

دروس - أنشطة - تطبيقات

التحولات السريعة و التحولات البطيئة
لمجموعة كيميائية
التحولات غير الكلية لمجموعة كيميائية

الموجات
التحولات النووية
الكهرباء

الفيزياء و الكيمياء

السنة الثانية من سلك البكالوريا - الدورة الأولى

علوم فيزيائية
علوم الحياة و الأرض
علوم رياضية*

2BAC



Facebook : Yassin DERRAZ
Gmail: yassinderaz@gmail.com

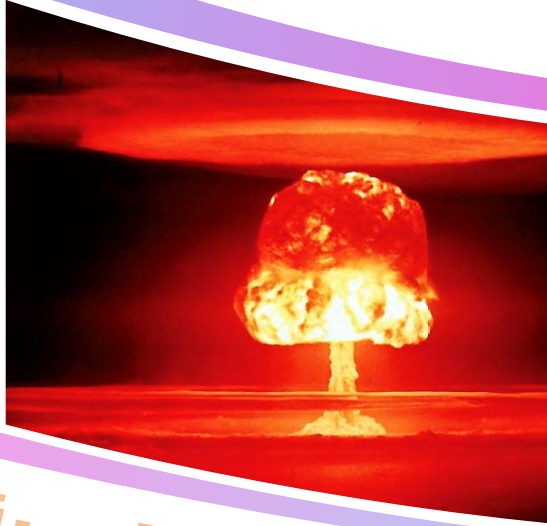
إعداد: د. ياسين الدراز
ثانوية الرازي التأهيلية - ترجيست

دروس و أنشطة الفيزياء

لثانية بكالوريا

مسلك العلوم الفيزيائية

الدورة الأولى



الموجات - التمولات التووية - الكهرباء

Facebook : Yassin DERRAZ
Gmail: yassinderaz@gmail.com

إعداد: ذ. ياسين الدراز
ثانوية الرازي التأهيلية - ترجيست

1^o ONDES

الموجات

الجزء الأول

محتوى الجزء :

- ▶ الوحدة 1 : الموجات الميكانيكية المتوالية.
- ▶ الوحدة 2 : الموجات الميكانيكية المتوالية الدورية.
- ▶ الوحدة 3 : انتشار موجة ضوئية.





أمواج البحر مثال لموجة ميكانيكية متوالية. فما الموجة الميكانيكية و ماهي خواصها و أنواعها ؟ و كيف نحسب سرعة انتشارها ؟

الوحدة
- 1 -

الغلاف الزمني (درس + تمارين)
5 ساعات (1+4)

الفئة المستهدفة
الثانوية بكالوريا - جميع الشعب والمسالك العلمية.

الأهداف

- تعرف الموجة الميكانيكية.
- تعريف الموجة الميكانيكية المتوالية
- الإبراز الكيفي للموجات: أحادية البعد، ثنائية البعد، ثلاثية البعد.
- تعريف وتعرف الموجة المستعرضة والموجة الطولية و خواصهما.
- تعرف واستغلال الخواص العامة للموجات.
- قياس سرعة الانتشار وتحديد العوامل المؤثرة فيها.

معارف ومهارات

- تعريف الموجة الميكانيكية وسرعة انتشارها.
- تعريف الموجة الطولية والموجة المستعرضة.
- معرفة واستغلال الخواص العامة للموجات.
- تعريف الموجة المتوالية الأحادية البعد، ومعرفة العلاقة بين استطالة نقطة M من وسط الانتشار واستطالة المنبع S :
 $y_M(t) = y_S(t - \tau)$
- استغلال العلاقة بين التأخر الزمني والمسافة وسرعة الانتشار :
 $V = \frac{SM}{\tau}$
- استغلال وثائق تجريبية ومعطيات لتحديد:
 - مسافة: <
 - التأخر الزمني τ : <
 - سرعة الانتشار. <
- اقترح تبيانة تركيب تجريبي (راسم التذبذب) لقياس التأخر الزمني أو سرعة الانتشار عند انتشار موجة.

1- تعاريف:

- التشويه: تغير مؤقت لبعض الخصائص الفيزيائية لوسط معين.
 - الموجة الميكانيكية المتوالية: هي انتشار إشارة (تشويه) مصانة في وسط مادي مرن.
- 👉 ملاحظة: يصاحب انتشار موجة انتقال للطاقة دون انتقال للمادة.

2- الخواص العامة للموجة:

أ- اتجاه الانتشار: (نميز ثلاث حالات).

- موجة ميكانيكية أحادية البعد: اتجاه الانتشار مستقيمي.
 - مثال: انتشار تشويه على طول نابض أو طول حبل.
- موجة ميكانيكية ثنائية البعد: الانتشار يتم وفق مستوى وحيد.
 - مثال: انتشار تشويه على سطح الماء.
- موجة ميكانيكية ثلاثية البعد: الانتشار يتم في جميع الاتجاهات.
 - مثال: انتشار الصوت.

ب- تراكب موجتين ميكانيكيتين:

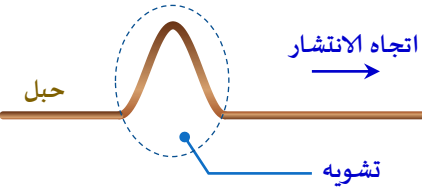
عند التقاء موجتين ميكانيكيتين ، فإنهما تراكبان ، وبعد التراكب يستمر انتشار كل منهما دون تأثير ناتج عن تراكبهما ، بحيث تحتفظ كل موجة بنفس المظهر و بنفس سرعة الانتشار.

-
- قبل التراكب
 - عند التراكب
 - بعد التراكب

👉 ملاحظة: تتحقق خاصية التراكب فقط بالنسبة للموجات ذات تشويه ضعيف.

3- الموجة الطولية و الموجة المستعرضة:

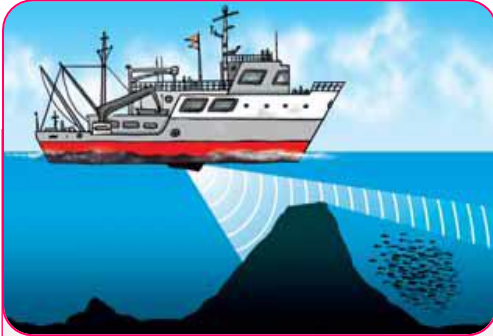
- أ- الموجة المستعرضة: نقول إن الموجة مستعرضة إذا كان اتجاه تشويه الوسط عموديا على اتجاه انتشار الموجة.
 - مثال: انتشار تشويه طول حبل أو فوق سطح الماء.
- ب- الموجة الطولية: نقول إن الموجة طولية إذا كان اتجاه تشويه الوسط موازيا على اتجاه انتشار الموجة.
 - مثال: انتشار تشويه على طول نابض أو الموجات الصوتية.



موجة ميكانيكية أحادية البعد



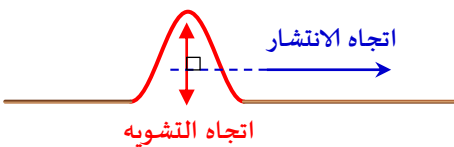
موجة ميكانيكية ثنائية البعد



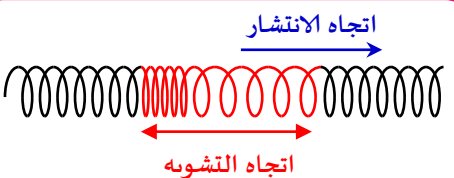
موجة ميكانيكية ثلاثية البعد



تراكب موجتين فوق سطح الماء



موجة مستعرضة



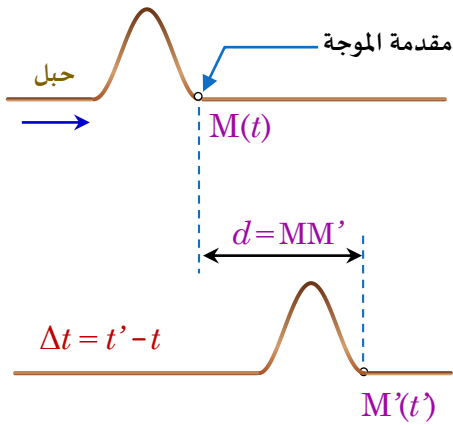
موجة طولية

1- سرعة انتشار موجة:

- تتعلق سرعة انتشار موجة بوسط الانتشار، وتعرف بالعلاقة التالية:

$$V = \frac{d}{\Delta t}$$

- d : المسافة المقطوعة بالمتر (m)
- Δt : المدة الزمنية المستغرقة بالثانية (s).
- V : سرعة الانتشار بـ ($m \cdot s^{-1}$).



مظهر الحبل عند لحظتين مختلفتين

سرعة الانتشار ($m \cdot s^{-1}$) بـ	الوسط
3,7	ثنائي الأوكسجين
340	الهواء
1500	الماء
5130	الحديد
6000	الفرانيت

2- العوامل المؤثرة في سرعة الانتشار:

- سرعة انتشار موجة تتعلق بطبيعة وسط الانتشار؛ أي بمرناته وصلابته و قصوره ودرجة حرارته وكثافته و ...

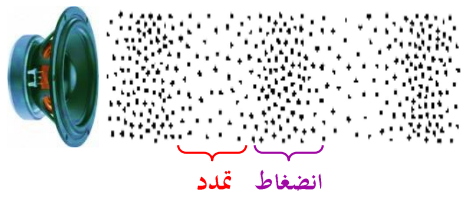
ب مثال 1: يعبر عن سرعة انتشار موجة طول حبل بالعلاقة: $V = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$
 T : توتر الحبل بالنيوتن (N).

μ : الكتلة الطولية للحبل ب ($kg \cdot m^{-1}$) أي $\mu = \frac{m}{L}$.

ب مثال 2: يتبين من الجدول جانبه أن الصوت ينتشر بسرعة أكبر في الأوساط الأكثر كثافة، عموماً: $V_{solide} > V_{liquide} > V_{gaz}$.

3- الموجة الصوتية:

- يتطلب انتشار الصوت وجود وسط مادي؛ جسم صلب أو سائل أو غازي، و بالتالي فالصوت موجة ميكانيكية.
- الصوت موجة طولية ثلاثية البعد تنتشر في جميع الاتجاهات نتيجة انضغاط وتمدد وسط الانتشار.
- ب مثال: ينتشر الصوت في الهواء نتيجة تمدد وانضغاط طبقات الهواء.



انتشار موجة صوتية

4- التأخر الزمني τ :

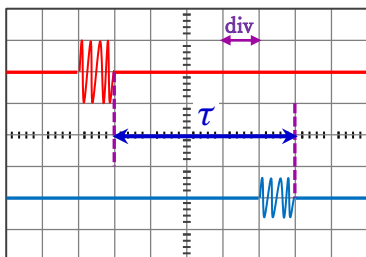
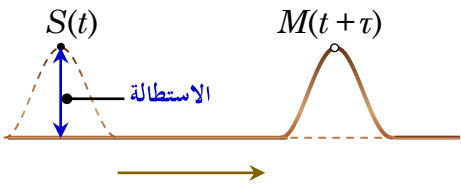
- في غياب الخمود، تخضع جميع نقاط وسط الانتشار لنفس التشويه الذي يحدث للمنبع S لكن بعد مدة زمنية يستغرقها وصول الموجة من المنبع S إلى النقطة المعنية M، تسمى هذه المدة بالتأخر الزمني ونرمز له بـ τ وحدته في النظام العالمي هي الثانية (s).

$$V = \frac{SM}{\tau} \quad \text{أي} \quad V = \frac{d}{\Delta t} = \frac{SM}{(t+\tau) - t}$$

ملاحظة 1: العلاقة بين استطالة نقطة M من وسط الانتشار واستطالة المنبع S هي:

$$y_S(t) = y_M(t + \tau) \quad \text{أو} \quad y_M(t) = y_S(t - \tau)$$

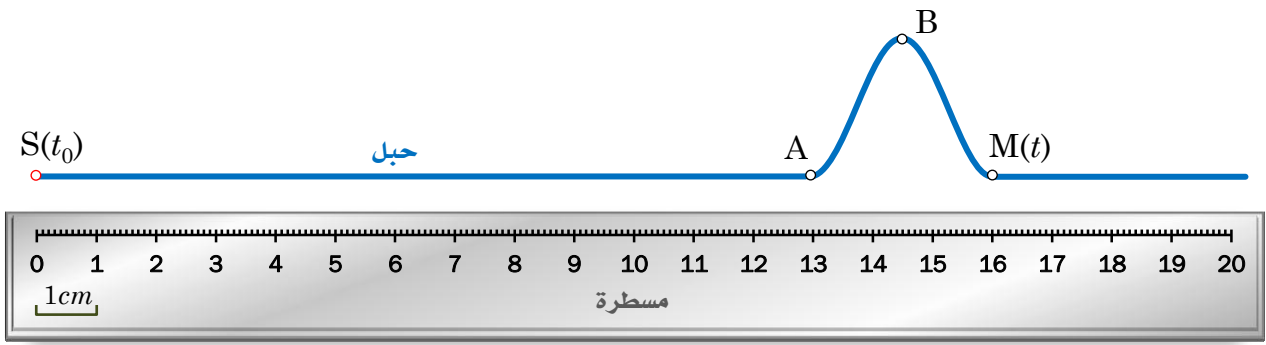
ملاحظة 2: عندما تصل الموجة إلى النقطة M ستتحرك نحو الأعلى.



تحديد τ باستعمال راسم التذبذب، الحساسية الأفقية: هي $1ms/div$: $\tau = 5div \times 1ms/div = 5ms$



يمثل الشكل أسفله انتشار موجة طول حبل. تم أخذ صورة للحبل عند اللحظة $t = 40 \text{ ms}$. علما أن التشوه بدأ من المنبع S عند اللحظة $t_0 = 0$.



- 1 أعط تعريف الموجة الميكانيكية المتوالية.
- 2 ما طبيعة هذه الموجة (طولية أم مستعرضة)؟ وهل هي أحادية البعد أم ثنائية البعد أم ثلاثية البعد؟
- 3 حدد عند اللحظة t ، النقط التي ستتحرك نحو الأسفل والنقط التي ستتحرك نحو الأعلى.
- 4 احسب V سرعة انتشار الموجة طول الحبل.
- 5 في أية لحظة ستتوقف النقطة M (مقدمة الموجة) عن الحركة؟
- 6 مثل مظهر الحبل عند اللحظة $t' = 10 \text{ ms}$.
- 7 العلاقة بين استطالة النقطة M واستطالة المنبع S هي (حدد كل اقتراح صحيح):

$y_S(t) = y_M(t - 0,4)$

$y_S(t) = y_M(t + 0,04)$

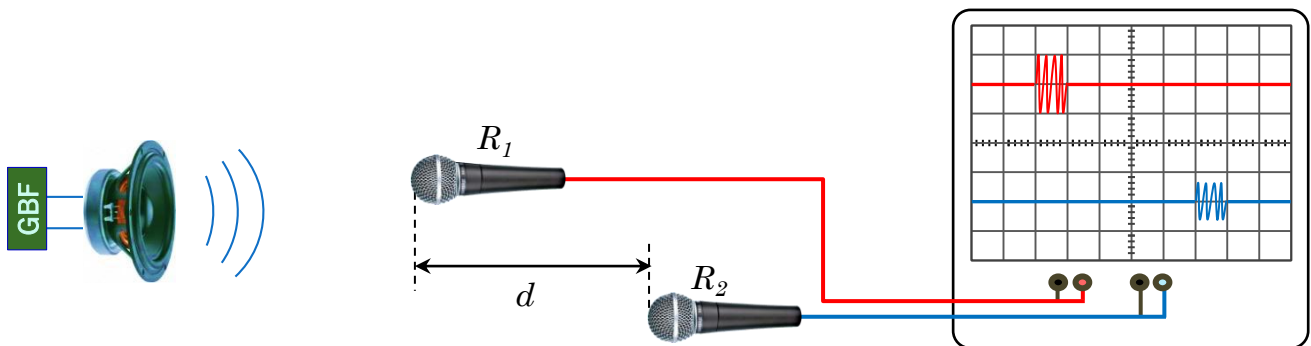
$y_M(t) = y_S(t - 0,04)$

$y_M(t) = y_S(t + 0,04)$



لقياس سرعة انتشار الموجات الصوتية في الهواء نجز التركيب التجريبي الممثل أسفله. يفصل بين الميكروفونين R_1 و R_2 مسافة $d = 1,70 \text{ m}$. يمثل الرسم التذبذبي الممثل في الشكل أسفله تغيرات التوترين مربطي كل ميكروفون.

■ **نعطي:** الحساسية الأفقية: 1 ms/div ؛ درجة حرارة الهواء: 25°C ؛ سرعة انتشار الصوت في الماء: $V_{\text{eau}} = 1500 \text{ m.s}^{-1}$.



- 1 هل الصوت موجة طولية أم موجة مستعرضة؟
- 2 أعط المدلول الفيزيائي للتأخر الزمني τ بين الميكروفونين R_1 و R_2 ، ثم حدد قيمته.
- 3 استنتج قيمة V_{air} سرعة انتشار الموجات الصوتية في الهواء.
- 4 حدد قيمة التأخر الزمني τ' عندما نزع الميكروفون R_2 نحو اليمين، انطلاقا من موضعه السابق، بمسافة $L = 51 \text{ cm}$.
- 5 قارن V_{eau} و V_{air} . ماذا تستنتج؟

عندما تجتاز أمواج البحر معبرا ضيقا
يصبح شكلها دائريا.
ما اسم هذه الظاهرة؟ و ماهي شروط
حدوثها؟ و ما خصائص الموجة
الدائرية؟



الوحدة
- 2 -

الغلاف الزمني (درس + تمارين)

5 ساعات (1 + 4)

الفئة المستهدفة

الثانية بكالوريا - جميع الشعب والمسالك العلمية

المحتوى

- الموجة الميكانيكية المتوالية الدورية: تعريف - الدورية الزمانية - الدورية المكانية .
- الموجة الميكانيكية المتوالية الجيبية: تعريف - سرعة الانتشار - مقارنة الحالة الاهتزازية لنقطتين من وسط الانتشار.
- حيود موجة ميكانيكية متوالية جيبية: مفهوم ظاهرة الحيود - شرط حدوث ظاهرة الحيود - خصائص الموجة المحيدة .
- الوسط المبدد: تعريف.
- تبيانة التركيب التجريبي لدراسة حيود موجة صوتية.

معارف ومهارات

- تعرف موجة متوالية دورية ودورها.
- تعريف الموجة المتوالية الجيبية والدور والتردد وطول الموجة.
- معرفة واستغلال العلاقة: $\lambda = V \cdot T$ أو $V = \lambda \cdot N$.
- معرفة شروط حدوث ظاهرة الحيود: طول الموجة أصغر (أو تقارب) من عرض الشق: $a < \lambda$.
- معرفة خاصية موجة محيدة.
- تعريف وسط مبدد.
- استغلال وثائق تجريبية للتعرف على ظاهرة الحيود وإبراز خصائص الموجة المحيدة.
- اقترح تبيانة تركيب تجريبي يمكن من إبراز ظاهرة حيود الموجات الميكانيكية الصوتية وفوق الصوتية.

I الموجة الميكانيكية المتوالية الدورية.

I

1- تعريف:

الموجة الميكانيكية المتوالية الدورية هي الظاهرة الناتجة عن انتشار تشويه دوري في وسط الإنتشار.

أمثلة: - (الشكل 1) انتشار موجة صوتية دورية منبعثة من آلة موسيقية.

- (الشكل 2) انتشار موجة دورية على سطح الماء.

2- الدورية الزمانية (الدور T):

الدور الزمني T لموجة متوالية دورية هو المدة الزمنية التي تتكرر فيها الظاهرة بكيفية مماثلة. وحدة T هي الثانية (s).

الدور T يقيس حالة نقطة مادية وحيدة من وسط الإنتشار.

التردد N هو مقلوب الدور T: $N = \frac{1}{T}$. وحدة N هي الهرتز (Hz).

ملحوظة:

عندما نضيء موجة دورية ترددها N بواسطة وماض ضبط على التردد N_s ، ونلاحظ أول توقف ظاهري للموجة، فإنه يكون للموجة و الوماض نفس التردد: $N = N_s$.

مثال: حدد بالنسبة للشكل 3، الدور T و التردد N. نعطي $S_h = 5 \text{ ms/div}$.
جواب: $N = \frac{1}{T} = 50 \text{ Hz}$; $T = 4 \text{ div} \times S_h = 20 \text{ ms} = 2.10^{-2} \text{ s}$

2- الدورية المكانية (طول الموجة λ):

الدور المكاني λ لموجة متوالية دورية هو المسافة الثابتة التي تفصل بين أقرب نقطتين تهتزتان بنفس الكيفية و في نفس اللحظة.

الدور المكاني λ يقيس مجموعة من النقط المادية من وسط الإنتشار.

يسمى المقدار λ طول الموجة، وحدتها في النظام العالمي هي المتر (m).

مثال:

في الشكل 4، المسافة بين النقطتين A و B هي 12 cm. حدد طول الموجة λ.

جواب: $AB = 3\lambda$ $\Rightarrow \lambda = \frac{AB}{3} = \frac{12}{3} = 4 \text{ cm} = 4.10^{-2} \text{ m}$

II الموجة الميكانيكية المتوالية الجيبية.

II

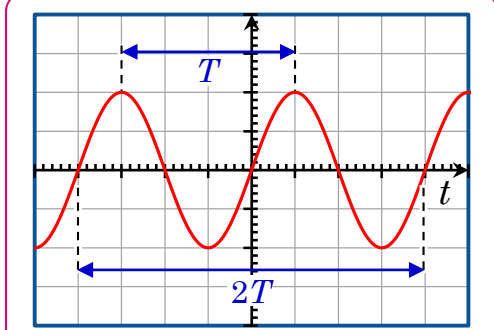
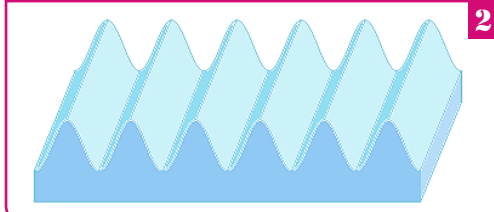
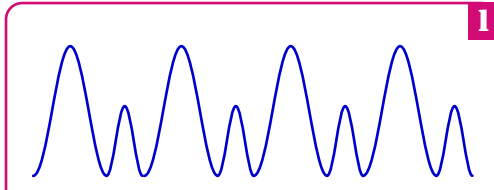
1- تعريف الموجة الجيبية:

نقول أن الموجة الميكانيكية المتوالية الجيبية إذا كان المقدار الفيزيائي المقرون بها دالة جيبية بالنسبة للزمن.

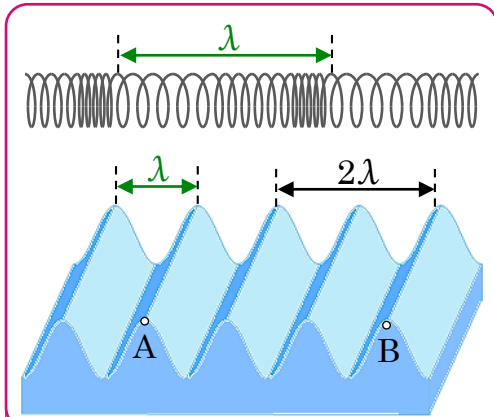
• الموجة التي تنتشر على سطح الماء في الشكل 2 مثال موجة متوالية جيبية. تتغير

$$y(t) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$$

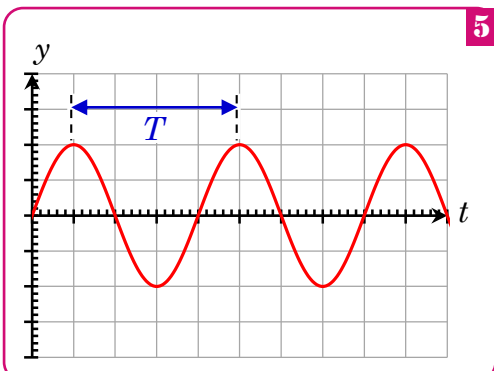
مع: A وسع الموجة بالمتر (m) و T دور الموجة بـ (s).



3 قياس الدور T باستعمال راسم التذبذب



4 قياس طول الموجة λ



5

2- سرعة الانتشار:

خلال مدة زمنية T تقطع الموجة المتوالية الجيبية مسافة λ فيكون تعبير سرعة الانتشار هو:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot N$$

v : سرعة الانتشار ($m \cdot s^{-1}$)

T : دور الموجة (s)

λ : طول الموجة (m)

N : تردد الموجة (Hz)

مثال: يحدث هزاز تردده $N = 15 \text{ Hz}$ موجات جيبية طول حبل (الشكل 6). علما

أن المسافة d في الشكل هي $d = 8 \text{ cm}$ ، ما سرعة انتشار الموجة؟

جواب: $v = \lambda \cdot N = \frac{d}{2} \cdot N = \frac{8 \cdot 10^{-2}}{2} \times 15 = 0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

3- مقارنة الحالة الاهتزازية لنقطتين من وسط الانتشار:

لمقارنة الحالة الاهتزازية لنقطتين M و N من وسط الانتشار، نقارن المسافة MN مع طول الموجة λ :

◀ إذا كان $MN = k\lambda$: فإن النقطتين M و N تهتزان على توافق في الطور.

◀ إذا كان $MN = (k + \frac{1}{2})\lambda$: فإن النقطتين M و N تهتزان على تعاكس في

الطور، حيث ($k \in \mathbb{Z}$).

مثال:

نعتبر الشكل 7. قارن الحالة الاهتزازية للنقطتين A و B ، ثم A و D ، ثم A و C .

• $AB = \lambda$ ، إذن النقطتان A و B تهتزان على توافق في الطور ($k=1$).

• $AD = 2\lambda$ ، إذن النقطتان A و D تهتزان على توافق في الطور ($k=2$).

• $AC = \lambda(1 + \frac{1}{2})$ ، إذن النقطتان A و C تهتزان على تعاكس في الطور.

ملحوظة: يمكن تحديد الحالة الاهتزازية باستعمال راسم التذبذب:

■ إذا كان المنحنيان على توافق في الطور، فإن للنقطتين M و N تهتزان على توافق في الطور، أي: $MN = \lambda \cdot n$ (الشكل 8).

■ إذا كان المنحنيان على تعاكس في الطور، فإن للنقطتين M و N تهتزان على تعاكس في الطور: $MN = (n + \frac{1}{2})\lambda$ (الشكل 9).

حيود موجة ميكانيكية متوالية جيبية:

III

1- مفهوم ظاهرة الحيود:

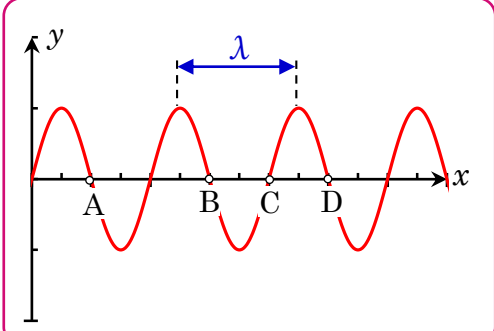
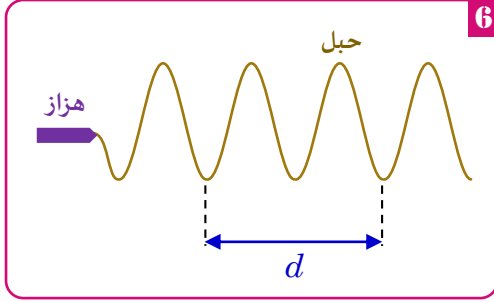
الموجة الميكانيكية انتشرت في الوسط المتواجد وراء الحاجز، غير أن اتجاه انتشارها تغير بعد اجتيازها الحاجز (أصبح دائريا).

◀ تسمى هذه الظاهرة، **ظاهرة الحيود**.

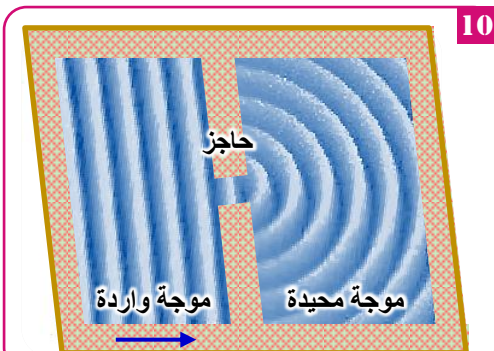
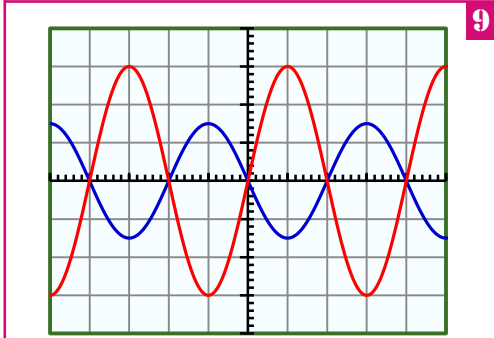
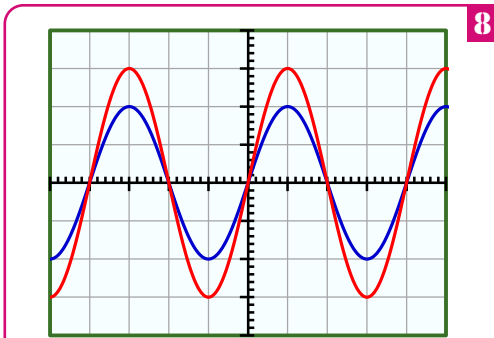
◀ تسمى الموجة المستقيمة القادمة **بالموجة الواردة**.

◀ تسمى الموجة الدائرية المنتشرة وراء الحاجز **بالموجة المحيدة**.

مثال: يمثل الشكل 10 حيود موجة على سطح الماء.



7 انتشار موجة جيبية طول حبل



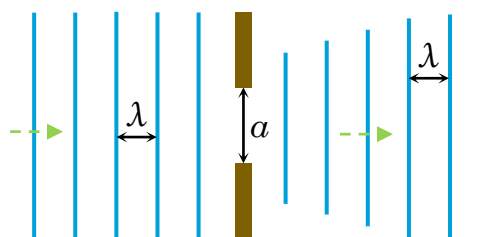
2- شرط حدوث ظاهرة الحيود:

لكي تحدث ظاهرة الحيود عند وصول موجة إلى فتحة عرضها a يجب أن تكون طول الموجة λ أصغر أو تقارب العرض a :

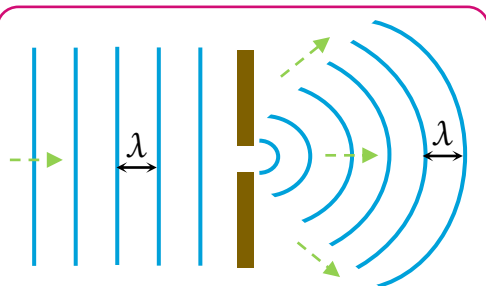
$$a < \lambda$$

ملحوظة:

لا يهم شكل الموجة الواردة (سواء كانت مستقيمة موازية للفتحة أو مائلة بالنسبة للفتحة أو دائرية ...) نحصل على نفس شكل الحيود إذا تحقق الشرط $a < \lambda$.



11 $a > \lambda$ لا تحدث ظاهرة الحيود



12 $a < \lambda$ تحدث ظاهرة الحيود

3- خصائص الموجة المحيدة:

إذا لم يتغير وسط الانتشار، يكون للموجتين الواردة والمحيدة نفس الخصائص، أي نفس طول الموجة λ ونفس التردد N ونفس الدور T ونفس السرعة v .

ملحوظة:

التردد N يفرضه المنبع، و بالتالي فإنه يبقى ثابتا سواء تغير وسط الانتشار أم لم يتغير.

الوسط المبدد:

IV

1- تعريف:

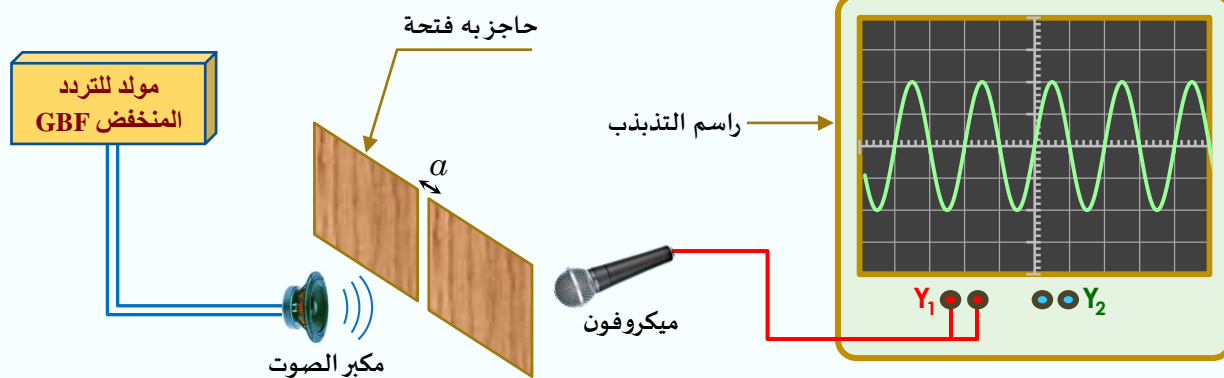
يكون الوسط مبددا إذا تعلق سرعة انتشار الموجة داخل هذا الوسط بتردداتها.

مثال:

انطلاقا من الجدول 1 أسفله يتبين أن الماء وسط مبدد، غير أن الهواء وسط غير مبدد للموجات الصوتية (الجدول 2).

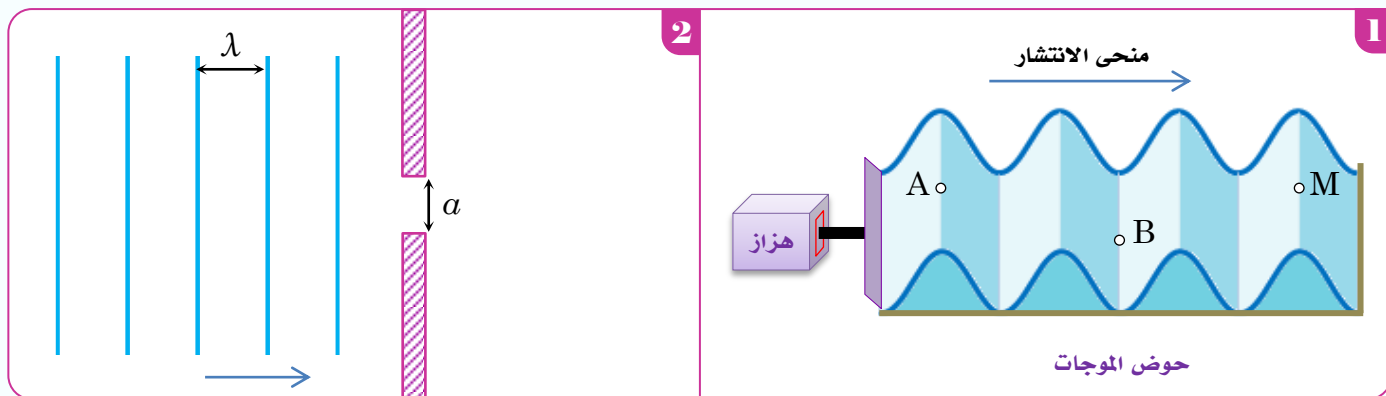
التردد (Hz)	35	30	25	20	التردد (Hz)	125000	6300	2000	400
السرعة (m.s ⁻¹)	0,245	0,240	0,225	0,200	السرعة (m.s ⁻¹)	343,56	343,56	343,56	343,56
الجدول 1	سرعة انتشار موجة على سطح الماء				الجدول 2	سرعة انتشار موجة صوتية في الهواء			

تبيانة التركيب التجريبي لدراسة حيود موجة صوتية





نحدث في حوض الموجات بواسطة هزاز تردده قابل للضبط أمواجاً مستقيمة متوالية جيبية. ثم نضيء الحوض بوماض فنحصل على أول توقف ظاهري للموجات عندما نضبط تردده على القيمة $N_S = 20 \text{ Hz}$. المسافة بين النقطتين A و M هي $AM = 3 \text{ cm}$ (انظر الشكل 1).
نضيف لحوض الموجات صفيحتين أفقيتين تفصل بينهما مسافة a قابلة للضبط، الخطوط المستقيمة تمثل خطوط الذرى للموجات (انظر الشكل 2).

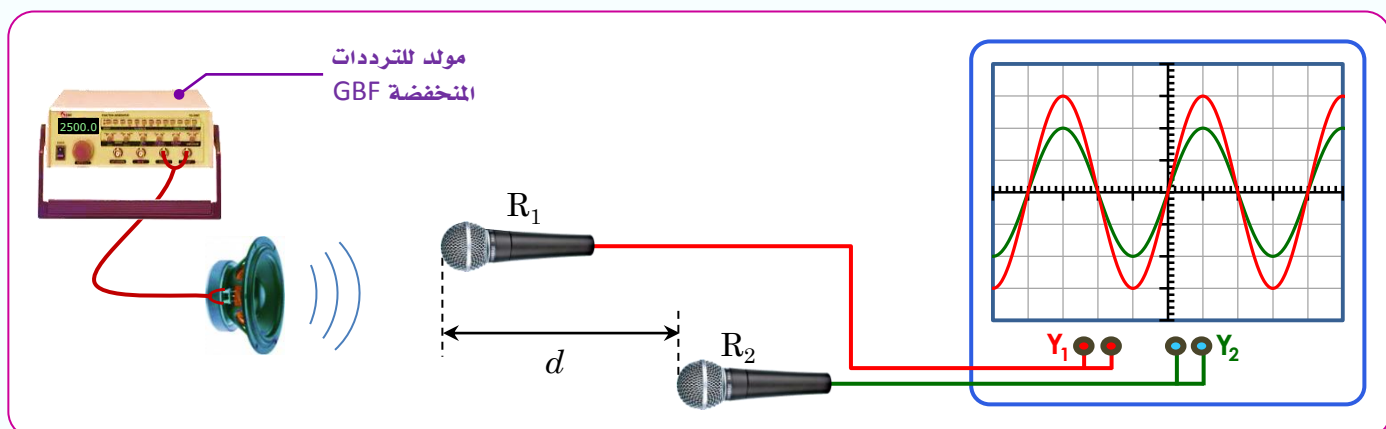


- 1 حدد قيمة كل من N تردد الموجات و λ طول الموجات.
- 2 استنتج دور الموجات T وسرعة انتشارها V .
- 3 قارن حركة اهتزاز النقطتين A و B ثم النقطتين M و A.
- 4 عندما نضبط تردد الهزاز على القيمة $N' = 30 \text{ Hz}$ تصبح المسافة بين الذروة الأولى والذروة السادسة هي $d = 4 \text{ cm}$.
حدد طول الموجة λ' واستنتج قيمة السرعة V' لانتشار الموجات ؟
- 5 قارن السرعتين V و V' ثم استنتج.
- 6 نضبط من جديد تردد الهزاز على القيمة $N_S = 20 \text{ Hz}$. ارسم، على الشكل 2، شكل الأمواج بعد اجتيازها للفتحة a واعط اسم الظاهرة التي تحدث في الحالتين التاليتين: $a = 5 \text{ cm}$ ثم $a = 0,2 \text{ cm}$.



لتعيين سرعة انتشار الموجات الصوتية في الهواء ننجز التركيب التجريبي الممثل أسفله حيث يفصل بين الميكروفونين R_1 و R_2 مسافة d .
يمثل الرسمان التذبذبيان الممثلان في الشكل 2 تغيرات التوترين مربطي كل ميكروفون بالنسبة للمسافة $d_1 = 13,6 \text{ cm}$.

نعطي: الحساسية الأفقية للمدخلين: $100 \mu\text{s/div}$ - مجال الترددات للصوت المسموع من طرف الإنسان هو: $[20\text{Hz}, 20\text{kHz}]$.



- 1 عرف الدورية الزمانية T و الدورية المكانية λ .
- 2 عين قيمة الدور T للموجات الصوتية واستنتج ترددها N . هل يمكن سماع هذا الصوت ؟
- 3 نزح الميكروفون R_1 أفقياً إلى أن يصبح الرسمان التذبذبيان من جديد على توافق في الطور فتكون المسافة بين R_2 و R_1 هي $d_2 = 27,2 \text{ cm}$.
أ - حدد قيمة λ طول الموجة للموجة الصوتية.
ب - استنتج V سرعة انتشار الموجات الصوتية في الهواء.
- 4 نضع الميكروفونين R_1 و R_2 في حوض الموجات، فتنتشر الموجات الصوتية في الماء. هل سيتغير الرسمان التذبذبيان؟ علل جوابك.

عناصر الإجابة

التمرين 1

$$\lambda = \frac{AM}{3} = \frac{3,0}{3} = 1,0 \text{ cm} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ m} \quad \Leftarrow \quad AM = 3 \lambda \quad \text{و} \quad N = N_s = 20 \text{ Hz} \quad (1)$$

$$v = \lambda \cdot N = 1,0 \cdot 10^{-2} \times 20 = 0,20 \text{ m.s}^{-1} \quad , \quad T = \frac{1}{N} = \frac{1}{20} = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ s} \quad (2)$$

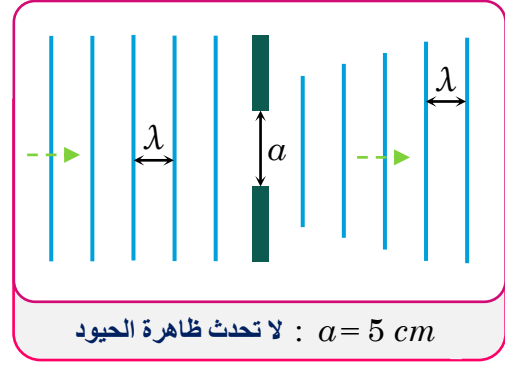
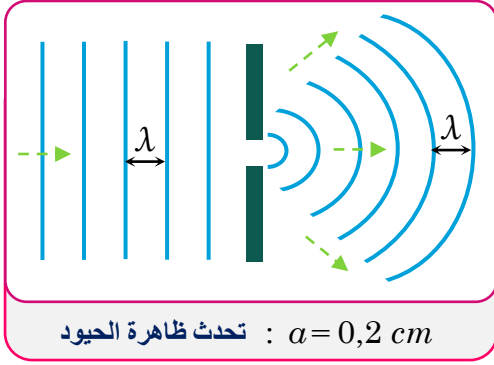
$$\text{تهتزتان على توافق في الطور.} \quad \Leftarrow \quad AM = 3 \lambda \quad \text{تهتزتان على تعاكس في الطور.} \quad \Leftarrow \quad AB = \lambda + 0,5 \lambda = (1 + 1/2) \lambda \quad (3)$$

$$v' = \lambda' \cdot N' = 8 \cdot 10^{-3} \times 30 = 0,24 \text{ m.s}^{-1} \quad , \quad \lambda' = \frac{d}{5} = \frac{4}{5} \text{ cm} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad \Leftarrow \quad d = 5 \lambda' \quad (4)$$

$$\text{الماء وسط مبدد.} \quad \Leftarrow \quad N' \neq N \quad \text{و} \quad V' \neq V \quad (5)$$

$$\text{تبقى الأمواج مستقيمة.} \quad \Leftarrow \quad \text{لا تحدث ظاهرة الحيود} \quad a = 5 \text{ cm} > \lambda \quad : (\lambda = 1 \text{ cm}) \quad (6)$$

$$\text{تصبح الأمواج دائرية.} \quad \Leftarrow \quad \text{تحدث ظاهرة الحيود} \quad a = 0,2 \text{ cm} < \lambda$$



التمرين 2

$$\text{تعريف الدورية الزمانية و الدورية المكانية: الدرس.} \quad (1)$$

$$N = \frac{1}{T} = \frac{1}{4,00 \cdot 10^{-4}} = 2500 \text{ Hz} = 2,50 \text{ kHz} \quad \Leftarrow \quad T = 4 \text{ div} \times 100 \mu\text{s} / \text{div} = 400 \mu\text{s} = 4,00 \cdot 10^{-4} \text{ s} \quad (2)$$

$$\text{هذا الصوت مسموع.} \quad \Leftarrow \quad N \in [20 \text{ Hz} , 20 \text{ kHz}]$$

$$\text{أ- المنحنيان على توافق في الطور للمرة الأولى، إذن:} \quad \lambda = 27,2 - 13,6 = 13,6 \text{ cm} = 0,136 \text{ m} \quad \Leftarrow \quad d_2 - d_1 = 1 \cdot \lambda \quad (3)$$

$$\text{ب-} \quad v = \lambda \cdot N = 0,136 \times 2500 = 340 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\text{لن يتغير الرسمان التذبذبيان لأن التردد (أو الدور T) يفرضه المنبع (مولد الترددات المنخفضة GBF) ولا يتأثر بوسط الانتشار.} \quad (4)$$

● ظاهرة حيود أشعة الشمس في الطبيعة بواسطة السحب.

● قوس قزح؛ وهي ظاهرة تبدد الضوء بواسطة قطرات الماء. كيف يمكن تفسير ظاهرتي حيود و تبدد الضوء ؟



الغلاف الزمني (درس + تمارين)
5 ساعات (1 + 4)

الفئة المستهدفة
الثانية بكالوريا - جميع الشعب والمسالك العلمية

تصميم الدرس

- الطبيعة الموجية للضوء: مفهوم حيود الضوء - النموذج الموجي للضوء.
- خصائص الموجة الضوئية: الموجة الضوئية الأحادية اللون - سرعة انتشار موجة ضوئية - طيف الضوء الأبيض.
- حيود موجة ضوئية أحادية اللون: العوامل المؤثرة على ظاهرة الحيود - الفرق الزاوي - خصائص الموجة المحيدة .
- تبدد الضوء: معامل الانكسار - تبدد الضوء بواسطة موشور - تأثير لون الضوء على معامل الانكسار - تفسير ظاهرة التبدد .

معارف ومهارات

- معرفة الطبيعة الموجية للضوء من خلال ظاهرة الحيود.
- معرفة تأثير بعد الفتحة أو الحاجز على ظاهرة الحيود.
- استثمار وثيقة أو شكل للحيود في حالة موجة ضوئية.
- معرفة واستغلال العلاقة: $\lambda = c/v$.
- تعريف الضوء الأحادي اللون والضوء متعدد الألوان.
- معرفة حدود أطوال الموجات في الفراغ للطيف المرئي والألوان المطابقة لها.
- تحديد موضع الأشعة فوق البنفسجية و تحت الحمراء بالنسبة للطيف المرئي.
- معرفة أن تردد إشعاع أحادي اللون لا يتغير عند انتقاله من وسط شفاف إلى آخر.
- معرفة أن الأوساط الشفافة مبددة للضوء بدرجات مختلفة.
- معرفة العلاقة: $n = c/v$.
- تحديد معامل انكسار وسط شفاف بالنسبة لتردد معين.
- اقتراح تبيانة تركيب تجريبي يسمح بإبراز ظاهرة الحيود في حالة الموجات الضوئية.
- معرفة واستغلال العلاقة $\theta = \lambda/a$ ، ومعرفة وحدة ودلالة θ و λ .
- استغلال قياسات تجريبية للتحقق من العلاقة: $\theta = \lambda/a$.

• تذكير: مبدأ الانتشار المستقيمي للضوء: في وسط شفاف ومتجانس، ينتشر الضوء وفق خطوط مستقيمة.

1 مفهوم حيود الضوء:

عند إضاءة شق صغير جدا بحزمة لزر، فإن مبدأ الانتشار المستقيمي للضوء لا يتحقق. ونشاهد على الشاشة بقعا مضيئة (أهداب لامعة) وأخرى مظلمة (أهداب داكنة) بشكل متتابع. فيبدو وكأن الشق يتصرف كمنبع ضوئي وهي. نقول إن الضوء خضع لظاهرة الحيود.

ملحوظات:

- ← شكل الحيود يكون عموديا على الشق (الشكل 1).
- ← باستعمال سلك رفيع نحصل على شكل مشابه للشكل المشاهد بالنسبة للشق.
- ← باستعمال ثقب نحصل على بقعة دائرية قطرها أكبر من قطر الثقب محاطة بحلقات داكنة وأخرى مظلمة (الشكل 2).

2 النموذج الموجي للضوء:

- ◇ بالمماثلة مع حيود الموجة الميكانيكية على سطح الماء، فإن وصول الضوء إلى أماكن وراء الحاجز دليل على أن الضوء ذو طبيعة موجية.
- ◇ الضوء عبارة عن موجة كهرومغناطيسية لها دوران:
 - ← دور مكاني يسمى طول الموجة λ .
 - ← دور زمني يسمى الدور T .
- ◇ ينتشر الضوء في الأوساط المادية الشفافة وفي الفراغ.
- ◇ لكي يتم حيود الضوء يجب أن يتحقق الشرط التالي: $\alpha \leq \lambda$ بحيث: α عرض الشق (أو قطر السلك) و λ طول الموجة الضوئية.

II خصائص الموجة الضوئية:

1 الموجة الضوئية الأحادية اللون:

- ◇ الضوء الأحادي اللون هو الذي لا يتبدد بعد اجتيازه لموشور (الشكل 3).
- ◇ الضوء الأبيض ضوء متعدد الألوان يتبدد بعد اجتيازه لموشور (الشكل 4).
- ◇ نقرن بكل ضوء أحادي اللون موجة ضوئية أحادية اللون، وهي موجة متوالية جيئية تتميز ترددها بتردها ν يفرضه المنبع ولا يتعلق بوسط الانتشار، وبسرعتها v التي تتعلق بطبيعة الوسط.

2 سرعة انتشار موجة ضوئية:

يعبر عن سرعة انتشار موجة ضوئية في وسط شفاف ومتجانس بالعلاقة:

$$v : \text{سرعة الانتشار } (m.s^{-1})$$

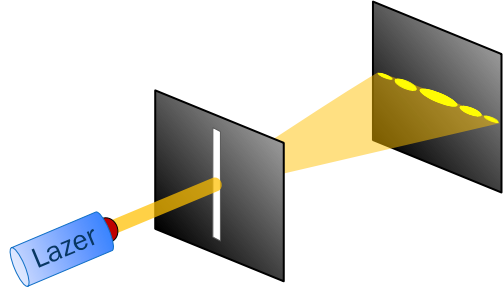
$$\lambda : \text{طول الموجة } (m)$$

$$T : \text{دور الموجة } (s)$$

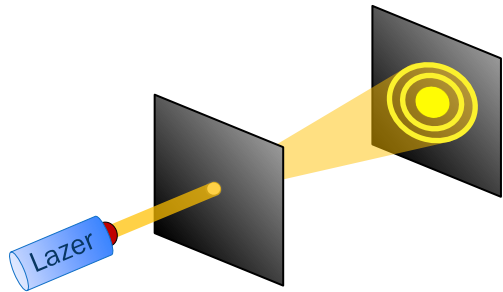
$$\nu : \text{تردد الموجة الضوئية } (Hz)$$

بحيث:

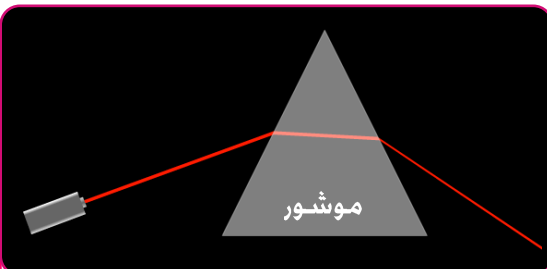
$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu$$



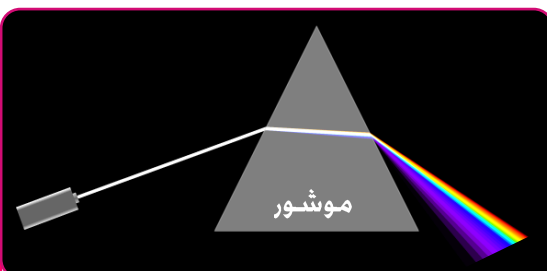
1 حيود الضوء بواسطة شق رأسي



2 حيود الضوء بواسطة ثقب دائري



3 ضوء أحادي اللون (لا يتبدد)



4 تبدد الضوء الأبيض

ينتشر الضوء في الفراغ بسرعة $c=299792458\text{m.s}^{-1}$
 وهي ثابتة عالمية (c : célérité).
 غالبا نستعمل القيمة التقريبية $c=3.10^8\text{m.s}^{-1}$.

ملحوظات:

في الفراغ نرسم لسرعة انتشار الضوء بـ C وتعبيرها: $c = \frac{\lambda_0}{T} = \lambda_0 \cdot \nu$
 يتعلق طول الموجة بوسط الانتشار.

أحمر	برتقالي	أصفر	أخضر	أزرق	بنفسجي	اللون
800	610	590	570	500	450	400
						طول الموجة λ_0 بـ nm

- مجال الأشعة فوق البنفسجية (U.V): مجال غير مرئي، طول موجاته يكون محصورا بين 10 nm و 400 nm . هذه الأشعة خطيرة على الجلد. وتستخدم في تعقيم الأدوات الطبية.
- مجال الأشعة تحت الحمراء (IR): مجال غير مرئي، طول موجاته يكون محصورا بين 800 nm و 1000 nm . هذه الأشعة يبعثها جسم الإنسان حيث تتغير طول موجاتها بدرجة حرارة الجسم. مثلا، يوافق اللون الأحمر درجة الحرارة 36°C .

بعض أجزاء المتر: المليمتر $1\text{ mm} = 10^{-3}\text{ m}$: الميكرومتر $1\text{ }\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m}$: النانومتر $1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$

حيود موجة ضوئية أحادية اللون

III

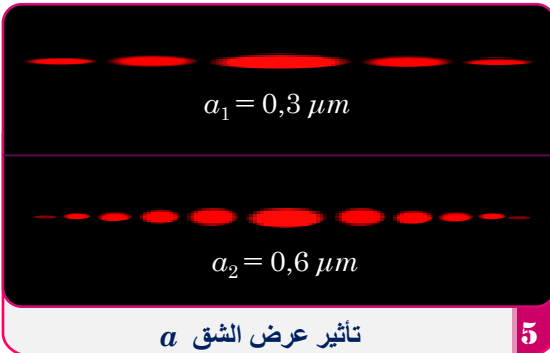
1 العوامل المؤثرة على ظاهرة حيود ضوء أحادي اللون بواسطة شق:

أ- تأثير عرض الشق a :

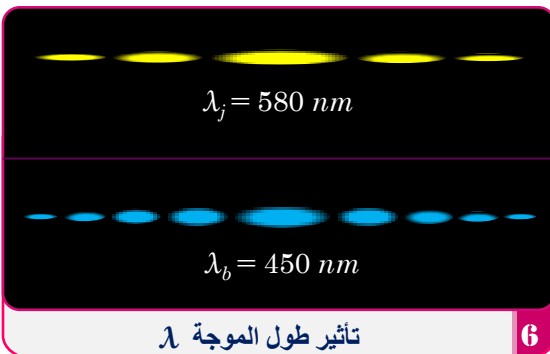
كلما كان عرض الشق صغيرا، يكون عرض البقعة المركزية كبيرا (الشكل 5).

