

## تمارين تفاعلات الأسترة و الحلمأة



ما ينبغي اكتسابه من معارف و مهارات

- معرفة المجموعات المميزة:  $-COOH$  و  $-OH$  و  $-CO_2R$  في نوع كيميائي.
- كتابة معادلات تفاعلات الأسترة و الحلمأة.
- إيجاد صيغتي الحمض الكربوكسيلي و الكحول المواتقتين انطلاقاً من الصيغة نصف المنشورة لاستر.
- تسمية الإسترات المتضمنة لخمس ذرات كربون على الأكثر.
- معرفة أن تفاعلي الأسترة و الحلمأة عكوسان، وأن التحولين المقربون بهما بطينان.
- معرفة أن الحفاز يزيد في سرعة التفاعل دون أن يغير حالة التوازن للمجموعة.
- معرفة أن وجود أحد المتفاعلات بوفرة، أو حذف أحد النواتج، يزيح حالة التوازن في المنهى المباشر.



## نوص التمارين

### **تمرين 1** اختبار الجواب الصحيح

اختر الجواب أو الأجوبة الصحيحة:

- 1- تفاعل الأسترة:  
أ- هو تفاعل كلي،  
ب- يحدث بين كحول و الماء،  
ت- يحدث بين كحول و حمض كربوكسيلي،  
ث- هو تفاعل سريع.

### **تمرين 2** لتحسين مردوخ تفاعل الأسترة:

- أ- يستعمل حفاز،  
ب- تستعمل كمية وافرة من الكحول،  
ت- يستعمل التسخين بالارتداد،  
ث- يقطر الإستر شيئاً بعد شيء.

### **تمرين 3** تنجز حلمة بوتانوات المثيل. ناتجاً الحلمة هما:

- أ- الميثانول و حمض البوتانويك،  
ب- البوتان-1-أول و حمض الميثانويك،  
ت- البوتان-2-أول و حمض الميثانويك.

### **تمرين 4** بالتسخين بالارتداد لخلط تفاعل الحلمة السابق:

- أ- ترفع كميتا الكحول و الحمض الناتجين،  
ب- توصل حالة التوازن بسرعة أكبر،  
ت- يمكن الاقتراب أكثر من التقدم الأقصى.

### **تمرين 5** بحذف الماء خلال تفاعل أسترة:

- أ- ينماح التوازن في منحي تفاعل الأسترة،  
ب- يصير خارج التفاعل مساوياً لناتجة التوازن،  
ت- يبقى خارج التفاعل أصغر من ثابتة التوازن.

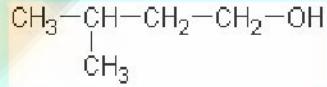
### **تمرين 2** متماكيات إستر

1- أكتب الصيغة نصف المنشورة لكل الإسترات ذات الصيغة الإجمالية التالية:  $C_4H_8O_2$  مع تسميتها.

2- أكتب بالنسبة لكل منها، صيغتي الكحول و الحمض الموقفيين مع تسميتهم.

### **تمرين 3** حلمة إستر

إيثانوات-3- مثيل بوتيل إستر له رائحة الموز يستعمل في صناعة الحلويات. يصنع هذا الإستر انطلاقاً من 3- مثيل بوتان-1- أول ذي الصيغة نصف المنشورة التالية:



1- أكتب الصيغة نصف المنشورة للإستر.

2- أكتب الصيغة نصف المنشورة للمتفاعلات الآخر اللازم لتحضير هذا الإستر، وأعط اسمه.

### **تمرين 4** تركيبة نهائية

ينجز خليط يتكون من 3 mol من حمض الميثانويك، و 2 mol من إيثانول، و 1 mol من إيثانوات الإثيل، و 10 mol من الماء.

1- أكتب معايرة تفاعل الأسترة.

2- ثابتة التوازن المتعلقة بهذا التحول هي  $K=4$ .

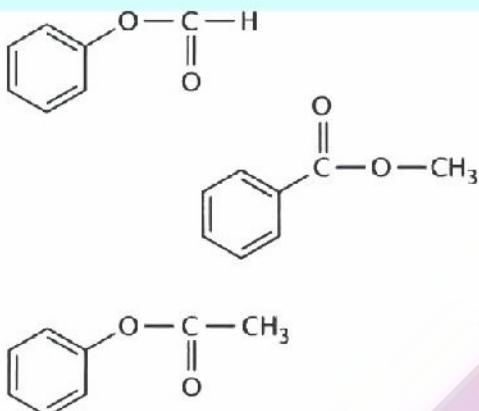
أ- بين أن المجموعة ليست في حالة توازن كيميائي، وحدد منحي تطورها.

