الموجات الميكانيكية المتوالية
Les ondes mécaniques progressives

I ـ الموجات الميكانيكية المتوالية

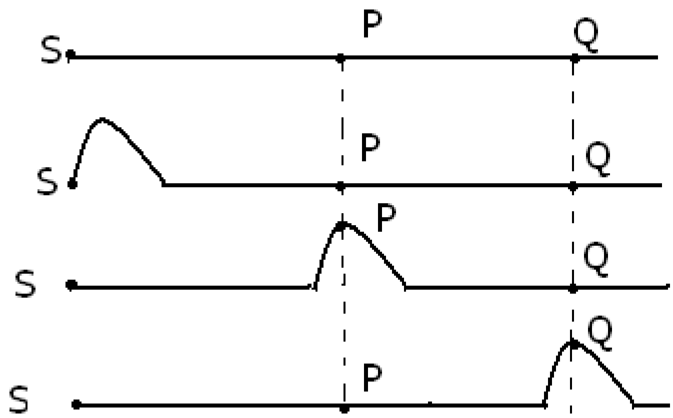
<u>1 ـ الموجة الميكانيكية</u>

النشاط التجريبي 1

نعرض التجارب التالية بواسطة فيديو أو القيام بها داخل القسم في حالة توفر المعدات اللازمة

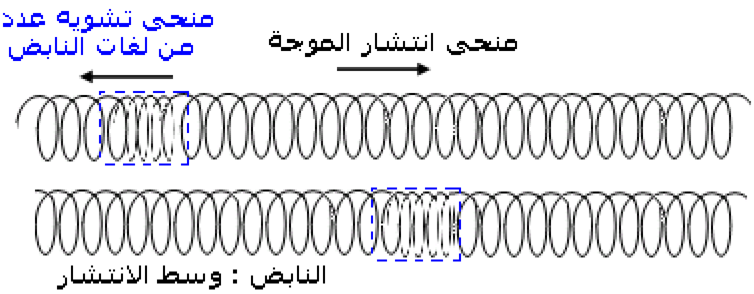
التجربة 1

نأخذ حبلا ونضعه على الأرض ، ونثبت أحد طرفيه ، ثم نقم بتحريك طرفه الآخر من ألأعلى نحو الأسفل .



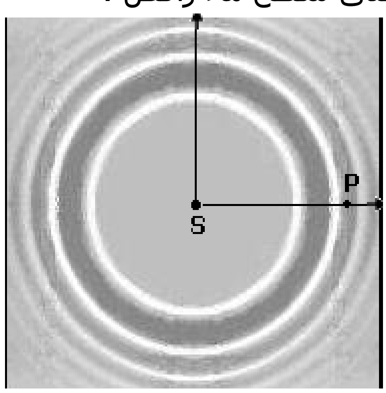
التجربة 2

نضع نابضا لفاته غير متصلة على الأرض ونضغط على بعض اللفات عند طرفه ونحررها



التجربة 3

نترك قطرة ماء تسقط على سطح ماء راكض .



استثمار

1 ـ صف في كل حالة ، التشوه البدئي للوسط ، واذكر طبيعة الوسط

التجربة	الوسط	التشوه البدئي للوسط	طبيعة الوسط	حالة الوسط
التجربة 1	الحبل	عمودي على الوسط	مادي يتكون من ذرات أي مرنة	صلبة
التجربة 2	النابض	متطابق مع الوسط	مادي يتكون من ذرات ، مرنة	صلبة
التجربة 3	الماء	عمودي على الوسط	مادي يتكون من جزيئات ، مرنة	سائلة

نسمي الوسط الذي ينتشر في التشويه **بوسط الانتشار .**

نسمي الحيز الذي انطلق منه التشويه **بمنبع الموجة .**

2 ـ بالنسبة لكل تجربة :

2 ـ 1 قارن بين حالات الوسط .

حالات وسط الانتشار في التجارب أعلاه كلها **مادية ومرنة**

2 ـ 2 هل يصاحب انتشار التشويه انتقال للمادة ؟ علل جوابك .

من خلال التجربة 1 ، فالنقطة P من وسط الانتشار أنها تتحرك أثناء مرور التشويه بها ، ثم ترجع إلى موضعها البدئي ، وتستقر بعد اجتيازه لها .

نستنتج أنه خلال انتشار الموجة ليس هناك انتقال للمادة التي تكون الوسط .

3 ـ اقترح تعريفا للموجة الميكانيكية .

نسمي موجة ميكانيكية ظاهرة انتشار تشوه في وسط مادي مرن دون انتقال للمادة التي تكون هذا الوسط

ملحوظة : نسمي موجة كل انتشار تشوه دون انتقال للمادة

<u>2 ـ الموجة الميكانيكية المستعرضة والموجة الميكانيكية الطولية .</u>

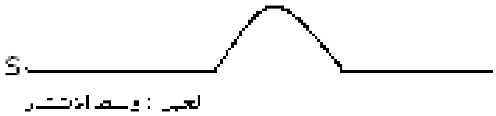
1ـ الموجة المستعرضة :

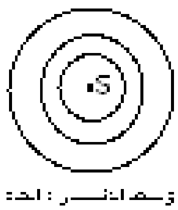
عندما تحدث موجة تشويها اتجاهه متعامد مع منحى انتشارها نقول أنها موجة مستعرضة .

2 ـ الموجة الطولية

عندما تحدث موجة تشويها له نفس اتجاه منحى انتشار ها نقول أنها موجة طولية

على التبيانات التالية حدد اتجاه التشويه واتجاه الانتشار في التجارب السابقة





R

من بين الموجات المدروسة سابقا ، حدد المستعرضة منها والطولية .