ب- تأثير λ طول الموجة:

نحتفظ بنفس عرض الشق a ونغير قيمة λ . نلاحظ أنه كلما ازداد طول موجة الضوء الأحادي اللون، يزداد عرض البقعة المركزية لظاهرة الحيود (الشكل 6).



5



6

2 الفرق الزاوي θ :

يعبر عن الفرق الزاوي θ بين وسط الهدب المركزي اللامع وأول هدب مظلم بالعلاقة:

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

بحيث: الفرق الزاوي (rad) : θ
 طول الموجة (m) : λ
 عرض الشق (m) : a

- العلاقة بين طول الموجة λ وعرض الشق a وعرض البقعة المركزية L والمسافة D بين الشق والشاشة:

$$\tan \theta = \frac{(L/2)}{D} = \frac{L}{2D}$$

من خلال الشكل 7، لدينا:

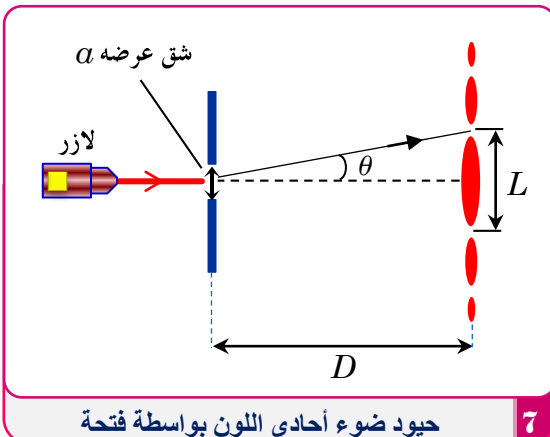
عمليا، يكون $D \gg L$ ، في هذه الشروط نستعمل التقريب $\tan \theta \approx \theta$.

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

وبما أن: فإن: $\frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D}$

$$\lambda = \frac{a \cdot L}{2D}$$

وهكذا: أو: $a = \frac{2\lambda \cdot D}{L}$ (حسب المطلوب)



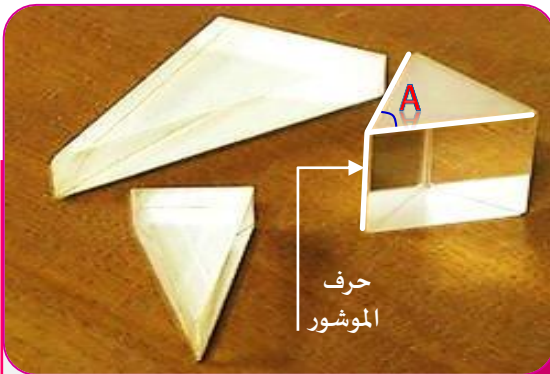
7

حيود ضوء أحادي اللون بواسطة فتحة

الإشعاع	λ بـ (nm)	معامل الانكسار n
بنفسجي	434	1,652
أزرق	486	1,641
أصفر	589	1,629
برتقالي	656	1,627
أحمر	768	1,618

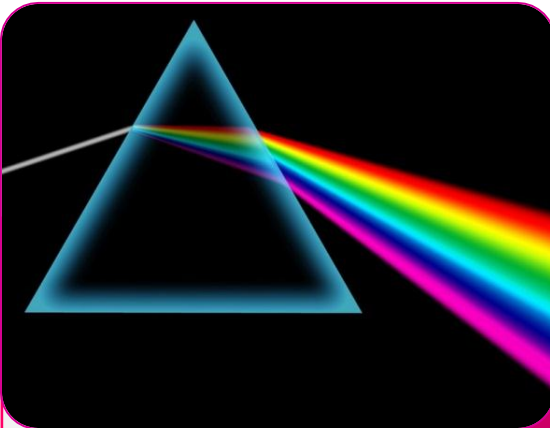
تغيرات معامل الانكسار حسب طول الموجة

8



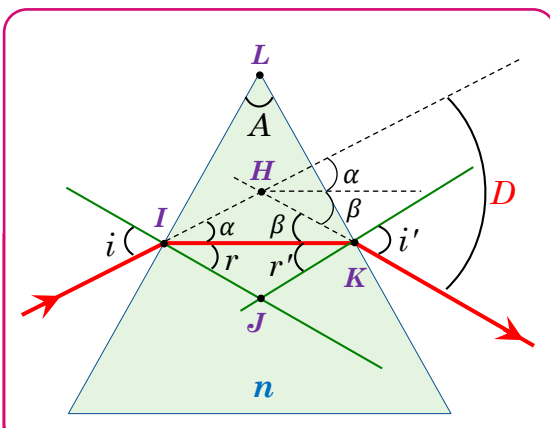
الموشور

9



تبدد الضوء بواسطة موشور

10



زاوية الانحراف D لشعاع بواسطة موشور

11

1 معامل الانكسار:

نعرف معامل انكسار وسط شفاف بالنسبة لضوء أحادي اللون بالعلاقة:

$$n = \frac{c}{v}$$

بحيث: c : سرعة انتشار الضوء في الفراغ ($m.s^{-1}$)
 v : سرعة انتشار الضوء في الوسط الشفاف.

ملحوظات:

- معامل الانكسار بدون وحدة ويكون أكبر أو يساوي واحد، $n \geq 1$.
- يتعلق معامل الانكسار بطول موجة الشعاع الضوئي (الشكل 8).

$$n = \frac{c}{v} \quad \text{لدينا:} \quad n = \frac{\lambda_0 \cdot v}{\lambda \cdot v} \quad \text{إذن:} \quad n = \frac{\lambda_0}{\lambda} \quad \text{و منه:} \quad n = \frac{\lambda_0}{\lambda}$$

2 تبدد الضوء بواسطة موشور:

- الموشور وسط شفاف ومتجانس محدود بوجهين مستويين بينهما زاوية A تسمى **زاوية الموشور** و يتقاطعان حسب مستقيم يسمى **حرف الموشور**.
- عند اجتياز الضوء الأبيض لموشور، نشاهد تكون مجموعة من الألوان تشبه ألوان قوس قزح. وتسمى هذه الألوان **بطيف الضوء الأبيض**.
- نلاحظ أن الضوء البنفسجي أكثر انحرافا عكس الضوء الأحمر الأقل انحرافا.
- تبدد الضوء** هو الظاهرة التي تمكن من فصل الإشعاعات ذات الألوان المختلفة.
- زجاج الموشور وسط مبدد للضوء.

3 تأثير لون الضوء على معامل الانكسار:

- تسمى الزاوية D المحصورة بين اتجاه الشعاع الوارد IH واتجاه الشعاع المنبثق HI' **بزاوية الانحراف** (الشكل 11).
- i **زاوية الورود**، و r **زاوية انكسار** الشعاع الوارد عند النقطة I ، r' زاوية الورود عند النقطة I' . n معامل انكسار الموشور (الشكل 11).

العلاقات المميزة للموشور (4):

- قانون ديكرت للانكسار عند النقطة I : $\sin(i) = n \sin(r)$
- قانون ديكرت للانكسار عند النقطة K : $n \sin(r') = \sin(i')$
- بالنسبة للمثلث ILK لدينا: $A + \left(\frac{\pi}{2} - r\right) + \left(\frac{\pi}{2} - r'\right) = \pi$
- يعني أن: $A - (r + r') + \pi = \pi$ ومنه: $A = r + r'$
- من جهة أخرى: $D = \alpha + \beta$ و $i = \alpha + r$ و $i' = \beta + r'$
- ومنه: $D = (i - r) + (i' - r') = (i + i') - (r + r')$

$$D = i + i' - A$$

وبالتالي:

الحزمة الضوئية الواردة على الوجه الأول الموشور مكونة من إشعاعات ضوئية متوازية فيما بينها، أي لها نفس زاوية الورد i .
نعتبر الإشعاع الأحمر R والإشعاع الأزرق B. وحسب ما سبق نكتب: $i_B = i_R$.

يتبين من خلال العلاقة $n = \frac{c}{v} = \frac{c}{\lambda \cdot \nu}$ أن معامل الانكسار يتعلق بتردد الإشعاع الضوئي، وهذا ما يسبب ظاهرة تبدد الضوء.

إذا كان: $n_B \neq n_R$ فإن العلاقة: $\sin i = n \sin r$ تعطي: $r_B \neq r_R$
و العلاقة: $A = r + r' = cte$ تعطي: $r'_B \neq r'_R$
و العلاقة: $n \sin r' = \sin i'$ تعطي: $i'_B \neq i'_R$
و العلاقة: $D = i + i' - A$ تعطي: $D_B \neq D_R$

وبالتالي ليس للشعاعين الأزرق والأحمر نفس زاوية الانحراف عند الانبثاق من الوجه الثاني للموشور، ما ينتج عنه انفصال الإشعاعات الضوئية.

تمرين موضوعاتي | 30 min

تستعمل أشعة الليزر في عدة مجالات: طبية وصناعية وفلاحية ورياضية... ومن بين هذه الاستعمالات، ندرس توظيفها لقياس الأبعاد الصغيرة ولنقل المعلومات. الجزء مستقلان.

الجزء 1: تحديد قطر سلك معدني رفيع.

نضيء صفيحة (P) بها فتحة (F) عرضها a_1 بضوء أحادي اللون طول موجته λ منبعث من جهاز لآزر. ثم نضع شاشة (E) على مسافة $D=1,6 \text{ m}$ من الفتحة (F) فنشاهد على الشاشة مجموعة من البقع الضوئية، بحيث يكون عرض البقعة المركزية هو $L_1 = 4,8 \text{ cm}$ (نعتبر أن الزاوية θ صغيرة جدا).

- 1 انقل الشكل 1 وأتمم مسار الأشعة الضوئية المنبعثة من الفتحة (F).
- 2 أعط اسم الظاهرة التي يبرها الشكل 2 على الشاشة (E).
- 3 أذكر الشرط الذي ينبغي أن يحققه الشق a_1 لكي تحدث هذه الظاهرة.

4 بصفة عامة، بين أن تعبير عرض البقعة المركزية L يكتب على شكل $L = \frac{2\lambda \cdot D}{a}$
5 باستغلال منى الشكل 3، حدد λ واحسب a_1 .

6 نزيل الصفيحة ونضع مكانها بالضبط سلكا معدنيا رفيعا قطره d ، فنحصل على شكل مماثل للشكل 2، بحيث يكون عرض البقعة المركزية هو $L_2=3,2 \text{ cm}$. حدد القطر d .

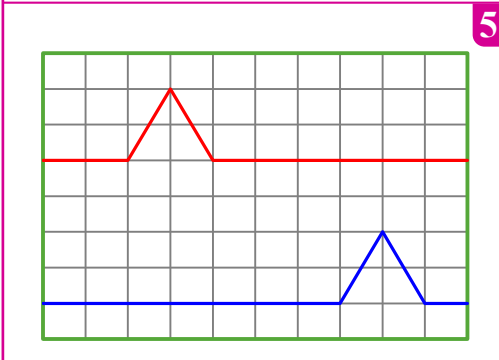
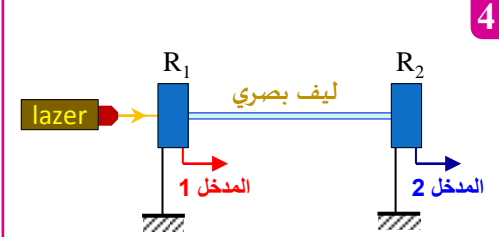
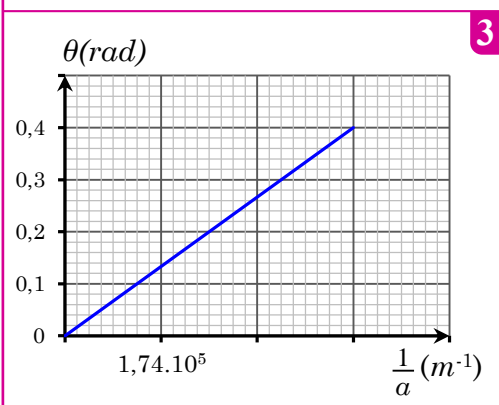
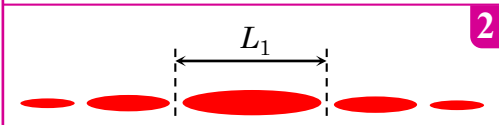
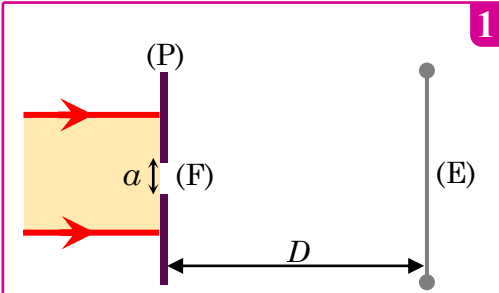
الجزء 2: نقل المعلومات بواسطة الألياف البصرية.

الألياف البصرية هي عبارة عن خيوط رفيعة مصنوعة من الزجاج النقي وتستخدم في نقل الإشارات الضوئية لمسافات بعيدة وبسرعة كبيرة جدا، إذ تستغل في نقل البيانات بصبيب مرتفع. يمثل الشكل 4 تركيبا مبسطا لنقل إشارة ضوئية عبر ليف بصري طوله $L=100\text{m}$. يمكن الاقطنان R_1 و R_2 من تحويل الإشارة الضوئية إلى إشارة كهربائية يمكن معاينتها على شاشة راسم التذبذب (الشكل 5).

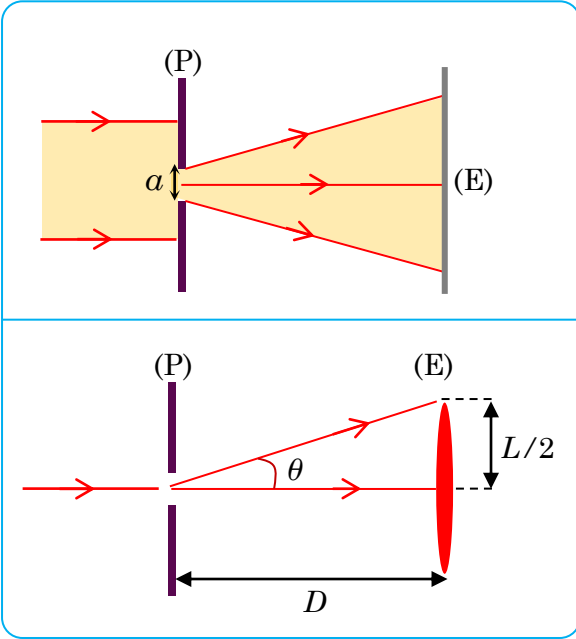
معطيات:

- الحساسية الأفقية هي: $0,1 \mu\text{s/div}$.
- سرعة الضوء في الفراغ: $c=3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.
- نقرأ على لصيقة الليزر، طول الموجة في الفراغ: $\lambda_0=660 \text{ nm}$.

- 1 احسب ν تردد هذه الموجة الضوئية.
- 2 حدد المدة الزمنية τ التي تستغرقها الموجة الضوئية لكي تنتقل من R_1 إلى R_2 .
- 3 استنتج V سرعة نقل المعلومات عبر الليف البصري.
- 4 احسب معامل الانكسار n للزجاج المكون لليف البصري.
- 5 أوجد طول الموجة الضوئية λ في قلب الليف البصري. هل هذا الضوء مرئي؟



الجزء 2



① لكي نحصل على الشكل 2 يجب أن ينتشر الضوء وراء الصفيحة.

② ظاهرة حيود الضوء.

③ عرض الفتحة أصغر أو يقارب طول الموجة: $a < \lambda$.

④ من خلال الشكل جانبه: $\tan \theta = \frac{(L/2)}{D} = \frac{L}{2D}$

مع العلم أن: $\theta = \frac{\lambda}{a}$ و $\tan \theta \simeq \theta$ (لأن θ صغيرة جدا)

فإن: $\frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D}$ وبالتالي: $L = \frac{2\lambda \cdot D}{a}$

⑤ منحني الشكل 3 عبارة عن دالة خطية: $\theta = k \left(\frac{1}{a} \right)$

لدينا: $\theta = \frac{\lambda}{a}$ إذن: $\lambda = k$ (تمثل المعامل الموجة للمنحني)

وبالتالي: $\lambda = \frac{\Delta \theta}{\Delta \left(\frac{1}{a} \right)} = \frac{0,4 - 0}{3 \times 1,74 \cdot 10^5 - 0} = 7,7 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 770 \text{ nm}$ (طول الموجة هاته توافق الضوء الأحمر)

حسب العلاقة: $L = \frac{2\lambda \cdot D}{a}$ نكتب: $a_1 = \frac{2\lambda \cdot D}{L_1}$ ت.ع: $a_1 = \frac{2 \times 7,7 \cdot 10^{-7} \times 1,6}{4,8 \cdot 10^{-2}} = 5,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

⑥ بنفس الطريقة السابقة (مع تعويض L بـ L_2 و تعويض a بـ d): $d = \frac{2\lambda \cdot D}{L_2} = \frac{2 \times 7,7 \cdot 10^{-7} \times 1,6}{3,2 \cdot 10^{-2}} = 7,7 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

الجزء 2

① التردد يبقى ثابتا، لأن المنبع هو الذي يفرضه: $c = \lambda_0 \cdot \nu$ $\nu = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{660 \cdot 10^{-9}} = 4,55 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

② $\tau = 5 \text{ div} \times 0,1 \mu\text{s} / \text{div} = 0,5 \mu\text{s} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ s}$

③ سرعة نقل المعلومات: $V = \frac{L}{\tau} = \frac{100}{5 \cdot 10^{-7}} = 2 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

④ معامل الانكسار: $n = \frac{c}{V} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^8} = 1,5$

⑤ طول الموجة: $\lambda = \frac{V}{\nu} = \frac{2 \cdot 10^8}{4,55 \cdot 10^{14}} = 4,4 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 440 \text{ nm}$ $\leftarrow V = \lambda \cdot \nu$

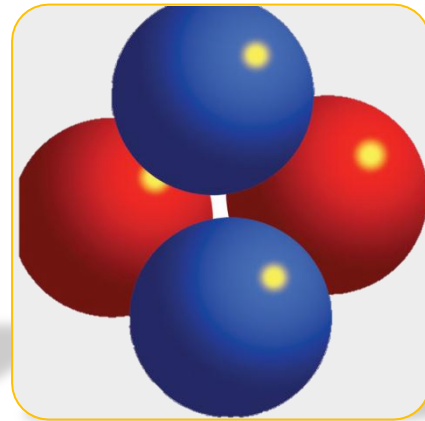
يمكن رؤية هذا الضوء بالعين لأن طول موجته تنتمي للمجال المرئي: $\lambda \in [400 \text{ nm}, 800 \text{ nm}]$ (حسب الهيئة الدولية للإضاءة)

الجزء الثاني

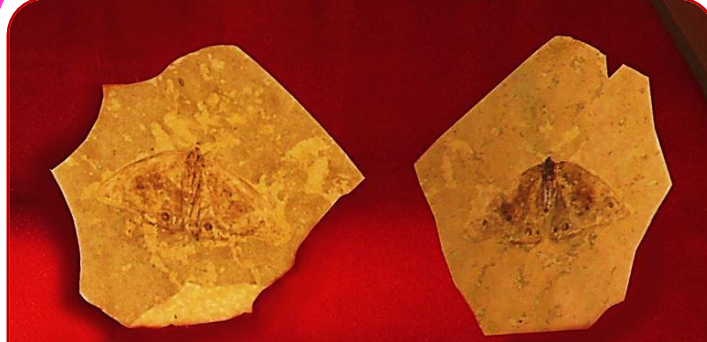
التحولات النووية

محتوى الجزء :

- الوحدة 4 : التناقص الإشعاعي.
- الوحدة 5 : النوى - الكتلة و الطاقة.



مكنك طريقة التأريخ بالنشاط الإشعاعي
باستعمال نويدة مشعة من تحديد عمر هذه
المستحاثات (فراشة) و هو 30 مليون سنة.
كيف يتم هذا التأريخ؟ و ما النويدة المشعة؟
و كيف يتناقص عددها مع مرور الزمن؟



Holotype de *Letho corbieri* Nel, Nel & Balme, 1993
Lepidoptera Nymphalidae Satyrinae
Céreste (Alpes-de-Haute-Provence),
Oligocène supérieur (ca. 30 millions d'années BP)
Parc naturel régional du Lubéron

الغلاف الزمني (درس + تمارين)

5 ساعات (1+4)

الفئة المستهدفة

الثانية بكالوريا - جميع الشعب والمسالك العلمية

تصميم الدرس

- استقرار و عدم استقرار النواة:
- تعريف - قانونا صودي - الأنشطة الإشعاعية α و β و γ - الفصيلة المشعة.
- قانون التناقص الإشعاعي - ثابتة الزمن - عمر النصف - نشاط عينة مشعة.
- مبدأ التأريخ بالنشاط الإشعاعي - مثال: التأريخ بالكربون 14.

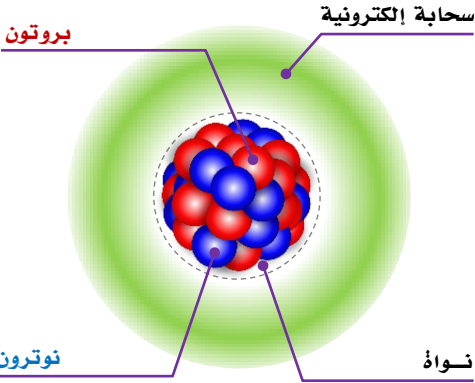
معارف ومهارات

- معرفة مدلول الرمز A_ZX وإعطاء تركيب النواة التي يمثلها.
- تعرف نظائر عنصر كيميائي.
- التعرف على مجالات استقرار وعدم استقرار النوى من خلال المخطط (N,Z) : مخطط سيغري .
- تعريف نواة مشعة.
- معرفة واستغلال قانوني الانحفاظ.
- تعريف التفتتات النووية α و β^+ و β^- و الانبعاث γ .
- كتابة المعادلات النووية بتطبيق قانوني الانحفاظ.
- التعرف على طراز التفتت النووي انطلاقا من معادلة نووية.
- معرفة واستغلال قانون التناقص الإشعاعي واستثمار المنحنى الذي يوافق.
- معرفة أن 1Bq يمثل تفتتا واحدا في الثانية.
- تعريف ثابتة الزمن τ و زمن نصف العمر $t_{1/2}$.
- استغلال العلاقات بين الثابتة الإشعاعية λ و τ و $t_{1/2}$.
- استعمال معادلة الأبعاد لتحديد وحدة λ و τ .
- تحديد العنصر المشع المناسب لتأريخ حدث معين.

1 تركيب النواة:

- تتكون الذرة من نواة تدور حولها إلكترونات مشكّلة سحابة إلكترونية.
- تتكون نواة الذرة من بروتونات و نوترونات. وتسمى **نويات**.
- نرمز لعدد البروتونات بالرمز Z ويسمى **عدد الشحنة** لأنه يمكننا من حساب شحنة النواة: $q = Z \cdot e$.
- نرمز لعدد النويات بالرمز A ويسمى **عدد الكتلة**.
- نرمز لعدد النوترونات بالرمز N ويساوي: $N = A - Z$.
- تمثل نواة ذرة عنصر كيميائي X بالرمز: ${}^A_Z X$

◀ **مثال:** أعط تركيب نواة الأوكسجين ${}^{19}_8 O$.
جواب: عدد البروتونات هو: 8.
عدد النوترونات هو: $19 - 8 = 11$.



تركيب الذرة و النواة

I

2 النويدة:

- النويدة اسم يطلق على مجموعة من النوى تتميز بعدد من البروتونات ومن النوترونات.
- تعرف النويدة بصفة عامة بإعطاء A و Z ، فنكتب: ${}^A_Z X$.
- ◀ **أمثلة:**

${}^{12}_6 C$ و ${}^{14}_6 C$ نويدتان لعنصر الكربون - ${}^{35}_{17} Cl$ نويدة لعنصر الكلور.

3 النظائر:

- النظائر هي عناصر كيميائية لها نفس عدد البروتونات Z و قيم مختلفة لـ A .
- ◀ **أمثلة:**

${}^1_1 H$ و ${}^2_1 H$ و ${}^3_1 H$ نظائر لعنصر الهيدروجين.

${}^{12}_7 N$ و ${}^{13}_7 N$ و ${}^{14}_7 N$ نظائر لعنصر الأزوت.

4 كثافة المادة النووية:

نماثل نواة الذرة بكرة شعاعها r يتغير مع عدد الكتلة A وفق العلاقة: $r = r_0 \cdot A^{\frac{1}{3}}$ مع $r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} m$.
إذا كانت الكتلة التقريبية للنوية هي: $m_p \approx m_n \approx 1,67 \cdot 10^{-27} Kg$ ، تكون القيمة التقريبية للكتلة الحجمية ρ للنواة:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{A \cdot m_p}{\frac{4}{3} \pi \cdot r^3} = \frac{3A \cdot m_p}{4\pi \cdot r_0^3 \cdot A} = \frac{3 \cdot m_p}{4\pi \cdot r_0^3} = \frac{3 \times 1,67 \cdot 10^{-27}}{4\pi \times (1,2 \cdot 10^{-15})^3} = 2,2 \cdot 10^{17} kg \cdot m^{-3}$$

أي: $\rho = 220000000 \text{ tonne} \cdot cm^{-3}$: السنتيمتر المكعب الواحد يزن 220 مليون طن !!

يترقب عن هذا ما يلي:

- ✓ بنية المادة بنية ثغرية. أي أن هناك فراغاً كبيراً حول النواة، حيث إن الحجم الذي تحتله النواة مهملاً أمام حجم الذرة.
- ✓ الكتلة الحجمية ρ للنواة كبيرة جداً؛ أي أن المادة النووية شديدة الكثافة . توجد نجوم بهذه الكثافة تسمى نجوم نوترونية.

النوترون	البروتون	
$1,6749 \cdot 10^{-27}$	$1,6726 \cdot 10^{-27}$	الكتلة (kg)
0	$1,6 \cdot 10^{-19}$	الشحنة (C)
شادويك	رذرفورد	المكتشف
1932	1910	سنة الاكتشاف

بعض مميزات البروتون و النوترون

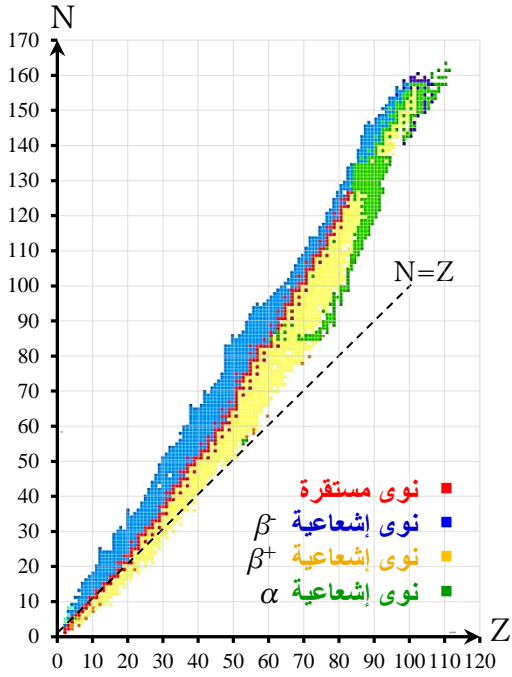
2

العنصر	النظائر و الوفرة الطبيعية		
الأورانيوم	${}^{238}_{92} U$	${}^{235}_{92} U$	${}^{234}_{92} U$
الوفرة الطبيعية %	99,276	0,718	0,006

نظائر الأورانيوم و وفارته الطبيعية

3

5 مخطط سيغري أو المخطط (N,Z) :



مخطط سيغري (N,Z)

4

مخطط سيغري أو المخطط (N,Z) يبين مواقع النويدات المستقرة والنويدات الإشعاعية. ويتبين من هذا المخطط أن.

- ◀ مختلف نظائر نفس العنصر الكيميائي توجد على نفس المستقيم الموازي لمحور الأرتاب .
- ◀ المخطط (N,Z) يحتوي على عدة مجالات، ويسمى المجال المركزي الملون بالأحمر **بمجال الاستقرار** لأنه يضم جميع النوى المستقرة.
- ◀ عند $Z \leq 20$ يكون N و Z متقاربين بالنسبة للنوى الخفيفة المستقرة.
- ◀ عندما يكبر Z، يكون عدد النوترونات N أكبر من عدد البروتونات Z. ومن تم فإن الاستقرار لا يمكن أن يحصل إلا إذا كان عدد النوترونات أكبر من عدد البروتونات.
- ◀ كل النويدات ذات $Z > 83$ غير مستقرة.
- ↪ **المجال β^-** : يوجد فوق مجال الاستقرار. وتبعث نويداته إلكترون ${}^0_{-1}e$.
- ↪ **المجال β^+** : يوجد تحت مجال الاستقرار. وتبعث نويداته بوزيترون ${}^0_{+1}e$.
- ↪ **المجال α** : يضم النويدات الثقيلة. وتبعث نويداته نواة الهيليوم ${}^4_2\text{He}$.

II النشاط الإشعاعي La radioactivité

II

1 تعريف:

النشاط الإشعاعي تحول نووي طبيعي و تلقائي و عشوائي و حتمي، تتحول خلاله نواة غير مستقرة - تسمى **نواة مشعة** - إلى نواة متولدة أكثر استقراراً مع انبعاث دقيقة أو عدة دقائق تسمى **إشعاعات نشيطة** .

- ◀ **بعض النويدات المشعة:** ${}^{210}_{84}\text{Po}$ ، ${}^{60}_{27}\text{Co}$ ، ${}^{238}_{92}\text{U}$ ، ${}^{14}_6\text{C}$

ملحوظة:

في الحالة العامة، لوصف تحول نووي نستعمل المعادلة التالية: ${}^{A_1}_{Z_1}\text{X} \longrightarrow {}^{A_2}_{Z_2}\text{Y} + {}^{A_3}_{Z_3}\text{Z}$.
X رمز النواة الأصلية - Y رمز النواة المتولدة - Z رمز الدقيقة المنبعثة.

2 قانونا صودي (SODY):

« خلال التفاعلات النووية تحفظ الشحنة الكهربائية Z و عدد النويات A ».

نعتبر التفاعل النووي التالي: ${}^A_Z\text{X} \longrightarrow {}^{A_1}_{Z_1}\text{Y} + {}^{A_2}_{Z_2}\text{Z}$ حسب قانونا صودي: $A = A_1 + A_2$ و $Z = Z_1 + Z_2$

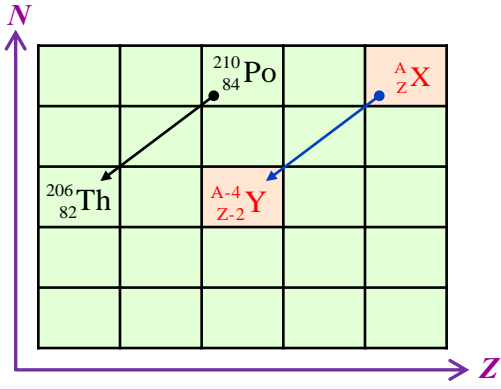
◀ **مثال:** حدد العددين a و b المشار إليهما في المعادلة التالية: ${}^{210}_{84}\text{Po} \longrightarrow {}^a_{82}\text{Pb} + {}^4_b\text{He}$

- انحفاظ عدد النويات: $210 = a + 4$ أي: $a = 206$
- انحفاظ الشحنة الكهربائية: $84 = 82 + b$ أي: $b = 2$

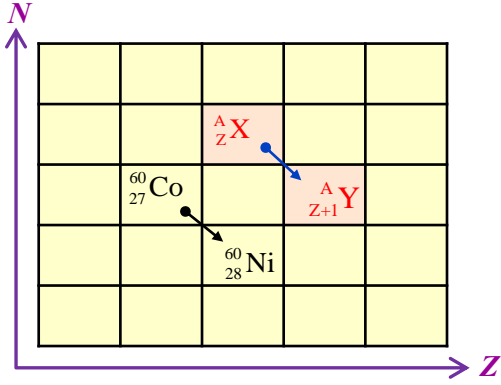
3 الأنشطة الإشعاعية α و β و γ :

أ- النشاط الإشعاعي α :

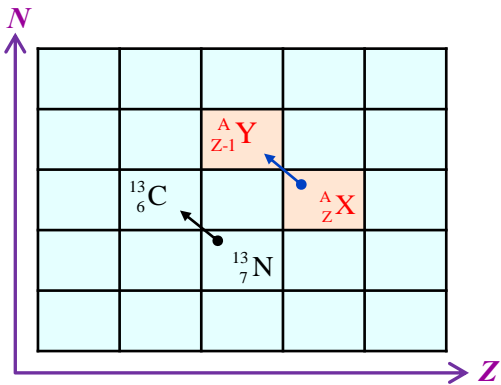
النشاط الإشعاعي α تفتت طبيعي تتحول خلاله نواة أصلية ${}^A_Z\text{X}$ إلى نواة متولدة ${}^{A-4}_{Z-2}\text{Y}$ مع انبعاث نواة الهيليوم ${}^4_2\text{He}$ التي تسمى دقيقة α .



5 النشاط الإشعاعي α في المخطط (N,Z)



6 النشاط الإشعاعي β^- في المخطط (N,Z)



7 النشاط الإشعاعي β^+ في المخطط (N,Z)

بعض فاصيات الدالة الأسية و الدالة اللوغاريتمية

$$e^a \cdot e^b = e^{a+b} \quad , \quad \frac{e^a}{e^b} = e^{a-b}$$

$$e^b = a \Leftrightarrow b = \ln a \quad ; \quad a > 0$$

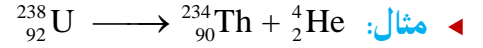
$$e^0 = 1 \quad , \quad \ln 1 = 0 \quad , \quad e^{-\infty} = 0$$

$$(a, b) > 0 : \ln(a \cdot b) = \ln a + \ln b$$

$$(a, b) > 0 : \ln \frac{a}{b} = \ln a - \ln b$$

$$\ln a^n = n \cdot \ln a \quad , \quad \ln \frac{a}{b} = -\ln \frac{b}{a}$$

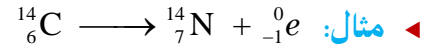
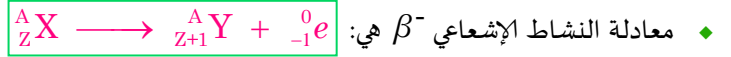
$$(a \cdot e^{-\lambda \cdot x})' = -a \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot x} \quad \text{المشتقة:}$$



ملحوظة: النشاط الإشعاعي α يميز النوى الثقيلة فقط؛ ذات $A > 200$.

ب- النشاط الإشعاعي β^-

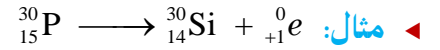
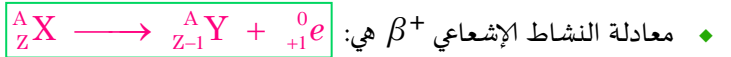
النشاط الإشعاعي β^- تفتت طبيعي تتحول خلاله نواة أصلية ${}^A_Z X$ إلى نواة متولدة ${}^A_{Z+1} Y$ مع انبعاث إلكترون ${}^0_{-1} e$ نسميه دقيقة β^- .



ملحوظة: النشاط β^- هو تحول نوترون إلى بروتون: ${}^1_0 n \longrightarrow {}^1_1 p + {}^0_{-1} e$

ج- النشاط الإشعاعي β^+

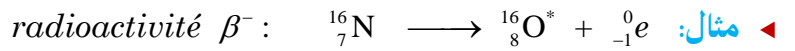
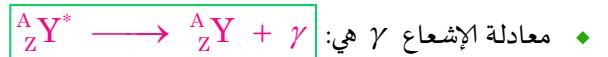
النشاط الإشعاعي β^+ تفتت طبيعي تتحول خلاله نواة أصلية ${}^A_Z X$ إلى نواة متولدة ${}^A_{Z-1} Y$ مع انبعاث بوزيترون ${}^0_{+1} e$ نسميه دقيقة β^+ .



ملحوظة: النشاط β^+ هو تحول بروتون إلى نوترون: ${}^1_1 p \longrightarrow {}^1_0 n + {}^0_{+1} e$

د - النشاط الإشعاعي γ

هو انبعاث موجات كهرومغناطيسية ذات أطوال موجة صغيرة جداً ($\lambda < 1\text{pm}$) من نويده متولدة مثارة غير مستقرة. وغالبا ما يواكب هذا الإشعاع الإشعاعات α أو β^- أو β^+ عندما يتولد عنها نواة مثارة، ونرمز لها بـ ${}^A_Z Y^*$.

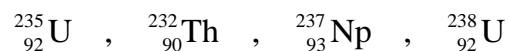


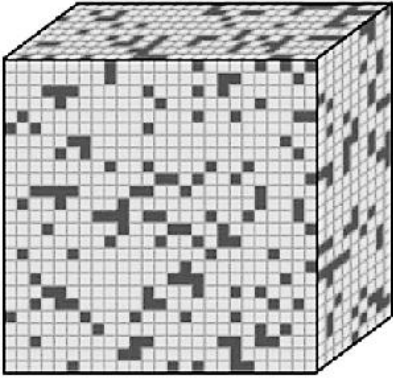
4 الفصيلة المشعة:

♦ كل نويده مشعة ستتحوّل إلى نويده متولدة أخرى. وإذا كانت هذه الأخيرة غير مستقرة ستتحوّل بدورها إلى نويده أخرى، وهكذا حتى نحصل في النهاية على نويده مستقرة.

♦ الفصيلة المشعة هي مجموعة النويدات الناتجة عن نفس النويده الأصلية.

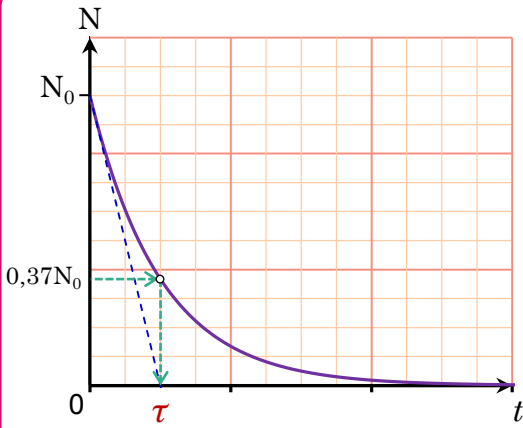
❖ توجد 4 فصائل مشعة طبيعية تنحدر من النوى التالية:





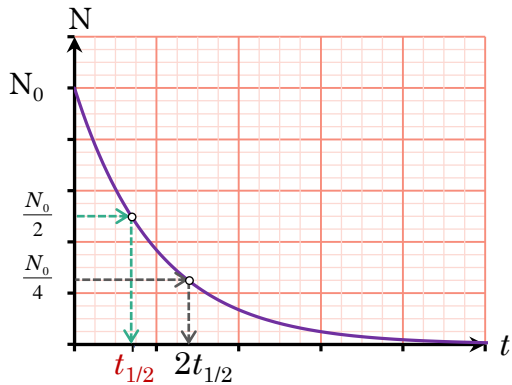
تناقص عدد النويدات المشعة في عينة

8



تناقص N(t) بدلالة الزمن

9



طريقة تحديد t_{1/2} مبيانيا

10

1 قانون التناقص الإشعاعي:

التناقص الإشعاعي ظاهرة عشوائية لا يمكن التنبؤ بلحظة حدوثها ولا يمكن التحكم فيها.

ملحوظة: احتمال تفتت نوييدة مشعة خلال مدة Δt هو نفسه في كل لحظة

نقول إن «النواة تموت دون أن تشيخ»

○ ليكن N_0 عدد النوى المشعة عند اللحظة $t_0=0$.

○ و N عدد النوى المتبقية عند اللحظة t .

○ و $N+dN$ عدد النوى المتبقية عند اللحظة $t+dt$ ، $(dN < 0)$.

↔ إذن عدد النوى المتفتتة بين t و $t+dt$ هو: $N - (N+dN) = -dN$.

↔ احتمال تفتت $-dN$ نوى خلال المدة dt هو: $P = -\frac{dN}{N}$.

بما أن تفتت نواة مشعة ظاهرة عشوائية، لا يتعلق بماضي النواة ولا بباقي نوى

العينة فإن الاحتمال P يتناسب مع المدة dt : $-\frac{dN}{N} = \lambda \cdot dt$

يعطي حل هذه المعادلة التفاضلية **قانون التناقص الإشعاعي**، ويعبر عنه

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

بالعلاقة التالية:

N : عدد النويدات المتبقية عند اللحظة t و N_0 عدد النويدات البدئية عند $t_0=0$.

λ : ثابتة إشعاعية تميز النوييدة المشعة.

$$[\lambda] = \left[\frac{dN}{N} \right] \cdot \left[\frac{1}{dt} \right] = \frac{1}{[dt]} = \frac{1}{T}$$

• بعد λ هو مقلوب الزمن ونعبر عنها بـ s^{-1} .

2 ثابتة الزمن τ لعينة مشعة:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

◀ ثابتة الزمن τ لعينة مشعة هي مقلوب الثابتة الإشعاعية:

وحدتها هي الثانية (s).

↔ τ هي المدة الزمنية اللازمة لتفتت 63% من العدد البدئي N_0 للنويدات.

↔ τ هي أفصول نقطة تقاطع محور الأفاصيل مع المماس للمنى $N(t)=f(t)$

عند اللحظة $t=0$ (الشكل 8).

3 عمر النصف $t_{1/2}$ لعينة مشعة:

عمر النصف $t_{1/2}$ لنوييدة مشعة هو المدة الزمنية اللازمة لتفتت نصف نويدات العينة (الشكل 9).

$$\text{عند اللحظة } t=t_{1/2} \text{ يكون: } N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2} \text{ وبما أن: } N(t_{1/2}) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} \text{ فإن: } \frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}}$$

$$\text{ومنه: } \frac{1}{2} = e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} \text{ أي: } -\lambda \cdot t_{1/2} = \ln \frac{1}{2} \text{ أي: } t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

[باستعمال كمية المادة والكتلة، نبين أن: $m(t) = m_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ و $n(t) = n_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$]

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \cdot \ln 2$$

وبالتالي:

4 نشاط عينة مشعة (activité):

النشاط $a(t)$ لعينة مشعة هو عدد التفتتات في وحدة الزمن. تعبيره:

$$a(t) = -\frac{dN}{dt}$$

لدينا: $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N_0 e^{-\lambda \cdot t}$$

$$a(t) = \lambda \cdot N_0 e^{-\lambda \cdot t} = \lambda \cdot N(t)$$

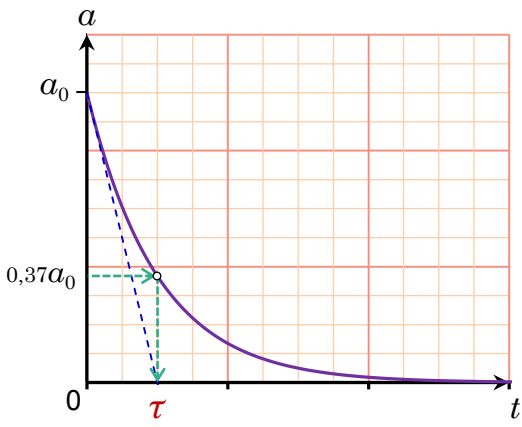
وبالتالي تعبير النشاط الإشعاعي عند لحظة t هو: $a(t) = a_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

مع: $a_0 = \lambda \cdot N_0$ ويمثل النشاط الإشعاعي عند اللحظة $t = 0$.

وحدة النشاط الإشعاعي في النظام العالمي للوحدات هي البيكيريل (Bq).

ملحوظات:

- 1 Bq يمثل تفتتا واحدا في الثانية.
- لقياس النشاط الإشعاعي نستعمل عدة أجهزة من بينها:
 - عداد بالإيماض.
 - عداد جيجر-مولر (CRAB (Geiger-Muller).



تناقص $a(t)$ بدلالة الزمن

11

النشاط	المصدر المشع
7000 Bq	إنسان (70 kg)
10 Bq	1 لتر من الماء المعدني
100 Bq	1 كيلوغرام من السمك
126 Bq	1 كيلوغرام من الجزر
$2 \cdot 10^{12}$ Bq	1 كيلوغرام من البلوتونيوم

رتبة قدر النشاط الإشعاعي لبعض المصادر المشعة

12

IV التأريخ بالنشاط الإشعاعي Datation par la radioactivité

1 مبدأ التأريخ بالنشاط الإشعاعي:

تحتوى الصخور والحفريات أو الكائنات الميتة على نويدات مشعة يتناقص عددها مع مرور الزمن، وبذلك يمكن تأريخ عينة بقياس نشاطها $a(t)$ ومقارنته مع النشاط a_0 لعينة أخرى مرجعية. وكلما كان عمر العينة المراد تأريخها كبيرا وجب استعمال طريقة تعتمد نويدات ذات عمر نصف أكبر.

- يقاس النشاط $a(t)$ لكتلة m معروفة من عينة ما.
- يقاس النشاط a_0 لكتلة m_0 من عينة شاهدة حالية، بحيث $m_0 = m$.

2 مثال: التأريخ بالكربون-14.

من بين التقنيات التي يستعملها الجيولوجيون وعلماء الآثار لتحديد أعمار الحفريات تقنية النشاط الإشعاعي بالكربون-14. حيث تبقى نسبة الكربون-14 ثابتة عند الكائنات الحية ولكن بعد وفاتها تتناقص هذه النسبة أسيا نتيجة تفتته وعدم تعويضه.

يتم تحديد عمر الحفريات باعتماد العلاقة: $a(t) = a_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ (أو $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ أو $m(t) = m_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$...)

$$\frac{a(t)}{a_0} = e^{-\lambda \cdot t} \quad \text{يعني:} \quad \ln\left(\frac{a}{a_0}\right) = -\lambda \cdot t \quad \text{ومنه:} \quad t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln\left(\frac{a_0}{a}\right) \quad \text{أي:}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad \text{وبما أن:} \quad \text{فإن:} \quad t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \cdot \ln\left(\frac{a_0}{a}\right) \quad \text{(أو:} \quad t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \cdot \ln\left(\frac{N_0}{N}\right)$$

النظير $^{32}_{15}\text{P}$ لعنصر الفوسفور إشعاعي النشاط β^- . يوجد على شكل محلول ويستعمل في الطب لمعالجة داء الفايكنز (تكاثر غير طبيعي للكريات الحمراء في الدم) عبر الحقن الوريدي، حيث يلتصق بشكل انتقائي على الكويرات الحمراء للدم فيدمرها بسبب الإشعاع المنبعث منه.

معطيات:

- الكتلة المولية للفوسفور 32 هي: $M(^{32}\text{P}) = 32,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
- ثابتة أفوكادرو: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- مقتطف من جدول الترتيب الدوري للعناصر: ^{17}Cl ; ^{16}S ; ^{15}P ; ^{14}Si ; ^{13}Al ; ^{12}Mg

1 حدد الصفة (أو الصفات) التي تميز تفتت نويدة مشعة معينة .

- تلقائي متوقع في الزمن عشوائي حتى يتعلق بالعوامل الخارجية

2 أعط تعريف النظائر.

3 أعط تركيب نويدة الفوسفور $^{32}_{15}\text{P}$.

4 اكتب معادلة التفتت الموافقة لتحول نويدة الفوسفور $^{32}_{15}\text{P}$ محددا النواة المتولدة.

5 يمثل المنحنى جانبه تغير النسبة $\frac{a(t)}{a_0}$ لعينة من الفوسفور 32 بدلالة الزمن.

حدد، بالثانية (s)، عمر النصف $t_{1/2}$ ثم استنتج قيمة الثابتة الإشعاعية λ .

6 يعالج مريض مصاب بداء الفايكنز عن طريق الحقن الوريدي بمحلول فوسفات

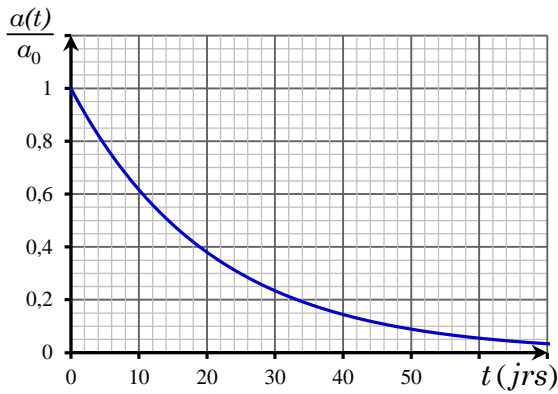
الصوديوم الذي يحتوي على كتلة $m_0 = 1,00 \cdot 10^{-8} \text{ g}$ من الفوسفور 32.

أ- احسب العدد البدئي N_0 لنوى الفوسفور 32.

ب- استنتج قيمة النشاط الإشعاعي a_0 للحقنة عند اللحظة $t=0$.

7 ينعدم مفعول الدواء في جسم المريض عندما يصبح النشاط الإشعاعي a للحقنة مساويا للقيمة $a = 1,05 \cdot 10^6 \text{ Bq}$.

حدد بالأيام (jrs) المدة الزمنية اللازمة لانعدام مفعول الدواء.



عناصر الإجابة

1 الصفات التي تميز تفتت نويدة مشعة هي: تلقائي - عشوائي - حتى.

2 النظائر هي عناصر كيميائية لها نفس عدد البروتونات Z وتختلف من حيث عدد النوترونات N (أي لها قيم A مختلفة).

3 تركيب نويدة الفوسفور: عدد البروتونات هو: $Z = 8$.

عدد النوترونات هو: $N = A - Z = 32 - 15 = 17$

4 معادلة التفتت النووي: $^{32}_{15}\text{P} \longrightarrow ^{32}_{16}\text{S} + ^0_{-1}e$ النواة المتولدة هي نواة الكبريت $^{32}_{16}\text{S}$.

5 قيمة $t_{1/2}$: نحدد قيمة $t_{1/2}$ عندما يكون $a = a_0/2$ أي: $a/a_0 = 0,5$ من خلال المنحنى نجد: $t_{1/2} \simeq 14,4 \text{ jrs}$

أي: $t_{1/2} = 14,4 \times 24 \times 3600 \text{ s} = 1,24 \cdot 10^6 \text{ s}$ ومنه قيمة λ هي: $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{1,24 \cdot 10^6} = 5,56 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$

6 أ- حساب العدد البدئي N_0 :

لدينا: $n_0 = \frac{N_0}{N_A} = \frac{m_0}{M}$ إذن: $N_0 = \frac{m_0 \cdot N_A}{M} = \frac{1,00 \times 10^{-8} \times 6,02 \times 10^{23}}{32,0} = 1,88 \cdot 10^{14} \text{ noyaux}$

ب- حساب النشاط الإشعاعي a_0 : لدينا: $a_0 = \lambda \cdot N_0$ تطبيق عددي: $a_0 = 5,56 \cdot 10^{-7} \times 1,88 \cdot 10^{14} = 1,05 \cdot 10^8 \text{ Bq}$

7 تحديد المدة الزمنية اللازمة لانعدام مفعول الدواء: لدينا: $\frac{a(t)}{a_0} = e^{-\lambda \cdot t}$ إذن: $\ln\left(\frac{a}{a_0}\right) = -\lambda \cdot t$ أي: $\lambda \cdot t = \ln\left(\frac{a_0}{a}\right)$

ومنه: $t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \cdot \ln\left(\frac{a_0}{a}\right)$ تطبيق عددي: $t = \frac{14,4}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{1,05 \cdot 10^8}{1,05 \cdot 10^6}\right) = 95,7 \text{ jrs}$

للقنبلة الذرية (Bombe A) قوة تدميرية كبيرة جداً
ما السر وراء ذلك؟

عند انفجار قنبلة نووية يتم تحرير طاقة هائلة ناتجة
عن تفاعلات متسلسلة للانشطار النووي.

- كيف نجز حصيلة طاقة لتفاعل نووي؟
- ما الانشطار النووي؟ و ما التفاعل المتسلسل؟
- ما هي تطبيقات و أخطار النشاط الإشعاعي؟



الهدف

الغلاف الزمني (درس + تمارين)

10 ساعات (2+8)

الفئة المستهدفة

الثانية بكالوريا - جميع الشعب والمسالك العلمية

تصميم الدرس

- التكافؤ كتلة - طاقة :
- علاقة أينشتاين - وحدات الطاقة والكتلة .
- طاقة الربط :
- الانشطار و الاندماج النوويان :
- النقص الكتلي - طاقة الربط - طاقة الربط بالنسبة لنوية - منحى أسطون.
- الانشطار النووي - الاندماج النووي .
- الحصيلة الكتلية و الطاقة لتفاعل نووي :
- الحالة العامة لتفاعل نووي - تطبيقات.
- بعض تطبيقات و أخطار النشاط الإشعاعي: المفعول البيولوجي للنشاط الإشعاعي - تطبيقات النشاط الإشعاعي - الأخطار.

معارف ومهارات

- ✓ تعريف وحساب النقص الكتلي وطاقة الربط.
- ✓ تعريف وحساب طاقة الربط بالنسبة لنوية و استغلالها.
- ✓ استعمال مختلف وحدات الكتلة و الطاقة و العلاقة بين هذه الوحدات.
- ✓ استغلال منحى أسطون لتحديد النوى الأكثر استقرارا.
- ✓ معرفة علاقة التكافؤ كتلة - طاقة وحساب طاقة الكتلة.
- ✓ تعريف الانشطار و الاندماج (خاص SP و SM) .
- ✓ تحليل منحى أسطون لاستجلاء الفائدة الطاقة للانشطار و الاندماج.
- ✓ كتابة معادلات التحولات النووية للانشطار و الاندماج بتطبيق قانوني الانحفاظ.
- ✓ تعرف نوع التفاعل النووي انطلاقا من المعادلة النووية.
- ✓ إنجاز الحصيلة الطاقة لتفاعل نووي باستعمال: طاقات الكتلة . طاقات الربط . مخطط الطاقة.
- ✓ حساب الطاقة المحررة (الناتجة) من طرف تفاعل نووي: $E_{libérée} = |\Delta E|$
- ✓ تعرف بعض تطبيقات النشاط الإشعاعي.
- ✓ معرفة بعض أخطار النشاط الإشعاعي.