ب- أوجد التركيبة النهائية، بالمول، للمجموعة الكيميائية.

**تمرين 5 اصطناع عطر**

ينجز تركيب التسخين بالارتداد، حيث يوضع في حوجلة كتلة  $m=12,2\text{ g}$  من حمض البنزويك  $C_6H_5-COOH$  ، و حجم  $V=40,0\text{ ml}$  من الميثانول  $-CH_3-OH$ ، و قطرات من حمض الكبريتิก المركب و حجر خفاف. يحصل على بنزوات المثيل الذي يتميز برائحة طيبة.

**1- صيغة بنزوات المثيل هي:**



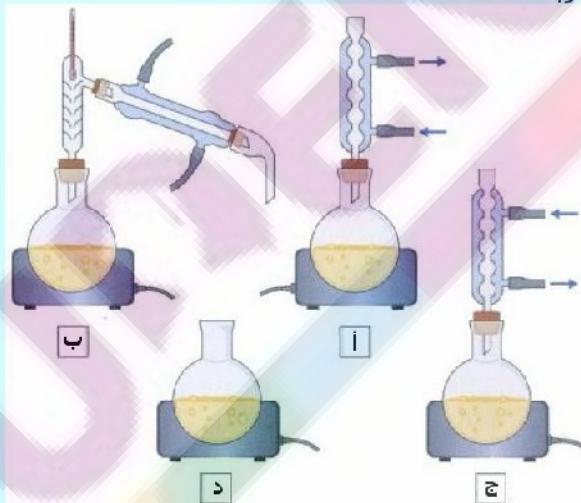
**2- دور حمض الكبريتيك هو:**

أ- الرفع من مردود التفاعل،

ب- الزيادة في سرعة التفاعل،

ج- الحصول على نسبة تقدم نهائي تساوي 1 .

**3- اختر التركيب المناسب لهذه التجربة:**



**4- فيما يتعلق بالمتفاعلات:**

أ- الميثانول واخر،

ب- الميثانول متفاعل حدي،

ج- كميتا المادة للميثانول و حمض البنزويك متساويتان.

**5- بعد التبريد، نفرغ محتوى الحوجلة في أنبوب تصفيق، فيحصل على طورين. و بعد معالجة الطور العضوي يحصل على كتلة  $m=10,2\text{ g}$  من بنزوات المثيل.**

أ- التفاعل غير كلي،

ب- التفاعل كلي.

ج- مردود التفاعل هو 67% ،

د- مردود التفاعل هو 75% .

♦ معطيات:

النوع الكيميائي	الكتلة المولية( $\text{g}.\text{mol}^{-1}$ )	الكثافة( عند $20^\circ\text{C}$ )	الذوبانية في الماء
حمض البنزويك	122	1,3	قليل الذوبان
الميثانول	32	0,80	قابل للذوبان
بنزوات المثيل	136	1,1	غير قابل للذوبان

**تمرين 6** بروتوكول تجاري

- إيثانوات 3- مثيل بوتيل نوع كيميائي يستخدمه النحل لتحذير بعضه البعض من خطر محدق. يسمى هذا الصنف من الجزيئات، التي تستعمل كرسالة كيميائية، فيرمونات.
- لتصنيع هذا الفيرومون في المختبر، يتبع البروتوكول التجاري التالي:
- في حوجلة يوضع 10,6 ml ( 100 mmol ) من 3- مثيل بوتان-1- أول، و 23,0 ml ( 400 mmol ) من حمض الإيثانويك.
  - يضاف 2 ml من حمض الكبريتيك المركز، ثم يشغل التسخين بالارتداد مدة ساعتين.
  - بعد المعالجة يحصل على 13,0 ml من الإستر.

♦ معطيات: الكتلة الحجمية لإيثانوات 3- مثيل بوتيل:  $\mu = 0,87 \text{ g.mol}^{-1}$

$$M(O) = 16 \text{ g.mol}^{-1} / M(C) = 12 \text{ g.mol}^{-1} / M(H) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$$

**1** دراسة التفاعل

- 1.1- أكتب الصيغة نصف المنشورة لكل من حمض الإيثانويك و 3- مثيل بوتان-1- أول.