التجربة	طبيعة الموجة ، طولية أم مستعرضة
التجربة 1	مستعرضة
التجربة 2	طولية
التجربة 3	مستعرضة

1 ـ 3 الموجات الصوتية

أ ـ الصوت موجة ميكانيكية

تجربة (فيديو)

عند تفريغ الإناء الزجاجي من الهواء يختفي صوت المرنة . مما يدل على أن الصوت لاينتشر في الفراغ أي أنه يحتاج إلى وسط مادي مرن إذن **الصوت موجة ميكانيكية تنتشر في جميع الاتجاهات (ثلاثي الأبعاد) وفي جميع الأجسام المادية (السائلة والصلبة والغازية).**

تجربة (فيديو)

عند النقر على الرنان ينبعث منه صوت يؤدي إلى تحريك الكرة مما يبين أن اتجاهي التشوية والانتشار يوجدان على استقامة واحدة إذن **الصوت موجة ميكانيكية طولية .**

نعلل انتشار موجة صوتية في وسط مادي بكونها أنها نتيجة انضغاط وتمدد لوسط الانتشار .

2 ـ الموجة الميكانيكية المتوالية

نعرف الإشارة أو الموجة ظاهرة تحدث في مدة قصيرة جدا . عندما نعيد بث هذه الموجة أو الإشارة مرات عديدة نحصل على موجة متوالية. يصاحب انتشار موجة انتقال الطاقة .

أمثلة لاهتزازات مصانة تمكّن من الحصول على موجات ميكانيكية متوالية .

ـ حركة شفرة معدنية مرنة تحرر بعد تقويسها .

ـ حركة حبال مركب خاضع لتأثير الرياح .

ـ عند نقر أوتار الكمان .

ملحوظة

وكيف تنتقل الطاقة في وسط الانتشار ؟ ما هي أنواع هذه الطاقة ؟

عند إحداث تشويه بالطرف S للحبل فإنها تكتسب طاقة ميكانيكية (طاقة الوضع : تغير الموضع ، والطاقة الحركية) على شكل شغل .

وعند وصول الموجة إلى كل نقطة من نقط وسط الانتشار تعيد نفس حركة المنبع S أي أنها تكتسب بدورها الطاقة الميكانيكية للمنبع S .

أي أنه عند انتشار الموجة طول الحبل يصاحبها انتقال طاقة ، على شكل طاقة ميكانيكية .

3 ـ سرعة انتشار موجة ميكانيكية

أ ـ تجربة 4

قياس سرعة انتشار موجة ميكانيكية مستعرضة طول حبل متجانس ومتوتر بين حاملين

نستعمل خليتين كهر ضوئيتين B_1 و B_2 بحيث تفصل بينهما مسافة d ونوصلهما بميقت إلكتروني .

عند مرور الموجة أمام الخلية B_1 ، يشتغل الميقت ويتوقف عند مرورها أمام الخلية B_2 .

نقيس المدة الزمنية Δt التي يستغرقها انتشار الموجة بين B_1 و B_2 لمختلف قيم المسافة d.

نحصل على النتائج التالية :

d(m)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Δt(s)	0	0,09	0,18	0,27	0,36	0,45	0,54

على ورق مليمتري نمثل $d=f(\Delta t)$

نحصل على مستقيم يمر من أصل المحورين

نستخلص أن d تتغير خطيا مع المدة الزمنية Δt أي أن $c=\frac{d}{\Delta t}$ حيث يدل c على سرعة انتشار الموجة طول الحبل .

<u>ب ـ العوامل التي تؤثر في سرعة الانتشار طول الحبل .</u>

نعيد نفس التجربة السابقة بنفس الحبل .

نحتفظ بنفس الطول للحبل ونفس التوتر ونغير استطالة التشويه نلاحظ أن سرعة انتشار الموجة تبقى ثابثة .

نحتفظ بنفس الطول ونغير توتر الحبل ونقيس سرعة انتشار موجه ميكانيكية

نلاحظ أنه كلما ارتفع توتر الحبل ، تزداد سرعة انتشار الموجة طول الحبل

بالنسبة لحبلين لهما نفس التوتر ، تكون سرعة انتشار الموجة أصغر في الحبل ذي الكتلة الطولية الكبرى أي أن سرعة الانتشار تنقص كلما ازداد قصور وسط الانتشار .

<u>خلاصة:</u>

بالنسبة لوسط مادي متجانس تكون سرعة انتشار موجة مستقلة عن شكل التشوه وعن مدته ، فهي تتعلق بطبيعة وسط الانتشار ، خاصة من حيث مرونته و قصوره ، ودرجة حرارته .

ملحوظة : سرعة انتشار موجة صوتية

الموجة الصوتية موجة طو

الهواء .

تبين التجربة أن سرعة انتشار الصوت تتعلق بطبيعة وسط الانتشار.

الوسط	سرعة انتشار الصوت ب m/s
الأجسام الصلبة	
ـ الزجاج	$6,5.10^3$
ـ القشرة الأرضية	4.10^3
السوائل عند درجة حرارة 20°C	
الماء	15
ماء البحر	$1,53.10^3$
الغازات عند درجة 20°C	
الهواء	340.10
الهيدروجين	$1,33.10^3$

<u>4 ـ المقارنة بين حركة جسم وإشارة ميكانيكية</u>

إشارة ميكانيكية	حركة جسم
تحدث انطلاقا من منبع ويمكن أن تنتشر في جميع الاتجاهات	مسار جد محدد
عدم انتقال المادة	انتقال المادة
الموجات لاتنتقل في الفراغ أي سرعة انتشارها منعدمة بينما هي أكبر في	ينتقل الجسم بسهولة في الفراغ أي أن سرعة جسم في الفراغ أكبر من سرعته في

الأجسام الصلبة من الأجسام السائلة والأجسام الغازية v(solide)>v(liquide)>v(gaz)	الغاز
سرعة انتشار موجة لاتتعلق بالشروط البدئية في حالة استطالة صغيرة	سرعة الجسم تتعلق بالشروط البدئية .

