) = 0,6 - x_f = 0,2 mol$$

$$n_f(ester) = x_f = 0,4 mol$$

$$n_f(eau) = x_f = 0,4 mol$$

إذن:  $2(0,6 - x_f) = x_f$   
 $1,2 - 2x_f = x_f$   
 $1,2 = 3x_f$   
 $x_f = \frac{1,2}{3} = 0,4 mol$

$$4 = \frac{x_f^2}{(0,6 - x_f)^2}$$

بجذر الطرفين نجد

$$2 = \frac{x_f}{(0,6 - x_f)}$$

5- عند إضافة  $0,2 mol$  من نفس الكحول لحالة التوازن تصبح لدينا حالة ابتدائية جديدة موضحة في الجدول الموالي:

المعادلة		$CH_3COOH + C_4H_9 - OH = C H_3COOC_4H_9 + H_2O$			
الحالة	التقدم	كمية المادة (mol)			
إبتدائية جديدة	0	0,2	0,2 + 0,2	0,4	0,4
إنتقالية	x	0,2 - x	0,4 - x	0,4 + x	0,4 + x
توازن جديد	$x_f$	0,2 - $x_f$	0,4 - $x_f$	0,4 + $x_f$	0,4 + $x_f$

حساب كسر التفاعل الإبتدائي

تحديد جهة التطور التلقائي للجملة  
 بما أن:  $Q_{r,i} < K$  تتطور الجملة تلقائيا في الاتجاه المباشر، تشكل الأستر  
 وعليه:

$$Q_{ri} = \frac{n_i(estr) \times n_i(eau)}{n_i(al) \times n_i(ac)}$$

$$Q_{ri} = \frac{(0,4)^2}{0,2 \times 0,4}$$

$$Q_{ri} = 2$$

- يحدث تناقص في كمية المادة للحمض الكربوكسيلي والكحول
- زيادة في كمية مادة الماء والأستر

إيجاد التركيب المولي لحالة التوازن الجديدة: نقوم بحساب التقدم النهائي  $x_f$  للحالة الجديدة:

لدينا ثابت التوازن K:

$$K = \frac{(0,4 + x_f)^2}{(0,2 - x_f)(0,4 - x_f)}$$

$$4 = \frac{0,16 + 0,8x_f + x_f^2}{0,08 - 0,2x_f - 0,4x_f + x_f^2}$$

$$4 = \frac{0,16 + 0,8x_f + x_f^2}{0,08 - 0,6x_f + x_f^2}$$

و عليه نجد:

$$4x_f^2 - 2,4x_f + 0,32 = x_f^2 + 0,8x_f + 0,16$$

$$3x_f^2 - 3,2x_f + 0,16 = 0$$

$$\Delta = (-3,2)^2 - 4(3 \times 0,16)$$

$$\Delta = 8,32$$

$$\sqrt{\Delta} = 2,88$$

بما أن:  $\sqrt{\Delta} = 2,88 > 0$  يوجد حلين هما:

$$x_{f(1)} = \frac{-(-3,2) + 2,88}{2 \times 3} = 1,013 mol$$

$$x_{f(2)} = \frac{-(-3,2) - 2,88}{2 \times 3} = 0,0533 mol$$

القيمة الصغرى تقبل أما الكبرى ترفض لأنها تجعل كمية المادة سالبة.

إذن التقدم النهائي لحالة التوازن الجديدة هو:  $x_f = 0,0533 mol$  بالتعويض في الحالة النهائية للجدول السابق نجد:

المعادلة		$CH_3COOH + C_4H_9 - OH = C H_3COOC_4H_9 + H_2O$			
حالة التوازن	التقدم	كمية المادة (mol)			
جديد	$x_f = 0,0533 mol$	$0,2 - x_f$	$0,4 - x_f$	$0,4 + x_f$	$0,4 + x_f$
		0,1467	0,3467	0,4533	0,4533



يمثل المردود النسبة بين كمية مادة الأستر المتحصل عليها تجريبيا  $n_{exp}$  و كمية مادة الأستر التي يتم الحصول عليها

$$r = \frac{n_{exp}}{n_{th}} \times 100 \text{ و نكتب } r = \frac{x_f}{x_{max}} \times 100 \text{ ويمكننا كتابته بالشكل}$$

**ملاحظة:**

مردود الأستر لا يتعلق بدرجة الحرارة ولا يتعلق بإضافة وسيط ((حمض الكبريت)) إنما يتعلق بصنف الكحول المستعمل إذا كان المزيج الابتدائي متساوي المولات.

صنف الكحول المستعمل	المردود من أجل مزيج متساوي المولات	المردود من أجل مزيج غير متساوي المولات	عملية التسخين أو إضافة قطرات من حمض الكبريت
كحول أولي : $R-CH_2-OH$	$r = 67\%$	$r > 67\%$	لا تؤثر على المردود
كحول ثانوي : $R-CH(OH)-R'$	$r = 60\%$	$r > 60\%$	لا تؤثر على المردود
كحول ثالثي : $R-C(OH)(R_1)-R_2$	$r = 5\%$	$r > 5\%$	لا تؤثر على المردود

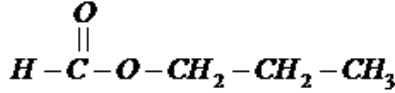
**تمرين تطبيقي 07**

لتحضير ميثانوات البروبيل نمزج في اللحظة  $t=0$  مع  $n_0 = 0,4mol$  من حمض كربوكسيلي A مع  $n_0 = 0,4mol$  كحول B

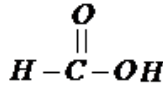
- 1- أكتب الصيغة النصف مفصلة للأستر (ميثانوات البروبيل).
- 2- ماهي الصيغة النصف مفصلة لكل من A و B مع التسمية المنهجية؟ ماهو صنف الكحول؟
- 3- مثل جدول تقدم التفاعل وأحسب حصيلة كمية المادة عند بلوغ التوازن. ثم أحسب ثابت التوازن K.

