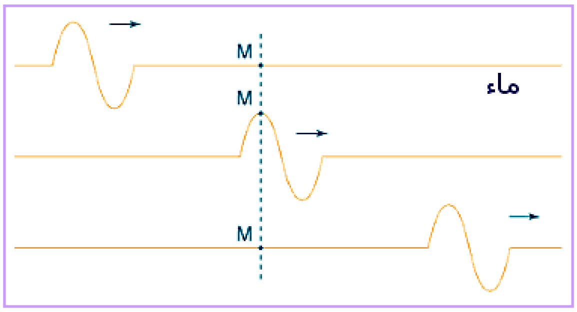
الموجات الميكانيكية

I. الموجة الميكانيكية المتوالية

تعريف الموجة الميكانيكية هي ظاهرة انتشار اضطراب أو تشوه أو اهتزاز في وسط مادي دون انتقال للمادة. و تعتبر متوالية إذا كانت **تبتعد** عن منبعها بلا نهاية في وسط غير محدود أو أبعاده كبيرة.

☞ " دون انتقال للمادة " لا تعني " دون حركة": عند مرور الموجة الميكانيكية كل نقطة من وسط الانتشار تنزاح عن موضع توازنها لتعود إليه بعد مرورها.

- مثال: انتشار تشوه على سطح الماء ناتج عن رمي حصى في بركة مائية:

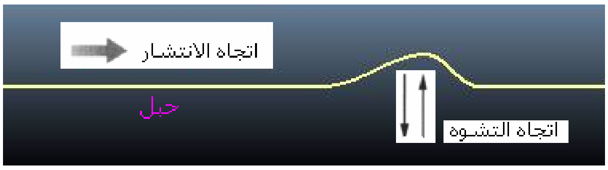


وسع موجة ميكانيكية هو القيمة القصوى للتشوه الذي تحدثه هذه الموجة.

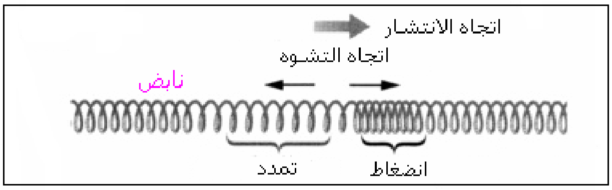
الموضع الذي تنبعث منه الموجة الميكانيكية يسمى **المنبع**.

تنتشر الموجة من المنبع **تدريجيا**: فهي متوالية.

• الموجة المستعرضة و الموجة الطولية



موجة مستعرضة: اتجاهاالتشوه و الانتشار متعامدان.



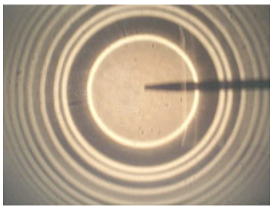
موجة طولية : للتشوه و الانتشار نفس الاتجاه.

☞ في وسط صلب تنتشر الموجات المستعرضة أو الطولية لكن في وسط مائع (سائل أم غاز) لا تنتشر سوى الموجات الطولية. غير أنه يمكن لموجة مستعرضة أن تنتشر على **سطح** سائل.

• خاصيات الموجات الميكانيكية المتوالية

خاصية1 لا تنقل الموجة الميكانيكية المادة لكنها تنقل طاقة ميكانيكية.

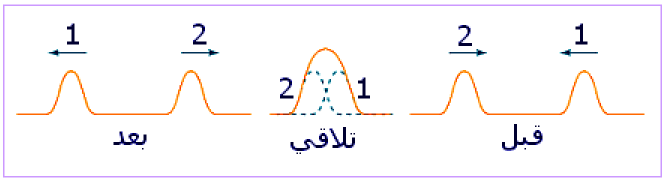
خاصية2 تنتشر الموجة الميكانيكية في جميع الاتجاهات المتاحة لها.



▪ أمثلة:

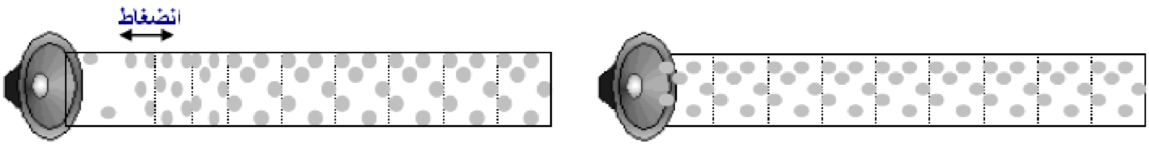
- الموجة التي تنتشر على طول حبل أو نابض موجة أحادية البعد.
- الموجة التي تنتشر على سطح الماء موجة ثنائية البعد (الصورة جانبه).
- الموجة الصوتية موجة ثلاثية البعد.

خاصية3 عند تلاقي موجتين وسعاهما ضعيفان لا يحدث بينهما أي تأثير بيني.



• الموجات الصوتية

الصوت عبارة عن موجة ميكانيكية **طولية** ناتجة عن انتشار انضغاط و تمدد (تغير في الضغط).
لا تنتشر في فراغ بل انتشارها يتطلب وسطا ماديا (هواء، ماء...)



اهتزاز غشاء مكبر الصوت يحدث تغيرا في الضغط لطبقات الهواء ينتشر تدريجيا.

مكبر الصوت في حالة سكون

• سرعة انتشار موجة ميكانيكية

تعريف

في وسط مادي تنتشر موجة ميكانيكية بسرعة **ثابتة** تسمى سرعة الانتشار

و تعبيرها: $\boxed{v = \frac{d}{\Delta t}}$ $(m.s^{-1})$

d المسافة التي تقطعها الموجة خلال المدة الزمنية Δt.

خاصية1 تتعلق سرعة الانتشار بطبيعة وسط الانتشار و حالته الفيزيائية.

ترتفع سرعة الانتشار مع صلابة وسط الانتشار و تنخفض مع قصوره. كما يمكن أن تتعلق بدرجة الحرارة.

▪ أمثلة: - سرعة انتشار موجة على طول **حبل** تتعلق بتوتره F و بكتلته الطولية $\mu = \frac{m}{L}$ حسب العلاقة التالية: $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$

- ترتفع سرعة انتشار الصوت **في الهواء** مع ارتفاع درجة الحرارة:

$330\ m.s^{-1}$ عند $0ºC$ و $344\ m.s^{-1}$ عند $20ºC$

خاصية2 لا تتعلق سرعة الانتشار بشكل الموجة و لا بوسعها ما دام هذا الأخير ضعيفا.

• الموجة الميكانيكية أحادية البعد

تنتشر الموجة في اتجاه واحد نعتبره محورا للأفاصيل x لنقط وسط الانتشار و أصله O يطابق المنبع الذي نعتبره كنقطة.نميز حركة نقطة M من وسط الانتشار بالنسبة لموضع توازنها M_0 بالمقدار $y = M_0M$ الذي يسمى استطالة.

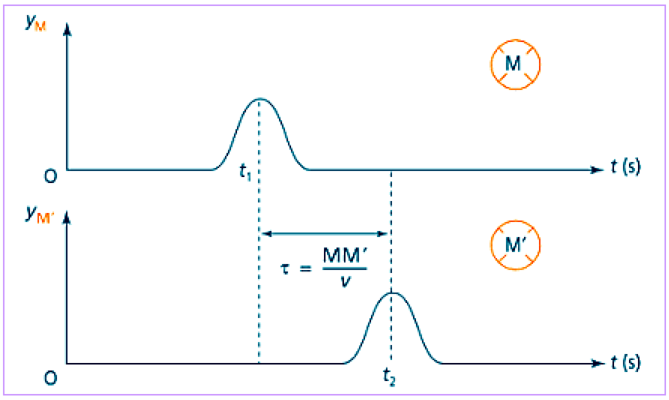
▪ حركة نقطة من وسط الانتشار بدلالة الزمن

كل نقطة M من وسط الانتشار ،أفصولها x = OM، تصلها الموجة، تكرر اهتزازات المنبع Oبتأخر زمني: $\boxed{\tau = \frac{x}{v}}$ (s)

و كذلك التأخر الزمني لنقطة M’ بالنسبة لنقطة M هو: $\tau = \frac{MM'}{v}$

استطالة M’ في لحظة t_2 تساوي استطالة M في اللحظة $t_1 = t_2 - \tau$.

إذن يستنتج المنحنى $y_{M'}(t)$ من المنحنى $y_M(t)$ بإزاحة تساوي $\frac{MM'}{v}$:

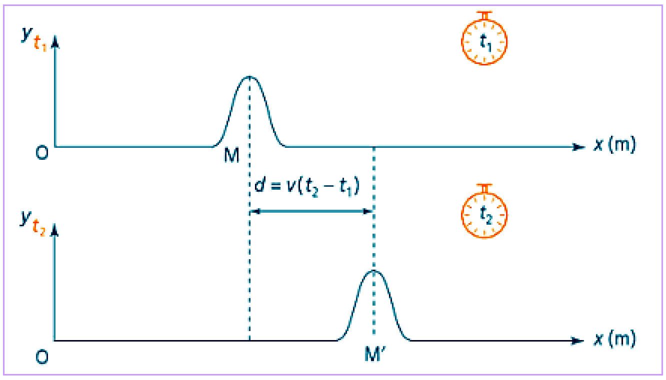


▪ مظهر وسط الانتشار في لحظة

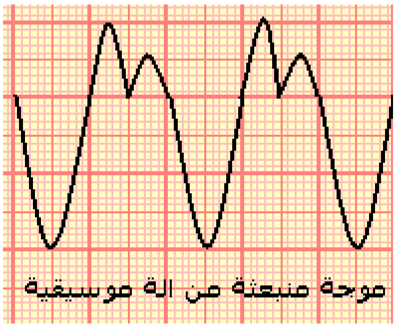
المنحنى y (x) يمثل مظهر الوسط في لحظة t.

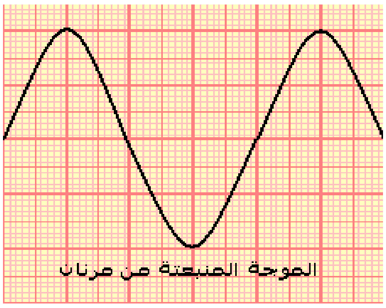
بين لحظتين t_1 و t_2 تقطع الموجة المسافة: $d = v(t_2 - t_1)$

إذن يستنتج المنحنى $y_{t_2}(x)$ من المنحنى $y_{t_1}(x)$ بإزاحة تساوي $v(t_2 - t_1)$:



الموجات الميكانيكية المتوالية الدورية
Les ondes mecaniques progressives periodiques





I ــ الموجة الميكانيكية المتوالية الدورية

<u>النشاط التجريبي 1 الموجات الصوتية</u>

بواسطة راسم التذبذب و ميكروفون نعاين موجتين صوتيتين:

ــ موجة منبعثة من آلة موسيقية :

ــ موجة منبعثة من مرنان Diapason

1 ــ هل هذه الموجات دورية ؟

الموجة المنبعثة من آلة موسيقية دورية ونفس الشيء بالنسبة للموجة المنبعثة من المرنان .

الموجات الصوتية موجات ميكانيكية متوالية ودورية .

لأن التشوه الحاصل لكل نقطة من وسط الانتشار يتغير بشكل دوري مع الزمن .

2 ــ قارن بين الرسمين التذبذبيين المحصلين .

الموجة المنبعثة من الآلة الموسيقية موجة ميكانيكية متوالية دورية بينما الموجة المنبعثة من المرنان هي موجة متوالية دورية **جيبية** . لأن تغير التشوه هو عبارة عن دالة زمنية بالنسبة للزمن t .

3 ــ علما أن زر الحساسية الأفقية لراسم التذبذب ضبط على القيمة 0,5ms ، أحسب الدور T لكل من الموجتين الصوتيتين واستنتج تردد الموجة الصوتية المنبعثة من المرنان .

* الموجة الصوتية المنبعثة من الآلة الموسيقية : $T=2.0,5.10^{-3}s=10^{-3}s$

* الموجة المنبعثة من المرنان : $T=2.10^{-3}s$.

نسمي T بالدورية الزمنية للموجة الميكانيكية المتوالية .

<u>II ــ الموجة الميكانكية المتوالية الجيبية</u>

1 ــ تعريف بالموجة المتوالية الجيبية

<u>النشاط التجريبي 2 الموجات الميكانيكية طول الحبل</u>

تتحرك شفرة معدنية تحت تأثير كهرمغنطيس بتردد 100Hz . يتكون وسط الانتشار من حبل مشدود تبث أحد طرفيه بنهاية الشفرة ، بينما يوضع على الطرف الثاني في كأس به ماء لامتصاص الموجة .

نستعمل في هذه التجربة جهاز كهربائي يسمى بالوماض :

جهاز إلكتروني يصدر ومضات ضوئية سريعة في مدد زمنية متتالية ومتساوية T_e ، ويحتوي على زر يمكن من تغيير وضبط تردد الومضات ν_e .

نضيء الخيط بواسطة الوماض ونضبط التردد ν_e للومضات على أكبر قيمة تمكن من ملاحظة توقف ظاهري للحبل . في هاته الحالة تردد الوماضات هو تردد حركة الحبل .

نغير قيمة تردد الوماض قليلا بالنسبة للقيمة ν_e : $\nu_e+\varepsilon$ و $\nu_e-\varepsilon$

$\nu_e+\varepsilon$ نلاحظ حركة ظاهرية بطيئة للحبل في نفس منحى انتشار الموجة .

$\nu_e-\varepsilon$ نلاحظ حركة ظاهرية بطيئة للحبل في المنحى المعاكس لمنحى انتشار الموجة .

استثمار

1 ــ كيف هو شكل الحبل في غياب الوماض ؟

ــ نلاحظ أن شكل الحبل مضبب ، غير واضح ،

2 ـ
للحبل . بين أن حركة كل نقطة M من الحبل مستقيمية جيبية ، ترددها مساو لتردد الشفرة المهتزة .

ـ عندما يكون تردد الوماض يساوي تردد حركة الحبل أي تردد المنبع S نلاحظ توقف ظاهري للحبل .
المنبع S له استطالة دورية دورها T، أي أن الدالة $Y_S=f(t)$ دالة جيبية بالنسبة للزمن t نفس الشيء بالنسبة لجميع النقط المنتمية للحبل . **نقول أن الموجة المتوالية جيبية**

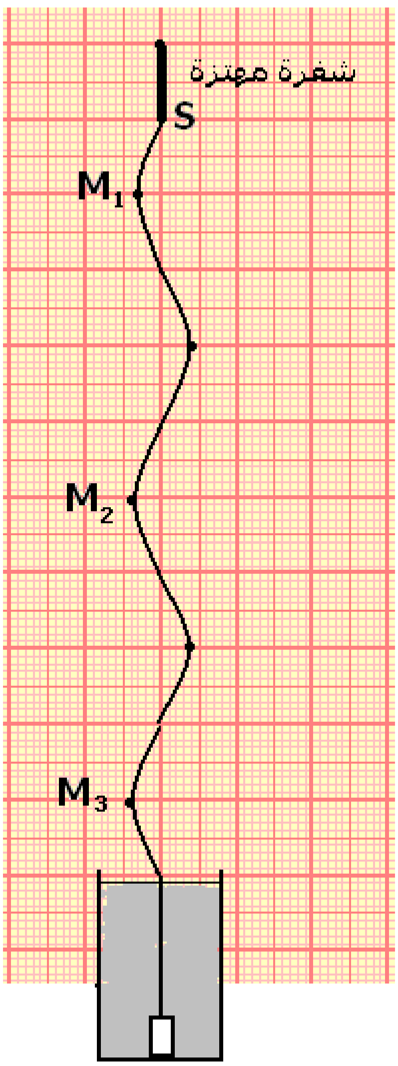
<u>تعريف :</u>

الموجة المتوالية الدورية الجيبية هي موجة يكون المقدار الفيزيائي المقرون بها دالة جيبية بالنسبة للزمن .

<u>2 ـ الدورية الزمانية</u>

للموجة المتوالية الجيبية دورية زمانية T_M يساوي دور المنبع S إي أن $T_M=T_S$. وهذا الدور T_S يساوي دور الوماض T_e .

3 ـ الدورية المكانية



ـ الشكل جانبه يمثل مظهر الحبل في لحظة t بالسلم الحقيقي . بحيث يكون على شكل جيبي $y=f(x)$ (دالة جيبية) والتي تمثل مظهر الحبل في لحظة t . يتميز هذا المنحنى **بدورية مكانية تسمى طول الموجة ويرمز لها ب λ**

<u>4ـ تعريف بطول الموجة</u>

نسمي طول الموجة المسافة الفاصلة بين نقطتين متتاليتين لهما نفس الحركة في نفس الوقت . ونعرف كذلك طول الموجة بالمسافة التي تقطعها الموجة المتوالية الجيبية خلال مدة زمنية تساوي دور الموجةT

$$\lambda = V.T = \frac{V}{\nu}$$

λ : طول الموجة (m)

V : سرعة انتشار الموجة (m/s)

ν : تردد الموجة (Hz)

1 ـ قس المسافتين M_1M_2 و M_2M_3 و M_1M_3

2 ـ قارن الحالات الاهتزازية للنقط M_1 ، M_2 ، M_3 .

هذه النقط لها نفس الحركة في نفس الوقت .

3 ـ أكتب المسافات M_1M_2 و M_2M_3 و M_1M_3 بدلالة λ .

$M_1M_2=\lambda$ و $M_1M_3=2\lambda$

بصفة عامة إذا كانت المسافة التي تفصل بين نقطتين M و N من الحبل تساوي عددا صحيحا لطول الموجة λ أي أن

$$SN - SM = k\lambda \qquad k \in N^*$$

فإن النقطتين تهتزان على توافق في الطور .

وإذا كانت المسافة التي تفصل بين نقطتين من الحبل P و M تساوي عددا فرديا لنصف طول الموجة :

$$SM - SP = \frac{(2k+1)\lambda}{2} \qquad k \in N^*$$

فإن النقطتين تهتزان على تعاكس في الطور .

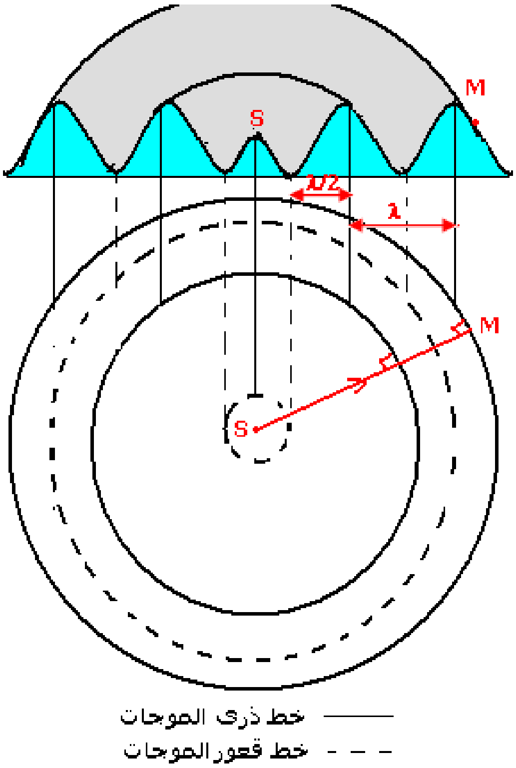
III ـ الإبراز التجريبي لظاهرة حيود موجة ميكانيكية متوالية جيبية

1 ـ الموجة المتوالية الدائرية والموجة المتوالية المستقيمية

أ ـ الموجة المتوالية الحسية الدائرية

1 ـ دراسة تجريبية : الموجة المتوالية على سطح الماء

في حوض للموجات يحتوي على ماء سمكه ثابت ، نحدث بواسطة مسمار متصل بهزاز كهربائي ، حركة اهتزازية دائمة أو مصونة ترددها 100Hz . وتفاديا لانعكاس الموجة نكسو جوانب الحوض بالقطن التي يمتصها .



1 ـ ماذا نلاحظ في غياب الوماض ؟

نلاحظ على سطح الماء تموجات دائرية تنشأ عند رأس المسمار وتنتشر على سطح الماء .

لدينا موجات ميكانيكية متوالية جيبية .

ملحوظة :

خط الموجة وشعاع الموجة

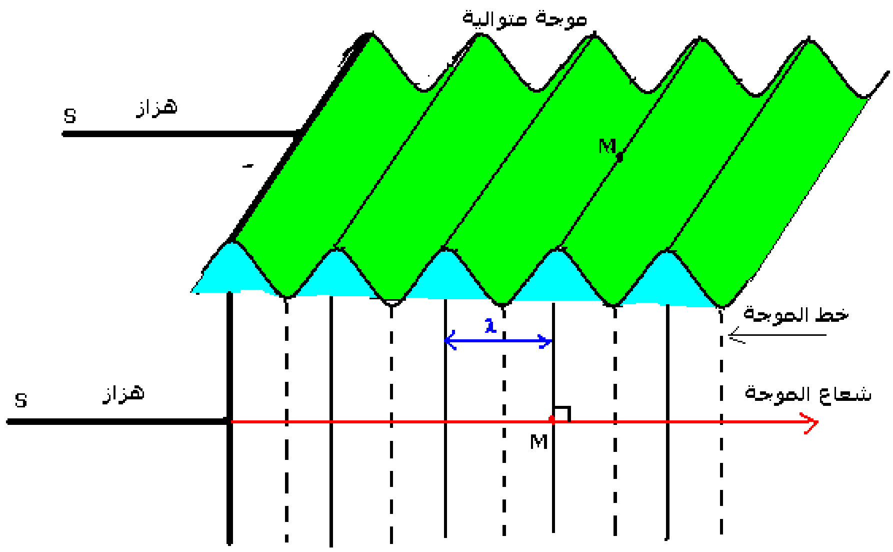
- جميع نقط وسط الانتشار المتواجدة على نفس الدائرة تهتز بكيفية مماثلة . نقول أن هذه النقط تنتمي إلى نفس خط الموجة ويسمى المستقيم SM العمودي على خط الموجة شعاع الموجة منحاه هو منحى انتشار الموجة

ب ـ الموجة المتوالية المستقيمية

في حوض للموجات يحتوي على ماء سمكه ثابت ، نحدث بواسطة صفيحة أفقية متصلة بهزاز كهربائي حركة اهتزازية دائمة . وتفاديا لانعكاس الموجة ، نكسو جوانب الحوض بالقطن من امتصاصها .

نلاحظ أن حركة الصفيحة تحدث على سطح الماء تموجات مستقيمية ، وهكذا نحصل بواسطة هذه الطريقة على موجات متوالية مستقيمية .

خطوط الموجة عبارة عن مستقيمات متوازية مع مستوى الصفيحة وأشعة الموجة متوازية فيما بينها وعمودية على خطوط الموجة .



2 ـ ظاهرة الحيود

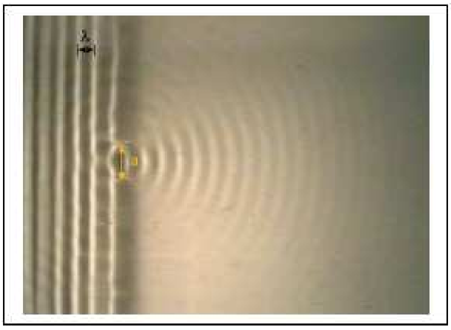
2 ـ 1 حيود الموجات الميكانيكية على سطح الماء بواسطة فتحة صغيرة

تجربة :

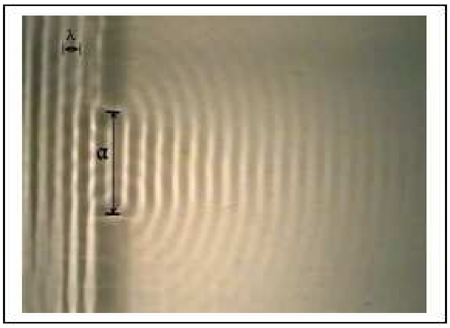
نضع رأسيا في حوض الموجات ، وعلى استقامة واحدة صفيحتين على شكل مستطيل ، مكسوتين بمادة (قطن أو إسفنج) ماصة للموجات الواردة . ونقرب الصفيحتين بحيث نحتفظ بفتحة بينهما عرض الفتحة هو ℓ.

نحدث على سطح الماء ، بواسطة هزاز ، موجة مستقيمية واردة موازية لسطح الصفيحتين .

Photographie 2



Photographie 1

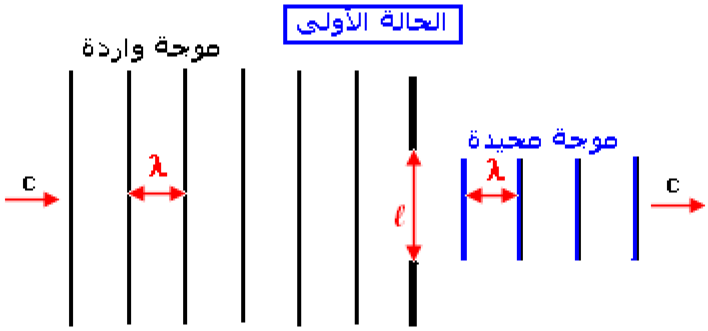


ملاحظات

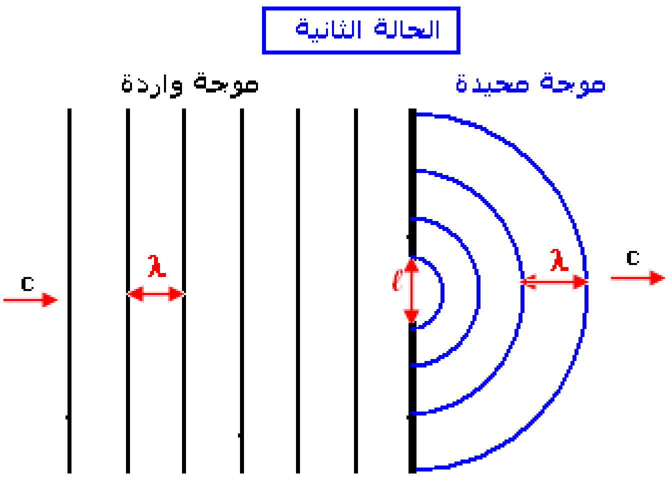
الحالة الأولى : $\ell >> \lambda$. يلاحظ

عند إضاءة سطح الماء بوماض ضبط على تردد الومضات التي تظهر توقف الموجات الواردة ، نلاحظ موجة تجتاز الفتحة الصغيرة لتنتشر وراء الصفيحتين الحاجزتين .

الفتحة تحدّ من انتشار الموجة المستقيمية في الوسط الثاني على عرض الفتحة . نقول إن الفتحة تحجب الموجة الواردة .



الحالة الثانية : $\ell \approx \lambda$ نلاحظ تحت الوماض ، تولد موجة دائرية عن الموجة المستقيمية الواردة على مستوى الفتحة . فتبدوا كأن موجة دائرية منبعثة من منبع وهمي يوجد في الفتحة : نسمي هذه الموجة **بالموجة المحيدة** وهذه التجربة تبرز **ظاهرة الحيود** .



خاصيات الموجة المحيدة

* التوقف الظاهري للموجتين الواردة والمحيدة تحت ضوء الوماض ، يدل على أن لهما نفس التردد N .

* وبما أنهما ينتشران في نفس الوسط إذن لهما نفس سرعة الانتشار C وبالتالي فلهما نفس طول الموجة λ .

خلاصة :

يحدث حيود موجة واردة على مستوى فتحة عرضها يقارب بقليل طول الموجة للموجة الواردة .

للموجتين الواردة والمحيدة نفس سرعة الانتشار c ونفس التردد N ونفس طول الموجة λ

2 ـ 2 حيود الموجات الصوتية

مثال : لاستقبال صوت وارد من خارج حجرة نقط الحجرة ويعزى هذا إلى حيود الصوت عند اجتيازه الباب .

يحدث في الهواء حيود موجات صوتية الخفيضة ذات طول الموجة يقارب المتر $\lambda \approx 1m$ والموجات الصوتية المتوسطة ذات طول الموجة يقارب الديسيمتر $\lambda \approx 1dm$ على مستوى الفتحات (البواب والنوافذ ...) .

أما الموجة الصوتية الحادة ، فلا يحدث لها حيود نقول أن انتشارها موجه . مثال ، الموجات فوق الصوتية ذات التردد أكبر من 2.10^{14}Hz .

3 ـ ظاهرة التبدد Phénomène de dispersion

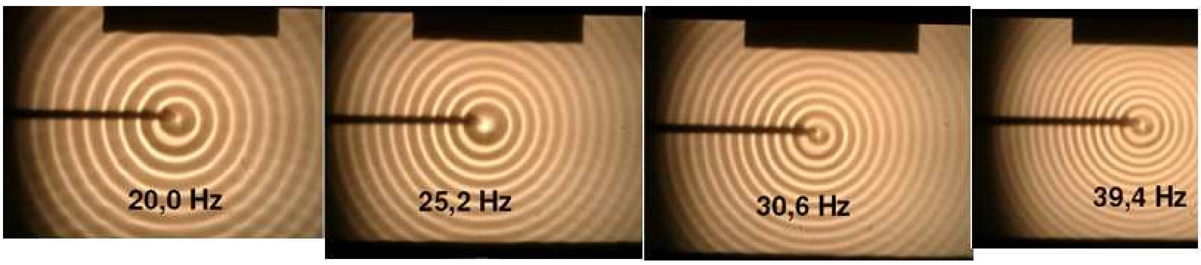
تجربة :

في حوض للموجات يحتوي على ماء سمكه ثابت ، نحدث بواسطة مسمار متصل بهزاز كهربائي ذي تردد قابل للضبط حركة اهتزازية دائمة .

نضيء سطح الماء بوماض ، نضبط تردد ومضاته على تردد يساوي تردد الهزاز فنحصل على توقف ظاهري للموجات المتوالية الدائرية .

نقيس طول الموجة λ بالنسبة لمختلف قيم التردد N ونحسب السرعة V سرعة انتشار الموجة على سطح الماء .

N(Hz)	20,0	25,0	30,0	35,0
4λ(m)	4	3,6	3,2	2,8
λ(m)				
V(m/s)				



استنتاج : أن V سرعة انتشار موجة متوالية على سطح الماء تتعلق بالتردد N و هو يساوي تردد المنبع . نقول أن الوسط مبدد .

أمثلة لأوساط غير مبددة للموجات :

- الموجات الصوتية 20000Hz>N>20Hz في الهواء ، في هذه الحالة الهواء غير مبدد لهذه الموجات .

ملحوظة : بالنسبة للموجات الصوتية ذات وسع أكبر يصبح الهواء في هذه الحالة مبدد لها . نفس الشيء بالنسبة للموجات فوق الصوتية .

وصول صوت الرعد ناتج عن أن الهواء وسط مبدد للموجات الصوتية ذات وسع أكبر . الصوت الخفيض ينتشر بسرعة أقل من الصوت الحاد .

- تلعب ظاهرة التبدد دور أكبر في البصريات .

الموجات الضوئية أو البصرية تختلف عن الموجات الميكانيكية فهي تنتشر بنفس السرعة في الفراغ .

II. الموجة الميكانيكية المتوالية الدورية

تعريف

تعتبر الموجة الميكانيكية المتوالية **دورية** إذا كانت الاهتزازات الصادرة عن المنبع تتكرر بشكل دوري. وتكون جيبية إذا كان المقدار الفيزيائي المميز للاهتزازات (استطالة، ضغط...) دالة زمنية جيبية.

تتميز الموجة الميكانيكية المتوالية الدورية بدورها $T(s)$ و بترددها (Hz) $N = \frac{1}{T}$.

- الدورية الزمانية و الدورية المكانية

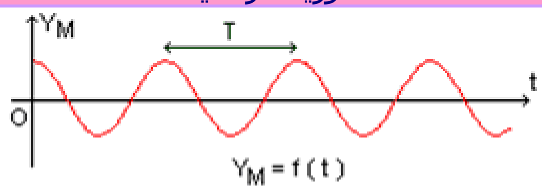
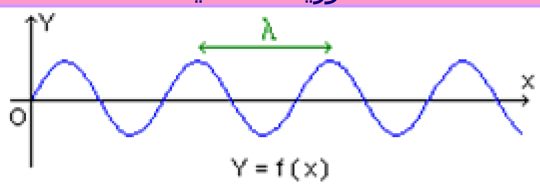
لموجة جيبية دوريتان:

- دورية زمانية:

كل نقطة M من وسط الانتشار تعود لنفس الحالة الاهتزازية أي تكرر نفس الحركة بعد مدد زمنية متتالية و متساوية تساوي **الدور الزماني T**.

- دورية مكانية:

في لحظة ما t، نقط وسط الانتشار التي تفصل بينها مسافات متقايسة في اتجاه الانتشار تساوي **الدور المكاني** λ، لها نفس الحالة الاهتزازية.

الدورية الزمانية	الدورية المكانية
	
يمثل المنحنى تغيرات استطالة نقطة ما M من وسط الانتشار بدلالة الزمن.	يمثل المنحنى استطالات جميع نقط وسط الانتشار في لحظة ما t أي يمثل مظهر الوسط في اللحظة t.

المسافة λ تسمى **طول الموجة**.

- طول الموجة

تعريف

طول الموجة يساوي المسافة التي تقطعها الموجة خلال كل دور زماني T،

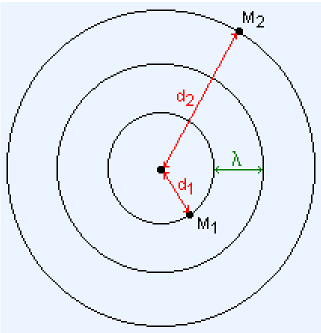
و تعبيرها: (m) $\lambda = vT = \frac{v}{N}$

حيث v سرعة انتشار الموجة.

☜ يمكن أن نقول أيضا أن طول الموجة يساوي **أصغر** مسافة في اتجاه الانتشار تفصل نقطتين من وسط الانتشار لهما نفس الحالة الاهتزازية (نقول أنهما على توافق في الطور).

☜ التردد و الدور مميزتان لموجة: لا يتعلقان بوسط الانتشار، لكن طول الموجة ليس مميزة لها إذ يتعلق بالوسط .

• مقارنة اهتزازات نقطتين من وسط الانتشار



$\lvert d_2 - d_1 \rvert = k\lambda$ $k \in \mathbb{N}$	النقطتان تهتزان على **توافق** في الطور: $y_{M_2} = y_{M_1}$ في كل لحظة
$\lvert d_2 - d_1 \rvert = (2k+1)\dfrac{\lambda}{2}$	النقطتان تهتزان على **تعاكس** في الطور: $y_{M_2} = - y_{M_1}$ في كل لحظة

• معاينة ظاهرة اهتزازية بالوماض

- الوماض جهاز يرسل ومضات سريعة و دورية و دورها T_S قابل للضبط. يمكن الوماض من معاينة ظواهر دورية سريعة يستحيل تتبعها بالعين المجردة. كما يستعمل لقياس تردد أو سرعة دوران.
- يمكن الوماض من قياس الدور T لظاهرة دورية : هذا الأخير يساوي أصغر قيمة لدور الومضات التي تمكن من مشاهدة توقف ظاهري:

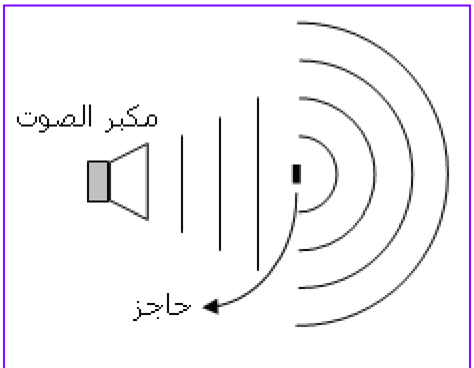
$T_S = kT$	توقف ظاهري لنقط وسط الانتشار
$T_S \geq T$	حركة ظاهرية بطيئة في المنحى الحقيقي ترددها: $N_a = N - N_S$
$T_S \leq T$	حركة ظاهرية بطيئة في المنحى المعاكس ترددها: $N_a = N_S - N$


صورة لوماض

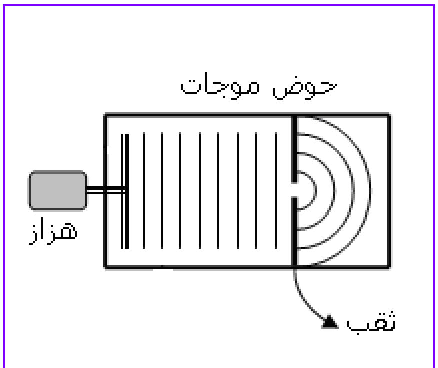
III. حيود موجة ميكانيكية

• ظاهرة الحيود

تعتبر ظاهرة الحيود خاصية للموجات، و تحدث عندما تصادف موجة ثقبا أو حاجزا أبعاده صغيرة.



حيود موجة صوتية

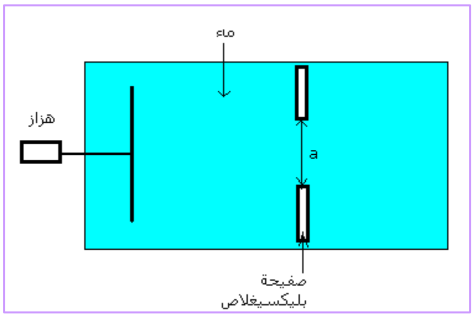


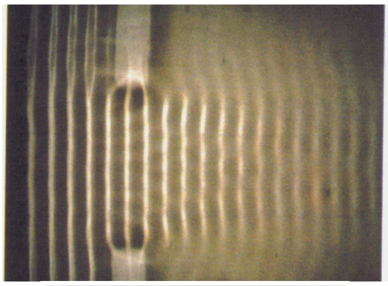
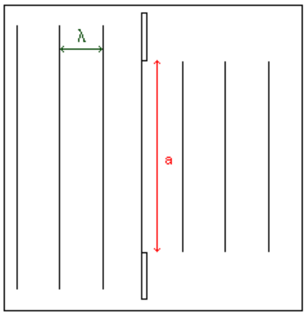
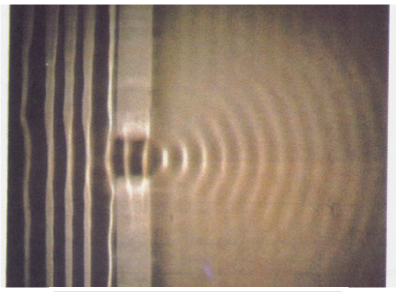
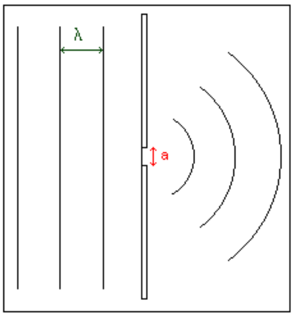
حيود موجة ميكانيكية

يتصرف الثقب أو الحاجز كمنبع للموجات.

- شرط الحيود

نحدث موجة مستقيمية على سطح الماء و نغير a عرض الفتحة التي بين الصفيحتين بإبعادهما أو تقريبهما.فنشاهد الحالتين التاليتين(الصورتان أسفله).



$a \gg \lambda$	$a \leq \lambda$
  لا تحدث ظاهرة الحيود	  تحدث ظاهرة الحيود

للموجتين الواردة و المحيدة نفس المميزات: سرعة الانتشار و التردد و طول الموجة.

IV. تبدد موجة ميكانيكية

تعريف

يعتبر وسط الانتشار مبددا لموجة متوالية جيبية إذا كانت سرعة انتشارها في هذا الوسط تتعلق بترددها.

- أمثلة: سطح الماء وسط مبدد للموجات الميكانيكية.

الهواء وسط غير مبدد للموجات الصوتية.

انتشار موجة ضوئية
Propagation d’une onde lumineux

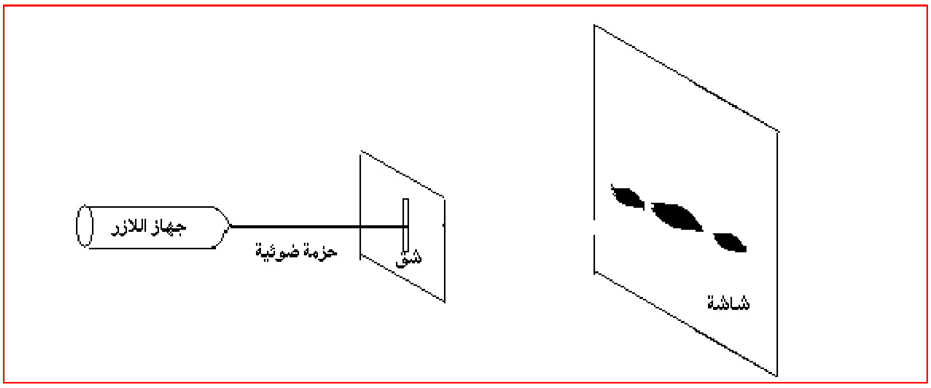
I ـ الإبراز التجريبي لظاهرة حيود الضوء

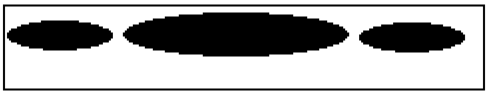
1 ـ تجربة

ننجز التركيب التجريبي جانبه حيث :

ـ الحزمة الضوئية المنبعثة من جهاز اللازر تقع في وسط الورق الميليمتري .

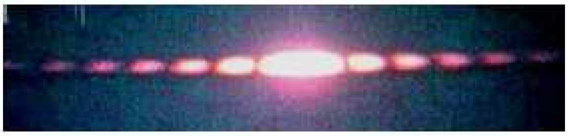
ـ نضع صفيحة بها شق عرضه a على مسافة D=1,77m من الشاشة ، فنشاهد على هذه الأخيرة الشكل أ .





الشكل ب

الشكل أ



ـ نعوض الصفيحة بأخرى شقها عرضه a/2 فنحصل على الشكل ب

ـ نحتفظ بنفس المسافة D=1,77m ونستعمل صفائح شقوقها مختلفة العرض a . نقيس بالنسبة لكل صفيحة العرض L للبقع المركزية المشاهدة على الشاشة .

ندون في جدول قيم كل من a و L . فنحصل على الجدول التالي :

a(µm)	380	250	110	90	50
L(mm)	5,5	8,5	2,0	2,5	3,0

استثمار

1

الماء

ظاهرة حيود الموجات الميكانيكية تحدث عندما

من طول الموجة الميكانيكية .

نفس الشيء بالنفس للضوء فعند وصوله إلى حاجز ذي فتحة عرضها aصغير جدا يتغير اتجاه انتشار الأشعة الضوئية .

2 ـ ذكر بالمبدأ المستقيمي للضوء . هل يتحقق هذا المبدأ خلال هذه التجربة ؟

ينتشر الضوء في أوساط شفافة ومتجانسة وفق خطوط مستقيمية .

عند وصول الضوء إلى الحاجز ذي الفتحة يتغير اتجاه انتشاره وبالتالي فإن مبدأ انتشار الضوء لايتحقق . لت هذه الأشعة الضوئية يمكنها أن تصل إلى أماكن توجد وراء الحاجز . نقول أن الضوء خضع لظاهرة الحيود
عند حدوث
، وتقل شدة إضاءتها كلما ابتعدنا عن المركز ويتصرف هنا الشق كمنبع ضوئي وهمي
3 ــ ماذا يمكن استخلاصه فيما يخص طبيعة الضوء ؟
مبدأ الإنتشار المستقيمي للضوء لا يمكن من تفسير وصول الضوء لأما
وبالمماثلة مع الموجات الميكانيكية نعتبر الضوء موجة .

خلاصة :

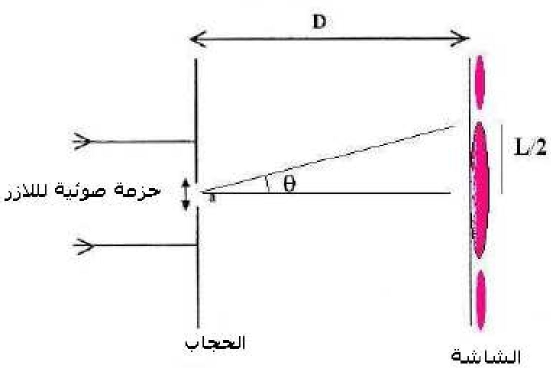
كما هو الشأن بالنسبة لحيود موجة ميكانيكية مستقيمية على سطح الماء في حوض الموجات ، يتم حيود الضوء ، بواسطة فتحات صغيرة : ثقب أو شق رأسي أو سجاف voilage والتي يمكن اعتبارها منابع ضوئية وهمية ، الشيء الذي يثبت الفرضية التالية :

إن الضوء عبارة عن موجات متوالية . ويسمى هذا المظهر الموجي للضوء .

ولقد توصل العالم هويكنس Huygnes إلى هذه الفرضية في منتصف القرن السابع عشر الميلادي وثم إثباتها تجريبيا في بداية القرن التاسع عشر الميلادي من طرف العالم يونغ Young

4 ــ تحديد طول الموجة لموجة ضوئية منبعثة من جهاز اللازر .

ــ يرمز للفرق الزاوي بين وسط البقعة المركزية وأول بقعة مظلمة بالحرف θ .
4 ــ 1 بالنسبة لفرق زاوي صغير ، يمكن كتابة العلاقة $\tan\theta = \theta$ ، حيث يعبر عن θ بالرديان .
أثبت العلاقة : $\theta = \dfrac{L}{2D}$



نعبر عن الفرق الزاوي θ بالرديان بين وسط الهذب المركزي وأول هذب مظلم

من خلال الشكل لدينا :

$$\tan\theta = \frac{\sin\theta}{\cos\theta} = \frac{L}{2D}$$

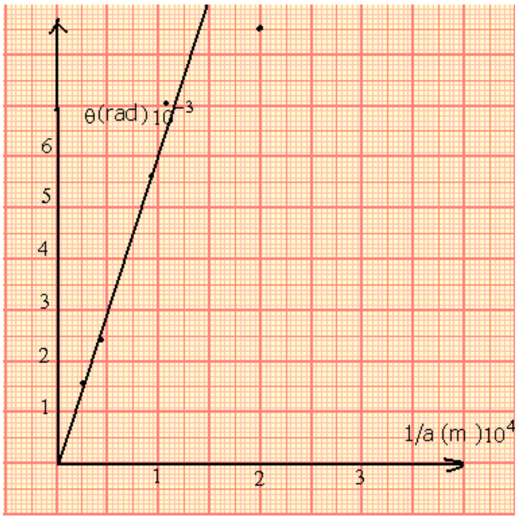
باعتبار أن θ صغيرة جدا فإن

$$\tan\theta \approx \theta = \frac{L}{2D}$$

4 ــ 2 مثل المنحنى الممثل لتغيرات θ بدلالة $\dfrac{1}{a}$

a(μm)	380	250	110	90	50
L(m)	$5{,}5.10^{-3}$	$8{,}5.10^{-3}$	$2{,}0.10^{-2}$	$2{,}5.10^{-2}$	$3{,}0.10^{-2}$
1/a(m^{-1})	$2{,}6.10^{3}$	$4{,}0.10^{3}$	$9{,}1.10^{3}$	$1{,}1.10^{4}$	$2{,}0.10^{4}$
θ(rad)	$1{,}55.10^{-3}$	$2{,}40.10^{-3}$	$0{,}56.10^{-2}$	$0{,}71.10^{-2}$	$0{,}85.10^{-2}$

التمثيل المبياني باختيار السلم التالي :
بالنسبة ل 1/a نختار : $1cm \leftrightarrow 0{,}5.10^{4} m^{-1}$
بالنسبة ل θ نختار : $1cm \leftrightarrow 1.10^{-3} rad$



4 ـ 3 أستنتج العلاقة الرياضية بين θ و (1/a) . ما هو المدلول الفيزيائي للمعامل الموجه للمنحنى المحصل عليه ؟

$\theta = k.\frac{1}{a}$ و من خلال االتحليل البعدي لهذه العلاقة يتبين أن الثابتة k تمثل طول الموجة لأن وحدتها في المعادلة هي المتر . وبالتالي فالعلاقة بين θ و (1/a) هي : $\theta = \frac{\lambda}{a}$

5 ـ ما تأثير عرض الشق a على العرض L للبقعة المركزية ؟

II – الموجات الضوئية

1 ـ انتشار الموجات الضوئية

الضوء الطبيعي المنبعث من الشمس يحتاج لوسط مادي لانتشاره خلافا للموجات الميكانيكية .

تنتشر الموجات الضوئية في الفراغ .

في سنة 1821 نشر فرينل Fresnel فرضيته بالنسبة للإهتزازات الضوئية باعتبارها موجات مستعرضة أي أنها متعامدة مع اتجاه انتشارها . بحيث أن هذه الاشارة هي عبارة عن مجال كهربائي مقرون بمجال مغناطيسي لذا نسميها بالموجات الكهرمغنطيسية .

الموجات الضوئية موجات كهرمغنطيسية .

تنشر في الفراغ بسرعة $c \approx 3.10^8 m/s$.

سرعة انتشار الضوء في الفراغ هي ثابتة عالمية قيمتها c=299 792 458m/s في وسط مادي شفاف سرعة الضوء أصغر من سرعته غي الفراغ . في الهواء تقارب سرعته في الفراغ .

ـ تحمل الموجات الضوئية طاقة تسمى طاقة الإشعاع .

2 ـ العلاقة بين طول الموجة الضوئية والتردد

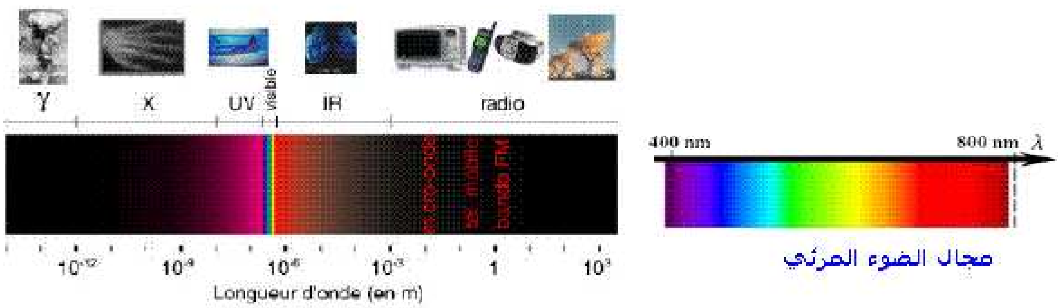
تتميز موجة ضوئية أحادية اللون بترددها ν ، نعبر عنه بالهرتز (Hz) أو بالدور $T = \frac{1}{\nu}$ نعبر عنها بالثانية s .

- تردد موجة ضوئية هي نفسها في جميع الأوساط الشفافة .
- طول الموجة λ في الفراغ يمثل الدورية المكانية و T تعبر عن الدورية الزمنية . هذان المقداران مرتبطان بالعلاقة التالية :

$$\lambda = c.T$$

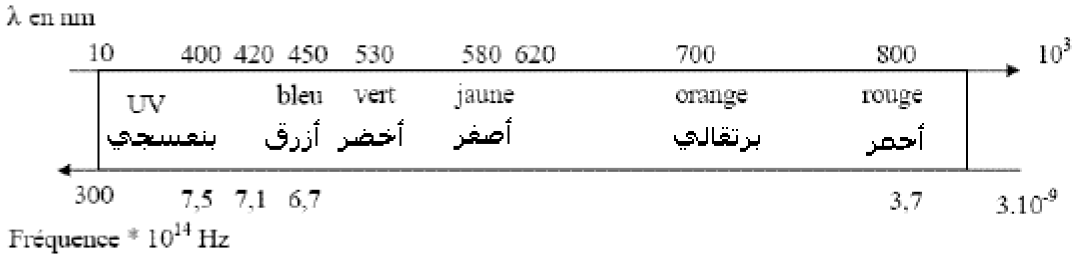
نعبر عن λ بالمتر (m) و عن c ب (m/s) و ν ب الثانية (s) .

يبين الجدول التالي مجال الترددات وطول الموجة للموجات الضوئية في الفراغ :



Domaine de différentes radiations en fonction de leurs longueurs d'onde

مجال مختلف الاشعاعات بدلالة طول الموجات



La dispersion de la lumière III ـ تبدد الضوء

3 ـ 1 سرعة الانتشار ومعامل الانكسار n

تعريف : معامل انكسار وسط شفاف هو النسبة بين سرعة الانتشار c للضوء في الفراغ وسرعة انتشاره V في هذا الوسط الشفاف .

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

معامل الانكسار ليست له وحدة .

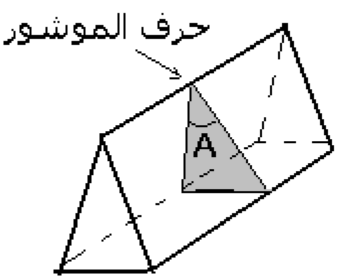
في الهواء كل الإشعاعات تنتشر بسرعة V تقارب c وبالتالي فمعامل انكسار الهواء يقارب 1 : $n_{air} = 1,00$.

في الماء ، تساوي سرعة الضوء تقريبا $2,3.10^8 m/s$ أي أن معامل الانكسار الماء هو :

$$n_{eau} = 1,3$$

3 ـ 2 معامل الانكسار وطول الموجة

طول الموجة λ لإشعاع تردد ν هو : $\lambda_{vide} = c.T = \frac{c}{\nu}$



في وسط شفاف مبدد معامل انكساره $n = \frac{c}{V}$ ، الإشعاع ذي التردد ν طول موجته λ نعبر عنها بالعلاقة التالية :

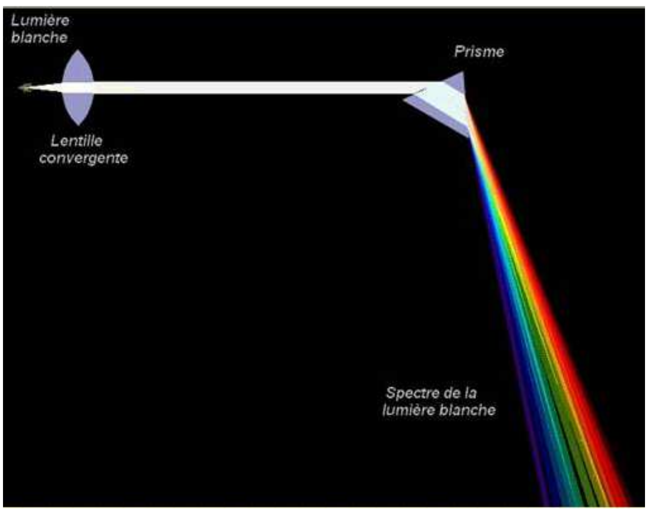
$\lambda = V.T = \frac{c}{n.V}$ حسب العلاقة السابقة

$$\lambda = \frac{\lambda_{vide}}{n} \Rightarrow n = \frac{\lambda_{vide}}{\lambda}$$

3 ـ 3 تبدد الضوء بواسطة موشور

تعريف بالموشور :

الموشور وسط شفاف محدود بوجهين مستويين غير متوازيين ، يتقاطعان حسب مستقيم يسمى حرف الموشور



- مستوى المقطع الرأسي هو المستوى المتعامد مع الحرف
- قاعدة الموشور هي الوجه المقابل للحرف
- زاوية الموشور هي الزاوية $\hat{A}$ المقابلة للقاعدة .

تجربة : تحليل الضوء الأبيض

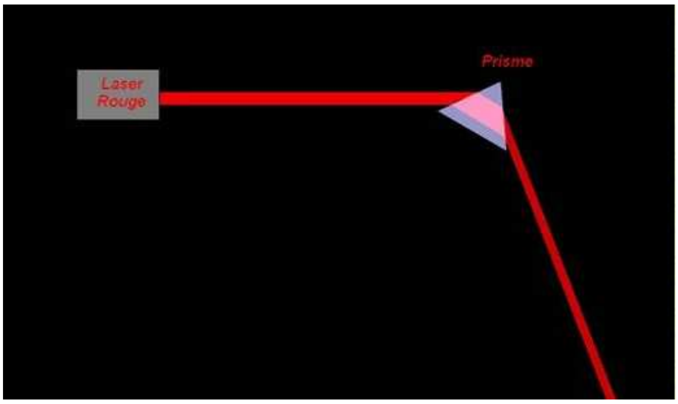
أنظر هذا الرابط بالأنترنيت

http://www.up.univ-mrs.fr/~laugierj/CabriJava/0pjava60.html

نضع أمام منبع ضوئي (S) ، حجابا به شق رقيق جدا ونحقق بواسطة عدسة رقيقة مجمعة ،

على شاشة E ، صورة الشق ، ثم نضع بين العدسة والشاشة ، موشورا من زجاج شفاف .
ملاحظات :

- انحراف الحزمة الضوئية بسبب وجود الموشور
الأولى عند دخولها الموشور والثانية عند خروجها منه .
- نلاحظ على الشاشة E بقعة ضوئية ملونة وهذه الألوان مشابهة لألوان قوس قزح ، تسمى هذه البقعة الضوئية الملونة ب**طيف الضوء الأبيض**
- عند استعمال ضوء أحادي اللون (الأحمر) نلاحض على الشاشة طيف ضوئي يضم حزة واحدة
- يعطي الضوء الأبيض طيف ضوئي مستمر
- الزجاج وسط مبدد للضوء حيث معامل الانكسار يتعلق بتردد الاشعاعات الضوئية



التحليل

أ ــ انحراف الضوء الأحادي اللون :
يرد شعاع ضوئي أحادي اللون ينتمي إلى المقطع الرأسي على وجه الموشور .

1 ــ ما هي الظاهرة التي تحدث عند دخوله الموشور ، ثم عند خروجه منه ؟

ــ تحدث ظاهرة الانكسار مرتين : عنط دخوله في النقطة I ، ثم عند خروجه في النقطة I' .

2 ــ حدد على الشكل زاوية الانحراف D بين SI الشعاع الوارد على الموشور والشعاع المنبعث عند خروجه منه I'R : $D=(\widehat{\vec{SI},\vec{I'R}})$

ــ الشعاعان SI و I'R ليس لهما نفس الاتجاه وبالتالي فغن الموشور قد غير اتجاه الضوء الأحادي اللون / تسمى هذه الظاهرة انحراف الضوء بواسطة موشور .

<u>تعريف</u> : زاوية الانحراف D هي الزاوية التي يكونها اتجاه الشعاع الوارد SI مع اتجاه الشعاع المنبعث I'R أي $D=(\widehat{\vec{SI},\vec{I'R}})$

3 ــ أوجد هندسيا وبتطبيق قوانين ديكارت للانكسار صيغ الموشور .

حسب قوانين ديكارت للإنكسار لدينا :

$$\sin i = n\sin r$$

$$n\sin r' = \sin i'$$

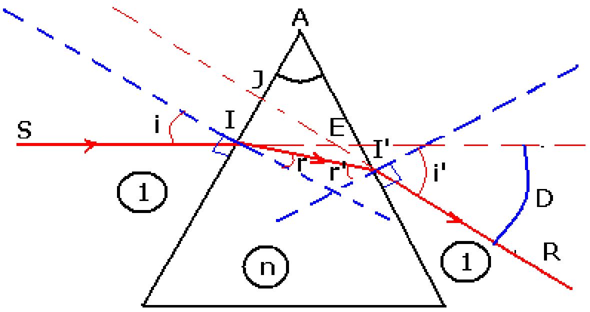
هندسيا لدينا : حسب المثلث AII'

$$\hat{A}+(\frac{\pi}{2}-r)+(\frac{\pi}{2}-r')=\pi \Rightarrow \hat{A}=r+r'$$

نأخذ زاويا المثلث AJI' و IJE

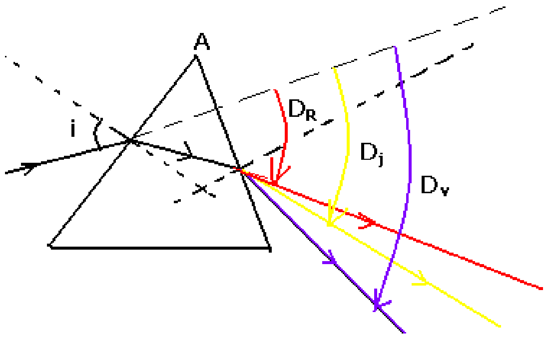
$$\hat{A}+(\frac{\pi}{2}-i')+(\pi-\frac{\pi}{2}-i+D)=\pi \Rightarrow \hat{A}-i'-i+D=0$$

$$D=i+i'-\hat{A}$$



أنظر الربط بالأنترنيت التالي :
http://perso.orange.fr/guy.chaumeton/animations/2dprisme1.htm

3 ـ 4 ظاهرة تبدد الضوء



نرسل حزمة رقيقة من الضوء الأبيض على موشور كما هو ممثل في الشكل ونعتبر العلاقة :

$D = i + i' - A$

نلاحظ :

بالنسبة للإشعاعات التي تكون الضوء الأبيض أن كلا من الزاويتين i و A لهما نفس القيمة ، بينما قيمتا الزاويتين i' و D مرتبطتان بقيمة معامل الانكسار n أي طول موجة الاشعاع أي لون هذا الأخير .

$\sin i = n \sin r$

$n \sin r' = \sin i'$

مما يبين أن معامل انكسار زجاج الموشور يتعلق بتردد الموجات الضوئية وبما أن $n = \frac{C}{V}$

فإن سرعة انتشار الموجات تتعلق كذلك بتردد الموجات وهذا يبين أن زجاج الموشور مبدد للضوء

بالنسبة لمنحى الانحراف D ، فإنه يكبر من اللون الأحمر إلى اللون البنفسجي أي الضوء الأحمر أقل انحرافا بينما الضوء البنفسجي أكثر انحرافا . $D_v > D_j > D_R$

خلاصة :

يتعلق معامل انكسار وسط شفاف بتردد الإشعاعات الضوئية ، وهذا ما يسبب ظاهرة تبدد الضوء

ملحوظة :

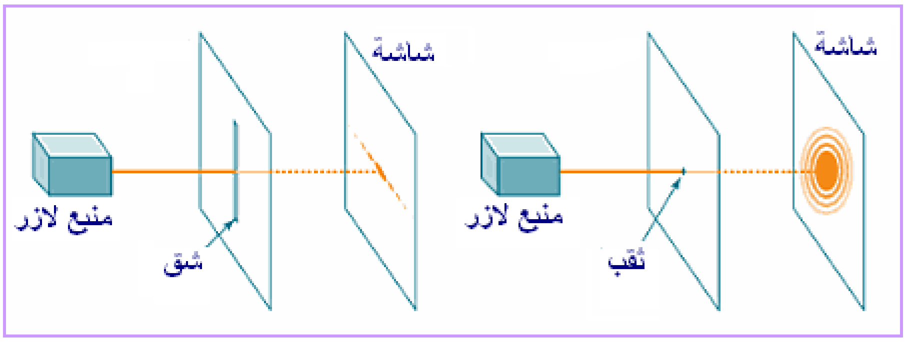
تتميز الموجة الضوئية بطول موجتها لكون أن طول الموجة يتغير عندما تنتقل من وسط إلى آخر ($n = \frac{\lambda_0}{\lambda}$ طول الموجة الضوئية يتعلق بمعامل الانكسار) بينما ، التردد يبقى هو نفسه . فالذي يتغير من وسط إلى آخر هو سرعة انتشار الضوء

حسب قانون ديكارت للانكسار $\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$

انتشار موجة ضوئية

I. النموذج الموجي للضوء

- ظاهرة حيود الضوء



- الطبيعة الموجية للضوء

ظاهرة حيود الضوء دليل على أن الضوء موجة.

- الضوء موجة كهرمغنطيسية (انتشار مجالين مغنطيسي و كهربائي) تنتشر في الأوساط المادية الشفافة و أيضا **في الفراغ** ، على عكس الموجات الميكانيكية.
- سرعة انتشار موجة ضوئية **ثابتة** وتساوي في حالة الفراغ: $c = 3.10^8\ m.s^{-1}$
- في وسط مادي شفاف تنتشر الموجة الضوئية بسرعة v **أقل** من c.

المعامل: $\boxed{n = \frac{c}{v}}$ $(n \geq 1)$ يسمى معامل الانكسار و هو يميز وسط الانتشار.

II. خصائص الموجة الضوئية

- الضوء الأحادي اللون

تعريف الضوء أو الإشعاع الأحادي اللون موجة متوالية جيبية ترددها ν مستقل عن وسط الانتشار ولا يتعلق إلا بالمنبع.

- مثال: ضوء اللازر.

خاصية يرتبط **لون** كل إشعاع أحادي اللون **بتردده.**

- طول الموجة لضوء أحادي اللون

على عكس التردد و الدور اللذين هما من خصائص الموجة، يتعلق طول الموجة بوسط الانتشار.

- طول الموجة في الفراغ

تعبير طول الموجة لإشعاع أحادي اللون في الفراغ هو: (m) $\boxed{\lambda_0 = \frac{c}{\nu}}$

☜ يفضل تمييز ضوء أحادي اللون بطول موجته في الفراغ بدل تردده.

▪ طول الموجة في وسط مادي شفاف

تعبير طول الموجة لإشعاع أحادي اللون في وسط مادي شفاف هو: (m) $\boxed{\lambda = \frac{v}{\nu}}$

عمليا يعبر عن طول الموجة للإشعاعات الضوئية بإحدى الوحدتين التاليتين:

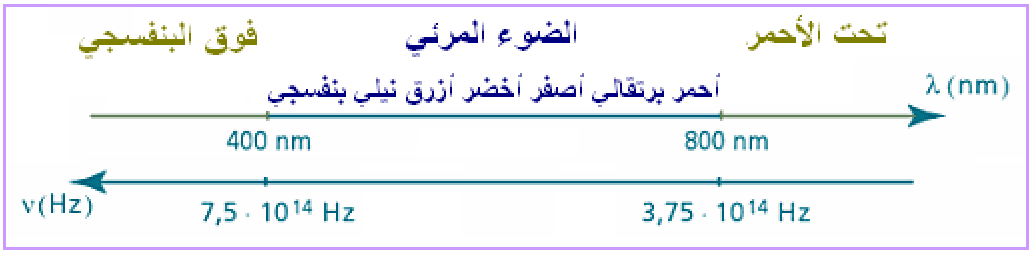
- الميكرومتر μm : $1\ \mu m = 10^{-6} m$
- النانومتر nm : $1\ nm = 10^{-9} m$

باعتبار تعريف معامل الانكسار يمكن أن نكتب التعبير التالي: $\boxed{\lambda = \frac{\lambda_0}{n}}$

- الضوء المرئي

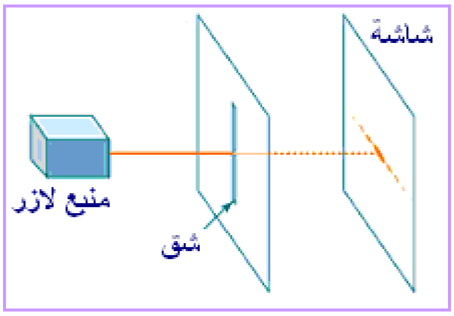
الضوء المرئي هو الموجات الكهرمغنطيسية التي تراها عين الإنسان .

و هو ضوء مركب من سلسلة مستمرة لإشعاعات أحادية اللون.



البادئتان "فوق" و "تحت" هما نسبة للتردد.

III. حيود ضوء أحادي اللون بواسطة شق



شكل الحيود المعاين على الشاشة

- إذا كان الشق عموديا يكون شكل الحيود أفقيا.
- إذا كان الشق أفقيا يكون شكل الحيود عموديا.
- عرض الشق (و ليس طوله) هو الذي يحدث الحيود.

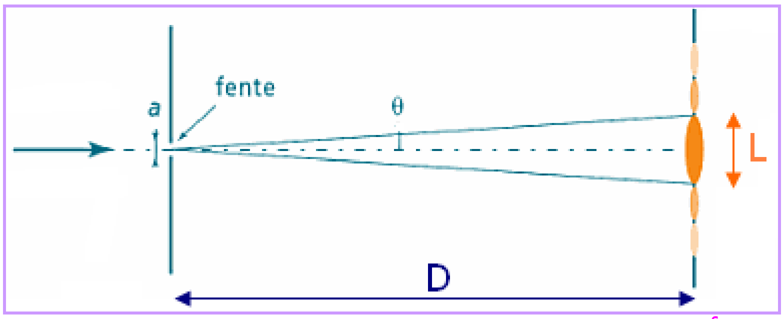
تعريف

الفرق الزاوي θ بين منتصف بقعة الحيود المركزية و منتصف أول بقعة مظلمة يحقق العلاقة التالية: (rad) $\boxed{\theta = \frac{\lambda}{a}}$

λ طول الموجة للإشعاع الوارد على شق عرضه a.

باعتبارها صغيرة تحقق زاوية الحيود أيضا العلاقة التالية: $\theta = \frac{L}{2D}$ (rad)

L عرض بقعة الحيود المركزية و D المسافة الفاصلة بين الشق و الشاشة.

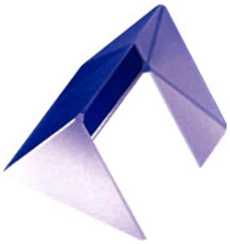


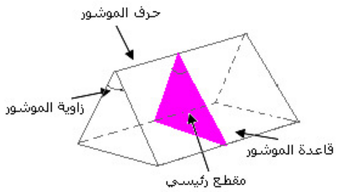
IV. تبدد الضوء الأبيض بواسطة موشور

- المـوشـور

تعريف

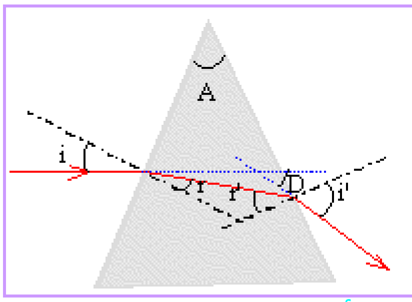
الموشور وسط شفاف محصور بين سطحين (وجهين) مستويين و غير متوازيين. نميز موشورا بزاويته A و بمعامل الانكسار n للمادة التي تكونه.





- انحراف ضوء أحادي اللون بواسطة موشور

مسار شعاع أحادي اللون عبر موشور يخضع للعلاقات الأربع التالية:



$\sin i = n \sin r$

$n \sin r' = \sin i'$

$A = r + r'$

$D = i + i' - A$

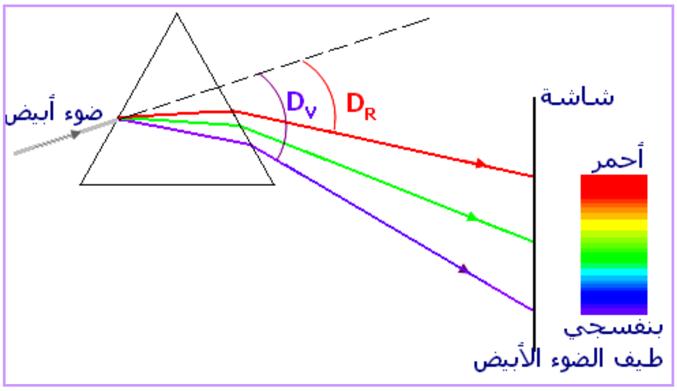
i زاوية الورود على الوجه الأول
r زاوية الانكسار الأول
r' زاوية الورود على الوجه الثاني
i' زاوية الانكسار الثاني
D زاوية الانحراف

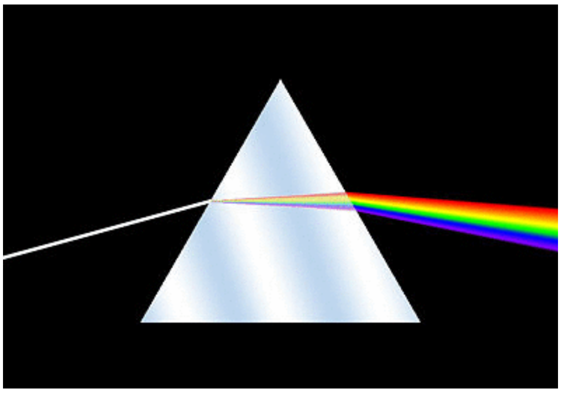
ينحرف الشعاع نحو قاعدة الموشور

- تبدد الضوء الأبيض بواسطة موشور

تعريف

ظاهرة تبدد الضوء هي فصل الإشعاعات الأحادية اللون التي تكون الضوء الأبيض أو ضوءا مركبا.





الشعاع الأحمر هو الأقل انحرافا بينما البنفسجي هو الأكثر انحرافا.

تفسر ظاهرة تبدد الضوء بارتباط معامل الانكسار لوسط شفاف بترددات الإشعاعات الأحادية اللون التي تنتشر فيه. يوصف هذا الوسط بالوسط المبدد.

معامل الانكسار n للزجاج يتزايد مرورا من الأحمر إلى البنفسجي و زاوية الانحراف D تزداد بتزايد n.

$$\lambda_V < \lambda_J < \lambda_R$$

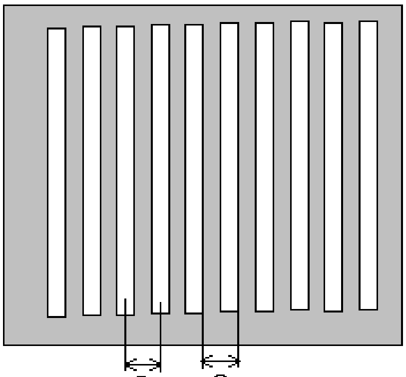
$$\rightarrow \quad n_V > n_J > n_R$$

$$\rightarrow \quad D_V > D_J > D_R$$

حيود الضوء بواسطة شبكة
Détraction de la lumière par un réseau

I ــ تعريف

الشبكة مجموعة بصرية تمكن من الحصول على ظاهرة تبدد الضوء الأبيض شأنها شأن الموشور . وهي عبارة عن صفيحة مكونة من عدة شقات دقيقة ومتوازية متساوية المسافة فيما بينها .



شبكة مستوية

تعريف بخطوة الشبكة pas d'un réseau

تسمى المسافة بين شقين متتالين : خطوة الشبكة ويرمز له بالحرف a .

تتميز الشبكة بعدد الشقات في وحدة الطول أي عدد الشقات في متر واحد . ويعبر عن هذا العدد بالعلاقة $n=\frac{1}{a}$

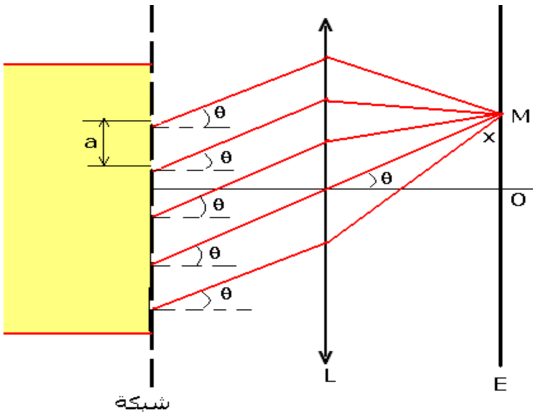
حيث وحدة a هي المتر .

يوجد نوعين من الشبكات :

ــ شبكة ذات مساحة شفافة مثل الستائر وتسمى شبكة بالانتقال .

ــ شبكة ذات مساحة عاكسة مثل الأقراص المدمجة ذي القراءة باللازر وتسمى شبكة بالانعكاس

تمرين تطبيقي : تضم شبكة 400 شقا في المتر . احسب خطوة الشبكة a . شبكة خطوتها $a=10^{-3}mm$. احسب n عدد الشقات في المتر .



II ــ الإبراز التجريبي لحيود الضوء الأحادي اللون بواسطة شبكة .

II ــ 1 ــ تجربة :

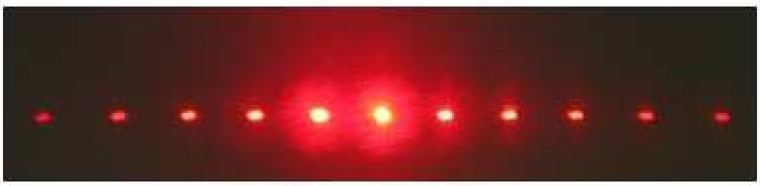
نرسل بواسطة جهاز اللازر حزمة ضوئية دقيقة أحادية اللون على شبكة بالانتقال (شبكة ذات مساحة شفافة) توجد أمام عدسة مجمعة .

نضع في المستوى البؤري الصورة للعدسة شاشة .

II ــ 2 ــ استثمار النتائج التجريبية

1 ــ صف ما تشاهده على الشاشة ؟

نشاهد سلسلة من بقع ضوئية أحادية اللون متوازية ومتساوية المسافة فيما بينها ومتماثلة بالنسبة للبقعة المركزية .


الشكل الملاحظ على الشاشة

ما اسم هذه الظاهرة ؟

ظاهرة الحيود . وهي تثبت الطبيعة الموجية للضوء وتتصرف شقوق الشبكة كمنابع ضوئية ثانوية ، تبعث موجات ضوئية في جميع اتجاهات المستوى .

2

ويصطلح على إعطاء الرتبة k=0 لهذه البقعة . وترقم البقع الأخرى انطلاقا من من رتبة البقعة المركزية ,

2 ــ 1 تحقق تجريبيا أن إضاءة البقع تنقص مع تزايد رتبها .

يتضح من خلال الشكل أنه كلما ابتعدنا من البقعة المركزية يتزايد عدد الرتب بينما الإضاءة تنقص

3ــ نعوض الشبكة بواسطة قرص مدمج

3 ــ 1 ماذا تلاحظ ؟

نلاحظ عدة أشعة ذات ألوان مختلفة أحادية أو طيف من الألوان الضوء الأبيض على وجه القرص

3 ــ 2 أين يجب وضع الشاشة للحصول على بقع ضوئية ؟

يجب وضع الشاشة في المكان الذي يوجد فيه الضوء المنعكس بواسطة القرص .

عندما يتبث الملاحظ شعاع على وجه القرص ويغير اتجاهه الزاوي بالنسبة لهذه النقطة يلاحظ عدة أطياف على وجه القرص من الأحمر إلى البنفسجي .

3 ــ 3 هل القرص المدمج شبكة بالانتقال ؟

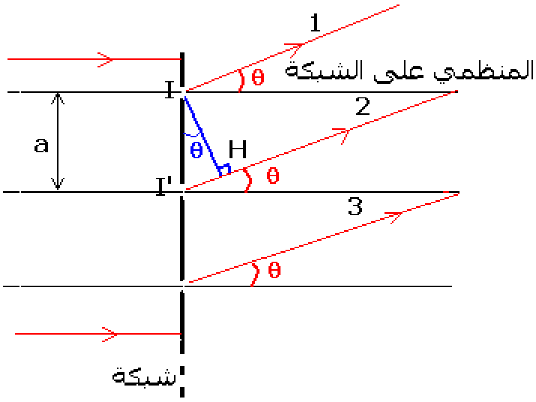
ليست بشبكة بالانتقال لكن هو شبكة بالإنعكاس .

II ــ 3 ــ تفسير وتعليل : حالة ورود منظمي .

في هذه الحالة يكون اتجاه الحزمة الضوئية الأسطوانية الواردة على الشبكة عموديا وهذا يعني أن كل الشقات (أو الثقب) I و I′ ....

جميع اتجاهات المستوى : نقول إن الشبكة سببت في حيود الضوء الأحادي اللون .

- فرق السير



تعريف : نعتبر الموجتين 1 ، 2 المنبعثتين من الشقين I و I′ بحيث تكونان زاوية θ مع الخط المنظمي على الشبكة . نعرف فرق السير المسافة I′H بحيث H الإسقاط العمودي للنقطة I على الموجة 2 حسب الشكل :

$\delta = d_2 - d_1 = I'H$ بحيث أن d_1 المسافة المقطوعة من طرف الموجة 1 و d_2 المسافة لمقطوعة من طرف الموجة 2.

ولدينا $\theta = (\widehat{I'IH})$ إذن

$$\sin\theta = \frac{I'H}{II'} = \frac{I'H}{a} \Rightarrow I'H = a\sin\theta$$

أي أن $\delta = a\sin\theta$

- موضع النقط ذات إضاءة القصوى

كل الموجات الضوئية الأحادية اللون المنتشرة وفق الاتجاهات θ تتراكب فيما بينها ـ في اللانهاية ـ لكي تكوّن δ عددا مضاعفا لطول الموجة λ للموجة الضوئية .

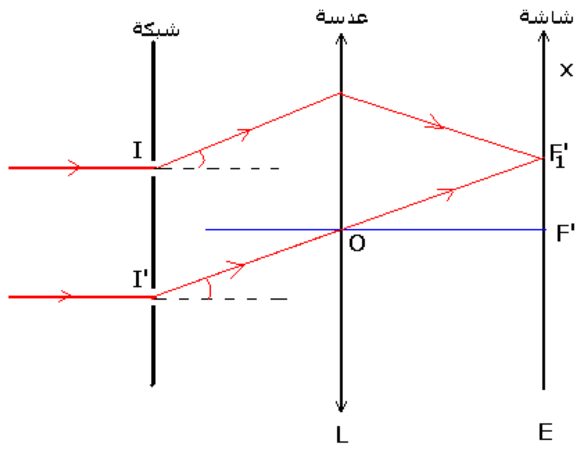
$$\delta = k\lambda \text{ avec } k \in Z$$

أي أن $a\sin\theta = k\lambda$ وبما أنه لدينا $a = \frac{1}{n}$

وبالتالي : $\sin\theta = k\lambda n$ بحيث أن $k \in Z$

هذه العلاقة : $\sin\theta = k\lambda n$ تحدد زوايا انحراف الاتجاهات الموافقة للإضاءة القصوية .

إذا اقتصرت الدراسة على النقط ذات الإضاءة القصوية (البؤر الثانوية الصورة) القريبة من البؤرة الرئيسية الصورة F′ للعدسة المجمعة ، فإن زاوية الانحراف θ تكون صغيرة جدا ، فنكتب بتقريب مقبول :



حيث f′ المسافة البؤرية $\sin\theta \approx \tan\theta = \frac{F'F'_1}{f'}$ الصورة للعدسة .

وفي حالة الرتبة k نكتب :

$$\sin\theta \approx \tan\theta = \frac{F'F'_1}{f'} = \frac{x_k}{f'}$$

وبما أن $\sin\theta = k\lambda n$ نجد أن : $\frac{x_k}{f'} \approx k\lambda n$

إذن : $\frac{x_k}{f'} \approx k\lambda n \Rightarrow x_k = kf'\frac{\lambda}{a}$

وبالتالي فإن النقط ذات الإضاءة القصوية F'_1 ، F'_2 ، F'_3 متساوية المسافة فيما بينها .

هذه المسافة هي : $i = x_{k+1} - x_k = f'.\frac{\lambda}{a}$

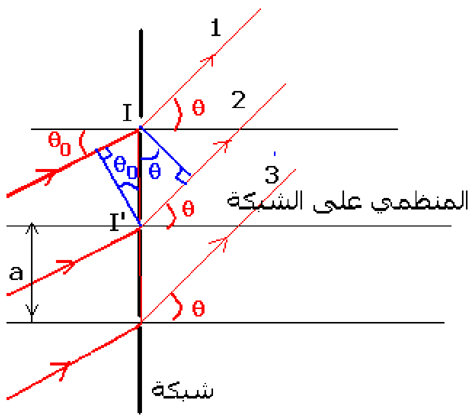
- عدد النقط ذات الإضاءة القصوية .

اعتمادا على العلاقة $\sin\theta = k\lambda n$ وعلما أن $|\sin\theta| \le 1$ نكتب $|k\lambda n| \le 1$

فنجد أن : $-\frac{1}{\lambda n} \le k \le \frac{1}{\lambda n}$ حيث $k \in Z$ وهو عدد النقط ذات الإضاءة القصوية .

II – 4 – تفسير وتعليل حالة ورود غير منظمي

نعتبر θ_0 زاوية ورود الأشعة الضوئية الأحادية اللون على الشبكة . نحسب فرق السير δ . لدينا



$$\delta = d_2 - d_1 = I'H - IH$$

$$\theta_0 = \widehat{II'H},\ \theta = \widehat{I'IH}$$

$$\sin\theta = \frac{I'H}{II'} = \frac{I'H}{a} \Rightarrow I'H = a\sin\theta$$

$$\sin\theta_0 = \frac{H'I}{II'} = \frac{H'I}{a} \Rightarrow H'I = a\sin\theta_0$$

$$\delta = a(\sin\theta - \sin\theta_0)$$

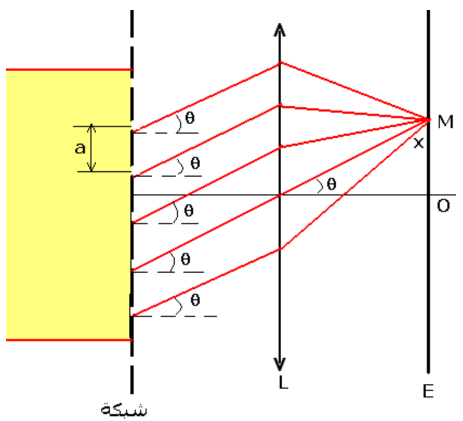
وبما أن التداخلات إنشائية فإن عبارة فرق السير هي : $\delta = k\lambda$ avec $k \in Z$

الشيء الذي يمكن من كتابة :

$$k\lambda = a(\sin\theta - \sin\theta_0)$$

$$\sin\theta = \sin\theta_0 + \frac{k\lambda}{a}$$

$$\sin\theta = \sin\theta_0 + k\lambda n \quad avec\ k \in Z$$

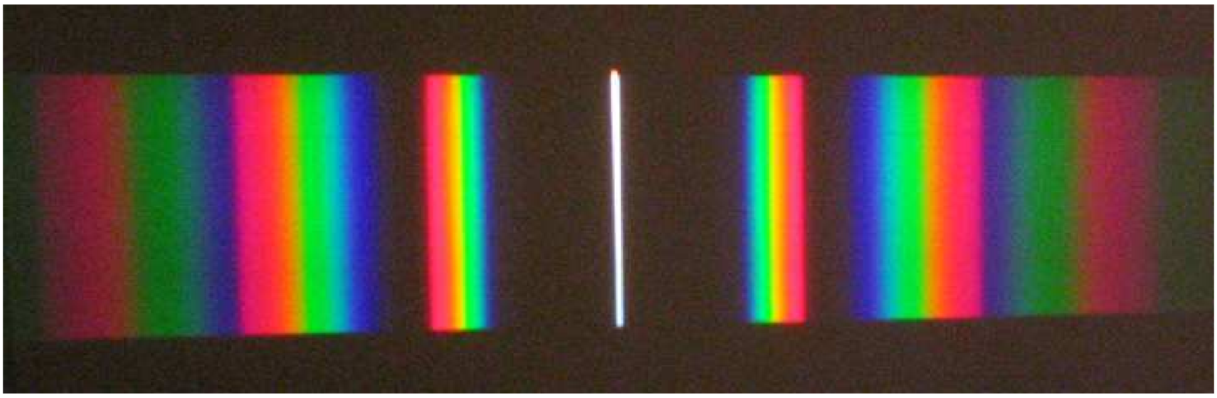


III – الإبراز التجريبي لحيود الضوء الأبيض بواسطة شبكة .

1 – تجربة .

نرسل حزمة ضوئية أسطوانية من الضوء الأبيض عموديا على شبكة بالإنتقال توجد أمام عدسة مجمعة L_2 .

نضع في المستوى البؤري الصورة للعدسة L_2 شاشة .



1 ـ صف ما تشاهده على الشاشة . ما اسم الظاهرة ؟

نلاحظ على الشاشة ظاهرة تبدد الضوء الأبيض حيث نشاهد سلسلة من أطياف الضوء الأبيض ما عدا البقعة المركزية بيضاء.

تسمى هذه الظاهرة بحيود الضوء الأبيض بواسطة شبكة .

2 ـ فسر لماذا تكون البقعة المركزية بيضاء اللون ؟

تراكب جميع الأشعة الضوئية الأحادية اللون لتعطي بقعة مركزية بيضاء اللون (تراكب الضوء الأبيض)

3 ـ بالنسبة للطيف ذي الرتبة k=1 :

ـ ما الضوء الأكثر انحرافا الأحمر أم البنفسجي ؟

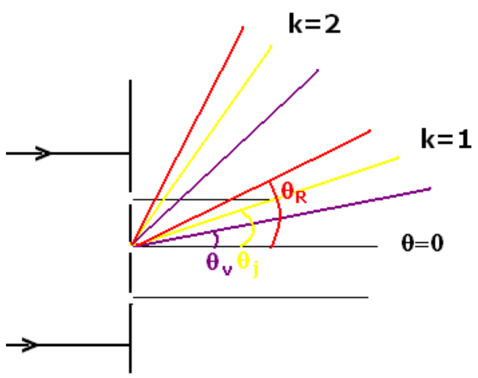
ـ انحراف الضوء الأحمر يكون أكبر من انحراف الضوء البنفسجي

4 ـ هل يتوافق هذا مع ما تمت ملاحظته بالنسبة لموشور ؟

لا يتوافق مع ما تمت ملاحظته بالنسبة للموشور (الضوء البنفسجي أكبر انحراف من الضوء الأحمر) تمكن الشبكة من حيود وتبدد الضوء الأبيض .

نستنتج أن : **زاوية انحراف الضوء الأحادي اللون (θ) الناتج عن تبدد الضوء بشبكة دالة تصاعدية لطول الموجة λ للموجة الضوئية .**

III ـ 2 زوايا الانحراف θ



حالة ورود منظمي :

نعتبر الحالة التي يكون فيها ورود الضوء الأبيض منظميا على الشبكة $\theta_0=0$ فتصبح العلاقة التي تعبر عن الإضاءة القصوية هي :

$$\sin\theta = \sin 0 + k\lambda n$$

$$\theta_0 = 0 \Rightarrow \sin\theta = k\lambda n$$

$$k \in Z$$

بالنسبة لزاوية θ صغيرة جدا تصبح هذه العلاقة :

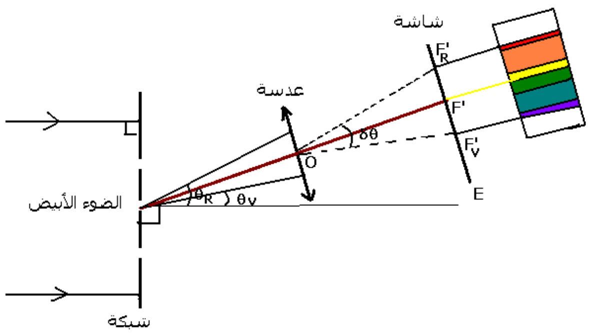
$$\theta_{rad} = k\frac{\lambda}{a} = k\lambda n$$

بما أن الضوء الأبيض يتكون من عدة أشعة أحادية اللون لها طول الموجة ينتمي إلى المجال $400nm \le \lambda \le 800nm$ فإن زاوية الانحراف تتعلق بقيمة λ أي بلون الإشعاع الأحادي اللون .

وجدول التالي يعطي عبارات sinθ بالنسبة للضوء الأحمر والأصفر والبنفسجي الموافقة للرتب k=0 و k=1 و k=2 للأطياف .

k=0	k=1	k=2
$\sin\theta = 0 \Rightarrow \theta = 0$ لايتبدد الضوء الأبيض الوارد على الشبكة فتكون البقعة المركزية بيضاء اللون .	$\sin\theta_R = 2\lambda_R n$ $\sin\theta_J = 2\lambda_J n$ $\sin\theta_V = 2\lambda_V n$	$\sin\theta'_R = 2\lambda_R n$ $\sin\theta'_J = 2\lambda_J n$ $\sin\theta'_V = 2\lambda_V n$

وكما هو الشأن بالنسبة للنقط ذات الإضاءة القصوية بالنسبة للضوء الأحادي اللون فإنه يمكن وضع عدسة رقيقة مجمعة لالونية وراء الشبكة حيث ينطبق مثلا محورها البصري الرئيسي مع اتجاه الضوء الأصفر للطيف ذي الرتبة (k=1) فيتكون طيف الضوء في المستوى البؤري الصورة لهذه العدسة .



III ـ 3 ـ عرض الطيف

يعبر عن عرض الطيف الضوء المرئي ذي الرتبة k=1 المحصل بواسطة الشبكة ب : $x_{1R} - x_{1V}$ حيث $x_{1R} = f'\lambda_R n$ أفصول البقعة الحمراء من الطيف انطلاقا من البقعة المركزية و $x_{1V} = f'\lambda_V n$ أفصول البقعة البنفسجية من نفس الطيف بالنسبة للبقعة المركزية البيضاء (k=0,x=0)

وبالتالي فإن $x_{1R} - x_{1V} = f'n\left(\lambda_R - \lambda_V\right)$

تعميم : عرض طيف الضوء المرئي ذي الرتبة k هو : $x_{kR} - x_{kV} = kf'n\left(\lambda_R - \lambda_V\right)$

من خلال هذه العلاقة يتبين أن عرض الطيف ذي الرتبة k=1 يزداد كلما صغرت خطوة الشبكة a ، أي كبر n عدد الشقوق في المتر ، وهذا يتوافق مع العلاقة الأخيرة . وتبين هذه العلاقة أنه للحصول على عرض كبير للطيف ، يجب اختيار عدسة ذات مسافة بؤرية f' كبيرة وشبكة عدد شقوقها في المتر كبير أيضا .

التناقص الإشعاعي

I. نواة الذرة

• تركيبة النواة

الدقائق المكونة لنواة الذرة تسمى نويات و هما نوعان: بروتونات و نوترونات.

رمز نواة الذرة هو: $^{A}_{Z}X$

- X رمز العنصر الكيميائي ذي العدد الذري Z
- Z عدد البروتونات (عدد الشحنة)
- A عدد النويات (عدد الكتلة)
- N=A-Z عدد النوترونات

• العنصر الكيميائي

تعريف يتكون عنصر كيميائي من مجموعة الذرات أو الأيونات الأحادية الذرة التي لها نفس عدد الشحنة.

• النويدة

تعريف النويدة مجموعة النوى التي لها نفس العدد A من النويات و نفس العدد Z من البروتونات.
تمثل نويدة برمز النواة: $^{A}_{Z}X$

▪ مثال: النويدة $^{14}_{6}C$ مجموعة نوى الكربون التي تتكون من 6 بروتونات و 8=6-14 نوترونات.

• النظائر

تعريف النظائر هي النويدات التي لها نفس العدد Z (تنتمي لنفس العنصر الكيميائي) لكنها تختلف من حيث العدد A.

▪ مثال: $^{35}_{17}Cl$ و $^{37}_{17}Cl$ هما نظيران للكلور.

II. استقرار أو عدم استقرار النوى

• تماسك النواة

في النواة يوجد نوعان من القوى:

- القوى الكهرساكنة التنافرية الكائنة بين البروتونات وترجح إلى تفتيت النواة.
- التأثيرات البينية النووية القوية الكائنة بين النويات و ترجح إلى تحقيق تماسك النواة.

تحت تأثير هذه القوى بعض النوى تكون مستقرة و البعض الآخر غير مستقر فيحصل لها تفتت تلقائي: نقول أن لها نشاط إشعاعي.

☜ قوى التجاذب الكوني مهملة أمام هذه القوى.

• النشاط الإشعاعي

تعريف

النواة التي لها نشاط إشعاعي هي نواة غير مستقرة تتفتت تلقائيا.نواتج هذا التفتت هي:

- تكون نواة جديدة تسمى النواة المتولدة،
- انبعاث دقيقة رمزها α أو β^- أو β^+،
- انبعاث إشعاع كهرمغنطيسي رمزه γ.

النشاط الإشعاعي تحول نووي:

- تلقائي: يحدث التفتت بدون تدخل أي عامل خارجي،
- عشوائي: لا يمكن معرفة متى سيحدث تفتت نواة،
- مستقل عن التركيبة الكيميائية التي تنتمي إليها النواة،
- مستقل عن العوامل الخارجية مثل الضغط و درجة الحرارة.

• منطقة الاستقرار

تمثل النوى(النويدات) في المخطط (N,Z) الذي يسمى مخطط "سيغري".

النوى المستقرة تقع في منطقة من المخطط تسمى منطقة الاستقرار.

يبرز هذا المخطط ما يلي:

- بالنسبة ل $Z < 20$ عدد البروتونات يساوي عدد النوترونات .
- بالنسبة ل $Z > 20$ عدد النوترونات يفوق عدد البروتونات، مما يدل على الدور الهام الذي تؤديه النوترونات في استقرار النواة.

في هذا المخطط نميز بين أربع مجموعات:

- مجموعة النوى المستقرة و تقع في المنطقة الوسطى من المخطط (منطقة الاستقرار) .

<u>مثال:</u> النويدة $^{12}_{6}C$ مستقرة نوويا: ليس لها نشاط إشعاعي.

- مجموعة النوى التي لها نشاط إشعاعي من نوع α و هي نوى ثقيلة ذات عدد كتلة يفوق 200.

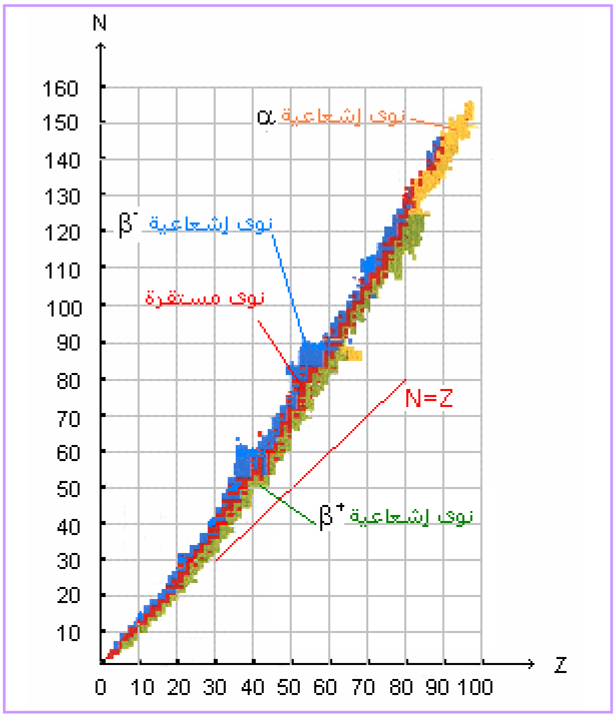
<u>مثال:</u> النويدة $^{238}_{92}U$

- مجموعة النوى التي لها نشاط إشعاعي من نوع β^- و هي نوى تمتلك فائضا من النوترونات مقارنة مع نوى مستقرة لها نفس عدد الكتلة.

<u>مثال:</u> النويدة $^{14}_{6}C$

- مجموعة النوى التي لها نشاط إشعاعي من نوع β^+ و هي نوى تمتلك فائضا في عدد البروتونات مقارنة مع نوى مستقرة لها نفس عدد الكتلة.

<u>مثال:</u> النويدة $^{13}_{7}N$



III. التفاعلات النووية التلقائية

• أنواع الانبعاثات الإشعاعية

- الدقائق α هي نوى الهليوم $^{4}_{2}He$ ،
- الدقائق β^{-} هي إلكترونات $^{0}_{-1}e$ ،
- الدقائق β^{+} هي بوزيترونات $^{0}_{+1}e$ ، ويعتبر البوزيترون الجسيم المُضاد للإلكترون أو نقيض الإلكترون(نفس الكتلة لكن شحنة موجبة). تختفي البوزيترونات حال انبعاثها إذ تضمحل مع الإلكترونات التي تصطدم بها فتتحول إلى طاقة.
- الإشعاع γ و هو إشعاع كالموجات الضوئية لكنه يتميز بطول موجة قصير و طاقة عالية. ينتج عن فقدان الإثارة للنويدة المتولدة عن تفتت.

• قانون الانحفاظ (قانون صودي)

خلال تفتت α أو β ينحفظ عدد الشحنة Z و عدد النويات A .

إذا كانت معادلة التفتت هي: $^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A'}_{Z'}Y + ^{a}_{z}p$

فإن قانون الانحفاظ يفرض العلاقتين التاليتين:
$$\boxed{\begin{array}{l} A = A' + a \\ Z = Z' + z \end{array}}$$

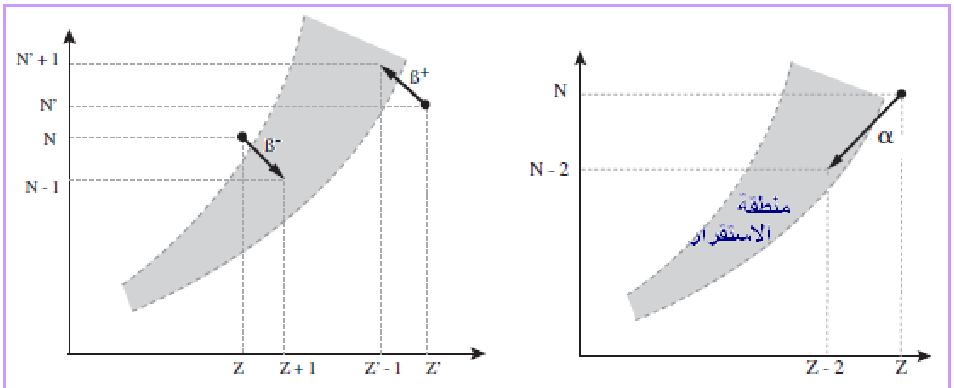
التحول النووي يغير النواة: ليس هناك انحفاظ للعنصر الكيميائي.

• المعادلات النووية

النشاط الإشعاعي α	$\boxed{^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + ^{4}_{2}He}$	مثال $^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th + ^{4}_{2}He$
النشاط الإشعاعي β^{-}	$\boxed{^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A}_{Z+1}Y + ^{0}_{-1}e}$	مثال $^{14}_{6}C \rightarrow ^{14}_{7}N + ^{0}_{-1}e$
النشاط الإشعاعي β^{+}	$\boxed{^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A}_{Z-1}Y + ^{0}_{1}e}$	مثال $^{13}_{7}N \rightarrow ^{13}_{6}C + ^{0}_{1}e$
الانبعاث γ	$\boxed{^{A}_{Z}Y^{*} \rightarrow ^{A}_{Z}Y + \gamma}$	

الرمز * يمثل حالة الإثارة للنويدة المتولدة.

• التمثيل المبياني للتفتتات



يبرز هذا التمثيل المبياني أن النشاط الإشعاعي ينقل النويدات إلى منطقة الاستقرار.

IV. التناقص الإشعاعي

- قانون التناقص الإشعاعي

الصيغة التكاملية	الصيغة التفاضلية
يتناقص عدد النوى المشعة المتبقية في عينة بدلالة الزمن حسب دالة أسية : $\boxed{N = N_0 e^{-\lambda t}}$ N_0 العدد البدئي للنوى في العينة.	تناقص عدد النوى المشعة في عينة خلال مدة dt يتناسب مع عدد النوى و مع المدة الزمنية: $\boxed{dN = -\lambda N dt}$ λ ثابتة تميز النواة المتفتتة و تسمى الثابتة الإشعاعية وحدتها s^{-1}.

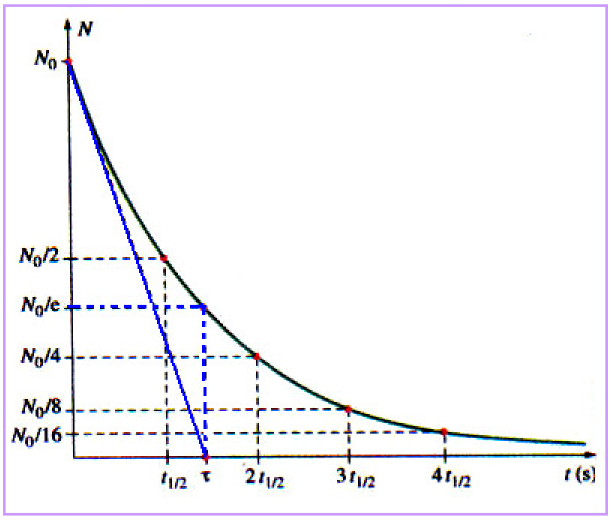
- ثابتة الزمن

تعريف

ثابتة الزمن هي مدة معرفة بالعلاقة التالية: $\boxed{\tau = \frac{1}{\lambda}}$ (s)

τ تميز النواة المتفتتة.كلما كانت τ صغيرة كلما كان التناقص سريعا.

تحدد ثابتة الزمن مبيانيا باستعمال منحنى التناقص الإشعاعي:



- ✓ τ تمثل المدة اللازمة لتفتت 63% من العدد البدئي N_0.
- ✓ τ تمثل أفصول نقطة تقاطع المماس للمنحنى في اللحظة t=0 مع محور الزمن.

- عمر النصف

تعريف

عمر النصف لنويدة يساوي المدة $t_{½}$ اللازمة لتفتت نصف العدد البدئي للنوى المشعة المكونة لعينة من هذه النويدة يعني أن: $N(t+t_{½}) = \frac{N(t)}{2}$

و تعبيره: $\boxed{t_{½} = \frac{Ln2}{\lambda} = \tau Ln2}$

$t_{½}$ تميز النويدة.

- نشاط عينة مشعة

تعريف

نشاط مصدر إشعاعي يساوي عدد التفتتات خلال ثانية في عينة أي تساوي سرعة التفتتات: $a = -\frac{dN}{dt}$

وحدته في النظام العالمي تسمى "البيكريل" $Becquerel$ و رمزها Bq بحيث:

$1\ Bq = 1\ dés/s$ (تفتت واحد في الثانية)

و هو مقدار يمكن قياسه بواسطة عداد.

باعتبار قانون التناقص الإشعاعي يمكن التعبير عن النشاط بإحدى العلاقتين التاليتين:

- بدلالة عدد النوى: $a = \lambda N$

- بدلالة الزمن: $a = a_0 e^{-\lambda t}$

a_0 النشاط البدئي.

- التأريخ بالنشاط الإشعاعي

يستخدم الكربون 14 (نشاط إشعاعي β^- و عمر نصف يساوي 5 600 سنة)كمقياس لتقدير أعمار الحفريات ذات الأساس البيولوجي والتي قد يصل عمرها 50 000 سنة.

كما يستعمل اليورانيوم 238(نشاط إشعاعي α و عمر نصف يساوي $4{,}5.10^9$ سنة) في تأريخ الصخور المعدنية القديمة.

عمر عينة يحدد بالعلاقة التالية: $t = \frac{\ln\frac{a_0}{a}}{\ln 2} . t_{1/2}$

بقياس a ومعرفة كل من a_0 و $t_{1/2}$ يمكن تقدير t .

طاقة النواة

I. التكافؤ كتلة-طاقة

• طاقة الكتلة

خاصية

تمثل الكتلة شكلا من أشكال الطاقة يسمى طاقة الكتلة.

طاقة الكتلة هي الطاقة التي يتوفر عليها كل جسم - حتى و لو كان في سكون- بسبب كتلته فقط و تعبيرها: $\boxed{E=mc^2}$ (J)

حيث c سرعة انتشار الضوء: $c=3.10^8\ m.s^{-1}$

- إذا كان الجسم في حركة فإنه يتوفر علاوة على ذلك، على طاقة حركية.

- يترتب عن هذه العلاقة أن كل تغير يحصل في طاقة مجموعة يقابله تغير في كتلتها، والعكس صحيح.العلاقة بين التغيرين هي: $\boxed{\Delta E=\Delta m.c^2}$

على السلم الذري أو النووي يعبر عن الطاقة بوحدة مناسبة تسمى "الإلكترون – فولط"(eV)

أو مضاعفها "الميغا إلكترون – فولط"(MeV):

$$\boxed{\begin{array}{l}1\ eV=1,6.10^{-19}\ J\\ 1\ MeV=10^6\ eV=1,6.10^{-13}\ J\end{array}}$$

▪ مثال: طاقة الكتلة لبروتون كتلته $m_p=1,673.10^{-27}\ kg$ هي:

$$E=1,673.10^{-27}\times(3.10^8)^2=1,5.10^{-10}\ J$$

$$E=\frac{1,5.10^{-10}}{1,6.10^{-13}}=937,5\ MeV$$

II. طاقة الربط لنواة

• النقص الكتلي

تعريف

تجريبيا يلاحظ أن كتلة نواة الذرة هي دائما أصغر من مجموع كتل النويات المكونة لها.

الفرق بينهما يسمى النقص الكتلي للنواة، و تعبيره:

$$\boxed{\Delta m=\left[Zm_p+(A-Z)m_n\right]-m_X}$$

حيث: m_X: كتلة النواة ، m_p: كتلة بروتون ، m_n: كتلة نوترون.

$\Delta m>0$

على السلم الذري أو النووي يعبر عن الكتلة بوحدة مناسبة تسمى "وحدة الكتلة الذرية" (u):

$$\boxed{1u=\frac{1}{12}\times m\left({}^{12}_{6}C\right)=\frac{M\left({}^{12}_{6}C\right)}{12\times N_A}=1,66054.10^{-27}\ kg}$$

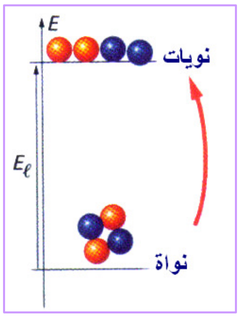
▪مثال: النقص الكتلي لنواة الهليوم $^{4}_{2}He$ هو: $\Delta m = 5,038.10^{-29}\ Kg$

أي: $\Delta m = \dfrac{5,038.10^{-29}}{1,66054.10^{-27}} = 0,03034\ u$

تستعمل أيضا وحدة أخرى للكتلة و هي MeV / c^2 بحيث: $\boxed{1\ u = 931,5\ MeV / c^2}$

• طاقة الربط لنواة

تعريف هي الطاقة اللازم منحها لنواة في حالة سكون لتفتيتها إلى نويات منفصلة و في سكون. و تعبيرها هو: $\boxed{E_\ell = \Delta m \cdot c^2}$



☜ عكسيا حين تتكون نواة انطلاقا من نويات منفصلة تتحرر الطاقة E_ℓ.

▪مثال: طاقة الربط لنواة الهليوم $^{4}_{2}He$ هي:

$$E_\ell = 0,03034 \times 931,5 = 28,26\ MeV$$

• طاقة الربط لنوية

تعريف هي طاقة الربط المتوسطة لنوية و تساوي النسبة التالية: $\boxed{\dfrac{E_\ell}{A}}$

☜ طاقة الربط لنوية تمثل الطاقة الضرورية لانتزاع نوية واحد من النواة.

و تستعمل لمقارنة النويدات من حيث استقرارها:كلما كانت مرتفعة كلما كانت النواة مستقرة أكثر.

▪مثال:

- طاقة الربط لنواة الحديد $^{56}_{26}Fe$ هي: $E_\ell = 492\ MeV \leftarrow \dfrac{E_\ell}{A} = \dfrac{492}{56} = 8,79\ MeV / nucléon$

- طاقة الربط لنواة اليورانيوم $^{238}_{92}U$ هي: $E_\ell = 1\,802\ MeV \leftarrow \dfrac{E_\ell}{A} = \dfrac{1\,802}{238} = 7,57\ MeV / nucléon$

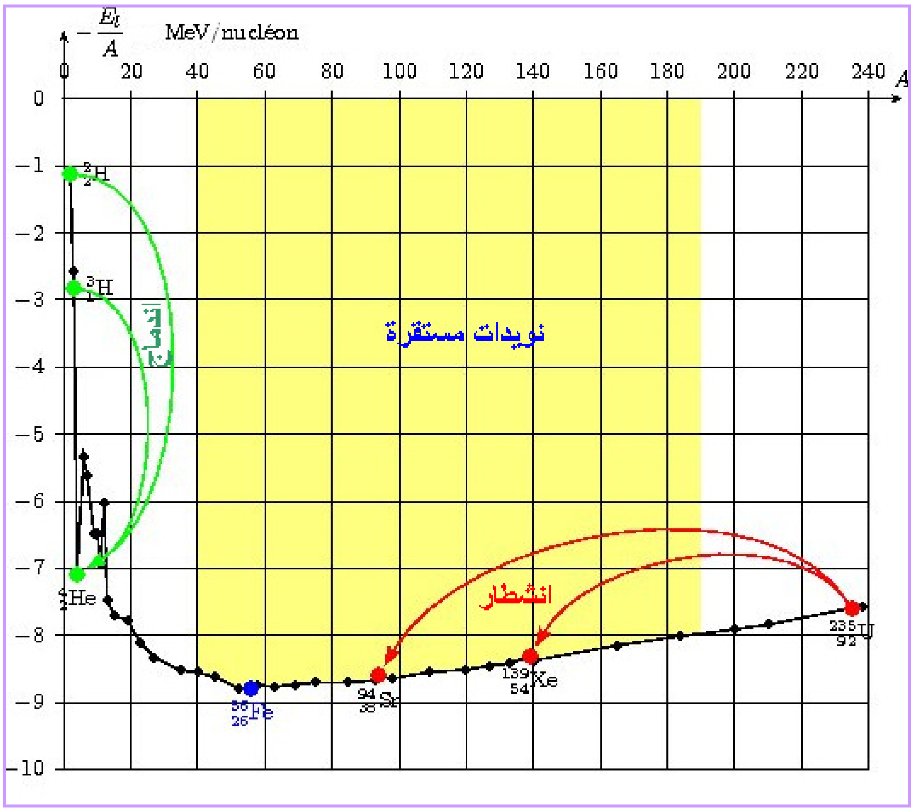
نواة الحديد 56 أكثر استقرارا من نواة اليورانيوم 238.

• منحنى "أسطون"

تتغير طاقة الربط المتوسطة لنوية بدلالة عدد الكتلة A للنواة.

يمثل منحنى أسطون تغيرات مقابل طاقة الربط المتوسطة لنوية بدلالة عدد الكتلة.

- في هذا المنحنى الحالة المرجعية للطاقة(E=0) هي حالة نويات منفصلة و في سكون.
- يوافق أكبر استقرار القيمة الدنيا للمنحنى أي القيمة القصوى لطاقة الربط المتوسطة لنوية.



<u>أهمية المنحنى:</u>

يمكن المنحنى من مقارنة النويدات من حيث استقرارها:

- في المجال $40 \leq A \leq 190$ تقع النويدات المستقرة التي لها طاقة ربط متوسطة عليا: $E_\ell / A \approx 8\ MeV / nucléon$
- على طرفي المبيان تقع النويدات الأقل استقرارا و هي نوعان:
  - نويدات ثقيلة يمكنها أن تنشطر إلى نواتين أخف منها و أكثر استقرارا مع تحرير طاقة.
  - نويدات خفيفة يمكنها أن تندمج لتعطي نويدة أثقل منها مع تحرير طاقة.

III. الانشطار و الاندماج النوويان

• الانشطار النووي

تعريف

هو تفاعل نووي محرَّض خلاله تنقسم نواة ثقيلة و قابلة للانشطار إلى نواتين خفيفتين وذلك تحت تأثير اصطدامها بنوترون طاقته الحركية لا تتعدى 0,1 MeV (ما يسمى نوترونا حراريا).هذا التفاعل ناشر للطاقة.

• انشطار اليورانيوم 235

يعتبر اليورانيوم 235 النويدة الطبيعية الوحيدة القابلة للانشطار و معادلة الانشطار العامة هي:

$$\boxed{{}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 + k\,{}^{1}_{0}n}$$

عموما العدد k يتراوح بين 1 و 3 نوترونات.

قانونا الانحفاظ يفرضان العلاقتين التاليتين:

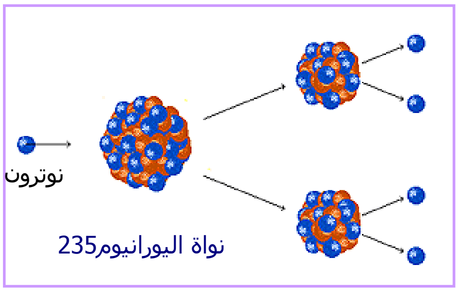
$$\boxed{\begin{cases} A_1 + A_2 + k = 236 \\ Z_1 + Z_2 = 92 \end{cases}}$$

▪<u>مثال:</u>

$${}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{95}_{38}Sr + {}^{139}_{54}Xe + 2\,{}^{1}_{0}n$$

• التفاعل المتسلسل

يمكن للنوترونات المنبعثة خلال انشطار أن تحدث بدورها انشطار نوى أخرى. إذا كان عدد النوترونات المنبعثة خلال كل انشطار أكبر من1فإنه يحدث تفاعل متسلسل.



- الاندماج النووي

تعريف

هو تفاعل نووي محرَّض خلاله تندمج نواتان خفيفتان فتنتج نواة أثقل.

و هو تفاعل ناشر للطاقة.

هذا التفاعل لا يحدث إلا عند درجة حرارة مرتفعة جدا $(10^8\ K)$ لذلك فهو يسمى تفاعلا نوويا حراريا.

- مثال: اندماج نظائر الهيدروجين الذي هو مصدر طاقة الشمس:

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$$

IV. حصيلة الكتلة و الطاقة

- الطاقة التي يحررها تفاعل نووي

- تعبيرها باستعمال تناقص الكتلة

الطاقة التي يحررها تفاعل نووي معادلته: $^{A_1}_{Z_1}X_1 + ^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow ^{A_3}_{Z_3}X_3 + ^{A_4}_{Z_4}X_4$

توافق تناقص الكتلة الإجمالية Δm للمجموعة و تعبيرها هو: $\boxed{\Delta E = \Delta m.c^2}$

حيث: $\boxed{\Delta m = (m_{X_3} + m_{X_4}) - (m_{X_1} + m_{X_2})}$

☜ $\Delta m < 0$ ← $\Delta E < 0$: المجموعة تحرر(تفقد) طاقة.

- مثال: لنحسب الطاقة التي يحررها تفاعل الاندماج ذو المعادلة: $^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$

معطيات: $m_n = 1,009\ u\ /\ m_{^4_2He} = 4,003\ u\ /\ m_{^3_1H} = 3,016u\ /\ m_{^2_1H} = 2,014u$

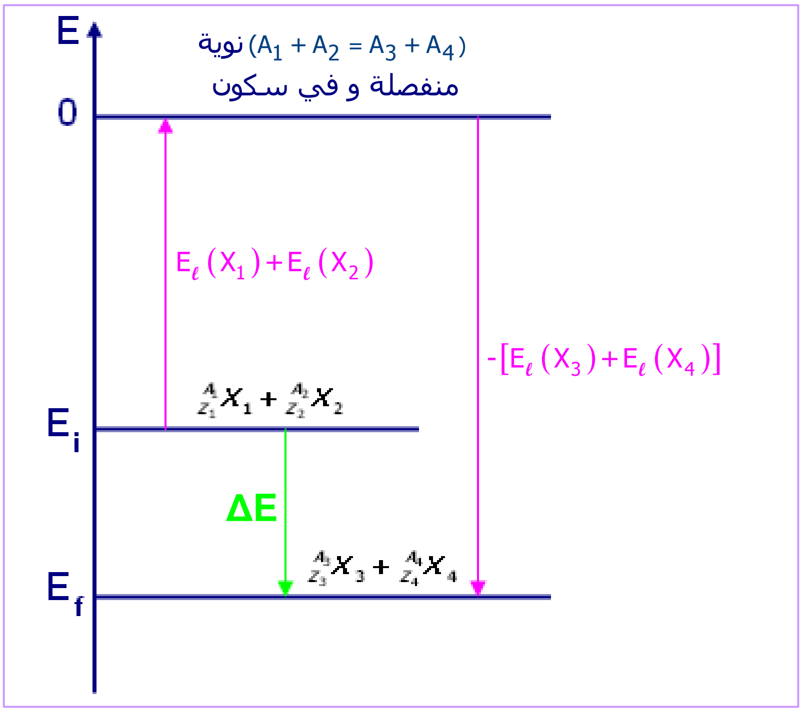
تناقص الكتلة الإجمالية هو: $\Delta m = (m_{^4_2He} + m_n) - (m_{^2_1H} + m_{^3_1H}) = -0,018\ u$

و الطاقة المحررة هي: $\Delta E = -0,018 \times 931,5 \approx -17\ MeV$

التفاعل ينشر طاقة تساوي $17\ MeV$ عن كل نواة هليوم ناتجة.

- **تعبيرها باستعمال طاقات الربط**

ننجز مخططا طاقيا لتفاعل نووي معادلته: $^{A_1}_{Z_1}X_1 + ^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow ^{A_3}_{Z_3}X_3 + ^{A_4}_{Z_4}X_4$



من هذا المخطط نستنتج ما يلي:

الطاقة التي يحررها تفاعل نووي معادلته: $^{A_1}_{Z_1}X_1 + ^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow ^{A_3}_{Z_3}X_3 + ^{A_4}_{Z_4}X_4$

هي: $\boxed{\Delta E = \left[E_\ell(X_1)+E_\ell(X_2)\right] - \left[E_\ell(X_3)+E_\ell(X_4)\right]}$

- مثال: لنعد حساب الطاقة التي يحررها تفاعل الاندماج ذو المعادلة: $^2_1H + ^3_1H \rightarrow ^4_2He + ^1_0n$

معطيات: طاقة الربط المتوسطة لنوية للنويدات:

$$\frac{E_\ell}{A}(^4_2He) = 7{,}0\ MeV/nucléon \quad / \frac{E_\ell}{A}(^3_1H) = 2{,}8\ MeV/nucléon \quad / \frac{E_\ell}{A}(^2_1H) = 1{,}2\ MeV/nucléon$$

الطاقة المحررة هي: $\Delta E = E_\ell(^2_1H) + E_\ell(^3_1H) - E_\ell(^4_2He)$

$$\Delta E = (2\times1{,}2) + (3\times2{,}8) - (4\times7) \approx -17\ MeV$$

- **أشكال الطاقة المحررة**

تظهر الطاقة التي يحررها تفاعل نووي على الأشكال التالية:

- طاقة حركية للنواتج(معظمها يتحول إلى طاقة حرارية)
- طاقة إشعاعية (طاقة الإشعاع γ)

ثــــــــــــــنائي القطب RC
Dipole RC

I ــ المكثف Condensateur

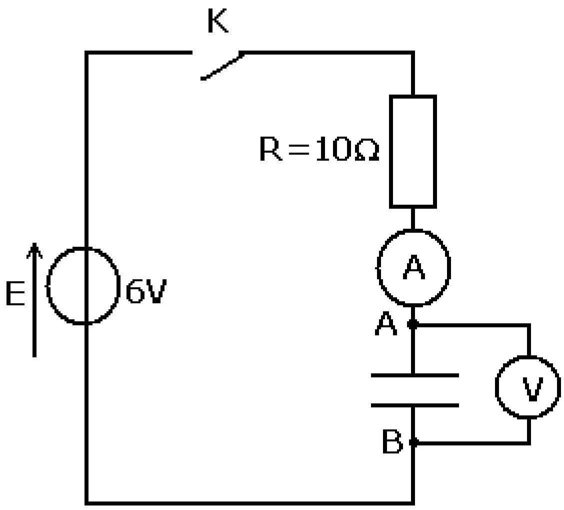
تعريف ورمز المكثف .

المكثف ثنائي قطب ، يتكون من موصلين متقابلين ، نسميهما لبوسين ، يفصل بينهما عازل استقطابي

نرمز للمكثف ب ⊣⊢

1 ــ شحنتا اللبوسين ــ شحنة المكثف

<u>**دراسة تجريبية**</u>



النشاط التجريبي 1 : العلاقة بين شحنتي لبوسي المكثف .

ننجز التركيب الممثل في الشكل جانبه .

نغلق قاطع التيار بعد أن تم إفراغ المكثف بوصل مربطيه بمربطي موصل أومي مناسب لمدة ثانية واحدة على الأقل .

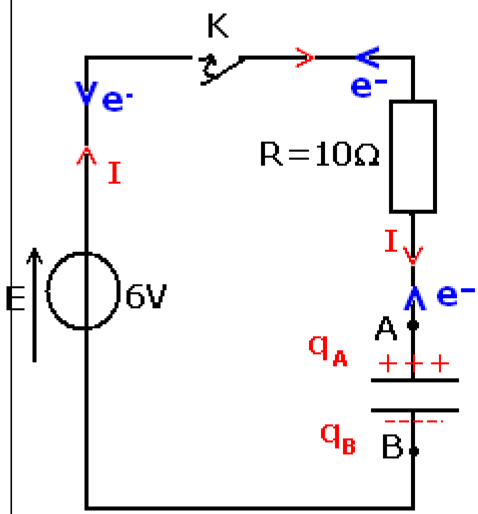
<u>**استثمار :**</u>

1 ــ كيف يتغير التوتر بين مربطي المكثف وشدة التيار المار في الدارة ؟

عند غلق قاطع التيار نلاحظ ظهور تيار كهربائي في الدارة وأن التوتر U_{AB} يزداد إلى أن تصبح $U_{AB}=E$.

2 ــ أ ــ مثل على تركيب الشكل 2 منحى التيار الكهربائي ومنحى انتقال الإلكترونات .

ب ــ استنتج إشارتي q_A و q_B شحنتي اللبوسين A و B للمكثف .



عند غلق قاطع التيار تتحرك الإلكترونات من اللبوس A نحو اللبوس B وبوجود عازل استقطابي تتراكم على اللبوسين حيث يشحن اللبوس A بشحنة موجبة q_A واللبوس B بشحنة سالبة q_B

3 ــ علما أن الشحنة الكهربائية تنحفظ ، ما العلاقة التي تربط بين الشحنتين q_A و q_B عند كل لحظة ؟

بما أن الشحنة تنحفظ فإن $q_A+q_B=0$ أي أن $q_A=-q_B$

<u>**خلاصة**</u> : تحقق q_A و q_B شحنتا لبوسي المكثف ، في كل لحظة العلاقة : $q_A=-q_B$.

تعريف :

شحنة المكثف أو كمية الكهرباء المخزونة في مكثف هي شحنة اللبوس الموجب للمكثف . ونرمز لها ب Q ووحدتها الكولوم (C)

$$Q=+q_A=-q_B$$

2 ــ العلاقة بين الشحنة وشدة التيار .

نختار منحى موجبا لشدة التيار حيث يدخل من اللبوس A :

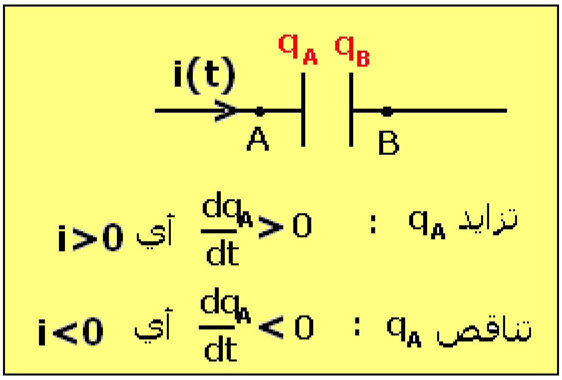
ــ عندما يمر التيار في المنحى المختار فإن $i>0$

ــ عندما يمر التيار في المنحى المعاكس فإن $i<0$

إن كمية الكهرباء تتغير في اللبوسين بنفس المقدار وبإشارتين مختلفتين . إذن خلال مدة زمنية جزئية أي متناهية في الصغر dt تتغير شحنة اللبوس A ب dq_A وشحنة اللبوس B ب dq_B بحيث أن $dq_A=-dq_B$.

نعرف شدة التيار $i(t)$ هي كمية الكهرباء dq_A التي ازدادت في اللبوس A على المدة الزمنية dt :

$$i(t)=\frac{dq_A}{dt}$$



$i(t)$ موجهة نحو اللبوس A

الوحدات :

q_A بالكولوم (C) ، t بالثانية (s) و $i(t)$ بالأمبير (A) .

<u>ملحوظة : حالة التيار المستمر</u> : في حالة شحن المكثف بواسطة مولدمؤمثل للتيار (I=Cte) تصبح العلاقة بين شدة التيار وشحنة المكثف هي : $q_A = I.\Delta t$

3 ـ العلاقة بين الشحنة والتوتر : السعة .

النشاط التجريبي 2

نستعمل في هذه التجربة مولد مؤمثل للتيار يمكنه أن يمنح للدارة تيار ثابت .

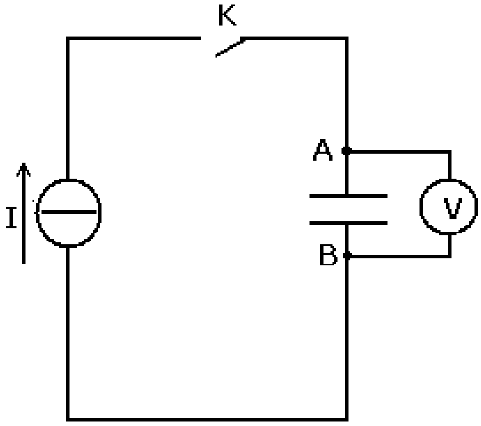
نضبط شدة التيار التي يمنحها المولد على القيمة I=100μA

نفرغ المكثف بوصل مربطيه بمربطي موصل أومي مناسب لمدة ثانية واحدة على الأقل .

ننجز التركيب الممثل في الشكل جانبه .

نغلق قاطع التيار ونشغل الميقت .

نقيس التوتر بين مربطي المكثف بعد كل 10ثوان ، وندون النتائج في الجدول التالي :



$u_{AB}(V)$	0	2	4	6	8	10
t(s)	0	4,3	8,6	12,9	17,1	21,4
$q_A(C)$	0	0,0043	0,0086	0,0129	0,0171	0,0214

استثمار :

1 ـ ما العلاقة بين q_A شحنة المكثف والزمن t ؟ أتمم ملأ الجدول اعلاه .

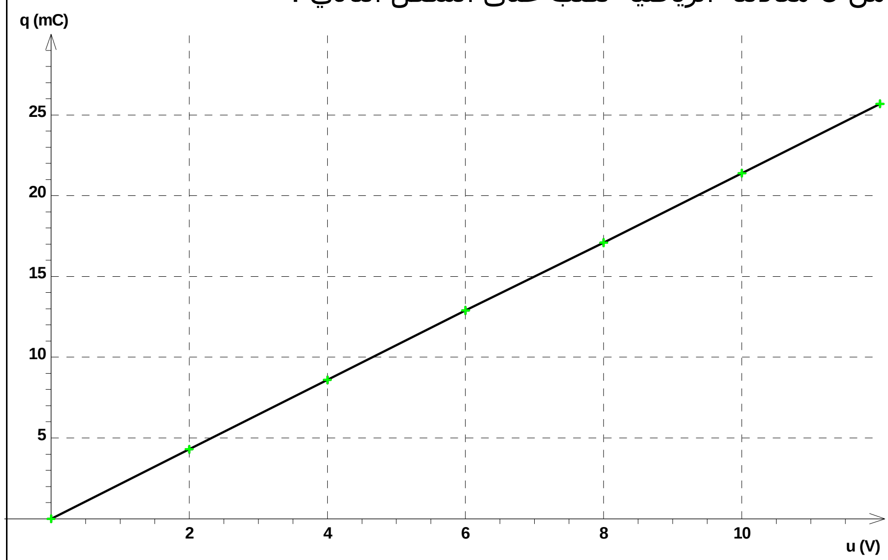
$q_A=I.t$ من خلال القيم المتوفرة بالجدول يمكن حساب q_A .

2 ـ مثل المنحنى $q_A=f(u_{AB})$ باختيار سلم ملائم .

3 ـ ما هو شكل المنحنى المحصل عليه ؟ أكتب معادلته الرياضية .

ما هو المدلول الفيزيائي للمعامل الموجه لهذا المنحنى ؟ ما هي وحدته في النظام العالمي للوحدات ؟

شكل النحنى عبارة عن مستقيم يمر من O معادلته الرياضية تكتب على الشكل التالي :



$q_A=K.u_{AB}$ ، K المعامل الموجه للمستقيم قيمته هي : K=2,14mF

المدلول الفيزيائي للمعامل الموجه يمثل سعة المكثف ونرمز لها ب C

أي أن العلاقة الرياضية تصبح :

$q_A=C.u_{AB}$

وحدة C في النظام العالمي للوحدات هي : الفاراد F

أجزاء الفاراد :

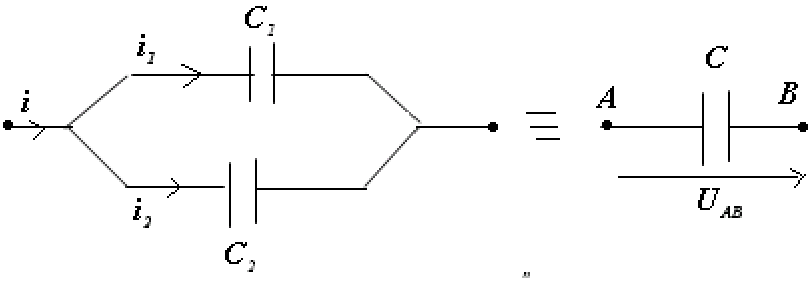
$mF=10^{-3}F$

$\mu F=10^{-6}F$

$nF=10^{-9}F$

II ـ تجميع المكثفات .