5ـ التأخر الزمني لموجة ميكانكية

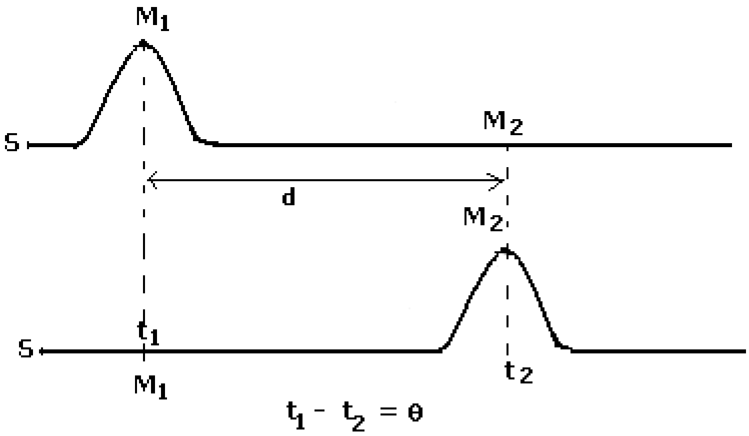
نحدث موجة ميكانيكية طول حبل انطلاقا من S طرف الحبل و V سرعة انتشار هذه الموجة طول الحبل .

نعتبر شكل الحبل في لحظتين t_1 و t_2 . خلال هذه المدة قطعت الموجة مسافة $d=M_1M_2$.

عند وصول الموجة النقطة M_2 فإنها ستتحرك بنفس الاستطالة لحركة المنبع S .

نسمي $\theta=\Delta t=t_2-t_1$ بالتأخر الزمني للموجة ونعبر عنها بالعلاقة التالية :

$$\theta = \frac{M_1M_2}{V}$$



6 ـ الخواص العامة لموجة ميكانكية

5 ـ 1 اتجاه انتشار موجة

تنتشر موجة انطلاقا من منبعها في جميع الاتجاهات المتاحة لها .

5 ـ 2 تراكب موجتين ميكانيكتين .

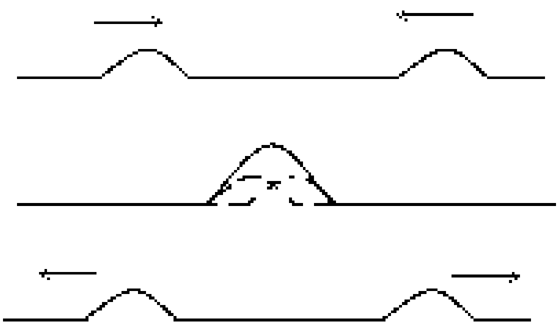
ماذا يحدث عندما تتراكب موجتين ؟

تجربة (فيديو)

على طرفي حبل نحدث موجتين متقابلتين ، عند التقائهما في نقطة P من الحبل تتراكبان ونلاحظ :

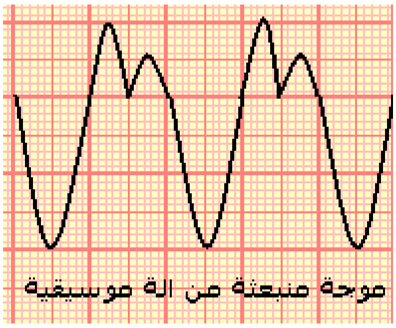
عدم حدوث تصادم بين الموجتين لأنهما بعد التقائهما يستمر انتشار كل منهما دون تأثير ناتج عن تراكبهما ، بحيث تحتفظ كل موجة بنفس المظهر ونفس سرعة الانتشار .

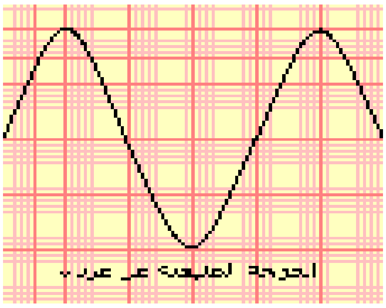
ملحوظة : تتحقق هذه الخاصية فقط بالنسبة لموجات ذات تشوه جد ضعيف أو استطالة التشويه ضعيفة .



الموجات الميكانيكية المتوالية الدورية
Les ondes mecaniques progressives periodiques

I ـ الموجة الميكانيكية المتوالية الدورية





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

بواسطة راسم التذبذب و ميكروفون نعاين موجتين صوتيتين:

ـ موجة منبعثة من آلة موسيقية :

ـ موجة منبعثة من مرنان Diapason

1 ـ 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 ـ 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 ـ 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 ـ الموجة الميكانيكية المتوالية الجيبية</u>

1 ـ 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 ـ كيف هو شكل الحبل في غياب الوماض ؟

ـ 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**

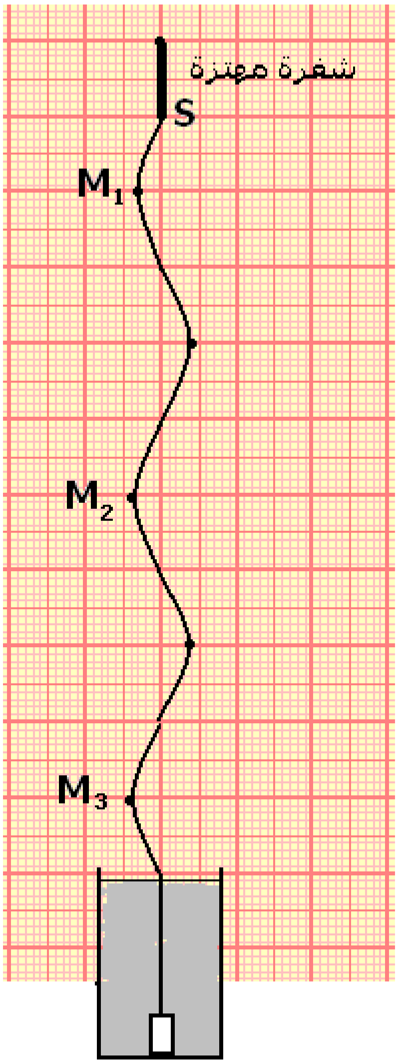
تعريف :

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

2 ـ الدورية الزمانية

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**

4ـ تعريف بطول الموجة

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 الحبلP 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 .