1.2- أكتب معادلة التفاعل .

1.3- ذكر اسم هذا التفاعل و خاصيته.

**2** دراسة الشروط التجريبية

- 2.1- ما الهدف من استعمال كمية وافرة من حمض الإيثانويك؟

2.2- ما دور حمض الكبريتيك المركز؟

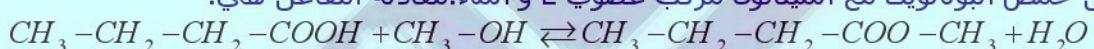
2.3- ما دور التسخين بالارتداد؟

**3** مردود التفاعل

أحسب مردود التفاعل.

**موضوع باك****تمرين 7** دراسة تفاعل حمض البوتانويك مع الميثانول(عن باك 2009 شعبة العلوم الفيزيائية)

يتتج عن تفاعل حمض البوتانويك مع الميثانول مركب عضوي E والماء.معادلة التفاعل هي:



1- ذكر اسم المجموعة التي ينتمي إليها المركب E و أعط اسمه.

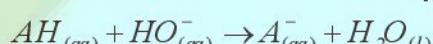
- 2- نصب في حوجلة، وضعت في ماء مثلج،  $n_1 = 0,1 \text{ mol}$  من حمض البوتانويك، و  $n_2 = 0,1 \text{ mol}$  من الميثانول، و قطرات من حمض الكبريتيك المركز، و قطرات من الفينول فتالين، فحصل على خليط حجمه 400 ml.

2.1- ذكر الفائدة من استعمال ماء مثلج.

2.2- ذكر الدور الذي يؤديه حمض الكبريتيك.

- 3- لتتبع تطور هذا التفاعل نصب في 10 أنابيب نفس الحجم من الخليط، و نحكم إغلاقها ثم نضعها في حمام مائي درجة حرارته ثابتة تساوي 100°C و نشغل الميقن عند اللحظة  $t=0$ .

لتحديد تقدم التفاعل بدلاله الزمن، نخرج الأنابيب واحدا تلو الآخر و نضعها في ماء مثلج، ثم نعاير الحمض المتبقى في كل أنبوب بواسطة محلول مائي لهيدروكسيد الصوديوم تركيزه  $c = 1 \text{ mol.l}^{-1}$ .  
المعادلة الكيميائية الممنذجة للمعايرة هي:



3.1- بين أن تعبر التقدم x لتفاعل الأسترة في لحظة t هو:  $x = 0,1 - 10cV_{BE} \text{ (mol)}$

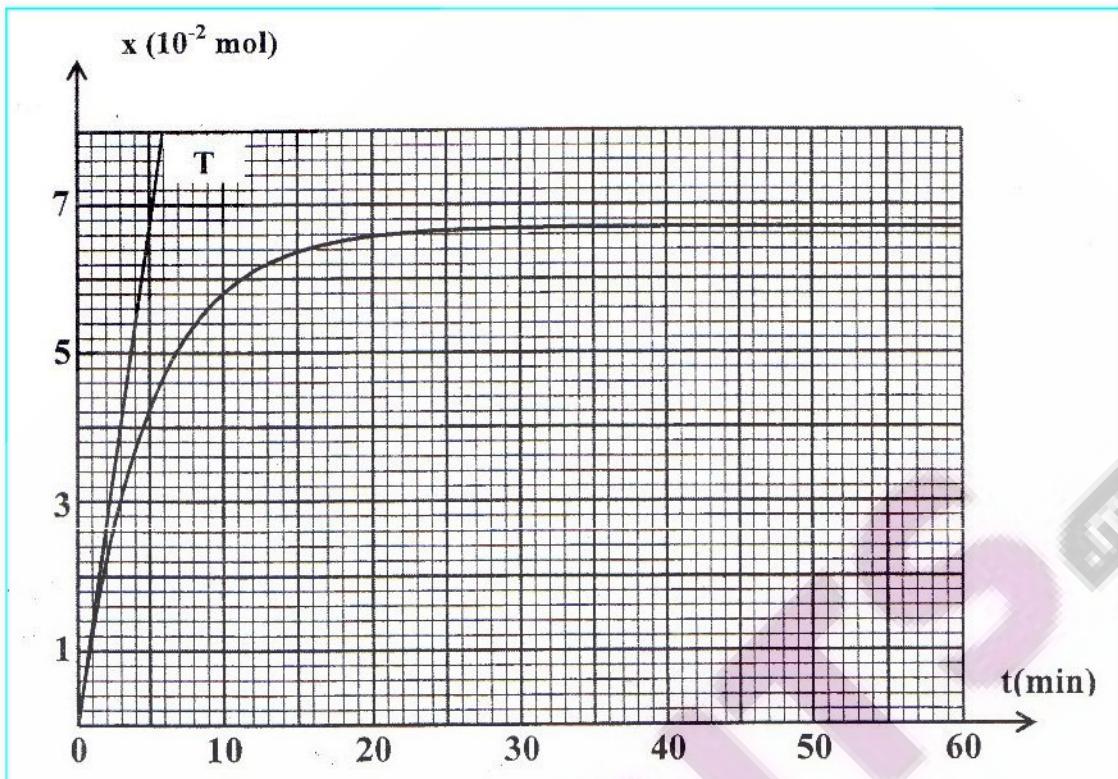
حيث  $V_{BE}$  حجم محلول هيدروكسيد الصوديوم المضاف عند التكافؤ في كل أنبوب.