1 ـ التركيب على التوازي



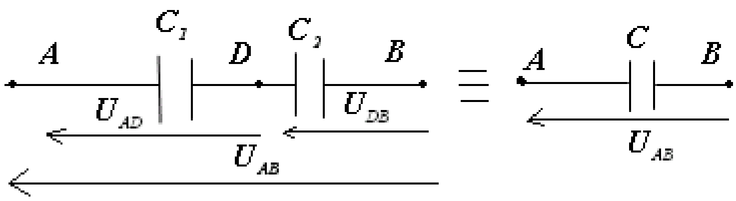
$$q = q_A + q_B \Leftrightarrow i = i_1 + i_2$$
$$q = C_1U_{AB} + C_2U_{AB}$$
$$q = C.U_{AB}$$
$$C = C_1 + C_2$$

وتعمم هذه النتيجة بالنسبة لمكثفات مركبة على التوازي مهما كان عددها : $C = \sum_{i=1}^{n} C_i$

فائدة التركيب على التوازي : تضخيم السعة عند تطبيق توتر ضعيف . وكذلك يمكن ، بتطبيق توتر ضعيف ، من الحصول على شحنة كهربائية كبيرة قد لا يوفرها كل مكثف على حدة .

2 ـ التركيب على التوالي

نطبق قانون إضافية التوترات بين A و B



$$U_{AB} = U_{AD} + U_{DB}$$
$$U_{AB} = \frac{Q}{C} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2}$$
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

تعمم هذه النتيجة بالنسبة لمكثفات مركبة على التوالي مهما كان عددها : $\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}$

فائدة التركيب على التوالي : يمكن من الحصول على سعة قيمتها صغيرة جدا ، مع تطبيق توترا جد عالي قد لا يتحمله كل مكثف على حدة ، بينما يبقى التوتر المطبق بين كل مكثف معتدلا.

III ـ استجابة ثنائي القطب RC لرتبة توتر .

1 ـ تعاريف

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

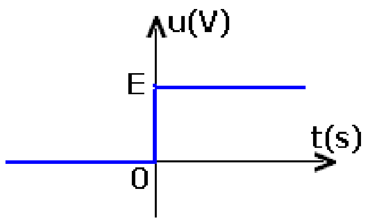
رتبة توتر هي إشارة كهربائية u(t) ونميز بين :

ـ رتبة صاعدة للتوتر ومعادلتها هي :

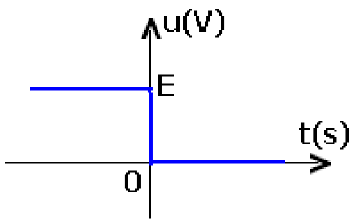
بالنسبة ل $t \le 0$: $u(t)=0$ وبالنسبة ل $t>0$: $u(t)=E$ الشكل 1

ـ رتبة نازلة للتوتر ومعادلتها هي :

بالنسبة ل $t \le 0$: $u(t)=0$ وبالنسبة ل $t>0$: $u(t)=-E$ الشكل 2



الشكل 1

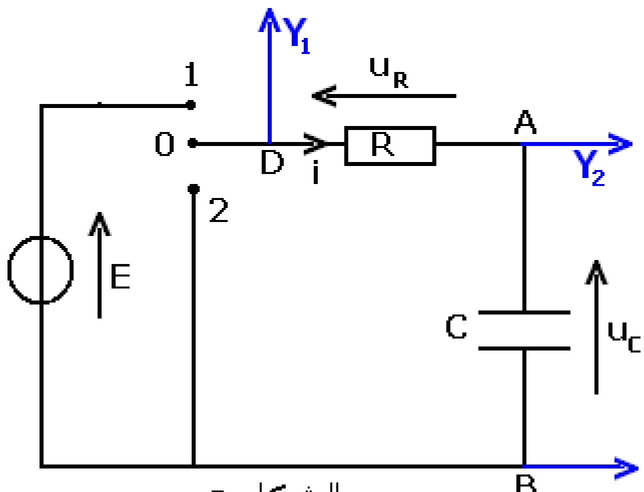


الشكل 2

2 ـ الدراسة التجريبية :

ننجز التركيب الممثل في الشكل 3 . المدخلين Y_1 و Y_2 مرتبطين بمدخلي راسم التذبذب . نضع قاطع التيار في الموضع 1 . ثم نضع مرة أخرى في الموضع 2 . ونلاحظ في كل حالة شكل المنحنى المحصل عليه .

استثمار :



الشكل 3

I ـ نضع قاطع التيار في الموضع 1

1 ـ ما هو التوتر المعاين في المدخل Y_1 لراسم التذبذب ؟ أكتب معادلته .

في المدخل Y_1 نعاين التوتر بين مربطي المولد المؤمثل للتوا‌تر $u_{DB}=E$

2 ـ المعادلة التفاضلية :

ما هو التوتر المعاين في المدخل Y_2 لراسم التذبذب ؟

في المدخل Y_2 نعاين u_C ، التوتر بين مربطي المكثف

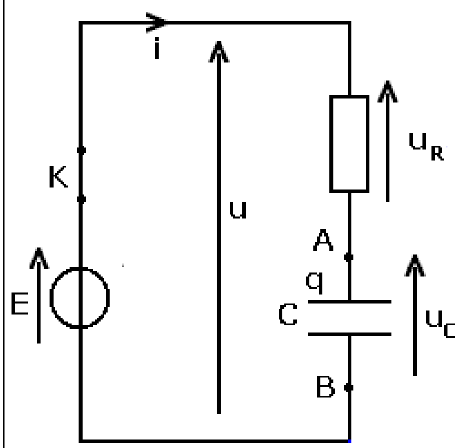
عند غلق الدارة ، يكون المكثف غير مشحون ، أي أن التوتر بين مربطيه منعدما .

نغلق الدارة في اللحظة $t=0$ تعتبر كأصلا للتواريخ فنحصل على الدارة الممثلة في الشكل 4

2 ـ 1 بتطبيق قانون إضافية التوترات بين أن :

$$RC\frac{du_C}{dt}+u_C=E$$

والتي تمثل المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر $u_C(t)$ بين مربطي المكثف في كل لحظة t في الدارة RC خاضعة لرتبة توتر صاعدة .



الشكل 4

حسب قانون إضافية التوترات لدينا :

$u_R+u_C=u$ بحيث أن $u=E$.

لدينا $u_R(t)=Ri(t)$ حسب قانون أوم ، ولدينا كذلك : $i(t)=\frac{dq}{dt}$

و $q(t)=C.u_C(t)$ أي أن $i(t)=C\frac{du_C(t)}{dt}$

وبالتالي تصبح المعادلة السابقة :

$$Ri(t)+u_C(t)=E\Rightarrow RC\frac{du_C}{dt}+u_C=E$$

2 ـ 2 حل المعادلة التفاضلية

حل هذه المعادلة التفاضلية هو على الشكل التالي :

$u_C(t)=Ae^{-xt}+B$ بحيث أن A و B و x ثوابت يمكن تحديدها .

بتعويض هذا الحل في المعادلة التفاضلية ، حدد الثابتة x والثابتة B .

نعوض هذا الحل في المعادلة التفاضلية :

$$RC\frac{du_C}{dt}+u_C=E\Rightarrow RC.(-Axe^{-xt})+Ae^{-xt}+B=E$$

$$RC.x=1\Rightarrow x=\frac{1}{RC}=\frac{1}{\tau}$$

$$E-B=0\Rightarrow B=E$$

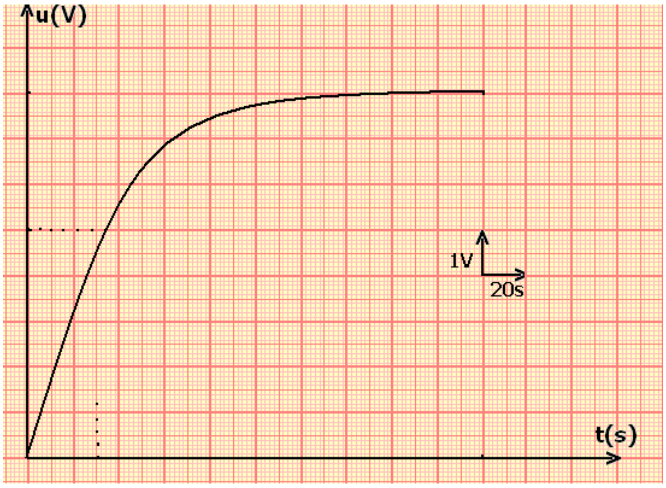
وبالتالي يكون حل المعادلة التفاضلية على الشكل التالي : $u_C(t)=Ae^{-\frac{t}{\tau}}+E$

وباعتبار الشروط البدئية $u_C(0)=0$ حدد الثابتة A . واستنتج المعادلة $u_C(t)$ بدلالة الزمن t .

باعتبار الشروط البدئية أعلاه لدينا$u_C(0)=0$ ، وهذا لكون الدالة متصلة في أي لحظة t من لحظات تشغيل المكثف بما فيها اللحظة t=0 . $u_C(t=0^+)=u_C(t=0^-)=0$

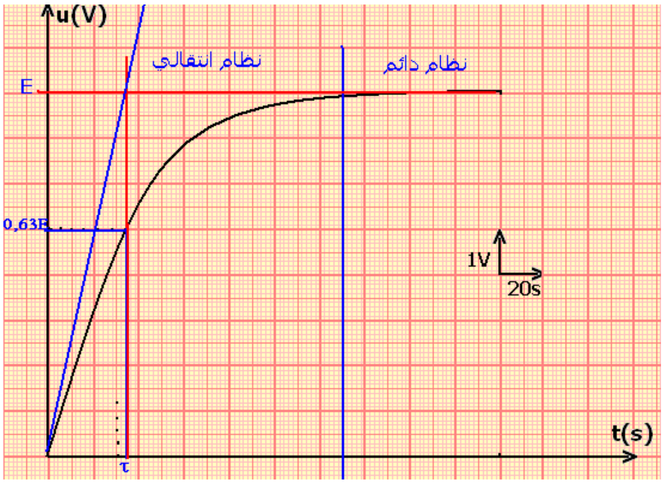
$$u_C(0)=A+E=0 \Rightarrow A=-E$$

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



3 ـ المنحنى المحصل عليه خلال التجربة (أنظر الشكل 4 ب) يمثل المعادلة الرياضية التي تم التوصل إليها ، حل المعادلة التفاضلية السابقة

وهي على الشكل التالي : $u_C(t)=E(1-e^{-\frac{t}{\tau}})$.



3 ـ 1 يبرز المنحنى وجود نظامين :

نظام انتقالي : يتغير خلاله التوتر $u_C(t)$

نظام دائم : يصل خلاله التوتر إلى قيمة حدية ثابتة .

حدد على المبيان هذين النظامين .

3 ـ 2 عين $u_C(0)$ و $u_C(\infty)$ قيمة $u_C(t)$ عندما تؤول t

4 ـ تسمى τ ثابتة الزمن لثنائي القطب RC ، وبينت الدراسة النظرية أن $\tau=R.C$.

4 ـ 1 باستعمال معادلة الأبعاد بين أن τ عبارة عن زمن .

<u>**ثابتة الزمن τ=RC**</u>

حسب معادلة الأبعاد بالنسبة للمكثف :

$$i=C\frac{du}{dt} \Leftrightarrow C=\frac{[I][t]}{[V]}$$

بالنسبة للموصل الأومي :

$$u=Ri \Leftrightarrow R=\frac{[U]}{[i]}$$

وبالتالي لدينا $R.C=\frac{[I][t]}{[U]}.\frac{[U]}{[i]}=[t]$

المقدار τ له بعد زمني . يسميه بالثابتة الزمن لثنائي القطب RC ، ووحدته هي : الثانية s .

4 ـ 2 تحقق من أن قيمة الجداء R.C تساوي τ .

عند حساب RC=33s وحسب المبيان فإن τ=33s .

5 ـ نعتبر الدالة التي تمثل المنحنى $u_C(t)$.

5 ـ 1 عبر عن $u_C(t=\tau)$ بدلالة E.

$$u_C(\tau)=E(1-e^{-1})=0,63E$$

5 ـ 2 استنتج طريقة مبيانية تمكن من تحديد τ .

أن τ هو الأفصول الذي يوافق الأرثوب 0,63E .

5 ـ 3 عبر عن الاشتقاق $\left(\frac{du_C}{dt}\right)$ عند t=0 بدلالة τ و E ، ثم استنتج طريقة مبيانية ثانية تمكن من تحديد τ .

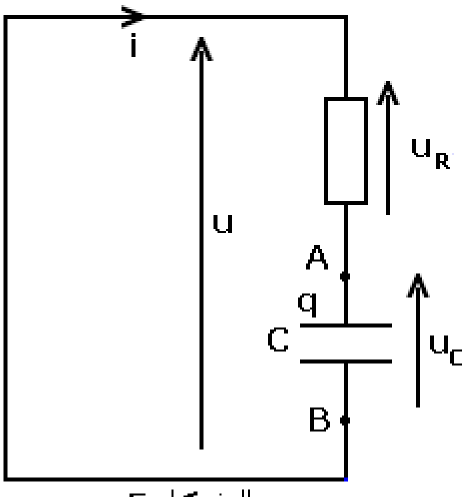
$\left(\frac{du_c}{dt}\right)_{t=0}$ تمثل المعامل الموجه للمماس للمنحنى $u_C(t)$ في الأفصول $t=0$ $\left(\frac{du_c}{dt}\right)_{t=0} = \frac{E}{\tau}t$

يقطع مماس المنحنى $u_C(t)$ عند اللحظة $t=0$ المقارب $u_C=E$ ، في اللحظة $t=\tau$.

6 ـ تعبير شدة تيار الشحن .

بين أن شدة التيار الكهربائي المار في دارة RC خاضعة لرتبة صاعدة للتوتر هي :

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



الشكل 5

تعبير شدة التيار الكهربائي المار في ثنائي القطب RC

نعلم أن

$i = \frac{dq}{dt} = C.\frac{du_C}{dt}$ وبما أن : $u_C(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ مع $\tau = RC$ فإن :

$$i = \frac{dq}{dt} = C.\frac{du_C}{dt} = CE\left(0 - \left(-\frac{1}{RC}e^{-\frac{t}{\tau}}\right)\right) = \frac{E}{R}e^{-\frac{t}{\tau}}$$

II ـ نضع قاطع التيار في الموضع 2

1 ـ ما هو التوتر المعاين في المدخل Y_1 لراسم التذبذب ؟ أكتب معادلته .

حسب قانون أوم : $u_R = Ri$

2 ـ ما هو التوتر المعاين في المدخل Y_2 لراسم التذبذب ؟

في المدخل Y_2 نعاين التوتر u_C ، التوتر بين مربطي المكثف

نعتبر اللحظة التي تم فيها وضع قاطع التيار في الموضع 2 كأصل للتواريخ $(t=0)$ فنحصل على دارة الشكل 5 حيث يكون المكثف في هذه الحالة مشحونا $(u_C(0)=E)$.

2 ـ 1 بتطبيق قانون إضافية التوترات بين أن :

$$\tau\frac{du_C}{dt} + u_C = 0$$

والتي تمثل المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر $u_C(t)$ بين مربطي المكثف في كل لحظة t في الدارة RC خلال تفريغه في RC .

حسب قانون إضافية التوترات لدينا :

$$u_R + u_C = 0 \Rightarrow Ri + u_C = 0$$

$$i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow i = C\frac{du_C}{dt}$$

$$RC\frac{du_C}{dt} + u_C = 0$$

2 ـ 2 حل المعادلة التفاضلية

حل هذه المعادلة التفاضلية هو على الشكل التالي : $u_C(t) = Ae^{-xt} + B$ بحيث أن A و B و x ثوابت يمكن تحديدها .

بتعويض هذا الحل في المعادلة التفاضلية ، حدد الثابتة x والثابتة B .

نعوض هذا الحل في المعادلة التفاضلية :

$$RC\frac{du_C}{dt}+u_C=0 \Rightarrow RC.(-Axe^{-xt})+Ae^{-xt}+B=0$$

$$RC.x=1 \Rightarrow x=\frac{1}{RC}=\frac{1}{\tau}$$

$$B=0$$

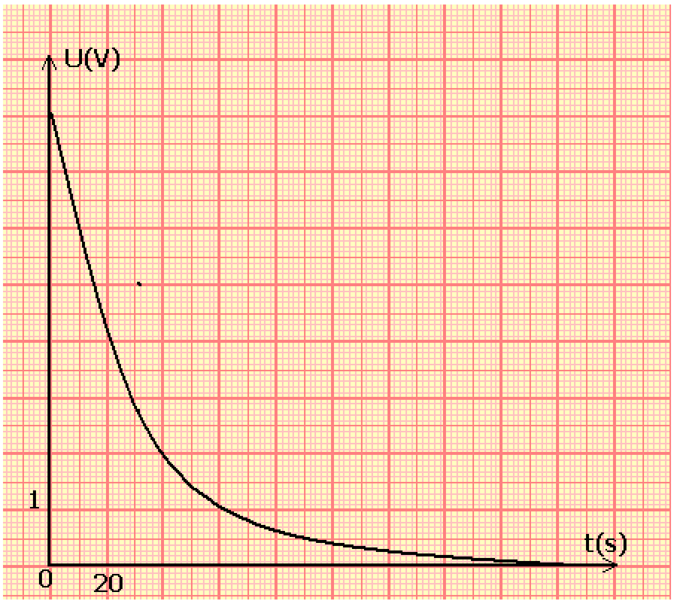
وبالتالي يكون حل المعادلة التفاضلية على الشكل التالي : $u_C(t)=Ae^{-\frac{t}{\tau}}$

وباعتبار الشروط البدئية $u_C(0)=E$ حدد الثابتة A . واستنتج المعادلة $u_C(t)$ بدلالة الزمن t .

باعتبار الشروط البدئية أعلاه لدينا$u_C(0)=0$ ، وهذا لكون الدالة متصلة في أي لحظة t من لحظات تشغيل المكثف بما فيها اللحظة t=0 . $u_C(t=0^+)=u_C(t=0^-)=E$

$$u_C(0)=A=E \Rightarrow A=E$$

$$u_C(t)=Ee^{-\frac{t}{\tau}}$$



ـ المنحنى المحصل عليه خلال التجربة معادلته الرياضية هي على الشكل التالي : $u_C(t)=k'e^{-\frac{t}{\tau'}}$

حدد قيمتي الثابتتين k' و τ' .

3 ـ تعرف النظام الانتقالي والنظام الدائم ، من خلال المنحنى المحصل عليه على شاشة راسم التذبذب .

ثم عين :

$u_C(0)$- و $u_C(\infty)$ قيمة $u_C(t)$ عندما تؤول t إلى ما لا نهاية .

$u_C(0)=E$ ، عندما تؤول t إلى ما لا نهاية تؤول u_C إلى الصفر

ـ تعرف على الثابتة k' .

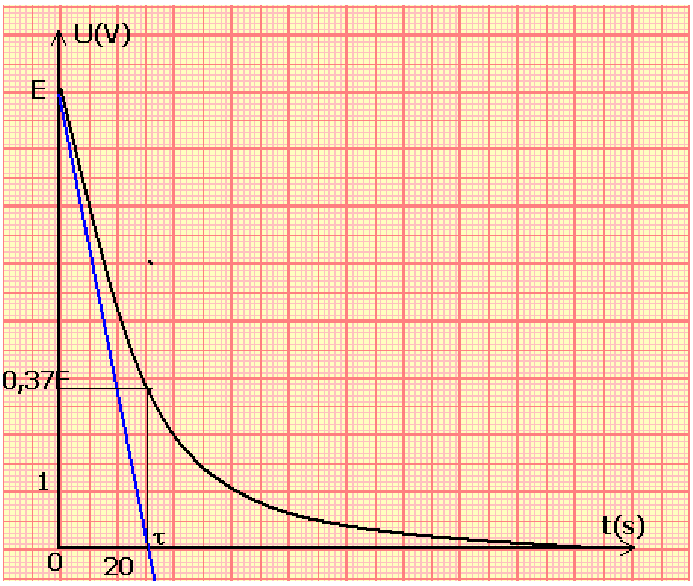
الثابتة $k'=E$

4 ـ ماذا تمثل الثابتة τ' ؟

τ تمثل تابتة الزمن

5 ـ عين مبيانيا الثابتة τ' بطريقتين مختلفتين .

بواسطة المماس عند اللحظة t=0 أو بالأفصول الذي يوافق الأرثوب 0,37E .



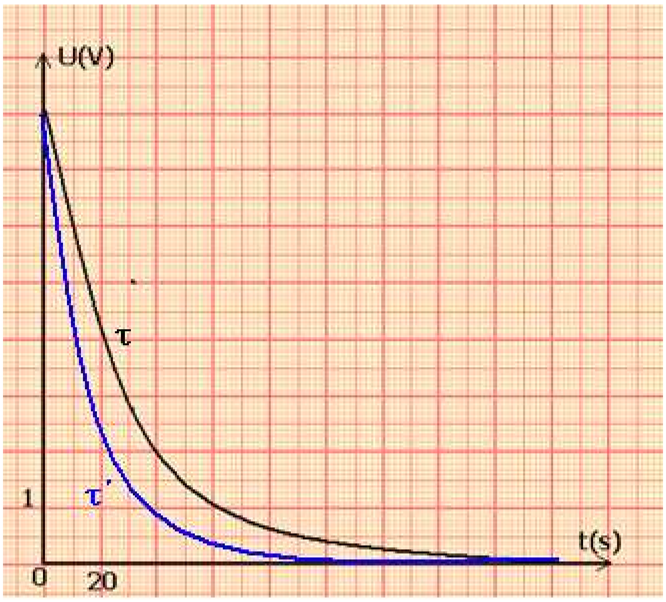
6 ـ أحسب $u_C(t)$ في اللحظة $t=5\tau'$ ، ثم عبر عن القسمة $\frac{u_C(5\tau')}{u_C(0)}$ بالنسبة المائوية . ماذا تستنتج ؟

$$\frac{u_C(5\tau')}{u_C(0)}=6,73.10^{-3}=0,67\%$$

أي أنه عند $t=5\tau$ ينعدم التوتر .

7 ـ نغير $\tau'_1<\tau'$ فنحصل على التمثيل الشكل 3 . ما تأثير τ' على تفريغ المكثف في الدارة RC ؟

كلما كانت τ أصغر كلما كان تفريغ المكثف أسرع .



8 ـ بين أن شدة التيار الكهربائي خلال تفريغ مكثف في موصل أومي هي : $i(t) = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$

نعلم أن

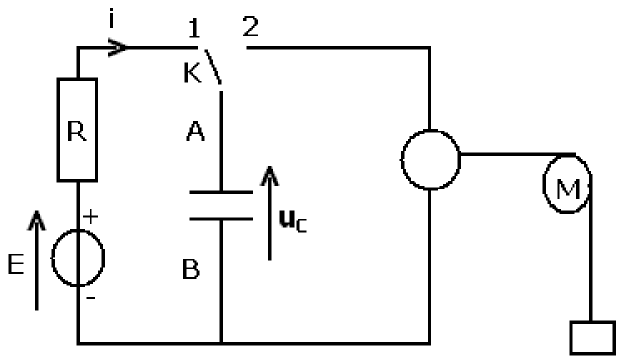
$i = \frac{dq}{dt} = C.\frac{du_C}{dt}$ وبما أن : $u_C(t) = Ee^{-\frac{t}{\tau}}$ مع $\tau = RC$ فإن :

$$i = \frac{dq}{dt} = C.\frac{du_C}{dt} = -\frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

شدة التيار الكهربائي خلال تفريغ مكثف في موصل أومي هي : $i(t) = -\frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$

IV ـ الطاقة المخزونة في المكثف .

1 ـ الإبراز التجريبي



نعتبر التركيب التجريبي الممثل في الشكل جانبه :
نقوم بشحن المكثف بواسطة مولد التوتر المستمر .
نرجح قاطع التيار K إلى الموضع 2 :
ماذا نلاحظ ؟
نلاحظ أشتغال المحرك وصعود الكتلة المعلمة المعلقة بواسطة خيط ملفوف حول مردود المحرك .
كيف نفسر هذه الملاحظة ؟
يفسر صعود الكتلة المعلمة واكتسابها طاقة وضع ثقالية إلى الطاقة الكهربائية التي اختزنها المكثف أثناء شحنه .
نستنتج أن المكثف يمكّن من تخزين طاقة كهربائية قصد استعمالها عند الحاجة .

2 ـ تعبير الطاقة المخزونة في المكثف .

القدرة الكهربائية الممنوحة للمكثف هي : $\mathscr{P} = u_C.i$ بحيث أن $i = \frac{dq}{dt} = C\frac{du_C}{dt}$ وبالتالي فإن :

$$\mathscr{P} = C.u_C\frac{du_c}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}Cu_C^2\right)$$

ونعلم أن القدرة

$$\mathscr{P} = \frac{d\xi_e}{dt} \Rightarrow \xi_e = \frac{1}{2}Cu_C^2 + K$$

باعتبار أن $\xi_e(0) = 0$ عندما يكون المكثف غير مشحون $u_C(0) = 0$ فإن K=0
وبالتالي تكون الطاقة الكهربائية المخزونة في المكثف هي :

$$\xi_e = \frac{1}{2}Cu_C^2$$

خاصية تخزين الطاقة الكهربائية بواسطة مكثف وإمكانية استرجاعها عند الحاجة تمكن من استعماله في عدة أجهزة كمثلا الذاكرة المتطايرة الدينامية RAM للحاسوب ، التغذية الكهربائية المستمرة والمثبتة ، الأجهزة الفوتوغرافية حيث تمكن الطاقة المخزونة في المكثف من تشغيل مص

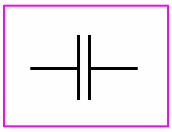
ثنائي القطب (RC)

I. المكثف

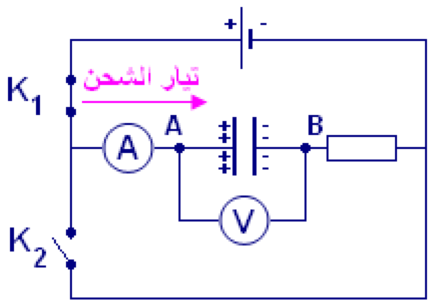
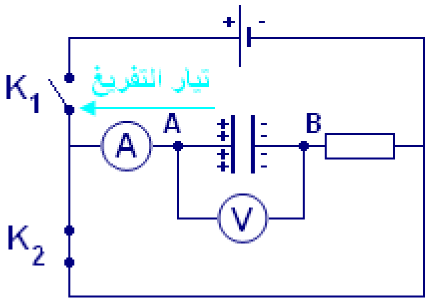
- تعريف المكثف

تعريف

المكثف ثنائي قطب يتكون من موصلين متقابلين يسميان لبوسين يفصل بينهما عازل كهربائي يسمى العازل الاستقطابي. رمزه الاصطلاحي هو:



- شحن مكثف و تفريغه

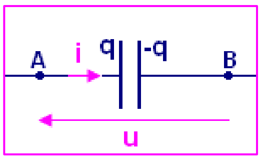
شحن المكثف	تفريغ المكثف
 يمر تيار انتقالي مصدره المولد. يشحن المكثف و عند نهاية الشحن: $u_{AB}=E$ و $i=0$ E القوة الكهرمحركة للمولد.	 يمر تيار انتقالي مصدره المكثف. يفرغ المكثف و عند نهاية التفريغ: $u_{AB}=0$ و $i=0$
في كل لحظة شحنة المكثف هي:	$q = q_A = -q_B$

- الاصطلاح مستقبل

يتغير منحى التيار المار في دارة مكثف حسب شحنه أو تفريغه لذلك وجب اعتبار شدة التيار مقدارا جبريا.بعد اختيار منحى موجبا اعتباطيا يحدد بسهم على الدارة، نعتبر:

- $i>0$: التيار يمر في المنحى+
- $i<0$: التيار يمر في المنحى −

في الاصطلاح مستقبل يمثل التوتر بين مربطي المكثف بسهم منحاه معاكس لمنحى توجيه الدارة.



• العلاقة شحنة – شدة التيار

باعتبار الاصطلاح مستقبل، العلاقة بين شدة التيار و شحنة المكثف خلال شحنه أو تفريغه هي:

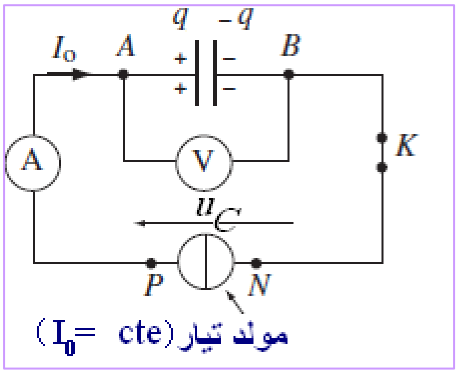
$$\boxed{i = \frac{dq}{dt}}$$

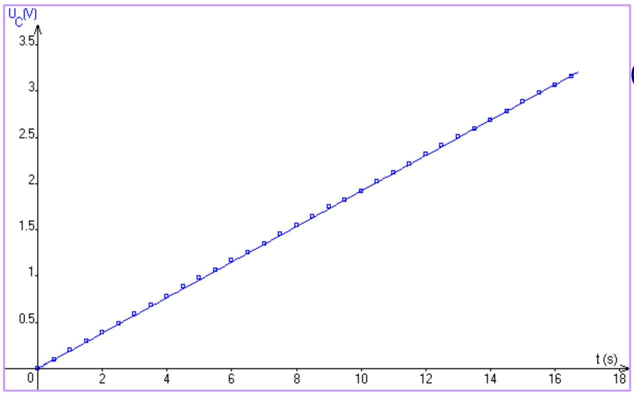
خلال التفريغ	خلال الشحن
q تناقصية $\leftarrow$ $i<0$	q تزايدية $\leftarrow$ $i>0$
تيار التفريغ يمر عكس المنحنى الموجب الاعتباطي	تيار الشحن يمر في المنحنى الموجب الاعتباطي

☜ في حالة تيار شدته ثابتة i=I لدينا: $\boxed{I = \frac{q}{t}}$: شحنة المكثف دالة زمنية خطية.

• العلاقة شحنة – توتر

يشحن المكثف بتيار شدته ثابتة وتقاس قيم التوتر بين مربطي المكثف بدلالة مدة الشحن. يحصل على المبيان التالي.





- معادلة المنحنى هي: (1) $u_C = k.t$
- باعتبار المكثف يشحن بتيار شدته ثابتة فإن: (2) $q = I_0.t$

(2) على (1) تعطي: $\frac{q}{u_C} = \frac{I_0}{k} = cte = C$

خاصية

شحنة مكثف تتناسب طردا مع التوتر المطبق بين مربطيه سواء خلال شحنه أو تفريغه:

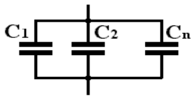
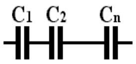
$$\boxed{q = C\,u}$$

معامل التناسب C مقدار يميز المكثف و يسمى سعة المكثف. وحدته تسمى الفاراد(F)

☜ عمليا تستعمل أجزاء الفاراد و هي:

- الميليفاراد: $1\ mF = 10^{-3}\ F$
- الميكروفاراد: $1\ \mu F = 10^{-6}\ F$
- النانوفاراد: $1\ nF = 10^{-9}\ F$
- البيكوفاراد: $1\ pF = 10^{-12}\ F$

- تجميع المكثفات

على التوازي	$\boxed{C=\sum_{i=1}^{n} C_i}$	تكمن أهمية هذا التركيب في الحصول على سعة مرتفعة.	
على التوالي	$\boxed{\frac{1}{C}=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{C_i}}$	يستعمل هذا التركيب للحصول على مكثف يمكنه تحمل توتر أعلى من التوتر الذي يتحمله كل مكثف بمفرده.	

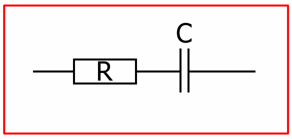
- طاقة مكثف

هي طاقة كهربائية يخزنها المكثف خلال شحنه و يحررها خلال تفريغه، و تعبيرها هو:

$$\boxed{E_e=\frac{1}{2}Cu^2=\frac{1}{2}\frac{q^2}{C}}$$

II. ثنائي القطب (RC)

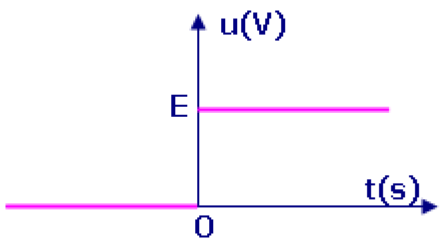
تعريف يتكون ثنائي قطب RC المتوالي من مكثف سعته C مركب على التوالي مع موصل أومي مقاومته R .



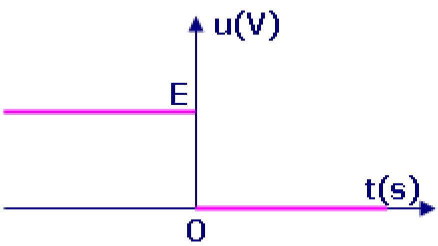
- استجابة ثنائي قطب(RC) لرتبة توتر

▪ رتبة توتر

تعريف يقال أن ثنائي قطب يخضع لرتبة توتر إذا تغير التوتر المطبق بين مربطيه من 0 إلى قيمة ثابتة E لحظيا(رتبة صاعدة) أو العكس(رتبة نازلة).



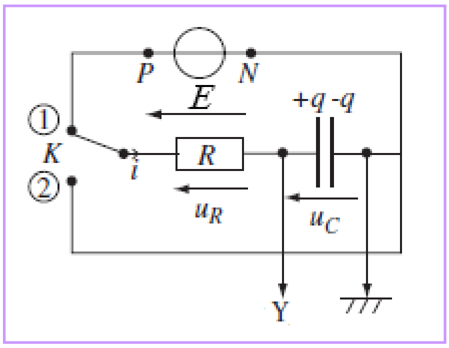
رتبة توتر صاعدة



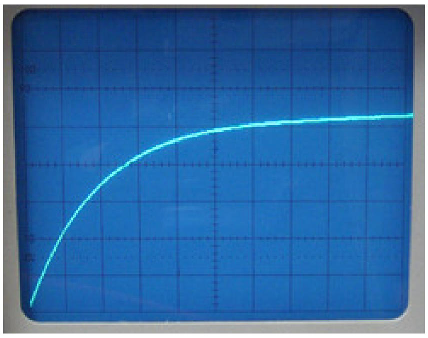
رتبة توتر نازلة

▪ دراسة تجريبية

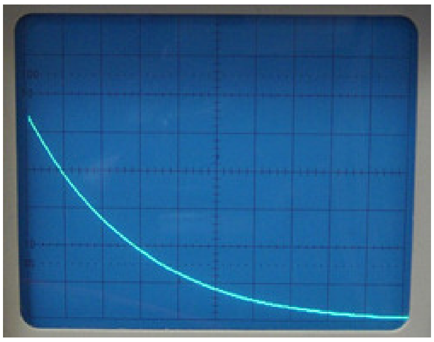
في المدخلY لراسم تذبذب ذاكراتي تعاين تغيرات التوتر u_C بين مربطي المكثف خلال شحنه ثم خلال تفريغه.



القاطع K في الموضع 1 : استجابة RC لرتبة توتر صاعدة (شحن المكثف)	القاطع K في الموضع 2 : استجابة RC لرتبة توتر نازلة (تفريغ المكثف)

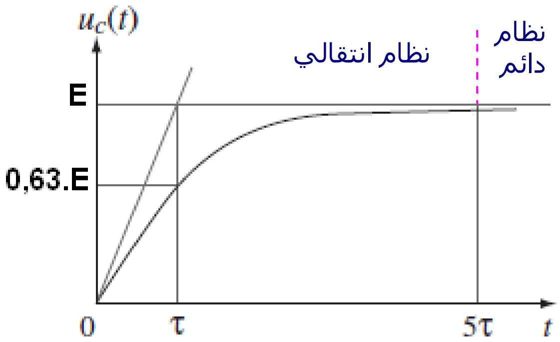
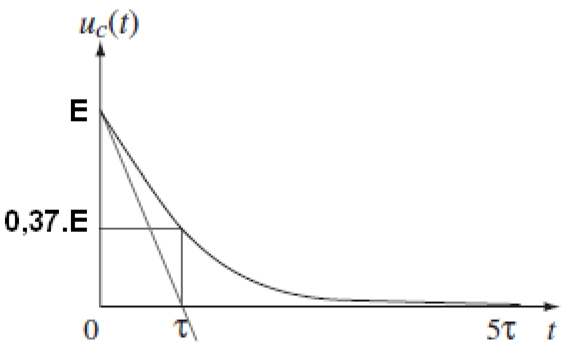


$u_C(t)$



$u_C(t)$

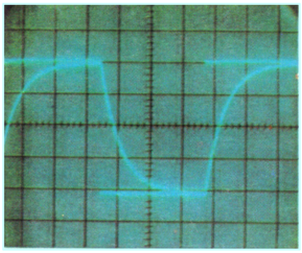
▪ دراسة نظرية

	الاستجابة لرتبة توتر صاعدة: شحن	الاستجابة لرتبة توتر نازلة: تفريغ
المعادلة التفاضلية	$\boxed{RC\frac{du}{dt}+u=E}$	$\boxed{RC\frac{du}{dt}+u=0}$
تعبير التوتر u بين مربطي المكثف (حل المعادلة التفاضلية)	$\boxed{u=E(1-e^{-\frac{t}{RC}})}$	$\boxed{u=Ee^{-\frac{t}{RC}}}$
ثابتة الزمن	$\boxed{\tau=RC}$ هي المدة اللازمة لكي يشحن المكثف ب63% من شحنته النهائية(القصوى).  	$\boxed{\tau=RC}$ هي المدة اللازمة لكي يفرغ المكثف 63% من شحنته البدئية. 

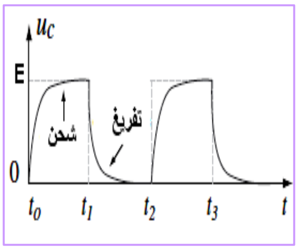
☞ يمكن تحديد معادلة شدة التيار انطلاقا من اشتقاق معادلة التوتر باعتبار أن: $i=\frac{dq}{dt}=C\frac{du}{dt}$.

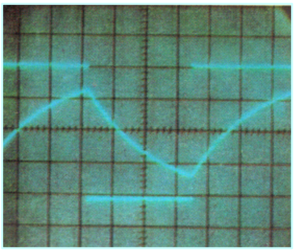
• تأثير ثابتة الزمن على الشحن و التفريغ

يطبق على ثنائي القطب RC توترا مربعيا وتغير قيمة R و/أو C . تعاين على أحد مدخلي راسم التذبذب تغيرات التوتر بين مربطي المكثف.

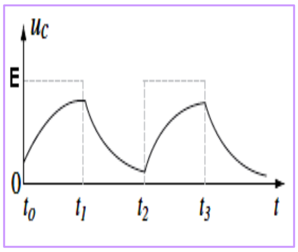


$\tau=RC$ صغيرة





$\tau=RC$ كبيرة



يكون الشحن و التفريغ سريعين كلما صغرت قيمة ثابتة الزمن.
التوتر بين مربطي المكثف دالة زمنية متصلة.

ثنائي القطب RL
Dipôle RL

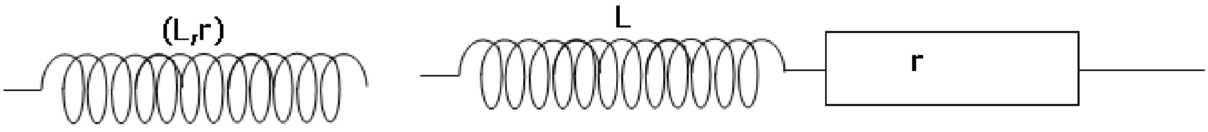
I ـ الوشيعة : la bobine

1 ـ التعريف

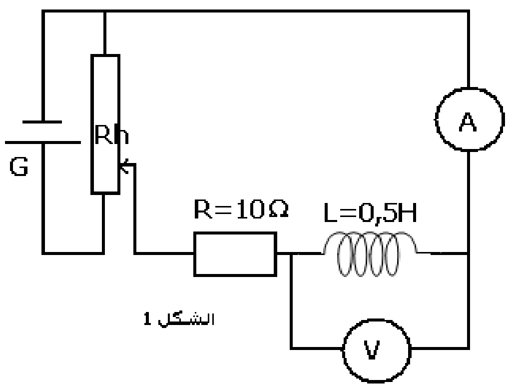
الوشيعة ثنائي قطب يتكون من لفات ، من سلك من النحاس ، غير متصلة فيما بينها لكونها مطلية ببرنيق عازل كهربائي .

رمز الوشيعة :

لتمثيل لوشيعة نستعمل أحد الرمزين التاليين :



الشكل 1 الشكل 2



الشكل 1

حيث r مقاومة الوشيعة و L معامل يميز الوشيعة يسمى معامل التحريض الذاتي . وحدته في النظام العالمي للوحدات هي الهنري (H) Henry .

وتقاس L بوسطة جهاز مقياس معامل التحريض الذاتي .

2 ـ التوتر بين مربطي وشيعة .

النشاط التجريبي 1

I ـ ننجز التركيب التجريبي الممثل في الشكل (1) والذي يتكون من مولد التوتر المستمر ومعدلة ووشيعة دون نواة الحديد معامل تحريضها الذاتي L=10mH ومقاومتها صغيرة ، وموصل أومي مقاومته R=100Ω وأمبيرمتر لقياس التيار الكهربائي المار في الدارة

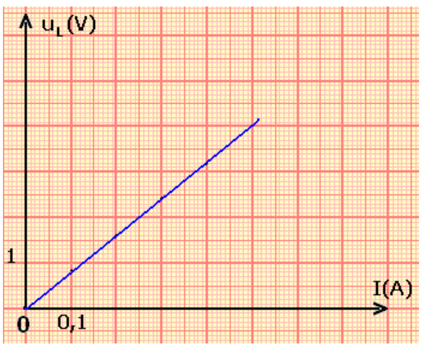
نضع فولطمتر لقياس التوتر بين مربطي الوشيعة ونغلق قاطع التيار K .

نغير قيم التوتر بواسطة المعدلة وفي كل مرة نقيس التوتر u_L بين مربطي الوشيعة وكذلك شدة التيار I المار في الدارة .

فنحصل على النتائج التالية :

u_L(V)	0	0,8	1,6	2,4	3,2
I(A)	0	0,1	0,2	0,3	0,4

استثمار النتائج :



1 ـ مثل المنحنى u_L بدلالة الشدة I .

2 ـ بين أن الوشيعة تتصرف كموصل أومي .

حسب المنحنى المحصل عليه أن التوتر بين مربطي الوشيعة يتناسب اطرادا مع شدة التيار المار فيها ، مما يبين أن الوشيعة تتصرف كموصل أومي مقاومته r

3 ـ حدد r مقاومة الوشيعة وقارنها بالقيمة التي يشير إليها الصانع .

r المعامل الموجه للمنحنى : $r=\dfrac{\Delta U_L}{\Delta I}=\dfrac{2,4-0,8}{0,3-0.1}=8\Omega$

4 ـ استنتج العلاقة بين u_L و r و I .

$$U_L = rI$$

II

منخفضة GBF ، حيث يعطي تيارا مثلثيا تردده f=400Hz ، وتوتره الأقصى 5V . نستعمل برنم إلكتروني ننجز التركيب التجريبي الممثل في الشكل (2)

نرسم على ورق مليمتري الرسم التذبذبي المحصل عليه .

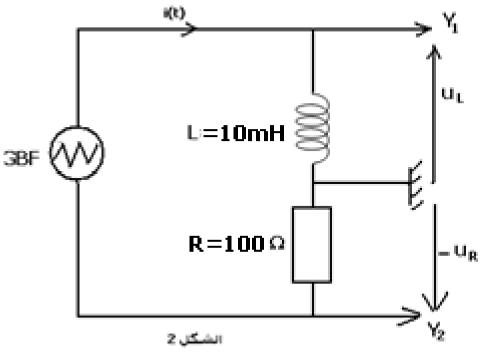
استثمار

1 ـ لماذا يمكن المدخل Y_2 لكاشف التذبذب من معاينة تغيرات شدة التيار الكهربائي المار في الدارة ؟

Y_2 تعاين التوتر بين مربطي الموصل الأومي : $u_R = -Ri$ أي أن u_R و i يتناسبان اطرادا ، المنحنى المحصل عليه له نفس شكل المنحنى لتغيرات شدة التيار الكهربائي $i(t)$ المار في الدارة

2

2 ـ 1 حدد قيمة المعامل a ، ما وحدته ؟



الشكل 2

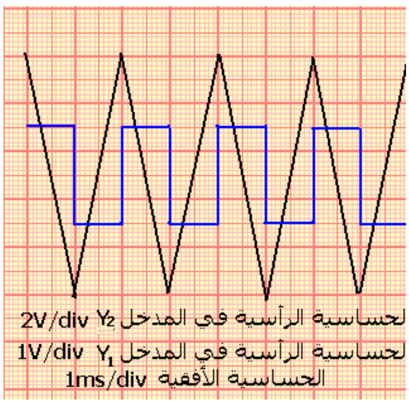
$$i(t) = \frac{-u_R}{R} = \frac{a't + b'}{R} = at + b$$

$$a = \frac{a'}{R} = \frac{\Delta u}{R.\Delta t} = \frac{-10}{100.10^{-3}} = -100A/s$$

$$b = \frac{5}{100} = 5.10^{-2}A$$

$$i(t) = -100t + 5.10^{-2}$$

2 ـ 2 عين ، بالنسبة للنصف الأول من الدور ، قيمة التوتر $u_L(t)$ بين مربطي الوشيعة ، ثم استنتج النسبة $\frac{u_L(t)}{\frac{di}{dt}}$.



حسب المعاينة على شاشة راسم التذبذب لدينا $u_L = 1V$

$$\frac{u_L}{\frac{di}{dt}} = \frac{1}{100} = 10^{-2}H = 10mH$$

$$\frac{u_L}{\frac{di}{dt}} = L \Rightarrow u_L = L\frac{di}{dt}$$

2 ـ 3 قارن هذه النسبة مع L معامل التحريض الذاتي للوشيعة المستعملة .

استنتج العلاقة بين u_L و L و $\frac{di}{dt}$.

3

التجربة لم تؤخذ هذه المقاومة بعين الاعتبار لكون تأثيرها مهملا .

اقترح علاقة عامة للتوتر u_L بين مربطي الوشيعة تضم r و $i(t)$ و L و $\frac{di}{dt}$.

$$\mathbf{u_L(t) = r.i(t) + L.\frac{di}{dt}}$$

خلاصة :

بالنسبة لوشيعة دون نواة حديد ، وفي الاصطلاح مستقبل يعبر عن التوتر $_L$ بين مربطي وشيعة بالعلاقة :

$$\mathbf{u_L(t) = r.i(t) + L.\frac{di}{dt}}$$

$u_L(t)$ بالفولط (V) ، $i(t)$ بالأمبير ، r بالأوم ، L بالهنري .

R

<u>النشاط التجريبي 2 : تأثير الوشيعة على دارة كهربائية .</u>

ننجز التركيب التجريبي الممثل في الشكل (3)

نغلق قاطع التيار K .

استثمار :

1

1 ـ 1 هل يتألق المصبحان L_1 و L_2 مباشرة بعد إغلاق الدارة ؟

نعم يتألق المصبحان L_1 و L_2 ونلاحظ أن المصباح L_1 يتألق قبل المصباح L_2

1 ـ 2 كيف تتغير شدة التيار المار في كل من L_1 و L_2 ؟

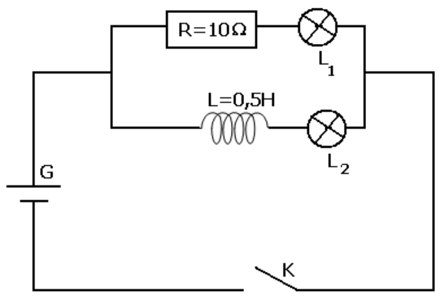
تتغير شدة التيار في المصباح L_1 لحظيا بينما في المصباح L_2 تتغير تدريجيا متأخرة بلحظات عن تألق L_1

2 ـ ما تأثير الوشيعة على إقامة التيار ؟

الوشيعة تؤخر إقامة التيار

3 ـ ماذا يحدث عند فتح الدارة ؟ ما تأثير الوشيعة ، عند انعدام التيار ؟

نفس الملاحظة أن الوشيعة تؤخر انعدام التيار في الفرع الذي يضمها .



خلاصة :

في دارة كهربائية تحتوي على وشيعة ، تؤخر هذه الأخيرة إقامة التيار أو انعدام التيار في هذه الدارة أي بصفة عامة فالوشيعة تقاوم تغير شدة التيار الذي يمر فيها . وهذا ناتج عن تأثير الجداء $L.\dfrac{di}{dt}$.

3 ـ استغلال تعبير التوتر بين مربطي وشيعة .

عند إهمال مقاومة الوشيعة ، يصبح التوتر $u_L(t)$ بين مربطي الوشيعة كالتالي :

$$u_L(t) = L\frac{di(t)}{dt}$$

* $i(t)$ تزايدية فإن $u_L(t)>0$

* إذا كان تغير شدة التيار الكهربائي سريع جدا (dt صغيرة جدا بينما di كبيرة جدا أي أن الإشتقاق له قيمة كبيرة جدا) وبالتالي $u_L(t)$ تأخذ قيمة كبيرة جدا مما يؤدي إلى ظهور **فرط التوتر** بين مربطي الوشيعة

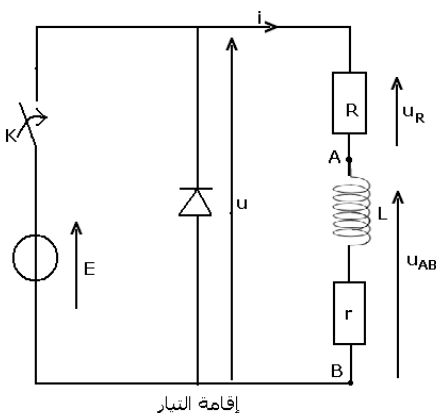
II ـ ثنائي القطب RL

يتكون ثنائي القطب RL من موصل أومي مقاومته R مركب على التوالي مع وشيعة مقاومتها r ومعامل تحريضها L .

نسمي المقاومة الكلية لثنائي القطب هذا $R_t=R+r$.

1 ـ استجابة ثنائي القطب RL لرتبة صاعدة للتوتر .

<u>1 ـ 1 المعادلة التفاضلية التي تحققها شدة التيار المار في الدارة RL .</u>



نعتبر الدارة RL الممثلة في الشكل جانبه .

نغلق قاطع التيار K في اللحظة t=0 . يأخذ التوتر بين مربطي الدارة RL لحظيا القيمة E (رتبة صاعدة للتوتر) . $i(t)$ شدة التيار الذي يمر في الدارة عند **إقامة التيار** استجابة لرتبة توتر صاعدة .

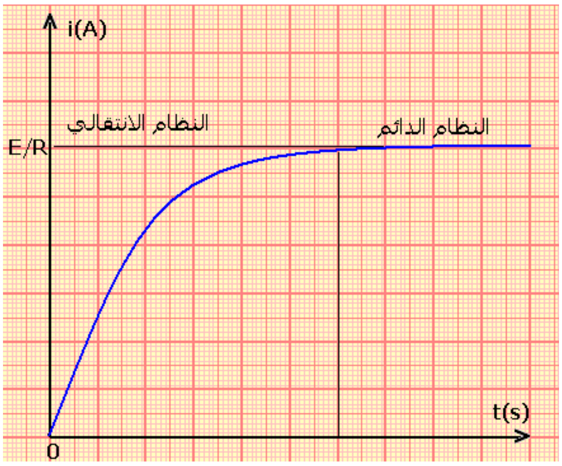
حسب قانون إضافية التوترات لدينا :

$$u = u_{AB} + u_R$$

بحيث أن $u = E$ و $u_R = Ri(t)$ و $u_{AB} = ri + L\dfrac{di}{dt}$ أي أن

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

بما أن $R+r=R_t$ فإن $L\frac{di}{dt} + R_t i = E \Rightarrow \frac{L}{R_t}\frac{di}{dt} + i = \frac{E}{R_t}$



نضع $\tau = \frac{L}{R_t}$ فتصبح المعادلة التفاضلية التي تحققها شدة

التيار $i(t)$ المار في الدارة RL هي :

$$\tau\frac{di}{dt} + i = \frac{E}{R_t}$$

<u>1 ـ 2 حل المعادلة التفاضلية .</u>

يكتب المعادلة التفاضلية التالية : $\tau\frac{di}{dt} + i = \frac{E}{R_t}$

على الشكل التالي : $i(t) = Ae^{-\alpha t} + B$ حيث A و B و α ثابت

يجب تحديدها .

نعوض الحل في المعادلة التفاضلية :

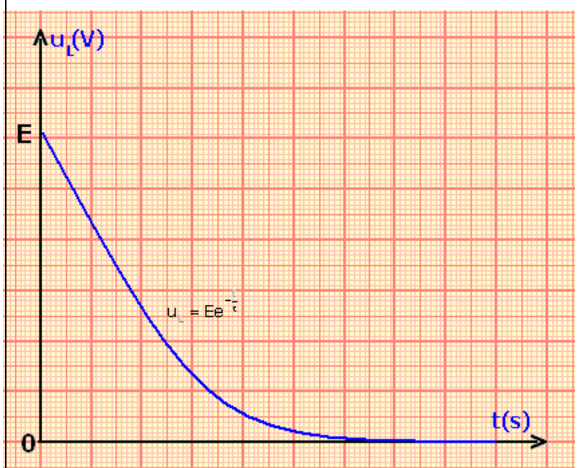
$$\tau\left(-\alpha Ae^{-\alpha t}\right) + Ae^{-\alpha t} + B = \frac{E}{R_t} \Rightarrow (1-\alpha\tau)Ae^{-\alpha t} + B = \frac{E}{R_t}$$

$$1 - \alpha\tau = 0 \Rightarrow \alpha = \frac{1}{\tau}$$

$$B = \frac{E}{R_t}$$

وبالتالي سيكون حل المعادلة التفاضلية على الشكل التالي : $i(t) = Ae^{\frac{-t}{\tau}} + \frac{E}{R_t}$

تحديد الثابتة A حسب الشروط البدئية : i(0)=0 وهي ناتجة عن كون $i(t)$ دالة متصلة في أي لحظة من لحظات تشغيل الوشيعة بما في ذلك اللحظة t=0 حيث يمكن أن نكتب $i(t) = i(t+\varepsilon) = i(t-\varepsilon)$ بحيث أن ε عدد موجب قريب من الصفر .



حسب حل المعادلة لدينا i(0)=A+B=0 أي أن $A = -\frac{E}{R_t}$

نضع $I_0 = \frac{E}{R_t}$ فيكون حل المعادلة التفاضلية هو :

$$i(t) = I_0\left(1 + e^{\frac{-t}{\tau}}\right)$$

2 ـ تعبير التوتر بين مربطي وشيعة .

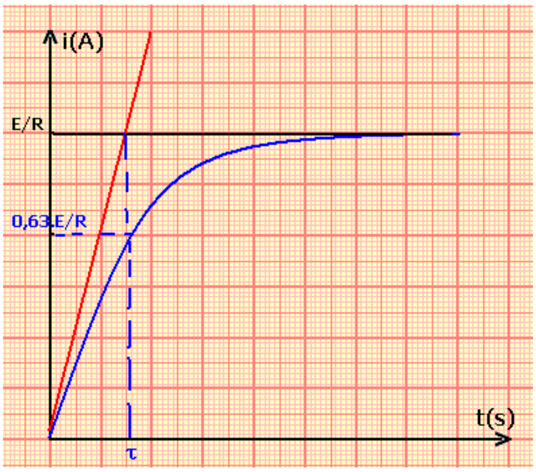
حسب قانون إضافية التوترات لدينا :

$u = u_{AB} + Ri(t)$ أي أن

$$u_L = u - Ri(t) \Rightarrow u_L = E - R.\frac{E}{R_t}\left(1 + e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

نهمل مقاومة الوشيعة أمام المقاومة R فتصبح R_t=R وبالتالي :

$$u_L = E\left(1-\left(1+e^{-\frac{t}{\tau}}\right)\right) \Rightarrow u_L = Ee^{-\frac{t}{\tau}}$$



3 ـ ثابتة الزمن τ

<u>3 ـ 1 معادلة الأبعاد لثابتة الزمن</u> $\tau = \frac{E}{R_t}$

نعلم أن $\left[\frac{L}{R_t}\right] = \frac{[L]}{[R]}$ ولدينا كذلك $L = \frac{u_L}{\frac{di}{dt}} \Rightarrow [L] = \frac{[V][s]}{[A]}$:

أي أن $[R] = \frac{[V]}{[A]}$:

$\left[\frac{L}{R_t}\right] = \frac{[V][s]}{[A]} \times \frac{[A]}{[V]}$ أي أن $\left[\frac{L}{R_t}\right] = [s]$

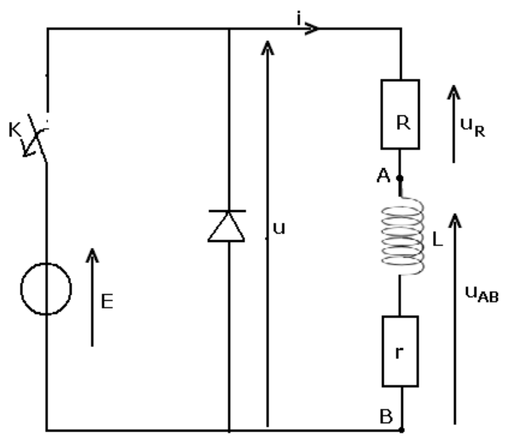
أي أن القيمة $\tau = \frac{E}{R_t}$ لها بعد زمني تسمى ثابتة الزمن وتميز ثنائي القطب RL .

<u>3 ـ 2 كيفية تحديد τ</u>

هناك طريقتين :

ـ الطريقة الأولى وهي : حساب $i(\tau)$ ونحدد أفصولها على المنحنى $i(t)$.

ـ الطريقة الثانية : استعمال المماس في اللحظة t=0 ونحدد نقطة تقاطعه مع E/R . أنظر الشكل جانبه .



انعدام التيار

4 ـ انعدام التيار في دارة تضم ثنائي قطب RL .

عند فتح قاطع التيار ، يتغير التوتر من القيمة E إلى القيمة الصفر (رتبة توتر نازلة) نقول أن هناك انعدام التيار في الدارة RL .

نطبق قانون إضافية التوترات نتوصل إلى العلاقة التالية :

$L\frac{di}{dt} + (R+r)i = 0$ أي $\tau\frac{di}{dt} + i = 0$ بحيث أن

$\tau = \frac{L}{R_t} = \frac{L}{R+r}$.

حل هذه المعادلة التفاضلية هو :

$i(t) = I_0e^{-\frac{t}{\tau}}$ بحيث أن $\tau = \frac{L}{R_t}$ و $I_0 = \frac{E}{R_t}$ باعتبار أن $i(0)=I_0$.

في هذه الحالة نحدد مبيانيا ثابتة الزمن بتطبيق العلاقة : $i(\tau) = 0,37I_0$

ملحوظة : كلما كانت τ صغيرة كلما كانت مدة إقامة وانعدام التيار صغيرة كذلك .

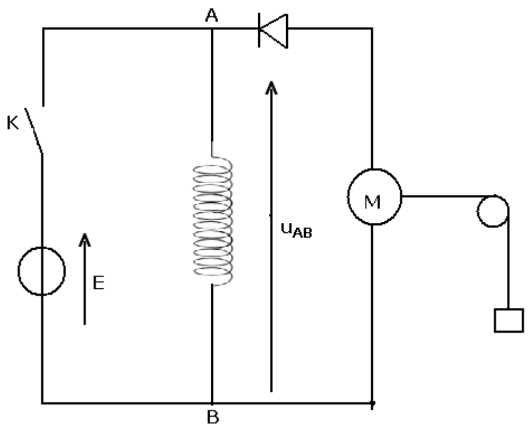
نستعمل في التركيب التجريبي الصمام من أجل حماية الدارة RL من فرط التوتر الذي يحدث بين مربطيها عند فتح قاطع التيار K .

III ـ الطاقة المخزونة في وشيعة

1 ـ الإبراز التجريبي .

نعتبر التركيب الممثل في الشكل جانبه .

عند غلق قاطع التيار K يمر تيار كهربائي في الوشيعة . يمنع الصمام الثنائي المركب في المنحى الحاجز مرور تيار كهربائي في المحرك .



عند فاح قاطع التيار K يشتغل المحرك فيرتفع الجسم S .

فسر هذه الظاهرة .

يتبين أن الوشيعة اختزنت ، أثناء إغلاق الدارة الكهربائية طاقة مغنطيسية في الفضاء المحيط بها ، ثم حررت هذه الطاقة عند فتح الدارة .

2 ـ تعبير الطاقة المخزونة في وشيعة

عند إغلاق الدارة تكتب المعادلة التفاضلية على الشكل التالي :

$$E = Ri + L\frac{di}{dt} \Rightarrow E.i = Ri^2 + L\frac{di}{dt}.i$$

$$Eidt = Ri^2dt + d(\frac{1}{2}Li^2)$$

من خلال هذه المعادلة نلاحظ :

$Eidt$ تمثل الطاقة الممنوحة من المولد للوشيعة خلال المدة dt .

Ri^2dt الطاقة المبددة بمفعول جول في الوشيعة .

$d(\frac{1}{2}Li^2)$ الطاقة التي تختزنها الوشيعة .

نعرف الطاقة المخزونة في الوشيعة بين لحظتين 0 و t هي :

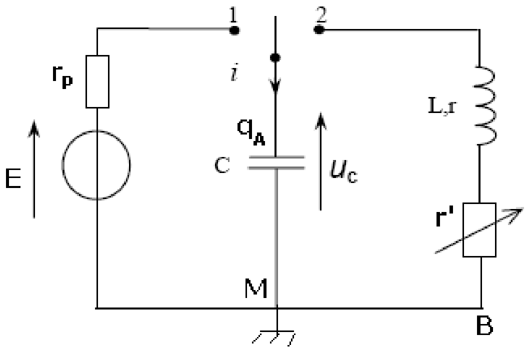
$$\xi_m = \int_0^t d(\frac{1}{2}Li^2) = \frac{1}{2}Li^2$$

خلاصة :

تتناسب الطاقة المخزونة في وشيعة ، معامل تحريضها L ، مع مربع شدة التيار الكهربائي المار فيها :

$$\xi_m = \frac{1}{2}Li^2$$

التذبذبات الحرة في دارة RLC متوالية



I ــ تفريغ مكثف في وشيعة

1ــ النشاط التجريبي

ننجز التركيب الكهربائي الممثل جانبه حيث نستعمل وسيط معلوماتي وحاسوب وبرنم يعالج المعطيات أو راسم التذبذب ذاكراتي .

+ نضبط التوتر المستمر الذي يعطيه المولد على القيمة E=3Vومقاوومة الموصل الاومي على r′=0Ω

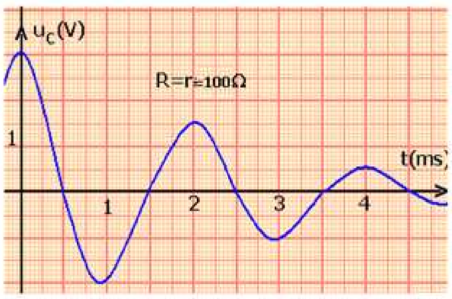
+نؤرجح قاطع التيار إلى الموضع (1) لمدة زمنية كافية لشحن المكثف كليا .

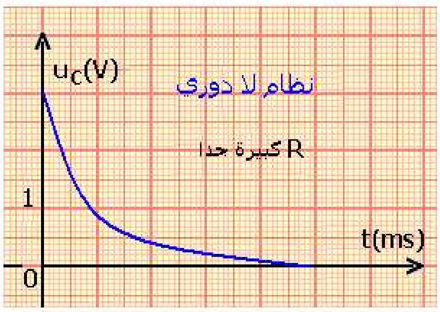
+نؤرجح قاطع التيار إلى الموضع (2) فنحصل على دارة RLC متوالية مقاومتها الكلية R=r+r′ حيث r مقاوومة الو شيعة .

+نعاين التوتر $u_C(t)$ بين مربطي المكثف

+نعيد التجربة عدة مرات برفع المقاومة r′

النتائج :





الاستثمار:

1ــ يمثل الرسم التذبذبي الممثل باللون الأزرق في الشكل (2) نموذجا للمنحنى المحصل عليه بالنسبة r′=0

1-1 كيف يتغير وسع التوتر $u_c(t)$ ؟ هل $u_c(t)$ دالة دورية ؟

عند وضع K في الموضع (1) يشحن المكثف وعند وضعه في الموضع (2) نحصل على دارة RLC متوالية حيث في هذه الحالة يفرغ المكثف في الوشيعة .

ويكون التوتر $u_c(t)$ بين مربطي المكثف متناوبا . $u_c(t)$ ليست بدالة دورية .

-وسع التوتر $u_c(t)$ يتناقص مع الزمن t نقول **أن التذبذبات مخمدة**

بما أن الذبذبات تتم دون أن نزود الدارة RLC بالطاقة غير الطاقة المخزونة في المكثف ، نقول **أن الذبذبات حرة .**

خلاصة :

يؤدي تفريغ مكثف ، مشحون ، في وشيعة دارة RLC متوالية ، إلى ظهور تذبذبات حرة ومخمدة .

نقول أن الدارة RLC المتوالية تكون متذبذبا كهربائيا حرا ومخمدا .

أنظمة الذبذبات الحرة :

2-1 نسمي شبه الدور Tالمدة الزمنية الفاصلة بين قيمتين قصويتين متتاليين للتوتر $u_c(t)$.عين مبيانيا T

من خلال المبيان يمكن أن نعين شبه الدور وهو المدة الزمنية الفاصلة بين قيمتين قصويتين متتاليتين للتوتر $u_c(t)$.

ــ تعريف بشبه الدور T

نسمي شبه الدور Tالمدة الزمنية الفاصلة بين قيمتين قصويتين متتاليين للتوتر $u_c(t)$.

R

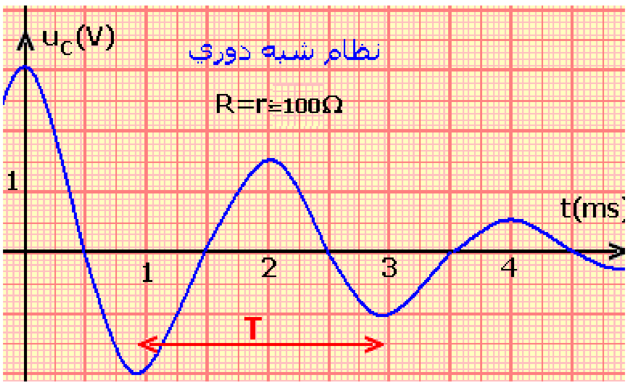
2 ـ ما تأثير المقاومة R على :
1-2 وسع التذبذبات ؟
عندما نغير المقاومة الكلية للدارة يتغير وسع الذبذبات.
2-2 شبه الدور T ؟
بالنسبة لقيم المقاومة صغيرة جدا يلاحظ أن شبه الدور لا يتعلق بقيمة R
3-عندما تأخذ المقاومة r′ قيمة كبيرة جدا : هل التوتر $u_c(t)$ المعاين تذبذبي ؟
عندما تأخذ R قيم كبيرة جدا $u_c(t)$ توتر غير تذبذبي أي أن الذبذبات تزول يكون لدينا خمود مهم .
4-حسب قيم المقاومة الكلية R للدارة RLC يلاحظ تجريبيا وجود نظامين للذبذبات : نظام شبه دوري ونظام لا دوري .
تعرف على هاذين النظامين من خلال الشكل 2
النظام شبه الدوري يحدث إذا كانت قيمة المقاومة R صغيرة .
النظام لا دوري عندما تكون R كبيرة جدا حيث تزول الذبذبات نظرا لوجود خمود مهم .
5- نضبط من جديد r′ على القيمة 0
في مرحلة أولى نأخذ L=11mH و C=1μF ونقيس شبه الدور T .
في مرحلة ثانية : نأخذ L=11mH و C=0,22μF ونقيس T .
هل يتعلق شبه الدور بكل من L و C ؟
نعم يتعلق شبه الدور بقيم L و C ولا يتعلق بقيم R

ـ أنظمة الذبذبات الحرة

حسب مقاومة الدارة RLC نحصل على ثلاثة أنظمة

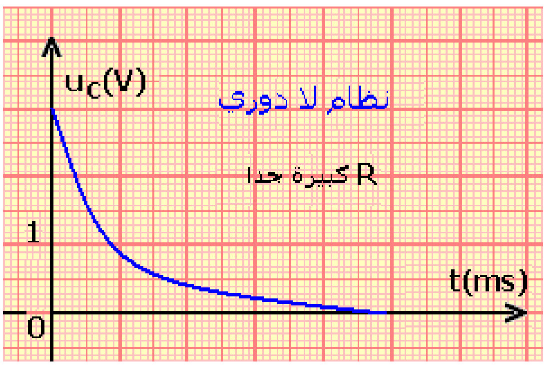
أ-نظام شبه دوري

R صغيرة نحصل على ذبذبات يتناقص وسعها تدريجيا مع الزمن



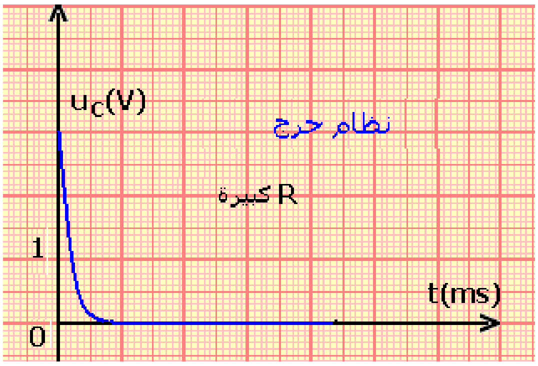
ب- نظام لا دوري

R كبيرة جدا = تزول الذبذبات نظرا لوجود خمود مهم ونسمي هدا النظام نظام لا دوري



R

ج- نظام حرج



في الذبذبات الحرة توجد قيمة معينة للمقاومة نرمز لها ب R_C وتسمى مقاومة حرجة وهي مقاومة تفصل بين النظام شبه الدوري والنظام اللا دوري ونسمي النظام في هده الحالة بالنظام الحرج وفي هده الحالة يرجع التوتر $u_c(t)$ إلى صفر بسرعة ودون تذبذب وتتعلق R_C ب C و L .

2 ـ المعادلة التفاضلية لدارة RLC متوالية .

نعتبر الدارة المتوالية الممثلة في الشكل جانبه :

نطبق قانون إضافية التوترات بين F و D فنجد :

$$u_c + u_R + u_L = 0 \qquad (1)$$

$$u_R = r'.i \qquad u_L = ri + L\frac{di}{dt} \qquad i = C.\frac{du_C}{dt}$$

$$u_R = r'.C\frac{du_c}{dt} \qquad u_L = rC\frac{du_C}{dt} + LC\frac{d^2u_C}{dt^2}$$

نعوض في المعادلة (1)

$$u_c + r'.C\frac{du_c}{dt} + rC\frac{du_C}{dt} + LC\frac{d^2u_C}{dt^2} = 0$$

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

$$r + r' = R$$

$$LC\frac{d^2u_C}{dt^2} + RC\frac{du_C}{dt} + u_C = 0$$

$$\frac{d^2u_C}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{LC}u_C = 0 \qquad (2)$$

المعادلة التفاضلية لدارة RLC متوالية التي يحققها التوتر $u_C(t)$ بين مربطي المكثف هي :

$$\frac{d^2u_C}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{LC}u_C = 0 \qquad (2)$$

يعبر المقدار $\frac{R}{L}\frac{du_C}{dt}$ عن ظاهرة خمود الذبذبات ، ويحدد حسب قيم R نظام هذه الذبذبات .

II ـ الذبذبات غير المخمدة في دارة مثالية LC .

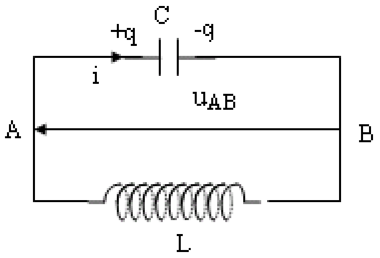
تتكون الدارة من مكثف سعته C وشحنته البدئية q_0

ووشيعة معامل تحريضها L ومقاومتها الداخلية r ونعتبرها مهملة . تنعث هذه الدارة بالمثالية لاستحالة تحقيقها تجريبيا لكون أن كل الوشيعات تتوفر على مقاومة داخلية .

1 ـ المعادلة التفاضلية التي يحققها التوتر $u_C(t)$.

حسب قانون إضافية التوترات لدينا :

$$u_c + u_L = 0 \qquad (1)$$



$$u_L = L\frac{di}{dt} \qquad i = C.\frac{du_C}{dt}$$

$$u_L = LC\frac{d^2u_C}{dt^2}$$

نعوض في المعادلة (1)

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

$$\frac{d^2u_C}{dt^2} + \frac{1}{LC}u_C = 0 \quad (2)$$

خلال الذبذبات الكهربائية الحرة غير المخمدة لدارة LC ، يحقق التوتر $u_C(t)$ بين مربطي المكثف المعادلة التفاضلية التالية :

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

2 ـ حل المعادلة التفاضلية :

المعادلة التفاضلية $\frac{d^2u_C}{dt^2} + \frac{1}{LC}u_C = 0$ معادلة خطية من الدرجة الثانية ، رياضيا حلها يكتب على الشكل التالي :

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

ـ U_m وسع الذبذبات .

ـ $\left(\frac{2\pi}{T_0} + \varphi\right)$ الطور في اللحظة ذات التاريخ t .

T_0 : الدور الخاص للذبذبات .

φ : الطور عند أصل التواريخ (t=0)

أ ـ تحديد تعبير الدور الخاص :

نعوض الحل $u_C(t) = U_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$ ف العادلة التفاضلية :

$$\frac{d^2u_C}{dt^2} = -U_m\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right) = -\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 u_C(t)$$

$$-\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 u_C(t) = -\frac{1}{LC}u_C(t)$$

$$\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

يتعلق الدور الخاص للذبذبات الحرة غير المخمدة بمعامل التحريض L وبسعة المكثف C :

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

وحدة الدور الخاص T_0 في النظام العالمي للحدات هي الثانية . (s)

تمرين تطبيقي :

بين من خلال معادلة الأبعاد أن وحدة T_0 هي الثانية .

ب ـ تحديد φ و U_m :

لتحديد قيم φ و U_m نحدد الشروط البدئية عند تفريغ المكثف في الوشيعة . أي نعبر عن المقدارين $u_C(t)$ و $i(t)$ في اللحظة t=0 باعتبار أن هاتين الدالتين متصلتين كيف ما كانت t .

لدينا $i(t)=C.\frac{du}{dt} \Rightarrow i(t)=-\frac{2\pi}{T_0}.C.\sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)$

عند اللحظة t=0 لدينا i(0)=0 الوشيعة لا يمر فيها أي تيار كهربائي

$$i(0)=-\frac{2\pi}{T_0}.C.\sin(\varphi)=0 \Rightarrow \sin\varphi=0 \Rightarrow \varphi=0 \;\; ou \;\; \varphi=\pi$$

في البداية شحنة المكثف مشحون : $u_C(0)=E$.

$u_C(0)=U_m\cos(\varphi)=E$ وبما أن E>0 و $U_m>0$ فإن $\cos(\varphi)>0 \Rightarrow \varphi=0$

وبالتالي فإن :

$$u_C(t)=E\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right)$$

ج ـ تعبير الشحنة q(t) و i(t) .

نعلم أن شحنة المكثف هي :

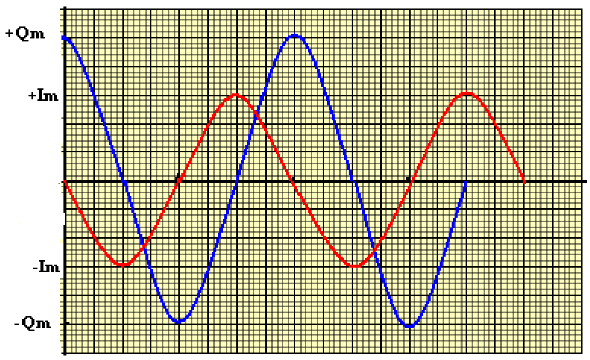
$$q(t)=C.u_C(t)=CU_m\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)=q_m\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)$$

$$q_m=CU_m$$

شدة التيار الكهربائي :

$$i(t)=\frac{dq}{dt}=-q_m\omega_0\sin(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)$$

$$=q_m\frac{2\pi}{T_0}\cos(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi+\frac{\pi}{2})=I_m\cos(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi+\frac{\pi}{2})$$



i(t) متقدمة في الطور ب $\frac{\pi}{2}$ بالنسبة ل q(t) و u(t)

نقول أن u(t) و q(t) على تربيع في الطور

التمثيل المبياني ل q(t) وu(t)

في اللحظة t=0 عندنا $q=Q_m$ و $\varphi=0$

$$q(t)=Q_m\cos\frac{2\pi}{T_0}t$$

$$i(t)=I_m\cos(\frac{2\pi}{T_0}t+\frac{\pi}{2})$$

ملحوظة : عندما تكون شحنة المكثف قصوية تكون شدة التيار الكهربائي منعدمة .

III ـ انتقالات الطاقة بين المكثف والوشيعة .

توصلنا في الدروس السابقة أن المكثف بإمكانه أن يخزن طاقة كهربائية $\xi_e=\frac{1}{2}Cu_C^2$ وأن الوشيعة كذلك

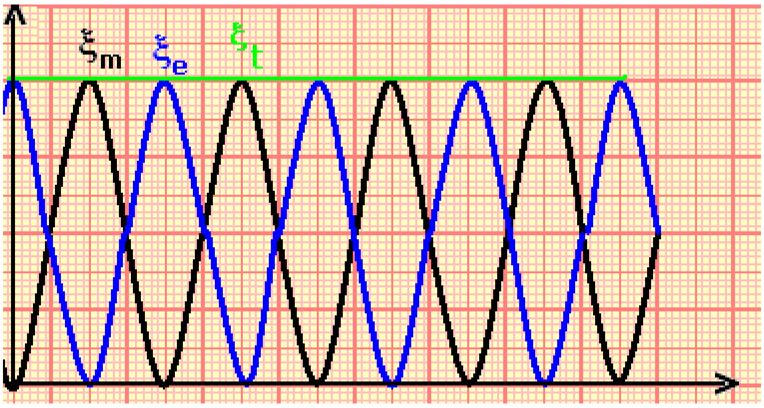
بإمكانها أن تخزن طاقة مغنطيسية $\xi_m=\frac{1}{2}Li^2$.

R

1 ـ الطاقة في الدارة LC مثالية :

دراسة منحنيات تغير الطاقات ξ_t, ξ_e, ξ_m بدلالة الزمن في دارة RL مثالية .

الطاقة الكلية في المخزونة في الدارة LC هي في كل لحظة مجموع الطاقة الكهربائية في المكثف $\xi_e = \frac{1}{2}Cu_C^2$ والطاقة المخزونة في الوشيعة $\xi_m = \frac{1}{2}Li^2$.



$$\xi_t = \xi_e + \xi_m = \frac{1}{2}Cu_C^2 + \frac{1}{2}Li^2$$

تمثل الشكل جانبه تغيرات ξ_t, ξ_e, ξ_m بدلالة الزمن .

1 ـ كيف تتغير الطاقة ξ_m عندما تنقص الطاقة المخزونة في المكثف ؟

2 ـ كيف تتغير الطاقة ξ_e عندما تنقص الطاقة المخزونة في الوشيعة ؟

3 ـ كيف تتغير الطاقة الكلية ξ_t ؟ أكتب تعبير الطاقة الكلية بطريقتين .

4 ـ أثبت رياضيا أن الطاقة الكلية لدارة مثالية LC ثابتة خلال الزمن t . بطريقتين ، استعمال حل المعادلة التفاضلية واستعمال المعادلة التفاضلية مباشرة .

خلاصة :

تكون الطاقة الكلية لدارة مثالية LC ثابتة خلال الزمن وتساوي الطاقة البدئية المخزونة في المكثف .

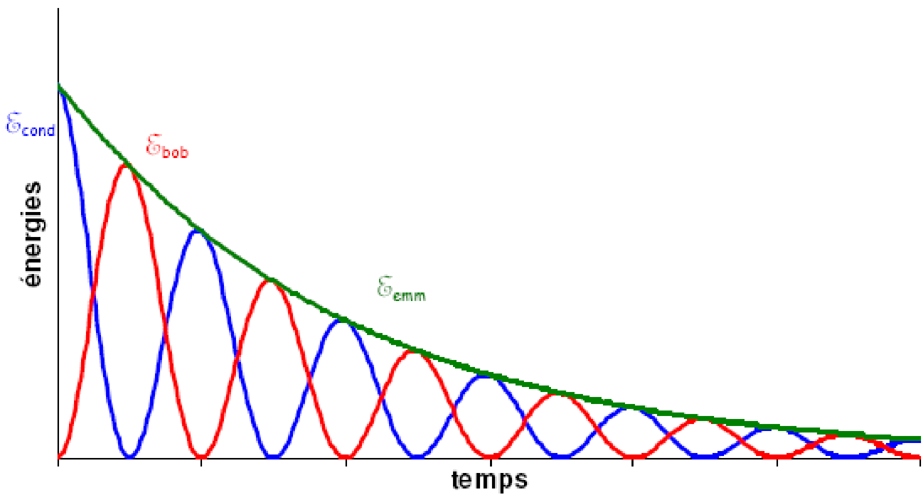
خلال الذبذبات غير المخمدة تتحول الطاقة الكهربائية في المكثف إلى طاقة مغنطيسية في الوشيعة والعكس صحيح .

$$\xi_t = \xi_e + \xi_m = \frac{1}{2}Cu_C^2 + \frac{1}{2}Li^2 = \frac{1}{2}CU_m^2 = \frac{1}{2}Li_m^2$$

2 ـ الطاقة في الدارة RLC المتوالية .

دراسة منحنيات تغير الطاقة ξ_t, ξ_e, ξ_m بدلالة الزمن في RLC متوالية

خلال دراسة تجريبية لدارة RLC متوالية حيث المقاومة الكلية R غير منعدمة نعاين بواسطة جهاز ملائم لهذا الغرض منحنيات تغيرات الطاقة ξ_t, ξ_e, ξ_m بدلالة الزمن فنحصل على المنحنيات الممثلة في الشكل جانبه :



1 ـ كيف تتغير الطاقة ξ_e عند تزايد ξ_m ؟

نفس السؤال عند تناقص ξ_m . ماذا تستنتج ؟

عندما تنقص الطاقة في المكثف تزداد الطاقة المخزونة في الوشيعة والعكس صحيح . أي أن هناك تبادل طاقي بين المكثف والوشيعة

2 ـ كيف تتغير بصفة عامة الطاقة الكلية ξ_t المخزونة في الدارة بدلالة الزمن ؟

يلاحظ أن خلال كل تبادل طاقي بين المكثف والوشيعة تتناقص الطاقة الكلية نتيجة وجود المقاومة R .

2 ـ ما الظاهرة المسؤولة عن هذا التغيير ؟

ظاهرة خمود نتيجة تحول جزء من الطاقة الكلية بمفعول جول إلى طاقة حرارية .

4 ـ ما المقدار الذي يحول دون الحصول على ذبذبات غير مخمدة ؟

$$\xi_t = \xi_e + \xi_m = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} + \frac{1}{2}Li^2$$

$$\frac{d\xi_t}{dt} = Li\frac{di}{dt} + \frac{q}{C}\cdot\frac{dq}{dt} = i\left(L\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{C}\right)$$

$$L\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{C} = -R\frac{dq}{dt}$$

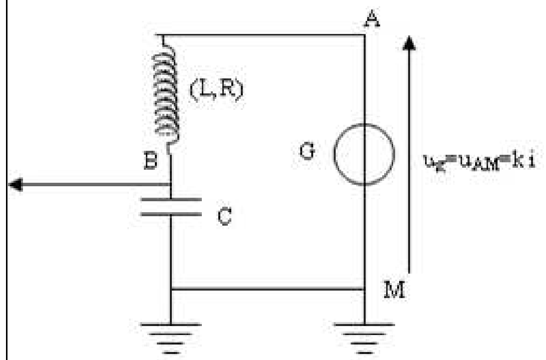
$$\frac{d\xi_t}{dt} = -Ri^2$$

من خلال هذه النتيجة يتبين أن الطاقة الكلية تناقصية :

$\frac{d\xi_t}{dt} = -Ri^2 < 0$ ويعزى هذا التناقص إلى وجود المقاومة R .

خلاصة :

تتناقص الطاقة الكلية لدارة RLC متوالية تدريجيا بسبب مفعول جول .



VI ـ صيانة الذبذبات .

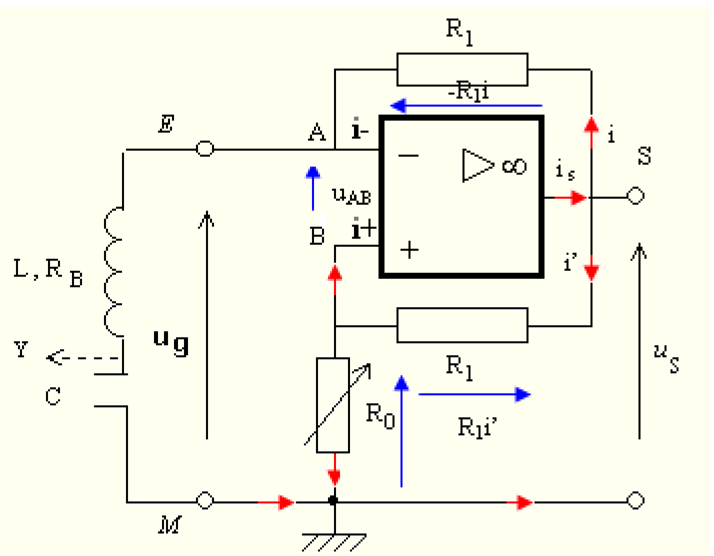
في كل لحظة يمكن كتابة

$$u_{AM} = u_{AB} + u_{BM}$$

$$ki = Ri + L\frac{di}{dt} + \frac{q}{c}$$

$$i = \frac{dq}{dt} = C\frac{du}{dt} \; et \; u = u_{BM}$$

$$LC\frac{d^2u}{dt^2} + (R-k)C\frac{du}{dt} + u = 0$$



بالنسبة لـk=R نحصل على المعادلة التفاضلية

التالية $\frac{d^2u}{dt^2} + \frac{1}{LC}u = 0$ وهي المعادلة المميزة

للمتذبذب (L,C) ذي مقاومة غير مهملة .

إذن فالتركيب المدروس يمكن من صيانة التذبذبات

.

إنجاز المولد G

المضخم العملياتي كاملا ويشتغل في النظام الخطي .

$u_{AB}=0$ و $i^-=i^+=0$

$$u_g = u_{AM} = u_{AS} + u_{SB} + u_{BM}$$
$$= -R_1 i + R_1 i' + R_0 i'$$
$$u_{AS} = u_{AB} + u_{BS}$$
$$-R_1 i = 0 - R_1 i' \Leftrightarrow i = i'$$
$$u_g = R_0 i \Leftrightarrow u_g = ki$$
$$k = R_0$$

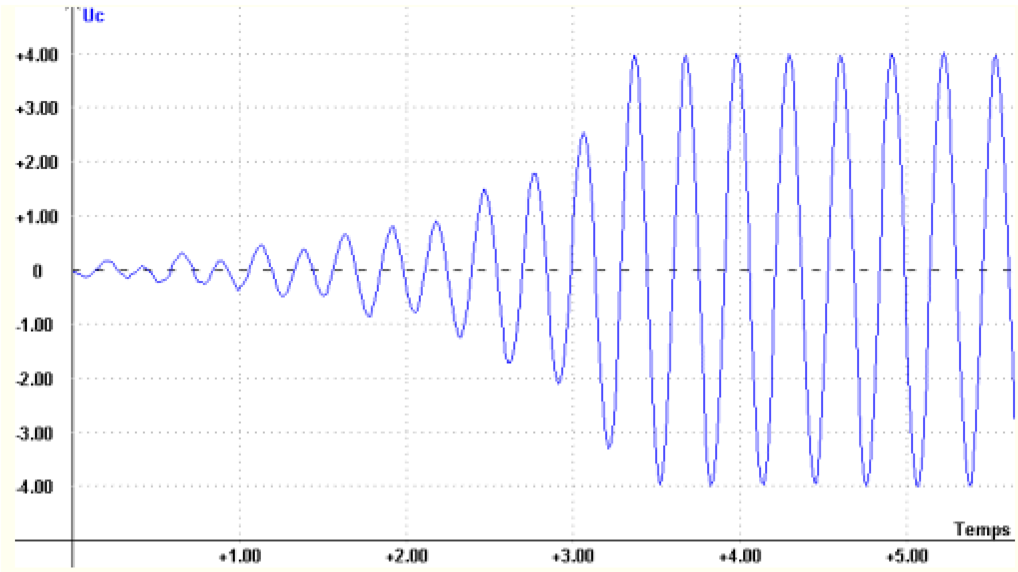
معاينة التوتر بين مربطي مكثف الدارة (L,C) الذي يوجد بها المولد G

عند معاينة التوتر بين مربطي مكثف نلاحظ :

$R_0 < R$ لاتكون هناك تذبذبات

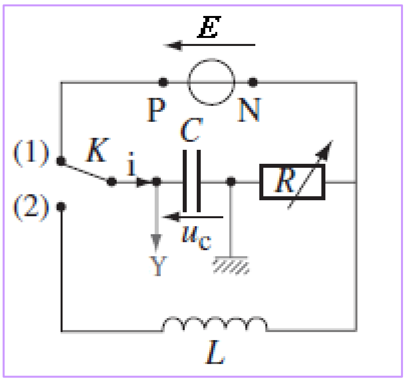
$R_0 > R$ تكون هناك تذبذبات لا جيبية

R_0 أكبر بقليل من R تكون التذبذبات جيبية



التذبذبات الحرة في دارة (RLC) متوالية

I. تفريغ مكثف في وشيعة

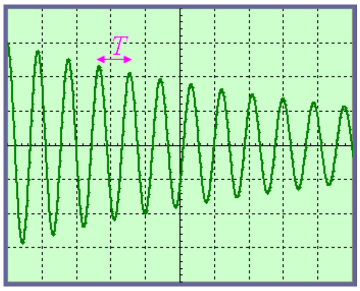
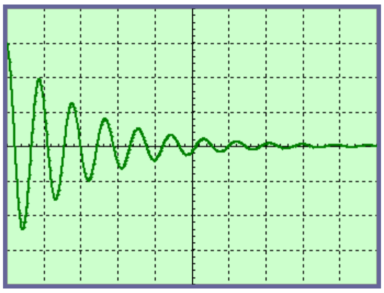
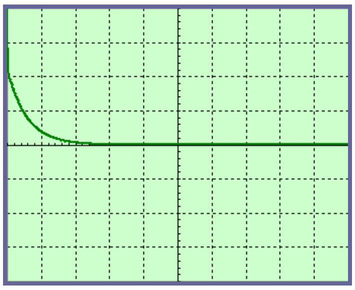


• التركيب التجريبي

بعد شحن المكثف يؤرجح قاطع التيار إلى الموضع2 .
يمكن راسم تذبذب ذو ذاكرة، أو حاسوب، من معاينة تغيرات التوتر بين مربطي المكثف خلال التفريغ.

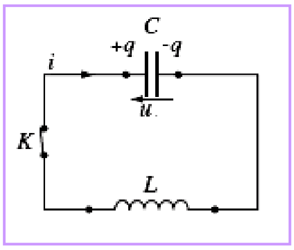
• أنظمة التذبذبات الحرة

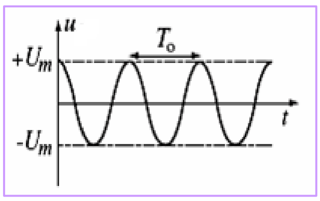
حسب قيمة المقاومة المكافئة R للدارة يمكن مشاهدة نظامين للتفريغ:

نظام شبه دوري		نظام لادوري
R ضعيفة جدا	R ضعيفة	R مرتفعة
		
يكون تفريغ المكثف مصحوبا بتذبذبات حرة و مخمدة : وسعها يتناقص مع الزمن. يتعلق الأمر بنظام شبه دوري.T يسمى شبه الدور.		يقع تفريغ المكثف بدون تذبذب:ينعدم التوتر تدريجيا بدون تغير في الإشارة. يتعلق الأمر بنظام لا دوري.

يوجد نظام حدي يفصل بين النظامين شبه الدوري و اللادوري و يسمى النظام الحرج.
يتميز هذا النظام بأقل مدة يستغرقها التوتر بين مربطي المكثف لينعدم.

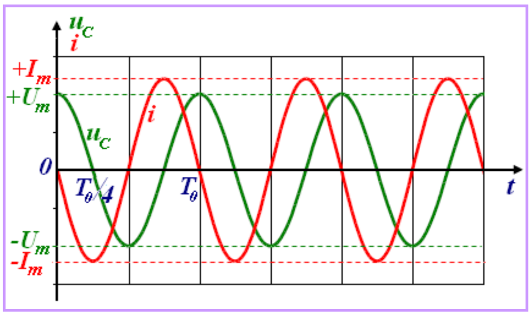
II. الدراسة النظرية لدارة (LC)





المعادلة التفاضلية	$\boxed{\dfrac{d^2u}{dt^2}+\dfrac{1}{LC}\cdot u=0}$
التوتر بين مربطي المكثف (حل المعادلة التفاضلية)	$\boxed{u=U_m\cos(\dfrac{2\pi}{T_0}t+\varphi)}$
الدور الخاص	$\boxed{T_0=2\pi\sqrt{LC}}$
شحنة المكثف	$\boxed{q=CU_m\cos(\dfrac{2\pi}{T_0}t+\varphi)}$
شدة التيار	$\boxed{i=-\dfrac{2\pi}{T_0}CU_m\sin(\dfrac{2\pi}{T_0}t+\varphi)}$

خاصية	الدارة المثالية (LC) متذبذب كهربائي حر تذبذباته جيبية تشكل نظاما دوريا.



بين شدة التيار و التوتر بين مربطي المكثف فرق في الطور يساوي $\pi/2$: نقول أنهما على تربيع في الطور: عندما ينعدم أحدهما يأخذ الآخر قيمته القصوى أو الدنيا.

III. التبادلات الطاقية

• الطاقات

طاقة المكثف	$E_e = \frac{1}{2}Cu^2$
طاقة الوشيعة	$E_m = \frac{1}{2}Li^2$
الطاقة الكلية	$\boxed{E = \frac{1}{2}Cu^2 + \frac{1}{2}Li^2}$

• التبادل الطاقي

في دارة (LC)

الطاقة الكلية هي:

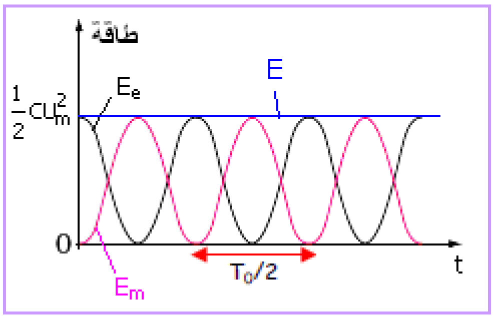
$$E = \frac{1}{2}CU_m^2\cos^2(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi) + \frac{1}{2}L\frac{4\pi^2}{T_0^2}C^2U_m^2\sin^2(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)$$

$$\boxed{E = \frac{1}{2}CU_m^2 = \frac{1}{2}LI_m^2 = Cte}$$

(بوضع: $I_m = \frac{2\pi}{T_0}CU_m$)

طاقة الدارة (LC) ثابتة و تساوي الطاقة البدئية للمكثف.

خلال التذبذبات يحدث تبادل طاقي بين المكثف و الوشيعة حيث تتحول الطاقة الكهرساكنة إلى طاقة مغنطيسية أو العكس دون تبدد في الطاقة:



في دارة (RLC)

- تغير الطاقة خلال مدة dt أي مشتقتها بالنسبة للزمن:

$$\frac{dE}{dt} = Cu\frac{du}{dt} + Li\frac{di}{dt} = (u + L\frac{di}{dt})i$$

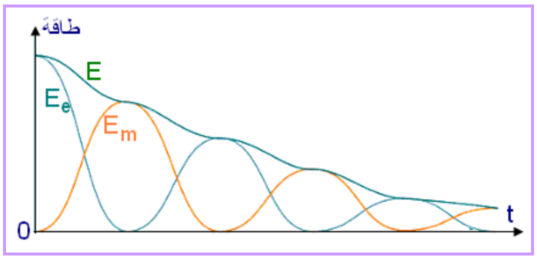
- و باعتبار المعادلة التفاضلية لدارة (RLC):

$$u + L\frac{di}{dt} + Ri = 0$$

نستنتج ما يلي: $\boxed{\frac{dE}{dt} = -Ri^2}$

تتناقص طاقة الدارة (RLC) مع الزمن تدريجيا.

تتبدد الطاقة بمفعول جول خلال التبادل الطاقي الحاصل بين المكثف و الوشيعة:



من خلال المخطط الطاقي لدارة (LC) يمكن ملاحظة أن الطاقة المخزونة في كل من المكثف و الوشيعة تتغيران دوريا بدور يساوي نصف الدور الخاص T_0 للتذبذبات: خلال دور T_0 يفرغ المكثف مرتين و يشحن مرتين.

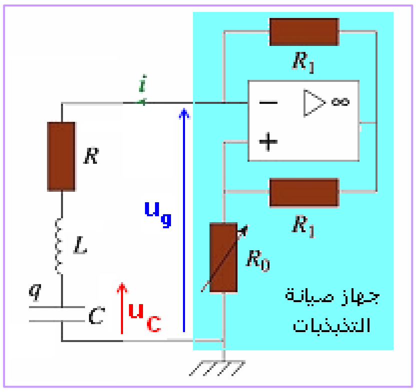
IV. صيانة التذبذبات الحرة في دارة (RLC)

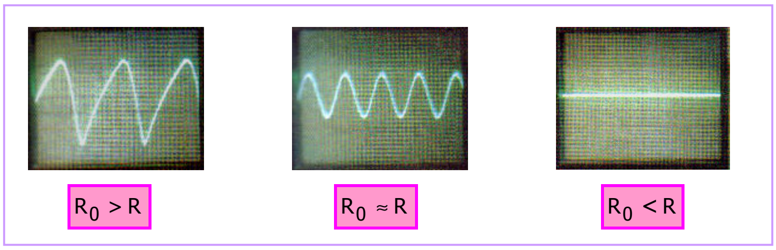
- مبدأ الصيانة

لصيانة التذبذبات الحرة في دارة RLC ينبغي تعويض الطاقة المبددة بمفعول جول.و يتم ذلك باستعمال مولد يطبق توترا متناسبا مع شدة التيار: $u_g = R_0 i$

- التركيب التجريبي

على شاشة راسم التذبذب تعاين تغيرات التوتر بين مربطي المكثف.و بتغيير قيمة R_0 يمكن معاينة 3 حالات:





تتحقق صيانة التذبذبات في الحالة $R_0 \approx R$

- تفسير

بتطبيق قانون إضافية التوترات: $u_R + u_L + u_C = u_g$

نستنتج المعادلة التفاضلية للدارة هي: $\frac{d^2u}{dt^2} + \frac{R - R_0}{L} \cdot \frac{du}{dt} + \frac{1}{LC} \cdot u = 0$

في الحالة $R_0 = R$ تصير هذه المعادلة كالتالي: $\frac{d^2u}{dt^2} + \frac{1}{LC} \cdot u = 0$

و هي المعادلة التفاضلية لدارة LC .

في هذه الحالة يتصرف التركيب كدارة (LC): تذبذباتها جيبية.

الدارة (R,L,C) المتوالية في النظام الجيبي والقسري .
Circuit (R,L,C)en série en régime sinusoïdal forcé

رأينا سابقا أن الدارة RLC المتوالية تكون متذبذبا كهربائيا مخمدا . عند إضافة مولد كهربائي مركب على التوالي إلى الدارة ويزودها بتوتر متناوب جيبي أي أنه يفرض على المتذبذب نظام متناوب جيبي ، نقول أن الدارة RLC توجد في **نظام جيبي قسري** .

I ـ النظام المتناوب الجيبي

1 ـ شدة التيار المتناوب الجيبي

$$i(t) = I_m \cos(\omega.t + \varphi_i)$$

I_m الوسع أو شدة القصوى للتيار .

ω : نبض التيار $\omega = 2\pi N = \dfrac{2\pi}{T}$

$(\omega.t + \varphi_i)$: طور التيار في اللحظة t .

φ_i : الطور في أصل التاريخ

مثال : عند أصل التواريخ t=0 شدة التيار قصوية $i(t)=I_m$ أي أن $\cos\varphi_i = 1 \Rightarrow \varphi_i = 0$ وبالتالي

$$\boldsymbol{i(t) = I_m \cos \omega.t}$$

الشدة الفعالة I للتيار :

تقاس الشدة الفعالة I للتيار بواسطة جهاز الأمبيرمتر وتربطها بالشدة الفصوى للتيار العلاقة :

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

2 ـ التوتر المتناوب الجيبي

التوتر اللحظي u(t)

التوتر المتناوب الجيبي دالة جيبية للزمن :

$$u(t) = U_m \cos(\omega.t + \varphi_2)$$

U_m الشدة القصوى للتوتر u(t) وهي تقاس بواسطة جهاز راسم التذبذب .

ω : نبض التوتر اللحظي u(t) $\qquad \omega = 2\pi N = \dfrac{2\pi}{T}$

$(\omega.t + \varphi_u)$: طور التوتر في اللحظة t .

φ_u : الطور في أصل التاريخ t=0

مثال عند أصل التواريخ t=0 عندنا $u(t)=U_m=U_m\cos\varphi_u$ وبالتالي أن $\varphi_u = 0$

$$\boldsymbol{u(t) = U_m \cos \omega.t}$$

التوتر الفعال U

يقاس التوتر الفعال U بواسطة جهاز الفولطمتر ، وتربطه بالتوتر الأقصى العلاقة :

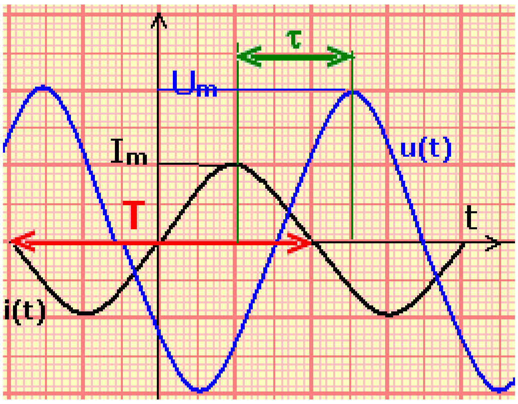
$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

3 ـ مفهوم الطور

لنعتبر المقدارين المتناوبين الجيبيين :

$$i(t) = I_m \cos(\omega.t + \varphi_i) \text{ و } u(t) = U_m \cos(\omega.t + \varphi_u)$$

نسمي طور الدالة $u(t)$ بالنسبة للدالة $i(t)$: $\varphi_{u/i} = \varphi_u - \varphi_i$



وطور الدالة $i(t)$ بالنسبة للدالة $u(t)$: $\varphi_{i/u}=\varphi_i-\varphi_u$

$\varphi_{u/i}$ و $(\varphi_{i/u})$ تقيس تقدم وتأخر طور الدالة $u(t)$ بالنسبة $i(t)$

ونعبر عنه بالرديان .

$\varphi_{u/i}>0$ نقول أن $u(t)$ متقدمة في الطور على $i(t)$

$\varphi_{u/i}<0$ نقول أن $u(t)$ متأخرة في الطور على $i(t)$

$\varphi_{u/i}=\dfrac{\pi}{2}$ نقول أن $u(t)$ و $i(t)$ على تربيع في الطور . ونفس

الشيء بالنسبة $\varphi_{u/i}=-\dfrac{\pi}{2}$

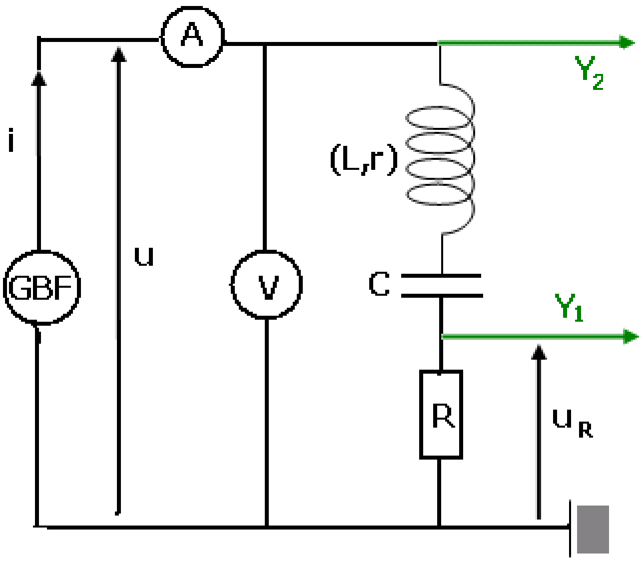
$\varphi_{u/i}=\pi$ نقول أن $u(t)$ و $i(t)$ على تعاكس في الطور .

كيف نحدد قيمة φ ؟

لتبسيط الدراسة نختار $\varphi_i=0$ أي أن $\varphi=\varphi_u$ فتصبح العلاقة $i(t)=I_m\cos\omega t$ و

$$u(t)=U_m\cos(\omega t+\varphi)\Rightarrow u(t)=U_m\cos\left(\omega\left(t+\frac{\varphi}{\omega}\right)\right)=U_m\cos(\omega(t+\tau))$$

يوافق الطور $\varphi=\varphi_u$ للتوتر u(t) بالنسبة للتيار i(t) ، المدة الزمنية τ . حيث $\tau=\dfrac{\varphi}{\omega}$



يسمى τ الفرق الزمني بين منحنيي u(t) و i(t) .
يمكّن قياس τ على شاشة راسم التذبذب من تحديد القيمة المطلقة للطور φ .

II ـ دراسة دارة RLC متوالية في نظام جيبي قسري .

1 ـ النشاط التجريبي 1 : معاينة التوتر u(t) بين مربطي الدارة RLC و i(t) بدلالة الزمن .

ننجز التركيب الكهربائي جانبه ، حيث نضبط مولد التردد المنخفض على توتر متناوب جيبي قيمته القصوى $U_m=2V$ وعلى التردد N=100Hz .
نعاين بواسطة راسم التذبذب التوتر $u_R(t)$ بين مربطي الموصل الأومي ، والتوتر u(t) بين مربطي الدارة RLC .
نقيس بواسطة أمبير متر الشدة الفعالة I للتيار المار في الدارة ، ونقيس بواسطة فولطمتر التوتر الفعال U بين مربطي الدارة RLC .

استثمار :

يزود المولد GBF الدارة RLC المتوالية بتوتر متناوب جيبي :

$$u(t)=U_m\cos(\omega.t+\varphi_u)$$

فيظهر في الدارة RLC المتوالية تيار كهربائي شدته $i(t)=I_m\cos\omega t$ يمثل التيار i(t) استجابة الدارة RLC المتوالية للإثارة التي يفرضها المولد ذي تردد منخفض .

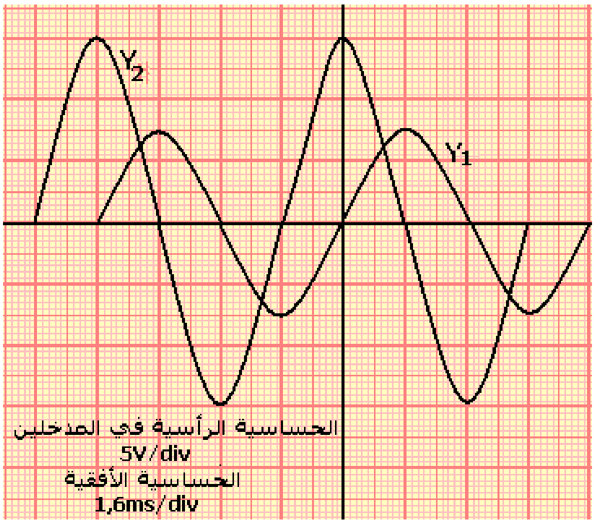
نسمي الدارة RLC المتوالية **الرنان** والمولد **المثير**

يمكن المدخلان Y_1 و Y_2 لراسم التذبذب من معاينة التوتر $u_R(t)$ بين مربطي الموصل الأومي والتوتر u(t) المطبق بين مربطي الدارة RLC .

1 ـ فسر لماذا تمكن معاينة التوتر $u_R(t)$ من معاينة تغيرات شدة التيار اللحظية i(t) .

حسب قانون أوم لدينا $u_R(t)=Ri(t) \Rightarrow i(t)=\frac{1}{R}u(t)$ مما يدل على أن المنحنى المعين على المدخل Y_1 يتناسب اطرادا مع i(t) .

2 ـ أحسب شدة التيار القصوى I_m ، ثم تحقق من العلاقة $I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$.



3 ـ عين القيمة القصوى U_m للتوتر u(t) ، ثم تحقق من العلاقة : $U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$

4 ـ هل لمنحنيي الرسم التذبذبي :

ـ نفس الوسع ؟ نفس التردد ؟ نفس الطور ؟

ـ نقول أن الدارة توجد في نظام قسري ، فسر ذلك ؟

5 ـ نرمز للفرق الزمني بين منحنيي التوتر u(t) و i(t) بالحرف τ .

5 ـ 1 بين أن تعبير الطور φ للتوتر u(t) بالنسبة لشدة التيار i(t) يكتب كالتالي : $\varphi=2\pi\frac{\tau}{T}$

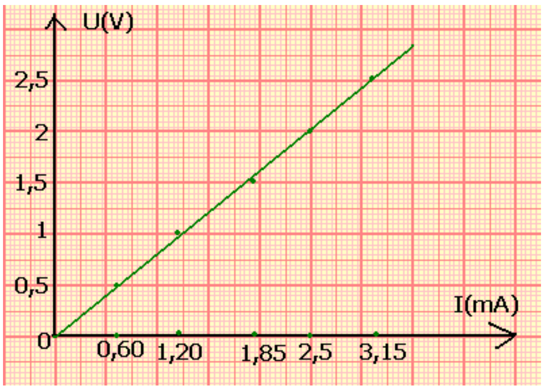
حيث T هو دور كل من المقدارين الجيبيين u(t) و i(t) .

5 ـ 2 تحقق تجريبيا من أن المقادير : معامل التحريض الذاتي L للوشيعة وسعة المكثف C ، والتردد N للمولد GBF تؤثر في الفرق الزمني τ .

2 ـ مفهوم الممانعة .

<u>تجربة</u> : في التركيب الكهربائي السابق نحتفظ بالتردد ثابتا ونغير التوتر الفعال U بدلالة الشدة الفعالة I فنحصل على الجدول التالي :

U(V)	0	0,5	1	1,5	2	2,5
I(mA)	0	0,60	1,20	1,85	2,50	3,15



نستنتج من خلال الجدول أن U و I يتناسبان اطرادا .

$$U = ZI$$

تسمى الثابتة Z بممانعة الدارة ويعبر عنها في النظام العالمي للوحدات بالأوم Ω

<u>تأثير التردد على الدارة RLC</u>

نغير التردد في التجربة السابقة N'=500Hz ماذا نلاحظ ؟

عندما نغير التردد نلاحظ أن الطور يتغير وكذلك الممانعة Z .

<u>2 ـ الدراسة النظرية لدارة (R,L,C) في النظام الجيبي والقسري</u> .

2 ـ 1 ـ المعادلة التفاضلية للدارة :

نختار أصل التواريخ حيث يكون تعبير الشدة اللحظية كالتالي : $i(t)=I_m\cos\omega t$ و

$$u(t)=U_m\cos(\omega t+\varphi_u)$$

φ طور التوتر بالنسبة للشدة i .

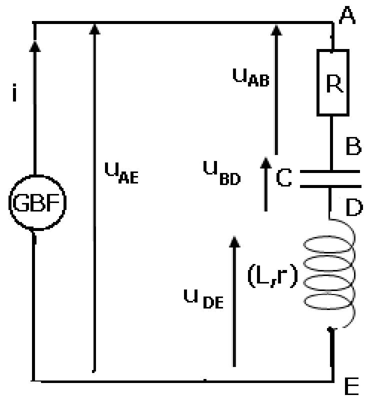
نطبق قانون إضافية التوترات : $u=u_{AE}=u_{AB}+u_{BD}+u_{DE}$

بتطبيق قانون أوم :

* على الموصل الأومي :

$$u_{AB}=Ri$$

* بالنسبة للوشيعة مقاومتها الداخلية مهملة ومعامل تحريضها L :



$$u_{DE} = L\frac{di}{dt}$$

* بالنسبة للمكثف سعته C :

$u_{BD} = \frac{q}{C}$ وبما أن $i = \frac{dq}{dt}$ فإن u دالة أصلية لشدة التيار i التي تنعدم

عند t=0 :

$$q(t) = \int_0^t idt \Leftrightarrow u_{DE} = \frac{1}{c}\int_0^t idt$$

نستنتج المعادلة التفاضلية للدارة (R,L,C) : $u = Ri + L\frac{di}{dt} + \frac{1}{c}\int_0^t idt$

u و i عندهما نفس التردد N وبما أن ω=2πN فإن u و i لهما نفس النبض .

$$i = I_m \cos \omega t$$

$$u = U_m \cos(\omega t + \varphi)$$

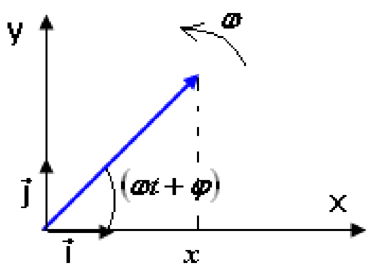
$$\frac{di}{dt} = I_m \frac{d(\cos \omega t)}{dt} = -\omega I_m \sin \omega t$$

$$\int_0^t idt = I_m \int_0^t \cos \omega t dt = \frac{I_m}{\omega}\sin \omega t$$

في المعادلة التفاضلية المحصل عليها سابقا :

$$u = RI_m \cos \omega t + L\omega I_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) + \frac{I_m}{C\omega}\cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

2 ـ 2 حل المعادلة التفاضلية ـ إنشاء فرينل



أ ـ تمثيل فرينل لمقدار جيبي

نعتبر المقدار الجيبي التالي : $x(t) = a\cos(\omega t + \varphi)$

نقرن المتجهة $\vec{U}$ بالدالة $x(t)$ بحيث في معلم $(O, \vec{i}, \vec{j})$ عندنا $\|\vec{U}\| = a$ و $(\vec{i}, \vec{U}) = \omega t + \varphi$

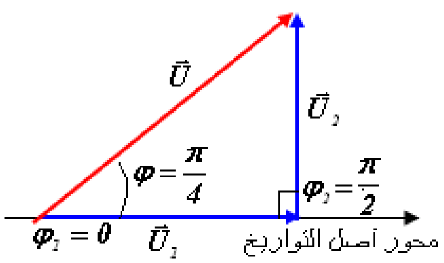
المتجهة تدور حول النقطة O بسرعة زاوية ωt . عند إسقاط $\vec{U}$ على Ox : $x(t) = a\cos(\omega t + \varphi)$

نلاحظ أن المقدار الجيبي x يطابق القياس الجبري لإسقاط المتجهة $\vec{U}$ على المحور Ox .

إذن يمكن إقران كل مقدار جيبي أو دالة جيبية $x(t) = a\cos(\omega t + \varphi)$ بمتجهة تدور بسرعة زاوية ω .

كما أن العكس صحيح كذلك : يمكن أن نقرن كل متجهة دوارة بمقدار جيبي نبضه مساو للسرعة الزاوية للدوران . المتجهة المقرونة بالدالة الجيبية تسمى بمتجهة فرينل .

ب ـ مجموع دالتين جيبيتين لهما نفس النبض .



نعتبر الدالتين الجيبيتين التاليتين : $x_1(t) = a_1 \cos \omega t$ و

$x_2 = a_2 \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$ بحيث أن $a_1 = a_2 = a$

أوجد المجموع $x = x_1 + x_2$ باستعمال متجهة فرينل .

نقرن x_1 بمتجهة $\vec{U}_1$ بحيث أن $\|\vec{U}_1\| = a_1$ و طورها عند اللحظة t=0

هو $\varphi_1 = 0$

ونقرن x_2 بمتجهة $\vec{U}_2$ بحيث أن $\|\vec{U}_2\| = a_2$ وطورها في اللحظة t=0 هو $\varphi_2 = \frac{\pi}{2}$

$$\vec{U} = \vec{U}_1 + \vec{U}_2$$

المتجهة $\vec{U}$ منظمها $a\sqrt{2}$

وطورها عند اللحظة t=0 هو $\varphi = \frac{\pi}{4}$

لأن $\tan\varphi = 1$

إذن $x(t) = a\sqrt{2}\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right)$

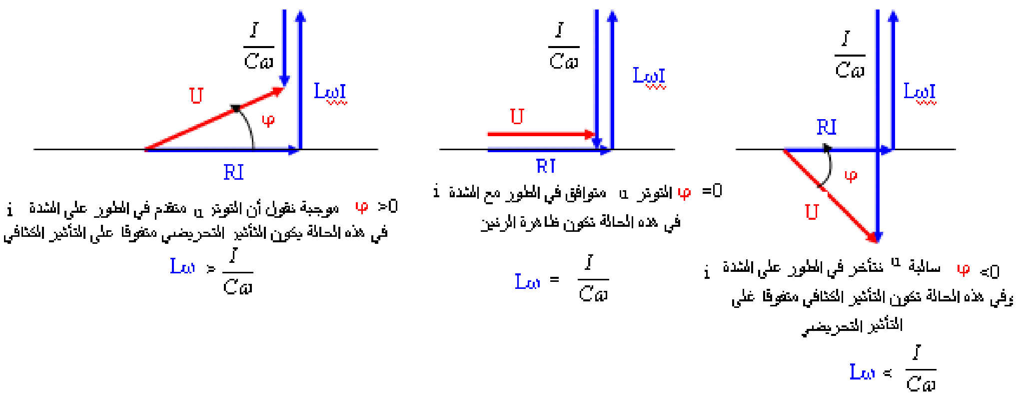
ج ـ إنشاء فرينل للحصول على مجموع الدالات الثلاث .

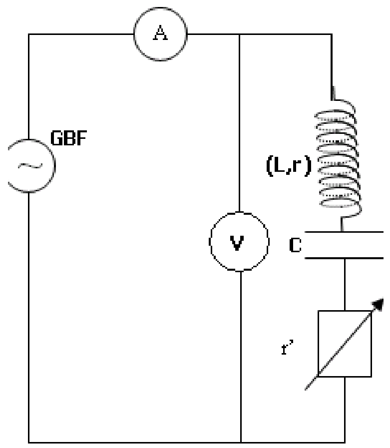
اعتمادا على الإنشاء الهندسي والعلاقات في المثلث فائم الزاوية يمكن الحصول على

$U_m = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}\ I_m$ من هنا نستنتج الممانعة $Z = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U}{I}$ أي أن

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$$

الطور φ نحسب $tg\varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}$ أو كذلك $\cos\varphi = \frac{RI_m}{U_m} = \frac{R}{Z}$





III ـ ظاهرة الرنين الكهربائي .

1 ـ الدراسة التجريبية :

ننجز التركيب التجريبي الممثل جانبه حيث يعطي مولد التوتر المنخفض GBF توترا متناوبا قيمته الفعالة U وتردده N قابلان للضبط .

ـ الوشيعة معامل تحريضها الذاتي L=0,95H ومقاومتها r صغيرة .

ـ مكثف سعته C=0,5µF

ـ نثبت التوتر الفعال U على القيمة U=2V والمقاومة الكلية R=r+r′ على القيمة $R_1=40\Omega$.

ـ نغير التردد N للمولد وفي كل مرة نقيس الشدة الفعالة I للتيار .

ـ نضبط المقاومة الكلية R للدارة على القيمة $R_2=100\Omega$ وذلك بتغيير المقاومة r′ للموصل الأومي ، ونعيد التجربة السابقة .

ندون النتائج في الجدول التالي :

نغير المقاومة R للدارة بتغيير المقاومة r′ للموصل الأومي ، فنحصل على النتائج التالية :

N(Hz)	100	120	130	140	150	155	158	160	161	166	170	180	200
$R_1=40\Omega$,I(mA)	2	3,12	4,37	6,25	11,25	16,6	22,5	25	25,75	23,12	16	9,37	53,7
$R_2=100\Omega$,I(mA	2	3,75	4,37	6,25	10	12,5	14,5	14,75	14,87	14,5	12,5	8,25	4,75

استثمار النتائج :

1 ـ مثل في نفس المعلم ، المنحنيين I بدلالة N بالنسبة للمقاومتين الكليتين R_1 و R_2 للدارة .

2 ـ يطلق اسم الرنان على المتذبذب RLC واسم المثير على مولد التردد المنخفض GBF .

عندما يأخذ التردد N للمثير قيمة مساوية للتردد الخاص N_0 للرنان ، تصبح الشدة الفعالة للتيار المار في الدارة قصوى ، نقول في هذه الحالة إن الدارة RLC التوالية في حالة رنين .

2 ـ 1 حدد بالنسبة لكل منحنى :

ـ التردد N_0 عند الرنين .

ـ الشدة الفعالة I_0 عند الرنين .

2 ـ 2 أحسب Z_1 ممانعة الدارة عند الرنين ، ثم قارنها بالمقاومة الكلية R_1 للدارة .

كيف تتصرف الدارة RLC عند الرنين ؟

3 ـ المنطقة الممرّرة ذات 3dB ـ 3décibel ـ لدارة RLC متوالية هي مجال الترددات $[N_1,N_2]$ للمولد حيث تحقق الشدة الفعالة I للتيار العلاقة : $I \geq \frac{I_0}{\sqrt{2}}$.

3 ـ 1 عين كلا من N_1 و N_2 بالنسبة للمنحنى الموافق ل R_1 .

3 ـ 2 أحسب العرض $\Delta N = N_2 - N_1$ للمنطقة الممررة ثم قارنه مع القيمة النظرية $\Delta N = \frac{R_1}{2\pi L}$ ، ماذا تستنتج ؟

3 ـ 3 ما تأثير المقاومة الكلية للدارة على عرض المنطقة الممررة ؟

4 ـ نضبط تردد المثير على القيمة N_0 .

4 ـ 1 كيف يجب ربط كاشف التذبذب لمعاينة التوترين $u(t)$ و $u_R(t)$ ؟

4 ـ 2 هل التوتران $u(t)$ و $u_R(t)$ على توافق في الطور ؟ علل إجابتك .

2 ـ دراسة منحنيات رنين الشدة

أ ـ قيمة تردد الرنين

حسب المنحنيات نلاحظ:

ـ أنها تتوفر على قيمة قصوية توافق نفس القيمة والتي تساوي N=160Hz بالنسبة للدارة كيفما كانت R .

ـ حساب التردد الخاص N_0 للدارة :

$$N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$N_0 \cong 604Hz$$

نستنتج أن $N=N_0$ نقول أن هناك رنينا.

تحدث ظاهرة الرنين عندما يكون التردد N للتوتر المطبق مساويا للتردد الخاص N_0 للدارة $N=N_0$

ب ـ دور مقاومة الكلية للدارة

يلاحظ من خلال المنحنيات الاستجابة :

مهما كانت المقاومة R للدارة صغيرة تكون شدة التيار الفعالة القصوية عند الرنين كبيرة ويكون الرنين حادا .

عندما تكون R كبيرة يزول الرنين ، نقول أن الرنين أصبح ضبابيا .

3 ـ الدراسة النظرية لظاهرة الرنين :

1 ـ قيم المقادير المميزة

أ ـ التردد عند الرنين

$\omega = 2\pi N \quad I = f(N)$

$I = f(\omega)$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}}$$

I تكون قصوية عندما تكون الممانعة Z دنوية أي $L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0$

$$LC\omega^2 = 1$$

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

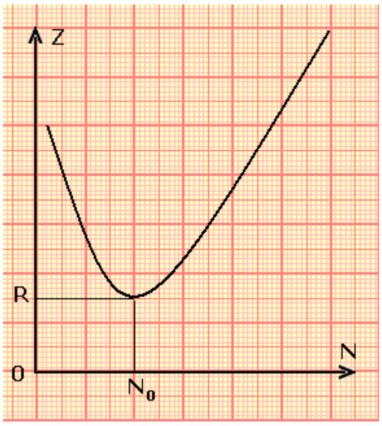
$$N = N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

I قصوية بالنسبة $N=N_0$ وهذا يتطابق مع النتائج التجريبية.

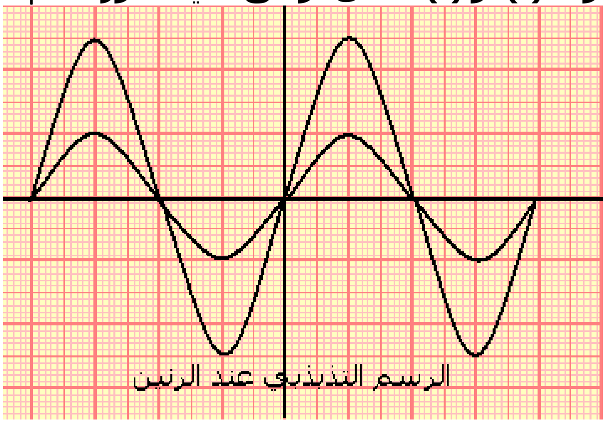
ب ـ ممانعة الدارة عند الرنين

عند الرنين $Z = R \Leftrightarrow L\omega = \frac{1}{C\omega}$ أي تكون ممانعة الدارة دنوية وتساوي المقاومة الكلية للدارة .

وتكون القيمة القصوية I_0 للشدة الفعالة I : $Z = R \Leftrightarrow I = \frac{U}{Z} \Leftrightarrow I_0 = \frac{U}{R}$



ج ـ عند الرنين تكون $i(t)$ و $u(t)$ على توافق في الطور: $\varphi=0$



2 ـ المنطقة الممرّرة. " ذات3db "

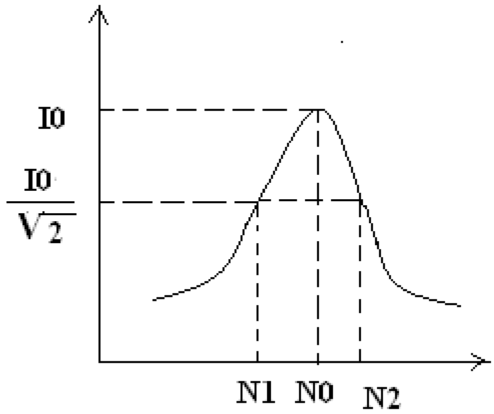
* **تعريف**: المنطقة الممررة . " ذات3db "لدارة (R,L,C) في مجال الترددات $[N_1, N_2]$ للمولد حيث تكون الاستجابة I أكبر أو على الأقل تساوي $\frac{I_0}{\sqrt{2}}$ (I_0 تمثل الشدة الفعالة للتيار عند الرنين)

عرض المنطقة الممررة $\Delta N = N_2 - N_1$

ــ تحديد المنطقة الممررة:

لنبحث عن القيمتين ω_1 و ω_2 اللتين تحدان المنطقة الممررة ،

حيث تكون الاستجابة $I \geq \frac{I_0}{\sqrt{2}}$ ويكون عرضها



$\Delta N = N_2 - N_1$ و $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$

$$\Delta N = \frac{\omega_2}{2\pi} - \frac{\omega_1}{2\pi}$$

$$2\pi\Delta N = \Delta\omega$$

يعبر عن عرض المنطقة الممررة بالراديان على الثانية rad/s أو بالهرتز .

حساب عرض المنطقة الممررة:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})}}$$

قيمتها عند الرنين $I_0 = \frac{U}{R}$

نبحث عن قيمتين ω_1 و ω_2 اللتين تحددان المنطقة الممررة أي المجال الذي تتحقق فيه

$$I = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \Leftrightarrow \mathrm{I} = \frac{\mathrm{U}}{\mathrm{R}}\frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{U}{\sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}\frac{U}{R}$$

$$\frac{U}{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2} = \frac{1}{2R^2} \Leftrightarrow 2R^2 = R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2 \Leftrightarrow L\omega - \frac{1}{C\omega} = \pm R$$

$$LC\omega^2{}_1 - 1 = -RC\omega_1 \text{ و } LC\ \omega_2 - 1 = +RC\omega_2$$

$$LC(\omega^2{}_2 \ - \omega_1{}^2) = RC(\omega_2 + \omega_1)$$

$$LC(\omega_2 - \omega_1) = RC \Leftrightarrow \Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{R}{L}$$

$$\Delta N = \frac{\Delta\omega}{2\pi} = \frac{R}{2\pi L}$$

- عرض المنطقة الممررة لا يتعلق إلا ب Rو L ويتناسب اطرادا مع R .
- في الحالة التي تكون فيها R صغيرة جدا يكون الرنين حادا أي أن ΔN كذلك صغيرة .

3 ــ معامل الجودة

يعرف معامل الجودة بالعلاقة التالية :

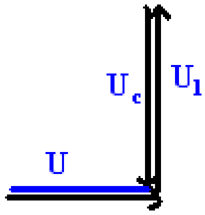
$$Q=\frac{N_0}{\Delta N}=\frac{\omega_0}{\Delta\omega}$$

$$\Delta\omega=\frac{L}{R}\Leftrightarrow Q=\frac{L\omega_0}{R}$$

Q معامل الجودة يتناسب عكسيا مع عرض المنطقة الممررة نعبر عنه بدون وحدة و تميز حدة الرنين .
، كلما كان الرنين حادا كلما كانت قيمة Q كبيرة .
كلما كانت Q صغيرة كلما كانت الدارة مخمدة .

عند الرنين $L\omega_0=\frac{1}{C\omega_0}$ أي $Q=\frac{L\omega_0}{R}=\frac{1}{RC\omega_0}=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$

إنشاء فرينل عند الرنين



نسمي معامل الجودة كذلك **معامل فرط التوتر** .
تعبيري التوتر بين مربطي المكثف والوشيعة عند الرنين :

$$U_L=L\omega_0 I_0 \text{ و } U_c=\frac{I_0}{C\omega_0}$$

$$U_c=U_L\Leftrightarrow L\omega_0 I_0=\frac{I_0}{C\omega_0}$$

$$U=R.I_0$$

$$U_C=\frac{I_0}{C\omega_0}=\frac{U}{RC\omega_0}=Q.U$$

$$U_L=L\omega_0 I_0=\frac{L\omega_0 U}{R}=Q.U$$

$$Q=\frac{U_C}{U}=\frac{Q_L}{U}$$

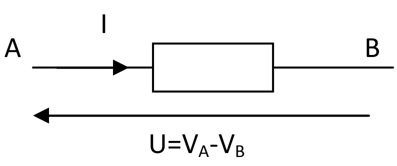
يلاحظ أنه عندما يكون الرنين حادا تكون Q كبيرة . وهذا يعني أن $U_C>U$ و $U_L>U$ مما يدل على أنه عند الرنين يظهر فرط التوتر . وهي ظاهرة تشكل بعض المخاطر قد تؤدي إلى إتلاف عناصر الدارة .