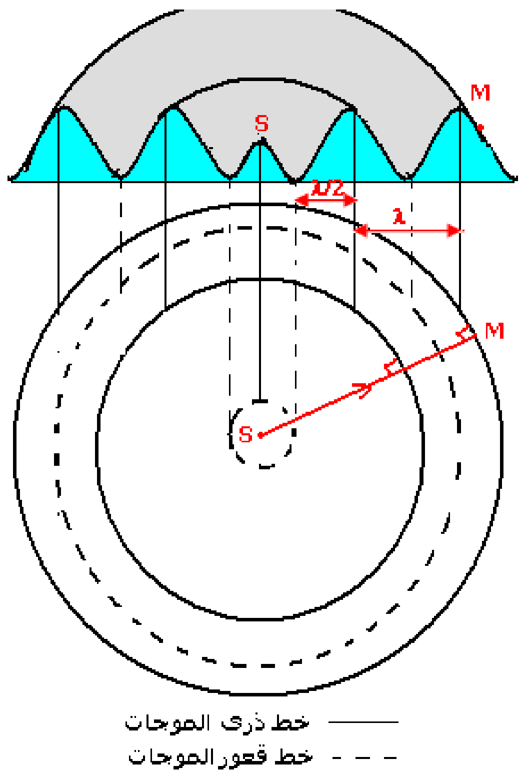
III ـ الإبراز التجريبي لظاهرة حيود موجة ميكانيكية متوالية جيبية

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

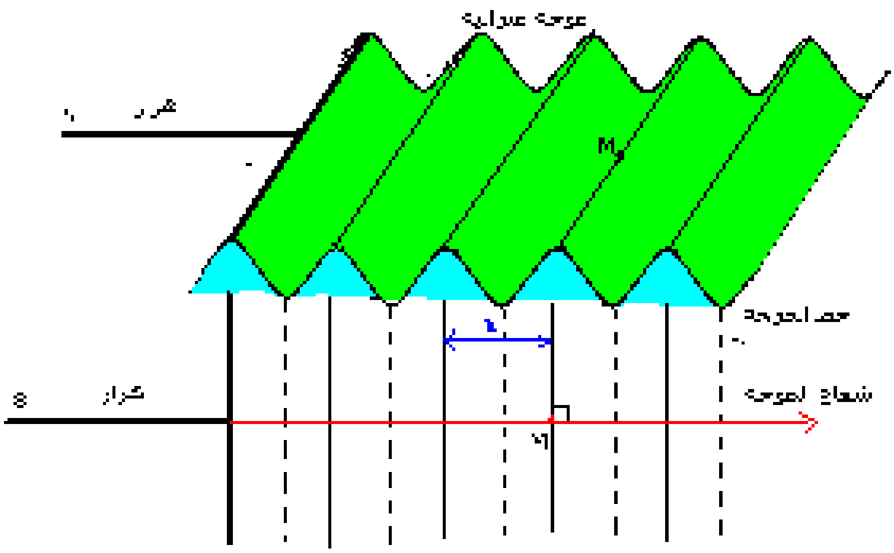
- جميع نقط وسط الانتشار المتواجدة على نفس الدائرة تهتز بكيفية مماثلة . نقول أن هذه النقط تنتمي إلى نفس خط الموجة ويسمى المستقيم SM العمودي على خط الموجة شعاع الموجة منحاه هو منحى انتشار الموجة

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

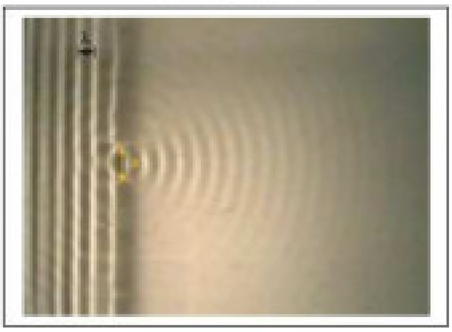
تجربة :

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 1

Photographie 2

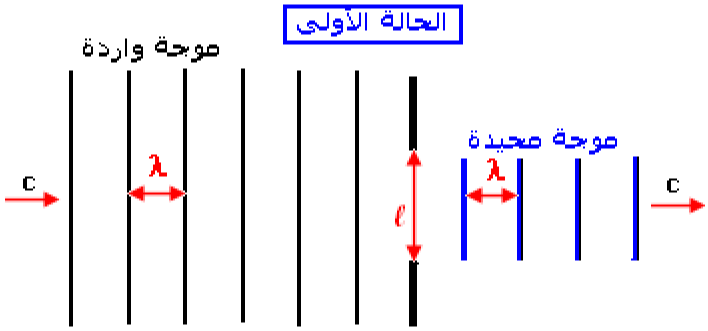


ملاحظات

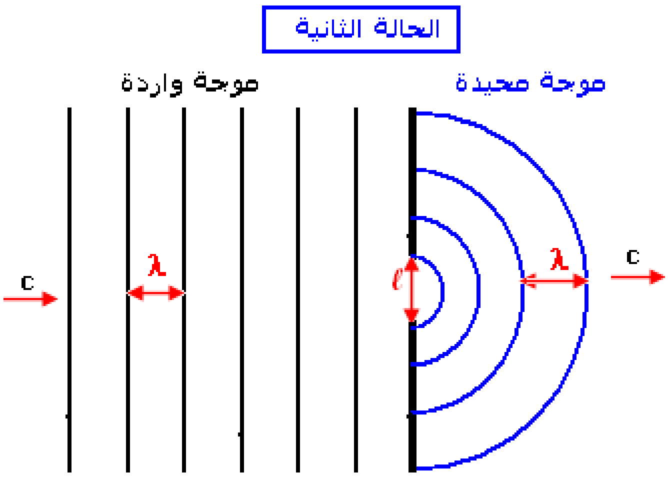
الحالة الأولى : $\ell >> \lambda$. يلاحظ

