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 الموافقتين انطلاقا من الصيغة نصف المنشورة لإستر.
- تسمية الإسترات المتضمنة لخمس ذرات كربون على الأكثر.
- معرفة أن تفاعلي الأسترة و الحلمأة عكوسان، و أن التحولين المقرونين بهما بطيئان.
- 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 المنحى المباشر.

نصوص التمارين

تمرين 1 اختيار 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.

2- لتحسين مردود تفاعل الأسترة:

أ- يستعمل حفاز،

ب- تستعمل كمية وافرة من الكحول،

ت- يستعمل التسخين بالارتداد،

ث- يقطر الإستر شيئا بعد شيء.

3- تنجز حلمأة بوتانوات المثيل. ناتجا الحلمأة هما:

أ- الميثانول و حمض البوتانويك،

ب- البوتان-1-أول و حمض الميثانويك،

ت- البوتان-2-أول و حمض الميثانويك.

4- بالتسخين بالارتداد لخليط تفاعل الحلمأة السابق:

أ- ترتفع كميتا الكحول و الحمض الناتجين،

ب- توصل حالة التوازن بسرعة أكبر،

ت- يمكن الاقتراب أكثر من التقدم الأقصى.

5- بحذف الماء خلال تفاعل أسترة:

أ- ينزاح التوازن في منحى تفاعل الأسترة،

ب- يصير خارج التفاعل مساويا لثابتة التوازن،

ت- يبقى خارج التفاعل أصغر من ثابتة التوازن.

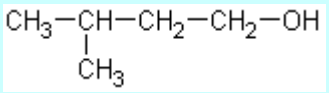
تمرين 2 متماكبات إستر

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

2- أكتب بالنسبة لكل منها، صيغتي الكحول و الحمض الموافقتين مع تسميتهما.

تمرين 3 حلمأة إستر

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



1- أكتب الصيغة نصف المنشورة للإستر .

2- أكتب الصيغة نصف المنشورة للمتفاعل الآخر اللازم لتحضير هذا الإستر، و أعط اسمه.

تمرين 4 تركيبة نهائية

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

1- أكتب معادلة تفاعل الأسترة.

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

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

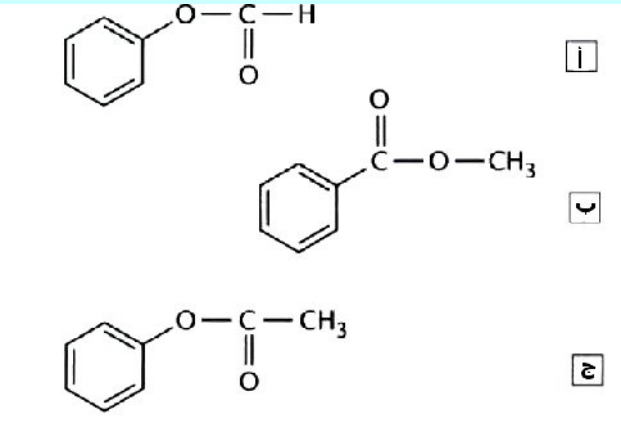
ب- أوجد التركيبة النهائية، بالمول، للمجموعة الكيميائية.

تمرين 5 اصطناع عطر

ينجز تركيب التسخين بالارتداد،حيث يوضع في حوجلة كتلة m=12,2 g من حمض البنزويك C_6H_5-COOH ، و حجم V=40,0 ml من الميثانول CH_3-OH، و قطرات من حمض الكبريتيك المركز و حجر خفان.

يحصل على بنزوات المثيل الذي يتميز برائحة طيبة.