VI ـ القدرة في النظام المتناوب الجيبي .

1 ـ القدرة اللحظية

حالة التيار المستمر

خلال المدة Δt تكون الطاقة المكتسبة من طرف ثنائي القطب X هي: W=U I Δt
والقدرة الكهربائية $P=UI$
في النظام المتناوب الجيبي



$$i=I\sqrt{2}\cos\omega t$$

$$u=U\sqrt{2}\cos(\omega t+\varphi)$$

في هذه الحالة تكون القدرة اللحظية p=ui

$$p=2UI\cos\omega t.\cos(\omega t+\varphi)$$

$$\cos\omega t.\cos(\omega t+\varphi)=\frac{1}{2}(\cos(2\omega t+\varphi)+\cos\varphi)$$

$$p=UI[\cos(2\omega t+\varphi)+\cos\varphi]$$

هذه القدرة لا تمكن من تقييم حصيلة الطاقة المكتسبة من طرف ثنائي القطب فهي تبين فقط في لحظة معينة ما إذا كان ثنائي القطب يكتسب طاقة p>0 أو يفقدها p<0 لذا فمن الضروري تعريف القدرة المتوسطة .

2 ـ القدرة المتوسطة

الطاقة الكهربائية المكتسبة من طرف ثنائي القطب خلال الدور T :

$$p = \frac{dE}{dt}$$

$$p = 2UI\left[\cos(2\omega t + \varphi) + \cos\varphi\right]$$

$$E = UI\int_0^t\left[\cos(2\omega t + \varphi) + \cos\varphi\right]dt = UI\cos\varphi\int_0^T dt + UI\int_0^T \cos(2\omega t + \varphi)dt$$

$$E = UIT\cos\varphi + 0 = UIT\cos\varphi$$

$$P = \frac{E}{T} \Leftrightarrow P = UI\cos\varphi$$

معامل القدرة Cosφ

القدرة الظاهرية

$$S = UI$$

$$P = UI\cos\varphi$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

معامل القدرة

$$U = ZI$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$$

$$P = UI\cos\varphi = ZI^2\frac{R}{Z}$$

$$P = RI^2$$

في الدارة RLC المتوالية لا تستهلك القدرة الكهربائية المتوسطة إلا من طرف المقاومة R بمفعول جول وتساوي هذه القدرة $P=RI^2$

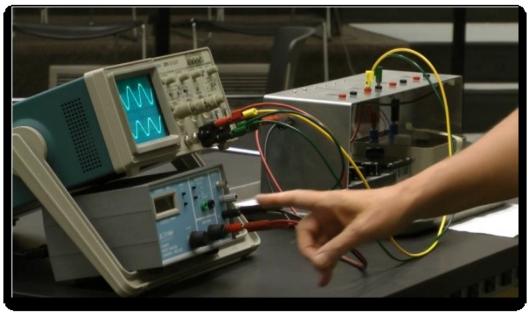
ملحوظة : أهمية معامل القدرة

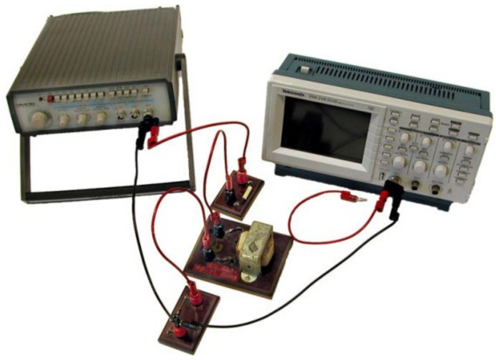
عند استهلاك طاقة كهربائية من طرف مستهلك فإن المؤسسة الموزعة تضمن للمستهلك توترا أي أن هذا الاستهلاك يقابله مرور تيار كهربائي i(t) في خطوط الشبكة الموصلة وتقدمه أو تأخره في الطور φ يتعلق بنوع الأجهزة الكهربائية المستعملة .

من العلاقة $P = UI\cos\varphi$ نستخرج $I\cos\varphi = \frac{P}{U}$ بالنسبة لقدرة P محددة يكون Icosφ محدد كذلك وبالتالي I يكبر كلما صغر معامل القدرة cosφ . وبما أن مفعول جول في خطوط الشبكة يتناسب اطرادا مع I^2

القدرة وتفرضه على المستهلك وهو عموما لايقل عن 0.8

التذبذبات الكهربائية القسرية
في دارة RLC على التوالي





يمكن لدارة كهربائية RLC حرة أن تتذبذب بترددها الخاص $N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. فماذا يحدث عندما نجبرهذه الدارة على أن تتذبذب بتردد يخالف N_0 مفروض من طرف مولد ؟ نقول في هذه الحالة أن نظام التذبذبات نظام قسري .

1) الإبراز التجريبي .

1 - 1) تذكير : الوسع و القيمة الفعالة .

القياسات الكهربائية المنجزة في هذا الدرس توظف جهاز متعدد القياسات في النمط " تناوب AC " . في هذه الحالة متعدد القياسات يقيس القيمة الفعالة للمقدار الكهربائي المعني .

القيمة الفعالة U لتوتر جيبي يعبر عنه بدلالة الوسع U_m (القيمة القصوية) لهذا التوتر بالعلاقة :

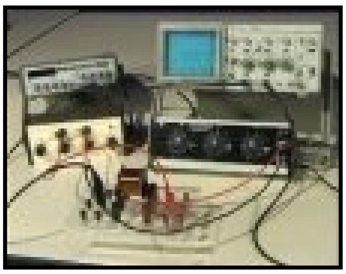
$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

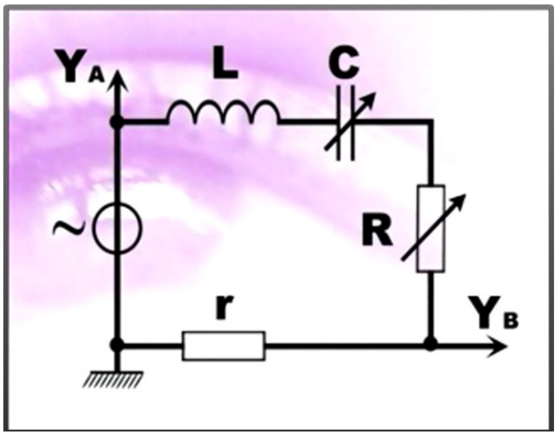
بالنسبة لشدة التيار الفعالة I فهي كذلك مرتبطة بالوسع I_m لتيار متناوب جيبي بالعلاقة :

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

1 - 2) التركيب التجريبي .

خلال هذا الدرس ، ندرس بطرق مختلفة ، الدارة الممثلة في الشكل 1 و التي تضم :





الشكل 1

- مولد للترددات المنخفضة GBF يطبق توترا جيبيا $u(t)$ قيمة الفعالة U و تردده N قابل للضبط .
- مكثف سعته $C = 1,0\mu F$ قابل للضبط
- وشيعة معامل تحريضها الذاتي $L = 70mH$
- موصل أومي مقاومته R قابلة للضبط

- موصل أومي مقاومته ثابتة r ، بين مربطيه نعاين توترا يتناسب مع شدة التيار .
- راسم تذبذب

راسم التذبذب يمكن من معاينة :

- التوتر $u(t)$ المفروض من طرف المولد على مربطي ثنائي القطب « RLC » (في المدخل Y_A)

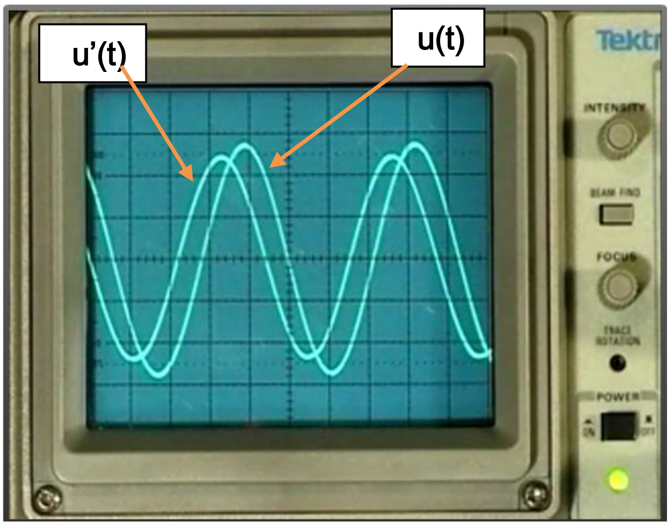
- التوتر $u'(t)=ri(t)$ (في المدخل Y_B) . هذا التوتر يمكن من التعرف على تغيرات شدة التيار بدلالة الزمن : $i(t)=\frac{u'(t)}{r}$

1 - 3) تجربة .

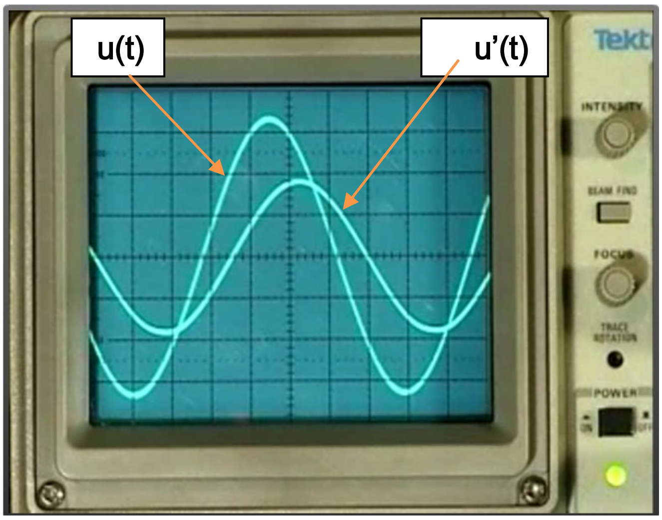
✓ نركب بين مربطي المولد متعدد القياسات على النمط " فولطمتر في نظام التناوب "، نختار بواسطة أزرار الضبط للمولد GBF ، توترا $u(t)$ جيبيا قيمته الفعالة $U=2,0V$ و تردد معين N محصور بين $20Hz$ و $2kHz$ ، مثلا $N=0,40kHz$.

✓ نلاحظ ، على شاشة راسم التذبذب ، منحنيين جيبيين يمثلان توترين :

- لهما نفس الدور
- بصفة عامة منزاحين عن بعضهما (الشكلين 2 و 3)



الشكل 2 : $N<N_0$ شدة التيار i(t) متقدمة بالنسبة للتوتر u(t)



الشكل 3 : $N>N_0$ شدة التيار i(t) متأخرة بالنسبة للتوتر u(t)

1 - 4) استنتاج .

*** نظام التذبذبات القسرية .**

عندما نطبق بين مربطي ثنائي القطب « RLC » توترا جيبيا ،
يكون هذا الاخير مقر تذبذبات كهربائية ترددها مفروض من طرف المولد .
هذا التردد ليس بالضرورة نفس التردد الخاص لثنائي القطب .
لذا نقول بأن النظام الحاصل هو نظام قسري .

*** التذبذبات القسرية و التذبذبات المصانة .**

في حالة التذبذبات المصانة ، جهاز يمنح باستمرار لثنائي القطب « RLC » الطاقة اللازمة التي تمكنه من تعويض ما يضيع بمفعول جول ، لكن لا يفرض عليه أي تردد للتذبذبات.
تردد التذبذبات محدد بالمميزات الخاصة لثنائي القطب .
اذن لا يجب الخلط بين هذين النظامين .

2) رنين شدة التيار .

2 - 1) الإبراز التجريبي .

- **التردد الخاص .**

في حالة الدارة المدروسة ، دور التذبذبات الحرة للدارة ، أو الدور الخاص ، هو :

$$T_0=2\pi\sqrt{LC} \quad \Rightarrow \quad T_0=2\pi\sqrt{70.10^{-3}x1,0.10^{-6}}$$

$$\Rightarrow \quad T_0=1,7.10^{-3}s$$

التردد الخاص هو : $N_0 = \frac{1}{T_0} = 0,60kHz$

- **تجربة .**

لنغير التردد N المفروض من طرف المولد من 20Hz إلى 2kHz ، مع الحفاظ على القيمة الفعالة للتوتر u(t) ثابتة .
ثم نلاحظ الوسع U'_m للتوتر الجيبي u'(t) المعاين في المدخل Y_B على شاشة راسم التذبذب .

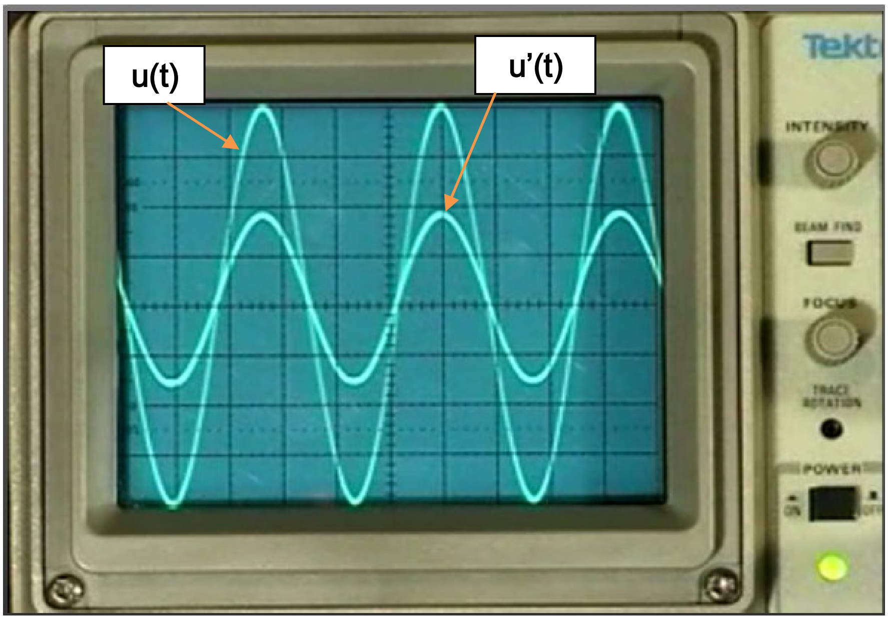
وسع شدة التيار له العلاقة I_m : $I_m = \frac{U'_m}{r}$

- **ملاحظات .**

* عنما يتزايد التردد المفروض من 20Hz إلى 0,60kHz :
- الوسع I_m (القيمة القصوية لشدة التيار) يزداد
- خلال مدة زمنية تساوي نصف الدور ، شدة التيار i(t) تنعدم و هي تتصاعد (أو تتناقص) قبل التوتر u(t) . نقول إنها متقدمة في الطور بالنسبة للتوتر المطبق على ثنائي القطب (الشكل 2) .

* عندما يتزايد التردد المفروض من 0,60kHz إلى 2kHz فإن :
- الوسع I_m لشدة التيار ينقص .
- شدة التيار i(t) تكون متأخرة بالنسبة للتوتر u(t) (الشكل 3) .

* عندما يكون التردد N يساوي التردد الخاص N_0 : $N = N_0 = 0,60kHz$ فإن :
- وسع شدة التيار يأخذ قيمة قصوية I_{m0}
- شدة التيار i(t) على توافق في الطور مع التوتر u(t) (الشكل 4) .



الشكل 4 : شدة التيار i(t) و التوتر u(t) على توافق في الطور

- **استنتاج .**

وسع شدة التيار I_m يمر من قيمة قصوية عندما يكون التردد N المفروض على ثنائي القطب « RLC » يساوي التردد الخاص $N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
عند هذا التردد الخاص ، شدة التيار المار في الدارة على توافق في الطور مع التوتر المطبق على الدارة

هذه الظاهرة تسمى رنين شدة التيار. لهذا ، في إطار دراسة التذبذبات القسرية ، التردد الخاص N_0 يسمى كذلك تردد الرنين .

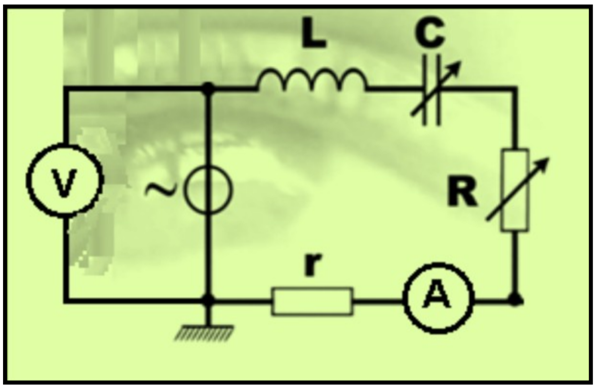
2 - 2) منحنى الرنين .

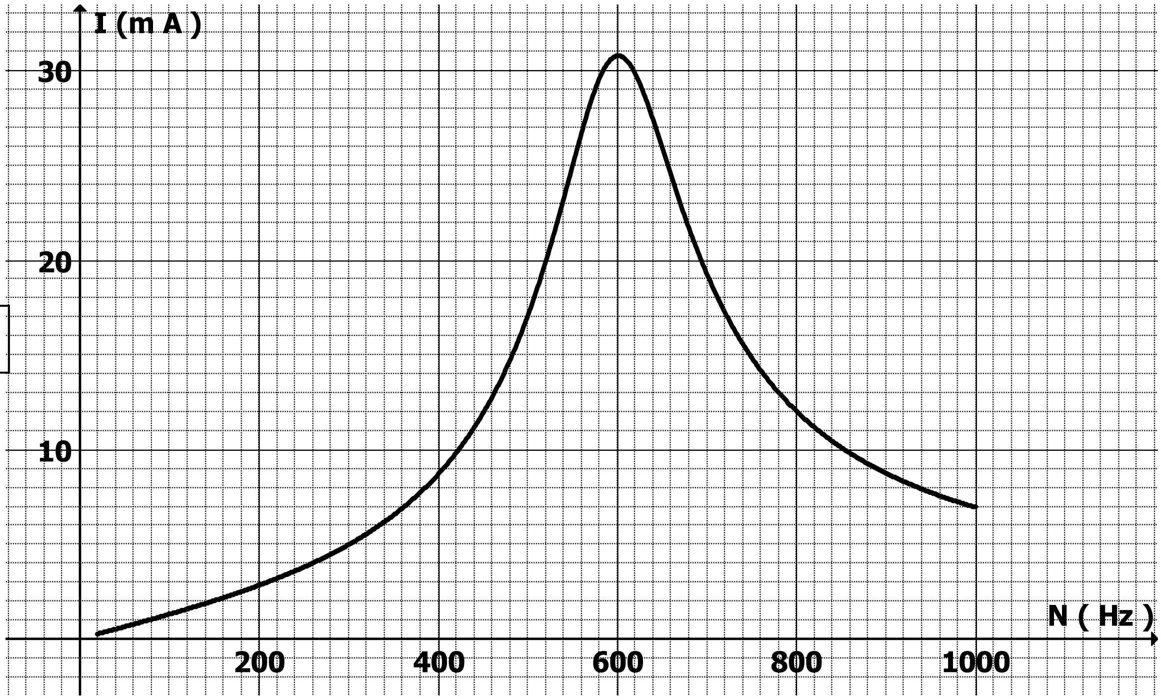
نزيل ربط راسم التذبذب من التركيب التجريبي السابق ، ثم نركب فولطمتر بين مربطي المولد و أمبيرمتر على التوالي مع عناصر الدارة .

نثبت القيمة الفعالة لتوتر المولد على القيمة $U = 2V$ و المقاومة المكافئة على القيمة $R + r = 50 + 15 = 65\Omega$.

نغير تردد المولد N و نقيس القيمة الفعالة I لشدة التيار الموافقة .يمثل الشكل 5 النتائج المحصل عليها .

يسمى منحنى هذا المبيان بمنحنى الرنين .





الشكل 5

يبين المنحنى أن هناك ترددا حيث تكون I قصوية و تأخذ القيمة $I_0 \approx 30,85mA$ ، هذا التردد في هذه الحالة هو 600Hz و هو يساوي التردد الخاص لثنائي القطب « RLC » المدروس .

2 - 3) حدة الرنين .

- **الرنين " الضبابي " و الرنين " الحاد " .**

تحت توتر فعال $U = 2V$ ، نخط منحنا آخر للرنين ، باستعمال مقاومة مكافئة أكبر ، مثلا $R + r = 110 + 15 = 125\Omega$ (الشكل 6).

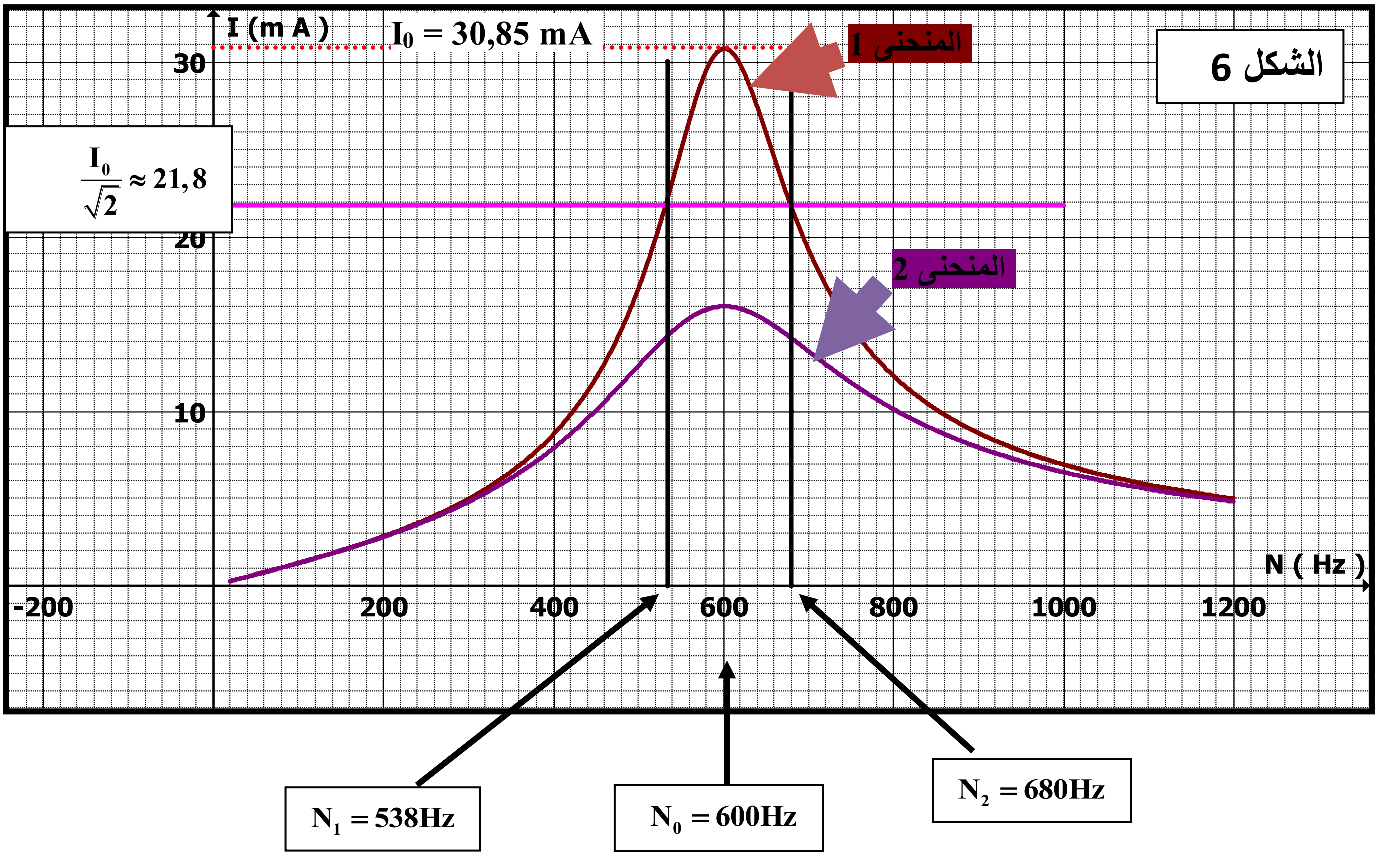
نلاحظ أن تردد الرنين هو نفسه في الحالتين :

تردد الرنين لا يتعلق بمقاومة ثنائي القطب « RLC »

بينما القيمة القصوية I_0' للشدة الفعالة I' في الحالة الثانية أصغر من I_0 :

شدة التيار الفعالة عند الرنين تتناقص كلما تزايدت مقاومة ثنائي القطب « RLC »

نلاحظ كذلك أن قمة المنحنى $I = f(N)$ تكون بارزة في الحالة الأولى (المنحنى 1) : **نقول أن الرنين حاد**
بينما في الحالة الثانية (المنحنى 2) فالقمة تقريبا منبسطة : **نقول أن الرنين ضبابي**



- **المنطقة الممررة ذات « 3dB » .**

التعريف :

المنطقة الممررة ذات « 3dB » لدارة RLC هي مجال الترددات $[N_1 ; N_2]$ للمولد (المثير)
حيث تكون الشدة الفعالة I للتيار المار بثنائي القطب RLC (الرنان) أكبر أو تساوي :
$$\frac{I_0}{\sqrt{2}}$$
مع I_0 الشدة الفعالة للتيار عند الرنين

- **تحديد عرض المنطقة الممررة مبيانيا .**

القيمة القصوية للقيمة الفعالة $I_0 = 30,85mA$ و بذلك فإن $\frac{I_0}{\sqrt{2}} = 21,8mA$

المستقيم الأفقي $I = 21,8mA$ يقطع منحنى الرنين عند نقطتين يوافقهما الترددين : $N_1 = 538Hz$ و $N_2 = 680Hz$

عرض المنطقة الممررة هو : $\Delta N = N_2 - N_1 = 680 - 538 = 143Hz$

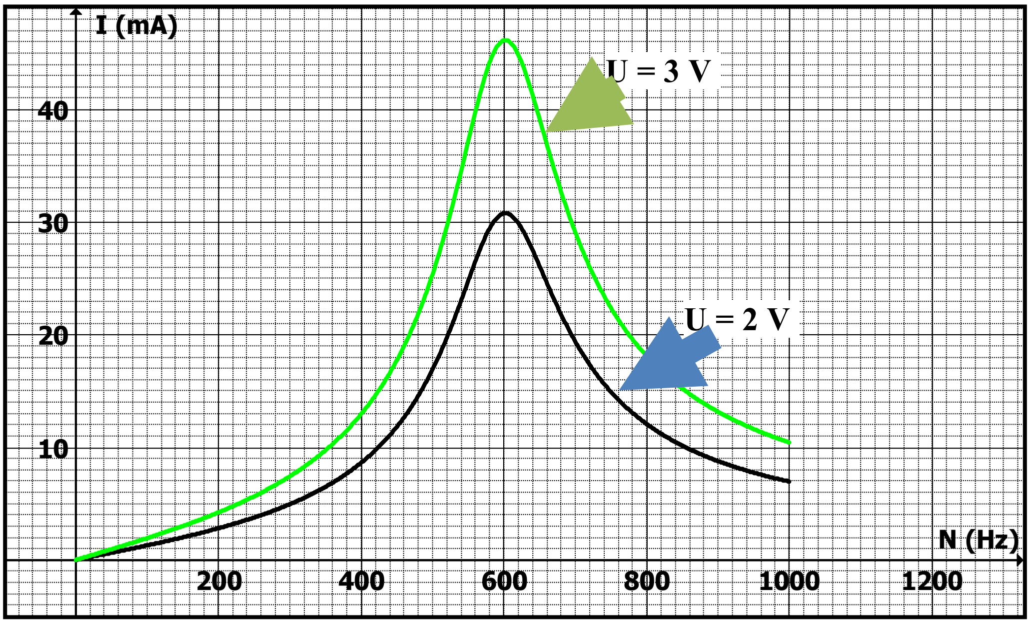
- **عرض المنطقة الممررة و المقاومة الكلية للدارة .**

في الحالة الأولى المقاومة الكلية تساوي 65Ω و عرض المنطقة الممررة هو $\Delta N = 145Hz$
في الحالة الثانية المقاومة الكلية تساوي 125Ω و عرض المنطقة الممررة هو $\Delta N' = 760 - 475 = 285Hz$

عرض المنطقة الممررة يزداد مع تزايد مقاومة الدارة
عندما تكون المقاومة صغيرة يكون الرنين حادا و يكون
ΔN ضعيفا و بالتالي تكون الدارة انتقائية

- عرض المنطقة الممررة و القيمة الفعالة للتوتر المطبق .

نعيد تجربة الحالة الأولى $(R+r=65\Omega)$ مع تطبيق توتر قيمته الفعالة $U=3,0V$ (عوض 2,0V) ، فنحصل على المبيان التالي :



ننجز بنفس الطريقة السابقة تحديدا لعرض المنطقة الممررة في هذه الحالة الجديدة $(U=3V)$ فنجد نفس العرض في الحالة الأولى $(U=2V)$.

لا يتعلق عرض المنطقة الممررة بالقيمة الفعالة للتوتر المطبق على ثنائي القطب RLC

- **معامل الجودة .**

معامل الجودة Q لثنائي قطب RLC هو خارج قسمة التردد عند الرنين N_0 على عرض منطقته الممررة ΔN :

$$Q=\frac{N_0}{\Delta N}$$

مثلا في الحالة الأولى $(R+r=65\Omega)$: $Q=\frac{600}{143}=4,2$

و في الحالة الثانية $(R+r=110+15=125\Omega)$: $Q'=\frac{N_0'}{\Delta N'}=\frac{600}{285}=2,1$

نلاحظ أن معامل الجودة Q يتناسب عكسيا مع عرض المنطقة الممررة و يعبر عنه بدون وحدة ، كما أن Q يصغر كلما كبرت قيمة مقاومة الدارة . حيث يميز معامل الجودة حدة الرنين

2 - 4) فوق التوتر عند الرنين .

- **تجربة .**

نعود إلى تجربة الشكل 1 حيث $R_t = R + r = 65\Omega$ و $U = 2,0V$.

نقيس التوترات الفعالة على التوالي بين مربطي المقاومة الكلية R_t ، بين مربطي الوشيعة و بين مربطي المكثف . فنجد :

- بين مربطي المقاومة الكلية : $U_{Rt} = 2,0V$
- بين مربطي الوشيعة : $U_L = 8,4V$
- بين مربطي المكثف : $U_C = 8,4V$

- **استنتاج .**

- من الواضح أن : $U \neq U_{Rt} + U_L + U_C$

القيم الفعالة للتوترات لا تحقق قانون إضافية التوترات

- التوترين الفعالين U_L و U_C أكبر من التوتر الفعال U الموجود بين مربطي ثنائي القطب « RLC » . إنها ظاهرة فوق التوتر :

عند الرنين ، التوتر الفعال بين مربطي المكثف أو بين مربطي الوشيعة أكبر من التوتر الفعال المطبقة من طرف المولد

- نلاحظ أن الحاصل $\frac{U_L}{U}$ و $\frac{U_C}{U}$ يساوي 4,2 و هي قيمة معامل الجودة في هذه الحالة . نعتبر أن هذ الملاحظة عامة :

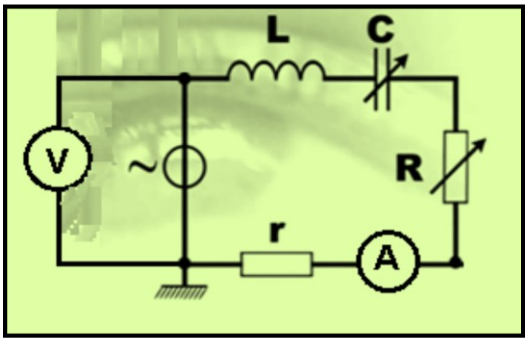
عند الرنين ، التوتر الفعال بين مربطي المكثف يساوي جداء معامل الجودة والتوتر الفعال المطبق على ثنائي القطب RLC

$$U_C = Q.U$$

التوتر الفعال بين مربطي الوشيعة له نفس رتبة القدر ، إذا كانت مقاومة الوشيعة مهملة .

3) ممانعة الدارة .

3 - 1) الإبراز التجريبي .



- ننجز التركيب التجريبي الممثل جانبه ، يسمح الأمبيرمتر بقياس الشدة الفعالة I للتيار الذي يمر في ثنائي القطب RLC . و يعطي الفولطمتر التوتر الفعال U للتوتر المطبق بين مربطي ثنائي القطب RLC .
- نضبط المولد على تردد معيّن مثلا $N_1 = 400Hz$ ، و بتغيير التوتر الفعال U ، نحصل على جدول القياسات أسفله .

نمثل U بدلالة I فنحصل على خط مستقيم (الشكل 7 ، المنحنى 1) يمر من أصل المعلم معادلته هي :

$$U = Z.I$$

حيث تمثل الثابتة Z المعامل الموجه للمستقيم ، و تسمى ممانعة الدارة ، يعبر عن Z بالأوم (Ω) .

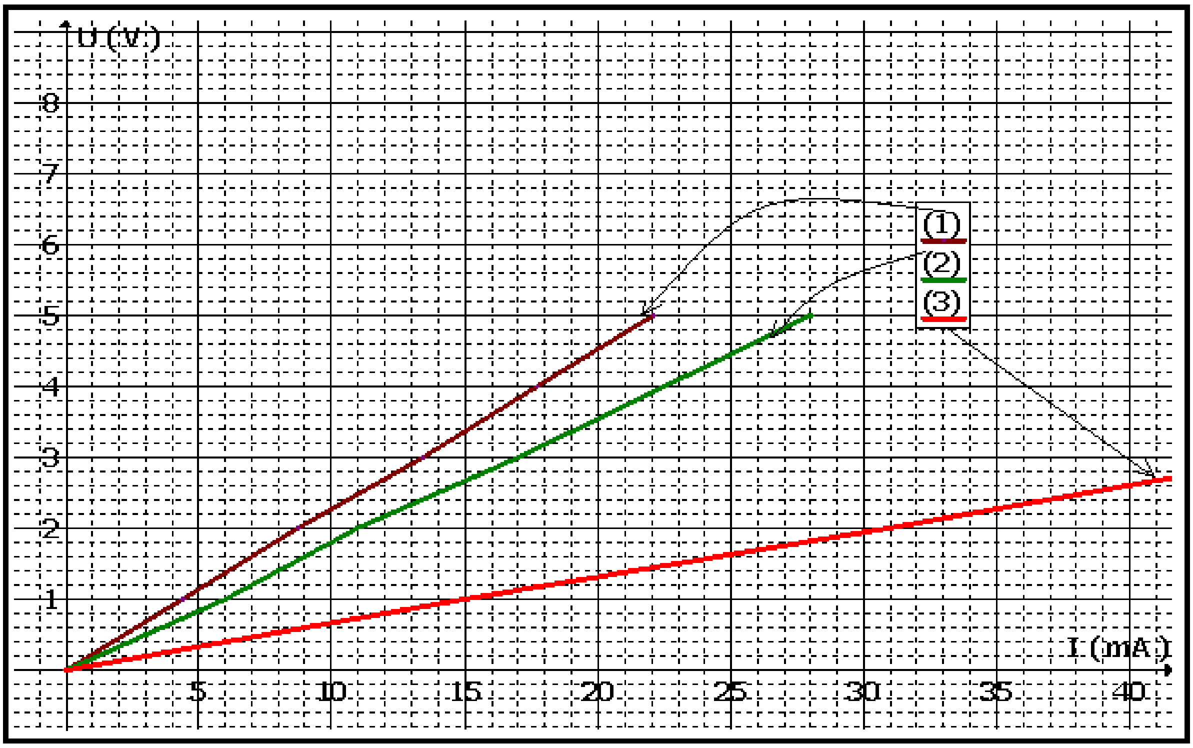
*** ملحوظة : يمكن تعيين الممانعة Z بطريقة سريعة ، و ذلك باستعمال راسم التذبذب ، الذي يسمح بقياس المقدارين القصويين U_m و I_m فنحصل على :** $Z = \frac{U_m}{I_m}$

U(V)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
I(mA)	4,41	8,75	13,4	17,7	22,1

$$Z = \frac{U}{I} \qquad \text{و} \qquad Z = \frac{U_m}{I_m}$$

3 - 2) تغيرات الممانعة بدلالة التردد .

نعيد التجربة السابقة (الفقرة 3 - 1) مع تغيير التردد ، حيث نضبط التردد عند القيمة $N_0 = 600Hz$ (التردد الخاص) فنحصل على المنحنى 3 (الشكل 7) ، و نضبطه عند القيمة $N_2 = 800Hz$ فنحصل على المنحنى 2 (الشكل 7) .

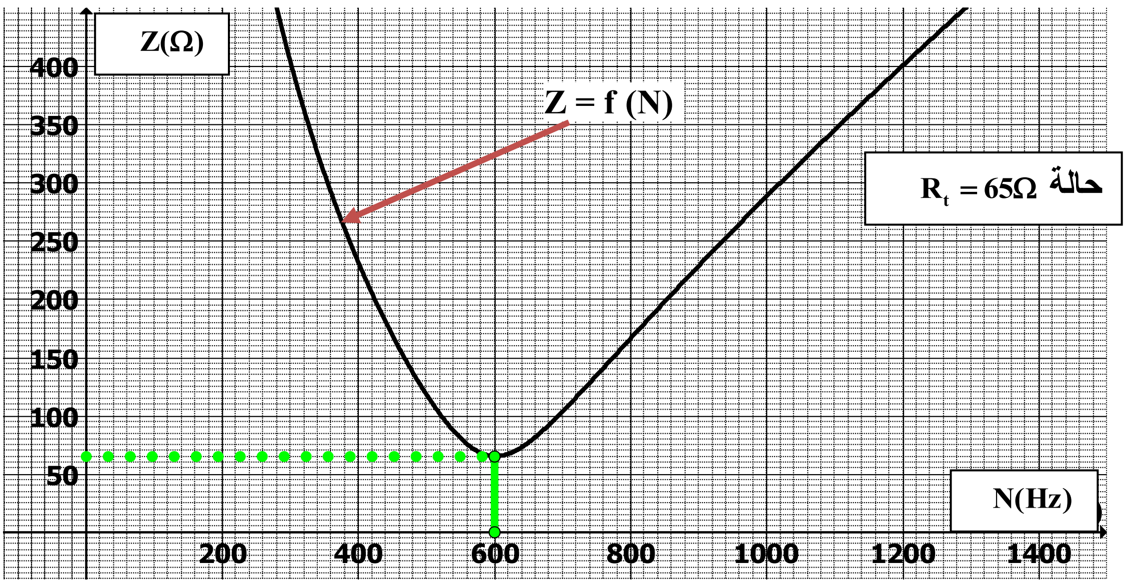


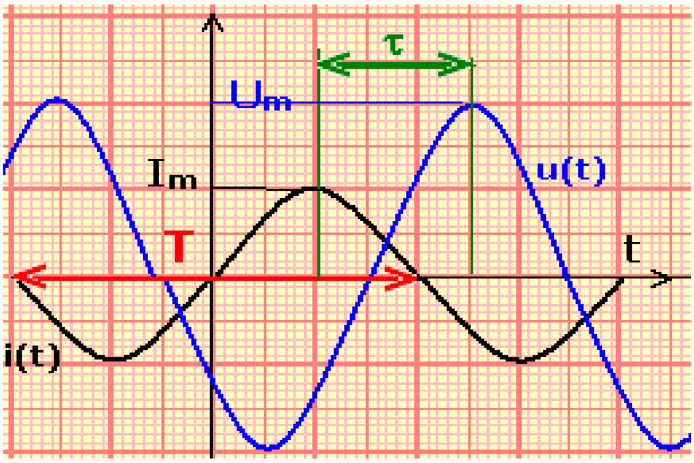
الشكل 7

نحسب الممانعة في كل حالة فنجد :

- بالنسبة ل N_1 : $Z_1 = 225\Omega$
- بالنسبة ل N_0 (الرنين) : $Z_0 = 65\Omega$
- بالنسبة ل N_2 : $Z_2 = 175\Omega$

نلاحظ أن الممانعتين Z_1 و Z_2 أكبر من الممانعة
Z_0 عند الرنين
بصفة عامة تأخذ الممانعة قيمتها الدنوية و التي تساوي
قيمة المقاومة الكلية للدارة عند الرنين
$$Z_0 = R_t$$





4) كيفية تحديد فرق الطور بين مقدارين جيبيين ؟

لنعتبر المقدارين المتناوبين الجيبيين :

$u(t)=U_m\cos(\omega.t+\varphi_u)$ و $i(t)=I_m\cos(\omega.t+\varphi_i)$

نسمي طور الدالة $u(t)$ بالنسبة للدالة $i(t)$: $\varphi_{u/i}=\varphi_u-\varphi_i$

وطور الدالة $i(t)$ بالنسبة للدالة $u(t)$: $\varphi_{i/u}=\varphi_i-\varphi_u$

$\varphi_{u/i}$ و $(\varphi_{i/u})$ تقيس تقدم وتأخر طور الدالة $u(t)$ بالنسبة $i(t)$

ونعبر عنه بالرديان .

$\varphi_{u/i}>0$ نقول أن $u(t)$ متقدمة في الطور على $i(t)$

$\varphi_{u/i}<0$ نقول أن $u(t)$ متأخرة في الطور على $i(t)$

$\varphi_{u/i}=\frac{\pi}{2}$ نقول أن $u(t)$ و $i(t)$ على تربيع في الطور . ونفس الشيء بالنسبة $\varphi_{u/i}=-\frac{\pi}{2}$

$\varphi_{u/i}=\pi$ نقول أن $u(t)$ و $i(t)$ على تعاكس في الطور .

كيف نحدد قيمة φ ؟

لتبسيط الدراسة نختار $\varphi_i=0$ أي أن $\varphi=\varphi_u$ فتصبح العلاقة $i(t)=I_m\cos\omega t$ و

$$u(t)=U_m\cos(\omega t+\varphi)\Rightarrow u(t)=U_m\cos\left(\omega\left(t+\frac{\varphi}{\omega}\right)\right)=U_m\cos(\omega(t+\tau))$$

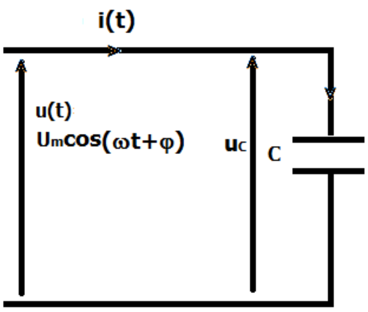
يوافق الطور $\varphi=\varphi_u$ للتوتر u(t) بالنسبة للتيار i(t) ، المدة الزمنية τ . حيث $\tau=\frac{\varphi}{\omega}$

يسمى τ الفرق الزمني بين منحنيي u(t) و i(t) .

يمكّن قياس τ على شاشة راسم التذبذب من تحديد القيمة المطلقة للطور φ .

$$\boxed{|\varphi|=\frac{2\pi}{T}.\tau}$$

أمثلة :



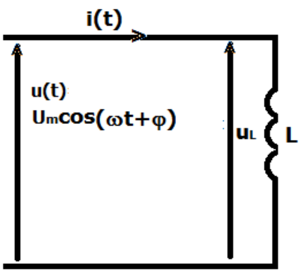
التوتر $u_C(t)$ بين مربطي مكثف عندما يمر فيه تيار كهربائي متناوب جيبي $i(t)=I\sqrt{2}\cos(\omega t)$:

$$u_C(t)=\frac{1}{C}q(t)=\frac{I_0\sqrt{2}}{C}\int_0^t\cos(\omega t)dt=\frac{I_0\sqrt{2}}{C\omega}\sin(\omega t)$$

$$u_C(t)=U_C\sqrt{2}\cos\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)$$

U_C التوتر الفعال بين مربطي المكثف قيمته $U_C=\frac{I_0}{C\omega}$ وأن

$u_C(t)$ متأخرة في الطور على $i(t)$ ب $\frac{\pi}{2}$



التوتر $u_L(t)$ بين مربطي وشيعة خالصة (مقاومتها مهملة) عندما يمر فيها تيار كهربائي متناوب جيبي $i(t)=I\sqrt{2}\cos(\omega t)$:

$$u_L(t)=L\frac{di}{dt}=-L\omega\sin(\omega t)=L\omega\sqrt{2}\cos\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right)$$

$$u_L(t)=U_L\sqrt{2}\cos\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right)$$

U_L التوتر الفعال بين مربطي الوشيعة قيمته $U_L=L\omega I_0$ وأن $u_L(t)$ متقدمة في الطور على $i(t)$ ب $\frac{\pi}{2}$

5) القدرة الكهربائية .

القدرة الكهربائية اللحظية ، المستهلكة من قبل ثنائي قطب ، يمر فيه تيار شدته $i(t)$ ويوجد بين مربطيه التوتر $u(t)$ هي :

$$\boxed{p(t) = u(t).i(t)}$$

في النظام المتناوب الجيبي نبين أن : $p(t) = U.I\left[\cos\varphi + \cos(2\omega + \varphi)\right]$. نلاحظ أن $p(t)$ دالة جيبية نبضها 2ω (ω يمثل نبض التيار أو التوتر) . هذه القدرة اللحظية لا تمكِّن من تقييم حصيلة الطاقة المكتسبة .لذا وجب تعريف القدرة المكتسبة خلال دور والتي نسميها بالقدرة المتوسطة :

في حالة النظام الجيبي القسري ، القدرة المستهلكة خلال دور هي :

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T u(t).i(t)dt$$

$$\boxed{P = U_{eff}.I_{eff}\cos\varphi}$$

حيث :

U_{eff} التوتر الفعال بين مربطي ثنائي القطب

I_{eff} الشدة الفعالة للتيار المار في ثنائي القطب

$\cos\varphi$ معامل ، يسمى معامل القدرة ، حيث φ طور $u(t)$ بالنسبة ل $i(t)$ له التعبير : $\cos\varphi = \frac{(R+r)}{Z}$

يمكن استنتاج تعبير آخر للقدرة المتوسطة : $P = U_{eff}.I_{eff}\cos\varphi = Z.I.I.\frac{R+r}{Z}\boxed{= (R+r)I^2}$

في الدارة RLC المتوالية تستهلك القدرة الكهربائية المتوسطة فقط ، بمفعول جول .

التحولات السريعة والتحولات البطيئة
العوامل الحركية

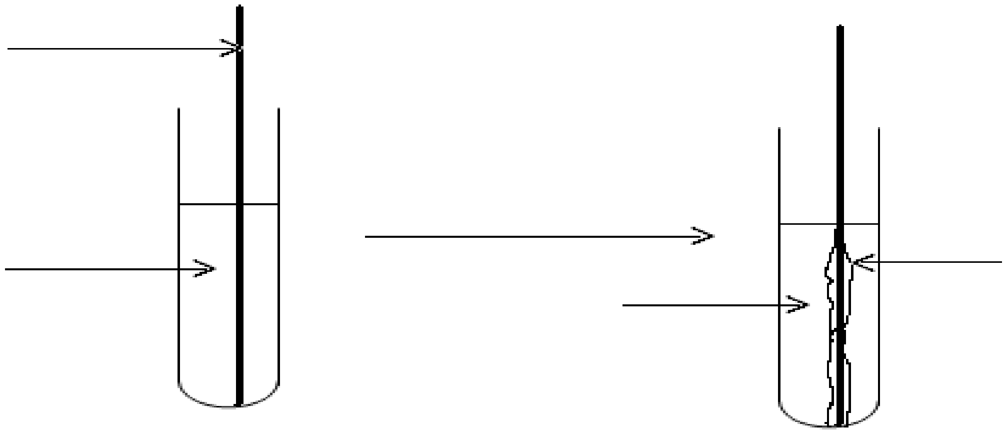
I ـ تذكير بالمزدوجات مختزل/مؤكسد .

1 ـ مثال لتفاعل أكسدة ـ اختزال . : التفاعل بين ايونات الفضة $Ag^+(aq)$ وفلز النحاس Cu .

الدراسة التجريبية :

في أنبوب اختبار ، يحتوي على $5\,m\ell$ من محلول نترات الفضة $Ag^+(aq)+NO_3^-(aq)$ نضع سلكا نظيفا من النحاس .

1 ـ اتمم التبيانة بوضع الاسم المناسب أمام كل سهم . ماهي ملاحظاتك ؟



2 ـ كيف تفسر هده الملاحظات ؟

ظهور توضع ذي بريق فلزي حول الجزء المغمور من سلك النحاس . إنه فلز الفضة .
تكون فلز الفضة حسب نصف المعادلة التالية :

$$Ag^+(aq)+1e^-=Ag(s)$$

* يأخذ المحلول لونا أزرق مما يدل على تكون أيونات النحاس II وهي ناتجة عن تأكسد النحاس حسب نصف المعادلة التالية :

$$Cu(s)=Cu^{++}(aq)+2e^-$$

3 ـ حدد النوع الكيميائي الذي يلعب دور المؤكسد و النوع الكيميائي الذي يلعب دور المختزل .
و استنتج المزدوجات مختزل /مؤكسد المتداخلة في هذا التفاعل .

النوع الكيميائي الذي يلعب دور المؤكسد هو : أيون الفضة $Ag^+(aq)$ لكونه اكتسب إلكترونا واحدا خلال هذا التحول .

النوع الكيميائي الذي يلعب دور المختزل هو : فلز النحاس $Cu(s)$ لكونه فقد إلكترونا واحدا خلال هذا التحول .

المزدوجتين مختزل / مؤكسد : $Ag^+(aq)/\,Ag(s)$ و $Cu^{++}(aq)/\,Cu(s)$

4 ـ استنتج معادلة التفاعل بين ايونات الفضة و فليز النحاس

للحصول على المعادلة الحصيلة للتفاعل ننجز المجموع التالي :

$$(\times 2)\qquad Ag^{+}(aq)+1e^{-}=Ag(s)$$

$$(\times 1)\qquad Cu(s)=Cu^{++}(aq)+2e^{-}$$

$$2Ag^{+}(aq)+Cu(s)\rightarrow 2Ag(s)+Cu^{2+}(aq)$$

I ـ 2 ـ تعار يف

*** المؤكسد هو نوع كيميائي قادر على اكتساب الكترون او اكثر, ويسمى النوع الناتج, المختزل المرافق . oxydant+ne = réducteur**

***المختزل هو نوع كيميائي قادر على منح الكترون او اكثر, ويسمى النوع الناتج, المؤكسد المرافق reducteur=ne⁻+oxydant**

***المزدوجة مختزل/مؤكسد هي عبارة عن زوج مكون من مؤكسد ومختزل مرافقين.**

تتميز المزدوجة مختزل /مؤكسد بنصف المعادلة اكسدة ـ مختزل:

Ox+ne⁻=Red

خلال تفاعل اكسدة ـ اختزال تتدخل مزدوجتان مختزل /مؤكسد حيث يحدث انتقال الالكترونات بصفة عامة ، خلال تفاعل أكسدة اختزال تشارك مزدوجتان مؤكسد ـ مختزل Ox_1/Red_1 و Ox_2/Red_2 . حيث يتفاعل مؤكسد إحدى المزدوجات مع مختزل المزدوجة الأخرى . مثلا عند تفاعل المؤكسد Ox_1 مع المختزل Red_2 اي ان Ox_1 و Red_2 متفاعلان . للحصول على المعادلة الحصيلة للتفاعل ، نكتب نصفي المعادلة الإلكترونية وننجز ا

$$n_2\times\left(Ox_1+n_1e^{-}=Red_1\right)$$

$$n_1\times\left(Red_2=Ox_2+n_2e^{-}\right)$$

$$n_2Ox_1+n_1Red_2\rightarrow n_2Red_1+n_1Ox_2$$

مثال : **<u>اكتب معادلة تفاعل الاكسدة ـ اختزال بين ايونات البرمنغنات وايونات الحديد (II) في وسط حمضي .</u>**

يحدث تفاعل أكسدة ـ اختزال بين المزدوجتين $MnO^{-}_{4aq}/Mn^{2+}_{aq}$ و $Fe^{2+}_{aq}/Fe^{3+}_{aq}$. النوعان المتفاعلان هما المؤكسد $MnO_4^{-}(aq)$ والمختزل $\left(Fe^{2+}_{aq}\right)$

نكتب نصفي معادلتي الاكسدة ـ اختزال الموافقين لهاتين المزدوجتين :

بالنسبة للمزدوجة $MnO^{-}_{4aq}/Mn^{2+}_{aq}$:

لكتابة هذه المعادلة نتبع الخطوات التالية :

* $MnO_4^{-}(aq)=Mn^{2+}(aq)$

* توازن عنصر المنغنيز بين المؤكسد والمختزل . $MnO_4^{-}(aq)=Mn^{2+}(aq)$

* توازن عنصر الأوكسيجين بإضافة جزيئات الماء : $MnO_4^{2-}(aq)=Mn^{2+}(aq)+4H_2O(\ell)$

* توازن عنصر الهيدروجين بإضافة أيونات الهيدروجين) لأن التحول من أيونات البرمنغنات إلى أيونات المنغنير عديمة اللون تساهم فيه أيونات $H^{+}(aq)$ أي يكون المحلول حمضيا)

$$MnO_4^{2-}(aq)+8H^{+}(aq)=Mn^{2+}(aq)+4H_2O(\ell)$$

* توازن الشحن الكهربائية بإضافة الإلكترونات :

$$MnO_4^{2-}(aq)+8H^+(aq)+5e^- = Mn^{2+}(aq)+4H_2O(\ell)$$

بالنسبة للمزدوجة $Fe^{3+}_{aq} / Fe^{2+}_{aq}$:

$$Fe^{2+}_{aq} = Fe^{3+}_{aq} + 1e^-$$

ثم ننجز المجموع التالي :

$$(\times 1) \quad MnO_4^{2-}(aq)+8H^+(aq)+5e^- = Mn^{2+}(aq)+4H_2O(\ell)$$

$$(\times 5) \quad Fe^{2+}_{aq} = Fe^{3+}_{aq} + 1e^-$$

المعادلة الحصيلة للتفاعل هي :

$$MnO^-_{4aq} + 5Fe^{2+}_{aq} + 8H^+_{aq} \rightarrow Mn^{2+}_{aq} + 5Fe^{3+}_{aq} + 4H_2O(\ell)$$

II ـ التحولات السريعة التحولات البطيئة

1 ـ التحولات السريعة

أ ـ مثال : التفاعل بين ايونات الهدروكسيد وايونات النحاس(II)

نصب في أنبوب اختبار $5m\ell$ من محلول كبريتات النحاس (II) ونضيف إليه قطرات من محلول الصودا .

1 ـ ماذا تلاحظ ؟ ما اسم المركب الناتج ؟

ترسب جسم صلب لونه أزرق . محلول هيدروكسيد النحاس II صيغته $Cu(OH)_2(s)$

2 ـ اكتب معادلة التفاعل التي تحدث في الأنبوب

$$Cu^{2+}(aq)+OH^-(aq) \rightarrow Cu(OH)_2(s)$$

3 ـ ما هي رتبة قدر المدة الزمنية التي يحدث فيها التفاعل ؟ما هو استنتاجك ؟

أقل من جزء الثانية لايمكن أن نتتبعه بالعين المجردة إذن فهو تحول سريع .

ب ـ تعريف

التحولات السريعة هي التحولات التي تحدث في مدة وجيزة أي لا يمكن تتبع تطورها بالعين المجردة أو بأجهزة القياس المعتادة و المتوفرة في المختبر

II ـ التحولات البطيئة

أ ـ مثال : تفاعل أكسدة ـ اختزال ذاتية لايونات ثيوكبريتات $S_2O_3^{2-}$ في وسط حمضي

نمزج في كأس $10m\ell$ من محلول حمض الكلوريدريك تركيزه $1.0mol/\ell$ و $50m\ell$ من محلول ثيوكبريتات الصوديوم تركيزه $1,0.10^{-1}mol/\ell$.

نسلط حزمة من الضوء الأبيض على جانب الكأس ونلاحظ محتواه .

يأخذ محتوى الكأس بعد لحظات لون يميل إلى الأزرق ثم يصبح اصفر ويفقد شفافيته بعد حين

1 ـ على ماذا يدل التطور التدريجي للخليط التفاعلي ؟

خلال هذا التحول تنتج دقائق صلبة من الكبريت عالقة في المحلول بوجود الضوء يتشتت هذا الأخير خاصة الضوء ذا الموجة الموافقة للضوء الأزرق . عند تكاثر كمية الكبريت الناتج يفقد الخليط شفافيته ويصبح لونه أصفر .

2 ـ ما هي رتبة قدر المدة الزمنية التي يحدث فيها التفاعل ؟ما هو استنتاجك ؟

تقدر المدة الزمنية المستغرقة خلال هذا التحول بدقيقة تقريبا نستنتج أن التفاعل بطيء لكوننا يمكن تتبعه بواسطة العين المجردة .

3 ـ أتبث معادلة التفاعل أكسدة ـ اختزال الذي تتدخل فيه المزدوجتان

$S_2O_3^{2-}(aq)/S(s)$ و $SO_2(aq)/S_2O_3^{2-}(aq)$.

إثبات المعادلة الحصيلة للتفاعل :

بالنسبة للمزدوجة : $S_2O_3^{2-}(aq)/S(s)$

$$S_2O_3^{2-}(aq)+6H^+(aq)+4e^-=2S(s)+3H_2O$$

بالنسبة للمزدوجة $SO_2(aq)/S_2O_3^{2-}(aq)$

$$2SO_2(aq)+2H^+(aq)+4e^-=S_2O_3^{2-}(aq)+H_2O(\ell)$$

في هذا التحول تلعب أيون ثيوكبريتات دور المؤكسد والمختزل وهو مانسميه بازدواجية التحول أو التحول الذاتي dismutation

للحصول على المعادلة الحصيلة لهذا التحول ننجز المجموع التالي :

$$S_2O_3^{2-}(aq)+6H^+(aq)+4e^-=2S(s)+3H_2O$$

$$S_2O_3^{2-}(aq)+H_2O(\ell)=2SO_2(aq)+2H^+(aq)+4e^-$$

$$2S_2O_3^{2-}(aq)+4H^+(aq)\rightarrow 2S(s)+2SO_2(aq)+2H_2O(\ell)$$

<u>**ب ـ تعريف**</u>

التحولات البطيئة هي التي تستغرق من عدة ثواني إلى عدة ساعات بحيث يمكن تتبع تطورها بالعين أو بأجهزة القياس المتوفرة في المختبر

<u>**تمرين تطبيقي**</u>

<u>**صنف التحولات الكيميائية التالية الى تحولات سريعة وتحولات بطيئة في الجدول اسفله :**</u>

تكون الصدأ

تكون راسب كلورور الفضة

احتراق الميتان

تفاعل حمض الكلوريدريك مع الزنك

التفاعل بين حمض الكلوريدريك و الصودا

تخمر كحولي

الاسترة

تفاعل الاكسدة ـ اختزال بين الزنك وايونات النحاس (II)

التحولات البطيئة	التحولات السريعة
تكون الصدأ	تكون راسب كلورور الفضة
تفاعل الاكسدة ـ اختزال بين الزنك وايونات النحاس (II)	التفاعل بين حمض الكلوريدريك و الصودا
تخمر كحولي	تفاعل حمض الكلوريدريك مع الزنك
الاسترة	احتراق الميتان

R

III ـ الإبراز التجريبي للعوامل الحركية .

تعريف :

نسمي عاملا حركيا كيميائيا ، كل مقدار يمكن من تغيير سرعة تطور مجموعة كيميائية

1 ـ تأثير تراكيز المتفاعلات

تجربة :

نحضر في ثلاث كؤوس تحتوي على حجوم مختلفة من محلول محمض ليودور البوتاسيوم $K^+(aq)+I^-(aq)$ ذي تركيز 0,2mol/l .

نصب في كل من هذه الكؤوس وفي نفس اللحظة 20ml من محلول الماء الأوكسيجيني ذي تركيز مولي 5.10^{-2}mol/l . نحرك بسرعة محتوى كل كأس ، ونلاحظ تطور لون الخليط في كل كأس .

1 ـ املأ الجدول التالي

كأس الرقم	(1)	(2)	(3)
حجم محلول اليودور البوتاسيوم	10ml	20ml	40ml
حجم حمض الكبريتيك	10ml	10ml	10ml
حجم الماء المقطر	60	50ml	30ml
حجم الماء الأوكسيجيني	20	20	20
حجم الخليط التفاعلي	100ml	100ml	100ml
التركيز البدئي $[I^-]_0$	0,02mol/l	0,04mol/l	0,08mol/l
التركيز البدئي $[H^+]_0$	0,1mol/l	0,1mol/l	0,1mol/l
التركيز البدئي $[H_2O_2]_0$	0,01mol/l	0,01mol/l	0,01mol/l
المدة الزمنية			

حساب التركيز البدئي للمتفاعلات

حساب التركيز البدئي للمتفاعلات :

* $[I^-]_0$

$$[I^-]_0 = \frac{C_0.V_0}{V_T}$$

C_0 التركيز البدئي لمحلول يودور البوتاسيوم و V_0 الحجم البدئي لمحلول يودور البوتاسيوم

* $[H_2O_2]_0$

$$[H_2O_2]_0 = \frac{C_1.V_1}{V_T}$$

C_1 التركيز البدئي لمحلول الماء االأوكسيجيني و V_1 الحجم البدئي لمحلول الماء الأوكسيجيني .

2 ـ أكتب نصفي المعادلة المقرونين بالمزدوجتين $H_2O_2aq / H_2O(\ell)$ و I_2aq / I^-aq

ثم استنتج معادلة التفاعل أكسدة ـ اختزال في الكأس .

حدد المؤكسد والمختزل في هذا التفاعل .

بالنسبة للمزدوجة : $H_2O_2(aq)/H_2O(\ell)$

$$H_2O_2(aq)+2H^+(aq)+2e^- = 2H_2O(\ell)$$

بالنسبة للمزدوجة $I_2(aq)/I^-(aq)$

$$2I^-(aq)=I_2(aq)+2e^-$$

في هذا التحول يلعب الماء الأوكسيجيني دور المؤكسد وأيونات اليدور دور المختزل .

للحصول على المعادلة الحصيلة لهذا التحول ننجز المجموع التالي :

$$H_2O_2(aq)+2H^+(aq)+2e^- = 2H_2O(\ell)$$

$$2I^-(aq)=I_2(aq)+2e^-$$

$$2I^-(aq)+H_2O_2(aq)+2H^+(aq)\rightarrow I_2(s)+2H_2O(\ell)$$

3 ـ بمقارنة اللحظات t_1 ، t_2 ، t_3 وربطها مع التراكيز البدئية للأيونات I^-aq في المحاليل ، استنتج تأثير هذه التراكيز على سرعة التحول .

نلاحظ أن $t_1<t_2<t_3$ نستنتج أن التركيز البدئي للمتفاعلات له تأثير على تطور تحول كيميائي .

كلما كان التركيز البدئي لمتفاعل أكبر ، كلما كان تطور التحول أسرع

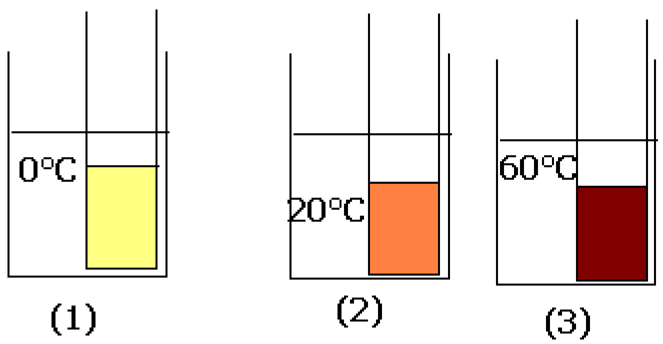
II ـ تأثير درجة الحرارة

<u>تجربة :</u>

نعتبر دائما تفاعل أكسدة الأيونات اليودور I^- بالماء الأوكسيجيني H_2O_2 :

$$2I^-(aq)+H_2O_2(aq)+2H^+(aq)\rightarrow I_2(s)+2H_2O(\ell)$$

نحضر ثلاثة أنابيب اختبار ، يحتوي كل واحد منها على 5ml من محلول محمض ليودور البوتاسيوم ذي التركيز المولي 0,2mol/l . نضع الأنبوب الأول في الكأس (1) التي تحتوي على خليط من الماء والثلج (0°C) والأنبوب الثاني في الكأس (2) التي تحتوي على ماء درجة حرارته اعتيادية 20°C والثالث في الكأس (3) التي تحتوي على الماء الساخن عند درجة الحرارة 60°C . في نفس الوقت نضيف 5ml من الماء الأوكسيجني ذي التركيز المولي 5.10^{-2}mol/l إلى كل أنبوب اختبار ، تم نحرك الخليط بسرعة .



ما تأثير درجة الحرارة على مدة تطور هذا التفاعل ؟

كلما كانت درجة حرارة الوسط التفاعلي مرتفعة كلما تم التوصل إلى الحالة النهائية للتحول خلال مدة أقل .

تؤثر درجة الحرارة على التحولات الكيميائية بطريقتين :

- **<u>تسريع أو إطلاق تحول برفع درجة الحرارة .</u>**

أمثلة لتسريع تحولات كيميائية :

تصنيع الأمونياك تفاعل بطيء عند درجة الحرارة الاعتيادية . من أجل تسريع هذا التحول يتم إنجازه عند درجة حرارة مرتفعة .
صناعة الحديد : تساعد درجة الحرارة المرتفعة في الأفران العالية Haut Fournaux (100°C) على تسريع اختزال أوكسيد الحديد إلى فلز الحديد .
طهي المواد الغدائية : نستعمل طنجرة الضغط لتسريع التحول الذي يحدث بين المواد المستعملة في الطهي .

- **<u>إبطاء أوتوقيف تحول بخفض درجة الحرارة</u>**

أمثلة :
إبطاء تفاعلات التحلل بسبب الجراثيم microorganisme للمواد الغذائية وذلك بحفظها في درجة حرارة جد منخفضة .
توقيف تحول كيميائي : نحتاج في مختبرات الكيمياء إلى تحليل تركيب ما عند لحظة معينة وبما أن الخليط هو في حالة تحول كميائي مستمر ، يجب توقيفه عند لحظة إنجاز القياسات لتكون التحليلات صحيحة . في هذه الحالة نقوم بالغطس الكيميائي trempe وهو غمر الخليط في تلك اللحظة في حمام من التلج (0°C) ويتوقف التفاعل .
يمكن كذلك إنجاز الغطس الكيميائي ، بإضا
لأن تخفيظ تراكيز المتفاعلات ، يجعل التحول جد بطيء .

التحولات السريعة و التحولات البطيئة 1

I . كتابة معادلة تفاعل أكسدة و اختزال

تعريف

المؤكسد نوع كيميائي قادر على اكتساب إلكترون أو أكثر.

المختزل نوع كيميائي قادر على فقدان إلكترون أو أكثر.

خاصية

تتكون مزدوجة مؤكسد ـ مختزل من مؤكسد(Ox) و مختزل(Red) مترافقين، فهما مرتبطان بنصف المعادلة الإلكترونية التالية:

$$Ox + ne^- \rightleftarrows Red$$

☜ الرمز $\rightleftarrows$ يلخص التحولين الممكنين:

$$Ox + ne^- \rightarrow Red$$
$$Red \rightarrow Ox + ne^-$$

• أمثلة:

المزدوجة مختزل /مؤكسد	Red		Ox + ne⁻
Fe^{2+} / Fe	Fe	$\rightleftarrows$	$Fe^{2+} + 2e^-$
Fe^{3+} / Fe^{2+}	Fe^{2+}	$\rightleftarrows$	$Fe^{3+} + e^-$
MnO_4^- / Mn^{2+}	$Mn^{2+} + 4H_2O$	$\rightleftarrows$	$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^-$

تعريف

تفاعل الأكسدة و الاختزال هو عبارة عن انتقال إلكترونات من مختزل ينتمي لمزدوجة إلى مؤكسد ينتمي لمزدوجة أخرى:

$$Ox_1 + n_1e^- \rightleftarrows Réd_1 \quad (\times n_2)$$
$$Réd_2 \rightleftarrows Ox_2 + n_2e^- \quad (\times n_1)$$
$$n_2Ox_1 + n_1Réd_2 \rightarrow n_2Réd_1 + n_1Ox_2$$

•مثال:

خلال تفاعل أيونات البرمنغنات مع أيونات الحديد (II) في وسط حمضي يحدث انتقال إلكترونات من Fe^{2+} (مختزل) إلى MnO_4^- (مؤكسد):

$$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightleftarrows Mn^{2+} + 4H_2O \quad (\times 1)$$
$$Fe^{2+} \rightleftarrows Fe^{3+} + e^- \quad (\times 5)$$

المعادلة الحصيلة هي:

$$5Fe^{2+}_{(aq)} + MnO_4^-{}_{(aq)} + 8H^+_{(aq)} \rightarrow 5Fe^{3+}_{(aq)} + Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O$$

II . تصنيف التفاعلات الكيميائية

تعريف
التحول السريع هو تحول كيميائي يحصل في مدة وجيزة(أقل من الثانية) بحيث لا يمكن تتبع تطوره ، ما يعني استحالة التمييز بين مراحل التطور من الحالة البدئية إلى الحالة النهائية.

•أمثلة:
- التحولات المقرونة بتفاعلات الترسيب،
- التحولات المقرونة بتفاعلات الاحتراق،
- التحولات المقرونة بتفاعلات حمض- قاعدة.

تعريف
التحول البطيء هو تحول كيميائي يمكن تتبع تطوره بالعين المجردة أو باستعمال أدوات القياس الاعتيادية.مدته تتجاوز الثانية.

•مثال:
العديد من التحولات المقرونة بتفاعلات الأكسدة و الاختزال هي تحولات بطيئة.
مثل تفاعل أيونات اليودور مع الماء الأكسجيني (بروكسيد الهيدروجين)حيث يأخذ المحلول تدريجيا لونا بنيا يدل على تكون اليود:

لحظة مزج المتفاعلات $(t=0)$ بعد مدة t_1 بعد مدة t_2 $(t_2 > t_1)$

III . العوامل الحركية

تعريف
العامل الحركي عامل أو مقدار له تأثير على سرعة تحول كيميائي وبالتالي على المدة التي يحصل فيها هذا التحول.

درجة حرارة الوسط التفاعلي و التركيز المولي للمتفاعلات هما عاملان حركيان.

☞ يوجد عامل حركي آخر و هو الحفاز(درس لاحق).

خاصية
ترتفع سرعة تحول كيميائي عند الرفع من:
- التركيز المولي للمتفاعلات،
- درجة حرارة الوسط التفاعلي.

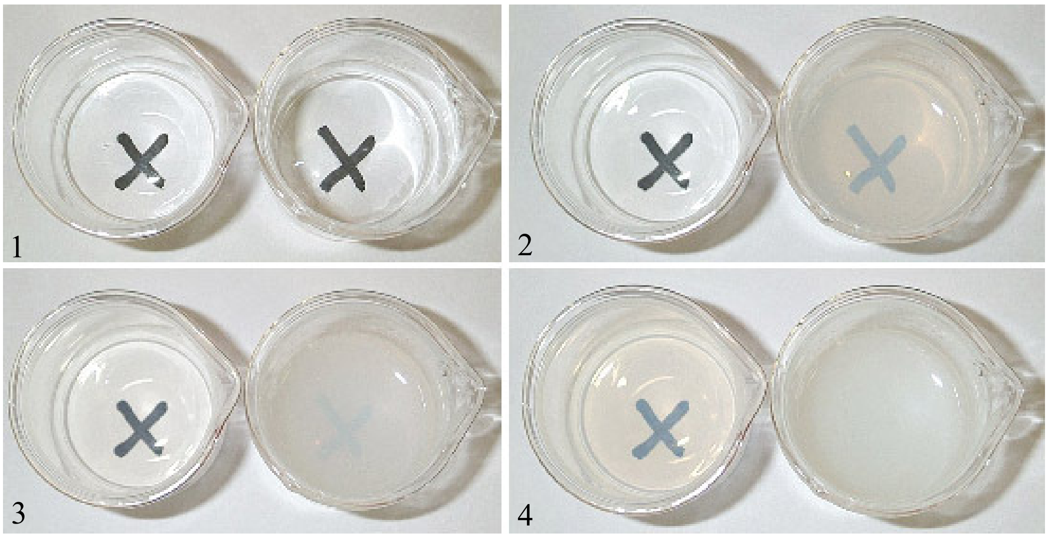
لتوظيف العوامل الحركية تطبيقات عدة مثل:

- في الميدان الصناعي يتم التخليق الصناعي عند درجة حرارة عالية،
- في المختبر،لإيقاف تفاعل كيميائي يبرد الخليط المتفاعل،
- في الحياة اليومية تمكن الثلاجة أو المجمد من إبطاء التفاعلات البيوكيميائية التي تتلف الأغذية.

•مثال 1: تأثير درجة الحرارة على سرعة تفاعل أيونات البرمنغنات في وسط حمضي مع حمض الأكساليك(سرعة اختفاء اللون البنفسجي للمحلول).

في الكأس الذي على اليمين الخليط مغمور في حوض مائي درجة حرارته 40°C و في الكأس الذي على اليسار الخليط مغمور في حوض مائي درجة حرارته 20°C.

•مثال 2: تأثير التركيز المولي للمتفاعلات على سرعة التفاعل بين أيونات الأكسنيوم و أيونات تيوكبريتات الذي ينتج عالق الكبريت ما يجعل المحلول معتما.



على اليمين التركيز البدئي لأيونات التيوكبريتات يساوي ضعفي تركيزها على اليسار.

التتبع الزمني لتحول كيميائي
سرعة التفاعل .

I ـ الطرق المستعملة في الحركية الكيميائية

1 ـ الهدف من الحركية الكيميائية

تهدف الحركية الكيميائية إلى تتبع تطور تحول كيميائي ، وخاصة بتحديد التقدم x بدلالة الزمن t : $x=f(t)$. لهذا الغرض تعتمد طرق فيزيائية وكيميائية .

2 ـ الطرق الفيزيائية :

نستعمل الطريقة الفيزيائية عندما تكون إحدى المقادير الفيزيائية القابلة للقياس في الوسط التفاعلي تتعلق بتركيز بعض الأنواع الكيميائية الموجودة في هذا الوسط .

ـ قياس المواصلة (الوسط التفاعلي يحتوي على أيونات تخضع لتحول)

ـ قياس pH (الوسط التفاعلي يحتوي على أيونات الأكسونيوم H_3O^+ تخضع لتحول حيث يسمح قياس pH بتحديد تركيز هذه الأيونات)

ـ قياس الحجم والضغط) إذا كان التفاعل ينتج أو يستهلك غازات (

ـ قياس الطيف الضوئي (spectrophotométrie) يستعمل عندما يكون أحد الأنواع المتدخلة ملوّنا .

3 ـ الطرق الكيميائية

ترتكز الطرق الكيميائية على معايرة أحد الأنواع الكيميائية خلال التفاعل . وهي طريقة سهلة غير أنها تنطوي على بعض العيوب :

ـ يجب أن يكون تفاعل المعايرة سريع أمام التحول الكيميائي المدروس .

ـ تنجز الدراسة بصفة متقطعة .

ـ تتم العملية على عينات تأخذ من الوسط التفاعلي .

نستخلص أن

الكيميائية خلال الزمن .

II ـ تتبع التطور الزمني لمجموعة كيميائية بواسطة المعايرة .

1 ـ أكسدة أيونات اليودور بواسطة الماء الأوكسيجيني .

نشاط التجريبي 1

<u>المناولة :</u>

نأخذ أربعة كؤوس من حجم 100ml ونصب في كل واحد منها 20ml من الماء المثلج ونضعها في حمام يحتوي على خليط من الماء والثلج .

نأخذ كأس من حجم 200ml ونصب فيها $V_1=50,0ml$ من محلول الماء الأوكسيجيني تركيزه $C_1=5,4.10^{-2}mol/l$ و2ml من حمض الكبريتيك و50,0ml من محلول يودور البوتاسيوم تركيزه $C_2=1,0.10^{-1}mol/l$ ، مع إضافة قليلا من صمغ النشأ و نشغل الميقت ونحرك الخليط التفاعلي .

عند اللحظة $t_1=2min$ ، نأخذ حجما 10,0ml من الخليط التفاعلي ونصبه في إحدى الكؤوس التي تحتوي على الماء المثلج .

ـ نعاير ثنائي اليود المتكون I_2 في العينة المأخوذة ، بواسطة المحلول المعاير لثيوكبريتات الصوديوم .

نسمي V_E حجم المحلول المعاير المضاف للحصول على التكافؤ (تغيير لون الخليط)

ـ نسجل قيمة V_E وندونها في جدول القياسات .

ـ نعيد نفس العملية عند لحظات t مختلفة كما يوضح الجدول أسفله :

t(min)	2,0	6,0	10,0	15,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0
V_E(ml)	1,2	2,7	3,5	4,2	4,7	5,1	5,3	5,4	5,4
$n(I_2)$mol	0,6	1,3	1,7	2,1	2,3	2,5	2,6	2,7	2,7
x(mol)	0,6	1,3	1,7	2,1	2,3	2,5	2,6	2,7	2,7

استثمار النتائج .

1 ــ لماذا نصب العينة من الخليط التفاعلي في الماء المثلج قبل كل معايرة ؟

نقوم بهذه العملية لتوقيف التفاعل باستعمال طريقتين ، التخفيف والبريد وتسمى بعملية الغطس .

2 ــ أنشئ جدول التقدم لتفاعل أيونات ثيوكبريتات وثنائي اليود

المزدوجتان المتدخلتان في هذا التفاعل هما :

$$I_2(aq)/I^-(aq)$$

$$I_2(aq)+2e^- = 2I^-aq)$$

$$S_4O_6^{2-}(aq)/S_2O_3^{2-}(aq)$$

$$S_4O_6^{2-}(aq)+2e^- = S_2O_3^{2-}(aq)$$

خلال المعايرة تتفاعل أيونات ثيوكبريتات مع اليود سيحدث التفاعل في منحى اختفاء اليود وبالتالي فالمعادلة الكيميائية لتفاعل المعايرة هي :

$$I_2(aq)+2e^- = 2I^-(aq)$$

$$S_2O_3^{2-}(aq) = S_4O_6^{2-}(aq)+2e^-$$

$$I_2(aq)+S_2O_3^{2-}(aq) \rightarrow 2I^-(aq)+S_4O_6^{2-}(aq)$$

جدول التقدم للتفاعل خلال المعايرة :

معادلة التفاعل	$I_2(aq)(aq)$	+ $2S_2O_3^{2}(aq)$		→ $2I^-(aq)$	+ $S_4O_6^{2}(aq)$	
حالة المجموعة	التقدم x(mol)	كمية المادة (mol)				
البدئية	0	$n(I_2)$	C V	كبيرة	0	0
خلال التحول	x_i	$n(I_2)-x_i$	$C V-2x_i$	كبيرة	$2x_i$	x_i
النهائية	x_E	$n(I_2)-x_E$	$C V-2x_E$	كبيرة	$2x_E$	x_E

3 ــ عبر عن كمية مادة ثنائي اليود المتكونة $n(I_2)$ بدلالة الحجم المكافئ V_E والتركيز المولي C لمحلول ثيوكبريتات الصوديوم .

نعلم أنه عند التكافؤ لدينا :

$$\begin{cases} C.V_E-2x_E=0 \\ n(I_2)-x_E=0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_E=\dfrac{C.V_E}{2} \\ n(I_2)=x_E \end{cases} \Rightarrow n(I_2)=\frac{C.V_E}{2}$$

4 ــ أنشئ جدول تقدم التفاعل الموافق لهذا التحول وعبر بدلالة التقدم x عن كمية مادة ثنائي اليود $n(I_2)$ المتكونة عند اللحظات t .

في هذا التفاعل تتدخل المزدوجتان : $I_2(aq)/I^-(aq)$ و $H_2O_2(aq)/H_2O(\ell)$

نصف المعادلة لكل مزدوجة :

$$I_2(aq)+2e^- = 2I^-(aq)$$

$$H_2O_2(aq)+2H^+(aq)+2e^- = 2H_2O(\ell)$$

المتفاعلات في هذا التفاعل هما أيون اليودور والماء الأوكسيجيني :

$$H_2O_2\,(aq) + 2H^+\,(aq) + 2e^- = 2H_2O\,(\ell)$$

$$2I^-\,(aq) = I_2\,(aq) + 2e^-$$

$$H_2O_2\,(aq) + 2I^-\,(aq) + 2H^+\,(aq) \rightarrow I_2\,(aq) + 2H_2O\,(\ell)$$

معادلة التفاعل	$H_2O_2\,(aq)$	$+\,2I^-\,(aq)$	$+\,2H^+(aq)$	$\rightarrow I_2\,(aq)$	$+\,2H_2O\,(\ell)$	
حالة المجموعة	التقدم x(mol)	كمية المادة (mol)				
البدئية	0	C_1V_1	C_2V_2	كبيرة	0	0
خلال التحول	x_i	$C_1V_1-x_i$	$C_2V_2-2x_i$	كبيرة	x_i	$2x_i$
النهائية	x_{max}	$C_1V_1-x_{max}$	$C_2V_2-2x_{imax}$	كبيرة	x_{imax}	$2x_{imax}$

جدول تقدم التفاعل :

نلاحظ أن تعبير كمية مادة ثنائي اليود المتكونة عند اللحظة t هو : $n(I_2)=x_i$

من العلاقتين $n(I_2)=x_i$ و $n(I_2)=\dfrac{C.V_E}{2}$ نستنتج أن $x_i=\dfrac{C.V_E}{2}$

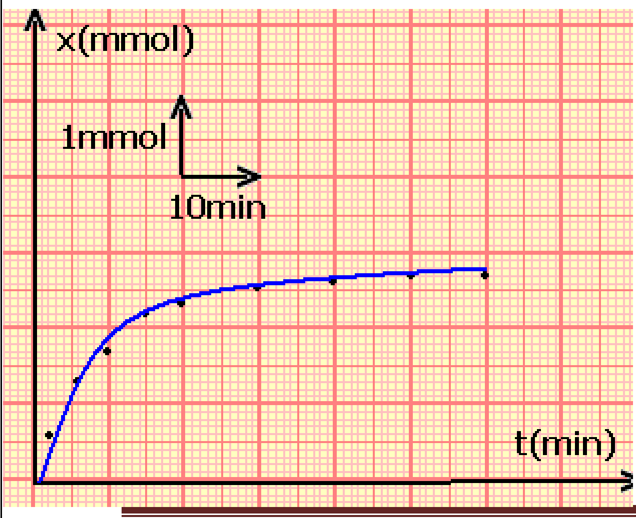
5 ــ أحسب x عند كل لحظة في 100ml من الخليط التفاعلي . اتمم الجدول السابق واستنتج التقدم الأقصى x_{max} .

العلاقة $n(I_2)=\dfrac{C.V_E}{2}$ تمكن من تعيين كمية مادة $n(I_2)$ في عينة i (10ml من الخليط التفاعلي) عند لحظة t .

وبما أن الخليط يتكون من 10 عينات ، فإن كمية مادة ثنائي اليود الكلية في الخليط عند كل لحظة t هي :

$n_t(I_2)=10n(I_2)$ ومنه فإن $n_t(I_2)=5.C.V_E$ أي أن $x=5C.V_E$.

t(min)	2,0	6,0	10,0	15,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0
V_E(ml)	1,2	2,7	3,5	4,2	4,7	5,1	5,3	5,4	5,4
$n(I_2)$mmol	0,6	1,3	1,7	2,1	2,3	2,5	2,6	2,7	2,7
x(mmol)	0,6	1,3	1,7	2,1	2,3	2,5	2,6	2,7	2,7



من خلال الجدول يتبين أن التقدم الأقصى هو $x_{max}=2,7mmol$

6 ــ خط التمثيل المبياني x=f(t) باختيار سلم ملائم .

7 ــ حدد مبيانيا زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$ الذي يوافق تقدما يساوي نصف التقدم الأقصى .

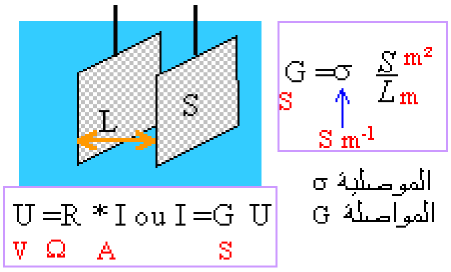
8 ــ خط المماسين للمنحنى x=f(t) عند اللحظتين t=0 و t=30min. كيف يتطور المعامل الموجه لهدين المماسين . ؟

III ـ تتبع تحول كيميائي بقياس الموصلية .

1 ـ تذكير بمواصلة جزء من محلول :

نعبر عن مواصلة جزء من محلول أيوني ، مقطعه S وطوله L بالعلاقة التالية : $G = \rho.\frac{S}{L}$

نسمي المعامل σ بموصلية المحلول ويعبر عنها ب S/m .



والمقدار $\frac{S}{L}$ يسمى بثابتة الخلية $K = \frac{S}{L}$ وهو يتعلق بأبعاد الخلية .

تذكير بالموصلية المولية للأيونات :

يتميز كل أيون في محلول بقده (taille) وشحنته وحالة تميهه وهذا التميز يجعله يختلف عن باقي الأنواع الأيونية الأخرى الموجودة في المحلول ، من حيث قدرته على توصيل التيار الكهربائي .

نعبر عن هذه القدرة بمقدار فيزيائي يسمى بالموصلية المولية الأيونية والتي يرمز ب عنها بالوحدة $S.m^2.mol^{-1}$.

العلاقة بين موصلية المحلول والموليات المولية الأيونية :

في محلول أيوني مائي يحتوي على n نوع من ألأيونات X_i الأحادية الشحنة ، يساهم كل نوع من الأيونات في الموصلية الإجمالية للمحلول بمقدار خاص به هو : $\sigma_i = \lambda_i [X_i]$ ، حيث تكتب موصلية المحلول كالتالي :

$$\sigma = \sum_{i=1}^{n} \sigma_i = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i [X_i]$$

σ : الموصلية الإجمالية للمحلول نعبر عنها $(S.m^{-1})$

$[X_i]$ التركيز المولي للنوع الكيميائي الأيوني X_i ونعبر عنه ب mol/ℓ

λ_i الموصلة المولية الأيونية للنوع الكيميائي X_i ويعبر عنها ب $S.m^2.mol^{-1}$

تمرين تطبيقي :

حدد موصلية محلول مائي لكلور الصوديوم ذي تركيز $C = 10^{-2} mol/\ell$ عند درجة $25°C$ باستعمال قيم الموصليات المولية الأيونية الموجودة في الجدول .

الحل :

لدينا :

$$\sigma=\lambda_{Na^+}\left[Na^+_{aq}\right]+\lambda_{C\ell^-}\left[C\ell^-_{aq}\right]$$
$$\left[Na^+_{aq}\right]=\left[C\ell^-_{aq}\right]=10^{-2}mol/\ \ell=10mol/\ m^3$$
$$\lambda_{Na^+}=5,0.10^{-3}S.m^2.mol^{-1}$$
$$\lambda_{C\ell^-}=7,6.10^{-3}S.m.mol^{-1}$$
$$\sigma=126.10^{-3}S.m^{-1}$$

2ـ تتبع تحول كيميائي بقياس الموصلية

النشاط التجريبي 2

- يمكن تتبع تحول كيميائي بقياس الموصلية بالنسبة للتفاعلات التي يكون خلالها الفرق بين الموصلية المولية للنواتج والموصلية المولية للمتفاعلات مهما .

مثال : يتفاعل 2 ـ كلورو ـ 2 مثيل بروبان مع الماء في خليط من الماء والكحول حسب المعادلة التالية :

$$C_4H_9C\ell(\ell)+2H_2O(\ell)\rightarrow C_4H_9OH(aq)+H_3O^+(aq)+C\ell^-(aq)$$

$\lambda_{C\ell^-}=76,3.10^{-4}S.m^2.mol^{-1}$ و $\lambda_{H_3O^+}=349,8.10^{-4}S.m^2.mol^{-1}$ الفرق بينهما مهم جدا .

تجربة

نصب في كأس 50ml من الماء المقطر و 25ml من الكحول ، ونضع الكأس في حمام مريم درجة حرارته 20°C .

نأخذ حجما V=1,0ml من 2 ـ كلورو ـ 2 مثيل بروبان ونصبه في الكأس عند t=0 لحظة تشغيل الميقت .

نعير مقياس المواصلة ونغمر خلية القياس في الخليط بعد تحريكه ليصبح متجانسا

نسجل بعد كل 200s الموصلية σ(t) للمحلول ونحصل على الجدول التالي :

t(s)	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
□S.m^{-1})	0	0,489	0,977	1,270	1,466	1,661	1,759	1,856	1,905	1,955	1,955

استثمار النتائج :

1 ـ أكتب الصيغة نصف المنشورة لهذا المركب الكيميائي .

2

موصلية المحلول خلال التحول .

الأيونات الأوكسيونيوم وأيونات الكلورور .

3 ـ أنشئ جدول التقدم للتفاعل الحاصل .

معادلة التفاعل		$RCl(l)$ +	$H_2O(l)$	$\longrightarrow$	$ROH(aq)$ +	$H_3O^+(aq)$ +	$Cl^-(aq)$
الحالة	التقدم	كميات المادة					
الحالة البدئية	0	n_0	بوفرة		0	0	0
خلال التحول	x	$n_0 - x(t)$	—		$x(t)$	$x(t)$	$x(t)$
الحالة النهائية	x_{max}	$n_0 - x_{max}$	—		x_{max}	x_{max}	x_{max}

4 ـ استنتج تعبير المواصلة بدلالة $\lambda_{H_3O^+}$ و $\lambda_{C\ell^-}$ و $\left[H_3O^+\right]$ و K .

لدينا تعبير المواصلة $G = \sigma.\frac{S}{L}$ أو $G = K.\sigma$ بحيث أن

$$\sigma = \sigma_{H_3O^+} + \sigma_{C\ell^-} = \lambda_{H_3O^+}\left[H_3O^+\right] + \lambda_{C\ell^-}\left[C\ell^-\right]$$

$$G = K\left(\lambda_{H_3O^+}\left[H_3O^+\right] + \lambda_{C\ell^-}\left[C\ell^-\right]\right)$$

وحسب جدول التقدم لدينا $\left[H_3O^+\right] = \left[C\ell^-\right]$ وبالتالي :

$$G = K\left(\lambda_{H_3O^+}\left[H_3O^+\right] + \lambda_{C\ell^-}\left[C\ell^-\right]\right)$$

$$G = K.\left[H_3O^+\right]\left(\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{C\ell^-}\right)$$

5 ـ استنتج أن موصلية المحلول يمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية :

$$\sigma(t) = \sigma_f.\frac{x(t)}{x_{max}}$$

حسب العلاقة السابقة لدينا : $\sigma(t) = \left[H_3O^+\right]\left(\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{C\ell^-}\right)$

وحسب جدول التقدم لدينا $\left[H_3O^+\right] = \left[C\ell^-\right] = \frac{x(t)}{V}$ يبقى حجم المحلول ثابتا . أي أن

$$\sigma(t) = \frac{x(t)}{V}\left(\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{C\ell^-}\right)$$

عندما يصل التحول إلى الحالة النهائية لدينا : $x_f = x_{max} = n_0$

أي أن $\sigma_f = \frac{x_{max}}{V}\left(\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{C\ell^-}\right)$

من العلاقتين :

$$\frac{\sigma(t)}{\sigma_f} = \frac{x(t)}{x_{max}} \Rightarrow \sigma(t) = \sigma_f.\frac{x(t)}{x_{max}}$$

6 ـ أحسب n_0 . واستنتج التقدم الأقصى x_{max} .

نعطي : الكتلة المولية ل 2 ــ كلورو ــ 2 مثيل بروبان M=92,0g/mol ، كتلته الحجمية $\rho = 0,85g/cm^3$

كمية المادة البدئية ل 2 ــ كلورو ـ 2 مثيل بروبان هي : $n_0 = \frac{m}{M}$

بحيث أن $m = \rho.V$ وبالتالي فإن $n_0 = \frac{\rho.V}{M}$.

تطبيق عددي : $n_0=9,1.10^{-3}mol$

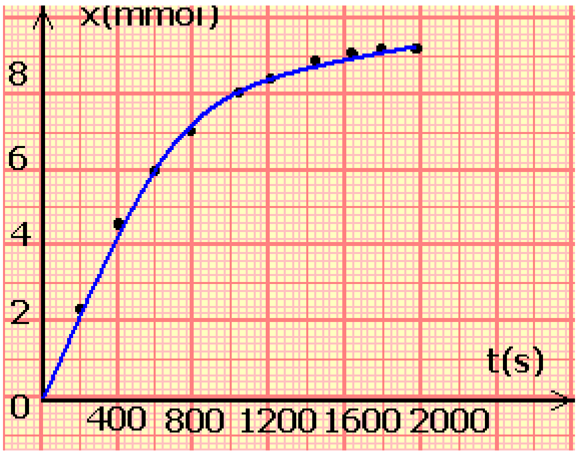
حسب جدول التقدم التقدم الأقصى $x_{max}=n_0=9,2.10^{-3}mol$.

7 ــ استنتج تقدم التفاعل x(t) عند كل لحظة t من لحظات القياس ، ومثل المنحنى x=f(t) على ورق مليمتري .

من خلال الجدول السابق موصلية الخليط التفاعلي عندما يصل غلى الحالة النهائية $\rho_f = 1,955S.m^{-1}$

t(s)	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
x(mmol)	0	2,40	4,60	5,98	6,90	7,82	8,62	8,73	8,96	9,20	9,20

تمثيل المنحنى x=f(t) على ورق مليمتري :



VI ــ سرعة التفاعل وزمن نصف التفاعل .

1 ــ سرعة التفاعل .

يتميز التحول الكيميائي ، بالسرعة التي يحدث بها التفاعل .

كيف نحدد سرعة التفاعل الكيميائي ؟

1 ــ بالنسبة للمنحنى الممثل لتغيرات التقدم x=f(t) بدلالة الزمن ، في التجربة الأولى ، خط المماسين للمنحنى عند اللحظتين t=0 و t=30min. كيف يتطور المعامل الموجه لهدين المماسين . ؟

بالنسبة للماس T_1 :

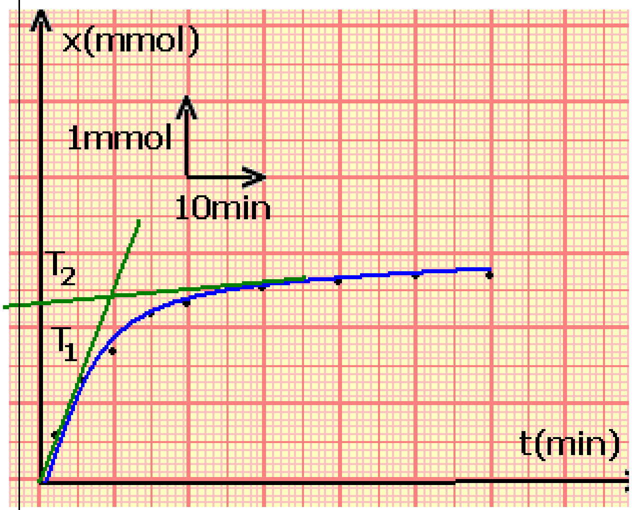
المعامل الموجه لهذا المماس هو :

$$K_1 = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{(2,5-0).10^{-3}}{10-0} = 2,5.10^{-4}mol/min$$

بالنسبة ل T_2 :

المعامل الموجه لهذا المماس هو :

$$K_2 = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{(2,5-2,3).10^{-3}}{30-0} = 0,07.10^{-4} mol/min$$



2 ـ علما أن سرعة التفاعل تتناسب مع المعامل الموجه لمماس المنحنى x=f(t) عند نقطة أفصولها t هل سرعة التفاعل تتزايد أم تتناقص خلال الزمن ؟

من خلال الحساب السابق يتبين أن سرعة التفاعل تتناقص بدلالة الزمن .

تعريف بالسرعة الحجمية للتفاعل : نعرف السرعة الحجمية v عند اللحظة t لتفاعل يحدث داخل حجم ثابت V ، بقيمة مشتقة التقدم x للتفاعل بالنسبة للزمن عند اللحظة t ، مقسومة على الحجم V :

$$v = \frac{1}{V}\frac{dx}{dt}$$

السرعة الحجمية للتفاعل مقدار موجب .

وحدتها في النظام العالمي للوحدات : $mol.m^{-3}.s^{-1}$ حيث يعبر عن V ب m^3 و x بالمول .

هناك وحدات عملية مثلا : $mol.l^{-1}.min$.

يمكن كذلك التعبير عن السرعة الحجمية للتفاعل بدلالة التركز الفعلي لنوع كيميائي

تطبيق :

الفعلي لثنائي اليود I_2 .

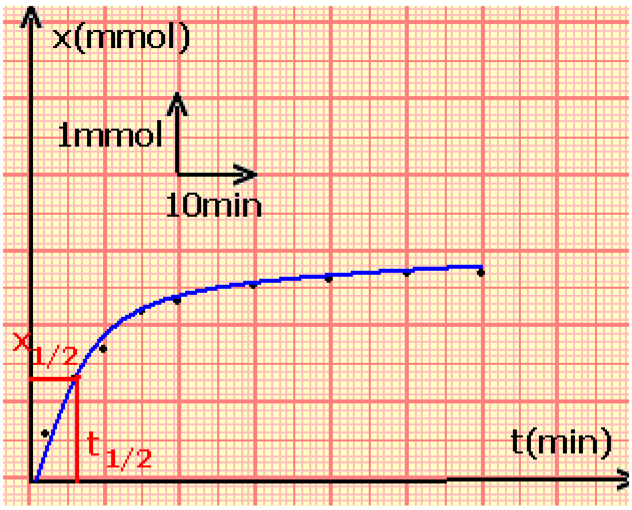
$$v = \frac{1}{V}\frac{dn(I_2)}{dt} = \frac{d\left(\frac{n(I_2)}{V}\right)}{dt} = \frac{d[I_2]}{dt}$$

طرق تحديد سرعة السرعة الحجمية للتفاعل .

ـ **الطريقة المبيانية** : تتطلب رسم المماس للمنحنى x=f(t) وحساب المعامل الموجه لهذا المماس . ثم نقسمه على حجم المحلول الذي يبقى ثابت خلال التحول .

ـ باستعمال مجدول يمكن مباشرة من حساب السرعة v_i انطلاقا من القيم V و t_i و x_i .

تطور سرعة التفاعل خلال الزمن .



يمكن أن نتأكد كذلك من خلال حساب السرعة الحجمية للتحول في النشاط التجريبي الثاني ونتوصل إلى أن سرعة التفاعل تتناقص خلال تطور التحول

إذن بصفة عامة نستخلص أن :

سرعة التفاعل تتناقص خلال التحول الكيميائي .

2 ـ زمن نصف التفاعل .

زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$ ، هو المدة الزمنية التي يصل فيها التقدم x نصف قيمته النهائية

$(x = \frac{x_f}{2})$ x_f

إذا كان التحول كليا (حيث يتم استهلاك الكلي لإحدى المتفاعلات) يوافق التقدم النهائي x_f التقدم الأقصى x_{max} ، أي أنه عند $t_{1/2}$ يكون $x = \frac{x_{max}}{2}$

أهمية زمن نصف التفاعل : يمكن من تقييم المدة الزمنية اللازمة لانتهاء التحول الكيميائي المدروس وهذا يؤدي إلى جعل المجرب يختار الطريقة الملائمة لتتبع تطور التحول المدروس

مثال :

المعايرة يتطلب مدة زمنية معينة .

تعيين زمن نصف التفاعل :

في النشاط التجريبي الأول ، حدد مبيانيا زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$ الذي يوافق تقدما يساوي نصف التقدم الأقصى .

نحسب $x_{max}=2,7mmol$ نستنتج أن $\frac{x_{max}}{2} = 1,35mmol$

على المبيان نبحث عن $t_{1/2}$ الموافقة للقيمة $\frac{x_{max}}{2} = 1,35mmol$

نجد مبيانيا $t_{1/2}=0,6min$

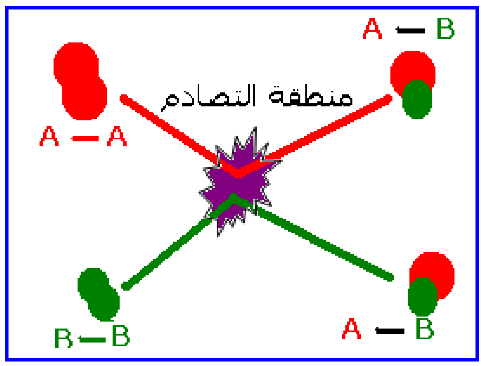
V ـ التفسير الميكروسكوبي

1 ـ الارتجاج الحراري

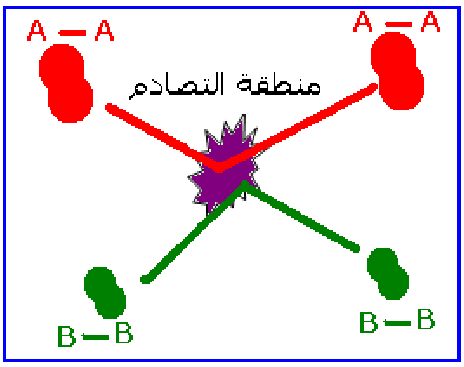
المكونات الكيميائية المتواجدة في مائع تتحرك بسرعة وبصفة دائمة وعشوائية ، مما يجعلها تتصادم فيما بينها بتردد مرتفع . كلما ارتفعت درجة الحرارة أي ارتجاج دقائقي قوي ، كلما زادت قيم سرعات هذه المكونات وتردد تصادمها .

مثال : خليط يتكون من جزيئات A_2 و B_2 تمكن التصادمات من تحويل هذه الجزيئات إلى جزيئات AB .

لكي يكون التصادم فعالا يجب كسر الرابطة A-A والرابطة B-B لتكون رابطتين A-B وهذا يستلزم توفير كمية من الطاقة كافية لكي يكون هناك تصادم فعال .



تصادم فعال



تصادم غير فعال

2 ـ العوامل الحركية

تتعلق سرعة التفاعل باحتمال حدوث تصادم فعال بين المكونات الكيميائية المتفاعلة خلال مدة زمنية معينة . كلما كان هذا الاحتمال كبيرا كلما كانت سرعة التفاعل مرتفعة .

- **تأثير التركيز البدئي**

يزيد تردد التصادمات عندما يزيد عدد المكونات المتواجدة في حجم معين وبالتال حدوث تصادم فعال .

كلما كان تركيز المتفاعلات مرتفعا كلما كانت سرعة التفاعل كبيرة .

- **تأثير درجة الحرارة**

ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى ارتفاع الارتجاج الحراري مما يؤدي إلى الزيادة في تردد التصادمات بين المكونات الكيميائية بالإضافة إلى ارتفاع سرعتها أي الزيادة في طاقتها الحركية الشيئ الذي يؤدي إلى الزيادة في احتمال حدوث تصادمات فعالة . وبالتالي فكلما كانت درجة الحرارة مرتفعة كلما كانت سرعة التفاعل كبيرة .

2 التتبع الزمني لتحول كيميائي

I . تقدم تفاعل كيميائي

تعريف تقدم تفاعل كيميائي مقدار رمزه x يمكن من تمييز تطور المجموعة الكيميائية بين حالتها البدئية و حالتها النهائية.

بالنسبة لتفاعل كيميائي معادلته: $aA + bB \rightarrow cC + dD$

• الجدول الوصفي:

معادلة التفاعل	aA +	bB →	cC +	dD
الحالة البدئية (t=0)	$n_0(A)$	$n_0(B)$	$n_0(C)=0$	$n_0(D)=0$
الحالة في لحظة t	$n(A)=n_0(A)-ax$	$n(B)=n_0(B)-bx$	$n(C)=cx$	$n(D)=dx$

• تعبير التقدم:

$$x = \frac{n(A)_0 - n(A)}{a} = \frac{n(B)_0 - n(B)}{b} = \frac{n(C)}{c} = \frac{n(D)}{d}$$

في حالة خليط تفاعلي في محلول حجمه V ثابت:

$$\boxed{\frac{x}{V} = \frac{[A]_0 - [A]}{a} = \frac{[B]_0 - [B]}{b} = \frac{[C]}{c} = \frac{[D]}{d}}$$

II . السرعة الحجمية لتفاعل كيميائي

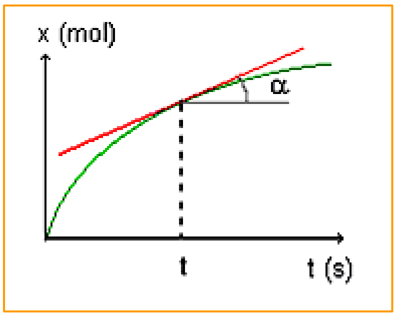
تعريف تعرف السرعة الحجمية لتفاعل كيميائي بالعلاقة التالية: $(mol.l^{-1}.s^{-1})$ $\boxed{v = \frac{1}{V}\cdot\frac{dx}{dt}}$

النسبة $\frac{dx}{dt}$ تمثل المشتقة بالنسبة للزمن للتقدم x و حجم الخليط التفاعلي.

• التحديد المبياني للسرعة الحجمية

تحدد السرعة الحجمية باستعمال التمثيل المبياني لتغيرات تقدم التفاعل بدلالة الزمن.

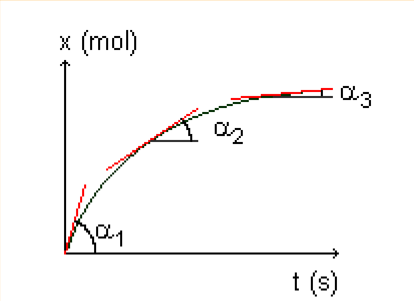
يخط المماس للمنحنى $x=f(t)$ في اللحظة t المدروسة. ميله يمثل قيمة $\frac{dx}{dt}$.



$\frac{dx}{dt}$ تساوي عدديا $\tan\alpha$

- تطور السرعة الحجمية

خاصية في بداية التفاعل تكون سرعة التفاعل قصوى ثم بعد ذلك تتناقص مع الزمن إلى أن تنعدم عند نهاية التفاعل أي حينما يصل التقدم قيمته القصوى.



يتناقص ميل المماس مع الزمن و بالتالي تتناقص سرعة التفاعل.

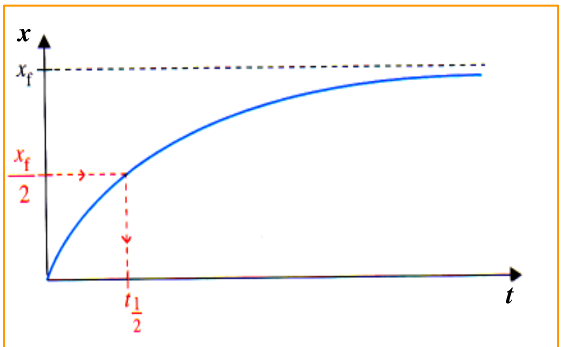
تفسر هذه الخاصية بتأثير التركيز المولي للمتفاعلات على سرعة التفاعل:خلال التفاعل تختفي المتفاعلات فتنخفض تراكيزها و بالتالي تنخفض سرعة التفاعل.

☜ لا تتحقق هذه القاعدة دائما و خاصة في الحالتين التاليتين:

- في حالة تفاعل كيميائي ناشر للحرارة يمكن أن يتغلب العامل الحركي لدرجة الحرارة على العامل الحركي للتركيز المولي،
- في حالة حفز ذاتي أي حينما يلعب أحد النواتج دور الحفاز.

III . زمن نصف التفاعل

تعريف زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$ يساوي المدة اللازمة لكي يأخذ تقدم التفاعل x نصف قيمته النهائية x_f: عند $t = t_{1/2}$: $x = \frac{x_f}{2}$



☜ إذا كان التحول كليا (ما يعني اختفاء المتفاعل الحدي) فإن التقدم النهائي يساوي التقدم الأقصى: $x_f = x_{max}$.

III . طرائق التتبع الزمني لتحول كيميائي

يتعلق الأمر بالتقنيات التي تمكن من تتبع تطور تفاعل كيميائي مع الزمن للحصول على التمثيل المبياني $x = f(t)$ ثم سرعة التفاعل.

- الطريقة الكيميائية

تتمثل في معايرة متفاعل أو ناتج خلال التفاعل. و هي طريقة لا تسمح بتسجيل مستمر لتطور كمية المادة أو التركيز المولي لمتفاعل أو ناتج مع الزمن.

▪ **مثال:** يمكن تتبع تطور تفاعل أيونات اليودور مع الماء الأكسجيني بتحديد تركيز اليود الناتج في لحظات مختلفة.و يتم ذلك بأخذ عينات من الخليط التفاعلي ثم معايرتها بمحلول مختزل بعد توقيف التفاعل بإضافة ماء مثلج إلى العينة.

باعتبار جدول التقدم للتفاعل المدروس يمكن استنتاج تقدم التفاعل في كل لحظة بالعلاقة التالية:

$$x(t) = n(I_2) = [I_2] \cdot V$$

حيث V الحجم الكلي للخليط التفاعلي.

- الطريقة الفيزيائية

تتمثل في قياس مقدار فيزيائي يرتبط بالتركيز المولي لأحد الأنواع الكيميائية في الخليط المتفاعل مثل:

- قياس المواصلة في حالة خليط تفاعلي يحتوي على أيونات،
- قياس ال pH إذا كان التفاعل ينتج أو يستهلك الأيونات H_3O^+ أو HO^-،
- قياس الحجم أو الضغط في حالة تفاعل ينتج غازا.

و هي طرائق تسمح بتسجيل مستمر و مباشر لتطور تحول كيميائي دون التشويش عليه.

☜ تعتبر تقنية قياس ملائمة لتتبع تفاعل كيميائي إذا كانت المدة التي يستغرقها هذا القياس أقل من عُشر زمن نصف التفاعل.

IV. التفسير المجهري للحركية الكيميائية

- الارتجاج الحراري

الدقائق (جزيئات، أيونات، ذرات) المكونة لجسم مائع لها حركة سريعة وغير مرتبة. و بسبب هذه الحركة تمتلك طاقة حركية مجهريه مرتبطة بدرجة الحرارة.

تغير درجة الحرارة يعبر عن تغير في ارتجاج هذه الدقائق. و لهذا سمي هذا الأخير الارتجاج الحراري.

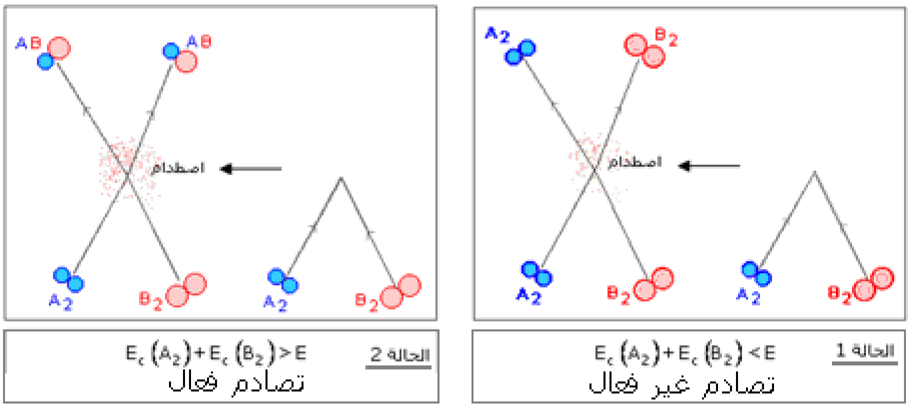
- المظهر الطاقي لتحول

ليكن التفاعل التالي: $A_2 + B_2 \rightarrow 2AB$

لكي يحصل التحول الكيميائي ينبغي أن تكتسب الدقائق طاقة E كافية لتكسير الروابط.

الطاقة المكتسبة من طرف الدقائق مصدرها الطاقة الحركية التي تتوفر عليها.خلال تصادم بين دقيقتين، يمكن أن تحصل إحدى الحالتين التاليتين (أنظر الشكلين التاليين). في الحالة الثانية نقول أن التصادم فعال.

تعريف	التصادمات التي تحدث بين جزيئات المتفاعلات و التي تؤدي إلى حصول تفاعل تسمى تصادمات فعالة.

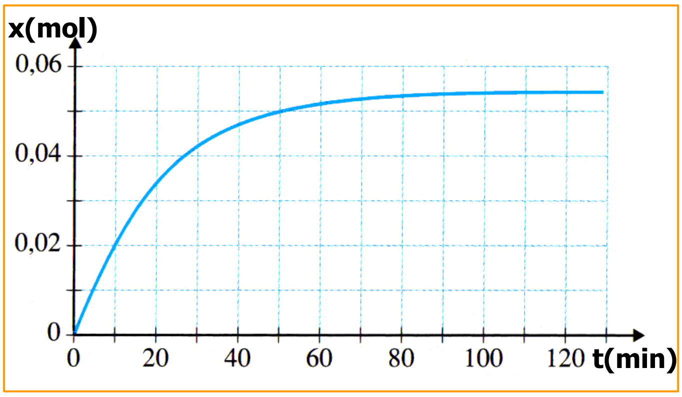


- تفسير تأثير العوامل الحركية:
  - يتزايد عدد التصادمات الفعالة بتزايد عدد الدقائق لوحدة الحجم أي بتزايد تركيز المتفاعلات.
  - يتزايد عدد التصادمات الفعالة بتزايد الطاقة الحركية للدقائق أي بتزايد درجة الحرارة.

و علما أن سرعة التحول ترتفع بارتفاع عدد التصادمات الفعالة، فإن سرعة التحول ترتبط بدرجة الحرارة والتركيز.

تمرين تطبيقي

يمثل المبيان التالي التغيرات بدلالة الزمن لتقدم تفاعل أيونات بروكسو ثنائي كبريتات مع أيونات اليودور في محلول مائي حجمه $V=1\ell$. معادلة التفاعل هي: $S_2O_8^{2-} + 2I^- \rightarrow I_2 + 2SO_4^{2-}$



1- حدد سرعة التفاعل في اللحظتين t = 0 و t = 50 min.أعط تفسيرا لتغير هذه السرعة.

2- حدد زمن نصف التفاعل.

3- ماذا يمكن أن نقول عن التفاعل في اللحظة t = 100 min؟

التحولات الكيميائية التي تحدث في المنحنيين .
Transformation chimique s'effectuant dans les deux sens

I ـ التفاعلات حمض ـ قاعدة (تذكير)

1 ـ المزدوجات قاعدة / حمض

تعريف :

نسمي حمضا حسب برنشتد، كل نوع كيميائي قادر على فقدان بروتون H^+ خلال تفاعل كيميائي .

نسمي قاعدة ، كل نوع كيميائي قادر على اكتساب بروتون H^+ خلال تفاعل كيميائي .

نعرف مزدوجة قاعدة/حمض (HA/A^- أو BH^+/B) بنصف المعادلة حمض ـ قاعدة .

$HA = A^- + H^+$ أو $BH^+ = B + H^+$

تمرين تطبيقي :

أكتب نصف المعادلة للمزدوجات قاعدة/حمض التالية :

$HCO_3^-(aq)/CO_3^{2-}(aq)$ $\qquad$ $H_3O^+(aq)/H_2O(\ell)$

$HCO_3^-(aq) = H^+ + CO_3^{-}(aq)$ $\qquad$ $H_3O^+(aq) = H^+ + H_2O(\ell)$

$CO_{2,}H_2O(aq)/HCO_3^-(aq)$ $\qquad$ $H_2O(\ell)/HO^-(aq)$

$CO_2(aq) + H_2O(aq) = H^+ + HCO_3^-(aq)$ $\qquad$ $H_2O(\ell) = H^+ + HO^-(aq)$

ملحوظة : يلاحظ أن H_2O و HCO_3^- تارة تتصرف كقاعدة وتارة تتصرف كحمض . لذلك نسميها أمفوليتات .

2 ـ التحول حمض ـ قاعدة .

نعرف تفاعل حمض ـ قاعدة كل تحول كيميائي يحدث خلاله انتقال برتونات بين النوع الحمضي والنوع القاعدي .

تمرين تطبيقي :

1 ـ أكتب معادلة التفاعل حمض ـ قاعدة التي يمكن أن تحدث بين :

أ ـ حمض المزدوجة $H_3O^+(aq)/H_2O(\ell)$ و قاعدة المزدوجة $NH_4^+(aq)/NH_3(aq)$

ب ـ حمض المزدوجة $H_2O(\ell)/HO^-(aq)$ و قاعدة المزدوجة $NH_4^+(aq)/NH_3(aq)$

ج ـ حمض المزدوجة $CH_3COOH(aq)/CH_3COO^-(aq)$ و قاعدة المزدوجة $HCO_3^-(aq)/CO_3^{2-}(aq)$

2 ـ حدد المزدوجتان المتدخلتان في التفاعل :

$$HCO_3^-(aq) + HO^-(aq) \rightarrow CO_3^{2-}(aq) + H_2O(\ell)$$

II ـ تعريف وقياس pH محلول مائي .

1 ـ تعريف pH محلول مائي .

الخاصيات الحمضية أو القاعدية لمحلول ما تتعلق بتركيز الأيونات H_3O^+ المتواجدة في المحلول .

$$10^{-14} mol/l \langle [H_3O^+] \langle 1 mol/l$$

نلاحظ أ ن القيم العددية صعبة الاستعمال لكونها جد صغيرة التركيز لذ تم إدراج مقدار pH .

يعرف pH بالنبة للمحاليل المائية ذات التراكيز الضعيفة ، $[H_3O^+] \le 5.10^{-2} mol/\ell$ بالعلاقة التالية : $pH = -\log[H_3O^+]$ ، تمثل $[H_3O^+]$ العدد الذي يقيس التركيز المولي لأيونات الأوكسيونيوم ، ونعبر عنه بالوحدة : mol/ℓ.

$$\mathbf{pH = -\log[H_3O^+] \Leftrightarrow [H_3O^+] = 10^{-pH}}$$

R

$\log 10 = 1$

$\log 1 = 0$

$\log a.b = \log a + \log b$

$\log \frac{a}{b} = \log a - \log b$

$\log 10^x = x \log 10 = x$

$y = 10^x \Leftrightarrow x = \log y$

تذكير لبعض خاصيات الدالة اللوغريتمية

تمرين تطبيقي :

نتوفر على أربعة محاليل مائية (A) و (B) و (C) و (D)

تركيز أيونات الأوكسونيوم في في المحلولين (A) و (B) تباعا هو :

$\left[H_3O^+\right]_A = 2,0.10^{-3}mol/\ell$ و $\left[H_3O^+\right]_B = 5,1.10^{-5}mol/\ell$

pH المحلولين (C) و (D) تباعا هو : $pH_C=2,8$ و $pH_D=8,9$.

1 ـ أحسب pH المحلولين (A) و (B) .

نستعمل الآلة الحاسبة $pH_A=2,7$ و $pH_B=4,3$

2 ـ أحسب قيمة تركيز الأيونات $\left[H_3O^+\right]$ في المحلولين (C) و (D) .

نستعمل الآلة الحاسبة (10^x)

$\left[H_3O^+\right]_C \simeq 1,6.10^{-3}mol/\ell$ و $\left[H_3O^+\right]_D \simeq 1,3.10^{-9}mol/\ell$

3 ـ كيف يتغير تركيز أيونات H_3O^+ عند تزايد pH ؟

عند تزايد قيمة الـpH يتناقص تركيز الأيونات H_3O^+ ، والعكس صحيح .

البرهان :

ليكن A و B محلولان مائيان تركيزهما $\left[H_3O^+\right]_A$ و $\left[H_3O^+\right]_B$ بحيث أن $\left[H_3O^+\right]_B < \left[H_3O^+\right]_A$

لدينا من المتساوية السابقة :

$$\log\left[H_3O^+\right]_A > \log\left[H_3O^+\right]_B$$

$$-\log\left[H_3O^+\right]_A < -\log\left[H_3O^+\right]_B$$

$$pH_A < pH_B$$

<u>2 ـ قياس pH محلول مائي .</u>

يمكن قياس pH محلول مائي من تحديد تركيز أيونات الأوكسونيوم $\left[H_3O^+\right]$ وكذلك الحالة النهائية لتفاعل كيميائي .

عمليا نستعمل طريقتان لقياس pH محلول مائي :

أ ـ استعمال الكواشف الملونة

الكواشف الملونة مواد عضوية عند استعمالها وسط يتغير فيه تركيز أيونات الأوكسونيوم أي يتغير لونها بوضوح .

تجربة : نأخذ ثلاثة محاليل ذات pH مختلف (pH<6,0 ، 6,0<pH<7,6، pH>7,6) نلاحظ بالتتابع أن الكاشف الملون أزرق البروموتيمول BBT يأخذ الألوان التالية : أصفر ، أخضر ، أزرق .

يسمى المجال [6,0 ;7,6] منطقة انعطاف الكاشف الملون أزرق البروموتيمول .

ويسمى اللون الذي يأخذه المحلول في هذا المجال باللوينة الحساسة (اللون الأخضر) .

يمكن كذلك أن نستعمل ورق pH للقياس pH وهو ورق مشبع بالكواشف الملونة حيث نغمره في المحلول المراد قياسه ونقارن اللون الذي يظهر بسلم اللوينة المرافق لورق يمكن ورق pH من تحديد قيمة pH بفارق وحدة .

ب ـ استعمال pH ـ متر .

مبدأ ال pH ـ متر :

يتكون ال pH ـ متر من مجس يكون في غالب الأحيان عبارة عن إلكترود ، مركبة من إلكترودين ، إلكترود مرجعية ذات جهد ثابت وإلكترود للقياس .

يمكن فرق الجهد الكهربائي U=a-b.pH المقاس بين هذين الإلكترودين من قياس pH محلول مائي شريطة أن يعير الجهاز مسبقا ليأخذ الpH ـ متر بعين الاعتبار قيمتي الوسيطين a و b .
والتي تتعلق بدرجة الحرارة وبطبيعة الإلكترودين .
تقدر دقة القياس بواسطة ال pH ـ متر تقريبا ب 0,1 وحدة ، وتكون هذه الدقة من رتبة 0,05 بالنسبة للأجهزة الأكثر دقة .

كيفية استعمال pH ـ متر :

ـ يجب قبل إنجاز أي قياس غسل الإلكترود المركبة بالماء المقطر ومسحها بورق نشاف

ـ يجب تعيير جهاز ال pH ـ متر بواسطة محلولين عياريين لهما pH معروف .

* الضبط الأول يجب أن يكون بواسطة محلول عيار ذي pH=7

* الضبط الثاني يجب أن يكون ب pH=4 إذا كان المحلول المدروس حمضا أو ب pH=9 إذا كان المحلول المدروس قاعديا .

ـ بعد الانتهاء من القياسات يجب غسل الإلكترود بالماء المقطر ووضعها في غمدها الوقائي

ج ـ دقة قياس ال pH .

تمرين :

لنعتبر محلولا مائيا ، حيث يعطي قياس pH المحلول القيمة 3,20 حسب هذه إشارة تكون دقة قياس ال pH من رتبة 0,05 يعني أن $3,15 \le pH \le 3,25$

1 ـ ما هو تأطير تركيز الأيونات H_3O^+ ؟

$$10^{-3,25} \le 10^{-pH} \le 10^{-3,15}$$

$$10^{-3,25} \le \left[H_3O^+\right] \le 10^{-3,15}$$

$$5,623.10^{-4} mol/\ell \le \left[H_3O^+\right] \le 7,079.10^{-4} mol/\ell$$

حساب الارتياب المطلق : :

$$\Delta\left[H_3O^+\right] = \frac{7,079.10^{-4} mol/\ell - 5,623.10^{-4} mol/\ell}{2} = 0,7.10^{4} mol/\ell$$

$$\left[H_3O^+\right] = 6,3 \pm 0,7.10^{-4} mol/\ell$$

2 ـ ما هي دقة تحديد تركيز الأيونات H_3O^+ ؟

حساب دقة القياس أو الارتياب النسبي :

$$\frac{\Delta\left[H_3O^+\right]}{\left[H_3O^+\right]} = \frac{7.10^{-5}}{6,3.10^{-4}} = 0,11$$

III ـ التحولات الكلية وغير الكلية .

1 ـ إبراز تحول غير كلي .

النشاط التجريبي 1

نصب في حوجلة معيرة سعتها V_0=500,0mℓ مملوءة بالماء المقطر ، حجما V=1,00mℓ من حمض الإيثانويك CH_3COOH الموجود في قنينة لصيقتها تحمل المعلومات الموجودة على الوثيقة جانبه .

acide acétique 99 - 100%
pur

C_2H_4O M=60,05g/mol

Point de cristallisation 16,0-16,6°C

CH_3COOH % 99,5 d=1,05

بعد تجانس المحلول المحصل عليه نقيس pH المحلول المحصل عليه بواسطة جهاز pH ـ متر ، نحصل على النتيجة التالية : pH=3,10 .

1 ـ اكتب معادلة التفاعل حمض ـ قاعدة الذي يحدث بين حمض الإيثانويك والماء .

خلال هذا التفاعل يحدث انتقال البروتونات من حمض المزدوجة
$CH_3COOH(aq)/CH_3COO^-(aq)$ إلى قاعدة المزدوجة $H_3O^+(aq)/H_2O(\ell)$.

معادلة التفاعل كالتالي :

$$CH_3COOH(aq)+H_2O(\ell)\rightarrow CH_3COO^-(aq)+H_3O^+(aq)$$

2 ـ أحسب كمية المادة البدئية لحمض الإيثانويك المستعمل .

لدينا كمية المادة البدئية لحمض الإيثانويك هي :

$n_i=\dfrac{m_i}{M}$ بحيث أن

$$d=\frac{\rho_{acide}}{\rho_{eau}}\Rightarrow \rho_{acide}=d.\rho_{eau}$$

$$\rho_{acide}=\frac{m}{V}\Rightarrow m_i=\rho_{acide}.V=d.\rho_{eau}.V$$

$$n_i=\frac{d.\rho_{eau}.V}{M}$$

$$n_i=\frac{1,05\times1\times10^3\times1\times10^{-3}}{60}=1,75.10^{-2}mol$$

3 ـ أنشئ الجدول الوصفي لتطور المجموعة الكيميائية .

انطلاقا من قيمة pH حدد التقدم النهائي للتفاعل .

المعادلة الكيميائية		$CH_3COOH(aq)+H_2O(\ell)\rightarrow CH_3COO^-(aq)+H_3O^+(aq)$				
الحالة	التقدم	كميات المادة				
البدئية	0	n_i	بوفرة		0	0
خلال التفاعل	x	n_i-x	بوفرة		x	x
النهائية	x_{max}	n_i-x_{max}	بوفرة		x_{max}	x_{max}

ـ المتفاعل المحد هو حمض إيثانويك لأن الماء دائما يوجد بوفرة .

ـ التقدم الأقصى :

$$n_i-x_{max}=0\Rightarrow 1,75.10^{-2}-x_{max}=0\Rightarrow x_{max}=1,75.10^{-2}mol/\ell$$

استقرار pH الخليط التفاعلي على القيمة 3,1 يدل على أن المجموعة توجد في حالتها النهائية أي أن تركيز الأيونات $\left[H_3O^+\right]$ في هذه الحالة هو :

$$\left[H_3O^+\right]=10^{-pH}\Rightarrow\left[H_3O^+\right]=10^{-3,1}\simeq7,9.10^{-4}mol/\ell$$

حسب جدول التقدم أن : $\left[H_3O^+\right]=x$ فإن التقدم النهائي للتفاعل هو :

$$n\left(H_3O^+\right)=x_f\Rightarrow x_f=\left[H_3O^+\right]\times V_f$$

$$x_f=1,7.10^{-2}\times500.10^{-3}=4,0.10^{-4}mol$$

3 ـ قارن التقدم النهائي والتقدم الأقصى . ماذا تستنتج ؟

التقدم النهائي أصغر من التقدم الأقصى $x_f < x_{max}$

وتكون كمية حمض الإيثانويك في الحالة النهائية هي :

$$n_f(CH_3COOH) = n_i - x_f \Rightarrow n_f(CH_3COOH) = 1{,}71.10^{-2}\,mol$$

نستنتج أن المتفاعل المحد لم يختف كليا وبالتالي فالتحول المدروس ليس كليا ، فكل المتفاعلات والنواتج تتواجد معا في الحالة النهائية .

<u>2 ـ نسبة التقدم النهائي .</u>

لمقارنة التقدم النهائي لتفاعل مع تقدمه الأقصى نعرف مقدار يسمى **نسبة التقدم النهائي** للتفاعل

ونرمز له بالحرف τ حيث $\tau = \dfrac{x_f}{x_{max}}$.

وهو مقدار بدون وحدة . $0 < \tau < 1$ ويمكن أ، نعبر عنه بنسبة مائوية .

ملحوظة : في حالة $\tau = 1$ أي أن $x_f = x_{max}$ يعني أن التفاعل كلي .

4 ـ أحسب نسبة التقدم النهائي في النشاط السابق .

لدينا حسب العلاقة :

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{4{,}0.10^{-4}}{0{,}0175} = 2{,}3.10^{-2} = 2{,}3\%$$

وهذا يدل على أن 2.3 من بين 100جزيئة لحمض الإيثانويك هي التي تفاعلت مع الماء . أي أن التفاعل محدود (غير كلي)

<u>3 ـ منحيا تطور تحول كيميائي .</u>

المناولة 2 في النشاط التجريبي 1

نضيف حوالي 0,50g من بلورات الإيثانوات الصوديوم CH_3COONa فنلاحظ أن pH يأخذ قيمة 5,10 .

1 ـ كيف تطورت قيمة pH ؟

$$pH_2 > pH_1 \Rightarrow \left[H_3O^+\right]_1 < \left[H_3O^+\right]_2$$

2 ـ في أي منحى تطورت المجموعة الكيميائية ؟

مما يدل على أن المجموعة تطورت في منحى تناقص الأيونات H_3O^+ ، أي في المنحى غير المباشر لمعادلة التفاعل .

3 ـ قارن منحيي التطور في الحالتين .

تطورت المجموعة في منحى اختفاء الأيونات H_3O^+ لأن الحجم بقي ثابتا تقريبا ، وبالتالي فإن المجموعة تطورت في المنحى غير المباشر لمعادلة التفاعل .

$$CH_3COOH(aq) + H_2O(\ell) \underset{\text{(2)}\ \text{المنحى غير المباشر}}{\overset{\text{المنحى المباشر}\ \text{(1)}}{\rightleftarrows}} CH_3CO_2^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

نستنتج أن التفاعل الحاصل يحدث في منحيين نقول أن هذا **<u>التفاعل محدود</u>** وننمذجه بالمعادلة الكيميائية التالية مع استعمال الإشارة التالية : $\rightleftarrows$

ونعمم هذه النتيجة بالنسبة لجميع تفاعلات حمض ـ قاعدة على الشكل التالي :

يحدث خلال تفاعل كيميائي غير كلي ، تفاعل في المنحيين . (المباشر وغير المباشر لمعادلة التفاعل)

IV ـ حالة توازن مجموعة كيميائية .

تعريف حالة توازن مجموعة كيميائية

مثال :

نحضر محلولا (S) لحمض الميثانويك HCOOH بإذابة $n_i = 5,00.10^{-3}mol$ من حمض الميثانويك في الماء الخالص للحصول على 1ℓ من محلول (S) .