- 3.2- تمكن النتائج المحصل عليها من خط المنحنى الممثل للتغيرات x بدلاله الزمن (المبيان التالي).  
المستقيم T هو المماس للمنحنى عند  $t=0$ .  
ياستغلال المنحنى حدد:

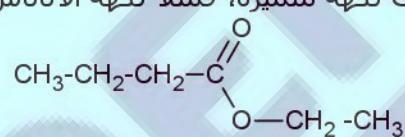
أ- السرعة الحجمية لتفاعل عند اللحظة  $t=0$  و اللحظة  $t_1=50\text{min}$ .

ب- زمن نصف التفاعل.

ج- خارج التفاعل عند التوازن.

**تمرين 8**

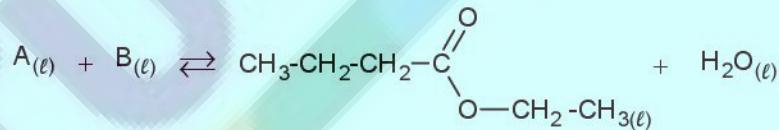
تحضير نكهة الأناناس (عن باك 2009 شعبة العلوم الرياضية)  
يحتوي العديد من الفواكه على إسترات ذات نكهة متميزة، فمثلاً نكهة الأناناس تعزى إلى بوتانوات الإيثيل و هو إستر صيغته نصف المنشورة هي:



لتلبية متطلبات الصناعات الغذائية من هذا الإستر، يستعمل إستر مصنع مماثل للإستر الطبيعي المستخلص من الأناناس. يصنع هذا الإستر بسهولة و بتكلفة أقل.

معلمات:  $M(O) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$  /  $M(C) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$  /  $M(H) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$

- 1- نحصل على بوتانوات الإيثيل بواسطة تفاعل حمض كربوكسيلي A مع كحول B بوجود حمض الكبريتيك حسب المعادلة الكيميائية التالية:



- 1.1- ذكر مميزات هذا التفاعل.  
 1.2- عين الصيغة نصف المنشورة لكل من A و B .  
 2- نسخ بالارتداد خليطاً متساوي المولات يحتوي على  $n_0 = 0,30 \text{ mol}$  من الحمض A و  $n_0 = 0,30 \text{ mol}$  من الكحول B بوجود حمض الكبريتيك. عند التوازن الكيميائي نحصل على 23,2 g من بوتانوات الإيثيل.  
 2.1- بالاعتماد على جدول التقدم للتحول الحاصل أوجد:  
 أ- قيمة ثابتة التوازن K المقرونة بمعادلة التفاعل المدرس.  
 ب- قيمة  $\alpha$  مردود هذا التفاعل.  
 2.2- نجز التحول نفسه باستعمال n مول من الحمض A و  $n_0 = 0,30 \text{ mol}$  من الكحول B .  
 أحسب كمية المادة n للحصول على مردود يساوي  $80\% = 0.8$ .