1- صيغة بنزوات المثيل هي:



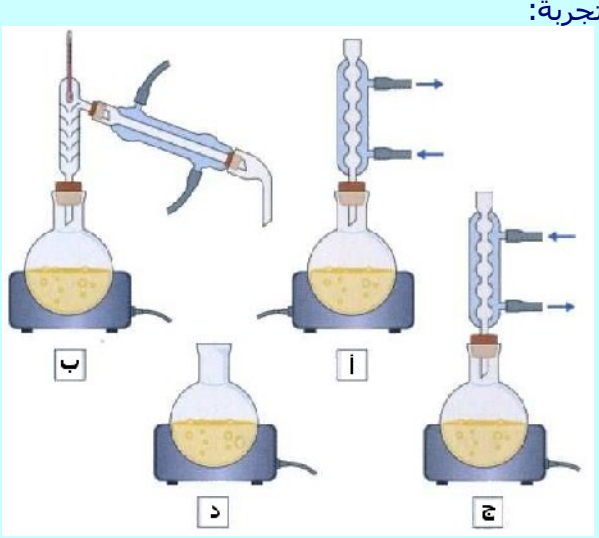
2- دور حمض الكبريتيك هو:

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 وافر،

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_e=10,2 g من بنزوات المثيل.

أ- التفاعل غير كلي،

ب- التفاعل كلي.

ج- مردود التفاعل هو67% ،

د- مردود التفاعل هو75% .

♦ معطيات:

النوع الكيميائي	الكتلة المولية($g.mol^{-1}$)	الكثافة(عند20°)	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 تجريبي

إيثانوات 3- مثيل بوتيل نوع كيميائي يستخدمه النحل لتحذير بعضه البعض من خطر محدق. يسمى هذا الصنف من الجزيئات، التي تستعمل كرسالة كيميائية، فيرومونات.
لتصنيع هذا الفيرومون في المختبر، يتبع البروتوكول التجريبي 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: $\mu = 0,87\ g.mol^{-1}$

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

-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- أذكر اسم هذا التفاعل و خاصياته.

-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)

ينتج عن تفاعل حمض البوتانويك مع الميثانول مركب عضوي E و الماء.معادلة التفاعل هي:

$$CH_3-CH_2-CH_2-COOH + CH_3-OH \rightleftarrows CH_3-CH_2-CH_2-COO-CH_3 + H_2O$$

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

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

2.1- أذكر الفائدة من استعمال ماء مثلج.

2.2- أذكر 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 الميقت عند اللحظة t=0 .

لتحديد تقدم التفاعل بدلالة الزمن، نخرج الأنابيب واحدا تلو الآخر و نضعها في ماء مثلج، ثم نعاير الحمض المتبقي في كل أنبوب بواسطة محلول مائي لهيدروكسيد الصوديوم تركيزه $c = 1\ mol.l^{-1}$.

المعادلة الكيميائية المنمذجة للمعايرة هي:

$$AH_{(aq)} + HO^-_{(aq)} \rightarrow A^-_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

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

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

3.2- تمكن النتائج المحصل عليها من خط المنحنى الممثل لتغيرات x بدلالة الزمن (المبيان التالي).