تكون المجموعة المحصلة مقر تحول كيميائي ننمذجه بتفاعل معادلته :

$$HCOOH(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons HCO_2^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

يبين قياس pH المحلول (S) أن التقدم النهائي للتفاعل هو : $x_f = 0,86.10^{-3}mol$

ما تركيب المجموعة في الحالة النهائية ؟

ننشئ جدول التقدم لتطور المجموعة الكيميائية :

المعادلة الكيميائية		$HCOOH(aq)$	$+ H_2O(\ell)$	$\rightleftharpoons HCO_2^-(aq)$	$+H_3O^+(aq)$
الحالة	التقدم	كميات المادة			
البدئية	0	$n_i(HCOOH)$	بوفرة	0	0
خلال التفاعل	x	$n_i - x$	بوفرة	x	x
النهائية	x_f	$n_i - x_f$	بوفرة	x_f	x_f

في الحالة النهائية وحسب جدول التقدم لدينا :

$$n_f(HCOO^-) = n_f(H_3O^+) = x_f = 0,86.10^{-3}mol$$

وبالنسبة لحمض الميثانويك لدينا :

$$n_f(HCOOH) = n_i - x_f = 5,00.10^{-3} - 0,86.10^{-3} = 4,14.10^{-3}mol$$

يلاحظ أن المجموعة في الحالة النهائية تتكون من المتفاعلات والنواتج التي تبقى كمية مادتها ثلبتة خلال الزمن أي أن المجموعة الكيميائية في حالة توازن كيميائي .

نعمم هذه النتيجة :

يمكن خلال التحول الكيميائي لبعض المجموعات ، أن نحصل على حالة تتواجد فيها المتفاعلات والنواتج معا بنسب ثابتة . تسمى هذه الحالة النهائية ، حالة التوازن الديناميكي.

V ـ التفسير الميكروسكوبي لحالة التوازن الديناميكي .

تكون مجموعة كيميائية في حالة توازن كيميائي ، إذا بقيت درجة الحرارة والضغط وتراكيز المتفاعلات والنواتج ثابتة خلال الزمن .

كيف نفسر ميكروسكوبيا هذا اللاتطور ؟ وما مدلول التوازن الكيميائي من وجهة النظر الميكروسكوبية ؟

نعتبر المجموعة الكيميائية التالية : $A + B \rightleftharpoons C + D$

ماذا نعني بحدوث تفاعل بين A و B ؟ يعني أن تصادمهما يؤدي إلى تكون نوعان كيميائيان DgC وذلك نتيجة التصادمات الفعالة والتي تؤدي إلى تكسير الروابط فحين هناك تصادمات غير فعالة لا تغير الروابط فكلما كان تراكيز الأنواع الكيميائية كبيرة ، كان احتمال الالتقاء والتصادمات الفعالة كبيرا وبالتالي تكون سرعة التفاعل أكبر .

إذا كانت المجموعة في الحالة البدئية تضم النوعين A و B فإن التفاعل يحدث بدئيا في المنحى المباشر (1) بسرعة v_1 . $A + B \rightarrow C + D$

ينتج عن تزايد تقدم هذا التفاعل ، خلال الزمن :

- تناقص كميتي النوعين A و B وبالتالي تناقص عدد التصادمات الفعالة بينهما مما يؤدي إلى تناقص السرعة v_1 .
- تزايد كميتي النوعين C و D وبالتالي تزايد عدد التصادمات الفعالة بينهما مما يؤدي إلى تزايد السرعة v_2 في المنحى غير المباشر $C + D \rightarrow A + B$

عند تساوي السرعتين v_1 و v_2 فإن كمية مادة المتفاعل A التي يستهلكها التفاعل المباشر تساوي كميته المتكونة خلال التفاعل في المنحى غير المباشر . أي أن التراكيز المولية للمجموعة تبقى ثابتة خلال الزمن . لكن على م
الحرارة والضغط و pH لاتتغير .

3 التحولات الكيميائية التي تحدث في المنحيين

I . التفاعلات حمض - قاعدة

تعريف
حسب نظرية برونشتد الحمض نوع كيميائي قادر على فقدان بروتون H^+ .
و القاعدة نوع كيميائي قادر على اكتساب بروتون.

خاصية
تتكون مزدوجة قاعدة/حمض من حمض A و قاعدة B مترافقين، فهما مرتبطان بنصف المعادلة البروتونية التالية:

$$A \rightleftarrows B + H^+$$

☜ الرمز $\rightleftarrows$ يلخص التحولين الممكنين: $A \rightarrow B + H^+$

$B + H^+ \rightarrow A$

• أمثلة:

A	$\rightleftarrows$	$B + H^+$	المزدوجة A/B
H_2O	$\rightleftarrows$	$HO^- + H^+$	H_2O / HO^-
H_3O^+	$\rightleftarrows$	$H_2O + H^+$	H_3O^+ / H_2O
NH_4^+	$\rightleftarrows$	$NH_3 + H^+$	NH_4^+ / NH_3

تعريف
التفاعل حمض- قاعدة هو عبارة عن انتقال بروتون من حمض ينتمي لمزدوجة إلى قاعدة تنتمي لمزدوجة أخرى:

$$A_1 \rightarrow B_1 + H^+$$
$$B_2 + H^+ \rightarrow A_2$$
$$\overline{A_1 + B_2 \rightarrow A_2 + B_1}$$

•مثال:
تفاعل حمض الإيثانويك مع الماء عبارة عن تفاعل حمض- قاعدة يحدث بين المزدوجتين CH_3COOH / CH_3COO^- و H_3O^+ / H_2O:

- جزيئة حمض الإيثانويك تفقد بروتونا: $CH_3COOH \rightarrow CH_3COO^- + H^+$
- و جزيئة الماء تكتسبه: $H_2O + H^+ \rightarrow H_3O^+$

المعادلة الحصيلة للتفاعل هي إذن: $CH_3COOH + H_2O \rightarrow H_3O^+ + CH_3COO^-$

II. pH المحاليل المائية

- تعريف pH محلول مائي

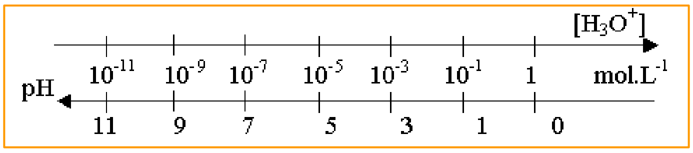
تتعلق الميزة الحمضية أو القاعدية لمحلول مائي بالتركيز المولي لأيونات الأكسنيوم H_3O^+.

تعريف

pH محلول مائي مقدار يقيس التركيز المولي لأيونات الأكسنيوم في هذا المحلول حسب العلاقة التالية: $\boxed{pH = -\log\left[H_3O^+\right]}$

عكسيا معرفة قيمة pH محلول تمكن من تحديد التركيز المولي لأيونات الأكسنيوم في المحلول حسب العلاقة التالية: $\boxed{\left[H_3O^+\right] = 10^{-pH}}$

☞ pH محلول مائي دالة تناقصية للتركيز المولي لهذه الأيونات:



- أمثلة:
  - pH محلول مائي يحتوي على أيونات الأكسنيوم بتركيز يساوي $2,0.10^{-3}\ mol.l^{-1}$ هو:

$$pH = -\log(2,0.10^{-3}) = 2,7$$

  - التركيز المولي لأيونات الأكسنيوم في محلول مائي له $pH = 8,6$ هو:

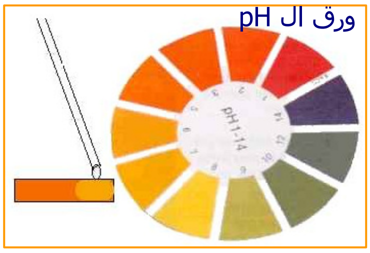
$$\left[H_3O^+\right] = 10^{-8,6} = 2,5.10^{-9} mol.l^{-1}$$

- قياس pH محلول مائي

يمكن تحديد قيمة تقريبية ل pH محلول مائي باستعمال ورق الpH.

و لقياس أكثر دقة يستعمل ال pH – متر.

ورق ال pH



pH - متر

III. التفاعلات الكلية و التفاعلات غير الكلية

- مثال لتفاعل كلي

نعتبر تفاعل كلورور الهيدروجين HCl مع الماء الذي معادلته:

$$HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$$

ننشئ جدول تقدم هذا التفاعل:

$HCl \quad + \quad H_2O \quad \rightarrow \quad Cl^- \quad + \quad H_3O^+$				معادلة التفاعل
c.V	وافرة	0	0	كمية المادة في الحالة البدئية t = 0
c.V - x	وافرة	x	x	كمية المادة خلال التحول
$c.V - x_f$	وافرة	x_f	x_f	كمية المادة في الحالة النهائية

▪ قياس pH محلول مائي لحمض الكلوريدريك تركيزه c معلوم يمكن من تحديد التركيز النهائي لأيونات الأكسنيوم و نتوصل إلى النتيجة التالية:

$$\boxed{[H_3O^+]_f = 10^{-pH} = c} \qquad \text{أي:} \qquad \boxed{pH = -\log c}$$

و باعتبار جدول التقدم نستنتج التقدم النهائي: $x_f = n_f(H_3O^+) = [H_3O^+]_f \cdot V = cV$

حيث V حجم المحلول.

▪ HCl هو المتفاعل الحدي،إذن التقدم الأقصى للتفاعل هو: $x_{max} = n_0(HCl) = cV$

▪ نستنتج: $\boxed{x_f = x_{max}}$

ما يعني أن التفاعل كلي (أو تام).

تعريف يعتبر تحول كيميائي كليا إذا كان التقدم النهائي للتفاعل المقرون بهذا التحول مساويا لتقدمه الأقصى: $\boxed{x_f = x_{max}}$

• مثال لتفاعل غير كلي

نعتبر تفاعل حمض الإيثانويك مع الماء الذي معادلته:

$$CH_3CO_2H + H_2O \rightarrow H_3O^+ + CH_3CO_2^-$$

ننشئ جدول تقدم هذا التفاعل:

$CH_3COOH \;+\; H_2O \;\rightarrow\; CH_3COO^- \;+\; H_3O^+$				معادلة التفاعل
c.V	وافرة	0	0	كمية المادة في الحالة البدئية t = 0
c.V - x	وافرة	x	x	كمية المادة خلال التحول
$c.V - x_f$	وافرة	x_f	x_f	كمية المادة في الحالة النهائية

▪ قياس pH محلول مائي لحمض الإيثانويك يعطي: $[H_3O^+]_f = 10^{-pH} < c$ أي: $\boxed{pH \neq -\log c}$

و باعتبار جدول التقدم نستنتج التقدم النهائي: $x_f = [H_3O^+]_f V < cV$

▪ CH_3COOH هو المتفاعل الحدي،إذن التقدم الأقصى للتفاعل هو: $x_{max} = n_0(CH_3COOH) = cV$

▪ نستنتج: $\boxed{x_f < x_{max}}$

ما يعني أن التفاعل غير كلي (أو محدود).

- نسبة التقدم النهائي

تعريف نسبة التقدم النهائي لتحول كيميائي تساوي النسبة التالية: $\tau = \frac{x_f}{x_{max}}$

بحيث: $0 < \tau \leq 1$

τ عدد بدون وحدة يمكن التعبير عنه بنسبة مئوية.

- **أمثلة:**
  - في حالة تفاعل حمض الكلوريدريك $\tau = 1$، أي تفاعل بنسبة 100 %، و نقول أن HCl حمض قوي.
  - في حالة تفاعل حمض الإيثانويك $\tau < 1$، أي تفاعل بنسبة أقل من 100 %، و نقول أن CH_3CO_2H حمض ضعيف.

IV . التوازن الكيميائي

- التفاعلات التي تحدث في المنحيين

مثال: التفاعل بين حمض الإيثانويك و الماء غير كلي لأنه يحدث في كلا المنحيين.

التفاعل المعاكس يحد التفاعل المباشر. نمثل معادلة التفاعل على الشكل التالي:

$$CH_3CO_2H + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + CH_3CO_2^-$$

☜ الرمز $\rightleftarrows$ يعني هنا أن التفاعلين:

- المباشر: $CH_3CO_2H + H_2O \rightarrow H_3O^+ + CH_3CO_2^-$
- و المعاكس: $CH_3CO_2^- + H_3O^+ \rightarrow CH_3CO_2H + H_2O$
- يحدثان في آن واحد.

تعريف كل تفاعل يكون تقدمه النهائي مختلفا عن تقدمه الأقصى هو تفاعل محدود.

يقترن بكل تحول كيميائي محدود تفاعل يحدث في المنحيين:

$$A + B \rightleftarrows C + D$$

- مفهوم التوازن الكيميائي

عند الحالة النهائية لتحول محدود تتوقف المجموعة الكيميائية ظاهريا عن التطور و تتميز الحالة النهائية بتزامن وجود المتفاعلات و النواتج التي تبقى كميات مادتها ثابتة مع الزمن: نسمي هذه الحالة حالة توازن كيميائي للمجموعة.

تعريف تكون الحالة النهائية لمجموعة كيميائية في تحول محدود حالة توازن كيميائي.

التفسير الحركي لتوازن كيميائي

قرون بتفاعل حمض الإيثانويك مع الماء:

خلال التفاعل المباشر يتناقص تركيز الحمض و بالتالي تنخفض سرعته في حين تتزايد تراكيز النواتج فترتفع سرعة التفاعل المعاكس إلى أن تصبح سرعتاهما متساويتين حيث تصل المجموعة الكيميائية إلى حالة التوازن الكيميائي :حيث تبقى تراكيز مكونات الخليط ثابتة ظاهريا لكن على المستوى الميكروسكوبي يستمر التفاعلان بنفس السرعة: نقول أن التوازن ديناميكي.

نعتبر التوازن الكيميائي الم

حالة توازن مجموعة كيميائية
Etat d’équilibre d’un système chimique

I ـ خارج التفاعل Q_r .

لدراسة حالة مجموعة كيميائية نستعمل مقدار يميز التحول الحاصل في كل لحظة يسمى خارج التفاعل ونرمز له ب Q_r .

1 ـ حالة مجموعة تحتوي فقط على أنواع مذابة .

نعتبر مجموعة كيميائية تخضع لتحول كيميائي ننمذجه بالمعادلة التالية:

$$aA(aq) + bB(aq) \rightleftharpoons cC(aq) + dD(aq)$$

الأنواع الكيميائية A و B و C و D مذابة في محلول مائي . a و b و c و d معاملات التناسبية أو الستوكيومترية .

يعرف خارج التفاعل المقرون بالتفاعل في المنحى (1) المنحى المباشر بالنسبة لحالة معينة للمجموعة الكيميائية بالعلاقة :

$$Q_r = \frac{[C]^c.[D]^d}{[A]^a.[B]^b}$$

[X] يمثل العدد الذي يقيس التركيز المولي الفعلي للنوع X نعبر عنه ب mol/ℓ في حالة معينة للمجموعة. يمكن أن تكون هذه الحالة بدئية $[X_i]$ أو حالة نهائية $[X_f]$ أو حالة ما [X] لمجمعة أثناء تطورها .

تمرين تطبيقي 1

نعتبر التفاعل بين ثنائي اليود $I_2(aq)$ المذاب في الماء و أيونات تيومبريتات $S_2O_3^{2-}(aq)$

معادلة التفاعل هي : $I_2(aq) + 2S_2O_3^{2-}(aq) \rightleftharpoons 2I^-(aq) + S_4O_6^{2-}(aq)$

في اللحظة t ، تكون تراكيز الأنواع الكيميائية المذابة هي :

$$[I_2] = 1,0.10^{-3} mol/\ell$$

$$[S_2O_3^{2-}] = 2,0.10^{-3} mol/\ell$$

$$[I^-] = 5,0.10^{-2} mol/\ell$$

$$[S_4O_6^{2-}] = 2,0.10^{-4} mol/\ell$$

أحسب خارج التفاعل المقرون بالتحول الحاصل في المنحى المباشر (1)؟

جميع الأنواع الكيميائية مذابة في الماء ، إذن خارج التفاعل ، عند اللحظة t المقرون بالتحول الحاصل في المنحى المباشر هو :

$$Q_r = \frac{[I^-]^2.[S_4O_6^{2-}]}{[I_2].[S_2O_3^{2-}]^2} = 125$$

يعبر عن خارج التفاعل بعدد دون وحدة .

تمرين تطبيقي 2

نعتبر التفاعل بين حمض الإيثانويك والماء ننمذجه بالمعادلة التالية :

$$CH_3COOH(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

1 ـ أعط تعبير خارج التفاعل المقرون بالتحول في المنحى المباشر (1).

$$Q_r = \frac{[CH_3COO^-].[H_3O^+]}{[CH_3COOH]}$$

2 ـ نجد في اللحظة t :

$$[CH_3COO^-]_t = [H_3O^+]_t = 1{,}2.10^{-4} mol/\ell$$

$$[CH_3COOH]_t = 9{,}6.10^{-4} mol/\ell$$

أحسب خارج هذا التفاعل في اللحظة t

$$Q_r = 1{,}5.10^{-5}$$

ملحوظة :

عن خارج التفاعل بدون وحدة .

2 ـ حالة مجموعة تحتوي على أجسام صلبة .

نعتبر تفاعل أكسدة فلز النحاس بأيونات الفضة $Ag^+(aq)$ حسب المعادلة التالية :

$$Cu(s) + 2Ag^+(aq) \rightleftharpoons Cu^{2+}(aq) + 2Ag(s)$$

المجموعة غير متجانسة لكونها تضم أجساما صلبة .

في لحظة t تضم المجموعة كل من النوعين الكيميائين المذابين Ag^+ و Cu^{2+} وكذلك الفليزين Ag و Cu .

تركيز الجسم الصلب غير معروف لذا نعوضه بالعدد 1 في خارج التفاعل عند اللحظة t ، وبالتالي يكون خارج التفاعل هو :

$$Q_r = \frac{[Cu^{2+}]}{[Ag^+]^2}$$

<u>اصطلاح</u> :

تمرين تطبيقي 3

1 ـ أكتب معادلات ترسيب كلورور الفضة $AgC\ell$ وكبريتات الفضة Ag_2SO_4 ، ومعادلة دوبان فوسفات الفضة Ag_3PO_4 .

2 ـ أعط في كل حالة ، تعبير خارج التفاعل .

3 ـ خارج التفاعل عند حالة التوازن

<u>1 ـ تعريف :</u>

نسمي خارج التفاعل عند التوازن $Q_{r.eq}$ القيمة التي يأخذها خارج التفاعل عندما تكون المجموعة المدروسة في حالة التوازن .

عندما تصل المجموعة إلى حالة التوازن ، تبقى التراكيز المولية الفعلية لمختلف الأنواع الكيميائية المكونة لهذه المجموعة ثابتة خلال الزمن ، وتأخذ قيما $[X]_{eq}$ معينة يمكن تحديدها بطرق مختلفة مثلا قياس المواصلة أو (الموصلية)

<u>نشاط تجريبي : تحديد قيمة خارج التفاعل بقياس الموصلة .</u>

نغمر خلية قياس في حجم V لمحلول S لحمض الإيثانويك تركيزه $C=1{,}0.10^{-3}mol/\ell$ ، فنجد قيمة موصلية المحلول عند 25°C هي : $\sigma = 5{,}2mS.m^{-1}$.

1 ـ حدد في حالة التوازن التراكيز المولية الفعلية للأنواع الكيميائية المذابة .

نعطي عند درجة الحرارة 25°C :

$$\lambda_{H_3O^+} = 35{,}0mS.m^2.mol^{-1}$$

$$\lambda_{CH_3COO^-} = 4{,}09mS.m^2.mol^{-1}$$

2 ـ استنتج قيمة خارج التفاعل $Q_{r,éq}$ ، عند التوازن .

II ـ ثابتة التوازن المقرونة بتحول كيميائي .

هل تتعلق قيمة خارج التفاعل ، في حالة توازن مجموعة بالحالة البدئية ؟

<u>نشاط تجريبي 2 : تأثير الحالة البدئية على خارج التفاعل في حالة التوازن .</u>

نقيس الموصلية σ لمحاليل حمض الإيثانويك ذات تراكيز مولية مختلفة عند درجة الحرارة 25°C وندون النتائج في الجدول التالي :

$C(mol/\ell)$	$1,0.10^{-2}$	$5,0.10^{-3}$	$2,0.10^{-3}$	$1,0.10^{-3}$
$\sigma(S.m^{-1})$	$16,2.10^{-3}$	$11,4.10^{-3}$	$6,9.10^{-3}$	$4,9.10^{-3}$

1
التفاعل $Q_{r,éq}$ عند التوازن ، بالنسبة لكل محلول .
نعطي :

$$\lambda_{H_3O^+} = 35,0 mS.m^2.mol^{-1}$$

$$\lambda_{CH_3COO^-} = 4,09 mS.m^2.mol^{-1}$$

2 ـ ماذا نستنتج ؟

خلاصة :

عند درجة حرارة معينة ، يكون خارج التفاعل عند التوازن ثابتا أيا كانت الحالة البدئية للمجموعة .

1 ـ تعريف ثابتة التوازن

بالنسبة لتفاعل معين ، يأخذ خارج التفاعل عند التوازن قيمة $Q_{r,éq}$; تسمى ثابتة التوازن K ولاتتعلق إلا بدرجة الحرارة .

تكتب ثابتة التوازن ، بالنسبة لتفاعل في محلول مائي ، منمذج بالمعادلة

$$aA(aq) + bB(aq) \rightleftharpoons cC(aq) + dD(aq)$$

على الشكل التالي : $$K = Q_{r,éq} = \frac{[C]_{éq}^{c}.[D]_{éq}^{d}}{[A]_{éq}^{a}.[B]_{éq}^{b}}$$

ملحوظة : يعبر عن ثابتة التوازن بعدد بدون وحدة .

2 ـ ثابتة التوازن لتحول كلي

نعتبر أن التفاعل كليا عندما يكون تركيز المتفاعل المحد تقريبا منعدما أو يؤول إلى قيمة جد صغيرة أي عندنا تكون K كبيرة جدا ($K>10^4$) .

في هذه الحالة نستعمل سهما منفردا في المعادلة الحصيلة .

مثال : تفاعل كلورور الهيدروجين مع الماء فاعل كلي :

$$HC\ell(g) + H_2O(\ell) \rightarrow C\ell^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

3 ـ ثابتة التوازن في المنحى غير المباشر

نعتبر التفاعلين اللذين يحدثان في المنحيين (1) و (2) :

$$aA(aq) + bB(aq) \rightarrow cC(aq) + dD(aq) \qquad K_1$$

$$cC(aq) + dD(aq) \rightarrow aA(aq) + bB(aq) \qquad K_2$$

عند التوازن يكون تعبير ثابتة التوازن بالنسبة لكل تفاعل هو تعبير خارج التفاعل عند التوازن

$$K_1 = Q_{r1,éq} = \frac{[C]_{éq}^{c}.[D]_{éq}^{d}}{[A]_{éq}^{a}.[B]_{éq}^{b}}$$

$$K_2 = Q_{r2,éq} = \frac{[A]_{éq}^{a}.[B]_{éq}^{b}}{[C]_{éq}^{c}.[D]_{éq}^{d}}$$

من العلاقتين نستنتج أن : $$K_1 = \frac{1}{K_2}$$

تمرين تطبيقي 3

نعتبر تفاعل ترسيب كلورور الفضة حيث ثابتة توازنه هي $K_1=5,5.10^{10}$. بينما تفاعل ذوبان كلورور الفضة في الماء ثابتة توازنه $K_2=1,8.10^{-10}$.

1 ـ أحسب تراكيز الأنواع الأيونية Ag^+ و $C\ell^-$ الموجودة في كل محلول .
2 ـ ماذا تستنتج ؟
أن التفاعل في المنحى المباشر هو تفاعل كلي . بينما في المنحى غير المباشر أي ذوبان كلورور الفضة في الماء هو تفاعل جد محدود .

III ـ الوسائط المؤثرة على نسبة التقدم النهائي

1 ـ تأثير الحالة البدئية على نسبة التقدم النهائي .

نشاط تجريبي 3

نقيس موصلية أربعة محاليل لحمض الإيثانويك ذات تراكيز مختلفة بواسطة مقياس المواصلة ونحصل على الجدول التالي :

$C(mol/\ell)$	$1,0.10^{-2}$	$5,0.10^{-3}$	$2,0.10^{-3}$	$1,0.10^{-3}$
$\sigma(S.m^{-1})$	$16,2.10^{-3}$	$11,4.10^{-3}$	$6,9.10^{-3}$	$4,9.10^{-3}$

1 ـ أحسب نسبة التقدم النهائي بالنسبة لكل حالة
2 ـ ماذا تستنتج ؟

<u>خلاصة :</u>

تتعلق قيمة نسبة التقدم النهائي بالحالة البدئية للمجموعة ، فكلما كانت التراكيز صغيرة ، كانت نسبة التقدم النهائي كبيرة .

2 ـ تأثير ثابتة التوازن على نسبة التقدم النهائي .

كيف تمكن ثابتة التوازن الكيميائي من توقع نسبة التقدم النهائي لتفاعل ؟

<u>نشاط تجريبي 4 : مقارنة نسبة التقدم النهائي لتفاعلين .</u>

نأخذ محلولين حمضين لهما نفس التركيز $C=1,0.10^{-2}mol/\ell$.
محلول S_1 محلول حمض الإيثانويك و محلول S_2 محلول حمض الميثانويك .
ثابتة التوازن لتفاعل حمض الإيثانويك مع الماء : $K_1=1,6.10^{-5}$
ثابتة التوازن لتفاعل حمض الميثانويك مع الماء : $K_2=1,6.10^{-4}$.
نقيس موصليتي المحلولين S_1 و S_2 فنجد تباعا :
$\sigma_1 = 153\mu S.cm^{-1}$ و $\sigma_2 = 510\mu S.cm^{-1}$

1 $_1$ و S_2 ؟
2 ـ حدد نسبة التقدم النهائي لكل تفاعل ؟

$$\lambda_{H_3O^+} = 35,0 mS.m^2.mol^{-1}$$
$$\lambda_{CH_3COO^-} = 4,09 mS.m^2.mol^{-1}$$
$$\lambda_{HCOO^-} = 5,46 mS.m^2.mol^{-1}$$

<u>خلاصة :</u>

كلما كانت ثابتة التوازن كبيرة ، كانت نسبة التقدم النهائي مرتفعة .

4 حالة التوازن لمجموعة كيميائية

I . خارج التفاعل

تعريف

نعتبر مجموعة كيميائية في محلول مائي خاضعة لتحول كيميائي معادلته:

$$aA_{aq} + bB_{aq} \rightleftarrows cC_{aq} + dD_{aq}$$

في حالة ما للمجموعة يعرف خارج التفاعل بالكسر التالي: $Q_r = \dfrac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$

مع الاصطلاحات التالية:

- ✓ في تعبير Q_r لا نمثل سوى الأنواع الكيميائية المذابة في المحلول و لا نعتبر الأنواع الصلبة أو الرواسب أو الغازات غير المذابة في المحلول.
- ✓ التراكيز معبر عنها بالوحدة $mol \cdot l^{-1}$ لكن نعتبر Q_r عددا بدون وحدة.
- ✓ في حالة تدخل الماء(الذي هو المذيب)كمتفاعل أو كناتج، لا نعتبر تركيزه ضمن تعبير Q_r .

• أمثلة:

معادلة التفاعل	خارج التفاعل
$CH_3CO_2H_{(aq)} + NH_{3(aq)} \rightleftarrows CH_3CO_2^-{}_{(aq)} + NH_4^+{}_{(aq)}$	$Q_r = \dfrac{[CH_3CO_2^-] \cdot [NH_4^+]}{[CH_3CO_2H] \cdot [NH_3]}$
$CH_3CO_2H_{(aq)} + H_2O_{(aq)} \rightleftarrows H_3O^+{}_{(aq)} + CH_3CO_2^-{}_{(aq)}$	$Q_r = \dfrac{[H_3O^+] \cdot [CH_3CO_2^-]}{[CH_3CO_2H]}$
$2I^-{}_{(aq)} + S_2O_8^{2-}{}_{(aq)} \rightleftarrows I_{2(aq)} + 2SO_4^{2-}{}_{(aq)}$	$Q_r = \dfrac{[I_2] \cdot [SO_4^{2-}]^2}{[I^-]^2 \cdot [S_2O_8^{2-}]}$
$Zn_{(s)} + Cu^{2+}{}_{(aq)} \rightleftarrows Zn^{2+}{}_{(aq)} + Cu_{(s)}$	$Q_r = \dfrac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$

☜

▪ في المعادلة الكيميائية يشار إلى الحالة الفيزيائية لمكونات المجموعة:

(aq) : مميه (l) : سائل (s) : صلب (g) : غاز

▪ يميز خارج التفاعل حالة المجموعة الكيميائية و يتعلق بتقدم التفاعل.

II . ثابتة التوازن

- تعريف ثابتة التوازن

تتغير قيمة خارج التفاعل خلال تطور المجموعة من قيمته البدئية Q_{r_i} إلى أن تستقر على قيمة ثابتة $Q_{r_{éq}}$ عند بلوغ المجموعة حالة التوازن .

تعريف

ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة تفاعل كيميائي تساوي القيمة التي يأخذها خارج التفاعل عند حالة التوازن للمجموعة الكيميائية: $K = Q_{r_{éq}}$

☜ إذا كان: $K > 1.10^4$ يعتبر التحول كليا.

خاصيات

- تتعلق ثابتة التوازن K بمعادلة التفاعل،
- تتعلق ثابتة التوازن K بدرجة الحرارة للخليط التفاعلي،
- لا تتعلق ثابتة التوازن K بالتركيب البدئي للمجموعة الكيميائية.

حالة بدئية 1 للمجموعة $Q_{r_i}1$	تحول ←	حالة توازن 1 للمجموعة $Q_{r_{éq}}1$
حالة بدئية 2 للمجموعة $Q_{r_i}2$	تحول ←	حالة توازن 2 للمجموعة $Q_{r_{éq}}2$

حالتان بدئيتان بتركيبين مختلفين: $Q_{r_i}1 \neq Q_{r_i}2$

حالتا توازن بتركيبين مختلفين لكن: $Q_{r_{éq}}1 = Q_{r_{éq}}2$

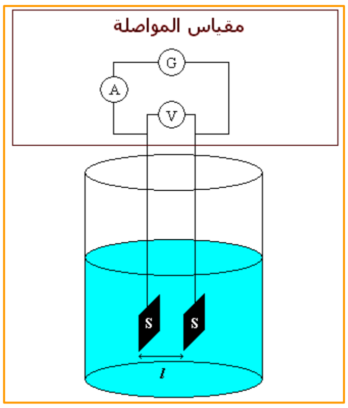
- تحديد ثابتة التوازن بقياس المواصلة

▪ تذكير:

يعبر عن مواصلة جزء من محلول مائي أيوني بالعلاقة التالية:

$$G = \sigma.\frac{S}{L}$$

بالنسبة لخلية مقياس المواصلة S تمثل مساحة صفيحة الخلية و L المسافة بين الصفيحتين و بالنسبة للمحلول σ تمثل موصليته.



يمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل التالي: $\sigma = k.G$ حيث $k = \frac{L}{S}$ ثابتة تميز الخلية.

موصلية محلول مائي أيوني تتعلق بنوعية الأيونات و بتراكيزها حسب العلاقة التالية:

$$\sigma = \Sigma\lambda_i[X_i]$$

λ_i تمثل الموصلية المولية الأيونية لأيون و $[X_i]$ تركيزه المولي في المحلول.

الوحدات:

G (S)
σ $(S.m^{-1})$
$[X_i]$ $(mol.m^{-3})$
λ_i $(S.m^2.mol^{-1})$

- مبدأ الطريقة:

قياس موصلية المحلول عند حالة التوازن يمكن من تحديد تراكيز الأيونات ثم تقدم التفاعل ومنه نستنتج تراكيز باقي الأنواع الكيميائية الأخرى عند حالة التوازن. و بالتالي يمكن تحديد خارج التفاعل عند حالة التوازن.

- مثال:

نعتبر تفاعل حمض الإيثانويك مع الماء الذي معادلته:

$$CH_3CO_2H + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + CH_3CO_2^-$$

ننشئ جدول تقدم هذا التفاعل:

معادلة التفاعل	CH_3COOH	$+ H_2O$	$\rightleftarrows CH_3COO^-$	$+ H_3O^+$
كمية المادة في الحالة البدئية $t = 0$	$c.V$	وافرة	0	0
كمية المادة خلال التحول	$c.V - x$	وافرة	x	x
كمية المادة عند حالة التوازن	$c.V - x_{éq}$	وافرة	$x_{éq}$	$x_{éq}$

تعبير خارج التفاعل عند حالة التوازن:

$$Q_{réq} = \frac{[H_3O^+]_{éq} \cdot [CH_3CO_2^-]_{éq}}{[CH_3CO_2H]_{éq}}$$

تعبير موصلية المحلول:

$$\sigma = \lambda(H_3O^+)\cdot[H_3O^+]_{éq} + \lambda(CH_3COO^-)\cdot[CH_3COO^-]_{éq}$$

باعتبار الجدول الوصفي:

$$[H_3O^+]_{éq} = [CH_3CO_2^-]_{éq} = \frac{x_{éq}}{V}$$

و

$$[CH_3COOH]_{éq} = c - \frac{x_{éq}}{V}$$

نستنتج:

$$[H_3O^+]_{éq} = [CH_3COO^-]_{éq} = \frac{\sigma}{\lambda(H_3O^+)+\lambda(CH_3COO^-)}$$

و

$$[CH_3COOH]_{éq} = c - \frac{\sigma}{\lambda(H_3O^+)+\lambda(CH_3COO^-)}$$

يرمز للتراكيز المولية عند التوازن بالرمز التالي: $[X]_{éq}$

يجوز أيضا استعمال الرمز: $[X]_f$

لأن الحالة النهائية للمجموعة هي حالة التوازن.

III . العوامل المؤثرة على نسبة التقدم النهائي لتفاعل كيميائي

خاصية

تتعلق نسبة التقدم النهائي $\tau = \frac{x_{éq}}{x_{max}}$ بالعاملين التاليين:

- ✓ ثابتة التوازن الموافقة لمعادلة التفاعل،
- ✓ التركيب البدئي للمجموعة الكيميائية.

تمارين

التمرين 1

أعطى قياس pH محلول مائي لحمض HA تركيزه $c = 2,8.10^{-2}\ mol.l^{-1}$ و حجمه $V = 100\ ml$ النتيجة التالية: $pH = 2,8$.

1- أحسب قيمة تقدم التفاعل عند التوازن.
2- أحسب التراكيز المولية لمكونات المجموعة ثم استنتج قيمة ثابتة التوازن.
3- ما قيمة ثابتة التوازن بالنسبة لمحلول تركيزه $c' = 1,0.10^{-2}\ mol.l^{-1}$ ؟

التمرين 2

يتفاعل 0,1 mol من حمض الميثانويك HCOOH مع 0,1 mol من بروبانوات الصوديوم.يمثل أيون البروبانوات القاعدة المرافقة لحمض البروبانويك C_2H_5COOH .

1- أكتب معادلة التفاعل.
2- أكتب تعبير خارج التفاعل و تعبير ثابتة التوازن.
3- عبر عن ثابتة التوازن بدلالة التقدم النهائي للتفاعل.
4- علما أن نسبة التقدم النهائي للتفاعل تساوي 76 %، أحسب ثابتة التوازن.

التمرين 3

أعطى قياس مواصلة جزء من محلول مائي لحمض البنزويك C_6H_5COOH تركيزه $c = 5,00.10^{-3}\ mol.l^{-1}$ النتيجة التالية
$G = 1,60.10^{-4}\ S$. ثابتة خلية مقياس المواصلة تساوي $k = 150\ m^{-1}$.

1- أكتب معادلة تفاعل حمض البنزويك مع الماء.
2- أحسب تراكيز الأنواع الكيميائية في المحلول.
3- أحسب ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة هذا التفاعل.

معطيات: $\lambda_{C_6H_5COO^-} = 3,24\ mS.m^2.mol^{-1}$ و $\lambda_{H_3O^+} = 35,0\ mS.m^2.mol^{-1}$

التمرين 4

لمحلول مائي لحمض الفلوريدريك HF تركيزه $c = 2,0.10^{-2}mol.l^{-1}$: $pH = 2,5$.نعتبر الحجم $V = 500\ ml$ من هذا المحلول.

1- أكتب معادلة تفاعل حمض الفلوريدريك مع الماء.
2- أنشئ الجدول الوصفي لتقدم التفاعل.
3- حدد التركيب المولي المجموعة الكيميائية في اللحظة التي يكون فيها تقدم التفاعل هو $x = 1,0.10^{-3}\ mol$.
4- حدد خارج التفاعل في نفس اللحظة.
5- أحسب ثابتة التوازن.
6- هل المجموعة في حالة توازن عندما يكون $x = 1,0.10^{-3}\ mol$؟ علل جوابك.

5 التحولات المقرونة بالتفاعلات حمض - قاعدة

I. الجذاء الأيوني للماء

• التحلل البروتوني الذاتي للماء

لجزيئة الماء خاصية أمفوليت فهي حمض المزدوجة H_2O/HO^- و قاعدة المزدوجة H_3O^+/H_2O.

تعريف

التحلل البروتوني الذاتي للماء هو تفاعل حمض- قاعدة يحدث بين جزيئات الماء يؤدي إلى توازن كيميائي معادلته: $2H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + OH^-$

☜ معادلة التحلل البروتوني الذاتي للماء هي المعادلة الحصيلة للانتقال البروتوني الذي يحصل بين مزدوجتي الماء:

$$H_2O \rightleftarrows HO^- + H^+$$
$$H_2O + H^+ \rightleftarrows H_3O^+$$
$$\overline{H_2O + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + HO^-}$$

خاصية

في الماء الخالص: $\left[H_3O^+\right]_{éq} = \left[HO^-\right]_{éq}$

• الجذاء الأيوني للماء

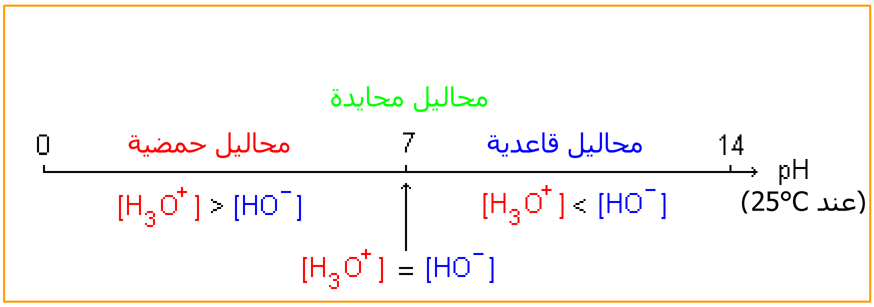
تعريف

ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة التحلل البروتوني الذاتي للماء تسمى الجذاء الأيوني للماء و تعبيرها: $K_e = \left[H_3O^+\right]_{éq} \cdot \left[HO^-\right]_{éq}$

☜
- يطبق هذا التعريف على جميع المحاليل المائية.
- K_e ثابتة لا تتعلق إلا بدرجة الحرارة، عند درجة الحرارة 25°C: $K_e = 10^{-14}$
- يميز التوازن الأيوني للماء أيضا بالعدد: $pK_e = -\log K_e$

و عند درجة الحرارة 25°C: $pK_e = 14$

• سلم ال pH



II. ثابتة الحمضية

تعريف

ثابتة الحمضية لمزدوجة A/B هي ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة تفاعل حمض هذه المزدوجة مع الماء:

$$A_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftarrows H_3O^+_{(aq)} + B_{(aq)}$$

و تعبيرها هو:

$$K_A = \frac{[H_3O^+]_{eq} \cdot [B]_{eq}}{[A]_{eq}}$$

أيضا تميز مزدوجة A/B بالثابتة:

$$pK_A = -\log K_A$$

K_A و pK_A عددان بدون وحدة.

- <u>أمثلة</u>:

المزدوجة	pK_A	K_A
H_3O^+/H_2O	0,0	1,0
H_2O/HO^-	14,0	$1,0.10^{-14}$
CH_3COOH/CH_3COO^-	4,8	$1,6.10^{-5}$

- <u>تعبير pH محلول مائي لمزدوجة A/B</u>:

من تعبير ثابتة الحمضية تستنتج العلاقة التالية:

$$pH = pK_A + \log\frac{[B]_{eq}}{[A]_{eq}}$$

III. ثابتة التوازن لتفاعل حمض - قاعدة

نعتبر التفاعل بين حمض مزدوجة A_1/B_1 و قاعدة مزدوجة A_2/B_2.يؤدي هذا التفاعل إلى توازن معادلته:

$$A_{1(aq)} + B_{2(aq)} \rightleftarrows B_{1(aq)} + A_{2(aq)}$$

ثابتة هذا التوازن هي:

$$K = \frac{[B_1]_{eq} \cdot [A_2]_{eq}}{[A_1]_{eq} \cdot [B_2]_{eq}}$$

و باعتبار ثابتتي الحمضية الموافقتين للمزدوجتين:

$$K_{A1} = \frac{[H_3O^+]_{eq} \cdot [B_1]_{eq}}{[A_1]_{eq}} \quad \text{و} \quad K_{A2} = \frac{[H_3O^+]_{eq} \cdot [B_2]_{eq}}{[A_2]_{eq}}$$

يستنتج التعبير التالي:

$$K = \frac{K_{A_1}}{K_{A_2}} = 10^{pK_{A_2} - pK_{A_1}}$$

- **مثال:**

نعتبر تفاعل حمض الإيثانويك مع أيونات الهيدروكسيد في محلول مائي.

معادلة التفاعل: $CH_3COOH_{(aq)} + HO^-_{(aq)} \rightleftarrows CH_3COO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)}$

المزدوجتان المتدخلتان هما: CH_3COOH / CH_3COO^- : $pK_{A1} = 4,8$

و H_2O / HO^- : $pK_{A2} = 14,0$

ثابتة التوازن هي:
$$K = \frac{[CH_3COO^-]_{eq}}{[CH_3COOH]_{eq} \cdot [HO^-]_{eq}}$$

و قيمتها هي:
$$K = 10^{pK_{A_2} - pK_{A_1}} = 10^{14,0-4,8} = 1,7.10^9$$

يلاحظ أن $K > 1,0.10^4$: يمكن اعتبار التفاعل كليا في المنحى المباشر.

IV. قوة حمض أو قاعدة في محلول مائي

قوة حمض (أو قاعدة) هي مدى قابليته(ها) لفقدان (اكتساب) بروتون.

يمكن تمييز قوة حمض أو قاعدة باستعمال نسبة التقدم النهائي أو الـpH أو ثابتة الحمضية.

- مقارنة قوة حمضين

نسبة التقدم النهائي لتفاعل حمض مع الماء هي:
$$\tau = \frac{[H_3O^+]_{éq}}{c} = \frac{10^{-pH}}{c}$$

قياس pH المحلول و معرفة تركيزه c يمكنان من تحديد نسبة التقدم النهائي.

خاصية 1
عند نفس التركيز يكون حمض A_1 أقوى من حمض A_2 إذا كان $\tau_1 > \tau_2$ أي $pH_1 < pH_2$.

خاصية 2
عند نفس التركيز و نفس درجة الحرارة الحمض الأقوى هو الذي له أكبر ثابتة حمضية أي أصغر ثابتة pK_A.

- مقارنة قوة قاعدتين

نسبة التقدم النهائي لتفاعل قاعدة مع الماء هي:
$$\tau = \frac{[HO^-]_{éq}}{c} = \frac{K_e}{c \cdot 10^{-pH}} = \frac{10^{pH-pKe}}{c}$$

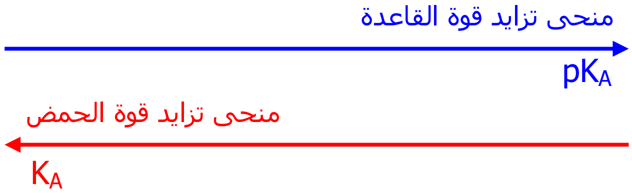
خاصية 3

عند نفس التركيز تكون قاعدة B_1 أقوى من قاعدة B_2 إذا كان $\tau_1 > \tau_2$ أي $pH_1 > pH_2$.

خاصية 4

عند نفس التركيز و نفس درجة الحرارة القاعدة الأقوى هي التي لها أصغر ثابتة حمضية أي أكبر ثابتة pK_A.

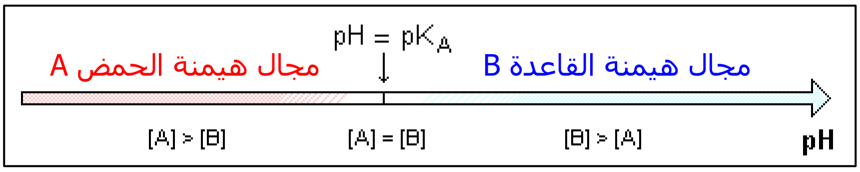
☜ كلما ازدادت قوة حمض كلما تناقصت قوة القاعدة المرافقة:



V. مجالات الهيمنة و مخطط التوزيع لحمض و القاعدة المرافقة

- **مجالات الهيمنة**

تحدد العلاقة $\log\frac{[B]_{eq}}{[A]_{eq}} = pH - pK_A$ ثلاثة مجالات و ذلك حسب pH المحلول:

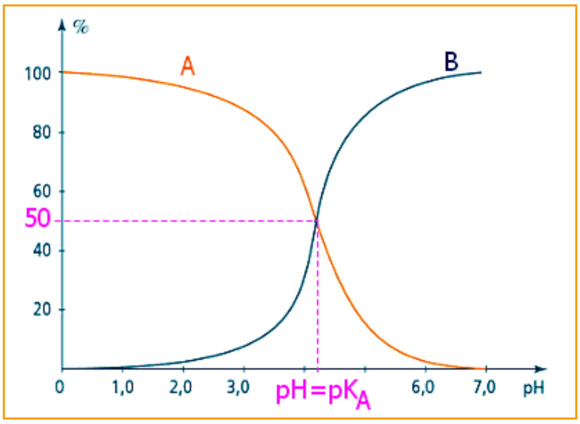


- **مخطط التوزيع**

يمثل هذا المخطط تغيرات النسبة المئوية لتركيز الحمض و القاعدة المرافقة بدلالة pH المحلول.

- النسبة المئوية لتركيز الحمض: $\%(A) = \frac{[A]_{eq}}{[A]_{eq}+[B]_{eq}} \times 100$

- النسبة المئوية لتركيز القاعدة: $\%(B) = \frac{[B]_{eq}}{[A]_{eq}+[B]_{eq}} \times 100$



عند نقطة تقاطع المنحنيين: $\%(A) = \%(B) = 50\%$

أي: $[A]_{eq} = [B]_{eq}$

أي: $pH = pK_A$

VI. الكواشف الملونة

تعريف

الكاشف الملون هو مزدوجة حمض- قاعدة رمزها العام HIn/In^- تتميز باختلاف لوني الشكلين الحمضي HIn و القاعدي In^-.

معادلة التوازن الكيميائي للنوعين الحمضي و القاعدي هي:

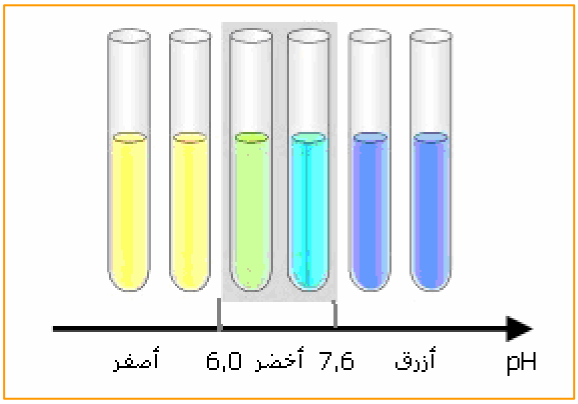
$$HIn_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftarrows H_3O^+_{(aq)} + In^-_{(aq)}$$

- مجال الانعطاف لكاشف ملون

تعريف

هو مجال ال pH حيث يتغير لون الكاشف الملون تدريجيا من لون الشكل الحمضي HIn إلى لون الشكل القاعدي In^-.

- مثال: مجال الانعطاف لأزرق البروموتيمول:

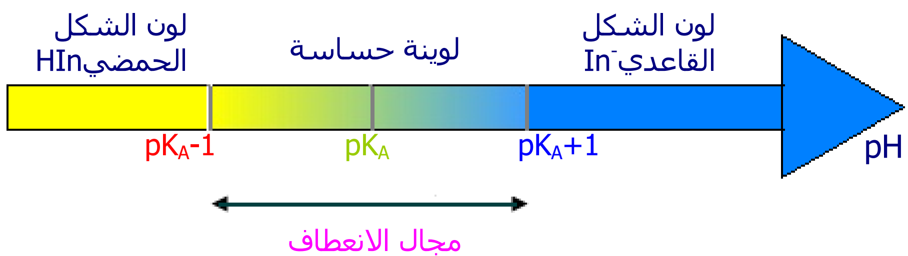


- تحديد مجال الانعطاف نظريا

يتعلق اللون الذي يأخذه كاشف ملون في محلول مائي ب pH المحلول حسب العلاقة التالية:

$$\log\frac{[In^-]_{eq}}{[HIn]_{eq}} = pH - pK_A$$

بقبول أن أحد الشكلين يفرض لونه إذا كان تركيزه يساوي على الأقل عشر مرات تركيز النوع الآخر و بتطبيق العلاقة أعلاه يستنتج مجال الانعطاف النظري الممثل في المخطط التالي:



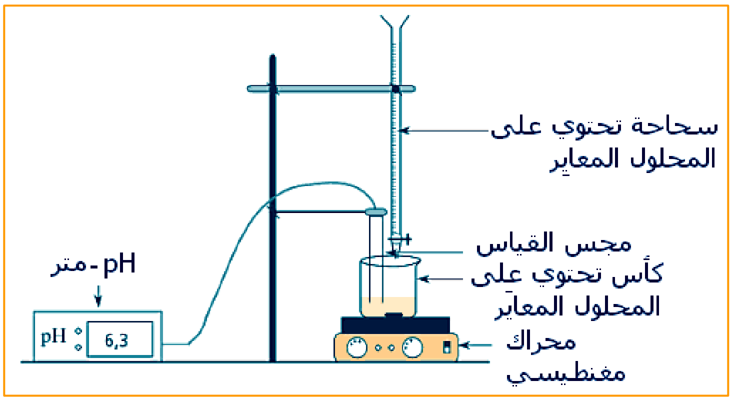
VII. المعايرة الحمضية - القاعدية

تعريف

معايرة حمض أو قاعدة هي تحديد تركيز الحمض أو القاعدة في محلول عن طريق إجراء تفاعل حمض- قاعدة يسمى تفاعل المعايرة و الذي ينبغي أن يكون كليا و سريعا.

يعاير حمض بقاعدة و تعاير قاعدة بحمض.

- التركيب التجريبي



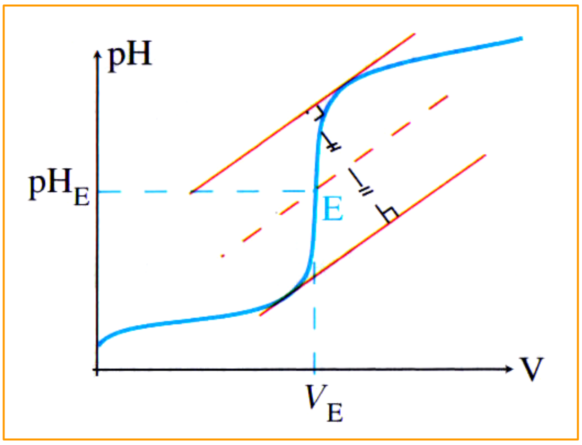
- التكافؤ الحمضي - القاعدي

تعريف

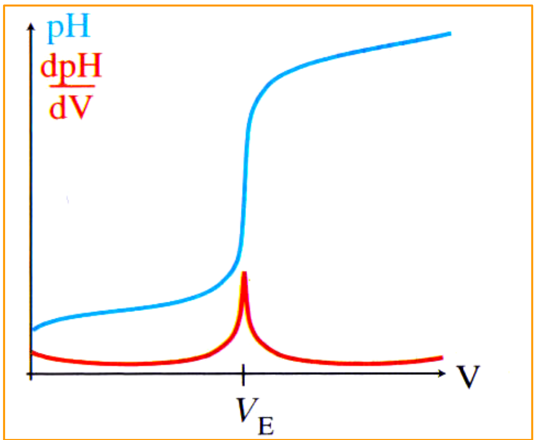
يحصل التكافؤ عند مزج النوعين المعاير و المعايَر بنسب موافقة للمعاملات التناسبية لمعادلة تفاعل المعايرة.

في حالة معاملات تناسبية متساوية علاقة التكافؤ هي: $c_A V_A = c_B V_B$

تحدد نقطة التكافؤ بطريقتين:



طريقة المماسات لتحديد نقطة التكافؤ E



طريقة الدالة المشتقة لتحديد حجم التكافؤ V_E

- استعمال كاشف ملون

لتكافؤ باستعمال كاشف ملون مناسب بدل ال pH - متر.

تسمى هذه الطريقة المعايرة الملوانية.

قاعدة

الكاشف الملون الملائم لمعايرة حمضية-قاعدية هو الذي مجال انعطافه يضم pH نقطة التكافؤ.

تضاف قطرات من الكاشف الملون المناسب قبل بدء المعايرة إلى الكأس، ثم يسكب المحلول المعايَر تدريجيا حتى يتغير لون الكاشف: انعطافه يدل على حصول التكافؤ.

و يقرأ حجم التكافؤ على السحاحة المدرجة.

يمكن تحديد حجم ا

تضمين الوسع
Modulation d’amplitude

I ـ مبدأ تضمين الوسع

1 ـ 1 الإبراز التجريبي

أ ـ الدارة المتكاملة المنجزة للجداء AD633

تعتبر دالتين $s(t)$ و $p(t)$ حيث تمثل $s(t)$ الإشارة التي تضم المعلومة و $p(t)=P_m\cos(2\pi F_p.t)$ الموجة الحاملة .

نقوم بعملية الجمع $s(t)+p(t)$ وبعملية الجداء $s(t).p(t)$.

1 ـ تحقق من أن عملية الجداء تمكن من الحصول على دالة $u(t)$ ذات وسع يتغير مع الزمن $u(t)=U_m(t)\cos(2\pi F_p.t)$.

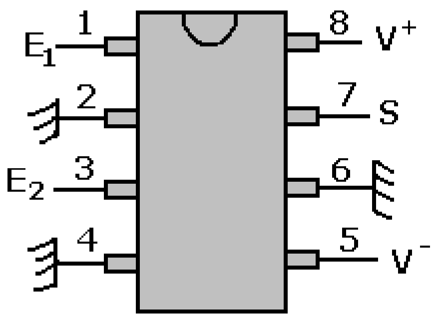
ما اسم هذه العملية ؟

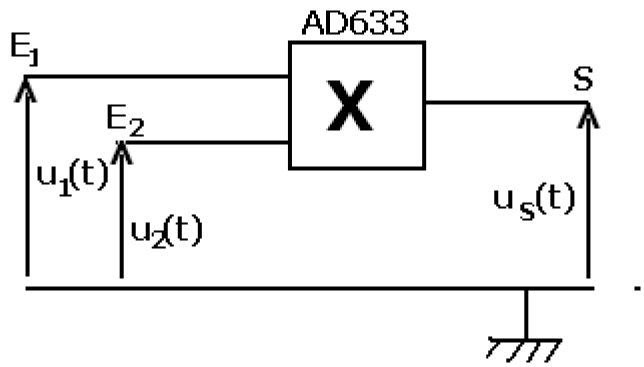
2 ـ تقوم الدارة الكهربائية المتكاملة AD633 بإنجاز جداء دالتين ، وهي عبارة عن علبة سوداء تسمى بقة إلكترونية Bus ، تتوفر على ثمانية مرابط ، يتم التعرف عليها بواسطة علامة توجد أعلى الدارة وتدعى علامة الترقيم .

نأخذ الدارة المتكاملة AD633 بحيث تكون علامة الترقيم إلى أعلى ، ونرقم المرابط الثمانية من الرقم 1 إلى الرقم 8 ، في المنحى المعاكس لعقارب الساعة .

2 ـ 1 حدد أرقام المرابط التالية : المدخلان E_1 و E_2 ، المدخل الذي يجب ربطه بتغذية سالبة -15V والمدخل الذي يجب ربطه بتغذية موجبة +15V والمخرج S .

2 ـ 2 كيف يجب ربط المرابط 2 و 4 و 6 ؟





خلاصة :

تمكن الدارة المتكاملة AD633 من الحصول عند مخرجها S على دالة $u_s(t)$ تتناسب اضطرادا مع جداء الدالتين $u_1(t)$ و $u_2(t)$ المطبقين عند مدخليهما E_1 و E_2 .

$u_s(t)=k.\ u_2(t).\ u_1(t)$ حيث k ثابتة التناسب وهي تتعلق بالدارة الكهربائية المتكاملة .

ب ـ الإبراز التجريبي لتضمين الوسع

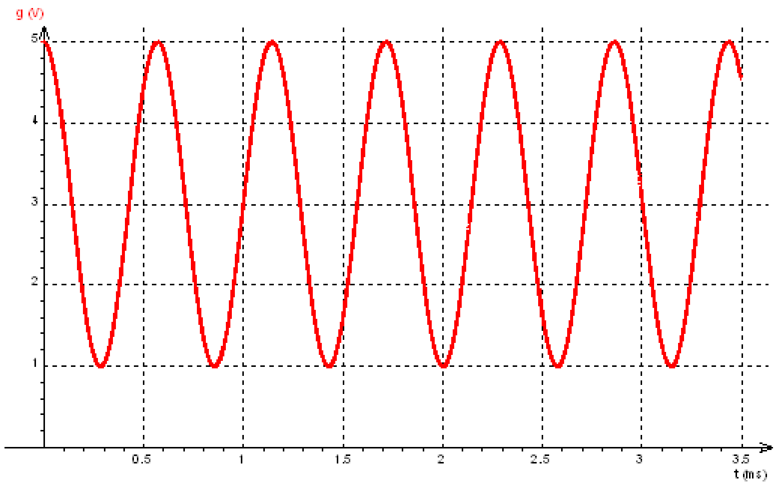
نشاط تجريبي 1 : إنجاز تضمين الوسع

ننجز التركيب التجريبي جانبه حيث :

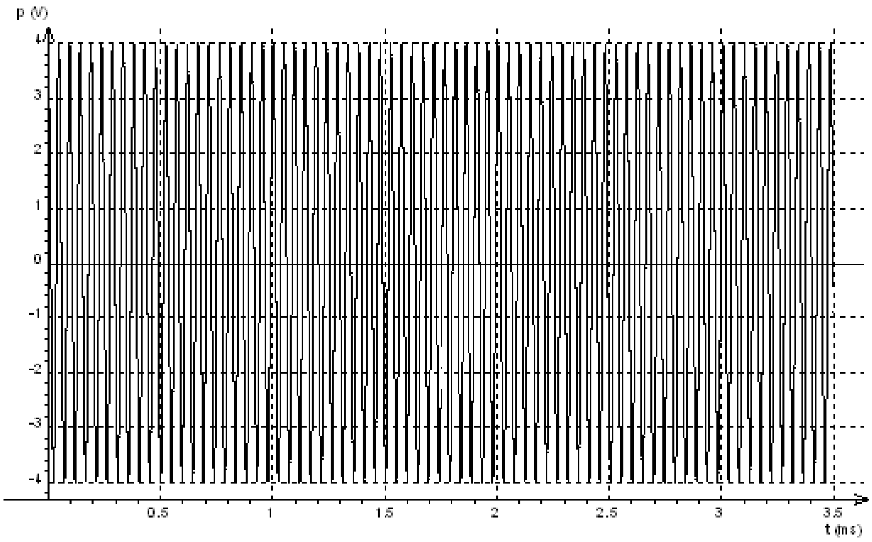
* يطبق مولد GBF_1 في المدخل E_1 توتر $s(t)+U_0$.

$s(t)$ إشارة جيبية وسعها $S_m=2V$ وترددها $f=100Hz$ و U_0 توتر مستمر ضبط بواسطة GBF_1 على القيمة $U_0=3V>U_m$

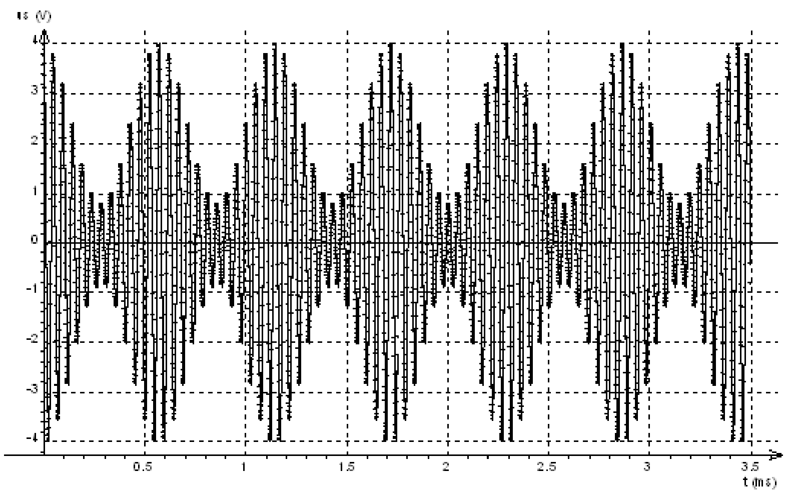
نعاين على شاشة راسم التذبذب وفي المدخل Y_1 التوتر $s(t)+U_0$ ، فنحصل على الإشارة (الشكل 1)



* نطبق في المدخل E_2 ، بواسطة GBF_2 توتر جيبي $p(t)$ وسعه $P_m=4V$ وتردده $F_P=1,2kHz$ ($F_P>10f$)
نعاين $p(t)$ في المدخل Y_2 لراسم التذبذب فنحصل على الشكل (2)



نعاين على شاشة راسم التذبذب توتر الخروج $u_s(t)$ فنحصل على الشكل (3)



1 ـ صف التوتر $u_s(t)$ المحصل عند الخروج .
2 ـ قارن غلاف التوتر $u_s(t)$ مع الإشارة التي تضم المعلومة $s(t)$.
5 ـ ما التوتر الحامل ؟ وما التوتر المضمّن ؟

خلاصة :

التوتر المحصَّل عند مخرج الدارة المتكاملة المنجزة للجداء ، توتر مضمَّن الوسع يضمّن التوتر ذو التردد المنخفض وسع التوتر ذا التردد العالي والذي يسمى التوتر الحامل .

1 ـ 2 تعبير التوتر المضمَّن

عند المدخل E_1 للدارة المتكاملة ، لدينا $s(t)+U_0$ مع أن U_0 المركبة المستمرة للتوتر و $s(t)=S_m\cos(2\pi f_s t)$.

والتوتر المطبق عند المدخل E_2 هو : $p(t)=P_m\cos(2\pi F_P t)$

عند المخرج S لدينا التوتر $u_s(t)=k.p(t).[s(t)+U_0]$

$$u_s(t)=k\times P_m\times(s(t)+U_0).\cos(2\pi F_P t)$$

نعلم أن التعبير العام لتوتر مضمَّن الوسع هو : $u(t)=U_m.\cos(2\pi F_P t)$ فإن

$$U_m(t)=k\times P_m\times(s(t)+U_0)$$

نضع $a=k\times P_m$ و $b=U_0$

فيصبح الوسع : $U_m(t)=a\times(s(t)+b)$ أي عبارة عن دالة تآلفية للتوتر المضمِّن $s(t)$. و $U_m(t)$ الوسع المضمَّن أي أنه يعيد تغيرات $s(t)$

1 ـ 3 حالة توتر مضمِّن جيبي .

نعتبر أن التوتر المضمِّن دالة جيبية على الشكل التالي : $s(t)=S_m\cos(2\pi f_s t)$ يصبح الوسع المضمَّن هو :

$$U_m(t)=k.P_m\times(S_m\cos(2\pi f_s t)+U_0)\Rightarrow U_m(t)=k.P_m.U_0\left(\left(\frac{S_m}{U_0}\right)\cos(2\pi f_s t)+1\right)$$

نضع : $A=k.P_m.U_0$ و $m=\frac{S_m}{U_0}$ ، فتصبح العلاقة على الشكل التالي :

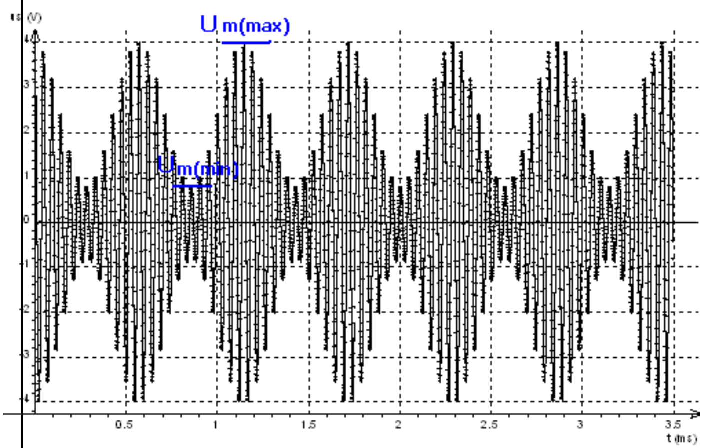
$$U_m(t)=A(m\cos(2\pi f_s t)+1)$$

نسمي m نسبة التضمين le taux de modulation

من خلال العلاقة يتبين أن الوسع المضمَّن يتغير بين قيمتين :

$U_{m\ min}=A(-m+1)$ و $U_{m\ max}=A(m+1)$ ونعبر عن نسبة التضمين بدلالة $U_{m\ max}$ و $U_{m\ min}$ بالعلاقة التالية :

$$m=\frac{U_{m\ max}-U_{m\ min}}{U_{m\ max}+U_{m\ min}}$$



<u>تطبيق :</u>

ما قيمة تردد التوتر المضمِّن الممثل في الشكل 3 ؟

$$f_s=\frac{1}{2,3.10^{-3}}\simeq 430Hz$$

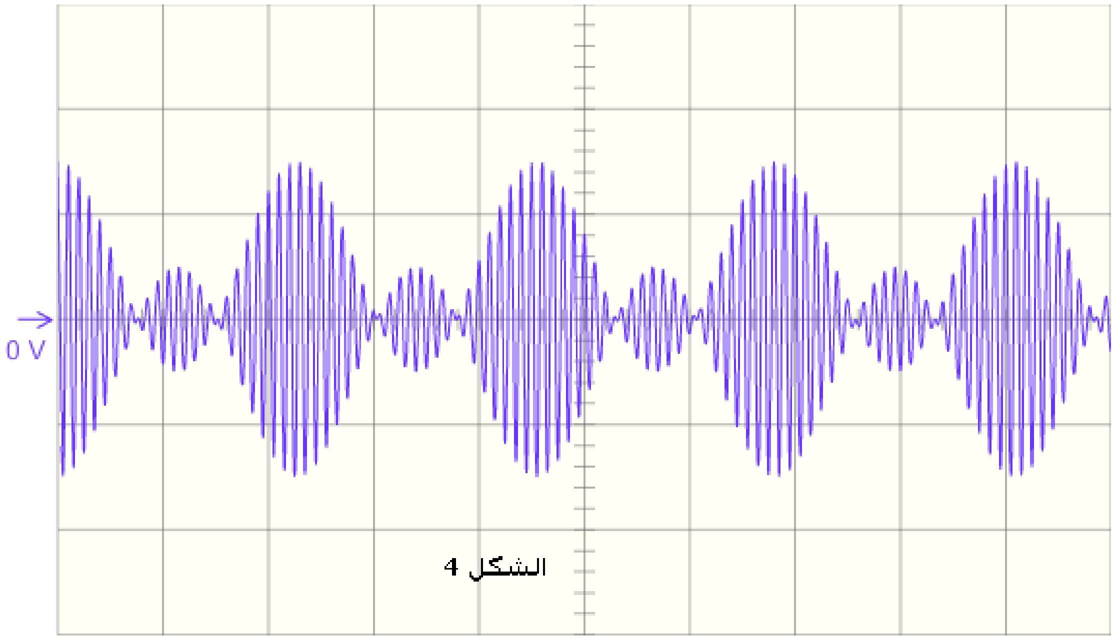
2 ـ أحسب نسبة التضمين نعطي : الحساسية الرأسية هي 1V/div

$$m=\frac{U_{m\ max}-U_{m\ min}}{U_{m\ max}+U_{m\ min}}=\frac{3-1}{3+1}=0,5$$

1 ـ 4 جودة التضمين

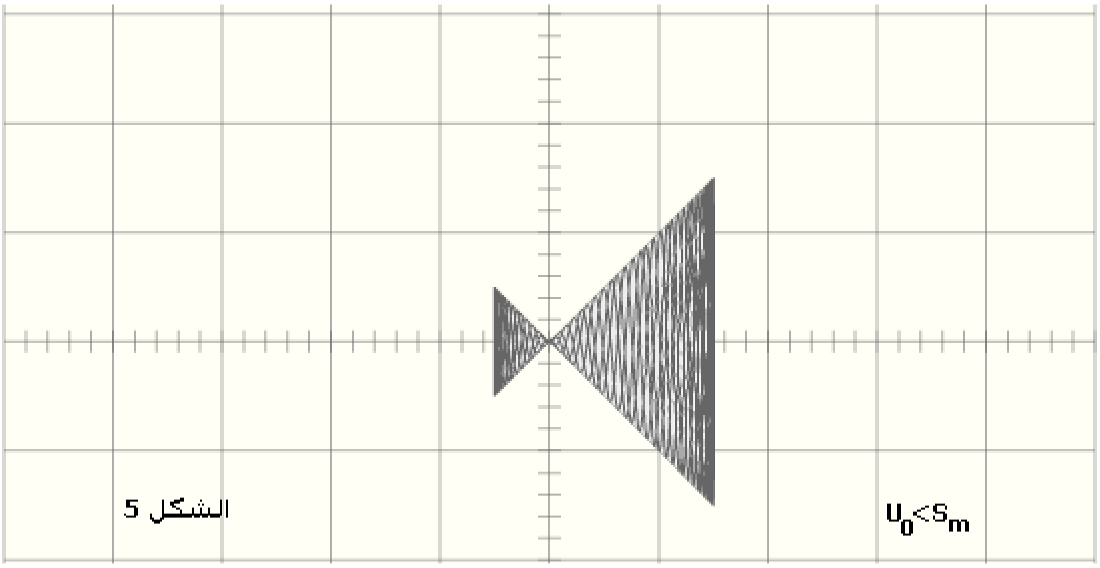
النشاط التجريبي 2 : شروط الحصول على تضمين جيد للوسع .

نحتفظ بالتركيب الكهربائي السابق ونضبط U_0 و S_m بحيث تكون $U_0<S_m$. نشاهد على الشاشة التوتر $u_s(t)$. الشكل 4

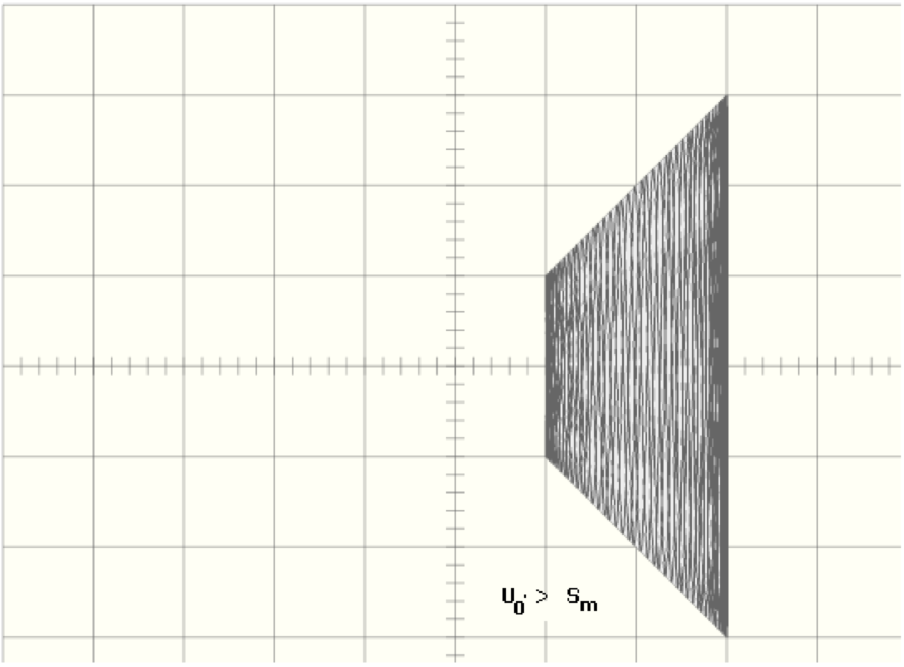


الشكل 4

نربط التوتر المضمَّن بالمدخل X والتوتر المضمِّن $u_s(t)$ بالمدخل Y لراسم التذبذب ونضبط زر الكسح على النظام XY . يمثل الشكل 5 والشكل 6 نموذجين للرسم التذبذبي المحصل عليه .



الشكل 5



1 ــ قارن غلاف التوتر $u_s(t)$ مع الإشارة $s(t)$. هل تضمين الوسع في هذه الحالة جيد ؟
2
شكل شبه منحرف ؟
3 ــ نعيد التجربة بعد ضبط U_0 و S_m حيث $U_0>S_m$.
3 ــ 1 هل تضمين الوسع في هذه الحالة جيد ؟ علل جوابك .
3 ــ 2 تأكد من الحصول على رسم تذبذبي ذي شكل شبه منح
التذبذب على النظام XY .
4 ــ نحتفظ ب $U_0>S_m$ ونغير قيم الترددين F_p و f_s . باستعمال طريقة شبه المنحرف ، تحقق من أن تضمين الوسع يكون ذا جودة عالية إذا كان التردد F_p أكبر بكثير من f_s .

خلاصة :

للتأكد من الحصول على تضمين وسع جيد نستعمل طريقة شبه المنحرف وهي كالتالي
ــ ربط التوتر المضمّن $s(t)$ بالمدخل X لراسم التذبذب .
ــ ربط التوتر المضمَّن $u_s(t)$ بالمدخل Y .
ــ إزالة الكسح لراسم التذبذب (النظام XY) .
فنحصل على شكل شبه منحرف على شاشة راسم التذبذب .

شروط الحصول على تضمين جيد للوسع :

للحصول على تمين للوسع ذي جودة جيدة يجب أن :
ــ يكون التوتر U_0 أكبر من S_m ($U_0>S_m$) أي أن نسبة التضمين تكون $m<1$

$$S_m < U_0 \Rightarrow \frac{S_m}{U_0} < 1 \Rightarrow m < 1$$

يكون تردد توتر الحامل F_p أكبر بكثير من تردد التوتر المصمّن f_s ($F_p>>f_s$) على الأقل $F_p>10f_s$.

II ــ إزالة التضمين . Démodulation

1 ــ المرشحات RC

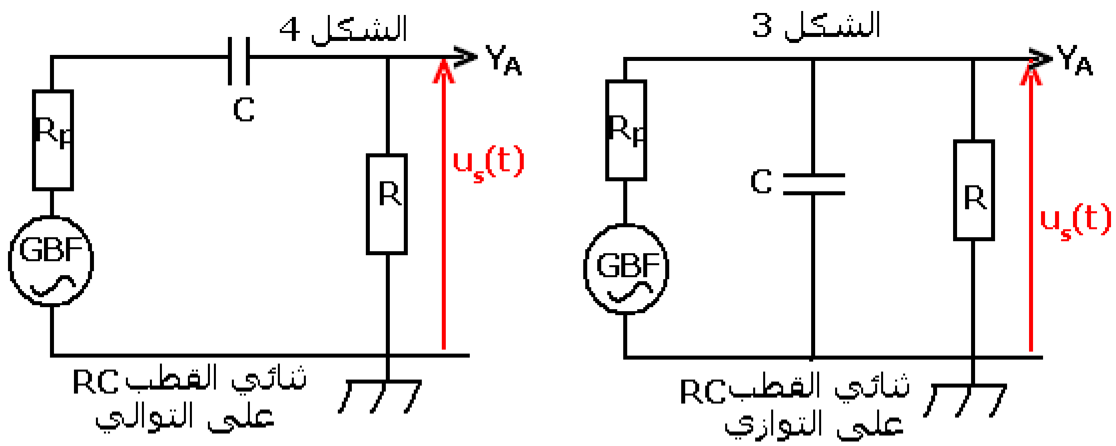
النشاط التجريبي 4

المناولة 1

ننجز التركيبين التجريبيين الممثلين في الشكل (1) (RC على التوالي)والشكل (2)

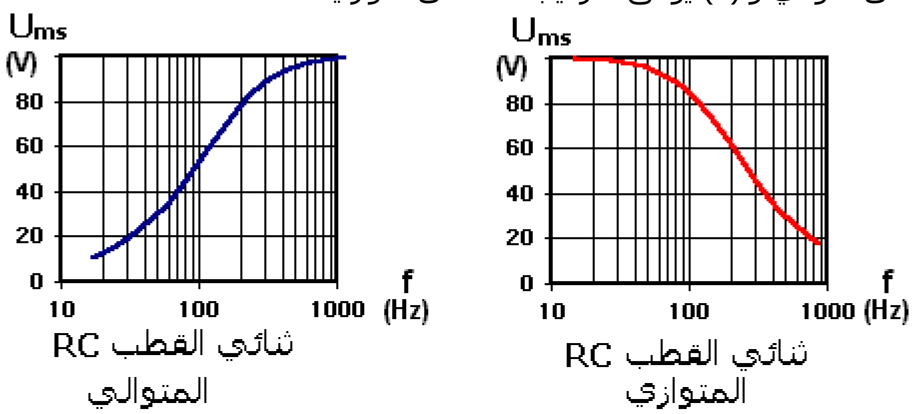
RC على التوازي) والمكونين من مولد للتردد المنخفض وموصلان أوميان $R_p = 1k\Omega$ للوقاية و $R = 100\Omega$ ومكثف سعته C=5μF وراسم التذبذب رقمي وحاسوب مزود ببرنم ملائم .

نضبط المولد على توتر جيبي وسعه U_m=100V ثابت .



نغير التردد f من القيمة 10Hz إلى 1kHz وفي كل مرة نقيس بواسطة راسم التذبذب الوسع U_{ms} لتوتر الخروج $u_s(t)$ بالنسبة لكل تركيب .

نمثل تغيرات الوسع U_{ms} بدلالة التردد f فنحصل على المنحنيين ذي الشكلين (3) الموافق للتركيب RC على التوالي و (4) يوافق التركيب RC على التوازي .



1 ـ حدد بالنسبة لكل منحنى قيمة الوسع U_{ms} عند الترددات العالية .

2 ـ نسمي مرشح ممرر الإشارات ذات ترددات المنخفضة (filtre passe-bas) الدارة الكهربائية التي تسمح بمرور إشارات ذات ترددات منخفضة . نسمي مرشح ممرر الإشارات ذات ترددات العالية (filtre passe-haut) الدارة الكهربائية التي تسمح بمرور إشارات ذات ترددات عالية .

تعرف على ثنائي القطب RC الذي يلعب دور المرشح الممرر للترددات المنخفضة ، وعلى ثنائ القطب RC الذي يلعب دور المرشح الممرر للترددات العالية .

3

تقوم بدالك ؟ علل جوابك .

المناولة 2 : كاشف الغلاف

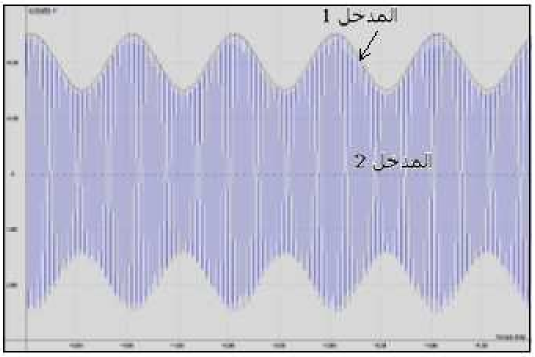
للحصول على الإشارة المعلومة التي الإشارة المضمَّنة $u_s(t)$ يجب استعمال كشف غلاف الإشارة المضمَّنة ، تسمى هذه العملية بإزالة التضمين لهذا الغرض ننجز التركيب الكهربائي وهو عبارة عن

رباعي قطب مكون من صمام ثنائي ودارة متوازية RC . نطبق في مدخل هذا التركيب توترا مضمَّن الوسع $u_e(t)$ ، محصلا بواسطة دارة متكاملة المنجزة للجداء .
نعاين بواسطة راسم التذبذب توتر الدخول $u_e(t)$ وتوتر الخروج $u_s(t)$. يمثل الشكل 5 الرسمين التذبذبين المحصلين بواسطة إشارة كهربائية جيبية .

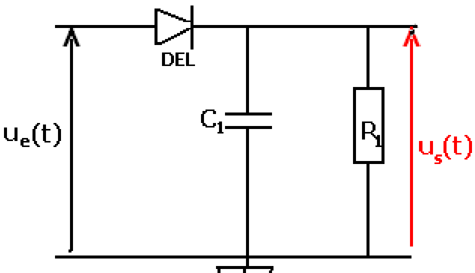
1 ــ كيف يتصرف الصمام الثنائي DEL والذي نعتبره مثاليا في دارة كهربائية ؟

2 ــ قارن بين التوتر $u_s(t)$ وغلاف التوتر المضمَّن $u_e(t)$. ما تأثير الصمام المتألق كهربائيا على الإشارة $u_e(t)$ ؟

3 ــ تحقق من أن كشف غلاف التوتر المضمَّن $u_e(t)$ يتم بكيفية جيدة ، إذا كان $T_p << R_1C_1 < T_s$ ، حيث T_p دور التوتر الحامل و T_s دور الإشارة المضمَّنة .



المدخل 1 غلاف التوتر المضمّن
المدخل 2 الإشارة $u_e(t)$ المضمنة للوسع



الشكل 5

خلاصة :

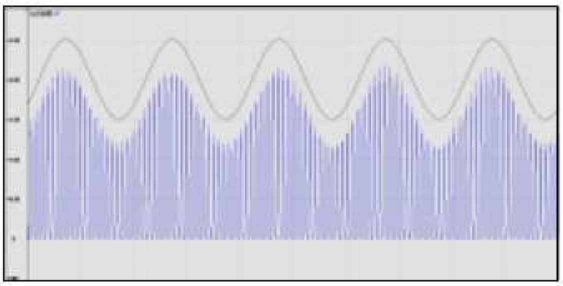
شروط الحصول على كشف غلاف جيد هي :

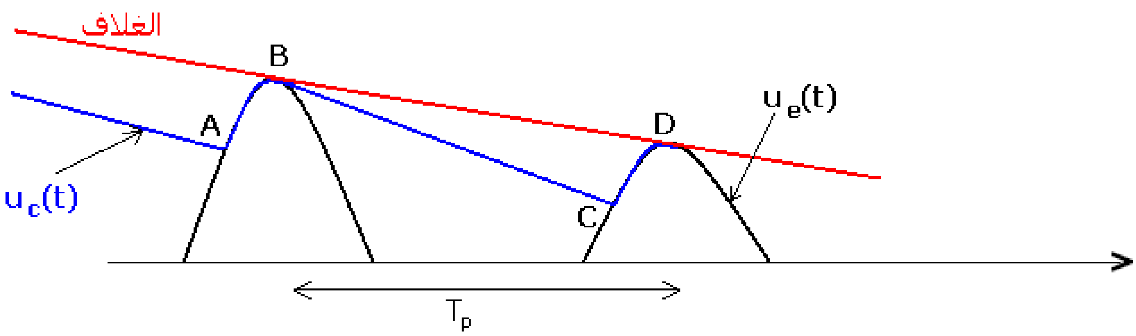
ــ أن يكون التوتر في مخرج دارة كاشف الغلاف ذا تموجات صغيرة وتتبع بكيفية أحسن شكل الإشارة المضمّنة .

ويتحقق هذا إذا كانت ثابتة الزمن $\tau = RC$ تحقق المتراجحة التالية :

$$T_p \ll \tau < T_s \Rightarrow f_s < \frac{1}{\tau} \ll F_p$$

T_p دور التوتر الحامل و T_s دور الإشارة المضمّنة .



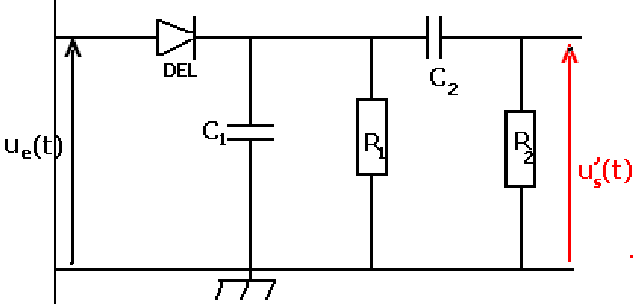


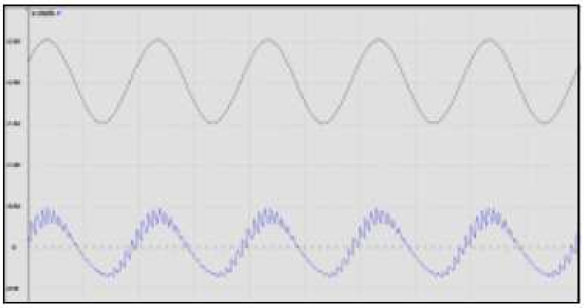
المناولة 3 : إنجاز إزالة تضمين الوسع .

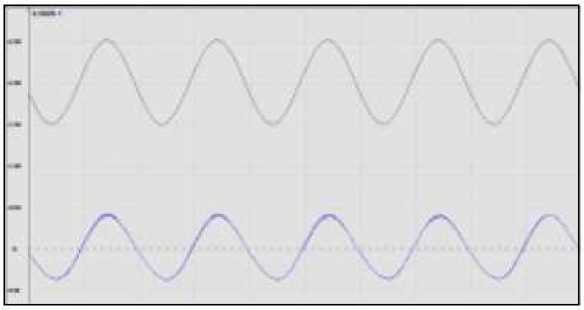
نضيف للتركيب السابق ثنائي قطب R_2C_2 .
نعاين بواسطة راسم التذبذب توتر الدخول $u_e(t)$ وتوتر الخروج $u'_s(t)$.

1 ــ ما اسم ثنائي القطب R_2C_2 المستعمل ؟ ما الدور الذي يلعبه ثنائي القطب R_2C_2 في هذه التجربة ؟

2 ــ أ ــ أذكر مختلف مراحل عملية إزالة تضمين الوسع







خلاصة :

ــ لإزالة تضمين توتر مضمَّن الوسع يجب :

كشف غلاف التوتر المضمَّن بواسطة صمام ثنائي و مرشح للترددات المنخفضة ، ويكون هذا الكشف جيدا إذا تحقق الشرط : $T_p \ll \tau = RC < T_s$.

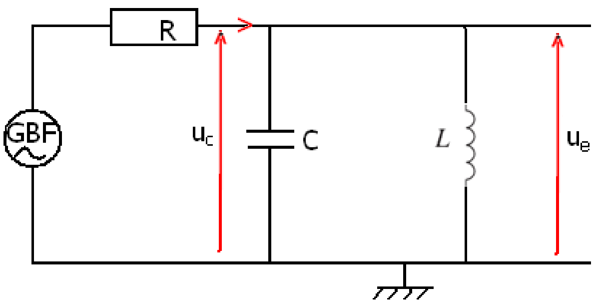
ــ حذف المركبة المستمرة للتوتر بواسطة مرشح للترددات العالية .

ب ــ أرسم تبيانة توضيحية تبين هذه المراحل .

III ــ إنجاز جهاز يستقبل بث إذاعي بتضمين الوسع .

1 ــ دراسة الدارة المتوازية LC : مرشح ممرر للمنطقة passe – bande

ننجز التركيب الكهربائي جانبه والذي يتكون من مكثف سعته $C=10\mu F$ ووشيعة مركبة على التوازي مع المكثف معامل تحريضها الذاتي $L=1H$ وموصول أومي مقاومته $R=1k\Omega$.



يطبق مولد التردد المنخفض توترا جيبيا وسعه 1V ثابت .

نغير التردد f لمولد GBF ، وفي كل مرة نقيس بواسطة راسم التذبذب الوسع U_{ms} لتوتر الخروج $u_s(t)$.

ندون النائج في جدول ونخط المنحنى الممثل لتغيرات U_{ms} بدلالة f ، فنحصل على الشكل جانبه .

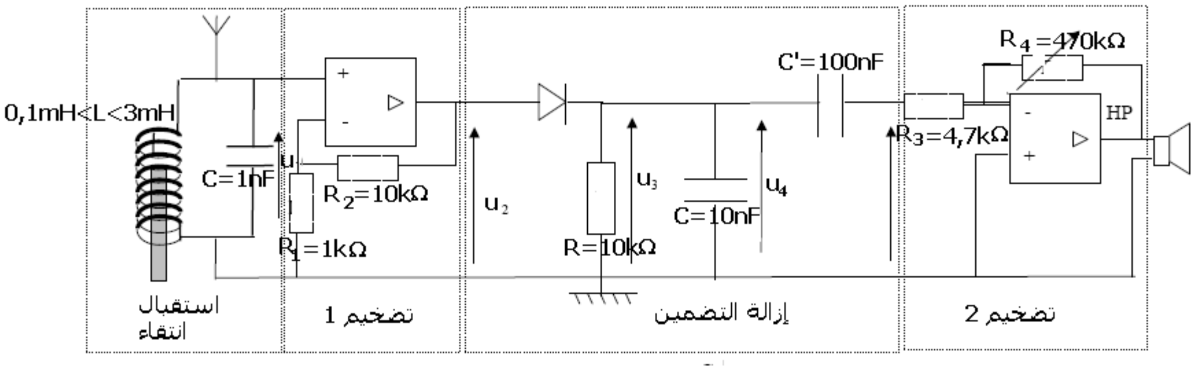
1 ــ صف منحنى الاستجابة U_{ms} بدلالة f التردد المحصَّل .

2 ــ علل لماذا تسمى الدارة المتوازية LC مرشحا ممررا للمنطقة .

3 ــ حدد مبيانيا التردد الموافق للقيمة القصوى للوسع U_{ms} ، ثم قارنه مع $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. كيف يمكن انتقاء إشارة ذات تردد معين f_0 .

2 ــ مبدأ اشتغال مرشح ممرر المنطقة .

عند ربط الدارة المتوازية LC بهوائي مستقبل للموجات الكهرمغنطيسية التي ترسلها المحطات الإذاعية ، ينشأ توتر كهربائي في هذا الهوائي . ولإنتقاء إرسال واحد أو محطة واحدة يلزم التوفيق بين التردد الخاص f_0 للدارة المتوازية LC وتردد الموجة المنبعثة من المحطة ، ويتم ذلك بضبط معامل التحريض الذاتي L أو سعة المكثف C .



3 ــ إنجاز جهاز مستقبل راديو بسيط .

نعوض في التركيب الكهربائي السابق مولد التردد المنخفض ، بهوائي للإستقبال ونستعمل وشيعة معامل تحريضها الذاتي L قابل للضبط . نضيف تركيبا مضخما للتوتر ودارة إزالة التضمين .

ننجز التركيب الكهربائي التجريبي أعلاه ونغير معامل التحريض الذاتي L للحصول على بث إذاعي .

نعاين بواسطة راسم التذبذب التوترات u_1 ، u_2 ، u_3 ، u_4 خلال اشتغال التركيب .

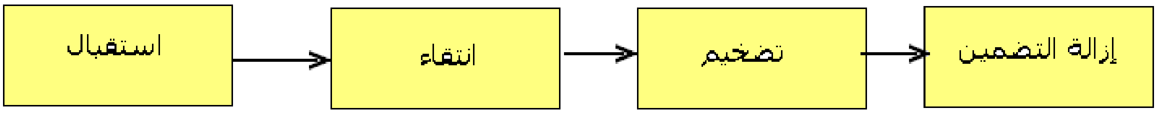
1 ــ تسمى الدارة المتوازية LC دارة التوافق circuit d'accord . ما مجال الترددات الممكن كسحه بواسطة هذه الدارة ؟

2 ــ قارن بين التوترات الملاحظة واكتب تعليقا حولها .

خلاصة .

تكون التوترات التي يلتقطها الهوائي ضعيفة جدا لذا يجب تضخيمها قبل إزالة تضمينها

المبدأ :



يتكون المستقبل " الراديو AM " من :

ــ هوائي يلتقط موجات الراديو .

ــ ثنائي قطب LC ينتقي المحطة المرغوب فيها .

ــ مضخم التوتر المضمَّن المنتقى ؛

ــ دارة إزالة تضمين الوسع تسمح باسترجاع الإشارة المضمّنة ، وهي مكونة من دارة كاشف الغلاف ومرشح ممرر للترددات العالية .

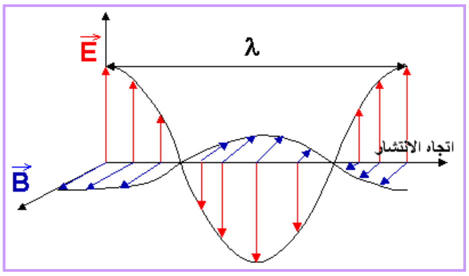
الموجات الكهرمغنطيسية – نقل المعلومات
تضمين الوسع

I. الموجات الكهرمغنطيسية

• تعريفها و مميزاتها

تعريف

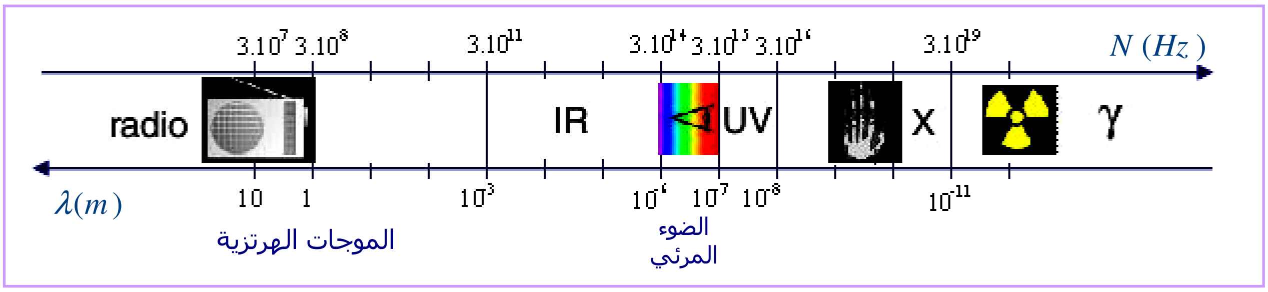
لشحن كهربائية متحركة تأثير كهربائي يمكن وصفه بمجال كهربائي $\vec{E}$ و تأثير مغنطيسي يمكن وصفه بمجال مغنطيسي $\vec{B}$. انتشار هاذين المجالين يشكل موجة كهرمغنطيسية.



- تنتشر الموجات الكهرمغنطيسية في الفراغ كما في الأوساط المادية العازلة بسرعة الضوء: $c = 3.10^8\ m.s^{-1}$ في الفراغ .
- تنعكس على السطوح الفلزية (خاصية تستغل في هوائيات الاستقبال).
- تتميز موجة كهرمغنطيسية بترددها N أو بطول موجتها في الفراغ λ ، و هما يرتبطان بالعلاقة التالية:

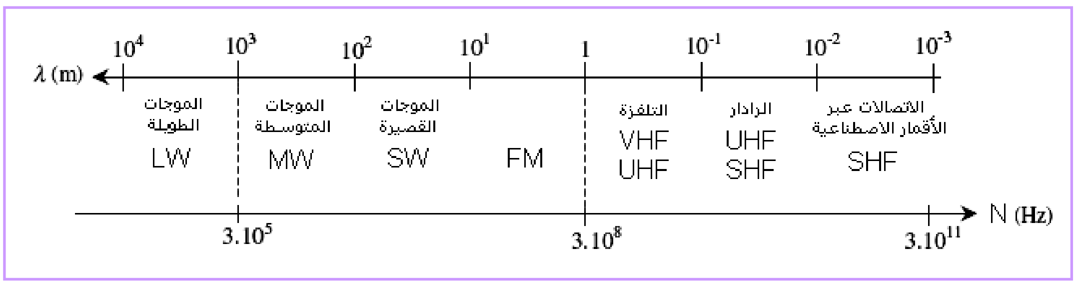
$$\boxed{\lambda = cT = \frac{c}{N}}$$

- الطيف الكهرمغنطيسي:



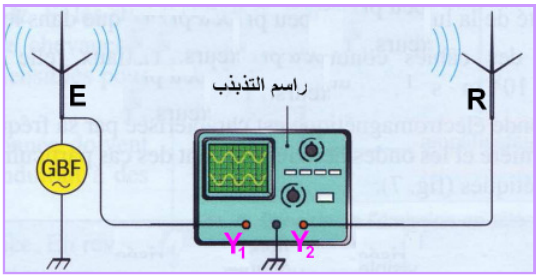
• الموجات الهرتزية

- تستعمل الموجات الهرتزية في نقل المعلومات و الإشارات في مجال الاتصالات اللاسلكية و البث الإذاعي و التلفزي.....
- تستعمل الموجات الهرتزية ذات التردد العالي (HF) كموجات حاملة لنقل إشارات ذات تردد منخفض(BF) بواسطة تقنية التضمين.



II. إرسال و استقبال موجة كهرمغنطيسية

- **الإبراز التجريبي**



E سلك يؤدي دور هوائي الإرسال.

R سلك يؤدي دور هوائي الاستقبال.

على الشاشة تعاين إشارتان كهربائيتان لهما نفس التردد.

- **دور هوائي الإرسال و هوائي الاستقبال**

يحول هوائي الإرسال إشارة كهربائية (توتر كهربائي) إلى إشارة كهرمغنطيسية بينما يقوم هوائي الاستقبال بالدور المعاكس.

خاصية
للموجة الكهرمغنطيسية و الإشارة الكهربائية المحدثة في هوائي الإرسال أو في هوائي الاستقبال نفس التردد.

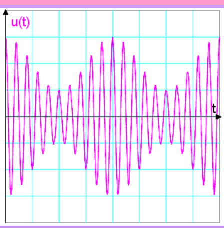
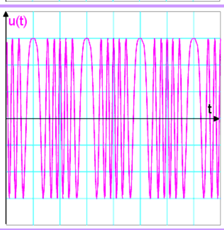
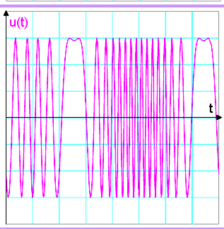
III. تضمين موجة جيبية

- **مبدأ التضمين**

تعريف
تسمى الموجة الكهرمغنطيسية التي تنقل معلومة موجة حاملة. أما المعلومة فتسمى الإشارة المضمِّنة.
تتمثل تقنية التضمين في جعل الإشارة المضمِّنة تغير أحد المقادير المميزة للموجة الحاملة (وسعها، ترددها، أو طورها)بدلالة الزمن.

- **تضمين توتر جيبي**

الجدول التالي يلخص أنماط تضمين توتر جيبي تعبيره: $u(t)=U_m\cdot\cos(2\pi Nt+\varphi)$

	المقدار المضمّن	تعبير u بعد التضمين	التمثيل المبياني
تضمين الوسع (AM)	الوسع	$u(t)=\mathbf{U_m(t)}\cdot\cos(2\pi Nt+\varphi)$	
تضمين التردد (FM)	التردد	$u(t)=U_m\cdot\cos(2\pi \mathbf{N(t)}t+\varphi)$	
تضمين الطور	الطور	$u(t)=U_m\cdot\cos(2\pi Nt+\boldsymbol{\varphi}(\ ))$	

• مبدأ تضمين الوسع

يحصل على تضمين الوسع بإنجاز جداء توترين:

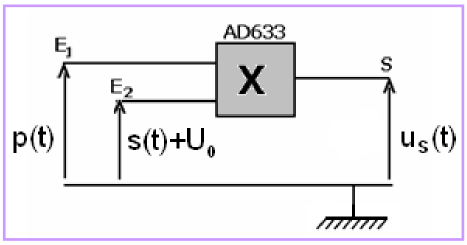
- توتر جيبي عالي التردد (الموافق للموجة الحاملة): $p(t) = P_m \cos 2\pi N_p t$
- و توتر يساوي مجموع توتر جيبي منخفض التردد $s(t)$ (الموافق للإشارة المضمِّنة) و توتر مستمر يسمى توتر الإزاحة أو المركِّبة المستمرة: $s(t) + U_0 = S_m \cos 2\pi N_s t + U_0$

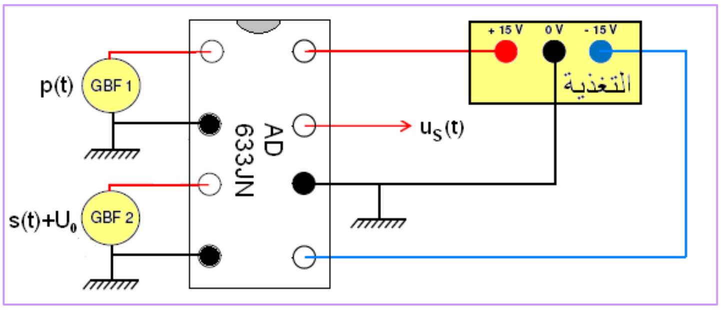
يستعمل تركيب إلكتروني منجز للجداء للحصول على توتر مضمَّن يتناسب مع هذا الجداء:

$$u_S(t) = k \cdot p(t) \cdot (s(t) + U_0)$$

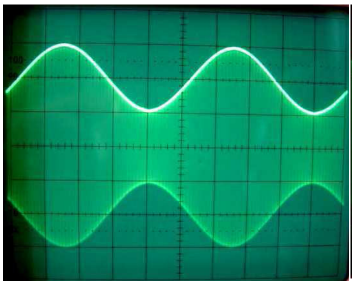
معامل التناسب k يميز التركيب المنجز للجداء.

• الإبراز التجريبي لتضمين الوسع

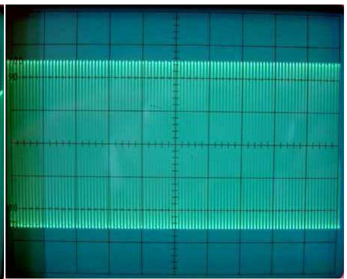




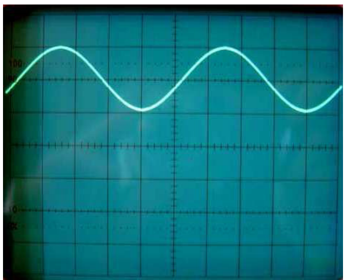
بواسطة راسم التذبذب أو حاسوب تعاين مختلف الإشارات:



$u_S(t)$



$p(t)$



$s(t)+U_0$

يلاحظ أن وسع الإشارة المضمَّنة $u_S(t)$ يتغير بدلالة الزمن حسب تغيرات الإشارة المضمِّنة $s(t)$.

• تعبير وسع الإشارة المضمَّنة

بتعويض $p(t)$ و $s(t)$ بتعبيريهما نستنتج معادلة التوتر المضمَّن:

$$u_s(t) = k \cdot P_m \cdot (S_m \cos 2\pi N_s t + U_0) \cdot \cos 2\pi N_p t$$

ووسعه:

$$U_m(t) = A \cdot (m \cdot \cos 2\pi N_s t + 1)$$

بوضع:

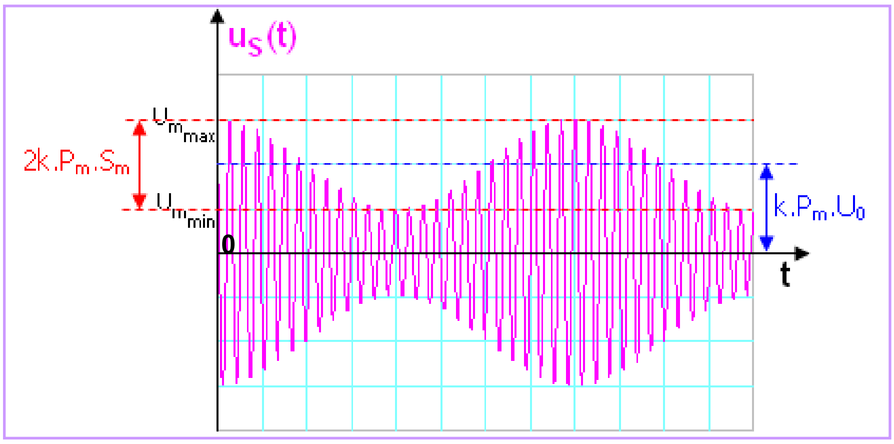
$$A = k \cdot P_m \cdot U_0$$

و $\boxed{m = \frac{S_m}{U_0}}$ نسبة التضمين

خاصية في تضمين الوسع وسع الإشارة المضمَّنة دالة تآلفية للتوتر المضمِّن:

$$U_m(t) = A\cdot(m\cdot\cos2\pi N_s t+1)$$

• تعبير آخر لنسبة التضمين

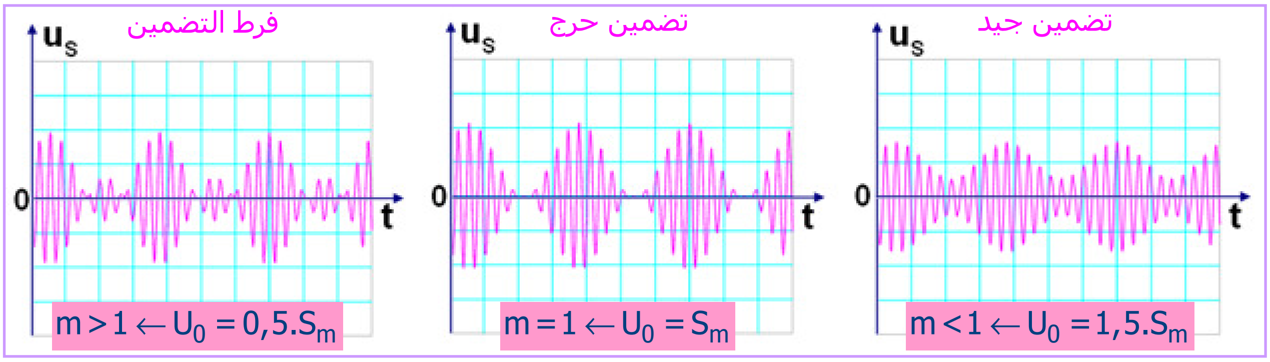


تتراوح القيمة القصوى للتوتر المضمَّن(غلاف الإشارة المضمَّنة)بين قيمتين حديتين $U_{m_{max}}$ و $U_{m_{min}}$ بحيث: $U_{m_{max}} = A\cdot(+m+1)$ و $U_{m_{min}} = A\cdot(-m+1)$، نستنتج تعبيرا لنسبة التضمين:

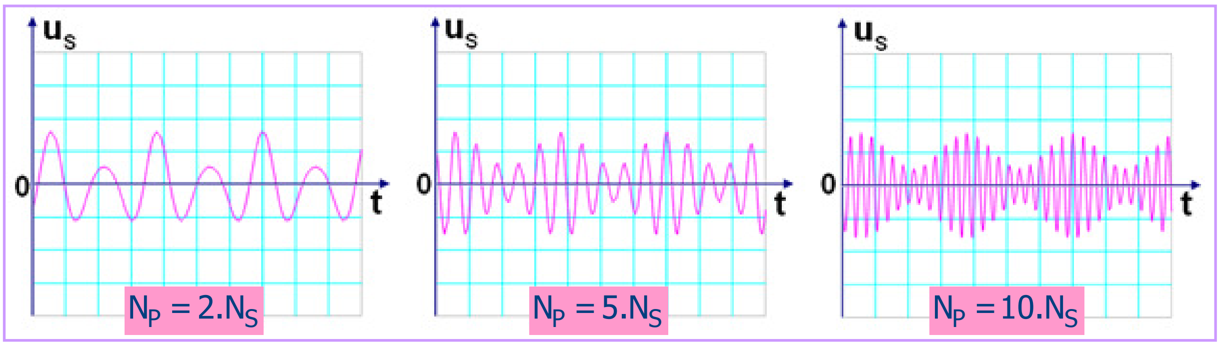
$$\boxed{m = \frac{U_{m_{max}} - U_{m_{min}}}{U_{m_{max}} + U_{m_{min}}}}$$

• جودة التضمين

▪ تأثير U_0



▪ اختيار N_p



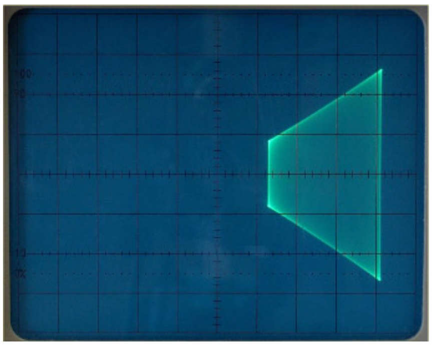
▪ شرطا التضمين

تتحقق جودة التضمين بالشرطين التاليين:

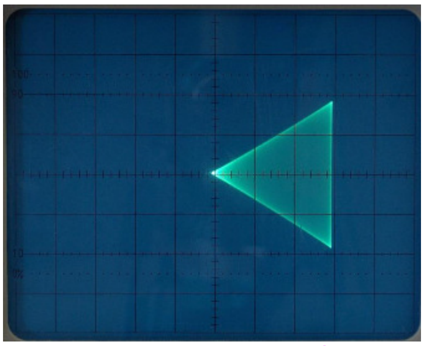
- $m<1$ أي $U_0 > S_m$
- $N_p \gg N_s$

• التحقق من جودة التضمين

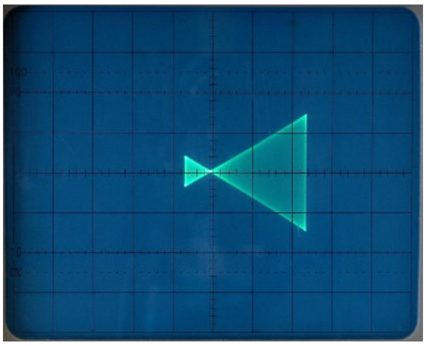
للتحقق من جودة التضمين تستعمل طريقة شبه المنحرف و فيها يشغل راسم التذبذب على النمط XY أي يحذف الكسح، حيث تعاين تغيرات التوتر المضمَّن بدلالة التوتر المضمِّن: $u_S=f(s+U_0)$



$m<1$: تضمين جيد



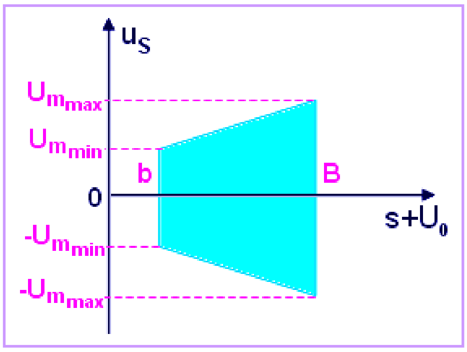
$m=1$: تضمين حرج



$m>1$: فرط التضمين

☜ يمكن تحديد نسبة التضمين انطلاقا من أبعاد شبه المنحرف: قاعدته الكبرى B و قاعدته الصغرى b بالعلاقة التالية:

$$\boxed{m=\frac{B-b}{B+b}}$$



V. إزالة تضمين الوسع — Démodulation d'amplitude

• مبدأ إزالة تضمين الوسع

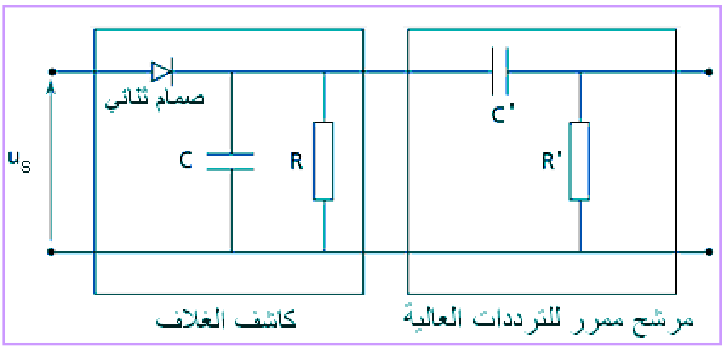
تعريف

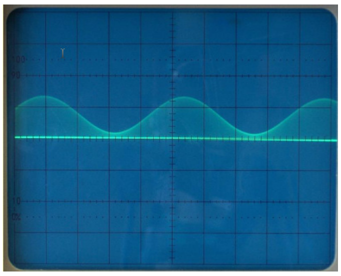
تتمثل عملية إزالة التضمين في استخراج المعلومة المنقولة (الإشارة المضمِّنة) من الإشارة المضمَّنة و تضم مرحلتين متتاليتين:

- كشف الغلاف أي حذف الموجة الحاملة،
- حذف المركبة المستمرة U_0.

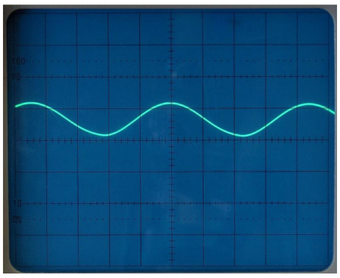
• مرحلتا إزالة تضمين الوسع

يستعمل التركيب التالي:

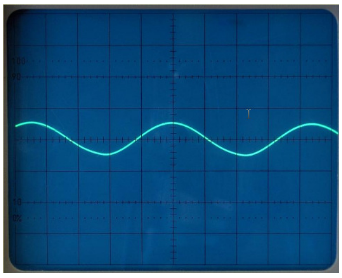




الإشارة بعد الصمام:
يحذف الصمام الجزء السالب للإشارة المضمَّنة



الإشارة بعد التركيبRC المتوازي:
يحذف هذا المرشح الإشارة الحاملة ذات التردد العالي.



الإشارة بعد التركيبR'C' المتوالي:
يحذف هذا المرشح المركبة المستمرة U_0.

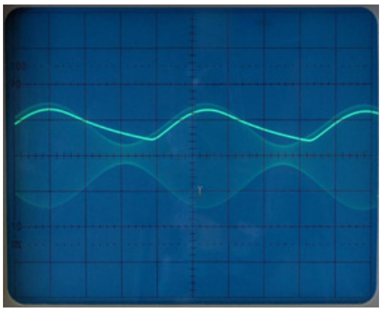
$\underbrace{\hspace{6em}}_{\text{كشف الغلاف}}$

حذف توتر الإزاحة

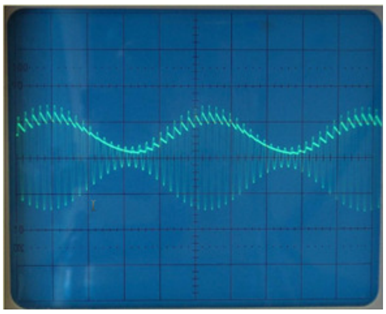
• جودة إزالة التضمين

تكمن جودة إزالة التضمين في جودة كاشف الغلاف و التي ترتبط بثابتة الزمن $\tau = RC$ للتركيب (RC) المتوازي.

▪ الإبراز التجريبي لتأثير $\tau = RC$



$\tau = RC$ كبيرة ($\tau \approx T_s$):
تفريغ بطيء للمكثف.
← كشف غلاف رديء.



$\tau = RC$ صغيرة ($\tau \approx T_p$):
تفريغ سريع للمكثف.
← كشف غلاف رديء.

▪ شرط إزالة التضمين

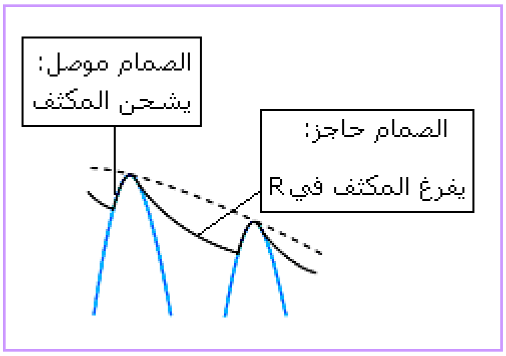
للحصول على إزالة تضمين جيدة ينبغي أن تكون الإشارة المضمّنة المسترجعة قليلة التموج و يتحقق ذلك إذا حققت ثابتة الزمن للتركيب (RC) المكون لكاشف الغلاف الشرط التالي:

$$T_p \ll \tau < T_s$$

أي:

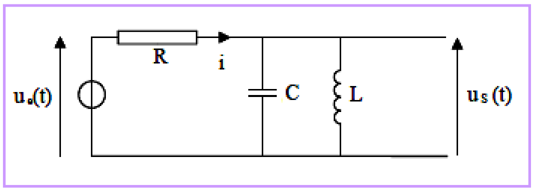
$$\boxed{\frac{1}{N_p} \ll RC < \frac{1}{N_s}}$$

▪ تفسير



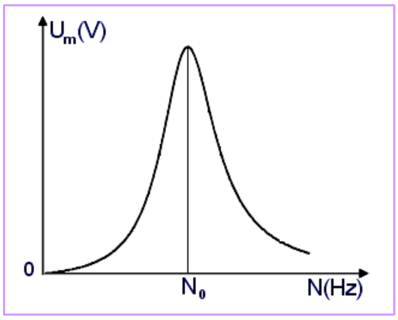
VI. سلسلة استقبال بث إذاعي AM

• الدارة (LC)المتوازية



يطبق المولد توترا جيبيا u_0 وسعه ثابت و تردده قابل للضبط.

بواسطة فولطمتر أو راسم تذبذب تقاس تغيرات الوسع U_m للتوتر u_S بدلالة التردد. التمثيل المبياني لهذه التغيرات يعطي منحنى الاستجابة جانبه.

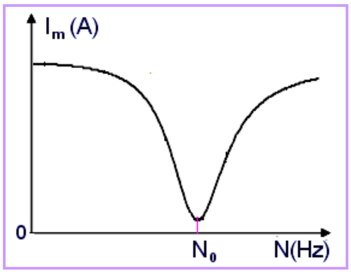


يبرز هذا المنحنى أن استجابة الدارة (LC) تكون قصوى عند تساوي تردد المولد مع ترددها الخاص $N_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

خاصية

الدارة (LC) المتوازية هي مرشح ممرر لمنطقة من الترددات حيث تمكن من تمرير الإشارات ذات ترددات مركزة حول ترددها الخاص الذي يسمى أيضا التردد المركزي:

$$N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



☜ بالنسبة لشدة التيار يكون منحنى الاستجابة على الشكل التالي.

يبين المنحنى أن الدارة المتوازية (LC) تمنع مرور التيار في منطقة للتردد مركزة حول ترددها الخاص.و لذلك تسمى "الدارة السدادة"circuit bouchon .

• المستقبل راديو

يتكون المستقبل راديو مما يلي:

① هوائي يستقبل الموجات الكهرمغنطيسية مختلفة الترددات.

② دارة الانتقاء يمكن توفيقها على التردد N_P للموجة الحاملة(HF) الواردة من المحطة الإذاعية بضبط قيمة L أو C.

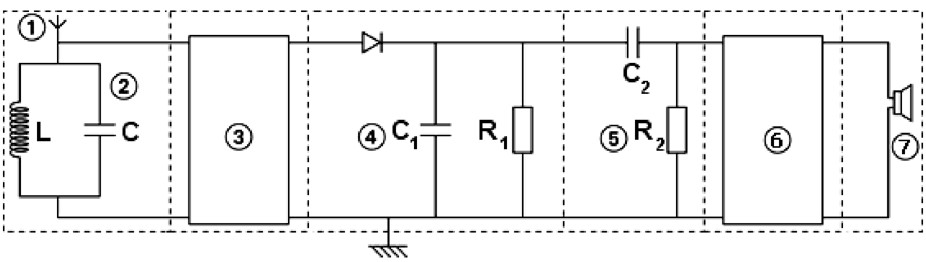
③ مضخم الإشارة (HF).

④ كاشف الغلاف.

⑤ مرشح ممرر للترددات العالية لحذف المركبة المستمرة.

⑥ مضخم الإشارة (BF) المستخلصة.

⑦ سماعة أو مكبر الصوت.



الموجات الكهرمغناطيسية و نقل المعلومات

ذ.الفزيزال

LES ONDES ELECTROMAGNETIQUES,
SUPPORT DE CHOIX POUR TRANSMETTRE DES INFORMATIONS.

I) الموجات الكهرمغناطيسية :

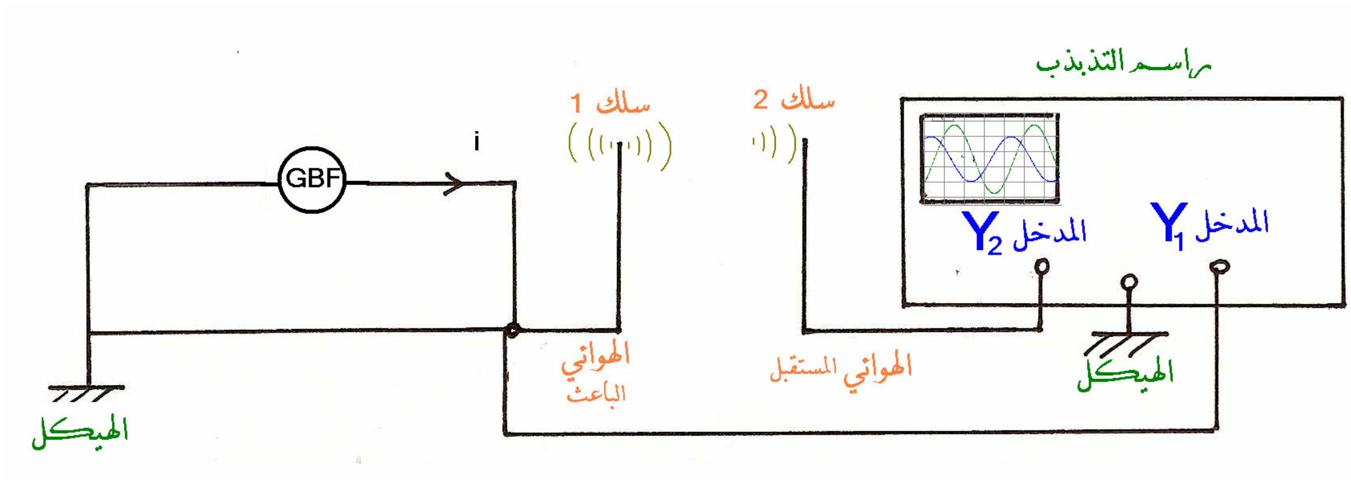
- الموجات هي انتقال للطاقة دون انتقال للمادة وتنتشر في أوساط متجانسة وعازلة وفق مسار مستقيمي و في كل الاتجاهات وتنعكس على السطوح الموصلة (لذلك يلزم هوائي للسيارة لاستقبال الموجات الإذاعية) .
  تنتشر بسرعة حدية $C = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ في الفراغ
- يمكن إنتاج موجات كهرمغناطيسية انطلاقا من تيارات كهربائية متغيرة خلال الزمن .
- هي ظواهر دورية تتميز بدور T وتردد حيث : $\lambda = CT = \dfrac{C}{N}$ N

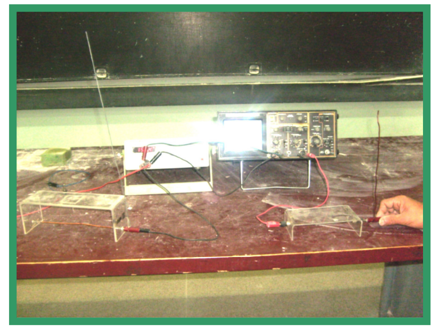
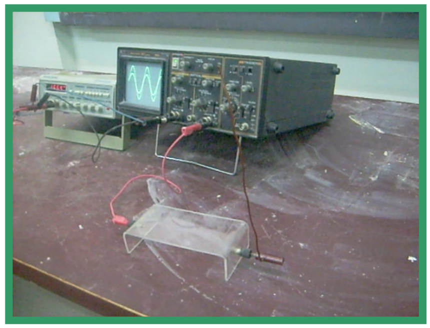
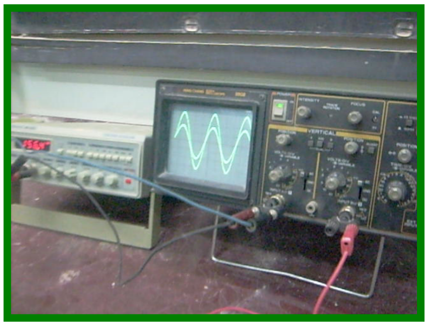
الموجات الضوئية : $10^{-8} < \lambda < 10^{-4}$ m (IR) (UV)
$3.10^{12} < N < 3.10^{16}$ Hz
تحت الحمراء
فوق البنفسجية

الموجات الهرتزية $10^{-3} < \lambda < 10^{4}$ m
$3.10^{4} < N < 3.10^{11}$ Hz

II) إرسال واستقبال المعلومات بواسطة موجات هرتزية

1.2)الإبراز التجريبي :



2.2) التعليل :

- يلعب السلك 1 دور الهوائي الباعث ،بينما يلعب السلك 2 دور الهوائي المستقبل
- التوتران المعاينان على شاشة راسم التذبذب توتران جيبيان لهما نفس التردد

3.2) خلاصة :للموجة الكهرمغناطيسية الواردة على هوائي مستقبل والإشارة الكهربائية الناتجة عنها نفس التردد

III) تضمين توتر جيبي

1.3) من معلومة إلى إشارة كهربائية

لنقل معلومة (صوت ، موسيقى ، صورة ....) يجب تحويلها إلى إشارات كهربائية وهي إشارات ذات ترددات منخفضة BF (من رتبة قدر 10^3; 10^2 وقد تتجاوز 10^4Hz). تبين الأسباب التالية استحالة نقل المعلومات بكيفية مباشرة بواسطة الموجات الهرتزية :

1. التشويش على المعلومة :لا يميز الهوائي المستقبل بين إشارتين BF تنتميان لنفس مجال الترددات
2. المدى القصير للموجات الكهرمغناطيسية ذات الترددات المنخفضة :على عكس الموجات الكهرمغناطيسية ذات الترددات المنخفضة BF التي تخمد مع طول المسافة ، فإن الموجات الكهرمغناطيسية ذات الترددات العالية HF ($N>10^5$Hz) يمكنها الانتشار لمسافات كبيرة .
3. أبعاد الهوائي المستقبل للموجات الهرتزية :إن أبعاد الهوائي المستقبل لموجة معينة يجب أن لا يتعدى $\lambda/2$.
مثال بالنسبة لموجة ذات تردد $N = 2kHz$ ، تكون $\lambda = 150Km$

2.3) الإشارة والموجة الحاملة

لنقل المعلومات بكيفية جيدة يجب استعمال مجال الترددات العالية ، الشيء الذي يستلزم استعمال موجة حاملة ذات تردد عالي تحمل الإشارة BF على شكل موجة مضمنة

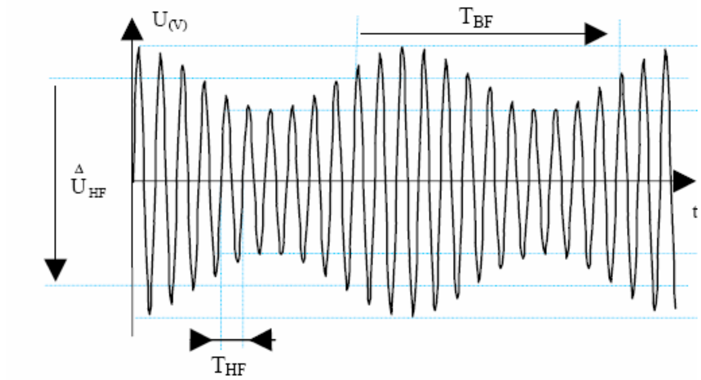
3.3) المقادير التي يمكن تضمينها :

الموجة الحاملة عبارة عن توتر جيبي يتميز بوسع U_m وبتردد N وبطور φ ومن تم يمكن تضمين :

❖ **الوسع** :يتغير وسع الموجة الحاملة U_m حسب تغير الإشارة المضمنة وتعبير التوتر المضمن هو :

$$u(t) \quad U_m(t)\cos(2 \quad Nt \quad)$$

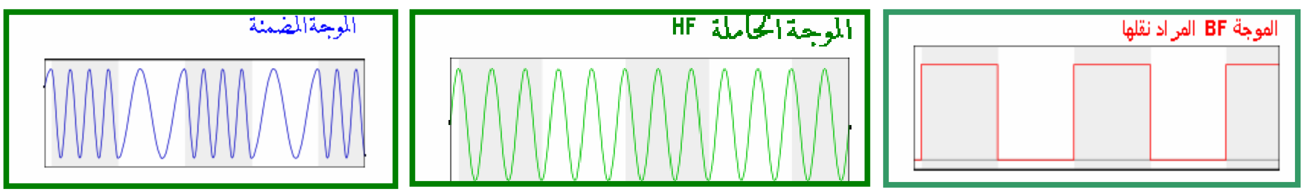
حيث : N و φ ثابتتان



❖ **التردد**:يتغير تردد الموجة الحاملة حسب تغير الإشارة المضمنة ، تعبير u(t)

$$u(t) \quad U_m \cos(2 \quad N(t).t \quad)$$

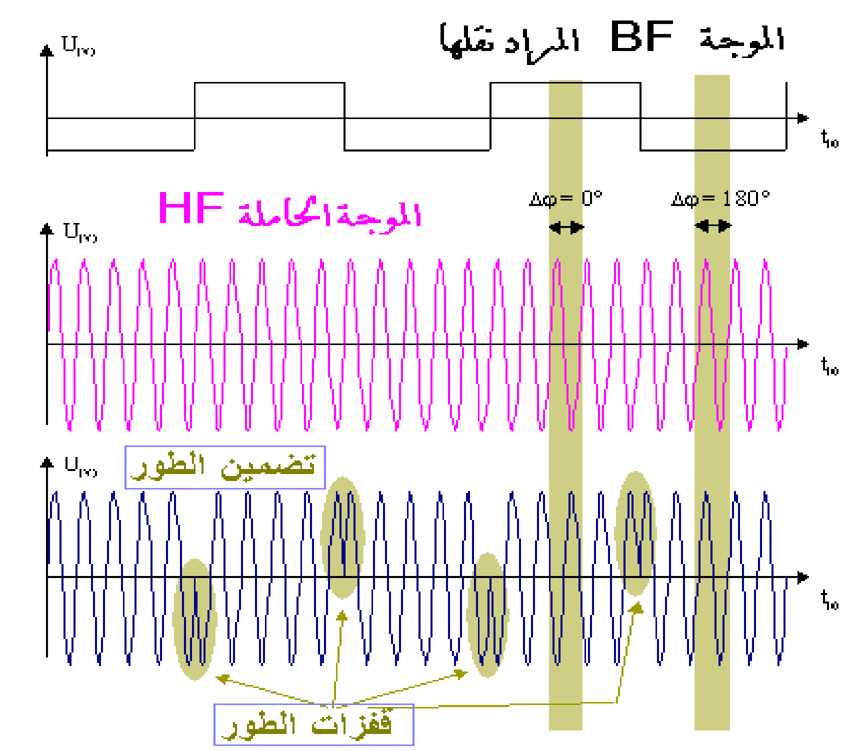
حيث : U_m و φ ثابتتان



❖ **الطور**:طور الموجة الحاملة φ يتغير حسب تغير الإشارة المضمنة ومنه :

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

حيث : U_m و N ثابتتان



ذ.الفزيزال

تهدف الدراسة إلى شرح مبدأ تضمين الوسع وإبرازه بأنشطة تجريبية

I) تضمين الوسع :

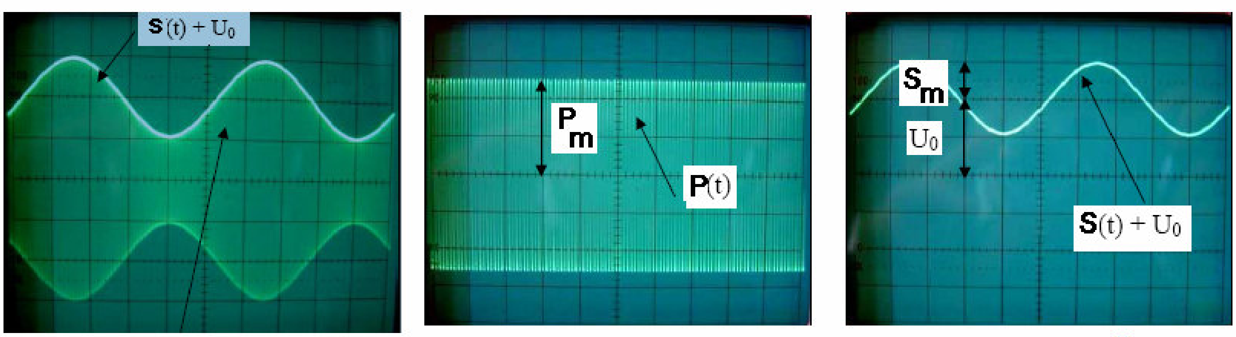
1.1) المبدأ : نظرا لكون الإشارة– المعلوماتية (signal informatif)ذات تردد منخفض BF وأن الهوائي لا يميز بين إشارتين BF و لإرسالها يجب تضمينها في موجة (إشارة) قادرة على الانتشار دون تبدد وهذه الموجة الحاملة من صنف HF وذات تردد عالي ولاسترجاعها يجب إزالة التضمين . كيف نضمن وكيف نزيل التضمين ونتحقق من جودة هذا التضمين ؟

تكون الموجة الحاملة بين الهوائي الباعث والهوائي المستقبل موجة ذات تردد عالي HF

يحدث تغيير في الموجة الحاملة بحيث يتغير وسعها وفق ما تتطلبه الإشارة المضمنة وبالتالي تحدث تضمين للوسع

لتضمين الوسع يتطلب :

- ❖ موجة جيبية حاملةH F: $P(t) = P_m \cos(2\pi N_P t)$
- ❖ الإشارة المراد نقلها BF: $S(t) = S_m \cos(2\pi N_S t)$ (الرمز S يدل على مدلول الإشارة:Signal)
- ❖ المركبة المستمرة للتوتر: U_0



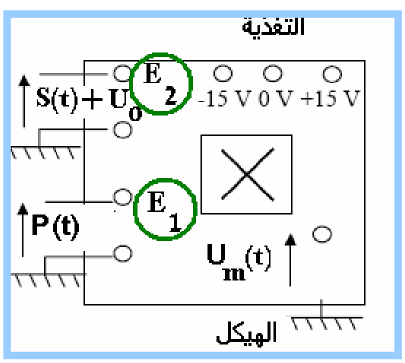
الإشارة S(t) مضمنة بالوسع من طرف P(t)
غلاف التوتر المضمن يتبع تغيرات التوتر S(t)

دور U_0 هو إحداث إزاحة للموجة S(t)

2.1) الإبراز التجريبي

2.11)الدارة المتكاملة المنجزة للجذاء

لتضمين الوسع للموجة الحاملة نستعمل مضخما للتوتر وهو عبارة عن دارة متكاملة تمكن من الحصول عند مخرجها التوتر $U_m(t)$



2.12) تعبير التوتر المضمن

❖ التوتر المطبق عند المدخل E_1 للدارة المنجزة للجذاء (تضخيم) هو: $P(t) = P_m \cos(2\pi N_P t)$

❖ التوتر المطبق عند المدخل E_2 هو : $S(t) + U_0 = S_m \cos(2\pi N_S t) + U_0$ **(1)**

❖ توتر الخروج : $U_S(t) = U_m(t).\cos(2\pi N_P t)$ **(2)**

نبرهن أن تعبير توتر الخروج هو : $U_S(t) = k \times P(t) \times \; S(t) + U_0$ **(3)** مع $k \approx 0,1$

بمقارنة العلاقتين (2) و(3) نستنتج أن وسع توتر الخروج $U_m(t)$ يكتب على الشكل التالي:

$$U_m(t) = k \times P_m \times \; S(t) + U$$

نضع :

$$a \quad k \quad P_m$$

$$b = U_0$$

$$\Rightarrow U_m(t) = a(S(t) + b)$$

تضمين الوسع إذن هو جعل الوسع المضمن(بفتح وتشديد الميم) $U_m(t)$ عبارة عن دالة تآلفية للتوتر المضمن (بكسر و تشديد الميم) $S(t)$ وبالتالي يعيد تغيرات $S(t)$.