**الحل:**

1- الصيغة النصف مفصلة للأستر:

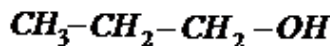


2- الصيغة النصف مفصلة للمركب A



الإسم النظامي: حمض الميثانويك

الصيغة النصف مفصلة للمركب B



الإسم النظامي: بروبان-1-أول  
الصنف: كحول أولي

**3- جدول التقدم:**

لتحديد حصيلة كمية المادة نحسب التقدم النهائي: بما أن الكحول المستعمل أولي والمزيج الابتدائي متساوي المولات فإن مردود هذا التفاعل هو  $r = 67\%$

$$\text{إذن } \frac{x_f}{x_{max}} = 0,67 \text{ ومنه } x_f = 0,67 \cdot x_{max}$$

$$x_f = 0,268mol \text{ بالتعويض } x_f = 0,67 \times 0,4 = 0,268mol$$

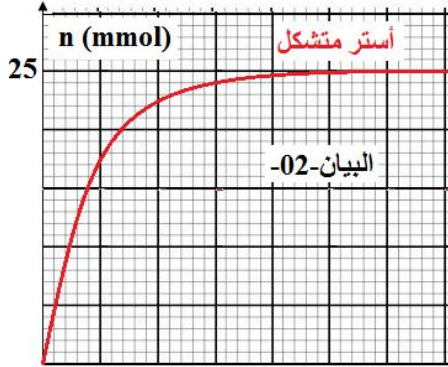
الحالة النهائية للجدول نجد حصيلة كمية المادة عند بلوغ التوازن

حساب ثابت التوازن K :

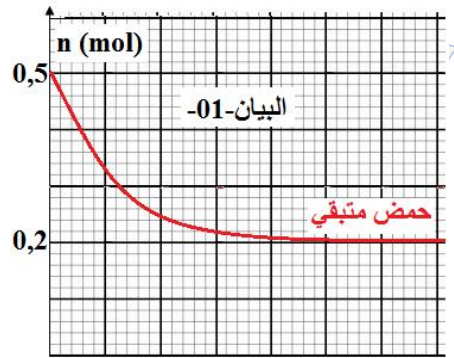
$$K = \frac{n_{f_{estr}} \times n_{f_{eau}}}{n_{f_{al}} \times n_{f_{ac}}} = \frac{(0,268)^2}{(0,132)^2} \Rightarrow K = 4,12$$

يوجد في مخبر الثانوية قارورتان لمتماكين A و B صغتهما الإجمالية  $C_4H_9OH$  لمعرفة صنف كل منهما تجري أسترة بتفاعل  $0,5mol$  من كل مماكب مع  $0,5mol$  من حمض الميثانويك  $HCOOH$  ونتحصل على البيانين التاليين:

كمية مادة الأستر المتشكل أثناء إستعمال المماكب B



كمية مادة حمض البنزويك المتبقي أثناء إستعمال المماكب A

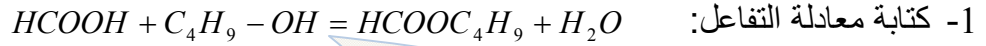


1- أكتب معادلة التفاعل. ثم مثل جدول تقدم التفاعل.

2- حدد التقدم النهائي الموافق لكل بيان، ثم أحسب مردود تفاعل الأسترة الخاص بكل مماكب ثم إستنتج صنف الكحول المستعمل في كل حالة مع كتابة التسمية النظامية لكل مماكب.

3- أكتب الصيغة النصف مفصلة للأستر الناتج في كل حالة مع التسمية النظامية.

الحل:



تمثيل جدول تقدم التفاعل الأسترة:

المعادلة		$HCOOH + C_4H_9 - OH = HCOOC_4H_9 + H_2O$			
الحالة		كمية المادة (mol)			
التقدم	الحالة	$HCOOH$	$C_4H_9 - OH$	$HCOOC_4H_9$	$H_2O$
0	إبتدائية	0,5	0,5	0	0
x	إنتقالية	$0,5 - x$	$0,5 - x$	x	x
$x_f$	نهائية (حالة توازن)	$0,5 - x_f$	$0,5 - x_f$	$x_f$	$x_f$

... -2

البيان	حساب التقدم النهائي $x_f$	حساب مردود الأسترة وتحديد صنف الكحول المستعمل	الصيغة النصف مفصلة للكحول والصيغة النصف مفصلة للأستر والتسمية النظامية
البيان 01	من خلال البيان نجد: $n_f(acid) = 0,2mol$ ومن جدول التقدم نلاحظ $n_f(acid) = 0,5 - x_f$ إذن: $0,2 = 0,5 - x_f$ $x_f = 0,5 - 0,2$ ومنه $x_f = 0,3mol$	$r = \frac{x_f}{x_{max}} \times 100$ $r = \frac{0,3}{0,5} \times 100 = 60\%$ بما أن المزيج الإبتدائي متساوي المولات فإن الكحول صنفه ثانوي	$CH_3-CH_2-\underset{\substack{  \\ OH}}{CH}-CH_3$ بوتان-2- أول (المماكب A)
البيان 02	من خلال البيان نجد: $n_f(ester) = 25mmol$ ومن جدول التقدم نلاحظ $n_f(ester) = x_f$ إذن: $x_f = 25mmol$	$r = \frac{x_f}{x_{max}} \times 100$ $r = \frac{25 \times 10^{-3}}{0,5} \times 100 = 5\%$ بما أن المزيج الإبتدائي متساوي المولات فإن الكحول صنفه ثالثي	$CH_3-\underset{\substack{  \\ OH}}{C}-CH_3$ 2-مثيل بروبان-2- أول (المماكب B)
			$H-\overset{\substack{O \\   }}{C}-\underset{\substack{  \\ CH_3}}{O}-\underset{\substack{  \\ CH_3}}{C}-CH_3$ ميثانوات ثاني مثيل إيثيل