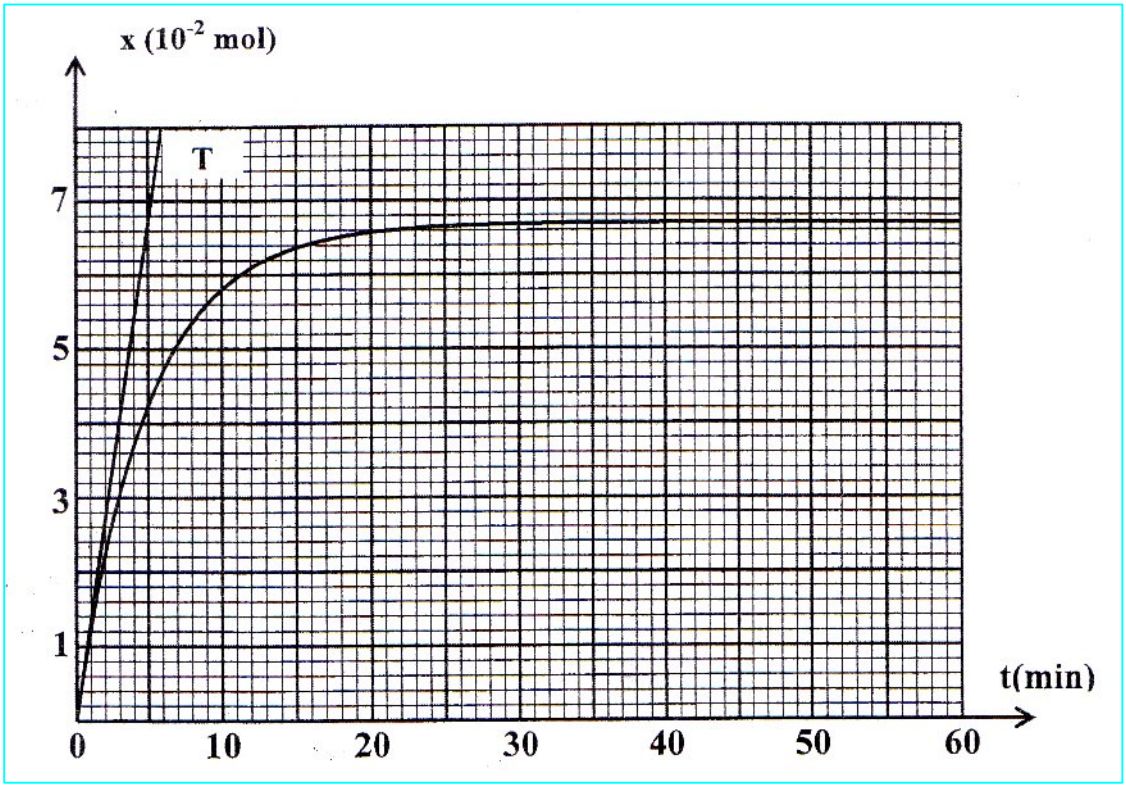
المستقيم T هو المماس للمنحنى عند t=0 .

باستغلال المنحنى حدد:

أ- السرعة الحجمية للتفاعل عند اللحظة t_0=0 و اللحظة t_1=50min .

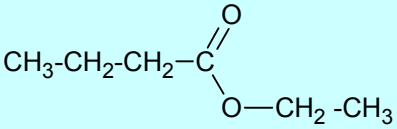
ب- زمن نصف التفاعل.

ج- خارج التفاعل عند التوازن.



تمرين 8 تحضير نكهة الأناناس(عن باك 2009 شعبة العلوم الرياضية)

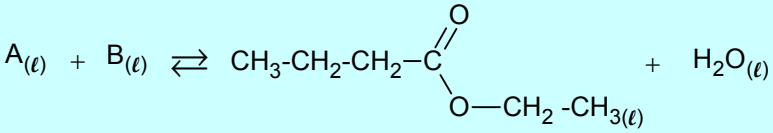
يحتوي العديد من الفواكه على إسترات ذات نكهة متميزة، فمثلا نكهة الأناناس تعزى إلى بوتانوات الإثيل و هو إستر صيغته نصف المنشورة هي:



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

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

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



1.1- أذكر مميزات هذا التفاعل.

1.2- عين الصيغة نصف المنشورة لكل من A و B .

2- نسخن بالارتداد خليطا متساوي المولات يحتوي على $n_0 = 0,30\ mol$ من الحمض A و $n_0 = 0,30\ mol$ من الكحول B بوجود حمض الكبريتيك.عند التوازن الكيميائي نحصل على 23,2 g من بوتانوات الإثيل.

2.1- بالاعتماد على جدول التقدم للتحول الحاصل أوجد:

أ- قيمة ثابتة التوازن K المقرونة بمعادلة التفاعل المدروس.

ب- قيمة τ مردود هذا التفاعل.

2.2- ننجز التحول نفسه باستعمال n مول من الحمض A و $n_0 = 0,30\ mol$ من الكحول B .

أحسب كمية المادة n للحصول على مردود يساوي r' = 80%.