ملحوظة : نعرف نسبة التضمين $m = \dfrac{S_m}{U_0}$ بحيث S_m وسع الإشارة المعلومية ومن تم يمكن كتابة الوسع $U_s(t)$ على الشكل التالي بوضع $A = k.P_m.U_0$

$$U_S(t) = A\left[1 + m.\cos\left(2\pi N_S t\right)\right].\cos\left(2\pi N_P t\right)$$

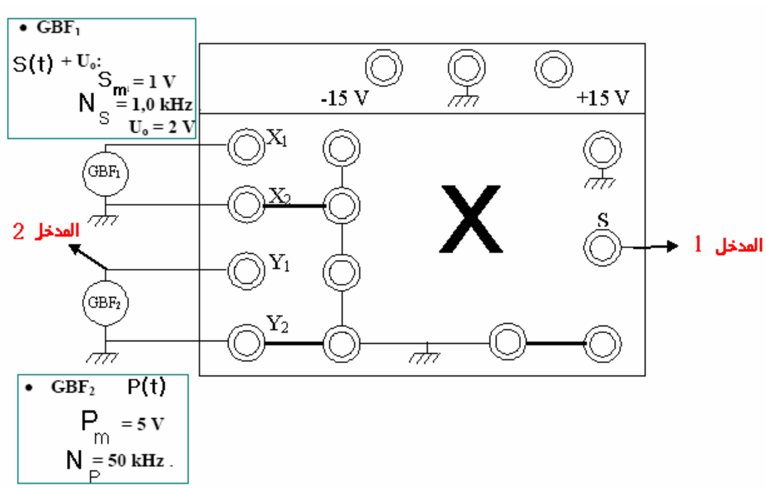
مع : $U_m(t) = A\left[1 + m.\cos\left(2\pi N_S t\right)\right]$

يمكن اعتبار إشارة توتر الخروج $U_s(t)$ هو إشارة الموجة الحاملة عوض (فعل مبني للمجهول) وسعه P_m بالمقدار

$1 \quad .\cos(2 \quad _S \;)$ – المعلومة

3.1) الدراسة التجريبية

1.31) الدارة الكهربائية



الحساسية الرأسية لراسم التذبذب:

➢ المدخل Y_1 : $1V.div^{-1}$

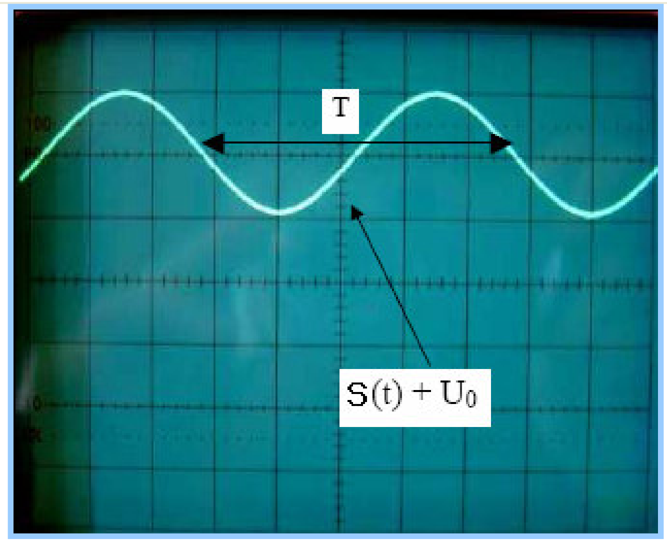
➢ المدخل Y_2 : $2V.div^{-1}$

الحساسية الأفقية(الكسح) : $0,2ms.div^{-1}$

23.1) المعاينة

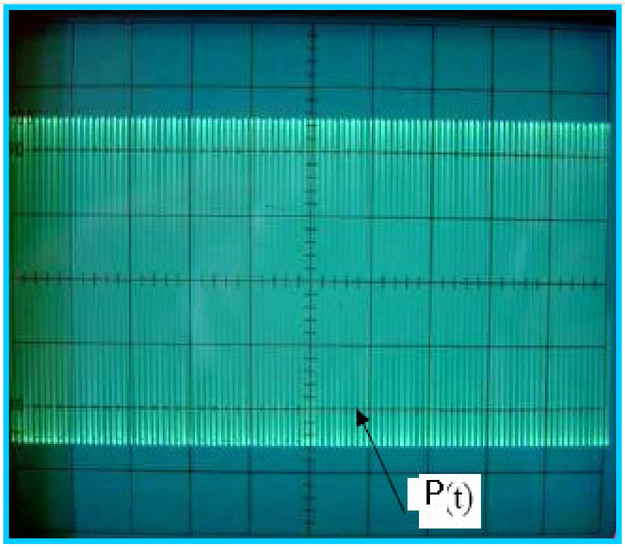
والذي يوافق الوسع المضمن بالإشارة

❖ قبل تشغيل المضخم



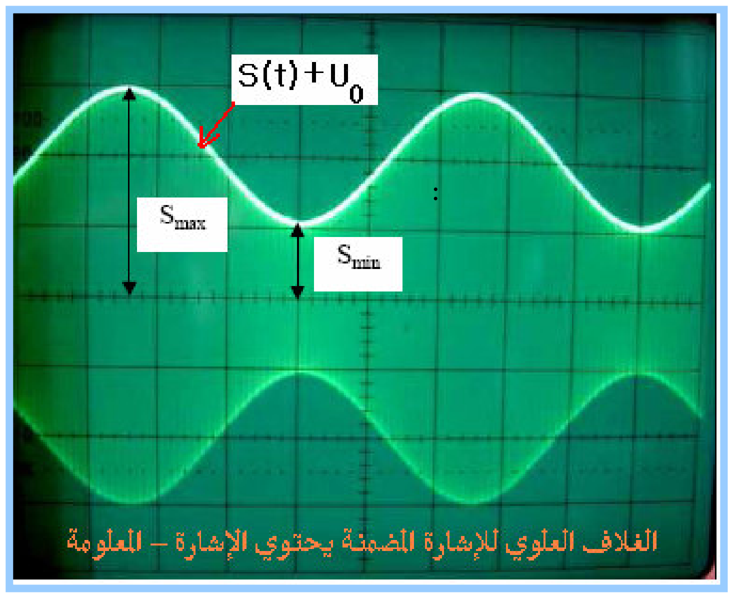
GBF1: $S(t)+U_0$ بتشغيل زر DC (عند تشغيل زر AC تنعدم U_0)

الإشارة – المعلومة: على المدخل Y_1



GBF2: $P(t)$ الموجة الحاملة على المدخل Y_2

❖ بعد تشغيل المضخم : نعاين $U_S(t)$ توتر (إشارة) الخروج



نلاحظ أن الإشارة المضمنة الوسع تتذبذب بين قيمة

قصوية S_{max} وقيمة دنوية S_{min} . نعرف نسبة التضمين

$$m = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{max} + S_{min}}$$

تطبيق عددي :

$$S_{max} = 3\times 2 = 6V$$
$$S_{min} = 1\times 2 = 2V$$
$$m = \frac{6-2}{6+2} = \frac{4}{8} = \frac{1}{2}$$

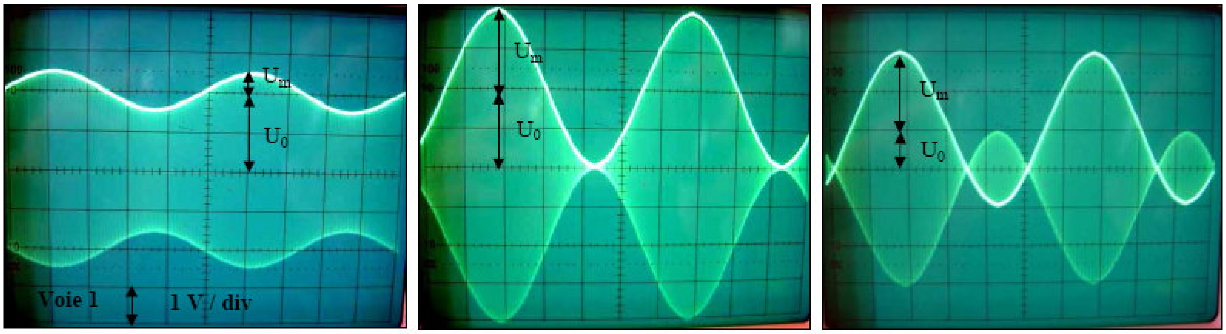
وهو نفس النسبة التي تم تعريفها سابقا :

$$m = \frac{S_{max}}{U_0} = \frac{1V}{2V} = \frac{1}{2}$$

331) تأثير نسبة التضمين:

تمكن نسبة التضمين من تحديد جودة التضمين :

- يكون التضمين ذا جودة عندما يكون غلاف الإشارة الحاملة$P(t)$ تتطابق مع الإشارة – المعلومة $(S(t) + U_0)$ وهذا يوافق $m<1$.
- يكون التضمين رديئا عندما لا تحافظ الإشارة المضمنة على الإشارة – المعلومة : $m \geq 1$



$U_o = 2\ V$ $\quad U_m = 0{,}5\ V$	$U_o = 2\ V$ $\quad U_m = 2\ V$	$U_o = 1\ V$ $\quad U_m = 2\ V$
$U_o > U_m$ $\quad m = \frac{U_m}{U_o} = \frac{1}{4} < 1$	$U_o = U_m$ $\quad m = \frac{U_m}{U_o} = 1$	$U_o < U_m$ $\quad m = \frac{U_m}{U_o} = 2 > 1$
$m < 1$ تحت – تضمين	$m = 1$ تضمين – حرج	$m > 1$ فوق – تضمين

خلاصة : للحصول على تضمين جيد يجب:

- ❖ **أن تكون نسبة التضمين :** $m \langle 1$
- ❖ **تردد الموجة الحاملة أكبر بكثير من تردد الموجة – المعلومة :** $N_P \gg N_S$

4.1) طريقة شبه المنحرف :

للتأكد من الحصول على تضمين جيد يجب ربط :

1. **التوتر – المعلومة :** $S(t) + U_0$ **بالمدخل X لراسم التذبذب**
2. **التوتر المضمن** $U_S(t)$ **بالمدخل Y لراسم التذبذب .**

فنحصل على المعاينة التالية عند تغيير نسبة التضمين m

استعمال الزر XY لمعاينة الحالات التالية حسب طبيعة التضمين

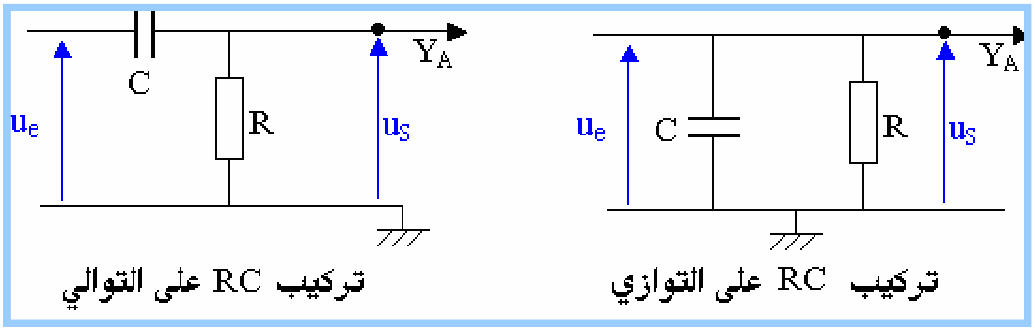
III) إزالة التضمين

المبدأ: يهدف إزالة التضمين إلى " استرجاع " الإشارة – المعلومة BF المبعوثة عبر الموجة المضمنة بالوسع HF

1.3) المرشحات RC

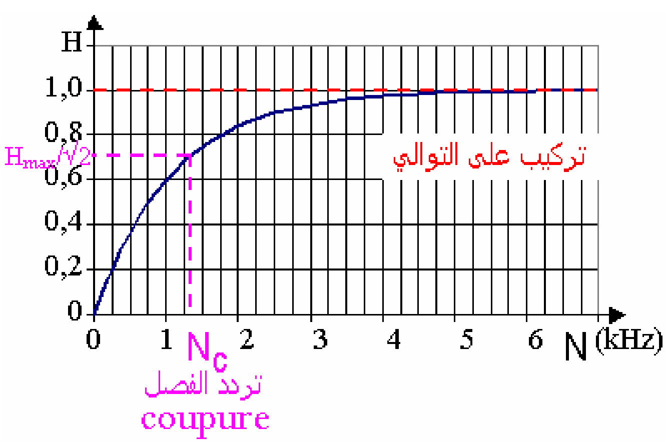
113) دراسة ثنائي القطب RC

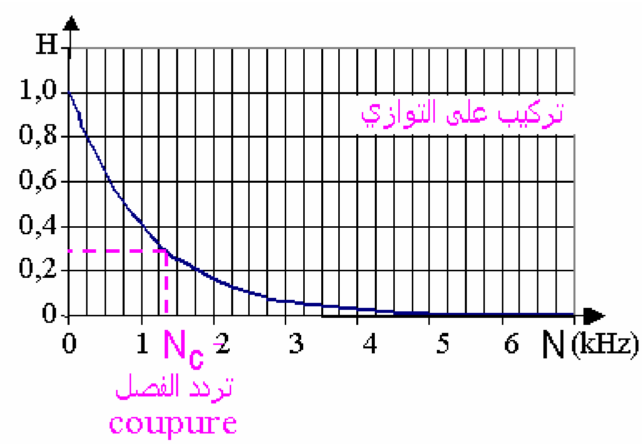
❖ العدة التجريبية



نطبق توترا جيبيا ذو وسع ثابت $U_{m\,e}$ ونعاين توتر الخروج ذو الوسع $U_{m\,s}$ بالنسبة للتركيبين التاليين

ونعاين النسبة: $H = U_{s\,m} / U_{e\,m}$ عندما نغير تردد توتر الدخول N_e ونعاين المنحنيين التاليين :





بالنسبة لتركيب RCعلى التوالي تكون $U_{s\,m}$ تكون صغيرة بالنسبة للترددات المنخفضة على عكس التوترات ذات الترددات العالية.

بالنسبة لتركيب RCعلى التوازي تكون $U_{s\,m}$ تكون صغيرة بالنسبة للترددات العالية.

نسمي N_C تردد الفصل(la fréquence de coupure) ومنه كل التوترات ذات تردد أصغر من N_C يتم إضعافها

استنتاج :

تركيب ثنائي القطب RC سواء على التوالي أو التوازي يلعب دور مرشح للترددات حسب التردد

213) المرشح المرر للترددات المنخفضة:

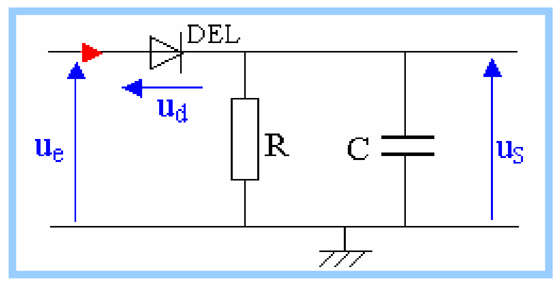
هو تركيب كهربائي يسمح بمرور إشارات ذات ترددات منخفضة ويفصل الإشارات ذات الترددات العالية. تركيب RC على التوازي مثال لهذا النوع من المرشحات

313) المرشح الممرر للترددات العالية

هو تركيب كهربائي يسمح بمرور إشارات ذات ترددات عالية ويفصل الإشارات ذات الترددات المنخفضة. تركيب RC على التوالي مثال لهذا النوع من المرشحات

23) كاشف الغلاف (Détecteur d’enveloppe)

نعرف كاشف الغلاف الجزء العلوي للتوتر المضمن بالوسع . تركيب صمام ثنائي مع ثنائي القطب RCعلى التوازي يكون رباعي القطب يسمى كاشف الغلاف .

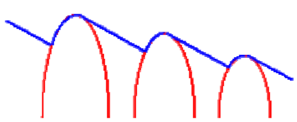


يمثل التوتر U_S غلاف التوتر المضمن (بتشديد وفتح اليم)بالوسع

إن دور الصمام الثنائي هو تقويم التوتر ‘Redressement’

بينما المكثف يقوم بالتصفية ' أو التمليس' أي مرشح

33) شروط الحصول على كاشف غلاف جيد



للحصول على غلاف جيد ، يجب أن يكون التوتر في مخرج الدارةذا تموجات صغيرة ويتبع بكيفية أحسن شكل الإشارة المضمنة ولتحقيق ذلك يجب توفر الشرط التالي

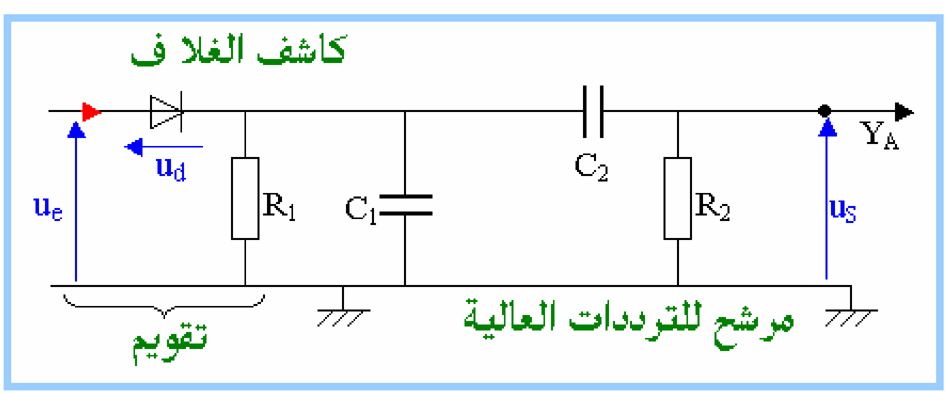
$$T_P << \tau < T_S \qquad f_S < 1/\tau_D << F_P$$

T_p دور التوتر الحامل و T_S دور التوتر المضمن (بتشديد وفتح اليم)بالوسع.

34) إزالة التضمين

لإزالة التضمين ، يجب كشف غلاف التوتر المضمن وأن يكون جيدا ثم حذف المركبة المستمرة للتوتر U_0 لحذف هذه الأخيرة يجب استعمال مرشح للترددات العالية .

دور المكثف C_2 هو إزالة المركبة المستمرة للتوترU_0

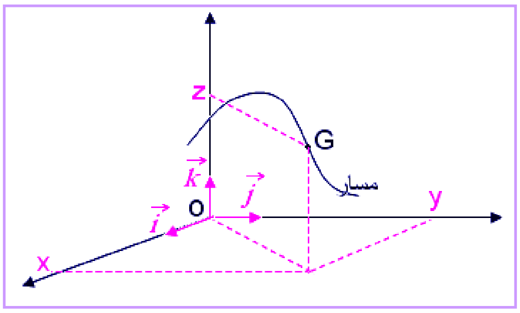


الميكانيك – قوانين نيوتن

I. حركية مركز القصور لجسم صلب

- معلمة الموضع

  - استعمال أساس ديكارتي



في معلم الفضاء $(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ يحدد موضع G مركز القصور لجسم صلب في حركة في كل لحظة بالمتجهة:

$$\overrightarrow{OG} = x\,\vec{i} + y\,\vec{j} + z\,\vec{k}$$

و تسمى متجهة الموضع.

$x = f(t)$ و $y = g(t)$ و $z = h(t)$ تسمى المعادلات الزمنية المميزة للحركة، أو المعادلات البارامترية للمسار .

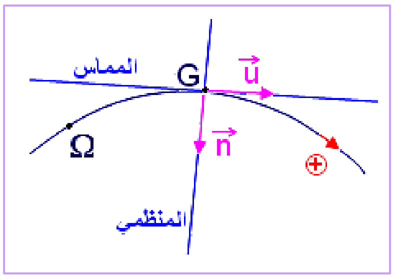
☜ في حالة حركة مستوية يكتفى بمعادلتين زمنيتين و في هذه الحالة تحدد معادلة المسار بإقصاء الزمن بينهما. و في حالة حركة مستقيمية توصف طبيعة الحركة بمعادلة زمنية واحدة.

  - استعمال أساس فريني

تعريف

معلم أو أساس فريني هو الأساس $(G,\vec{u},\vec{n})$ بحيث:

- أصله مرتبط بالنقطة المتحركة G ،
- $\vec{u}$ متجهة واحدية حاملها المماس للمسار و موجهة في منحى موجب اعتباطي،
- $\vec{n}$ متجهة واحدية حاملها المنظمي و موجهة نحو تقعر المسار.



في حركة مستوية يمكن معلمة موضع النقطة المتحركة G بأفصولها المنحني: $s = \widehat{\Omega G}$ (m)

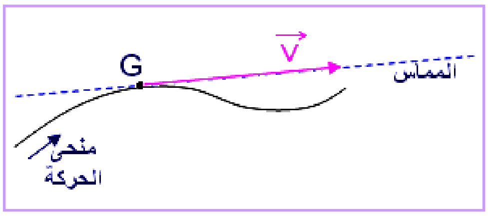
المعادلة الزمنية للحركة s=f(t).

- متجهة السرعة

تعريف

تساوي متجهة السرعة اللحظية المشتقة بالنسبة للزمن لمتجهة الموضع: $\vec{V}_G = \dfrac{d\overrightarrow{OG}}{dt}$

مميزات متجهة السرعة اللحظية للنقطة G في لحظة t هي:



- أصلها G،
- اتجاهها المماس للمسار في G ،
- منحاها هو منحى الحركة.

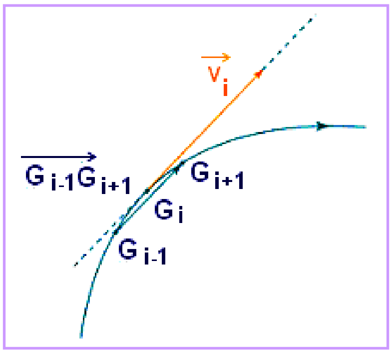
▪ تعبير متجهة السرعة

في أساس فريني	في أساس ديكارتي
$\vec{V}_G = v\vec{u}$ بحيث: $v = \dot{s} = \frac{ds}{dt}$ تمثل v القيمة الجبرية لمتجهة السرعة اللحظية: $v = \pm\lVert\vec{V}\rVert$ تتعلق إشارة v بمنحى الحركة: ▪ v>0 : G تتحرك في المنحى الموجب أي منحى $\vec{u}$، ▪ v<0 : G تتحرك في المنحى السالب أي عكس منحى $\vec{u}$. و قيمة السرعة اللحظية هي: $\lVert\vec{V}\rVert = \lvert v\rvert \quad (m.s^{-1})$	$\vec{V}_G = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k}$ بحيث: $\vec{V}_G \begin{cases} v_x = \dot{x} = \frac{dx}{dt} \\ v_y = \dot{y} = \frac{dy}{dt} \\ v_z = \dot{z} = \frac{dz}{dt} \end{cases} \quad (m.s^{-1})$ إحداثيات متجهة السرعة تساوي في كل لحظة المشتقات بالنسبة للزمن لإحداثيات متجهة الموضع. و قيمة السرعة اللحظية هي: $\lVert\vec{V}\rVert = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (m.s^{-1})$

▪ تحديد و إنشاء متجهة السرعة

انطلاقا من تسجيل لمواضع G خلال مدد متتالية و متساوية قيمتها τ يمكن تحديد قيمة السرعة اللحظية في موضع ما G_i بتطبيق علاقة التأطير التالية:

$$\boxed{\vec{v}_i \approx \frac{\overrightarrow{G_{i-1}G_{i+1}}}{2\tau}}$$



• متجهة التسارع

تعريف

تساوي متجهة التسارع اللحظي المشتقة بالنسبة للزمن لمتجهة السرعة أي المشتقة الثانية بالنسبة للزمن لمتجهة الموضع :

$$\boxed{\vec{a}_G = \frac{d\vec{V}_G}{dt} = \frac{d^2\overrightarrow{OG}}{dt^2}}$$

▪ تعبير متجهة التسارع

في أساس ديكارتي

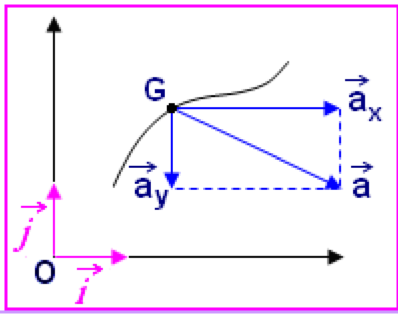
$$\vec{a}_G = a_x\,\vec{i} + a_y\,\vec{j} + a_z\,\vec{k}$$

بحيث:

$$\vec{a}_G \begin{cases} a_x = \dot{v}_x = \ddot{x} \\ a_y = \dot{v}_y = \ddot{y} \\ a_z = \dot{v}_z = \ddot{z} \end{cases} \qquad (m.s^{-2})$$

و قيمة التسارع اللحظي هي:

$$\|\vec{a}\| = \sqrt{a_x^{\,2} + a_y^{\,2} + a_z^{\,2}} \quad (m.s^{-2})$$



في أساس فريني

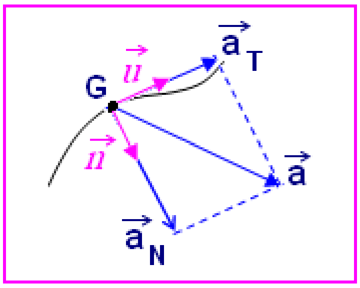
$$\vec{a}_G = a_T\,\vec{u} + a_N\,\vec{n}$$

بحيث: $\vec{a}_G \begin{cases} a_T = \dot{v} = \ddot{s} \\ a_N = \dfrac{v^2}{\rho} \end{cases} \qquad (m.s^{-2})$

ρ شعاع الانحناء للمسار في موضع G.وهو يساوي شعاع الدائرة المماسة للمسار في هذا الموضع.

و قيمة التسارع اللحظي هي:

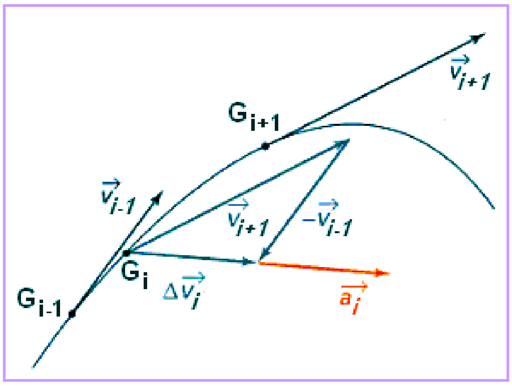
$$\|\vec{a}\| = \sqrt{a_T^{\,2} + a_N^{\,2}} \quad (m.s^{-2})$$



▪ إنشاء متجهة التسارع

باستغلال تسجيل لمواضع G خلال مدد متتالية و متساوية قيمتها τ يمكن إنشاء متجهة التسارع في موضع ما G_i بتطبيق علاقة التأطير التالية:

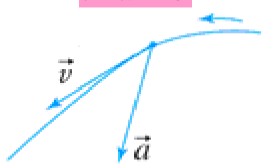
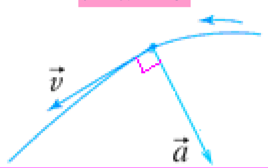
$$\vec{a}_i \approx \frac{\Delta\vec{v}_i}{2\tau} = \frac{\vec{v}_{i+1} - \vec{v}_{i-1}}{2\tau}$$



خاصية متجهة التسارع هي دائما موجهة نحو تقعر المسار.

▪ منحى متجهة التسارع و طبيعة الحركة

تحدد إشارة الجداء السلمي $\vec{v}\cdot\vec{a} = v\cdot a_T$ طبيعة الحركة:

$\vec{v}\cdot\vec{a} > 0$	$\vec{v}\cdot\vec{a} < 0$	$\vec{v}\cdot\vec{a} = 0$
		
حركة متسارعة	حركة متباطئة	حركة منتظمة

II. قوانين نيوتن

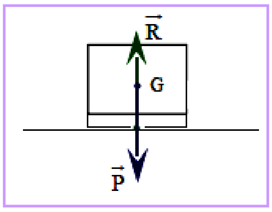
- مبدأ القصور (القانون الأول)

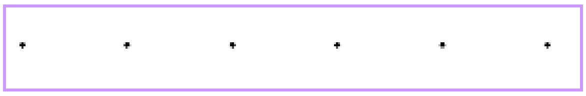
قانون

في معلم غاليلي إذا كان مجموع متجهات القوى الخارجية المطبقة على جسم صلب منعدما(جسم معزول أو شبه معزول) فإن مركز قصوره G يكون في حالة السكون أو في حركة مستقيمية منتظمة:

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = \vec{0} \quad \leftrightarrow \quad \vec{V}_G = \overrightarrow{Cte}$$

▪ تحقق تجريبي: يرسل حامل ذاتي على منضدة أفقية بدون احتكاك و تسجل مواضع مركز قصوره G خلال مدد زمنية متتالية و متساوية.





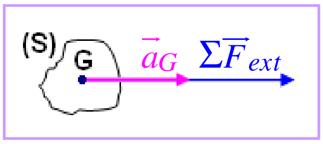
يلاحظ أن حركة G مستقيمية و منتظمة و $\Sigma \vec{F}_{ext} = \vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$

- مبرهنة مركز القصور (القانون الثاني)

قانون

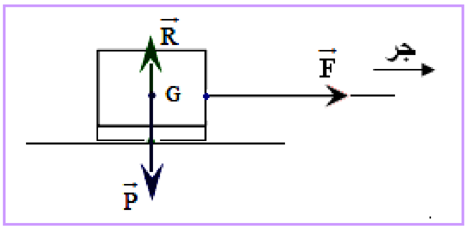
في معلم غاليلي يساوي مجموع متجهات القوى الخارجية المطبقة على جسم صلب متحرك جذاء كتلته و متجهة تسارع مركز قصوره في كل لحظة:

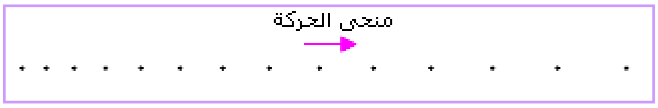
$\boxed{\Sigma \vec{F}_{ext} = m.\vec{a}_G}$ (العلاقة الأساسية للديناميك)



☜ متجهة التسارع و مجموع متجهات القوى مستقيميتان و لهما نفس المنحى في كل لحظة خلال حركة الجسم.

▪ تحقق تجريبي: يجر حامل ذاتي على منضدة أفقية بدون احتكاك تحت تأثير قوة ثابتة $\vec{F}$ اتجاهها أفقي و تسجل مواضع مركز قصوره G خلال مدد زمنية متتالية و متساوية.





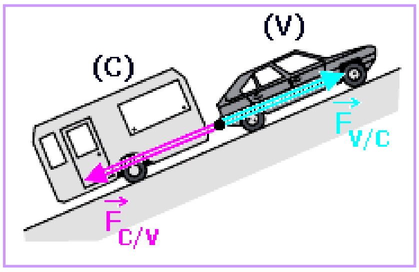
يمكن التحقق من أن حركة G مستقيمية و متسارعة بانتظام أي $\vec{a}_G = \overrightarrow{cte}$

و أن: $\dfrac{F}{a_G} = m$ كما أن $\Sigma \vec{F}_{ext} = \vec{F}$ و $\vec{a}_G$ مستقيميتان و لهما نفس المنحى.

- مبدأ التأثيرات البينية(القانون الثالث)

قانون

إذا كان جسمان A و B في تأثير بيني فإن القوتين المرتبطتين بهذا التأثير متعاكستان سواء كان الجسمان في حالة السكون أو في حركة: $\overrightarrow{F}_{B/A} = -\overrightarrow{F}_{A/B}$



- **مثال:** التأثير البيني الحاصل بين سيارة و مقطورة.

القوة المرتبطة بتأثير السيارة على المقطورة و القوة المرتبطة بتأثير المقطورة على السيارة قوتان متعاكستان.

- طريقة منهجية لتطبيق القانون الثاني لنيوتن

✓ اختيار معلم غاليلي (معلم أرضي غالبا)،

✓ تحديد المجموعة المدروسة،

✓ جرد القوى الخارجية المطبقة عليها،

✓ تطبيق ع.أ.د. $\Sigma \overrightarrow{F}_{ext} = m\,\overrightarrow{a}_G$

✓ إسقاطها في معلم للفضاء:

- في معلم ديكارتي:

$$\begin{cases} F_{1x} + F_{2x} + ... = ma_x \\ F_{1y} + F_{2y} + ... = ma_y \\ F_{1z} + F_{2z} + ... = ma_z \end{cases}$$

- أو في معلم فريني (في حركة دائرية خاصة):

$$\begin{cases} F_{1T} + F_{2T} + ... = ma_T \\ F_{1N} + F_{2N} + ... = ma_N \end{cases}$$

III. الحركة المستقيمية المتغيرة بانتظام

تعريف

تعتبر حركة مركز القصور G لجسم صلب مستقيمية متغيرة بانتظام إذا كان مساره مستقيما و تسارعه ثابتا: $\overrightarrow{a}_G = \overrightarrow{cte}$

- المعادلات الزمنية

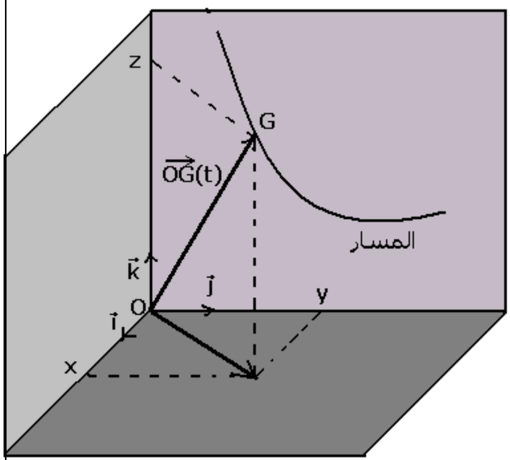
التسارع	السرعة	الأفصول
$a = cte$	$v = at + v_0$	$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0$

v_0 و x_0 على التوالي السرعة و الأفصول عند اللحظة t=0 و يحددان تبعا لاختيار الشروط البدئية.

قوانين نيوتن

I ـ متجهة السرعة اللحظية ـ متجهة التسارع اللحظي .

1 ـ تذكير .

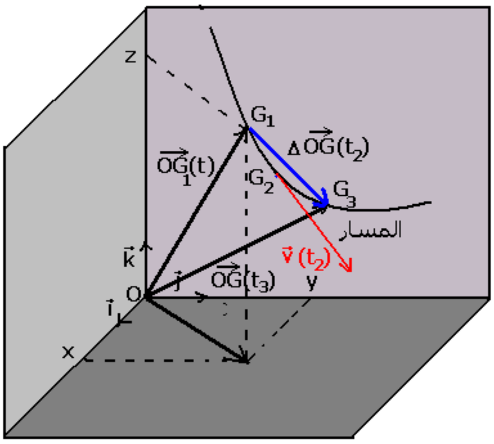


* الحركة : متى يكون جسم صلب في حركة ؟
حركة الجسم الصلب هي **نسبية** أي تتعلق **بالجسم المرجعي** الذي اختير لدراسة هذه الحركة .
لدراسة حركة جسم ما يجب أن نختار جسم مرجعي ونعتبر **معلم للفضاء ومعلم الزمن** مرتبطين **بالجسم المرجعي** .
في جسم مرجعي ، يكون جسم صلب في حركة عندما يتغير موضع نقطة خلال الزمن
* نقتصر في دراسة حركة جسم صلب في جسم مرجعي ما على حركة **مركز قصوره G** والتي تمكننا من معرفة **حركته الإجمالية** .
* نمعلم نقطة متحركة من جسم صلب بواسطة **متجهة الموضع** .
مثلا حركة مركز قصور الجسم (S)نمعلمها بالمتجهة : $\overrightarrow{OG}$ بحيث أن إحداثياتها في المعلم المتعامد والممنظم $\mathcal{R}(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ هي :

$$\overrightarrow{OG}(t)=x(t)\vec{i}+y(t)\vec{j}+z(t)\vec{k}$$

مجموع المواضع المتتالية التي تشغلها النقطة G خلال الزمن تكوِّن **مسار** هذه النقطة .

2 ـ متجهة السرعة اللحظية



أ ـ تعريف :

نعتبر $G(t_1)$ موضع مركز قصور المتحرك عند اللحظة t_1 و $G(t_2)$موضع مركز القصور للمتحرك عند اللحظة t_2 و $G(t_3)$ موضع مركز القصور عند اللحظة $t_3=t_1+\Delta t$ ، نعرف متجهة السرعة عند اللحظة t_2 بالعلاقة التالية :

$$\vec{v}(t_2)=\frac{\overrightarrow{G(t_3)G(t_1)}}{t_3-t_1}=\frac{\overrightarrow{G(t_3)G(t_1)}}{\Delta t}$$

نطبق علاقة شال في الرياضيات :

$$\overrightarrow{G(t_1)G(t_3)}=\overrightarrow{G(t_1)O}+\overrightarrow{OG(t_3)}=\overrightarrow{OG(t_3)}-\overrightarrow{OG(t_1)}=\Delta\overrightarrow{OG(t_2)}$$

$$\vec{v}(t_2)=\frac{\Delta\overrightarrow{OG(t_2)}}{\Delta t}$$

يمكن أن نعمم هذه النتيجة على الشكل التالي :

$$\vec{v}(t)=\frac{\Delta\overrightarrow{OG(t)}}{\Delta t}$$

هذه الطريقة تسمى بالطريقة التأطيرية تستعمل في حالة أن اللحظة t_i تكون مؤطرة من طرف لحظتين t_{i-1} و t_{i+1} جد متقاربتين .

رياضيا نبرهن على أن $\frac{\Delta\overrightarrow{OG(t)}}{\Delta t}$ تؤول إلى المشتقة الأولى $\frac{d\overrightarrow{OG}}{dt}$ عندما تؤول $\Delta t\to 0$ أي أن :

$$\vec{v}_G = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \overrightarrow{OG}}{\Delta t}$$

مميزات متجهة السرعة :

تكون متجهة السرعة في نقطة معينة مماسة لمسار هذه النقطة وموجهة في منحى حركتها
في حالة حركة مستقيمية يكون اتجاه متجهة السرعة متطابق مع مسار هذه النقطة
وحدة السرعة في النظام العالي للوحدات هي m/s

ملحوظة : تتعلق متجهة السرعة بالجسم المرجعي الذي تتم فيه الدراسة .

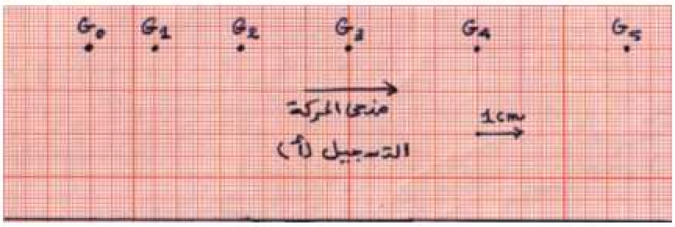
ب ـ إحداثيات متجهة السرعة في معلم ديكارتي

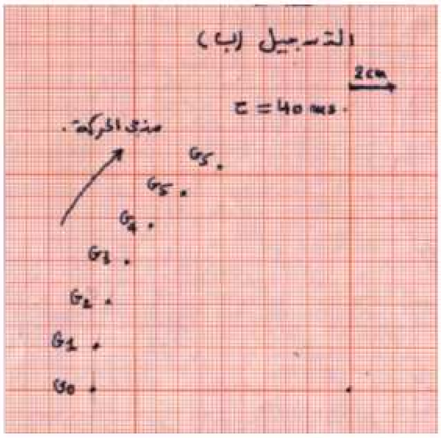
في معلم متعامد وممنظم $\mathcal{R}(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ (معلم ديكارتي) إحداثيات السرعة اللحظية هي :

$$\overrightarrow{OG} = x_G\vec{i} + y_G\vec{j} + z_G\vec{k} \Rightarrow \vec{v}_G(t) = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt} = \frac{dx_G}{dt}\vec{i} + \frac{dy_G}{dt}\vec{j} + \frac{dz_G}{dt}\vec{k} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k} = \dot{x}_G\vec{i} + \dot{y}_G\vec{j} + \dot{z}_G\vec{k}$$

تمرين تجريبي :

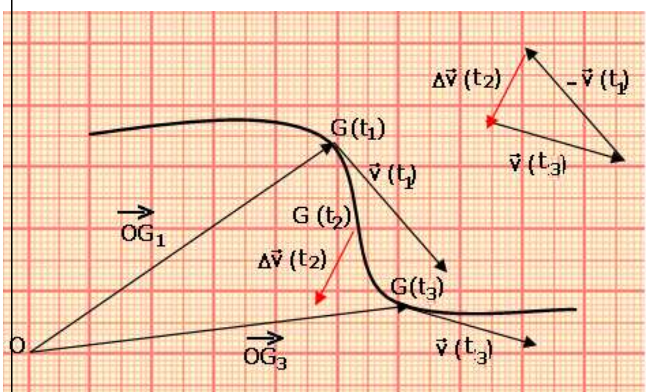
لدراسة حركة مركز قصور حامل ذاتي على منضدة هوائية نقوم بتجربتين :
التجربة الأولى نميل المنضدة بزاوية $\alpha = 20°$ بالنسبة للمستوى الأفقي . نطلق الحامل الذاتي من أعلى المنضدة بدون سرعة بدئية ونسجل مواضع مركز قصوره G خلال مدد زمنية متتالية ومتساوية $\tau = 40ms$ فنحصل على التسجيل (أ) .
التجربة الثانية : نعيد المنضدة إلى وضعها الأفقي ونربط الحامل الذاتي بخيط غير قابل الامتداد حيث أحد طرفيه مثبت بحامل ثابت والطرف الآخر مرتبط بالحامل الذاتي ونجره بطريقة . نسجل مواضع مركز قصوره G خلال مدد زمنية متتالية ومتساوية $\tau = 40ms$. فنحصل على التسجيل (ب) .





استثمار :

1 ـ أحسب بالنسبة لكل تسجيل v_2 و v_4 سرعتا G مركز قصور الحامل الذاتي على التوالي في الموضعين G_2 و G_4 .



2 ـ مثل على كل تسجيل المتجهتين $\vec{v}_2$ و $\vec{v}_4$ باستعمال سلم ملائم . مثل في G_3 من كل تسجيل المتجهة $(\vec{v}_4 - \vec{v}_2)$.

3 ـ متجهة التسارع اللحظي .

أ ـ تعريف

لتكن $\vec{v}(t_1)$ متجهة السرعة في اللحظة t_1 و $\vec{v}(t_3)$ في اللحظة $t_3 = t_1 + \Delta t$ نعرف متجهة التسارع $\vec{a}_G(t_2)$ بالعلاقة التالية :

$$\vec{a}_G(t_2) = \frac{\vec{v}(t_3) - \vec{v}(t_2)}{t_3 - t_2} = \frac{\Delta\vec{v}(t_2)}{\Delta t}$$

بصفة عامة تكتب متجهة التسارع في لحظة t هي : $\vec{a}(t)=\dfrac{\Delta\vec{v}(t)}{\Delta t}$

نستعمل هذه العلاقة في حالة أن اللحظة t_i مؤطرة بلحظتين t_{i+1} و t_{i-1} جد متقاربتين .

عندما تتناهى Δt نحو الصفر ، يتناهى المقدار $\dfrac{\Delta\vec{v}_G}{\Delta t}$ نحو متجهة التسارع $\vec{a}_G(t)$ بحيث أن :

$$\vec{a}_G(t)=\lim_{\Delta t\to 0}\left(\frac{\Delta\vec{v}_G}{\Delta t}\right)=\frac{d\vec{v}_G}{dt}$$

وحدة التسارع في النظام العالمي للوحدات هي m/s^2 .

ملحوظة : تتعلق متجهة التسارع بالجسم المرجعي الذي تتم فيه الدراسة .

تطبيق :

3 ــ احسب بالنسبة للدراسة التجريبية السابقة المتجهة $\vec{a}_3$. ومثلها باستعمال سلم مناسب .

<u>ب ــ إحداثيات متجهة التسارع</u>

* إحداثيات متجهة التسارع في معلم ديكارتي $\mathcal{R}(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$:

$$\vec{a}_G(t)=\frac{d\vec{v}_G}{dt}=\frac{dv_x}{dt}\vec{i}+\frac{dv_y}{dt}\vec{j}+\frac{dv_z}{dt}\vec{k}=\frac{d^2x_G}{dt^2}\vec{i}+\frac{d^2y_G}{dt^2}\vec{j}+\frac{d^2z_G}{dt^2}\vec{k}=\ddot{x}\vec{i}+\ddot{y}\ \vec{j}+\ddot{z}\ \vec{k}$$

حالات خاصة :

إذا كانت حركة G تتم على مستوى $(O,\vec{i},\vec{j})$ في معلم ديكارتي مرتبط بجسم مرجعي $\mathcal{R}$ تصبح العلاقات كالتالي :

$$\overrightarrow{OG}=x\vec{i}+y\vec{j},\vec{v}_G=\dot{x}\vec{i}+\dot{y}\vec{j},\vec{a}_G=\ddot{x}\vec{i}+\ddot{y}\vec{j}$$

$$v_G=\sqrt{v_x^2+v_y^2},a_G=\sqrt{a_x^2+a_y^2}$$

إذا كانت حركة G حركة مستقيمية تتم وفق المحور $(O,\vec{i})$ فإن العلاقات هي كالتالي :

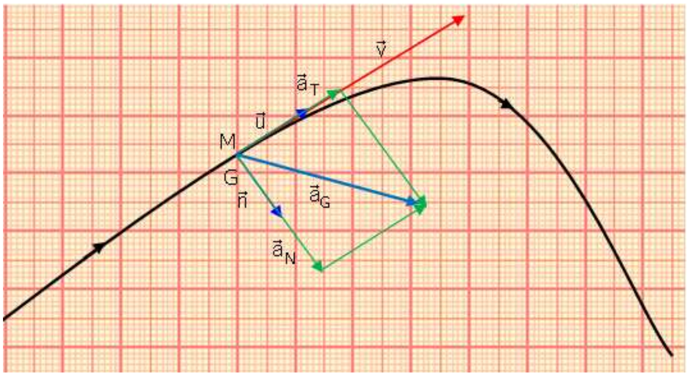
$$\overrightarrow{OG}=x\vec{i},\vec{v}_G=\dot{x}\vec{i},\vec{a}_G=\ddot{x}\vec{i}$$

<u>* إحداثيتا التسارع في أساس فريني .</u>

<u>تعريف بأساس فريني :</u>

أساس فريني هو أساس للإسقاط غير مرتبط بالمرجع .

معلم فريني $(M,\vec{u},\vec{n})$ معلم متعامد وممنظم ينطبق أصله مع موضع النقطة المتحركة ، حيث متجهته الواحدية $\vec{u}$ مماسة للمسار وموجهة في منحى الحركة ، ومتجهته $\vec{n}$ متعامدة مع $\vec{u}$ وموجهة داخل انحناء المسار .



نعبر عن متجهة التسارع $\vec{a}_G$ في أساس فريني ، بالنسبة لحركة مستوية كالتالي :

$\vec{a}_G=a_T.\vec{u}+a_N.\vec{n}$ بحيث أن :

$\vec{a}_T$ متجهة التسارع المماسي بحيث أن $a_T=\dfrac{dv_G}{dt}$

$\vec{a}_N$ متجهة التسارع المنظمي $a_N=\dfrac{v^2}{\rho}$ بحيث أن ρ هو شعاع انحناء المسار في الموضع M .

<u>ملحوظة</u> : من خلال الجداء السلمي للمتجهتين $\vec{a}$ و $\vec{v}$ يمكن لنا تحديد طبيعة الحركة :

$$\vec{a}.\vec{v}=a.v.\cos(\vec{a},\vec{v})$$

تتعلق إشارة الجداء $\vec{a}.\vec{v}$ بالزاوية $\alpha=(\vec{a},\vec{v})$

$\vec{a}.\vec{v}<0$ تكون الحركة متباطئة

$\vec{a}.\vec{v}>0$ تكون الحركة متسارعة

$\vec{a}.\vec{v}=0$ تكون الحركة مستقيمية منتظمة .

R

II ـ قوانين نيوتن

1 ـ القوة الداخلية ـ القوة الخارجية .

للقيام بدراسة ميكانيكية يجب تحديد المجموعة المدروسة وهي تتكون من جسم واحد أو أكثر يسمح بتصنيف القوى المقرونة بالتأثيرات الميكانيكية بين مكوناتها إلى قوى داخلية وقوى خارجية القوة الخارجية هي كل التأثيرات الميكانيكية المطبقة على المجموعة من أجسام لا القوى الداخلية هي التأثيرات الميكانيكية المطبقة من طرف الأحسام المنتمية للمجموعة

ملحوظة : إذا كان مجموع القوى الخارجية منعدما $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$ نقول أن هذه المجموعة شبه معزولة ميكانيكيا .

2 ـ القانون الأول لنيوتن أو مبدأ القصور

في مرجع غاليلي ، إذا كان مجموع القوى الخارجية المطبقة على جسم صلب يساوي متجهة منعدمة $\left(\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}\right)$، فإن متجهة السرعة $\vec{v}_G$ لمركز القصور G للجسم الصلب تكون ثابتة . وفي المقابل ، إذا كانت متجهة السرعة لمركز القصور G للجسم الصلب ثابتة ، فإن مجموع القوى الخارجية المطبقة على الجسم مجموع منعدم .

ملحوظة :

يمكِّن مركز القصور من التمييز بين مراجع غاليلية ومراجع غير غاليلية : المراجع الغاليلية هي مراجع يتحقق فيها مبدأ القصور .

المرجع المركزي الشمسي (مرجع كوبرنيك) مركزه الشمس والمحاور الثلاث موجهة نحو ثلاثة نجوم ثابتة . أفضل مرجع غاليلي .

المرجع المركزي الأرضي : مركزه الأرض ملائم لدراسة حركات الأجسام التي تتحرك حول الأرض (الطائرات والأقمار الاصطناعية ..) ليس بمرجع غاليلي بالمعنى الدقيق .

المرجع الأرضي : كل جسم صلب مرتبط بسطح الأرض يمكن اعتباره مرجعا أرضيا . مثال : المختبر . ويستعمل لدراسة جميع الأجسام التي تتحرك على سطح الأرض أو على ارتفاع ضئيل منه بمرجعا غاليليا بالمعنى الدقيق .

بالنسبة للحراكات القصيرة المدة يمكن اعتبار هذين المرجعين غاليليين .

3 ـ القانون الثاني لنيوتن (القانون الأساسي للتحريك)

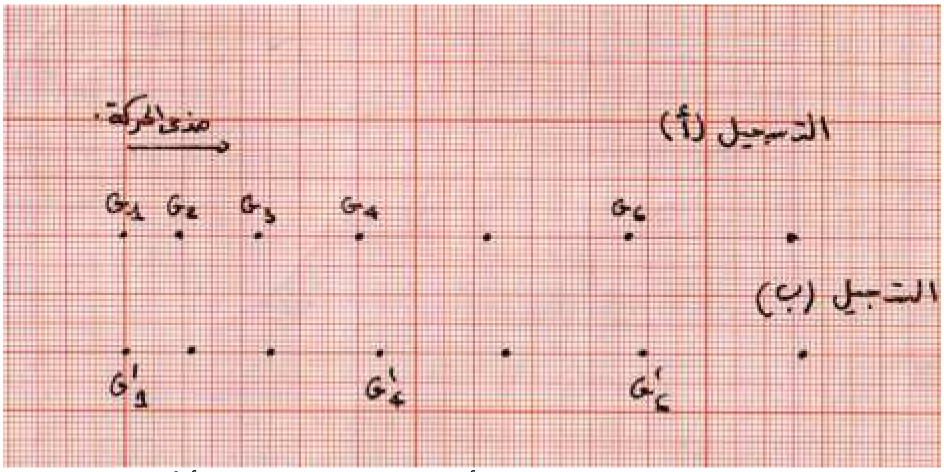
3 ـ 1 العلاقة بين $\dfrac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$ و $\sum \vec{F}_{ext}$

النشاط التجريبي 2

التحقق التجريبي من العلاقة $\sum \vec{F}_{ext} = m\dfrac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$

نضبط المنضدة أفقيا ، ونضع الحامل الذاتي فوقها ، ثم نربطه بجهاز يطبق قوة ثابتة قابلة للضبط بواسطة خيط غير قابل الامتداد وكتلته مهملة . نحرك الحامل الذاتي في اتجاه محور أنبوب الجهاز حتى يصير الخيط موازيا لسطح المنضدة ، ونبقيه في حالة سكون . نشغل الجهاز فينزلق الحامل الذاتي فوق المنضدة بفعل القوة $\vec{F}$ التي يطبقها عليه الخيط $(F = 0,27N)$ ، وفي نفس الوقت نسجل المواضع التي يحتلها G مركز قصور الحامل الذاتي في مدد متتالية ومتساوية $\tau = 80ms$ فنحصل على التسجيل (أ) أنظر التسجيل أسفله .

نعيد نفس التجربة مع الاحتفاظ بنفس الشدة F لكن بوجود نقص في صبيب الهواء المنبعث من معصفة souflerie الحامل الذاتي . نحصل على التسجيل (ب)



1 ــ أجرد القوى المطبقة على الحامل الذاتي أثناء حركته في التجربة الأولى .

2 ــ أثبت أن $\left(\sum \vec{F}_{ext}\right)$ مجموع القوى الخارجية المطبقة على الحامل الذاتي أثناء حركته يكافئ القوة $\vec{F}$ خلال التجربة الأولى .

3 ــ أوجد باستغلال التسجيل قيمة Δv_G تغير سرعة G في الحالات التالية :

أ ــ بين G_1 و G_3 ب ــ بين G_2 و G_4 ج ــ بين G_2 و G_5 د ــ بين G_2 و G_6 . ماذا تلاحظ ؟

4 ــ مثل تغيرات Δv_G بدلالة Δt المدة الزمنية الموافقة .

5

القسمة $\frac{F}{m}$ ، m هي كتلة الحامل الذاتي : m=450g . تحقق من العلاقة $\sum \vec{F}_{ext} = m\frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$.

6 ــ نعتبر أن قوة الاحتا $\vec{f}$

موازية لمسار G ومنحاها عكس منحى G . أحسب f شدة هذه القوة .

7 ــ إذا علمت أن القانون الثاني لنيوتن تجسده العلاقة $\sum \vec{F}_{ext} = m\frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$ ، اقترح نص هذا القانون ، مبرزا الفائدة منه .

3 ــ 2 نص القانون الثاني لنيوتن .

عندما تتناهى Δt نحو الصفر يتناهى خارج القسمة $\frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$ نحو متجهة التسارع $\vec{a}_G$ ، فتصبح العلاقة $\sum \vec{F}_{ext} = m\frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$ بمثابة قانون لحظي ، وهو القانون الثاني لنيوتن $\sum \vec{F}_{ext} = m.\vec{a}_G$

نص قانون :

في مرجع غاليلي ، يساوي مجموع القوى الخارجية المطبقة على جسم صلب جداء كتلة هذا الجسم ومتجهة التسارع لمركز قصوره G :

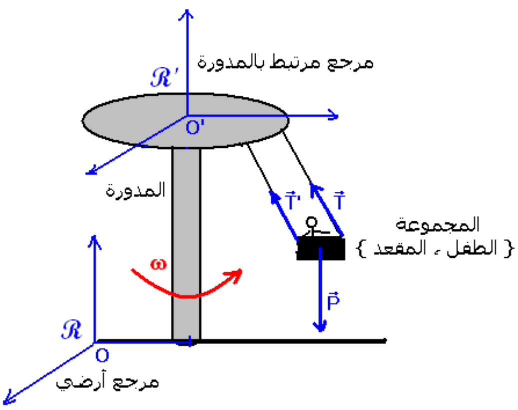
$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$$

ملحوظة : لا يطبق القانون الثاني لنيوتن إلا في المراجع الغاليلية .

تطبيق حول تطبيق القانون الثاني لنيوتن في المراجع الغاليلية :

تنجز مدورة ألعاب حركة دوران منتظم ، حول محور ثابت ، في مرجع أرضي . أخذ الطفل أحمد مقعده في هذه المدورة . نعتبر { الطفل ، المقعد } المجموعة المدروسة ونجسم هذه المجموعة بمركز قصورها G ، حيث كتلتها M .

1 ـ اجرد القوى المطبقة على المجموعة خلال حركة دورانها . ومثلها بدون سلم في مركز قصور المجموعة .



ـ وزن المجموعة $\vec{P}$

ـ تأثير الحبل على المجموعة $\vec{F}$

2 ـ نعتبر الجسم المرجعي $\mathcal{R}'$ مرتبط بالمدورة والجسم المرجعي الأرضي $\mathcal{R}$.

2 ـ 1 حدد الحالة الميكانيكية للمجموعة في $\mathcal{R}$ و $\mathcal{R}'$. واستنتج تسارعها في المرجع $\mathcal{R}'$.

في الجسم المرجعي $\mathcal{R}'$ المرتبط بالمدورة المجموعة في حالة سكون

في الجسم المرجعي $\mathcal{R}$ في حركة دوران منتظم .

ـ تسارع المجموعة في $\mathcal{R}'$ منعدم $\vec{a}_G = \vec{0}$

2 ـ 2 طبق القانون الثاني لنيوتن في $\mathcal{R}$ و $\mathcal{R}'$. ماذا تستنتج ؟

نطبق القانون الثاني لنيوتن في $\mathcal{R}$: $\vec{P} + \vec{F} = M.\vec{a}_G$

نطبق القانون الثاني لنيوتن في $\mathcal{R}'$ بما أن $\vec{a}_G = \vec{0}$ فإن $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$ لكن حسب تمثيل القوى يلاحظ أن $\sum \vec{F}_{ext} \neq \vec{0}$

4 ـ القانون الثالث لنيوتن

نص القانون : مبدأ التأثيرات المتبادلة .

نعتبر جسمين A و B في تأثير بيني ، لتكن $\vec{F}_{A/B}$ القوة التي يطبقها A على B و $\vec{F}_{B/A}$ القوة التي يطبقها B على A .

سواء كان الجسمان في حركة أو في سكون فإن القوتين $\vec{F}_{A/B}$ و $\vec{F}_{B/A}$ تحققان المتساوية :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

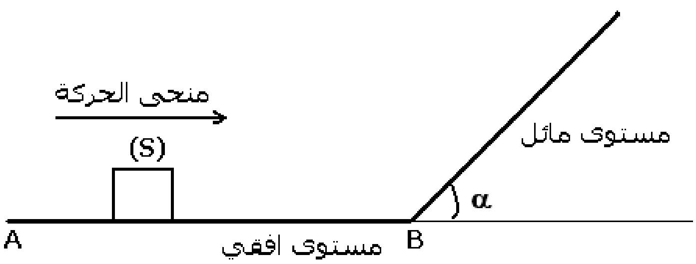
يطبق هذا القانون بالنسبة لقوى التماس وكذلك بالنسبة لقوى عن بعد .

III ـ تطبيق : حركة جسم صلب على مستوى أفقي وعلى مستوى مائل .

1 ـ نعتبر جسما صلبا (S) كتلته M=200g ، موضوعا فوق مستوى أفقي بحيث يتم التماس بينهما بدون احتكاك . نطبق قوة أفقية ثابتة $\vec{F}$ شدتها F=0.5N و تسمح بتحريكه على المستوى الأفقي . خط تأثير القوة $\vec{F}$ موازي للمستوى الأفقي .

بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على الجسم الصلب (S) أثناء حركة مركز قصوره G ، بين أن طبيعة حركة مركز قصوره حركة مستقيمية متغيرة بانتظام . أحسب قيمة التسارع a_G لمركز قصوره .

الجواب :



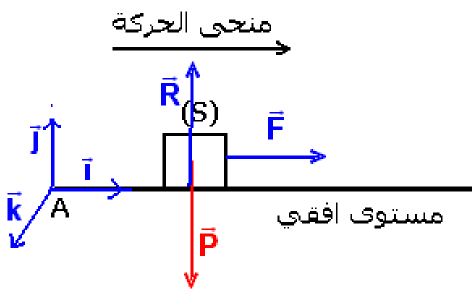
لتطبيق القانون الثاني لنيوتن نحدد المجموعة المدروسة : (S) . ونختار مرجعا غاليليا وهو المرجع الأرضي .

نقوم بجرد القوى المطبقة على المجموعة المدروسة : (S)

$\vec{P}$ وزن الجسم (S)

$\vec{F}$ القوة الأفقية الثابتة .

$\vec{R}$ تأثير السطح على (S) . في غياب الاحتكاك بين الجسم والسطح تكون المتجهة $\vec{R}$ عمودية على السطح الأفقي .



نطبق القانون الثاني لنيوتن ، القانون الأساسي للتحريك

$$\vec{P}+\vec{F}+\vec{R}=m.\vec{a}_G$$

إسقاط العلاقة المتجهية على المعلم المتعامد الممنظم $\mathcal{R}(O,\vec{i},\vec{j})$

على Ox لدينا : $P_x+R_x+F_x=m.a_1 \Rightarrow F=m.a_1$ (1)

على Oy لدينا $P_y+F_y+R_y=\vec{0}$ غياب الحركة على المحور Oy أي أن $R-P=0 \Rightarrow R=P=mg$

حركة مركز قصور الجسم (S) حركة مستقيمية لأن مسار مركز قصور الجسم مستقيمي .

من خلال العلاقة (1) يتبين أن التسارع a لمركز قصور الجسم ثابت حسب التعبير التالي : $a=\dfrac{F}{m}$

وبالتالي فحركة مركز قصور الجسم (S) حركة مستقيمية متغيرة بانتظام .

حساب التسارع a : $a_1=2,5m/s^2$

2 ـ في نقطة B ، تبعد عن النقطة A موضع انطلاقه بدون سرعة بدئية بمسافة ℓ=30cm ، يصعد الجسم (S) مستوى مائلا بالنسبة للمستوى الأفقي بزاوية $\alpha=45°$ حيث تبقى نفس القوة $\vec{F}$ مطبقة عليه ، خط تأثيرها موازي للمستوى المائل . نعتبر أن التماس بين المستوى المائل والجسم (S) يتم بالاحتكاك وأن معامل الاحتكاك في هذه الحالة هو k=0,1 .

ما هي طبيعة حركة مركز قصور الجسم (S) خلال حركته على المستوى المائل ؟

أحسب المسافة الدنوية التي يمكن أن يقطعها الجسم قبل توقفه .

الجواب :

نطبق القانون الثاني لنيوتن على الجسم (S) في الجزء الثاني من مساره وهو المستوى المائل .

نختار نفس المرجع السابق وهو المرجع الأرضي والذي نعتبر ه مرجعا غاليليا ونربطه بمعلم متعامد وممنظم $\mathcal{R}(O,\vec{i},\vec{j})$

جرد القوى المطبقة على (S) :

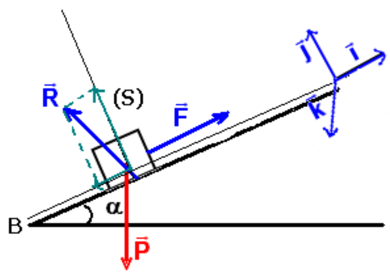
$\vec{P}$ وزن الجسم (S)

$\vec{F}$ القوة الثابتة حيث اتجاهها موازي للمستوى المائل .

$\vec{R}$ تأثير السطح على (S) . وجود الاحتكاك بين الجسم والسطح تكون المتجهة $\vec{R}$ مائلة بالنسبة للخط المنظمي على المستوى المائل بزاوية φ تسمى بزاوية الاحتكاك ومنحاها عكس منحى حركة الجسم (S) . نعرف معامل الاحتكاك بالعلاقة التالية : $k=\tan\varphi=\left|\dfrac{R_T}{R_N}\right|$ بحيث أن $\vec{R}_T$ المركبة المماسية للمتجهة $\vec{R}$ وهي التي تقاوم حركة الجسم تسمى بقوة الاحتكاك ونرمز لها ب $\vec{f}$ و $\vec{R}_N$ المركبة المنظمية على المستوى المائل للمتجهة $\vec{R}$

نطبق القانون الثاني لنيوتن ، القانون الأساسي للتحريك

$$\vec{P}+\vec{F}+\vec{R}=m.\vec{a}_G$$



إسقاط العلاقة المتجهية على المعلم المتعامد الممنظم $\mathcal{R}(O,\vec{i},\vec{j})$

على Ox لدينا : $P_x+R_x+F_x=m.a_2 \Rightarrow -mg\sin\alpha-R_T+F=m.a_2$

(1)

على Oy لدينا $P_y+F_y+R_y=\vec{0}$ غياب الحركة على المحور Oy أي أن

$$R_N-mg\cos\alpha=0 \Rightarrow R_N=mg\cos\alpha$$

لدينا $k=\dfrac{R_T}{R_N} \Rightarrow R_T=k.R_N=k.mg\cos\alpha$ من العلاقة (1) نستنتج أن

$$-mg\sin\alpha - kmg\cos\alpha + F = m.a_2 \Rightarrow a_2 = \left(\frac{F}{m} - (g\sin\alpha + kg\cos\alpha)\right)$$

$$a_2 = a_1 - (g\sin\alpha + kg\cos\alpha)$$

يلاحظ من خلال التعبير أن a_2 ثابتة وأصغر من a_1 نظرا لوجود الاحتكاكات وكذلك المستوى المائل .
إذن فحركة مركز قصور الجسم (S) في هذا الجزء هي حركة مستقيمية متغيرة بانتظام .
قيمة التسارع a_2 هي : $a_2 = -5,1 m/s^2$
نحسب المسافة الدنوية التي يجب أن يقطعها الجسم قبل توقفه :
نطبق مبرهنة الطاقة الحركية بين النقطة B التي سيصل إليها الجسم في المرحلة الأولى بسرعة v_B والنقطة التي سيتوقف فيها الجسم (S) .
حساب v_B نطبق كذلك مبرهنة الطاقة الحركية منذ انطلاقه من النقطة A إلى وصوله إلى النقطة B :

$$\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = \underset{A\to B}{W}(\vec{F}) \Rightarrow \frac{1}{2}mv_B^2 = F.\ell = m.a_1.\ell$$

$$v_B = \sqrt{2.a_1.\ell} = 1,22 m/s$$

نطبق مبرهنة الطاقة الحركية لحساب d المسافة التي سيقطعها الجسم قبل توقفه :

$$\frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_B^2 = \underset{B\to f}{W}(\vec{P}) + \underset{B\to f}{W}(\vec{R}) + \underset{B\to f}{W}(\vec{F})$$

$$-\frac{1}{2}mv_B^2 = -mgd\sin\alpha - R_T.d + F.d \Rightarrow -\frac{1}{2}mv_B^2 = m.d\left(-g\sin\alpha - kg.\cos\alpha + \frac{F}{m}\right)$$

$$-\frac{1}{2}mv_B^2 = m.a_2.d$$

$$d = -\frac{v_B^2}{2a_2} = 0,15m$$

IV ـ الحركة المستقيمية المتغيرة بانتظام

1 ـ تعريف

تكون لمركز القصور G لجسم صلب حركة مستقيمية متغيرة بانتظام ، إذا كان مسار G مستقيميا وإذا كانت $\vec{a}_G$ متجهة التسارع للنقطة G ثابتة خلال الحركة .

2 ـ المعادلة الزمنية للحركة

تعتبر أن جسما S يتحرك على مسار مستقيمي ، في معلم ديكارتي $\mathcal{R}(O,\vec{i})$ نمعلم مركز قصوره G في كل لحظة t بمتجهة الموضع $\overrightarrow{OG} = x.\vec{i}$ أي أم متجهة السرعة للنقطة G هي $\vec{v}_G = v_G.\vec{i}$.
نعتبر الشروط البدئية التالية : عند اللحظة $t_0 = 0$ لدينا $x = x_0$ و $v_G = v_0$.
نعلم أن

$$a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow v = at + C$$

$$t = 0 \Rightarrow v = v_0 \Rightarrow C = v_0$$

$$v = at + v_0$$

$$v = \frac{dx}{dt} = at + v_0 \Rightarrow x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + C'$$

$$t = 0 \Rightarrow x = x_0 \Rightarrow C' = x_0$$

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$$

$x(t)$ تمثل المعادلة الزمنية للحركة وهي تتعلق بالشروط البدئية .

السقوط الرأسي لجسم صلب

I ـ مجال الثقالة

تعريف

كل جسم موجود على سطح الأرض أو في الحيز المحيط بها يخضع لقوة مطبقة من طرف الأرض تسمى بوزن الجسم ونرمز لها ب $\vec{P}$. هذه القوة هي ناتجة عن المجال المحدث من طرف الأرض يسمى بمجال الثقالة ونرمز له ب $\vec{g}$

العلاقة بين $\vec{P}$ و $\vec{g}$ هي : $\vec{g}=\frac{1}{m}\vec{P}$ حيث m كتلة الجسم .

مميزات متجهة مجال الثقالة :

ـ الاتجاه : الرأسي المار من مركز قصور الجسم .

ـ المنحى : نحو الأرض

ـ المنظم : شدة مجال الثقالة ونعبر عنها بالوحدة N/kg^{-1}

ملحوظة : تتعلق شدة مجال الثقالة بالارتفاع وبخط العرض .

II ـ القوى المطبقة من طرف مائع .

1ـ قوى الاحتكاك المائع

كل جسم في حركة داخل مائع

تكافئ هده القوى المطبقة من طرف المائع على الجسم المتحرك ، قوة وحيدة تسمى قوة المائع

مميزات قوة الاحتكاك المائع :

الأصل : مركز قصور الجسم

خط تأثيرها هو اتجاه متجهة سرعة مركز القصور G للجسم

المنحى : عكس منحى متجهة مركز فصور الجسم

الشدة :

المتحرك بالنسبة للمائع .

ننمذج شدتها بالعلاقة التالية : $f=k.v_G^n$ حيث k ثابتة تتعلق بطبيعة المائع وبشكل الجسم الصلب

نضع $v_G=v$ ، فتسبح العلاقة $f=k.v^n$.

ملحوظة : عندما تكون قيمة السرعة صغيرة ، نأخذ n=1 ، فتصبح العلاقة السابقة كالأتي : $f=k.v$ ، في هذه الحالة تتعلق k بلزوجة المائع .

عندما تكون قيمة السرعة v كبيرة ، نأخذ n=2 تصبح العلاقة السابقة $f=k.v^2$ في هذه الحالة ، لاتتعلق k بلزوجة المائع ، بل تتعلق بكتلته الحجمية.

2 ـ دافعة أرخميدس

يخضع كل جسم مغمور كليا أو جزئيا في مائع لقوى تماس ضاغطة مطبقة على سطح الجسم ، يسمي مجموع هذه القوى بدافعة أرخميدس .

مميزاتها هي :

ـ نقطة تأثيرها : مركز ثقل المائع المزاح

ـ الاتجاه : الخط الرأسي

ـ المنحى : نحو الأعلى

ـ الشدة : تساوي شدة وزن الحجم المزاح للمائع : $\vec{F}_A=-\rho_f.V.\vec{g}$

بحيث أن ρ_f الكتلة الحجمية للمائع ب kg/m^3

V الحجم المزاح للمائع (m^3)

g : شدة مجال الثقالة (N/kg) أو m/s^2

F_A شدة دافعة أرخميدس (N)

ملحوظة : $\vec{F}_A = -\vec{P}_f$ ، $\vec{P}_f$ هي وزن الحجم المزاح .

نبين أن $\frac{\vec{F}_A}{\vec{P}_s} = \frac{\rho_f}{\rho_s}$ حيث P_s هو وزن الجسم الصلب المغمور في المائع و ρ_s كتلته الحجمية .

أذا كانت ρ_f أصغر بكثير من ρ_s فأن F_A تصغر بكثير من P_s هذه الحالة نجدها عندما يكون المائع غلزيا .

III ـ السقوط الرأسي باحتكاك

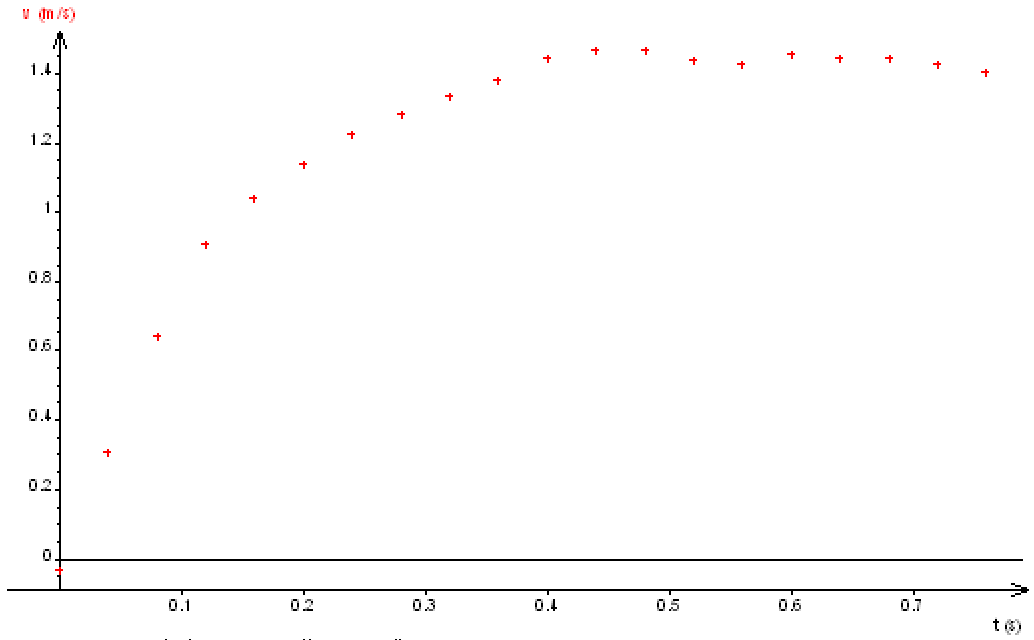
النشاط التجريبي

الهدف من التجربة : نمذجة حركة سقوط كرية في مائع بطريقة أولير

العدة التجريبية : مخبار مدرج من فئة 1ℓ . محلول الغليسيرول المخفف كتلته الحجمية $\rho_f = 1,07 g/m\ell$ ، كرية فولاذية كتلتها m_b=6,88g وشعاعها R=5,9mm نسجل حركة الكرية في السائل بواسطة كاميرا رقمية ونحفظ الشريط المسجل لحركة الكرية في ملف من نوع

نستعمل برنم أفيميكا Avimeca لعملية تحديد مواضع النقط الموافقة لمواضع G مركز قصور الكرية خلال سقوطها مع اختيار محور رأسي موجه نحو الأسفل فنكتب قيم الأزواج (t,y) .

نرسل جدول القياس إلى برنم المجدول وراسم المنحنيات regressi ، وبعد تعريف إحداثية متجهة السرعة $\vec{v}_G$ وهي $v = \frac{dy}{dt}$ ، يقوم البرنم بحساب قيم v ثم رسم منحنى تغيرات v بدلالة الزمن t على الشاشة ، ثم نحفظ الملف .



منحنى تغير سرعة مركز قصور الكرية خلال سقوطها في سائل الغليسيرول مخفف

استثمار

1 ـ استغلال المنحنى v=f(t)

أ ـ يبرز المنحنى وجود نظامين ، حدد مبيانيا المجال الزمني لكل نظام مبرزا طبيعة حركة الكرية في كل نظام .

ب ـ هل تتزايد أم تتناقص متجهة التسارع $\vec{a}_G$ مركز قصور الكرية خلال الحركة ؟ علل جوابك .

ج ـ مثل على الشكل الخط المقارب للمنحنى .

يمثل نقطة تقاطع هذا الخط مع محور السرعات قيمة السرعة الحدية v_ℓ . حدد قيمة v_ℓ .

د ـ مثل في نفس المنحنى ، المماس للمنحنى عند الأصل O . يتقاطع هذا المماس على الخط المقارب في نقطة أفصولها τ نسميه الزمن المميز . عين قيمة τ .

ه ـ ما قيمة a_0 لإحداثية $\vec{a}_0$ على المحور الرأس عند اللحظة t=0 ؟

2 ـ الدراسة النظرية

أ ـ أذكر مرجعا يمكن اعتماده في دراسة حركة G مركز قصور الكرية .

ب ـ أثنا سقوط الكرية ، ما هي القوى المطبقة عليها . حدد مميزات كل القوى المطبقة على الكرية . حدد من بين القوى الثلاث ، القوة التي تتغير شدتها خلال النظام البدئي .

ج ـ بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على الكرية أثناء سقوطها الرأسي في المائع في مرجع تحدده ، أكتب العلاقة التي تربط بين مجموع القوى الخارجية المطبقة على الكرية وm كتلة الكرية ومتجهة التسارع لمركز قصور الجسم $\vec{a}_G$.

د ـ بإسقاط هذه العلاقة على المحور $(O,\vec{k})$ الرأسي الموجه نحو الأسفل ، أثبت العلاقة التالية :

$\frac{dv}{dt} = A - Bv^n$ (1) . عبر عن A و B بدلالة m و k و F_A و g شدة الثقالة .

ه ـ بين أن سرعة G تبلغ قيمة حدية v_ℓ ، واعط تعبير v_ℓ بدلالة A و B و n .

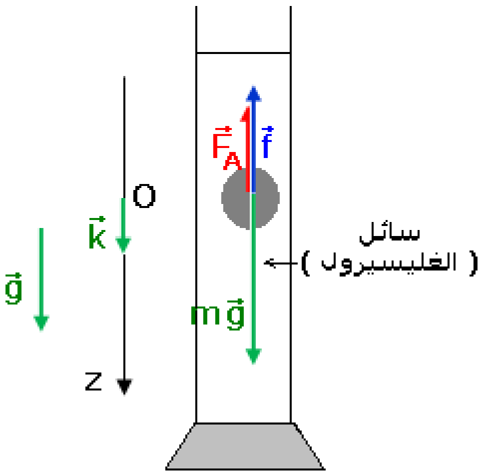
و ـ أثبت أن العلاقة (1) تكتب على النحو التالي : $\frac{dv}{dt} = A\left(1 - \left(\frac{v}{v_\ell}\right)^n\right)$ (2)

ز ـ أوجد التعبير الحرفي للإحداثية a لمتجهة التسارع $\vec{a}_G$ على المحور $(O,\vec{k})$ في اللحظة t=0

1 ـ المعادلة التفاضلية للحركة

دراسة حركة كرية كتلتها m و حجمها V وكتلتها الحجمية ρ_{bille} في مائع كتلته الحجمية ρ_{fluide} في حالة سكون بالنسبة للجسم المرجعي الأرضي .

بما أم حركة الكرية رأسية ومنحاه نحو الأسفل ، نختار كمعلم متعامد و ممنظم موجه نحو الأسفل $(O,\vec{k})$.



ـ المجموعة المدروسة : الكرية

ـ جرد القوى المطبقة الخارجية حلال سقوطها :

$\vec{P}$: وزن الكرية ، $\vec{P} = m.\vec{g}$

$\vec{F}_A$: دافعة أرخميدس : $\vec{F}_A = -m_f.\vec{g} = -\rho_f.V.\vec{g}$

$\vec{f}$: قوة الاحتكاك المائع : $\vec{f} = -k.v^n.\vec{k}$

ـ نطبق القانون الثاني لنيوتن :

$\vec{P} + \vec{F} + \vec{f} = m_{bille}.\vec{a}_G$ حيث أن $\vec{a}_G = \vec{a}$ متجهة التسارع لمركز قصور الكرية

نسقط العلاقة المتجهية على المحور $(O,\vec{k})$ ، نحصل على المتساوية التالية :

$$m_{bille}g - m_f g - kv^n = m_{bille}.a$$

$$(m_b - m_f)g - kv^n = m_b.\frac{dv}{dt}$$

$$A = \frac{(m_b - m_f)}{m_b}g \qquad B = \frac{k}{m_b}$$

$$\frac{dv}{dt} = A - Bv^n$$

تمثل هذه المعادلة ، المعادلة التفاضلية لحركة G مركز قصور الكرية خلال السقوط الرأسي في السائل

2 ـ تحديد المقادير المميزة للحركة

أ ـ النظام الدائم : السرعة الحدية للكرية

تبين التجربة أن v_ℓ

بحيث تصبح حركة الكرية حركة مستقيمية منتظمة أي أن : $\frac{dv}{dt} = 0$

في المعادلة التفاضلية للحركة نستنتج :

$$A - Bv_\ell^n = 0 \Rightarrow v_\ell = \left(\frac{A}{B}\right)^{\frac{1}{n}}$$

$$v_\ell = \left(\frac{g}{k}(m_b - m_f)\right)^{\frac{1}{n}}$$

ـ عندما تقارب سرعة الكرية السرعة الحدية v_ℓ تخضع حركة G إلى نظام يسمى **النظام الدائم** ويتميز بثبات السرعة .

ب ـ النظام البدئي

قبل تحرير الكرية فهي تخضع إلى قوى مجموعها منعدم .

في اللحظة $t_0=0$

الرأسي للكرية وتتزايد سرعتة مركز قصورها : تسمى هذه المرحلة **بالنظام البدئي** بعد ذلك تتطور حركة G نحو نظام دائم يصبح فيه مجموع القوة المطبقة عاى الكرية مرة أخرى منعدم : $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$

أي أن $a=0$.

في المعادلة التفاضلية ، عند اللحظة $t_0=0$ لدينا $a_G(t_0=0) = a_O = \left(\frac{dv}{dt}\right)_{t_0=0}$ بحيث أن a_0 هو التسارع البدئي لمركز القصور G للكرية . لدينا كذلك $\vec{f} = \vec{0}$

$$(m_b - m_f)g = m_b.a_0 \Rightarrow a_0 = \frac{(m_b - m_f)g}{m_b}$$

مبيانيا ، تساوي قيمة التسارع البدئي قيمة المعامل الموجه للمماس للمنحنى $t_0=0$.

ج ـ الزمن المميز للحركة

يتقاطع الخط المماس للمنحنى $v=f(t)$ مع الخط المقارب للمنحنى في نقطة أفصولها τ نسميه **الزمن المميز للحركة**

تحدد قيمة τ بالعلاقة : $v_\ell = a_0\tau$

ملحوظة : تمكن قيمة τ من إعطاء رتبة قدر مدة النظام البدئي .

3 ـ حل المعادلة التفاضلية للحركة بتطبيق طريقة أولير Euler

أ ـ مبدأ الطريقة

ـ تمكن طريقة أولير من التوصل لحل تقريبي للمعادلة التفاضلية للحركة بتعويض
بحيث نعلم أن

$$a(t)=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{v(t+\Delta t)-v(t)}{\Delta t}\Rightarrow a(t)=\left(\frac{dv}{dt}\right)\approx\frac{v(t+\Delta t)-v(t)}{\Delta t}$$

$$v(t+\Delta t)=v(t)+a(t).\Delta t \qquad (1)$$

تتضمن هذه الطريقة مرحلتين من الحساب التي يجب إنجازها بصفة تكرارية لهذا نم وصفها بطريقة رقمية تكرارية . كما أن استعمال هذه الطريقة يستوجب معرفة سرعة مركز القصور في لحظة t والتي ما تكون في غالب الأحيان هي السرعة البدئية v_0 في اللحظة t=0 .

المرحلة الأولى :

من خلال العلاقة (1) والتي يمكن كتابتها على الشكل التالي : $v(t_{i+1})=v(t_i)+a(t_i).\Delta t$ بحيث أن

$$a_i=A-B.v_i^n$$

عند اللحظة t=0 لدينا $a_0=A-Bv_0^n$

في المرحلة الثانية :

نحسب $v_1=v_0+a_0v_0^n\Delta t$

Δt تسمى خطوة الحساب

ونعيد حساب التسارع والسرعة المواليين بنفس الطريقة

ثم نبحث عن قيم n و A و B التي تمكن من تطابق القيم النظرية المحصلة باستعمال طريقة أولير مع القيم التجريبية أي تطابق المنحنيين .

VI ـ السقوط الرأسي الحر .

1 ـ تعريف

السقوط الحر لجسم صلب هو حركة مركز القصور هذا الجسم في مرجع أرضي عندما يخضع الجسم لقوة الثقالة فقط .

نظريا يكون السقوط حرا إذا تم قي الفراغ ،

عالية وشكله انسيابي ، ومنطقة سقوطه محدودة في مجال الثقالة .

2 ـ متجهة التسارع a_G لمركز القصور .

نعتبر السقوط الحر لجسم صلب في مجال الثقالة وفي مرجع أرضي . أي أن الجسم يوجد تأثير وزنه فقط .

نطبق القانون الثاني لنيوتن : $\vec{P}=m.\vec{g}=m\vec{a}_G$ أي أن $\vec{g}=\vec{a}_G$

3 ـ المعادلة الزمنية للحركة

في المعلم $(O,\vec{k})$ الموجه نحو الأسفل نسقط العلاقة فنحصل على :

$a_z=g\Rightarrow\dfrac{dv_z}{dt}=g\Rightarrow v_z=gt+C$ نحدد الثابتة C بالشروط البدئية . نأخذ عند اللحظة $t_0=0$ أن

$v_G(t=0)=v_0=0$ أي أن $v_z=gt$ ونستنتج أن سرعة G دالة زمنية خطية .

بنفس الطريقة نبحث عن z(t) :

$v_z=\dfrac{dz}{dt}=gt\Rightarrow z(t)=\dfrac{1}{2}gt^2+C'$ ، نحدد كذلك الثابتة C′ بالشروط البدئية . نأخذ عند اللحظة t=0 أن

$z(0)=z_0=0$ وبالتالي فإن C′=0 أي أن المعادلة الزمنية لحركة السقوط الحر للجسم الصلب بدون سرعة بدئية ومن النقطة O تم اختيارها كأصل معلم الزمن هي : $z(t)=\dfrac{1}{2}gt^2$.

وهذه المعادلة نعممها بالنسبة لجميع الأجسام الصلبة التي تطلق بدون سرعة بدئية في سقوط حر أي أنها تسقط بنفس الحركة ، **حركة مستقيمية متغيرة بانتظام** .

تمرين تطبيقي 1 :

I ـ تسقط كرة رأسيا بدون سرعة بدئية . نعتبر السقوط حرا ونقوم بدراسته في معلم متعامد وممنظم $\mathcal{R}(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ محوره $(O,\vec{k})$ رأسي وموجه نحو الأسفل .

1 ـ ما طبيعة مسار G مركز قصور الكرة ؟

2 ـ أجرد القوى المطبقة على الكرة أثناء سقوطها . ما القوى التي نهملها أمام وزن الجسم ؟ وما هي الشروط لكي نقوم بهذا الإهمال ؟

3 ـ عبر بدلالة الزمن t عن الأنسوب z للنقطة G .

4 ـ أحسب السرعة التي ستصل بها الكرة إلى الأرض . نعطي $h=2m$.

II ـ السرعة البدئية في اللحظة $t=0$ لمركز قصور الكرة أرسلت رأسيا نحو الأعلى تساوي $v_0=15,0m/s$

1 ـ اعط تعبير الإحداثية v لمتجهة السرعة لمركز القصور الكرة لمحور رأسي $(O,\vec{k})$ موجه نحو الأعلى للمعلم المتعامد والممنظم $\mathcal{R}(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$.

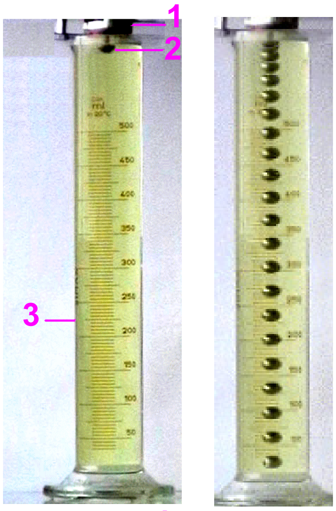
2 ـ أوجد تعبير t_M تاريخ اللحظة الموافقة للارتفاع الأقصى z_M للنقطة G ، واحسب قيمته .

3 ـ أحسب قيمة z_M .

السقوط الرأسي لجسم صلب

I. السقوط الرأسي باحتكاك

• دراسة تجريبية

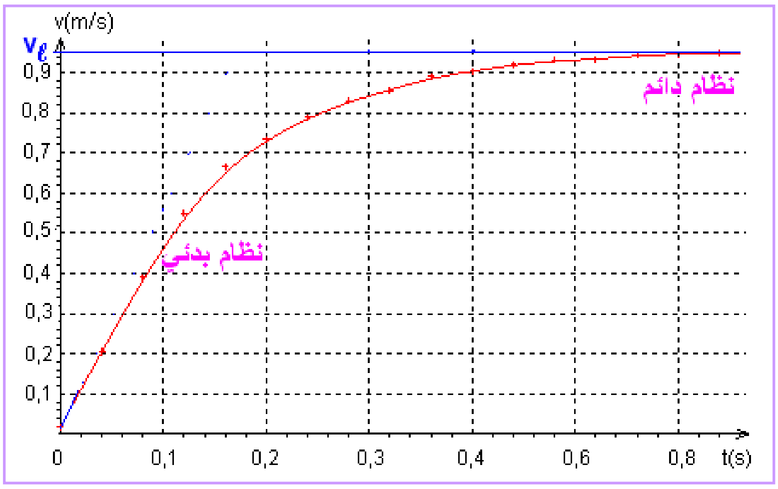


① كهرمغنطيس
② كرية فولاذية
③ أنبوب مملوء بزيت

بواسطة كاميرا رقمية تصور حركة كرية فولاذية تسقط في مائع (محلول الغليسيرول أو زيت) بدون سرعة بدئية . تمكن معالجة الشريط بواسطة حاسوب من تحديد مواضع مركز القصور للكرية و حساب سرعته اللحظية v(t) .

يبرز مخطط السرعة v = f(t) نظامين:

- نظام بدئي يسمى النظام الانتقالي حيث ترتفع سرعة الكرية ، مع تناقص في التسارع.
- نظام نهائي يسمى النظام الدائم حيث سرعة الكرية تؤول إلى قيمة حدية v_ℓ تبقى ثابتة.



• دراسة نظرية

▪ جرد القوى و مميزاتها

في مائع يخضع جسم لثلاث قوى و هي:

وزنه	دافعة أرخميد	قوة الاحتكاك المائع
$\boxed{\vec{P} = m\vec{g}}$ - الاتجاه: رأسي - المنحنى: نحو الأسفل - الشدة: $P = mg = \rho V g \quad (N)$ m كتلة الجسم (kg) ρ كتلة الحجمية $(kg\cdot m^{-3})$ V حجمه (m^3) g شدة الثقالة $(N\cdot kg^{-1})$	$\boxed{\vec{F}_A = -\rho_0 V \vec{g}}$ - الاتجاه: رأسي - المنحنى: نحو الأعلى - الشدة: $F_A = \rho_0 V g \quad (N)$ ρ_0 الكتلة الحجمية للمائع V حجم الجسم باعتباره مغمورا كليا في المائع.	$\boxed{\vec{f} = -Kv^n \vec{k}}$ - الاتجاه: اتجاه متجهة سرعة مركز قصور الجسم. - المنحنى: معاكسة لمتجهة سرعة مركز قصور الجسم. - الشدة: $F_A = Kv^n \quad (N)$ n=1 في حالة سرعة حدية ضعيفة. n=2في حالة سرعة حدية مرتفعة. K ثابتة تتعلق بنوعية المائع و بشكل الجسم.

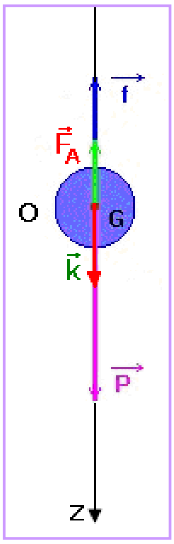
لمقارنة وزن الجسم و دافعة أرخميد التي يطبقها المائع عليه تعتبر النسبة التالية:

$$\frac{F_A}{P}=\frac{\rho_0 V g}{\rho V g}=\frac{\rho_0}{\rho}$$

في الحالة $\rho_0 \ll \rho$ يمكن إهمال دافعة أرخميد أمام وزن الجسم.

كمثال لهذه الحالة سقوط جسم صلب كثيف(كرية فولاذية مثلا) في الهواء.

▪ المعادلة التفاضلية للحركة



تطبيق القانون الثاني لنيوتن على الجسم (الكرية) يعطي: $\vec{P}+\vec{F}_A+\vec{f}=m\vec{a}_G$

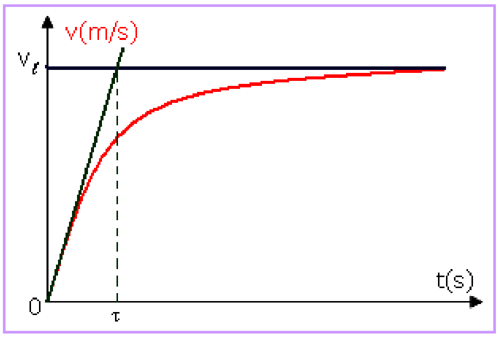
بالإسقاط على المحور(Oz) تستنتج المعادلة التفاضلية المميزة للسقوط الرأسي باحتكاك:

$$\boxed{\frac{dv}{dt}+\alpha v^n=\beta}$$

بوضع:

$$\begin{cases}\alpha=\dfrac{k}{m}\\ \beta=g\left(1-\dfrac{\rho_0}{\rho}\right)\end{cases}$$

▪ المقادير المميزة للحركة



السرعة الحدية	▪ مبيانيا: باستغلال مخطط السرعة
	▪ نظريا: باعتبار $v=v_\ell=cte$ في المعادلة التفاضلية يتوصل إلى: $\boxed{v_\ell=\left[\frac{mg}{k}\left(1-\frac{\rho_0}{\rho}\right)\right]^{\frac{1}{n}}}$
التسارع البدئي	▪ مبيانيا: تساوي ميل المماس لمخطط السرعة عند أصل التواريخ.
	▪ نظريا: باعتبار $v_0=0$ في المعادلة التفاضلية يستنتج: $\boxed{a_0=g\left(1-\frac{\rho_0}{\rho}\right)}$
الزمن المميز	▪ مبيانيا: يمثل أفصول نقطة تقاطع المماس عند أصل التواريخ مع المقارب.
	▪ نظريا: $\boxed{\tau=\frac{v_\ell}{a_0}}$

▪ حل المعادلة التفاضلية بطريقة "أولير"

❖ من المعادلة التفاضلية يستنتج التسارع في لحظة t_i: $\boxed{a_i=\beta-\alpha v_i^n}$ (1)

❖ من جهة أخرى في مجال زمني δt صغير جدا يمكن تطبيق المقاربة التالية: $\frac{dv}{dt}\approx\frac{\delta v}{\delta t}$

أي: $a_i\approx\frac{v_{i+1}-v_i}{\delta t}$ و منها: $\boxed{v_{i+1}=v_i+a_i\delta t}$ (2)

❖ بمعرفة السرعة البدئية v_0 و الثابتتين α و β تمكن العلاقتان (1) ثم (2) من حساب قيم السرعة اللحظية للجسم خطوة خطوة في لحظات متتالية تفصل بينها المدة δt. هذه المدة تسمى" خطوة الحساب".

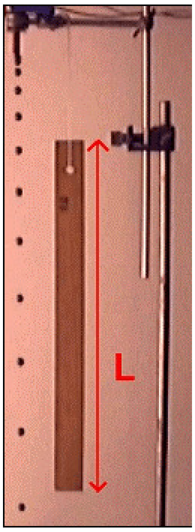
و بالتالي يمكن تمثيل المنحنى النظري $v=f(t)$.

❖ تعطي هذه الحسابات نتائج أكثر دقة كلما كانت المدة δt أصغر، عموما تؤخذ: $\delta t = \frac{\tau}{10}$ (τ الزمن المميز).

❖ يمكن التطابق بين النتائج النظرية و التجريبية من التحقق من صلاحية نموذج قوة الاحتكاك المعمول به:
$f = Kv$ $(n=1)$ أو $f = Kv^2$ $(n=2)$.

II. السقوط الرأسي الحر

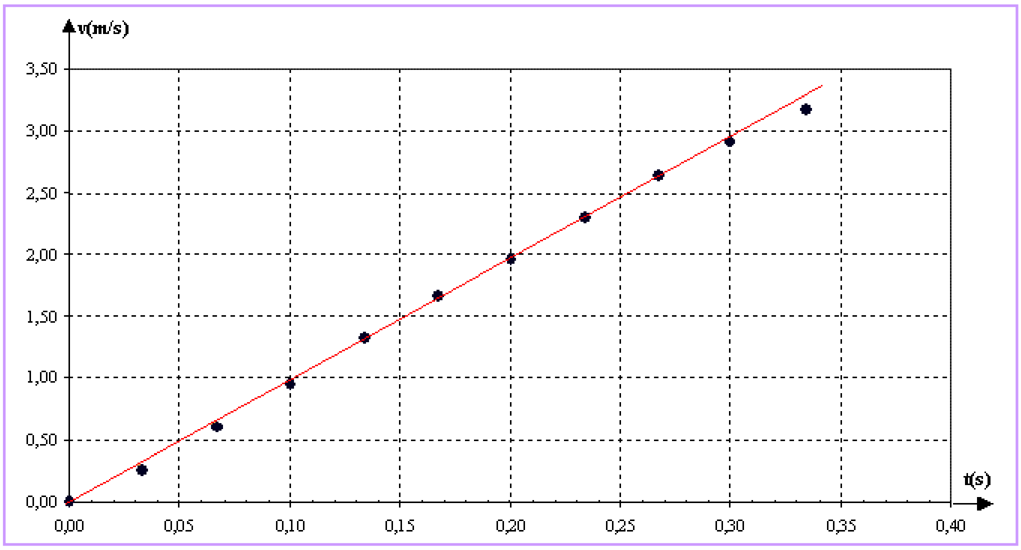
تعريف يعتبر جسم في سقوط حر إذا كان يخضع لوزنه فقط.



- دراسة تجريبية

بواسطة كاميرا رقمية نصور حركة كرية فولاذية تسقط في الهواء بدون سرعة بدئية .
تمكن معالجة الشريط بواسطة حاسوب من تحديد مواضع مركز القصور للكرية
و حساب سرعتها اللحظية v(t).

مخطط السرعة مستقيم: حركة الكرية مستقيمية
متسارعة بانتظام، و تسارعها هو: $\boxed{a = g}$



☜ مبيانيا التسارع يساوي ميل المستقيم.

- دراسة نظرية

▪ المعادلة التفاضلية

يخضع الجسم(الكرية) لوزنه فقط: $\vec{P} = m\vec{g}$

و بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على الجسم: $\vec{P} = m\vec{a}_G$

يستنتج تسارع مركز قصوره: $\vec{a}_G = \vec{g}$

ثم بالإسقاط على محور(Oz) رأسي موجه نحو الأسفل، تستنتج المعادلة التفاضلية المميزة للسقوط الرأسي الحر:

$$\boxed{\frac{dv}{dt} = g}$$

▪ المعادلات الزمنية

التسارع	$a = g$
السرعة	$v = gt + v_0$
الموضع	$z = \frac{1}{2}gt^2 + v_0 t + z_0$

تطبيقات : الحركات المستوية
Application M mouvements plans

I ـ حركة قذيفة في مجال الثقالة

نسمي قذيفة كل جسم تم إرساله من سطح الأرض بسرعة بدئية $\vec{v}_0$ على أن يبقى قريبا من سطح الأرض .

خلال هذه الدراسة ، نهمل قوى الآحتكاك مع الهواء ، ونعتبر أن القذيفة خاضعة لوزنها فقط أي حركتها سقوط حر .

1 ـ متجهة التسارع

نرسل من نقطة O قذيفة (كرية) ذات كتلة m بسرعة بدئية $\vec{v}_0$ غيرٍ اسية أي أنها تكون زاوية α مع المستوى الأفقي Oxy ، نسمي الزاوية α بزاوية القذف. نعتبر أن مجال الثقالة منتظم .

ندرس حركة القذيفة في مرجع أرضي نعتبره غاليليا ، بحيث نمعلم مواضع G مركز قصور القذيفة في كل لحظة بإحداثياتها في معلم متعامد وممنظم $\mathcal{R}(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ مرتبط بالمرجع الأرضي .

نطبق القانون الثاني لنيوتن :

تخضع القذيفة إلى وزنها فقط أي أن $\vec{P}=m.\vec{a}_G$ ومنه $\vec{a}_G=\vec{g}$ (1)

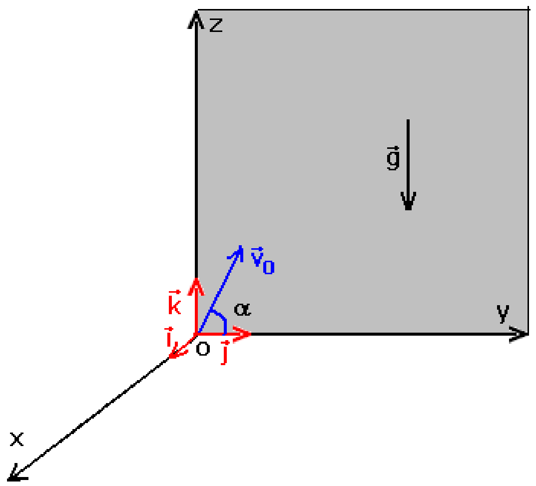
إحداثيات $\vec{a}_G$ في المعلم $\mathcal{R}(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$:

على المحور $(O,\vec{i})$ لدينا $a_x=0$

على المحور $(O,\vec{j})$ لدينا $a_y=0$

على المحور $(O,\vec{k})$ لدينا $a_z=-g$

أي أن متجهة التسارع $\vec{a}_G$ رأسية منحاها من الأعلى نحو الأسفل ومنظمها يساوي عدديا منظم متجهة الثقالة $\vec{g}$.



2 ـ متجهة السرعة

لدينا حسب متجهة التسارع :

$$\begin{cases}\dfrac{dv_x}{dt}=0\\ \dfrac{dv_y}{dt}=0\\ \dfrac{dv_z}{dt}=-g\end{cases} \Rightarrow \begin{cases}v_x=C_1\\ v_y=C_2\\ v_z=-gt+C_3\end{cases}$$

C_1,C_2,C_3 ثوابت تحدد انطلاقا من الشروط البدئية .

أن متجهة السرعة البدئية توجد في المستوى (Oyz)

عند اللحظة $t_0=0$ لدينا :

وبالتالي ستكون $\vec{v}_0\begin{cases}v_{0x}=0\\ v_{0y}=v_0\cos\alpha\\ v_{0z}=v_0\sin\alpha\end{cases}$

أي أن إحداثيات متجهة السرعة في المعلم $\mathcal{R}(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ هي :

$$\vec{v}_G \begin{cases} v_x = 0 \\ v_y = v_0 \cos\alpha \\ v_z = -gt + v_0 \sin\alpha \end{cases} \quad (2)$$

3 ـ المعادلات الزمنية للحركة :

لدينا :

$$\begin{cases} v_x = \dfrac{dx}{dt} = 0 \\ v_y = \dfrac{dy}{dt} = v_0 \cos\alpha \\ v_z = \dfrac{dz}{dt} = -gt + v_0 \sin\alpha \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = C_4 \\ y = (v_0 \cos\alpha)t + C_5 \\ z = -\dfrac{1}{2}gt^2 + (v_0 \sin\alpha)t + C_6 \end{cases}$$

بحيث أن C_4, C_5, C_6 توابث يجب تحديدها انطلاقا من الشروط البدئية أي أنه في اللحظة $t_0 = 0$ لدينا :

$$\overrightarrow{OG_0} \begin{cases} 0 \\ 0 \\ 0 \end{cases} \text{ وبالتالي فإن } \begin{cases} C_4 = 0 \\ C_5 = 0 \\ C_6 = 0 \end{cases}$$

وبالتالي تكون إحداثيات النقطة G في اللحظة t في المعلم $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ هي كالتي :

$$\overrightarrow{OG} \begin{cases} x = 0 \\ y = (v_0 \cos\alpha)t \quad (1) \\ z = -\dfrac{1}{2}gt^2 + (v_0 \sin\alpha)t \quad (2) \end{cases}$$

من خلال هذه المعادلات يتبين أن حركة G تتم في المستوى الرأسي (Oyz) نقول أن **الحركة مستوية**

ـ على المحور $(O, \vec{j})$ ، حركة G حركة مستقيمية منتظمة

ـ على المحور $(O, \vec{k})$ ، حركة مستقيمية متغيرة بانتظام .

4 ـ معادلة المسار

معادلة المسار هي العلاقة التي تجمع بين إحداثيتي النقطة المتحركة G ونحصل عليها بإقصاء المتغير t بين y و z .

من المعادلتين الزمنيتين (1) و (2) نحصل على :

$$y = (v_0 \cos\alpha)t \Rightarrow t = \frac{y}{v_0 \cos\alpha}$$

$$z = -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 \sin\alpha)t$$

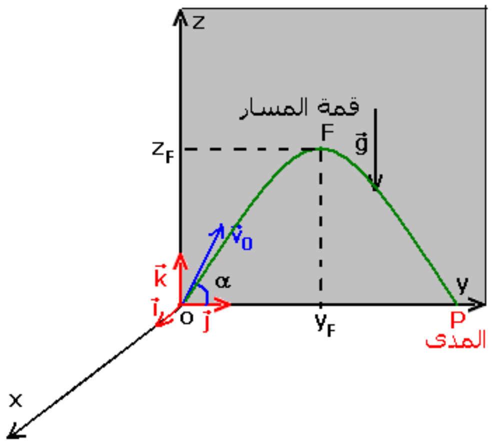
أي أن معادلة المسار هي :

$$z = -\frac{g}{2v_0^2 \sin^2\alpha} y^2 + y \tan\alpha$$

نستنتج أن مسار مركز قصور قذيفة في سقوط حر بسرعة بدئية $\vec{v}_0$ غير رأسية في مجال الثقالة منتظم هو جزء من شلجم ينتمي إلى المستوى الرأسي الذي يحتوي على المتجهة $\vec{v}_0$.

5 ـ بعض مميزات المسار

أ ـ قمة المسار : (la flèche) هي أعلى نقطة يصل إليها مركز قصور القذيفة .



عند وصول مركز قصور القذيفة إلى قمة المسار F تكون لدينا

$\frac{dz}{dt}=0$ بالنسبة ل $y=y_F$

من خلال المعادلة (2) نحصل على :

$$\frac{dz}{dt}=-gt_F+v_0\sin\alpha=0\Rightarrow t_F=\frac{v_0\sin\alpha}{g}$$

نعوض t_F في المعادلة (1)

$$y_F=\frac{v_0^2\cos\alpha\sin\alpha}{g}\Rightarrow y_F=\frac{v_0^2\sin 2\alpha}{2g}$$

$$z_F=\frac{v_0^2\sin^2\alpha}{2g}$$

ملحوظة : نحصل على أقصى قيمة لقمة المسار إذا كان

$\alpha=\frac{\pi}{2}$ أي في حالة إرسال قذيفة رأسيا نحو الأعلى .

ب ـ المدى la portée

هو المسافة بين الموضع G_0 لمركز قصور القديفة لحظة انطلاقها والموضع P للنقطة G أثناء سقوط القذيفة بحيث تنتمي P إلى المحور الأفقي الذي يشمل G_0 .

لتكن y_P و z_P إحداثيتا النقطة P ، لدينا : $z_P=0$

أي أن

$$y_P\left(-\frac{g}{2v_0^2\cos\alpha}y_p+\tan\alpha\right)=0\Rightarrow\begin{cases}y_p=0\\ ou\\ y_p=\frac{v_0^2\sin 2\alpha}{g}\end{cases}$$

II ـ حركة دقيقة مشحونة في مجال كهرساكن منتظم .

1 ـ المجال الكهرساكن

أ ـ المجال الكهرساكن المحدث من طرف شحنة نقطية

تحدث دقيقة مشحونة شحنتها q توجد في نقطة O من الفراغ ، مجالا كهرساكنا في نقطة M متجهته $\vec{E}(M)$ بحيث أن :

$$\vec{E}(M)=\frac{\vec{F}(M)}{q}$$

نعبر عن الشحنة q بالكولوم (C)

وعن F بالوحدة النيوتن N

وعن E شدة المجال الكهرساكن ب (N/C)

ملحوظة :

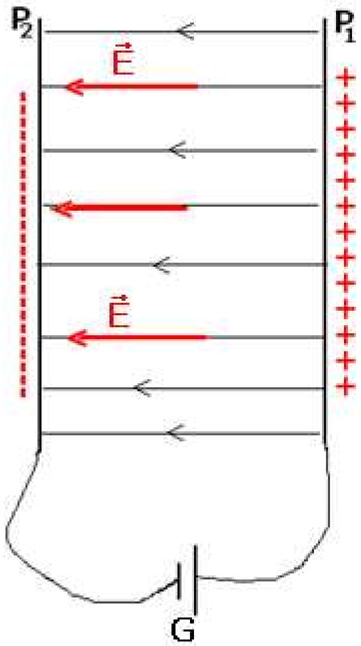
ـ $F=qE$ في حالة أن $q>0$

ـ $F=|q|E$ في حالة $q<0$

ـ يبرز وجود مجال كهرساكن في نقطة ما بوضع دقيقة مشحونة في تلك النقطة حيث تخضع إلى قوة كهرساكنة .

ب ـ خطوط المجال

R



نسمي خط المجال الكهرساكن كل منحنى (أو مستقيم) تكون متجهة مجال الكهرساكن مماسة له في كل نقطة من نقطه .

ج ــ المجال الكهرساكن المتظم

يكون المجال كهرساكن منتظما إذا كان لمتجهته $\vec{E}$ ، في كل نقطة من نقطه ، نفس الاتجاه ونفس المنحى ونفس المنظم .

إذا كان المجال الكهرساكن منتظما تكون خطوط المجال عبارة عن مستقيمات متوازية .

يتحقق المجال الكهرساكن المنتظم بتطبيق توتر مستمر ثابت بين صفيحتين فليزيتين متوازيتين لهما أبعاد أكبر بكثير من المسافة d التي تفصلهما .

لدينا حسب الشكل جانبه : $U = V_{P_1} - V_{P_2} > 0$

عند تطبيق توتر كهربائي مستمر U على صفيحتين فليزيتين لهما أبعاد أكبر بكثير من المسافة d التي تفصلهما تكون متجهة المجال الكهرساكن $\vec{E}$ ثابتة ، وعمودية على الصفيحتين ، وموجهة نحو الجهود التناقصية ومنظمها هو : $\boxed{E = \frac{U}{d}}$ بحيث أن :

U التوتر المطبق بين الصفيحتين بالفولط (V)

d المسافة الفاصلة بين الصفيحتين .

E شدة المجال الكهرساكن نعبر عنه V/m

2 ــ حركة دقيقة في مجال كهرساكن منتظم

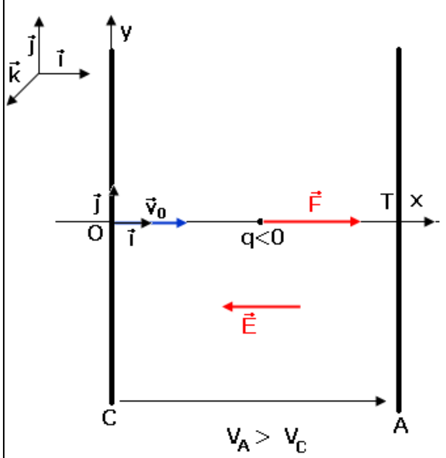
نعتبر دقيقة مشحونة ، ذات كتلة m وشحنة q بحيث أن $(q < 0)$ مثلا إلكترون ، توجد في مجال كهرساكن منتظم .

جرد القوى المطبقة على الدقيقة :

القوة الكهرساكنة $\vec{F}$ بحيث أن $\vec{F} = q\vec{E}$ وإلى وزنها $\vec{P}$ الذي نهمل شدته أمام F .

باعتبار مرجع أرضي كمرجعا غاليليا نطبق القانون الثاني لنيوتن على الدقيقة أثناء حركتها في معلم مرتبط بالمرجع الأرضي :

$\vec{F} = m.\vec{a}$ حيث $\vec{a}$ متجهة تسارع الدقيقة .



يتعلق مسار الدقيقة باتجاه $\vec{v}_0$ متجهة السرعة البدئية للدقيقة لحظة دخولها المجال الكهرساكن المنتظم ، بالنسبة لاتجاه $\vec{E}$:

الحالة الأولى : $\vec{v}_0$ متوازية مع $\vec{E}$

تدخل دقيقة مشحونة $(q < 0)$ المجال الكهرساكن $\vec{E}$ في النقطة O في اللحظة $t_0 = 0$ بالسرعة $\vec{v}_0$ متوازية مع $\vec{E}$.

لدينا العلاقة : $\boxed{\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q}{m}\vec{E}}$

نسقط هذه العلاقة في المعلم المتعامد والممنظم المرتبط بالمرجع الأرضي ، $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ فنحصل على إحداثيات متجهة التسارع ومتجهة السرعة ومتجهة الموضع ، باعتبار الشروط البدئية التالية :

$$\vec{v}_0 \begin{cases} v_0 \\ 0 \\ 0 \end{cases} \text{ و } O \begin{cases} 0 \\ 0 \\ 0 \end{cases}$$

$$\vec{a}\begin{cases} a_x = -\dfrac{qE}{m} \\ a_y = 0 \\ a_z = 0 \end{cases} \quad \text{و} \quad \vec{v}\begin{cases} v_x = -\dfrac{qE}{m}t + v_0 \\ v_y = 0 \\ v_z = 0 \end{cases} \quad \text{و} \quad \overrightarrow{OM}\begin{cases} x_M = -\dfrac{1}{2}\dfrac{qE}{m}t^2 + v_0 t \\ y_M = 0 \\ z_M = 0 \end{cases}$$

نستنتج من خلال هذه المعادلات أنه ليست هناك حركة على المحورين (Oy) و (Oz) بل تتم حركة الدقيقة على المحور (Ox) وبالتالي فإن حركة الدقيقة على هذا المحور مستقيمية متغيرة بانتظام .

هل هذه الحركة متسارعة أم متباطئة ؟

بتحديد الجداء السلمي التالي : $\vec{a}.\vec{v} > 0$ وبالتالي فالحركة مستقيمية متسارعة .

حالة خاصة : مدفع الإلكترونات حيث تكون السرعة البدئية v_0 للإلكترون مهملة وتقارب الصفر .

في هذه الحالة تكون معادلات حركة الإلكترون هي :

$$a_x = \frac{eE}{m} \quad , \quad v_x = \frac{eE}{m}t \quad , \quad x = \frac{eE}{2m}t^2$$

يمكن حساب السرعة التي تغادر بها الإلكترون الثقب T وذلك بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية على الإلكترون بين O و T :

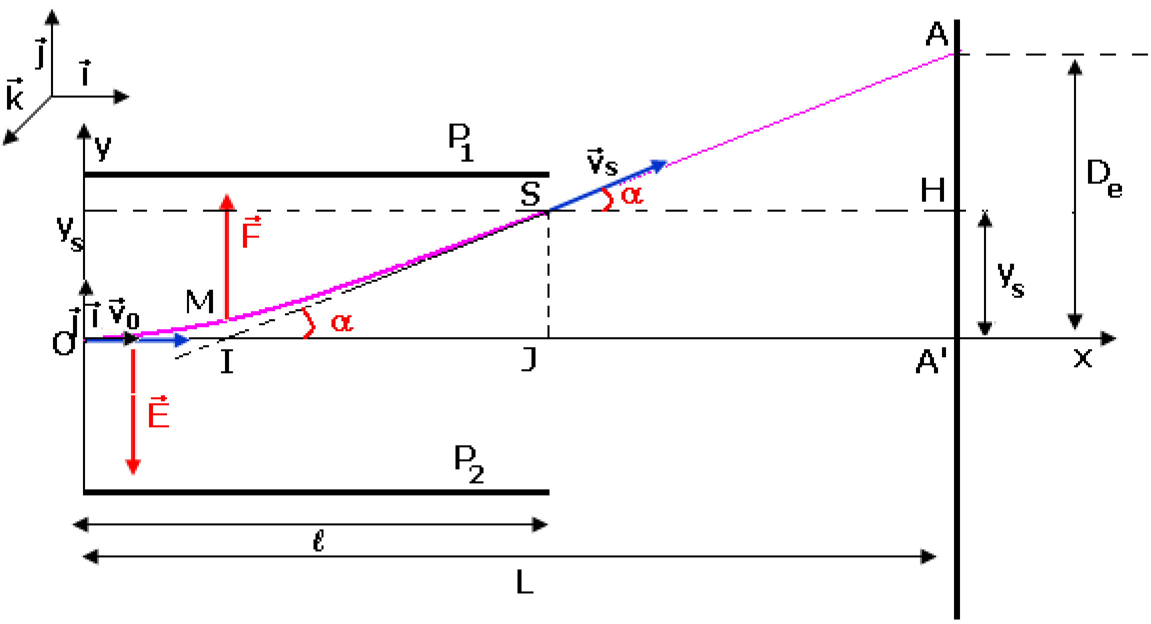
$$_{O}^{T}\Delta E_C = W_{O\to T}(\vec{F}) \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = eU_{AC}$$

$$U_{AC} = E.d \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = eE.d$$

وبالتالي تكون سرعة الإلكترون هي : $\boxed{v = \sqrt{\dfrac{2e.E.d}{m}}}$ وتكون هذه السرعة جد عالية ونلاحظ أن هذه السرعة تكبر كلما تزايدت شدة المجال الكهرساكن $\vec{E}$ ، نقول أن المجال الكهرساكن يتصرف **كمسرع للدقيقة .**

الحالة الثانية : $\vec{v}_0$ عمودية على $\vec{E}$

تدخل دقيقة مشحونة $(q<0)$ في اللحظة $t_0 = 0$ بالسرعة $\vec{v}_0$ عمودية على متجهة المجال الكهرساكن المنتظم $\vec{E}$ في النقطة O.



أ ـ متجهة التسارع :

متجهة التسارع للدقيقة في المجال $\vec{E}$ هي : $\vec{a}=\dfrac{q\vec{E}}{m}$ في مرجع أرضي .

نسقط العلاقة في المعلم المتعامد والممنظم $(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ حيث $\vec{E}=-E\vec{j}$

$\vec{E}\begin{cases}0\\-E\\0\end{cases}$ و $\vec{a}\begin{cases}a_x\\a_y\\a_z\end{cases}$ ونستنتج من خلال القانون الثاني لنيوتن أن $\vec{a}\begin{cases}a_x=0\\a_y=-\dfrac{qE}{m}\\a_z=0\end{cases}$

ب ـ المعادلات الزمنية

باعتبار الشروط البدئية التالية :

$\overrightarrow{OM_0}\begin{cases}0\\0\\0\end{cases}$ و $\vec{v}_0\begin{cases}v_0\\0\\0\end{cases}$ نحصل على إحداثيات متجهة السرعة : $\vec{v}\begin{cases}v_x=v_0\\v_y=-\dfrac{qE}{m}t\\v_z=0\end{cases}$ وعلى المعادلات الزمنية

في المعلم $(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ أي أن $\overrightarrow{OM}\begin{cases}x=v_0t\\y=-\dfrac{qE}{m}t^2\\z=0\end{cases}$

نستنتج أن حركة الدقيقة في مجال كهرساكن منتظم عمودي على متجهة السرعة البدئية $\vec{v}_0$ ، تتم في المستوى (Oxy) إذن فهي حركة مستوية .

على المحور $(O,\vec{i})$ حركة مستقيمية منتظمة

على المحور $(O,\vec{j})$ حركة مستقيمية متغيرة بانتظام .

ج ـ معادلة المسار ،

نحصل على معادلة المسار بإقصاء الزمن t بين المعادلتين الزمنيتين x(t) و y(t) :

$t=\dfrac{x}{v_0}$ في المعادلة الزمنية y(t) لدينا : $y=-\dfrac{qE}{2mv_0^2}x^2$ بحيث أن $q<0$.

مسار الدقيقة المشحونة في مجال كهرساكن منتظم عمودي على متجهة السرعة البدئية $\vec{v}_0$ عبارة عن جزء من شلجم .

د ـ سرعة الدقيقة لحظة خروجها من المجال الكهرساكن :

لدينا حسب الشكل أعلاه أن إحداثياتي S نقطة خروج الدقيقة من المجال الكهرساكن هما :

$S\begin{cases}x_s=\ell\\y_S=-\dfrac{qE}{2mv_0^2}\ell^2\end{cases}$ وتوجد الدقيقة في النقطة S عند اللحظة $t_S=\dfrac{\ell}{v_0}$ في المعادلات السرعة نحصل على : $\vec{v}_S\begin{cases}v_{Sx}=v_0\\v_{Sy}=-\dfrac{qE}{m}\left(\dfrac{\ell}{v_0}\right)\end{cases}$

تكون المتجهة $\vec{v}_S$ مع الاتجاه الأفقي زاوية α تسمى **الانحراف الزاوي** بحيث أن

$$\tan\alpha = \frac{v_{Sy}}{v_{Sx}} = -\frac{qE}{mv_0^2}$$

ه ـ الانحراف الكهرساكن :
طبيعة حركة الدقيقة عند مغادرتها المجال الكهرساكن :
عند خروجها من المجال الكهرساكن فالقوى المطبقة عليها هي وزنها فقط وبإهماله ، حسب مبدأ القصور تكون حركة الدقيقة مستقيمية منتظمة سرعتها $\vec{v}_S$. فتصطدم بشاشة مستشعة عمودية على المحور $(O,\vec{i})$. نعطي $OA'=L$ المسافة الفاصلة بين الشاشة والنقطة O نقطة انطلاق الدقيقة

نسمي D_e **الانحراف الكهربائي** وهو المسافة بين النقطة A′ نقطة اصطدام في غياب المجال الكهرساكن و A نقطة اصطدام بوجود المجال الكهرساكن . من خلال الشكل لدينا :

$D_e = A'A = A'H + HA$ بحيث أن $A'H = y_s$ و $\tan\alpha = \dfrac{AH}{L-\ell}$ أي أن $D_e = y_s + (L-\ell)\tan\alpha$

حسب العلاقات السابقة لدينا :

$D_e = -\left(L-\dfrac{\ell}{2}\right)\dfrac{qE\ell}{mv_0^2}$ وبما أن $E=\dfrac{U}{d}$ تصبح العلاقة : $D_e = -\left(L-\dfrac{\ell}{2}\right)\dfrac{qU\ell}{mdv_0^2}$ والتي تكتب على

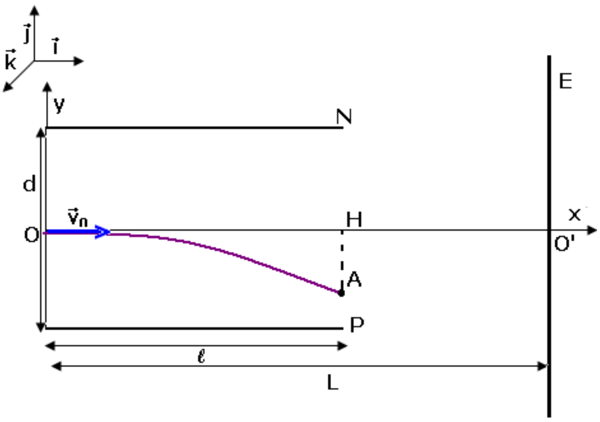
الشكل التالي : $D_e = K.U$ بحيث K هي $K = -\left(L-\dfrac{\ell}{2}\right)\dfrac{q\ell}{mdv_0^2}$

نستنتج أن الانحراف الكهرساكن يتناسب اطرادا مع التوتر المطبق بين الصفيحتين
وتستغل هذه الخاصية في مبدأ اشتغال راسم التذبذب ، حيث يتناسب الانحراف الرأسي مع التوتر المطبق على الصفيحتين الأفقيتين والانحراف الأفقي مع التوتر المطبق على الصفيحتين الرأسيتين

تمرين تطبيقي :

تلج إلكترون بين صفيحتين فليزيتين أفقيتين لراسم تذبذب بسرعة بدئية $\vec{v}_0$ أفقية ، $v_0 = 10^7 m/s$.
التوتر بين الصفيحتين $U = V_P - V_N = 40V$ ؛ المسافة الفاصلة بين الصفيحتين $d = 4cm$ وطول كل منهما $\ell = 6cm$.

1 ـ أحسب المسافة AH التي تمثل الانتقال الرأسي للإلكترون عند مغادرتها المجال الكهرساكن $\vec{E}$
2 ـ حدد مميزات متجهة سرعة الإلكترون في النقطة A .
3 ـ أحسب قيمة الانحراف الكهربائي D_e . المسافة الفاصلة بين الشاشة المستشعة والنقطة O هي $L = 50cm$



لكي تلج الإلكترون بالسرعة البدئية $v_0 = 10^7 m/s$ ما هي قيمة توتر التسريع U′ التي يجب استعماله ؟ أوجد تعبير D_e بدلالة U و U′

الأجوبة :
1 ـ $|AH| \simeq 3,2.10^{-3} m$ 2 ـ $\alpha \simeq 6°$ مع الخط الأفقي والسرعة تساوي تقريبا السرعة v_0
3 ـ $D_e \simeq 5cm$ و $U' = 282,5V$

III ـ حركة دقيقة مشحونة في مجال مغنطيسي منتظم .

1 ـ تأثير مجال مغنطيسي على حزمة من إلكترونات

تجربة : عند تقريب مغنطيس من أنبوب مفرغ نلاحظ انحراف الحزمة الإلكترونية . نفس الملاحظة عند تقريب ملف لولبي يمر فيه تيار كهربائي . يتغير منحى الانحراف عند عكس موضعي قطبي المغنطيس أو بعكس منحى التيار الكهربائي المار في الملف اللولبي .

نستنتج :

ميكانيكيا على حزمة الإلكترونات داخل النبوب المفرغ من الهواء . نقرن هذا التأثير الميكانيكي بقوة تسمى القوة المغنطيسية . ما هي مميزاتها ؟

2 ـ القوة المغنطيسية ،

2 ـ 1 علاقة لورنتز

تخضع دقيقة مشحونة ، ذات شحنة q تتحرك بسرعة متجهتها $\vec{v}$ داخل مجال مغنطيسي متجهته $\vec{B}$ إلى قوة مغنطيسية $\vec{F}$ تسمى قوة لورنتز تحددها العلاقة المتجهية التالية : $\boxed{\vec{F} = q\vec{E} \wedge \vec{B}}$

معرفة مميزات المتجهتين $q\vec{v}$ و $\vec{B}$ تمكن من استنتاج مميزات القوة $\vec{F}$.

خلال هذه الدراسة نهمل وزن الدقيقة المشحونة أمام القوة المغنطيسية التي تطبق عليها

2 ـ 2 مميزات القوة المغنطيسية

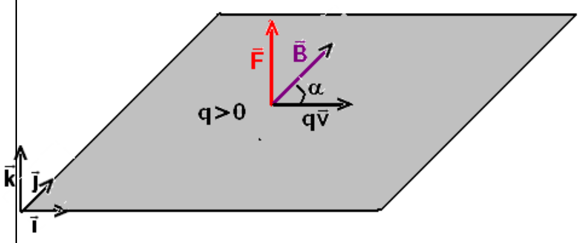
مميزات قوة لورنتز هي :

ـ نقطة التأثير الدقيقة نفسها باعتبارها نقطة مادية .

ـ خط التأثير : العمودي على المستوى المحدد بواسطة $(\vec{v}, \vec{B})$ ؛ $\vec{F}$ عمودية على المتجهة $\vec{v}$ وعلى المتجهة $\vec{B}$.

ـ المنحى : هو المنحى بحيث يكون ثلاثي الوجه $(q\vec{v}, \vec{B}, \vec{F})$ مباشرا .

ـ الشدة : $\boxed{F = |qvB\sin\alpha|}$



q : شحنة الدقيقة ب (C)

v : سرعة الدقيقة ب m/s

B : شدة المجال المغنطيسي (T)

α الزاوية التي تكونها $\vec{v}$ مع $\vec{B}$

F : شدة قوة لورنتز (N)

ملحوظة :

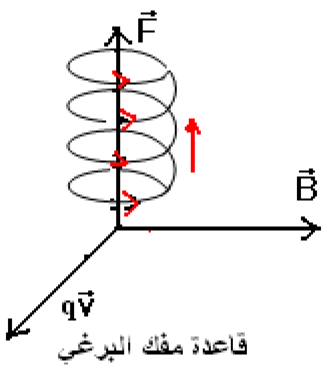
منحى $\vec{F}$ يتغير حسب إشارة q . عمليا للحصول على منحى المتجهة $\vec{F}$ نطبق إحدى القواعد .