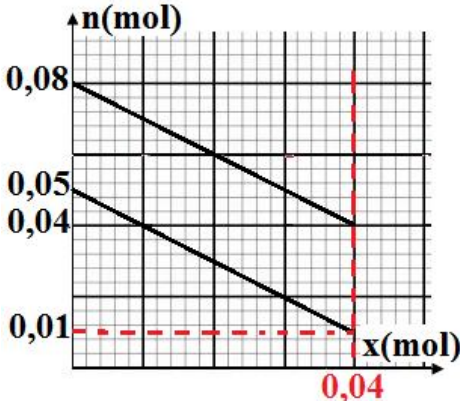
8- تحسين مردود الأسترة:

لتحسين مردود الأسترة نقوم بـ:

- 1- ننتقل من مزيج ابتدائي غير متساوي المولات. 2- زيادة أحد المتفاعلات. 3- نزع أحد النواتج.

تمرين تطبيقي 09:

نحقق تفاعل إنطلاقا من 0,08mol حمض البنزويك  $C_6H_5COOH$  و 0,05mol من  $C_3H_7-OH$  في وجود قطرات



من حمض الكبريت المركز. إن المتابعة الزمنية سمحت برسم البيانيين 1 و 2.

- 1- ما إسم التفاعل المدروس، أكتب معادلته.
- 2- إعتادا على البيانيين مثل جدول تقدم التفاعل.
- 3- أحسب ثابت التوازن K ثم إستنتج صنف الكحول المستعمل.
- 4- أكتب الصيغة النصف مفصلة للكحول المستعمل مع التسمية النظامية.
- 5- ما إسم الأستر الناتج.
- 6- أحسب مردود تفاعل الأسترة ثم قارنه مع مردود لنفس التفاعل. بمزيج ابتدائي متساوي المولات. ماذا تستنتج؟

الحل:

1- إسم التفاعل تفاعل أسترة معادلته:  $C_6H_5COOH + C_3H_7-OH = C_6H_5COOC_3H_7 + H_2O$

2- جدول تقدم التفاعل:

المعادلة		$C_6H_5COOH + C_3H_7-OH = C_6H_5COOC_3H_7 + H_2O$			
الحالة	التقدم	كمية المادة (mol)			
إبتدائية	0	0,08	0,05	0	0
إنتقالية	x	0,08 - x	0,05 - x	x	x
نهائية	$x_f = 0,04$	0,04	0,01	0,04	0,04

3- حساب ثابت التوازن K:

$$K = \frac{(0,04)^2}{(0,04) \times (0,01)} = 4 \quad \text{إذن} \quad K = \frac{n_{f_{estr}} \times n_{f_{eau}}}{n_{f_{al}} \times n_{f_{ac}}}$$

بما أن ثابت التوازن  $K = 4$  فإن صنف الكحول أولي.

4- الصيغة النصف مفصلة للكحول:  $CH_3-CH_2-CH_2-OH$  الإسم النظامي: بروبان-1- أول.

5- إسم الأستر هو بنزوات البروبيل:  $C_6H_5COO-C_3H_7$

6- حساب المردود:  $r = \frac{x_f}{x_{max}} \times 100$

لدينا التقدم النهائي  $x_f = 0,04mol$

التقدم الأعظمي يوافق القيمة الصغرى  $x_{max} = 0,05mol$

$$r = \frac{x_f}{x_{max}} \times 100 = \frac{0,04}{0,05} \times 100 = 80\%$$

المقارنه مع مردود لنفس التفاعل بمزيج ابتدائي متساوي المولات:

بما أن الكحول أولي لوكان المزيج الإبتدائي متساوي المولات لكان المردود  $r = 67\%$

نلاحظ أن مردود مزيج ابتدائي غير متساوي المولات أكبر من مردود مزيج ابتدائي متساوي المولات

الإستنتاج:

من أجل تحسين المردود ننتقل من مزيج ابتدائي غير متساوي المولات.



نحقق تجريبيا أسترة بتفاعل خليط متساوي المولات من حمض الإيثانويك والإيثانول  $n_{\text{acid}} = n_{\text{alcohol}} = 0,3 \text{ mol}$  في وجود قطرات من حمض الكبريت. بينت المعايرة للخليط المتفاعل عند التوازن أن كمية المادة المتبقية لحمض الإيثانويك هي  $n'_{\text{acid}} = 0,1 \text{ mol}$ .

المعادلة		$CH_3COOH + C_2H_5 - OH = CH_3COOC_2H_5 + H_2O$			
حالة	التقدم	كمية المادة (mol)			
إبتدائية	0	0,3	0,3	0	0
إنتقالية	x				
توازن	$x_{eq} = \dots$	0,1			

- 1- أكمل جدول تقدم التفاعل.
- 2- عرف مردود تفاعل الأستر.
- 3- ماهي كمية مادة الأستر المتشكل خلال التجربة.
- 4- ماهي كمية مادة الأستر التي تتشكل لو كان التفاعل تام.
- 5- أحسب مردود التفاعل.