1 علاقة أينشتاين Einstein:

لقد بين ألبيرت أينشتاين أن كل مجموعة كتلتها m ، توجد في حالة سكون، تملك طاقة تسمى طاقة الكتلة يعبر عنها بالعلاقة:

$$E = m.c^2$$

E : طاقة المجموعة بالجول (J) m : كتلة المجموعة بـ (kg) c : سرعة انتشار الضوء في الفراغ $c \simeq 3.10^8 m.s^{-1}$

نشاط 1: احسب طاقة الكتلة للبروتون (كتلة البروتون $m_p = 1,6726.10^{-27} kg$).

جواب: $E = m_p . c^2 = 1,6726.10^{-27} \times (3.10^8)^2 = 1,505.10^{-10} J$

ملحوظة:

- عندما تتغير كتلة مجموعة بالمقدار Δm ، يكون تغير طاقة الكتلة لهذه المجموعة هو: $\Delta E = \Delta m . c^2$.
- ✓ عندما تنقص كتلة المجموعة يكون $\Delta m < 0$ وبالتالي $\Delta E < 0$: نقول إن المجموعة تمنح طاقة للوسط الخارجي.
 - ✓ عندما تزداد كتلة المجموعة يكون $\Delta m > 0$ وبالتالي $\Delta E > 0$: نقول إن المجموعة تستقبل طاقة من الوسط الخارجي.

2 وحدات الطاقة والكتلة:

• وحدة الكتلة الملائمة المستعملة في الفيزياء النووية تسمى وحدة الكتلة الذرية ويرمز لها بـ (u). بحيث: $1u = 1,66.10^{-27} kg$

$$1u = \frac{1}{12} \cdot \frac{M(^{12}_6C)}{N_A} = \frac{1}{12} \times \frac{12 \times 10^{-3}}{6,02.10^{23}} = 1,66.10^{-27} kg$$

$1u$ تساوي $1/12$ من كتلة ذرة واحدة من الكربون 12:

• وحدة الطاقة المستعملة في الفيزياء النووية هي الإلكترون-فولط (eV) بحيث: $1eV = 1,6.10^{-19} J$

الوحدة الأكثر استعمالا هي الميكا إلكترون-فولط (MeV) بحيث: $1 MeV = 10^6 eV = 1,6.10^{-13} J$

• الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية u . لدينا حسب علاقة اينشتاين لدينا:

$$E = m.c^2 = 1,66054.10^{-27} \times (2,997924.10^8)^2 = 1,49242.10^{-10} J = \frac{1,49242.10^{-10}}{1,602177.10^{-13}} MeV = 931,5 MeV$$

يعني أن: $1u.c^2 = 931,5 MeV$ وبالتالي: $1u = 931,5 MeV.c^{-2}$

Énergie de liaison

طاقة الربط

1 النقص الكتلي:

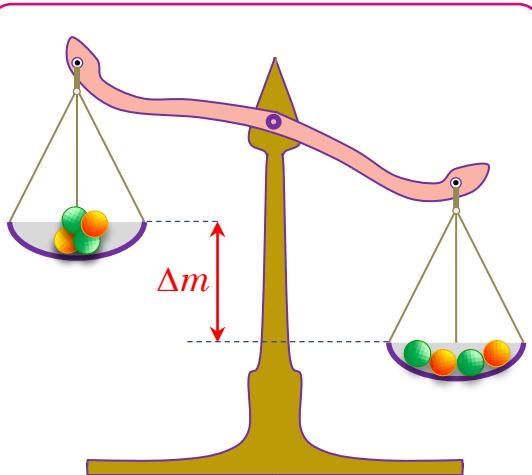
- كتلة النواة أصغر من مجموع كتل النويات التي تكونها.
- النقص الكتلي Δm لنواة $^A_Z X$ ، هو الفرق بين مجموع كتل النويات وكتلة النواة:

$$\Delta m = [Z.m_p + (A - Z).m_n] - m(^A_Z X)$$

مع: m_p : كتلة البروتون m_n : كتلة النيوترون $m(^A_Z X)$: كتلة النواة

ملحوظة:

النقص الكتلي مقدار موجب: $\Delta m > 0$.



النقص الكتلي لنواة الهيليوم $^4_2 He$

نشاط 2: احسب بالوحدتين (u) و (kg) النقص الكتلي لنواة الكربون ${}^{14}_6C$.

نعطي: $1u = 1,66.10^{-27} kg$, $m({}^{14}_6C) = 13,9999u$, $m_n = 1,00866u$, $m_p = 1,00728u$

جواب: $\Delta m = [6.m_p + (14 - 6).m_n] - m({}^{14}_6C) = [6 \times 1,00728 + 8 \times 1,00866] - 13,9999$

$$\Delta m = 0,11306u$$

$$\Delta m = 0,11306 \times 1,66.10^{-27} = 1,8768.10^{-28} kg$$

2 طاقة الربط:

طاقة الربط E_ℓ لنواة هي الطاقة التي يجب إعطاؤها للنواة، في حالة سكون، لفصل نوياتها، بحيث تبقى هذه النويات في حالة سكون:

$$E_\ell = \Delta m.c^2 = [Z.m_p + (A - Z).m_n - m({}^A_ZX)].c^2$$

مع: Δm : النقص الكتلي. c : سرعة انتشار الضوء في الفراغ $c \approx 3.10^8 m.s^{-1}$

نشاط 3: احسب بالوحدتين (MeV) و (J) طاقة الربط لنواة الكربون ${}^{14}_6C$ (استعمل نتائج النشاط 2).

جواب: ب (MeV): $E_\ell = \Delta m.c^2 = 0,11306 u \times c^2 = 0,11306 \times 931,5 MeV.c^{-2} \times c^2 = 105,3154 MeV$

بالجول (J): $E_\ell = \Delta m.c^2 = 1,8768.10^{-28} \times (3.10^8)^2 = 1,68912.10^{-11} J$

3 طاقة الربط بالنسبة لنوية:

نعبر عن ξ طاقة الربط بالنسبة لنوية بالعلاقة:

$$\xi = \frac{E_\ell}{A}$$

بحيث: E_ℓ : طاقة الربط. A : عدد النويات.

■ وحدة ξ هي: $MeV/nucleon$

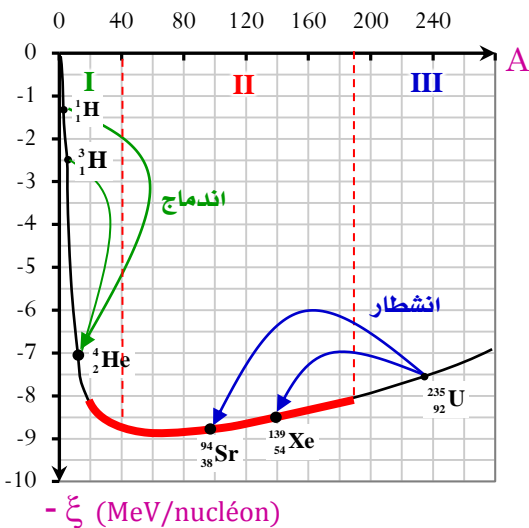
■ **ملحوظة:** « كلما كانت طاقة الربط بالنسبة لنوية كبيرة ، كلما كانت النواة الموافقة أكثر استقراراً »

نشاط 4: احسب طاقة الربط بالنسبة لنوية لنواة الكربون 14 (استعمل نتائج النشاط 3).

$$\xi({}^{14}_6C) = \frac{E_\ell({}^{14}_6C)}{A} = \frac{105,3154}{14} = 7,5225 MeV/nucleon$$

جواب:

4 منحنى أسطون Aston:



منحنى اسطون Aston (مبسط)

■ يمثل منحنى أسطون تغير مقابل طاقة الربط بالنسبة لنوية ξ - بدلالة A .

و من تفسير إمكانية تحول نوى إلى نوى أخرى؟

■ بالنسبة لـ $20 < A < 190$ نلاحظ على المنحنى قيمة دنوية لـ ξ - ، تقابلها

النويدات الأكثر استقراراً (المجال II).

■ بالنسبة لـ $A < 30$ تكبر ξ - بحدّة عندما يصغر A . و تكون النويدات

المقابلة أقل استقراراً. إذ يمكنها أن تتحد فيما بينها لتعطي نواة أكثر ثقلًا، و

تسمى هذه الظاهرة الاندماج النووي (المجال I).

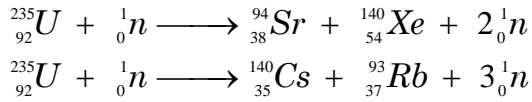
■ بالنسبة لـ $A > 190$ تكبر ξ - ببطء عندما يكبر A . و تكون النويدات

المقابلة أقل استقراراً. إذ يمكنها أن تنشط إلى نواتين خفيفتين، و تسمى هذه

الظاهرة الإنشطار النووي (المجال III).

1 الانشطار النووي:

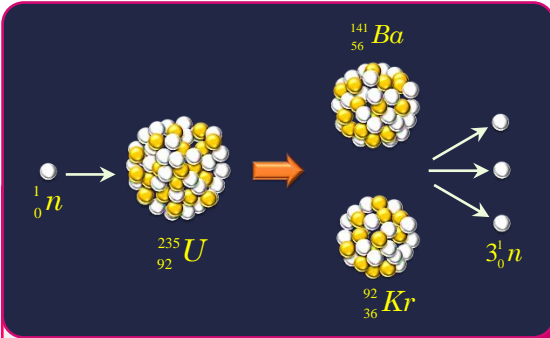
الانشطار النووي تفاعل نووي محرض يتم خلاله انقسام نواة ثقيلة، تسمى **نواة شظورة**، إلى نواتين خفيفتين عند تصادمها بنوترون حراري.



أمثلة:

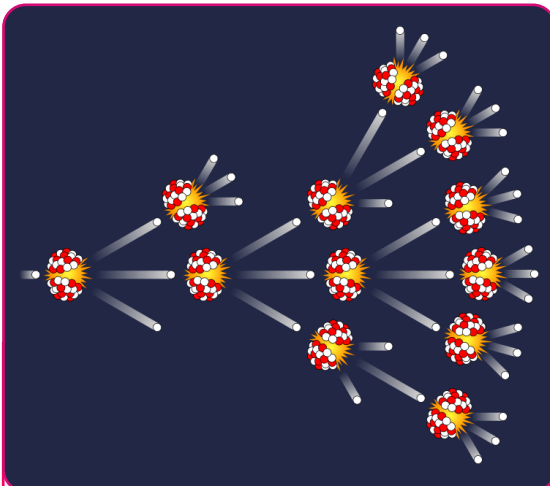
ملحوظات:

- النوية الشظورة هي نوية يمكنها أن تدخل في تفاعل انشطار.
- النوية الخصبة هي نوية يمكنها أن تعطي نوية شظورة على إثر تفاعل نووي.
- النوترون الحراري هو نوترون بطيء سرعته أصغر من $2\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$.
- ينتج عن الانشطار النووي نوترونات يمكنها أن تتسبب في انشطارات أخرى فتساهم بالتالي في انتشار تفاعل متسلسل قد يتم بكيفية تفجيرية. وهذا ما يحدث في القنبلة الذرية (Bombe A).
- في المفاعلات النووية يتم التحكم في التفاعل المتسلسل و ضبطه حيث تنتج الطاقة بكيفية منتظمة.



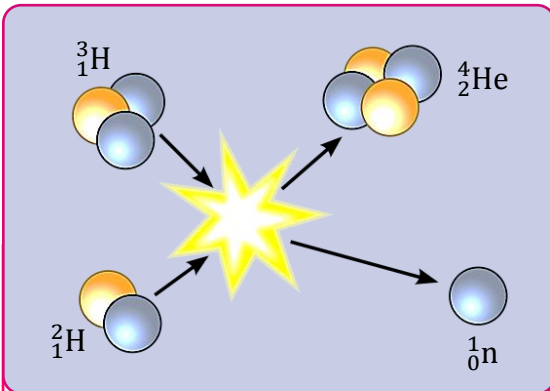
الانشطار النووي

3



التفاعل المتسلسل Réaction en chaine

4

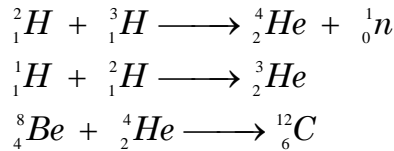


الاندماج النووي

5

2 الاندماج النووي:

الاندماج النووي تفاعل نووي محرض يتم خلاله انضمام نواتين خفيفتين لتكوين نواة أكثر ثقلاً.



أمثلة:

ملحوظات:

- لا يمكن أن يتحقق هذا الاندماج إلا إذا كانت للنواتين طاقة حركية تمكنهما من التغلب على قوى التأثيرات البينية التنافرية. ولتوفير هذه الطاقة نحدث رجاً حرارياً في درجة حرارة عالية (تقارب 10^8K)، لهذا ينعى الاندماج النووي بالتفاعل النووي الحراري.
- يصاحب الاندماج النووي تحرير طاقة هائلة، وعليه يرتكز مبدأ القنبلة الهيدروجينية (Bombe H).

bilan massique et énergétique الحصيلة الكتلية و الطاقة لتفاعل نووي

IV

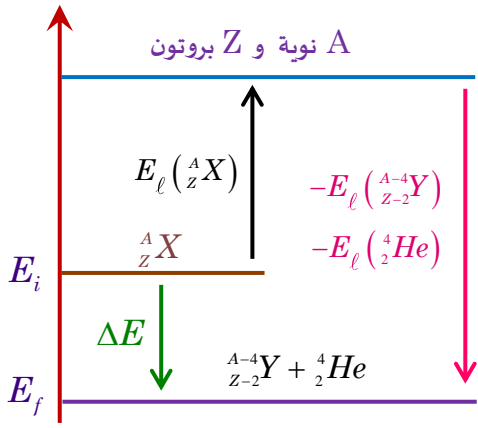
1 الحالة العامة لتفاعل نووي:

نعتبر التفاعل النووي الممنذج بالمعادلة التالية: ${}_{Z_1}^{A_1}\text{X}_1 + {}_{Z_2}^{A_2}\text{X}_2 \longrightarrow {}_{Z_3}^{A_3}\text{X}_3 + {}_{Z_4}^{A_4}\text{X}_4$ (X يمثل رمز النوى أو الدقائق)

الحصيلة الكتلية Δm (أو تغير الكتلة) هي: $\Delta m = [m_{\text{المتفاعلات}} - m_{\text{النواتج}}]$

$$\Delta m = m_f - m_i = \left[m\left({}_{Z_3}^{A_3}\text{X}_3\right) + m\left({}_{Z_4}^{A_4}\text{X}_4\right) \right] - \left[m\left({}_{Z_1}^{A_1}\text{X}_1\right) + m\left({}_{Z_2}^{A_2}\text{X}_2\right) \right] \text{ أي:}$$

الطاقة E بـ MeV



مخطط الطاقة للتفتت α

6

• الحصيلة الطاقية ΔE (أو طاقة التفاعل) هي:

$$\Delta E = E_f - E_i = m_f \cdot c^2 - m_i \cdot c^2 = (m_f - m_i) \cdot c^2 = \Delta m \cdot c^2$$

$$\Delta E = [m(X_3) + m(X_4) - m(X_1) - m(X_2)] \cdot c^2 \text{ أي:}$$

■ ملحوظات:

- إذا كان $\Delta E < 0$: فإن التفاعل يكون ناشرا للطاقة.
- إذا كان $\Delta E > 0$: فإن التفاعل يكون ماصا للطاقة.
- الطاقة المحررة (الناجئة) من طرف تفاعل نووي هي: $E_{libérée} = |\Delta E|$.
- يمكن حساب طاقة التفاعل انطلاقا من طاقات الربط باستعمال العلاقة:

$$\Delta E = [E_l(X_1) + E_l(X_2)] - [E_l(X_3) + E_l(X_4)]$$

2 تطبيقات:

أ- الاندماج النووي:

← **نشاط 5:** احسب الطاقة الناتجة عن تفاعل الاندماج التالي: ${}^2_1H + {}^3_1H \longrightarrow {}^4_2He + {}^1_0n$

نعطي: $m({}^2_1H) = 2,0136u$, $m({}^3_1H) = 3,0155u$, $m({}^4_2He) = 4,0015u$, $m({}^1_0n) = 1,0087u$

ندكر أن: $1u = 931,5 \text{ MeV}/c^2$

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = [m({}^4_2He) + m({}^1_0n) - m({}^2_1H) - m({}^3_1H)] \cdot c^2 \text{ جواب:}$$

$$= [4,0015 + 1,0087 - 2,0136 - 3,0155] \times 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2} \times c^2$$

$$= -0,0189 \times 931,5 = -17,605 \text{ MeV}$$

← نلاحظ أن $\Delta E < 0$ وبالتالي فإن الاندماج النووي تفاعل ناشر للطاقة.

◆ ب- النشاط الإشعاعي α

← **نشاط 6:** احسب الطاقة الناتجة عن التفتت α التالي: ${}^{226}_{88}Ra \longrightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^4_2He$

نعطي: $m({}^{226}_{88}Ra) = 225,9770u$, $m({}^{222}_{86}Rn) = 221,9702u$, $m({}^4_2He) = 4,0015u$

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = [m({}^4_2He) + m({}^{222}_{86}Rn) - m({}^{226}_{88}Ra)] \cdot c^2 \text{ جواب:}$$

$$= [4,0015 + 221,9702 - 225,9770] \times 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2} \times c^2$$

$$= -0,0053 \times 931,5 = -4,937 \text{ MeV}$$

← نلاحظ أن $\Delta E < 0$ وبالتالي فإن النشاط α ناشر للطاقة.

◆ ج- النشاط الإشعاعي β^-

← **نشاط 7:** احسب الطاقة الناتجة عن التفتت β^- التالي: ${}^{14}_6C \longrightarrow {}^{14}_7N + {}^0_{-1}e$

نعطي: $m({}^{14}_6C) = 13,9999u$, $m({}^{14}_7N) = 13,9992u$, $m({}^0_{-1}e) = 0,00055u$

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = [m({}^{14}_7N) + m({}^0_{-1}e) - m({}^{14}_6C)] \cdot c^2 \text{ جواب:}$$

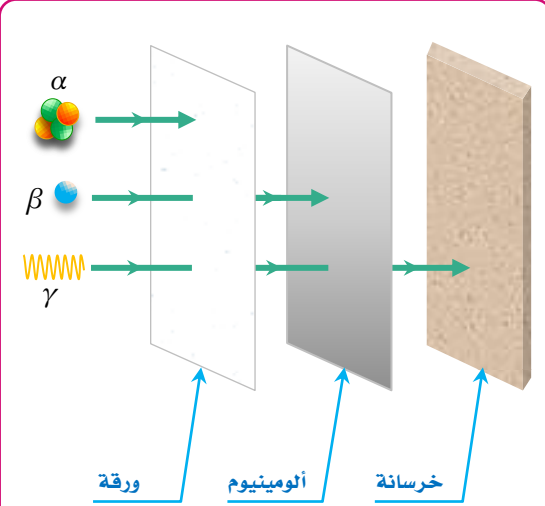
$$= [13,9992 + 0,00055 - 13,9999] \times 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2} \times c^2 = -0,1397 \text{ MeV}$$

← النشاط β^- ناشر للطاقة.

1 المفعول البيولوجي للنشاط الإشعاعي:

تعرض جميع الكائنات الحية الى كمية معينة من الإشعاعات. و يختلف تأثير هذه الإشعاعات على جسم الإنسان حسب الجرعة التي يمتصها الجسم و حسب طبيعة الإشعاع.

- **الإشعاعات α** : تكفي ورقة لإيقافها و تحدث حرقاً سطحياً على الجلد.
- **الإشعاعات β** : يلزم عدة ملليمترات من الألومينيوم لإيقافها. و تستعمل لمعالجة الأمراض السرطانية.
- **الإشعاعات γ** : يلزم عدة سنتيمترات من الرصاص لإيقافها. و تستعمل في تشخيص الأمراض بالصور.
- تؤثر الإشعاعات النووية على جسم الإنسان عن طريق التفاعل مع جزيئات المادة الحية المكونة للجسم، إذ يمكنها انتزاع إلكترونات ذرات خلايا بعض الأعضاء محدثة تشوهات بيوكيميائية (حدوث طفرات على مستوى المورثات).



نفاذية الأنشطة الإشعاعية

7



علاج الغدة الدرقية باليود المشع 131

8



تأثير كارثة تشيرنوبيل النووية على البيئة

9

موضوع للبحث. أنجزا بحثاً حول:

- إنتاج الطاقة الكهربائية في المحطات الحرارية.
- أخطار النشاط الإشعاعي.

2 تطبيقات النشاط الإشعاعي:

للنشاط الإشعاعي استعمالات متعددة في مجالات مختلفة، منها:

- **الصناعة:**
 - إنتاج الطاقة الكهربائية.
 - إنجاز اختبارات الجودة و الكشف عن العيوب.
 - إنتاج أشباه الموصلات...
- **الفلاحة:**
 - مقاومة الآفات و السيطرة على لحشرات الضارة.
 - زيادة مدة تخزين المنتجات الزراعية.
 - انتقاء نوعيات معينة من البذور و الرفع من الإنتاجية...
- **الطب:**
 - معالجة الأورام السرطانية.
 - تعقيم الأدوات الطبية.
 - التعرف على بعض الأمراض و تشخيصها بالصور ...

3 أخطار النشاط الإشعاعي:

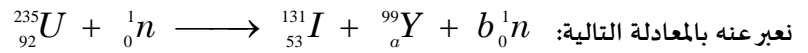
إنتاج القنابل النووية (الاندماج النووي) أو الذرية (الانشطار النووي) ذات القوة التدميرية الكبيرة جداً، و التي تنتج إشعاعات بكميات كبيرة، فيصبح محيط الانفجار غير قابلة للزراعة و العيش، كما تؤدي إلى وفاة الكائنات الحية أو إصابتها بسرطانات أو حروق و إلحاق أضرار جسيمة بالبيئة لمدة طويلة.

من بين الأمراض التي يسببها النشاط الإشعاعي:

- سرطان الدم و الغدة الدرقية.
- عتمة عدسة العين.
- العقم.
- اضعاف مناعة الجسم ضد الأمراض الأخرى مما يؤدي إلى الوفاة.
- أحداث طفرة وراثية و تشوهات خلقية.



في المحطات الحرارية (*centres thermiques*) يتم إنتاج الطاقة الكهربائية باستغلال الطاقة الحرارية الناتجة عن تفاعلات الانشطار النووي لنوى الأورانيوم 235. أحد تفاعلات الانشطار الممكنة للأورانيوم $^{235}_{92}\text{U}$ عند قذفه بنوترون في مفاعل نووي يعمل بالماء المضغوط (R.E.P) نعر عنه بالمعادلة التالية:



● معطيات:

${}^1_1\text{p}$	${}^1_0\text{n}$	${}^{99}_{39}\text{Y}$	${}^{131}_{53}\text{I}$	${}^{235}_{92}\text{U}$	النواة أو الدقيقة
1,0073	1,0087	98,9032	130,8770	234,9935	الكتلة بـ (u)
$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ، $1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ ، $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ، $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$					

- حدد العددين الصحيحين b و a .
- تحقق أن النقص الكتلي Δm لنواة الأورانيوم 235 هو $\Delta m = 1,9222 \text{ u}$. استنتج قيمة E_ℓ (235U) طاقة الربط للأورانيوم 235.
- ماهي النوييدة الأكثر استقرارا من بين النويدتين $^{131}_{53}\text{I}$ و $^{235}_{92}\text{U}$ ؟ علما أن $\xi(^{131}\text{I}) = 8,451 \text{ MeV/nucléon}$.
- احسب، بالوحدتين (MeV) و الجول (J)، الطاقة ΔE الناتجة عن انشطار نواة واحدة من الأورانيوم 235.
- استنتج (بالجول J) الطاقة الكلية E_T المحررة عند انشطار كتلة $m = 1 \text{ kg}$ من نوى الأورانيوم 235.
- قارن E_T بالطاقة المحررة من 1 kg من البترول الذي يحرق $E_P = 4,5 \cdot 10^5 \text{ J}$. ماذا تستنتج ؟
- بين أن تعبير الطاقة الناتجة ΔE يمكن أن يكتب على شكل: $\Delta E = E_\ell(^{235}_{92}\text{U}) - E_\ell(^{131}_{53}\text{I}) - E_\ell(^{99}_{39}\text{Y})$.

عناصر الإجابة

① تحديد a و b : انحفاظ عدد النويات: $b = 6 \iff 235 + 1 = 131 + 99 + b \times 1$

انحفاظ عدد الشحنة: $a = 39 \iff 92 + 0 = 53 + a + b \times 0$

② التحقق من قيمة Δm : $\Delta m = [92 \cdot m_p + (235 - 92) \cdot m_n] - m(^{235}_{92}\text{U})$

$\Delta m = [92 \times 1,0073 + 143 \times 1,0087] - 234,9935 = 1,9222 \text{ u}$

استنتاج قيمة E_ℓ (235U): $E_\ell = \Delta m \cdot c^2 = 1,9222 \times 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2} \times c^2 = 1790,529 \text{ MeV}$

③ النواة الأكثر استقرارا: لدينا: $\xi(^{235}_{92}\text{U}) = \frac{E_\ell(^{235}_{92}\text{U})}{A} = \frac{1790,529}{235} = 7,619 \text{ MeV/nucléon}$

إذن: $\xi(^{235}_{92}\text{U}) > \xi(^{131}_{53}\text{I})$ ومنه، فإن نواة الأورانيوم 235 أكثر استقرارا من نواة اليود 131.

④ حساب الطاقة الناتجة ΔE : $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = [m(^{131}_{53}\text{I}) + m(^{99}_{39}\text{Y}) + 6m({}^1_0\text{n}) - m(^{235}_{92}\text{U}) - m({}^1_0\text{n})] \cdot c^2$

$\Delta E = [130,8770 + 98,9032 + 5 \times 1,0087 - 234,9935] \times 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2} \times c^2$

$\Delta E = -0,1698 \times 931,5 = -158,17 \text{ MeV}$

$\Delta E = -158,17 \times 1,6 \cdot 10^{-13} = -2,53 \cdot 10^{-11} \text{ J}$

⑤ استنتاج E_T : $E_T = N \cdot |\Delta E| = \frac{N_A \cdot m}{M(^{235}\text{U})} \cdot |\Delta E| = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \times 10^3}{235} \times 2,53 \cdot 10^{-11} = 6,48 \cdot 10^{14} \text{ J}$

⑥ بالنسبة لنفس الكتلة، لدينا: $E_T \gg E_P$: ($E_T = 1,44 \cdot 10^9 E_P$). التفاعلات النووية تنتج طاقة هائلة جدا مقارنة مع التفاعلات الكيميائية.

⑦ البرهان: $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = [m(^{131}_{53}\text{I}) + m(^{99}_{39}\text{Y}) + 6m({}^1_0\text{n}) - m(^{235}_{92}\text{U}) - m({}^1_0\text{n})] \cdot c^2$

$\Delta E = [m(^{131}_{53}\text{I}) + 53 \cdot m_p - 53 \cdot m_p + 78 \cdot m_n - 78 \cdot m_n + m(^{99}_{39}\text{Y}) + 39 \cdot m_p - 39 \cdot m_p + 60 \cdot m_n - 60 \cdot m_n + 5m_n - m(^{235}_{92}\text{U})] \cdot c^2$

$\Delta E = -(53 \cdot m_p + 78 \cdot m_n - m(^{131}_{53}\text{I})) \cdot c^2 - (39 \cdot m_p + 60 \cdot m_n - m(^{99}_{39}\text{Y})) \cdot c^2 + (92 \cdot m_p + 143 \cdot m_n - m(^{235}_{92}\text{U})) \cdot c^2$

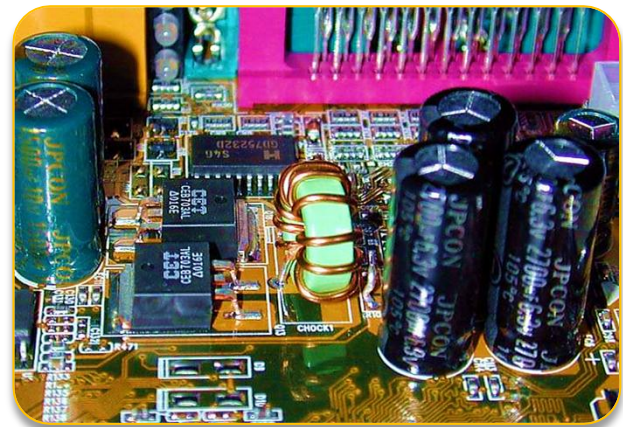
$\Delta E = -E_1(^{131}_{53}\text{I}) - E_1(^{99}_{39}\text{Y}) + E_1(^{235}_{92}\text{U}) = E_1(^{235}_{92}\text{U}) - E_1(^{131}_{53}\text{I}) - E_1(^{99}_{39}\text{Y})$

الكهرباء

الجزء الثالث

محتوى الجزء :

- الوحدة 6 : ثنائي القطب RC.
- الوحدة 7 : ثنائي القطب RL.
- الوحدة 8 : الذبذبات الحرة في دائرة متوالية RLC.
- الوحدة 9+10 : نقل المعلومات* - تضمين الوسع*.



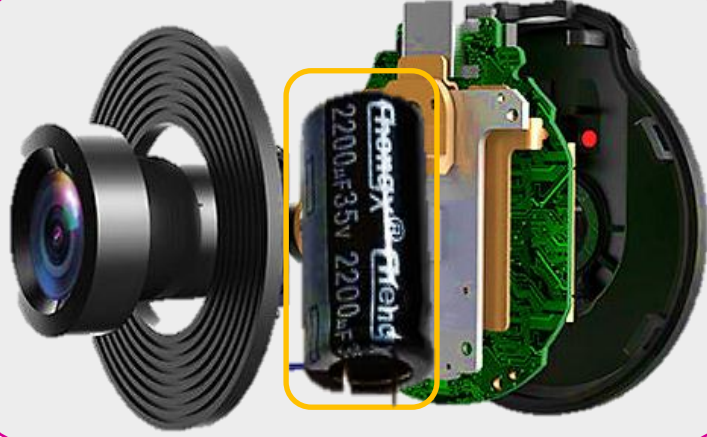
PHYSIQUE - 2BAC - SP,SM,SVT

* فاصب SP و SM - درس الفورة 2

Pr. Yassin DERRAZ

نجد المكثف في عدة أجهزة كهربائية و إلكترونية
مثل و امض آلة التصوير و مؤقت الإنارة و جهاز
استقبال الراديو ...

- ما المكثف ؟ و كيف يتصرف في دارة
كهربائية ؟
- ما دلالة المقدار $2200 \mu F$ ؟



تفكير

الغلاف الزمني (درس + تمارين)

8 ساعات (2 + 6)

الفئة المستهدفة

الثانية بكالوريا - جميع الشعب والمسالك العلمية

تصميم الدرس

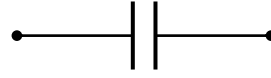
- المكثف:
 - تجميع المكثفات:
 - استجابة ثنائي القطب RC لرتبة توتر:
 - الطاقة المخزونة في المكثف:
 - ◀ تمرين موضوعاتي - عناصر الإجابة.
- التعريف والرمز - شحنة المكثف - العلاقة بين q و i - العلاقة بين q و u_C .
التجميع على التوالي - التجميع على التوازي.
تعريف - استجابة ثنائي القطب RC لرتبة توتر - شحن المكثف - تفريغ المكثف - ثابتة الزمن τ .
الإبراز التجريبي - تعبير الطاقة الكهربائية المخزونة في المكثف.

معارف ومهارات

- تمثيل التوتريين u_R و u_C في الاصطلاح مستقبل وتحديد شحنتي لبوسي مكثف .
- معرفة العلاقة $q = C \cdot u_C$ بالنسبة لمكثف في الاصطلاح مستقبل.
- معرفة واستغلال العلاقة $i = C du_C / dt$.
- معرفة مدلول C سعة مكثف ووحدتها F (الفاراد Farad) والوحدات الجزئية (μF) و (nF) و (pF) .
- تحديد سعة مكثف مبيانيا وحسابيا.
- معرفة سعة المكثف المكافئ للتركيب على التوالي والتركيب على التوازي والفائدة من كل تركيب.
- إثبات المعادلة التفاضلية والتحقق من حلها عندما يكون ثنائي القطب خاضعا لرتبة توتر.
- تحديد تغيرات التوتر $u_C(t)$ بين مبرطي مكثف عند خضوع ثنائي القطب لرتبة توتر واستنتاج تغيرات شدة التيار i والشحنة q .
- معرفة أن التوتريين مبرطي المكثف دالة زمنية متصلة وأن شدة التيار دالة غير متصلة.
- معرفة واستغلال تعبير ثابتة الزمن τ . و تعرف وتمثيل منحنيات تغير التوتر $u_C(t)$ والمقادير المرتبطة به بدلالة الزمن واستغلالها.
- استعمال معادلة الأبعاد لتحديد بعد أو وحدة τ .
- استعمال وثائق تجريبية ل: ■ تعرف التوترات الملاحظة؛ ■ إبراز تأثير R و C على عمليتي الشحن والتفريغ؛
- تعيين ثابتة الزمن τ . ■ تحديد نوع النظام (انتقالي - دائم) و المجال الزمني لكل منهما؛
- اقتراح تبيانة تركيب تجريبي لدراسة استجابة ثنائي القطب RC لرتبة توتر.
- معرفة كيفية ربط راسم التذبذب ونظام مسك معلوماتي لمعاينة مختلف توترات.
- تحديد تأثير R و C و وسع رتبة التوتريين على استجابة ثنائي القطب RC.
- معرفة وإثبات واستغلال تعبير الطاقة الكهربائية المخزونة في مكثف.

1 التعريف والرمز

المكثف ثنائي قطب مكون من موصلين كهربائيين متقابلين يسميان لبوسين، بينهما عازل استقطابي.



رمز للمكثف بخطين متوازيين:

يتميز المكثف بقدرته على تخزين كمية من الكهرباء وارجاعها عند الحاجة.

2 شحنة المكثف

عندما نشحن مكثفاً، يكتسب أحد لبوسيه عدداً من الإلكترونات (اللبوس B) و يفقد اللبوس الآخر نفس العدد من الإلكترونات (اللبوس A).

شحنة المكثف أو كمية الكهرباء المخزنة في مكثف هي شحنة اللبوس الموجب للمكثف. نرسم لها بـ Q و وحدتها الكولوم (C): $Q = q_A = -q_B$.

ملحوظة: للتيار الكهربائي i و للإلكترونات e^- منحيان متعاكسان (الشكل 2).

3 العلاقة بين الشحنة و شدة التيار

شدة التيار الكهربائي هي سبب الشحنات الكهربائية، أي كمية الكهرباء التي تصل إلى لبوس المكثف في وحدة الزمن:

$$\begin{aligned} i &: \text{ شدة التيار بالأمبير (A)} \\ q &: \text{ شحنة المكثف (q = q}_A\text{) بالكولوم (C)} \\ t &: \text{ بالثانية (s)} \end{aligned}$$

$$i = \frac{dq}{dt}$$

ملحوظة: عندما تكون شدة التيار ثابتة، فإن العلاقة بين الشحنة و شدة التيار تصبح: $I = \frac{Q}{\Delta t}$ أو $q = I \cdot \Delta t$ (حيث $Q = q = q_A$).

4 العلاقة بين شحنة المكثف و التوتر بين مربطيه

لمعرفة العلاقة بين الشحنة $q = q_A$ لمكثف و التوتر $u_C = u_{AB}$ بين مربطيه ننجز التركيب التجريبي جانبه. نستعمل مولداً مؤمئلاً للتيار الكهربائي شدته ثابتة: $I_0 = 1 \text{ mA}$. نغلق قاطع التيار عند اللحظة $t_0 = 0$ ثم نعاين تغير التوتر الكهربائي بين مربطين المكثف بدلالة الزمن. يمثل الشكل 4 المنحنى المحصل عليه. يحمل المكثف المعلومات التالية: $1000 \mu\text{F} - 100 \text{ V}$.

استثمار المنحنى:

المنحنى المحصل عليه عبارة عن مستقيم يمر من أصل المعلم معادلته هي: $u_C = k \cdot t$.

بما أن شدة التيار I_0 ثابتة فإن: $q = I_0 \cdot t$ ومنه: $t = \frac{q}{I_0}$.

إذن تعبير التوتر u_C يصبح: $u_C = k \cdot \frac{q}{I_0} = \frac{k}{I_0} \cdot q$. يعني أن: $q = \frac{I_0}{k} \cdot u_C$.

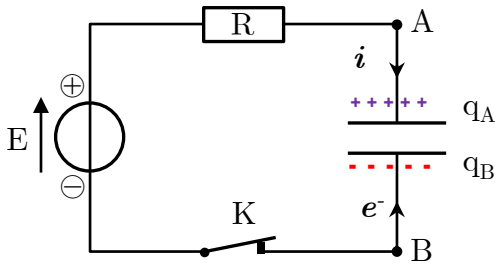
نضع: $C = \frac{I_0}{k}$ فنكتب: $q = C \cdot u_C$.

الثابتة C تسمى سعة المكثف (*Capacité*)، وحدتها الفاراد (F). وقيمتها هي:

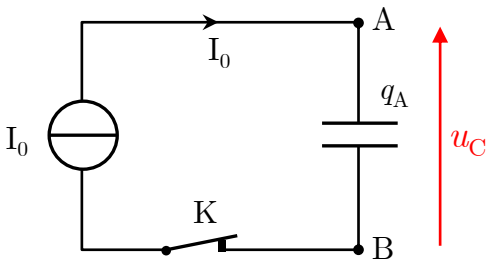
لدينا: $k = \frac{\Delta u_C}{\Delta t} = \frac{50 - 0}{50 - 0} = 1 \text{ V} \cdot \text{s}^{-1}$ إذن: $C = \frac{I_0}{k} = \frac{1.10^{-3}}{1} = 10^{-3} \text{ F}$.



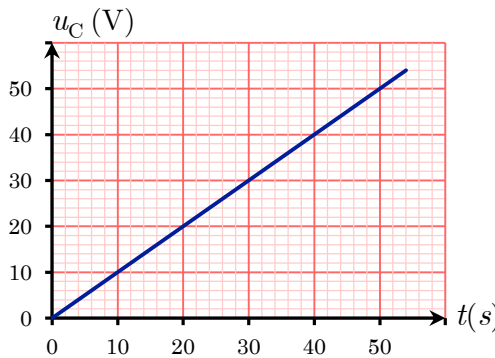
مكثف يحمل مجموعة من الرموز و الإشارات



شحن مكثف



شحن مكثف



تغير التوتر بين مربطيه المكثف بدلالة الزمن

Millifarad	$1 \text{ mF} = 10^{-3} \text{ F}$
Microfarad	$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$
Nanofarad	$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$
Picofarad	$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$

أجزاء الفاراد

5

خلاصة: تتناسب شحنة مكثف اطراداً مع التوتر المطبق بين لبوسيه:

$$q = C \cdot u_C$$

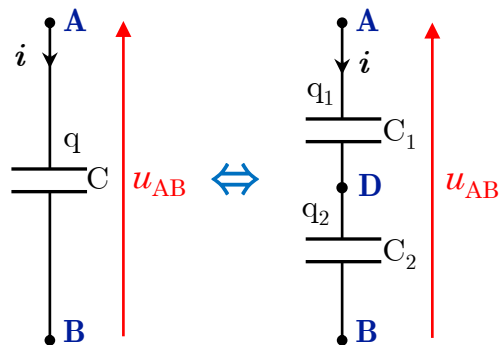
- q : شحنة المكثف بالكولوم (C) ،
- C : سعة المكثف بالفاراد (F) ، وهي ثابتة تميز المكثف.
- u_C : التوتر بين مربطي المكثف بالفولط (V) .

Association des Condensateur

تجميع المكثفات

II

1 التجميع على التوالي en série



تجميع مكثفين على التوالي

6

يمر في المكثفين نفس التيار الكهربائي، وبالتالي فإن شحنة المكثفين متساوية: $q_1 = q_2$.
حسب قانون إضافية التوترات، نكتب: $u_{AB} = u_{AD} + u_{DB}$.
مع: $q_1 = q_2 = q$ و $u_{AB} = \frac{q}{C}$ و $u_{DB} = \frac{q_2}{C_2}$ و $u_{AD} = \frac{q_1}{C_1}$

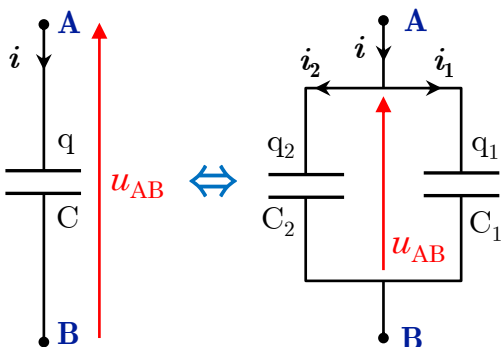
$$u_{AB} = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2} = q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) = \frac{q}{C}$$

$$\text{ومنه: } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{أو: } C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

بصفة عامة، بالنسبة لمكثفات مركبة على التوالي أياً كان عددها يكون لدينا: $\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$

يستعمل هذا التركيب للحصول على سعة صغيرة، مع إمكانية تطبيق توتر عال لا يستطيع كل مكثف تحمله إذا استعمل لوحده.

2 التجميع على التوازي en parallèle



تجميع مكثفين على التوازي

7

حسب قانون العقد، لدينا: $i = i_1 + i_2$

$$\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} + \frac{q_2}{t}$$

$$\text{إذن: } q = q_1 + q_2$$

بما أن: $q = C \cdot u_{AB}$ و $q_2 = C_2 \cdot u_{AB}$ و $q_1 = C_1 \cdot u_{AB}$

$$\text{فإن: } C \cdot u_{AB} = C_1 \cdot u_{AB} + C_2 \cdot u_{AB} = u_{AB} (C_1 + C_2)$$

$$\text{وبالتالي: } C = C_1 + C_2$$

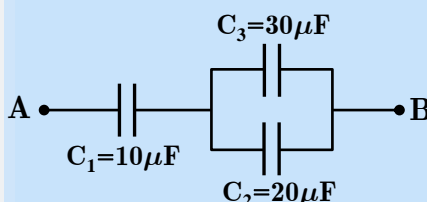
بصفة عامة، بالنسبة لمكثفات مركبة على التوازي أياً كان عددها يكون لدينا: $C = \sum_{i=1}^n C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_n$

يستعمل هذا التركيب لتكبير السعة، كما يمكن من الحصول على شحنة كبيرة بتطبيق توتر ضعيف.

$$C_{AB} = \frac{C_1 (C_2 + C_3)}{C_1 + C_2 + C_3}$$

$$C_{AB} = \frac{10 \times (20 + 30)}{10 + 20 + 30} = 8,3 \mu\text{F}$$

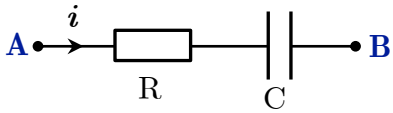
■ جواب:



■ تطبيق:

أوجد قيمة السعة المكافئة C_{AB} بين النقطتين A و B في التركيب التالي:

1 تعاريف



ثنائي القطب RC هو تجميع على التوالي لموصل أومي مقاومته R ومكثف سعته C.

رتبة توتر صاعدة ورتبة توتر نازلة:

رتبة توتر نازلة	رتبة توتر صاعدة
بالنسبة لـ $t < 0$: $u = E$ بالنسبة لـ $t \geq 0$: $u = 0$	بالنسبة لـ $t < 0$: $u = 0$ بالنسبة لـ $t \geq 0$: $u = E$

2 استجابة ثنائي القطب RC لرتبة توتر

■ شحن و تفريغ المكثف - الدراسة التجريبية (محاكاة):

— ننجز التركيب التجريبي جانبه، بحيث يكون المكثف غير مشحون بدنيا (الشكل 7).

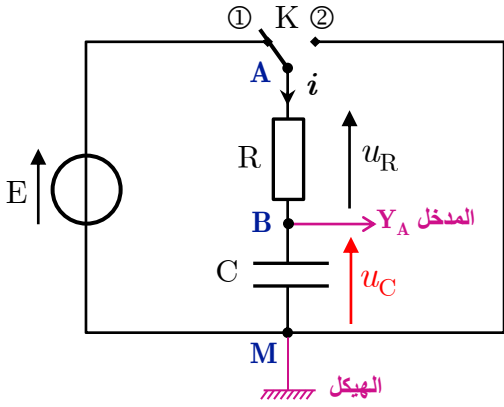
تأخذ: $E = 6V$ و $C = 100\mu F$ و $R = 2K\Omega$.

عند اللحظة $t = 0$ ، نضع قاطع التيار K في الموضع ①، ثم نعاين تغير التوتر $u_C(t)$ بين مربطي المكثف بدلالة الزمن نحصل على المنحنى 8.

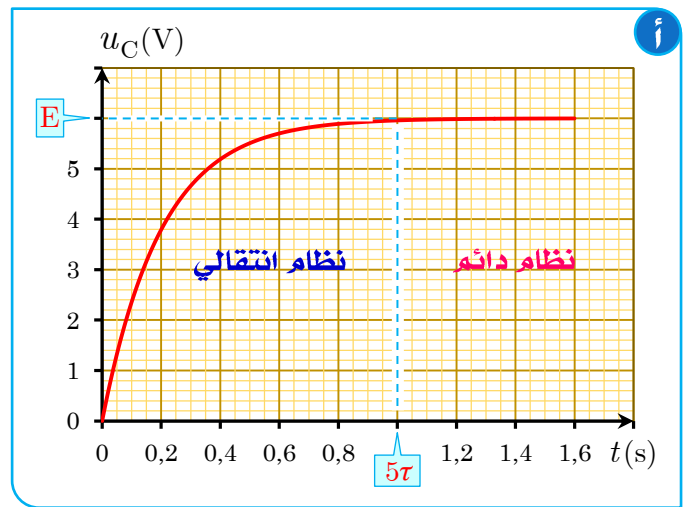
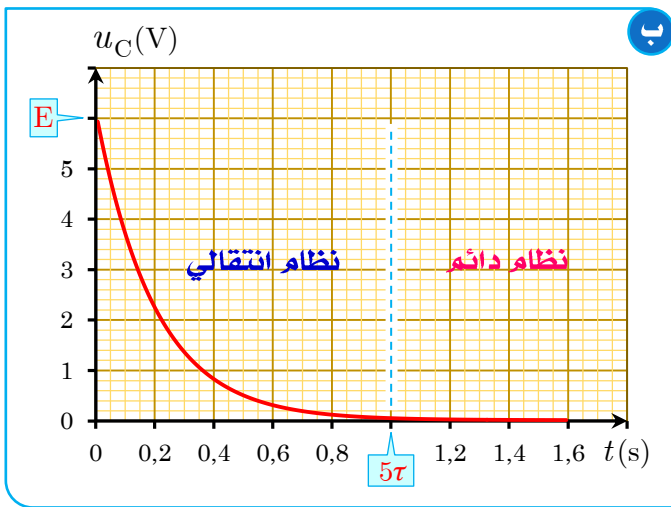
منحنى الشحن - الشكل (أ) = ثنائي القطب RC خاضع لرتبة توتر صاعدة.

— عندما يشحن المكثف كلياً نؤرجح قاطع التيار إلى الموضع ② فتحدث ظاهرة تفريغ المكثف ونحصل على المنحنى الممثل في الشكل 9.

منحنى التفريغ - الشكل (ب) = ثنائي القطب RC خاضع لرتبة توتر نازلة.



8 تبيانة التركيب التجريبي لشحن مكثف



■ ملاحظات و نتائج:

- التوتر $u_C(t)$ بين مربطي المكثف دالة متصلة.
- أثناء شحن المكثف يزداد التوتر بين مربطيه ثم يأخذ قيمة ثابتة ويتناقص خلال التفريغ إلى أن ينعدم.
- مدة شحن أو تفريغ المكثف تساوي 5τ .

يرمز المنحنى نظامين:

- النظام الانتقالي: يتزايد أو يتناقص خلاله التوتر u_C ونحصل عليه عندما يكون $t < 5\tau$.
 - النظام الدائم: يبقى خلاله التوتر ثابتا و قيمته تساوي E أي $u_C = E = 6V$ خلال الشحن و منعما خلال التفريغ، و نحصل عليه عندما يكون $t > 5\tau$ أي: $t > 1s$.
- تتزايد مدة شحن أو تفريغ المكثف عندما تزداد قيمة C أو R ولا تتأثر بوسع رتبة التوتر E .

3 شحن المكثف - الدراسة النظرية

(أ) المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر u_C :

نعتبر التركيب الممثل في الشكل 9، حيث المكثف غير مشحون ($u_C(t=0)=0$). عند اللحظة $t=0$ نغلق قاطع التيار K .

حسب قانون إضافية التوترات، لدينا: $u_R + u_C = E$ (*)

حسب قانون أوم لدينا: $u_R = R \cdot i$

ولدينا: $i = \frac{dq}{dt}$ و $q = C \cdot u_C$ أي: $i = C \frac{du_C}{dt}$

و بالتالي: $RC \frac{du_C}{dt} + u_C = E$ إذن: $u_R = RC \frac{du_C}{dt}$

نضع $\tau = RC$ فتصبح المعادلة التفاضلية: $\tau \frac{du_C}{dt} + u_C = E$

ملحوظة:

لدينا $q = C \cdot u_C$ إذن: $u_C = \frac{q}{C}$

ولدينا: $u_R = R \cdot i = R \frac{dq}{dt}$

نعوض في المعادلة (*) فنكتب: $R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = E$ أي: $RC \frac{dq}{dt} + q = CE$

وهي المعادلة التفاضلية التي تحققها شحنة المكثف q خلال الشحن.

(ب) حل المعادلة التفاضلية:

يكتب حل المعادلة التفاضلية $\tau \frac{du_C}{dt} + u_C = E$ على شكل $u_C = A + Be^{-\alpha t}$ بحيث A و B و α ثوابت.

نحدد A و α باستعمال المعادلة التفاضلية:

لدينا: $u_C = A + Be^{-\alpha t}$ إذن: $\frac{du_C}{dt} = 0 - B \cdot \alpha \cdot e^{-\alpha t} = -B \cdot \alpha \cdot e^{-\alpha t}$

نعوض في المعادلة التفاضلية: $-\tau \cdot B \cdot \alpha \cdot e^{-\alpha t} + A + Be^{-\alpha t} = E$

أي: $Be^{-\alpha t} (1 - \tau \cdot \alpha) = E - A$

لكي تتحقق هذه المعادلة كيفما كان الزمن t يجب أن يكون:

$$E - A = 0 \quad \text{و} \quad 1 - \tau \cdot \alpha = 0$$

$$\alpha = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC} \quad \text{و} \quad A = E$$

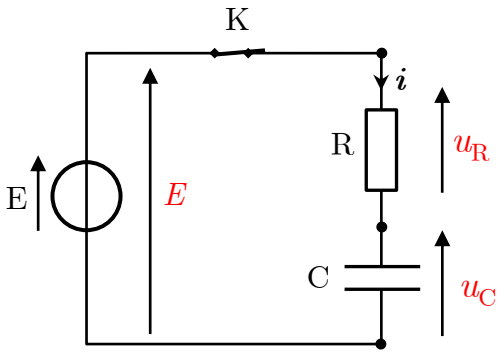
نحدد B باستعمال الشروط البدئية:

عند اللحظة $t=0$ لدينا $u_C=0$ لأن المكثف غير مشحون بدئيا.

نعوض في حل المعادلة التفاضلية فنجد: $0 = A + B$ أي $B = -A$

بما أن $A = E$ فإن: $B = -E$

و بالتالي، تعبير التوتر بين مربطي المكثف خلال الشحن هو: $u_C = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$



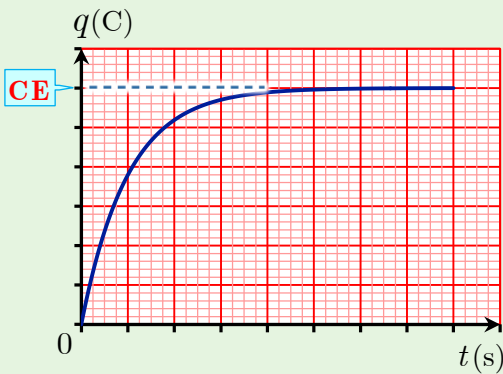
9 ثنائي القطب RC خاضع لرتبة توتر صاعدة: الشحن

ملحوظات:

لدينا $q = C \cdot u_C$ إذن تعبير شحنة المكثف هو

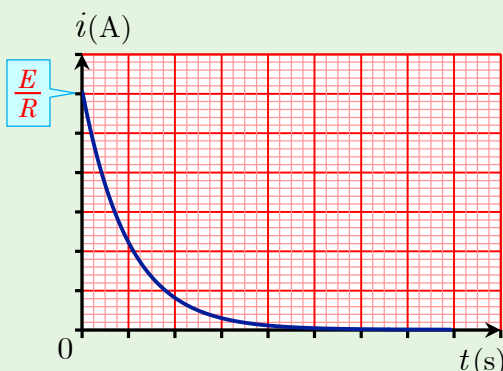
$$q = CE(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

يمثل المنحنى التالي تغيرات شحنة المكثف بدلالة الزمن.



لدينا: $i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt} = CE \left(\frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$

إذن تعبير شدة التيار المار في الدارة هو: $i = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$



أ) المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر u_C :

نعتبر التركيب الممثل في الشكل 10، حيث المكثف مشحون كلياً $(u_C(0) = E)$.

عند اللحظة $t = 0$ نؤرجح قاطع التيار K إلى الموضع ②.

حسب قانون إضافية التوترات، لدينا: $u_R + u_C = 0$ (*)

حسب قانون أوم لدينا: $u_R = R \cdot i$

ولدينا: $i = \frac{dq}{dt}$ و $q = C \cdot u_C$ أي: $i = C \frac{du_C}{dt}$

إذن: $u_R = RC \frac{du_C}{dt}$ وبالتالى: $RC \frac{du_C}{dt} + u_C = 0$

نضع $\tau = RC$ فتصبح المعادلة التفاضلية: $\tau \frac{du_C}{dt} + u_C = 0$

ملحوظة:

لدينا $q = C \cdot u_C$ إذن: $u_C = \frac{q}{C}$

ولدينا: $u_R = R \cdot i = R \frac{dq}{dt}$

نعوض في المعادلة (*) فنكتب: $R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0$ أي: $RC \frac{dq}{dt} + q = 0$

وهي المعادلة التفاضلية التي تحققها شحنة المكثف q خلال التفريغ.