ـ قاعدة الأصابع الثلاث لليد اليمنى . الإبهام $q\vec{v}$. السبابة : $\vec{B}$.

الوسطى: $\vec{F}$

ـ قاعدة مفك البرغي

ـ قاعدة اليد اليمنى



الحالات التي تنعدم فيها القوة المغناطيسية :

- q=0 دقيقة محايدة كهربائيا
- $\vec{v} = \vec{0}$ دقيقة متوقفة
- $\vec{B} = \vec{0}$ غياب المجال المغنطيسي
- $\alpha = 0$ أو $\alpha = \pi$ أي $\vec{v}$ و $\vec{B}$ على استقامة واحدة .

<u>تمرين تطبيقي</u> : ندخل حزمة من دقائق الهيليوم $^{2}_{4}He^{2+}$

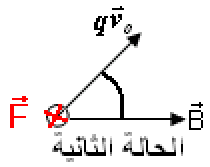
بسرعة $v_0=10^3$m/s مجالا مغناطيسيا شدته $B=2.10^{-3}$T . علما أن $(\vec{v}_0, \vec{B})$ تكون زاوية 60° ،

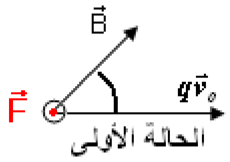
أحسب شدة القوة المغناطيسية التي تخضع إليها الدقائق الهيليوم . ومثل المتجهات $\vec{B}$ و $\vec{v}_0$

و $\vec{F}$ على تبيانة في الحالتين التاليتين : $(\vec{v}_0, \vec{B}) = 60°$ و $(\vec{B}, \vec{v}_0) = 60°$

الحل : حسب علاقة لورنتز : $\vec{F} = q\vec{v}_0 \wedge \vec{B}$ حسب المعطيات عندنا $q = +2e$ و $v_0 = 10^3 m/s$ و $B = 2.10^{-3} T$

بما أن شدة القوة $\vec{F}$ هي $F = |qvB\sin\alpha|$ فإن $F = 3,2.10^{-19} N$





<u>3ـ حركة دقيقة مشحونة في مجال مغناطيسي منتظم</u>

ندرس حركة دقيقة تم تعممها على الحزمة الإلكترونية باعتبار أن جميع الدقائق مماثلة في الحركة

نعتبر دقيقة شحنتها q وكتلتها m تلج مجالا مغنطيسيا منتظما $\vec{B}$ بسرعة بدئية $\vec{v}_0$ عمودية على $\vec{B}$.

<u>أ ـ طبيعة حركة الحزمة الإلكترونية داخل المجال المغناطيسي $\vec{B}$</u> .

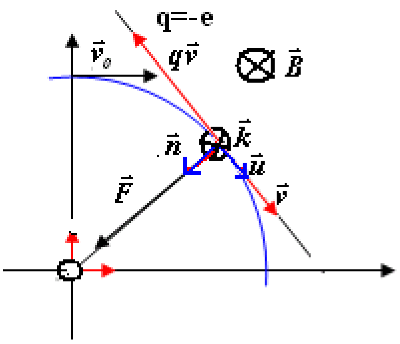
ـ نبين أن مسار الإلكترون مسار مستو ي

نطبق القانون الثاني لنيوتن على الدقيقة في اللحظة t ،

$\vec{P} + \vec{F} = m\vec{a}$ نهمل وزن الدقيقة أمام الشدة القوة المغناطيسية فتصبح العلاقة المتجهية السابقة على الشكل التالي : $\vec{F} = m.\vec{a}$ وبما أن $\vec{F} = q\vec{v}_0 \wedge \vec{B}$ إذن $q\vec{v}_0 \wedge \vec{B} = m.\vec{a}$ أي أن $\vec{a} = \frac{q}{m}(\vec{v}_0 \wedge \vec{B})$

في معلم فريني الذي تم اختياره في الشكل $M(\vec{u},\vec{n},\vec{k})$ أن $\vec{a}(0, a_n, 0)$ يعني أن $a_z = 0$ ومنه $z = g(t) = 0$ مما يبين أن حركة الدقيقة تتم في المستوى $(\vec{u},\vec{n})$ وبالتالي فحركة الدقيقة حركة مستوية .

<u>ب ـ ما هو شكل المسار ؟</u>



حسب التحليل السابق وفي معلم فريني $a_t = \frac{dv}{dt} = 0$ أي أن

$v = cte = v_0$

وكذاك $a_n = \frac{v_0^2}{\rho_n}$ ونعلم أنه في معلم فريني $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t = \vec{a}_n$

إذن $\frac{q}{m} v_0 B = \frac{v_0^2}{\rho}$ $a = a_n \Rightarrow$ نستنتج أن $\rho = \frac{m.v_0}{|q|.B} = Cte = R$

إذن مسار الدقيقة هو مسار دائري .

<u>ج ـ خلاصة</u>

حركة دقيقة ذات شحنة q وكتلة m عند ولوجها مجالا مغناطيسيا منتظما $\vec{B}$ بسرعة بدئية $\vec{v}_0$ متعامدة مع $\vec{B}$ ، حركة دائرية منتظمة .

ـ مسارها ينتمي إلى المستوى العمودي على المجال .

ـ شعاعها يساوي : $R = \frac{m.v_0}{|q|.B}$ **(1)**

<u>د ـ الدراسة الطاقية</u>

*** قدرة القوة المغناطيسية**

$$\mathscr{P} = \vec{F}.\vec{v} \Leftrightarrow \mathscr{P} = q(\vec{v} \wedge \vec{B}).\vec{v} = 0$$

قدرة القوة المغناطيسية دائما منعدمة لكون أن هذه القوة دائما عمودية على السرعة

نطبق مبرهنة الطاقة الحركية على الدقيقة عند انتقالها خلال مدة زمنية Δt :

R

$\boxed{\frac{1}{2}mv^2 = Cte \Rightarrow v = cte = v_0}$ إذن $E_C = Cte$ أي أن $\Delta E_C = W(\vec{F}) = 0$

خلاصة : المجال المغناطيسي لا يغير الطاقة الحركية لدقيقة مشحونة .

4 : الإنحراف المغناطيسي

تعريف : نسمي الانحراف المغناطيسي المسافة $\boxed{\overline{O'P} = D_m}$

تلج حزمة دقائق من النقطة O وبسرعة $\vec{v}_0$ حيزا طوله ℓ حيث يخضع لمجال مغناطيسي منتظم ☐ متعامد مع متجهة السرعة البدئية .

مسار كل دقيقة في المجال المغناطيسي هو عبارة عن قوس من دائرة مركزها C وشعاعها $R = \frac{mv_0}{|q|.B}$

.

عند النقطة S تغادر الدقيقة المجال المغناطيسي بسرعة $\vec{v}_0$ بحيث تصبح حركتها مستقيمية منتظمة (مبدأ القصور)

الزاوية $\alpha = (OC, OS)$ تسمى بالانحراف الزاوي بحيث أن $\sin\alpha = \frac{\ell}{R}$ وكذلك

$$\tan\alpha = \frac{\overline{O'P}}{\overline{OO'} - \overline{OI}} = \frac{D_m}{L - \overline{OI}}$$

وبما أن في الأجهزة المستعملة α صغيرة جدا وكذلك $\ell << L$ (
($\sin\alpha = \tan\alpha$)

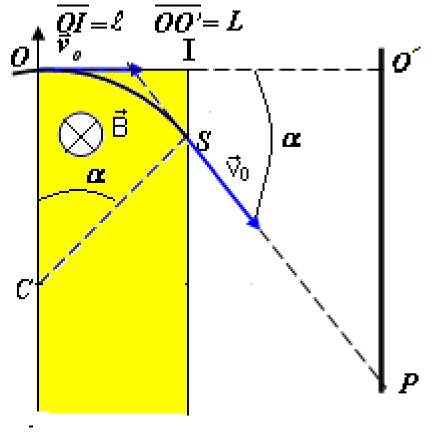
$D_m = \frac{|q|.B.L.\ell}{m.v_0}$ أي أن $\frac{\ell}{R} = \frac{D_m}{L}$

ملحوظة : المقارنة بين الانحراف الكهربائي والانحراف المغناطيسي

$\boxed{D_m = \frac{|q|.B.L.\ell}{m.v_0}}$ و $\boxed{D_e = \frac{|q|E.L.\ell}{m.v_0^2}}$

يلاحظ أن ألانحراف المغناطيسي أكثر تكيفا من الانحراف الكهربائي

لأنه يتناسب اطرادا مع $\frac{1}{v_0}$. لهذا يستعمل في أنبوب التلفاز .



VI تطبيقات :

1 ـ السيكلوترون

السكلوترون جهاز مسرع الدقائق ، يتكون سيكلوترون من علبتين موصليتين D_1 و D_2 على شكل نصف أسطوانتين مفرغتين تفصل بينهما مسافة جد صغيرة أمام شعاعهما .

يوجد داخل كل علبة مجال مغنطيسي منتظم $\vec{B}$ شدته $B = 0.14T$.

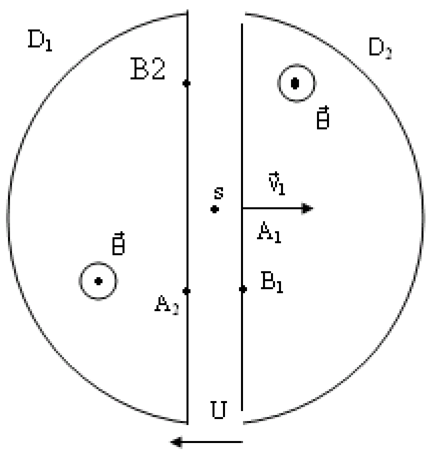
1 ـ نطبق بين العلبتين توترا U ثابتا وموجبا . تنطلق حزمة من البروتونات من المنبع S ، فيتم تسرعها نحو العلبة D_1 ، حيث تكون سرعة كل بروتون عند وصوله النقطة A هي : $v_1 = 4.38.10^5 m/s$

1 ـ 2 بتطبيق القانون الثاني لنيوتن أوجد قيمة R_1 ، شعاع المسار الدائري للبروتون داخل D_1 .

1 ـ 2 أوجد قيمة الدور T لحركة البروتون . بين أن T لا ترتبط بسرعة البروتون ولا بشعاع مساره .

2 ـ يصل البروتون إلى B_1 في اللحظة التي تتغير عندها إشارة التوتر U ، فيتسرع البروتون ، من جديد ، نحو العلبة D_2

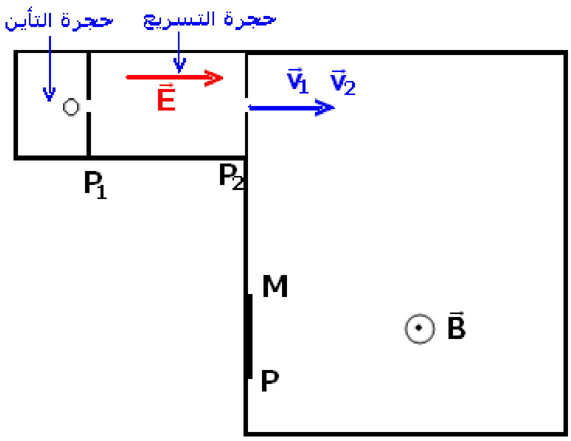
2 ـ 1 بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية ، أوجد السرعة v_2 للبروتون عند النقطة A_2 ، علما أن $U = -2kV$ قارن v_1 و v_2 .



2 ــ 2 ليكن R_2 شعاع مسار البروتون داخل العلبة D_2 برهن على أن $R_2>R_1$.
2 ــ 3 عند وصول البروتون إلى النقطة B_2 ، تتغير إشارة التوتر من جديد . صف حركة البروتون بعد وصوله إلى B_2 . استنتج وظيفة السيكلوترون ، إذا علمت أن إشارة U تتغير دوريا .
نعطي كتلة البروتون $m=1.67.10^{-27}kg$
شحنة البروتون $e = 1.6.10^{-19}C$

2 ــ راسم طيف الكتلة

راسم طيف الكتلة جهاز يمكن من فرز أيونات ذات كتل أو شحن مختلفة ، وذلك باستعمال مجال كهرساكن ومجال مغنطيسي .
يتكون راسم الطيف للكتلة من نوع دمبستر (Dempster) من :
حجرة التأين حيث تنتج الأيونات ؛
حجرة التسريع حيث تدخل الأيونات بسرعة تكاد تكون منعدمة لتسرع $\vec{E}$ محدث بواسطة توتر U .
نريد فرز الأيونات $^{3}_{2}He^{2+}, ^{4}_{2}He^{2+}$ كتلتاهما إتباعا $m_3= 5.10^{-27}kg$ و $m_4=6.7.10^{-27}$ ندخل الأيونات في مجال كهرساكن منتظم محدث بواسطة توتر U مطبق بين صفيحتين رأسيتين P_1 و P_2 لتسريعهما إلى النقطة A .

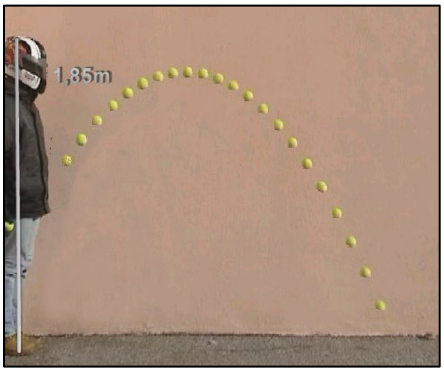


1 ــ تخرج الأيونات $^{3}_{2}He^{2+}, ^{4}_{2}He^{2+}$ من النقطة A على التتابع بالسرعتين $\vec{v}_1$ و$\vec{v}_2$ نهمل السرعتين عند النقطة O . عبر عن السرعتين v_1 و v_2 بدلالة معطيات النص .
أحسب v_1 وv_2 .
2 ــ تدخل الأيونات ، عند النقطة A ، مجالا مغناطيسيا منتظما $\vec{B}$ عموديا على متجهتي السرعتين $\vec{v}_1$ و$\vec{v}_2$ وتصل إلى منطقة الإستقبال MP المعينة على الشكل .
احسب المسافة MP الفاصلة بين P و M نقطتي وقع الأيونات $^{3}_{2}He^{2+}, ^{4}_{2}He^{2+}$ على منطقة استقبال . نعطي U $=10^4V$ و $B=0.5T$

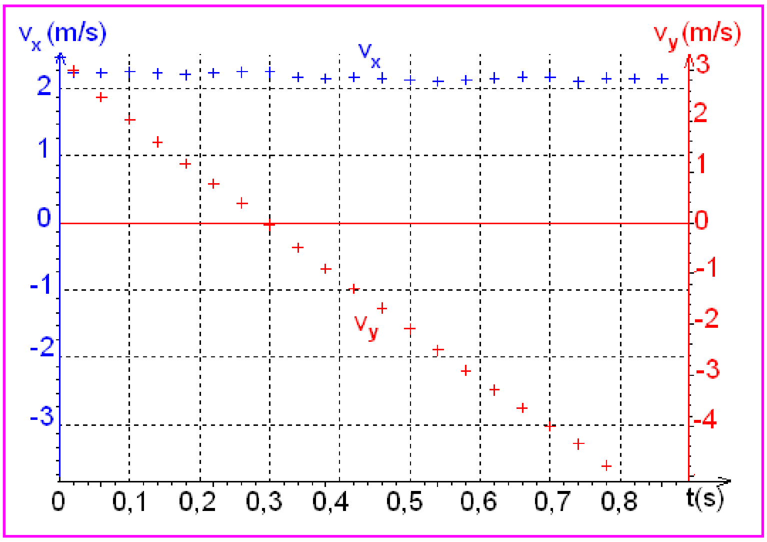
الحركات المستوية

I. حركة قذيفة في مجال الثقالة المنتظم

• دراسة تجريبية



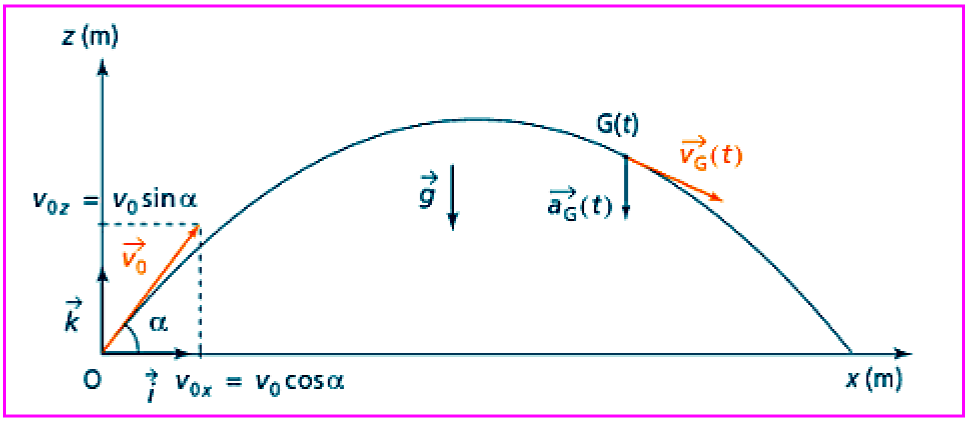
تقذف كرة مضرب بسرعة بدئية $\vec{v}_0$ اتجاهها مائل، و يتم تصوير حركتها بواسطة كاميرا رقمية. تمكن معالجة الشريط بواسطة حاسوب من تخطيط المبيان التالي الذي يمثل تغيرات الإحداثيتين الأفقية v_x و الرأسية v_y لمتجهة سرعة مركز قصورها G بدلالة الزمن.



▪ معادلة السرعة على المحور الأفقي (O x) هي: $v_x(t) = 2,2\ (m.s^{-1})$ ▪ معادلة السرعة على المحور الرأسي (O y) هي: $v_y(t) = -10\,t + 3\ (m.s^{-1})$ ☜ حركة G منتظمة على المحور الأفقي (O x) و متغيرة بانتظام على المحور الرأسي (O y).	السرعة
$\begin{vmatrix} a_x = \dfrac{dv_x}{dt} = 0 \\ a_y = \dfrac{dv_y}{dt} = -10\ \ m.s^{-2} \end{vmatrix}$ ، نستنتج متجهة التسارع: $\vec{a}_G = -10.\vec{j}$ نلاحظ أن: $\boxed{\vec{a}_G \approx \vec{g}}$ ما يعني أن السقوط حر.	التسارع
من $v_x = \dfrac{dx}{dt}$ نستنتج بالتكامل: $\underline{x = 2,2\,t}$ (1) (باعتبار $x_0 = 0$) من $v_y = \dfrac{dy}{dt}$ نستنتج بالتكامل: $\underline{y = -5\,t^2 + 3\,t}$ (2) (باعتبار $y_0 = 0$)	المعادلات الزمنية للحركة
نقصي t بين المعادلتين (1) و (2): ← $\boxed{y = -x^2 + 1,4\,x}$ مسار G قوس شلجمي.	معادلة المسار

- دراسة نظرية

اختيار معلمي الفضاء و الزمن



معلم الفضاء معلم ديكارتي $(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ أصله يطابق موضع إطلاق القذيفة و محوراه (Ox) و (Oz) يحددان المستوى الرأسي الذي يضم متجهة السرعة البدئية $\vec{v}_0$.

نختار لحظة إطلاق القذيفة أصلا للتواريخ.

القوة و التسارع

باعتبار القذيفة في سقوط حر فإنها تخضع لوزنها فقط: $\vec{P} = m\vec{g}$ و بتطبيق القانون الثاني لنيوتن نستنتج تسارع مركز قصور القذيفة: $\boxed{\vec{a}_G = \vec{g}}$

المعادلات الزمنية

بإسقاط $\vec{a}_G$ على محاور المعلم $(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ نستنتج المعادلات التفاضلية للحركة، ثم بالتكامل و اعتبار الشروط البدئية نستنتج معادلات الحركة:

	التسارع(المعادلات التفاضلية)	السرعة البدئية	السرعة اللحظية	المعادلات الزمنية
على المحور(Ox)	$a_x = \ddot{x} = 0$	$v_{0x} = v_0 cos\alpha$	$v_x = v_0 cos\alpha$	$x = (v_0 cos\alpha)t$
على المحور(Oy)	$a_y = \ddot{y} = 0$	$v_{0y} = 0$	$v_y = 0$	$y = 0$
على المحور(Oz)	$a_z = \ddot{z} = -g$	$v_{0z} = v_0 sin\alpha$	$v_z = -gt + v_0 sin\alpha$	$z = -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 sin\alpha)t$

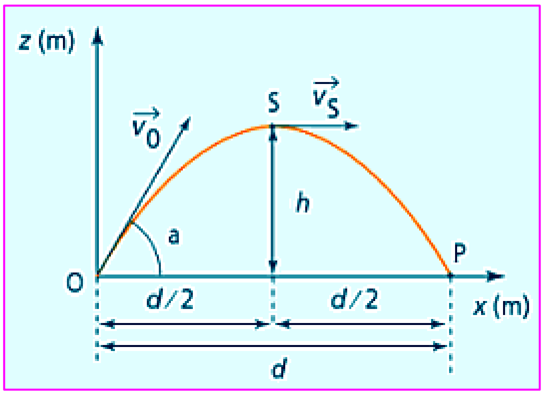
خاصية

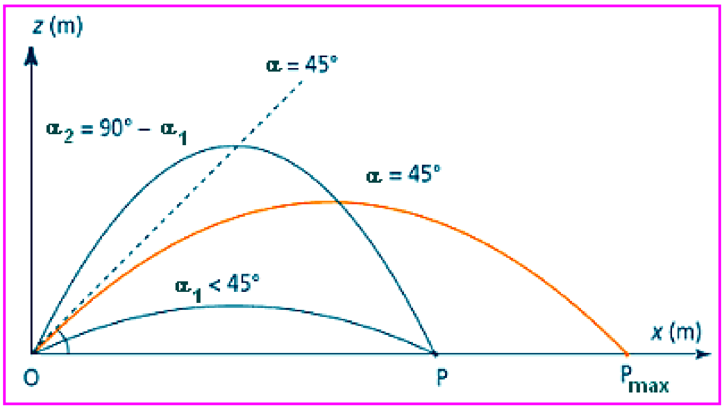
حركة القذيفة مستوية تقع في المستوى الرأسي المحدد بالمتجهتين $\vec{v}_0$ و $\vec{g}$ و هي:

- ✓ منتظمة على المحور الأفقي و سرعتها $v_0 cos\alpha$،
- ✓ متغيرة بانتظام على المحور الرأسي و تسارعها $-g$.

▪ مميزات المسار

معادلة المسار	بإقصاء الزمن بين المعادلتين الزمنيتين $x(t)$ و $z(t)$ نستنتج معادلة المسار: $\boxed{z = -\dfrac{g}{2v_0^2\cos^2\alpha}\cdot x^2 + (\tan\alpha)\cdot x}$
المدى الرأسي	هو الارتفاع الأقصى h الذي تصله القذيفة بالنسبة لموضع إطلاقها. في S متجهة السرعة أفقية أي $v_z = 0$ نستنتج من هذه المعادلة مدة الصعود: $t_S = \dfrac{v_0 \sin\alpha}{g}$ ثم بالتعويض في المعادلة $z(t)$ نستنتج: $\boxed{h = \dfrac{v_0^2}{2g}\cdot\sin^2\alpha}$
المدى الأفقي	هو المسافة الأفقية التي تفصل بين موضع إطلاق القذيفة O و موضع سقوطها P. باعتبار أن المحور الرأسي المار من S هو محور تماثل للمسار الشلجمي فإن: $d = 2x_S$، ثم باعتبار $x_S = (v_0\cos\alpha)t_S$ نستنتج: $\boxed{d = \dfrac{v_0^2}{g}\cdot\sin 2\alpha}$





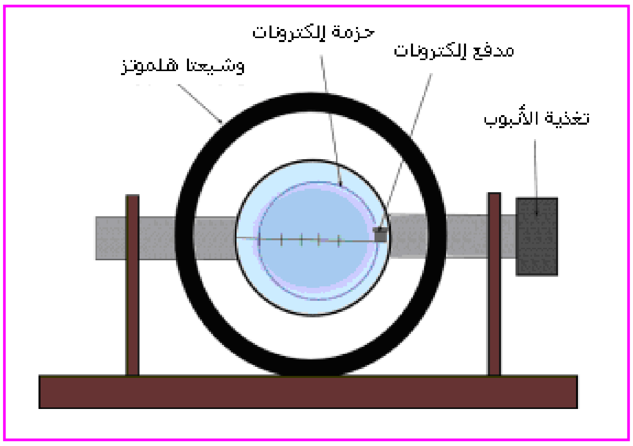
خاصية

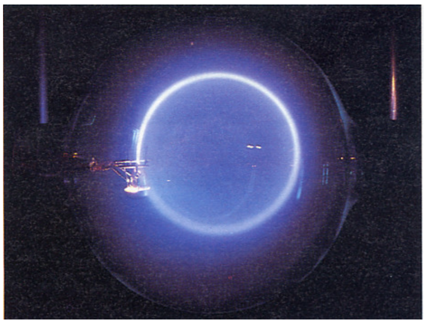
- يأخذ المدى الأفقي قيمته القصوى $d_{max} = \dfrac{v_0^2}{g}$ بالنسبة لزاوية القذف: $\alpha = 45^\circ$.
- بنفس السرعة البدئية، لكي تصل القذيفة مدى d بحيث $d < d_{max}$، هناك قيمتان ممكنتان لزاوية القذف α_1 و α_2 بحيث: $\alpha_1 + \alpha_2 = 90^\circ$ (زاويتان متكاملتان).

II. حركة دقيقة مشحونة في مجال مغنطيسي منتظم

نقتصر على الحالة التي تكون فيها متجهة السرعة البدئية $\vec{v}_0$ متعامدة مع متجهة المجال المغنطيسي $\vec{B}$.

- دراسة تجريبية





- يلاحظ أن مسار الإلكترونات دائري و يقع في المستوى المتعامد مع $\vec{B}$ (أي الموازي لمستوى الوشيعتين) و المار من نقطة دخول حزمة الإلكترونات.
- يرتفع شعاع المسار بالزيادة في قيمة السرعة البدئية v_0 (و ذلك بالزيادة في قيمة التوتر الذي يسرع الإلكترونات).
- يتقلص شعاع المسار بالزيادة في شدة المجال المغنطيسي B (و ذلك بالزيادة في شدة التيار المار في و شيعتي هلمونز).

- دراسة نظرية

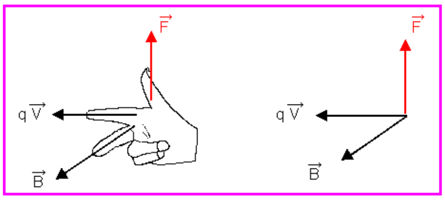
- **القوة و التسارع**

بإهمال وزن الدقيقة فإنها تخضع فقط للقوة المغنطيسية (تسمى أيضا قوة لورنتز):

- تعبيرها هو: $\boxed{\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}}$

- ومميزاتها هي:

الاتجاه	متعامد مع المستوى المحدد بالمتجهتين $\vec{v}$ و $\vec{B}$
المنحى	منحى $\vec{F}$ هو بحيث $(q\vec{v}, \vec{B}, \vec{F})$ معلم مباشر. يحدد المنحى بتطبيق قاعدة الأصابع الثلاث لليد اليمنى.
الشدة	$F = vB\,\lvert q\sin\alpha \rvert$



وبتطبيق القانون الثاني لنيوتن نستنتج تسارع الدقيقة: $\boxed{\vec{a} = \frac{q}{m}\vec{v} \wedge \vec{B}}$

- **الشغل والطاقة الحركية** في كل لحظة قدرة القوة المغنطيسية هي: $\mathscr{P} = \vec{F} \cdot \vec{v}$

و حيث أن: $\vec{F} \perp \vec{v}$

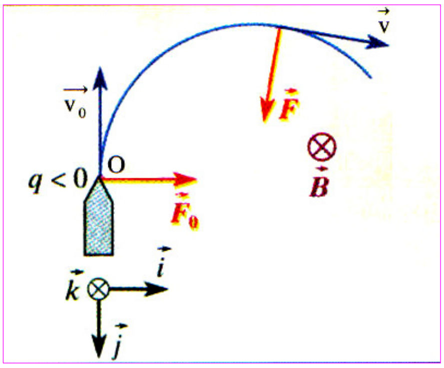
فإن: $\mathscr{P} = 0$

نستنتج أن شغل القوة المغنطيسية منعدم: $W(\vec{F}) = 0$

و بتطبيق م.ط.ح على الدقيقة:

$$\Delta E_C = 0$$
$$\rightarrow E_C = Cte$$

خاصية	لا يغير المجال المغنطيسي الطاقة الحركية لدقيقة مشحونة، يعني حركتها منتظمة.



- **طبعة الحركة**

حسب تعبير متجهة التسارع الذي هو: $\vec{a}=\frac{q}{m}\vec{v}\wedge\vec{B}$

فإن في كل لحظة: $\begin{cases}\vec{a}\perp\vec{B} & (1)\\ \vec{a}\perp\vec{v} & (2)\end{cases}$

(1) تعني أن الحركة مستوية تقع في المستوى المتعامد مع $\vec{B}$ و الذي يضم $\vec{v}_0$،

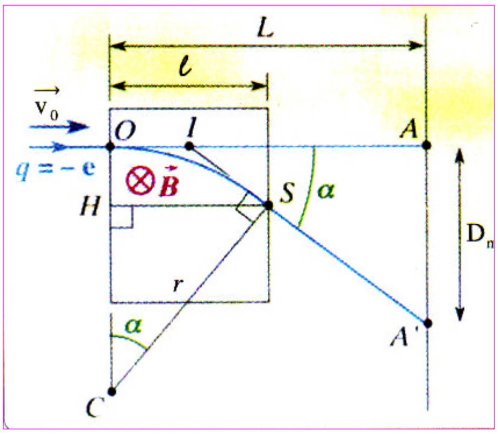
(2) تعني أن التسارع منظمي: $\begin{cases}a_T=0\\ a_N=a\end{cases} \leftarrow \begin{cases}\frac{dv}{dt}=0 & (3)\\ \frac{v^2}{\rho}=\frac{|q|vB}{m} & (4)\end{cases}$

(3) تعني أن الحركة منتظمة: $v=Cte=v_0$

(4) تعني أن شعاع انحناء مسار الدقيقة ثابت يعني مسارها دائري

شعاعه: $\boxed{R=\frac{mv_0}{|q|B}}$

خاصية	في مجال مغنطيسي منتظم حركة دقيقة مشحونة دائرية و منتظمة إذا كانت متجهة سرعتها البدئية متعامدة مع متجهة المجال المغنطيسي.



- **الانحراف المغنطيسي**

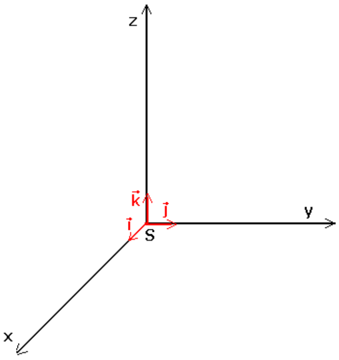
في حالة انحراف ضعيف:

- زاوية الانحراف هي: $\alpha\approx\frac{l}{R}=\frac{|q|Bl}{mv_0}$ (rad)

- مسافة الانحراف على الشاشة هي : $D_m=\frac{|q|Ll}{mv_0}\cdot B$

خاصية	الانحراف على الشاشة يتناسب طرديا مع شدة المجال المغنطيسي.

حركة الأقمار الاصطناعية والكواكب
خاص بالعلوم الرياضية والعلوم التجريبية مسلك العلوم الفيزيائية



I ــ القوانين الثلاثة لكيبلر Kepler

1 ــ المرجع المركزي الشمسي

المرجع الغاليلي الملائم لدراسة حركة الكواكب حول الشمس هو المرجع المركزي الشمسي .

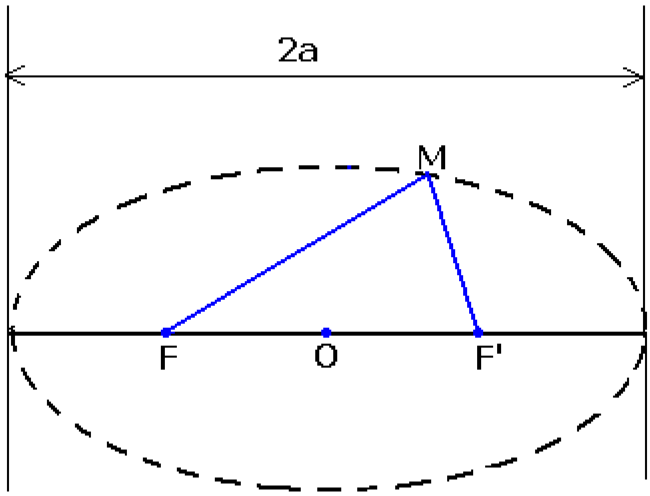
لدراسة حركة الكواكب حول الشمس نربط معلم متعامد وممنظم $(S,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ بالمرجع المركزي الشمسي حيث مركزه الشمس ومحاوره الثلاثة موجهة نحو ثلاثة نجوم بعيدة جدا نعتبرها ثابتة .

2 ــ قوانين كيبلر :

أ ــ القانون الأول أو قانون المدارات الإهليجية .

يحدد هذا القانون بدقة طبيعة مسارات مراكز قصور الكواكب .

نص القانون : مسار مركز قصور كوكب ، في المرجع المركزي الأرضي ، إهليلج يشكل مركز الشمس إحدى بؤرتيه .



MF+MF'=2a

الإهليلج منحنى مستو ، حيث يكون مجموع المسافتين اللتين تفصلان نقطة ما من هذا المنحنى ، تباعا ، بنقطتين ثابتتين ، مجموعا ثابتا . تشكل النقطتان F و F′ بؤرتي الإهليلج .

لتكن النقطة M من الإهليلج لدينا : $MF+MF'=Cte=2a$

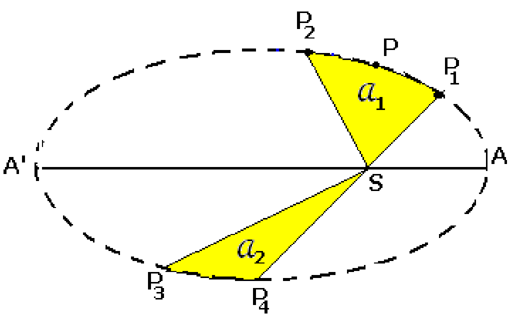
a نصف طول المحور الكبير للإهليلج .

مثال : مدار الأرض حول الشمس هو عبارة عن إهليلج ، يسمى فلك البروج l'éliptique بحيث ينتمي مركز الشمس إلى مستوى هذا المدار .

ب ــ القانون الثاني أو قانون المساحات .

نعتبر كوكبا مركز قصوره P في حركة حول الشمس . خلال المدة الزمنية $\Delta t=t_2-t_1$ ينتقل P من الموضع P_1 إلى الموضع P_2 . أي أن خلال هذا الانتقال تم كسح مساحة a_1 وهي المحصورة بين $[SP_1]$ و $[SP_2]$ والمقطع P_1P_2 لمسار P .

خلال نفس المدة الزمنية $\Delta t=t_4-t_3$ ينتقل P من P_3 إلى P_4

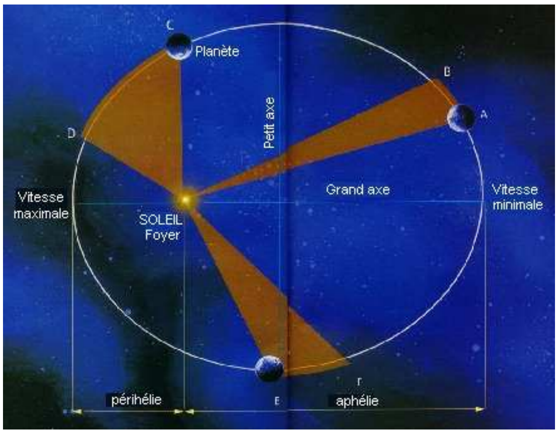


خلال Δt

$a_1=a_2$

أي أنه خلال هذا الانتقال تم كسح المساحة a_2 حيث $a_1 = a_2$

نص القانون : تكسح القطعة $[SP]$ التي تربط مركز الشمس بمركز الكوكب مساحات متقايسة في مدد زمنية متساوية .



يترجم هذا القانون ملاحظة كيبلر والتي تؤكد أن الكواكب تدور حول الشمس بسرعة غير ثابتة ؛ أي أن الكوب كلما اقترب من الشمس زادت سرعته والعكس صحيح .

تكون سرعة الكوكب قصوى عندما يتواجد مركز قصوره بالنقطة A الأقرب من مركز الشمس ؛

وتكون سرعة الكوكب دنيا عندما يتواجد مركز قصوره بالنقطة A′ الأبعد من مركز الشمس .

ج ــ القانون الثالث أو قانون الأدوار ؛

الدورة الفلكية : هي حركة كوكب ما بين مرورين متتاليين لمركزه P من نفس النقطة من مداره حول الشمس .

الدور المداري T للكوكب هو المدة الزمنية التي يستغرقها مرزه لإنجاز دورة فلكية كاملة .

نص القانون : يتناسب مربع الدور المداري اطرادا مع مكعب نصف طول المحور الكبير للإهليلج .

ونعبر عن هذا النص بالعلاقة التالية : $\frac{T^2}{a^3} = k$

حيث أن T الدور المداري ب (s)

a نصف طول المحور الكبير للإهليلج بالمتر (m) ؛

K ثابتة لا تتعلق بالكوكب ، وحدتها m^2 / s^3

قيمة k هي نفسها بالنسبة لجميع كواكب النظام الشمسي .

ملحوظات : بالنسبة للكواكب التي يمكن اعتبار أن مداراتها دائرية شعاعها r

يكتب القانون الثالث لكيبلر : $\frac{T^2}{r^3} = k$

نطبق قانون كيبلر أيضا على الأقمار الاصطناعية التي تدور حول كوكب ما . في هذه الحالة يشكل مركز الكوكب إحدى بؤرتي الإهليلج ، كما أنه بالنسبة لخارج القسمة $\frac{T^2}{a^3} = k'$ هو نفسه بالنسبة لجميع الأقمار التي تدور حول نفس الكوكب . تتعلق قيمة k′ بكتلة الكوكب .

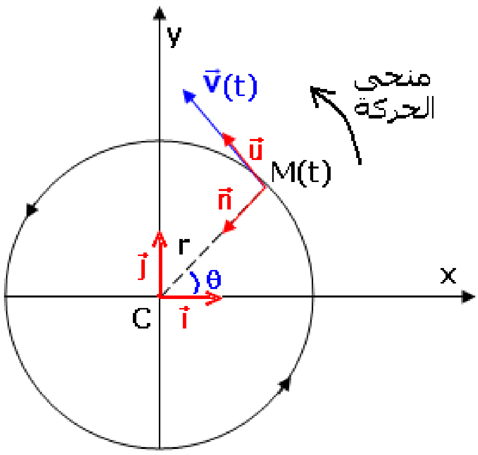
II ــ الحركة الدائرية المنتظمة

سنقتصر في دراسة حركة الأقمار والكواكب على حالة واحدة حيث يكون المدار دائريا تطبيق قوانين كيبلر الخاصيات لتالية :

ــ مدار الكوكب دائري مركزه الشمس

ــ سرعة مركز الكوكب P ثابتة أي أن الحركة دائرية منتظمة

ــ قانون الأدوار يصبح هو : $\frac{T^2}{r^3} = k$ ، r هو شعاع المسار الدائري .



1 ــ خاصيات الحركة الدائرية المنتظمة

أ ــ تعريف

تكون حركة نقطة دائرية منتظمة إذا كان مسار هذه النقطة دائريا وإذا كانت قيمة سرعتها ثابتة .

ب ــ متجهة السرعة

نعتبر نقطة M في حركة دائرية منتظمة في معلم معين . مسار M

دائري مركزه C ، وشعاعه r ، موجه موجبا في منحى الحركة . نمعلم موضع M في المستوى $(C,\vec{i},\vec{j})$ بالزاوية θ هو الأفصول الزاوي .

خاصية حركة دائرية منتظمة :

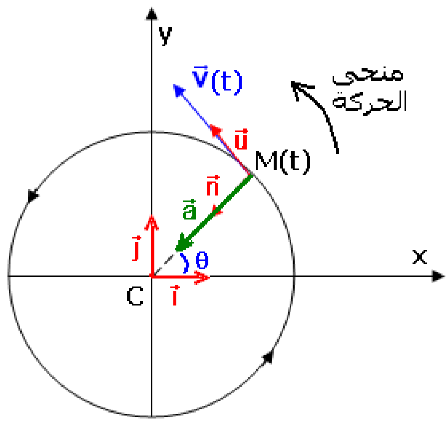
ـ السرعة الزاوية ثابتة : $\omega = \dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt} = cte$

ـ متجهة السرعة $\vec{v}$ مماسة للمسار الدائري ، ومنحاها هو منحى الحركة : $\vec{v} = r.\omega\vec{u}$ ؛ $\vec{u}$ متجهة واحدية مماسية للمسار.

ـ دور الحركة هو مدة دورة كاملة : $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi r}{v}$.

وحدة الفصول الزاوي هي الراديان rad ووحدة السرعة الزاوية ω هي rad/s

ج ـ متجهة التسارع



في الحركة الدائرية المنتظمة يتغير اتجاه متجهة السرعة ، باعتبار أساس فريني فإن $\vec{a} = \frac{dv}{dt}\vec{u} + \frac{v^2}{r}\vec{n}$ ونعلم أنه بالنسبة للحركة الدائرية المنتظمة $v = cte \Rightarrow \frac{dv}{dt} = 0$ أي أن $\vec{a} = \frac{v^2}{r}\vec{n}$

وبالتالي فإن متجهة التسارع غير منعدمة ومحمولة من طرف المتجهة المنظمية $\vec{n}$ أي موجه نحو مركز الدائرة .

بالنسبة لحركة دائرية منتظمة ، متجهة التسارع مركزية انجذابية ، تعبيرها هو :

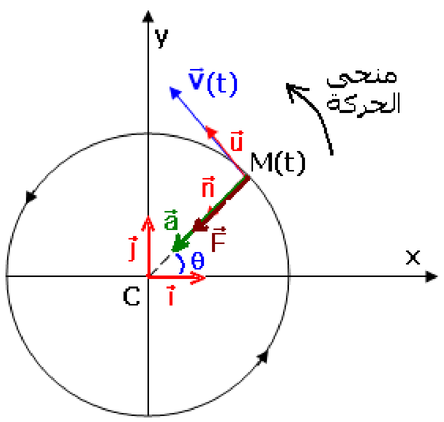
$\vec{a} = \frac{v^2}{r}\vec{n}$ وبما أن $v = r.\omega$ فإن $\vec{a} = r\omega^2\vec{n}$

ω السرعة الزاوية نعبر عنها ب rad/s و r شعاع المسار الدائري ونعبر عنه بالمتر ، v قيمة السرعة ونعبر عنها m/s و a قيمة التسارع ونعبر عنها ب m/s^2 و $\vec{n}$ المتجهة الواحدية المنظمية موجهة نحو المركز C .

2 ـ الشرطان الأساسيان للحصول على حركة دائرية منتظمة .

نعتبر جسما صلبا كتلته m ، وحركة مركز قصورة دائرية منتظمة في معلم غاليلي .

نطبق القانون الثاني لنيوتن على حركة هذا الجسم : $\sum \vec{F}_{ex} = m.\vec{a}_G$



بحيث أن $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{F}$ مجموع القوى المطبقة على الجسم الصلب .

للحصول على حركة دائرية منتظمة يجب أن تكون متجهة التسارع $\vec{a}_G$ لمركز قصور الجسم انجذابية مركزية منظمها ثابت ومنظمها يساوي : $a = \frac{v^2}{r}$ وبالتالي يجب **أن تكون** $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{F}$ **كذلك مركزية انجذابية** **ومنظمها** $F = \frac{mv^2}{r}$.

III ـ قانون نيوتن للتجاذب الكوني

نص القانون :

يحدث بين جسمين نقطيين (A) و (B) كتلتهما m_A و m_B ، وتفصل بينهما مسافة AB ، تجاذب كوني قوتاه هما $\vec{F}_{A/B}$ و $\vec{F}_{B/A}$ بحيث أن :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = -\frac{G.m_A.m_B}{AB^2}\vec{u}_{AB}$$

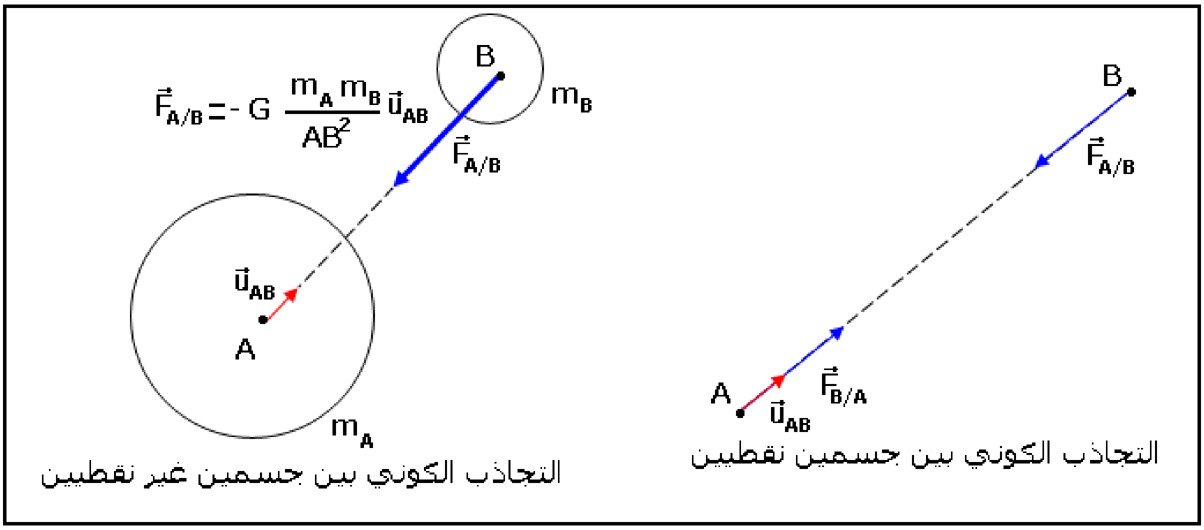
G **: ثابتة التجاذب الكوني :** $G = 6,67.10^{-11} m^3.kg^{-1}.s^{-2}$

$\vec{u}_{AB}$ **متجهة واحدية موجهة من A نحو B .**

يطبق هذا القانون كذلك على الأجسام غير نقطية في الحالتين التاليتين :

ـ أجسام ذات تماثل كروي لتوزيع الكتلة .

ـ أجسام لها أبعاد مهملة أمام المسافة الفاصلة بينهما .

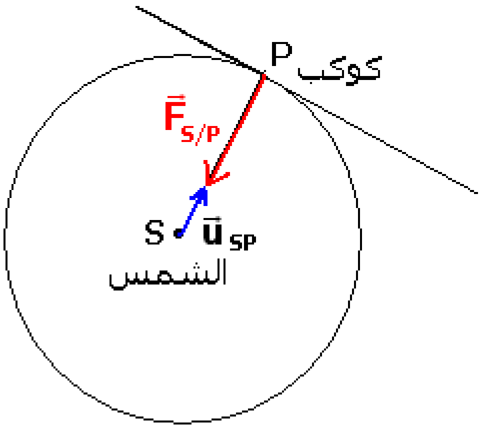


IV ـ الحركة المدارية للكواكب

نختار كمرجع لدراسة حركة كوكب حول الشمس المرجع المركزي الشمسي . ونبين أن حركة هذا الكوكب حول الشمس حركة منتظمة ونحدد مميزات هذه الحركة .

1 ـ تطبيق القانون الثاني لنيوتن :

نعتبر كوكبا كتلته m ومركزه P الذي يتطابق مع مركز قصوره في حركة حول الشمس ذات كتلة m_S ومركزها S .



يخضع الكوكب إلى قوة التجاذب الكوني : $\vec{F}_{S/P} = -G\frac{m.m_S}{r^2}\vec{u}_{SP}$

وحسب القانون الثاني لنيوتن لدينا : $\vec{F}_{S/P} = -G\frac{m.m_S}{r^2}\vec{u}_{SP} = m.\vec{a}_p \Rightarrow \vec{a}_p = -G\frac{m_S}{r^2}\vec{u}_{SP}$

يلاحظ من خلال العلاقة أن $\vec{a}_p$ و $\vec{u}_{SP}$ لهما نفس الاتجاه يعني أن التسارع انجذابي مركزي وبالتالي فإن حركة الكوكب P حركة دائرية منتظمة .

وبما أن قوة التجاذب الكوني قوة انجذابية مركزية فإن :

$\vec{F}_{S/P} = -m.\frac{v^2}{r}\vec{u}_{SP} \Rightarrow \frac{v^2}{r} = G\frac{m_S}{r^2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{G.m_S}{r}}$ وبالتالي يتحقق الشرط الثاني .

في مرجع مركزي أرضي تكون حركة كوكب حول الشمس

r ، بشرط أن تحقق سرعته العلاقة : $v = \sqrt{\frac{G.m_S}{r}}$

2 ـ تعبير الدور المداري T ؛

الدور المداري T

لدينا $T = \frac{2\pi r}{v} \Rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{G.m_S}}$ من هذه العلاقة نحصل على القانون الثالث لكيبلر : $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G.m_S}$

وبالتالي $\frac{T^2}{r^3}$ لا تتعلق بكتلة الكوكب المدروس .

V ـ الحركة المدارية للأقمار الاصطناعية للأرض .

لدراسة أقمار الأرض نختار كجسم مرجعي **المرجع المركزي الأرضي**

نسمي قمرا كل جسم في حركة مدارية حول كوكب .

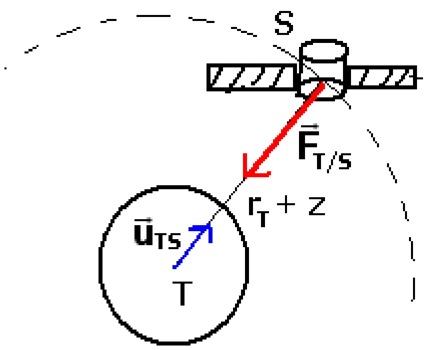
مثال : يشكل القمر (la lune) قمرا طبيعيا للأرض .

1 ـ تعبيرا السرعة والدور المداري .

تكون حركة قمر اصطناعي حول الأرض حركة دائرية منتظمة عندما يتحقق الشرطان

ـ القوة المطبقة من طرف الأرض T ذات الكتلة m_T والشعاع r_T

على القمر الاصطناعي S $\left(\vec{F}_{T/S}\right)$ انجذابية مركزية .



ـ منظمها $F_{T/S}$ ثابت ، ويحقق العلاقة $F_{T/S} = \frac{mv^2}{r}$ أي أن

التسارع $a = \frac{v^2}{r}$

وبتطبيق القانون الثاني لنيوتن :يوجد القمر الاصطناعي تحت تأثير

القوة $\left(\vec{F}_{T/S}\right)$ القوة المطبقة من طرف الأرض على القمر

الاصطناعي :

$$\vec{F}_{T/S} = -G\frac{m_T.m_S}{r^2}\vec{u}_{TS} = -\frac{m_S v^2}{r}\vec{u}_{TS}$$

$$v^2 = \frac{Gm_T}{r} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{Gm_T}{r}}$$

بحيث أن $r = r_T + z$ و z هو ارتفاع القمر اصطناعي بالنسبة للأرض و r_T شعاع الأرض .

الدور المداري T لحركة القمر اصطناعي هو : $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{G.m_T}} = 2\pi\sqrt{\frac{(r_T+z)^3}{G.m_T}}$

ملحوظة : لاتتعلق v سرعة دوران القمر الاصطناعي والدور المداري T بكتلة القمر الاصطناعي بل تتعلق بارتفاعه z بالنسبة لسطح الأرض .

2 ـ الاستقمار *satellisation*

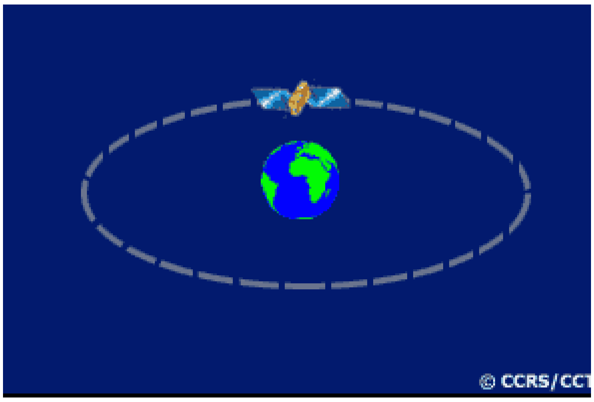
تعريف :

الاستقمار هو وضع قمر اصطناعي في مداره حول الأرض وإعطاؤه سرعة كافية تخول له حركة دائرية منتظمة حول الأرض .

تتم هذه العملية بواسطة مركبة فضائية والتي تقوم بدور مزدوج :

ـ حمل القمر الاصطناعي إلى ارتفاع يفوق حوالي 200km حيث الغلاف الجوي الأرضي تقريبا منعدم .

ـ منح القمر الاصطناعي سرعة تجعله يبقى في مدار دائري حول الأرض بحيث تكون متجهة السرعة البدئية عمودية على متجهة الموضع $\overrightarrow{TS}$ ومنظمها يحقق



العلاقة : $v=\sqrt{\dfrac{G.m_T}{(r_T+z)}}$

نعتبر أن القمر الاصطناعي خاضعا لقوة التجاذب الأرضي فقط ونهمل الاحتكاكات المتعلقة بالجو .

3 ـ الأقمار الاصطناعية الساكنة بالنسبة للأرض .

يكون القمر الاصطناعي ساكنا بالنسبة للأرض إذا بدا دوما غير متحرك بالنسبة لملاحظ على سطح الأرض .

الشروط لكي يكون القمر الاصطناعي ساكنا بالنسبة للأرض :

في المرجع المركزي الأرضي ، تدور الأرض حول محورها القطبي ، ويساوي الدور T لهذا الدوران الخاص يوما فلكيا (24 ساعة)

لكي يظهر القمر الاصطناعي ساكنا بالنسبة للأرض يجب :

ـ أن يدور في منحى دوران الأرض حول محور قطبيها .

ـ يساوي دوره المداري T دور حركة الدوران الخاصة للأرض حول محورها القطبي .

ـ يوجد مداره الدائري في مستوى خط الاستواء للأرض .

تمكن قيمة T من تحديد قيمة z ، أي أن $T=23h56\,\boldsymbol{min}=84164s$ أي أن الارتفاع z عن سطح الأرض هو :

$$T=\sqrt{\frac{(r+z)^3}{G.m_T}}\Rightarrow z=\left(\frac{T^2.G.m_T}{4\pi^2}\right)-r_T$$

تطبيق عددي :

$z\simeq 36000km$

حركة الكواكب و الأقمار الاصطناعية

I. الحركة الدائرية المنتظمة

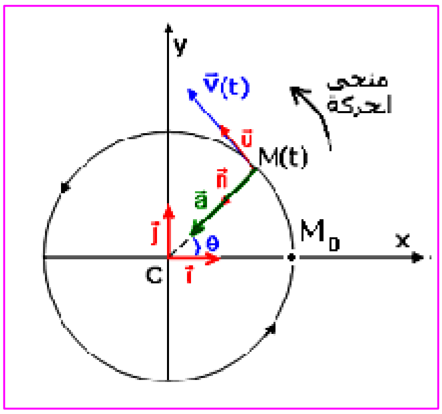
تعريف

تعتبر حركة نقطة دائرية و منتظمة إذا كان:
- مسارها دائريا،
- و قيمة سرعتها اللحظية ثابتة.

• المعلمة

يمكن معلمة نقطة في حركة دائرية بثلاث طرق:

الإحداثيات الديكارتية	$\overrightarrow{CM} = x\vec{i} + y\vec{j}$ بحيث: (x,y)
الأفصول المنحني	القوس: $s = \overset{\frown}{M_0M}$
الأفصول الزاوي	الزاوية: $\theta = (\overrightarrow{CM_0},\overrightarrow{CM})$



العلاقات التي تربط بينها هي:

$$\begin{cases} x = r\cos \\ y = r\sin \end{cases}$$
$$s = r \quad {}_{rad}$$

• السرعة

تعبير متجهة السرعة اللحظية في معلم فريني هو: $\vec{v} = v \cdot \vec{u}$
وهي ليست ثابتة لأن اتجاهها يتغير.

السرعة الخطية	$v = \frac{ds}{dt}$
السرعة الزاوية	$\omega = \frac{d}{dt}$
العلاقة بينهما	$v = r$

• التسارع

تعبير متجهة التسارع في معلم فريني هو: $\vec{a} = \frac{v^2}{r} \cdot \vec{n} = r \quad {}^2 \cdot \vec{\ }$

خاصية

في حركة دائرية و منتظمة شعاعها r و سرعتها v متجهة التسارع انجذابية مركزية في كل لحظة، و قيمتها: $a = \frac{v^2}{r}$.

• الدور

خاصية

الحركة الدائرية و المنتظمة ظاهرة دورية و دورها يساوي مدة دورة واحدة، و تعبيره هو:

$$T = \frac{2}{v} = \frac{\ }{\ }$$

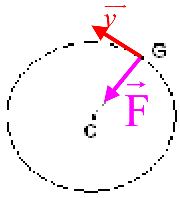
• <u>مجموع القوى</u>

حسب القانون الثاني لنيوتن مجموع متجهات القوى المطبقة على جسم صلب، كتلته m و مركز قصوره G في حركة دائرية و منتظمة، يحقق العلاقة التالية:

$$\boxed{\Sigma\vec{F} = m\,\frac{v^2}{r}\cdot\vec{n}}$$

لكي تكون حركة مركز القصور G لجسم صلب، كتلته m ، دائرية و منتظمة شعاعها r و سرعتها v،
يلزم أن تكون القوة $\vec{F}$ المكافئة لمجموع القوى المطبقة على هذا الجسم:

- منظمية (أي اتجاهها هو حامل الشعاع CG)،
- انجذابية مركزية (أي متجهة نحو المركز C)،
- شدتها: $F = m\,\frac{v^2}{r}$ لا تتعلق إلا بالشعاع (m و v ثابتتان).

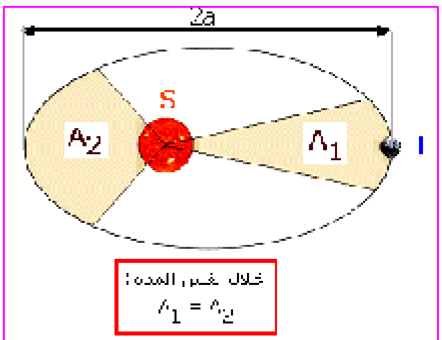


II. حركة الكواكب حول الشمس

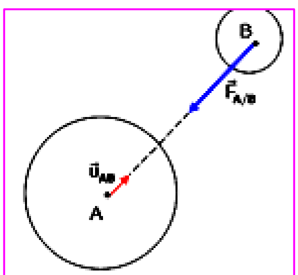
• <u>قوانين كبلر(Kepler)</u>

بدراسة مواضع الكواكب حول الشمس وبعد ملاحظات وحسابات طويلة توصل عالم الفلك و الرياضيات الألماني كبلر للقوانين الثلاثة التالية:

القانون الأول	في المرجع المركزي الشمسي مسار مركز قصور كوكب إهليلج يشكل مركز الشمس إحدى بؤرتيه.
القانون الثاني	تكسح القطعة الرابطة بين مركز الشمس و مركز كوكب مساحات متقايسة خلال مدد متساوية. (الشكل جانبه)
القانون الثالث	يتناسب مربع الدور المداري لكوكب مع مكعب نصف طول المحور الكبير لمداره الإهليلجي: $\boxed{T^2 = ka^3}$



• <u>قانون نيوتن للتجاذب الكوني</u>



قوة التجاذب بين جسمين تتناسب اطرادا مع جداء كتلتيهما و عكسيا مع مربع المسافة الفاصلة بين مركزيهما:

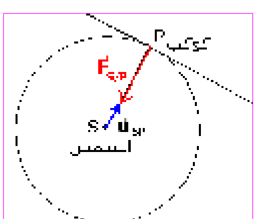
$$\boxed{\vec{F}_{A/B} = -G\cdot\frac{m_A\cdot m_B}{AB^2}\cdot\vec{u}_{AB}}$$

G ثابتة تسمى ثابتة التجاذب الكوني و قيمتها: $G = 6{,}67.10^{-11}$ S.I.

• <u>مميزات حركة كوكب حول الشمس</u>

في هذه الدراسة نفترض أن مسار كوكب حول الشمس <u>دائري</u> و ندرس حركته في المرجع المركزي الشمسي.

أ- <u>التسارع:</u>



يخضع كوكب لقوة التجاذب الكوني المطبقة عليه من طرف الشمس و تعبيرها:

$$\vec{F} = -G\,\frac{m\cdot M_S}{r^2}\cdot\vec{u}_{SP}$$

في معلم فريني :

$$\vec{F} = G\,\frac{m\cdot M_S}{r^2}\cdot\vec{n}$$

m كتلة الكوكب و M_S كتلة الشمس.

و بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على الكوكب نستنتج تسارعه:

$$\boxed{\vec{a} = G\,\frac{M_S}{r^2}\cdot\vec{n}}$$

متجهة التسارع مركزية انجذابية ما يعني أن حركة الكوكب دائرية <u>منتظمة</u> في المعلم المركزي الشمسي.

ب- السرعة: $a = \frac{v^2}{r}$ ← $\boxed{v = \sqrt{\frac{G \cdot M_S}{r}}}$

ت- الدور المداري: $T = \frac{2\pi r}{v}$ ← $\boxed{T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{G \cdot M_S}}}$

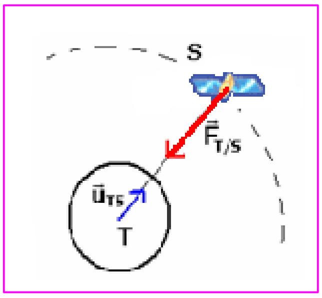
☜ ملحوظة $T^2 = 4\pi^2 \frac{r^3}{G \cdot M_S}$ ← $T^2 = k \cdot r^3$

و بذلك يتحقق القانون الثالث لكبلر.

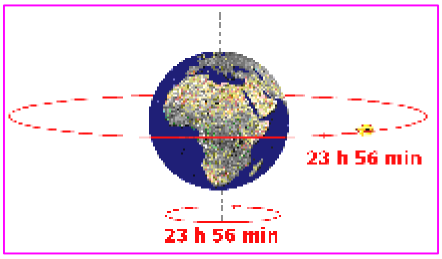
III. حركة الأقمار الاصطناعية حول الأرض

في هذه الدراسة نفترض أن مسار قمر اصطناعي حول الأرض دائري و ندرس حركته في المرجع المركزي الأرضي.

- مميزات الحركة

التسارع	يخضع القمر لقوة التجاذب الكوني المطبقة عليه من طرف الأرض و تعبيرها: $\vec{F} = -G \frac{m \cdot M_T}{r^2} \cdot \vec{u}_{TS}$ في معلم فريني: $\vec{F} = G \frac{m \cdot M_T}{r^2} \cdot \vec{n}$ m كتلة القمر و M_T كتلة الأرض. و بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على القمر نستنتج تسارعه: $\boxed{\vec{a} = G \frac{M_T}{r^2} \cdot \vec{n}}$ حركة القمر دائرية منتظمة في المعلم المركزي الأرضي. 
السرعة	$r = R + h$ ← $\boxed{v = \sqrt{\frac{G \cdot M_T}{R + h}}}$ حيث R شعاع الأرض و h ارتفاع القمر عن سطح الأرض.
الدور	$\boxed{T = 2\pi \sqrt{\frac{(R + h)^3}{G \cdot M_T}}}$

- الأقمار الساكنة



تعريف	لقمر اصطناعي ساكن موضع قار بالنسبة لمعلم أرضي: يبقى باستمرار على نفس الخط العمودي لنفس النقطة من سطح الأرض.
شروط السكون	✓ ينبغي أن يقع مداره في مستوى خط الاستواء، ✓ أن يدور في نفس منحى دوران الأرض حول محورها القطبي، ✓ أن يكون دوره المداري مساويا لدور حركة الدوران للأرض حول محوها القطبي و الذي يساوي: $\boxed{T = 23\ h\ 56\ \text{min}\ 4\ s = 86\ 164\ s}$
الارتفاع	$h = \left(\frac{T^2 \cdot G \cdot M_T}{4\pi^2}\right)^{\frac{1}{3}} - R$ $h \approx 36\ 000\ km$

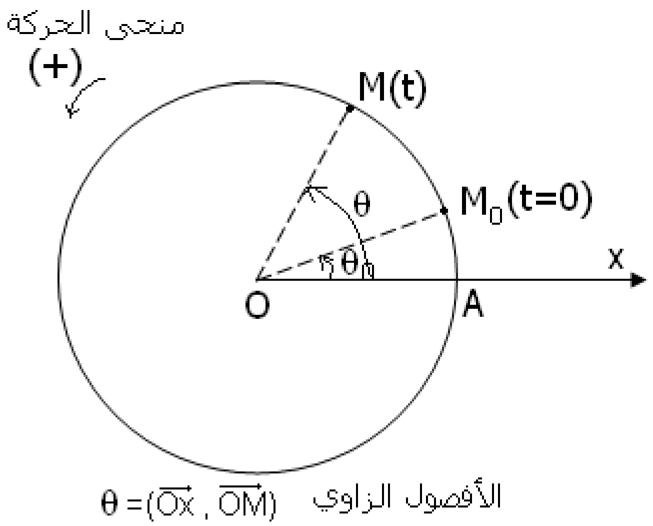
حركة دوران جسم صلب حول محور ثابت

I ـ الأفصول الزاوي ـ السرعة الزاوية (تذكير)

يكون جسم صلب ، غير قابل للتشويه ، في حركة دوران حول محور ثابت (Δ) إذا كانت جميع نقطه في حركة دائرية ممركزة على هذا المحور باستثناء النقط المنتمية للمحور (Δ) .

نحدد موضع نقطة متحركة من الجسم ، في مرجع أرضي نعتبره غاليليا في لحظة

1 ـ الأفصول الزاوي



الأفصول الزاوي للنقطة المتحركة M من جسم صلب في حركة دوران حول محور ثابت (Δ) هو الزاوية الموجهة θ بحيث : $\theta=\left(\overrightarrow{Ox},\overrightarrow{OM}\right)$ بحيث أن $\overrightarrow{Ox}$ محورا مرجعيا (أصل الأطوار) والمسار الدائري للنقطة المتحركة موجها في منحى الحركة والذي نعتبره موجبا .

وحدة الأفصول الزاوي في النظام العالمي للوحدات هي الرديان rad .

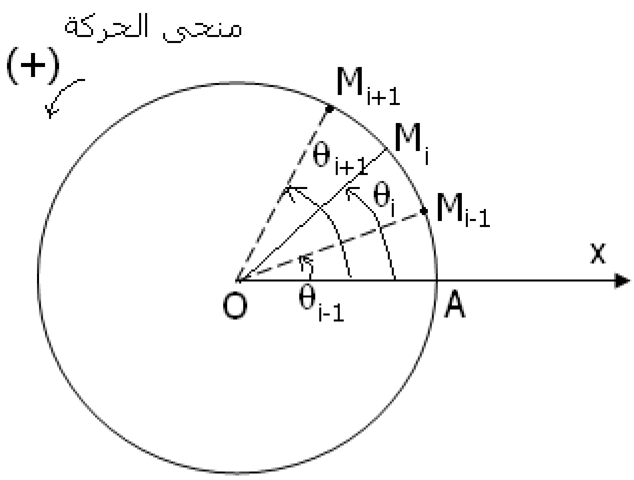
خلال حركة دوران الجسم الصلب حول المحور (Δ) يتغير الأفصول الزاوي مع الزمن t أي أنه دالة زمنية $\theta(t)$.

2 ـ السرعة الزاوية $\dot{\theta}$

نعتبر أنه خلال حركة دوران الجسم الصلب حول المحور (Δ) ، أنه في اللحظة t_i تحتل النقطة M الموضع M_i .

نعتبر لحظتين جد متقاربتين t_{i+1} و t_{i-1} تؤطران اللحظة t_i ، في هذه الحالة تساوي السرعة الزاوية للنقطة M في اللحظة t_i السرعة المتوسطة للنقطة M بين اللحظتين t_{i+1} و t_{i-1} وهي :

$$\dot{\theta}=\frac{\theta(t_{i+1})-\theta(t_{i-1})}{t_{i+1}-t_{i-1}}$$



$\theta(t_{i+1})$ الأفصول الزاوي للنقطة M في اللحظة t_{i+1}

$\theta(t_{i-1})$ الأفصول الزاوي للنقطة M في اللحظة t_{i-1}

نضع $\Delta\theta=\theta(t_{i+1})-\theta(t_{i-1})$ و $\Delta t=t_{i+1}-t_{i-1}$

إذا كانت t_{i+1} و t_{i-1} جد متقاربتين ، فإن Δt تتناهى نحو الصفر وبالتالي ستكون عندنا :

$$\lim_{\Delta t\to 0}\left(\frac{\Delta\theta}{\Delta t}\right)=\frac{d\theta}{dt}$$

$\frac{d\theta}{dt}$ المشتقة الأولى بالنسبة للزمن للأفصول الزاوي في اللحظة t_1.

وحدة السرعة الزاوية في النظام العالمي للوحدات هي rad/s

يرتبط الأفصول الزاوي والأفصول المنحني $s(t)$ في كل لحظة بالعلاقة التالية : $s(t)=r.\theta(t)$

ومنه نستنتج العلاقة بين السرعة اللحظية للنقطة M $v(t)=\dot{s}(t)$ (السرعة الخطية) والسرعة الزاوية

$\dot{\theta}(t)$: $v(t)=r\dot{\theta}(t)$

3 ـ التسارع الزاوي $\ddot{\theta}(t)$

أ ـ تعريف

لتكن $\dot{\theta}(t_i)$ السرعة الزاوية لنقطة M من جسم صلب في حركة دوران حول محور ثابت في لحظة t_i بحيث مؤطرة بلحظتين جد متقاربتين t_{i+1} و t_{i-1} بحيث أن $\dot{\theta}(t_{i+1})$ السرعة الزاوية للنقطة M في اللحظة t_{i+1} و $\dot{\theta}(t_{i-1})$ السرعة الزاوية للنقطة M في اللحظة t_{i-1}

عندما تتناهى $\Delta t=t_{i+1}-t_{i-1}$ نحو الصفر يتناهى خارج القسمة $\frac{\Delta\dot{\theta}}{\Delta t}=\frac{\dot{\theta}(t_{i+1})-\dot{\theta}(t_{i-1})}{t_{i+1}-t_{i-1}}$ إلى المشتقة بالنسبة للزمن للسرعة الزاوية أي أن :

$$\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\dot{\theta}(t_{i+1})-\dot{\theta}(t_{i-1})}{t_{i+1}-t_{i-1}}=\frac{d\dot{\theta}}{dt}=\ddot{\theta}(t_i)$$

وحدة التسارع الزاوي في النظام العالمي للوحدات هي rad/s^2

تمرين تطبيقي :

1 ـ السرعة الزاوية لنقطة متحركة M من جسم صلب في دوران حول محور ثابت هي $\dot{\theta}=10rad/s$.

أ ـ أحسب التسارع الزاوي $\ddot{\theta}$ لهذه النقطة .

ب ـ ما طبيعة حركة النقطة M ؟

ج ـ أكتب تعبير الأفصول الزاوي θ بدلالة الزمن t علما أن الأفصول الزاوي عند أصل التواريخ هو $\theta_0=2rad$.

2 ـ تعبير الأفصول الزاوي لنقطة N من جسم صلب في دوران حول محور ثابت هو :

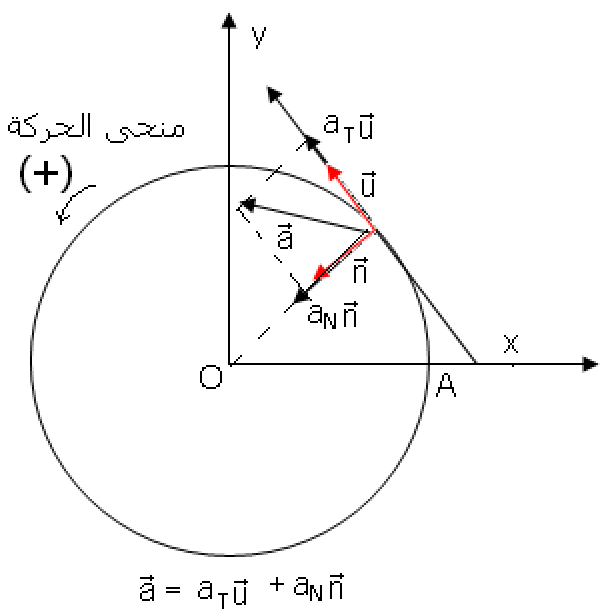
$\theta(t)=10t^2+40t+6$ حيث t بالثانية (s) و θ بالرديان (rad)

أ ـ أوجد تعبير السرعة الزاوية بدلالة الزمن .

ب ـ أوجد تعبير التسارع الزاوي بدلالة الزمن .

ج ـ ما طبيعة حركة النقطة N ؟

ب ـ المركبتان a_N و a_T في أساس فريني .



لدينا في أساس فريني : $\vec{a}=a_T.\vec{u}+a_N.\vec{n}$ بحيث أن

$a_T=\frac{dv}{dt}$ و $a_n=\frac{v^2}{\rho}$

s الأفصول المنحني للنقطة M في لحظة t و $v=\frac{ds}{dt}$ السرعة الخطية للنقطة M في اللحظة t و ρ شعاع انحناء المسار في اللحظة t .

حسب تعريف الدوران لجسم صلب حول محور ثابت ، فإن مسار كل نقطة متحركة من الجسم دائريا ممركزا على محور الدوران وبالتالي يكون اتجاه المتجهة الواحدية $\vec{n}$ نحو النقطة O مركز الدائرة ويكون شعاع الانحناء مساويا لشعاع الدائرة r .

نعلم أن $s=r.\theta$ $\qquad$ $\dot{s}=r\dot{\theta}$

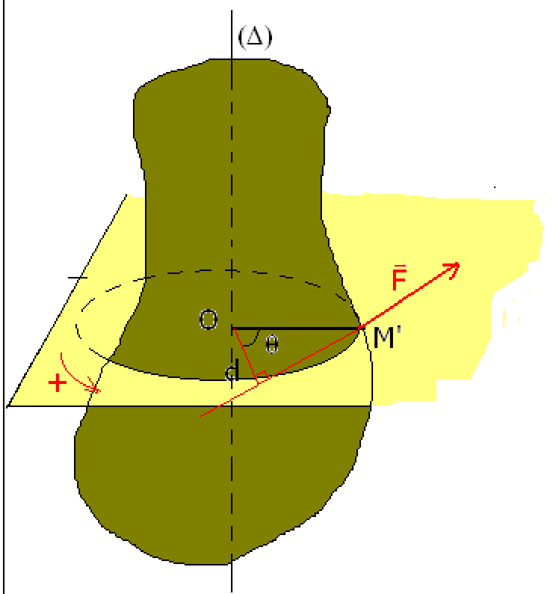
$$a_T = \frac{dv}{dt} = r.\frac{d\theta}{dt} = r.\dot{\theta}$$

ولدينا كذلك $\rho = r$ أي أن $a_N = \frac{(r\dot{\theta})^2}{r} = r(\dot{\theta})^2$

II ـ العلاقة الأساسية للتحريك في حالة دوران جسم حول محور ثابت .

تخص هذه العلاقة كل جسم صلب خاضع لتأثيرات ميكانيكية في دوران حول محور ثابت

1 ـ نص العلاقة



في معلم مرتبط بجسم مرجعي أرضي ، بالنسبة لمحور ثابت (Δ) يساوي مجموع عزوم القوى المطبقة على جسم صلب في دوران حول محور ثابت (Δ) في كل لحظة ، جداء عزم القصور J_Δ والتسارع الزاوي $\ddot{\theta}$ للجسم في اللحظة المعينة :

$$\sum \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_i) = J_\Delta.\ddot{\theta}$$

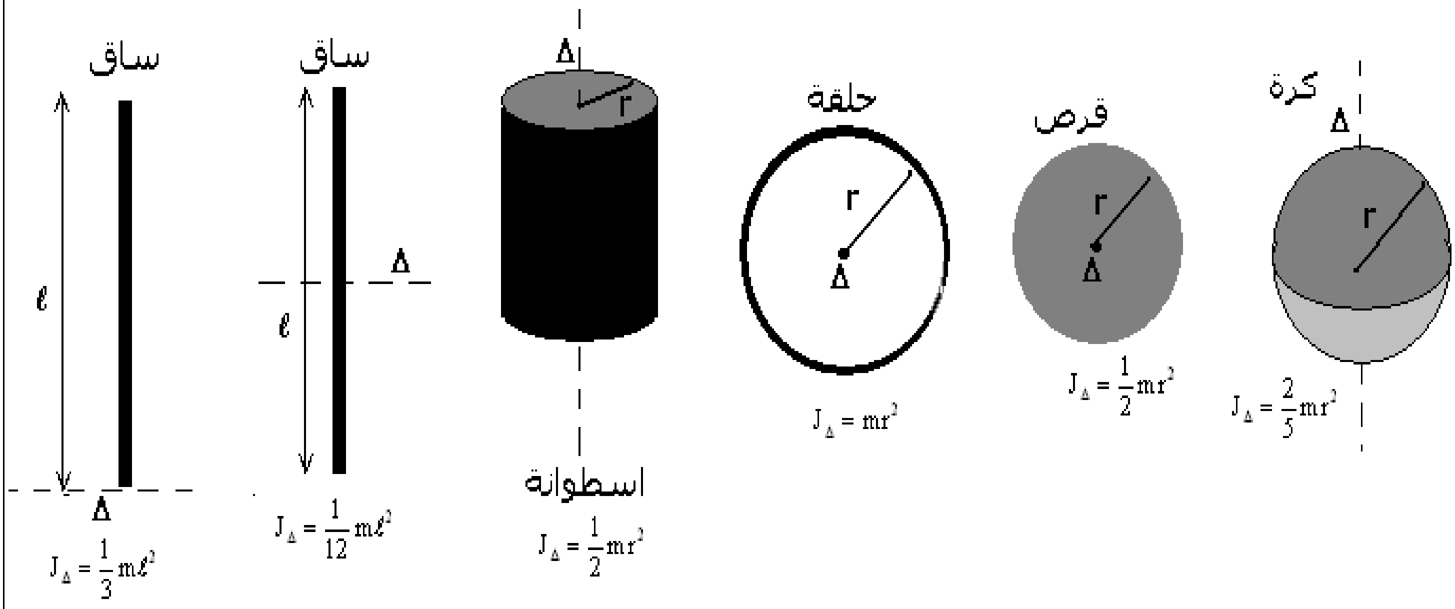
$\sum \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_i)$ مجموع العزوم بالنسبة للمحور Δ للقوى المطبقة على الجسم الصلب $(N.m)$

J_Δ عزم قصور الجسم الصلب بالنسبة للمحور (Δ) نعبر عنه ب $kg.m^2$

$\ddot{\theta}$ التسارع الزاوي نعبر عنه ب rad/s^2

2 ـ تعابير عزم القصور لأجسام متجانسة ذات أشكال هندسية بسيطة .

عزم قصور J_Δ لجسم صلب يميز حركة دوران الجسم حول المحور (Δ)



حالتان خاصتان :

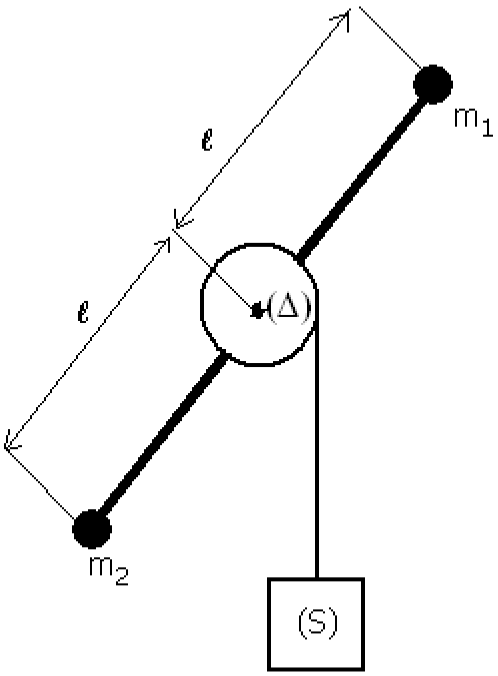
إذا كان التسارع الزاوي منعدما $\ddot{\theta} = 0$ فإن حركة الجسم الصلب حول المحور Δ حركة دورانية منتظمة .

إذا كان التسارع الزاوي ثابتا تكون حركة الجسم الصلب حول المحور Δ حركة دورانية متغيرة بانتظام .

III ـ تطبيق : حركة مجموعة ميكانيكية في حالة إزاحة ودوران حول محور ثابت .

نعتبر أسطوانة متجانسة شعاعها $r = 10cm$ وكتلتها $m = 1kg$ يمكنها الدوران حول محور ثابت (Δ) حيث يمر بمركزها ساق T ثبت في طرفيه جسمين نقطيين كتلتهما $m_1 = m_2 = 0,5kg$ ، يوجد مركز قصورهما على نفس المسافة $\ell = 50cm$ من المحور (Δ) . تحمل الأسطوانة جسما (S) كتلته $m' = 10kg$ ، بواسطة حبل ملفوف حولها نعتبره غير قابل الامتداد وكتلته مهملة.

نترك المجموعة بدون سرعة بدئية ، علما أن الاحتكاكات مهملة وكذلك كتلة الساق .



1 ـ أوجد التسارع a للجسم (S) وتوتر الحبل أثناء الحركة

2 ـ عين السرعة الزاوية للأسطوانة عندما يقطع الجسم مسافة $h = 5m$. نعطي $g = 10m/s^2$

تمرين 3

ندير قرصا متجانسا ، كتلته $m = 10kg$ وشعاعه $r = 10cm$ ، حول محوره إلى أن تصير سرعة دورانه 400 دورة في الدقيقة ، تم نتركه

نلاحظ أن القرص يتوقف عن الدوران بعد ثلاث دقائق تحت تأثير الاحتكاك الذي نقرن به مزدوجة ، نعتبر عزمها ثابتا .

1 ـ أحسب التسارع الزاوي للقرص .

2 ـ استنتج عزم المزدوجة ال

الجواب :

1 ـ نقوم بدراسة حركة القرص انطلاقا من حصوله على السرعة الزاوية $\omega_0 = \frac{2\pi \times 400}{60} = 41,8 rad/s$

إلى أن يتوقف أي أن سرعته الزاوية منعدمة . حركة القرص في هذه المرحلة حركة دائرية متغيرة بانتظام ، يمكن أن نبين ذلك بتطبيق العلاقة الأساسية للتحريك :

$$\sum \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = J_\Delta.\ddot{\theta} \Rightarrow \mathcal{M}_C = J_\Delta.\ddot{\theta} \Rightarrow \ddot{\theta} = \frac{\mathcal{M}_C}{J_\Delta} = cte$$

أي أن المعادلة الزمنية لهذه الحركة هي : $\theta(t) = \frac{1}{2}\ddot{\theta}t^2 + \omega_0 t$ ومعادلة السرعة كذلك هي :

$$\dot{\theta}(t) = \ddot{\theta}t + \omega_0$$

عند انعدام السرعة الزاوية لدينا : $\ddot{\theta}t + \omega_0 = 0 \Rightarrow \ddot{\theta} = -\frac{\omega_0}{t}$

تطبيق عددي : $\ddot{\theta} = -\frac{\omega_0}{t} = -\frac{41,8}{3 \times 60} = -0,23 rad/s^2$

2 ـ حساب عزم المزدوجة المقاومة :

$\mathcal{M}_C = J_\Delta.\ddot{\theta}$ بحيث أن $J_\Delta = \frac{1}{2}mr^2 = 0,05 kg.m^2$ وبالتالي فإن $\mathcal{M}_C = -0,0115 N.m$

حساب عدد الدورات المنجزة قبل لأن يتوقف :

$\theta = -0,23t^2 + 41,8t$ لدينا $\theta = -0,23(180)^2 + 41,8(180) = 72 rad$

ونعلم أن $\theta = 2\pi n \Rightarrow n = \frac{\theta}{2\pi} = 11,5$

دوران جسم حول محور ثابت

I.تذكير:

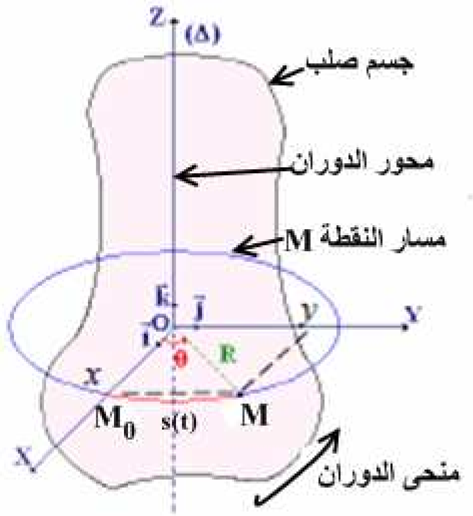
1. تعريف:

يكون جسم صلب غير قابل للتشويه في حركة دوران حول محور ثابت إذا كانت كل نقطة من نقطه في حركة دائرية ممركزة على هذا المحور، ماعدا النقط التي تنتمي إلى محور الدوران فتكون في حالة سكون.

2. المعلمة:

يمكن أن نمعلم حركة نقطة M من جسم صلب في دوران حول محور ثابت (Δ) في لحظة t بما يلي:

أ. الإحداثيات الديكارتية:



ترسم نقطة M من جسم صلب في حركة دوران حول محور ثابت (Δ) مسارا دائريا مركزه O وشعاعه $R = OM$.

نستعمل في هذه الحالة المعلم $R\left(O,\vec{i},\vec{j}\right)$ حيث ينطبق أصله O مع محور الدوران(Δ).

نحدد موضع النقطة المتحركة M بالإحداثيات الديكارتية x و y حيث: $\overrightarrow{OM}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j}$.

ب. الأفصول المنحني:

يمكن تحديد موضع النقطة M في لحظة t بتحديد قياس طول القوس $\overset{\frown}{M_0M}(t)$ الذي ترسمه النقطةM أثناء حركتها. نسمي طول القوس الأفصول المنحني، نرمز له بـ$s(t)$.

ج. الأفصول الزاوي:

يمكن تحديد موضع النقطة M في اللحظة t بتحديد قياس الزاوية$\theta(t)$ التي تكونها متجهة الموضع $\overrightarrow{OM}$ مع المحور (OX) حيث:

$$\theta = \left(\overrightarrow{OM_0},\overrightarrow{OM}\right).$$

يرتبط الأفصول الزاوي والأفصول المنحني بالعلاقة: $[m] \leftarrow s(t) = \underset{[m]}{\underset{\downarrow}{R}}.\theta(t) \rightarrow [rad]$

3. العلاقة بين السرعة الخطية والسرعة الزاوية:

تعرف السرعة الخطية v كالتالي: $v = \dfrac{ds(t)}{dt}$

نعلم أن: $s(t) = R.\theta(t)$ إذن: $v = \dfrac{d(R.\theta(t))}{dt}$ أي أن: $v = R\dfrac{d(\theta(t))}{dt}$

يمثل المقدار $\dfrac{d(\theta(t))}{dt}$ السرعة الزاوية ويرمز لها بالرمز $\dot{\theta}$ أو ω

ومنه: $\left[m.s^{-1}\right] \leftarrow v = \underset{[m]}{\underset{\downarrow}{R}}.\dot{\theta} \rightarrow \left[rad.s^{-1}\right]$

II.العلاقة بين التسارع والسرعة الزاوية:

1. تعريف:

في معلم معين، يساوي التسارع الزاوي $\ddot{\theta}$ لحركة جسم صلب في دوران حول محور ثابت (Δ) عند لحظة t ، المشتقة الأولى بالنسبة للزمن للسرعة الزاوية $\dot{\theta}$ ، ونكتب:

$$\left[rad.s^{-2}\right] \leftarrow \ddot{\theta} = \frac{d\dot{\theta}}{dt} \rightarrow \frac{\left[rad.s^{-1}\right]}{[s]}$$

2. تعبير التسارع في معلم فريني :

في معلم فريني يكتب التسارع الخطي كالتالي: $\vec{a} = a_T\vec{u} + a_N\vec{n}$ حيث: $a_T = \frac{dv}{dt}$ و $a_N = \frac{v^2}{\rho}$

نعلم أن: $v = R.\dot{\theta}$

إذن: $a_T = \frac{d\left(R.\dot{\theta}\right)}{dt} = R\frac{d\dot{\theta}}{dt} = R.\ddot{\theta}$ و $a_N = \frac{v^2}{R} = \frac{\left(R.\dot{\theta}\right)^2}{R} = R.\dot{\theta}^2$ (في حالة الحركة الدائرية: $\rho = R$)

وبالتالي:

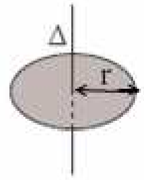
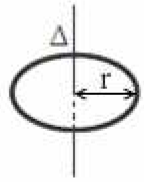
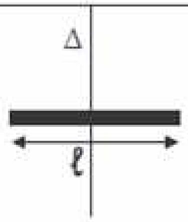
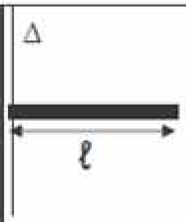
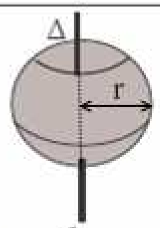
$$\vec{a} = R.\ddot{\theta}\vec{u} + R.\dot{\theta}^2\vec{n}$$

III.القانون الأساسي للتحريك في حالة الدوران:

في معلم مرتبط بالأرض، وبالنسبة لمحور ثابت (Δ)، يساوي مجموع عزوم القوى المطبقة على جسم صلب في دوران حول محور ثابت في كل لحظة جداء عزم القصور J_Δ للجسم الصلب والتسارع الزاوي $\ddot{\theta}$ ، ونكتب:

$$[N.m] \leftarrow \sum_{i=1}^{i=n} M_\Delta\left(\vec{F}_i\right) = \underset{\downarrow \left[kg.m^2\right]}{J_\Delta} .\ddot{\theta} \rightarrow \left[rad.s^{-2}\right]$$

يمثل الجدول أسفله تعبير عزم القصور بالنسبة لبعض الأجسام البسيطة و المتجانسة:

					
$J_\Delta = \frac{1}{2}\cdot m\cdot r^2$	$J_\Delta = m\cdot r^2$	$J_\Delta = \frac{1}{2}\cdot m\cdot r^2$	$J_\Delta = \frac{1}{12}\cdot m\cdot \ell^2$	$J_\Delta = \frac{1}{3}\cdot m\cdot \ell^2$	$J_\Delta = \frac{2}{5}\cdot m\cdot r^2$
قرص	حلقة	أسطوانة	عارضة	عارضة	فلكة

الجزء الرابع : المــــيـــــكــــــانيـــك La mécanique

الوحدة 5 : تقديم مجموعات ميكانيكية متذبذبة Présentation de systhèmes mécaniques oscillants

1. تقديم

1. 1. تعريف

نلاحظ من حولنا عددا كبيرا من الظواهر التي تتكرر في الزمن، منها ما هي طبيعية كتعاقب الليل والنهار، دوران الأرض حول نفسها وحول الشمس، دقات القلب، وأخرى فيزيائية كدوران عجلة، تذبذب نواس ... نجد من بين هذه الظواهر من تتكرر في مدد زمنية منتظمة : نقول إنها دورية.

المجموعة الميكانيكية المتذبذبة هي مجموعة تنجز حركة دورية ، من ذهاب وإياب، حول موضع توازنها المستقر. و الحركة الدورية هي حركة تتكرر مماثلة لنفسها في مدد زمنية متساوية.

نشاط 1 :

عين من بين الظواهر الآتية التي هي دورية ؟ أو التي هي متذبذبة ؟

حركة دوران منتظم لمحرك.

معلاق السيارة suspension d'une voiture.

دوران الأرض حول نفسها في المعلم المركزي الأرض.

حركة مكبس piston أسطوانة محرك ذي انفجار moteur à explosion .

اهتزاز الأرض بفعل مرور قطار.

1. 2. أمثلة

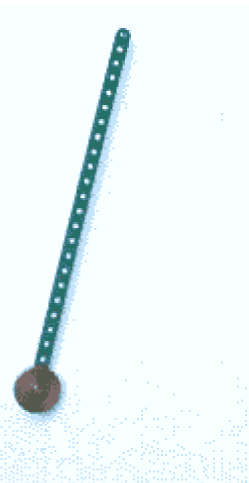
أ – متذبذب أولي : النواس الوازن

النواس الوازن هو كل جسم صلب متحرك حول محور أفقي ثابت (Δ) ولا يمر بمركز قصوره G. عندما نزيح النواس عن موضع توازنه المستقر ونحرره، بدون سرعة بدئية نلاحظ أنه ينجز حركة تذبذبية حول هذا الموضع تحت تأثير وزنه.

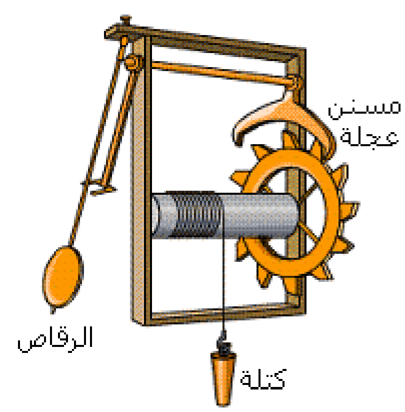
أول ساعة حائطية ظهرت في القرن العاشر ميلادي ، وقد تصور غاليلي في سنة 1638 استعمال مميزات النواس البسيط لتطوير ميكانيزمات تنظيم الساعات.

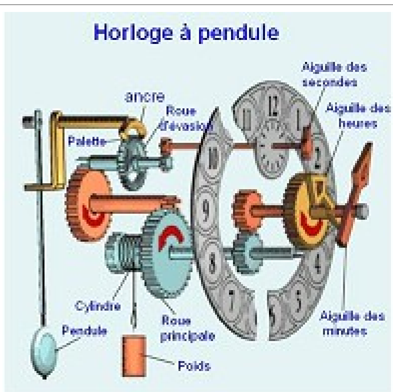
الساعة ذات رقاص Horloge à balancier طورها هيكنز Huyghens.

يسمى رقاص الساعة في الفيزياء بالنواس الوازن. أثناء حركته يخضع لوزنه $\vec{P}$ وللقوة $\vec{R}$ التي يطبقها محور الدوران (Δ). القوة $\vec{R}$ ليس لها مفعول على حركة الرقاص لأن خط تأثيرها يتقاطع مع المحور (Δ)، بينما القوة $\vec{P}$ لها مفعول على الحركة التذبذبية للرقاص.



النواس الوازن





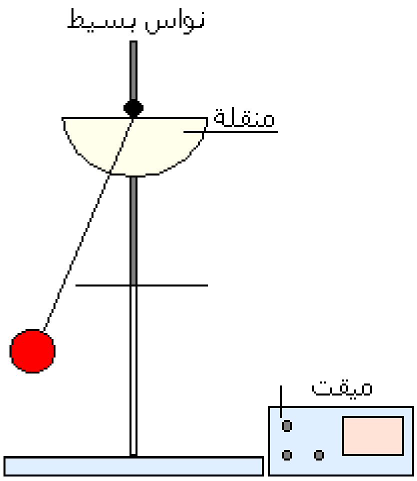
ب – النواس البسيط

النواس البسيط هو كل نقطة مادية تتأرجح على مسافة ثابتة من محور أفقي ثابت.

عمليا نحقق نواسا بسيطا بتعليق جسم صغير عالي الكثافة بطرف خيط غير قابل للامتداد وذي كتلة مهملة شد طرفه الثاني إلى حامل ثابت.

يخضع الجسم المعلق أثناء حركته إلى القوة $\vec{F}$ التي يطبقها الخيط والتي ليس لها مفعول على الدوران وإلى وزنه $\vec{P}$ الذي له مفعول على حركة النواس.

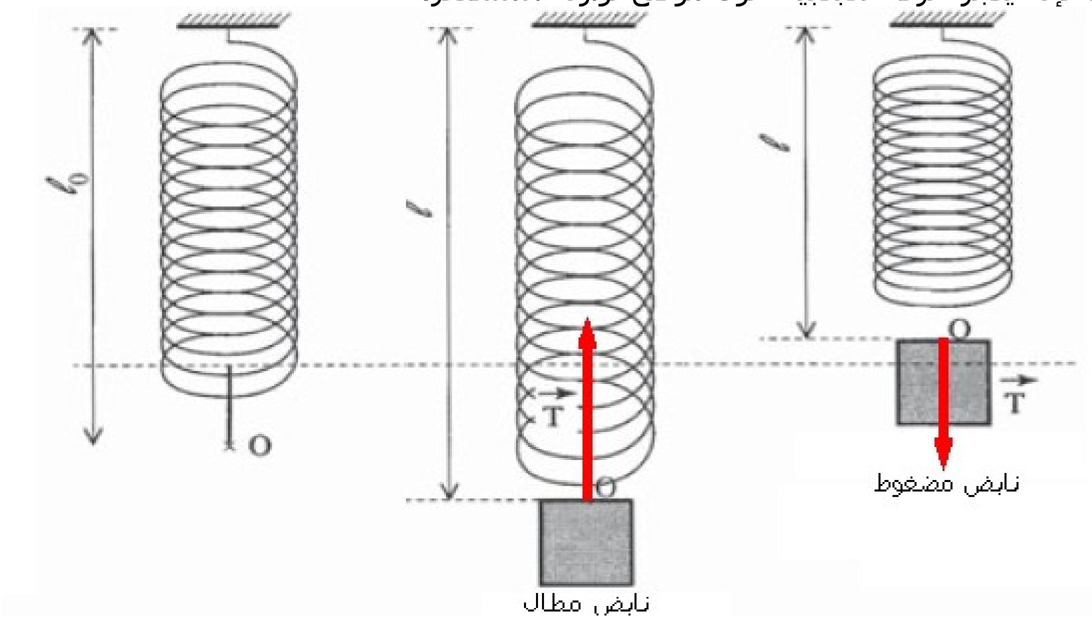
ملحوظة : إذا كانت أبعاد الجسم جد صغيرة أمام طول الخيط، وإذا كانت كتلة أكبر بكثير من كتلة الخيط، آنذاك يمكن اعتبار الجسم نقطيا، وبذلك يشكل النواس البسيط متذبذبا ميكانيكيا مثاليا.



ج – النواس المرن أو المجموعة : جسم صلب – نابض

يتكون النواس المرن من جسم صلب مشدود بطرف نابض ذي لفات غير متصلة وكتلة مهملة. الطرف الآخر للنابض مثبت بحامل ثابت.

تعزى الحركة التذبذبية للنواس المرن إلى القوة التي يطبقها النابض على الجسم، والتي تتعلق بحالة النابض إذا كان مطالا أو مضغوطا، إذ تقاوم هذه القوة تشوه النابض، ولذلك تسمى قوة ارتداد. عند إزاحة الجسم رأسيا نحو الأسفل وتحريره، فإنه ينجز حركة تذبذبية حول موضع توازنه المستقر.



د – نواس اللي

نواس اللي جهاز يتكون من سلك فلزي ثبت أحد طرفيه إلى حامل، ومن قضيب متجانس معلق من مركز قصوره بالطرف الثاني للسلك.

عندما ندير القضيب أفقيا بزاوية θ حول المحور (Δ) المجسم للسلك، فإن السلك يلتوي، فيسعى للعودة إلى حالته البدئية، بحيث يمارس على القضيب تأثيرا يحدث مزدوجة تسمى مزدوجة اللي، وهي مزدوجة ارتداد تقاوم التواء السلك، وبالتلي تسبب في الحركة التذبذبية للقضيب حول موضع توازنه المستقر.

2. الحركة التذبذبية ومميزاتها

2. 1. تعريف

الحركة التذبذبية هي حركة ذهاب وإياب حول موضع معين، وهي حركة تميز المتذبذبات الميكانيكية.
والحركة التذبذبية الحرة هي الحركة التذبذبية التي ينجزها متذبذب ميكانيكي دون أن يكتسب طاقة ما من أي مجموعة خارجية بعد إحداث حركته.

2. 2. مميزات الحركة التذبذبية

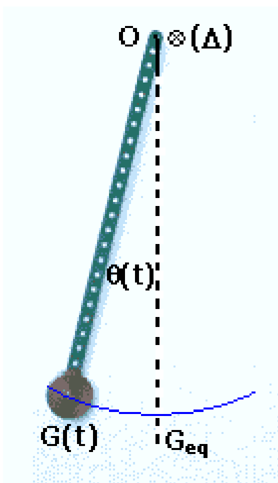
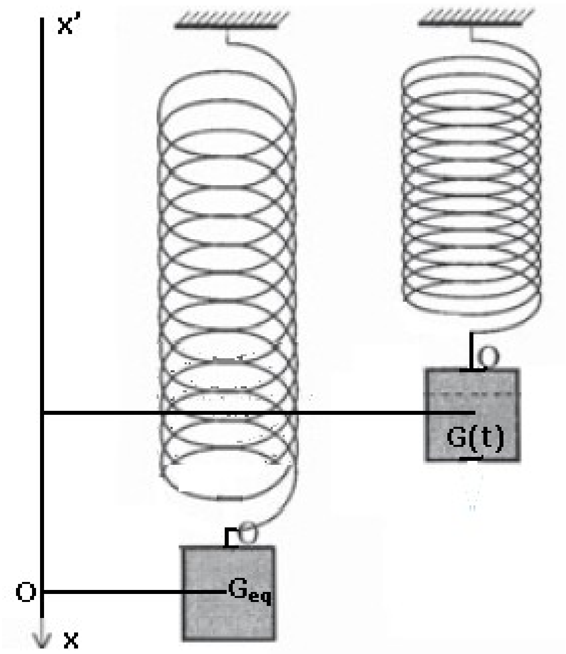
أ – موضع التوازن المستقر

كل متذبذب ميكانيكي حر ينجز حركته التذبذبية حول موضع معين يشكل موضع توازنه المستقر. وموضع التوازن المستقر لمتذبذب ميكانيكي هو الموضع الذي إذا أزيح عنه المتذبذب يعود إليه ليستقر فيه.
إن ذبذبات مجموعات ميكانيكية لا يمكنها أن تحدث إلا حول موضع التوازن المستقر لهذه المجموعة.

ب – وسع الحركة

وسع الحركة لمتذبذب ميكانيكي حر وغير مخمد هي القيمة القصوى الموجبة التي يأخذها المقدار الذي يعبر عن مدى ابتعاد أو انحراف المتذبذب عن موضع توازنه المستقر.

مثال :

النواس الوازن	النواس المرن
نستعمل الأفصول الزاوي θ	نستعمل الأفصول x
 $\theta(t)=(\overrightarrow{OG}_{(eq)},\overrightarrow{OG}_{(t)})$ أثناء الحركة، يأخذ الأفصول الزاوي θ قيما موجبة وقيما سالبة. وبإهمال الخمود بالنسبة للذبذبات، يتغير θ بين قيمة قصوى (θ_m) وقيمة دنيا $(-\theta_m)$ ، وتسمى القيمة المطلقة لهاتين القيمتين وسع الحركة للنواس الوازن الحر وغير المخمد.	 $\overrightarrow{G_{eqG}}=x\,\vec{i}$ أثناء الحركة الحرة و غير المخمدة، يأخذ الأفصول x قيما موجبة وقيما سالبة، يتغير x بين قيمة قصوى (x_m) وقيمة دنيا $(-x_m)$ ، وتسمى القيمة المطلقة لهاتين القيمتين وسع الحركة للنواس المرن.

ج – الدور الخاص

الدور الخاص T_0 لمتذبذب ميكانيكي و غير مخمد هو المدة الزمنية التي تفصل مرورين متتاليين للمتذبذب من موضع توازنه المستقر في نفس المنحى، وحدته في النظام العالمي للوحدات هي الثانية (s).

مثال النواس البسيط

نعتبر نواسا بسيطا يتكون من كرية ذات كتلة m معلقة بخيط غير قابل للإمتداد و كتلته مهملة.

نزيح الكتلة بزاوية θ عن موضع توازنها، ثم نحررها بدون سرعة بدئية في لحظة t.

أثناء الحركةالتذبذبية ، تخضع الكرية إلى القوى التالية :

$\vec{P}$ وزنها.

$\vec{F}$ القوة المطبقة من طرف الخيط (اتجاهها هو اتجاه الخيط لإن كتلته مهملة).

$\vec{f}$ قوى الإحتكاك المطبقة من طرف الهواء على الكرية عندما تكون في حركة.

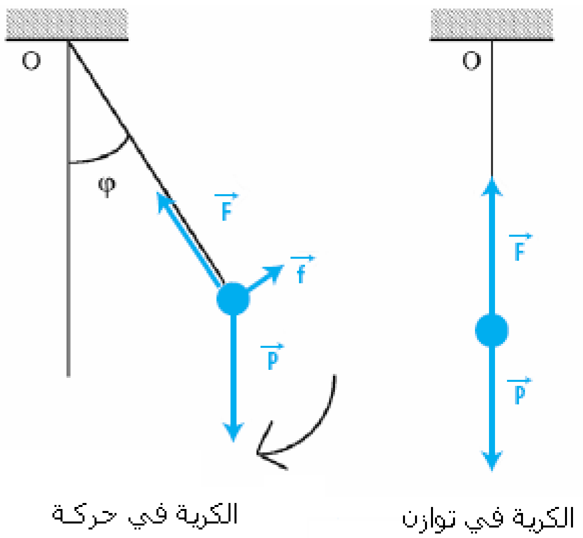
في مرجع أرضي والذي نعتبره غاليليا، نطبق القانون الثاني لنيوتن على مركز قصور الكرية :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m.\vec{a}_G \Leftrightarrow \vec{P} + \vec{F} + \vec{f} = m.\vec{a}_G$$

عندما تكون الكرية في توازن فإن :

$\vec{a}_G = \vec{0}$ و $\vec{f} = \vec{0}$

وبالتالي : $\vec{P} + \vec{F} = \vec{0}$



العدة التجريبية :

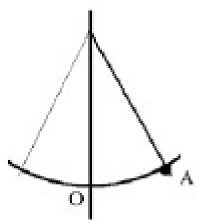
نواس بسيط مكون من خيط غير مرن كتلته مهملة وطوله معروف، ومن كتلة معلمة، منقلة مثبتة إلى حامل وميقت.

نزيح الكتلة المعلمة بزاوية θ ثم نحررها من موضع A؛ من بين الطرق الثلاث المقترحة عين منها الأكثر دقة لقياس الدور، علل جوابك ؟

1 – نشغل الميقت عندما تمر الكرية من النقطة O و نوقف القياس بعد ذبذبة واحدة عندما تمر مرة ثانية من O ؟

2 – نشغل الميقت عندما تمر الكرية من النقطة O ونوقف القياس عندما تمر مرة أخرى من O بعد عشر ذبذبات؛ يجب فقط قسمة المدة الزمنية على عشرة ؟

3 - شغل الميقت عندما ترجع الكرية إلى النقطة A ونوقف القياس عندما تمر مرة أخرى من A بعد ذبذبة واحدة ؟



تأثير طول الخيط :

نغير طول الخيط للنواس ونقوم بقياس الدور الموافق فنحصل على النتائج التالية :

طول الخيط (l m)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
T(s)	1,56	2,21	2,70	3,12	3,49	3,82

1 – أرسم المنحنى T بدلالة l؛ هل نحصل على مستقيم ؟

2 – أحسب $\sqrt{l}$ لكل قيم الجدول ؟

3 – أرسم المنحنى T بدلالة $\sqrt{l}$ ؛ هل نحصل على مستقيم ؟

4 – من بين المنحنيين الممثلين ما هو المنحنى الذي يعطي علاقة مبسطة تجمع بين الدور T والطول l ؟

اعط تعبير هذه العلاقة ؟

حصيلة : نستنتج أن الدور T يتناسب مع $\sqrt{l}$ فنكتب : $T = k.\sqrt{l}$

تأثير كتلة الكرية على الدور

بالنسبة لكتل مختلفة m للكرية نقوم بقياس الدور T لنواس بسيط طول الخيط 50cm :

T(s)	m (g)
1,42	50
1,43	100
1,42	150

هل كتلة الكرية لها تأثير على دور النواس البسيط ؟

حصيلة : نستنتج أن دور النواس البسيط مستقل عن كتلة الكرية.

تأثير وسع التذبذبات على الدور

نعتبر النواس البسيط المكون من كرية كتلتها m = 50g وخيط طوله l = 27cm، نغير وسع التذبذبات θ في كل مرة ونقيس الدور.

40	30	20	15	10	8	θ (°)
1,12	1,09	1,06	1,05	1,04	1,04	T(s)

ما قيمة θ القصوى التي يكون فيها الدور مستقل عن وسع الحركة ؟

حصيلة : بالنسبة لزوايا صغيرة الدور الخاص لذبذبات النواس البسيط مستقل عن الزاوية البدئية $\theta \leqslant 10°$ التي تزاح بها كتلة الكرية عن موضع توازنها المستقر.

خلاصة : المؤثرات الوحيدة التي تغير من قيمة الدور الخاص لذبذبات النواس هي طول الخيط l وقيمة شدة مجال الثقالة لأن الحركة تتم تحت تأثير وزن الكرية.

بالنسبة لذبذبات ذات وسع صغير، الدور الخاص لا يتعلق بقيمة الزاوية البدئية التي تزاح بها الكرية عن موضع توازنها المستقر؛ و نعرف الدور T بالعلاقة :

$$T = 2\Pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

في التجربة أعلاه :

1 – حدد المعامل الموجه للمستقيم المحصل عليه عند رسم المنحنى $T = f(\sqrt{l})$

2 – ماذا يمثل المعامل الموجه في العلاقة $T = 2\Pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ؟ استنتج قيمة g ؟

3 – هل تم القيام بهذه التجربة في الأرض أو في القمر ؟

(نعطي $g_L = 1,62\ m.s^{-2}$ و $g_T = 9,81\ m\ .\ s^{-2}$)

3. خمود الذبذبات الميكانيكية

3. 1. ظاهرة الخمود

عمليا لا يمكن عزل المتذبذب من أي تأثير خارجي مثل الهواء و بعض الأجسام الصلبة التي تكون في تماس معه، حيث نلاحظ أن وسع التذبذبات المنجزة تنقص مع الزمن إلى أن يتوقف المتذبذب. نقول أن حركة المتذبذب تخمد.

هناك نوعان من الخمود الناتج عن الاحتكاكات :

✳ خمود باحتكاكات مائعة : amortissement par frottement fluide : عندما يكون المتذبذب في تماس مع جسم غازي أو سائل مثل : الهواء – الماء ...

في هذه الحالة إذا كانت الاحتكاكات ضعيفة فإن تناقص الوسع يكون أسيا. وتكون التذبذبات شبه دورية حيث الدور T يكون $T > T_0$.

✳ خمود باحتكاكات صلبة : amortissement par frottement solide : عندما يتم احتكاك المتذبذب بمحور الدوران أو بجسم صلب آخر.

في هذه الحالة إذا كانت الاحتكاكات ضعيفة فإن تناقص الوسع يكون خطيا. وتكون التذبذبات شبه دورية حيث الدور T يكون $T \approx T_0$.

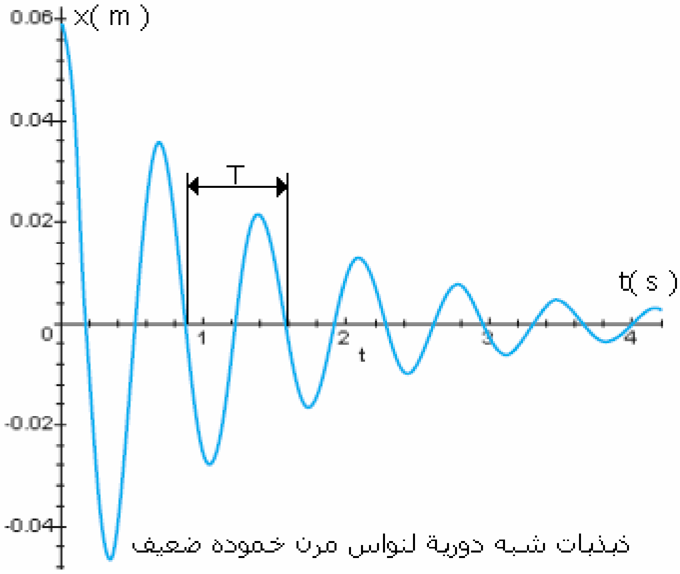
نقول في كلتا الحالتين أن هناك ضياع للطاقة الميكانيكية للمتذبذب خلال كل دور بحيث لن يبقى المتذبذب توافقيا وبالتالي حركته لن تبقى جيبية. الطاقة الضائعة، تتحول تدريجيا إلى حرارة، تتوزع بين المتذبذب والوسط الخارجي.

وحسب أهمية الاحتكاكات نحصل على نظامين للخمود.

3. 2. أنظمة خمود الذبذبات الميكانيكية

أ – حالة الخمود الضعيف : النظام شبه الدوري

في هذه الحالة ينجز المتذبذب الميكانيكي ذبذبات يتناقص وسعها تدريجيا إلى أن يستقر المتذبذب عند موضع توازنه المستقر.

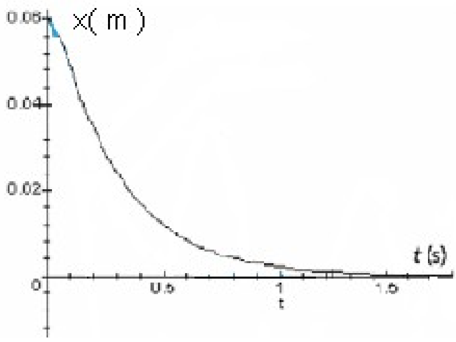
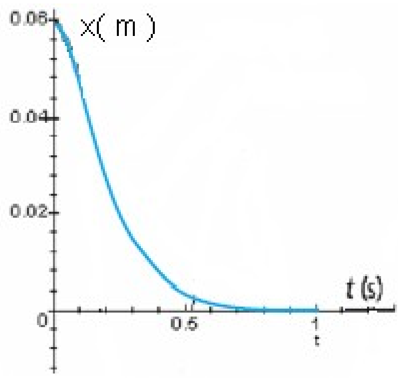
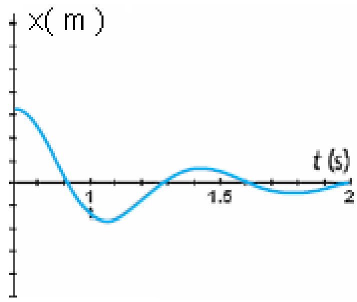


ذبذبات شبه دورية لنواس مرن خموده ضعيف

حركة المتذبذب ليست دورية : نقول إنها شبه دورية، ودورها T يقارب الدور الخاص T_0 للمتذبذب (عموما $T > T_0$). نسمي T شبه الدور.

ب – حالة الخمود الحاد : النظام اللادوري

يحدث في حالة الاحتكاك القوي، فيحصل خمود للذبذبات تنتج عنه ثلاثة أنظمة :

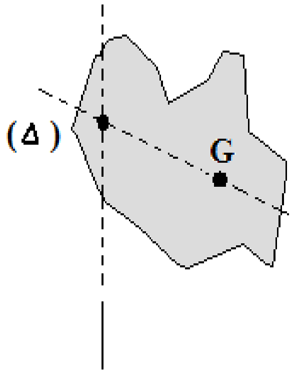
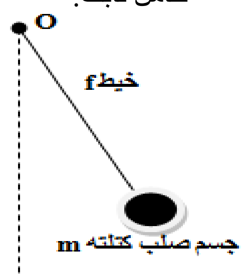
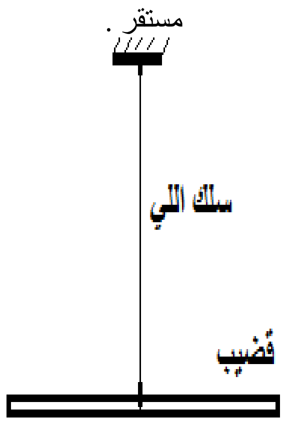
النظام فوق الحرج	*النظام الحرج*	*النظام تحت الحرج*
		

تقديم مجموعات ميكانيكية متذبذبة
présentation des systèmes mécaniques oscillants

1: تعاريف:

المجموعة الميكانيكية المتذبذبة	الحركة التذبذبية	الحركة الدورية	الحركة التذبذبية الحرة
هي مجموعة تنجز حركة دورية ، من ذهاب و إياب ، حول موضع توازنها المستقر	هي حركة ذهاب و إياب حول موضع معين ، و هي حركة تميز المتذبذبات الميكانيكية .	هي حركة تتكرر مماثلة لنفسها في مدد زمنيةمتساوية	هي الحركة التذبذبية التي ينجزها متذبذب ميكانيكي دون أن يكتسب طاقة ما من أي مجموعة خارجية بعد إحداث حركته.

2: المتذبذبات الميكانيية

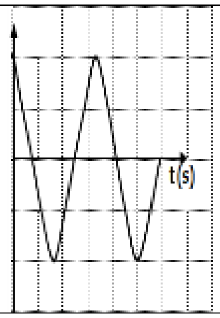
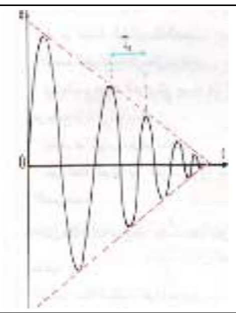
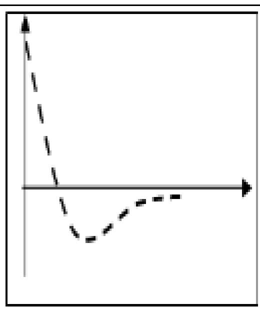
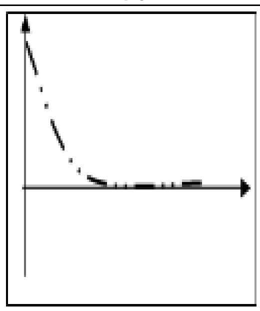
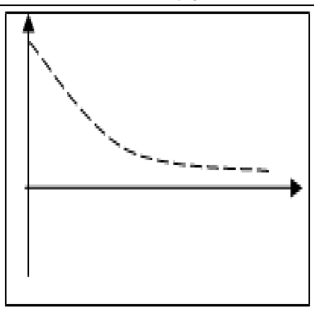
النواس الوازن	النواس البسيط	النواس المرن	نواس اللي
" هو كل مجموعة غير قابلة للتشويه يمكنها إنجاز حركة تذبذبية حول محور ثابت تحت تأثير وزنها". 	هو كل نقطة مادية تتأرجح على مسافة من محور أفقي ثابت ". عمليا نحقق نواسا بسيطا بتعليق جسم صغير عالي الكثافة بطرف خيط غير قابل للامتداد و ذي كتلة مهملة شدَّ طرفه الآخر إلى حامل ثابت. 	" يتكون النواس المرن من جسم صلب مشدود بطرف نابض ذي لفات غير متصلة و كتلته مهملة. الطرف الآخر للنابض مثبت بحامل ثابت". 	جهاز يتكون من سلك فلزي ثبت أحد طرفيه إلى حامل ، و الطرف الآخر إلى قضيب متجانس معلق من مركز قصوره ". 
تمعلم الحركة ب: الافصول الزاوي **θ**	تمعلم الحركة ب: الافصول الزاوي **θ**	تمعلم الحركة ب: الافصولالخطي **x**	تمعلم الحركة ب: الافصول الزاوي **θ**
تميز المجموعة عزم قصور الجسم J_Δ	تميز المجموعة طول الخيط l +كتلة الجسم m	تميز المجموعة صلابة النابض k +كتلة الجسم m	تميز المجموعة عزم قصور القضيب J_Δ+ثابتة لي السلك C

3: مميزات الحركة التذبذبية:

موضع التوازن المستقر	وسع الحركة	الدور الخاص
كل متذبذب ميكانيكي ينجز حركته التذبذبية حول موضع توازنه المستقر. - موضع التوازن المستقر هو الموضع الذي إذا زحزح عنه المتذبذب يعود إليه ليستقر فيه.	وسع الحركة لمتذبذب ميكانيكي حر و غير مخمد هو القيمة القصوى الموجبة التي يأخذها المقدار الذي يعبر عن مدى ابتعاد أو انحراف المتذبذب عن موضع توازنه المستقر."	الدور الخاص T_0 لمتذبذب ميكانيكي حر و غير مُخمَد ، هو المدة الزمنية التي تفصل مرورين متتاليين للمتذبذب من موضع توازنه المستقر في نفس المنحى . T_0 ب (s).

4: انظمة خمود الذبذبات الميكانيكية:

بفعل الاحتكاكات المائعة او الصلبة يتناقص وسعها تدريجيا مع الزمن ، إلى أن يتوقف عند موضع توازنه المستقر نسمي هذه الظاهرة " ظاهرة الخمود "

حالة غياب الخمود	حالة الخمود غير الحاد	حالة الخمود الحاد		
النظام الدوري: مثالي	النظام شبه دوري	النظام تحت الحرج	النظام الحرج	النظام فوق الحرج
يبقى وسع الذبذبات ثابت مع الزمن	يتناقص وسع الذبذبات مع الزمن إلى أن ينعدم	ينجز المتذبذب ذبذبة واحدا قبل توقفه.	يعود المتذبذب إلى موضع توازنه بعد إزاحته عنه بدون تذبذب	يستغرق المتذبذب وقتا طويلا للوصول إلى موضع توازنه بدون تذبذب.
				

Le pendule élastique - النواس المرن

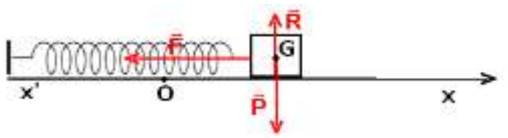
I- دراسة ذبذبات نواس مرن:

1- المعادلة التفاضلية :

المجموعة المدروسة:	القوى المطبقة على الجسم (S)	المعلم $R(o,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ مرتبط بالأرض محوره $\overrightarrow{ox}$ أفقي ،	القانون الثاني لنيوتن.	اسقاط العلاقة على المحاور
الجسم الصلب (نابض ذو تلة مهملة)	$\vec{R}$ تأثير السطح $\vec{P}$ وزن الجسم $\vec{F}$ قوة ارتداد النابض	$\vec{R}$=R.$\vec{j}$ $\vec{p}$=−P.$\vec{j}$ $\vec{F}$=−K.x.$\vec{i}$	$\vec{R}$+$\vec{p}$+$\vec{F}$=m. $\vec{a}$ R.$\vec{j}$ −P.$\vec{j}$ −K.x.$\vec{i}$=m. $\vec{a}$	R−P =m. a_y=0 −K.x=m. a_x =m $\frac{d^2x}{dt^2}$
المعادلة التفاضلية لحرة النواس المرن : $m\frac{d^2x}{dt^2}+k.x=0$ أي $\frac{d^2x}{dt^2}+\frac{k}{m}.x=0$				

عندما يكون النابض مطالا فإنه يطبق قوة جر حيث منحى $\vec{F}$ معاكس لمنحى $\vec{i}$ و x>0

* عندما يكون النابض مطالا فإنه يطبق قوة دفع حيث منحى $\vec{F}$ في نفس منحى $\vec{i}$ و x<0



2- حل المعادلة التفاضلية:

حلها يكتب على شكل	$(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)$	φ	x_m	T_0
$x(t)=x_m\cos(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)$	طور الذبذبات عند التاريخ t ب (rad).	الطور عند أصل التواريخ (t=0) ب(rad)	الوسع amplitude ب(m).	الدور الخاص ب s

3-تعبير الدور الخاص:

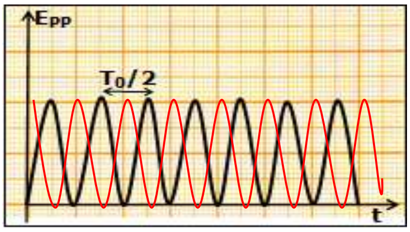
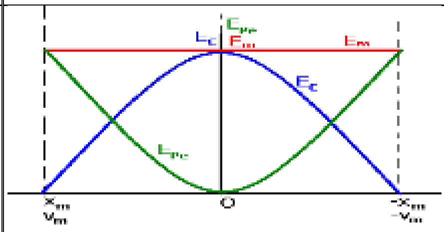
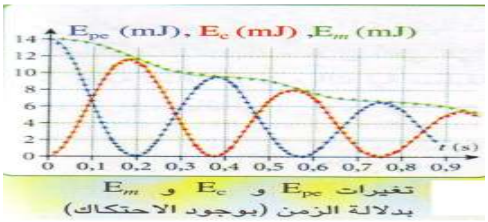
المعادلة الزمنية	تعبير السرعة	تعبير التسارع
$x(t)=x_m\cos(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)$	$v_x=\dot{x}=\frac{dx}{dt}=-x_m.\frac{2\pi}{T_0}\cos(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)$	$a_x=\ddot{x}=\frac{d^2x}{dt^2}=-x_m.\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2\cos(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)$

لدينا $\frac{d^2x}{dt^2}=-x_m.\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2\cos(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)=\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2x(t)$ من المعادلة التفاضلية لدينا $\frac{d^2x}{dt^2}=-\frac{k}{m}.x$	بالمماثلة $-\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2=-\frac{k}{m}$	$T_0=2\pi.\sqrt{\frac{m}{k}}$

II- الدراسة الطاقية للمجموعة {جسم صلب – نابض} في وضع أفقي:

الطاقة الحركية:	طاقة الوضع المرنة:	الطاقة الميكانيكية لمجموعة
في كل لحظة : $E_C=\frac{1}{2}m.v^2$. m : كتلة المتذبذب v : سرعته في اللحظة t .	طاقة الوضع المرنة لمجموعة {جسم صلب – نابض} في وضع أفقي هي الطاقة التي تختزنها هذه المجموعة من جراء تشويه النابض ". $E_{P,e}=\frac{1}{2}k.x^2+cte$ و باختيار طاقة الوضع المرنة منعدمة في الموضع الموافق للأفصول x=0 ، تكون (cte=0) ، و يعبر عن Ep,e بالعلاقة : $E_{P,e}=\frac{1}{2}k.x^2$	هي مجموع الطاقة الحركية و طاقة الوضع في هذه اللحظة. $E_m=E_p+E_c$ * $E_c=\frac{1}{2}m.v^2$: الطاقة الحركية للمجموعة . * $E_p=E_{pp}+E_{pe}$: طاقة الوضع للمجموعة . - E_{pp} : طاقة الوضع الثقالية . - E_{pe} : طاقة الوضع المرنة. نختار الحالة المرجعية لطاقة الوضع الثقالية منطبقة مع المستوى الأفقي المار من G ، (Epp=0) ، نتوصل إلى Ep=Epe و بالتالي: " {جسم صلب – نابض} أفقي هي : $E_m=\frac{1}{2}m.v^2+\frac{1}{2}k.x^2+cte$ باختيار Ep,e=0 عند التوازن و باعتبار 0 موضع G عند التوازن نحصل على : $E_m=\frac{1}{2}m.\dot{x}^2+\frac{1}{2}k.x^2$

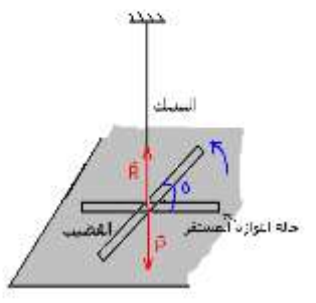
مخططات الطاقة المقابل ، تغيرات E_{pe} و E_c و E_m

احتكاكات مهمة		احتكاكات ضعيفة غير مهملة
الطاقة بدلالة الزمن	الطاقة بدلالة السرعة او الافصول	
		

Le pendule de torsion - نواس اللي

I- دراسة ذبذبات نواس لي:

1- المعادلة التفاضلية :

المجموعة المدروسة:	القوى المطبقة على الجسم (S)	تعبير العزم	القانون الثاني لنيوتن.	المعادلة التفاضلية	
القضيب	$\vec{R}$ تأثير المحور $\vec{P}$ وزن القضيب مزدوجة اللي	$M(\vec{R})=0$ $M(\vec{p})=0$ $M_C=-C.\theta$	$M(\vec{R})+M(\vec{p})+M_C=J_\Delta.\ddot{\theta}$ $-C.\theta=J_\Delta.\ddot{\theta}$.	$\ddot{\theta}+\frac{C}{J_\Delta}.\theta=0$	

2- حل المعادلة التفاضلية:

حلها يكتب على شكل $\theta(t)=\theta_m\cos(\frac{2\pi}{T_0}.t+\varphi)$	$(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)$	φ	θ_m	T_0
	طور الذبذبات عند التاريخ t ب (rad).	الطور عند أصل التواريخ (t=0) ب(rad)	الوسع amplitude ب(rad).	الدور الخاص ب s

3-تعبير الدور الخاص:

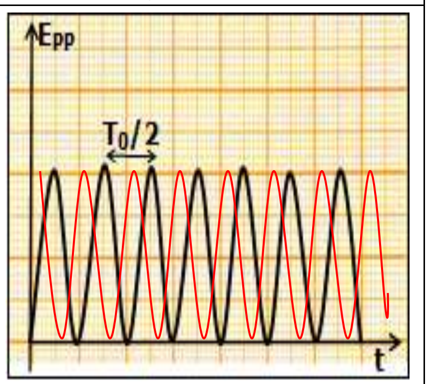
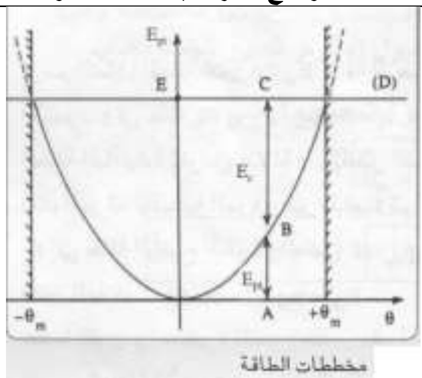
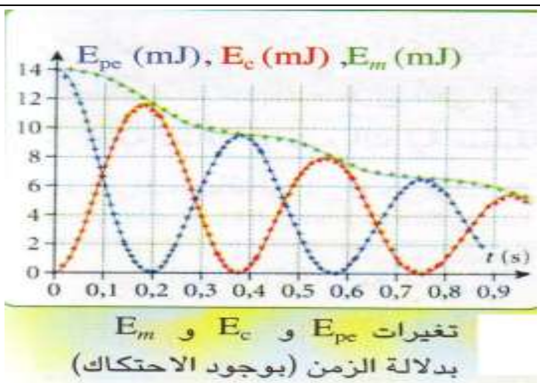
المعادلة الزمنية	تعبير السرعة	تعبير التسارع
$\theta(t)=\theta_m\cos(\frac{2\pi}{T_0}.t+\varphi)$	$\dot{\theta}=\frac{d\theta}{dt}=-\theta_m.\frac{2\pi}{T_0}\cos(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)$	$\ddot{\theta}=\frac{d^2\theta}{dt^2}=-\theta_m.\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2\cos(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)$

لدينا $\ddot{\theta}=-\theta_m.\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)=-\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2\theta(t)$ من المعادلة التفاضلية لدينا $\ddot{\theta}=-\frac{C}{J_\Delta}.\theta$	بالمماثلة $-\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2=-\frac{C}{J_\Delta}$	$T_0=2\pi.\sqrt{\frac{J_\Delta}{C}}$

II- الدراسة الطاقية للمجموعة {قضيب – سلك اللي}

الطاقة الحركية:	طاقة الوضع للي:	الطاقة الميكانيكية لمجموعة
$E_c=\frac{1}{2}J_\Delta.\dot{\theta}^2$ * J_Δ : عزم قصور القضيب . * $\dot{\theta}$: السرعة الزاوية لدوران القضيب	طاقة الوضع للي لمجموعة {قضيب – سلك اللي} تختزنها هذه المجموعة من جراء تشويه سلك اللي ". $E_{P,t}=\frac{1}{2}C.\theta^2+Cte$ و باختيار طاقة الوضع للي منعدمة في موضع التوازن المستقر نكتب: $E_{P,t}=\frac{1}{2}C.\theta^2$	هي مجموع الطاقة الحركية و طاقة الوضع. $E_m=E_p+E_c$ $E_m=\frac{1}{2}J_\Delta\dot{\theta}^2+\frac{1}{2}C.\theta^2+Cte$

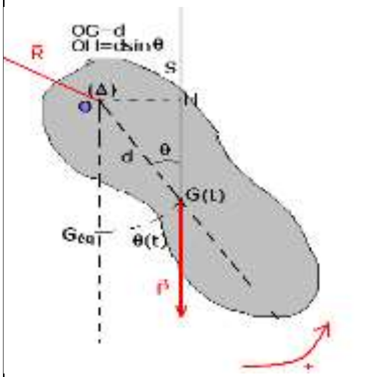
مخططات الطاقة ، تغيرات E_{pe} و E_c و E_m

احتكاكات مهمة		احتكاكات ضعيفة غير مهملة
الطاقة بدلالة الزمن	طاقة الوضع المرنة بدلالة الافصول	
		

Le pendule pesant-النواس الوازن

I- دراسة ذبذبات نواس الوازن:

1- المعادلة التفاضلية :

المجموعة المدروسة :	القوى المطبقة على الجسم (S)	تعبير العزم	القانون الثاني لنيوتن. المعادلة التفاضلية	
الجسم	تأثير المحور $\vec{R}$ وزن الجسم $\vec{P}$	$M(\vec{R})=0$ $M(\vec{p})=-P.OH$ حيث $OH = OG.sin\theta$	$M(\vec{R})+M(\vec{p})+ =J_{\Delta}.\ddot{\theta}$ $.\ddot{\theta}-P.OH = J_{\Delta}$ $.\ddot{\theta}-P.OG.sin\theta = J_{\Delta}$ $.\ddot{\theta}-m.g.OG.sin\theta = J_{\Delta}$ $sin\theta \approx \theta$ صغيرة θ $-m.g.OG.\theta = J_{\Delta}.\ddot{\theta}$ $\ddot{\theta}+\frac{m.g.OG}{J_{\Delta}}.\theta = 0$	

2- حل المعادلة التفاضلية:

حلها يكتب على شكل	$(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)$	φ	θ_m	T_0
$\theta(t)=\theta_m\cos(\frac{2\pi}{T_0}.t+\varphi)$	طور الذبذبات عند التاريخ t ب (rad).	الطور عند أصل التواريخ (t=0) ب(rad)	الوسع amplitude ب(rad).	الدور الخاص ب s

3-تعبير الدور الخاص:

المعادلة الزمنية	تعبير السرعة	تعبير التسارع
$\theta(t)=\theta_m\cos(\frac{2\pi}{T_0}.t+\varphi)$	$\dot{\theta}=\frac{d\theta}{dt}=-\theta_m.\frac{2\pi}{T_0}\cos(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)$	$\ddot{\theta}=\frac{d^2\theta}{dt^2}=-\theta_m.\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2\cos(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)$

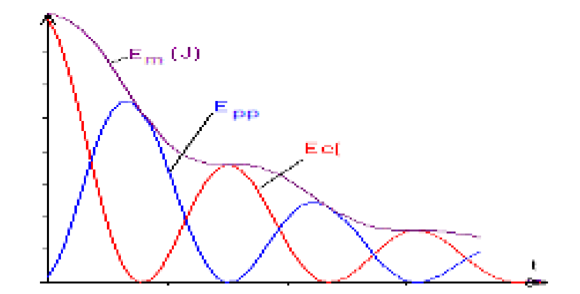
لدينا $\ddot{\theta}=-\theta_m.\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2\cos(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)=$ $-\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2\theta(t)$ من المعادلة التفاضلية لدينا $\ddot{\theta}=-\frac{m.g.OG}{J_{\Delta}}\theta.$	بالمماثلة $-\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2=-\frac{m.g.OG}{J_{\Delta}}$	$T_0=2\pi.\sqrt{\frac{J_{\Delta}}{m.g.OG}}$

II- الدراسة الطاقية للمجموعة {الجسم}

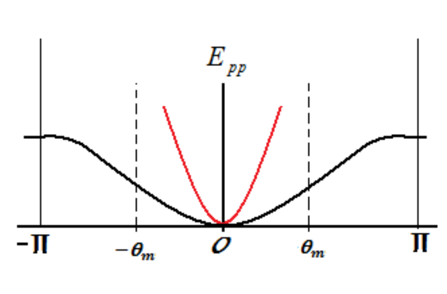
الطاقة الحركية:	طاقة الوضع الثقالية	الطاقة الميكانيكية لمجموعة
$E_c=\frac{1}{2}J_{\Delta}.\dot{\theta}^2$ * J_{Δ} : عزم قصور الجسم. * $\dot{\theta}$: السرعة الزاوية لدوران القضيب	**طاقة الوضع الثقالية :** $E_{pp}=m.g.z+Cte$ * m : كتلة النواس الوازن . * g : شدة مجال الثقالة. * z : أنسوب مركز قصوره ، على محور رأسي موجه نحو الأعلى . * Cte : ثابتة تتعلق بالحالة المرجعية. $E_{pp}=m.g.d(1-\cos\theta)$ صغيرة θ $\cos\theta\approx 1-\frac{\theta^2}{2}$ و باختيار مرجع طاقة الوضع الثقالية موضع التوازن المستقر نكتب: $E_{pp}=m.g.d(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}m.g.d.\theta^2$	هي مجموع الطاقة الحركية و طاقة الوضع. $E_m=E_p+E_c$ $E_m=\frac{1}{2}J_{\Delta}.\dot{\theta}^2+m.g.d(1-\cos\theta)$

مخططات الطاقة ، تغيرات E_{pe} و E_c و E_m

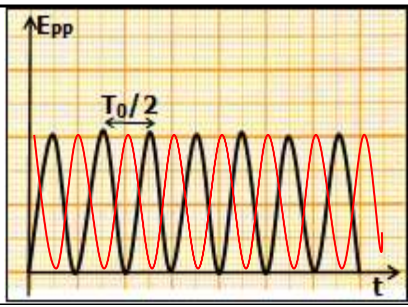
احتكاكات مهمة		احتكاكات ضعيفة غير مهملة
الطاقة بدلالة الزمن	طاقة الوضع الثقالية بدلالة الافصول	



Em (J)
Epp
Ec(



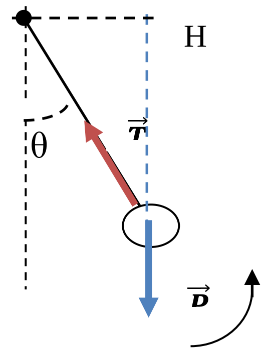
E_{pp}
$-\pi$
$-\theta_m$
O
θ_m
π



Epp
$T_0/2$
t

I- دراسة ذبذبات نواس البسيط:

1- المعادلة التفاضلية :

المجموعة المدروسة:	القوى المطبقة على الجسم (S)	تعبير العزم	القانون الثاني لنيوتن. المعادلة التفاضلية	
الجسم	تأثير المحور $\vec{T}$ وزن الجسم $\vec{P}$	$M(\vec{R})=0$ $M(\vec{p})=-P.OH$ حيث $OH=OG.\sin\theta$	$M(\vec{R})+M(\vec{p})+ = J_{\Delta}.\ddot{\theta}$ $-P.OH = J_{\Delta}.\ddot{\theta}$ $-P.l.\sin\theta = J_{\Delta}.\ddot{\theta}$ $-m.g.OG.\sin\theta = J_{\Delta}.\ddot{\theta}$ $J_{\Delta}=m.l^2$ و $\sin\theta \approx \theta$ صغيرة θ $-m.g.l.\theta = m.l^2.\ddot{\theta}$ $\ddot{\theta}+\frac{g}{l}.\theta=0$ l طول النواس ب (m) و g : شدة الثقالة ب ($m.s^{-2}$).	