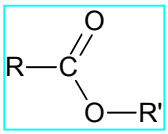
حلول تمارين تفاعلات الأسترة و الحلمأة

تمرين 1

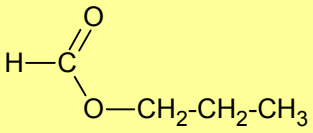
1- ت
2- ب و ث
3- أ
4- ب
5- أ و ت

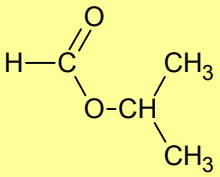
تمرين 2

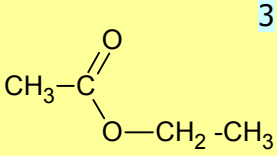
1- الإسترات المتماكبة للصيغة $C_4H_8O_2$

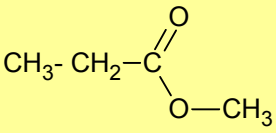


نذكر بأن الصيغة نصف المنشورة العامة لإستر هي:
حيث R ذرة هيدروجين أو جدر ألكيل، و 'R جدر ألكيل.
لتحديد جميع المتماكبات نوزع ذرات الكربون(3ذرات) بين R و 'R مع اعتبار التفرعات الممكنة.
نجد 4 متماكبات:

1 
ميثانوات البروبيل

2 
ميثانوات 1- مثيل إثيل

3 
إيثانوات الإثيل

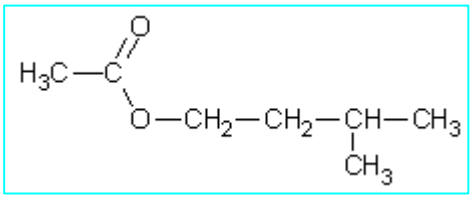
4 
بروبانوات المثيل

2- صيغتا الكحول و الحمض الموافقتين لكل إستر

رقم الإستر	صيغة و اسم الكحول الموافق له	صيغة و اسم الحمض الموافق له
1	CH_3- CH_2 -CH_2-OH بروبان -1- أول	HCOOH حمض الميثانويك
2	$H_3C—\underset{\underset{OH}{|}}{CH}—CH_3$ بروبان -2- أول	HCOOH حمض الميثانويك
3	CH_3CH_2OH إيثانول	CH_3COOH حمض الإيثانويك
4	CH_3OH ميثانول	CH_3CH_2COOH حمض البروبانويك

تمرين 3

1- الصيغة نصف المنشورة للإستر



2- صيغة و اسم المتفاعل الثاني
يتعلق الأمر بحمض كربوكسيلي و هو: حمض الإيثانويك CH_3COOH

تمرين 4

1- معادلة تفاعل الأسترة

$$CH_3COOH + C_2H_5OH \rightleftarrows CH_3COOC_2H_5 + H_2O$$

2- أ- • حالة المجموعة:

خارج التفاعل البدئي هو:

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

ت.ع.

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

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

• <u>منحى تطور المجموعة</u>:

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

ب- <u>التركيبة النهائية للمجموعة</u>

ننشئ جدول التقدم.

معادلة التفاعل	CH_3COOH	+	C_2H_5OH	$\rightleftarrows$	$CH_3COOC_2H_5$	+	H_2O
كميات المادة بالمول في الحالة البدئية	3		2		1		10
كميات المادة بالمول في الحالة النهائية (حالة التوازن)	$3-x_f$		$2-x_f$		$1+x_f$		$10+x_f$

خارج التفاعل في الحالة النهائية، أي حالة التوازن، هو: $Q_{r_{éq}} = \dfrac{(1+x_f)\cdot(10+x_f)}{(3-x_f)\cdot(2-x_f)}$ (بعد الاختزال بالحجم V)

و حيث أن $Q_{r_{éq}} = K = 4$، نستنتج المعادلة التالية: $3x_f^2 - 31x_f + 14 = 0$

و هي معادلة من الدرجة الثاني لها حلان هما: $\begin{vmatrix} x_f = 0,75\ mol \\ x_f = 6,25\ mol \end{vmatrix}$

و بالنظر إلى كميات المادة البدئية، فإن الحل المناسب هو: $x_f = 0,75\ mol$

و بالتالي التركيبة النهائية هي:

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

تمرين 5

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

2- يؤدي حمض الكبريتيك دور الحفاز لتفاعلي الأسترة و الحلمأة، 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 المنحى 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: $n_i(ac) = \dfrac{m}{M}$

$n_i(ac) = \dfrac{12,2}{122} = \underline{0,1\ mol}$ ت.ع.