ب) حل المعادلة التفاضلية:

يكتب حل المعادلة التفاضلية $\tau \frac{du_C}{dt} + u_C = 0$ على شكل: $u_C = A \cdot e^{-m \cdot t}$

بحيث A و m ثوابت.

نحدد m باستعمال المعادلة التفاضلية:

لدينا: $u_C = A e^{-m \cdot t}$ إذن: $\frac{du_C}{dt} = -A \cdot m \cdot e^{-m \cdot t}$

نعوض في المعادلة التفاضلية: $-\tau \cdot A \cdot m \cdot e^{-m \cdot t} + A e^{-m \cdot t} = 0$

أي: $A e^{-m \cdot t} (1 - \tau \cdot m) = 0$

لكي تتحقق هذه المعادلة كيفما كان الزمن t يجب أن يكون: $1 - \tau \cdot m = 0$

$$m = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC} \quad \text{ومنه:}$$

نحدد A باستعمال الشروط البدئية:

عند اللحظة $t = 0$ لدينا $u_C = E$ لأن المكثف مشحون كلياً في ال.

نعوض في حل المعادلة التفاضلية فنجد: $E = A \cdot e^0$ يعني أن: $A = E$

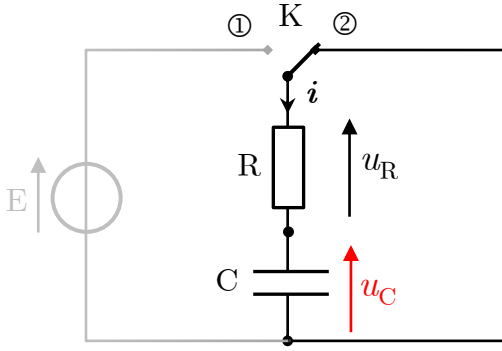
وبالتالى، تعبير التوتر بين مربطي المكثف خلال التفريغ هو: $u_C = E \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

ملحوظات:

التوتر $u_C(t)$ والشحنة $q(t)$ دالتان متصلتان: $u_C(t^-) = u_C(t^+)$ $\forall t$

شدة التيار $i(t)$ (خلال الشحن والتفريغ) دالة غير متصلة (خلال الشحن مثلاً): $i(0^-) = 0$ و $i(0^+) = \frac{E}{R}$

نلاحظ أن: $i(0^+) \neq i(0^-)$



10 تبيانة التركيب التجريبي لدراسة تفريغ المكثف

ملحوظات:

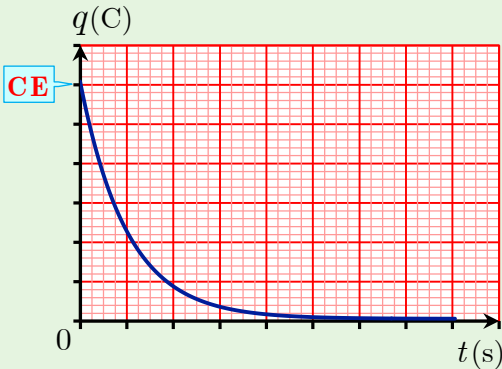
لدينا $q = C \cdot u_C$ إذن تعبير شحنة

المكثف هو: $q = CE e^{-\frac{t}{\tau}}$

أو: $q = Q_{\max} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

مع: $Q_{\max} = C \cdot E$ الشحنة القصوى للمكثف

يمثل المنحنى التالي تغيرات شحنة المكثف بدلالة الزمن.



لدينا: $i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt} = CE \left(-\frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$

إذن تعبير شحنة المكثف هو: $i = -\frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$

طريقة أخرى: لدينا: $u_R + u_C = 0$

إذن: $R \cdot i = -u_C = -E e^{-\frac{t}{\tau}}$

ومنه: $i(t) = -\frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$

أ) تعريف:

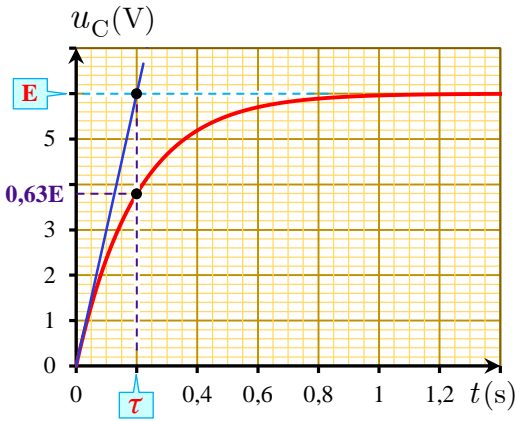
ثابتة الزمن τ لثنائي القطب RC هو المقدار: $\tau = R.C$

ب) معادلة الأبعاد لثابتة الزمن τ :

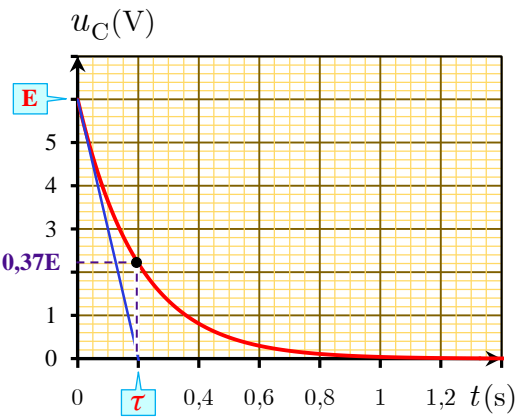
بالنسبة للموصل الأومي لدينا: $u = R.i$ إذن: $[R] = \frac{[u]}{[i]} = \frac{[u]}{I}$

بالنسبة للمكثف لدينا: $i = C \frac{du}{dt}$ إذن: $[C] = \frac{[i].[t]}{[u]} = \frac{I.T}{[u]}$

وبالتالي: $[\tau] = [R].[C] = \frac{[u]}{I} \times \frac{I.T}{[u]} = T$



11 طرق تحديد ثابتة الزمن τ مبيانيا خلال الشحن
 $\tau = 0,2 s$ و $0,63E \approx 3,8 V$



12 طرق تحديد ثابتة الزمن τ مبيانيا خلال التفريغ
 $\tau = 0,2 s$ و $0,37E \approx 2,2 V$

لثابتة الزمن بعد زمن، لهذا تسمى ثابتة الزمن لثنائي القطب RC، و نعر عنها بالثانية (s).

ج) تحديد ثابتة الزمن τ :

◀ خلال الشحن $u_C = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

ط1: عند اللحظة $t = \tau$ ، لدينا: $u_C(\tau) = E(1 - e^{-1}) = 0,63 \times E$
إذن τ هو الأفصول الموافق للأرتوب $0,63E$.

ط2: τ هو أفصول نقطة تقاطع المماس للمنحنى عند $t = 0$ مع المقارب $u_C = E$.

◀ خلال التفريغ $u_C = E.e^{-\frac{t}{\tau}}$

ط1: عند اللحظة $t = \tau$ ، لدينا: $u_C(\tau) = E \times e^{-1} = 0,37 \times E$
إذن τ هو الأفصول الموافق للأرتوب $0,37E$.

ط2: τ هو أفصول نقطة تقاطع المماس للمنحنى عند $t = 0$ مع محور الأفاصيل.

IV الطاقة المخزنة في المكثف

1 الإبراز التجريبي

ننجز التركيب التجريبي الممثل جانبه (الشكل 7).

- عندما نضع قاطع التيار K في الموضع ① يشحن المكثف و يخزن طاقة كهربائية.
- عندما نؤرجح قاطع التيار إلى الموضع ② يزداد المكثف المصباح L بالطاقة فيضيء.
- تزداد الطاقة المخزنة في المكثف عندما تكبر سعة المكثف C أو القوة الكهرمحرركة E.

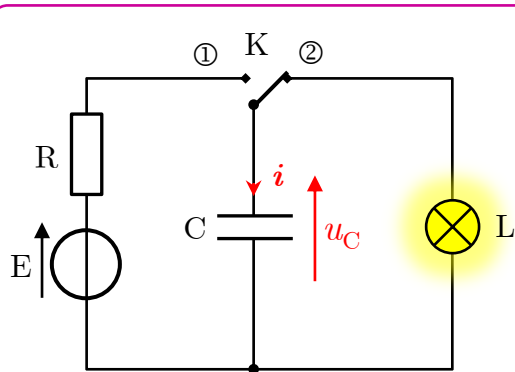
2 تعبير الطاقة الكهربائية E_e المخزنة في مكثف

القدرة الكهربائية الممنوحة للمكثف هي: $P = u_C . i$

بما أن: $i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt}$ فإن: $P = C.u_C . \frac{du_C}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} C.u_C^2 \right)$

بما أن: $P = \frac{dE_e}{dt}$ فإن الطاقة الكهربائية المخزنة في المكثف هي: $E_e = \frac{1}{2} C.u_C^2$

E_e بالجول (J) - C بالفاراد (F) - u_C بالفولط (V) - q بالكولوم (C).



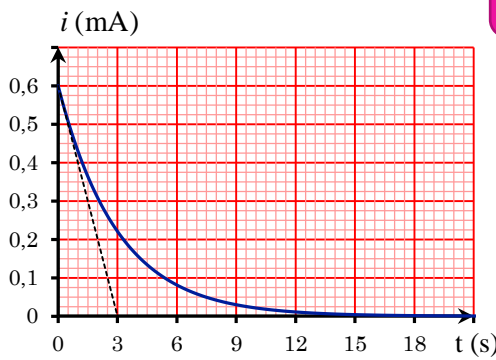
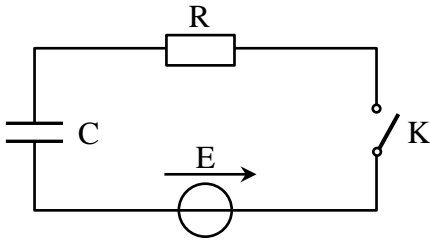
13 الإبراز التجريبي للطاقة المخزنة في المكثف

■ ملحوظة:

باعتبار العلاقة $q = C.u_C$ نجد:

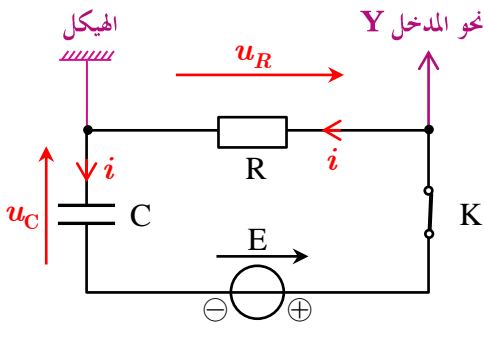
$$E_e = \frac{1}{2} q.u_C \text{ و } E_e = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

نسعى من وراء هذا التمرين إلى التحقق التجريبي من السعة C لمكثف مأخوذ من علبة وامض كاميرا هاتف النقال. من بين المقادير المسجلة على لصيقة مكثف وامض آلة التصوير نجد: $[100 \text{ V} , 150 \mu\text{F} , 105^\circ\text{C}(\text{MAX})]$. للتحقق من السعة C للمكثف نقوم بإفراغه، ثم نركبه على التوالي مع مولد مؤمئل للتوتر قوته الكهرومحركة $E = 12 \text{ V}$ و موصل أومي مقاومته R وقاطع للتيار K (الشكل 1). عند اللحظة $t = 0$ ، نغلق قاطع التيار K ونتتبع تغيرات شدة التيار $i(t)$ المار في الدارة بدلالة الزمن. فنحصل على المنحنى الممثل في الشكل 2.



- 1 انقل تبيانة الشكل 1 و مثل عليه في الاصطلاح مستقبل، التوتر u_C بين مربطي المكثف و التوتر u_R بين مربطي الموصل الأومي.
- 2 بين على التبيانة السابقة كيفية ربط جهاز راسم التذبذب لمعاينة التوتر u_R .
- 3 أثبت المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر u_C .
- 4 علما أن حل المعادلة التفاضلية السابقة يكتب على شكل $u_C = A(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ أوجد تعبير الثابتين A و τ بدلالة بارامترات الدارة.
- 5 استنتج أن تعبير شدة التيار المار في الدارة عند لحظة t هو $i(t) = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$
- 6 باستعمال معادلة الأبعاد، بين أن وحدة τ هي الثانية (s).
- 7 باعتمادك على منحنى الشكل 2: تحقق أن $R = 20 \text{ k}\Omega$ - حدد ثابتة الزمن τ ثم استنتج قيمة C .
- 8 يمكن الحصول على المكثف ذي السعة C بتركيب مكثفين على التوازي سعاتهما C_1 و C_2 بحيث $C_1 = 2C_2$. أوجد قيمة كل من C_1 و C_2 .
- 9 نذكر أن تعبير القدرة اللحظية لانتقال الطاقة هو $\mathcal{P} = \frac{dW}{dt}$ - بين أن تعبير الطاقة الكهربائية المخزونة في المكثف، عند لحظة t هو $W = \frac{1}{2} C u_C^2$
- ب- احسب W_{max} الطاقة الكهربائية المخزونة في المكثف في النظام الدائم.

عناصر الإجابة



- 1 في الاصطلاح مستقبل للمستقبلات يكون لسهم التوتر ولمنحى التيار منحيان متعاكسان.
- 2 نصل المربط المرتبط بالقطب \oplus للمولد بالمدخل Y لراسم التذبذب و المربط الآخر بالهيكل.
- 3 المعادلة التفاضلية (التوصل إلى): $RC \frac{du_C}{dt} + u_C = E$
- 4 نشق تعبير التوتر u_C ثم نعوض في المعادلة التفاضلية: $\frac{du_C}{dt} = \frac{A}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}$ نجد: $A = E$ و $\tau = RC$
- 5 تعبير شدة التيار: $i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt} = C \frac{d}{dt} \left(E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \right) = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$
- 6 التحليل البعدي: $[\tau] = [R].[C] = \frac{[u]}{I} \times \frac{I.T}{[u]} = T$. ثابتة الزمن τ بعد زمن، إذن وحدتها هي الثانية (s). { الفقرة III-5-ب }

7 - التحقق من قيمة R : لدينا: $I_0 = \frac{E}{R}$ إذن: $R = \frac{E}{I_0} = \frac{12}{0,6 \times 10^{-3}} = 20.10^3 \Omega = 20 \text{ k}\Omega$

- قيمة ثابتة الزمن هي $\tau = 3 \text{ s}$ ولدينا: $\tau = R.C$ إذن: $C = \frac{\tau}{R} = \frac{3}{20 \times 10^3} = 1,5.10^{-4} \text{ F} = 150.10^{-6} \text{ F} = 150 \mu\text{F}$

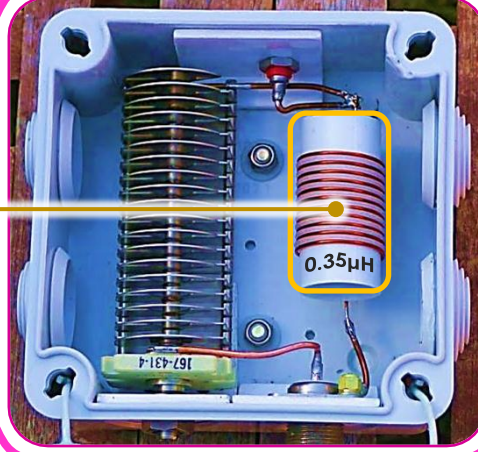
8 - سعة المكثف المكافئ هي: $C = C_1 + C_2 = 2C_1 + C_1 = 3 C_1$ ومنه: $C_1 = \frac{C}{3} = 50 \mu\text{F}$ و $C_2 = 2C_1 = 100 \mu\text{F}$

9 أ- تعبير الطاقة الكهربائية: $\frac{dW}{dt} = \mathcal{P} = u_C \cdot i = u_C \cdot \frac{dq}{dt} = u_C \cdot \frac{d(C \cdot u_C)}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} C \cdot u_C^2 \right)$ ومنه: $W = \frac{1}{2} C \cdot u_C^2$

ب- في النظام الدائم يكون $u_C = E = 12 \text{ V}$ ومنه: $W_{\text{max}} = \frac{1}{2} C \cdot u_{C,\text{max}}^2 = \frac{1}{2} C \cdot E^2 = \frac{1}{2} \times 1,5.10^{-4} \times 12^2 = 1,08.10^{-2} \text{ J}$

للوשיعة استخدامات كثيرة في الكهرباء، حيث نجد لها في جرس الباب والمحولات الكهربائية وجهاز الكشف عن الفلزات والمستقبلات الهوائية وأجهزة البث وتستعمل كذلك لإنتاج الشرارات الكهربائية في محرك السيارة ...

- ما الوشيعة ؟ وكيف تتصرف في دارة كهربائية ؟
- ما دلالة المقدار $0,35\mu H$ ؟



تجربة

الغلاف الزمني (درس + تمارين)

7 ساعات (2+5)

الفئة المستهدفة

الثانية بكالوريا - جميع الشعب والمسالك العلمية

تصميم الدرس

- الوشيعة:
- تعريف: ثنائي القطب RL :
- الإبراز التجريبي - تعبير الطاقة المغنطيسية المخزونة في وشيعة.
- تمرين موضوعاتي + عناصر الإجابة.
- التعريف والرمز - التوتر بين مربطي وشيعة.
- تعريف - استجابة ثنائي القطب RL لرتبة توتر - إقامة التيار - انقطاع التيار - ثابتة الزمن τ .

معارف ومهارات

- تمثيل التوترين U_L و U_R في الاصطلاح مستقبل.
- معرفة واستغلال تعبير التوتر $u_L = r.i + L \frac{di}{dt}$ بالنسبة للوشيعة في الاصطلاح مستقبل.
- معرفة مدلول المقادير الواردة في تعبير التوتر U_L و وحداتها.
- تحديد مميزتي وشيعة (معامل التحريض L و المقاومة r) انطلاقا من نتائج تجريبية.
- إثبات المعادلة التفاضلية والتحقق من حلها عندما يكون ثنائي القطب RL خاضعا لرتبة توتر.
- تحديد تغيرات شدة التيار $i(t)$ عند خضوع ثنائي القطب RL لرتبة توتر واستنتاج تغيرات التوتر بين مربطي وشيعة ومربطي مقاومة.
- معرفة أن الوشيعة تؤخر إقامة وانعدام التيار الكهربائي، وأن شدته دالة زمنية متصلة وأن التوتر دالة غير متصلة عند $t=0$.
- معرفة واستغلال تعبير ثابتة الزمن. وتعرف وتمثيل منحنيات شدة التيار المار في الوشيعة والمقادير المرتبطة به بدلالة الزمن واستغلالها.
- استعمال معادلة الأبعاد لتحديد وحدة τ .
- استغلال وثائق تجريبية ل:
 - ✓ تعرف التوترات الملاحظة؛
 - ✓ إبراز تأثير R و L على استجابة ثنائي القطب RL ؛
 - ✓ تعيين ثابتة الزمن τ .
- اقتراح تبيانة تركيب تجريبي لدراسة استجابة ثنائي القطب RL لرتبة توتر.
- معرفة كيفية ربط راسم التذبذب ونظام مسك معلوماتي لمعاينة مختلف التوترات.
- تحديد تأثير R و L وسع رتبة التوتر على استجابة ثنائي القطب RL .
- معرفة وإثبات واستغلال تعبير الطاقة المغنطيسية المخزونة في وشيعة.



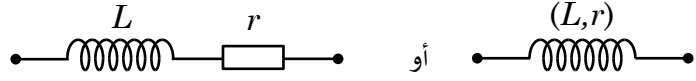
1 وشيمة معامل تحريضها $L=1,8\text{mH}$

- وشيمة مكبر الصوت: $L=10^{-3}\text{H}=1\text{mH}$
- وشيمة جرس كهربائي: $L=1\text{H}$
- وشيمة كهرومغطيس: $L=100\text{H}$
- لفة دائرية شعاعها 5cm : $L=10^{-7}\text{H}=0,1\mu\text{H}$

2 رتب قدر معامل التحريض

1 التعريف والرمز

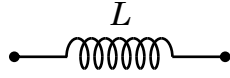
- ◀ الوشيمة ثنائي قطب كهربائي يتكون من سلك موصل ملفوف حول أسطوانة عازلة، بحيث تكون اللفات غير متصلة فيما بينها.
- ◀ نرمز للوشيمة بأحد الرمزتين التاليين:



- L : مقدار يميز الوشيمة يسمى معامل تحريض الوشيمة و وحدته الهنري (H) Henry.
- r : مقاومة الوشيمة بالأوم (Ω).

■ ملحوظة:

إذا كانت مقاومة الوشيمة مهملة ($r=0$) يصبح رمز الوشيمة هو:



2 التوتز بين مربطي وشيمة

(أ) تعبير التوتز u_L بين مربطي وشيمة (L, r) :

تعبير التوتز u_L بين مربطي وشيمة مقاومتها r ومعامل تحريضها الذاتي L ، في اصطلاح مستقبل هو:

u_L : بالفولط (V).

i : شدة التيار بالأمبير (A).

r : بالأوم (Ω).

L : بالهنري (H).

dt : بالثانية (s).

بحيث:

$$u_L = r \cdot i + L \frac{di}{dt}$$

■ ملحوظة:

في النظام الدائم تكون شدة التيار ثابتة $i = cte$ إذن $di/dt = 0$ ، ومنه: $u_L = r \cdot i$.
 ◀ في النظام الدائم، تتصرف الوشيمة كموصل أومي.

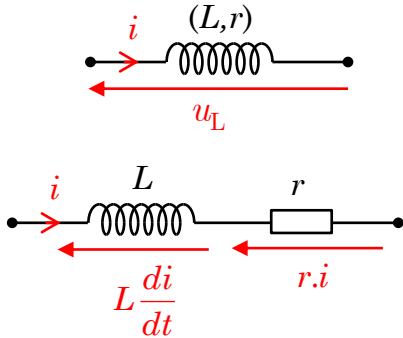
(ب) تأثير الوشيمة على مرور التيار الكهربائي:

ننجز التركيب التجريبي الممثل في الشكل 4 فنلاحظ:

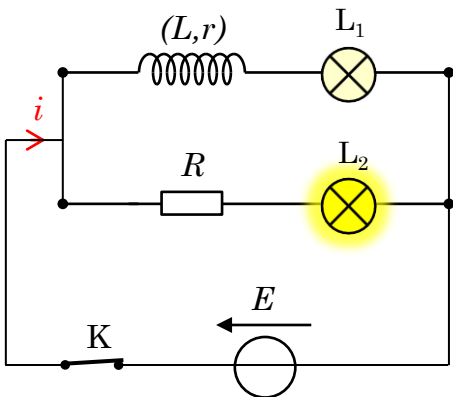
• عند غلق قاطع التيار K يتوهج المصباح L_1 بعد المصباح L_2 .

• عند فتح قاطع التيار K ينطفئ المصباح L_1 بعد المصباح L_2 .

◀ الوشيمة تؤخر إقامة أو انعدام التيار الكهربائي الذي يجتاها.



3 رتب قدر معامل التحريض



4 تأثير الوشيمة على مرور التيار الكهربائي

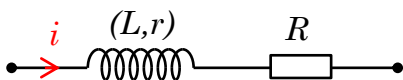
Dipôle RL

ثنائي القطب RL

1 تعاريف

◀ ثنائي القطب RL هو تجميع على التوالي لموصل أومي مقاومته R مع وشيمة معامل تحريضها L ومقاومتها r .

■ المقاومة الكلية لثنائي القطب RL هي: $R_T = R + r$.



2 استجابة ثنائي القطب RL لرتبة توتر

الدراسة التجريبية (محاكاة):

ننجز التركيب التجريبي جانبه، (الشكل 5).

نأخذ: $E = 6\text{ V}$ و $L = 0,2\text{ H}$ و $R_T = 100\ \Omega$.

— عند اللحظة $t = 0$ ، نغلق قاطع التيار K ، ثم نعاين تغير شدة التيار i المار في الدارة بدلالة الزمن فنحصل على المنحنى (أ).

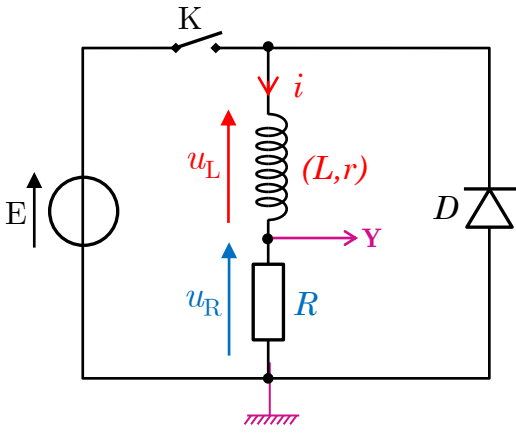
المنحنى (أ): إقامة التيار = ثنائي القطب RL خاضع لرتبة توتر صاعدة.

— عندما تصبح شدة التيار ثابتة نفتح قاطع التيار K فنحصل على المنحنى (ب).

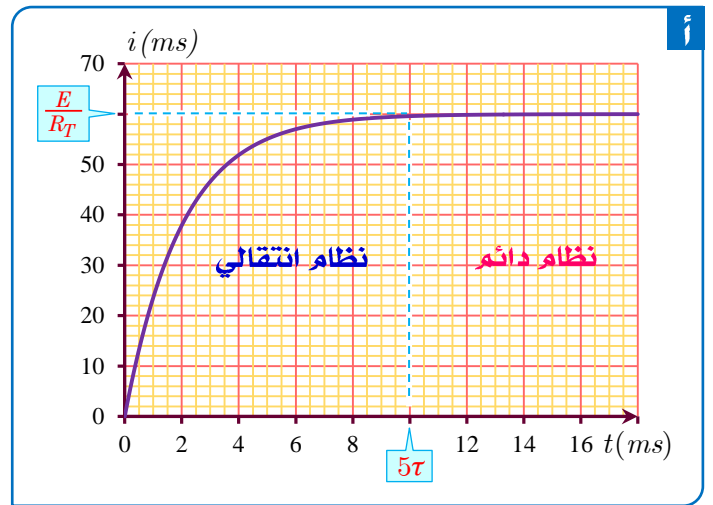
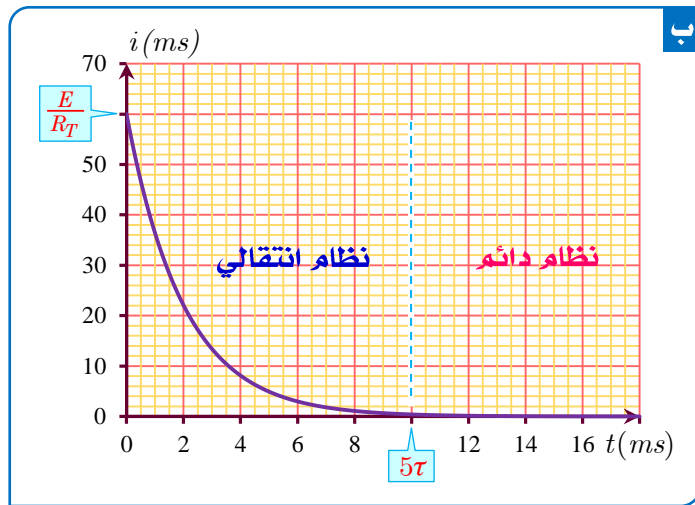
المنحنى (ب): انعدام التيار = ثنائي القطب RL خاضع لرتبة توتر نازلة.

ملحوظة:

يستعمل الصمام الثنائي D «صمام العجلة الحرة» لتجنب ظهور الشرارات الناتجة عن فرط التوتر عند فتح قاطع التيار K .



5 تبيانة التركيب التجريبي لدراسة إقامة وانعدام التيار



ملاحظات و نتائج:

— شدة التيار $i(t)$ المار في الدارة و التوتر $u_R(t)$ الدتان متصلتان: $\forall t, i(t^-) = i(t^+)$.

— عند إقامة التيار تزداد شدة التيار المار في الدارة ثم تأخذ قيمة ثابتة، و تتناقص حتى تنعدم عند انعدام التيار.

— مدة إقامة التيار أو انعدام التيار تساوي 5τ .

— يبرز المنحنى نظامين:

◀ **النظام الانتقالي:** تزايد أو تناقص خلاله شدة التيار $i(t)$ ونحصل عليه عندما يكون $t < 5\tau$.

◀ **النظام الدائم:** تبقى خلاله شدة التيار ثابتة خلال إقامة التيار $I_{\max} = \frac{E}{R_T}$ ومنعدمة $i = 0$ عند انقطاعه ونحصل عليه عندما يكون $t > 5\tau$ أي: $t > 10\text{ s}$.

— تزايد مدة إقامة أو انقطاع التيار عندما تزداد قيمة L أو تنقص قيمة R_T ولا تتأثر بوسع رتبة التوتر E .

3 إقامة التيار - الاستجابة لرتبة توتر صاعدة

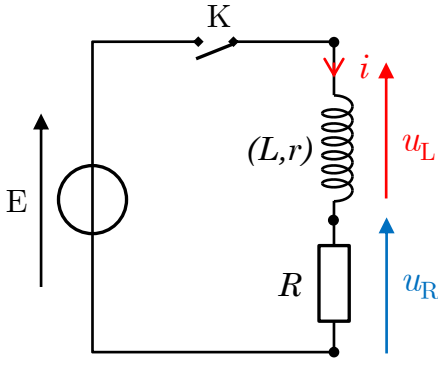
الدراسة النظرية:

أ) المعادلة التفاضلية التي تحققها شدة التيار $i(t)$:

نعتبر الدارة RL الممثلة في الشكل 6.

في لحظة نعتبرها أصلاً للتواريخ $t = 0$ ، نغلق قاطع التيار K .

المقاومة الكلية لثنائي القطب RL هي: $R_T = R + r$. (إذا كانت r مهملة أمام R فإن: $R_T \approx R$ و $\frac{r}{R} \approx 0$)



6 ثنائي القطب RL خاضع لرتبية توتر صاعدة

ملحوظات:

◀ لدينا $u_R = R \cdot i$ إذن تعبير التوتر u_R بدلالة الزمن هو:

$$u_R = \frac{R \cdot E}{R_T} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = u_{R, \max} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

◀ تعبير التوتر u_L بين مربطي الوشيجة:

$$u_L = r \cdot i + L \frac{di}{dt} \quad \text{لدينا:}$$

$$= \frac{r \cdot E}{R_T} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) + L \frac{E}{R_T} \cdot \frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

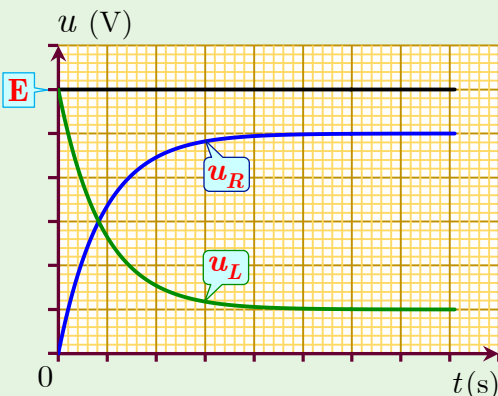
$$= \frac{r \cdot E}{R_T} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) + L \frac{E}{R_T} \cdot \frac{1}{\frac{L}{R_T}} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$= \frac{r \cdot E}{R_T} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) + E \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

إذا كانت r مهمله أمام R فإن: $\frac{r}{R_T} \approx 0$

وبالتالي يصبح تعبير التوتر u_L هو: $u_L = E \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

يمثل المنحنى التالي تغيرات التوتر u_L و u_R بدلالة الزمن.



حسب قانون إضافية التوترات، لدينا: $u_L + u_R = E$ (*)

لدينا: $u_R = R \cdot i$ و بالنسبة للوشيجة: $u_L = r \cdot i + L \frac{di}{dt}$

نعوض في المعادلة (*) فنكتب: $r \cdot i + L \frac{di}{dt} + R \cdot i = E$

يعني أن: $L \frac{di}{dt} + (R + r) \cdot i = E$

ومنه: $\frac{L}{R + r} \frac{di}{dt} + i = \frac{E}{R + r}$ أي: $\frac{L}{R_T} \frac{di}{dt} + i = \frac{E}{R_T}$

نضع $\tau = \frac{L}{R_T}$ فتصبح المعادلة التفاضلية: $\tau \frac{di}{dt} + i = \frac{E}{R_T}$

ملحوظة:

لدينا: $u_R = R \cdot i$ إذن: $i = \frac{u_R}{R}$ ومنه: $u_L = r \cdot \left(\frac{u_R}{R}\right) + L \frac{d\left(\frac{u_R}{R}\right)}{dt}$

نعوض في المعادلة (*) فنكتب: $\frac{r}{R} \cdot u_R + \frac{L}{R} \frac{du_R}{dt} + u_R = E$

أي: $\tau \frac{du_R}{dt} + u_R = \frac{E \cdot R}{R_T}$ وهي المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر u_R .

(ب) حل المعادلة التفاضلية:

يكتب حل المعادلة التفاضلية $\tau \frac{di}{dt} + i = \frac{E}{R_T}$ على شكل $i = A + B e^{-\alpha t}$ بحيث A و B و α ثوابت.

◀ نحدد A و α باستعمال المعادلة التفاضلية:

لدينا: $i = A + B e^{-\alpha t}$ إذن: $\frac{di}{dt} = 0 - B \cdot \alpha \cdot e^{-\alpha t} = -B \cdot \alpha \cdot e^{-\alpha t}$

نعوض في المعادلة التفاضلية: $-\tau \cdot B \cdot \alpha \cdot e^{-\alpha t} + A + B e^{-\alpha t} = \frac{E}{R_T}$

أي: $B e^{-\alpha t} (1 - \tau \cdot \alpha) = \frac{E}{R_T} - A$

لكي تتحقق هذه المعادلة كيفما كان الزمن t يجب أن يكون: $\frac{E}{R_T} - A = 0$

و $1 - \tau \cdot \alpha = 0$

وبالتالي تعبير الثابتين A و α هو: $A = \frac{E}{R_T}$ و $\alpha = \frac{1}{\tau} = \frac{L}{R_T}$

نحدد B باستعمال الشروط البدئية:

عند اللحظة $t = 0$ لدينا $i(0) = 0$

نعوض في حل المعادلة التفاضلية فنجد: $0 = A + B$ يعني أن: $B = -A$

بما أن: $A = \frac{E}{R_T}$ فإن: $B = -\frac{E}{R_T}$

◀ تعبير شدة التيار المار في الدارة عند إقامة التيار هو: $i = \frac{E}{R_T} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$

(أ) المعادلة التفاضلية التي تحقها شدة التيار $i(t)$:

نعتبر التركيب الممثل في الشكل 7، حيث قاطع التيار مغلق وشدة التيار ثابتة $I_0 = \frac{E}{R_T}$.

نعتبر الصمام الثنائي D مؤمئلا ($u_D = 0$)، وعند اللحظة $t = 0$ نفتح قاطع التيار K.

حسب قانون إضافية التوترات، لدينا: $u_L + u_R = 0$ (*)

لدينا: $u_R = R \cdot i$ ، و بالنسبة للوشيعة: $u_L = r \cdot i + L \frac{di}{dt}$

نعوض في المعادلة (*): $r \cdot i + L \frac{di}{dt} + R \cdot i = 0$ أي: $L \frac{di}{dt} + (R + r) \cdot i = 0$

ومنه: $\frac{L}{R + r} \frac{di}{dt} + i = 0$ يعني أن: $\frac{L}{R_T} \frac{di}{dt} + i = 0$

نضع $\tau = \frac{L}{R_T}$ فتصبح المعادلة التفاضلية: $\tau \frac{di}{dt} + i = 0$

ملحوظة:

لدينا: $u_R = R \cdot i$ إذن: $i = \frac{u_R}{R}$ ومنه: $u_L = r \cdot \left(\frac{u_R}{R}\right) + L \frac{d\left(\frac{u_R}{R}\right)}{dt}$

نعوض في المعادلة (*): فنكتب: $\frac{r}{R} \cdot u_R + \frac{L}{R} \frac{du_R}{dt} + u_R = 0$

أي: $\tau \frac{du_R}{dt} + u_R = 0$ وهي المعادلة التفاضلية التي يحقها التوتر u_R .

(ب) حل المعادلة التفاضلية:

يكتب حل المعادلة التفاضلية $\tau \frac{di}{dt} + i = 0$ على شكل $i = A \cdot e^{-m \cdot t}$

بحيث A و m ثابتين.

نحدد m باستعمال المعادلة التفاضلية:

لدينا: $i = A \cdot e^{-m \cdot t}$ إذن: $\frac{di}{dt} = -A \cdot m \cdot e^{-m \cdot t}$

نعوض في المعادلة التفاضلية: $-\tau \cdot A \cdot m \cdot e^{-m \cdot t} + A e^{-m \cdot t} = 0$

أي: $A e^{-m \cdot t} (1 - \tau \cdot m) = 0$

لكي تتحقق هذه المعادلة كيفما كان الزمن t يجب أن يكون: $1 - \tau \cdot m = 0$

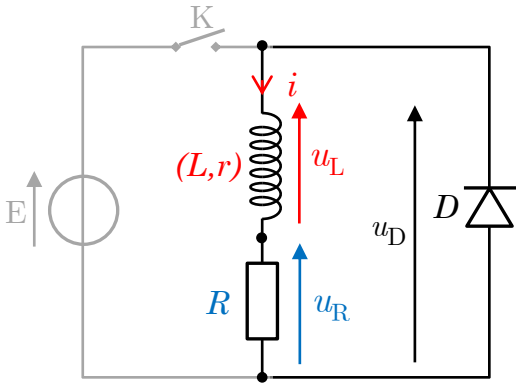
وبالتالي تعبير الثابتة m هو: $m = \frac{1}{\tau} = \frac{L}{R_T}$

نحدد A باستعمال الشروط البدئية:

عند اللحظة $t = 0$ لدينا: $i(0) = I_0 = \frac{E}{R_T}$

نعوض في حل المعادلة التفاضلية فنكتب: $\frac{E}{R_T} = A \cdot e^0 = A$ إذن: $A = \frac{E}{R_T}$

تعبير شدة التيار المار في الدارة عند انقطاع التيار هو: $i(t) = \frac{E}{R_T} e^{-\frac{t}{\tau}}$



7 ثنائي القطب RL خاضع لرتبة توتر نازلة

ملحوظات:

لدينا $u_R = R \cdot i$ إذن تعبير التوتر u_R بدلالة

الزمن هو: $u_R = \frac{R \cdot E}{R_T} e^{-\frac{t}{\tau}} = u_{R,0} e^{-\frac{t}{\tau}}$

إذا كانت r مهملة أمام R يصبح: $u_R = E e^{-\frac{t}{\tau}}$

تعبير التوتر u_L بين مربي الوشيعة:

لدينا: $u_L + u_R = 0$

$u_L = -u_R$

$u_L = -\frac{R \cdot E}{R_T} e^{-\frac{t}{\tau}}$

طريقة أخرى: $u_L = r \cdot i + L \frac{di}{dt}$

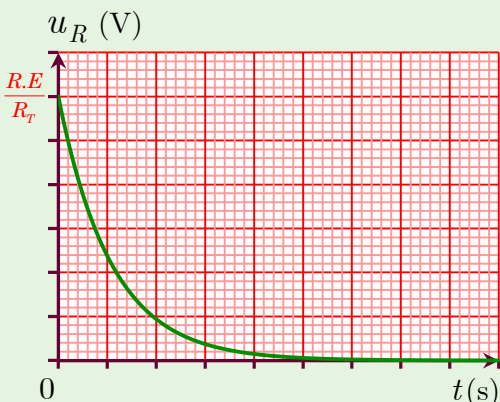
$= \frac{r \cdot E}{R_T} e^{-\frac{t}{\tau}} + L \frac{E}{R_T} \left(-\frac{1}{\tau}\right) e^{-\frac{t}{\tau}}$

$= \frac{r \cdot E}{R_T} e^{-\frac{t}{\tau}} - E e^{-\frac{t}{\tau}} = E \left(\frac{r}{R_T} - 1\right) e^{-\frac{t}{\tau}}$

$u_L = -\frac{R \cdot E}{R_T} e^{-\frac{t}{\tau}}$

إذا كانت r مهملة أمام R فإن: $u_L = -E \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

يمثل المنحنى التالي تغيرات التوتر u_R بدلالة الزمن.



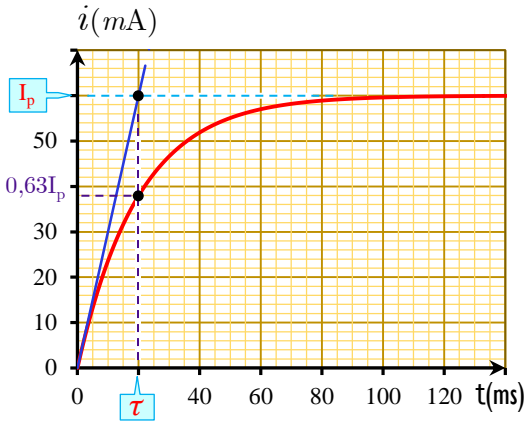
(أ) تعريف:

ثابتة الزمن τ لثنائي القطب RL هو المقدار: $\tau = \frac{L}{R_T} = \frac{L}{R+r}$
 (ب) معادلة الأبعاد لثابتة الزمن τ :

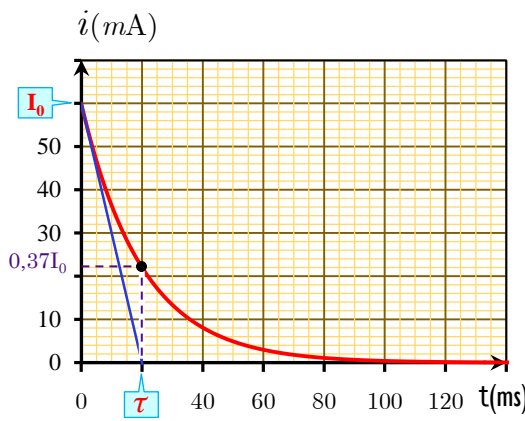
بالنسبة للموصل الأومي لدينا: $u = R \cdot i$ إذن: $[R] = \frac{[u]}{[i]} = \frac{[u]}{I}$

بالنسبة للوشية لدينا: $u = L \frac{di}{dt}$ إذن: $[L] = \frac{[u] \cdot [t]}{[i]} = \frac{[u] \cdot T}{I}$

وبالتالي: $[\tau] = \frac{[L]}{[R]} = \left(\frac{[u] \cdot T}{I} \right) \times \left(\frac{I}{[u]} \right) = T$



8 طرق تحديد ثابتة الزمن τ مبيانيا خلال الشحن
 $\tau = 20 \text{ ms}$ ومنه $0,63 I_{\max} \approx 38 \text{ mA}$



9 طرق تحديد ثابتة الزمن τ مبيانيا خلال التفريغ
 $\tau = 20 \text{ ms}$ ومنه $0,37 I_{\max} \approx 22 \text{ mA}$

لثابتة الزمن بعد زمن، لهذا تسمى ثابتة الزمن لثنائي القطب RL، و نعر عنها بالثانية (s).

(ج) تحديد ثابتة الزمن τ :

◀ عند إقامة التيار $i = I_p (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

ط1: عند اللحظة $t = \tau$ ، لدينا: $i(\tau) = I_p (1 - e^{-1}) = 0,63 \times I_p$
 إذن τ هو الأفصول الموافق للأرتوب $0,63 I_p$.

ط2: τ هو أفصول نقطة تقاطع المماس للمنحنى عند $t = 0$ مع المقارب $i = I_{\max}$

◀ عند انعدام التيار $i = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

ط1: عند اللحظة $t = \tau$ ، لدينا: $i(\tau) = I_0 \times e^{-1} = 0,37 \times I_0$
 إذن τ هو الأفصول الموافق للأرتوب $0,37 I_0$.

ط2: τ هو أفصول نقطة تقاطع المماس للمنحنى عند $t = 0$ مع محور الأفاصيل.

III الطاقة المخزونة في الوشية

1 الإبراز التجريبي

في التركيب الممثل في الشكل 10، عندما نغلق قاطع التيار K يمر تيار كهربائي في الوشية الصمام الثنائي D يمنع من المرور في المصباح. وعند فتح قاطع التيار يضيء المصباح.

- الوشية اختزنت طاقة مغناطيسية أثناء إغلاق دارتها الكهربائية ثم حررتها عند فتحها.
- تزداد الطاقة المخزونة في الوشية عندما زيادة شدة التيار i أو معامل التحريض L .

2 تعبير الطاقة الكهربائية E_e المخزونة في مكثف

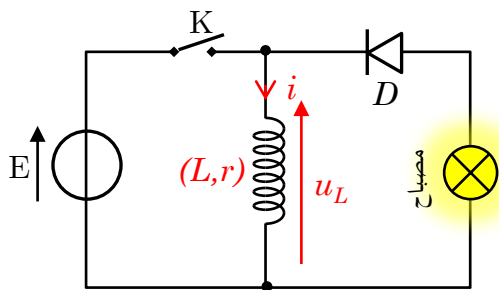
القدرة الكهربائية لانتقال الطاقة في الوشية هي: $P = u_L \cdot i$

$$P = \left(r \cdot i + L \frac{di}{dt} \right) \cdot i = r \cdot i^2 + L \cdot i \frac{di}{dt} = r \cdot i^2 + \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} L \cdot i^2 \right)$$

– المقدار $r \cdot i^2$ يمثل القدرة المبدد بمفعول جول في الوشية.

– المقدار $\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} L \cdot i^2 \right)$ يمثل القدرة المخزونة في الوشية.

بما أن: $P = \frac{dE_m}{dt}$ فإن: $E_m = \frac{1}{2} L \cdot i^2$



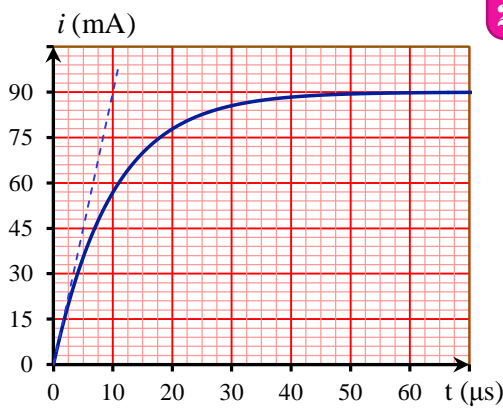
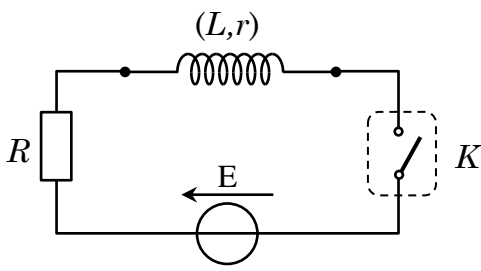
10 إبراز الطاقة المخزونة في وشية

الطاقة المخزونة في وشية معامل تحريضها L ويمر

فيها تيار كهربائي شدته i هي: $E_m = \frac{1}{2} L \cdot i^2$

- E_m : الطاقة المغناطيسية بالجول (J).
- L : معامل تحريض الوشية بالهنري (H).
- i : شدة التيار المار في الوشية بالأمبير (A).

تحتوي مجموعة من الأجهزة الكهربائية والإلكترونية التي نستعملها في حياتنا اليومية، على تراكيب تتكون من وشيعات وموصلات أومية ... وتختلف وظيفة هذه المركبات حسب كيفية ربطها ومجالات استعمالها.
يهدف هذا التمرين إلى تحديد كل من معامل التحريض الذاتي L والمقاومة r لوشية مكبر الصوت. لهذا الغرض ننجز التركيب الممثل في الشكل 1 و المكون من:



- مولد كهربائي مؤمئل للتوتر قوته الكهرمحركة $E = 9 \text{ V}$.
- وشيعة معامل تحريضها L ومقاومتها r .
- موصل أومي مقاومته $R = 92 \Omega$.
- قاطع للتيار K .

عند اللحظة $t = 0$ نغلق قاطع التيار K ونتتبع بواسطة وسيط معلوماتي ملائم تغيرات شدة التيار $i(t)$ المار في الدارة بدلالة الزمن. فنحصل على المنحنى الممثل في الشكل 2.

- 1 أنقل تبيانة الشكل 1، ومثل عليها في الاصطلاح مستقبل، التوتر u_L بين مربطي الوشيعة والتوتر u_R بين مربطي الموصل الأومي.
- 2 أوجد المعادلة التفاضلية التي تحققها شدة التيار i .
- 3 يكتب حل المعادلة التفاضلية السابقة على الشكل التالي $i = I_p (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ أوجد تعبير الثابتين I_p و τ بدلالة برامترات الدارة.
- 4 باستثمار وثيقة الشكل 2، أوجد:
 - أ- شدة التيار I_p في النظام الدائم.
 - ب- قيمة ثابتة الزمن τ .
 - ج- المقاومة r للوشية.
- 5 تحقق أن قيمة معامل التحريض للوشية هي: $L = 1 \text{ mH}$.
- 6 نهمل مقاومة الوشيعة ($r=0$)، أكتب التعبير العددي للتوتر $u_L(t)$ بين مربطي الوشيعة.
- 7 حدد اللحظة t التي تكون عندها الوشيعة قد اختزنت 90% من طاقتها القصوى.

عناصر الإجابة

1 في الاصطلاح مستقبل للمستقبلات يكون لسهم التوتر ولمنحى التيار منحيان متعاكسان.

2 المعادلة التفاضلية (التوصل إلى):
$$\frac{L}{R+r} \cdot \frac{di}{dt} + i = \frac{E}{R+r}$$

3 نشقت تعبير شدة التيار i ثم نعوض في المعادلة التفاضلية:
$$\frac{di}{dt} = \frac{I_p}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

نجد:
$$I_p = \frac{E}{R+r} \text{ و } \tau = \frac{L}{R+r}$$

4 أ- شدة التيار في النظام الدائم: $I_p = 90 \text{ mA} = 9 \times 10^{-2} \text{ A}$

ب- قيمة ثابتة الزمن: $\tau = 10 \mu\text{s} = 10^{-5} \text{ s}$

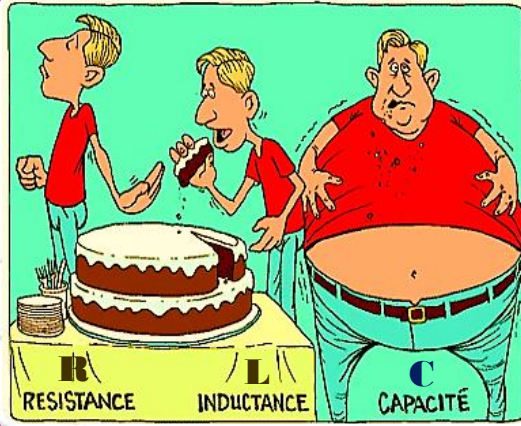
ج- قيمة مقاومة الوشيعة: $r = \frac{E}{I_p} - R \Leftrightarrow R+r = \frac{E}{I_p} \Leftrightarrow r = \frac{9}{9 \times 10^{-2}} - 92 = 8 \Omega$

5 التحقق من قيمة معامل التحريض: $L = \tau(R+r) \Leftrightarrow L = 10^{-5} \times (92+8) = 10^{-3} \text{ H} = 1 \text{ mH}$

6 تعبير التوتر u_L في حالة $r = 0$:
$$u_L = L \frac{di}{dt} = L \frac{d}{dt} \left(\frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \right) = L \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} = L \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{L} e^{-\frac{t}{\tau}} = E e^{-\frac{t}{\tau}} = 9 \cdot e^{-9,2 \times 10^4 t}$$

7 عند اللحظة t تتحقق المعادلة:
$$i^2 = 0,9 \cdot I_p^2 \Leftrightarrow \frac{1}{2} L i^2 = 0,9 \times \frac{1}{2} L I_p^2 \Leftrightarrow E_m(t) = \frac{90}{100} E_{m,max}$$

$$t = -\tau \ln(1 - \sqrt{0,9}) \approx 30 \mu\text{s} \Leftrightarrow e^{-\frac{t}{\tau}} = 1 - \sqrt{0,9} \Leftrightarrow 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} = \sqrt{0,9} \Leftrightarrow \left(\frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \right)^2 = 0,9 \cdot \left(\frac{E}{R} \right)^2$$



- ◀ ما الظاهرة الكهربائية التي ستحدث إذا ركبنا مكثفا مشحونا بين مربطي وشيعة؟
- ◀ ما أنظمة التذبذبات الكهربائية؟ وكيف نصونها؟
- ◀ كيف يكتب تعبير الدور الخاص في حالة التذبذبات المصونة؟

التمرين

الغلاف الزمني (درس + تمارين)

8 ساعات (2+6)

الضفة المستهدفة

الثانية بكالوريا - جميع الشعب والمسالك العلمية

تصميم الدرس

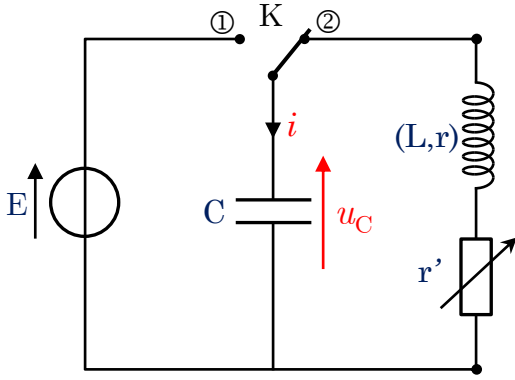
- ◀ **تفريغ مكثف في وشيعة:** أنظمة التذبذبات الحرة لدارة RLC متوالية
- ◀ **الذبذبات غير المخمدة في دارة مثالية LC:** المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر u_C ، حل المعادلة التفاضلية.
- ◀ **انتقال الطاقة بين المكثف والوشيعة:** الطاقة في الدارة المثالية LC، الطاقة في الدارة المتوالية RLC.
- ◀ **صيانة التذبذبات:**
- ◀ **تمرين تطبيقي:**

معارف ومهارات

- RLC معرفة الأنظمة الثلاثة للتذبذب: الدوري وشبه الدوري واللا دوري.
- RLC تعرف وتمثيل منحنيات تغير التوتر بين مربطي المكثف بدلالة الزمن بالنسبة للأنظمة الثلاثة واستغلالها.
- RLC إثبات المعادلة التفاضلية للتوتر بين مربطي المكثف $u_C(t)$ أو الشحنة $q(t)$ في حالة الخمود والتحقق من حلها في حالة الخمود المهمل.
- RLC معرفة واستغلال تعبير الشحنة $q(t)$ ، واستنتاج واستغلال تعبير شدة التيار $i(t)$ المار في الدارة.
- RLC معرفة واستغلال تعبير الدور الخاص T_0 ومعرفة مدلول المقادير المعبرة عنه ووحداتها.
- RLC تفسير الأنظمة الثلاث من منظور طاقي.
- RLC معرفة واستغلال مخططات الطاقة وتعبير الطاقة الكلية للدارة.
- RLC معرفة دور جهاز الصيانة المتجلي في تعويض الطاقة المبددة بمفعول جول في الدارة.
- RLC إثبات المعادلة التفاضلية بين مربطي المكثف أو الشحنة $q(t)$ في حالة دارة RLC مصانة باستعمال مولد يعطي توترا يتناسب اطرادا مع شدة التيار المار في الدارة $u_C(t) = i(t)$.
- RLC استغلال وثائق تجريبية ل: - تعرف التوترات الملاحظة - تعرف أنظمة الخمود
- إبراز تأثير R و L و C على ظاهرة التذبذبات - تحديد شبه الدور T والدور الخاص T_0 .
- RLC اقتراح تبيانة تركيب تجريبي لدراسة التذبذبات الحرة في دارة RLC متوالية.
- RLC معرفة كيفية ربط راسم التذبذب ونظام مسك معلوماتي لمعاينة مختلف توترات.