2- حل المعادلة التفاضلية:

حلها يكتب على شكل	$(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)$	φ	θ_m	T_0
$\theta(t)=\theta_m\cos(\frac{2\pi}{T_0}.t+\varphi)$	طور الذبذبات عند التاريخ t ب (rad).	الطور عند أصل التواريخ (t=0) ب(rad)	الوسع amplitude ب(rad).	الدور الخاص ب s

3-تعبير الدور الخاص:

المعادلة الزمنية	تعبير السرعة	تعبير التسارع
$\theta(t)=\theta_m\cos(\frac{2\pi}{T_0}.t+\varphi)$	$\dot{\theta}=\frac{d\theta}{dt}=-\theta_m.\frac{2\pi}{T_0}\cos(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)$	$\ddot{\theta}=\frac{d^2\theta}{dt^2}=-\theta_m.\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2\cos(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)$

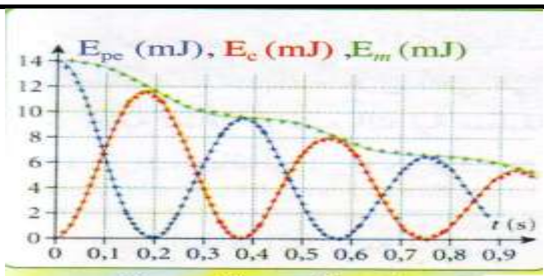
لدينا $\ddot{\theta}=-\theta_m.\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2\cos(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi)=$ $-\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2\theta(t)$ من المعادلة التفاضلية لدينا $\ddot{\theta}=-\frac{g}{l}\theta$.	بالمماثلة $-\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2=-\frac{g}{l}$	$T_0=2\pi.\sqrt{\frac{l}{g}}$

II- الدراسة الطاقية للمجموعة {الجسم}

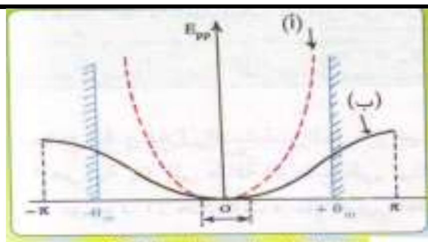
الطاقة الحركية:	طاقة الوضع الثقالية	الطاقة الميكانيكية لمجموعة
$E_c=\frac{1}{2}J_{\Delta}.\dot{\theta}^2$ * J_{Δ} : عزم قصور الجسم. * $\dot{\theta}$: السرعة الزاوية لدوران او $E_c=\frac{1}{2}m.v^2$	**طاقة الوضع الثقالية :** $E_{pp}=m.g.z+Cte$ * m : كتلة النواس الوازن . * g : شدة مجال الثقالة. * z : أنسوب مركز قصوره ، على محور رأسي موجه نحو الأعلى . * Cte : ثابتة تتعلق بالحالة المرجعية. $E_{pp}=m.g.d(1-\cos\theta)$ حيث $d=l$ θ صغيرة $\cos\theta\approx 1-\frac{\theta^2}{2}$ و باختيار مرجع طاقة الوضع الثقالية موضع التوازن المستقر نكتب: $E_{pp}=m.g.d(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}m.g.d.\theta^2$	هي مجموع الطاقة الحركية و طاقة الوضع. $E_m=E_p+E_c$ $E_m=\frac{1}{2}J_{\Delta}.\dot{\theta}^2+m.g.d(1-\cos\theta)$

مخططات الطاقة ، تغيرات E_{pe} و E_c و E_m

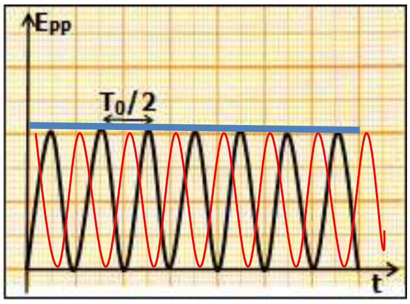
احتكاكات مهمة		احتكاكات ضعيفة غير مهملة
الطاقة بدلالة الزمن	طاقة الوضع الثقالية بدلالة الافصول	



تغيرات E_{pe} و E_c و E_m
بدلالة الزمن (بوجود الاحتكاك)



تمثيل تغيرات E_{pp} بدلالة θ :
(أ) θ صغيرة.
(ب) θ غير صغيرة



المظاهر الطاقية

I ــ شغل قوة

1 ــ شغل قوة ثابتة (تذكير)

نعبر عن شغل قوة ثابتة $\vec{F}$ عند انتقال نقطة تأثيرها من A إلى نقطة B بالعلاقة التالية :

$$W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)=\vec{F}.\overrightarrow{AB}=F.AB.\cos\alpha$$

بحيث أن α الزاوية بين $\vec{F}$ و $\overrightarrow{AB}$

AB المسافة الفاصلة بين النقطة A و النقطة B تسمى بالانتقال ونعبر عنها بالمتر (m)

F شدة القوة ب (N)

$W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)$ شغل القوة $\vec{F}$ ونعبر عنه بالجول (J)

* لا يتعلق شغل قوة ثابتة بالمسار المتبع من طرف نقطة التأثير

2 ــ الشغل الجزئي لقوة غير ثابتة

نعتبر قوة $\vec{F}$ غير ثابتة ونقطة تأثيرها تنتقل من A إلى B .

لحساب شغل غير ثابتة نجزء المسار إلى مسارات جزئية $\overrightarrow{\delta\ell}$ متناهية في الصغر تسمح باعتبار $\vec{F}$ ثابتة في كل منها .

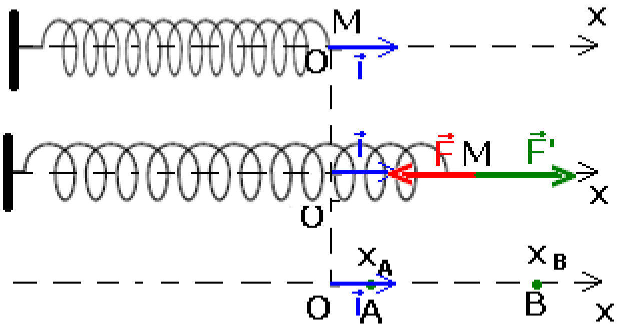
تعبير الشغل الجزئي للقوة $\vec{F}$ خلال الانتقال الجزئي $\overrightarrow{\delta\ell}$ هو : $\delta W\left(\vec{F}\right)=\vec{F}.\overrightarrow{\delta\ell}$

الشغل الكلي للقوة المتغيرة $\vec{F}$ هو مجموع الأشغال الجزئية :

$$W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)=\sum_A^B\delta W\left(\vec{F}\right)=\sum_A^B\vec{F}.\overrightarrow{\delta\ell}$$

3 ــ شغل القوة الخارجية المطبقة من طرف نابض

نعتبر نابضا R ذا لفات غير متصلة صلابته k وكتلته مهملة ، في وضع أفقي على مستوى أفقي . نثبت أحد طرفيه بحامل ثابت .



نطبق على النابض عند طرفه الحر M قوة $\vec{F'}$ ، فيطال النابض بحيث تنتقل النقطة M بالمقدار $\overrightarrow{OM}=x\vec{i}$.

تمثل النقطة O موضع M في الحالة البدئية للنابض .

حسب القانون الثالث لنيوتن ، قانون التأثيرات المتبادلة ، فإن النابض يطبق قوة $\vec{F}$ على المجرب وهي قوة ارتداد $\vec{F}=-\vec{F'}$ بحيث أن $\vec{F}=-kx\vec{i}$ أي أن $\vec{F'}=kx\vec{i}$ أي أن $\vec{F'}$ تتعلق بالأفصول x إذن فهي غير ثابتة .

تعبير شغل القوة $\vec{F'}$ A B

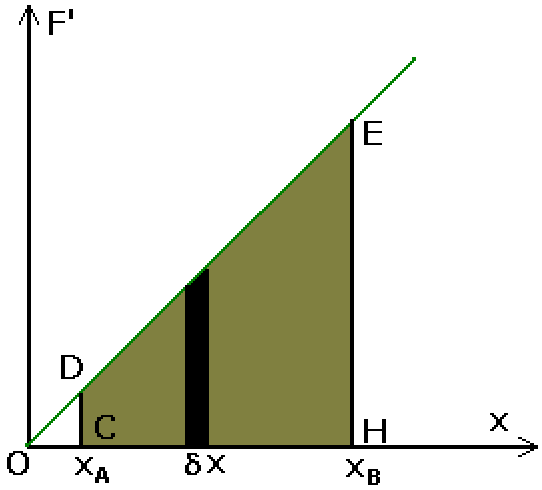
$$W_{A\to B}\left(\vec{F'}\right)=\sum_A^B\delta W\left(\vec{F'}\right)=\sum_A^B\vec{F'}.\overrightarrow{\delta\ell}=\sum_A^B kx\vec{i}.\delta x.\vec{i}$$

يمكن استعمال طريقتين لتحديد هذا المجموع :

أ ــ الطريقة المبيانية :

في نظمة محورين نمثل تغيرات F x $F=kx$

$\delta W\left(\vec{F'}\right)=k.x.\delta x$ مساحة المستطيل الجزئي بالأسود المبين في الشكل جانبه .



عند انتقال النقطة M من A أفصولها x_A إلى B أفصولها x_B ،

فإن الشغل الكلي للقوة $\vec{F}'$ يوافقه مجموع مساحات المستطيلات الجزئية ويساوي مساحة شبه المنحرف $CDEF$

$$W_{A\to B}\left(\vec{F}'\right)=a_{CDEF}=a_{OEH}-a_{OCD}$$

$$W_{A\to B}\left(\vec{F}'\right)=\frac{1}{2}kx_B^2-\frac{1}{2}kx_A^2$$

ب ـ الطريقة التحليلية

نعوض في العلاقة السابقة المجموع $\sum$ بالتكامل $\int$

ولانتقال الجزئي $\delta\ell$ ب المقدار التفاضلي dx فنحصل على العلاقة التالية :

$$W_{A\to B}\left(\vec{F}'\right)=\int_{x_A}^{x_B}kxdx=\left[\frac{1}{2}kx^2\right]_{x_A}^{x_B}$$

$$W_{A\to B}\left(\vec{F}'\right)=\frac{1}{2}kx_B^2-\frac{1}{2}kx_A^2$$

خلاصة :

تعبير شغل قوة المطبقة من طرف مجرب على الطرف الحر لنابض يجعله ينتقل من موضع A إلى موضع B أفصولهما على التوالي x_A و x_B هو : $W_{A\to B}\left(\vec{F}'\right)=\frac{1}{2}kx_B^2-\frac{1}{2}kx_A^2$.

وبما أن $\vec{F}=-\vec{F}'$ فإن شغل قوة الارتداد المطبقة من طرف النابض هو : $W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)=\frac{1}{2}kx_A^2-\frac{1}{2}kx_B^2$

يتعلق شغل قوة الارتداد $\vec{F}$ بالموضع البدئي والموضع النهائي لمركز قصور الجسم .

II ـ طاقة الوضع المرنة

عندما يكون النابض مضغوطا أو مطالا فإنه يختزن يختزن طاقة ترتبط بحالة تشوهه تسمى طاقة الوضع المرنة .

عندما يطبق المجرب قوة $\vec{F}'$ على الطرف الحر للنابض لجعل نقطة تأثيره تنتقل من النقطة A أفصولها x_A في حالة سكون إلى النقطة B أفصولها x_B حيث توجد كذلك في حالة سكون ، فإنه حسب مبرهنة الطاقة الحركية لدينا :

$$\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2=W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)+W_{A\to B}\left(\vec{F}'\right)=0\Rightarrow W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)=-W_{A\to B}\left(\vec{F}'\right)$$

$$W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)=\frac{1}{2}kx_A^2-\frac{1}{2}kx_B^2$$

أي أن الشغل المطبق من طرف المجرب على طرف النابض يساوي تغير شكل من أشكال الطاقة للمجموعة { المجرب ، النابض } وهي طاقة وضع مرنة .

نضع أن $W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)=E_{Pe}(A)-E_{Pe}(B)$

نعرف طاقة الوضع المرنة لمجموعة مكونة من { جسم ـ نابض } في وضع أفقي هي الطاقة التي تختزنه هذه المجموعة من جراء تشويه الجسم وتعبيرها هو : $E_{pe}=\frac{1}{2}kx^2+C$.

C ثابتة تحدد انطلاقا من الحالة المرجعية لطاقة الوضع المرنة .

وبصفة عامة نختار طاقة الوضع المرنة منعدمة في الموضع الموافق للأفصول $x=0$ حيث $(C=0)$

فيكون تعبير طاقة الوضع المرنة هو : $E_{pe}=\frac{1}{2}kx^2$ وحدتها في النظام العالمي للوحدات هي الجول . و x إطالة النابض و k صلابته .

ملحوظة : ${}_{A}^{B}\Delta E_{pe}=-\underset{A\to B}{W}\left(\vec{F}\right)$

III ـ الدراسة الطاقية للمجموعة { جسم صلب ، نابض } في وضع أفقي .

1 ـ الطاقة الحركية للمجموعة .

يتوفر الجسم الصلب غير قابل للتشويه كتلته m وسرعته v في إزاحة بالنسبة لمرجع معين ، على طاقة حركية E_C بحيث $E_C=\frac{1}{2}mv^2$ وحدة E_C في النظام العالمي للوحدات هي الجول .

بما أن الجسم في حركة إزاحة ، فإن سرعة الجسم الصلب هي سرعة مركز قصوره
بالنسبة لمتذبذب مرن ، الطاقة الحركية لهذا المتذبذب هي الطاقة الحركية للجسم الصلب
$E_C=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\dot{x}^2$ بحيث أن $x=x_m\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)$

2 ـ الطاقة الميكانيكية للمجموعة .

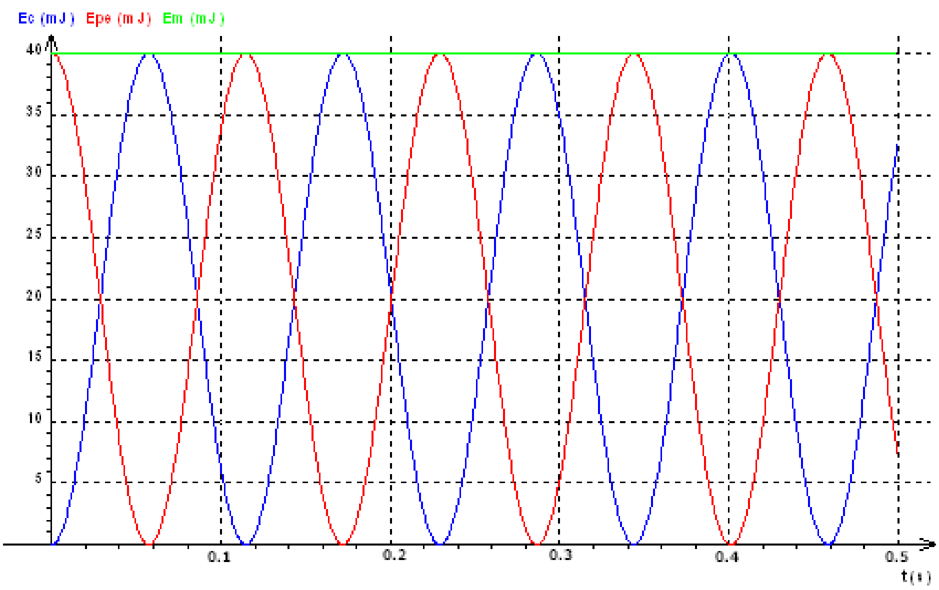
تعريف بالطاقة الميكانيكية :

في مرجع معين الطاقة الميكانيكية لمجموعة ما في لحظة t هي مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع لهذه المجموعة .

طاقة الوضع لمتذبذب مرن أفقي هي مجموع طاقة وضعه الثقالية وطاقة وضعه المرنة $E_P=E_{pp}+E_{Pe}$

نختار الحالة المرجعية لطاقة الوضع الثقالية منطبقة مع المستوى الأفقي المار من G مركز قصور المتذبذب $\left(E_{PP}=0\right)$ نحصل على $E_P=E_{Pe}$ أي أن تعبير الطاقة الميكانيكية لمجموعة مكونة من جسم صلب ونابض أفقي هو : $E_m=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}kx^2+C$

باختيار حالة مرجعية لطاقة الوضع المرنة وهي : $E_{pe}=0$ عند التوازن أي ان $x=0$ نحصل على التعبير التالي : $E_m=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}kx^2$



أ ــ حالة إهمال الاحتكاكات

في هذه الحالة يبقى وسع التذبذبات x_m ثابتا ، فنحصل على نظام دوري دوره الخاص T_0 ، فيكون عندنا انحفاظ الطاقة الميكانيكية للمجموعة . $E_m = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$ مهما كانت قيم x و v

ــ عندما تأخذ الاستطالة قيمتها القصوية x_m فإن الطاقة الميكانيكية $E_m = \frac{1}{2}kx_m^2$

ــ عنما تكون الاستطالة منعدمة $x = 0$ فإن $E_m = \frac{1}{2}mv_m^2$ وبالتالي فإن $E_m = \frac{1}{2}kx_m^2 = \frac{1}{2}mv_m^2$ ومنه

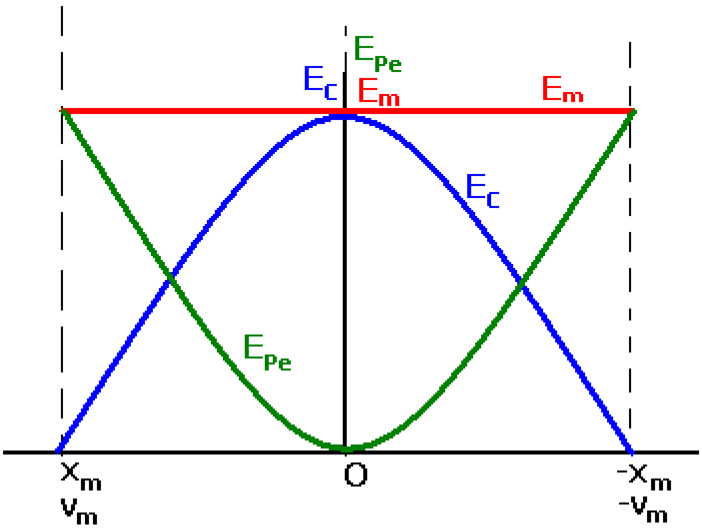
نستنتج العلاقة : $v_m = x_m\sqrt{\frac{k}{m}}$

كذلك يمكن أن نحصل على المعادلة التفاضلية للمتذبذب انطلاقا من الطاقة الميكانيكية أي بعملية اشتقاقها بالنسبة للزمن :

$$\frac{dE_m}{dt} = kx\dot{x} + m\dot{x}\ddot{x} = 0 \Rightarrow m\ddot{x} + kx = 0$$

مخططات الطاقة للنواس المرن الأفقي :

تمثيل على نفس النظمة E_{Pe} و E_C و E_m



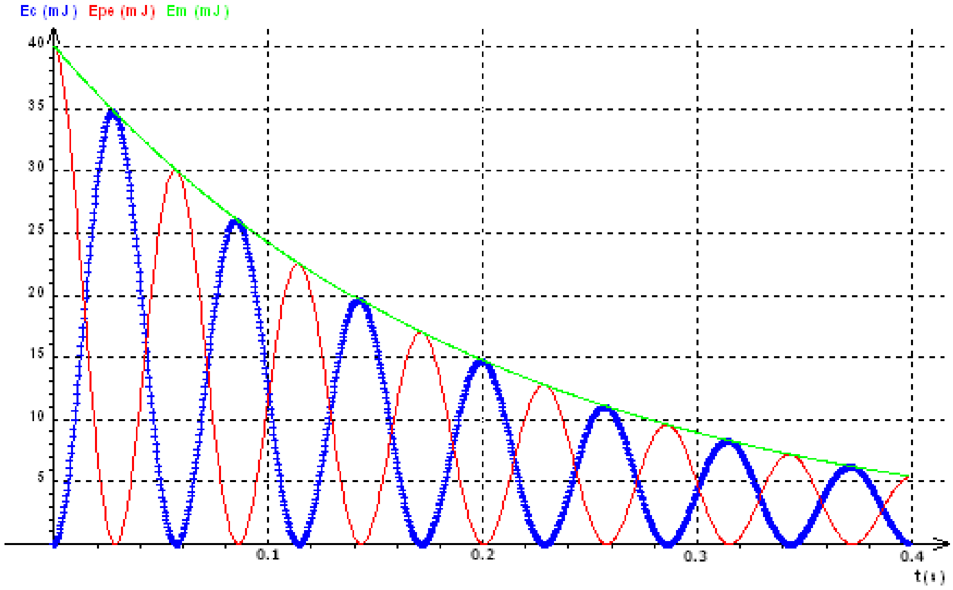
خلاصة : في غياب الاحتكاكات تنحفظ الطاقة الميكانيكية لنواس مرن أفقي وحر .

ب ــ حالة احتكاكات غير مهملة .

في هذه الحالة يتناقص وسع الذبذبات تدريجيا مع الزمن t ، فنحصل على نظام شبه دوري أو لا دوري في حالة احتكاكات مهمة .

يعزى تناقص الطاقة الميكانيكية للمجموعة مع الزمن t إلى الانتقال الحراري (وجود الاحتكاكات)

شكل منحنى تغيرات E_{pe} و E_C و E_m بدلالة الزمن :



IV ـ الدراسة الطاقية لنواس اللي .

1 ـ الطاقة الحركية للمجموعة .

المجموعة المتذبذبة هي { القضيب ـ السلك }

بما أن السلك كتلته مهملة فإن الطاقة الحركية لنواس اللي تنحصر في الطاقة الحركية للقضيب ، وبما أنه في حركة دوران حول محور ثابت (Δ) سيكون تعبير الطاقة الحركية على الشكل التالي :

$E_C = \frac{1}{2}J_\Delta \dot{\theta}^2$ حيث J_Δ عزم قصور القضيب بالنسبة للمحور (Δ) المجسد من طرف السلك و $\dot{\theta}$ السرعة الزواية لدوران القضيب .

2 ـ طاقة الوضع للي المجموعة .

نعتبر نواس لي ثابتة ليه C في حركة تذبذبية حول محور (Δ) يجسده السلك ، عزم قصور القضيب بالنسبة للمحور (Δ) هو J_Δ . نطبق مبرهنة الطاقة الحركية على هذه المجموعة بين موضعين أفصولهما الزاوي تباعا : θ_1 و θ_2 .

جرد القوى المطبقة على القضيب أثناء حركته : $\vec{P}$ وزن القضيب وتأثير السلك على القضيب $\vec{R}$ وإلى مزدوجة اللي عزمها $\mathcal{M}_C = -C.\theta$ ،

نطبق المبرهنة : $\frac{1}{2}J_\Delta \theta_2^2 - \frac{1}{2}J_\Delta \theta_1^2 = W(\vec{P}) + W(\vec{R}) + W_C$ بما أن خط تأثير القوتين $\vec{P}$ و $\vec{R}$ يتقاطعان مع المحور (Δ) فإن شغلهما منعدم أي أن $\frac{1}{2}J_\Delta \dot{\theta}_2^2 - \frac{1}{2}J_\Delta \dot{\theta}_1^2 = W_C$

نعلم أن المعادلة الزمنية لحركة المجموعة المتذبذبة هي على الشكل التالي : $\theta = \theta_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right)$

نأخذ $\varphi = 0$ لتبسيط العمليات الحسابية .

$\theta_1 = \theta_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t_1\right)$ و $\theta_2 = \theta_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t_2\right)$ أي أن $\dot{\theta}_1 = -\theta_m \frac{2\pi}{T_0}\sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t_1\right)$ و

$\dot{\theta}_2 = -\theta_m \frac{2\pi}{T_0}\sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t_2\right)$ وبتعويض هذه التعابير في العلاقة (1) $W_C = \frac{1}{2}C\theta_1^2 - \frac{1}{2}C\theta_2^2$

هذه العلاقة تمثل شغل مزدوجة اللي عندما يتغير الأفصول الزاوي من θ_1 إلى θ_2 . أي أن شغل مزدوجة اللي يساوي تغير شكل من أشكال الطاقة للمجموعة { القضيب ـ السلك } وهي طاقة الوضع للي . $W_C = E_{pt}(1) - E_{pt}(2)$ بحيث أن $E_{pt}(1) = \frac{1}{2}C\theta_1^2$ و $E_{pt}(2) = \frac{1}{2}C\theta_2^2$ وبالتالي نعرف طاقة الوضع للي بالمقدار التالي : $E_{pt} = \frac{1}{2}C\theta^2 + Cte$ ، Cte ثابتة تتعلق بالحالة المرجعية وتحدده الشروط البدئية

3 ـ الطاقة الميكانيكية للمجموعة .

تعبير الطاقة الميكانيكية لنواس اللي هو : $E_m = \frac{1}{2}J_\Delta\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}C\theta^2 + Cte$.

أ ـ في حالة احتكاكات مهملة .

نعتبر أن التذبذبات الأولى لنواس لي حر غير مخمدة معادلته التفاضلية $J_\Delta\ddot{\theta} + C\theta = 0$.

انطلاقا من تعبير الطاقة الميكانيكية يمكن أن نبين أن هناك انحفاظ الطاقة الميكانيكية للمجموعة وذلك باشتقاق تعبير E_m بالنسبة للزمن :

$$\frac{dE_m}{dt} = J_\Delta\ddot{\theta}\dot{\theta} + C\dot{\theta}\theta = \dot{\theta}\left(J_\Delta\ddot{\theta} + C\theta\right) = 0 \Rightarrow E_m = cte$$

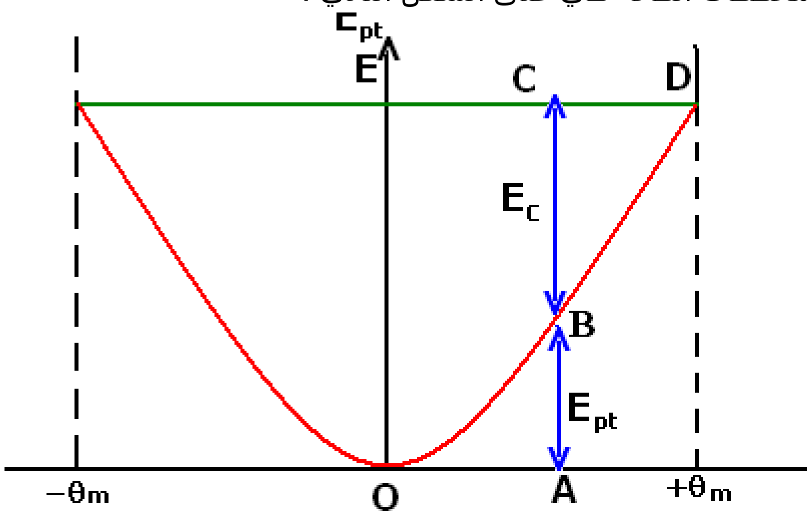
أي أن الطاقة الميكانيكية تنحفظ .

ويمكن أن نبين كذلك انطلاقا من المعادلة الزمنية $\theta = \theta_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right)$ أن هذه الثابتة هي :

$$E_m = \frac{1}{2}C\theta_m^2 = cte$$

خلاصة : تنحفظ الطاقة الميكانيكية لنوس لي حر وغير مخمد : $E_m = \frac{1}{2}C\theta_m^2 = cte$

مخططات الطاقة هي على الشكل التالي :



من خلال مخططات الطاقة يتبين أنه خلال الذبذبات الحرة غي المخمدة لنواس لي تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة وضع والعكس صحيح .

ب ـ في حالة وجود الاحتكاك

تتناقص الطاقة الميكانيكة للنواس اللي بحيث تتحول إلى طاقة حرارية .

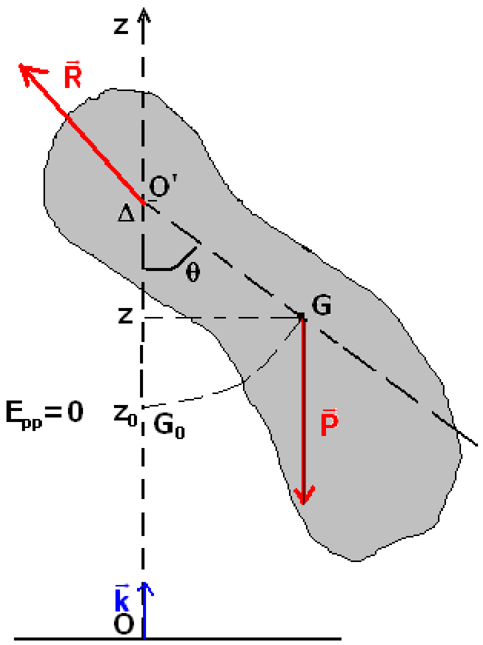
V ـ الدراسة الطاقية للنواس الوازن

تعتبر المجموعة النواس الوازن {الحامل ـ الجسم S } بحيث أن J_Δ عزم قصور الجسم S ونمعلم حركة مركز قصوره بالأفصول الزاوي θ عند كل لحظة t بالنسبة لمعلم مرتبط بمرجع أرضي .

ـ الطاقة الحركية للمجموعة : يتوفر النواس الوازن على طاقة حركية في المرجع المرتبط بالأرض :

$$E_C = \frac{1}{2} J_\Delta \dot{\theta}^2$$

ـ طاقة الوضع الثقالية للمجموعة



تعبير طاقة الوضع الثقالية لنواس وازن في مجال الثقالة هو :

$E_{pp} = mgz + cte$ حيث m كتلة الجسم S و z أنسوب

مركز قصوره في المعلم $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ متعامد وممنظم

محوره $(O, \vec{k})$ رأسي وموجه نحو الأعلى ، و g شدة الثقالة .

الثابتة cte تحدد انطلاقا من الحالة المرجعية .

ـ الطاقة الميكانيكية للنواس الوازن.

$$E_m = E_C + E_{pp}$$

تعبير الطاقة الميكانيكية لنواس وازن في معلم مرتبط بمرجع أرضي هو :

$$E_m = mgz + \frac{1}{2} J_\Delta \dot{\theta}^2 + cte$$

مثال :

حسب الشكل : $z = z_0 + h$ بحيث أن

$h = O'G - O'G\cos\theta$ نضع $O'G = d$

$$z = z_0 + d\left(1 - \cos\theta\right)$$

يمكن تحديد الثابتة cte انطلاقا من الحالة المرجعية :

$E_{pp} = 0$ عند $z = z_0$ أي أن $cte = -mgz_0$

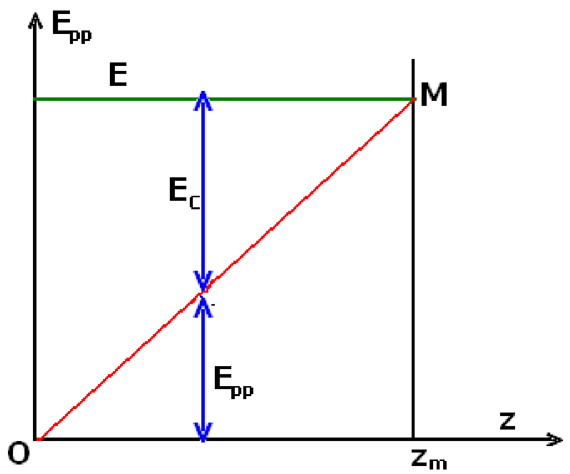
$$E_m = mgd(1 - \cos\theta) + \frac{1}{2} J_\Delta \dot{\theta}^2$$

$$\frac{dE_m}{dt} = mg\dot{\theta}\sin\theta + J_\Delta \dot{\theta}\ddot{\theta}$$

$$= \dot{\theta}\left(mgd\sin\theta + J_\Delta \ddot{\theta}\right) = 0$$

$$E_m = cte$$

في غياب للاحتكاكات تبقى الطاقة الميكانيكية للنواس الوازن في مجال الثقالة ثابتة . <u>**إذن النواس الوازن مجموعة محافظة**</u>



ـ مخططات الطاقة

أ ـ الحالة العامة

* التمثيل المبياني لتغيرات طاقة الوضع الثقالية بدلالة الأنسوب z .

$$E_{pp} = mgz$$

$$E_m = g(z) = cte$$

$E_m - E_{pp} = E_c$

الطاقة الحركية إما موجبة أو منعدمة.

في النقطة M $E_{pp} = mgz_M$ و $E_C = 0$

$E_m = E_{pp} = mgz_M$

أي أن z لايمكنها أن تتجاوز z_M يعني أن $z < z_M$

في النقطة O : $E_{pp} = 0$ و $E_C = E_m = \frac{1}{2}mv_{max}^2$

عندما تزداد z تنقص الطاقة الحركية E_C فتزداد طاقة الوضع E_{pp} إلى أن تصبح $z = z_m$ فيتوقف الجسم أي أن $E_C = 0$

ب ـ حالة النواس الوازن

ـ طاقة الوضع الثقالية للنواس الوازن نختار كحالة مرجعية $E_{pp} = 0$ بالنسبة $z=z_0$ في هذه الحالة

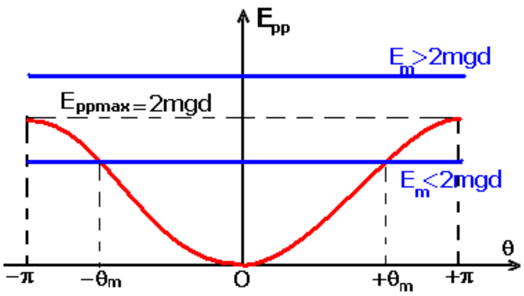
$E_{pp} = mgd(1-\cos\theta)$

ـ مخططات الطاقة

$E_m = E_{pp} + E_C$ الطاقة الميكانيكية وهي ثابتة بالنسبة للنواس الوازن

$E_{pp} = mgd(1-\cos\theta)$ طاقة الوضع الثقالية $E_{pp} = f(\theta)$

حساب تغيرات $E_{pp}(\theta)$



$$\frac{dE}{d\theta} = mgd\dot{\theta}\sin\theta = 0 \Leftrightarrow \sin\theta = 0$$

$\theta = -\pi$ أو $\theta = \pi$

$-\pi \le \theta \le \pi$

$0 \le E_{pp} \le 2mgd$

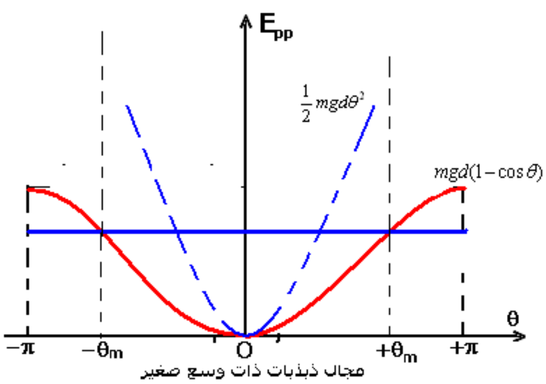
ـالحالة الأولى:

$E_m > 2mgd$ و $E_m = E_{pp} + E_C$ أي أن $E_C > 0$

وبالتالي فالنواس الوازن لايتوقف ويمكنه ان يدور حول المحور (Δ)

ـ الحالة الثانية :

$E_m < 2mgd$ أي أن $E_C = E_m - E_{pp}$ وبما أن $E_C \ge 0$ في هذه الحالة تنعدم الطاقة الحركية للنواس الوازن بالنسبة لقيمتين θ_m و $-\theta_m$ في هذه الحالة للمجموعة حركة تذبذبية حرة وغير مغمدة تتحول خلالها الطاقة الحركية إلى طاقة وضع ثقالية $\Delta E_C = -\Delta E_{pp}$.



في حالة ذبذبات ذات وسع صغير $\sin\theta \approx \theta$ sinθ ≅θ و

$$\cos\theta \cong 1 - \frac{\theta^2}{2}$$

$$E_p = mgd\left(1 - 1 + \frac{\theta^2}{2}\right) = mgd\frac{\theta^2}{2}$$

الذرة وميكانيك نيوتن

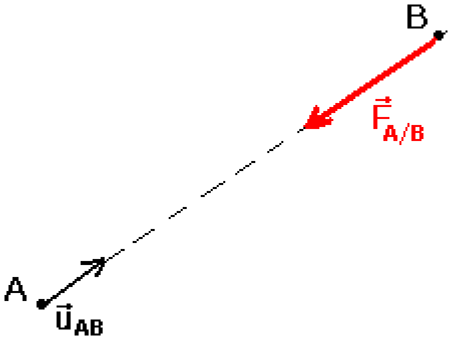
Atome et mecanique de Newton

خاص بالعلوم الرياضية والعلوم التجريبية مسلك العلوم الفيزيائية

I ـ حدود ميكانيك نيوتن

1 ـ قانون نيوتن وقانون كولم

أ ـ قانون نيوتن : التأثير البيني التجاذبي



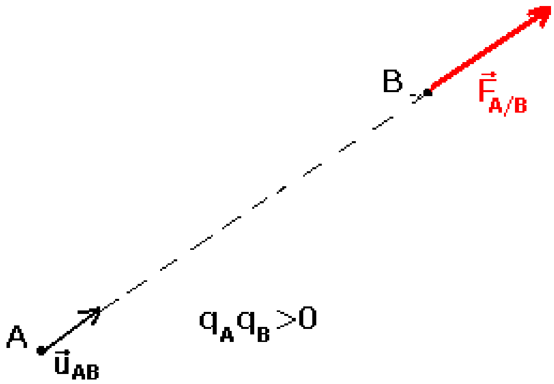
جسمان نقطيان A كتلته m_A و B كتلته m_B يطبق الواحد منهما على الآخر قوة تجاذب كوني اتجاهها هو المستقيم المار من A و B ، ومنحاهما نحو الجسم المؤثر ، وشدتهما تساوي :

$$F_{A/B}=F_{B/A}=G\frac{m_A.m_B}{(AB)^2}$$

بحيث G هي ثابتة التجاذب الكوني . $G=6,67.10^{-11}N.m^2.kg^{-2}$

$$\vec{F}_{A/B}=-G\frac{m_A m_B}{(AB)^2}\vec{u}_{AB}$$

ب ـ قانون كلوم



جسمان نقطيان A شحنته q_A و B شحنته q_B يطبق كلاهما على الآخر قوة تجاذب أو تنافر اتجاهها هو المستقيم المار من A و B ، ومنحاهما يتعلق بإشارتي q_A و q_B ، وشدتهما تساوي : $F_{A/B}=F_{B/A}=k\frac{q_A.q_B}{(AB)^2}$

بحيث أن $k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ حيث ε_0 هي ثابتة العزل في الفراغ

$$k=9.10^9N.m^2.C^{-2}$$

$$\vec{F}_{A/B}=k\frac{q_A.q_B}{(AB)^2}\vec{u}_{AB}$$

ملحوظة : التأثير البيني التجاذبي في الذرة مهمل أمام التأثير البيني الكهرساكن .
مثلا في حالة ذرة الهيدروجين لدينا :

$$\frac{F_g}{F_e}=\frac{Gm_e.m_p}{k.e^2}\approx 4,4.10^{-40}$$

2 ـ النموذج الكوكبي للذرة

باستعمال المماثلة بين قوى التأثير البيني التجاذبي الكوني ، وقوى البيني الكهرساكن ، ا روذرفورد في مطلع القرن العشرين " نموذجا كوكبيا " للذرة حيث نمذج النواة بكوكب ما ونمذج الإلكترونات بأقمار هذا لكوكب ز ومثلما تتحكم قوى التأثير البيني التجاذبي في حركة الأقمار حول الكوكب ، تتحكم قوى التأثير البيني الكهرساكن في حركة الإلكترونات حول النواة .

3 ـ حدود ميكانيك نيوتن

بالنسبة لمجموعة كوكبية (أرض ـ قمر اصطناعي) مثلا ، تسمح ميكانيك نيوتن بالتنبؤ بإمكانية وضع القمر الاصطناعي في مدار حول الأرض

يمكن تغيير تلك الشروط البدئية ، فإن شعاع مدار القمر الاصطناعي (باعتباره دائريا) يمكنه أن يأخذ جميع القيم الممكنة .

باعتبار ذرة الهيدروجين وتخيلنا أن إلكترون الذرة في حركة دائرية منتظمة حول النو

ميكانيك نيوتن يمكن لشعاع مدار الإلكترون أن يأخذ جميع القيم الممكنة ، وبالتالي فإن ذرتي

هيدروجين سيكون لهما حجمان مختلفان حسب شعاع المدار وهذا غير صحيح لأن ذرتي هيدروجين لهما نفس الحجم وبصفة عامة جميع ذرات الهيدروجين لها نفس المميزات . وهذا ما يجعل مكيانيك نيوتن تعجز عن تفسيره .

لايمكن لميكانيك نيوتن أن تفسر الظواهر الفيزيائية التي تحدث على مستوى الذرات أو الجزيئات من بين هذه الظواهر الفيزيائية ، التبادلات الطاقية بي المادة وإشعاع ضوئي والتي تبرزها أطياف الذرات

II ــ تكمية التبادلات الطاقية

يحدث تبادل الطاقة

ــ عند اصطدام ذرة بدقيقة مادية

ــ عندما يحدث تأثير بيني بين الذرة وإشعاع ضوئي .

سنة 1900م وضع الفيزيائي الألماني ماكس بلانك فرضية : المادة والضوء لا يمكنهما أن يتبادلا الطاقة إلا بكميات منفصلة تسمى **كمات الطاقة** .

الطاقة المتبادلة E_{ech} بين المادة وإشعاع ضوئي لا يمكنها أن تأخذ إلا قيما محددة ومنفصلة ، نقول أن هذه الطاقة المتبادلة مكماة .

وحسب مبدأ انحفاظ الطاقة ، فإن الطاقة المتبادلة من طرف ذرة تساوي تغير طاقتها بين قيمتين E_1 و E_2 أي أن $\Delta E = E_2 - E_1$.

1 ــ نموذج الفوتون

طور إنشتاين فرضية ماكس بلانك

على شكل كمات الطاقة ، وذلك بإثبات أن كمات الطاقة هاته تحملها دقائق تسمى **بالفوتونات .**

ما هو الفوتون ؟

الفوتون دقيقة ليست لها كتلة ، وغير مشحونة ، تنتقل في الفراغ بسرعة الضوء : $c = 3,00.10^8 m/s$.

تتكون موجة كهرمغنطيسية ترددها ν ، وطول موجتها في الفراغ λ من فوتونات .

طاقة كل فوتون : $E = h.\nu = h\dfrac{c}{\lambda}$.

ν تردد الموجة ب Hz و λ طول الموجة ب المتر m و h ثابتة بلانك $(J.s)$ و E طاقة الفوتون ب J .

للتعبير عن طاقة الفوتون نستعمل غالبا الإلكترون ــ فولط : $1eV = 1,60.10^{-19} J$

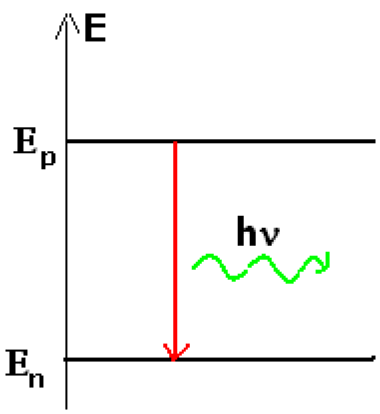
تمرين تطبيقي :

أحسب بالجول ، ثم بالإلكترون فولط ، طاقة فوتون مقرون بلإشعاع الأحمر لطيف يساوي $657nm$. نعطي : سرعة الضوء في الفراغ : $c = 3,00.10^8 m/s$ و ثابتة بلانك $h = 6,626.10^{-34} J.s$

الجواب : طاقة الفوتون هي : $E = h.\nu = \dfrac{h.c}{\lambda}$

حساب طاقة الفوتون بالجول : $E = \dfrac{6,626.10^{-34} \times 3.10^8}{656.10^{-9}} = 3,03.10^{-19} J$

حساب طاقة الفوتون ب eV : $E = 1,89 eV$



2 ــ موضوعات بوهر

تبين الدراسة التجريبية لطيف الانبعاث لذرة الهيدروجين في المجال المرئي أنه يتكون من عدة حزات ملونة توافق كل منها إشعاعا معينا أحادي اللون ، وهو يتكون من أربع حزات طول موجاتها هو كالتالي :

$\lambda_1 = 411nm$ و $\lambda_2 = 435nm$ و $\lambda_3 = 487nm$ و $\lambda_4 = 657nm$.

لتفسير هذه الظاهرة وضع العالم الفيزيائي الدنماركي نيلس بوهر موضوعات تحمل اسمه :

* تغيرات الطاقة لذرة تغيرات مكماة .

*

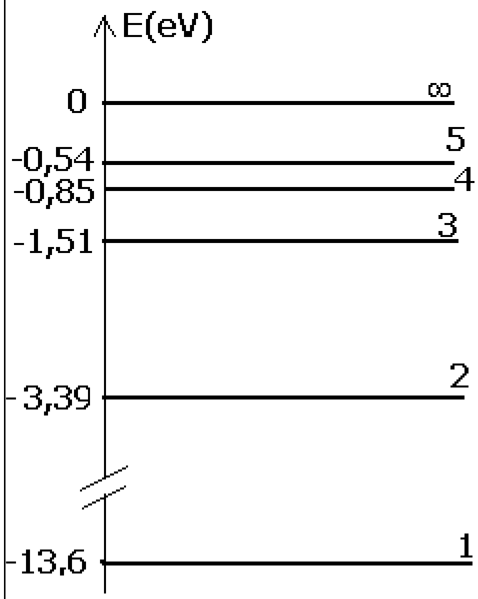
* يتم انبعاث فوتون تردده ν عندما تنتقل الذرة من مستوى طاقي E_p إلى مستوى طاقي E_n أقل

بحيث : $E_p - E_n = h\nu$

III ـ تكمية مستويات الطاقة .

1 ـ تكمية مستويات الطاقة في الذرات

النموذج الذي وضعه بوهر يتناسب والأفكار الجديدة للتكمية ، يتمثل هذا النموذج في كون طاقة الذرة مكماة أي لا تأخذ سوى بعض القيم المنفصلة والمحددة تسمى **مستويات الطاقة .** أي أن كل مستوى طاقي لهة طاقة معينة ونميزها بعدد n يسمى **بالعدد الكمي** ، والذي يأخذ الأعداد 1 و 2 و 3 .....



ـ مستوى الطاقة بالنسبة للعدد الكمي $n=1$ يسمى المستوى الأساسي وهو يوافق المستوى ذا الطاقة الأصغر (الحالة المستقرة للذرة)

ـ مستويات الطاقة ذات العدد الكمي $n>1$ توافق المستويات المثارة .

ـ المستوى الطاقي دو العدد الكمي $n=\infty$ يوافق الطاقة $E_\infty = 0$ حيث الإلكترون غير مرتبط بالنواة . إن هذا الاصطلاح يستوجب أن تكون لكل المستويات الطاقية تأخرى طاقة سالبة .

مخطط مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين .

في غياب أي اضطراب خارجي ، إذا كانت الحالة الأساسية لذرة هي حالتها البدئية ، فإن الذرة تبقى في هذه الحالة .

عندما تكتسب ذرة طاقة خارجية ، فإنها تنتقل من حالتها الأساسية إلى إحدى الحالات المثارة والتي تكون في الغالب غير مستقرة ، لكن سرعان ما تعود إلى إحدى حالاتها ذات مستوى طاقي أقل ، وذلك بفقدان طاقة تكون مكماة .

الانتقال هو المرور من حالة إلى أخرى ذات مستوى طاقي أكبر (إثارة) أو ذات مستوى طاقي أقل (فقدان الاثارة)

تمرين تطبيقي :

باستعمال مخطط مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين :

1

الأساسية .

2 ـ ما هي أكبر قيمة ممكنة لطاقة الانتقال بين حالتين متتاليتين ؟

الجواب :

1 ـ

$$E_4 - E_1 = -0,85 - (-13,6) = 12,75eV$$

2 ـ الحالتان المتتاليتان اللتان تبعدان أكثر عن بعضهما البعض هما الحالة الأساسية والحالة المثارة الأولى :

$$E_2 - E_1 = 10,2eV$$

2 ـ تكمية مستويات الطاقة في الجزيئات

تتكون الجزيئات من ذرات في تأثير بيني ، مما يكثر من عدد مستويات الطاقة ويوسعها مكماة أيضا ، وهي تتعلق بالإلكترونات ، وباهتزازات الجزيئة حول مركز الكتلة ، وبدورانها

3 ـ تكمية مستويات الطاقة في النوى .

إن طاقة النواة مكماة كذلك ، بحيث أن

وذلك بفقدان طاقة أو باكتسابها . كما يمكن للنواة أن تثار بفعل اصطدامها مع دقيقة مادية عالية الطاقة

تتوفر الذرات والجزيئات والنوى على مستويات الطاقة مكماة .

عندما تتبادل هذه المجموعات طاقة مع الوسط الخارجي ، فإنها تنتقل من مستوى طاقي E_P إلى مستوى طاقي E_n أو العكس .

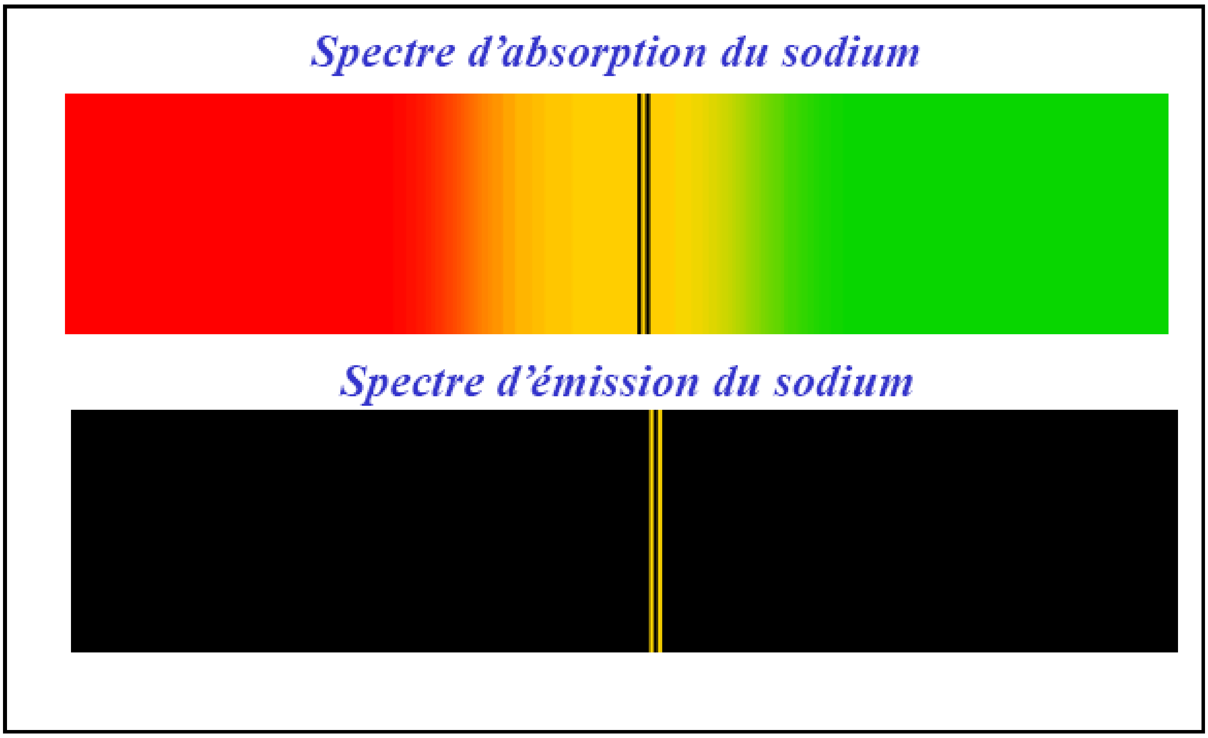
هذه الطاقة التبادلة تحكمها علاقة بوهر : $\Delta E = E_p - E_n$ بحيث أن $E_P > E_n$

VI ــ تطبيقات على الأطياف .

تعريف بطيف ضوء

نسمي طيف ضوء مجموع الإشعاعات التي يتكون منها هذا الضوء ، ويتميز كل إشعاع منها بطول الموجة في الفراغ .

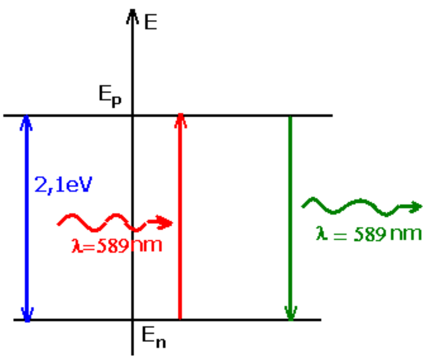
1 ــ أطياف الذرات



http://www.unice.fr/lasi/pagesperso/golebiowski/cours.htm

تمثل الوثيقة أعلاه طيف حزات الامتصاص وطيف حزات الانبعاث لذرة الصوديوم ويلاحظ أن الحزات المظلمة تحتل نفس مواضع حزات الانبعاث .

عندما تنتقل ذرة من مستوى طاقي E_P إلى آخر ذي طاقة E_n أقل فإنها تفقد طاقة تبعثها على شكل إشعاع تردده ν ، بحيث أن $\Delta E = E_p - E_n = h\nu$



* كلما كان الفرق ΔE كبيرا كلما كان التردد ν مهما .

* ترددات الإشعاعات المنبعثة تحددها مستويات الطاقة ؛ ففي طيف الانبعاث الذري ، كل حزة أحادية اللون (أحادية طول الموجة) توافق انتقالا بين مستويين للطاقة .

* لا تتعلق مستويات الطاقة لذرة إلا بطبيعة الذرة . هذه الأخيرة تبعث إشعاعات تميزها والتي تكون قادرة على امتصاصها أيضا ؛ إن طيف الانبعات لذرة يميز الذرة شأنه في ذلك شأن مستويات الطاقة .

وعند إضاءة ذرات بواسطة ضوء أحادي طول الموجة في الفراغ تردده ν ، تنتقل الذرة من مستوى طاقي E_n إلى مستوى طاقي E_P $(n < p)$ مع

امتصاص الإشعاع إذا كانت $h\nu = E_p - E_n$

إذا كانت $h\nu$

اضطراب .

عندما تنتقل ذرة من مستوى طاقي E_n إلى مستوى طاقي E_p أكبر فإنها تمتص إشعاعا تردده ν بحيث أن $\Delta E = E_p - E_n = h\nu$.

مثال نشاط تجريبي : دراسة طيف حزات الهيدروجين

تجربة :

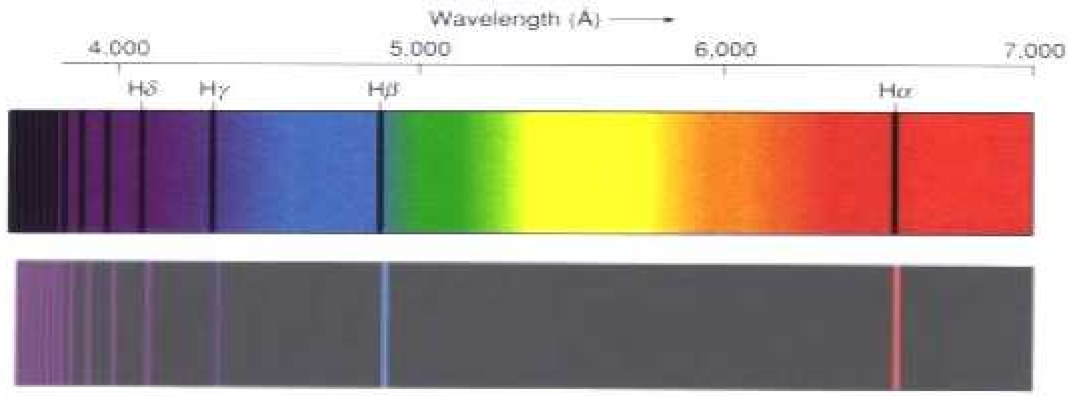
فينبعث منه ضوءا الذي يكون طيف الانبعاث لذرة الهيدروجين . والذي يمكن معاينته بواسطة مطياف .

نلاحظ :

ـ طيف متقطع .

ـ يحتوي على حزات طيفية أهمها الأربع التالية :

أحمر $657nm$ أزرق $487nm$ نيلي $435nm$ بنفسجي $411nm$



Comparaison des spectres d'émission et d'absorption de l'hydrogène

www2.ac-lyon.fr/lyc69/herriot/SPC/2nde/cours/PHYSIQUE/chapP4.pdf

في سنة 1908 م اقترح ريتز علاقة رياضية تمكن من حساب أطوال الموجة لطيف الانبعاث لذرة الهيدروجين في المجالات المرئي ، وفوق البنفسجي ، وتحت الأحمر ، وتربط هذه العلاقة أطوال الموجة λ_{np} بعددين طبيعيين n و p حيث $n=1$ أو $n=2$ أو $n=3$ ... و $p>n$ وهي :

(1) $\frac{1}{\lambda_{np}} = R_H\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2}\right)$ بحيث أن R_H ثابتة ريدبيرك Rhydberg : $R_H = 1,09737320.10^7 m^{-1}$

انطلاقا من قيمة معينة لعدد n يمكن حساب متسلسلة من الحزات وذلك بتغيير العدد p .

ـ متسلسلة بالمير توافق $n=2$ وتعطي اطوال الموجة لأربع حزات مرئية توافق كل حزة قيمة معينة لعدد p .

ـ متسلسلة باشين نحصل عليها بالنسبة للعدد $n=3$ و $p>3$

متسلسلة ليمان نحصل عليه بالنسبة للعدد $n=1$ و $p>1$

ـ متسلسلة براكيت نحصل عليها بالنسبة للعدد $n=4$ و $p>4$

في سنة 1913

توصل إلى كون طاقة ذرة هيدروجين معزولة هي : (eV) $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$ ؛ حيث n عدد صحيح موجب يسمى العدد الكمي الرئيسي . يستخلص من هذا أن طاقة ذرة الهيدروجين مكماة بحيث لا تأخذ إلا قيما محددة ، يميزها العدد n .

استثمار :

1 ـ تحقق من صحة العلاقة (1) بحساب أطوال الموجة للحزات المرئية لمتسلسلة بالمير ، ثم قارن القيم المحصلة مع معطيات الوثيقة .

2 ـ أ ـ أحسب الترددات ν_{np} للحزات الأربع الأولى لمتسلسلات السالفة الذكر .

ب ـ أنقل قيم الترددات ν_{np} على محور رأسي للترددات ، ممثلا كل حزة بخط أفقي ، ومقرنا بكل حزة العددين n و p الموافقين .

يستعمل السلم $1cm \leftrightarrow 2.10^{14}\,Hz$

3 ـ أ ـ بين أنه إذا كانت طاقة الذرة مكماة ، فإن تغيرات الطاقة $(E_p - E_n)$ التي توافق التبادلات الطاقية مع الوسط الخارجي هي تغيرات مكماة أيضا .

ب ـ أثبت العلاقة التي تمكن من حساب الفرق $(E_p - E_n)$.

2 ـ أطياف الجزيئات :

يتكون طيف الامتصاص لجزيئة من حزات ومن مجالات الامتصاص ، حيث تنخفض الشدة الضوئية لإشعاع ممتص فجأة ، حيث يوافق كل قمة مقلوبة تردد الإشعاع الممتص .

رتبة قدر إشعاع ممتص هي $10^{11}\,Hz$ بالنسبة لجزيئة ، مما يدل على أن مجالات الامتصاص توجد غالبا في المجال تحت الأحمر ، وبالتالي فهي غير مرئية ، ومن تم ينبغي تسجيلها باستعمال مكثفات ذات حساسية لهذه الإشعاعات .

إن تحليل طيف الامتصاص لجزيئة يمكن من التعرف على هذه الجزيئة ، كونه يقدم معلومات عن المجموعة الوظيفية وعن الروابط التي تحتوي عليها الجزيئة .

تمرين تطبيقي :

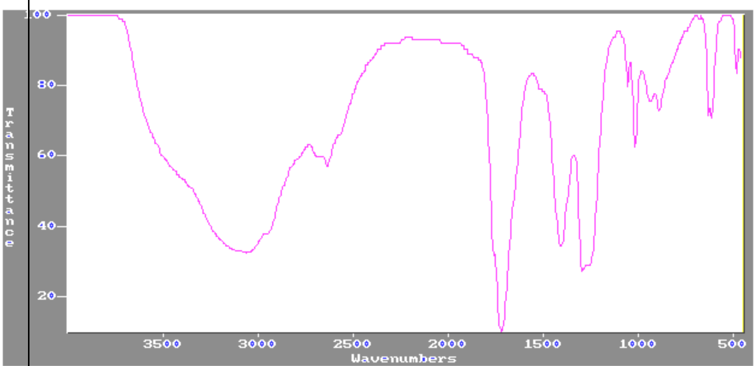
في الكيمياء العضوية تمتص المجموعات المميزة إشعاعات كهرمغنطيسية تمكن من التعرف على الجزيئات ، تتميز هذه الامتصاصات بعدد الموجة $\sigma = \frac{1}{\lambda}(cm^{-1})$ ، نقدم في الجدول التالي أمثلة منها :

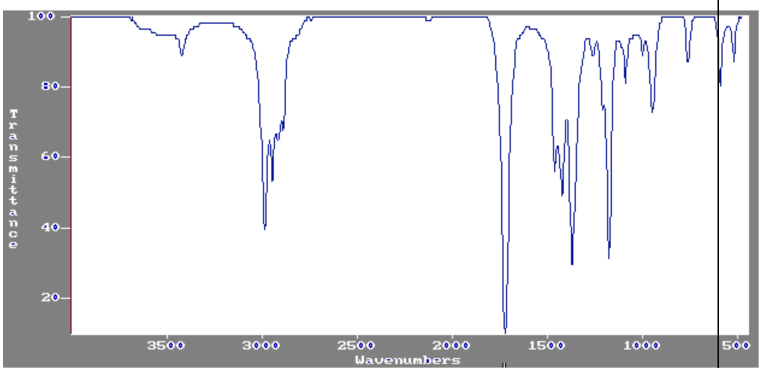
المجموعة المميزة	$C=O$	$O-H$	$C=C$
$\sigma = \frac{1}{\lambda}(cm^{-1})$	1700	3350	1650

1 ـ أحسب بالوحدة (eV) طاقات الإشعاعات الممتصة من طرف المجموعات المميزة .

2 ـ ماذا تستنتج من خلال وجود شرائط الامتصاص بخصوص طاقة الجزيئة ؟

3 ـ نعتبر الجزيئة البوتان ـ 2 ـ أون وحمض الإيثانويك أكتب الصيغة نصف المنشورة لهاتين الجزيئتين . أقرن بكل من الطيفين التاليين الجزيئة الموافقة .





3 ــ أطياف النوى

طاقة النواة هي أيضا مكماة ، ففي النشاط الإشعاعي ، تكون النوى الناتجة عن تفتت إشعاعي نوى مثارة . فقدان الإثارة لهذه النوى يصاحبه انبعاث فوتونات ذات طاقة عالية (إشعاعية النشاط γ) تميز النوى الباعثة .

رتبة قدر تغيرات الطاقة في النواة تناهز الميغاإلكترون ـ فولط (MeV) .

تمرين تطبيقي :

نعطي جانبه جدولين : الجدول (1) يقدم القيم المتوسطة لشعاعي مداري قمرين اصطناعيين وشعاع مدار القمر . ويعطي الجدول (2) الشعاعات الذرية لمجموعة من العناصر الكيميائية .

الجدول (1)

أقمار الأرض	شعاع المدار ب (km)
هوبل Huble	$6,0.10^2$
سبوت 5 $spot5$	$8,3.10^2$
القمر La lune	$3,83.10^5$

الجدول (2)

العنصر الكيميائي	H	Fe	U
الشعاع الذري (pm)	25	140	175

1 ــ دراسة مجموعة الجدول (1)

1 ــ 1

المستعملة .

1 ــ 2

1 ــ 3 استنتج تعبير v^2 مربع سرعة مركز قصور القمر الاصطناعي بدلالة r شعاع مداره الذي نعتبره دائريا .

1 ــ 4 نقبل أن تعبير طاقة الوضع الثقالية للقمر الاصطناعي ذي الكتلة m هو : $E_{pp}=-G\frac{mM_T}{r}$ ، حيث M_T كتلة الأرض ، وG ثابتة التجاذب الكوني و r شعاع مدار القمر الاصطناعي .

أوجد تعبير الطاقة الميكانيكية E_m للقمر الاصطناعي . هل E_m دالة متواصلة بدلالة r ؟

1 ــ 5 أعط بالمتر رتبة قدر شعاع مدار كل جسم من الأجسام الواردة في الجدول (1) .

هل رتبتا قدر شعاعي مداري القمرين الاصطناعيين قابلتان للمقارنة مع رتبة قدر شعاع مدار القمر ؟

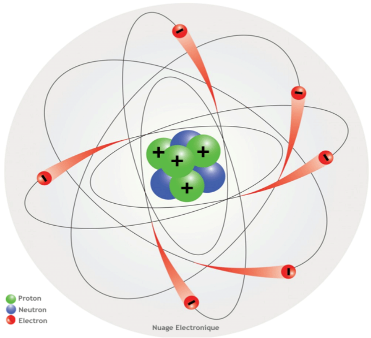
2 ــ دراسة مجموعة الجدول (2)

2 ــ 1 أعط تركيب الذرات $^{1}_{1}H$ و $^{56}_{28}Fe$ و $^{238}_{92}U$

2 ــ 2 حدد رتبة قدر الشعاع الذري لكل عنصر . هل رتب القدر هاته قابلة للمقارنة فيما بينها ؟

2 ــ 3 فسر لماذا ذرات نفس العنصر الكيميائي لها نفس الشعاع الذري ؟

هل تعتبر المماثلة بين المجموعات : { أرض ــ أقمار اصطناعية } من جهة والمجموعة الذرية { نواة ــ إلكترونات } من جهة ثانية مماثلة مشروعة ؟ ما تستخلص ؟



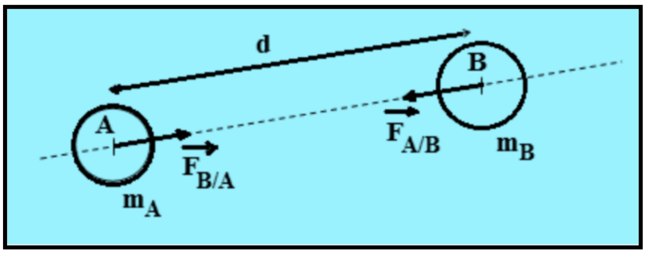
الذرة و ميكانيك نيوتن

1 ـ حدود ميكانيك نيوتن :

القوى المدروسة على المستوى الماكروسكوبي مثل قوى التجاذب الكوني ، و قوى التأثير البيني الكهرساكن ، هل يمكن أن تطبق كذلك على المستوى الميكروسكوبي ؟

1 ـ 1 التأثير البيني التجاذبي : (Newton 1687) .

A و B كتلتان نقطيتان تبعدان عن بعضهما بالمسافة d . كل واحدة تطبق على الأخرى قوة تجاذب ، حيث :

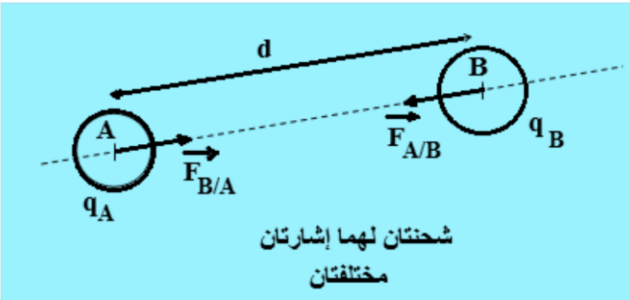


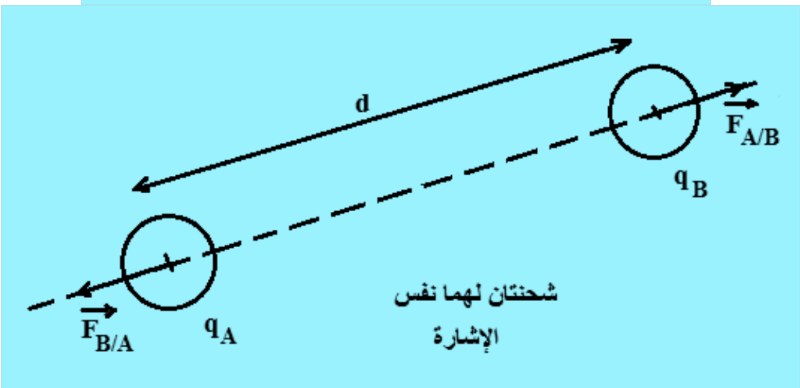
$$\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}} = -G\frac{m_A m_B}{AB^2}\overrightarrow{u_{AB}}$$

مع $G = 6,67x10^{-11} N.m^2.kg^{-2}$

1 ـ 2 التأثير البيني الكهرساكن : (Coulomb 1785) .

A و B شحنتان نقطيتان (q_A و q_B) تبعدان عن بعضهما بالمسافة $AB = d$. يمكن أن تكون قوتا التأثير البيني إما قوتا تجاذب $(q_A x q_B < 0)$ أو تنافر $(q_A x q_B > 0)$ ، حيث لدينا دائما : $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$





$$\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}} = k\frac{q_A \times q_B}{AB^2}\overrightarrow{u_{AB}}$$

مع $k = 9x10^9 N.m^2.C^{-2}$

ملحوظة :* يبين تعبير كل من قوى التأثير البيني التجاذبي و قوى التأثير البيني الكهرساكن أن قيمتها تتناسب و المقدار $\frac{1}{d^2}$.

نقول بأنها قوى نيوتونية .

1 ـ 3 تطبيق ميكانيك نيوتن على الذرة : في سنة 1911 ، و باستعمال المقارنة الشكلية بين قوى التجاذب الكوني و قوى التأثير الكهربائي (الكهرساكن) ، أنجز Ernest Rutherford نموذجا كوكبيا للذرة .

حيث يمكن للإلكترون أن يأخذ مسارا دائريا (أو إهليلجيا) حول النواة ، وبذلك فإن طاقته يمكن أن تأخذ أية طاقة ممكنة .
وهذا غير صحيح حيث أن طاقة الذرة لا يمكن أن تأخذ إلا قيما محددة .
أي أن ميكانيك نيوتن تبقى عاجزة عن تفسير مميزات الذرة .

2 ـ تغير الطاقة على المستوى الميكروسكوبي :

2 ـ 1 دراسة طيف انبعاث لذرة الهيدروجين :

تتكون ذرة الهيدروجين من بروتون واحد و إلكترون واحد ، وهي أبسط ذرة . لندرس الضوء المنبعث من مصباح للهيدروجين .

نلاحظ طيف يتكون من حزات انبعاث، فقط الحزات ذات طول موجة خاصة هي التي تنبعث .
في مصباح الهيدروجين ،تنتقل الطاقة الكهربائية إلى ذرات الهيدروجين ،فتصبح في حالة مثارة أي في حالة غير مستقرة .
للرجوع إلى حالتها المستقرة تبعث طاقة ضوئية .
بما أن الطيف المنبعث طيفا يتكون من حزات و ليس طيفا مستمرا فإن الطاقة المنبعثة لايمكن أن تأخذ إلا قيما محددة نقول بأن الطاقة مكماة (quantifiée) .

2 ـ 2 نموذج الفوتون (photon) :

في سنة 1900 وضع Max Planck فرضية أن الضوء ، كالموجات الكهرمغنطيسية ، تنقل الطاقة على شكل "حبيبات" تسمى quanta .
في سنة 1905 وضع Albert Einstein فرضية أن هذه الحبيبات محمولة من طرف دقائق تسمى **الفوتونات** . الفوتونات دقائق عديمة الكتلة ، بدون شحنة ، تنتشر في الفراغ بسرعة الضوء $c = 3x10^{8} m.s^{-1}$.
موجة كهرمغنطيسية ، ترددها ν و طول موجتها في الفراغ λ ، تتكون من فوتونات . طاقة كل فوتون تحقق العلاقة :

$$E = h.\nu = \frac{h.c}{\lambda}$$

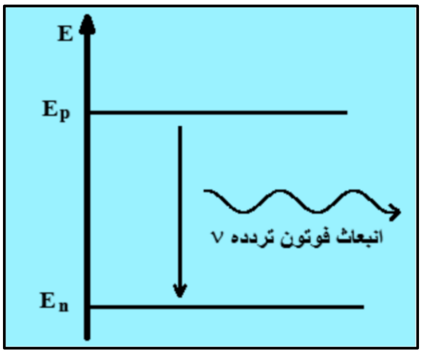
الطاقة E **معبر عنها بالجول** (J) **؛ التردد** ν **معبر عنه بالهرتز** (Hz) **و طول الموجة بالمتر** (m) .
الثابتة h **تسمى ثابتة بلانك** (Planck) : $h = 6,626x10^{-34} J.s$
***ملحوظة :** الجول وحدة غير ملائمة لقيمة طاقة الفوتون ، نستعمل عادة الإلكترون فولط (eV) :

$$1eV = 1,60x10^{-19} J$$

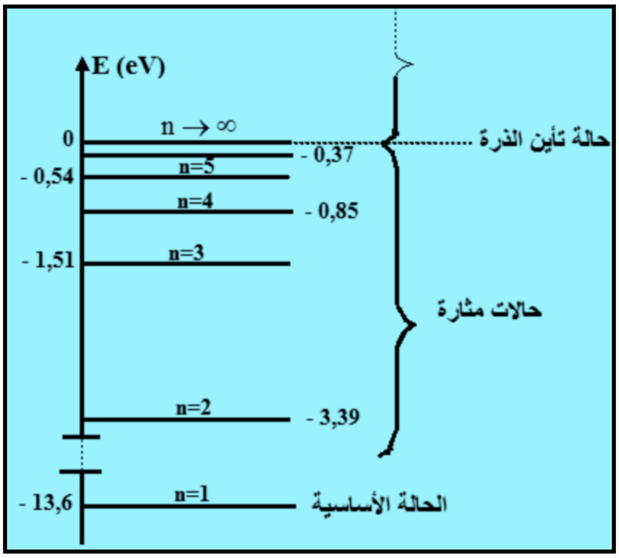
2 ـ 3 موضوعات بوهر (Bohr) :

لتفسير حزات طيف ذرة الهيدروجين وضع بوهر موضوعات (postulats) تحمل اسمه :
ـ تغيرات الطاقة لذرة تغيرات مكماة .
ـ لايمكن أن توجد الذرة إلا في حالات طاقية محددة . كل حالة تتميز بمستوى طاقي .
ـ تبعث الذرة فوتونا تردده ν و طاقته $h.\nu$ عندما تفقد إثارتها حيث تنتقل من مستوى طاقي E_p إلى مستوى طاقي E_n . لدينا :

$$E_p - E_n = h.\nu$$



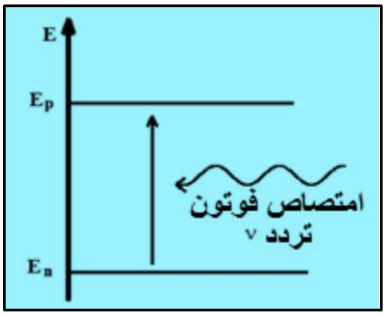
2 ـ 4 مخطط الطاقة لذرة الهيدروجين :



حسب موضوعات بوهر ، تغيراتالطاقة لذرة الهيدروجين تغيرات مكماة .
باتخاذ حالة مرجعية نستنتج طاقات الحالات الاخرى .
يمكن تمثيل مختلف مستويات الطاقة :
ـ يوافق المستوى الأسفل الحالة الأساسية .
ـ توافق المستويات الوسيطية مختلف الحالات المثارة .
ـ يوافق المستوى الاعلى الحالة المرجعية حيث الإلكترون غير مرتبط بالبروتون (حالة التأين) .

2 ـ 5 دراسة طيف امتصاص لذرة الهيدروجين :

نلاحظ وجود حزات سوداء محل الحزات الملونة لحزاة الانبعاث . هذه الحزات توافق الاشعاعات الممتصة والتي لها نفس طول الموجة للاشعاعات المنبعة من طرف مصباح الهيدروجين . نفسر هذا بكون أن مختلف طاقة فوتونات الضوء الأبيض ، فقط الفوتونات التي لها طاقة توافق الفرق الموجود بين مستويين طاقيين للذرة هي التي تمتص .
نستنتج أن طيف الامتصاص يبرز كذلك أن طاقة الذرة مكماة . كما يبين أن انتقال الطاقة بين الاشعاع و المادة لا يتم إلا بتبادل طاقة مكماة .

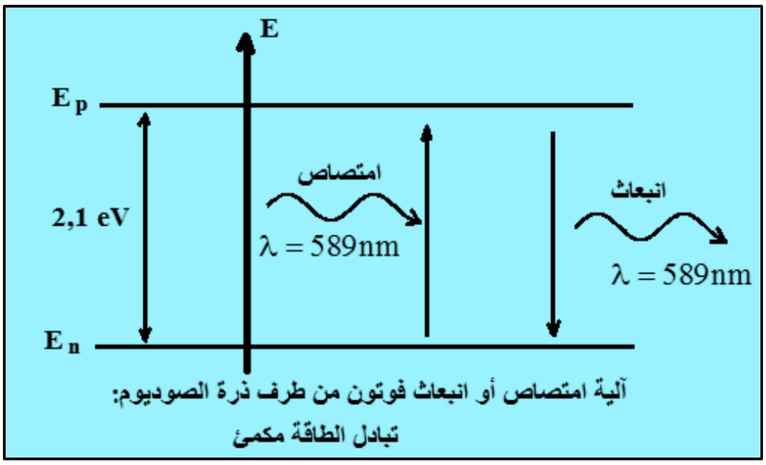


3 ـ طاقة الدقائق الميكروسكوبية طاقة مكماة :

طاقة ذرة الهيدروجين طاقة مكماة . طاقة الذرات الأخرى ، الجزيئات ، النوى مكماة كذلك .

3 ـ 1 مستويات الطاقة للذرات :

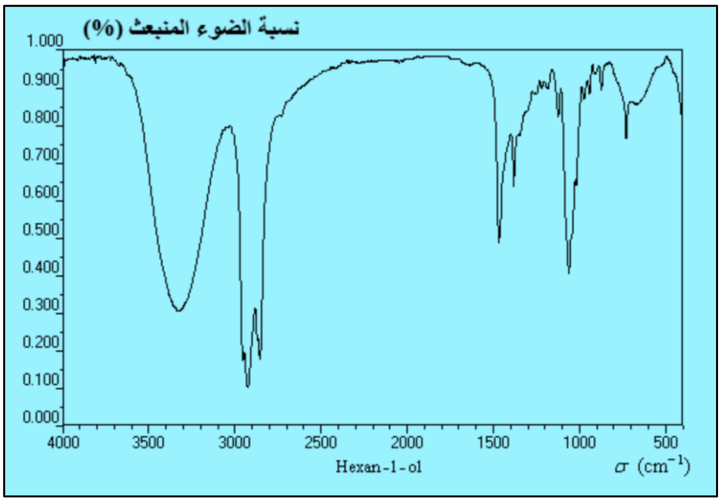
طاقة ذرة مكماة : تغيراتها لها رتبة قدر الإلكترون فولط (eV) .كل ذرات نفس العنصر الكيميائي لها نفس الطيف المميز لهذا العنصر .
طيف امتصاص أو طيف انبعاث يمكن من الكشف عن عنصر كيميائي .
بتحليل الضوء المنبعث من النجوم مثلا ، نحدد مكوناتها الكيميائية .



2 ـ 3 مستويات الطاقة للجزيئات :

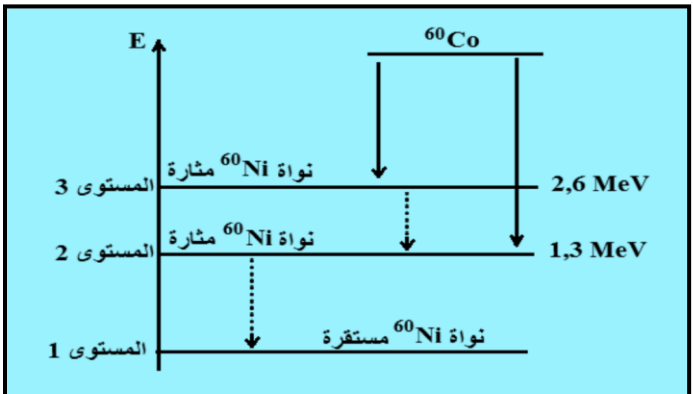
يعطي طيف الامتصاص لجزيئة معلومات عن المجموعات الوظيفية للجزيئة و نوعية الروابط التي تحتوي عليها الجزيئة .
للحصول على طيف جزيئة نعرض مركبها إلى أشعة ضوئية نغير ترددها باستمرار ، فيلاحظ أن كل امتصاص يوافقه شدة دنوية لشدة الضوء . حيث كل قمة امتصاص توافق ميزة محددة للجزيئة .

مثلا : طيف امتصاص جزيئة هيكسان ـ 1 ـ أول . حيث أشير على محور الأفاصيل إلى عدد الموجة $\sigma = \frac{1}{\lambda}$ مع λ طول الموجة .



3 ـ 3 مستويات الطاقة للنوى :

في الفيزياء النووية ، النوى المتولدة ناتجة عن تفتت نوى مشعة ، عادة تكون في حالة مثارة . حيث تفقد إثارتها و تبعث فوتونات ذات طاقة عالية (إشعاع γ) .
طاقة هذه الفوتونات تميز النوى الباعثة (النوى المتولدة) .
كذرات النوى لها مستويات الطاقة مكماة .
طاقة نواة مكماة . تغير الطاقة في نواة لها رتبة قدر الميكا إلكترون فولط (MeV) .



مستويات الطاقة لنواة النيكل خلال التفتت β^-
لنواة الكوبالتن ، حيث تتكون نواة النيكل في حالة مثارة .
تغيرات الطاقة لهم رتبة قدر الميغاإلكترون فولط (MeV)

التطور التلقائي لمجموعة كيميائية

I ـ تذكير بخارج التفاعل

1 ـ تعبير خارج التفاعل

نعتبر مجموعة كيميائية عند درجة حرارة T تخضع لتحول كيميائي نعبر عنه بالمعادلة الكيميائية التالية :

$$aA(aq)+bB(aq)\rightleftarrows cC(aq)+dD(aq)$$

نعبر عن خارج التفاعل المقرون بمعادلة التفاعل بالعلاقة التالية :

$$Q_r=\frac{[C]^c.[D]^d}{[A]^a.[B]^b}$$

نعبر عن التركيز $[X]$ ب mol/ℓ .

ملحوظة : لا تدخل النواع الكيميائية الصلبة والمذيب في تعبير خارج التفاعل .

عندما تكون المجموعة في توازن كيميائي يأخذ خارج التفاعل Q_r قيمة غير متعلقة بالتركيب البدئي للخليط ، قيمة ثابتة التوازن K

$$K=Q_{r,eq}=\frac{[C]_{eq}{}^{c}.[D]_{eq}{}^{d}}{[A]_{eq}{}^{a}.[B]_{eq}{}^{b}}$$

2 ـ قيمة خارج التفاعل عند التوازن .

تمرين تطبيقي 1

لدينا محلول مائي حجمه V يحتوي على ثنائي اليود $I_2(aq)$ وأيونات اليودور $I^-(aq)$ وأيونات ثيوكبريتات $S_2O_3^{2-}(aq)$ وأيونات رباعي ثيونات $S_4O_6^{2-}(aq)$.

يمكن أن تكون هذه المجموعة مقرا لتفاعل كيميائي معادلته هي :

$$I_2(aq)+2S_2O_3^{2-}(aq)\rightleftarrows 2I^-(aq)+S_4O_6^{2-}(aq)$$

التراكيز البدئية للأنواع الكيمائية الموجودة في هذه المجموعة :

$$[I_2]_0=0,20mol/\ell \qquad \left[S_2O_3^{2-}\right]_0=0,30mol/\ell$$

$$\left[I^-\right]_0=0,50mol/\ell \qquad \left[S_4O_6^{2-}\right]_0=0,020mol/\ell$$

1 ـ أعط تعبير خارج التفاعل المقرون بالمعادلة التفاعل الكيميائي .

حسب التعريف ، نكتب خارج التفاعل :

$$Q_r=\frac{\left[I^-\right]^2\left[S_4O_6^{2-}\right]}{[I_2]\left[S_2O_3^{2-}\right]^2}$$

2 ـ أحسب قيمته

* في الحالة البدئية :

$$Q_r=\frac{\left[I^-\right]_0^{\,2}\left[S_4O_6^{2-}\right]_0}{[I_2]_0\left[S_2O_3^{2-}\right]_0^{\,2}}=\frac{(0,5)^2 0,02}{0,2.(0,3)^2}=0,28$$

* عند اللحظة t حيث $[I_2]_t=0,15mol/\ell$

الجدول الوصفي لتطور التقدم لهذا التفاعل والذي يعتبر تفاعل اكسدة ـ اختزال :

الحالة	التقدم				
معادلة التفاعل الكيميائي		$I_2(aq)$ +	$2S_2O_3^{2-}(aq)$ ⇄	$2I^-(aq)$ +	$S_4O_6^{2-}(aq)$
الحالة	التقدم	التراكيز المولية الفعلية			
بداية التفاعل	0	$0,20$	$0,30$	$0,50$	$0,02$
خلال التفاعل	$\frac{x}{V}$	$0,20-\frac{x}{V}$	$0,30-\frac{2x}{V}$	$0,50+\frac{2x}{V}$	$0,02+\frac{x}{V}$

قيمة خارج التفاعل عند اللحظة t حيث $[I_2]_t = 0,15mol/\ell$ هي :

$$Q_{r,t} = \frac{\left(0,50+\frac{2x}{V}\right)^2\left(0,02+\frac{x}{V}\right)}{\left(0,20-\frac{x}{V}\right).\left(0,30-\frac{2x}{V}\right)^2}$$

عند اللحظة t ، لدينا $[I_2]_t = 0,20-\frac{x}{V} = 0,15mol/\ell \Rightarrow \frac{x}{V} = 0,05mol$

نستنتج $Q_{r,t} = 4,2$

II ـ توقع تطور مجموعة كيميائية

<u>تمرين تطبيقي : تحديد منحى تطور مجموعة</u>

تتفاعل المزدوجتان $CH_3COOH(aq)/CH_3COO^-(aq)$ و $HCOOH(aq)/HCOO^-(aq)$ في الماء حسب المعادلة الكيميائية التالية :

$$CH_3COO^-(aq) + HCOOH(aq) \rightleftarrows CH_3COOH(aq) + HCOO^-(aq)$$

$$K_{A1}(HCOOH/HCOO^-) = 1,6.10^{-4}$$

$$K_{A2}(CH_3COOH/CH_3COO^-) = 1,6.10^{-5}$$

قيمة ثابتة التوازن المقرونة بهذا المعادلة الكيميائية عند 25°C هي $K = \frac{K_{A1}}{K_{A2}} = 10$

نمزج في ثلاث كؤوس A و B و C محلول حمض الإيثانويك ومحلول إيثانوات الصوديوم ومحلول حمض الميثانويك ومحلول ميثانوات الصوديوم لها التركيز نفسه $C = 1,0.10^{-1}mol/\ell$ وذلك حسب الحجوم المبينة في الجدول التالي :

	الكأس	A	B	C
محلول حمض الميثانويك	$V_1(m\ell)$	10,0	5,0	1,0
محلول ميثانوات الصوديوم	$V_2(m\ell)$	10.0	10,0	1,0
محلول حمض الإيثانويك	$V_3(m\ell)$	10,0	20,0	10,0
	$V_4(m\ell)$	10,0	1,0	1,0
	$\frac{[HCOO^-]_i}{[HCOOH]_i}$	1	2	1

0,1	0,05	1	$\dfrac{\left[CH_3COO^-\right]_i}{\left[CH_3COOH\right]_i}$	
10	40	1	$Q_{r,i}$	
1	0,8	2,5	$\dfrac{\left[HCOO^-\right]_{eq}}{\left[HCOOH\right]_{eq}}$	
0,1	0,08	0,25	$\dfrac{\left[CH_3COO^-\right]_{eq}}{\left[CH_3COOH\right]_{eq}}$	
10	10	10	$Q_{r,eq}$	

استثمار :

1 ــ أحسب في الحالة البدئية قيمتي النسبتين $\dfrac{\left[CH_3COO^-\right]_i}{\left[CH_3COOH\right]_i}$ و $\dfrac{\left[HCOO^-\right]_i}{\left[HCOOH\right]_i}$ واستنتج قيم $Q_{r,i}$.

نعتب أن حجم الخليط بالنسبة لكل مجموعة هو : $V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$

لدينا التركيز البدئي للأنواع الكيميائية في كل مجموعة هو :

$$\left[HCOOH\right]_i = \frac{C.V_1}{V} , \left[HCOO^-\right]_i = \frac{C.V_2}{V}$$

$$\left[CH_3COOH\right]_i = \frac{C.V_3}{V} , \left[CH_3COO^-\right]_i = \frac{C.V_4}{V}$$

$$\frac{\left[HCOO^-\right]_i}{\left[HCOOH\right]_i} = \frac{V_2}{V_1} , \frac{\left[CH_3COO^-\right]_i}{\left[CH_3COOH\right]_i} = \frac{V_4}{V_3}$$

نستنتج قيمة $Q_{r,i}$:

$$Q_{r,i} = \frac{\left[CH_3COOH\right]_i . \left[HCOO^-\right]_i}{\left[CH_3COO^-\right]_i \left[HCOOH\right]_i} = \frac{V_3}{V_4} . \frac{V_2}{V_1}$$

النتائج : أنظر الجدول

2 ــ عبر ، عند التوازن ، عن النسبتين $\dfrac{\left[CH_3COO^-\right]_{eq}}{\left[CH_3COOH\right]_{eq}}$ و $\dfrac{\left[HCOO^-\right]_{eq}}{\left[HCOOH\right]_{eq}}$

بدلالة $\left[H_3O^+\right]$ و K_A . أحسب هاتين النسبتين

بالنسبة للمزدوجة $HCOOH / HCOO^-$ لدينا أن

$$pH = pK_{A1} + \log\left(\frac{\left[HCOO^-\right]_{eq}}{\left[HCOOH\right]_{eq}}\right) \Rightarrow \frac{\left[HCOO^-\right]_{eq}}{\left[HCOOH\right]_{eq}} = 10^{pH - pK_{A1}}$$

$$pH = pK_{A2} + \log\left(\frac{\left[CH_3COO^-\right]_{eq}}{\left[CH_3COOH\right]_{eq}}\right) \Rightarrow \frac{\left[CH_3COO^-\right]_{eq}}{\left[CH_3COOH\right]_{eq}} = 10^{pH - pK_{A2}}$$

3 ــ استنتج قيمة خارج التفاعل في الحالة النهائية .

$$Q_{r,i}=\frac{[CH_3COOH]_{eq}.[HCOO^-]_{eq}}{[CH_3COO^-]_{eq}[HCOOH]_{eq}}=\frac{K_{A1}}{K_{A2}}=10$$

4 ـ ماذا يمكن أن نستنتج من مقارنة قيمة $Q_{r,i}$ مع ثابتة التوازن K بخصوص تطور المجموعة ؟

تمكن مقارنة خارج التفاعل $Q_{r,i}$ مع ثابتة التوازن K المقرونة بمعادلة التفاعل الكيميائي من توقع منحى التطور التلقائي للمجموعة في كل خليط .

في الكأس A : $Q_{r,i}=1<K$:

لدينا $\frac{[HCOO^-]_i}{[HCOOH]_i}>\frac{[HCOO^-]_{eq}}{[HCOOH]_{eq}}$ أي أن النسبة $\frac{[HCOO^-]}{[HCOOH]}$ تتزايد .

لدينا كذلك $\frac{[CH_3COO^-]_i}{[CH_3COOH]_i}<\frac{[CH_3COO^-]_{eq}}{[CH_3COOH]_{eq}}$ أي تتناقص النسبة $\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$ وبالتالي فالتفاعل يحدث في منحى تكون أيونات الميثانوات وحمض الإيثانويك .

أي أن المجموعة في الكأس A تطورت في المنحى المباشر للمعادلة .

في الكأس B $Q_{r,i}=40>K$

لدينا حسب الجدول أن $\frac{[HCOO^-]_i}{[HCOOH]_i}<\frac{[HCOO^-]_{eq}}{[HCOOH]_{eq}}$ أي أن النسبة $\frac{[HCOO^-]}{[HCOOH]}$ تتناقص

لدينا كذلك $\frac{[CH_3COO^-]_i}{[CH_3COOH]_i}>\frac{[CH_3COO^-]_{eq}}{[CH_3COOH]_{eq}}$ أي تتزايد النسبة $\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$ وبالتالي فالتفاعل يحدث في منحى تكون حمض الميثانويك وأيونات الإيثانوات أي أن المجموعة B تتكور في المنحى غير المباشر للمعادلة الكيميائية .

في الكأس C $Q_{r,i}=10=K$

لدينا حسب الجدول أن $\frac{[HCOO^-]_i}{[HCOOH]_i}=\frac{[HCOO^-]_{eq}}{[HCOOH]_{eq}}$ و كذلك $\frac{[CH_3COO^-]_i}{[CH_3COOH]_i}=\frac{[CH_3COO^-]_{eq}}{[CH_3COOH]_{eq}}$

في هذه الحالة لا تتغير تراكيز الأنواع الكيميائية أي أن المجموعة لا تتطور .

خلاصة :

تتطور مجموعة كيميائية وفق المنحى الذي يجعل خارج التفاعل يؤول نحو ثابتة التوازن

كيف يمكن تحديد المنحى التلقائي لمجموعة كيميائية ؟

نحسب خارج التفاعل في الحالة البدئية ونقارنه مع ثابتة التوازن K .

تكون لدينا ثلاث حالات :

ـ إذا كان $Q_{r,i}<K$

ـ إذا كان $Q_{r,i}>K$ تتطور المجموعة تلقائيا في المنحى غير المباشر .

ـ إذا كان $Q_{r,i}=K$ تكون المجموعة في توازن كيميائي (ليس هناك تطور)

التطور التلقائي لمجموعة كيميائية

I. خارج التفاعل و ثابتة التوازن

• خارج التفاعل

تعريف

نقرن كل تفاعل معادلته $aA_{aq} + bB_{aq} \rightleftarrows cC_{aq} + dD_{aq}$ بالكسر التالي:

$$Q_r = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

الذي يسمى خارج التفاعل. و هو عدد بدون وحدة يميز حالة المجموعة.

• ثابتة التوازن

تعريف

ثابتة التوازن المقرونة بتفاعل معادلته $aA_{aq} + bB_{aq} \rightleftarrows cC_{aq} + dD_{aq}$ هي القيمة التي يأخذها خارج التفاعل عندما تصل المجموعة حالة التوازن:

$$K = Q_{réq} = \frac{[C]^c_{éq} \cdot [D]^d_{éq}}{[A]^a_{éq} \cdot [B]^b_{éq}}$$

و هي ثابتة تميز التفاعل و لا تتعلق إلا بدرجة الحرارة.

I. التطور التلقائي نحو حالة التوازن

• التطور التلقائي لمجموعة كيميائية

تعتبر مجموعة كيميائية في تطور إذا كان تركيبها يتغير مع الزمن.

تعريف

يكون تطور مجموعة تلقائيا إذا تطورت المجموعة انطلاقا من حالتها البدئية بدون تدخل خارجي.

إذا تطورت مجموعة تلقائيا فهذا يعني أن المجموعة ليست في حالة التوازن يعني: $Q_{ri} \neq K$

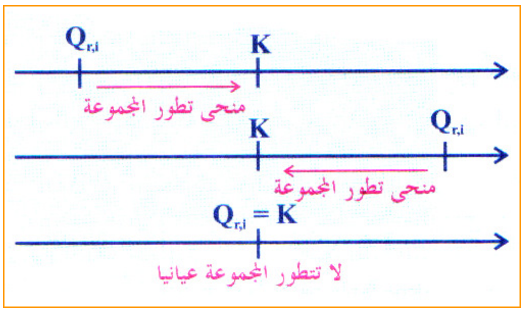
يتغير تركيب المجموعة حتى تصل حالة التوازن حيث: $Q_{réq} = K$

• معيار التطور التلقائي

قاعدة

يمكن تحديد منحى التطور التلقائي لمجموعة كيميائية بمقارنة قيمة خارج التفاعل البدئي Q_{r_i} مع قيمة ثابتة التوازن K. نميز ثلاث حالات و هي:

- ✓ $Q_{r_i} < K$: تتطور المجموعة تلقائيا في المنحى المباشر للتفاعل.
- ✓ $Q_{r_i} > K$: تتطور المجموعة تلقائيا في المنحى المعاكس للتفاعل.
- ✓ $Q_{r_i} = K$: المجموعة في حالة التوازن و لا تتطور ظاهريا.



تمارين

تمرين 1

يترسب كلورور الرصاص حسب المعادلة الكيميائية التالية: $Pb^{2+}_{(aq)} + 2Cl^{-}_{(aq)} \rightleftarrows PbCl_{2(s)}$

ثابتة التوازن المتعلقة بهذه المعادلة هي $K = 10^{4,7}$.

-1 أكتب تعبير ثابتة التوازن.

-2 نمزج الحجم $V_1 = 50\,ml$ من محلول مائي S_1 لكلورور الصوديوم $(Na^{+}_{(aq)} + Cl^{-}_{(aq)})$ تركيزه $c_1 = 2,0.10^{-2}\,mol.l^{-1}$ مع الحجم $V_2 = 50\,ml$ من محلول مائي S_2 لنترات الرصاص $(Pb^{2+}_{(aq)} + 2NO^{-}_{3(aq)})$ تركيزه $c_2 = 1,0.10^{-2}\,mol.l^{-1}$.
هل يترسب كلورور الرصاص؟علل جوابك.

-3 نفس السؤال، عندما نمزج الحجم $V_1' = 80\,ml$ من المحلول S_1 مع الحجم $V_3 = 20\,ml$ من محلول مائي S_3 لنترات الرصاص تركيزه $c_3 = 6,0.10^{-1}\,mol.l^{-1}$.

تمرين 2

نحضر محلولا S_1 بإذابة كتلة $m = 13\,g$ من ثنائي اليود الصلب $I_{2(s)}$ في حجم $V = 100\,ml$ من محلول يودور البوتاسيوم $(K^{+}_{(aq)} + I^{-}_{(aq)})$ تركيزه $c_1 = 1,0.10^{-1}\,mol.l^{-1}$ بدون تغير في الحجم .

ثم نحضر محلولا S_2 بمزج محلول لأيونات الحديد II مع محلول لأيونات الحديد III لهما نفس التركيز $c_2 = 1,0.10^{-2}\,mol.l^{-1}$.

بعد ذلك نمزج الحجم $V_1 = 10\,ml$ من المحلول S_1 مع الحجم $V_2 = 10\,ml$ من المحلول S_2.

-1 أكتب معادلة تفاعل الأكسدة و الاختزال الحاصل بين المزدوجتين Fe^{3+}/Fe^{2+} و I_2/I^-.

-2 أحسب قيمة خارج التفاعل في الحالة البدئية.

-3 حدد منحى تطور المجموعة.

♦ <u>معطيات</u>: الكتلة المولية لثنائي اليود: $M(I) = 127\,g.mol^{-1}$ ،
ثابتة التوازن المتعلقة بتفاعل أيونات الحديد مع أيونات اليودور: $K = 10^{4,7}$.

التحولات التلقائية في الأعمدة

I ـ الانتقال التلقائي للإلكترونات

1 ـ الانتقال التلقائي للإلكترونات بين أنواع كيميائية مختلطة .

ـ الدراسة التجريبية :

نمزج في كأس :

ـ $V = 20m\ell$ من محلول مائي لكبريتات النحاس II تركيزه المولي $C = 1,0mol/\ell$

ـ $V' = 20m\ell$ من محلول مائي لكبريتات الزنك II تركيزه المولي $C' = 1,0mol/\ell$

نغمر في الخليط صفيحة من النحاس وأخرى من الزنك

1 ـ ماذا نلاحظ ؟

توضع فلز النحاس على صفيحة الزنك واختفاء تدريجي للون الأزرق للمحلول .

2 ـ هل ما يلاحظ يتوافق مع منحى التطور التلقائي المتوقع ؟

نكتب أنصاف المعادلة الموافقة للمزدوجتين الأكسدة واختزال ،

$$\begin{cases} Cu^{2+}/Cu & Cu^{2+}(aq) + 2e^- = Cu(aq) \\ Zn^{2+}/Zn & Zn(s) = Zn^{2+}(aq) + 2e^- \end{cases}$$

المعادلة الحصيلة لهذا التفاعل : $Cu^{2+}(aq) + Zn(s) \rightleftarrows Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$

بحيث أن ثابتة التوازن المقرونة بهذا التفاعل : $K = 4.10^{36}$

تعبير خارج التفاعل عند بداية التفاعل : $Q_{r,i} = \dfrac{[Zn^{2+}]_i}{[Cu^{2+}]_i} = \dfrac{\dfrac{n_i(Zn^{2+})}{V+V'}}{\dfrac{n_i(Cu^{2+})}{V+V'}} = \dfrac{C'V'}{CV} = 1$ وبالتالي فإن

$Q_{r,i} < K$

توضع النحاس وتكون أيونات الزنك وهذا ما تؤكده التجربة .

3 ـ أين يحدث انتقال الإلكترونات خلال هذا التفاعل للأكسدة ـ اختزال ؟

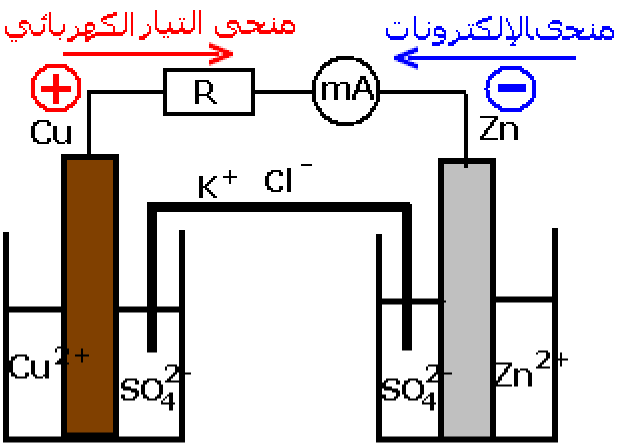
يحدث هذا الانتقال في نفس الخليط الموجود في الكأس أي أن هناك تماس بين الأنواع الكيميائية مما يجعل انتقال الإلكترونات ممكنا .

2 ـ الانتقال التلقائي للإلكترونات بين أنواع كيميائية منفصلة .

هل يمكن إنجاز انتقال الإلكترونات بين مؤكسد ومختزل دون أن يكونا في تماس مباشرة ؟

النشاط التجريبي 2 : تفاعل أكسدة ـ اختزال بين أنواع كيميائية منفصلة .

نغمر صفيحة من النحاس في كأس يحتوي على $V = 20m\ell$ من محلول مائي لكبريتات النحاس II تركيزه المولي $C = 1,0mol/\ell$.



في كأس ثاني يحتوي على $V' = 20m\ell$ محلول مائي لكبريتات الزنك II تركيزه $C' = 1,0mol/\ell$ ، نغمر صفيحة من الزنك .

نصل المحلولين بشريط من ورق الترشيح مبلل بمحلول كلورور البوتاسيوم $K^+(aq) + C\ell^-(aq)$

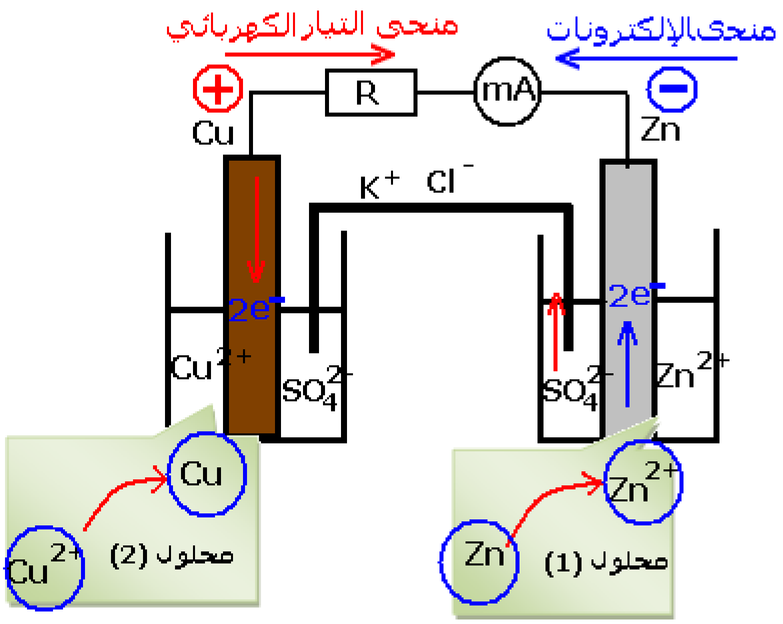
نصل الصفيحتين الفليزتين بجزء دارة تحتوي على مليئمبيرمتر وموصل أومي مقاومته $R = 10\Omega$ وقاطع التيار . أنظر الشكل ، ثم نغلق قاطع التيار .

استثمار :

1 ـ حدد حملات الشحنة الكهربائية المسؤولة عن مرور التيار الكهربائي في هذه الدارة ؟

حملات الشحنة المسؤولة عن مرور التيار في هذه الدارة هي :

ـــ الإلأكترونات في الصفيحتين وفي أسلاك الربط والموصل الأومي والميليئمبيرمتر .
ـ الأيونات المتوحدة في المحلولين .
2 ـ حدد منحى التيار الكهربائي المشار من طرف المليئمبيرمتر .
التيار الكهربائي يمر من خارج المحلولين من صفيحة النحاس نحو صفيحة الحديد.
3 ـ استنتج منحى انتقال مختلف حملة الشحنة الكهربائية .
تنتقل الإلكترونات خارج المحلولين في المنحى المعاكس لمنحى التيار الكهربائي أي من صفيحة الزنك نحو صفيحة النحاس . وتنتقل الأيونات في المحلولين كالتالي :
تنتقل الأيونات Cu^{2+}, Zn^{2+}, K^{+} في منحى التيار الكهربائي .
تنتقل الأيونات $C\ell^{-}, SO_4^{2-}$ في المنحى المعاكس لمنحى التيار .
4 ـ ماذا يحدث على مستوى التماس فلز ـ محلول في الصفيحتين ؟
على مستوى التماس بين الف
على الشكل التالي :
ـ على مستوى صفيحة الزنك ، تحرر
حسب نصف المعادلة التالية : $Zn(s) = Zn^{2+}(aq) + 2e^{-}$
ـ على مستوى صفيحة النحاس تستهلك الإلكترونات نتيجة اختزال أيون النحاس
المعادلة التالية : $Cu^{2+}(aq) + 2e^{-} = Cu(s)$
5 ـ قارن التطور التلقائي لهذه المجموعة مع تطور المجموعة في النشاط الأول .
نفس التطور السابق أي نحصل على المعادلة التالية :
$$Cu^{2+}(aq) + Zn(s) \rightarrow Cu(s) + Zn^{2+}(aq)$$



يلاحظ أنه حدث فعلا انتقال الإلكترونات من فلز الزنك إلى أيونات النحاس II وهما في غير تماس مباشر، والسلك الرابط بين الفليزين هو الذي سمح بانتقال الإلكترونات .
6 ـ ما هو دور القنطرة الأيونية ؟
دور القنطرة الأيونية هو فصل المتفاعلين مع السماح بهجرة الأيونات لضمان الحياد الكهربائي للمحلول ومرور التيار الكهربائي .
تفسير : عند مرور التيار الكهربائي تزداد الأيونات Zn^{2+} في المحلول (1) حسب نصف المعادلة التالية :
$Zn(s) = Zn^{2+}(aq) + 2e^{-}$ ، بينما تنقص أيونات Cu^{2+} في المحلول (2) لكي يكون هناك توازن على مستوى الشحن تهاجر الأيونات SO_4^{2-} من المحلول (2) نحو المحلول (1)

3 ـ خلاصة :

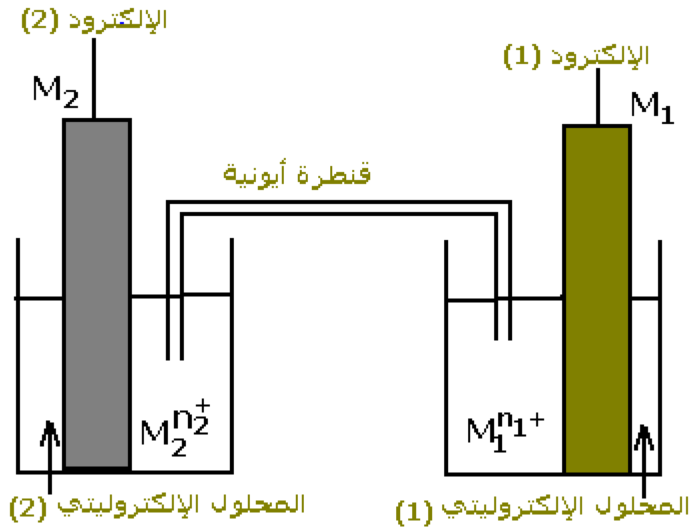
يمكن أن يحدث انتقال تلقائي للإلكترونات بين الأنواع الكيميائية لمزدوجتين مختزل منفصلة (عند ربط الفليزين بموصل كهربائي ووصل المحلولين فيما بينهما بقنطرة أيونية)

II ـ تكوين واشتغال عمود

1 ـ تكوين عمود

يتكون عمود ، عموما ، من :

ـ صفيحتين فليزيتين M_1 و M_2 الأولى مغمورة في محلول يحتوي على الكاتيون الموافق $M_1^{n_1+}$ ، والثانية مغمورة في محلول يحتوي على الكاتيون الموافق $M_2^{n_2+}$.



ـ قنطرة أيونية ، تصل المحلولين فيما بينهما .
نسمى M_1 و M_2 الإلكترودان اللذان يكونان قطبي العمود . وسمى المحلولان المحتويان على الكاتيونات $M_1^{n_1+}$ و $M_2^{n_2+}$ بالمحلولين الإلكتروليتين .
يسمى العمود زنك ـ نحاس بعمود دانييل نسبة إلى مخترعه . John Daniell

2 ـ اشتغال العمود

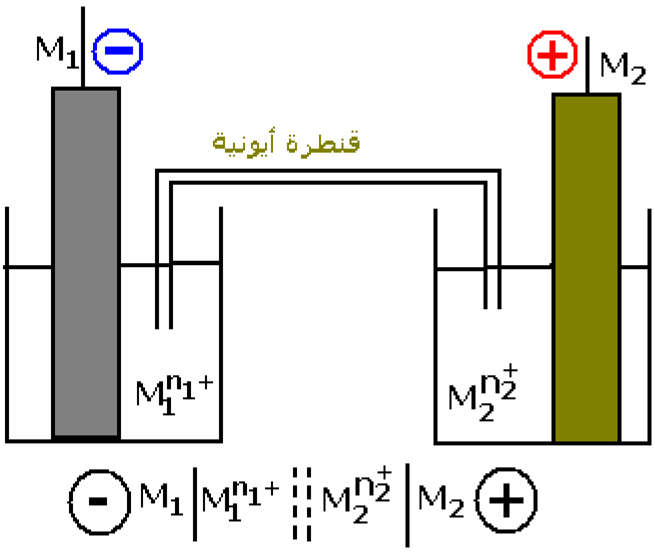
المزدوجتان المتدخلتان خلال اشتغال العمود هما : $M_1^{n_1+}/M_1$ و $M_2^{n_2+}/M_2$ حيث M_1 و M_2 يلعبان دور المختزل .

ـ M_1 المكون للقطب السالب يتأكسد إلى أيونات $M_1^{n_1+}$ حسب نصف المعادلة : $M_1 = M_1^{n_1+} + n_1 e^-$

هذه الأكسدة هي التي تمنح الإلكترونات إلى الدارة الخارجية .

ـ الكاتيون $M_2^{n_2+}$ الموجودة في المحلول الذي غمر فيه الفلز المكون للقطب الموجب M_2 ، يختزل حسب نصف المعادلة التالية :

$$M_2^{n_2+} + n_2 e^- = M_2$$



حيث ترد الإلكترونات اللازمة لهذا الاختزال من الدارة الخارجية أي أنه خلال اشتغال العمود يحدث تفاعل أكسدة واختزال ننمذج معادلته الكيميائية على الشكل التالي :

$$n_2 M_1 + n_1 M_2^{n_2+} \rightarrow n_1 M_2 + n_2 M_1^{n_1+}$$

يمثل هذا العمود بالتبيانة اصطلاحية التالية :

$$\ominus M_1(s) | M_1^{n_1+}(aq) :: M_2^{n_2+}(aq) | M_2(s) \oplus$$

يسمى الإلكترود السالب الذي تحدث على مستواه أكسدة الفلز M_1 ، الأنود .

يسمى الإلكترود الموجب الذي تحدث على مستواه اختزال الكاتيون $M_2^{n_2+}$ ، الكاثود

تسمى المقصورة التي تحتوي على الفلز والكاتيون الموافق له بنصف العمود .

3 ـ مميزات عمود

يتميز العمود مثل كل مولد بالمميزات التالية :
ـ ثنائي قطب ، أي يتوفر على قطب موجب (P) وقطب سالب (N)
ـ قوة كهرمحركة E ويعبر عنها بالفولط
ـ مقاومة داخلية r
يطبق قانون أوم بين مربطي العمود $U_{PN} = E - rI$
* نحدد قطبية العمود وشدة التيار الكهربائي بواسطة أمبيرمتر (النشاط التجريبي الثاني يمكن من قياس شدة التيار الكهربائي المار في العمود I)
* نحدد قطبية العمود والقوة الكهرمحركة بواسطة فولطمتر :

نقيس التوتر بين مربطي العمود عندما لا يمر فيه أي تيار كهربائي ، $U = E - rI$ بما أن $I = 0$ فإن $U = E$ وحسب إشارة التوتر المقاس يمكن من تحديد قطبية العمود .

* يمكن كذلك تحديد القوة الكهرمحركة E والمقاومة الداخلية لعمود من خلال مميزته (أنظر السنة جدع علوم مشترك)

III ـ التطور التلقائي لمجموعة مكونة لعمود .

لقد تم التوصل في النشاط التجريبي (2) أن معادلة اشتغال العمود تكتب على الشكل التالي :

$$Cu^{2+}(aq) + Zn(s) \rightarrow Cu(s) + Zn^{2+}(aq)$$

قيمة ثابتة التوازن المقرونة بهذا التفاعل هي : $K = 4,0.10^{36}$

نحسب خارج التفاعل في الحالة البدئية : $Q_{r,i} = \dfrac{\left[Zn^{2+}(aq)\right]_i}{\left[Cu^{2+}(aq)\right]_i} = \dfrac{C'}{C} = 1$

بما أن $Q_{r,i} < K$

الكهربائية ويتطور هذا التفاعل إلى أن يصل إلى حالة التوازن حيث $Q_{r,i} = K$.

يمكِّن منحى التطور المتوقع من معرفة منحى التفاعلين الممكنين على مستوى الإلكترودين بالنسبة للدارسة التي قمنا بها :

في نصف العمود Cu^{2+}/Cu : $Cu^{2+} + 2e^- = Cu$

في نصف العمود Zn^{2+}/Zn : $Zn = Zn^{2+} + 2e^-$

أي تنتقل الإلكترونات خارج العمود من إلكترود الزنك نحو إلكترود النحاس . ومنه نستنتج أن منحى التيار التيار داخل وخارج العمود .

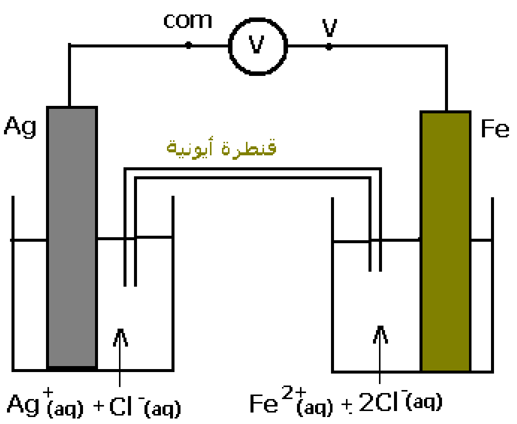
خلاصة :

يكون العمود أثناء الاشتغال ، مجموعة في غير حالة التوازن . (التقدم x يزداد ، وخارج التفاعل Q_r يزداد كذلك و $I \neq 0$)

تتطور المجموعة حسب معيار التطور التلقائي

عند التوازن يكون العمود مستهلَكا أي ليس بإمكانه إنتاج أو توليد التيار الكهربائي ($x = x_{eq}$ و $Q_{r,eq} = K$ أي أن $I = 0$)

تمرين تطبيقي :



ننجز العمود الممثل جانبه :

محلول كلورور الفضة حجمه $V = 50,0m\ell$ وتركيزه المولي $C = 0,20mol/\ell$ ؛ محلول كلورور الحديد II حجمه $V' = 50,0m\ell$ وتركيزه المولي $C' = 0,10mol/\ell$.

القنطرة الأيونية الملحية من محلول مائي لنترات البوتاسيوم $K^+(aq) + NO_3^-(aq)$ ، يشير الفولطملتر إلى توتر سالب .

1 ـ أعط التبيانة الاصطلاحية لهذا العمود .

2 ـ أكتب معادلتي التفاعلين الذين يحدثان على مستوى الإلاكترودين .

3 ـ حدد منحى انتقال مختلف حملة الشحن الكهربائية

4 ـ ما هو دور القنطرة الأيونية ؟

5

IV ـ الدراسة الكمية لعمود .

1 ـ كمية الكهرباء القصوى الممكن تمريرها من طرف عمود .

تعريف :

تساوي كمية الكهرباء القصوى $Q_{\max}$ ، المتدخلة خلال اشتغال مولد كهركيميائي ، القيمة المطلقة للشحنة الكلية للإلكترونات المنتقلة .

$$Q_{\max} = n(e^-).N_A.\left|-e\right| = n(e^-).F$$

نعرف القيمة المطلقة لشحنة مول واحد من الإلكترونات بالفرادي ونرمز له ب F أي أن $1F = N_A.\left|-e\right|$

$$F = 6,02.10^{23} \times 1.6.10^{-19} = 9,65.10^4.C.mol^{-1}$$

(تذكير : نعلم أنه خلال المدة الزمنية Δt يمر من المقطع S لموصل كهربائي يمر فيه تيار كهربائي مستمر ، N إلكترون . شحنة كل إلكترون هي $-e$. مجموع الشحن التي تجتاز المقطع S هي : $N.(-e)$ ، نعرف كمية الكهرباء القصوية التي تجتاز المقطع S خلال المدة الزمنية القصوية $\Delta t_{\max}$ بالعلاقة التالية : $Q_{\max} = \left|N.(-e)\right| = N.e$

إذا انتقلت $n(e^-)$ مول إلكترون خلال $\Delta t_{\max}$ فإن كمية الكهرباء في هذه الحالة ستكون :

$n(e^-) = \dfrac{N}{N_A} \Rightarrow N = n(e^-).N_A$ وبالتالي فستكون العلاقة هي : $Q_{\max} = n(e^-).N_A.\left|-e\right| = n(e^-).F$ (

وحسب تعريف شدة التيار الكهربائي الذي ينتجه العمود خلال المدة الزمنية $\Delta t_{\max}$ ، $Q_{\max} = I.\Delta t_{\max}$

تسمى $Q_{\max}$ كذلك **سعة العمود**

2 ـ حالة تفريغ جزئي .

العمود خزان للطاقة الكهربائية يمكن أن تستهلك هذه الطاقة دفعة واحدة أو في أغلب الحالات تستهلك جزئيا عندما يمرر العمود شحنة كهربائية عبر الدارة خلال مدة زمنية Δt ، دون أن يصل إلى حالة التوازن أي أن التافعل يحدث بتقدم $x < x_f$ ونعبر في هذه الحالة عن كمية الكهرباء الممررة خلال المدة Δt بالعلاقة : $Q = I.\Delta t = n(e^-).F$

3 ـ كميات المادة المتدخلة .

هل يمكن ربط كميات المادة للأنواع المتدخلة في العمود وكمية الكهرباء التي يمررها ؟

تمرين تطبيقي :

لدينا العمود ذو التبيانة الاصطلاحية التالية :

[illegible]

بحيث تتطور المجموعة في المنحى المباشر للمعادلة :

$$2Ag^+(aq) + Cu(s) \rightarrow Ag(s) + Cu^{2+}(aq)$$

يولد العمود خلال المدة $\Delta t = 1,5\min$ ، تيارا شدته $I = 86,0mA$

1 ـ أحسب كمية الكهرباء المتدخلة خلال هذه المدة .

2 ـ أحسب تغير كمية أيونات النحاس II وتغير كمية مادة أيونات الفضة خلال المدة نفسها .

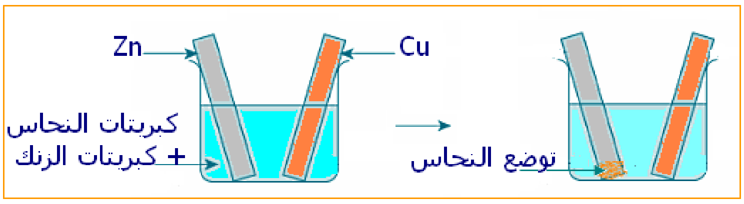
3 ـ استنتج تغير كتلة الفضة التي ستظهر على إلكترود الفضة .

التحولات التلقائية في الأعمدة الكهركيميائية

I. الانتقال التلقائي للإلكترونات

• الانتقال التلقائي المباشر

▪ تجربة: تغمر صفيحة من النحاس و أخرى من الزنك في مزيج من محلولي كبريتات النحاس و كبريتات الزنك حيث: $[Cu^{2+}]_i = [Zn^{2+}]_i$



بعد مدة يلاحظ:

✓ توضع فلز النحاس على صفيحة الزنك،

✓ فقدان المحلول للونه الأزرق.

▪ تفسير:

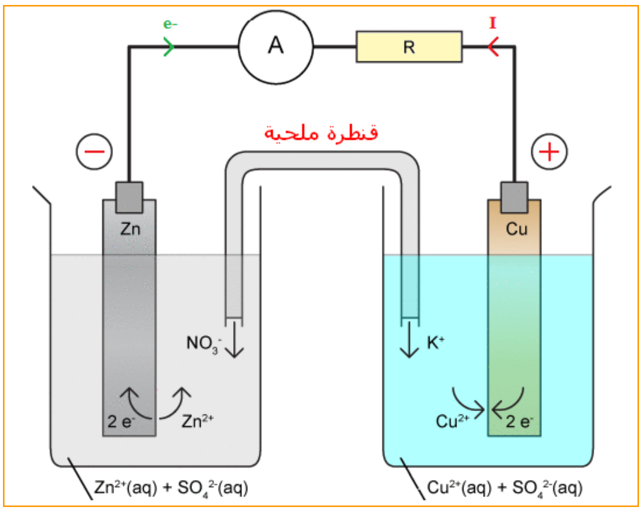
- معادلة التفاعل: $Cu^{2+}{}_{(aq)} + Zn_{(s)} \rightleftarrows Cu_{(s)} + Zn^{2+}{}_{(aq)}$
- ثابتة التوازن: $K = 1,9.10^{37}$
- خارج التفاعل البدئي: $Q_{r_i} = \dfrac{[Zn^{2+}]_i}{[Cu^{2+}]_i} = 1 \quad \leftarrow \quad Q_{r_i} < K$

و باعتبار معيار التطور التلقائي فإن المجموعة تتطور تلقائيا في المنحى المباشر للمعادلة، ما يوافق الملاحظات التجريبية.