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

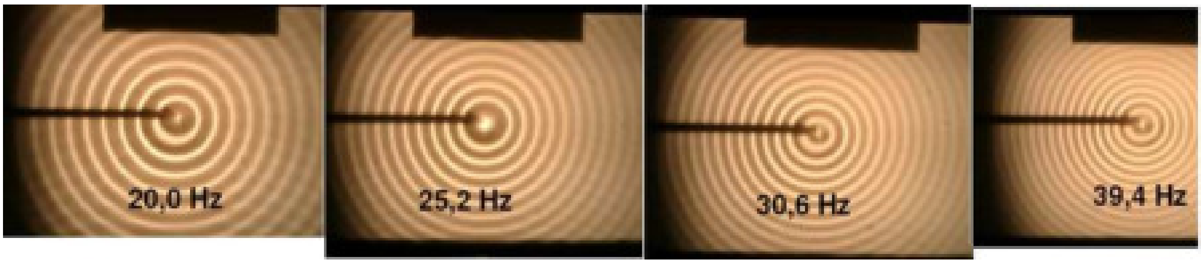
تجربة :

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 .

انتشار موجة ضوئية
Propagation d’une onde lumineux

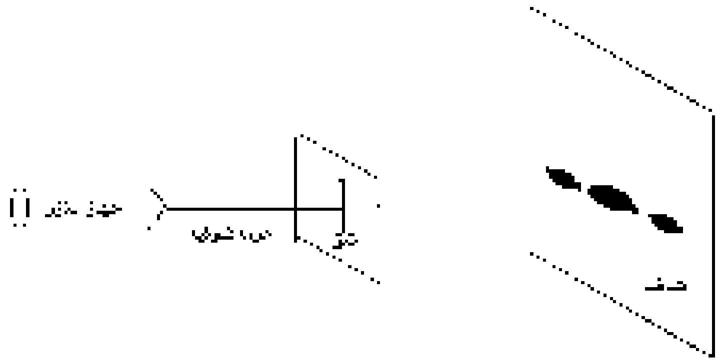
I ـ الإبراز التجريبي لظاهرة حيود الضوء

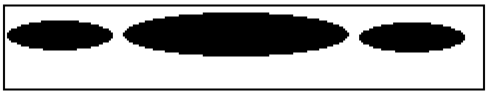
1 ـ تجربة

ننجز التركيب التجريبي جانبه حيث :

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

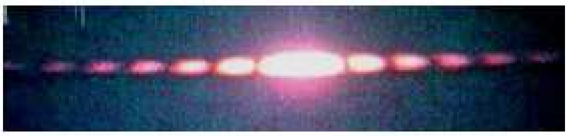
ـ نضع صفيحة بها شق عرضه a على مسافة D=1,77m من الشاشة ، فنشاهد على هذه الأخيرة الشكل أ .





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 ـ 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 .

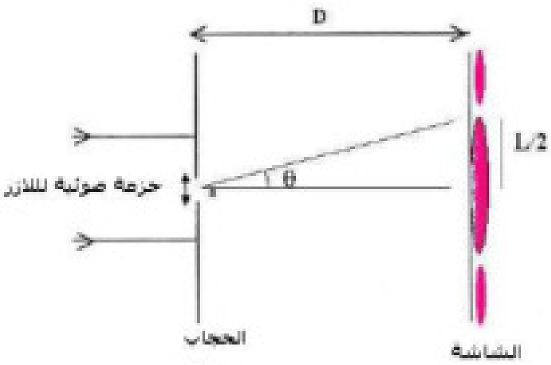
ولقد توصل العالم هويكنس Huygnes إلى هذه الفرضية في منتصف القرن السابع عشر الميلادي وثم إثباتها تجريبيا في بداية القرن التاسع عشر الميلادي من طرف العالم يونغ Young

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

ـ يرمز للفرق الزاوي بين وسط البقعة المركزية وأول بقعة مظلمة بالحرف θ .

4 ـ 1 بالنسبة لفرق زاوي صغير ، يمكن كتابة العلاقة tanθ=θ ، حيث يعبر عن θ بالرديان .

أثبت العلاقة : $\theta = \frac{L}{2D}$



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

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

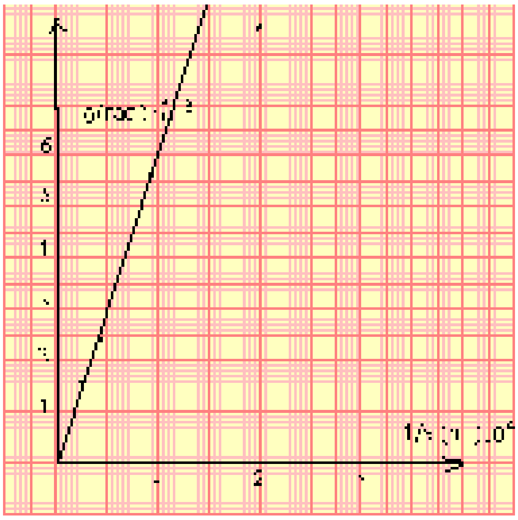
4 ـ 2 مثل المنحنى الممثل لتغيرات θ بدلالة $\frac{1}{a}$

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 .