أنظمة الذبذبات الحرة لدارة RLC متوالية:

نشاط 1- تجريبي:



التركيب التجريبي لدراسة الذبذبات الحرة في دارة RLC

نعتبر التركيب التجريبي الممثل في الشكل 1.

- المكثف غير مشحون بدنياً، لشحنه نؤرجح قاطع التيار K إلى الموضع ①.
- عندما يشحن المكثف كلياً، أي عندما يكون $u_C = E = 6 \text{ V}$ نؤرجح قاطع التيار إلى الموضع ② فيفرغ المكثف في الوشيمة والمقاومة r' .
- نأخذ في البداية: $C = 2 \mu\text{F}$ و $L = 50 \text{ mH}$ و $R = r + r' = 10 \Omega$.
- عند لحظة نعتبرها أصلاً للتواريخ ($t = 0$) نؤرجح قاطع التيار K إلى الموضع ②. ثم نعاين التوتر تغيرات التوتر u_C بين مربطي المكثف بدلالة الزمن.
- نحصل على المنحنيات التالية، وذلك حسب قيم مختلفة للمقاومة الكلية R.

ج- النظام الدوري	ب- النظام اللادوري	أ- النظام الشبه دوري
قيمة R منعدمة: $R = 0$	قيمة R كبيرة: $R = 300 \Omega$	قيمة R صغيرة: $R = 10 \Omega$
<p>نحصل عليه عندما تكون $R = 0$.</p> <p>يكون خلاله التوتر u_C متناوباً ووسعه يبقى ثابتاً مع الزمن ويتميز بالدور الخاص T_0.</p> <p>مبيانياً: $T_0 = 2 \text{ ms}$.</p> <p>يتغير T_0 بتغيير L أو C ولا يتعلق بـ R.</p> <p>حساب T_0:</p> $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ <p>$T_0 = 2\pi\sqrt{50 \cdot 10^{-3} \times 2 \cdot 10^{-6}} = 2.10^{-3} \text{ s}$</p>	<p>نحصل عليه عندما تكون قيمة المقاومة R كبيرة جداً، ويتميز بشدة الخمود، حيث يتناقص التوتر u_C تدريجياً إلى أن ينعدم و دون أن يتذبذب.</p> <p>هذا النظام يسمى كذلك «نظام فوق الحرج» و يوجد كذلك «نظام حرج» يفصل بين النظامين الشبه دوري وفوق الحرج</p> <p>و يتحقق عندما يكون: $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$</p>	<p>نحصل عليه عندما تكون قيمة R صغيرة و يكون خلاله التوتر u_C متناوباً ووسعه يتناقص مع الزمن. ويتميز بشبه الدور T.</p> <p>شبه الدور T هو المدة الزمنية الفاصلة بين قيمتين قصويتين متتاليتين للتوتر u_C.</p> <p>في هذه الحالة: $T = 2 \text{ ms}$.</p>

ملاحظات:

- عندما نؤرجح قاطع التيار K إلى الموضع ② نحصل على دارة RLC متوالية.
- التوتر u_C بين مربطي المكثف يتناقص وسعه مع مرور الزمن، نقول إن التذبذبات مخمدة.
- بما أن التذبذبات تتم دون أن تزود الدارة RLC بالطاقة بعد اللحظة البدئية، نقول إن التذبذبات حرة.

التفسير الطاقوي لخمود التذبذبات:

- في النظامين الشبه دوري و اللادوري تتناقص الطاقة الكلية E_T ، ويعزى ذلك إلى تبدد الطاقة بمفعول جول في المقاومة R.
- في النظام الدوري تبقى الطاقة الكلية ثابتة لأن مقاومة الدارة منعدمة $R=0$ ، وبالتالي لا تبدد الطاقة بمفعول جول.

2 المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر u_C

نعتبر الدارة المتوازية RLC الممثلة في الشكل 2.

المقاومة الكلية للدارة هي: $R = r + r'$.

حسب قانون إضافية التوترات، نكتب: $(*) u_R + u_L + u_C = 0$

$$\text{مع: } u_L = r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} \quad \text{و} \quad i = \frac{dq}{dt} = C \cdot \frac{du_C}{dt} \quad \text{و} \quad u_R = r' \cdot i$$

$$\text{نجد: } u_L = rC \cdot \frac{du_C}{dt} + LC \cdot \frac{d^2u_C}{dt^2} \quad \text{و} \quad u_R = r' C \cdot \frac{du_C}{dt}$$

$$\text{نعوض في المعادلة } (*): rC \cdot \frac{du_C}{dt} + LC \cdot \frac{d^2u_C}{dt^2} + r' C \cdot \frac{du_C}{dt} + u_C = 0$$

$$\text{ومنه: } LC \cdot \frac{d^2u_C}{dt^2} + (r' + r)C \cdot \frac{du_C}{dt} + u_C = 0$$

$$\text{وبالتالي: } \frac{d^2u_C}{dt^2} + \frac{R}{L} \cdot \frac{du_C}{dt} + \frac{1}{LC} u_C = 0$$

ملحوظة:

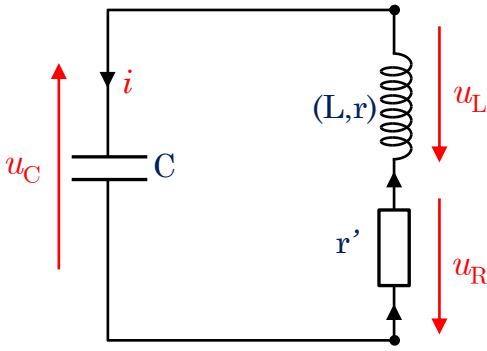
$$\text{لدينا: } q = C \cdot u_C \quad \text{و} \quad i = \frac{dq}{dt}$$

$$\text{ومنه: } u_L = r \cdot \frac{dq}{dt} + L \cdot \frac{d^2q}{dt^2} \quad \text{و} \quad u_R = r' \cdot \frac{dq}{dt} \quad \text{و} \quad u_C = \frac{q}{C}$$

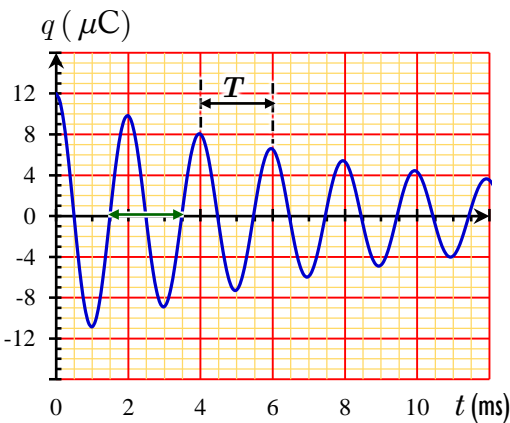
$$\text{نعوض في المعادلة } (*): L \cdot \frac{d^2q}{dt^2} + (r' + r) \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0$$

$$\text{أي: } \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} = 0$$

« وهي المعادلة التفاضلية التي تحققها شحنة المكثف $q(t)$ ».



2 توجيه الدارة المتوازية RLC في الاصطلاح مستقبلي



3 تغير شحنة المكثف بدلالة الزمن في الدارة RLC

المقدار $\frac{R}{L} \cdot \frac{dq}{dt}$ (أو $\frac{R}{L} \cdot \frac{du_C}{dt}$) هو المسؤول

عن خمود الذبذبات، وبانعدامه يزول الخمود فنحصل على ذبذبات جيبيية.

Oscillations non amorties الدبذبات غير المخمدة في دارة مثالية LC

عندما تكون مقاومة الدارة RLC مهملة ($R = 0$) نسميها دارة مثالية LC. وسميت كذلك لأنه يستحيل تحقيقها تجريبيا.

1 المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر u_C

نعتبر الدارة المثالية LC الممثلة في الشكل 4.

حسب قانون إضافية التوترات، نكتب: $(*) u_L + u_C = 0$

$$\text{بما أن: } u_L = LC \cdot \frac{d^2u_C}{dt^2} \quad \text{فإن} \quad u_L = L \cdot \frac{di}{dt} \quad \text{و} \quad i = \frac{dq}{dt} = C \cdot \frac{du_C}{dt}$$

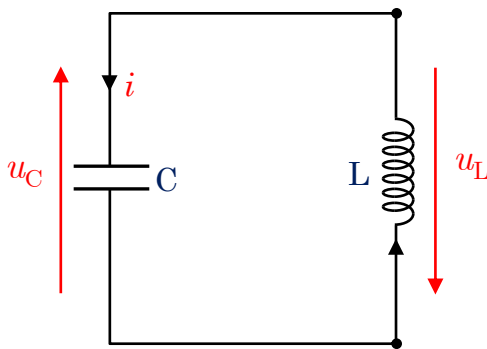
$$\text{نعوض في المعادلة } (*): LC \cdot \frac{d^2u_C}{dt^2} + u_C = 0 \quad \text{أو: } \frac{d^2u_C}{dt^2} + \frac{1}{LC} u_C = 0$$

ملحوظة:

$$\text{باستعمال العلاقة } q = C \cdot u_C \quad \text{أي: } u_C = \frac{q}{C}$$

$$\text{نجد: } \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{LC} = 0$$

« وهي المعادلة التفاضلية التي تحققها شحنة المكثف $q(t)$ ».



4 دارة LC مثالية

المقدار المسؤول عن الخمود منعدم وبالتالي نحصل على ذبذبات جيبيية ويكون النظام دوريا.

في الرياضيات، يكتب حل المعادلة التفاضلية $\frac{d^2 u_C}{dt^2} + \frac{1}{LC} u_C = 0$ على شكل $u_C(t) = U_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} \cdot t + \varphi\right)$. بحيث:

• U_m : وسع التذبذبات، وهي القيمة القصوى للتوتر u_C ، بالفولط (V).

• $\left(\frac{2\pi}{T_0} \cdot t + \varphi\right)$: الطور الخاص للتوتر u_C بالراديان (rad).

• T_0 : الدور الخاص للتذبذبات، بالثانية (s).

• φ : الطور عند اللحظة $t = 0$ ، بالراديان (rad) ونختار: $-\pi \leq \varphi \leq \pi$

أ- تعبير الدور الخاص T_0 :

نحدد تعبير T_0 باستعمال المعادلة التفاضلية. حيث نشق تعبير u_C مرتين ثم نعوض في المعادلة التفاضلية.

$$\text{لدينا: } u_C(t) = U_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} \cdot t + \varphi\right) \quad \text{إذن: } \frac{du_C}{dt} = -U_m \cdot \frac{2\pi}{T_0} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} \cdot t + \varphi\right)$$

$$\text{ومنه: } \frac{d^2 u_C}{dt^2} = \frac{d}{dt} \left(\frac{du_C}{dt} \right) = \frac{d}{dt} \left(-U_m \cdot \frac{2\pi}{T_0} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} \cdot t + \varphi\right) \right) = -U_m \cdot \frac{4\pi^2}{T_0^2} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} \cdot t + \varphi\right) = -\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 \cdot u_C$$

$$\text{نعوض في المعادلة التفاضلية: } -\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 \cdot u_C + \frac{1}{LC} \cdot u_C = 0 \quad \text{يعني أن: } \left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 = \frac{1}{LC} \quad \text{أي: } T_0^2 = 4\pi^2 \cdot LC$$

$$\text{وبالتالي: } T_0 = 2\pi\sqrt{LC} \quad \text{وتعبر التردد الخاص للتذبذبات هو: } f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

ملحوظات:

◀ معادلة الأبعاد للدور الخاص T_0 :

$$[T_0] = [2\pi\sqrt{LC}] = \sqrt{[L] \cdot [C]} = \sqrt{\frac{[u] \cdot T}{I} \times \frac{I \cdot T}{[u]}} = \sqrt{T^2} = T \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{لدينا: } u_L = L \frac{di}{dt} \quad \text{إذن: } [L] = \frac{[u] \cdot [t]}{[i]} = \frac{[u] \cdot T}{I} \\ \text{و: } i = C \frac{du_C}{dt} \quad \text{إذن: } [C] = \frac{[i] \cdot [t]}{[u]} = \frac{I \cdot T}{[u]} \end{array} \right.$$

للدور الخاص T_0 بعد زمن و نعب عنه بالثانية (s).

◀ في النظام الشبه دوري يقارب شبه الدور T الدور الخاص T_0 : $T = T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$

ب- تحديد U_m و φ :

$$\text{لدينا: } u_C(t) = U_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} \cdot t + \varphi\right)$$

$$\text{إذن: } u_C(0) = U_m \cdot \cos(\varphi)$$

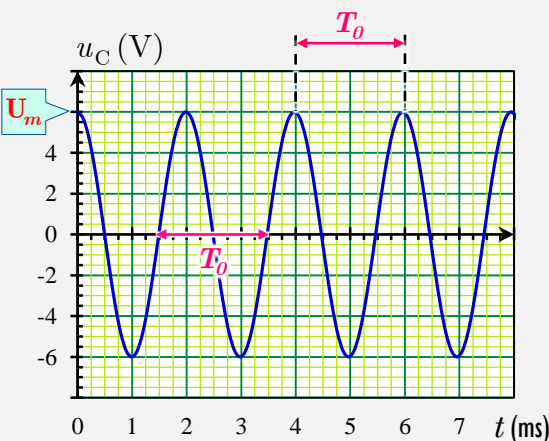
حسب الشروط البدئية (عند اللحظة $t = 0$)، لدينا: $u_C(0) = E$

بما أن U_m تمثل القيمة القصوى للتوتر u_C (وسع التوتر)، فإن: $U_m = E$

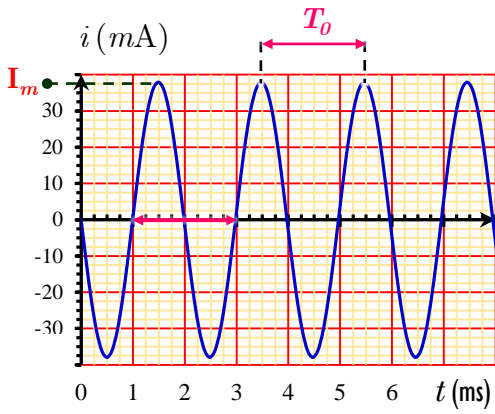
ومنه: $\cos(\varphi) = 1$ أي: $\varphi = 0$

$$\text{وبالتالي، تعبير التوتر } u_C \text{ هو: } u_C(t) = E \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} \cdot t\right)$$

أو: $u_C(t) = E \cdot \cos(2\pi f_0 \cdot t)$ مع f_0 التردد الخاص ب (Hz)



$$U_m = 6 \text{ V} \quad \text{و} \quad T = 2 \text{ ms} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$



5 تغيرات شدة التيار $i(t)$ في الدارة المثالية LC

تذكيري في الرياضيات:

$$\cos\left(x + \frac{\pi}{2}\right) = -\sin(x)$$

ج- تعبير شحنة المكثف $q(t)$:

لدينا: $q = C \cdot u_C$ و $u_C(t) = E \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} \cdot t\right)$

إذن: $q(t) = CE \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} \cdot t\right)$ أو: $q(t) = Q_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} \cdot t\right)$

بحيث: $Q_m = C \cdot E$ ، وتمثل القيمة القصوى لشحنة المكثف (وسع الذبذبات).

د- تعبير شدة التيار $i(t)$:

لدينا: $i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt}$

إذن: $i = -CE \cdot \frac{2\pi}{T_0} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} \cdot t\right)$ أو: $i(t) = I_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} \cdot t + \frac{\pi}{2}\right)$

بحيث: $I_m = \frac{2\pi \cdot C \cdot E}{T_0} = \frac{2\pi \cdot C \cdot E}{2\pi \sqrt{L \cdot C}} = E \sqrt{\frac{C}{L}}$ ، وتمثل شدة التيار القصوى.

Oscillations non amorties

انتقال الطاقة بين المكثف و الوشيمة

III

1 الطاقة في الدارة المثالية LC:

تبقى الطاقة الكلية E_T لدارة مثالية LC ثابتة خلال الزمن. و مساوية للطاقة البدئية

المخزونة في المكثف. نقول إن الطاقة تحفظ، أي $E_T = cte$ و $\frac{dE_T}{dt} = 0$

خلال الذبذبات غير المخمدة تتحول الطاقة الكهربائية E_e المخزونة في المكثف إلى طاقة مغناطيسية E_m في الوشيمة والعكس:

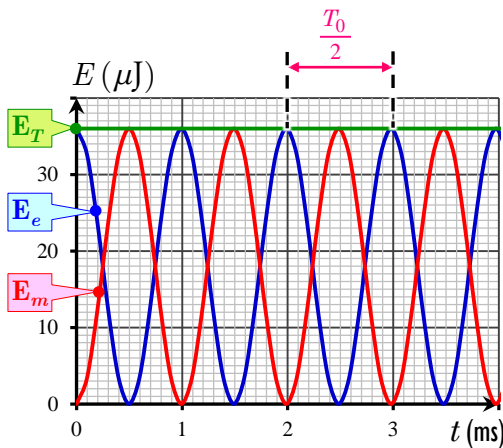
لدينا: $E_e = \frac{1}{2} C \cdot u_C^2$ و $E_m = \frac{1}{2} L \cdot i^2$

إذن، تعبير الطاقة الكلية هو: $E_T = E_e + E_m = \frac{1}{2} C \cdot u_C^2 + \frac{1}{2} L \cdot i^2$

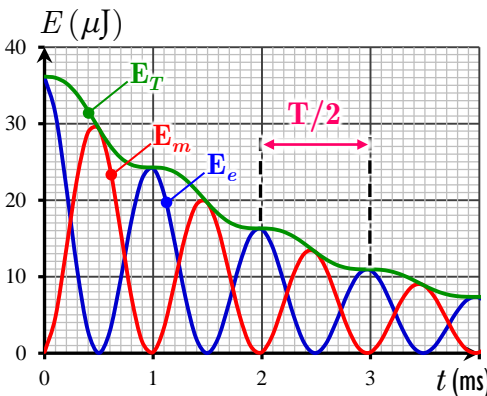
ملحوظة:

عندما يكون $u_C = U_m$ يكون $i = 0$ ومنه: $E_T = E_{e,max} = \frac{1}{2} C \cdot U_m^2$

عندما يكون $u_C = 0$ يكون $i = I_m$ ومنه: $E_T = E_{m,max} = \frac{1}{2} L \cdot I_m^2$



6 الطاقة في الدارة المثالية LC



7 الطاقة في الدارة المتوالية RLC

الطاقة المخزونة في الدارة عند اللحظة $t = 1 \text{ ms}$ هي طاقة كهربائية لأن الطاقة المغناطيسية منعدمة $E_m = 0$.
الطاقة المخزونة في الدارة عند اللحظة $t = 1,5 \text{ ms}$ هي طاقة مغناطيسية لأن الطاقة الكهربائية منعدمة $E_e = 0$.

2 الطاقة في الدارة المتوالية RLC:

تتناقص الطاقة الكلية لدارة RLC متوالية بسبب تحويلها إلى طاقة حرارية بمفعول جول في مقاومة الدارة R.

عندما تتناقص الطاقة الكهربائية E_e تزداد الطاقة E_m والعكس صحيح.

تغيرات الطاقة E_e و الطاقة E_m شبه دورية، و شبه دورها يساوي نصف شبه دور التوتور u_C (الشكل 7).

تعبير الطاقة الكلية في دارة RLC متوالية، عند لحظة t هو:

$$E_T = \frac{1}{2} C \cdot u_C^2 + \frac{1}{2} L \cdot i^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} L \cdot i^2$$

$$.i = \frac{dq}{dt} = C \cdot \frac{du_c}{dt} \quad \text{و} \quad E_T = \frac{1}{2} L i^2 + \frac{1}{2} C u_c^2$$

$$\frac{dE_T}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} L i^2 \right) + \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} C u_c^2 \right) = L i \cdot \frac{di}{dt} + C u_c \cdot \frac{du_c}{dt} = i \left(L \cdot \frac{di}{dt} + u_c \right) = i \left(LC \cdot \frac{d^2 u_c}{dt^2} + u_c \right)$$

$$LC \cdot \frac{d^2 u_c}{dt^2} + RC \cdot \frac{du_c}{dt} + u_c = 0$$

تذكير في الرياضيات:

$$(a \cdot f(x)^2)' = 2a \cdot f(x) \cdot f'(x)$$

$$LC \cdot \frac{d^2 u_c}{dt^2} + u_c = -RC \cdot \frac{du_c}{dt} = -R \cdot i$$

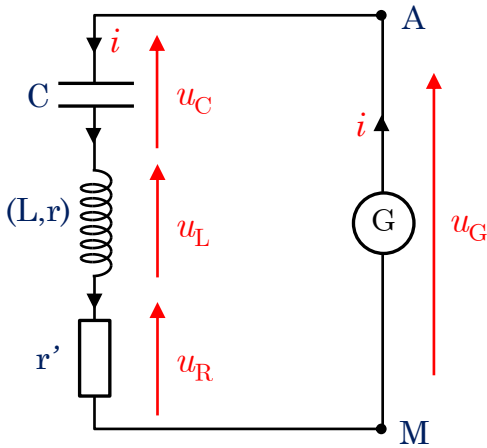
$$\frac{dE_T}{dt} = i(-R \cdot i) \quad \text{ومنه:} \quad \frac{dE_T}{dt} = -R \cdot i^2$$

الطاقة الكلية في الدارة RLC تناقصية (لأن $\frac{dE_T}{dt} < 0$) ويعزى هذا التناقص إلى تبدد الطاقة بمفعول جول بسبب المقاومة R للدارة.

Entretien des oscillations

صيانة الذبذبات

IV



جهاز صيانة الذبذبات في دارة RLC متوالية

8

وسع الذبذبات في دارة RLC متوالية يتناقص تدريجيا مع مرور الزمن نتيجة تبدد الطاقة بمفعول جول في مقاومة الدارة R. ولصيانتها (الحصول على توتر ذي وسع ثابت) نضيف للدارة جهازا يعوض في كل لحظة الطاقة المبددة بمفعول جول. جهاز الصيانة عبارة عن مولد يزود الدارة بتوتر يتناسب اطرادا مع شدة التيار المار في الدارة: $u_G = R_0 \cdot i$. يتصرف جهاز الصيانة كمقاومة سالبة قيمتها $-R_0$.

الدراسة النظرية:

نعتبر الدارة التي تضم جهاز صيانة الذبذبات G الممثلة في الشكل 8:

$$u_R + u_L + u_C = u_G$$

$$مع: \quad u_G = R_0 \cdot i \quad \text{و} \quad i = \frac{dq}{dt} = C \cdot \frac{du_c}{dt} \quad \text{و} \quad R = r + r'$$

$$r' \cdot i + r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + u_c = R_0 \cdot i$$

$$LC \cdot \frac{d^2 u_c}{dt^2} + (r' + r) i - R_0 \cdot i + u_c = 0$$

$$LC \cdot \frac{d^2 u_c}{dt^2} + (r' + r - R_0) \cdot i + u_c = 0$$

$$LC \cdot \frac{d^2 u_c}{dt^2} + (R - R_0) \cdot C \frac{du_c}{dt} + u_c = 0$$

$$\frac{d^2 u_c}{dt^2} + \frac{(R - R_0)}{L} \cdot \frac{du_c}{dt} + \frac{1}{LC} \cdot u_c = 0$$

عند ضبط المقاومة R_0 على قيمة تساوي R ($R = R_0$) ينعدم المقدار المسؤول عن

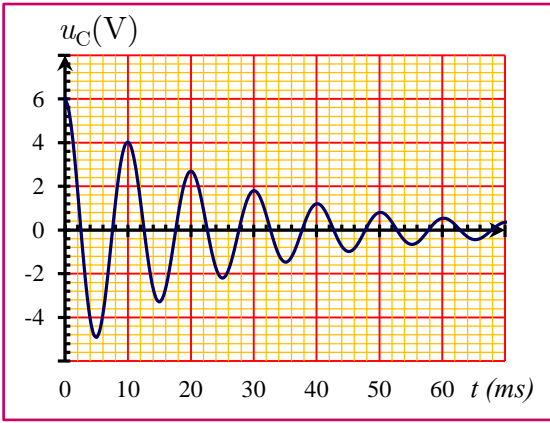
$$\frac{(R - R_0)}{L} \frac{du_c}{dt} = 0$$

$$\frac{d^2 u_c}{dt^2} + \frac{1}{LC} u_c = 0$$

$$\text{وبالتالي تكون الذبذبات جيبيه دورها: } T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

ملحوظة هامة:

يأضافة جهاز الصيانة للدارة RLC، نتمكن من احداث توتر جيبي ذي تردد معين، يمكن ضبطه بتغيير قيمة L أو C.



نشحن مكثفا، سعته $C = 17 \mu\text{F}$ ، كليا بواسطة مولد مؤمثل للتوتر قوته الكهرمحركة E ، ثم نركبه عند اللحظة $t = 0$ بين مرطبي وشيعة معامل تحريضها الذاتي L ومقاومتها r .
نعين، بواسطة عدة معلوماتية ملائمة، المنحنى الممثل لتغيرات التوتر $u_C(t)$ بين مرطبي المكثف بدلالة الزمن. نحصل على المنحنى الممثل جانبه.

الأسئلة:

1 ارسم تبيانة التركيب التجريبي المستعمل، ثم وجه الدارة في الاصطلاح مستقبل.

2 ما نظام التذبذب الملاحظ في الشكل جانبه؟

3 ما قيمة القوة الكهرمحركة E للمولد المستعمل.

4 باعتبار أن شبه الدور T يساوي الدور الخاص T_0 للمتذبذب LC . حدد قيمة L .

5 احسب تغير الطاقة الكلية ΔE_T المخزونة بين اللحظتين $t_0 = 0$ و $t_1 = 10 \text{ ms}$. أعط تفسيرا للنتيجة المحصل عليها.

6 أوجد المعادلة التفاضلية التي تحققها الشحنة q المكثف.

7 نركب على التوالي مع المكثف و الوشيعة مولدا يزود الدارة بتوتر يتناسب اطرادا مع شدة التيار المار فيها $u_G = a \cdot i(t)$ فنحصل على ذبذبات جيبيية ذات

وسع ثابت عندما تأخذ الثابتة a القيمة $a = 8 \text{ (SI)}$.

أ- ما دور المولد G من الناحية الطاقية؟

ب- أوجد r مقاومة الوشيعة.

عناصر الإجابة

1 تبيانة الدارة و توجيهها في الاصطلاح مستقبل: سهم التوتر معاكس لمنحى التيار.

2 النظام الملاحظ هو نظام شبه دوري.

3 عند اللحظة $t=0$ يكون $u_C(0) = E$. من المنحنى نجد: $E = 6 \text{ V}$.

4 لدينا: $T = T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ إذن: $T^2 = 4\pi^2 \cdot LC$ ومنه: $L = \frac{T^2}{4\pi^2 \cdot C}$

من خلال المنحنى لدينا: $T = 10 \text{ ms} = 10^{-2} \text{ s}$.

تطبيق عددي: $L = \frac{(10^{-2})^2}{4\pi^2 \times 17 \cdot 10^{-6}} = 0,15 \text{ H}$

5 عند اللحظة $t_0 = 0$ لدينا: $u_{C,0} = u_{C,\text{max}} = 6 \text{ V}$ ، إذن: $E_{T_0} = \frac{1}{2} C \cdot u_{C,0}^2$. (الطاقة المخزونة في الدارة هي طاقة كهربائية).

عند اللحظة $t_1 = 10 \text{ ms}$ لدينا: $u_{C,1} = u_{C,\text{max}} = 4 \text{ V}$ ، إذن: $E_{T_1} = \frac{1}{2} C \cdot u_{C,1}^2$.

ومنه: $\Delta E_T = E_{T_1} - E_{T_0} = \frac{1}{2} C \cdot u_{C,1}^2 - \frac{1}{2} C \cdot u_{C,0}^2 = \frac{1}{2} C (u_{C,1}^2 - u_{C,0}^2) = \frac{1}{2} \times 17 \cdot 10^{-6} \times (4^2 - 6^2) = -1,7 \cdot 10^{-4} \text{ J}$

$\Delta E_T < 0$ الطاقة الكلية تتناقص مع الزمن، و يعزى هذا التناقص إلى تبدد الطاقة بمفعول جول بسبب مقاومة الوشيعة r .

6 المعادلة التفاضلية التي تحققها شحنة المكثف q . لدينا: $i = \frac{dq}{dt}$ و $u_C = \frac{q}{C}$.

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{r}{L} \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} = 0 \Leftrightarrow r \cdot \frac{dq}{dt} + L \cdot \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{C} = 0 \Leftrightarrow r \cdot i + L \frac{di}{dt} + \frac{q}{C} = 0 \Leftrightarrow u_L + u_C = 0$$

7-أ) دور المولد G هو تعويض الطاقة المبددة بمفعول جول في مقاومة الدارة r (مقاومة الوشيعة).

$$7-ب) \text{ عند إضافة المولد } G \text{ نتوصل إلى المعادلة التفاضلية: } \frac{d^2q}{dt^2} + \left(\frac{r-a}{L}\right) \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} = 0 \Leftrightarrow u_L + u_C = u_G = a \cdot i = a \cdot \frac{dq}{dt}$$

المقدار $\left(\frac{r-a}{L}\right) \cdot \frac{dq}{dt}$ هو المسؤول عن الخمود، بانعدامه يزول الخمود فنحصل على ذبذبات جيبيية؛ لهذا يجب أن يكون: $r-a = 0$ ومنه:

$$r = a \text{ وبالتالي: } r = 8 \Omega$$

- ◀ كيف يتم نقل المعلومات لمسافات طويلة و بسرعة كبيرة دون خمود؟
- ◀ كيف يتم ارسال و استقبال موجات الراديو AM (Amplitude modulation) ؟
- ◀ ما مبدأ تضمين الوسع ؟



تدوين

الغلاف الزمني (درس + تمارين)

10 ساعات (2+8)

الفئة المستهدفة

الثانية بكالوريا - علوم فيزيائية + علوم رياضية

تصميم الدرس

- ◀ نقل المعلومات:
 - ◀ الموجات الكهرومغناطيسية:
 - ◀ تضمين توتر جيبي:
 - ◀ تضمين الوسع:
 - ◀ إزالة التضمين:
 - ◀ إنجاز جهاز استقبال بث إذاعي بتضمين الوسع :
 - ▲ تمرين موضوعاتي محلول:
- ①- نقل إشارة بواسطة حزمة ضوئية
②- الإشارة و الموجة الحاملة.
①- ارسال و استقبال موجة كهرومغناطيسية
②- مميزات الموجة الكهرومغناطيسية
①- ضرورة عملية التضمين
②- التوتر الجيبي
③- مقادير قابلة للتضمين لتوتر جيبي.
①- الدارة المتكاملة المنجزة للجداء
②- تضمين الوسع لتوتر جيبي
③- نسبة التضمين.
④- جودة التضمين .
①- كاشف الغلاف
②- المرشح RC المتوالي
③- دارة إزالة التضمين.
①- الدارة المتوازية LC
②- إنجاز مستقبل راديو بسيط AM.

معارف ومهارات

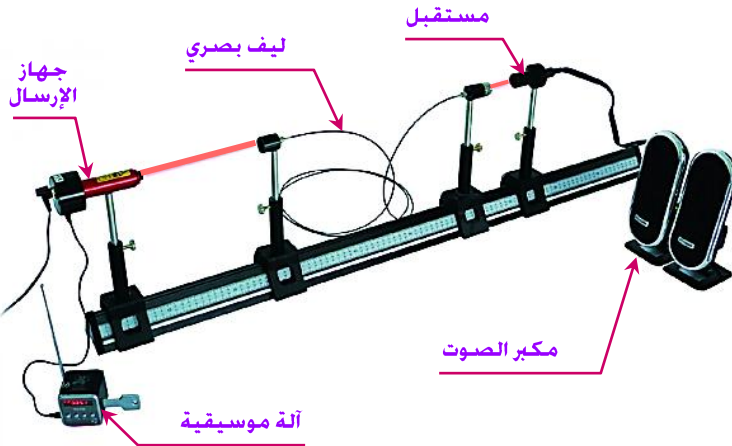
- ✗ معرفة أهم العمليات اللازمة لتحويل المعلومات إلى رسائل شفوية أو كتابية.
- ✗ معرفة سرعة نقل المعلومات.
- ✗ معرفة أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ذات ترددات معينة.
- ✗ معرفة أن الموجة الكهرومغناطيسية المرسلّة عبر هوائي لها نفس تردد الإشارة الكهربائية المرسلّة، ونفس الشيء عند الاستقبال.
- ✗ معرفة التعبير الرياضي لتوتر جيبي.
- ✗ معرفة أن نقل المعلومات بواسطة موجة كهرومغناطيسية يتم دون نقل للمادة ولكن بنقل للطاقة .
- ✗ معرفة أن الهوائي يمكن توظيفه كمرسل وكمستقبل (جهاز الهاتف المحمول مثلا).
- ✗ معرفة أن تضمين الوسع هو جعل الوسع المضمّن عبارة عن دالة تآلفية للتوتر المضمّن (*tension modulante*) .
- ✗ معرفة شروط تقادي ظاهرة فوق التضمين (*surmodulation*) .
- ✗ تعرف مراحل تضمين الوسع.
- ✗ استغلال المنحنيات المحصلة تجريبيا.
- ✗ تعرف مكونات دارة كهربائية لتضمين الوسع وإزالة التضمين انطلاقا من تبيانها.
- ✗ معرفة دور مختلف المرشحات *Filtres* المستعملة.
- ✗ معرفة و استغلال طيف الترددات.
- ✗ تعرف مراحل إزالة التضمين.
- ✗ معرفة شروط الحصول على تضمين الوسع وعلى كشف الغلاف بجودة عالية .
- ✗ معرفة دور الدارة السدادة للتيار (*circuit bouchon*) LC في انتقاء توتر مضمّن.
- ✗ تعرف المكونات الأساسية التي تدخل في تركيب جهاز الاستقبال للراديو AM ودورها في عملية إزالة التضمين.

1 نقل إشارة بواسطة حزمة ضوئية (ليف بصري)

كيف نرسل رسالة صوتية باستعمال ليف بصري ؟

- في تقنية الألياف البصرية (*fibres optiques*) يتم تحويل الإشارة من صورتها الأولية (صوت، فيديو، بيانات) إلى إشارات كهربائية. ترسل الإشارات الكهربائية إلى جهاز الإرسال الذي يحولها بدوره إلى نبضات أو إشارات ضوئية، تنتقل عبر الليف البصري، تسمى الموجة الحاملة لأنها تحمل المعلومة المراد إرسالها.
- يمكن تغيير خصائص الموجة الحاملة حسب الإشارة الكهربائية المراد نقلها، نقول أن الحزمة الضوئية مضمّنة.

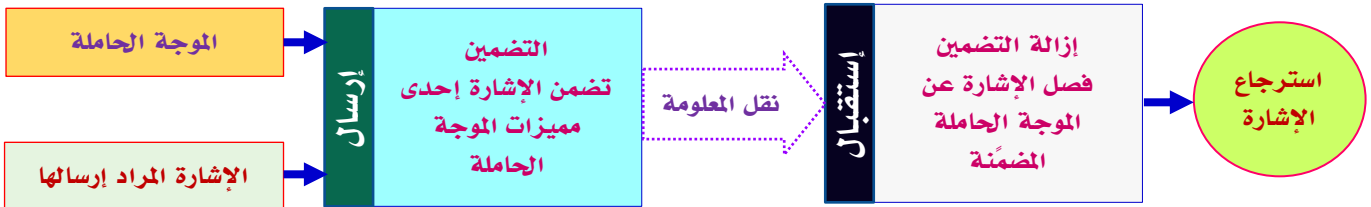
تنقل المعلومات بواسطة موجة حاملة



2 الإشارة و الموجة الحاملة

الموجة الحاملة هي الوسيلة التي يتم بواسطتها نقل المعلومة، وتكون عبارة عن موجة جيبية ذات تردد مرتفع HF تحول المعلومة إلى إشارة كهربائية ذات تردد منخفض BF.

يمكن للموجة الحاملة أن تكون موجة ضوئية أو موجة هيرتزية (راديو - تلفاز - هاتف ...) بحيث عند الاستقبال يتم فصل الإشارة عن الموجة الحاملة، وتسمى هذه العملية بإزالة التضمين. مبدأ إرسال و استقبال إشارة:

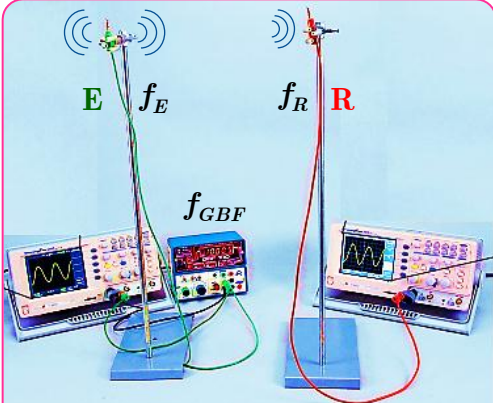


1 إرسال و استقبال موجة كهرومغناطيسية:

- يبعث الهوائي الباعث E موجة كهرومغناطيسية لها نفس تردد الإشارة الكهربائية التي أحدثت على مستواها: $f_{GBF} = f_E$.
- تخلق هذه الموجة الملتقطة في الهوائي المستقبل R إشارة كهربائية لها نفس التردد: $f_E = f_R$.
- إن نقل المعلومة بواسطة الموجة الكهرومغناطيسية يتم دون انتقال للمادة، وإنما بانتقال الطاقة فقط.

2 مميزات الموجات الكهرومغناطيسية:

- تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ و في جميع الأوساط المادية في جميع الاتجاهات و وفق مسار مستقيمي. و تنعكس على السطوح الموصلة لتنتقل لمسافات كبيرة. و تنتشر بسرعة $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$:
- تمتيز الموجة الكهرومغناطيسية بتردها f و بطول الموجة λ بحيث: $\lambda = c.T = \frac{c}{f}$ مع T دور الموجة.



مبدأ إرسال و استقبال موجة كهرومغناطيسية

1 ضرورة عملية التضمين:

لنقل إشارة ذات تردد منخفض ، يجب تضمين موجة حاملة ترددها مرتفع بهذه الإشارة. وهذا راجع للأسباب التالية:

- ✗ الإشارات ذات الترددات المنخفضة (basses fréquences) BF تتعرض لخمود قوي.
- ✗ لا يمكن للمستقبل التمييز بين مختلف الإرسالات ، نظرا لضيق مجال الترددات المنخفضة BF.
- ✗ أبعاد الهوائي المستقبل لموجة معينة ، يجب أن تقارب نصف طول الموجة . وهذا يتطلب أبعادا جد كبيرة بالنسبة للترددات المنخفضة.

2 التوتر الجيبي:

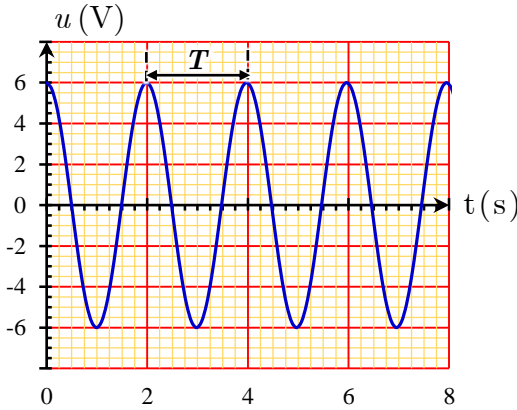
✗ التوتر الجيبي إشارة كهربائية تتغير مع الزمن بطريقة جيبية، نعب عنه رياضيا بـ:

$$u(t) = U_m \cdot \cos(2\pi f \cdot t + \varphi)$$

بحيث: U_m : الوسع بالفولط (V)
 f : التردد بالهرتز (Hz)
 φ : الطور عند $t = 0$ بـ (rad).

✗ لحساب التردد f نستعمل العلاقة: $f = \frac{1}{T}$

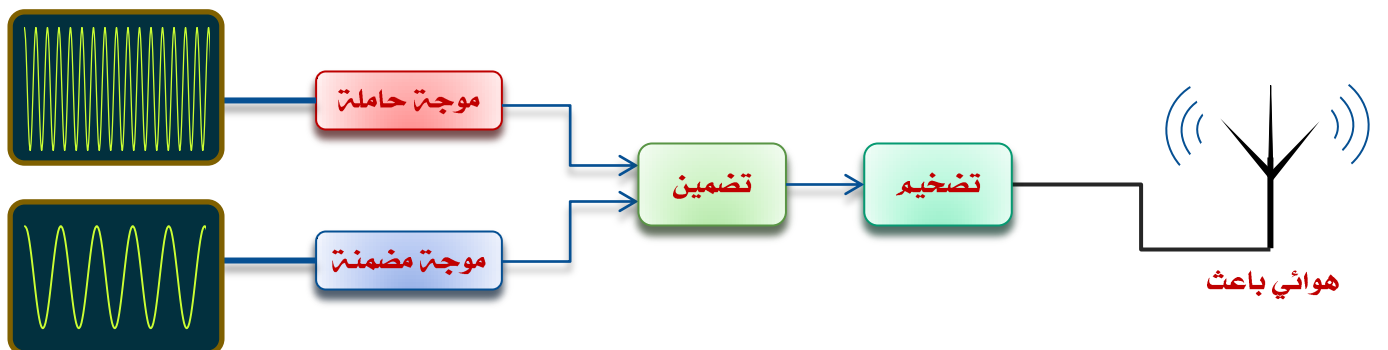
▪ بالنسبة للمنحنى جانبه: $U_m = 6V$ و $T = 2s$ و $f = 0,5 Hz$ و $\varphi = 0$.



3 البرمترات القابلة للتضمين بالنسبة لتوتر جيبي

أ- تضمين الوسع	ب- تضمين التردد	ج- تضمين الطور
وسع الموجة الحاملة U_m يتغير حسب الإشارة المضمّنة. تعبير $u(t)$ في هذه الحالة هو: $u(t) = U_m(t) \cdot \cos(2\pi f \cdot t + \varphi)$	تردد الموجة الحاملة f يتغير حسب الإشارة المضمّنة. تعبير $u(t)$ في هذه الحالة هو: $u(t) = U_m \cos(2\pi \cdot f(t) \cdot t + \varphi)$	طور الموجة الحاملة φ يتغير حسب الإشارة المضمّنة. تعبير $u(t)$ في هذه الحالة هو: $u(t) = U_m \cos(2\pi f \cdot t + \varphi(t))$

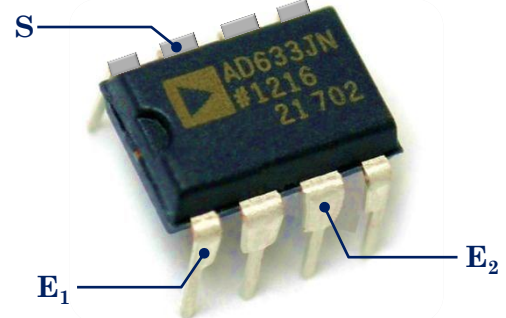
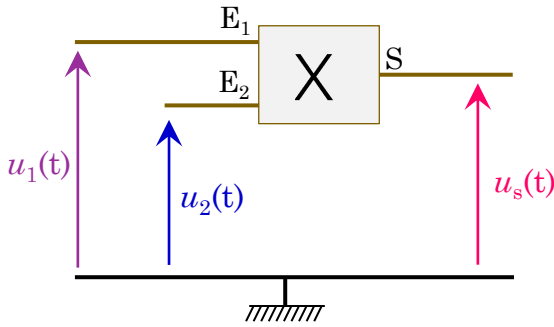
مبدأ إرسال معلومة:



1 الدارة المتكاملة المنجزة للجداء

تضمين الوسع (الخصوص على دالة ذات وسع يتغير مع الزمن) لتوتر جيبى يمثل الموجة الحاملة $u_1(t)$ بتوتر $u_2(t)$ يمثل الإشارة هو إنجاز جداء الدالتين $u_1(t)$ و $u_2(t)$. من أجل ذلك نستعمل دارة متكاملة منجزة للجداء (مثل AD633 JN).

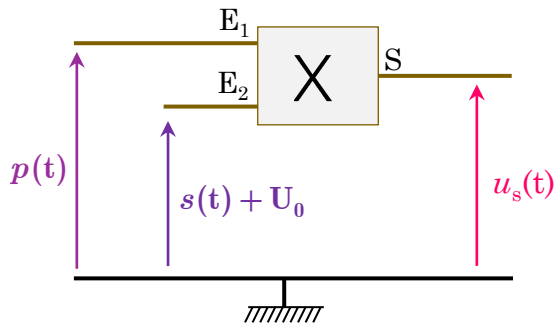
يكتب تعبير التوتر المضمن $u_s(t)$ عند مخرج الدارة المتكاملة على شكل: $u_s(t) = k.u_1(t).u_2(t)$
 ← k: ثابتة تتعلق بالدارة المتكاملة المنجزة للجداء، وحدتها V^{-1} .



دارة متكاملة منجزة للجداء

2 تضمين الوسع لتوتر جيبى

- نطبق عند المدخل E_1 التوتر $p(t)$ الممثل للموجة الحاملة ذات التردد المرتفع f_p ، بحيث: $p(t) = P_m \cdot \cos(2\pi f_p \cdot t)$.
- نطبق عند المدخل E_2 التوتر $s(t) + U_0$ ، مع U_0 المركبة المستمرة للتوتر و $s(t)$ تمثل الإشارة، ذات التردد المنخفض f_s .



- توتر الخروج $u_s(t)$ هو:

$$u_s(t) = k.p(t) \cdot [s(t) + U_0]$$

$$= k.P_m \cdot \cos(2\pi f_p \cdot t) \cdot [s(t) + U_0]$$

$$= k.P_m \cdot [s(t) + U_0] \cdot \cos(2\pi f_p \cdot t)$$

$$= [k.P_m \cdot s(t) + k.P_m \cdot U_0] \cdot \cos(2\pi f_p \cdot t)$$

$$= [a.s(t) + b] \cdot \cos(2\pi f_p \cdot t)$$

$$u_s(t) = U_m(t) \cdot \cos(2\pi f_p \cdot t)$$

— خلاصة:

تضمين الوسع هو جعل الوسع المضمن $U_m(t)$ عبارة عن دالة تألفية للتوتر المضمن $s(t)$: $U_m(t) = a.s(t) + b$

— ملحوظة:

إذا اعتبرنا التوتر المضمن $s(t)$ عبارة عن دالة جيبية، فإن: $s(t) = S_m \cdot \cos(2\pi f_s \cdot t)$

ومنه تعبير التوتر المضمن $u_s(t)$ يصبح:

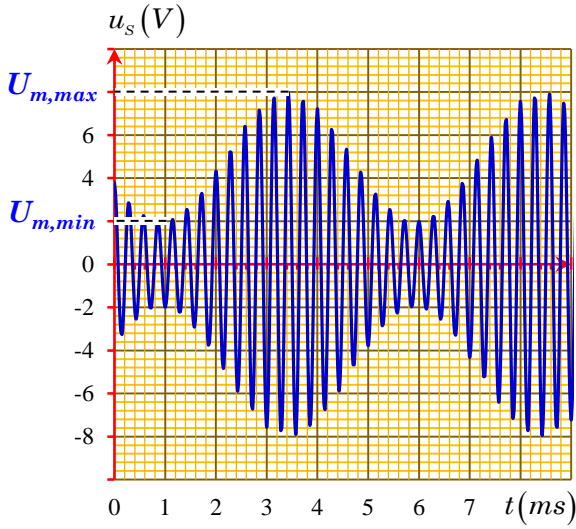
$$u_s(t) = k.p(t) \cdot [s(t) + U_0]$$

$$= k.P_m \cdot \cos(2\pi f_p \cdot t) \cdot [S_m \cdot \cos(2\pi f_s \cdot t) + U_0] = k.P_m \cdot U_0 \cdot \left[\frac{S_m}{U_0} \cdot \cos(2\pi f_s \cdot t) + 1 \right] \cdot \cos(2\pi f_p \cdot t)$$

$$u_s(t) = A \cdot [m \cdot \cos(2\pi f_s \cdot t) + 1] \cdot \cos(2\pi f_p \cdot t) = U_m(t) \cdot \cos(2\pi f_p \cdot t)$$

وسع التوتر المضمن $U_m(t)$ يصبح على شكل: $U_m(t) = A \cdot [m \cdot \cos(2\pi f_s \cdot t) + 1]$

حيث: $m = \frac{S_m}{U_0}$ وتسمى نسبة التضمين. و $A = k.P_m \cdot U_0$



منحنى التوتّر المضمّن $u_s(t)$

$$U_m(t) = A \cdot [1 + m \cdot \cos(2\pi f_s \cdot t)]$$

لدينا : إذن، وسع التوتّر المضمّن $U_m(t)$ سيتغير بين قيمتين حديتين:

$$U_{m,min} = A(1-m) \quad \text{و} \quad U_{m,max} = A(1+m)$$

$$U_{m,max} + U_{m,min} = A(1+m) + A(1-m) = 2A \quad \text{يعني أن:}$$

$$U_{m,max} - U_{m,min} = A(1+m) - A(1-m) = 2A \cdot m \quad \text{و:}$$

$$m = \frac{U_{m,max} - U_{m,min}}{U_{m,max} + U_{m,min}} \quad \text{و بالتالي، تعبير نسبة التضمين } m \text{ هو:}$$

مثال:

$$m = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}} = \frac{8-2}{8+2} = 0,6 \quad \text{حد } m \text{ من خلال المنحنى جانبه:}$$

4 جودة التضمين

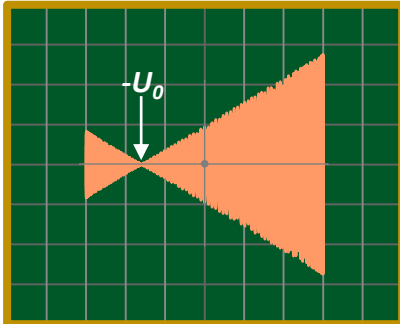
للحصول على تضمين ذي جودة جيدة يجب توفر الشروط التالية:

← تردد التوتّر الحامل f_p أكبر بكثير من تردد التوتّر المضمّن f_s : $f_p \gg f_s$ (على الأقل $f_p > 10 f_s$).

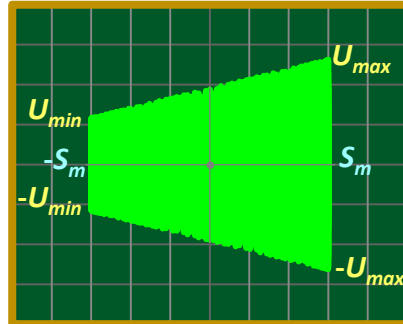
← نسبة التضمين أصغر من واحد: $m = \frac{S_m}{U_0} < 1$ ، أي: $S_m < U_0$ لتفادي ظاهرة فوق التضمين.

ملحوظات:

- فوق التضمين هي الحالة التي لا يكون للغلاف العلوي للإشارة المضمّنة $u_s(t)$ نفس شكل الإشارة المضمّنة $s(t)$. ولتفادي هذا المشكل نضيف المركبة المستمرة U_0 للإشارة $s(t)$.
- باستعمال راسم التذبذب في النظام XY (أي عند إزالة الكسح)، نحصل على شبة المنحرف في حالة التضمين الجيد (الشكل-أ أسفله).



ب- تضمين ذي جودة رديئة



أ- تضمين ذي جودة جيدة

الحساسية الأفقية: $S_H = 1 \text{ V/div}$
 الحساسية الرأسية: $S_V = 2 \text{ V/div}$
 من خلال الشكل (أ) نحدد المقادير التالية:
 $U_{max} = 2,6 \times 2 = 5,2 \text{ V}$
 $U_{min} = 1,2 \times 2 = 2,4 \text{ V}$
 $S_m = 3 \times 1 = 3 \text{ V}$
 نسبة التضمين هي: $m = \frac{5,2 - 2,4}{5,2 + 2,4} = 0,37$

نشاط تقويمي:

نعطي: الحساسية الأفقية: $S_H = 1 \text{ ms/div}$ و الحساسية الرأسية: $S_V = 2 \text{ V/div}$.

باستثمار المنحنى جانبه:

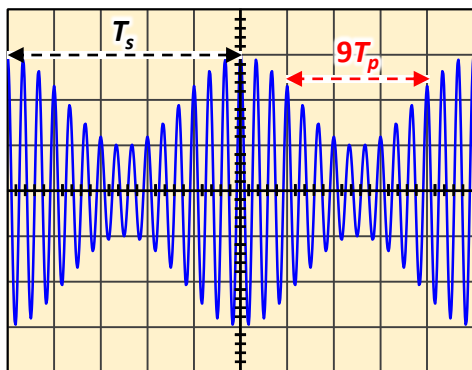
- 1 حدد تردد الموجة الحاملة F و تردد الإشارة f .
- 2 احسب قيمة نسبة التضمين m .
- 3 ما جودة التضمين المحصل عليه؟

جواب:

1 تحديد F و f ، نحدد أولاً T_s و T_p : نجد $T_s = 5 \text{ ms} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ ، بحيث $f = \frac{1}{T_s}$
 نجد: $F = 3000 \text{ Hz}$ و $f = 200 \text{ Hz}$

2 حساب قيمة نسبة التضمين m : $m = \frac{U_{m,max} - U_{m,min}}{U_{m,max} + U_{m,min}} = \frac{6-2}{6+2} = 0,5$

3 لدينا $m < 1$ و $F \gg f$ ، إذن: التضمين جيد.