تنتقل الإلكترونات تلقائيا و مباشرة من ذرات الزنك (دور مختزل) إلى أيونات النحاس (دور مؤكسد).

• الانتقال التلقائي غير المباشر في عمود

▪ تجربة: ينجز العمود الممثل في الشكل التالي(عمود دانييل)



يلاحظ:

- ✓ إشارة الأمبيرمتر إلى مرور تيار كهربائي منحاه من صفيحة النحاس(القطب+ أو الكاتود) إلى صفيحة الزنك(القطب- أو الأنود) ،
- ✓ تزايد $[Zn^{2+}]$ بينما يتناقص $[Cu^{2+}]$.

▪ تفسير:

يحصل نفس التفاعل السابق.

تنتقل الإلكترونات تلقائيا و بشكل غير مباشر في الدارة الخارجية من فلز الزنك إلى أيونات النحاس عبر صفيحة النحاس. بداخل العمود حملة الشحنة هي الأيونات التي تنتقل في المحلولين و في القنطرة الملحية.

II. العمود الكهركيميائي

• مكونات عمود

تعريف	العمود الكهركيميائي ثنائي قطب يحول طاقة كيميائية إلى طاقة كهربائية، و يتكون من مقصورتين تسميان نصفي العمود كل منهما تحتوي على مؤكسد و المختزل المرافق له. و يصل نصفي العمود قنطرة أيونية(أو ملحية).

• التفاعل عند كل إلكترود

في كل نصف عمود تحدث أكسدة أو اختزال عند الإلكترود (صفيحة).

تعريف	الإلكترود أو الصفيحة التي تحدث عندها الأكسدة هي القطب السالب و تسمى أنودا. الإلكترود أو الصفيحة التي يحدث عندها الاختزال هي القطب الموجب و تسمى كاتودا.

☜ أكسدة ↔ أنود اختزال ↔ كاتود

• التمثيل الاصطلاحي لعمود

يمثل عمود كهركيميائي بالتمثيل الاصطلاحي التالي:

$$\boxed{(-)Red_1 / Ox_1 // Ox_2 / Red_2 (+)}$$

حيث الرمز // يمثل القنطرة الأيونية.

▪ مثال: التمثيل الاصطلاحي لعمود دانييل هو: $(-)Zn / Zn^{2+} // Cu^{2+} / Cu(+)$

• القوة الكهرمحركة لعمود

تعريف	القوة الكهرمحركة لعمود تساوي التوتر بين قطبه الموجب و قطبه السالب عندما لا يشتغل (لا يمر فيه التيار) و تقاس بواسطة فولطمتر ذي مقاومة مرتفعة. استعمال فولطمتر يمكن أيضا من تحديد قطبية العمود.

▪ مثال: القوة الكهرمحركة لعمود دانييل هي: E = 1,1 V

• التطور التلقائي للمجموعة المكونة لعمود

خلال اشتغاله يشكل العمود مجموعة كيميائية في حالة غير حالة التوازن حيث تتطور المجموعة تلقائيا إلى هذه الحالة و عندها يتوقف اشتغاله (عمود مستنفذ أو مستهلك).

$$I \neq 0 \;/\; Q_r < K \longrightarrow I = 0 \;/\; Q_r = K$$

III. كمية الكهرباء و الحصيلة المادية في عمود كهركيميائي

• كمية الكهرباء التي يمنحها عمود

كمية الكهرباء التي يحركها عمود يمنح تيارا كهربائيا شدته I خلال مدة Δt هي: $\boxed{Q = I\,\Delta t}$

• كمية المادة للإلكترونات المتنقلة

$$Q = n(e^-)\cdot N_A \cdot e$$
$$Q = n(e^-)\cdot \mathcal{F}$$

حيث $\mathcal{F}$ ثابتة تسمى الفارادي و هي تساوي كمية الكهرباء التي ينقلها مول واحد من الإلكترونات

$$\mathcal{F} \approx 96\ 500\ C.mol^{-1}$$

نستنتج كمية المادة للإلكترونات المتنقلة: $\boxed{n(e^-) = \dfrac{Q}{\mathcal{F}}}$

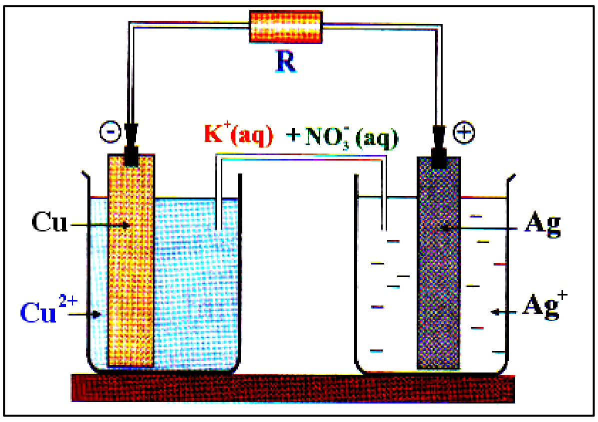
• حصيلة المادة

بمعرفة كمية الكهرباء التي يمنحها عمود يمكن تحديد الحصيلة المادية(كميات المادة المستهلكة أو الناتجة، كتلة توضع........) باستعمال نصف معادلة الأكسدة أو الاختزال و بإنشاء جدول التقدم.

تمارين

تمرين 1

ننجز العمود الممثل في الشكل التالي.



1- أكتب نصف معادلة التفاعل عند كل إلكترود، محددا إن كان الأمر يتعلق بأكسدة أو اختزال.ثم استنتج المعادلة الحصيلة.

2- يمنح العمود تيارا شدته ثابتة تساوي I = 12 mA خلال مدة اشتغاله التي تساوي Δt = 10 h .

2.1- أحسب التقدم النهائي للتفاعل.

2.2- استنتج كتلة الفلز المتوضع.

♦ <u>معطيات</u>: $M(Ag) = 107,9\ g.mol^{-1}$

$M(Cu) = 63,5\ g.mol^{-1}$

$1F = 96\ 500\ C.mol^{-1}$

تمرين 2

نعتبر العمود ذا التبيانة الاصطلاحية التالية: $\ominus Fe_{(s)} / Fe^{2+}_{(aq)} // Cu^{2+}_{(aq)} / Cu_{(s)} \oplus$

كل من الإلكترودين الفلزيتين $Fe_{(s)}$ و $Cu_{(s)}$ مغمورة في الحجم V = 100 ml من محلول الكاتيون الموافق $Fe^{2+}_{(aq)}$ أو $Cu^{2+}_{(aq)}$ تركيزه $\left[Fe^{2+}\right]_i = \left[Cu^{2+}\right]_i = 0,10\ mol.l^{-1}$.

1- مثل شكل هذا العمود مع تسمية مكوناته.

2- أكتب معادلة التفاعل الحاصل خلال اشتغال هذا العمود.

3- قيمة ثابتة التوازن، المتعلقة بهذا التفاعل، هي: $K = 10^{38}$.

3.1- أحسب نسبة التقدم النهائي للتفاعل.

3.2- ماذا تستنتج بخصوص التفاعل؟

4- نشغل هذا العمود في دارة تحتوي على أمبيرمتر مقاومته مهملة، و موصل أومي مقاومته $R = 120\ \Omega$. القوة الكهرمحركة للعمود هي E = 0,78 V و مقاومته الداخلية هي $r = 880\ \Omega$.

4.1- أحسب شدة التيار المار في الدارة.

4.2- حدد كمية الكهرباء القصوى التي يمكن لهذا العمود منحها.

4.3- استنتج مدة اشتغاله.

التحول القسري لمجموعة كيميائية
خاص بالعلوم الرياضية والعلوم الفيزيائية

I ـ التحولات القسرية

1 ـ التحولات التلقائية (تذكير)

يحدث التحول التلقائي لمجموعة كيميائية عندما تتطور المجموعة الكيميائية تلقائيا دون إعطائها أي طاقة من المحيط الخارجي . أي تكون المجموعة في غير حالة التوازن وتتطور تلقائيا من الحالة البدئية نحو حالة التوازن ونعبر عنه بالعلاقة $Q_r = K$.

مثال تطبيقي :

نعتبر تفاعل بين محلول ثنائي البروم $Br_2(aq)$ وفلز النحاس $Cu(s)$ حيث ينتج عنه أيونات النحاس II و أيونات البروم $Br^-(aq)$ حسب المعادلة التالية :

$$Cu(s) + Br_2(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2Br^-(aq)$$

ثابتة التوازن لهذا التفاعل : $K = 1,25.10^{25}$

1 ـ أحسب خارج التفاعل في الحالة البدئية . ماذا تستنتج ؟

خارج التفاعل عند الحالة البدئية هو : $Q_{r,i} = \dfrac{\left[Cu^{2+}\right]_i.\left[Br^-\right]_i^2}{\left[Br_2\right]_i} = 0$

أي أن $Q_{r,i} < K$ وبالتالي فالمجموعة ستتطور في المنحى المباشر ، منحى تكون $Br^-(aq)$ و $Cu^{2+}(aq)$.

2 ـ في حالة ما اعتبرنا محلولا مائيا لبرومور النحاس II فهو يحتوي على أيونات النحاس II $Cu^{2+}(aq)$ و أيونات البرومور $Br^-(aq)$، تكون معادلة التفاعل المتوقعة :

$$Cu^{2+}(aq) + 2Br^-(aq) \rightarrow Cu(s) + Br_2(aq)$$

أحسب ثابتة التوازن K' في هذه الحالة . ماذا تستنتج ؟

ثابتة التوازن هي $K' = \dfrac{1}{K} = 8,3.10^{-26} \simeq 0$ أي أن ثابتة التوازن صغيرة جدا وتساوي تقريبا الصفر أي أن المجموعة توجد في حالة توازن . وبالتالي فإنها لا تتطور تلقائيا .

2 ـ التحولات القسرية .

كيف يمكن أن نجبر أو نقسر مجموعة كيميائية على التطور في المنحى المعاكس لمنحى تطورها التلقائي ؟

أ ـ الدراسة التجريبية : التحليل الكهربائي .

ننجز التركيب التجريب الممثل جانبه والمتكون من أنبوب على شكل U يحتوي على محلولا مكونا من $10m\ell$ من محلول ثنائي البروم $Br_2(aq)$ تركيزه $10mmol/\ell$ و $20m\ell$ من محلول برومور البوتاسيوم تركيزه $1,0mol/\ell$ و $20m\ell$ من محلول كبريتات النحاس تركيزه $1,0mol/\ell$. نغمر في فرعي الأنبوب إلكترودان ، الأول من الغرافيت والثاني من النحاس (خراطة النحاس) . نصل الإلكترودين بقطبي مولد للتوتر المستمر $1,5V$ مركب على التوالي مع أمبير متر بحيث يكون القطب السالب للمولد مرتبطا بإلكترود النحاس والمربط com مرتبط بإلكترود الغرافيت .

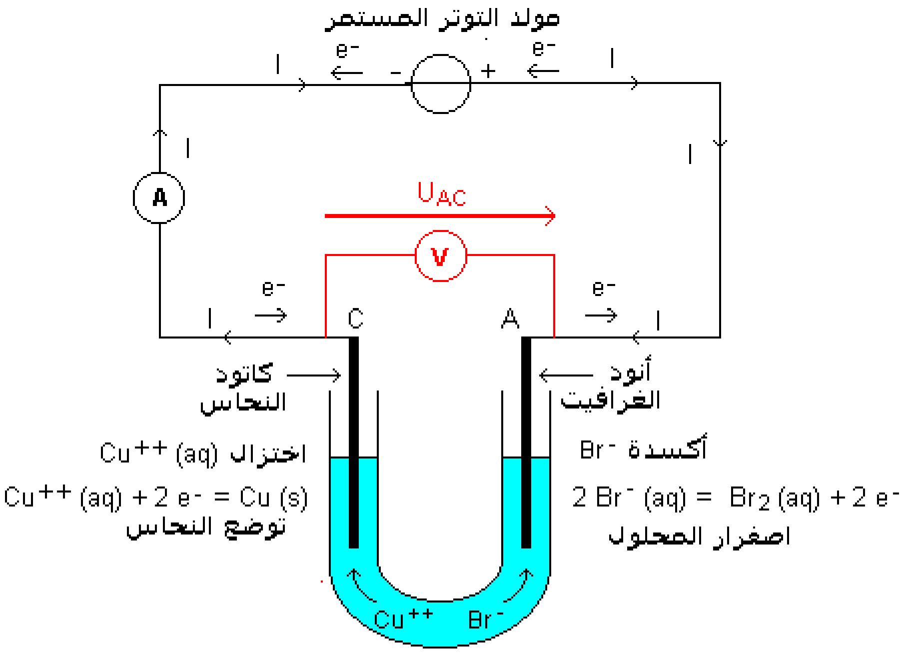
1 ـ عين منحى التيار الكهربائي الذي يفرضه المولد .

يفرض المولد تيارا يمر عبر الأمبير متر من إلكترود النحاس نحو إلكترود الغرافيت .

2 ـ استنتج منحى حملة الشحنات الكهربائية

الإلكترونات : تتحرك في أسلاك الربط وفي الإلكترودين وفق المنحى المعاكس لمنحى التيار الكهربائي أي من إلكترود الغرافيت نحو إلكترود النحاس

الأيونات : تتحرك في المحلول بحيث تتوجه الكاتيونات $(K^+(aq), Cu^{2+}(aq))$ نحو الكاتود المرتبط بالقطب السالب للمولد ، وتتوجه الأنيونات $(SO_4^{2-}(aq), Br^-(aq))$ نحو الأنود المرتبط بالقطب الموجب للمولد .



3 ـ كيف تتطور المجموعة عند مرور تيار كهربائي المفروض من طرف المولد ؟

نلاحظ توضع النحاس واختفاء اللون الأزرق على إلكترود الغرافيت الكاتود ، نفسر ذلك بحدوث اختزال الكاتيونات $Cu^{2+}(aq)$ وذلك باكتساب إلكترونات :

$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- = Cu$$

بجوار إلكترود النحاس الأنود نلاحظ اصفرار المحلول حيث تأكسدت الأنيونات $Br^-(aq)$ وذلك بمنحها الإلكترونات إلى إلكترود الغرافيت حسب المعادلة التالية :

$$2Br^-(aq) = Br_2(aq) + 2e^-$$

وبالتالي فإن التفاعل المحدث عند مرور التيار الكهربائي :

$$Cu^{2+}(aq) + 2Br^-(aq) \rightarrow Cu(s) + Br_2(aq)$$

أي أن **المولد للتوتر المستمر أجبر أو قَسَرَ المجموعة على التطور في المنحى المعا لمنحى تطورها التلقائي . يسمى هذا التحول القسري بالتحليل الكهربائي .**

II ـ الدراسة الكمية للتحليل الكهربائي :

أثناء التحليل الكهربائي تنتقل خلال المدة Δt كمية الكهرباء Q من إلكترود إلى أخرى بواسطة المولد الكهربائي .

إذا كانت شدة التيار الكهربائي المارة في المحلل I ثابتة خلال Δt فإن $Q = I.\Delta t$.

نعلم أن كمية الكهرباء مرتبطة بكمية مادة الإلكترونات المنتقلة من إلكترود إلى أخرى عبر المولد بالعلاقة التالية : $Q = n(e^-).F$ أي أن $n(e^-) = \frac{I.\Delta t}{F}$.

4 ـ في النشاط التجريبي السابق أوجد تعبير كتلة النحاس المتكونة خلال التحليل الكهربائي خلال المدة Δt ، نعتبر أنه خلال المدة الزمنية Δt يمر في الدارة تيار شدته I ثابتة .

ننشئ الجدول الوصفي للتفاعل :

التفاعل الكيميائي		$Cu^{2+}(aq)$ +	$2Br^-(aq)$ →	$Cu(s)$ +	$Br_2(aq)$	
حالة المجموعة	التقدم	كميات المادة				$n(e^-)$
البدئية	0	CV	$C'V'$	0	0	
Δt	x	$CV-x$	$C'V'-x$	x	x	$2x$

حسب جدول التقدم لدينا $n(Cu) = x = \frac{n(e^-)}{2} = \frac{I.\Delta t}{2.F}$

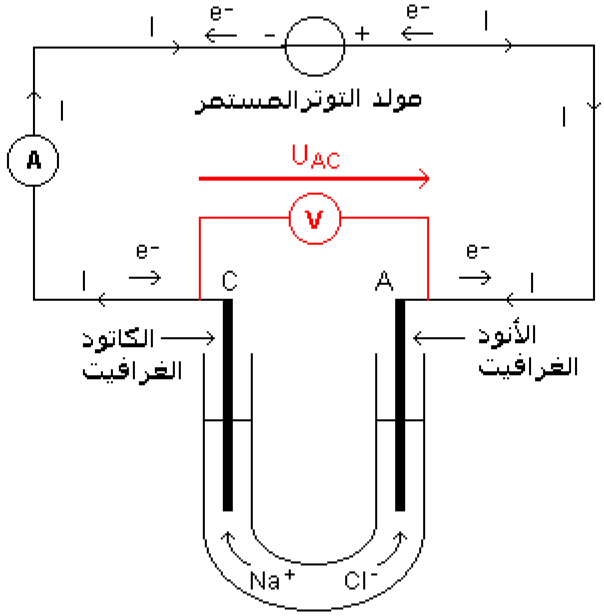
وبالتالي فإن كتلة النحاس المتكون:

$$m(Cu) = n(Cu).M(Cu) = \frac{I.\Delta t}{2F} M(Cu)$$

III ـ التحليل الكهربائي لمحلول كلورور الصوديوم

كيف نتعرف فعلا على النواتج المتكونة عند إنجاز تحليل كهربائي ؟

النشاط التجريبي 2



نملأ أنبوبا على شكل U بمحلول كلورور الصوديوم ، نغمر في كل طرف للأنبوب إلكترودا من الغرافيت ونصل الإلكترودين بقطبي مولد للتوتر المستمر $(3,5V)$ ، فيحدث تطور قسري .

بعد مرور بضع دقائق ، ندخل شريطا من الورق مبللا بالأنديجو في الفرع الذي يوجد فيه الأنود ، فنلاحظ اختفاء لون الأنديجو ، ثم نأخذ في أنبوب اختبار قليلا من المحلول الموجود في فرع الكاثود ونضيف إليه قطرات من الفينول الفتالين ، فنلاحظ أن لونه يصبح ورديا .

1 ــ من خلال جرد الأنواع الكيمائية المتواجدة في المحلول واعتمادا على المزدوجات مختزل/مؤكسد التالية حدد التفاعلات الممكن حدوثها عند كل إلكترود ؟

$$O_2(g)/H_2O(\ell), C\ell_2(g)/C\ell^-(aq)$$

$$H_2O(\ell)/H_2(g), Na^+(aq)/Na(s)$$

ما هي الأنواع المتواجدة في المحلول ؟

الغرافيت (لا يتفاعل) ، الماء ، أيونات الصوديوم Na^+ ، أيونات الكلورور $C\ell^-$

نعلم أنه عند الأنود تحدث أكسدة ، الأنواع الكيميائية التي يمكن أن تلعب دور المختزل هي مختزلات المزدوجات التالية : $O_2(g)/H_2O(\ell), C\ell_2(g)/C\ell^-(aq)$

الأكسدتان الممكن حدوثهما عند الأنود هما :

$$H_2O(\ell) = \frac{1}{2}O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^-$$

$$2C\ell^-(aq) = C\ell_2(g) + 2e^-$$

نعلم أنه عند

المزدوجات التالية :

$$H_2O(\ell)/H_2(g), Na^+(aq)/Na(s)$$

الاختزلان الممكن حدوثهما عند الكاثود هما :

$$Na^+(aq) + e^- = Na(s)$$

$$2H_2O(\ell) + 2e^- = H_2(g) + 2HO^-(aq)$$

2 ــ من الروائز المنجزة ، استنتج النواتج المتكونة فعلا خلال هذا التحليل .

من خلال الملاحظة يتبن أنه على كل إلكترودين انطلاق غاز .

على مستوى الأنود وحسب الرائز أزرق الأنديجو أن الغاز المنطلق يفقد لون هذا الرائز أي أن الغاز هو ثنائي الكلور $C\ell_2$ أي أن التفاعل المحدث هو : $2C\ell^-(aq) = C\ell_2(g) + 2e^-$

عند الكاثود ينطلق غاز ثنائي الهيدروجين H_2 ويدل ظهور اللون الوردي لفينول الفتالين على تكون أيونات الهيدروكسيد وبالتالي فالتفاعل المحدث هو : $2H_2O(\ell) + 2e^- = H_2(g) + 2HO^-(aq)$

3 ــ أثبت المعادلة الحصيلة لهذا التحليل الكهربائي .

$$2H_2O(\ell) + 2C\ell^-(aq) \rightarrow H_2(g) + 2HO^-(aq) + C\ell_2(g)$$

IV تطبيقات التحليل الكهربائي

ـ تحضير وتنقية العديد من الفلزات

ـ تحضير بعض المواد كماء جافيل وأيونات البرمنغنات والماء الأوكسيجيني وثنائي الكلور وثنائي الهيدروجين إلخ ...

ـ إعادة شحن البطاريات السيارات والهواتف المحمولة

1 ـ المركم الرصاصي

يتكون المركم الرصاصي من إلكترودين من الرصاص . أحدهما مغطى بثنائي أوكسيد الرصاص .
المحلول الإلأكتروليتي الذي يغمر فيه هذان الإلكترودان هو خليط من حمض الكبريتيك
$2H^+(aq)+SO_4^{2-}(aq)$ وكبريتات الرصاص II $PbSO_4(s)$.

يمكن للمركم أن يشتغل كمولد ، حيث يمنح الطاقة الكهربائية إلى دارة خارجية وذلك أثناء التطةر التلقائي ، نقول أن المركم يفرغ .

يمكن للمركم أن يشتغل كمستقبل عنما نركب بين مربطيه مولدا يفرض عليه تيارا منحاه مع لمنحى تيار التفريغ ، نقول أن المركم يشحن .

معادلة التفاعل التي تحدث في مركم رصاصي :

حالة الاشتغال كمولد :

عند القطب الموجب للمركم يحدث الاختزال ذو المعادلة التالية :

$$PbO_2(s)+SO_4^{2-}(aq)+4H^+(aq)+2e^-=PbSO_4(s)+2H_2O(\ell)$$

عند القطب السالب للمركم تحدث أكسدة :

$$Pb(s)+SO_4^{2-}(aq)=PbSO_4(s)+2e^-$$

تتطور المجموعة حسب المنحى المباشر لمعادلة التفاعل :

$$PbO_2(s)+2SO_4^{2-}(aq)+4H^+(aq)+Pb(s)\rightarrow 2PbSO_4(s)+2H_2O(\ell)$$

في حالة الاشتغال كمستقبل :

في حالة تفريغ المركم يمكن شحنه وذلك بتركيبه مع مولد للتوتر المستمر يفرض تيارا في المنحى المعاكس الملاحظ أثناء التفريغ . في هذه الحالة يكون المركم عبارة عن محلل كهربائي يستقبل الطاقة فتتطور المجموعة نحو المنحى المعاكس لمنحى التطور التلقائي .

$$2PbSO_4(s)+2H_2O(\ell)\rightarrow PbO_2(s)+2SO_4^{2-}(aq)+4H^+(aq)+Pb(s)$$

ملحوظة :

2 ـ التحولات التلقائية والتحولات القسرية في عالم الأحياء

ـ التحول التلقائي المرافق للتنفس .

أنه سيرورة بيولوجية معقدة ، تحدث خلالها عدة تحولات تلقائية يتدخل فيها ثنائي الأوكسيجين استهلاك الغليكوز في وسط حيهوائي وفق التفاعل ذي المعادلة :

$$C_6H_{12}O_6(aq)+6O_2(g)\rightarrow 6CO_2(g)+6H_2O(\ell)$$

وهو تحول تلقائي في المنحى المباشر ، ناشر للحرارة ويساهم خاصة في الحفاظ على درجة حرارة جسم الانسان في حدود 37°C ، وذلك بتحول الطاقة المتوفرة في الطعام إلى الطاقة اللازمة ليقوم الجسم بوظائفه بواسطة تفاعل كيميائي يحصل في كل خلية من الجسم
في عالم الأحياء .

ـ التحول القسري المرافق للتركيب الضوئي .

يمكّن التركيب الضوئي في النباتات الكلورفيلية ، من إنتاج السكريات وثنائي الأوكسيجين انطلاقا من ثنائي أوكسيد الكربون والماء المتوفرين في الغلاف الجوي . ويتم ذلك وفق تفاعل قسري بفضل الطاقة الواردة من أشعة الشمس .

$$6CO_2(g)+6H_2O(\ell)\rightarrow C_6H_{12}O_6(aq)+6O_2(g)$$

التحولات الكيميائية القسرية

I. التحول القسري لمجموعة كيميائية

• التحول التلقائي أو غير التلقائي

▪ تجربة 1:

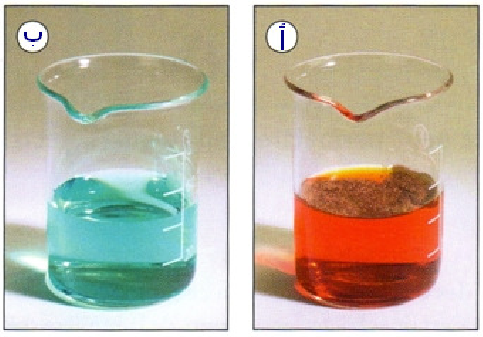
يغمر مسحوق أو خراطة النحاس في ماء البروم(أ).

يتغير لون المحلول في الحالة النهائية (ب).

المعادلة الحصيلة للتفاعل هي:

$$Cu_{(s)} + Br_{2(aq)} \rightleftarrows Cu^{2+}_{(aq)} + 2Br^{-}_{(aq)}$$

تتطور المجموعة الكيميائية <u>تلقائيا</u> في المنحى المباشر نحو حالة التوازن.



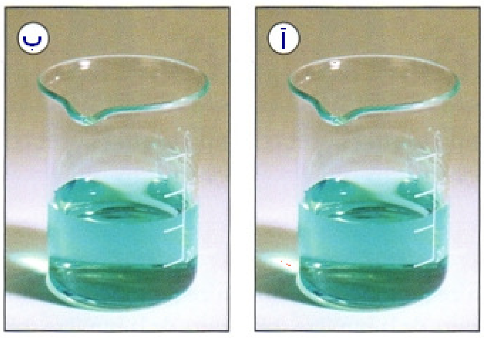
▪ تجربة 2:

يمزج محلول مائي لكبريتات النحاس و محلول مائي لبرومور الصوديوم(أ)

لا يتغير لون المحلول في الحالة النهائية (ب)

لا يحصل أي تفاعل بين أيونات النحاس و أيونات البرومور:

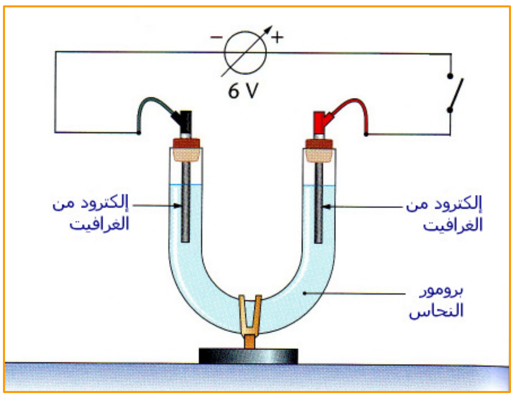
المجموعة <u>لا تتطور تلقائيا</u> في المنحى المعاكس.

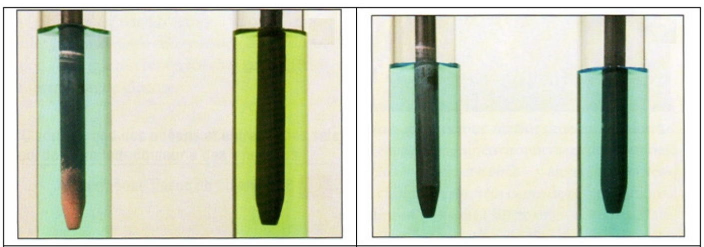


• التحول القسري

خلال تطبيق توتر كهربائي بين الإلكترودين:

- يتكون توضع أحمر لفلز النحاس على الإلكترود المرتبط بالقطب السالب للمولد.
- يظهر لون برتقالي للبروم بجوار الإلكترود الآخر.





المجموعة الكيميائية قبل تمرير التيار | المجموعة الكيميائية بعد تمرير التيار

المعادلة الحصيلة للتفاعل هي:

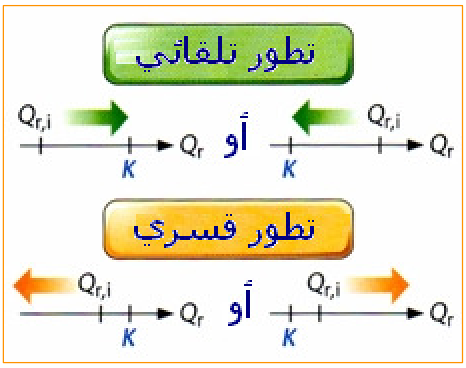
$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2Br^{-}_{(aq)} \rightleftarrows Cu_{(s)} + Br_{2(aq)}$$

تتطور المجموعة الكيميائية قسريا في المنحى المعاكس للمنحى التلقائي.

تعريف

بمنحها طاقة يمكن إجبار مجموعة كيميائية على التطور قسريا في المنحى المعاكس لمنحى التطور التلقائي.

على عكس التحول التلقائي خلال تحول قسري يبتعد خارج التفاعل عن ثابتة التوازن.



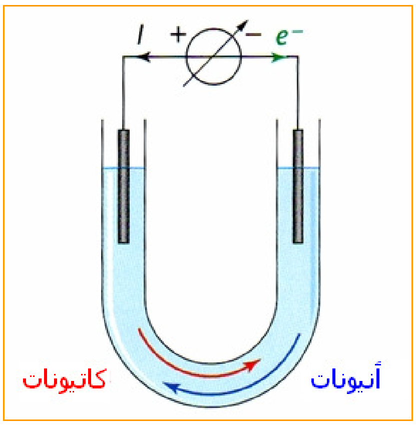
I. التحليل الكهربائي

• تعريف التحليل الكهربائي

تعريف

التحليل الكهربائي تحول قسري ناتج عن تمرير تيار كهربائي يفرضه مولد في محلول. يمنح المولد الطاقة الكهربائية اللازمة لإجبار المجموعة على التطور في المنحى المعاكس للمنحى التلقائي.

• حركة حملة الشحنة



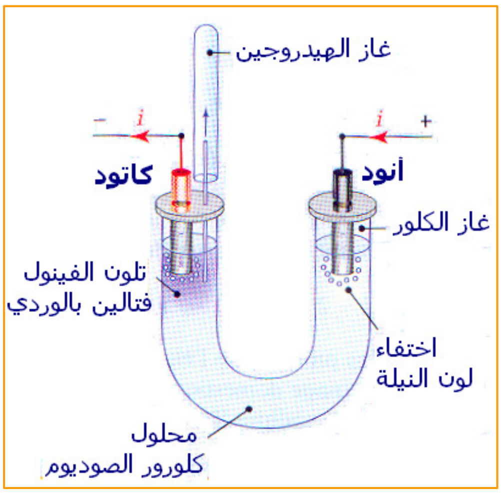
• التفاعل عند كل إلكترود

خلال تحليل كهربائي:

- تحدث أكسدة بجوار الأنود و هو الإلكترود المرتبط بالقطب الموجب للمولد،
- و يقع اختزال بجوار الكاتود و هو الإلكترود المرتبط بالقطب السالب للمولد.

- مثال لتحليل كهربائي

نعتبر التحليل الكهربائي لمحلول مائي لكلورور الصوديوم.



- تجربة:
  - ✓ بجوار الأنود يتصاعد غاز الكلور (الذي يزيل لون ماء النيلة الأزرق)
  - ✓ بجوار الكاتود يتصاعد غاز الهيدروجين مع تكون أيونات الهيدروكسيد (التي تغير لون الفينول فتالين إلى الوردي)

- تعليل:

- جرد الأنواع الكيميائية :

إلكترودا الغرافيت (نوع لا يتفاعل)، الماء، الأيونات Na^+ و الأيونات $C\ell^-$

- الأنواع القابلة للأكسدة عند الأنود:

H_2O و $C\ell^-$ مختزلان ينتميان على التوالي للمزدوجتين التاليتين: O_2/H_2O و $C\ell_2/C\ell^-$

- الأنواع القابلة للاختزال عند الكاتود:

H_2O و Na^+ مؤكسدان ينتميان على التوالي للمزدوجتين التاليتين: H_2O/H_2 و Na^+/Na

- المعادلات الكيميائية:

- نصول ماء النيلة عند الأنود يدل على تكون غاز الكلور إذن النوع الذي تأكسد هو $C\ell^-$ حسب نصف المعادلة التالية: $2Cl^- \rightleftarrows Cl_2 + 2e^-$
- تغير لون الفينول فتالين إلى الوردي عند الكاتود يدل على تكون أيونات الهيدروكسيد كما ينطلق غاز الهيدروجين إذن النوع الذي اختزل هو الماء حسب نصف المعادلة التالية:

$$2H_2O + 2e^- \rightleftarrows H_2 + 2HO^-$$

- المعادلة الحصيلة للتحليل الكهربائي هي:

$$2H_2O_{(l)} + 2Cl^-_{(aq)} \rightleftarrows Cl_{2(g)} + H_{2(g)} + 2HO^-_{(aq)}$$

- كمية الكهرباء و حصيلة المادة خلال تحليل كهربائي

خلال تحليل كهربائي مدته Δt تحقق كمية الكهرباء التي تجتاز مقطعا من الدارة العلاقتين التاليتين:

$$\boxed{Q = n(e^-)\cdot \mathcal{F}} \quad \text{و} \quad \boxed{Q = I\,\Delta t}$$

حيث I شدة التيار الذي يفرضه المولد و $n(e^-)$ كمية المادة للإلكترونات المتنقلة و $\mathcal{F}$ ثابتة فارادي:

$$\mathcal{F} \approx 9{,}65\cdot 10^4\ C\cdot mol^{-1}$$

- تطبيقات التحليل الكهربائي
  - ✓ تحضير العديد من الفلزات و تنقيتها من الشوائب،
  - ✓ تحضير بعض المواد كماء جافيل و ثنائي الكلور و الصودا....
  - ✓ الطلاء الفلزي (بالفضة أو بالقصدير أو بالكروم.....)
  - ✓ المركم: هو عمود قابل لإعادة شحنه (بطارية) .

مثال:

في مركم الرصاص الأنود إلكترود من الرصاص(Pb)و الكاتود إلكترود من الرصاص مغطاة بأكسيد الرصاص (PbO_2) أما الإلكتروليت فهو محلول مركز لحمض الكبريتيك ($2H^+ + SO_4^{2-}$)

المزدوجتان المتدخلتان هما: PbO_2 / Pb^{2+} و Pb^{2+}/Pb

- أثناء اشتغاله كمولد(تفريغ) يحدث تحول تلقائي معادلته الحصيلة:

$$PbO_2 + 4H^+ + 2SO_4^{2-} + Pb \rightleftarrows 2PbSO_4 + 2H_2O$$

- أثناء اشتغاله كمحلل كهربائي(شحن)يحدث تحول قسري معادلته:

$$2PbSO_4 + 2H_2O \rightleftarrows PbO_2 + 4H^+ + 2SO_4^{2-} + Pb$$

تمارين

تمرين 1

ينجز التحليل الكهربائي ليودور الزنك $(Zn^{2+} + 2I^-)$. يلاحظ عند أحد الإلكترودين توضع رمادي للزنك $Zn_{(s)}$ و عند الآخر ظهور لون أصفر ناتج عن تكون اليود $I_{2(aq)}$.

1- أكتب معادلة التفاعل الحاصل عند كل إلكترود مسميا هذا الأخير.
2- استنتج المعادلة الحصيلة للتفاعل.
3- يمرر تيار كهربائي شدته $I = 0,30\ A$ خلال المدة $\Delta t = 2\ h$.
3.1- أحسب كمية مادة اليود الناتج.
3.2- ما هي كتلة الزنك المتوضع؟

♦ معطيات: $M(Zn) = 65,4\ g.mol^{-1}$ / $F = 96\ 500\ C.mol^{-1}$

تمرين 2

على المستوى الصناعي يحضر فلز الكادميوم $Cd_{(s)}$ بواسطة التحليل الكهربائي لمحلول مائي لكبريتات الكادميوم $(Cd^{2+}_{(aq)} + SO^{2-}_{4(aq)})$ مع حمض الكبريتيك $(2H^+_{(aq)} + SO^{2-}_{4(aq)})$.

الكاتود صفيحة من الألمنيوم $Al_{(s)}$، و الأنود صفيحة من الرصاص $Pb_{(s)}$.

1- أكتب معادلات التفاعلات التي يمكن أن تحدث عند كل إلكترود.
2- في الواقع، خلال هذا التحليل الكهربائي، يلاحظ توضع فلزي على الكاتود، بينما يتصاعد غاز عند الأنود.
2.1- حدد نواتج هذا التحليل الكهربائي.
2.2- أكتب المعادلة الحصيلة للتفاعل.
3- خلال هذا التحليل تبقى شدة التيار ثابتة و تساوي $I = 25,0\ kA$.
أحسب كتلة الفلز المتوضع بعد المدة $\Delta t = 12\ h$ من التحليل الكهربائي.

♦ معطيات: $M(Cd) = 112,4\ g.mol^{-1}$ / $F = 96\ 500\ C.mol^{-1}$

المزدوجات مختزل/ مؤكسد للأنواع الكيميائية المتواجدة: $Al^{3+}_{(aq)}/Al_{(s)}$ ؛ $Pb^{2+}_{(aq)}/Pb_{(s)}$ ؛ $Cd^{2+}_{(aq)}/Cd_{(s)}$ ؛
$O_{2(g)}/H_2O_{(l)}$ ؛ $H^+_{(aq)}/H_{2(g)}$ ؛ $SO^{2-}_{4(aq)}/SO_{2(g)}$ ؛ $S_2O^{2-}_{8(aq)}/SO^{2-}_{4(aq)}$.

تفاعلات الأسترة والحلمأة
Réaction d’estérification et d’hydrolyse

I ـ الكحولات والأحماض الكربوكسيلية

1 ـ الكحولات

ـ تتميز جزيئة الكحولات المجوعة المميزة $-OH$ مرتبطة بمجموعة ألكيلية .

الصيغة العامة للكحول هي : $R-OH$ بحيث أن $R-$ جدر ألكيلي .

هناك ثلاثة أصناف من الكحولات :

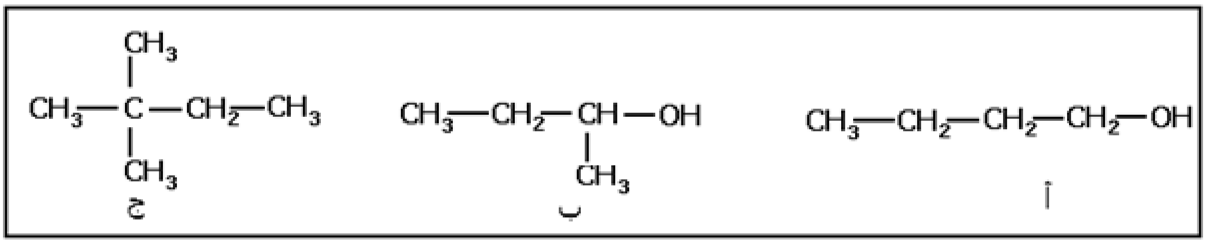
الكحول الأولي : $R-CH_2-OH$

الكحول الثانوي : $R-CR'H-OH$

الكحول الثالثي : $R-CR'R''-OH$

ـ تسمية الكحول : يسمى الكحول باسم الألكان الموافق له مع إضافة اللاحقة ـ أول (ol-) إلى نهاية الاسم مسبوقة برقم يدل على موضع الكربون الوظيفي في السلسلة الكربونية .

تمرين تطبيقي :



صنف الكحولات التالية واعط أسمائها :

2 ـ الأحماض الكربوكسيلية

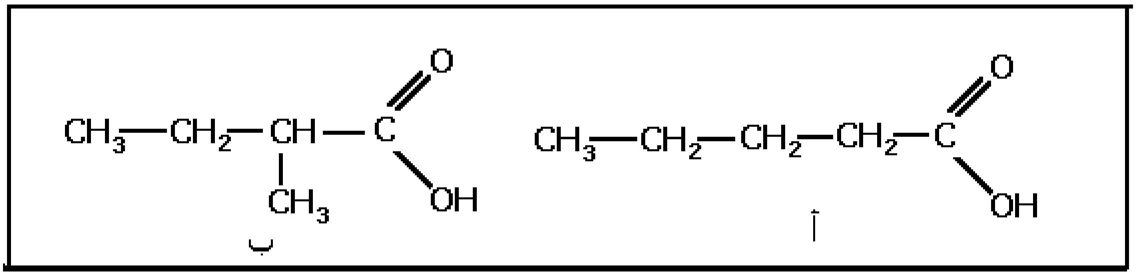
يحتوي الحمض الكربوكسيلي على المجموعة المميزة $-COOH$

الصيغة العامة لحمض كربوكسيلي هي $R-COOH$

تسمية الأحماض الكربوكسيلية : يتركب اسم حمض كربوكسيلي من كلمة حمض متبوعة باسم الألكان الذي له نفس الهيكل الكربوني مع إضافة اللاحقة ويك (oique)إلى نهاية الاسم .

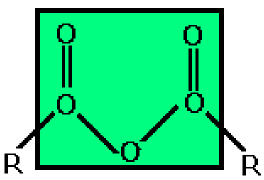
تمرين تطبيقي 2

أعط أسماء الأحماض الكربوكسيلية التالية :



II ـ أندريدات الحمض ـ الإسترات .

1 ـ أندريد الحمض



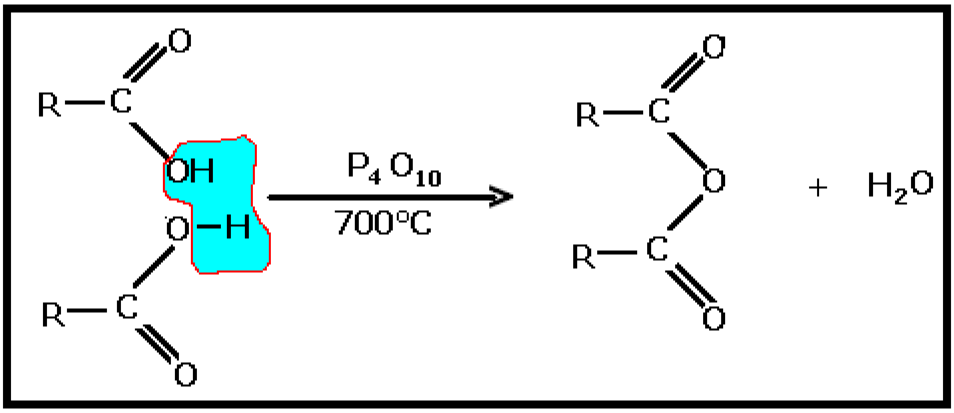
تحتوي جزيئة أندريد الحمض على المجموعة المميزة : $-CO-O-CO-$

الصيغة العامة لأندريد الحمض هي : $R-CO-O-CO-R$

كيفية الحصول على أندريد الحمض :

تسخين الحمض الكربوكسيلي ، عند درجة الحرارة $700°C$ وبوجود مزيل قوي للماء (أوكسيد الفوسفور) نحصل على أندريد الحمض ، ويتم هذا التفاعل

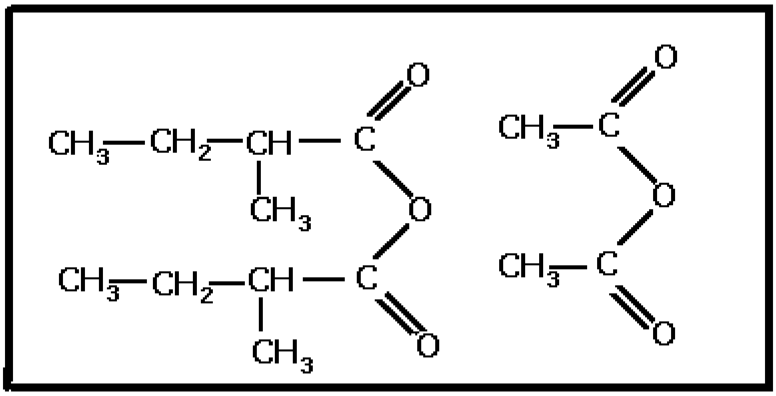
بحذف جزيئة الماء بين جزيئتين للحمض الكربوكسيلي .
معادلة التفاعل تكتب بصفة عامة على الشكل التالي :



تسمية أندريدات الحمض :
يسمى أندريد الحمض باسم الحمض الكربوكسيلي الموافق ، مع تعويض كلمة حمض بكلمة أندريد .

تمرين تطبيقي :

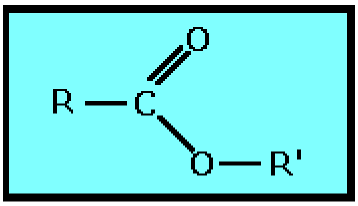
أعط أسماء اندريدات الحمض التالية :



2 ـ الإسترات

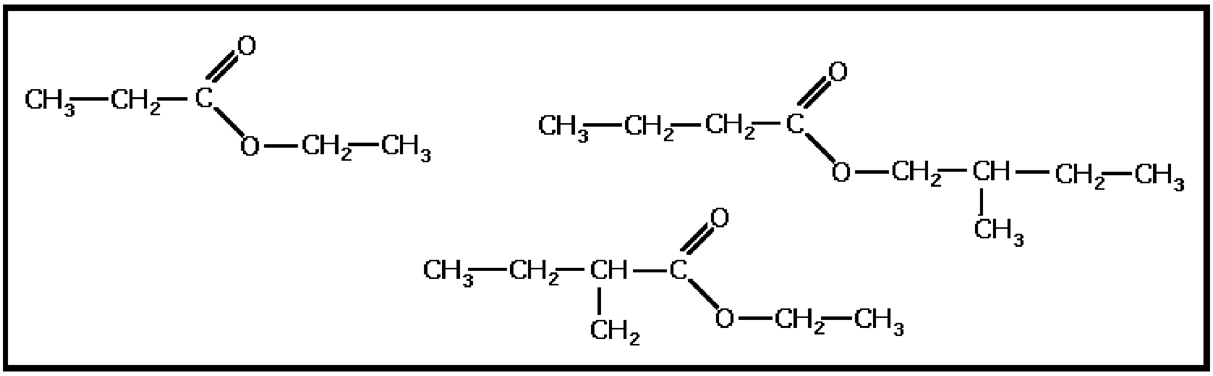
تضم جريئة الإستر المجموعة المميزة :

الصيغة العامة للإستر هي :



حيث R مجموعة ألكيلية أو ذرة هيدروجين ويمثل R' قطعا مجموعة ألكيلية .
تسمية الاسترات :
يتركب اسم الاستر من جزئين :
الجزء الأول يشتق من اسم الحمض الكربوكسيلي بتعويض اللاحقة "ويك" باللاحقة "وات"
الجزء الثاني يوافق المجموعة الألكيلية المرتبطة بدرة الأوكسيجين .

تمرين تطبيقي :



3 ـ تصنيع الاسترات

للإسترات دور كبير في تكوين العطور ، لأنها مركبات ذات رائحة معطرة وقابلة نسبيا للتطاير

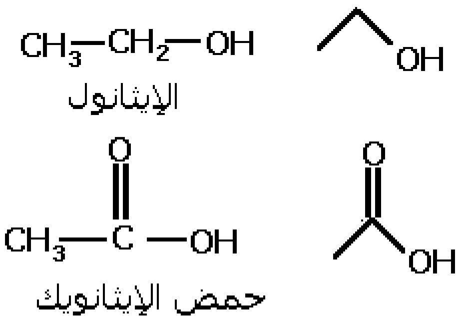
دراسة تجريبية : تصنيع إيثانوات الإثيل .

نصب في دورق $50m\ell$ من حمض الإيثانويك و $5m\ell$ من الإيثانول ونضيف إليه بعض قطرات من حمض الكبريتيك بحذر .

نسد الدورق بمبرد هوائي ، ونضعه في حمام مريم درجة حرارته $80°C$ لمدة عشر دقائق تقريبا .

نصب محتوى الدورق في كأس مخروطية ، تحتوي على ماء مالح ، فنشم رائحة لم تكن موجودة لحظة مزج المتفاعلين ، ويظهر ناتج غير قابل للذوبان في الماء .

1 ـ أكتب الصيغ نصف المنشورة وأعط الكتابة الطبولوجية لكل من حمض الإيثانويك والإيثلنول .

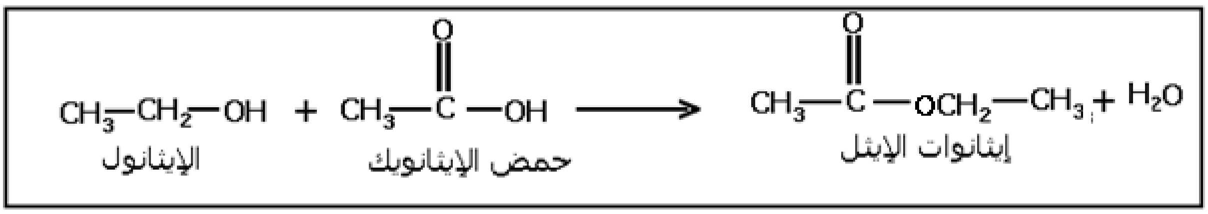


2

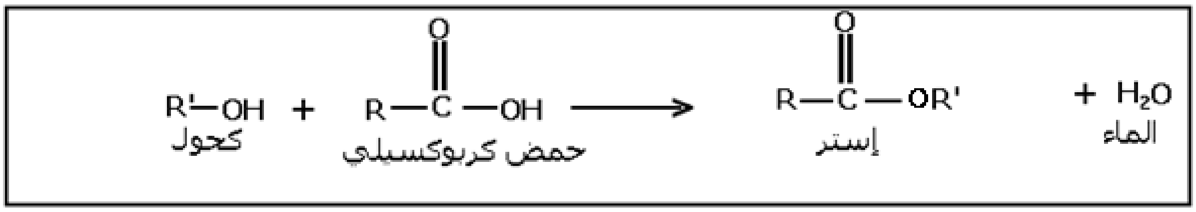
معادلته الكيميائية .

لقد حدث تفاعل كيميائي أدى إلى ناتج غير قابل للذوبان في الماء المالح وذي رائحة مميزة للإسترات إذن فهو إستر اسمه لإيثانوات الإيثل التفاعل يسمى بتفاعل الأسترة .

تكتب معادلته الكيميائية :



بصفة عامة ، الأسترة هي التفاعل بين حمض كربوكسيلي وكحول ويؤدي إلى تكون إستر والماء .



4 ـ حلمأة إستر

نشاط التجريبي 2 : تسخين خليط مكون من إثانوات الإثيل والماء .

نصب في حوجلة صغيرة ، $10m\ell$ من الماء المقطر ، ونضيف إليه $10m\ell$ من إيثانوات الإيثل وبعض قطرات حمض الكبريتيك .

بعد تحريك الخليط نقيس pH فنجد أن $pH = 7$ نثبت مبردا رأسيا على فوهة الحوجلة ، ثم نضع هذه الأخيرة في مسخن الحوجلة

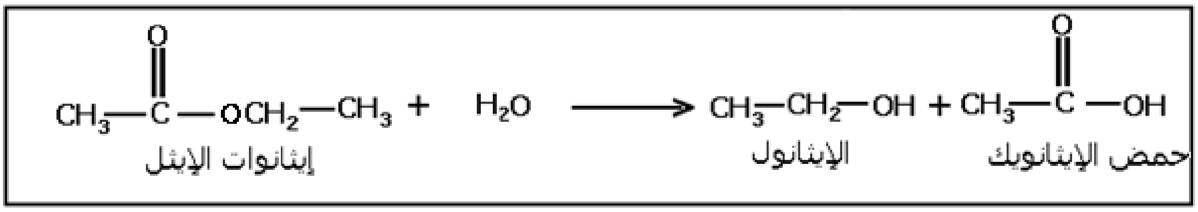
بعد تبريد الخليط ، نلاحظ أن $pH = 5$.

1 ـ على ماذا يدل تغير ال pH الملاحظ ؟

pH

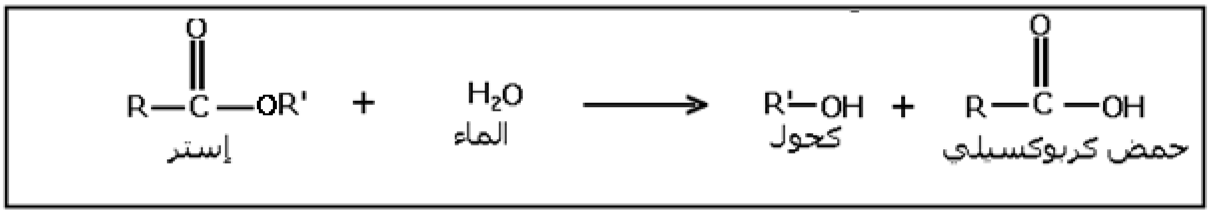
2 ـ ما هو التفاعل الذي حدث بين الماء و الإستر ؟

هناك تفاعل بين إيثانوات الإيثل (إستر) والماء وناتج هذا التفاعل هو حمض الإيثانويك حسب المعادلة الكيميائية التالية :



يسمى هذا التفاعل المعاكس لتفاعل الأسترة ، تفاعل الحلمأة .

بصفة عامة يعبر عن تفاعل حلمأة إستر بالمعادلة :



III ـ الدراسة التجريبية لحالة توازن الأسترة والحلمأة

1 ـ مميزات تفاعل الأسترة

نشاط تجريبي 3 : إبراز مميزات تفاعل الأسترة

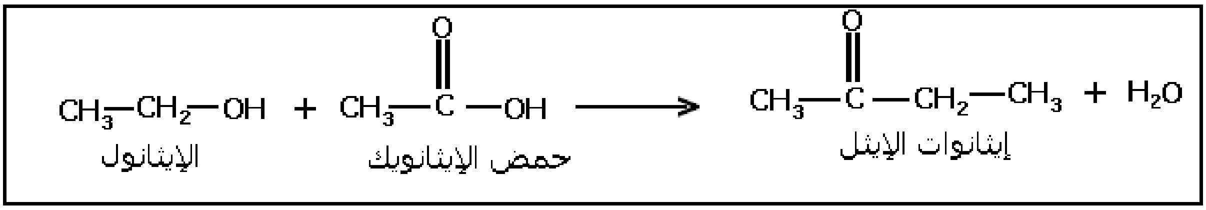
في أواخر القرن التاسع عشر قام العالم برتولو وتلميذه بيان دويان جيل بدراسة تفاعل أسترة مختلف الأحماض والكحولات .

في سنة 1862 م قام برتولو بدراسة منهجية للتفاعل بين حمض الإيثانويك والإيثانول ، وأبرز من خلالها تواجد تفاعلين عكوسين يؤديان إلى توازن كيميائي .

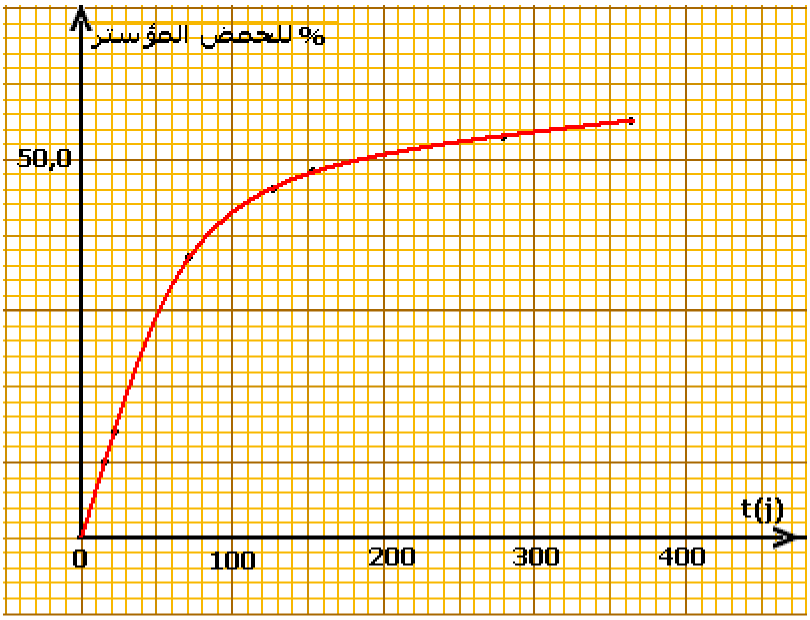
فيما يلي نرض وصف مبدأ التجارب المنجزة من طرف برتولو وتلميذه .
ــ إنجاز خليط متساوي المولات لحمض الإيثانويك والإيثانول .
ــ توزيع الخليط بكميات متساوية على عدة حبابات (أنابيب محكمة السد) ووضعها في حمام مريم درجة حرارته $20°C$ ، عند اللحظة $t=0$.
ــ إخراج ، عند اللحظة t ، حبابة وتبريدها ومعايرة محتواها بواسطة محلول هيدروكسيد الصوديوم بوجود فينول الفتالين ، وذلك لتحديد كمية الحمض المتبقي .
يعطي الجدول التالي النتائج التي حصل عليه برتولو وبيان دوسان جيل :

المدة : $t(jours)$	15	22	70	128	154	277	386
نسبة الحمض المؤستر	10,0	14,0	37,3	46,8	48,1	53,7	55,0

استثمار
أكتب معادلة تفاعل الأسترة الذي أنجزه برتولو زتلميذه .



2 ــ أرسم المبيان الممثل للنسبة المئوية للحمض المِستر بدلالة الزمن .



3 ــ ما هي مميزات تفاعل الأسترة ؟
ــ الأسترة تفاعل بطيء
ــ تؤول النسبة المئوية للحمض المؤستر نحو قيمة حدية أصغر من 100% أي لأن تفاعل الأسترة ، تفاعل محدود (غير كلي).

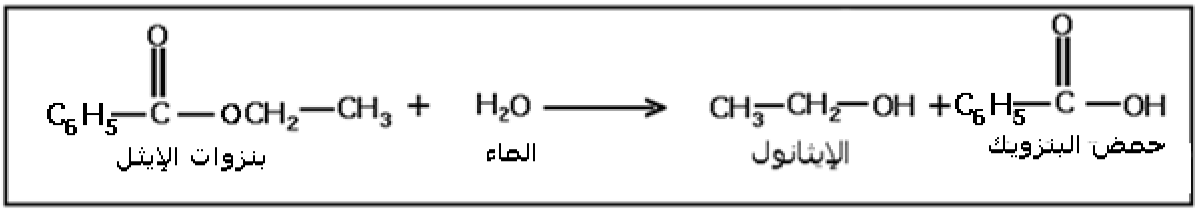
2 ــ ممزات تفاعل الحلمأة

نشاط تجريبي 4 : إبراز مميزات تفاعل الحلمأة

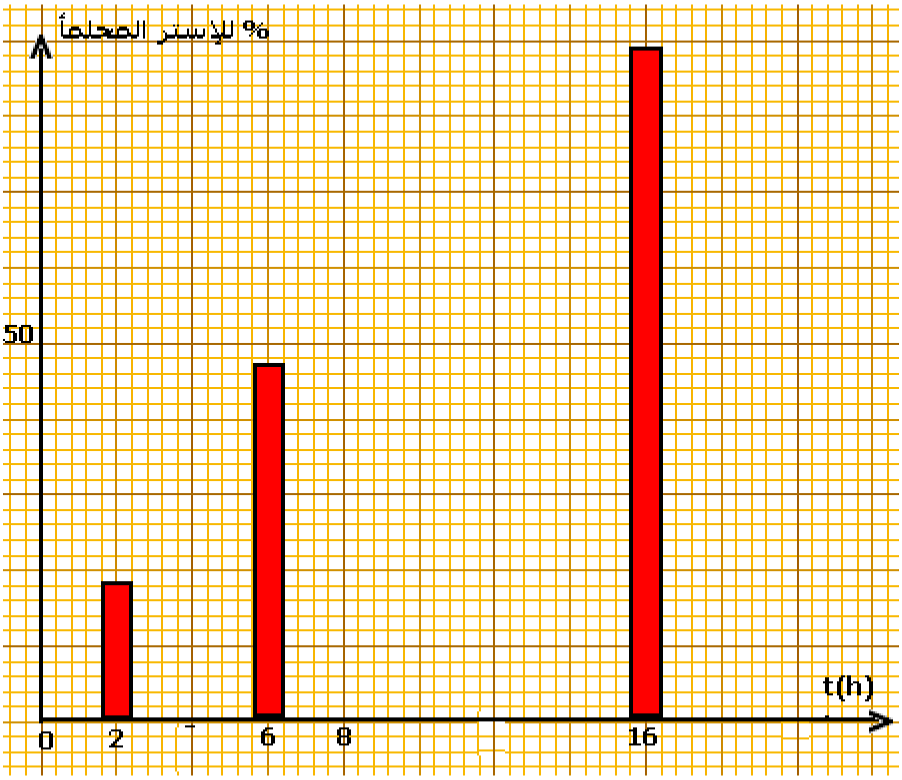
لدراسة تفاعل الحلمأة اتبع الكيميائيان نفس البروتوكول التجريبي السابق :
ــ تحضير خليط يتكون من مول واحد من بنزوات الإيثل $C_6H_5COOC_2H_5$ و 83 مولا من الماء .
ــ توزيع الخليط بكميات متساوية على عدة حبابات (أنابيب محكمة السد) ووضعها في حمام مريم درجة حرارته $20°C$ ، عند اللحظة $t=0$.
ــ إخراج ، عند اللحظة t ، حبابة وتبريدها ومعايرة محتواها بواسطة محلول هيدروكسيد الصوديوم بوجود فينول الفتالين ، وذلك لتحديد كمية الحمض المتكون خلال الحلمأة
يعطي الجدول النسبة المئوية للإستر المحلمأ عند $200°C$ بدلالة الزمن :

المدة $t(h)$	2	6	16
% للإستر المحلمأ	18,2	47,0	88,8

1 ـ أكتب معادلة تفاعل حلمأة بنزوات الإثيل $C_6H_5COOC_2H_5$.



2 ـ مثل بواسطة المخطط المضلعي ، النسبة المئوية للإستر المحلمأ بدلالة الزمن



يمثل المخطط المضلعي النسبة المئوية للإستر المحلمأ عند درجة حرارة $200°C$

3 ـ ما هي مميزات تفاعل الحلمأة ؟

ـ تفاعل الحلمأة تفاعل بطيء .

4 ـ حدد نسبة التقدم النهائي τ لتفاعل الحلمأة .

يحتوي الخليط في الحالة البدءية على $1mol$ من بنزوات الإيثل و $83mol$ من الماء ، التقدم الأقصى للتفاعل هو : $x_{\max} = 1mol$ لكن الإستر المحلمأ لم يتجاوز $88,8\%$ أي أن نسبة التقدم هي :

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\max}} = \frac{0,888}{1} = 0,888$$

أي أن تفاعل الحلمأة تفاعل غير كلي فهو محدود .

3 ـ التوازن أسترة ـ حلمأة

لنبين أن تفاعل الأسترة وتفاعل الحلمأة يؤديان إلى توازن كيميائي :

تفاعل الأسترة : تكون سرعة التفاعل في البداية كبيرة جدا لأن تركيزي المتفاعلين كبيران خلال التفاعل تتناقص السرعة نتيجة استهلاك المتفاعلين

والماء المتكونين بسرعة تتزايد تدريجيا نتيجة تزايد تركيزي الماء والاستر المتكونين إلى أن تصبح

خلاصة :

ـ تفاعل الأسترة وتفاعل الحلمأة تفاعلان متزامنان يحدثان في منحيين متعاكسين ويؤديان معا إلى حالة توازن كيميائي .

$$R-COOH + R'-OH \rightleftarrows R-COO-R' + H_2O$$

ـ عندما يصبح للأسترة والحلمأة ، السرعة نفسها ، تكون المجموعة مقر توازن كيميائي يتميز بالثابتة :

$$K = \frac{[RCOOR']_{éq}\,[H_2O]_{éq}}{[RCOOH]_{éq}\,[R'OH]_{éq}}$$

ملحوظة : لا يعتبر الماء في تفاعلات الأسترة والحلماء كمذيب وهذا ما يجب الانتباه إليه خلال حساب خارج التفاعل .

4 ـ التحكم في تفاعل الأسترة والحلمأة

تفاعل الأسترة وتفاعل الحلمأة تفاعلان بطيئين . ما هي العوامل التي تتحكم في سرعتهما ؟

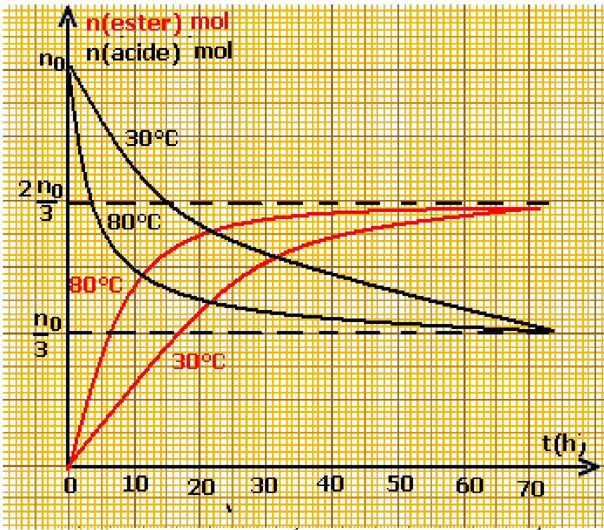
4 ـ 1 تأثير درجة الحرارة

نشاط تجريبي 5 : تأثير درجة الحرارة .

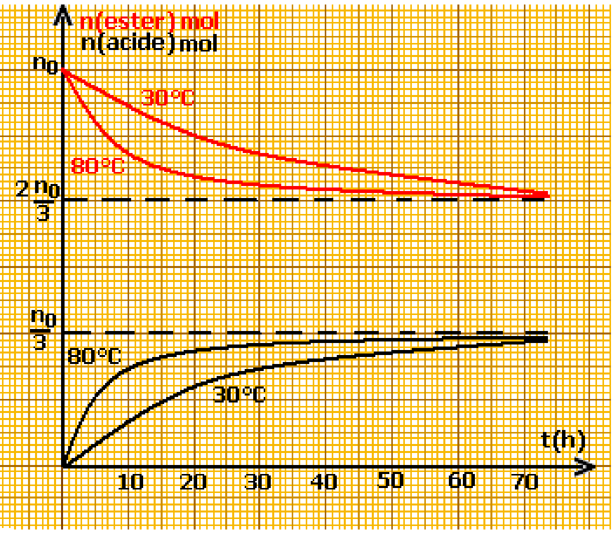
يمكن التحكم في سرعة تفاعل كل من الاسترة والحلمأة بتغيير درجة حرارة الخليط التفاعلي نتتبع تجريبيا عند درجة حرارة مختلفتين $\theta_1 = 30°C$ و $\theta_2 = 80°C$

تطور خليط متساوي المولات لحمض الإيثانويك والإيثانول (n_0 مول من الحمض و n_0 من الكحول) فنحصل على المبيان (1). (على اليسار)

تطور خليط متساوي المولات لإيثانوات الإثيل والماء فنحصل عغلى المبيان (2) (على اليمين)



تأثير درجة الحرارة على أسترة خليط متساوي المولات لحمض وكحول



تأثير درجة الحرارة على حلمأة خليط متساوي المولات لإستر والماء

ـ من خلال المبيانين ما هو تأثير درجة الحرارة على سرعة التفاعل ؟

ـ نلاحظ أنه خلال ارتفاع درجة الحرارة يجعل المجموعة تصل إلى حالة التوازن خلال مدة أقصر

ــ نلاحظ أن المنحنيات الأربع تؤول إلى نفس التقدم النهائي أيا كانت درجة حرارة الوسط التفاعلي . ونستنتج أن ارتفاع درجة الحرارة ، لا يغير تركيب المجموعة عند التوازن .

خلاصة :

يمكن ارتفاع درجة الحرارة من وصول حد التوازن أسترة ـ حلمأة بسرعة أكبر دون تغيير هذا الحد .

ملحوظة : عمليا لرفع درجة حرارة الوسط لتفاعلي أي الزيادة في سرعة التفاعل ننجز التفاعل باستعمال تركيب التسخين بالارتداد .

4 ـ 2 تأثير الحفاز

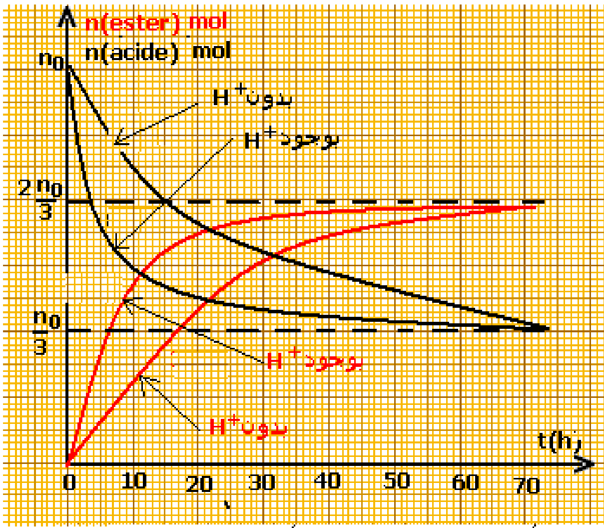
تعريف :

الحفاز نوع كيميائي يرفع سرعة التفاعل دون أن يتدخل في معادلة التفاعل .

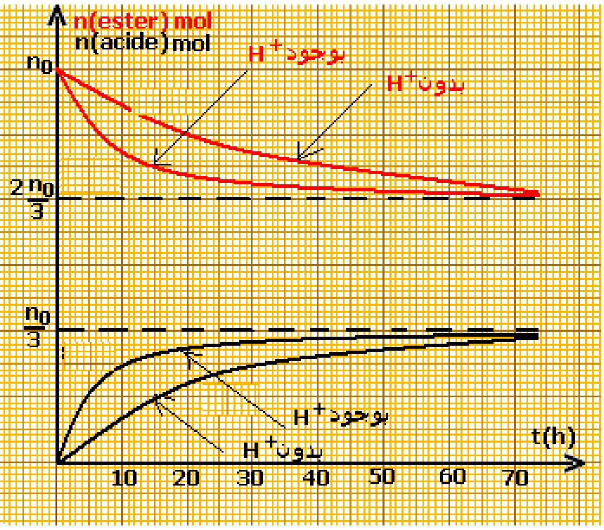
النشاط التجريبي 6 : تأثير الحفاز على سرعة التفاعل .

ننجز تفاعل الأسترة والحلمأة لخليط متساوي المولات :

ـ لحمض الإيثانويك ةلإيثانول بدون إضافة حمض الكبريتيك ، ثم بإضافة بعض قطرات حمض الكبريتيك فنحصل على المبيان (1)
ـ للإيثانوات الإثيل والماء
فنحصل على المبيان (2)



تأثير الحـــــغـــــاز على أسترة خليط متساوي المولات لحمض وكحول



تأثير الحـــــغـــــاز على حلمأة خليط متساوي المولات لإستر والماء

استنتج دور أيونات H^+ خلال تفاعل الأسترة والحلمأة من خلال تحليل المنحنيين .
ـ نلاحظ أن الأيونات H^+ المضافة إلى الوسط التفاعلي تلعب دور الحفاز بالنسبة لكل من تفاعل الأسترة وتفاعل الحلمأة . لكون أن المجموعة تصل إلى حالة التوازن في مدة زمنية أقصر مقارنة مع المجموعة التي لم تتم فيها إضافة H^+ .
ـ نلاحض أن الحفاز لا يمكّن من تغيير تركيب حالة التوازن .

خلاصة :

يمكّن الحفاز من تسريع التفاعل دون تغيير تركيب المجموعة عند التوازن .

VI ـ التحكم في الحالة النهائية لمجموعة كيميائية .

من خلال الدراسة السابقة تبين أن تفاعل الأسترة وتفاعل الحلمأة تفاعلان غير كليان ويؤديان إلى توازن كيميائي حيث أن نسبة التقدم النهائي $x_f < x_{\max}$ لذلك يمكن تقييم فعالية التقدم بتعريف مردوده .

1 ـ تعريف مردود تحول كيميائي .

يساوي المردود r ، لتفاعل كيميائي خارج كمية المادة $n_{\exp}$ المحصلة تجريبيا على كمية المادة $n_{\max}$ المنتظر الحصول عليها .

$$r = \frac{n_{\exp}}{n_{\max}}$$

تمرين تطبيقي :

خلال تفاعل الأسترة والحلمأة بين $1,0mol$ من حمض الإيثانويك و $1,0mol$ من الإيثانول ، يكون مردود هذا التفاعل هو 60% .

1 ـ أكتب المعادلة الكيميائية لهذا التفاعل .

$$CH_3-CH_2-OH+CH_3COOH \rightarrow CH_3-COOCH_2-CH_3+H_2O$$

2 ـ أوجد تركيبة الخليط في الحالة النهائية .

معادلة التفاعل		$CH_3-CH_2-OH+CH_3COOH \rightarrow CH_3-COOCH_2-CH_3+H_2O$				
الحالة	التقدم	كميات المادة				
البدئية	0	0,1	0,1		0	0
خلال التفاعل	x	$0,1-x$	$0,1-x$		x	x
عند التوازن	$x_{éq}$	$0,1-x_{éq}$	$0,1-x_{éq}$		$x_{éq}$	$x_{éq}$

نعلم أن مردود التفاعل هو : $r=\frac{n_{\exp}}{n_{\max}}=\frac{x_f}{x_{\max}}=0,6 \Rightarrow x_f=0,6mol$ وبالتالي فتركيبة الخليط عند التوازن هي :

$$n(alcool)=n(acide)=0,4mol$$

$$n(ester)=n(eau)=0,6mol$$

2 ـ تأثير النسب البدئية لكميات مادة المتفاعلات :

النشاط التجريبي 7 : استعمال أحد المتفاعلات بوفرة

ننجز خمس تجارب لتفاعل حمض الإيثانويك مع الإيثانول (تفاعل الأسترة) انطلاقا من مجموعات كيميائية تراكيزها البدئية مختلفة ، وندون النتائج المحصلة في الجدول التالي

التركيب البدئي للمجموعة	الحمض	1	1	2	1	3
	الكحول	1	2	1	3	1
نسبة التقدم النهائي %		67	84	84	90	90

ماذا تستنتج من تحليل نتائج هذه التجربة ؟

يلاحظ أن كميات المادة البدئية لحمض الإيثانويك والإيثانول لها تأثير على نسبة التقدم النهائي للتفاعل ، فكلما كان أحد المتفاعلين مستعملا بوفرة ، كانت نسبة التقدم النهائي أكبر

يمكن كذلك التوصل إلى نفس الاستنتاج بواسطة معيار التقدم التلقائي .

مثلا تفاعل الاسترة لحمض الإيثانويك والإيثانول :

$$CH_3-CH_2-OH+CH_3COOH \rightarrow CH_3-COOCH_2-CH_3+H_2O$$

يعبر عن خارج التفاعل عند التوازن بالعلاقة التالية :

$$Q_{r,éq}=\frac{[CH_3COOC_2H_5]_{éq}\,[H_2O]_{éq}}{[C_2H_5OH]_{éq}\,[CH_3COOH]_{éq}}$$

عند استعمال أحد المتفاعلين بوفرة ستكون $Q_r<Q_{r,éq}=K$ أي أن المجموعة ستتطور في المنحى المباشر .

خلاصة : يكون مردود الأسترة مرتفعا كلما كان أحد المتفاعلات مستعملا بوفرة .

ملحوظة : لا تتعلق نسبة التقدم النهائي بطبيعة الحمض الكربوكسيلي المستعمل ، لكن بالمقابل تتعلق بصنف الكحول المستعمل .

صنف الكحول	نسبة التقدم النهائي
كحول اولي	67%
كحول ثانوي	60%
كحول ثالثي	5%

3 ـ إزالة أحد النواتج

لإن تفاعل الحلمأة هو الذي يحد من تفاعل الأسترة ، فإذا وقع تماس بين الماء والاستر المتكون فإن تفاعل الحلمأة يحدث ولتفادي هذا التفاعل يجب إزالة الماء أو الإستر من الوسط التفاعلي حتى يصبح خارج التفاعل $Q_r < K$ فتتطور المجموعة في المنحى المباشر .

الطريقة العملية لإزالة الإستر : في حالة درجة حرارة غليان الإستر أصغر من درجة حرارة المكونات الأخرى للمجموعة فإنه يمكن أن نزيل الإستر من المجموعة بالتقطير المجزأ

الطريقة العملية لإزالة الماء : يمكن إزالة الماء تدريجيا أثناء تكونه بإضافة إلى الوسط التفاعلي مادة متعطشة للماء وغير قابلة للتفاعل مع المكونات الأخرى للمجموعة مثال : كربونات البوتاسيوم اللامائي .

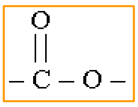
خلاصة تؤدي إزالة الماء أو الإستر من الوسط التفاعلي ، إلى تطور المجموعة في المنحى المباشر(تكوّن الاستر) وتحسين مردود الأسترة .

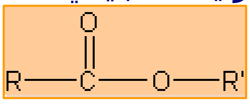
تفاعلات الأسترة و الحلمأة

I. الإسترات

- تعريف الإستر

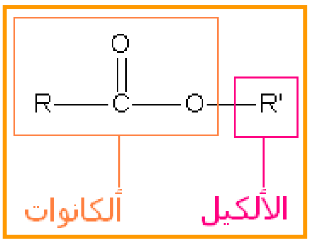
تعريف

الإستر مركب عضوي أكسجيني تشتمل جزيئته على المجموعة: 

وصيغته العامة:  أو RCOOR’

R ذرة هيدروجين أو سلسلة كربونية و R' سلسلة كربونية.

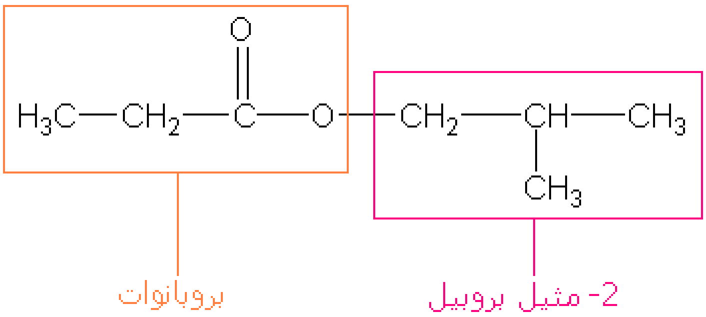
- تسمية الإستر



يتركب اسم إستر من طرفين:

- الأول مشتق من اسم الحمض الكربوكسيلي الموافق مع حذف البادئة حمض و تعويض اللاحقة "ويك" باللاحقة "وات"،
- و الثاني يوافق اسم الجذر الألكيلي المرتبط بذرة الأكسجين.

▪ مثال:



إسم هذا الإستر هو إذن: بروبانوات 2- مثيل بروبيل

☜ في حالة تفرع، ترقم السلسلة الكربونية R انطلاقا من ذرة الكربون الوظيفي و ترقم السلسلة الكربونية R’ انطلاقا من ذرة الكربون المرتبطة بذرة الأكسجين.

- خاصيات الإستر

عند درجة حرارة و تحت ضغط اعتياديين توجد الإسترات على الحالة السائلة و هي متطايرة و تتميز برائحة طيبة بنكهة الفواكه و ذوبانيتها في الماء قليلة على عكس الأحماض و الكحولات التي تشتق منها.توجد الإسترات الطبيعية في الزيوت الأساسية ذات أصل نباتي و هي تستعمل في صناعة العطور و النكهات الغذائية و تستعمل في الصيدلة كمذيبات.

II. الأسترة و حلمأة الإستر

• الأسترة

تعريف

الأسترة هي تفاعل بين كحول و حمض كربوكسيلي ينتج إسترا و الماء.

المعادلة الكيميائية لتفاعل الأسترة هي:

$$R-COOH + R'-OH \rightarrow R-COO-R' + H_2O$$

• الحلمأة

تعريف

حلمأة إستر هي التفاعل المعاكس لتفاعل الأسترة.

المعادلة الكيميائية لتفاعل الحلمأة هي:

$$R-COO-R' + H_2O \rightarrow R-COOH + R'-OH$$

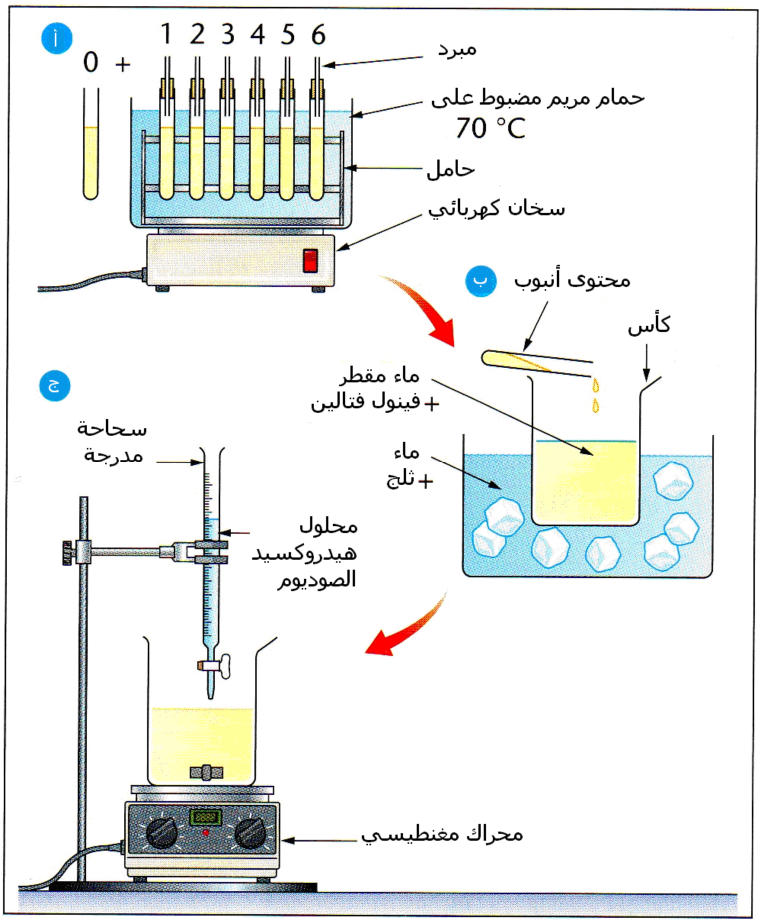
• التوازن الكيميائي أسترة - حلمأة

تبين التجربة أن تفاعلي الأسترة و الحلمأة يشكلان توازنا كيميائيا في الحالة النهائية:

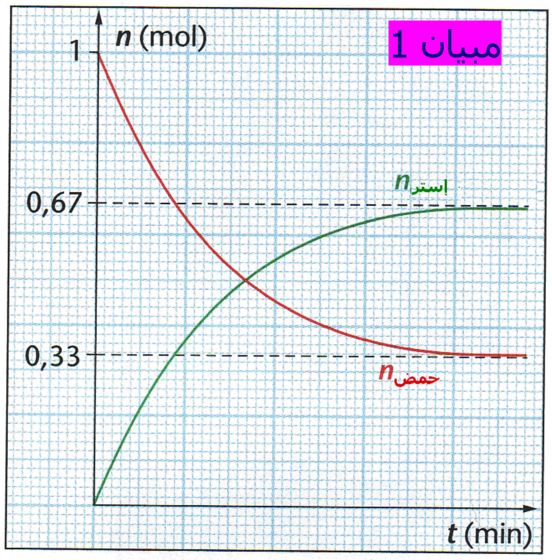
▪ التتبع الزمني للتفاعل:

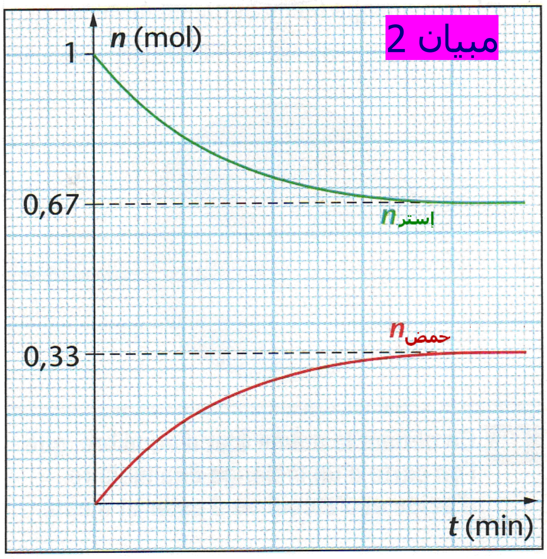
يحتوي كل أنبوب على خليط متساوي المولات من حمض الإيثانويك و الإيتانول و بضع قطرات من حمض الكبريتيك.

تعاير الأنابيب عند لحظات معينة(يعاير الأنبوب 0 عند t=0) بعد تبريدها قصد تحديد كمية الحمض المتبقية.



يمكن التتبع الزمني لتفاعل الأسترة من خط التمثيل المبياني الذي يمثل تطور كمية المادة للإستر الناتج(المبيان 1). و بنفس الطريقة يمكن التتبع الزمني لتفاعل حلمأة الإستر من خط التمثيل المبياني الذي يمثل تطور كمية المادة للإستر المتبقي(المبيان 2).





نسبة التقدم النهائي لتفاعل الأسترة هي:

$$\tau = \frac{x_{éq}}{x_{max}} = \frac{n_{éq}(ester)}{n_{max}(ester)}$$

$$\tau = \frac{0,67}{1} = 67\%$$

و نسبة التقدم النهائي لتفاعل الحلمأة هي:

$$\tau' = \frac{x'_{éq}}{x'_{max}} = \frac{n_{éq}(acide)}{n_{max}(acide)}$$

$$\tau' = \frac{0,33}{1} = 33\%$$

خاصية تفاعلا الأسترة و الحلمأة تحولان بطيئان و غير كليين.

▪ حالة التوازن:

الأسترة و الحلمأة تفاعلان متزامنان أحدهما يحد الآخر يؤديان إلى توازن كيميائي ديناميكي

معادلته العامة: $R-COOH + R'-OH \rightleftarrows R-COO-R' + H_2O$

تصل المجموعة الكيميائية حالة التوازن عند تساوي سرعتي تفاعلي الأسترة و الحلمأة ، عندئذ تتواجد الأنواع الأربعة في الخليط المتفاعل بنسب تبقى ثابتة.

ثابتة التوازن لتفاعل الأسترة هي:

$$K = \frac{[RCOOR']_{éq} \cdot [H_2O]_{éq}}{[RCOOH]_{éq} \cdot [R'OH]_{éq}}$$

و في حالة الحلمأة: $K' = \frac{1}{K}$

▪ مثال: في حالة الأسترة و الحلمأة المدروسين معادلة التوازن هي:

$$CH_3COOH_{(l)} + CH_3CH_2OH_{(l)} \rightleftarrows CH_3COOCH_2CH_{3(l)} + H_2O_{(l)}$$

و ثابتة التوازن الموافقة هي:

$$K=\frac{[CH_3CO_2C_2H_5]_{éq}\cdot[H_2O]_{éq}}{[CH_3CO_2H]_{éq}\cdot[C_2H_5OH]_{éq}}$$

$$K=\frac{\frac{n_{ester}}{V}\cdot\frac{n_{eau}}{V}}{\frac{n_{acide}}{V}\cdot\frac{n_{alcool}}{V}}=\frac{n_{ester}\cdot n_{eau}}{n_{acide}\cdot n_{alcool}}$$

$$K=\frac{0,67\times0,67}{0,33\times0,33}=4,0$$

III. التحكم في التفاعل أسترة - حلمأة

• التحكم في سرعة التفاعل

▪ تأثير درجة الحرارة (مبيان 3)

لا تؤثر درجة الحرارة على التركيبة النهائية أي على نسبة التقدم النهائي بل تؤثر فقط على سرعة التفاعل: يمكن الرفع من درجة الحرارة من وصول حالة التوازن بسرعة أكبر.

▪ تأثير الحفاز (مبيان 3)

الحفاز نوع كيميائي (في هذه الحالة الأيونات H_3O^+) يسرع التفاعل الكيميائي دون أن يظهر في المعادلة الحصيلة. ليس له تأثير على ثابتة التوازن و لا على نسبة التقدم النهائي.
الأيونات H_3O^+ تسرع الأسترة و الحلمأة على حد السواء.

• التحكم في التركيب النهائي

يمكن تغيير التركيب النهائي أي نسبة التقدم النهائي :

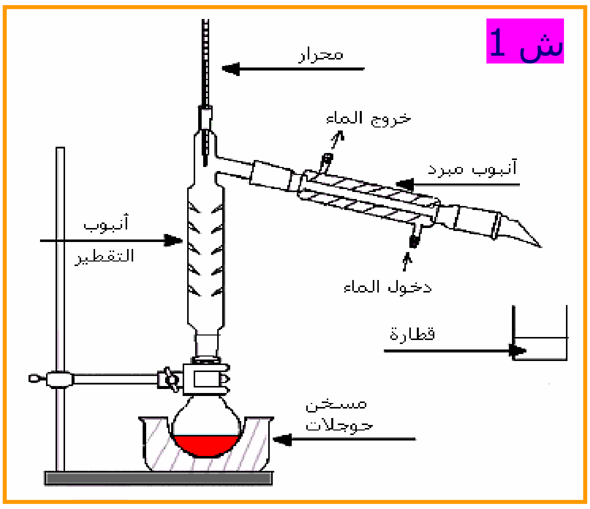
- ✓ باستعمال أحد المتفاعلات بوفرة (مبيان 3)،
- ✓ بإزالة أحد النواتج أثناء تكونه:

لإزالة الإستر تستعمل عملية التقطير(ش. 1)

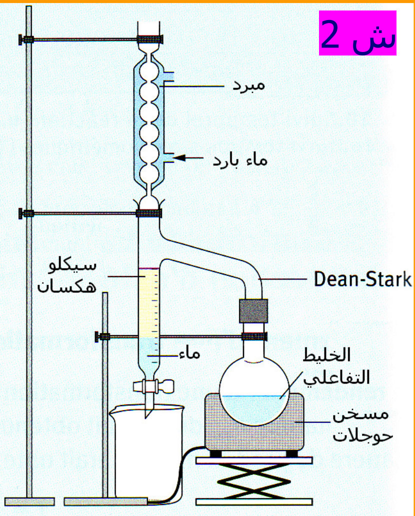
لإزالة الماء يستعمل تركيب" دين ستارك"(ش. 2)

وفرة متفاعل أو إزالة ناتج تزيح التوازن في منحى التطور التلقائي.

ش 1



ش 2



كيفية التحكم في تطور المجموعات الكيميائية

I ـ لماذا تغيير المتفاعل ؟

تعتبر التحولات الكيميائية المقرونة بتفاعلات الأسترة بين حمض كربوكسيلي وكحول وحلمأة الإستر بطيئة ومحدودة . ويمكن تسريعها بالرفع من درجة الحرارة وباستعمال حفاز ، وبتحسين مردودها باستعمال أحد المتفاعلات بوفرة أو بإزالة أحد النواتج .

لكن هذه الطرائق تستهلك م

من أجل تخفيض هذه الكلفة بادر الكيميائيون إلى البحث عن طرائق أخرى تعتمد على استعمال متفاعلات أخرى يتم اختيارها بحيث لا تحدث التحولات المعاكسة وتصبح التحولات كلية

فكيف يتم تحضير الاسترات دون تكون الماء لتجنب حلمأتها ؟

وفي أي ظروف يمكن إنجاز حلمأة الإستر مع تجنب تواجد الحمض الكربوكسيلي مع الكحول ؟

II ـ تصنيع إستر انطلاقا من أندريد الحمض وكحول .

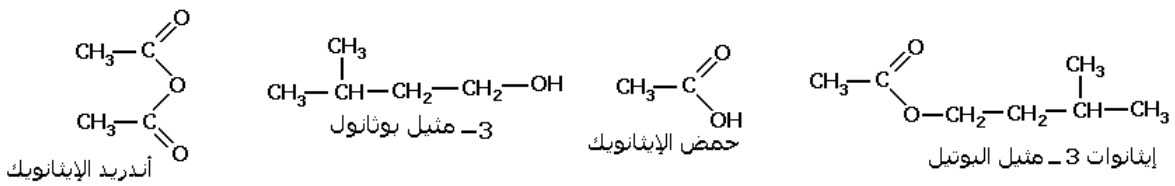
تتسم الأندريدات الحمض بتفاعليتها ، حيث تعوض الأحماض الكربوكسيلية في عدة تفاعلات خصوصا منها المتعلقة بتخا

1 ـ تفاعل أندريد الحمض مع كحول

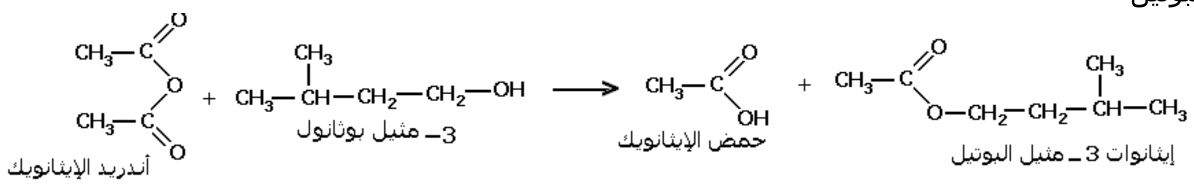
نشاط تجريبي 1

نصب في أنبوب اختبار $8m\ell$ من الكحول الإيزوميلي (3 ـ مثيل بوتان ـ 1 ـ أول) ، ونضيف $7m\ell$ من أندريد الإيثانويك ، نحرك ونضع الخليط لبضع دقائق في حمام مريم عند الحرارة $50°C$.

نفرغ المحتوى في كأس به ماء مالح ، ونحرك ، ثم نترك الخليط يسكن فنلاحظ تكون طور سائل زيتي نغمس شريط ورق الترشيح في الطور العلوي ونشم الرائحة المنبعثة منه تشبه رائحة الموز والإحاص تدل على تكون إستر وهو إيثانوات 3ـ مثيل البوتيل .



1 ـ أكتب الصيغ نصف المنشورة لكل من 3 ـ مثيل بوتان ـ 1 ـ أول وحمض الإيثانويك و إيثانوات 3ـ مثيل البوتيل



2 ـ استنتج معادلة هذا التفاعل .

3 ـ ما الذي يميز هذا التفاعل عن الأسترة التي تم التطرق إليها سابقا ؟

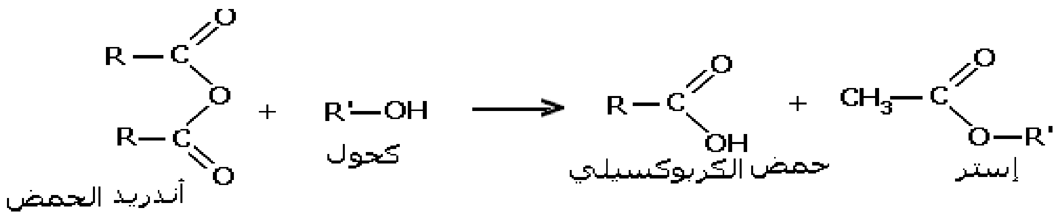
يتميز هذا التفاعل عن سابقيه أنه سريع وكلي حيث يكون التقدم النهائي للتفاعل قصويا .

4 ـ لماذا لاتحدث حلمأة الإستر الناتج ؟

لأن تكون الأستر في وسط لا مائي يجعل حلمأته غير ممكنة .

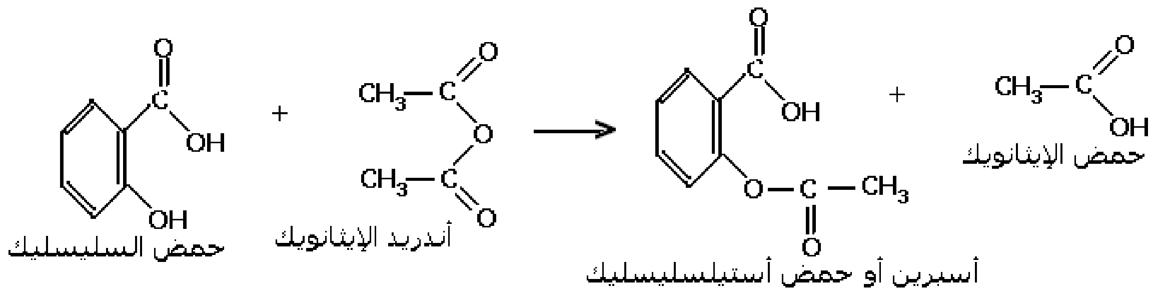
بصفة عامة :

تفاعل أندريد الحمض مع كحول تفاعل كلي وسريع حيث يعطي إسترا ، ويكون فيه التقدم النهائي للتفاعل قصويا أي مردود أقصى .



2 ـ تطبيقات : تحضير الأسبيرين

الأسبيرين أو حمض الأستيلسليسليك دواء كثير الاستعمال كمسكن للألم ومقاوم للحمى
يحضر انطلاقا من حمض السليسليك (حمض الصفصاف) وأندريد الإيثانويك للحصول على مردود أقصى :



III ـ الحلمأة القاعدية للإسترات : التصبن

1 ـ تفاعل إستر مع الأيونات $HO^-(aq)$

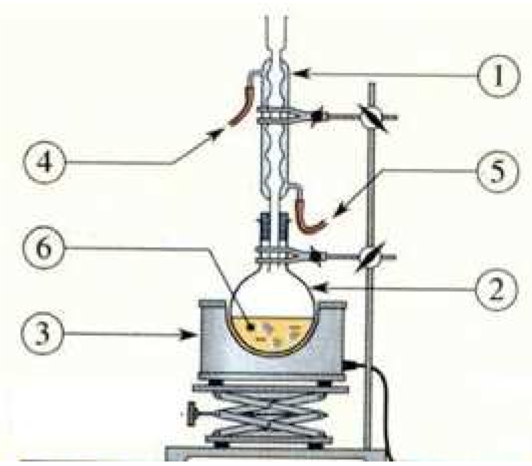
رأينا في الدرس السابق أن حلمأة إستر بالماء هو تفاعل بطيء ومحدود .
يمكن لهذا التحول أن يكون كليا إذا تم إنجاز التحول بوجود قاعدة مركزة مثل هيدروكسيد الصوديوم أو هيدروكسيد البوتاسيوم .

نشاط تجريبي 2

نصب في حوجلة $5m\ell$ من بنزوات الإثيل ونضيف قليلا من حصى الخفاف ونضيف بحدر $25m\ell$ من محلول هيدروكسيد الصوديوم .
ننجز تركيب التسخين بالارتداد ونسخن لمدة عشر دقائق . نترك الخليط يبرد ، ونفرغه في كأس بها قطع ثلج ، ثم نضيف تدريجيا ، وبحدر ، مع التحريك قليلا من حمض الكلوريدريك .

استثمار :

1 ـ ارسم تبيانة التركيب التجريبي للتسخين بالارتداد لإنجاز هذا التفاعل .



(1) : مبرد (2) حوجلة (3) مسخن كهربائي (4) خروج ماء دافئة (5) دخول الماء بارد (6) الخليط التفاعلي

2 ـ على ماذا نحصل في الكأس ؟

نحصل في الكأس على أيونات بنزوات نتيجة تفاعل بنزوات الإيثل مع أيونات الهيدروكسيد $HO^-(aq)$

3 ـ ما النوع الكيميائي الذي تفاعل مع $H_3O^+(aq)$ إعطاء حمض البنزويك ؟

النوع الكيميائي الذي تفاعل مع أيونات الأوكسونيوم إعطاء حمض البنزويك هو أيون البنزوات الناتج عن تفاعل أيونات هيدروكسيد مع بنزوات الإيثل .

$$C_6H_5COO^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow C_6H_5COOH(s) + H_2O(\ell)$$

4

$$C_6H_5COOC_2H_5(\ell) + HO^-(aq) \rightarrow C_6H_5COO^-(aq) + C_2H_5-OH(\ell)$$

5 ـ قارن هذه الحلمأة مع حلمأة الإستر التي تم التطرق إليها في الدرس السابق .

الحلمأة بوجود قاعدة مركزة تودي إلى تفاعل كلي وسريع .

خلاصة :

يمكن تعميم هذه النتائج على جميع الاسترات ، حيث يتحول الإستر تحت تأثير أيونات هيدروكسيد $HO^{-}(aq)$ إلى أيونات كربوكسيلات وكحول ، يدعى هذا التحول تصبنا . (لكونه يؤدي إلى تحضير الصابون انطلاقا من مواد دهنية).

في وسط قاعدي يكون الحمض الكربوكسيلي أقليا والنوع الأكثري هو القاعدة المرافقة ، أيون كربوكسيلات $RCOO^{-}$ ، الذي لا يتفاعل مع الكحول . وبالتالي لا يمكن أن يحدث تفاعل ألأسترة ، ونحصل على تقدم التفاعل النهائي مساو للتقدم الأقصى أي تفاعل كلي .

بصفة عامة ، تؤدي الحلمأة القاعدية (أو التصبن) لإستر إلى تكون أيون كربوكسيلات وكحول وفق تحول سريع وكلي . نكتب معادلة التفاعل :

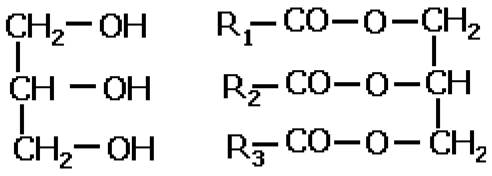
$$R-COO-R'+HO^{-} \rightarrow R-COO^{-}+R'-OH$$

2 ـ تطبيقات في تصبن الأجسام الدهنية .

يتم تحضير الصابون بتصبن الأجسام الدهنية التي تحتوى على

2 ـ 1 الأجسام الدهنية

الأجسام الدهنية السائلة أو الصلبة ، مثل الزيوت والزبدة والدهون ، مركبات عضوية طبيعية ، نباتية وحيوانية تتكون أساسا من ثلاثي غليسريد وهو ثلاثي إستر ناتج عن تفاعل أسترة بين البروبان ـ 1،2،3ثلاثي أول (أو الغليسرول) والأحماض الدهنية .



الغليسرول ثلاثي غليسريد

الأحماض الدهنية أحماض كربوكسيلية ذات سلسلة كربونية طويلة غير متفرعة تحتوي على عدد زوجي من ذرات الكربون .

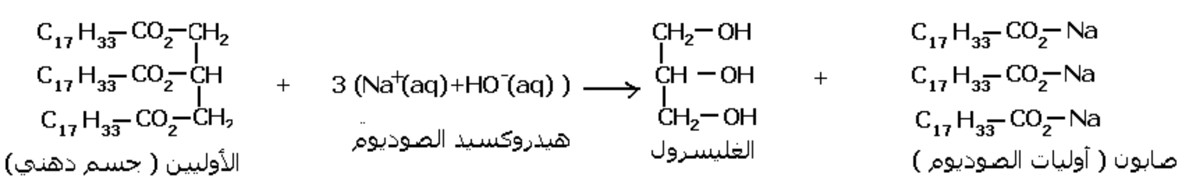
أمثلة : حمض اللوريك Acide laurique $\left(C_{11}H_{23}COOH\right)$ وحمض الأوليك Acide oleique $\left(C_{17}H_{33}COOH\right)$

2 ـ 2 تحضير الصابون

يتم تصبن الأجسام الدهنية بواسطة محلول هيدروكسيد الصوديوم $\left(Na^{+}(aq)+HO^{-}(aq)\right)$ أو هيدروكسيد البوتاسيوم $\left(K^{+}(aq)+HO^{-}(aq)\right)$

يتم في هذا التصبن تفاعل المجموعات المميزة الثلاث إستر للغليسريد مع الأيونات HO^{-} حيث يتكون الغليسرول وثلاث أيونات كربوكسيلات .

ينتج الصابون عن تصبن ثلاثي الغليسريد . وهو عبارة عن كربوكسيلات الصوديوم أو البوتاسيوم ، القواعد المرافقة للأحماض الدهنية ذات سلاسل طويلة بين 10 إلى 20 ذرة كربون .

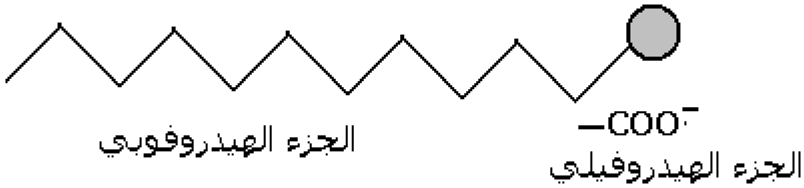


2 ـ 3 خاصيات الصابون

أ ـ الصابون في الماء

الذوبانية :

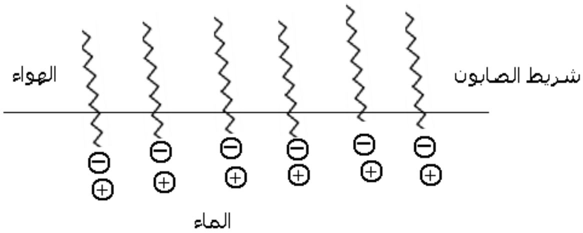
يذوب الصابون في الماء المقطر إلى حدود $100g/\ell$ ، وهو قليل الذوبان في الماء المالح أو الماء الذي يحتوي على أيونات الكالسيوم $Ca^{2+}(aq)$ أو أيونات المغنزيوم $Mg^{2+}(aq)$ حيث يترسب في هذه المحاليل.



ــ يحتوي أيون كربوكسيلات ذو سلسلة كربونية طويلة المتواجدة في الصابون على جزأين :

الجزء الأول هو عبارة عن مجموعة كربوكسيلات الأيوني COO^- المتواجد في رأس السلسلة ، وهو قابل للذوبان في الماء ويدعى الجزء الهيدروفيلي $Hydrophphyle$ (محب للماء)

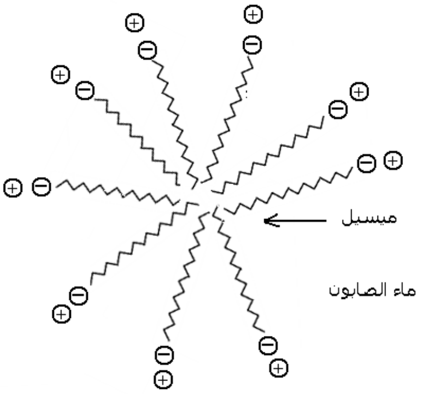
الجزء الثاني ، هو عبارة عن سلسلة كربونية طويلة غير قابلة للذوبان في الماء ويدعى الجزء الهيدروفوبي $hydrophobie$ (كاره للماء)



ــ يتميز الجزء الهيدروفوبي بعدم قابليته للذوبان في الماء ، إلا أنه يقبل التماس مع الزيت لأن بنيته تشبه بنية الأجسام الذهنية ، لذا يسمى الجزء الليبوفيلي $Lipophylie$ (محب للدهون)

ــ في محلول مائي تكون أيونات كربوكسيلات نوعين من التجمعات :

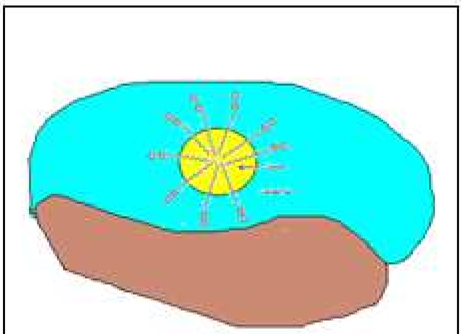
* يتكون على سطح المحلول شريط صابون أو قشرة من الصابون،
* وتتكون في المحلول مجموعات مماثلة تدعى ميسيلات ، أو ذرات حكمية . تتجمع السلسلات الكربونية الهيدروفوبية داخل الممسيلات بينما تكون مجموعات كربوكسيلات محيطها .



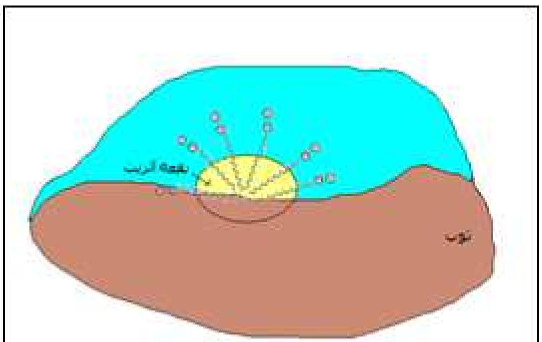
ب ــ خاصيات التنضيف

عندما نضع ثوبا ملطخا بمادة دهنية ، مثل الزيت النباتية ، في ماء صابوني ، تتحظم الميسيلات على البقع الدهنية على البقع الدهنية ، وبالتالي ترتبط الأجزاء الهيدروفوبية مع المواد الدهنية ، وبالفرك تنفصل لبقع الدهنية عن الثوب محبوسة داخل الميسيلات في المحلول .

تتنافر الميسيلات لكونها محاطة بأيونات Na^+ أو K^+ وتتشتت في الماء .



انفصال البقعة الزيتية عن الثوب



ارتباط الأجزاء الهيدروفوبية مع بقعة الزيت

الوحدة 10 التحكم في تطور المجموعات الكيميائية بتغيير متفاعل

ملخص الدرس

1. تصنيع إستر انطلاقا من أندريد الحمض:

1.1. المجموعة المميزة أندريد الحمض:

- $$CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_2-CH_3$$

تحتوي هذه الجزيئة على مجموعة أندريد الحمض $-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-$.

لتسمية أندريد الحمض ، نبحث عن اسم الحمض الكربوكسيلي الموافق ، ثم نعوض كلمة حمض بكلمة أندريد .

يتوفر الحمض الكربوكسيلي الموافق لهذا الأندريد على 3 ذرات كربون . يتعلق الأمر بحمض البروبانويك ، و بالتالي فالإسم الرسمي لهذا الأندريد هو أندريد البروبانويك .

- $$CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3$$

الإسم الرسمي لهذا الأندريد هو أندريد الميثيل بروبانويك .

- $$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3$$

الإسم الرسمي لهذا الأندريد هو أندريد الإيثانويك .

أندريدات الحمض سوائل أو أجسام صلبة تتفاعل بشدة مع الماء .

– أندريد الحمض مركب عضوي يحتوي على المجموعة المميزة $-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-$.

– الصيغة العامة لأندريد الحمض هي $(RCO)_2O$.

– يكون الإسم الرسمي لأندريد الحمض على وَزْن : أندريد الألكانويك .

– تنتج أندريدات الحمض عن إزالة جزيئة ماء أثناء التفاعل بين حمضين كربوكسيليين :

$$R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH + H-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-R \longrightarrow R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-R + H_2O$$

1.2. تغيير متفاعل أثناء الأسترة:

نصب في أنبـــوب اختبــــار A 5mL من الإيثانول و 2mL من حمض الإيثانويك ، و نصب في أنبـــوب اختبــــار B 5mL من الإيثانول و 2mL من أندريد الإيثانويك. نحرك محتوى الأنبوبين و نضعهما في حمام مائي درجة حـرارته 55°C . بعد مرور عشـرة دقـائق ، نصب محتوى كل أنبـوب اختبـار في كأس تحتوي على محلول مشبـع لكلورورالصوديوم . نلاحـظ طورا واحـدا بالنسبـة للخليط A ، لأن الإسـتر لم يتكون خلال هذه المدة الوجيزة ، فتفاعل الأسترة بطيء . أما بالنسبة للخليط B ، فنلاحظ تكون طور يطفو على السطح ، وبالتالي فقد حدث تحول أدى إلى تكون ناتج ذي رائحة طيبة و غير قابل للذوبان في الماء المالح . و بالتالي فقد تفاعل أندريد الإيثانويك مع الإيثانول ليتكون إيثانوات الإيثيل و حمض الإيثانويك حسب المعادلة التالية :

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3 + C_2H_5-OH \longrightarrow CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-C_2H_5 + CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH$$

أندريد الإيثانويك   إيثانول   إيثانوات الإيثيل   حمض الإيثانويك

إن غياب الماء في أنبوب الإختبار B يجعل التفاعل في المنحى المعاكس غير ممكن . و لذلك يكون التفاعل في المنحى المباشر كليا .

- ماء + إستر ⟵ كحول + حمض كربوكسيلي

تفاعل بطيء و محدود ، ثابتة توازنه $K = 4$.

- حمض كربوكسيلي + إستر ⟵ كحول + أندريد الحمض

تفاعل سريع و كلي ، ثابتة توازنه $K' = 10^{20}$.

استثمار التعلمات:

كيف يمكن تكوين إيثانوات البوتيل انطلاقا من أندريد الحمض ؟

اكتب معادلة التفاعل .

الحل

إيثانوات البوتيل إستر صيغته نصف المنشورة هي :

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$$

يمكن تكوين هذا الإستر باستعمال البوتان –1– أول و أندريد الإيثانويك .

تكتب معادلة التفاعل كالتالي :

$$Ch_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3(\ell) + HO-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3(\ell) \longrightarrow CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3(\ell) + CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH(\ell)$$

أندريد الإيثانويك   بوتان –1– أول   إيثانوات البوتيل   حمض الإيثانويك

استثمار التعلمات:

نريد إنجاز تصنيع بروبانوات الميثيل بكيفية سريعة و بمردود جيد . ما المتفاعلات التي ينبغي استعمالها ؟

اكتب معادلة التفاعل الحاصل .

الحل

بروبانوات الميثيل إستر صيغته نصف المنشورة هي : $CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-CH_3$

يمكن الحصول عليه بكيفية سريعة و بمردود جيد باستعمال أندريد البروبانويك : $CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_2-CH_3$

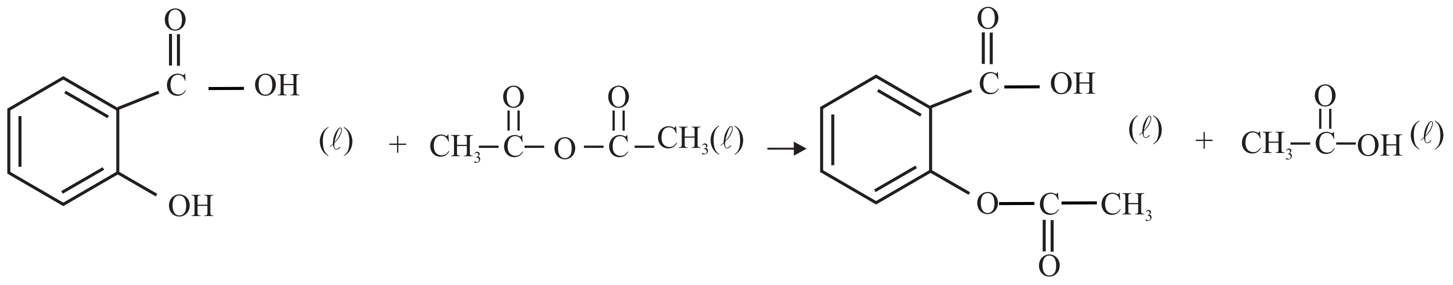
والميثانول : CH_3-OH .

تكتب معادلة التفاعل الحاصل كالتالي :

$$Ch_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_2-CH_3 + CH_3-OH \longrightarrow CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-CH_3 + CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH$$

1.3. تطبيق : تصنيع الأسبرين

الأسبرين، أو حمض الأستيلسلسليك ، إستر يصنع انطلاقا من حمض السلسليك (حمض الصفصاف) ، حيث تعوض ذرة هيدروجين المجموعة OH- التي تحملها الحلقة البنزنية بالمجموعة CH_3 - CO -. يمكن إنجاز هذه الأسترة باستعمال حمض الإيثانويك ، غير أن مردودها يبقى ضعيفا جدا . و لهذا يستعمل أندريد الإيثانويك بوفرة للحصول على مردود أقصى .



حمض السلسليك — أندريد الإيثانويك — حمض الأستيلسلسليك — حمض الإيثانويك

استثمار التعلمات:

اكتب معادلة التفاعل و سم النواتج المحصل عليها عندما نعمل على تفاعل :

1 – البروبان –2– أول مع أندريد الإيثانويك .

2 – أندريد البروبانويك و الإيثانول .

3 – 2– ميثيل بروبان –2– أول و أندريد الإيثانويك .

الحل

لنكتب معادلات تفاعل الخلائط المقترحة :

–1
$$Ch_3-\overset{OH}{\overset{|}{CH}}-CH_3 + CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3 \rightarrow CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-\overset{CH_3}{\overset{|}{CH}}-CH_3 + CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH$$

بروبان –2– أول — أندريد الإيثانويك — إيثانوات –1 ميثيل الإيثيل — حمض الإيثانويك

– 2
$$CH_3-CH_2-OH + CH_3-CH_2-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_2-CH_3 \rightarrow CH_3-CH_2-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-CH_2-CH_3 + CH_3-CH_2-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH$$

إيثانول — أندريد البروبانويك — بروبانوات الإيثيل — حمض البروبانويك

– 3
$$CH_3-\underset{CH_3}{\underset{|}{\overset{OH}{\overset{|}{C}}}}-CH_3 + CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3 \rightarrow CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-\underset{CH_3}{\underset{|}{\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}}}-CH_3 + CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH$$

2– ميثيل بروبان –2– أول — أندريد الإيثانويك — إيثانوات 1،1– ثنائي ميثيل الإيثيل — حمض الإيثانويك

2. الحلمأة القاعدية للإسترات : التصبن :

في حوجلة مزودة بمكثف بالماء ، نسخن بالإرتداد مع التحريك خليطا يتكون من 25 mL من محلول لهيدروكسيد الصوديوم تركيزه 4 $mol.L^{-1}$ و 5 mL من بنزوات الإيثيل $C_6H_5-CO_2-C_2H_5$.

أثناء التسخين ، يتناقص حجم الطور العضوي الطافي تدريجيا ، وبالتالي يحدث تفاعل سريع يستهلك الإستر.

نبرد المحلول في حوض زجاجي يحتوي على ماء مثلج ، ونضيف إليه تدريجيا محلولا مركزا لحمض الكلوريدريك ، فيتناقص pH الخليط التفاعلي ويتكون راسب أبيض لحمض البنزويك $C_6H_5-CO_2H$. ينتج تكون حمض البنزويك عن التفاعل بين الحمض H_3O^+ وأيون البنزوات $C_6H_5-CO_2^-$ ، القاعدة المرافقة لحمض البنزويك . تتكون أيونات البنزوات ، المتواجدة في الحوجلة ، بتأثير أيون الهيدروكسيد على بنزوات الإيثيل وفق تفاعل سريع معادلته :

$$C_6H_5-CO_2-C_2H_5(\ell) \; + \; HO^-(aq) \longrightarrow C_6H_5-CO_2^-(aq) \; + \; C_2H_5-OH(\ell)$$

بنزوات الإيثيل   أيون الهيدروكسيد   أيون البنزوات   إيثانول

خلال هذا التفاعل ، المسمى تصبنا ، يخضع الإستر لحلمأة قاعدية ، فيختفي كليا . إن تفاعل تصبن بنزوات الإيثيل تفاعل كلي ، لأنه غير محدود بتفاعل يتم في المنحى المعاكس .

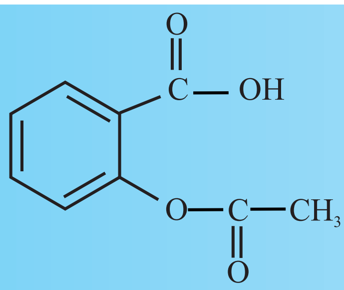
- يؤدي تفاعل التصبن ، أو حلمأة الإسترات في وسط قاعدي ، إلى تكون كحول وأيون كربوكسيلات وفق التفاعل ذي المعادلة :

$$R-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-O-R' \; + \; HO^- \longrightarrow R-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-O^- \; + \; R'-OH$$

- تفاعل التصبن كلي وسريع وناشر للحرارة .

استثمار التعلمات:

الصيغة نصف المنشورة لجزيئة للأسبرين أو حمض الأستيلسلسليك هي :



1 – حدد المجموعات المميزة الأوكسيجينية لهذا المركب .

2– يمكن لمحلول الصودا ، أو هيدروكسيد الصوديوم $(Na^+(aq)+HO^-(aq))$ ، أن يعطي صنفين من التفاعلات مع الأسبرين تبعا للظروف التجريبية .

ما هي هذه التفاعلات ؟ وما مميزاتها ؟

3 – هل يمكن منح الإمتياز لإحدى هذه التفاعلات ؟

الحل

1 – تحتوي جزيئة الأسبرين على المجموعة كربوكسيل $-CO_2H$ وعلى المجموعة إستر $-CO_2R'$.

2 – • تتفاعل المجموعة كربوكسيل مع الصودا وفق تفاعل حمضي – قاعدي كلي وسريع جدا ولو كانت درجة الحرارة منخفضة . تكتب معادلة هذا التفاعل كالتالي : $R-CO_2H \; + \; HO^- \longrightarrow R-CO_2^- \; + \; H_2O$.

• تتفاعل المجموعة إستر مع الصودا وفق تفاعل تصبن كلي وسريع ، يتطلب درجة حرارة مرتفعة واستعمال محلول مركز للصودا .تكتب معادلة هذا التفاعل كالتالي : $CH_3-CO_2R' \; + \; HO^- \longrightarrow CH_3-CO_2^- \; + \; R'OH$

3 – بالعمل عند درجة الحرارة الإعتيادية وبمحاليل مخففة للصودا ، لا نلاحظ تقريبا سوى التفاعل الحمضي – القاعدي .بالمقابل ، عند درجة حرارة مرتفعة وبمحلول مركز للصودا ، يحدث التفاعلان معا .

بالتالي يُمَكِّن اختيار مناسب للظروف التجريبية من التحكم في تطور المجموعة .

3. الصابون :

3.1. الأجسام الدهنية:

الأجسام الدهنية مركبات طبيعية من أصل نباتي أو حيواني . تسمى أيضا دهونا ، وهي غير قابلة للذوبان في الماء .

نميز بين صنفين من الأجسام الدهنية :

- الزيوت وهي سوائل عند درجة الحرارة الإعتيادية كثافتها أصغر من 1 .
- الشحوم وهي أجسام صلبة عجينية .

يتكون الجسم الدهني أساسا من ثلاثي غليسريد ، وهو ثلاثي إستر ناتج عن الأسترة بين البروبان–1،2،3– ثلاثي أول (أو الغليسرول) والأحماض الدهنية .

الحمض الدهني حمض كربوكسيلي ذو سلسلة كربونية طويلة كحمض الزبدة C_3H_7-COOH وحمض النخل $C_{15}H_{31}-COOH$ وحمض الزيت $C_{17}H_{33}-COOH$.

$$3\,R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH \;+\; \begin{array}{l} CH_2-OH \\ | \\ CH-OH \\ | \\ CH_2-OH \end{array} \;\longrightarrow\; \begin{array}{l} CH_2-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-R \\ | \\ CH-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-R \\ | \\ CH_2-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-R \end{array} \;+\; 3H_2O$$

حمض دهني   غليسرول   جسم دهني   ماء

3.2. تصبن الأجسام الدهنية:

ينجز تصبن جسم دهني بواسطة محلول لهيدروكسيد الصوديوم $(Na^+(aq)+HO^-(aq))$ أو محلول لهيدروكسيد البوتاسيوم$(K^+(aq)+HO^-(aq))$.

تتفاعل المجموعات المميزة الثلاث إستر لثلاثي الغليسريد مع أيونات الهيدروكسيد HO^- ، فيتكون الغليسرول وثلاث أيونات كربوكسيلات ، وهي القواعد المرافقة للحمض الكربوكسيلي .

تصبن الأولين وهو ثلاثي غليسريد حمض الزيت :

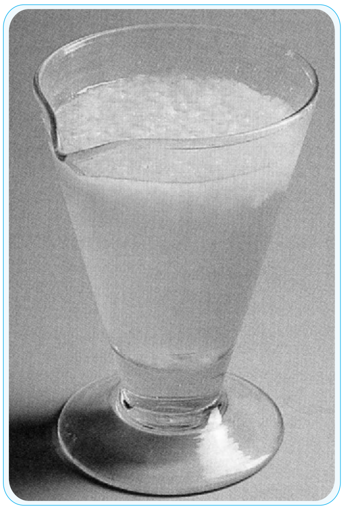
$$\begin{array}{l} CH_2-CO_2-C_{17}H_{33} \\ CH-CO_2-C_{17}H_{33} \\ CH_2-CO_2-C_{17}H_{33} \end{array} (\ell) \;+\; 3(Na^+(aq)+HO^-(aq)) \longrightarrow 3C_{17}H_{33}CO_2Na(s) \;+\; \begin{array}{l} CH_2-OH \\ CH-OH \\ CH_2-OH \end{array}(\ell)$$

أولين   صودا   أوليات الصوديوم (صابون)   غليسرول

عند استعمال هيدروكسيد الصوديوم ، يكون الصابون المتكون صلبا مثل الصابون المستعمل للفرك . وعند استعمال هيدروكسيد البوتاسيوم ، يكون الصابون المتكون لينا مثل الصابون الأسود .

$$\begin{array}{l} CH_2-CO_2-R \\ CH-CO_2-R \\ CH_2-CO_2-R \end{array} (\ell \text{ ou } s) \;+\; 3(Na^+(aq)+HO^-(aq)) \longrightarrow 3R-CO_2Na(s) \;+\; \begin{array}{l} CH_2-OH \\ CH-OH \\ CH_2-OH \end{array}(\ell)$$

جسم دهني   هيدروكسيد الصوديوم   صابون   غليسرول



3.3. خاصيات الصابون:

أ - ذوبانية الصابون:

يذوب الصابون في الماء المقطر إلى حدود $100\ g.L^{-1}$. بالمقابل ، فهو قليل الذوبان في ماء مالح أو ماء يحتوي على أيونات الكالسيوم $Ca^{2+}(aq)$ أو المغنيزيوم $Mg^{2+}(aq)$ ، والذي يدعى ماء عسيرا ، حيث يترسب الصابون .

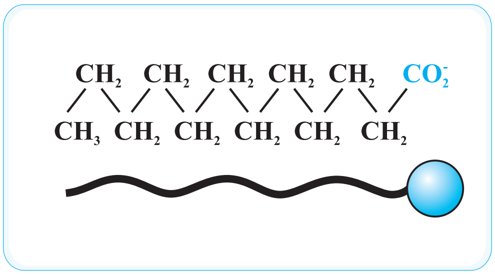
يستعمل ترسب الصابون في ماء مالح أو ماء عسير خلال تحضير قطع الصابون ، وتسمى هذه العملية بإعادة الفصل .

ب - طريقة تأثير الصابون:

يحتوي أيون الكربوكسيلات لصابون على جزئين :

– مجموعة الكربوكسيلات الأيونية $(-CO_2^-)$ ، القابلة للذوبان في الماء ، وتسمى رأسا قطبيا.

– سلسلة كربونية طويلة ، غير قابلة للذوبان في الماء .

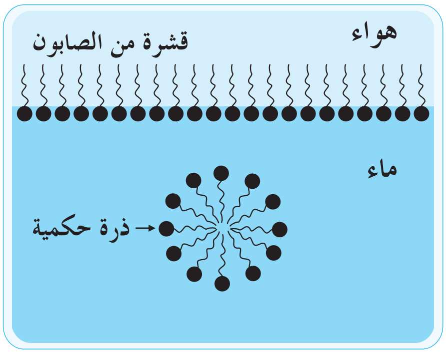


يتكون أيون الكربوكسلات لصابون من :

– رأس أيوني قطبي هيدروفيلي (محب للماء) .

– سلسلة كربونية طويلة هيدروفوبية (كارهة للماء) وليبوفيلية (محبة للدهون) .

نقول إن أيون الكربوكسيلات نوع أمفيفيلي (محب مرتين) .



• إذا كان تركيز الصابون في محلول مائي ضعيفا ، تُكَوِّن أيونات الكربوكسيلات طبقة رقيقة على السطح الفاصل ماء/هواء ، بحيث تكون الرؤوس القطبية منغرزة في الماء والسلاسل الكربونية بارزة خارج الماء .

• إذا كان تركيز الصابون في محلول مائي كبيرا ، تَتَكَوَّن فلكات قطرها 100nm تقريبا تدعى ذرات حَكَمِيَّة (ميسيلات) ، حيث تتجمع الذيول بينما تبقى الرؤوس على الغشاء الخارجي متماسة مع الماء . تعزى الخاصية المنظفة للصابون إلى وجود هذه الذرات الحكمية .

استثمار التعلمات:

البُوتيرين جسم دهني متواجد في الزبدة . و هو ثلاثي غليسيريد ناتج عن تفاعل الغليسرول مع حمض البوتانويك (أو حمض الزبدة) .

1 – أعط الصيغة نصف المنشورة للبوتيرين و احسب كتلته المولية .

2 – ننجز تركيبا للتسخين بالإرتداد مع وضع كتلة $m_i = 10g$ من البوتيرين في حوجلة بتواجد وافر لهيدروكسيد الصوديوم .

اكتب معادلة التفاعل و سم النواتج المحصلة .

3 – بعد التبريد ، نصب الخليط التفاعلي في محلول مشبع لكلورور الصوديوم .نحصل بعد التجفيف على جسم صلب عجيني كتلته $m_{exp} = 8,3\ g$.

ما الفائدة من استعمال محلول مشبع لكلورور الصوديوم ؟ و ما اسم هذه العملية ؟

4 – حدد مردود التفاعل .

معطيات : $M(H) = 1\ g.mol^{-1}$ ؛ $M(C) = 12\ g.mol^{-1}$ ؛ $M(O) = 16\ g.mol^{-1}$ ؛ $M(Na) = 23\ g.mol^{-1}$.

الحل

1 – معادلة تفاعل حمض البوتانويك مع الغليسرول هي :

$$3\ C_3H_7-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH + \begin{matrix} CH_2-OH \\ | \\ CH-OH \\ | \\ CH_2-OH \end{matrix} \longrightarrow \begin{matrix} CH_2-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-C_3H_7 \\ | \\ CH-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-C_3H_7 \\ | \\ CH_2-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-C_3H_7 \end{matrix} + 3H_2O$$

حمض البوتانويك   غليسرول   بوتيرين   ماء

إذن الصيغة الإجمالية للبوتيرين هي $C_{15}H_{26}O_6$ ، وبالتالي كتلته المولية هي : $M(C_{15}H_{26}O_6) = 15M(C) + 26M(H) + 6M(O)$

ت.ع : $M(C_{15}H_{26}O_6) = [(15\times12)+(26\times1)+(6\times16)]\ g.mol^{-1}$ أي $M(C_{15}H_{26}O_6) = 302\ g.mol^{-1}$

2 – تكتب معادلة تصبن البوتيرين كالتالي :

$$\begin{matrix} CH_2-CO_2-C_3H_7 \\ | \\ CH-CO_2-C_3H_7 \\ | \\ CH_2-CO_2-C_3H_7 \end{matrix}(s) + 3(Na^+(aq)+HO^-(aq)) \longrightarrow 3C_3H_7-CO_2Na(s) + \begin{matrix} CH_2-OH \\ | \\ CH-OH \\ | \\ CH_2-OH \end{matrix}(\ell)$$

بوتيرين   هيدروكسيد الصوديوم   بوتانوات الصوديوم   غليسرول

(صابون)