6- نضيف للمزيج السابق عند حالة التوازن  $0,1 \text{ mol}$  من الإيثانول، ثم عند التوازن الجديد نجد كمية الحمض المتبقية

المعادلة		$CH_3COOH + C_2H_5 - OH = CH_3COOC_2H_5 + H_2O$			
حالة	التقدم	كمية المادة (mol)			
إبتدائية	0	0,1			
جديدة					
إنتقالية	$x'$				
توازن	$x'_{eq} = \dots$	0,073			
جديد					

- بعد المعايرة هي:  $0,073 \text{ mol}$
- 1-6- أحسب الكسر الإبتدائي للتفاعل  $Q_{ri}$ ، ثم حدد جهة تطور التفاعل.
  - 2-6- أكمل جدول تقدم التفاعل المقابل
  - 7- ماهي كمية الأستر النهائية المتشكلة خلال هذه التجربة ثم أحسب مردود الأستر ماذا تستنتج؟

الحل:

1- إكمال الجدول: كمية مادة الحمض الإبتدائية هي  $n_0(\text{acid}) = 0,3 \text{ mol}$  وعند بلوغ التوازن نجد  $n_f(\text{acid}) = 0,01 \text{ mol}$

المعادلة		$CH_3COOH + C_2H_5 - OH = CH_3COOH + H_2O$			
حالة	التقدم	كمية المادة (mol)			
إبتدائية	0	0,3	0,3	0	0
إنتقالية	x	$0,3 - x$	$0,3 - x$	x	x
توازن	$x_{eq} = 0,2$	0,1	0,1	0,2	0,2

- وعليه تقدم التفاعل عند التوازن هو  $x_{eq} = 0,3 - 0,1 = 0,2 \text{ mol}$  والجدول يكون بالشكل المقابل:
- 2- المرود هو النسبة بين كمية مادة الأستر المتحصل عليها تجريبيا  $n_{\text{exp}}$  و كمية مادة الأستر

التي يتم الحصول عليها لو كان التفاعل تاما  $n_{Th}$  و نكتب:  $r = \frac{n_{\text{exp}}}{n_{Th}} \times 100$

- 3- كمية مادة الأستر المتشكل تجريبيا من خلال الجدول نجد:  $n_{\text{exp}} = x_{eq} = 0,2 \text{ mol}$
- 4- كمية مادة الأستر المتشكلة نظريا (تفاعل تام) من خلال الجدول نجد:  $n_{Th} = n_0 = 0,3 \text{ mol}$
- 5- حساب مردود التفاعل:  $r = \frac{0,2}{0,3} \times 100 = 66,66\%$

6- 1- إضافة  $0,1 \text{ mol}$  من الإيثانول إلى حالة التوازن السابقة تكون لدينا حالة إبتدائية جديدة  $Q_{ri} = \frac{(0,2)^2}{(0,01)(0,11)} = 2$

المعادلة		$CH_3COOH + C_2H_5 - OH = CH_3COOH + H_2O$			
حالة	التقدم	كمية المادة (mol)			
إبتدائية	0	0,1	$0,1 + 0,1$	0,2	0,2
جديدة					
إنتقالية	$x'$	$0,1 - x'$	$0,2 - x'$	$0,2 + x'$	$0,2 + x'$
توازن	$x'_{eq} = 0,027$	0,073	0,173	0,227	0,227
جديد					

بما أن:  $Q_{r,i} < K$  تتطور الجملة تلقائيا في اتجاه تشكل الأستر.

- 2-6- إكمال الجدول  $x'_{eq} = 0,1 - 0,073 = 0,027 \text{ mol}$
- 7- بعد إضافة  $0,1 \text{ mol}$  إنزاح التفاعل في الإتجاه المباشر وعليه إزدادت كمية مادة الأستر وتحصلنا على  $n_{\text{exp}} = 0,227 \text{ mol}$

حساب المرود  $r = \frac{n_{\text{exp}}}{n_{Th}} \times 100 = \frac{0,227}{0,3} \times 100 = 75,66$

الملاحظة 01:

إن عملية نزع أحد النواتج تعمل على توجيه التفاعل في الإتجاه المباشر تشكل أستر وعليه زيادة في مردود الأسترة  
أولاً: حذف الماء المتشكل: توجد عدة طرق لحذف الماء المتشكل من بينها:

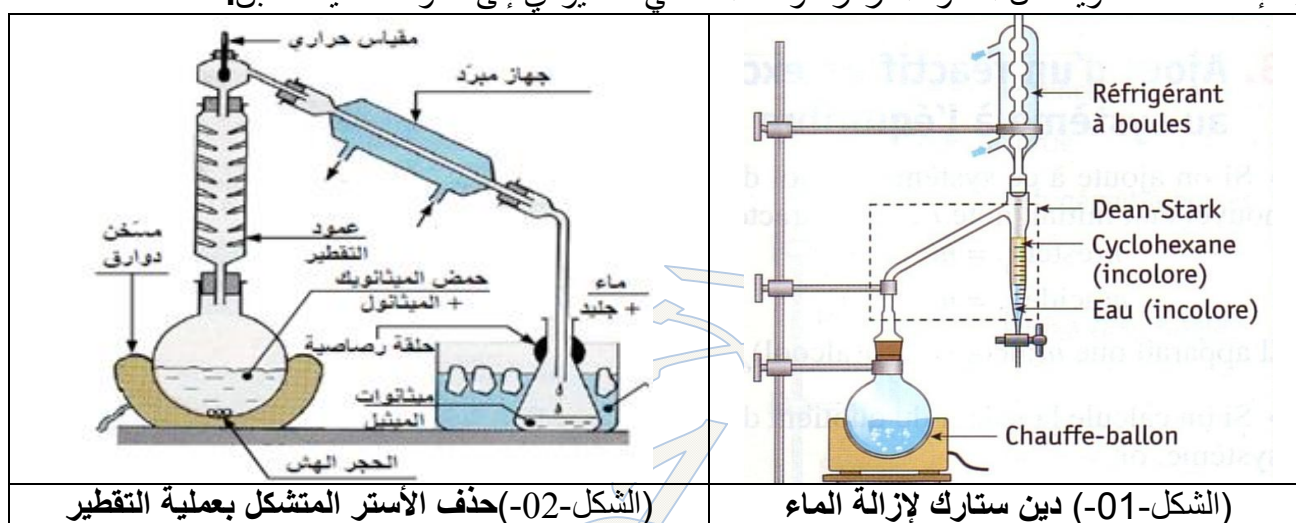
1- وسائل التقطير الخاصة مثل جهاز (الشكل-01) دين ستارك لإزالة الماء المتشكل ( إزالة الماء تؤدي الى تطور الجملة في الإتجاه المباشر أي تشكل الأسترة و بالتالي إرتفاع المردود).

2- إستعمال كمية كافية من حمض الكبريت المركز: نستعمل كمية كافية (وفيرة) من حمض الكبريت المركز جدا من أجل التفاعل مع الماء فقط ويجب التحكم في درجة حرارة الوسط التفاعلي لأن الكحولات تخضع لعملية نزع جزيئة ماء (H<sub>2</sub>O) في وجود حمض الكبريت مع درجة حرارة مرتفعة فإذا كانت درجة الحرارة 140°C يتشكل الإيثر R-O-R' أما إذا كانت 180°C يتشكل السان (C=C) وذلك حسب صنف الكحول المستعمل.

ثانياً: حذف الأستر المتشكل: من بين طرق حذف الأستر نذكر:

1- إذا كانت درجة غليان الأستر أقل من درجة غليان الأصناف الأخرى نستعمل التقطير المجزأ. (الشكل-02)

2- إضافة قاعدة قوية مثل الصود المركز للوسط التفاعلي مما يؤدي إلى حدوث عملية تصبين.



الملاحظة 02:

للحصول على أستر بمردود 100% نستعمل كلور الأسيل RCOCl بدل الحمض الكربوكسيلي RCOOH عندئذ يكون التفاعل تام، ناشر للحرارة وأسرع من تفاعل الحمض الكربوكسيلي مع الكحول.

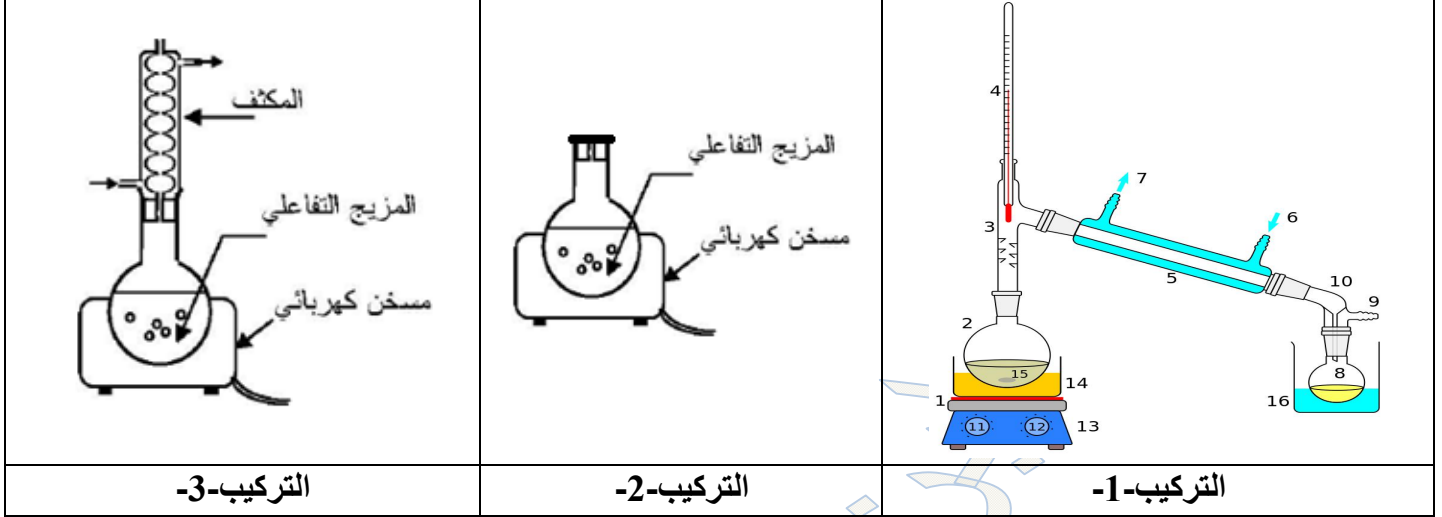
خصائص التفاعل:	التفاعل:	عند إستعمال الحمض الكربوكسيلي حمض ألكانويك
1- محدود 2- لاجراري 3- عكوس 4- بطيء	$RCOOH + R'OH = RCOOR' + H_2O$ $R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-OH + R'-OH = R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-OR' + H_2O$	
خصائص التفاعل:	التفاعل:	عند إستعمال كلور الأسيل كلور ألكانويل
1- تام 2- ناشر للحرارة 3- أسرع من تفاعل الحمض الكربوكسيلي مع الكحول	$RCOCl + R'OH = RCOOR' + HCl$ $R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-Cl + R'-OH = R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-OR' + HCl$	