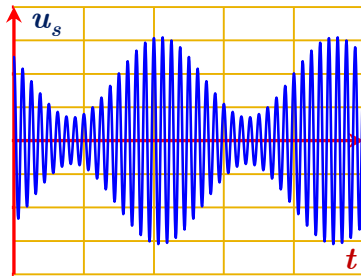
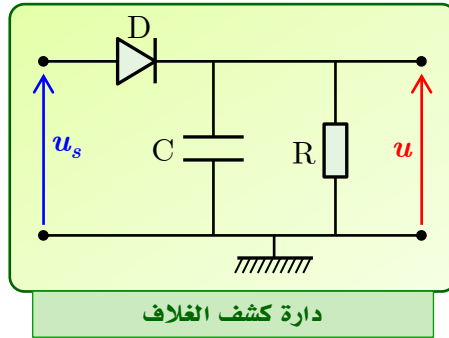


1 كاشف الغلاف détecteur d'enveloppe

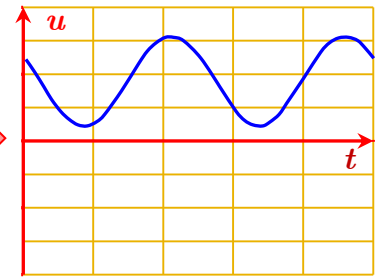
- كاشف الغلاف هو رباعي قطب، يعمل على إزالة النوبات السالبة من التوتر المضمّن $u_s(t)$ بواسطة الصمام الثنائي (diode) D، كما يمكن ثنائي القطب المتوازي RC من الحصول على توتر يقارب شكله شكل الغلاف: أي شكل الإشارة $s(t)$.
- للحصول على كشف غلاف جيد يجب أن تحقق ثابتة الزمن $\tau = RC$ الشرط التالي:

$$T_P \ll R.C < T_S$$

بحيث T_P دور التوتر المضمّن و T_S دور الإشارة $s(t)$.

شكل التوتر المضمّن $u_s(t)$ 

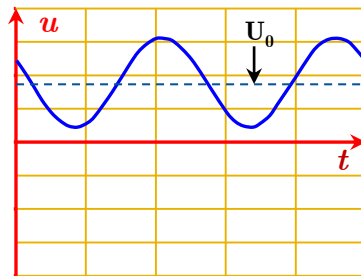
دائرة كشف الغلاف



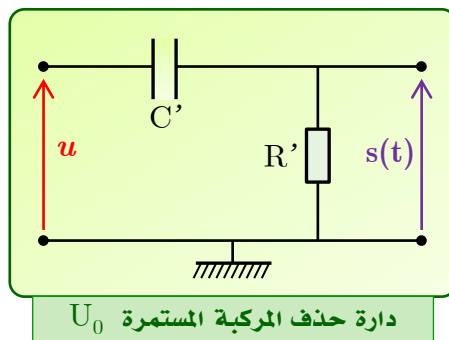
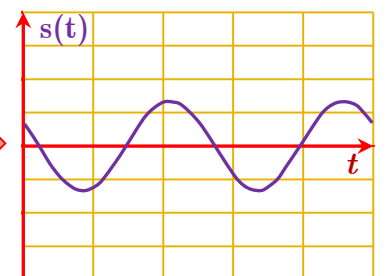
غلاف التوتر المضمّن

2 المرشح RC المتوالي (الممرر العلوي)

- المرشح الممرر للترددات العالية تركيب كهربائي لا يسمح بمرور إلا الإشارات ذات الترددات العالية. مثل المرشح RC المتوالي.
- ثنائي القطب RC المتوالي (ممرر علوي) لا يسمح بمرور التوترات المستمرة.
- يحتوي التوتر المحصل عليه عند مخرج دائرة كاشف الغلاف على مركبة مستمرة U_0 يمكن إزالتها بواسطة مرشح ممرر للترددات العالية.

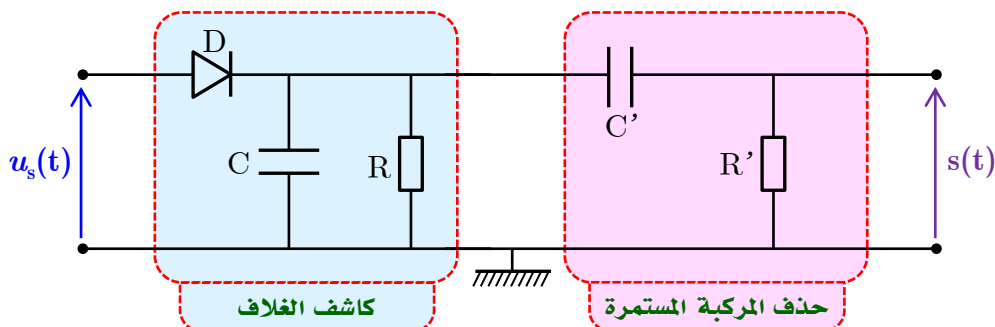


غلاف التوتر المضمّن

دائرة حذف المركبة المستمرة U_0 استرجاع الإشارة $s(t)$

3 دائرة إزالة التضمين

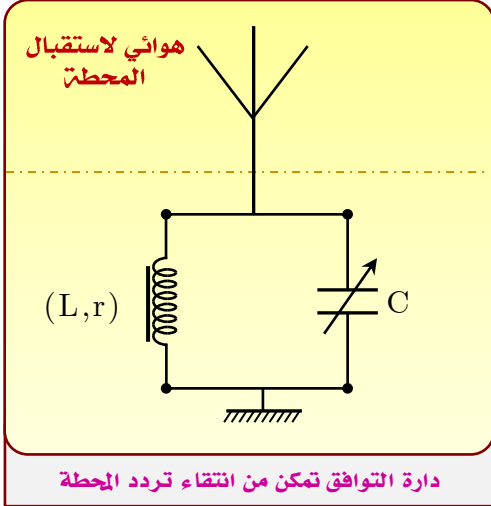
- تتكون دائرة إزالة التضمين من تجميع على التوازي وبالتتابع للدائرتين السابقتين.
- كشف غلاف التوتر المضمّن، ويكون هذا الكشف جيدا إذا تحقق الشرط: $T_P \ll \tau = RC < T_S$.
- حذف المركبة المستمرة U_0 بواسطة مرشح $R'C'$ ممرر للترددات العالية.



كاشف الغلاف

حذف المركبة المستمرة

1 الدارة المتوازنية LC (مرمر للمنطقة):



الدارة المتوازنية LC مرشح ممر للمنطقة، تسمح بمرور إشارات ذات ترددات تنتمي لمنطقة ممرزة حول التردد الخاص f_0 للدارة LC.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}}$$

عند ربط الدارة LC بهوائي، نتمكن من انتقاء محطة إذاعية، حيث يتم تحقيق التوافق مع تردد المحطة بتغيير قيمة سعة المكثف C أو قيمة معامل تحريض الوشيعية L (الوشيعية تتوفر على نواة حديدية):

$$f_0 = f_p$$

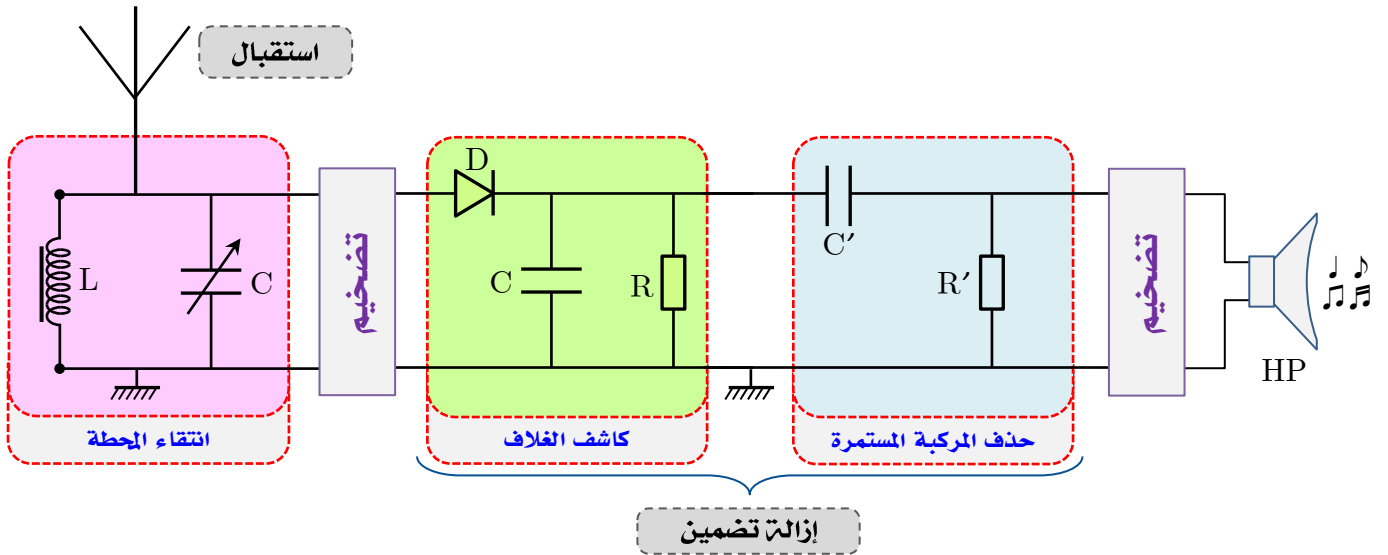
بحيث f_0 التردد الخاص للدارة LC و f_p تردد الموجة الحاملة.

2 إنجاز مستقبل راديو بسيط

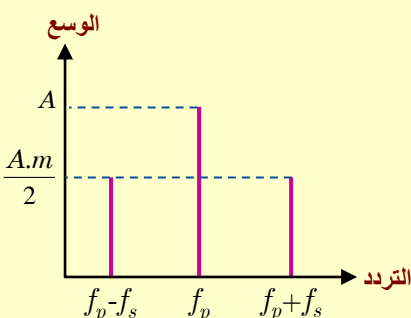
لاستقبال المحطات الإذاعية التي ترسل على الموجات الحاملة مضمنة الوسع AM، نستعمل سلسلة إلكترونية تتكون أساساً من:
 هوائي لاستقبال الموجات الكهرومغناطيسية ■ دارة متذبذبة LC لانتقاء تردد الموجة الحاملة ■ دارة التضخيم، لتضخيم الموجة الحاملة. دارة إزالة التضمين. ■ تضخيم عند الاستماع.



تجريبياً، نستعمل التركيب التالي:



ملحق: تحليل طيف الترددات لتوتر مضمّن Analyse spectrale



لدينا: $u_s(t) = k.p(t) \cdot [s(t) + U_0] = A \cdot [m \cdot \cos(2\pi f_s t) + 1] \cdot \cos(2\pi f_p t)$

$$u_s(t) = A.m \cdot \cos(2\pi f_p t) \cdot \cos(2\pi f_s t) + A \cdot \cos(2\pi f_p t)$$

$$u_s(t) = \frac{A.m}{2} \cdot \cos(2\pi(f_p + f_s)t) + \frac{A.m}{2} \cdot \cos(2\pi(f_p - f_s)t) + A \cdot \cos(2\pi f_p t)$$

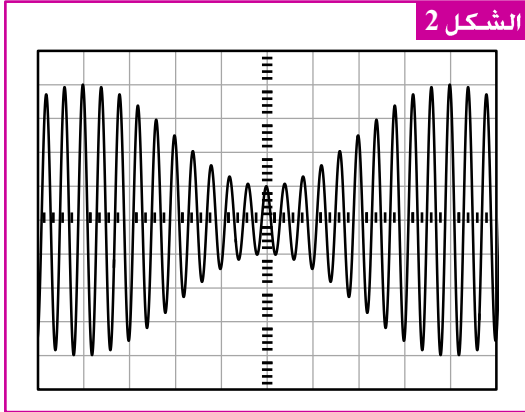
تذكير في الرياضيات: $\cos(a) \cdot \cos(b) = \frac{1}{2} \cos(a+b) + \frac{1}{2} \cos(a-b)$

لاستقبال و انتقاء موجة مضمنة الوسع AM نركب على التوازي مكثف سعته C مع وشيعة معامل تحريضها L و مقاومتها مهملة. و لاسترجاع الإشارة (التي هي عبارة عن صوت) نضيف للتركيب السابق دائرة إزالة التضمين (الشكل 1):

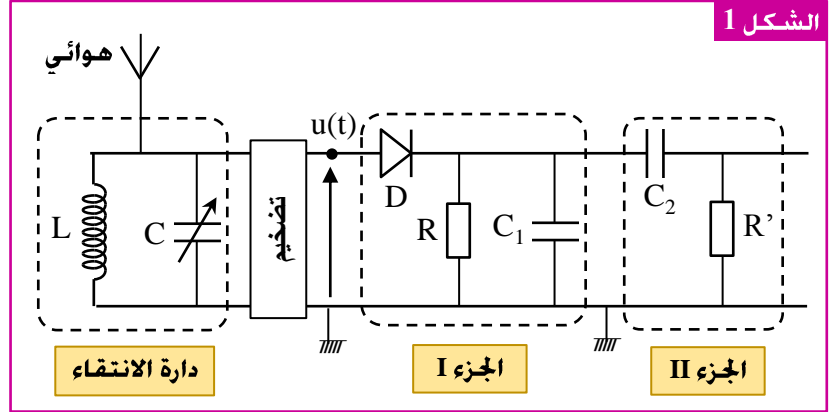
يكتب تعبير التوتر المضمّن $u(t)$ في النظام العالمي للوحدات (SI) عند مخرج دائرة الانتقاء و بعد التضخيم على الشكل التالي:

$$u(t) = U_m(t) \cdot \cos(2\pi F_p \cdot t) \quad \text{بحيث} \quad U_m(t) = A \cdot [1 + m \cdot \cos(2\pi f_s \cdot t)] \quad \text{وسع التوتر } u(t).$$

لمعاينة تغيرات التوتر المضمّن $u(t)$ ، نضبط راسم التذبذب على الحساسيتين $S_V = 1 \text{ V/div}$ و $S_H = 0,1 \text{ ms/div}$ فنحصل على منحنى الشكل 2.



الشكل 2



الشكل 1

- ① حدد كل من f_s تردد الإشارة و F_p تردد الموجة الحاملة.
- ② بين أن تعبير نسبة التضمين m يمكن أن يكتب على شكل $m = \frac{U_{m,max} - U_{m,min}}{U_{m,max} + U_{m,min}}$ احسب m .
- ③ هل التضمين جيد؟ علل جوابك.
- ④ تتكون دائرة الانتقاء من تركيب على التوازي لمكثف سعته C قابلة للضبط مع وشيعة معامل تحريضها $L = 1 \text{ mH}$. تحقق أن قيمة سعة المكثف C التي تمكن من انتقاء هذه المحطة هي $C = 40,5 \text{ nF}$.
- ⑤ ما هو دور الجزء II في عملية إزالة التضمين؟
- ⑥ نحصل على كشف الغلاف بجودة عالية، باستعمال موصل أومي مقاومته $R = 20 \text{ k}\Omega$ و مكثف سعته C_1 (الجزء I). من بين المكثفات ذات السعات التالية: $0,1 \text{ nF}$ و $4,7 \text{ nF}$ و 30 nF ، حدد سعة المكثف الملائمة.

عناصر الإجابة

① تحديد f_s و F_p : نحدد الدور من المنحنى ثم نستنتج التردد: $f_s = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{8 \cdot 10^{-4}} = 1250 \text{ Hz}$ $\Leftarrow T_s = 8 \times 0,1 \text{ ms} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ s}$

$F_p = \frac{1}{T_p} = \frac{1}{4 \cdot 10^{-5}} = 25000 \text{ Hz}$ $\Leftarrow T_p = 4 \cdot 10^{-5} \text{ s} \Leftarrow 5T_p = 2 \times 0,1 \text{ ms} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ s}$

② نسبة التضمين m : من خلال تعبير $U_m(t)$ نكتب $U_{m,max} = A(1+m)$ و $U_{m,min} = A(1-m)$

ومنه: $U_{m,max} - U_{m,min} = 2Am$ و $U_{m,max} + U_{m,min} = 2A$

بقسمة طرفي المعادلتين طرف بطرف نحصل على تعبير نسبة التضمين: $m = \frac{U_{m,max} - U_{m,min}}{U_{m,max} + U_{m,min}} = \frac{2Am}{2A}$

تطبيق عددي: $m = \frac{4-1}{4+1} = 0,6$

③ بما أن $m < 1$ و $F_p \gg f_s$ فإن التضمين جيد.

④ لكي يتم التقاط هذه المحطة يجب أن يكون هناك توافق بين تردد المحطة F_p و التردد الخاص للدائرة LC. يعني أن: $F_p = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

ومنه: $C = \frac{1}{4\pi^2 \cdot L \cdot F_p^2} = \frac{1}{4\pi^2 \times 1 \cdot 10^{-3} \times 25000^2} = 40,5 \text{ nF} \Leftarrow F_p^2 = \frac{1}{4\pi^2 \cdot L \cdot C}$

⑤ دور الجزء II هو إزالة المركبة المستمرة.

⑥ للحصول على كاشف غلاف جيد يجب أن يتحقق الشرط: $T_p \ll RC \ll T_s$. يعني أن: $\frac{T_p}{R} \ll C < \frac{T_s}{R}$

تطبيق عددي: $\frac{4 \cdot 10^{-5}}{20 \cdot 10^3} \ll C < \frac{8 \cdot 10^{-4}}{20 \cdot 10^3} (F)$ أي: $2 \text{ nF} \ll C < 40 \text{ nF}$ ومنه: سعة المكثف الملائمة هي 30 nF .

دروس و أنشطة الكيمياء

لثانية بكالوريا

مسلك العلوم الفيزيائية

الدورة الأولى



التحولات غير الكلية لمجموعة كيميائية



التحولات السريعة و التحولات البطيئة لمجموعة كيميائية

إعداد: د. ياسين الدراز

ثانوية الرازي التأهيلية - ترويست

Facebook : Yassin DERRAZ

Gmail: yassinderaz@gmail.com

التحولات السريعة و التحولات
البطيئة لجموعة كيميائية

الجزء الأول

محتوى الجزء :

- الوحدة 1 : التحولات السريعة و التحولات البطيئة.
- الوحدة 2 : التبع الزمني لتحول كيميائي - سرعة التفاعل.



احتراق الشهب النارية تحول سريع في حين تكون الصدا تحول بطيء، و هما تفاعلان أكسدة-اختزال. كيف يمكن تتبع هذه التحولات مع الزمن؟ وما العوامل التي تؤثر على هذا التطور؟



الوحدة
= 1 =

الغلاف الزمني (درس + تمارين)
5 ساعات (1 + 4)

الضفة المستهدفة
الثانية بكالوريا - جميع الشعب والمسالك العلمية.

الأهداف

- كتابة معادلة أكسدة - اختزال، وتعرف المزدوجتين المتدخلتين.
- إبراز وجود تحولات كيميائية سريعة وأخرى بطيئة تجريبيا.
- تعرف تقنيات تمكن من تتبع تطور مجموعة كيميائية خلال الزمن.
- إبراز تأثير العوامل الحركية على سرعة التفاعل انطلاقا من نتائج تجريبية.

معارف ومهارات

- كتابة معادلة التفاعل المنمذج لتحول الأكسدة - اختزال وتعرف المزدوجتين المتدخلتين.
- تعريف مؤكسد ومختزل.
- إبراز تأثير العوامل الحركية على سرعة التفاعل انطلاقا من نتائج تجريبية.

1- تعاريف:

- المؤكسد هو كل نوع كيميائي قادر على اكتساب إلكترون أو أكثر، خلال تفاعل كيميائي.
- المختزل هو كل نوع كيميائي قادر على فقدان إلكترون أو أكثر، خلال تفاعل كيميائي.

المختزل	المؤكسد	طبيعته	نصف معادلة التفاعل
Cu	Cu ²⁺	اختزال	$Cu_{(aq)}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu_{(s)}$
Al	Al ³⁺	أكسدة	$Al_{(s)} \rightleftharpoons Al_{(aq)}^{3+} + 3e^-$
I ⁻	I ₂	أكسدة	$2I_{(aq)}^- \rightleftharpoons I_{2(aq)} + 2e^-$
Fe ²⁺	Fe ³⁺	اختزال	$Fe_{(aq)}^{3+} + e^- \rightleftharpoons Fe_{(aq)}^{2+}$

- الأكسدة تفاعل يتم خلاله فقدان إلكترون أو أكثر.
- الأكسدة تفاعل يؤدي إلى تكون المؤكسد.
- الاختزال تفاعل يتم خلاله اكتساب إلكترون أو أكثر.
- الاختزال تفاعل يؤدي إلى تكون المختزل.

ملحوظة: المؤكسد يُختزل و المختزل يتأكسد.

أمثلة: الجدول جانبه.

2- المزدوجة مختزل / مؤكسد:

- تتكون مزدوجة مختزل/ مؤكسد من مؤكسد Ox ومختزل مرافق له Red ونرمز لها بالرمز: Ox / Red
- تكتب نصف معادلة تفاعل أكسدة - اختزال المقرونة بهذه المزدوجة على شكل: $Ox + n e^- \rightleftharpoons Red$

ملاحظة هامة:

- إذا كان المؤكسد Ox هو المتفاعل فإن نصف المعادلة الإلكترونية تكتب على شكل: $Ox + n e^- \rightleftharpoons Red$
- إذا كان المختزل Red هو المتفاعل فإن نصف المعادلة الإلكترونية تكتب على شكل: $Red \rightleftharpoons Ox + n e^-$

أمثلة: بعض المزدوجات مختزل/مؤكسد: Ox / Red.

NO ₃ ⁻ / NO	H ⁺ / H ₂	MnO ₄ ⁻ / Mn ²⁺	I ₂ / I ⁻	Fe ³⁺ / Fe ²⁺	Al ³⁺ / Al	Mn ⁿ⁺ / M	فلز:
-----------------------------------	---------------------------------	--	---------------------------------	-------------------------------------	-----------------------	----------------------	------

3- موازنة نصف المعادلة أكسدة - اختزال:

أ- الموازنة في وسط حمضي:

- نوازن جميع العناصر باستثناء الهيدروجين H والأكسجين O وذلك بإضافة المعاملات التناسبية.
- نوازن عنصر الأكسجين بإضافة جزيئة الماء H₂O عن كل ذرة أكسجين ناقصة.
- نوازن عنصر الهيدروجين بإضافة البروتون H⁺ أو H₃O⁺. نضيف بروتون وحيد عن كل ذرة هيدروجين ناقصة.
- نوازن الشحنة بإضافة الإلكترونات e⁻.

ب- الموازنة في وسط قاعدي:

- نوازن المعادلة كما لو كانت تتم في وسط حمضي باتباع نفس المراحل السابقة.
- نضيف، لطرفي المعادلة، عددا من أيونات الهيدروكسيد HO⁻ يساوي عدد البروتونات H⁺ التي تظهر في المعادلة.
- نعتبر أن H⁺ + HO⁻ = H₂O ونختزل جزيئات الماء إذا وجدت بطرفي المعادلة.

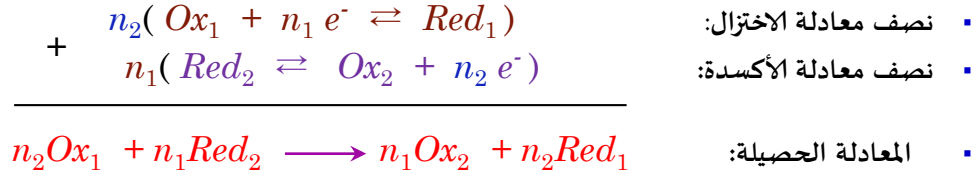
تطبيق: اكتب نصف المعادلة الإلكترونية حسب طبيع كل وسط

IO ₄ ⁻ / IO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻ / NH ₃	الوسط قاعدي	MnO ₄ ⁻ / Mn ²⁺	NO ₃ ⁻ / N ₂	الوسط حمضي
ClO ₃ ⁻ / ClO ₂	ClO ⁻ / Cl ⁻		H ₂ O ₂ / H ₂ O	O ₂ / H ₂ O	
H ₂ O / H ₂	NO ₃ ⁻ / NO		Cr ₂ O ₇ ²⁻ / Cr ³⁺	CO ₂ / H ₂ C ₂ O ₄	

4- تفاعلات الأكسدة - اختزال:

- خلال تفاعل أكسدة-اختزال تتدخل مزدوجتان . بحيث تنتقل الإلكترونات من مختزل لمزدوجة إلى مؤكسد لمزدوجة أخرى.
- نعتبر المزدوجتين Ox_1/Red_1 و Ox_2/Red_2 و نفترض أن التفاعل يتم بين المؤكسد Ox_1 والمختزل Red_2 .

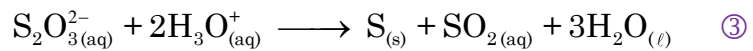
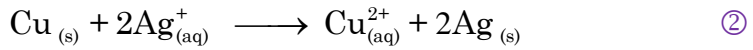
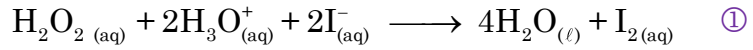
📌 للحصول على المعادلة الحصيلة نكتب نصفي المعادلة الإلكترونية المقرونة بكل مزدوجة ثم ننجز المجموع بعد إقصاء الإلكترونات لأنه لا يمكنها أن تكون حرة في محلول مائي .



← تطبيق

- 1 في وسط حمضي يتفاعل الماء الأوكسجيني مع أيونات يودور . المزدوجتان المتدخلتان هما: I_2 / I^- و H_2O_2 / H_2O . اكتب نصفي معادلة التفاعل المقرونة بالمزدوجتين المتدخلتين ، واستنتج المعادل الحصيلة للتفاعل.
- 2 اكتب معادلة التفاعل بين فلز النحاس $Cu(s)$ وأيونات الفضة $Ag^+_{(aq)}$. المزدوجتين المتفاعلتين: Ag^+ / Ag و Cu^{2+} / Cu .
- 3 اكتب معادلة التفاعل أكسدة - اختزال المقرونة بكل من المزدوجتين $S_2O_3^{2-} / S$ و $SO_2 / S_2O_3^{2-}$ (الوسط حمضي).

← الحل:



II

تحويلات سريعة و تحولات بطيئة

transformations rapides - lentes

1- التحويلات السريعة:

التحويلات السريعة هي التي تحدث في وقت وجيز ، بحيث لا يمكن تتبع تطورها بالعين أو بأجهزة القياس المعتادة .

← أمثلة:

- تفاعلات الانفجار ، كاحتراق الشهب النارية.
- بعض تفاعلات الترسيب. مثل ترسيب هيدروكسيد النحاس II .
- بعض التفاعلات أكسدة - اختزال: مثل التفاعل بين محلول برمنغنات البوتاسيوم و محلول ثنائي أوكسيد الكبريت.
- أغلب التفاعلات حمض - قاعدة

2- التحويلات البطيئة:

التحول البطيء هو تحول يدوم فترة زمنية كافية لتتبع تطوره بالعين المجردة أو بأجهزة القياس الموجودة في المختبر.

← أمثلة:

- تكون الصدأ (أكسدة الحديد) أو الزنجار (أكسدة النحاس).
- تفاعلات الأسترة و الحلمأة (الوحدة 9).
- أكسدة أيونات يودور بالماء الأوكسجيني، حيث يلاحظ أن الخليط يكتسب تدريجياً لونا بنياً ناتجاً عن تكون ثنائي اليود.
- وهناك بعض التحويلات اللامتناهية في البطء كتخليق الماء و تحلل الماء الأوكسجيني.

3- تقنيات التتبع الزمني لتحويلات بطيئة:

- ◀ لتتبع تطور تحول ينتج غازا يمكن:
 - قياس حجم الغاز المتصاعد، فوق حوض من الماء.
 - إنجاز التحول في إناء مغلق، وبواسطة مقياس الضغط نتتبع ارتفاع الضغط.
 - إنجاز التحول في إناء مفتوح موضوع فوق ميزان، ثم نتتبع انخفاض الكتلة التي توافق تصاعد الغاز.
- ◀ لتتبع تحول في محلول تتدخل فيه أيونات يمكن:
 - دراسة تغيرات موصلية المحلول بواسطة مقياس الموصلة.
 - قياس pH المحلول عندما تتدخل أيونات H_3O^+ أو OH^- .
- ◀ يمكن معايرة أحد النواتج أو أحد المتفاعلات عند مجالات زمنية محددة.
- ◀ قياس الطيف الضوئي إذا كان أحد الأنواع ملونا.

III

العوامل الحركية

.Facteurs cinétiques

1- نشاط: الإبراز التجريبي للعوامل الحركية:

نؤكسد أيونات يودور I^- بأيونات بيروكسوثنائي كبريتات $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$. لإبراز تأثير بعض العوامل الحركية على سرعة هذا التفاعل، نحضر عند نفس اللحظة 4 خلائط تحت درجات الحرارة θ حسب الجدول التالي:

درجة الحرارة $\theta(^{\circ}\text{C})$	$[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]_i$ (mmol.L^{-1})	$[\text{I}^-]_i$ (mmol.L^{-1})	الخليط
20	10	20	الخليط 1
20	20	40	الخليط 2
35	10	20	الخليط 3
35	20	40	الخليط 4

بواسطة المعايرة، نحدد تركيز ثنائي اليود المتكون $[\text{I}_2]$ ، بالنسبة لكل خليط وفي المدة نفسها $t = 20 \text{ min}$. ندون النتائج في الجدول التالي:

الخليط	التجربة 1: الخليط 1	التجربة 2: الخليط 2	التجربة 3: الخليط 3	التجربة 4: الخليط 4
$[\text{I}_2]$ (mmol.L^{-1})	1	3,5	2,5	8

- 1 اكتب معادلة التفاعل بين أيونات يودور و أيونات بيروكسوثنائي كبريتات. المزدوجتان المتدخلتان هما: $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} / \text{SO}_4^{2-}$ و I_2 / I^- .
- 2 ما هو العامل الحركي الذي يفسر نتائج التجريبتين 1 و 2 من جهة، ونتائج التجريبتين 3 و 4 من جهة أخرى. ما هو تأثير هذا العامل؟
- 3 ما هو العامل الحركي الذي يفسر نتائج التجريبتين 1 و 3 من جهة، ونتائج التجريبتين 2 و 4 من جهة أخرى. ما هو تأثير هذا العامل؟
- 4 في أي تجربة كان التحول أسرع؟ لماذا؟

■ أجوبة:

- 1 بالنسبة للمزدوجة I_2 / I^- المتفاعل هو I^- إذن نصف المعادلة الإلكترونية هي: $2\text{I}^-_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{I}_2 + 2\text{e}^-$
- بالنسبة للمزدوجة $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} / \text{SO}_4^{2-}$ نصف المعادلة الإلكترونية هي: $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$
- المعادلة الحصيلة للتفاعل هي: $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}_{(\text{aq})} + 2\text{I}^-_{(\text{aq})} \rightleftharpoons 2\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})} + \text{I}_2$
- 2 في التجريبتين 1 و 2 (أو 3 و 4) تم الاحتفاظ بنفس درجة الحرارة في حين أدت الزيادة في التراكيز البدئية إلى الزيادة في تركيز ثنائي اليود الناتج عند نفس المدة، إذن العامل الحركي الذي تم إبرازه هو التركيز البدئي للمتفاعلين حيث كلما كان كبيرا يصير التحول أسرع.
- 3 في التجريبتين 1 و 3 (أو 2 و 4) تم الاحتفاظ بنفس التراكيز البدئية في حين أدت الزيادة في درجة الحرارة إلى الحصول على تركيز أكبر لثنائي اليود الناتج عند نفس المدة، إذن العامل الحركي الذي تم إبرازه هو درجة الحرارة، حيث كلما كانت مرتفعة يصير التحول أسرع.
- 4 التحول كان أسرعًا في التجربة 4 لأنه تم استعمال عاملين حركيين: التركيز البدئي للمتفاعلين ودرجة الحرارة حيث تم رفع قيمة كل منهما.

2- تأثير العوامل الحركية:

العامل الحركي هو كل ما من شأنه أن يؤثر على سرعة تطور مجموعة كيميائية ،

من بين العوامل الحركية نجد:

- درجة الحرارة،
- التركيز البدئي للمتفاعلات،
- الإضاءة،
- الحفاز،
- اختيار المذيب،
- تجزيئ المتفاعلات الصلبة ...

تأثير التركيز البدئي و درجة الحرارة:

تزداد سرعة تحول كيميائي كلما كان التركيز البدئي لمتفاعل واحد أو لعدة متفاعلات أكبر.

تزداد سرعة تحول كيميائي مع ارتفاع درجة حرارة المجموعة الكيميائية.

تطبيق للعوامل الحركية:

خفض سرعة التفاعلات: يحتفظ بالمواد الغذائية (لحوم ، أسماك، خضر، ...) داخل الثلاجة قصد إبطاء تفاعلات التحلل.

(بين 0 و 10°C) . ويدوم حفظها أكثر في المجمد حيث تكون درجة الحرارة في حدود -18°C .

الرفع من سرعة التفاعلات: يكون طبخ الطعام أسرع في طنجرة الضغط، حيث يمكن أن تتعدى درجة الحرارة 110°C، بينما

في قدر عادي يتبخر الماء عند 100°C .

تمرين تطبيقي

لدراسة تأثير بعض العوامل الحركية على سرعة تطور مجموعة كيميائية، نحضر خليطين:

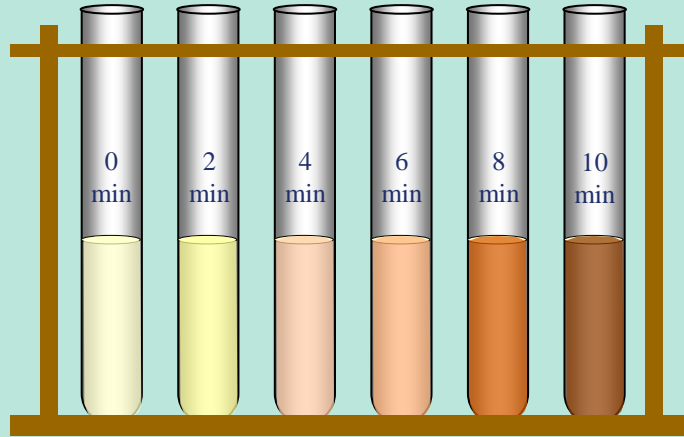
- الخليط (S₁) مكون من الماء الأوكسيجيني تركيزه $C = 0,5 \text{ mol.L}^{-1}$ ، و حجمه $V = 10 \text{ mL}$ و محلول يودور البوتاسيوم المحمض تركيزه $C' = 1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ ، و حجمه $V' = 20 \text{ mL}$.
 - الخليط (S₂) مكون من الماء الأوكسيجيني تركيزه $C = 0,5 \text{ mol.L}^{-1}$ ، و حجمه $V = 10 \text{ mL}$ و محلول يودور البوتاسيوم المحمض تركيزه $C'' = 0,5 \text{ mol.L}^{-1}$ ، و حجمه $V' = 20 \text{ mL}$.
- نلاحظ ظهور لون بني في الخليطين و ذلك بطريقة أسرع في الخليط (S₁) .

• معطيات:

- المزدوجتان المتدخلتان في التفاعل هما: $\text{H}_2\text{O}_2(aq) / \text{H}_2\text{O}(l)$ و $\text{I}_2(aq) / \text{I}^-(aq)$.
- يأخذ ثنائي اليود $\text{I}_2(aq)$ لونا بنيا في محلول مائي.

- 1 اكتب معادلة التفاعل أكسدة - اختزال الحاصل في كل خليط.
- 2 اذكر، مع التعليل، تقنيات يمكن اعتمادها لتتبع تطور هذا التحول مع الزمن.
- 3 احسب التراكيز البدئية للمتفاعلات في كل خليط.
- 4 فسر الملاحظات التجريبية.
- 5 ما سيحدث إذا أضفنا الماء المثلج إلى الخليط، في لحظة معينة ؟
- 6 كيف يمكن الرفع من سرعة التفاعل في الخليط (S₁) دون تغيير الحالة النهائية للمجموعة الكيميائية ؟

تفاعل أيونات يودور مع الماء الأوكسجيني تحول بطيء. كيف يمكن تتبع التفاعل المقرون بهذا التحول مع الزمن؟ وكيف تحدد سرعة التفاعل و زمن نصف التفاعل؟



الوحدة
= 2 =

الغلاف الزمني (درس + تمارين)
6 ساعات (1+5)

الضفة المستهدفة

الثانية بكالوريا - جميع الشعب والمسالك العلمية.

المحتوى

- التتبع الزمني لتحول كيميائي: الطرق المستعملة في الحركية الكيميائية - الجدول الوصفي وتقديم التفاعل.
- السرعة الحجمية لتفاعل: تعريف - تحديد سرعة التفاعل عند لحظة معينة - تطور سرعة التفاعل خلال الزمن.
- زمن نصف التفاعل: تعريف - تحديد زمن نصف التفاعل - الفائدة من زمن نصف التفاعل.
- تتبع تحول كيميائي باعتماد تقنية المعايرة: (نشاط 1).
- تطبيقات لاستثمار القياسات الفيزيائية: قياس الضغط (نشاط 2) - قياس الموصلية (نشاط 3).
- التفسير الميكروسكوبي: تأثير الارتجاج الحراري - سرعة التحول والعوامل الحركية.

معارف ومهارات

- تعليل مختلف العمليات المنجزة خلال تتبع التطور الزمني لمجموعة؛ واستثمار النتائج التجريبية.
- معلمة التكافؤ خلال معايرة واستنتاج كمية المادة للتفاعل المعيار.
- استغلال وتمثيل منحنيات تطور كمية المادة لنوع كيميائي أو تركيزه أو تقدم التفاعل أو ضغط غاز.
- إنشاء الجدول الوصفي لتقدم التفاعل واستغلاله.
- معرفة تأثير التركيز ودرجة الحرارة على سرعة التفاعل.
- تفسير، كيفية، تغير سرعة التفاعل بواسطة إحدى منحنيات التطور.
- تحديد قيمة السرعة الحجمية للتفاعل مبيانيا.
- تعريف زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$.
- تحديد زمن نصف التفاعل مبيانيا أو باستثمار نتائج تجريبية.
- تفسير تأثير تركيز الأنواع الكيميائية المتفاعلة ودرجة الحرارة على عدد التصادمات الفعالة في وحدة الزمن (خاص SP-SM).

الحركية الكيميائية هي دراسة التطور الزمني لتفاعل كيميائي. و تهدف بالخصوص إلى تحديد تقدم التفاعل بدلالة الزمن $x = f(t)$. ولهذا الغرض نستعمل طرقا فيزيائية وأخرى كيميائية.

1 الطرق المستعملة في الحركية الكيميائية:

أ- طرق فيزيائية: كقياس الموصلية وقياس الضغط وقياس الحجم وقياس الكتلة وقياس pH وقياس الطيف الضوئي.

ملاحظات:

- تكمّن فائدة الطرق الفيزيائية في عدم التشويش على الوسط التفاعلي وتبع القياسات بصفة مستمرة. وتستعمل كثيرا لأنها سريعة و تستلزم كمية مادة أقل.
- يتم ربط المقدار المقاس (σ , pH , m , V , P ...) بتقدم التفاعل $x(t)$ ثم ندرس التطور الزمني لهذا الأخير ونستنتج تركيب المجموعة الكيميائية عند كل لحظة، وذلك بالاعتماد أيضا على الجدول الوصفي.

ب- طرق كيميائية: تتركز هذه الطرق على معايرة أحد الأنواع خلال التفاعل عند مجالات زمنية محددة .

- يجب أن يكون تفاعل المعايرة سريعا أمام التحول المدروس حيث يتم إنجاز أحيذات في الوسط التفاعلي، مما لا يسمح بتسجيل مستمر لتطور كمية مادة أو تركيز متفاعل أو ناتج خلال الزمن.

بعض طرق تحديد كمية المادة:

بداية الكتلة m	بداية حجم الغاز V_{gaz}	بداية ضغط الغاز P	بداية تركيز المحلول C	باستعمال الموصلية σ
$n = \frac{m}{M}$	$n = \frac{V_{gaz}}{V_M}$	$n = \frac{P_{gaz} \cdot V}{R \cdot T}$	$n = C \cdot V$	$\sigma = \sum \lambda_i \cdot [X_i]$

2 الجدول الوصفي و تقدم التفاعل-تذكير:

لتتبع تطور كميات مادة كل الأنواع الكيميائية نستعمل مفهوما كيميائيا يسمى تقدم التفاعل يرمز إليه بالرمز x وحدته المول mol . ثم نقوم بإنجاز جدول وصفي خاص بالتفاعل يتم فيه تحديد كمية مادة كل نوع كيميائي بدلالة التقدم x .

المعادلة الكيميائية		$a A + b B \longrightarrow c C + d D$			
حالة المجموعة	تقدم التفاعل	كميات المادة بالمول (mol)			
الحالة البدئية	0	$n_i(A)$	$n_i(B)$	0	0
خلال التطور t	x	$n_i(A) - a \cdot x$	$n_i(B) - b \cdot x$	$c \cdot x$	$d \cdot x$
الحالة النهائية	x_f	$n_i(A) - a \cdot x_f$	$n_i(B) - b \cdot x_f$	$c \cdot x_f$	$d \cdot x_f$

ملاحظات:

- إذا كان المتفاعل المحد هو النوع A فإن: $n_i(A) - a \cdot x_{\max} = 0$ وبالتالي قيمة التقدم الأقصى هي: $x_{\max} = \frac{n_i(A)}{a}$
- إذا كان المتفاعل المحد هو النوع B فإن: $n_i(B) - b \cdot x_{\max} = 0$ وبالتالي قيمة التقدم الأقصى هي: $x_{\max} = \frac{n_i(B)}{b}$
- التقدم الأقصى x_{\max} يوافق أصغر قيمة.
- إذا كان الخليط التفاعلي ستوكيومتريا، فإن: $\frac{n_i(A)}{a} = \frac{n_i(B)}{b}$

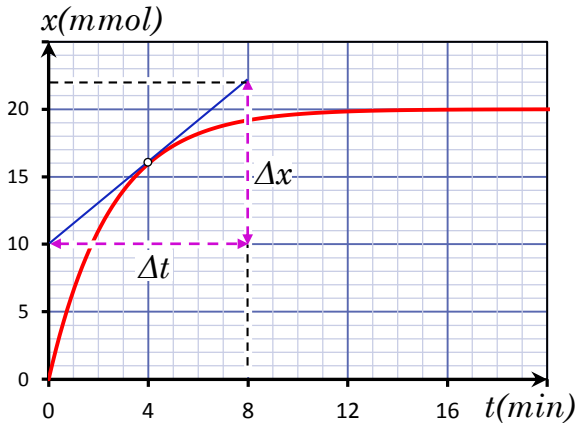
1 تعريف:

نعبر عن السرعة الحجمية v لتفاعل ، عند لحظة t بالعلاقة التالية :

$$\left. \begin{array}{l} v : \text{السرعة الحجمية للتفاعل بـ } mol.m^{-3}.s^{-1} . \text{ نستعمل كذلك الوحدة } (mol.L^{-1}.min^{-1}) . \\ V : \text{حجم الخليط التفاعلي بـ } m^3 \text{ أو اللتر } (L) \\ \frac{dx}{dt} : \text{مشتقة تقدم التفاعل بالنسبة للزمن عند لحظة } t, \text{ مع } x \text{ بالمول } (mol) \text{ و } t \text{ بالثانية } s \text{ أو } (min) . \end{array} \right\} v(t) = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx}{dt}$$

ملاحظة: سرعة التفاعل (أو السرعة الحجمية) مقدار موجب ويعبر عنه بوحدات مختلفة.

2 تحديد سرعة التفاعل عند لحظة t_i :



نخط مماس المنحنى $x = f(t)$ عند نقطة أفصولها t_i .

المقدار dx/dt يساوي قيمة المعامل الموجه للمماس $\Delta x/\Delta t$.

للحصول على السرعة v_i نقسم القيمة dx/dt على الحجم V .

مثال: احسب بالوحدة $mmol.L^{-1}.min^{-1}$ السرعة الحجمية للتفاعل عند اللحظة 4 min علما أن حجم الخليط التفاعلي هو $V = 100 \text{ mL}$.

جواب: نعوض dx بـ Δx ونعوض dt بـ Δt .

$$v_4 = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{1}{0,1} \cdot \frac{(22-10) \cdot 10^{-3}}{8-0} = 15 \text{ mmol.L}^{-1}.min^{-1}$$

3 تطور سرعة التفاعل خلال الزمن:

ميل المماسات يتناقص مع الزمن و بالتالي تنقص سرعة التفاعل.

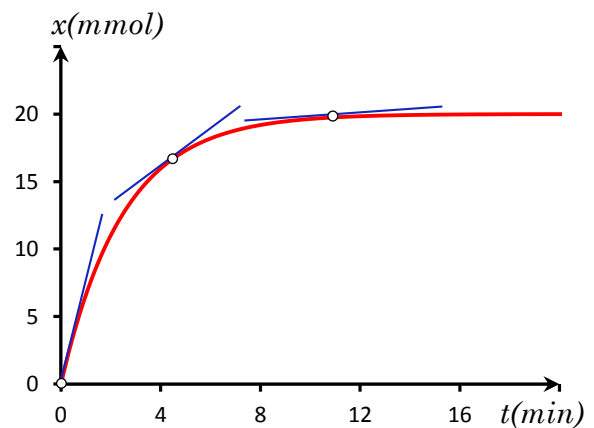
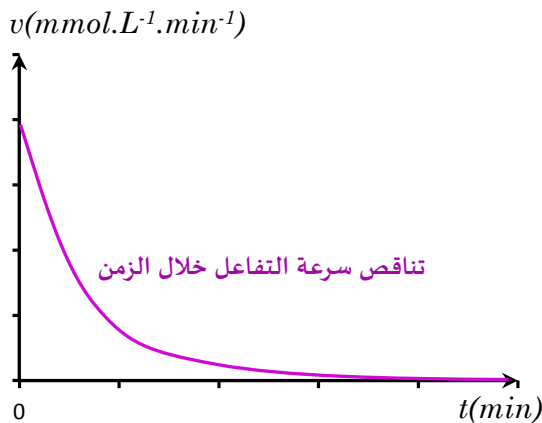
تفسير:

تعتبر التراكيز من العوامل الحركية. و خلال التحول تتناقص تراكيز المتفاعلات، مما يفسر تناقص سرعة التفاعل خلال الزمن.

ملحوظة:

في بعض الحالات لا يتحقق تناقص سرعة التفاعل خلال الزمن:

- عندما يكون التفاعل مصاحبا بانبعث مهم لدرجة الحرارة . ترتفع درجة حرارة الخليط المتفاعل، وقد يغلب عامل درجة الحرارة على عامل التركيز.
- عندما يتدخل أحد نواتج التفاعل كحفاز.



1 تعريف:

زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$ هو المدة الزمنية اللازمة لكي يصل التقدم x نصف قيمته النهائية. أي عند $t_{1/2}$: $x(t_{1/2}) = \frac{x_f}{2}$

ملاحظات:

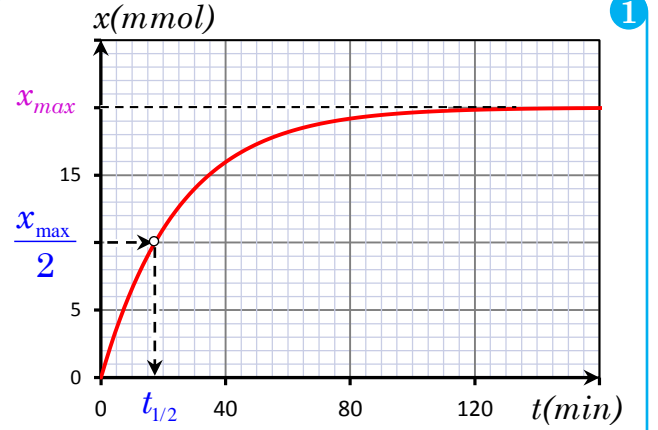
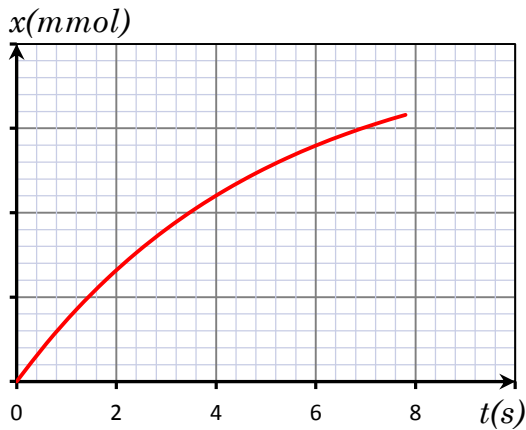
- في حالة تفاعل كلي (استهلاك المتفاعل المحد كلياً عند الحالة النهائية) يكون $x_f = x_{\max}$.
- يوافق زمن نصف التفاعل المدة اللازمة لاختفاء نصف كمية مادة المتفاعل المحد أو لتكون نصف كمية المادة النهائية لأحد النواتج.
- زمن نصف التفاعل ليس بثابتة و إنما يتعلق بعدة عوامل مثل تركيز الأنواع الكيميائية و درجة الحرارة و الضغط ...

2 تحديد زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$:

- نحدد قيمة التقدم الأقصى x_{\max} ، بخط مقارب المنحنى $x(t)$.
- نحدد نقطة تقاطع الخط الأفقي ذي الأرتوب $x_{\max} / 2$ بالمنحنى $x(t)$.
- نحدد زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$ ، وذلك بتحديد أفصول نقطة التقاطع.

مثال 1: حدد زمن نصف التفاعل باعتماد منحنى الشكل 1.

مثال 2: حدد زمن نصف التفاعل باعتماد منحنى الشكل 2 علماً أن $x_{\max} = 4,4 \text{ mmol}$.



بالنسبة للمثال 1: $t_{1/2} = 17 \text{ min}$

بالنسبة للمثال 2: $t_{1/2} = 4 \text{ s}$

3 الفائدة من زمن نصف التفاعل:

أثناء التتبع الزمني لتحول، يجب أن تكون المدة الزمنية بين كل قياسين أصغر بكثير من زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$ ؛ على الأقل $\frac{t_{1/2}}{10}$ لضمان سلامة الدراسة.

يعطي زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$ إشارة عن السرعة الحجمية المتوسطة لتحول كيميائي، إذ تمكن معرفة قيمته من اختيار الطريقة التجريبية الملائمة.

مثال: بالنسبة للمثال 1، إذا أردنا تتبع التحول بواسطة المعايرة، فيجب أن تكون المدة الزمنية Δt بين أخيدتين متتاليتين أصغر من

$\Delta t < 1,7 \text{ min}$ أي: $\Delta t < 1,7 \text{ min}$ بالنسبة للمثال 2: $\Delta t < 0,4 \text{ s}$ وبالتالي لا يمكن استعمال طريقة المعايرة.

عند اللحظة $t=0$ نحضر لترا من محلول مائي S وذلك بمزج حجم $V_1=0,50 L$ من محلول يودور البوتاسيوم $(K^+_{aq} + I^-_{aq})$ تركيزه المولي $C_1=0,40 mol.L^{-1}$ مع حجم $V_2=0,50 L$ من محلول بيروكسوثنائي كبريتات $S_2O_8^{2-}(aq)$ ذي تركيز مولي $C_2=0,30 mol.L^{-1}$. المزدوجتان المتدخلتان في التفاعل هما : I_2 / I^- و $S_2O_8^{2-} / SO_4^{2-}$.

- 1 أكتب نصف المعادلة أكسدة - اختزال المقرونة بالمزدوجتين I_2 / I^- و $S_2O_8^{2-} / SO_4^{2-}$ ، ثم استنتج المعادلة الحصيلة للتفاعل.
- 2 أحسب كمية المادة البدئية لكل من المتفاعلين $I^-_{(aq)}$ و $S_2O_8^{2-}(aq)$ ، ثم استنتج التركيزين الموليين البدئيين لهذين المتفاعلين.
- 3 أنشئ الجدول الوصفي لتقدم التفاعل ثم حدد التقدم الأقصى x_{max} و المتفاعل المحد.
- 4 باعتمادك على الجدول الوصفي ، بين أن $x(t)=[I_2](t) \cdot V_T$ (مع $V_T=V_1+V_2$) ، استنتج قيمة التركيز الأقصى $[I_2]_{max}$ لثنائي اليود المتكون عند نهاية التفاعل.
- 6 لتتبع تطور هذا التفاعل عن درجة الحرارة 50° ، نأخذ بصفة منتظمة ،

على رأس كل دقيقة ، عينات من المحلول ثم نضيف لها الماء المثلج .

و بعد ذلك نحدد التركيز المولي لثنائي اليود المتكون خلال الزمن

عن طريق معايرته بواسطة أيونات ثيوكبريتات $S_2O_3^{2-}$.

أدت القياسات التجريبية إلى خط منحنى تغير تركيز ثنائي اليود الناتج بدلالة الزمن $[I_2]=f(t)$ (الشكل أسفله).

أ - ما الفائدة من استعمال الماء المثلج ؟

ب - حدد ، معللا جوابك ، زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$.

ج - احسب السرعة الحجمية لتكون ثنائي اليود عند اللحظتين

$t_0=0$ و $t_1=20min$ ، فسر النتائج المحصل عليها.

أجوبة:

1 بالنسبة للمزدوجة I_2 / I^- : $2I^- \rightleftharpoons I_2 + 2e^-$. وبالنسبة للمزدوجة $S_2O_8^{2-} / SO_4^{2-}$: $S_2O_8^{2-} + 2e^- \rightleftharpoons 2SO_4^{2-}$. المعادلة الحصيلة للتفاعل هي : $S_2O_8^{2-} + 2I^- \rightarrow I_2 + 2SO_4^{2-}$.

2 كميات المادة البدئية : $n_0(I^-) = C_1 \cdot V_1 = 0,4 \times 0,5 = 0,20 mol$; $n_0(S_2O_8^{2-}) = C_2 \cdot V_2 = 0,3 \times 0,5 = 0,15 mol$.

التركيزات البدئية : $[I^-]_0 = \frac{C_1 \cdot V_1}{V_T} = \frac{0,4 \times 0,5}{1} = 0,20 mol.L^{-1}$; $[S_2O_8^{2-}]_0 = \frac{C_2 \cdot V_2}{V_T} = \frac{0,3 \times 0,5}{1} = 0,15 mol.L^{-1}$.