## حلول تمارين تفاعلات الأسترة و الحلماة

**تمرين 1**

- 1 ت
- 2 ث و ب
- 3 أ
- 4 ب
- 5 أ و ت

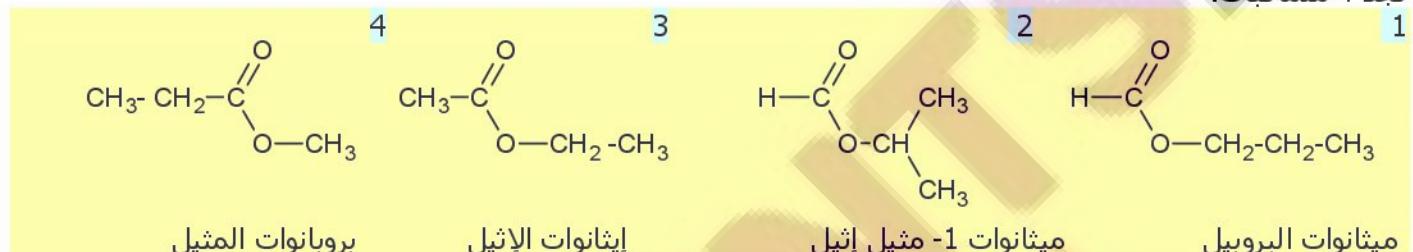
**تمرين 2**
**1- الإسترات المتماكبة للصيغة  $C_4H_8O_2$** 

نذكر بأن الصيغة نصف المنشورة العامة لاستر هي:

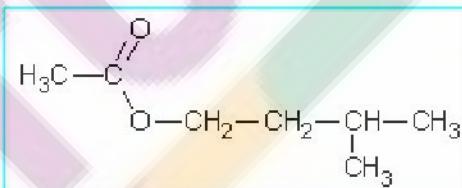
حيث  $R$  ذرة هيدروجين أو جدر ألكيل، و  $R'$  جدر أكيل.

لتحديد جميع المتماكبات نوزع ذرات الكربون (3 ذرات) بين  $R$  و  $R'$  مع اعتبار التفرعات الممكنة.

نجد 4 متماكبات:

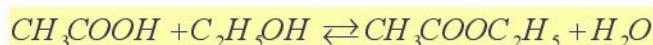

**2- صيغتا الكحول و الحمض الموقفتين لكل إستر**

صيغة و اسم الحمض الموقف له	صيغة و اسم الكحول الموقف له	رقم الإستر
حمض الميثانويك	$HCOOH$ بروبان - 1 - أول	1
حمض الميثانويك	$HCOOH$ بروبان - 2 - أول	2
حمض الإيثانويك	$CH_3COOH$ إيثanol	3
حمض البروبانويك	$CH_3CH_2COOH$ ميثانول	4

**تمرين 3**
**1- الصيغة نصف المنشورة للاستر**


حمض الإيثانويك

2- صيغة و اسم المتفاعل الثاني  
يتعلق الأمر بحمض كربوكسيلي و هو:


**تمرين 4**
  
**-1 معادلة تفاعل الأسترة**

أ- **• حالة المجموعة:**

خارج التفاعل البديهي هو:

ت.ع.

$$Q_{r_i} = \frac{[CH_3COOC_2H_5]_i \cdot [H_2O]_i}{[CH_3COOH]_i \cdot [C_2H_5OH]_i}$$

$$Q_{r_i} = \frac{\frac{1}{V} \cdot \frac{10}{V}}{\frac{3}{V} \cdot \frac{2}{V}} = \frac{10}{6} = 1,67$$

نلاحظ أن  $Q_{eq} \neq K$ ، إذن المجموعة ليست في حالة توازن.

**• منحي تطور المجموعة:**

بما أن  $Q_{eq} < K$  فإن، حسب معيار التطور التلقائي، المجموعة تتطور في المنحي المباشر و هو تفاعل الأسترة.

**ب- التركيبة النهائية للمجموعة**

نشئ جدول التقدم.

				معادلة التفاعل
$CH_3COOH$	$+ C_2H_5OH$	$\rightleftharpoons$	$CH_3COOC_2H_5 + H_2O$	
3	2		1	كميات المادة بالمول في الحالة البدئية
$3-x_f$	$2-x_f$		$1+x_f$	كميات المادة بالمول في الحالة النهائية (حالة التوازن)

$$Q_{eq} = \frac{(1+x_f) \cdot (10+x_f)}{(3-x_f) \cdot (2-x_f)}$$

$$3x_f^2 - 31x_f + 14 = 0$$

$$\begin{cases} x_f = 0,75 \text{ mol} \\ x_f = 6,25 \text{ mol} \end{cases}$$

$$x_f = 0,75 \text{ mol}$$

خارج التفاعل في الحالة النهائية، أي حالة التوازن، هو:

و حيث أن  $Q_{eq} = K = 4$ ، نستنتج المعادلة التالية:

و هي معادلة من الدرجة الثانية لها حلان هما:

و بالنظر إلى كميات المادة البدئية، فإن الحل المناسب هو:

و بالتالي التركيبة النهائية هي:

$3-x_f = 2,25 \text{ mol}$ من الحمض	$2-x_f = 1,25 \text{ mol}$ من الكحول	$1+x_f = 1,75 \text{ mol}$ من الإستر	$10+x_f = 10,75 \text{ mol}$ من الماء
--	---	---	--

### تمرين 5

**1-** السلسلة الكربونية الرئيسية لبنزوات المثيل هي مجموعة بنزنية، و جذر مثيل كسلسلة ثانوية. و بالتالي الصيغة هي (ب).

**2-** يؤدي حمض الكبرتيك دور الحفاز لتفاعل الأسترة و الحلمة، فهو يمكن إذن من الزيادة في سرعة التفاعل، لكنه لا يؤثر على حالة التوازن أي الحالة النهائية. الجواب الصحيح هو (ب).

**3-** التركيب المناسب هو (أ). التركيب (ب) هو للتقطير. و التركيب (ج) ليس صحيحا لأن التيار المائي لا يمر في المنحي الصحيح. أما التركيب (د) فهو تركيب لتسخين عادي بدون ارتداد، و لا يصلح للتسخين عند الغليان.

**4-** لمعرفة التركيبة البدئية، نحسب كميات المادة البدئية.

• كمية المادة البدئية حمض البنزويك:

$$n_i(ac) = \frac{12,2}{122} = 0,1 \text{ mol} \quad \text{ت.ع.} \quad n_i(ac) = \frac{m}{M}$$

• كمية المادة البدئية للميثانول:

$$n_i(al) = \frac{d \cdot \rho_{eau} \cdot V}{M'} \quad \leftarrow \quad d = \frac{\rho}{\rho_{eau}} \quad \text{و} \quad m' = \rho \cdot V \quad \text{مع} \quad n_i(al) = \frac{m'}{M'} \quad \text{ت.ع.}$$

$$n_i(al) = \frac{0,80 \times 1 \times 40,0}{32} = 1,0 \text{ mol} \quad \text{ت.ع.}$$

نلاحظ أن الكحول وافر، إذن الجواب (ب) هو الصحيح.

**5-** • كمية مادة الإستر الناتجة هي:

$$n_f(es) = \frac{m_e}{M_e}$$

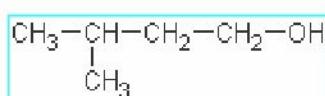
$$x_{max} = 0,1 \text{ mol}$$

• المتفاعل الحدي هو الحمض إذن التقدم الأقصى هو:

$$r = \frac{0,075}{0,1} = 75\% \quad \text{ت.ع.}$$

نستنتج مردود التفاعل:  $r = \frac{n_e}{x_{\max}}$   
و بالتالي فالأجوبة الصحيحة هي (أ) و (د).

### تمرين 6



1.1 - صيغة حمض الإيثانويك هي:

• صيغة 3- مثيل بوتان-1- أول هي:

1.2 - معادلة التفاعل هي:



1.3 - تفاعل أسترة، وهو بطيء وغير كلي ولا حراري.

2.1 - استعمال كمية وافرة من أحد المتفاعلات يزيح التوازن في منحى تفاعل الأسترة.

2.2 - يؤدي حمض الكبريتيك دور الحفاز.

2.3 - التسخين يزيد في سرعة التفاعل والارتداد يتحول دونما فقد للمادة.

3- مردود التفاعل

يساوي خارج كمية مادة الإستر المحصل عليها على كمية مادة الإستر الناتجة إذا كان التفاعل كليا:

$$r = \frac{n_e}{n_{\max}} = \frac{n_e}{x_{\max}}$$

$$n_e = \frac{m}{M} = \frac{\mu \cdot V}{M} \quad \bullet \text{ كمية مادة الإستر الناتجة هي:}$$

$$M = 7M(C) + 2M(O) + 14M(H) = 130 \text{ g mol}^{-1} \quad \text{ت.ع.}$$

$$n_e = \frac{0,87 \times 13,0}{130} = 8,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \quad \leftarrow$$

$$x_{\max} = 0,1 \text{ mol}$$

• المتفاعل الحدي هو الكحول إذن التقدم الأقصى هو:

$$r = 87\% \quad \text{أي} \quad r = \frac{8,7 \cdot 10^{-2}}{0,1} = 0,87 \quad \text{و بالتالي مردود التفاعل هو:}$$

### تمرين 7

1- المجموعة التي يتبعها المركب E و اسمه

المركب E إستر و اسمه بوتانوات المثيل.