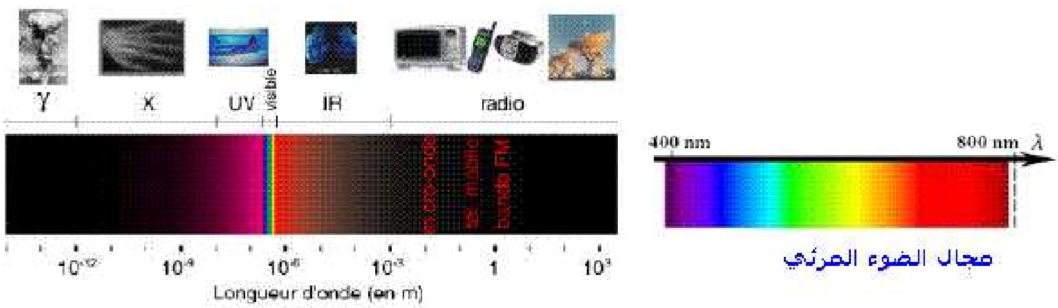
2 ـ العلاقة بين طول الموجة الضوئية والتردد

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 المقدران مرتبطان بالعلاقة التالية :

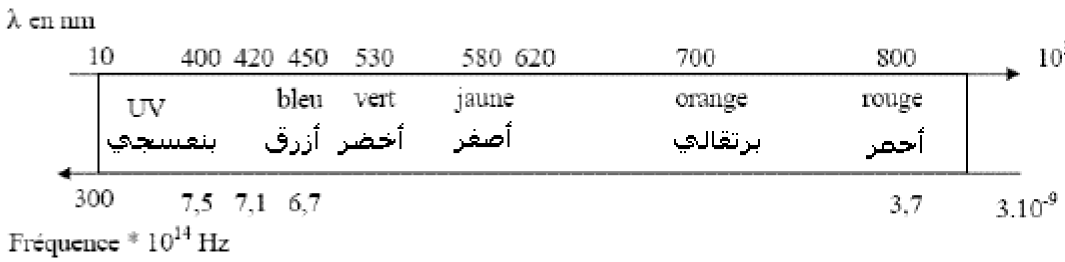
$$\lambda = c.T$$

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



III ـ تبدد الضوء La dispersion de la lumière

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 :

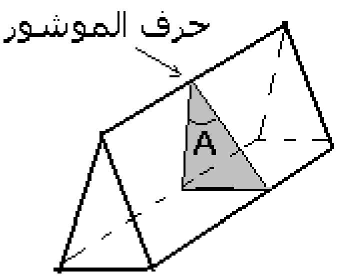
$n_{air} = 1{,}00$.

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 : $\lambda_{vide} = c.T = \dfrac{c}{\nu}$



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

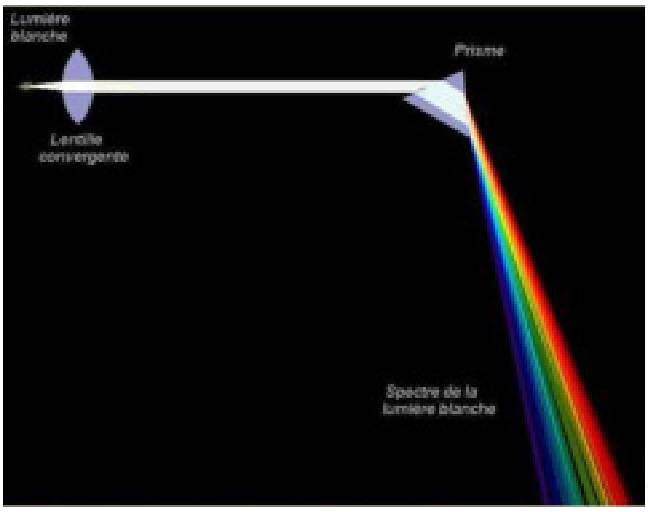
$\lambda = V.T = \dfrac{c}{n.V}$ حسب العلاقة السابقة

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

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 A المقابلة للقاعدة .

تجربة : تحليل الضوء الأبيض

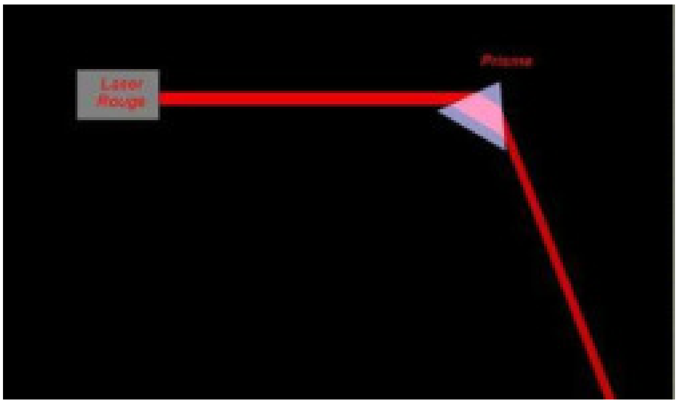
أنظر هذا الرابط بالأنترنيت

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) نلاحظ 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 : عند 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 :

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

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

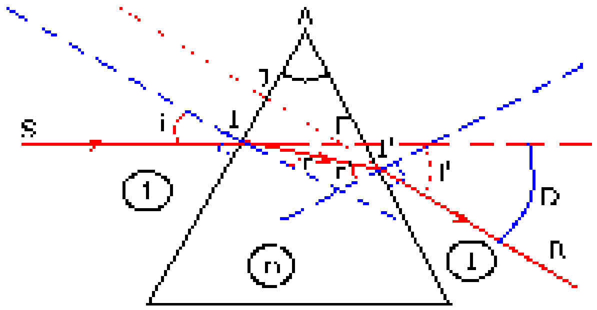
هندسيا لدينا : حسب المثلث AII’