لتسمية كلور الأسيل نستبدل المقطع ويك في الحمض الكربوكسيلي المقابل له بالمقطع ويل وكلمة حمض بكلمة كلور

C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> COOH	CH <sub>3</sub> COOH	HCOOH	حمض كربوكسيلي
حمض بنزويك	حمض بروبانويك	حمض إيثانويك	حمض ميثانويك	
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COCl	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> COCl	CH <sub>3</sub> COCl	HCOCl	كلور الأسيل المقابل
كلور بنزويل	كلور بروبانويل	كلور إيثانويل	كلور ميثانويل	

تمرين تطبيقي 11:

لتحضير ميثانوات الإيثيل درجة غليانه  $54,5^{\circ}\text{C}$  ننتقل من مزيج يتكون من  $0,2\text{mol}$  حمض الميثانويك درجة غليانه  $100^{\circ}\text{C}$  و  $0,2\text{mol}$  من الإيثانول  $\text{C}_2\text{H}_5 - \text{OH}$  درجة غليانه  $78,5^{\circ}\text{C}$  في وجود قطرات من حمض الكبريت المركز يوضع المزيج في دورق ثم يسد بإحكام ويتم التسخين تحت درجة حرارة ثابتة  $50^{\circ}\text{C}$ . عند بلوغ التوازن تبين ان كمية مادة الحمض المتبقي تساوي  $0,066\text{mol}$



- 1- حدد من التركيب المستخدم في هذه الحالة من بين التراكيب (1-2-3)
- 2- ما الهدف من استخدام التسخين وقطرات من حمض الكبريت؟
- 3- مثل جدول تقدم تفاعل الحادث. ثم أحسب مردود التفاعل.
- 4- من أجل تحسين المردود نقوم بنزع الأستر المتشكل علل هذا الإختيار ثم حدد التركيب المناسب لنزع الأستر المتشكل مع التبرير.
- 5- من أجل تشكل أستر بمرود  $100\%$  نستبدل في المزيج الابتدائي أحد المتفاعلين بنوع كيميائي أذكر إسمه وأكتب معادلة التفاعل الحادث. ثم أذكر خصائص هذا التفاعل.

الحل:

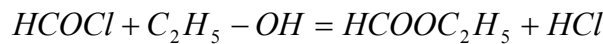
- 1- التركيب المستخدم أثناء تحضير الأستر هو التركيب-2.
- 2- الهدف من التسخين وقطرات من حمض الكبريت هو تسريع التفاعل.
- 3- جدول تقدم التفاعل حساب المردود:

المعادلة		$\text{HCOOH} + \text{C}_2\text{H}_5 - \text{OH} = \text{HCOOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$			
الحالة	التقدم	كمية المادة (mol)			
إبتدائية	0	0,2	0,2	0	0
إنتقالية	x	$0,2 - x$	$0,2 - x$	x	x
نهائية	$x_f = 0,134$	0,066	0,066	0,134	0,134

$$r = \frac{x_f}{x_{\max}} \times 100$$

$$r = \frac{0,134}{0,2} \times 100 = 67\%$$

- 4- عند نزع الأستر المتشكل فإن الجملة تتطور تلقائيا في الإتجاه المباشر تشكل الأستر وعليه الزيادة في مردود الأستر. التركيب المناسب لحذف الأستر المتشكل هو التركيب-1 (التقطير المجزأ)
- التعليل: درجة غليان الأستر (ميثانوات الإيثيل) أقل من درجة غليان الإيثانول وحمض الميثانويك.
- 5- من أجل تشكل الأستر بمرود  $100\%$  نستبدل حمض الميثانويك  $\text{HCOOH}$  بكلور الميثانويل  $\text{HCOCl}$  كتابة معادلة التفاعل:



- 1- تام
- 2- ناشر للحرارة
- 3- أسرع من تفاعل الحمض الكربوكسيلي مع الكحول.

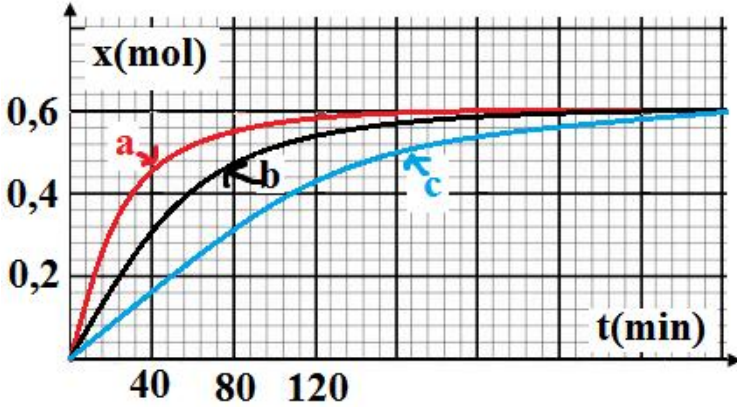
إن تفاعل الأسترة بطيء ولتسريعه نقوم بـ

- 1- التسخين: إن رفع درجة حرارة الوسط التفاعلي تزيد من سرعة التفاعل. ولا تؤثر على المردود.
- 2- إضافة حمض الكبريت المركز كوسيط: من أجل إستعمال حمض الكبريت المركز كوسيط نضيف كمية قليلة منه من أجل تسريع التفاعل في هذه الحالة لا يتأثر مردود التفاعل.