2.1- دور الماء المثلج

درجة الحرارة عامل حركي يؤثر على السرعة حيث ترتفع السرعة بارتفاع درجة الحرارة، وتنخفض بانخفاضها.

الماء المثلج يبرد الخليط التفاعلي وبالتالي يوقف التفاعل.

2.2- دور حمض الكبريتيك

يحتوي محلول حمض الكبريتيك المركز على الأيونات  $\text{H}_3\text{O}^+$  التي تؤدي دور الحفاز في هذا التفاعل.

3.1- تعبير تقدم التفاعل

للتئشی الجدول الوصفي لتفاعل الأسترة بالنسبة للخلط.

				معادلة التفاعل
$\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$	$+\text{CH}_3\text{OH}$	$\rightleftharpoons$	$\text{C}_3\text{H}_7\text{COOCH}_3$	$+\text{H}_2\text{O}$
0,1	0,1		0	10
$0,1-x$	$0,1-x$		$x$	$x$

كميات المادة بالمول  
في الحالة البدئية

كميات المادة بالمول  
في لحظة t

في لحظة t كمية المادة المتبقية من الحمض في الخليط هي:  $0,1-x$

و في عينة هي:  $\frac{0,1-x}{10}$  ، باعتبار أن الخليط قسم إلى 10 عينات متساوية الحجم.

لنشئ جدول التقدم لتفاعل المعايرة بالنسبة لعينة.

معادلة التفاعل			
$C_3H_7COOH$	$+ HO^-$	$\rightarrow C_3H_7COO^- + H_2O$	كميات المادة بالمول في الحالة البدئية
$\frac{0,1-x}{10}$	$c \cdot V_B$	0	وافرة
$\frac{0,1-x}{10} - x_E'$	$c \cdot V_{BE} - x_E'$	$x_E'$	وافرة
			كميات المادة بالمول عند التكافؤ

عند التكافؤ يختفي كلها المعاير والمعايير :

$$\frac{0,1-x}{10} - x_E' = 0$$

$$x_E' = 0,1 - 10c \cdot V_{BE}$$

نستنتج علاقة التكافؤ:

و منها نستخرج تعبير التقدم:  
أ- السرعة الحجمية

تعرف السرعة الحجمية بالعلاقة التالية:  $v = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx}{dt}$  حيث  $V$  حجم الخليط الكلي، و  $\frac{dx}{dt}$  المشتقة بالنسبة للزمن لتقدم التفاعل  $x$ .

مبيانيا  $\frac{dx}{dt}$  تساوي ميل المماس للمنحنى  $x = f(t)$ .

• عند  $t_0 = 0$  : نحسب ميل المماس  $T$  ، باعتبار نقطتين منه:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{6,7 \cdot 10^{-2} - 0}{5 - 0} = 1,34 \cdot 10^{-2} mol \cdot min^{-1}$$

نستخرج سرعة التفاعل:  $v_0 = 3,35 \cdot 10^{-2} mol \cdot l^{-1} \cdot min^{-1}$  ←  $v_0 = \frac{1}{400 \times 10^{-3}} \times 1,34 \cdot 10^{-2}$

• عند  $t_1 = 50 min$  : المماس يصير أفقيا أي ميله منعدم:  $\frac{dx}{dt} = 0$  ، إذن سرعة التفاعل منعدمة:

ب- زمن نصف التفاعل:

زمن نصف التفاعل يساوي المدة  $t_{1/2}$  اللازمة لكي يصل التقدم نصف قيمته النهائية.

مبيانيا  $t_{1/2}$  تمثل أقصى نقطة التي أرتواها  $\frac{x_f}{2}$ .