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

نأخذ زاويا المثلث AJI’ و IJE

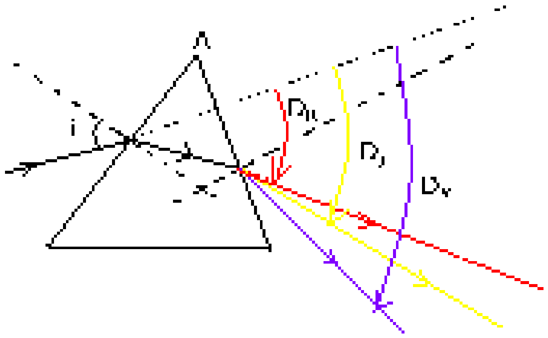
$$\hat{A} + (\frac{\pi}{2} - i') + (\pi - \frac{\pi}{2} - i + D) = \pi \Rightarrow \hat{A} - i' - i + D = 0$$

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



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 إالشعاعات 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 $\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$

التناقص الإشعاعي
Décrissance radioactive

I ـ الذرة (تذكير)

1 ـ نموذج الذرة

تتكون الذرة من نواة وإلكترونات تدور حول هذه الأخيرة .
تتكون النواة من دقائق تسمى بالنويات nucléon البروتونات (p) والنوترونات (n) .

2 ـ خاصيات نواة الذرة .

نمثل نواة ذرة لعنصر كيميائي X بالرمز $^{A}_{Z}X$.

X : رمز العنصر الكيميائي
Z : عدد البروتونات و A عدد الكتلة .
عدد النوترونات هو N=A-Z .
مثال : أحسب عدد البروتونات وعدد النوترونات لنواة الكلور $^{35}_{17}C\ell$

3 ـ النويدات nucléides

في الفيزياء الذرية يطلق اسم النويدة على مجموعة من النوى تتميز بعدد معين من البروتونات ومن النوترونات .
نعرف نويدة بإعطاء Z و A . مثلا $^{12}_{6}C$ و $^{14}_{6}C$ نويدتان لعنصر الكربون .

4 ـ النظائرية

النظائر ، نويدات تحتوي على نفس عدد البروتونات وتختلف من حيث عدد النوترونات
مثال : $^{35}_{17}C\ell$ و $^{37}_{17}C\ell$ نظيرين لعنصر الكلور .

- **الوفارة الطبيعية** : بالنسبة لخليط طبيعي كتلته m يتكون من نظائر عنصر ما ، نعرف الوفارة الطبيعية θ_i لنظير i كتلته m_i في هذا الخليط بالعلاقة : $m=\sum m_i\theta_i$ ، ويعبر عنها بالنسبة المائوية .

مثال : الوفارة الطبيعية للأورانيوم : $^{234}_{92}U$: 0,006% ، $^{235}_{92}U$: 0,718 ، $^{238}_{92}U$: 99,276 .

5 ـ كثافة المادة النووية

تبين التجارب النووية أنه يمكن نمذجة نواة بكرية شعاعها r يتعلق بعدد الكتلة A وفق العلاقة :
$r=r_0A^{1/3}$ حيث أن $r_0=1,2.10^{-15}m$ شعاع ذرة الهيدروجين .

يمكن استنتاج القيمة التقريبية للكتلة الحجمية للنواة : $\rho=\dfrac{mA}{\frac{4}{3}\pi r^3}=\dfrac{3m}{4\pi r_0^3}$

الكتلة التقريبية للنواة : $m=1,67.10^{-27}kg$ تكون الكتلة الحجمية التقريبية : $\rho\approx 2.10^{17}\,kg/m^3$ مما يدل على أن النواة أو **المادة النووية شديدة الكثافة** .

II ـ النشاط الإشعاعي

نص وثائقي :

في سنة 1986 م اكتشف العالم الفيزيائي الفرنسي بيكريل Hernie Becquerel النشاط الإشعاعي عن طريق الصدفة حينما كان يقوم بأبحاث علمية على أشعة X الحديثة الاكتشاف أنداك وذلك بتعريض أملاح الأورانيوم لأشعة الشمس ، في 26 فبراير 1896 م كان يوما غائما ، فتعذر عليه تعريض هذه الأملاح لأشعة الشمس ، فوضعها في درج مكتبه مع صفائح فوتوغرافية مكسوة بغشاء من ورق سميك أسود ومعتم .
وفي أول مارس من نفس السنة قام بيكريل بتحميض الصفائح الفوتوغرافية فلاحظ بانبهار كبير أنها متأثرة ، رغم عدم تعرضها للأشعة الشمسية .
على صفائح فوتوغرافية .
وسنتان بعد ذلك لاحظ الفيزيائيان بيير كوري وزوجته ما
اكتشفها بيكريل .
كانت هذه الاكتشافات الخطوة الأساسية لانطلاق أبحاث أخرى أدت إلى التعرف وتصنيف الأشعة المنبعثة من المواد المشعة ، حيث تم التعرف على الأشعة المنبعثة من الأورانيوم من طرف العالمان الإنجليزيان

فريديريك سودي ، مبينا أنها عبارة عن نوى الهيليوم المتأينة ، وسميت أشعة α , ويعبر عن هذا الانبعاث بالمعادلة :

$${}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

في سنة 1900 م تعرف بكيريل على نوع آخر من الإشعاعات النووية وهو الإشعاع β^- . وهو عبارة عن انبعاث إلكترونات ${}^{0}_{-1}e$ من نوى الطوريوم Th وفق المعادلة التالية : ${}^{234}_{90}Th \rightarrow {}^{234}_{91}Pa + {}^{0}_{-1}e$

وبعد ذلك أبرز العالم الفرنسي بول فيلار وجود الأشعة γ وهي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية غير مرئية .