### تمرين تطبيقي 12:

نحقق تجريبيا أسترة بتفاعل خليط متساوي المولات  $n_{\text{acid}} = n_{\text{alcohol}} = 1 \text{ mmol}$  من حمض الإيثانويك  $\text{CH}_3\text{COOH}$  وكحول  $\text{C}_3\text{H}_7 - \text{OH}$  مع تغيير في شروط التجربة. إن المتابعة الزمنية لهذا التحول تمكننا من رسم بيان تغيرات كمية مادة الأستر المتشكل بدلالة الزمن.

رقم التجربة	حجم حمض الكبريت	درجة الحرارة
a	2mL	80°C
b	0	80°C
c	0	60°C



- 1- أكتب معادلة التفاعل وسم الأستر الناتج.
- 2- مثل جدول تقدم التفاعل.
- 3- عرف زمن نصف التفاعل ثم حدد قيمته بالنسبة لكل تجربة. قارن ماذا تستنتج؟

- 4- احسب مردود التفاعل ثم إستنتج صنف الكحول المستعمل مع تسميته النظامية.
- 5- حدد تأثير كل من حمض الكبريت والتسخين على هذا المردود.
- 6- أكتب الصيغة النصف مفصلة للأستر مع التسمية النظامية

### الحل:



2- جدول تقدم التفاعل:

3- تعريف زمن نصف التفاعل:

هو الزمن اللازم لبلوغ التفاعل نصف تقدمه النهائي:

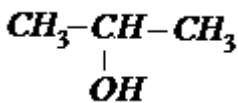
$$x(t_{1/2}) = \frac{x_f}{2}$$

تحديد قيمته بالنسبة لكل تجربة  $x(t_{1/2}) = \frac{x_f}{2} = \frac{0,6}{2} = 0,3 \text{ mol}$  بالإسقاط على المنحنيات نجد:

$$t_{1/2}(a) = 20 \text{ min} < t_{1/2}(b) = 40 \text{ min} < t_{1/2}(c) = 80 \text{ min}$$

نستنتج أن التفاعل في التجربة أسرع من التفاعل في التجربة وهذا الأخير أسرع من التفاعل في التجربة وعليه درجة الحرارة وحمض الكبريت يعملان على تسريع التفاعل ولا يؤثران على الحالة النهائية للجملة الكيميائية.

4- حساب مردود التفاعل:  $r = \frac{x_f}{x_{\text{max}}} \times 100 = \frac{0,6}{1} \times 100 = 60\%$  بما أن المزيج الابتدائي متساو



المولات والمردود 60% فإن الكحول صنفه ثانوي صيغته النصف مفصلة

بروبان-2-أول

5- بما أن قيمة التقدم النهائي ثابتة في جميع التجارب فإن إضافة حمض الكبريت المركز و والتسخين لا يؤثران على المردود.

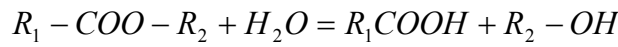
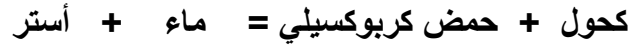
6- الصيغة النصف مفصلة للأستر هي:  $\text{CH}_3 - \overset{\text{O}}{\parallel} \text{C} - \text{O} - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} - \text{CH}_3$  إيثانوات مثيل إيثيل.



10- تفاعل إماهة الأستر:

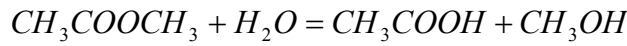
يمثل التفاعل العكسي لتفاعل الأستر بحيث يتفاعل الأستر مع الماء لينتج الحمض الكربوكسيلي والكحول وله نفس خصائص تفاعل الأستر:

1- محدود ( غير تام). 2- لا حراري 3- عكوس 4- بطيء

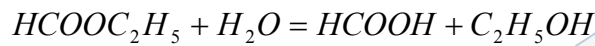


أمثلة توضيحية:

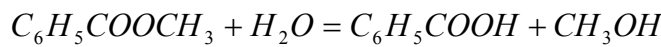
1- إماهة إيثانوات الميثيل:  $CH_3COOCH_3$



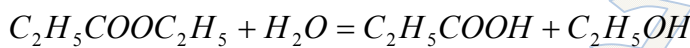
2- إماهة ميثانوات الإيثيل:  $HCOOC_2H_5$



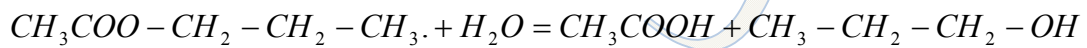
3- إماهة بنزوات الميثيل:  $C_6H_5COOCH_3$



4- إماهة بروبانات الإيثيل:  $C_2H_5COOC_2H_5$



5- إماهة إيثانوات البروبيل:  $CH_3COO - CH_2 - CH_2 - CH_3$



تسريع تفاعل الإماهة:

لتسريع تفاعل الإماهة نقوم بالتسخين أو إضافة قطرات من حمض الكبريت كوسيط

مردود إماهة أستر:

يمثل المردود النسبة بين كمية مادة الحمض الكربوكسيلي أو (الكحول) المتحصل عليها تجريبيا  $n_{exp}$  و كمية مادة

الحمض الكربوكسيلي أو (الكحول) التي يتم الحصول عليها لو كان التفاعل تاما  $n_{Th}$  و نكتب  $r = \frac{n_{exp}}{n_{th}} \times 100$

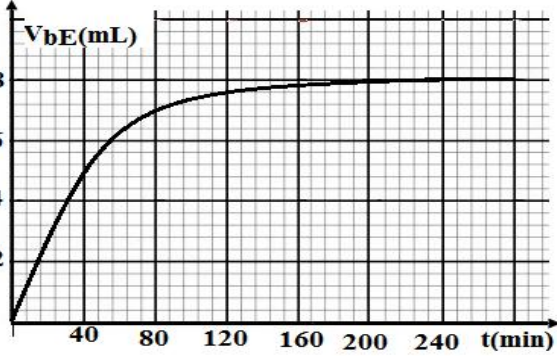
ويمكننا كتابته بالشكل  $r = \frac{x_f}{x_{max}} \times 100$

ملاحظة:

مردود الإماهة لا يتعلق بدرجة الحرارة ولا يتعلق بإضافة وسيط ((حمض الكبريت)) إنما يتعلق بصنف الكحول الناتج إذا كان المزيج الابتدائي متساوي المولات.