3 الجدول الوصفي. التقدم الأقصى (نقسم كميات المادة البدئية على معاملات التناسب و نختار أصغر قيمة):

إذن : $x_{max} = 0,10 mol$ و المتفاعل المحد هو I^- . $\frac{n_0(S_2O_8^{2-})}{1} = \frac{0,15}{1} = 0,15 mol$; $\frac{n_0(I^-)}{2} = \frac{0,20}{2} = 0,10 mol$.

4 حسب الجدول الوصفي ، كمية مادة ثنائي اليود المتكون عند لحظة t هو : $n(I_2) = x$ ،

وبما أن $n(I_2) = [I_2] \cdot V_T$ ، فإن : $x = [I_2] \cdot V_T$.

5 لدينا حسب السؤال السابق : $x = [I_2] \cdot V_T$ ومنه $[I_2]_{max} = \frac{x_{max}}{V_T} = \frac{0,10}{1} = 0,10 mol.L^{-1}$.

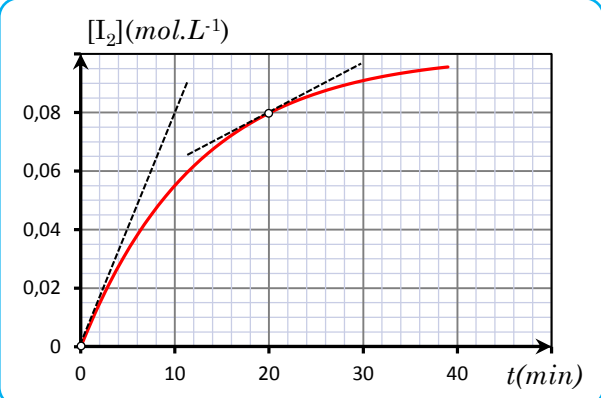
6 أ - الفائدة من اضافة الماء المثلج هو توقيف التفاعل ، حيث يتدخل عاملين حركيين درجة الحرارة و التركيز إذ ينخفض كل منهما.

ب - عند $t_{1/2}$ لدينا : $x_{1/2} = \frac{x_{max}}{2}$ و حسب العلاقة : $x = [I_2] \cdot V_T$ نكتب : $x_{1/2} = [I_2]_{1/2} \cdot V_T$ ،

يعني أن : $[I_2]_{1/2} = \frac{x_{max}}{2 \cdot V_T} = \frac{0,1}{2} = 0,050 mol.L^{-1}$ من المنحنى نجد $t_{1/2} = 9 min$.

ج - $v_1 = \frac{\Delta[I_2]}{\Delta t} = \frac{0,09 - 0,07}{26 - 14} = 1,7 mmol.L^{-1} \cdot min^{-1}$; $v_0 = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{d[I_2]}{dt} = \frac{0,08 - 0}{10 - 0} = 8 mmol.L^{-1} \cdot min^{-1}$.

تفسير : السرعة الحجمية للتفاعل تتناقص مع الزمن بسبب تناقص تركيزي المتفاعلين ، لأن تركيز المتفاعلات من العوامل الحركية.



1 قياس الضغط - نشاط 2:

عند لحظة $t=0s$ ، نلقي شريطا رقيقا من الزنك $Zn(s)$ كتلته $m=0,50 g$ في حوجلة من فئة 1L، بها حجم $V_a=75 mL$ من محلول حمض الكلوريدريك $(H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)})$ تركيزه المولي $C=0,40 mol.L^{-1}$ (الشكل 1).

• معطيات:

- الكتلة المولية للزنك: $M(Mg)=65,4 g.mol^{-1}$.
- المزدوجتان المتدخلتان هما: H_3O^+/H_2 و Zn^{2+}/Zn .
- معادلة الحالة للغازات الكاملة: $P.V = n.R.T$.
- نهمل حجم المحلول V_a أمام حجم الحوجلة V .

• استثمار:

1 أكتب المعادلة الحصيلة للتفاعل.

2 اذكر، مع التعليل، تقنيات أخرى لتتبع تطور هذا التفاعل.

3 احسب كمية المادة البدئية للمتفاعلين؛ $n_0(Zn)$ و $n_0(H_3O^+)$.

4 أنشئ الجدول الوصفي ثم حدد التقدم الأقصى x_{max} .

5 يمثل المنحنى الممثل في الشكل 2 تغير الضغط داخل الحوجلة بدلالة

الزمن $\Delta P = P_t - P_0$ ، حيث P_t يمثل الضغط الكلي عند لحظة

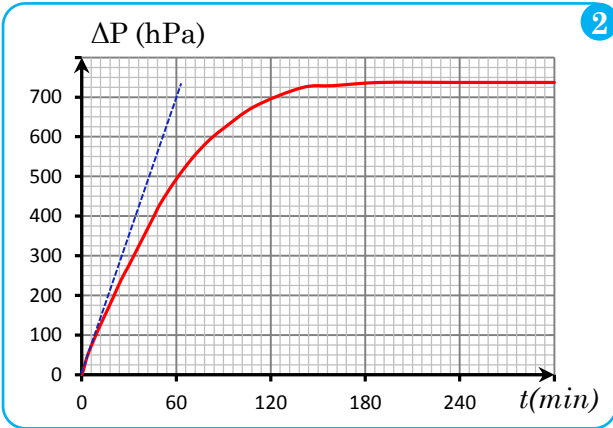
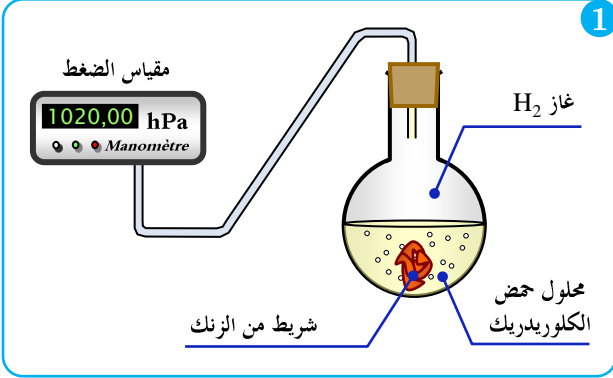
t و $P_0 = 1020 hPa$ عند اللحظة $t_0=0$.

أ - بتطبيق معادلة الحالة للغازات الكاملة أثبت التعبير التالي:

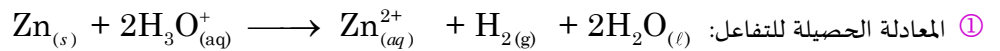
$$\Delta P_{max} = P_{max} - P_0 \quad \text{مع} \quad x = \frac{x_{max}}{\Delta P_{max}} \cdot \Delta P$$

ب - حدد، معللا جوابك، زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$.

ج - احسب السرعة الحجمية للتفاعل عند اللحظة $t_0=0$.



أجوبة (مختصرة) :



② لتتبع تطور هذا التفاعل يمكن قياس الحجم أو الكتلة لأن التفاعل ينتج غازا - قياس الموصلية لأن التفاعل يتدخل فيه أيونات - قياس pH.

③ كمية المادة البدئية للمتفاعلين: $n_0(Zn) = \frac{m}{M(Zn)} = 7,6.10^{-3} mol$; $n_0(H_3O^+) = C.V_a = 30.10^{-3} mol$

④ التقدم الأقصى، لدينا: $\frac{n_0(Zn)}{1} = 7,6.10^{-3} mol$; $\frac{n_0(H_3O^+)}{2} = 15.10^{-3} mol$ ومنه: $x_{max} = 7,6.10^{-3} mol$

⑤ - أ) حسب معادلة الحالة للغازات الكاملة، لدينا: $P(H_2).V = n(H_2).R.T$ وحسب الجدول الوصفي $n(H_2) = x$

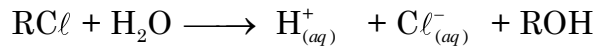
من جهة أخرى، الضغط الكلي داخل الحوجلة هو الضغط البدئي P_0 إضافة إلى الضغط الناتج عن تكون ثنائي الهيدروجين $P(H_2)$

يعني أن: $P_t = P_0 + P(H_2)$ أي: $P(H_2) = P_t - P_0 = \Delta P$ ومنه: $\Delta P_{max} = x_{max} \cdot \frac{RT}{V} \Leftrightarrow \Delta P = x \cdot \frac{RT}{V}$

⑤ - ب) عند $t_{1/2}$ يكون: $x_{1/2} = \frac{\Delta P_{1/2}}{\Delta P_{max}} \cdot x_{max} = \frac{x_{max}}{2}$ أي: $\Delta P_{1/2} = \frac{\Delta P_{max}}{2}$ حسب المنحنى: $\Delta P_{1/2} = 370 hPa$ و $t_{1/2} = 42 min$

⑤ - ج) السرعة الحجمية: $v = \frac{1}{V_a} \frac{dx}{dt} = \frac{1}{V_a} \frac{d}{dt} \left(\frac{x_{max}}{\Delta P_{max}} \cdot \Delta P \right) = \frac{x_{max}}{V_a \cdot \Delta P_{max}} \cdot \frac{d(\Delta P)}{dt} \approx 1,6.10^{-3} mol.L^{-1}.min^{-1}$

عند درجة الحرارة 40°C ، نصب في كأس حجما $V_e = 30\text{mL}$ من الماء المقطر وحجما $V_{as} = 19\text{mL}$ من الأسيتون (الأسيتون يجعل الخليط متجانسا)، ثم نغمر مجس مقياس الموصلية، نضيف إلى الخليط حجما $V_{RCl} = 1\text{mL}$ من 2-كلورو-2-مثيل بروبان $(\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{Cl}$ والذي سنرمزه بـ $\text{R}-\text{Cl}$ ، فيحدث تحول كيميائي نمذجه بالمعادلة الكيميائية التالية:



• معطيات:

- الكتلة المولية لـ RCl : $M = 92,6 \text{ g.mol}^{-1}$.
- كثافة RCl هي: $d = 0,85$.
- الكتلة الحجمية للماء: $\rho_{eau} = 10^3 \text{ g.L}^{-1}$.
- حجم الخليط التفاعلي هو $V = 50 \text{ mL}$.

- 1 تحقق أن كمية المادة البدئية لـ RCl هي $n_0 = 9,18 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$.
- 2 أنشئ الجدول الوصفي للتفاعل، ثم استنتج التقدم الأقصى x_{max} .
- 3 ماهي الأنواع الكيميائية المسؤولة عن تغير موصلية الخليط؟
- 4 لتكن $\sigma(t)$ موصلية الخليط عند لحظة t و σ_f موصلية الخليط عند الحالة النهائية.

أوجد تعبير الموصلية $\sigma(t)$ بدلالة تقدم التفاعل x و حجم المحلول V و الموصليات المولية الأيونية λ_{H^+} و λ_{Cl^-} .

5 استنتج التعبير التالي: $x(t) = \frac{x_{\text{max}}}{\sigma_f} \cdot \sigma(t)$

6 فسر تزايد موصلية الخليط خلال الزمن.

7 حدد، معللا جوابك، زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$.

8 احسب السرعة الحجمية للتفاعل عند اللحظة $t = 10 \text{ min}$.

أجوبة (مختصرة):

1 التحقق من قيمة n_0 : $n_0 = \frac{m}{M} = \frac{\rho_{RCl} \cdot V_{RCl}}{M} = \frac{d \cdot \rho_{eau} \cdot V_{RCl}}{M} = 9,18 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

2 التقدم الأقصى: بما أن الماء متواجد بوفرة فإن: $x_{\text{max}} = n_0 = 9,18 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

3 الأنواع المسؤولة عن تغير موصلية الخليط هي الأيونات الناتجة Cl^- و H^+ .

4 تعبير الموصلية: $\sigma = \lambda_{\text{Cl}^-} \cdot [\text{Cl}^-] + \lambda_{\text{H}^+} \cdot [\text{H}^+] = \lambda_{\text{Cl}^-} \cdot \frac{x}{V} + \lambda_{\text{H}^+} \cdot \frac{x}{V} = \frac{x}{V} (\lambda_{\text{Cl}^-} + \lambda_{\text{H}^+})$

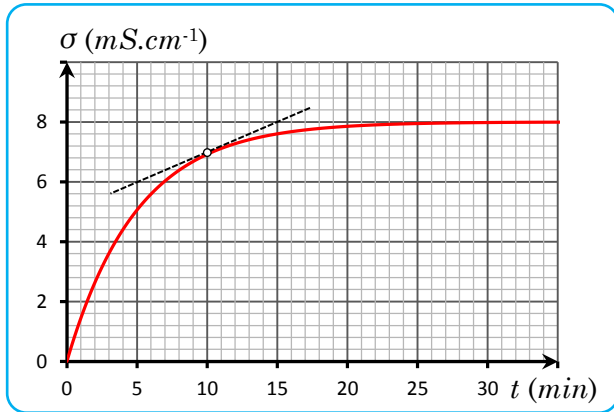
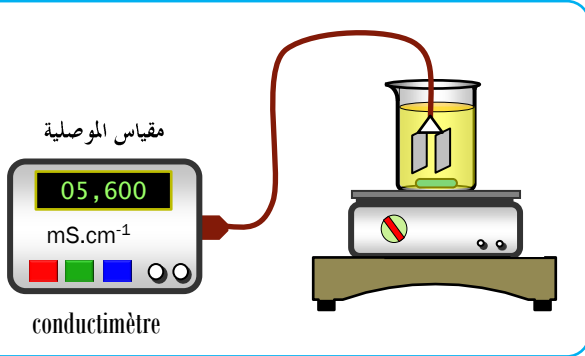
5 لدينا: $\sigma(t) = \frac{x(t)}{V} (\lambda_{\text{Cl}^-} + \lambda_{\text{H}^+})$ ومنه: $\sigma_f = \frac{x_{\text{max}}}{V} (\lambda_{\text{Cl}^-} + \lambda_{\text{H}^+})$ وبالتالي: $\frac{\sigma(t)}{\sigma_f} = \frac{x_{\text{max}}}{x}$ أي: $x(t) = \frac{x_{\text{max}}}{\sigma_f} \cdot \sigma(t)$

6 تفسير 1: الموصلية تتعلق بتركيز الأيونات. وبما أن التفاعل ينتج أيونات ولا يستهلكها فإن تركيزها سيزداد وبالتالي تزداد موصلية الخليط.

تفسير 2: لدينا: $x(t) = \frac{x_{\text{max}}}{\sigma_f} \cdot \sigma(t)$ ومنه: $\frac{dx}{dt} = \frac{x_{\text{max}}}{\sigma_f} \cdot \frac{d\sigma}{dt}$ أي: $\frac{d\sigma}{dt} = \frac{\sigma_f}{x_{\text{max}}} \cdot \frac{dx}{dt}$ وبما أن: $\frac{dx}{dt} > 0$ فإن: $\frac{d\sigma}{dt} > 0$

7 عند $t_{1/2}$ يكون: $x_{1/2} = \frac{x_{\text{max}}}{\sigma_f} \cdot \sigma_{1/2} = \frac{x_{\text{max}}}{2}$ أي: $\sigma_{1/2} = \frac{\sigma_f}{2}$ من المنحنى: $\sigma_{1/2} = 4 \text{ mS.cm}^{-1}$ توافق: $t_{1/2} = 3,5 \text{ min}$

8 السرعة الحجمية: $v = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{1}{V} \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{x_{\text{max}}}{\sigma_f} \cdot \sigma \right) = \frac{x_{\text{max}}}{V \cdot \sigma_f} \cdot \frac{d\sigma}{dt} = \frac{9,18 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 10^{-3} \times 8} \cdot \frac{8-6}{15-5} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

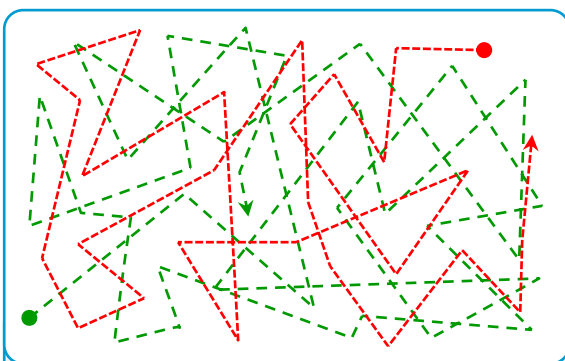


1 تأثير الارتجاج الحراري:

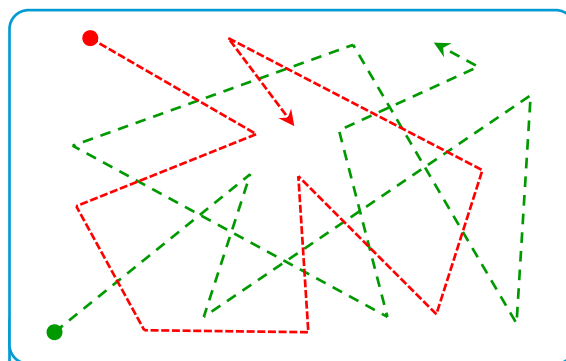
تتحرك الأنواع الكيميائية المتواجدة في مائع بسرعة و بطريقة عشوائية، مما يجعلها تتصادم بتعدد مرتفع. حيث كلما ارتفعت درجة الحرارة زادت قيم سرعات الكيانات و تردد تصادماتها.

لكي يتفاعل كيانان متصادمان يجب أن يتوفرا على طاقة كافية، نقول في هذه الحالة أن **التصادم فعال**.

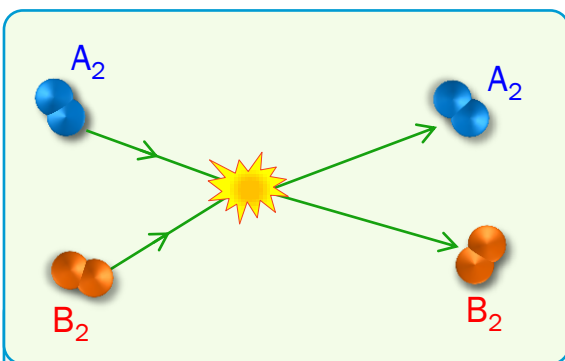
ملحوظة: تترجم سرعة التفاعل عدد التصادمات الفعالة في وحدة الزمن.



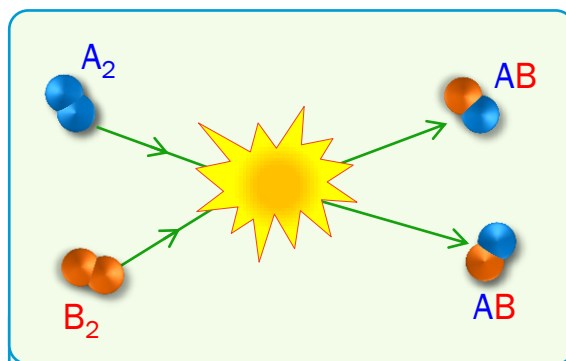
درجة الحرارة مرتفعة ← ارتجاج دقائق قوي



درجة الحرارة منخفضة ← ارتجاج دقائق ضعيف



تصادم غير فعال
الطاقة غير كافية لتكسير الرابطين A-A و B-B



تصادم فعال
الطاقة كافية لتكسير الرابطين A-A و B-B

2 سرعة التحول و العوامل الحركية:

تتعلق سرعة تحول كيميائي بتعدد التصادمات الفعالة . حيث كلما كان التردد كبيرا ، كان التحول أسرع.

تأثير التركيز البدئي للمفاعلات:

• كلما كان عدد الجزيئات في وحدة الحجم كبيرا ، كان تردد التصادمات كبيرا و التحول أسرع.

مفعول درجة الحرارة:

• كلما كانت درجة الحرارة مرتفعة ، كان تردد التصادمات كبيرا و التحول أسرع.



التحولات غير الكلية
لمجموعة كيميائية

الجزء الثاني

محتوى الجزء :

- الوحدة 3 : التحولات الكيميائية التي تحدث في المنحنيين.
- الوحدة 4 : حالة توازن مجموعة كيميائية.
- الوحدة 5 : التحولات المقرونة بالتفاعلات حمض-قاعدة.



تعتبر زهرة الكويبة (hydrangea) من النباتات الدائمة الخضرة، و من مميزاتها أنها تغير لونها حسب طبيعة التربة. ففي التربة القاعدية تكون أزهارها حمراء و في التربة الحمضية تكون زرقاء و تصبح بيضاء في التربة المعتدلة.

- ما المقدار المسؤول عن هذا التغير ؟ و كيف يتم قياسه ؟
- ما هي طبيعة التفاعلات التي تحدث على مستوى التربة ؟
- هل التحول الكيميائي يكون دائما كليا ؟



الغلاف الزمني (درس + تمارين)
7 ساعات (2+5)

الضفة المستهدفة

الثانية باكوريا - جميع الشعب والمسالك العلمية

تصميم الدرس

- التحولات الحمضية القاعدية في محلول مائي:
 - المحلول المائي - الأحماض والقواعد حسب برونشتد - المزدوجة قاعدة/حمض - التحولات الحمضية-القاعدية.
- pH محلول مائي:
 - تعريف pH محلول مائي - طرق قياس pH محلول مائي.
- التحول الكيميائي الكلي و التحول الكيميائي المحدود:
 - التحول الكيميائي الكلي - التحول الكيميائي المحدود - نسبة التقدم النهائي - منحنى تطور مجموعة كيميائية - التفسير الميكروسكوبي لحالة التوازن.

معارف ومهارات

- تعريف الحمض والقاعدة حسب برونشتد.
- كتابة المعادلة المنمذجة للتحول حمض - قاعدة وتعرف المزدوجتين المتدخلتين في التفاعل.
- تحديد قيمة pH محلول مائي وكيفية قياسه بواسطة جهاز pH-متر.
- حساب التقدم النهائي X_f لتفاعل حمض مع الماء انطلاقا من معرفة تركيز و pH محلول هذا الحمض، ومقارنته مع التقدم الأقصى X_{max} .
- تعريف نسبة التقدم النهائي τ لتفاعل وتحديدها انطلاقا من معطيات تجريبية.
- تعرف حالة التوازن الكيميائية لمجموعة كيميائية.
- تفسير ميكروسكوبي لحالة توازن مجموعة كيميائية.

1 المحلول المائي:

- المحلول المائي خليط سائل متجانس، ناتج عن ذوبان نوع كيميائي أو أكثر في الماء.
- يسمى الماء بالمذيب و النوع الكيميائي المذاب فيه بالمذاب، ويمكن أن يكون في حالة صلبة أو سائلة أو غازية.

ملحوظة:

✓ في محلول مائي تكون جزيئات الماء متواجدة بوفرة. كما يمكن تعويض البروتون $H^+(aq)$ بأيون الأوكسونيوم $H_3O^+(aq)$.

2 الأحماض و القواعد حسب برونشترد:

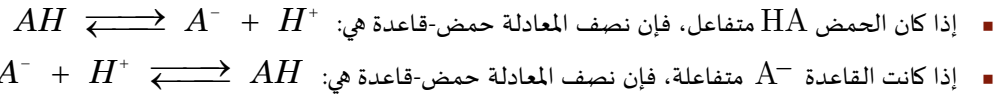
- الحمض نوع كيميائي، جزيئي أو أيوني، قادر على فقدان بروتون H^+ خلال تحول كيميائي.
- القاعدة نوع كيميائي، جزيئي أو أيوني، قادر على اكتساب بروتون H^+ خلال تحول كيميائي.

ملحوظة:

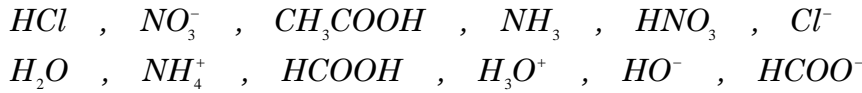
✓ الأمفوليت نوع كيميائي يلعب دور حمض أو قاعدة حسب الظروف التجريبية كالماء $H_2O(l)$ مثلا، $(H_3O^+/H_2O و H_2O/HO^-)$.

3 المزدوجة قاعدة / حمض (acide/base):

- كل حمض HA تقابله قاعدة مرافقة A^- و كل قاعدة A^- يقابلها حمض مرافق HA.
- يُكوّن الحمض و القاعدة المرافقة له مزدوجة قاعدة / حمض نرمز لها بـ HA/A^- . ونقرن بها نصف المعادلة حمض-قاعدة:



نشاط 1: انطلاقا من العناصر الكيميائية التالية حدد المزدوجات قاعدة/حمض، ثم اكتب نصف المعادلة حمض-قاعدة لكل مزدوجة:



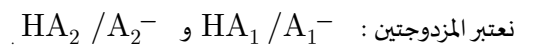
✓ جواب:

المزدوجة:	نصف المعادلة حمض-قاعدة	المزدوجة:	نصف المعادلة حمض-قاعدة
HCl/Cl^-	$HCl \rightleftharpoons Cl^- + H^+$	NH_4^+/NH_3	$NH_3 + H^+ \rightleftharpoons NH_4^+$
HNO_3/NO_3^-	$HNO_3 \rightleftharpoons NO_3^- + H^+$	H_2O/HO^-	$H_2O + H^+ \rightleftharpoons H_3O^+$
HCO_2H/HCO_2^-	$HCO_2H \rightleftharpoons HCO_2^- + H^+$	H_3O^+/H_2O	$HO^- + H^+ \rightleftharpoons H_2O$

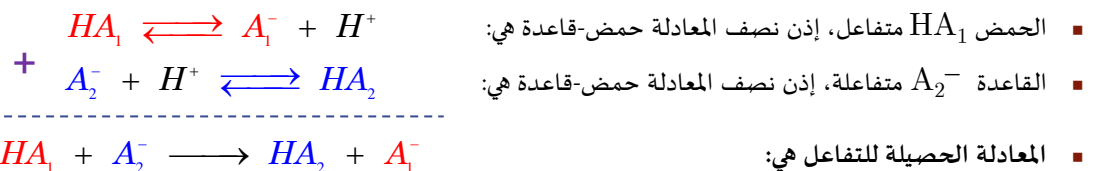
4 التحولات الحمضية - القاعدية:

! لا يمكن لحمض أن يفقد بروتونا إلا بوجود قاعدة لإكتسابه.

- التفاعل حمض - قاعدة هو تبادل بروتوني بين حمض مزدوجة وقاعدة من مزدوجة أخرى.



عند تفاعل الحمض HA_1 مع القاعدة A_2^- نحصل على المعادلة الحصيلة باتباع الخطوات التالية:



نشاط 2: حدد المزدوجتين المتدخلتين في التفاعل، ثم اكتب المعادلة الحصيلة للتفاعل حمض-قاعدة في الحالات التالية:

أ- تفاعل حمض البنزويك C_6H_5COOH مع الماء H_2O .

ب- تفاعل الأمونياك NH_3 مع حمض الميثانويك $HCOOH$.

ج- تفاعل حمض السليسليك $C_7H_6O_3$ مع أيون الهيدروكسيد HO^- .

✓ جواب:

المعادلة الحصيلة للتفاعل حمض-قاعدة	المزدوجتان المتفاعلتان
$C_6H_5COOH + H_2O \longrightarrow C_6H_5COO^- + H_3O^+$	أ- H_3O^+ / H_2O , $C_6H_5COOH / C_6H_5COO^-$
$HCOOH + NH_3 \longrightarrow HCOO^- + NH_4^+$	ب- $HCOOH / HCOO^-$, NH_4^+ / NH_3
$C_7H_6O_3 + HO^- \longrightarrow C_7H_5O_3^- + H_2O$	ج- H_2O / HO^- , $C_7H_6O_3 / C_7H_5O_3^-$

le pH d'une solution aqueuse

pH محلول مائي

II

1 تعريف pH محلول مائي:

◀ بالنسبة لمحلول مائي مخفف ($[H_3O^+] \leq 5.10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$)، نعرّف pH هذا المحلول بالعلاقة التالية:

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

◀ يمثل $[H_3O^+]$ عددا مساويا لتركيز أيونات الأوكسونيوم H_3O^+ معبر عنه بالوحدة mol.L^{-1} .

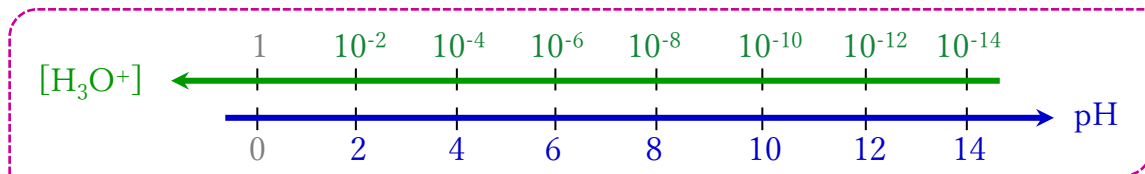
■ ملحوظات:

✓ pH مقدار بدون وحدة.

✓ يُمكن قياس pH من الحصول على قياس تركيز أيونات الأوكسونيوم بواسطة العلاقة: $[H_3O^+] = 10^{-pH} \text{ mol.L}^{-1}$

✓ يتغير pH و $[H_3O^+]$ في منحنيين متعاكسين.

✓ عمليا يتغير سلم pH من 0 إلى 14.



نشاط 3:

أ- احسب قيمة pH المحاليل التالية:

$$[H_3O^+]_3 = 0,080 \text{ mol.m}^{-3} \quad , \quad [H_3O^+]_2 = 1,00.10^{-5} \text{ mmol.L}^{-1} \quad , \quad [H_3O^+]_1 = 1,2.10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

ب- أوجد تركيز الأيونات H_3O^+ في المحاليل التالية: $pH_2 = 8,3$, $pH_1 = 5,02$

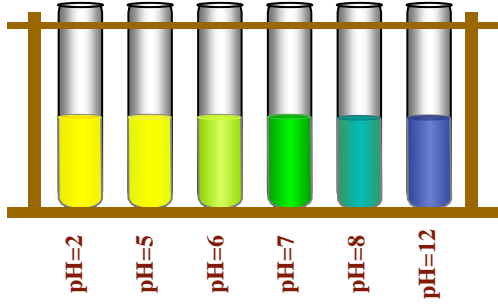
✓ جواب:

أ- نستعمل العلاقة $pH = -\log[H_3O^+]$ مع تحويل التراكيز إلى الوحدة mol.L^{-1} واحترام عدد الأرقام المعبرة:

$$\text{نجد: } pH_3 = 4,1 \quad ; \quad pH_2 = 8,00 \quad ; \quad pH_1 = -\log[H_3O^+]_1 = -\log(1,2.10^{-3}) = 2,9$$

$$\text{ب- } [H_3O^+]_2 = 10^{-8,3} = 5,0.10^{-9} \text{ mol.L}^{-1} \quad , \quad [H_3O^+]_1 = 10^{-pH_1} = 10^{-5,02} = 9,55.10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}$$

2 طرق قياس pH محلول مائي:



1 الكاشف الملون أزرق البروموتيمول BBT

استعمال الكواشف الملونة:

في بعض الأوساط الحمضية-القاعدية نستعمل كواشف يتغير لونها حسب قيم pH المحلول الذي توضع فيه، مما يسمح بتعيين تقريبي لقيمة pH المحلول.

استعمال ورق الـ pH :

هو ورق خاص مشرب بعدة كواشف ملونة يأخذ لونا مميزا عندما يوضع في محلول يتميز بـ pH مناسب لهذا اللون (الشكل 2).

استعمال الـ pH - متر :

هو عبارة عن ميليفولتметр إلكتروني يقيس التوتر بين إلكترود مرجعي وإلكترود آخر موضوع في المحلول المراد تعيين قيمة الـ pH له. يعطي جهاز pH-متر أدق قيمة، وقبل استعماله يجب تعييره بمحاليل ذات pH معروف.

ملحوظة:

في المختبر تستعمل بعض مقاييس pH التي تقيس pH بارتياح مطلق يساوي $\Delta pH = 0,05$. إذا أعطى قياس pH محلول القيمة $pH = 4,21$ فإن الارتياح النسبي على حساب تركيز أيونات الأوكسونيوم هو:

لدينا: $[H_3O^+] = 10^{-4,21} = 6,17 \cdot 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$ و $\Delta pH = 0,05$

إذن: $4,16 < pH < 4,26$ أي: $4,21 - 0,05 < pH < 4,21 + 0,05$

ومنه: $10^{-4,26} \text{ mol.L}^{-1} < [H_3O^+] < 10^{-4,16} \text{ mol.L}^{-1}$

أي: $5,50 \cdot 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1} < [H_3O^+] < 6,92 \cdot 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$

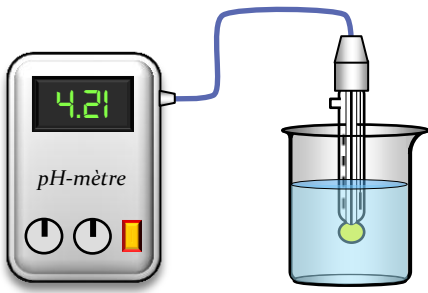
وبالتالي: $\Delta[H_3O^+] = \frac{6,92 \cdot 10^{-5} - 5,50 \cdot 10^{-5}}{2} = 7,10 \cdot 10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}$

ونكتب: $[H_3O^+] = (6,17 \pm 0,71) \cdot 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$

الارتياح النسبي هو: $\frac{\Delta[H_3O^+]}{[H_3O^+]} = \frac{7,10 \cdot 10^{-6}}{6,17 \cdot 10^{-5}} = 0,115 = 11,5\%$



2 ورق pH يعطي القيمة التقريبية $pH \approx 10$



3 جهاز pH-متر يشير إلى القيمة $pH = 4,21$

خلاصة : لا يسمح جهاز pH-متر بقياس دقيق لتركيز أيونات الأوكسونيوم في المحلول.

III التحول الكيميائي الكلي و التحول الكيميائي المحدود:

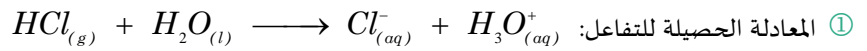
1 التحول الكيميائي الكلي - نشاط 4 :

عند إذابة $n = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ من غاز كلورور الهيدروجين $HCl_{(g)}$ في حجم الماء المقطر، $V = 100 \text{ mL}$ نحصل على محلول حمض الكلوريدريك تركيزه $C = 3,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. وبواسطة جهاز pH-متر حصلنا على القيمة $pH = 1,42$.

• المزدوجتان قاعدة / حمض المتدخلتان في التفاعل هما: $H_3O^+_{(aq)} / H_2O_{(l)}$ و $HCl_{(g)} / Cl^-_{(aq)}$.

استثمار:

- 1 اكتب المعادلة الحصيلة للتفاعل.
- 2 أنشئ الجدول الوصفي لتقدم التفاعل باستعمال الرموز C و V و تقدم التفاعل X و التقدم النهائي X_f و التقدم الأقصى X_{max} .
- 3 احسب التقدم الأقصى X_{max} .
- 4 باستعمال العلاقة $[H_3O^+] = 10^{-pH}$ ، احسب التركيز النهائي $[H_3O^+]_f$ و استنتج التقدم النهائي X_f .
- 5 استنتج حصيلة المادة في الحالة النهائية.
- 6 قارن X_f مع X_{max} . متى يكون التحول الكيميائي كليا؟



② الجدول الوصفي لتقدم التفاعل:

المعادلة الكيميائية		$\text{HCl}_{(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \longrightarrow \text{H}_3\text{O}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$				
حالة المجموعة	تقدم التفاعل	كميات المادة بالمول mol				
الحالة البدئية $t = 0$	0	C.V	وافر		0	0
حالة وسيطة	x	$C.V - x$	وافر		x	x
حالة اختفاء كلي للحمض	x_{max}	$C.V - x_{max}$	وافر		x_{max}	x_{max}
الحالة النهائية التجريبية	x_f	$C.V - x_f$	وافر		x_f	x_f

③ حساب التقدم الأقصى x_{max} (حالة اختفاء كلي لـ HCl):

بما أن الماء متواجد بوفرة فإن المتفاعل المحد هو غاز كلورور الهيدروجين المذاب، أي أن تطور التحول الكيميائي يتوقف عندما يتفكك غاز كلورور الهيدروجين كلياً في الماء. وبالتالي: $C.V - x_{max} = 0 \iff x_{max} = C.V = 3,810^{-2} \times 100.10^{-3} = 3,810^{-3} mol$

$$\text{④ لدينا: } [H_3O^+]_f = 10^{-pH} = 10^{-1,42} = 3,810^{-2} mol.L^{-1}$$

وحسب الجدول الوصفي: $x_f = n_f(H_3O^+)$ ومنه: $x_f = [H_3O^+]_f \cdot V = 10^{-pH} \cdot V = 10^{-1,42} \times 100.10^{-3} = 3,810^{-3} mol$

⑤ حصيلة المادة في الحالة النهائية: $n_f(H_3O^+)_f = n_f(Cl^-) = x_f = 3,810^{-3} mol$ و $n_f(HCl) = C.V - x_f = 0$

⑥ نلاحظ أن $x_f = x_{max}$. يكون التحول كلياً إذا كان التقدم النهائي مساوياً للتقدم الأقصى.

خلاصة:

يتميز التحول الكلي أو التام باختفاء كلي لأحد المتفاعلات على الأقل من المجموعة الكيميائية. وفي هذه الحالة تكون قيمة التقدم الأقصى x_{max}

$$\text{مساوية لقيمة التقدم النهائي } x_f: x_f = x_{max}$$

2 التحول الكيميائي المحدود - نشاط 5:

نصب قليلاً من الماء في حوجلة، ونضيف إليه حجماً $V_1 = 2,0 mL$ من حمض الإيثانويك الخالص CH_3COOH ذي تركيز C_1 ، ثم نملأ الحوجلة بالماء، إلى حدود الخط العياري للخصوص على حجم $V_2 = 1,0 L$ من محلول حمض الإيثانويك المخفف تركيزه C_2 . بواسطة جهاز pH-متر نقيس pH المحلول المخفف فنحصل على القيمة $pH = 3,10$.

◆ **معطيات:** الكتلة الحجمية لحمض الإيثانويك هي $\rho = 1,05 g.cm^{-3}$ وكتلته المولية $M = 60 g.mol^{-1}$.

◆ استثمار:

① ما المزدوجتان قاعدة/حمض المتدخلتان في التفاعل؟ استنتج المعادلة الحصيلة للتفاعل بين كل من الحمض والماء.

② احسب كمية المادة البدئية لحمض الإيثانويك ثم استنتج التركيز C_2 .

③ أنشئ الجدول الوصفي لتقدم التفاعل واستنتج التقدم الأقصى x_{max} .

④ باستعمال العلاقة $[H_3O^+] = 10^{-pH}$ ، احسب التركيز النهائي $[H_3O^+]_f$ واستنتج التقدم النهائي x_f .

⑤ أوجد حصيلة المادة في الحالة النهائية.

⑥ قارن x_f مع x_{max} . متى يكون التحول الكيميائي محدوداً؟

① المزدوجتان قاعدة / حمض المتدخلتان في التفاعل هما: $\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}/\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ و $\text{CH}_3\text{COOH}_{(aq)}/\text{CH}_3\text{COO}^-_{(aq)}$



② حساب كمية المادة البدئية لحمض الإيثانويك: $n_i(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m}{M} = \frac{\rho \cdot V_1}{M} = \frac{1,05 \times 2,0}{60} = 3,510^{-2} mol$

ومنه: $C_2 = \frac{n_i}{V_2} = \frac{3,510^{-2}}{1,0} = 3,510^{-2} mol.L^{-1}$ (كمية المادة، في الحالة البدئية، لا تتأثر بالتخفيف).

③ أنشئ الجدول الوصفي لتقدم التفاعل:

المعادلة الكيميائية		$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$				
حالة المجموعة	تقدم التفاعل	كميات المادة بالمول mol				
الحالة البدئية $t = 0$	0	$n_i = C_2 \cdot V_2$	وافر		0	0
حالة وسيطة	x	$n_i - x$	وافر		x	x
حالة اختفاء كلي للحمض	x_{max}	$n_i - x_{max}$	وافر		x_{max}	x_{max}
الحالة النهائية التجريبية	x_f	$n_i - x_f$	وافر		x_f	x_f

التقدم الأقصى x_{max} (حالة اختفاء كلي لـ CH_3COOH):

$$x_{max} = n_i = C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \leftarrow n_i - x_{max} = 0 \text{ إذن: الماء متواجد بوفرة.}$$

④ لدينا: $[H_3O^+]_f = 10^{-pH} = 10^{-3,10} = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$

وحسب الجدول الوصفي: $x_f = n_f(H_3O^+)$ ومنه: $x_f = [H_3O^+]_f \cdot V_2 = 10^{-pH} \cdot V_2 = 10^{-1,42} \times 1,0 = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$

⑤ حصيلة المادة في الحالة النهائية: $n_f(CH_3COOH) = C_2 \cdot V_2 - x_f = 3,5 \cdot 10^{-2} - 7,9 \cdot 10^{-4} = 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$

$$n_f(H_3O^+)_f = n_f(CH_3COO^-) = x_f = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

⑥ نلاحظ أن $x_f < x_{max}$. يكون التحول كليا إذا كان التقدم النهائي أصغر من التقدم الأقصى.

خلاصة:

التحول غير الكلي أو المحدود هو الذي يتوقف تطوره دون اختفاء كلي لأي متفاعل من المجموعة الكيميائية، وفي هذه الحالة تكون قيمة التقدم

النهائي x_f أصغر من قيمة التقدم الأقصى x_{max} التقدم النهائي $x_f < x_{max}$

3 نسبة التقدم النهائي:

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}}$$

نسبة التقدم النهائي τ لتفاعل كيميائي هي خارج قسمة التقدم النهائي x_f على التقدم الأقصى x_{max} لهذا التفاعل:

يمكن التعبير عنه بنسبة مئوية.

ملحوظة:

← إذا كان $\tau = 1 = 100\%$ (أي $x_f = x_{max}$): يكون التحول كليا.

← إذا كان $0 < \tau < 1$ (أي $x_f < x_{max}$): يكون التحول محدودا.

مثال:

بالنسبة لتفاعل حمض الإيثانويك مع الماء وجدنا: $x_{max} = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$ و $x_f = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ نجد: $\tau = 0,0226 = 2,26\%$. يعني أن 2,26% فقط من جزيئات حمض الإيثانويك البدئية تفككت في الماء.

4 منحنى تطور مجموعة كيميائية:

نشاط تجريبي:

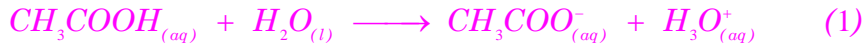
بعد إضافة قطرة من إيثانوات الصوديوم اللاماني

حمض الإيثانويك تركيزه: $C = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$

بعد إضافة قطرة من حمض الإيثانويك الخالص

تفسير

عند إضافة حمض الإيثانويك الخالص (CH_3COOH) لمحلول حمض الإيثانويك، وقع تناقص في قيمة pH المحلول، مما يدل على أن التركيز النهائي لأيونات الأوكسونيوم $H_3O^+_{(aq)}$ قد تزايد، و يفسر هذا بحدوث تطور المجموعة الكيميائية في منحنى تكون أيونات الأوكسونيوم. يسمى هذا المنحنى بالمنحنى المباشر لمعادلة لتفاعل:

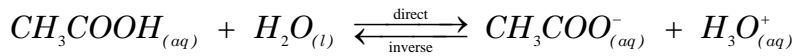


عند إضافة إيثانوات الصوديوم اللامائي ($CH_3COO^- + Na^+$) لمحلول حمض الإيثانويك، وقع تزايد في قيمة pH المحلول، مما يدل على أن التركيز النهائي لأيونات الأوكسونيوم $H_3O^+_{(aq)}$ قد تناقص، و يفسر هذا بحدوث تطور المجموعة الكيميائية في منحنى اختفاء أيونات الأوكسونيوم. يسمى هذا المنحنى بالمنحنى المعاكس لمعادلة لتفاعل:



نلاحظ أن نواتج المعادلة (1) هي متفاعلات المعادلة (2) والعكس.

نستنتج أن التفاعل الموافق لهذا التحول يحدث في المنحنيين، وللتعبير عنه نستعمل الإشارة \rightleftharpoons في كتابة معادلة التفاعل.



- ◆ بصفة عامة، يقترن بكل تحول محدود، تفاعل يحدث في المنحنيين. نعبّر عنه بالمعادلة التالية: $A + B \rightleftharpoons C + D$
- ◆ عندما يكون التحول الكيميائي محدوداً، تكون الحالة النهائية للمجموعة في توازن كيميائي.

5 التفسير الميكروسكوبي لحالة التوازن:



عند التوازن تبقى تراكيز المتفاعلات والنواتج ثابتة، وعلى المستوى الميكروسكوبي يتم التفاعل في المنحنيين (1) و (2) بنفس السرعة.

أي: $v_1 = v_2$ ، نقول في هذه الحالة أن التوازن الكيميائي ديناميكي. (مماثلة: عدد الولادات = عدد الوفيات \Leftrightarrow عدد السكان ثابت (توازن)).

تمرين تطبيقي | 20 min

نذيب كتلة $m = 1,48 \text{ g}$ من حمض البروبانويك الخالص C_2H_5COOH في الماء المقطر فنحصل على محلول مائي لحمض البروبانويك تركيزه المولي C وحجمه $V = 400 \text{ mL}$.

أعطى قياس pH هذا المحلول، عند 25°C ، القيمة $pH = 3,09$.

■ **نعطي:** الكتلة المولية لحمض البروبانويك هي: $M = 74 \text{ g.mol}^{-1}$.

- 1 احسب كمية مادة الحمض البدئية و استنتج تركيزه C .
- 2 أكتب المعادلة الحصيلة للتفاعل.
- 3 أنشئ الجدول الوصفي لتقدم التفاعل مبرزاً فيه الحالة النهائية.
- 4 بين أن تعبير نسبة التقدم النهائي للتفاعل τ يمكن كتابته على شكل $\tau = \frac{10^{-pH}}{C}$.
- 5 احسب قيمة τ . هل التحول المدروس كلي أم محدود؟

عناصر الإجابة

$$C = \frac{n}{V} = \frac{2,0 \cdot 10^{-2}}{400 \cdot 10^{-3}} = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \quad \Leftarrow \quad n = \frac{m}{M} = \frac{1,48}{74} = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$



3 الجدول الوصفي: مثل الجدول الممثل في الصفحة 6.

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{n_f(H_3O^+)}{C \cdot V} = \frac{[H_3O^+] \cdot V}{C \cdot V} = \frac{10^{-pH}}{C}$$

$$5 \text{ حساب } \tau : \tau = \frac{10^{-3,09}}{5,0 \cdot 10^{-2}} = 0,016 = 1,6\% \quad . \text{ بما أن } \tau < 1 \text{ فإن التحول محدود.}$$



نشاط تمهيدي

تتطور المجموعة الميكانيكية تلقائياً نحو حالة التوازن. وهذا ما يحدث كذلك بالنسبة لبعض المجموعات الكيميائية.

نقرن بكل معادلة تفاعل ثابتة تسمى ثابتة التوازن نرمز لها بـ K .

- ما ثابتة التوازن؟ وكيف يتم تحديدها؟
- ما هي العوامل المؤثرة على قيمة ثابتة التوازن؟

الغلاف الزمني (درس + تمارين)
4 ساعات (1+3)

الضفة المستهدفة
الثانية بكالوريا - جميع الشعب والمسالك العلمية

تصميم الدرس

- خارج التفاعل Q_r :
 - تعريف - أمثلة في وسط متجانس - أمثلة في وسط غير متجانس.
- حالة التوازن لمجموعة كيميائية:
 - مواصلة محلول إلكتروليتي - خارج التفاعل في حالة التوازن - ثابتة التوازن الموافقة لمعادلة التفاعل.
- العوامل المؤثرة على نسبة التقدم النهائي τ لتحول محدود:
 - تأثير ثابتة التوازن K - تأثير الحالة البدئية للمجموعة الكيميائية.

معارف ومهارات

- استغلال العلاقة بين المواصلة G لجزء من محلول (أو الموصلية σ) والتراكيز المولية الفعلية للأيونات المتواجدة في هذا المحلول.
- معرفة أن كميات المادة لا تتطور عند تحقق حالة توازن المجموعة وأن هذه الحالة تكون ديناميكية.
- إعطاء التعبير الحرفي لخارج التفاعل Q_r انطلاقاً من معادلة التفاعل واستغلاله.
- معرفة أن $Q_{r,eq}$ خارج التفاعل لمجموعة في حالة توازن يأخذ قيمة لا تتعلق بالتراكيز تسمى ثابتة التوازن K الموافقة لمعادلة التفاعل $K = Q_{r,eq}$.
- معرفة أن نسبة التقدم النهائي لتحول معين تتعلق بثابتة التوازن وبالحالة البدئية للمجموعة.

1 تعريف:

خارج التفاعل مقدار يميز مجموعة كيميائية في حالة معينة، حيث تمكن قيمته من تتبع تطور المجموعة المدروسة.

نعتبر التحول المحدود المعبر عنه بالمعادلة التالية: $aA_{(aq)} + bB_{(aq)} \rightleftharpoons cC_{(aq)} + dD_{(aq)}$ حيث توجد المتفاعلات و النواتج في محلول مائي.

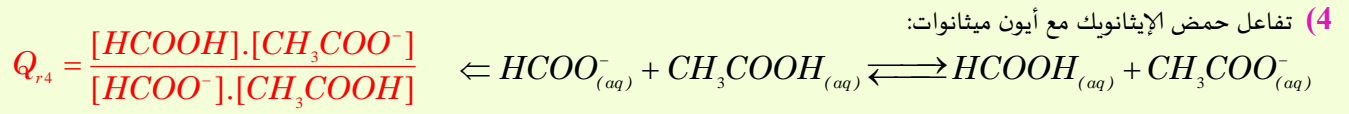
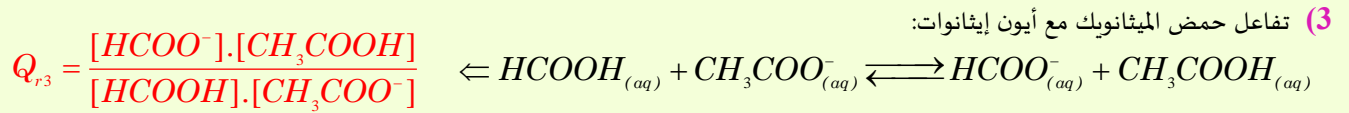
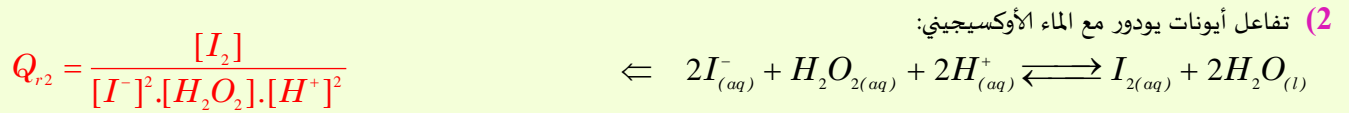
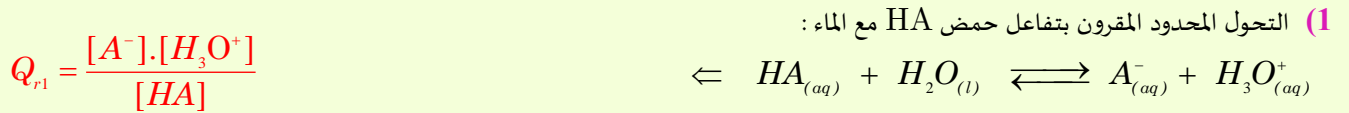
بالنسبة لحالة معينة لتطور المجموعة يعرف خارج التفاعل Q_r بالعلاقة: $Q_r = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$

ملحوظات:

- ✓ خارج التفاعل Q_r مقدار بدون وحدة.
- ✓ [A] و [B] و [C] و [D] تمثل الأعداد التي تقيس على التوالي تركيز الأنواع A و B و C و D ، معبر عنهم بالوحدة $mol.L^{-1}$.
- ✓ لا تمثل في تعبير Q_r إلا الأنواع المذابة في المحلول المائي.
- ✓ لا تمثل في تعبير Q_r الأنواع الكيميائية الصلبة. وعندما يكون الماء مذيبا نأخذ $[H_2O] = 1$.
- ✓ تتغير قيمة Q_r خلال تطور المجموعة الكيميائية.

2 أمثلة في وسط متجانس:

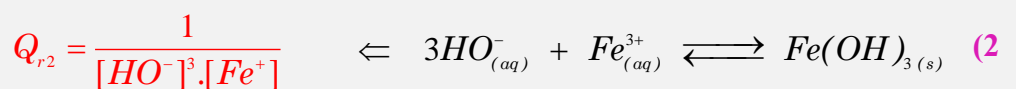
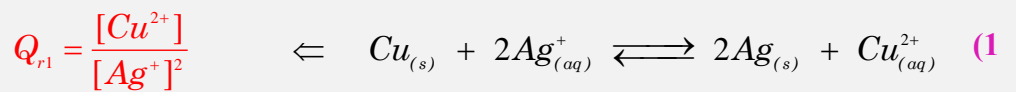
نشاط 1: اكتب تعبير خارج التفاعل Q_r في الحالات التالية (جميع الأنواع مميبة أو سائلة):



نلاحظ أن $Q_{r3} = \frac{1}{Q_{r4}}$ ، وبالتالي فإن تعبير خارج التفاعل يتعلق بمنحى كتابة معادلة التفاعل.

3 أمثلة في وسط غير متجانس:

نشاط 2: اكتب تعبير خارج التفاعل Q_r في الحالات التالية (وجود أجسام صلبة):



« عند حالة التوازن الكيميائي نرمز للتقدم النهائي للتفاعل بـ $x_{\text{éq}}$ وللخارج التفاعل بـ $Q_{r,\text{éq}}$ ، حيث $x_{\text{éq}} = x_f$ »

1 مواصلة محلول إلكتروليتي:

◀ نعر عن مواصلة محلول إلكتروليتي بالعلاقة: $G = \frac{S}{L} \cdot \sigma$ ، ويكون تعبير الموصلية هو: $\sigma = \frac{L}{S} \cdot G = k \cdot G$.

◻ k تسمى ثابتة الخلية وحدتها m^{-1} .

◀ بالنسبة لمحلول إلكتروليتي مخفف يحتوي على أيونات X_i تراكيزها المولية $[X_i]$ ، نعر عن موصلية المحلول بالعلاقة:

$$\sigma = \sum \lambda_{X_i} \cdot [X_i]$$

◻ λ_{X_i} تمثل الموصلية المولية الأيونية للأيون X_i بالوحدة $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$ ، والتركيـز $[X_i]$ بالوحدة $mol \cdot m^{-3}$ و σ بـ $S \cdot m^{-1}$.