و حسب المبيان:  $\frac{x_f}{2} = 3,35 \cdot 10^{-2} mol$  ←  $x_f = 6,7 \cdot 10^{-2} mol$

و بالإسقاط على المنحنى نجد:

ج- خارج التفاعل عند حالة التوازن:

خارج التفاعل لتفاعل الأسترة ذي المعادلة:



$$Q_{eq} = \frac{[C_3H_7COOCH_3]_{eq} \cdot [H_2O]_{eq}}{[C_3H_7COOH]_{eq} \cdot [CH_3OH]_{eq}}$$

و بعد الاختزال بالحجم الكلي  $V$  :

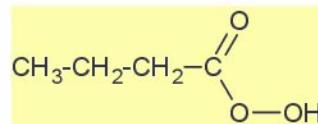
$$x_{eq} = x_f = 6,7 \cdot 10^{-2} mol$$

$$Q_{eq} = \frac{6,7 \cdot 10^{-2} \times 6,7 \cdot 10^{-2}}{(0,1 - 6,7 \cdot 10^{-2}) \times (0,1 - 6,7 \cdot 10^{-2})}$$

$$Q_{eq} = 4,1$$

**تمرين 8****1.1 - مميزات التفاعل**

يتعلق الأمر بتفاعل أسترة و هو تفاعل محدود و بطيء و لا حراري.  
• صيغة الحمض الكربوكسيلي A :



• صيغة الكحول B :

**2.1 - أ - قيمة K ثابتة التوازن**

جدول التقدم لتفاعل:

الحمض	+	الكحول	$\rightleftharpoons$	الإستر	+	الماء	معادلة التفاعل
0,30		0,30		0		0	كميات المادة بالمول في الحالة البدئية
0,30 - $x_f$		0,30 - $x_f$		$x_f$		$x_f$	كميات المادة بالمول عند التوازن

حسب جدول التقدم كمية مادة الإستر عند التوازن (الحالة النهائية) هي:

$$n_e = x_f$$

و باعتبار أن الكتلة الناتجة منه هي m فإن:

$$x_f = \frac{m}{M}$$

$$x_f = \frac{23,2}{116} = 0,2 \text{ mol}$$

نستنتج التقدم النهائي:

ت.ع.

نستنتج التركيب النهائي للخلط التفاعلي عند حالة التوازن:

$0,30 - x_f = 0,1 \text{ mol}$ من الحمض	$0,30 - x_f = 0,1 \text{ mol}$ من الكحول	$x_f = 0,2 \text{ mol}$ من الإستر	$x_f = 0,2 \text{ mol}$ من الماء
--	---	--------------------------------------	-------------------------------------

و وبالتالي نستنتج ثابتة التوازن التي هي قيمة خارج التفاعل عند حالة التوازن (الحالة النهائية):

$$K = 4 \quad \leftarrow \quad K = \frac{[\text{ester}]_{\text{eq}} \cdot [\text{eau}]_{\text{eq}}}{[\text{acide}]_{\text{eq}} \cdot [\text{alcool}]_{\text{eq}}} = \frac{\left(\frac{0,2}{V}\right)^2}{\left(\frac{0,1}{V}\right)^2}$$

**ب - مردود التحول**

$$r = \frac{n_e}{n_{\text{max}}} = \frac{x_f}{x_{\text{max}}}$$

$$r = 67\%$$

$$\leftarrow r = \frac{0,2}{0,3} = 0,67$$

ت.ع.

**2.2 - كمية المادة البدئية للحمض A**

باعتبار مردود التحول  $r' = \frac{x'_f}{x_{\text{max}}}$  لدينا:

$$x'_f = 0,80 \times 0,3 = 0,24 \text{ mol}$$

ت.ع.

نستنتج التركيب النهائي للخلط التفاعلي عند حالة التوازن:

$(n - 0,24) \text{ mol}$ من الحمض	$0,30 - x'_f = 0,06 \text{ mol}$ من الكحول	$x'_f = 0,24 \text{ mol}$ من الإستر	$x'_f = 0,24 \text{ mol}$ من الماء
--------------------------------------	---	--	---------------------------------------

$$K = \frac{\left(\frac{0,24}{V}\right)^2}{\left(\frac{n-0,24}{V}\right) \cdot \left(\frac{0,06}{V}\right)} = \frac{(0,24)^2}{0,06 \times (n-0,24)}$$

و منه نستنتج تعبير ثابتة التوازن:  
و باعتبار أن  $K = 4$  لا تتعلق بالتركيب البدئي، نستنتج قيمة  $n$ :

$n = 0,48 \text{ mol}$