عملية التسخين أو إضافة قطرات من حمض الكبريت	المردود من أجل مزيج غير متساوي المولات	المردود من أجل مزيج متساوي المولات	صنف الكحول المستعمل
لا تؤثر على المردود	$r > 33\%$	$r = 33\%$	كحول أولي: $R - CH_2 - OH$
لا تؤثر على المردود	$r > 40\%$	$r = 40\%$	كحول ثانوي: $R - \underset{OH}{CH} - R'$
لا تؤثر على المردود	$r > 95\%$	$r = 95\%$	كحول ثالثي: $\begin{matrix} R \\   \\ R - C - R_2 \\   \\ OH \end{matrix}$

نحضر مجموعة من أنابيب إختبار نضع في كل أنبوب حجما قدره  $V = 0,6ml$  من الماء كتلته الحجمية  $\rho = 1g/ml$  و حجما قدره  $V' = 0,5ml$  من ميثانوات الإيثيل  $HCOOC_2H_5$  كتلته الحجمية  $\rho = 0,92g/ml$  ثم نضع الأنابيب في حمام مائي درجة حرارته ثابتة  $\theta = 35^\circ C$  يفرغ محتوى الأنبوب في بيشر ويوضع في حوض به ماء وجليد ثم نعاير الحمض المتشكل بواسطة هيدروكسيد الصوديوم تركيزه  $C_b = 0,5mol/L$  وبواسطة كاشف لوني مناسب نتعرف على



حجم التكافؤ تكرر العملية مع باقي الأنابيب ثم نرسم البيان  $V_{bE} = f(t)$

1- ما إسم التفاعل الحادث في أنابيب الإختبار؟

2- أكتب معادلة التفاعل مع تسمية النواتج تسمية نظامية.

3- هل المزيج الابتدائي متساوي المولات؟

4- مثل جدول تقدم التفاعل.

5- أكتب معادلة تفاعل المعايرة الحادث وحدد دور الكاشف اللوني

6- أكتب العلاقة بين التقدم  $x$  و حجم التكافؤ  $V_{bE}$

7- أحسب مردود التفاعل، قارن بمردود مزيج ابتدائي متساوي المولات ماذا تستنتج؟

الحل:

1- التفاعل الحادث في أنابيب الإختبار هو: إماهة أستر.

2- معادلة التفاعل:  $HCOOC_2H_5 + H_2O = HCOOH + C_2H_5OH$

تسمية النواتج:  $HCOOH$  حمض الميثانويك

$C_2H_5OH$  إيثانول.

3- حساب كمية المادة للمفاعلات:

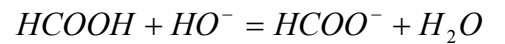
$$n_1(H_2O) = \frac{\rho \cdot V}{M} = \frac{1 \times 0,6}{18} = 33,33 \times 10^{-3} mol$$

$$n_2(HCOOC_2H_5) = \frac{\rho' \cdot V'}{M} = \frac{0,92 \times 0,5}{74} = 6,21 \times 10^{-3} mol$$

بما أن  $n_2(HCOOC_2H_5) < n_1(H_2O)$  فإن المزيج الابتدائي غير متساوي المولات

4- جدول تقدم التفاعل:

5- معادلة تفاعل المعايرة:



دور الكاشف اللوني هو التعرف على نقطة

التكافؤ (( عند التكافؤ يحدث تغير لوني ))

6- العلاقة بين التقدم  $x$  و حجم التكافؤ  $V_{bE}$ : عند التكافؤ المتفاعلات تحقق الشروط الستوكيومترية  $n_a = n_b$

إذن:  $n_a = C_b \cdot V_{bE}$  ومن الجدول نلاحظ أن  $n_a = x$  وعليه تكون عبارة التقدم هي:  $x = C_b \cdot V_{bE}$  ومنه:  $x = 0,5 \cdot V_{bE}$

7- حساب مردود التفاعل:  $r = \frac{x_f}{x_{max}} \times 100$

حساب التقدم النهائي  $x_f$  لدينا  $x = 0,5 \cdot V_{bE}$  وعليه نجد:  $x_f = 0,5 \cdot V_{bE}(f) = 0,5 \times 8 \times 10^{-3} = 4 \times 10^{-3} mol$

حساب التقدم الأعظمي  $x_{max}$  بما أن  $n_2(HCOOC_2H_5) < n_1(H_2O)$  فإن:  $x_{max} = n_2 = 6,21 \times 10^{-3} mol$

نلاحظ أن المردود مرتفع على حالة مزيج متساوي المولات  $r = \frac{x_f}{x_{max}} \times 100 = \frac{4 \times 10^{-3}}{6,21 \times 10^{-3}} \times 100 \Rightarrow r = 64,41\% > 33\%$

الإستنتاج : من أجل تحسين مردود إماهة أستر ننطلق من مزيج ابتدائي غير متساوي المولات