2 خارج التفاعل $Q_{r,\text{éq}}$ في حالة التوازن:

◀ نشاط 3: تحديد $Q_{r,\text{éq}}$ خارج التفاعل في حالة التوازن بواسطة قياس الموصلية :

نحضر محلولاً مائياً، حجمه V ، لحمض الإيثانويك $CH_3COOH_{(aq)}$ تركيزه المولي $C = 50 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$. نقيس موصلية هذا المحلول عند درجة الحرارة $25^\circ C$ فنجد $\sigma_{\text{éq}} = 37,2 \text{ mS} \cdot m^{-1}$.

◻ الموصليات المولية الأيونية: $\lambda_{H_3O^+} = 35 \text{ mS} \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$ ؛ $\lambda_{CH_3COO^-} = 4,09 \text{ mS} \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$.

◻ نهمل تأثير الأيونات HO^- على موصلية المحلول.

◻ نقيس الموصلية σ لمحاليل مائية لحمض الإيثانويك ذات تراكيز مولية مختلفة عند نفس درجة الحرارة ($25^\circ C$) ، و ندون النتائج المحصل عليها في الجدول جانبه.

$C_i \text{ (mol} \cdot L^{-1}\text{)}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
$\sigma_{\text{éq}} \text{ (mS} \cdot m^{-1}\text{)}$	5,2	11,4	37,2

◻ استئمان:

① أنجز الجدول الوصفي لتقدم التفاعل مبرزا فيه حالة التوازن.

② باستغلال الجدول الوصفي، بين أن تعبير التراكيز عند التوازن هو: $[H_3O^+]_{\text{éq}} = [CH_3COO^-]_{\text{éq}} = \frac{\sigma_{\text{éq}}}{\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{CH_3COO^-}}$ و $[CH_3COOH]_{\text{éq}} = C_i - \frac{\sigma_{\text{éq}}}{\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{CH_3COO^-}}$.

③ عبر عن خارج التفاعل عند التوازن $Q_{r,\text{éq}}$ بدلالة تركيز أيونات الأوكسونيوم عند التوازن $[H_3O^+]_{\text{éq}}$ و التركيز C_i .

④ أحسب في كل حالة تركيز أيونات الأوكسونيوم $[H_3O^+]_{\text{éq}}$ و خارج التفاعل $Q_{r,\text{éq}}$ عند التوازن (دون النتائج في جدول).

⑤ يأخذ خارج التفاعل $Q_{r,\text{éq}}$ عند حالة التوازن قيمة ثابتة التوازن رمزها K . ما قيمة ثابتة التوازن ؟

⑥ علل سبب تسمية المقدار K بثابتة التوازن ؟

① الجدول الوصفي:

المعادلة الكيميائية		$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$				
حالة المجموعة	تقدم التفاعل	كميات المادة بالمول mol				
الحالة البدئية	0	$C \cdot V$	وافر		0	0
حالة وسيطة	x	$C \cdot V - x$	وافر		x	x
حالة التوازن	$x_{\text{éq}}$	$C \cdot V - x_{\text{éq}}$	وافر		$x_{\text{éq}}$	$x_{\text{éq}}$

② لدينا : $\sigma_{\acute{e}q} = \lambda_{H_3O^+} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q} + \lambda_{CH_3COO^-} \cdot [CH_3COO^-]_{\acute{e}q}$
 حسب الجدول الوصفي، لدينا : $x_{\acute{e}q} = [H_3O^+]_{\acute{e}q} = [CH_3COO^-]_{\acute{e}q} = \frac{x_{\acute{e}q}}{V} \Leftrightarrow (H_3O^+)_{\acute{e}q} = (CH_3COO^-)_{\acute{e}q} = x_{\acute{e}q}$

ومنه : $[H_3O^+]_{\acute{e}q} = [CH_3COO^-]_{\acute{e}q} = \frac{\sigma_{\acute{e}q}}{\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{CH_3COO^-}}$ أي : $\sigma_{\acute{e}q} = (\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{CH_3COO^-}) \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}$

من جهة أخرى : $[CH_3COOH]_{\acute{e}q} = \frac{C_i \cdot V - x_{\acute{e}q}}{V} = C_i - \frac{x_{\acute{e}q}}{V} = C_i - [H_3O^+]_{\acute{e}q} = C_i - \frac{\sigma_{\acute{e}q}}{\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{CH_3COO^-}}$

③ لدينا حسب معادلة التفاعل : $Q_{r,\acute{e}q} = \frac{[H_3O^+]_{\acute{e}q} \cdot [CH_3COO^-]_{\acute{e}q}}{[CH_3COOH]_{\acute{e}q}}$

بما أن : $[H_3O^+]_{\acute{e}q} = [CH_3COO^-]_{\acute{e}q}$ و $[CH_3COOH]_{\acute{e}q} = C_i - [H_3O^+]_{\acute{e}q}$

فإن : $Q_{r,\acute{e}q} = \frac{[H_3O^+]_{\acute{e}q}^2}{C_i - [H_3O^+]_{\acute{e}q}}$

$1,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$C_i (mol.L^{-1})$
4,9	11,4	37,2	$\sigma_i (mS.m^{-1})$
$1,25 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$[H_3O^+]_{\acute{e}q} (mol.L^{-1})$
$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$Q_{r,\acute{e}q}$

④ حساب $[H_3O^+]_{\acute{e}q}$ و $Q_{r,\acute{e}q}$ (الجدول جانبه):

⑤ من خلال الجدول : $K = Q_{r,\acute{e}q} = 1,8 \cdot 10^{-5}$

⑥ نلاحظ أن $Q_{r,\acute{e}q1} = Q_{r,\acute{e}q2} = Q_{r,\acute{e}q3} = K$

عند التوازن، يأخذ المقدار K قيمة ثابتة لا تتعلق بالتركيز البدئية للمجموعة الكيميائية، وهذا ما يعطى تسمية K بثابتة التوازن.

3 ثابتة التوازن الموافقة لمعادلة التفاعل:

■ ثابتة التوازن K هي القيمة التي يأخذها التي يأخذها خارج التفاعل عند حالة التوازن الكيميائي: $K = Q_{r,\acute{e}q}$

بالنسبة لتفاعل في محلول مائي، المعبر عنه بالمعادلة: $aA_{(aq)} + bB_{(aq)} \rightleftharpoons cC_{(aq)} + dD_{(aq)}$

$$K = Q_{r,\acute{e}q} = \frac{[C]_{\acute{e}q}^c \cdot [D]_{\acute{e}q}^d}{[A]_{\acute{e}q}^a \cdot [B]_{\acute{e}q}^b}$$

■ نبرعن ثابتة التوازن الموافقة لمعادلة التفاعل بالعلاقة:

■ ملحوظة:

✓ تتعلق قيمة ثابتة التوازن K فقط بطبيعة المتفاعلات ودرجة الحرارة، ولا تتعلق بالحالة البدئية للمجموعة الكيميائية.

المحلول	حمض الميثانويك	حمض الإيثانويك	حمض البنزويك
ثابتة التوازن K عند $25^\circ C$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$

III العوامل المؤثرة على نسبة التقدم النهائي τ لتفاعل :

4 تأثير ثابتة التوازن K :

■ الحالة النهائية لتحول غير كلي هي حالة التوازن. أي : $x_f = x_{\acute{e}q}$ و $\tau = \frac{x_{\acute{e}q}}{x_{max}}$

بالنسبة لتفاعل حمض HA مع الماء : $HA + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-$

باستغلال الجدول الوصفي. نجد $x_{max} = C \cdot V$ حيث الحمض هو المتفاعل المحد. كما يمكن حساب $x_{\acute{e}q}$ و τ بتطبيق العلاقة:

$$\tau = \frac{[H_3O^+]_{\acute{e}q} \cdot V}{C \cdot V} = \frac{[H_3O^+]_{\acute{e}q}}{C} = \frac{\sigma_{\acute{e}q}}{(\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{A^-}) \cdot C} \quad \text{و} \quad x_{\acute{e}q} = [H_3O^+]_{\acute{e}q} \cdot V = \frac{\sigma_{\acute{e}q} \cdot V}{\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{A^-}}$$

حمض الإيثانويك	حمض البيزويك	حمض الميثانويك	محلول تركيزه البدئي $C = 5.10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$
$1,8.10^{-5}$	$6,4.10^{-5}$	$1,8.10^{-4}$	ثابتة التوازن K عند 25°C
2%	3%	6%	نسبة التقدم النهائي τ

عند تفاعل حمض HA مع الماء H_2O ، نبين أن تعبير ثابتة التوازن يكتب على شكل: $K = \frac{C \cdot \tau^2}{1 - \tau}$.

كلما كانت ثابتة التوازن كبيرة، تكون نسبة التقدم النهائي مرتفعة.

■ بصفة عامة، تتعلق نسبة التقدم النهائي τ للتفاعل بثابتة التوازن K الموافق لمعادلة التفاعل.

2 تأثير الحالة البدئية للمجموعة الكيميائية:

5.10^{-4}	5.10^{-3}	5.10^{-2}	حمض الإيثانويك تركيزه البدئي $C_i (\text{mol.L}^{-1})$
17%	6%	2%	نسبة التقدم النهائي τ

كلما كان المحلول مخففاً (تركيزه ضعيف)، تكون نسبة التقدم النهائي لتفاعله مع الماء كبيرة.

■ بصفة عامة، تتعلق نسبة التقدم النهائي τ لتفاعل محدود بالحالة البدئية للمجموعة الكيميائية.

تمرين موضوعاتي | 30 min

حمض الفورميك (acide formique) أو حمض الميثانويك HCOOH سائل عديم اللون ذوارحة مميزة، تفرزه النملة (fourmi) لتتبع أثرها في جحرها أو عند إحساسها بالخطر. كما يوجد كذلك في سم النحل.

نذيب كتلة m من هذا الحمض في حجم $V = 100 \text{ mL}$ من الماء المقطر. فنحصل على محلول مائي (S) لحمض الميثانويك تركيزه المولي $C = 1,00.10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. أعطى قياس pH هذا المحلول القيمة $\text{pH} = 2,90$.

■ نعطي: الكتلة المولية لحمض الفورميك هي: $M = 46 \text{ g.mol}^{-1}$.

■ الموصلية المولية الأيونية عند 25°C : $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35,0.10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$; $\lambda_{\text{HCOO}^-} = 5,46.10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$.

① احسب الكتلة m .

② أنشئ الجدول الوصفي لتقدم التفاعل مستعملاً المقادير التالية: تقدم التفاعل x والتقدم عند حالة التوازن $x_{\text{éq}}$ و C و V .

③ حدد قيمة نسبة التقدم النهائي τ لهذا التفاعل. ماذا تستنتج ؟

④ بين أن تعبير خارج التفاعل $Q_{r,\text{éq}}$ عند حالة توازن المجموعة الكيميائية يكتب على الشكل التالي: $Q_{r,\text{éq}} = \frac{C \cdot \tau^2}{1 - \tau}$.

⑤ استنتج قيمته ثابتة التوازن K لهذا التفاعل.

⑥ أوجد قيمة $\sigma_{\text{éq}}$ موصلية المحلول عند التوازن.

⑦ نخفف المحلول (S) عشر مرات فنحصل على محلول S' تركيزه $C' = 1,00.10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$.

ما قيمة ثابتة التوازن K' و نسبة التقدم النهائي τ' للمحلول (S') .

عناصر الإجابة

① حساب الكتلة m : $m = C \cdot V \cdot M = 4,610^{-2} \text{ g}$

③ نسبة التقدم النهائي: $\tau = \frac{10^{-\text{pH}}}{C} = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq}}}{C} = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq}} \cdot V}{C \cdot V} = \frac{n(H_3O^+)_{\text{éq}}}{C \cdot V} = \frac{x_{\text{éq}}}{x_{\text{max}}} = 0,126$. $\tau < 1$. التحول محدود.

④ تعبير $Q_{r,\text{éq}}$: $Q_{r,\text{éq}} = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq}} \cdot [HCOO^-]_{\text{éq}}}{[HCOOH]_{\text{éq}}} = \frac{(\tau \cdot C) \cdot (\tau \cdot C)}{C - (\tau \cdot C)} = \frac{\tau^2 \cdot C^2}{C(1 - \tau)} = \frac{\tau^2 \cdot C}{1 - \tau}$

⑤ حساب K : $K = Q_{r,\text{éq}} = 1,8.10^{-4}$.

⑥ حساب $\sigma_{\text{éq}}$: $\sigma_{\text{éq}} = \lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} \cdot [H_3O^+]_{\text{éq}} + \lambda_{\text{HCOO}^-} \cdot [HCOO^-]_{\text{éq}} = (\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} + \lambda_{\text{HCOO}^-}) 10^{-\text{pH}} \times 10^3 = 0,051 \text{ S.m}^{-1}$.

⑦ ثابتة التوازن لا تتأثر بالتخفيف. إذن: $K' = K = 1,8.10^{-4}$ و $\tau' = 0,34$ (نعوض τ بـ τ' و C بـ C' في تعبير $Q_{r,\text{éq}}$)

في المسابح الأولمبية، يتم القضاء على البكتيريا المضرة بواسطة أيونات تحت الكلوريت ClO^- وذلك بإضافة ماء جافيل. وحتى يكون التطهير فعالا، يجب ان يكون pH ماء المسبح محصورا بين 7,0 و 7,6. في هذا المجال لقيمة pH ، لا يهيمن أي نوع من بين النوعين HClO و ClO^- .
لكي لا يشكل ماء المسبح أي خطر على السباحين، يجب أن يكون التركيز الكلي لعنصر الكلور Cl (بشكله HClO و ClO^-) محصورا بين القيمتين 1mg.L^{-1} و 2mg.L^{-1} .
◀ كيف يتم ضبط هذه القيم والتحكم فيها؟
◀ كيف يتم تحديد النوع المهيمن في مياه المسبح؟



تدوير

الغلاف الزمني (درس + تمارين)
10 ساعات (2+8)

الغاية المستهدفة
الثانية بكالوريا - جميع الشعب والمسالك العلمية

تصميم الدرس

- المحلول المائي،
- ثابتة الحمضية K_A و pK_A لمزدوجة قاعدة/حمض،
- سلوك الأحماض والقواعد في محلول مائي،
- مجال الهيمنة ومخطط توزيع الأنواع الحمضية والقاعدية في محلول مائي،
- ثابتة التوازن المقرونة بتفاعل حمض-قاعدة،
- المعايير الحمضية القاعدية،
- المعايير بقياس pH ،

معارف ومهارات

- ◀ معرفة أن الجداء الأيوني للماء هو ثابتة التوازن المقرونة بتفاعل التحلل البروتوني الذاتي للماء.
- ◀ معرفة العلاقة $\text{pK}_e = -\log K_e$.
- ◀ تحديد، طبيعة محلول مائي (حمضي أو قاعدي أو محايد) انطلاقا من قيمة pH المحلول.
- ◀ تحديد، قيمة pH محلول مائي انطلاقا من التركيز المولي للأيونات H_3O^+ أو HO^- .
- ◀ كتابة تعبير ثابتة الحمضية pK_A الموافقة لمعادلة تفاعل حمض مع الماء واستغلاله.
- ◀ معرفة العلاقة $\text{pK}_A = -\log K_A$.
- ◀ تحديد ثابتة التوازن المقرونة بالتفاعل حمض-قاعدة بواسطة ثابتي الحمضية للمزدوجتين المتواجدين معا.
- ◀ تعيين النوع المهيمن، انطلاقا من معرفة pH المحلول المائي و pK_A المزدوجة قاعدة/حمض.
- ◀ استغلال مخططات هيمنة وتوزيع الأنواع الحمضية والقاعدية في محلول.
- ◀ معرفة التركيب التجريبي للمعايرة.
- ◀ كتابة معادلة التفاعل الحاصل أثناء المعايرة باستعمال سهم واحد.
- ◀ استغلال منحى أو نتائج المعايرة
- ◀ معلمة التكافؤ خلال معايرة حمض. قاعدة واستغلاله.
- ◀ تحليل اختيار الكاشف الملون الملائم لمعلمة التكافؤ.

1 التحلل البروتوني الذاتي للماء

الماء الخالص موصل رديء للتيار الكهربائي، وبالتالي فالماء الخالص يحتوي على كمية ضئيلة جدا من الأيونات. عند 25°C نقيس pH ماء مقطر فنجد $pH=7$ ، إذن فالماء الخالص يحتوي على أيونات الأوكسونيوم H_3O^+ بتركيز $[\text{H}_3\text{O}^+]=10^{-7} \text{ mol.L}^{-1}$. ما مصدر هذه الأيونات ؟

الأيونات H_3O^+ ناتجة عن تفاعل جزيئات الماء مع بعضها حسب المعادلة:



يسمى هذا التفاعل بالتحلل البروتوني الذاتي للماء، وهو عبارة عن تفاعل حمض-قاعدة تتدخل فيه المزدوجتين $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$ و $\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-$.

ملحوظة:

معادلة التفاعل		$2\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightleftharpoons \text{HO}^-_{(aq)} + \text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$			
الحالة البدئية	0	$n_i(\text{H}_2\text{O})$	0	0	
حالة التوازن	$x_{\text{éq}}$	$n_i - 2x_{\text{éq}}$	$x_{\text{éq}}$	$x_{\text{éq}}$	

نعتبر محلولاً مائياً حجمه $V = 1 \text{ L}$ عند 25°C .

- الكتلة الحجمية للماء هي: $\rho = 10^3 \text{ g.L}^{-1}$.
- الكتلة المولية للماء هي: $M = 18 \text{ g.mol}^{-1}$.

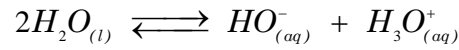
حسب الجدول الوصفي: $x_{\text{éq}} = n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{éq}} = [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} \cdot V = 10^{-pH} \cdot V$ و $x_{\text{max}} = \frac{n_i(\text{H}_2\text{O})}{2} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{2M} = \frac{\rho \cdot V}{2M}$

وبالتالي، نسبة التقدم النهائي للتحلل البروتوني الذاتي للماء هي: $\tau = \frac{x_{\text{éq}}}{x_{\text{max}}} = \frac{10^{-pH} \cdot V}{\frac{\rho \cdot V}{2M}} = \frac{2M \cdot 10^{-pH}}{\rho} = \frac{2 \times 18 \times 10^{-7}}{18} = 3,6 \cdot 10^{-9}$ بما أن $\tau \ll 1$ فإن التحلل البروتوني الذاتي للماء تفاعل محدود جدا.

2 الجداء الأيوني للماء

الجداء الأيوني للماء هو ثابتة التوازن الموافقة لمعادلة التحلل البروتوني الذاتي للماء ويرمز لها بـ K_e بحيث:

$$K_e = [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} \cdot [\text{HO}^-]_{\text{éq}}$$



ملحوظات:

- K_e مقدار بدون وحدة ويتعلق بدرجة الحرارة.
- عند 25°C ، بالنسبة لأي محلول مائي، يكون: $K_e = 10^{-14}$.
- عملياً، نستعمل الثابتة pK_e بحيث: $pK_e = -\log K_e$ أو $K_e = 10^{-pK_e}$. عند 25°C : $pK_e = 14$.
- يمكن حساب الـ pH و $[\text{HO}^-]$ باستعمال العلاقتين: $pH = pK_e + \log[\text{HO}^-]_{\text{éq}}$ و $[\text{HO}^-]_{\text{éq}} = 10^{pH - pK_e}$.

3 المحلول الحمضي، القاعدي و المحايد

يكون المحلول حمضياً إذا كان يحتوي على عدد من أيونات H_3O^+ أكبر من عدد أيونات OH^- أي: $[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$.

ومنه: $[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-]$ أي: $[\text{H}_3\text{O}^+]^2 > K_e$ ومنه: $\log [\text{H}_3\text{O}^+]^2 > \log K_e$

وبالتالي: $-2 \log [\text{H}_3\text{O}^+] < -\log K_e$ يعني أن: $2pH < pK_e$

• وهكذا نجد: $pH < \frac{pK_e}{2}$ عند 25°C يكون: $pH < 7$.

بنفس الطريقة نتوصل إلى أن:

• المحلول المحايد يكون فيه $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$ أي: $pH = \frac{pK_e}{2}$. عند 25°C يكون: $pH = 7$.

• المحلول القاعدي يكون فيه $[\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{OH}^-]$ أي: $pH > \frac{pK_e}{2}$. عند 25°C يكون: $pH > 7$.

تعريف 1

- يتفاعل الحمض AH مع الماء حسب المعادلة: $HA_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons A_{(aq)}^- + H_3O_{(aq)}^+$
- تسمى ثابتة التوازن الموافقة لهذا التفاعل، ثابتة الحمضية للمزدوجة $A_{(aq)}^- / AH_{(aq)}$ ونرمز لها بـ K_A ، بحيث:

$$K_A = \frac{[A^-]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}}{[HA]_{\acute{e}q}}$$

ملحوظات:

- K_A مقدار بدون وحدة ويتعلق بدرجة الحرارة.
- نستعمل كذلك الثابتة pK_A بحيث: $pK_A = -\log K_A$ أو $K_A = 10^{-pK_A}$. بصفة عامة: $K_A = \frac{[base]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}}{[acide]_{\acute{e}q}}$

العلاقة بين الـ pH و ثابتة الحمضية pK_A 2

بالنسبة لكل مزدوجة $A_{(aq)}^- / AH_{(aq)}$ (acide/base). لدينا: $K_A = \frac{[A^-]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}}{[HA]_{\acute{e}q}}$

ومنه: $pK_A = -\log K_A = -\log \left(\frac{[A^-]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}}{[HA]_{\acute{e}q}} \right) = -\log \frac{[A^-]_{\acute{e}q}}{[HA]_{\acute{e}q}} - \log [H_3O^+]_{\acute{e}q}$

بما أن: $pH = -\log [H_3O^+]_{\acute{e}q}$ فإن: $pK_A = -\log \frac{[A^-]_{\acute{e}q}}{[HA]_{\acute{e}q}} + pH$

وبصفة عامة: $pH = pK_A + \log \frac{[base]_{\acute{e}q}}{[acide]_{\acute{e}q}}$

$$pH = pK_A + \log \frac{[A^-]_{\acute{e}q}}{[HA]_{\acute{e}q}}$$

سلوك الأحماض و القواعد في محلول مائي III

سلوك الأحماض في محلول مائي 1

نشاط 1: نعتبر محلولين مائين (S_1) و (S_2) لحمضين HA_1 و HA_2 لهما نفس التركيز $(C = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1})$ ، عند 25°C .

- (S_1) : محلول حمض الإيثانويك $CH_3COOH_{(aq)}$ له $pK_{A1} = 4,8$
- (S_2) : محلول حمض الميثانويك $HCOOH_{(aq)}$ له $pK_{A2} = 3,8$
- نقيس pH هذين المحلولين فنجد على التوالي $pH_1 = 3,4$ و $pH_2 = 2,6$

احسب نسبة التقدم النهائي τ في كل محلول. ما هو الحمض الذي يتفكك أكثر في الماء؟

بصفة عامة، الجدول الوصفي لتفاعل حمض HA مع الماء هو:

معادلة التفاعل		$HA_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons A_{(aq)}^- + H_3O_{(aq)}^+$			
الحالة البدئية	0	CV	وافر	0	0
حالة التوازن	$x_{\acute{e}q}$	$CV - x_{\acute{e}q}$		$x_{\acute{e}q}$	$x_{\acute{e}q}$

$$\tau = \frac{x_{\acute{e}q}}{x_{\max}} = \frac{n(H_3O^+)_{\acute{e}q}}{C \cdot V} = \frac{[H_3O^+]_{\acute{e}q} \cdot V}{C \cdot V} = \frac{10^{-pH}}{C}$$

$$\tau_2 = \frac{10^{-pH_2}}{C} = \frac{10^{-2,6}}{1,0 \times 10^{-2}} = 0,25 = 25\% \quad \text{و} \quad \tau_1 = \frac{10^{-pH_1}}{C} = \frac{10^{-3,4}}{1,0 \times 10^{-2}} = 0,040 = 4,0\%$$

بالنسبة لمحاليل مائية لأحماض لها نفس التركيز، كلما كان pH المحلول ضعيفا أي كلما كانت الثابتة pK_A ضعيفة، تكون نسبة التقدم النهائي τ للتفاعل أكبر ($\tau_2 > \tau_1$). أي: يتفكك الحمض أكثر. \Leftarrow (حمض الميثانويك يتفكك أكثر في الماء من حمض الإيثانويك)

نشاط 2: نعتبر محلولين مائيين (S₁) و (S₂) لقاعدتين B₁ و B₂ لهما نفس التركيز (C = 1,0.10⁻² mol.L⁻¹)، عند 25°C.

- (S₁): محلول الأمونياك NH₃(aq) له pK_{A1} = 9,2.
- (S₂): محلول مثيل أمين CH₃NH₂(aq) له pK_{A2} = 10,7.
- نقيس pH هذين المحلولين فنجد على التوالي pH₁ = 10,6 و pH₂ = 11,4.

احسب نسبة التقدم النهائي τ في كل محلول. ما هي القاعدة التي لها قابلية أكبر على اكتساب البروتون؟

معادلة التفاعل		$B_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons BH_{(aq)}^+ + HO_{(aq)}^-$			
الحالة البدئية	0	CV	وافر	0	0
حالة التوازن	x _{éq}	CV-x _{éq}		x _{éq}	x _{éq}

لدينا: $K_e = [H_3O^+]_{éq} \cdot [HO^-]_{éq}$

و $K_e = 10^{-pK_e}$ بحيث $pK_e = 14$

نسبة التقدم النهائي للتفاعل هي:

$$\tau = \frac{x_{éq}}{x_{max}} = \frac{n(HO^-)_{éq}}{C \cdot V} = \frac{[HO^-]_{éq} \cdot V}{C \cdot V} = \frac{K_e}{[H_3O^+]_{éq} \cdot C} = \frac{10^{-pK_e}}{10^{-pH} \cdot C} = \frac{10^{pH-pK_e}}{C}$$

تطبيق عددي: $\tau_2 = \frac{10^{pH_2-pK_e}}{C} = \frac{10^{11,4-14}}{1,0 \times 10^{-2}} = 0,25$ و $\tau_1 = \frac{10^{pH_1-pK_e}}{C} = \frac{10^{10,6-14}}{1,0 \times 10^{-2}} = 0,040$

ملحوظة: ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة التفاعل هي (K_A ثابتة الحمضية للمزدوجة BH⁺/B):

$$K = \frac{[BH^+]_{éq} [HO^-]_{éq}}{[B]_{éq}} = \frac{[BH^+]_{éq} [HO^-]_{éq} [H_3O^+]_{éq}}{[B]_{éq} [H_3O^+]_{éq}} = \frac{K_e}{K_A} = \frac{10^{-pK_e}}{10^{-pK_A}} = 10^{pK_A-pK_e}$$

بالنسبة لمحاليل مائية لقواعد لها نفس التركيز، كلما كان pH المحلول كبيرا أي كلما كانت الثابتة pK_A كبيرة، تكون نسبة التقدم النهائي τ للتفاعل أكبر (τ₂ > τ₁)، أي تزداد قابلية اكتساب القاعدة للبروتون. ← (المثيل أمين له قابلية أكبر على اكتساب البروتون)

مجال الهيمنة و مخطط التوزيع الأنواع الحمضية و القاعدية في محلول مائي

IV

مجال الهيمنة

1

لدينا: $pH = pK_A + \log \frac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}}$: نميز 3 حالات:

← إذا كان $pH = pK_A$ فإن: $\log \frac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}} = 0$ يعني: $\frac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}} = 1$ أي: $[AH]_{éq} = [A^-]_{éq}$: لا يهيمن أي نوع

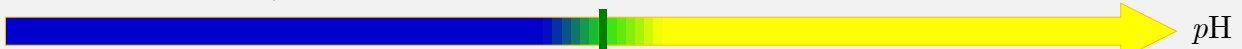
← إذا كان $pH < pK_A$ فإن: $\log \frac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}} < 0$ يعني: $\frac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}} < 1$ أي: $[AH]_{éq} > [A^-]_{éq}$: الحمض هو المهيمن

← إذا كان $pH > pK_A$ فإن: $\log \frac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}} > 0$ يعني: $\frac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}} > 1$ أي: $[AH]_{éq} < [A^-]_{éq}$: القاعدة هي المهيمنة

مجال هيمنة الحمض

pH = pK_A

مجال هيمنة القاعدة



$[acide]_{éq} > [base]_{éq}$

$[acide]_{éq} = [base]_{éq}$

$[acide]_{éq} < [base]_{éq}$

نشاط 3: ما هو النوع المهيمن في محلول مائي لحمض الميثانويك ذي $pH = 4,82$ ؟ نعطي: $pK_A(HCOOH/HCOO^-) = 3,75$.

بما أن $pH > pK_A$ ، فإن النوع المهيمن هو القاعدة HCOO⁻.

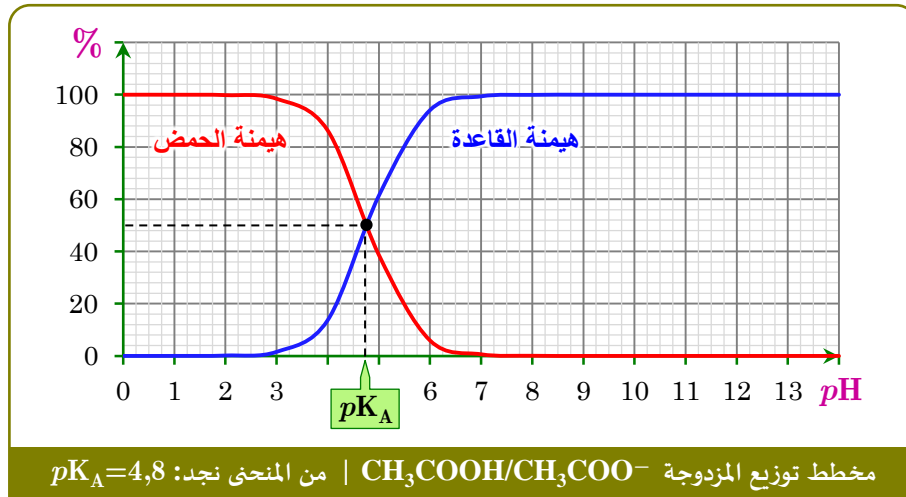
جواب:

مخطط توزيع الحمض و القاعدة المرافقة لمزدوجة AH/A^- هو المنحني المثلين لتغيرات النسبتين المتويتين للشكلين الحمضي و القاعدي للمزدوجة بدلالة pH . نعتبر محلولاً مائياً يحتوي على الحمض HA وقاعدته المرافقة A^- .

• نسبة الحمض في المحلول هو المقدار: $p(HA) = \frac{[HA]_{\acute{e}q}}{[HA]_{\acute{e}q} + [A^-]_{\acute{e}q}}$ نبين أن: $p(HA) = \frac{1}{1 + 10^{pH - pK_A}}$

• نسبة القاعدة في المحلول هو المقدار: $p(A^-) = \frac{[A^-]_{\acute{e}q}}{[HA]_{\acute{e}q} + [A^-]_{\acute{e}q}}$ نبين أن: $p(A^-) = \frac{1}{1 + 10^{-pH + pK_A}}$

إذا كان: %A = %B فإن: $[HA]_{\acute{e}q} = [A^-]_{\acute{e}q}$ وبالتالي: $pH = pK_A$.



الكاشف الملون الحمضي-القاعدي هو مزدوجة **قاعدة/حمض**، نرمز لها بـ HIn/In^- ، بحيث يكون للشكلين الحمضي HIn و القاعدي In^- لونان مختلفين في محلول مائي.



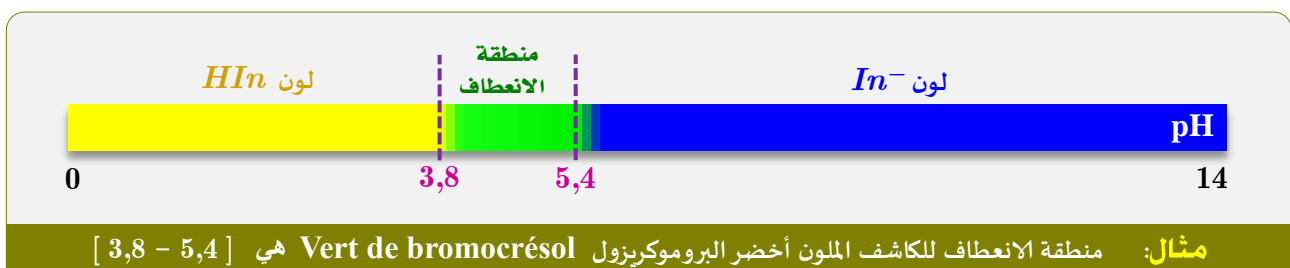
إذن: $pH = pK_{A,ind} + \log \frac{[In^-]_{\acute{e}q}}{[HIn]_{\acute{e}q}}$

يتعلق لون المحلول بالنوع المهيمن HIn أو In^- ، أي بقيمة pH .

◀ نقبل أن المحلول يأخذ لون الشكل القاعدي إذا كان: $\frac{[In^-]_{\acute{e}q}}{[HIn]_{\acute{e}q}} > 10$ ومنه: $\log \frac{[In^-]_{\acute{e}q}}{[HIn]_{\acute{e}q}} > 1$ أي: $pH > pK_{A,ind} + 1$

◀ نقبل أن المحلول يأخذ لون الشكل الحمضي إذا كان: $\frac{[In^-]_{\acute{e}q}}{[HIn]_{\acute{e}q}} < \frac{1}{10}$ ومنه: $\log \frac{[In^-]_{\acute{e}q}}{[HIn]_{\acute{e}q}} < -1$ أي: $pH < pK_{A,ind} - 1$

• بالنسبة للمجال $pK_{A,ind} - 1 < pH < pK_{A,ind} + 1$ ، المسمى **منطقة الإنعطاف** يكون تركيز الشكلين الحمضي و القاعدي متقاربين و بالتالي يأخذ المحلول لونا وسيطياً يسمى **اللون الحساسة** للكاشف الملون.



نعتبر التفاعل بين حمض المزدوجة HA_1/A_1^- (ثابتة حمضيتها pK_{A1}) وقاعدة المزدوجة HA_2/A_2^- (ثابتة حمضيتها pK_{A2}).



← تعبير ثابتة الحمضية للمزدوجة HA_1/A_1^- هو: $K_{A1} = \frac{[A_1^-]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}}{[HA_1]_{\acute{e}q}}$

← تعبير ثابتة الحمضية للمزدوجة HA_2/A_2^- هو: $K_{A2} = \frac{[A_2^-]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}}{[HA_2]_{\acute{e}q}}$

ثابتة التوازن الموافقة لمعادلة التفاعل هي: $K = \frac{[HA_2]_{\acute{e}q} \cdot [A_1^-]_{\acute{e}q}}{[HA_1]_{\acute{e}q} \cdot [A_2^-]_{\acute{e}q}}$ وبضرب المقام والبسط في $[H_3O^+]_{\acute{e}q}$ نحصل على:

$$K = \frac{[A_1^-]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}}{[HA_1]_{\acute{e}q}} \times \frac{[HA_2]_{\acute{e}q}}{[A_2^-]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}} = \frac{K_{A1}}{K_{A2}} = \frac{10^{-pK_{A1}}}{10^{-pK_{A2}}} = 10^{pK_{A2} - pK_{A1}}$$

ملحوظة: إذا كان $K > 10^4$ فإن التحول يكون كلياً.

نشاط 4:

ثابتة الحمضية للمزدوجة $HCOOH/HCOO^-$ هي $pK_1 = 3,75$ ، وثابتة الحمضية للمزدوجة NH_4^+/NH_3 هي $pK_2 = 9,20$.

1 اكتب معادلة تفاعل حمض الميثانويك مع الأمونياك $NH_{3(aq)}$.

2 احسب ثابتة التوازن K الموافقة لمعادلة التفاعل.

3 هل التحول المدروس كلي أم محدود؟

جواب:



2 حساب K : $K = \frac{[HCOO^-]_{\acute{e}q} \cdot [NH_4^+]_{\acute{e}q}}{[HCOOH]_{\acute{e}q} \cdot [NH_3]_{\acute{e}q}} = \frac{[HCOO^-]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q} \cdot [NH_4^+]_{\acute{e}q}}{[HCOOH]_{\acute{e}q} \cdot [NH_3]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}} = \frac{K_{A1}}{K_{A2}} = \frac{10^{-pK_{A1}}}{10^{-pK_{A2}}} = 10^{pK_{A2} - pK_{A1}}$

3 بما أن $K > 10^4$ فإن التحول المدروس كلياً.

المعايرة الحمضية القاعدية

تعريف 1

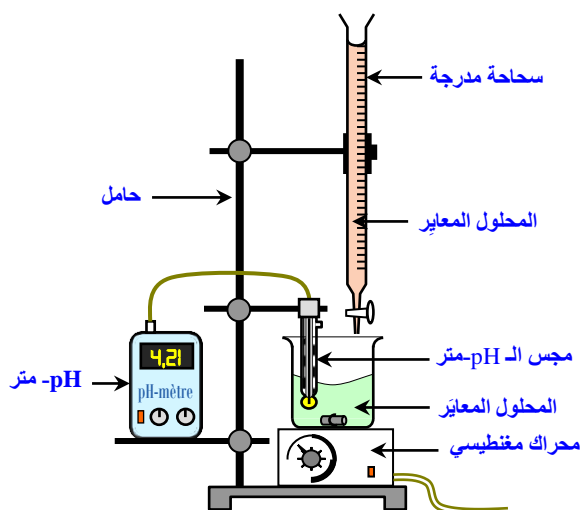
الغاية من المعايرة هي تحديد تركيز نوع كيميائي يسمى **المُعَايِر**، بالاعتماد على التفاعل الكيميائي بين هذا النوع ونوع كيميائي آخر ذو تركيز معروف يسمى **المُعَايِر**.

أثناء معايرة حمض HA_1 (المُعَايِر) بقاعدة A_2^- (المُعَايِر) يحدث تفاعل بين حمض المزدوجة HA_1/A_1^- وقاعدة المزدوجة HA_2/A_2^- حسب المعادلة: $A_1H_{(aq)} + A_2^-(aq) \rightleftharpoons A_1^-(aq) + A_2H_{(aq)}$

ملحوظة:

مميزات تفاعل المعايرة هي:

- ✓ تفاعل كلي: يتوقف باختفاء كلي لأحد المتفاعلين على الأقل. أي: $\tau = 1$.
- ✓ تفاعل سريع: يتوقف بعد مدة زمنية قصيرة من حدوثه.
- ✓ تفاعل انتقائي: يتفاعل النوع المُعَايِر مع النوع المُعَايِر فقط.



تبيانة التركيب التجريبي لإنجاز معايرة حمضية-قاعدية بقياس pH

يتم الحصول على التكافؤ عندما يمزج المتفاعلات (المعايير والمعاير) بنسب توافق المعاملات التناسبية.

نعتبر معايرة حمض AH بقاعدة HO⁻.

عند التكافؤ يختفي كل من الحمض والقاعدة من المجموعة الكيميائية. ويسمى حجم القاعدة المضاف، **حجم التكافؤ** ويرمز له بـ V_E أو V_{BE} من خلال الجدول الوصفي، نكتب:

$$C_B V_E - x_E = 0 \quad \text{و} \quad C_A V_A - x_E = 0$$

يعني أن: $C_A V_A = C_B V_E$

$$C_A = \frac{C_B V_E}{V_A} \quad \text{وبالتالي:}$$

معادلة التفاعل		$AH_{(aq)} + HO_{(aq)}^- \longrightarrow A_{(aq)}^- + H_2O_{(l)}$			
الحالة البدئية	0	$C_A V_A$	$C_B V_B$	0	بوفرة
حالة التكافؤ	x_E	$C_A V_A - x_E$	$C_B V_E - x_E$	x_E	بوفرة

ملحوظات:

قبل التكافؤ: $V_B < V_E$: وبالتالي تكون القاعدة HO⁻ (المعاير) هو المتفاعل المحد.

بعد التكافؤ: $V_B > V_E$: وبالتالي يكون الحمض HA (المعاير) هو المتفاعل المحد.

نمعلم التكافؤ بالتغير المفاجئ للميزة الفيزيائية خلال التفاعل، تكون المحلول أو pH المحلول أو موصلية المحلول.

المعايرة بقياس pH

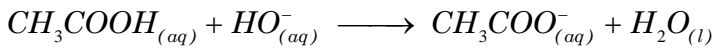
1 معايرة حمض بقاعدة - نشاط

مثال: معايرة حمض الإيثانويك $CH_3COOH_{(aq)}$ بهيدروكسيد الصوديوم $(Na^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)})$.

نعير حجما $V_A = 20 \text{ mL}$ من حمض الإيثانويك تركيزه $C_A = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ بمحلول هيدروكسيد الصوديوم ذي تركيز $C_B = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. (تذكير $pK_A(CH_3COOH/CH_3COO^-) = 4,8$).

أ- معادلة التفاعل:

تفاعل المعايرة كلي، نستعمل سهما واحدا في كتابة معادلة التفاعل:

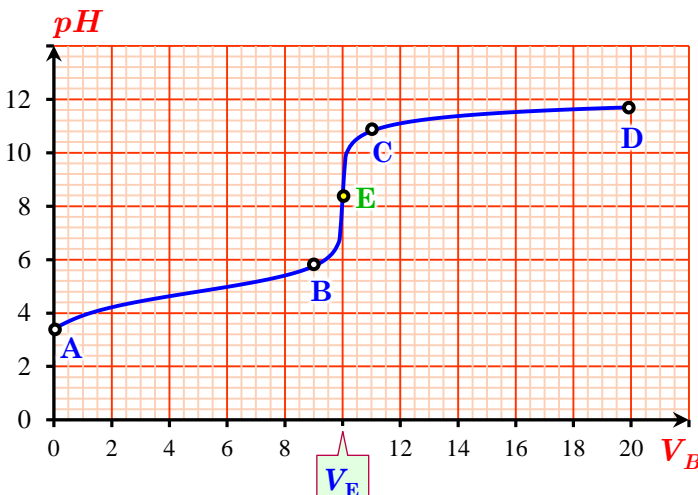


ب- الحجم المتوقع اضافته للحصول على التكافؤ:

$$V_E = \frac{C_A \cdot V_A}{C_B} = \frac{1,0 \cdot 10^{-2} \times 20}{2,0 \cdot 10^{-2}} = 10 \text{ mL} \quad \text{ومنه:} \quad C_A V_A = C_B V_E$$

ج- منحنى المعايرة:

للحصول على منحنى المعايرة نستعمل التركيب التجريبي الممثل في أسفل الصفحة 6، حيث يوجد محلول هيدروكسيد الصوديوم في السحاحة المدرجة ويوجد حمض الإيثانويك في الكأس. بعد كل إضافة نقيس، بواسطة pH -متر، قيمة pH المحلول فنحصل على جدول قياسات. نمثل تغير pH المحلول بدلالة الحجم V_B المضاف، $pH = f(V_B)$ ، فنحصل على المنحنى التالي:



يتكون المنحنى من 3 أجزاء:

جزء AB ($0 < V_B < 9 \text{ mL}$): يزداد pH الخليط ويبقى التغير ضعيفا،

جزء BC ($9 \text{ mL} < V_B < 11 \text{ mL}$): يزداد pH الخليط بكيفية مفاجئة ويمر فيه الخليط من الحالة الحمضية إلى الحالة القاعدية و تنتهي إليه نقطة التكافؤ ($V_E = 10 \text{ mL}$).

جزء CD ($V_B > 11 \text{ mL}$): يتميز بتزايد ضعيف لقيمة pH ، ويبقى الخليط قاعديا.

د- ثابتة التوازن الموافقة لتفاعل المعايرة:

$$K = \frac{[CH_3COO^-]_{\acute{e}q}}{[CH_3COOH]_{\acute{e}q} \cdot [HO^-]_{\acute{e}q}} \text{ من خلال معادلة تفاعل المعايرة ، نكتب:}$$

$$K = \frac{[CH_3COO^-]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}}{[CH_3COOH]_{\acute{e}q}} \times \frac{1}{[HO^-]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}} = \frac{K_A}{K_e} = \frac{10^{-pK_A}}{10^{-pK_e}} = 10^{pK_e - pK_A} = 10^{14-4,8} = 1,6 \cdot 10^9 \text{ ومنه:}$$

نلاحظ أن $K \gg 10^4$ ، إذن تفاعل المعايرة تفاعل كلي.

هـ- نسبة التقدم النهائي لتفاعل المعايرة الحمضية-القاعدية: (خاص بـ SP و SM)

مثال: تحديد نسبة التقدم النهائي عند إضافة الحجم $V_B = 5 \text{ mL}$ من هيدروكسيد الصوديوم.

معادلة التفاعل		$CH_3COOH_{(aq)} + HO^-_{(aq)} \longrightarrow CH_3COO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)}$			
الحالة البدئية	0	$C_A V_A$	$C_B V_B$	0	بوفرة
الحالة النهائية	x_f	$C_A V_A - x_f$	$C_B V_B - x_f$	x_f	بوفرة

من خلال منحنى المعايرة، قيمة pH

الموافقة للحجم $V_B = 5 \text{ mL}$ هي

$pH = 4,8$

بما أن $V_B < V_E$ فإن المتفاعل المحد هو أيونات الهيدروكسيد HO^- . وبالتالي: $x_{\max} = C_B V_B$

وحسب الجدول الوصفي: $n(HO^-)_f = C_B V_B - x_f$ إذن: $x_f = C_B V_B - n(HO^-)_f = C_B V_B - [HO^-]_f \cdot (V_A + V_B)$

$$[HO^-]_f = \frac{K_e}{[H_3O^+]_f} = \frac{10^{-pK_e}}{10^{-pH}} = 10^{pH - pK_e} \text{ فإن: } K_e = [HO^-]_f \cdot [H_3O^+]_f \text{ بما أن:}$$

$$x_f = C_B V_B - (V_A + V_B) \cdot 10^{pH - pK_e} \text{ ومنه:}$$

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\max}} = \frac{C_B V_B - (V_A + V_B) \cdot 10^{pH - pK_e}}{C_B V_B} = 1 - \frac{(V_A + V_B) \cdot 10^{pH - pK_e}}{C_B V_B} = 1 - \frac{(20 + 5) \times 10^{4,8-14}}{2 \times 10^{-2} \times 5} \approx 1 \text{ وبالتالي:}$$

$\tau = 1$: نستنتج أن تفاعل المعايرة تفاعل كلي.

2 معايرة قاعدة بحمض- نشاط

مثال: معايرة محلول الأمونياك $NH_3(aq)$ بمحلول حمض الكلوريدريك $(H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)})$.

نعاير حجما $V_B = 10 \text{ mL}$ من محلول الأمونياك تركيزه $C_B = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ بمحلول حمض الكلوريدريك

ذي تركيز $C_A = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ (تذكير $pK_A(NH_4^+/NH_3) = 9,2$).

أ- معادلة التفاعل:



ب- الحجم المتوقع إضافته للحصول على التكافؤ:

$$V_E = \frac{C_B \cdot V_B}{C_A} = \frac{4,0 \cdot 10^{-2} \times 10}{5,0 \cdot 10^{-2}} = 8,0 \text{ mL} \text{ ومنه: } C_B V_B = C_A V_E \text{ عند التكافؤ تتحقق العلاقة:}$$

ج- منحنى المعايرة:

نلاحظ تناقص قيمة pH الخليط خلال المعايرة.

مبيانيا، حجم الحمض اللازم للحصول على التكافؤ هو $V_E = 8 \text{ mL}$.

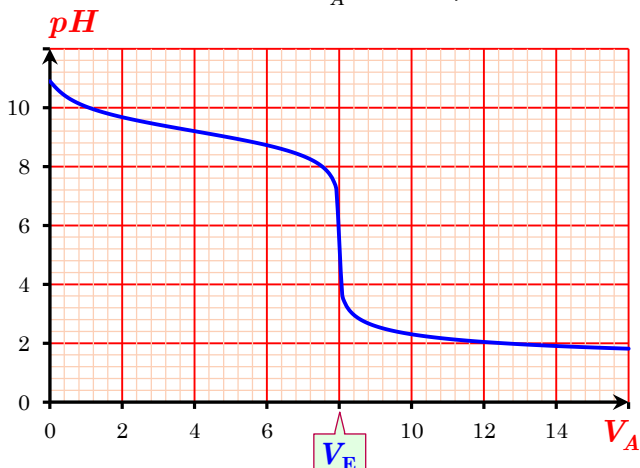
د- ثابتة التوازن:

من خلال معادلة التفاعل، نكتب:

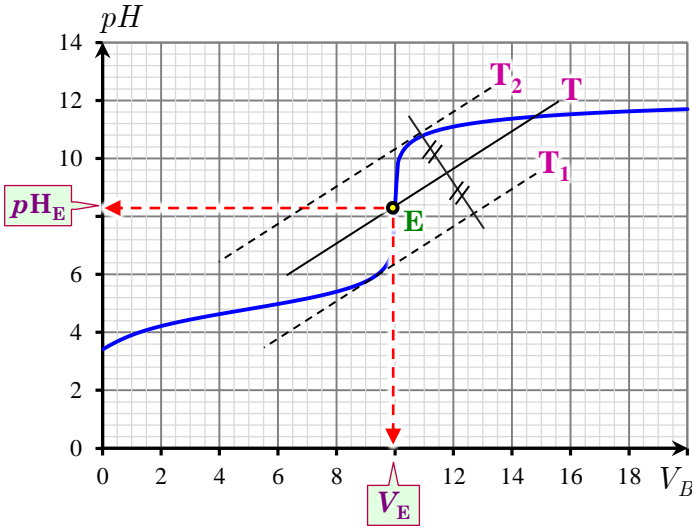
$$K = \frac{[NH_4^+]_{\acute{e}q}}{[NH_3]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}} = \frac{1}{K_A} = \frac{1}{10^{-pK_A}} = 10^{pK_A}$$

$$K = 10^{9,2} = 1,6 \times 10^9$$

نلاحظ أن $K \gg 10^4$ ، إذن هذا التفاعل (تفاعل المعايرة) كلي.



أ- طريقة المماسات:



1- نَحْطُ مماسين T_1 و T_2 للمنحنى $pH = f(V_B)$ متوازيين من جتي المنطقة التي تظم نقطة التكافؤ، ثم نرسم المستقيم T الموازي للمماسين ويوجد على نفس المسافة بينهما.

2- المستقيم T يقطع المنحنى $pH = f(V_B)$ في نقطة التكافؤ E أفصولها V_E وأرتوبها pH_E .

◀ من المنحنى نجد: $V_E = 10 \text{ mL}$ و $pH_E = 8,3$.

ب- طريقة الاشتقاق:

1- لتحديد نقطة التكافؤ يمكن أيضا، بواسطة جدول،

خط المنحنى $\frac{dpH}{dV_B} = f(V_B)$ مشتقة الدالة

$pH = f(V_B)$ بالنسبة للحجم المضاف V_B .

2- عند الأفصول V_E ، تكون قيمة الدالة المشتقة $\frac{dpH}{dV_B}$

مطرفا (قيمة قصوى عند معايرة الحمض أو قيمة دنيا عند معايرة القاعدة).

◀ من المنحنى جانبه نجد: $V_E = 10 \text{ mL}$.

ج- استعمال الكواشف الملونة:

أثناء المعايرة الملوانية يتم تحديد حجم التكافؤ V_E باستعمال كاشف ملوّن مناسب نضيفه إلى المحلول المعاير في بداية التجربة.

عند التكافؤ يتغير لون الكاشف الملوّن المضاف إلى المحلول المعاير. عندئذ نحدد حجم التكافؤ V_E .

ملحوظة هامة:

يكون الكاشف الملون مناسباً لإنجاز معايرة حمضية قاعدية إذا تضمنت منطقة انعطافه قيمة pH_E نقطة التكافؤ.

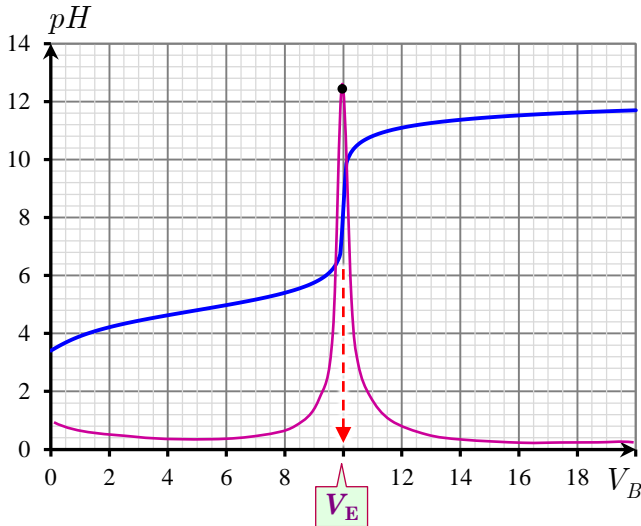
بالنسبة لمعايرة حمض الإيثانويك بهيدروكسيد الصوديوم (نشاط الفقرة 1-VII)، ما هو الكاشف الملائم لهذه المعايرة ؟ علل جوابك.

جواب:

لدينا: $pH_E = 8,3$.

إذن الكاشف الملوّن المناسب هو الذي تحتوي منطقة انعطافه على القيمة $pH = 8,3$.

من خلال الجدول جانبه، الكاشف الملون المناسب هو: **أحمر الكريزول**. (يمكن استعمال الفينول فتالين).



مناطق انعطاف بعض الكواشف الملونة

لون الشكل الحمضي	منطقة الانعطاف	لون الشكل القاعدي	الكاشف الملون
أحمر	1,2 – 2,8	أصفر	أحمر الميتاكريزول
أحمر	3,1 – 4,4	أصفر	الهيليانتين
أصفر	3,8 – 5,4	أزرق	أخضر البروموكريزول
أصفر	4,8 – 6,4	أحمر	أحمر الكلوروفينول
أصفر	5,2 – 6,8	أحمر	أحمر البروموفينول
أصفر	6,0 – 7,6	أزرق	أزرق البروموتيمول
أحمر	6,8 – 8,0	أصفر	أحمر محايد
أصفر	7,2 – 8,8	أحمر	أحمر الكريزول
عديم اللون	8,2 – 10	وردي	فينول فتالين
أصفر	10 – 12,1	أحمر	أصفر الأليزارين R

حصيلة الأنشطة – تمارين تطبيقية

الفيزياء والكيمياء

PHYSIQUE-CHIMIE

السنة الثانية من سلك البكالوريا – الدورة الأولى

2BAC: SP-SVT-SM



Facebook : Yassin DERRAZ

Gmail: yassinderaz@gmail.com

إعداد: د. ياسين الدراز

ثانوية الرازي التأهيلية - ترجيست

يمنع استغلال هذه الوثيقة لأغراض تجارية