• كمية المادة البدئية للميثانول: $n_i(al) = \dfrac{m'}{M'}$ مع $m' = \rho \cdot V$ و $d = \dfrac{\rho}{\rho_{eau}}$ $\leftarrow$ $n_i(al) = \dfrac{d \cdot \rho_{eau} \cdot V}{M'}$

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

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

5- • كمية مادة الإستر الناتجة هي: $n_f(es) = \dfrac{m_e}{M_e}$

$n_f(es) = \dfrac{10,2}{136} = \underline{0,075\ mol}$ ت.ع.

• المتفاعل الحدي هو الحمض إذن التقدم الأقصى هو: $\underline{x_{max} = 0,1\ mol}$

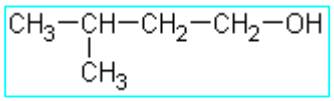
نستنتج مردود التفاعل: $r=\frac{n_e}{x_{max}}$ ت.ع. $r=\frac{0,075}{0,1}=\underline{75\%}$

و بالتالي فالأجوبة الصحيحة هي (أ) و (د).

تمرين 6

1.1- • صيغة حمض الإيثانويك هي: CH_3COOH

• صيغة 3- مثيل بوتان -1- أول هي:



1.2- معادلة التفاعل هي:

$$CH_3COOH + CH_3CH(CH_3)CH_2CH_2OH \rightleftharpoons CH_3COOCH_2CH_2CH(CH_3)CH_3 + H_2O$$

1.3- تفاعل أسترة، و هو بطيء و غير كلي و لا 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 و الارتداد يحول دونما فقد للمادة.

3- مردود التفاعل

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

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

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

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

$$n_e=\frac{0,87\times 13,0}{130}=\underline{8,7.10^{-2}\ mol} \leftarrow$$

• المتفاعل الحدي هو الكحول إذن التقدم الأقصى هو: $\underline{x_{max}=0,1\ mol}$

و بالتالي مردود التفاعل هو: $r=\frac{8,7.10^{-2}}{0,1}=0,87$ أي $r=87\%$

تمرين 7

1- المجموعة التي ينتمي إليها 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، و تنخفض بانخفاضها.

الماء المثلج يبرد الخليط التفاعلي و بالتالي يوقف التفاعل.

2.2- دور حمض الكبريتيك

يحتوي محلول حمض الكبريتيك المركز على الأيونات H_3O^+ التي تؤدي دور الحفاز في هذا التفاعل.

3.1- تعبير تقدم التفاعل

لننشئ الجدول الوصفي لتفاعل الأسترة بالنسبة للخليط.

معادلة التفاعل	C_3H_7COOH	+	CH_3OH	⇄	$C_3H_7COOCH_3$	+	H_2O
كميات المادة بالمول في الحالة البدئية	0,1		0,1		0		10
كميات المادة بالمول في لحظة t	$0,1-x$		$0,1-x$		x		x

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.

لننشئ جدول التقدم لتفاعل المعايرة بالنسبة لعينة.

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

عند التكافؤ يختفي كليا المعاير و المعايَر : $c \cdot V_{BE} - x'_E = 0$ و $\frac{0,1-x}{10} - x'_E = 0$

نستنتج علاقة التكافؤ: $\frac{0,1-x}{10} = c \cdot V_{BE}$

و منها نستنتج تعبير التقدم: $x = 0,1 - 10c \cdot V_{BE}$

3.2- أ- <u>السرعة الحجمية</u>

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:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{6,7.10^{-2} - 0}{5 - 0} = 1,34 \cdot 10^{-2}\ mol.\min^{-1}$$

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

- عند $t_1 = 50\ \min$: المماس يصير أفقيا أي ميله منعدم: $\frac{dx}{dt} = 0$ ، إذن سرعة التفاعل منعدمة: $v_1 = 0$

ب- <u>زمن نصف التفاعل:</u>

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

مبيانيا $t_{\frac{1}{2}}$ تمثل أفصول النقطة التي أرتوبها $\frac{x_f}{2}$.

و حسب المبيان: $x_f = 6,7.10^{-2}\ mol$ ← $\frac{x_f}{2} = 3,35.10^{-2}\ mol$

و بالإسقاط على المنحنى نجد: $t_{\frac{1}{2}} \approx 3,5\ \min$

ج- <u>خارج التفاعل عند حالة التوازن</u>

خارج التفاعل لتفاعل الأسترة ذي المعادلة:

$$C_3H_7COOH + CH_3OH \rightleftarrows C_3H_7COOCH_3 + H_2O$$

هو: $Q_{r_{éq}} = \frac{[C_3H_7COOCH_3]_{éq} \cdot [H_2O]_{éq}}{[C_3H_7COOH]_{éq} \cdot [CH_3OH]_{éq}}$

و بعد الاختزال بالحجم الكلي V : $Q_{r_{éq}} = \frac{n_{éq}(C_3H_7COOCH_3) \cdot n_{éq}(H_2O)}{n_{éq}(C_3H_7COOH) \cdot n_{éq}(CH_3OH)}$

ت.ع. $x_{éq} = x_f = 6,7.10^{-2}\ mol$

$$Q_{r_{éq}} = \frac{6,7.10^{-2} \times 6,7.10^{-2}}{(0,1 - 6,7.10^{-2}) \times (0,1 - 6,7.10^{-2})}$$ ←

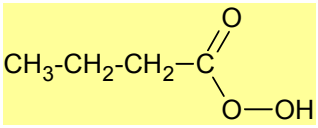
$Q_{r_{éq}} = 4,1$ ←

تمرين 8

1.1- مميزات التفاعل

يتعلق الأمر بتفاعل أسترة و هو تفاعل محدود و بطيء و لا حراري.

1.2- • صيغة الحمض الكربوكسيلي A :



• صيغة الكحول B : $CH_3 - CH_2 - OH$

2.1- أ- قيمة K ثابتة التوازن

جدول التقدم للتفاعل:

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

حسب جدول التقدم كمية مادة الإستر عند التوازن (الحالة النهائية) هي: $n_e = x_f$

و باعتبار أن الكتلة الناتجة منه هي m فإن: $n_e = \frac{m}{M}$

نستنتج التقدم النهائي: $x_f = \frac{m}{M}$

ت.ع. $x_f = \frac{23,2}{116} = \underline{0,2\ mol}$

نستنتج التركيب النهائي للخليط التفاعلي عند حالة التوازن:

x_f = 0,2 mol من الماء	x_f = 0,2 mol من الإستر	0,30 - x_f = 0,1 mol من الكحول	0,30 - x_f = 0,1 mol من الحمض

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

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

ب- مردود التحول

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

ت.ع. $r = \frac{0,2}{0,3} = 0,67$ $\leftarrow$ $r = 67\,\%$

2.2- كمية المادة البدئية للحمض A

باعتبار مردود التحول $r' = \frac{x'_f}{x_{max}}$ لدينا: $x'_f = r' \cdot x_{max}$ ت.ع. $x'_f = 0,80 \times 0,3 = \underline{0,24\ mol}$

نستنتج التركيب النهائي للخليط التفاعلي عند حالة التوازن:

x'_f = 0,24 mol من الماء	x'_f = 0,24 mol من الإستر	0,30 – x'_f = 0,06 mol من الكحول	(n – 0,24) mol من الحمض

و منه نستنتج تعبير ثابتة التوازن: $K = \frac{\left(\frac{0,24}{V}\right)^2}{\left(\frac{n-0,24}{V}\right)\cdot\left(\frac{0,06}{V}\right)} = \frac{(0,24)^2}{0,06\times(n-0,24)}$

و باعتبار أن K = 4 (K لا تتعلق بالتركيب البدئي)، نستنتج قيمة n: $n = 0,48\ mol$