استثمار :

1 ـ ما هي طبيعة الأشعة X ؟ ما رتبة قدر طول موجتها µm أو nm ؟

طبيعة الإشعاعات X هي إشعاعات غير مرئية . رتبة قدر طول موجتها nm

$0,001nm \le \lambda \le 10nm$

2 ـ كيف اكتشف بيكريل أن أملاح الأورنيوم تبعث أشعة غير مرئية ؟

عند وضعه أملاح الأورانيوم داخل درج مع صفائح فوتوغرافية وبعد يومين تبين له أن الصفائح تأثرت بأشعة شبيهة بالأشعة X أي غير مرئية .

3

لقد كان هذا الاكتشاف بالصدفة .

4 ـ ما هو النشاط الإشعاعي ؟ كيف يمكن الكشف عن مادة مشعة ؟

النشاط الإشعاعي هو تحول طبيعي تلقائي لنواة مشعة أي غير مستقرة إلى نواة أخرى وذلك بانبعاث إشعاعات نشيطة .

يمكن الكشف عن مادة مشعة

5 ـ أذكر النواتين المشعتين التي تم التعرف عليهما إلى حدود سنة 1898م .

الطوريوم ${}^{234}_{90}Th$ و الأورانيوم ${}^{238}_{92}U$

6 ـ أذكر أنواع الإشعاعات النووية الواردة في النص وحدد طبيعتها .

أشعة α وهي نوى الهيليوم ${}^{4}_{2}He$ والإشعاع β^- وهي عبارة عن انبعاث إلكترونات ${}^{0}_{-1}e$ والإشعاع γ عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ..

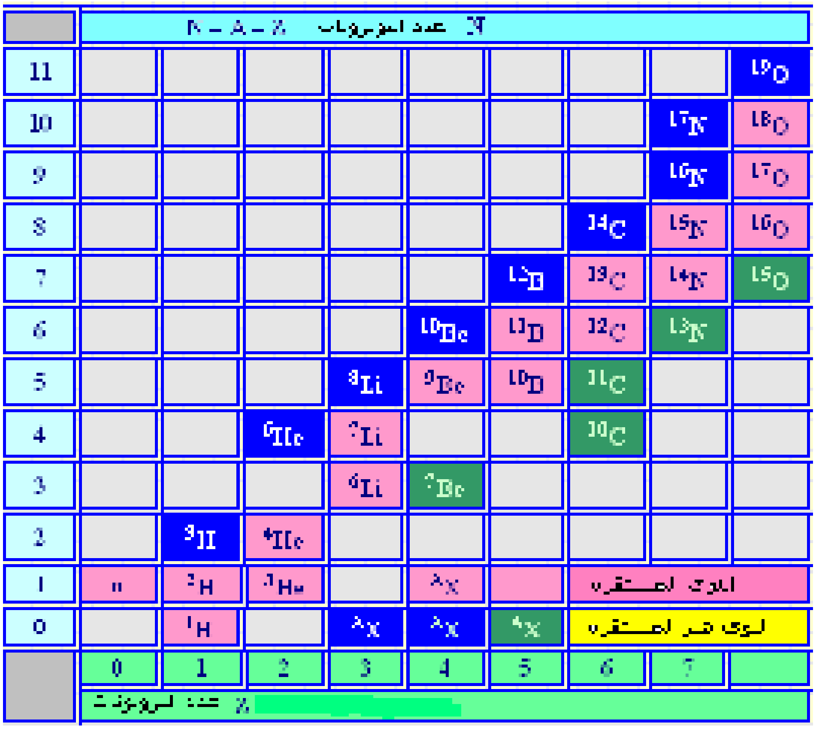
تحقق من انحفاظ كل من عدد الكتلة وعدد الشحنة في معادلتي التحولين الواردين في النص

1 ـ تعريف النشاط الإشعاعي .

النشاط الإشعاعي تحول طبيعي وتلقائي يسمى كذلك باستحالة نووية، وغير مرتقب في الزمن ، تتحول خلاله نواة غير مستقرة تسمى نواة الأصل إلى نواة أخرى تسمى بنواة متولدة أو إلى حالة إثارة أقل طاقة .

وتسمى النواة غير المستقرة **بالنواة المشعة** أو **نواة إشعاعية النشاط** والدقائق المنبعثة **بإشعاعات نشيطة .**

2 ـ مخطط سيغري ، مخطط (N,Z) .



النشاط الوثائقي 2

يفسر تماسك النواة بوجود قوى جاذبية بين النويات . لهذه القوى شدة كبيرة جدا وتسمى قوى التأثيرات البينية النووية . وهي أكبر بكثير من التأثيرات البينية الكهرساكنة وقوى التجاذب الكوني وهذا ما يجعل أن النوى مستقرة ومع ذلك توجد نويدات غير مستقرة أي تتحول تلقائيا إلى نوى أخرى بعد بعثها إشعاعات نشيطة .

كيف يمكن التنبؤ باستقرار نواة ؟

بواسطة مخطط سيغري يمكن تحديد النوى المستقرة والنوى المشعة ، حيث تمثّل كل نواة بمربع صغير أفصوله Z عدد برتونات النواة وأرتبه N عدد نوترونات النواة . ويسمى المجال الذي يحتوي على النوة المستقرة (المربعات الحمراء) بمنطقة الاستقرار ويحاديه من كل جهة النوى غير المستقرة .

استثمار :

1 ـ ذكر بمدلول الحرف A و Z في التمثيل $^{A}_{Z}X$ ، واعط العلاقة بين A و Z و N .

2 ـ حدد موضع النوى المستقرة بالنسبة ل Z<20 (النوى الخفيفة). بماذا تتميز هذه النوى ؟ واستنتج أن $\frac{A}{Z}$ تساوي 2 تقريبا .

النويدات المستقرة توجد قريبة من المستقيم N=Z فهي تتميز بكون أن عدد البرتونات يساوي عدد النوترونات . ويحقق عدد الكتلة A العلاقة التالية : A=2Z تقريبا .

3 ـ بالنسبة ل Z>20 أين توجد هذه النوى بالنسبة للمستقيم N=Z ؟ بماذا تتميز هذه النوى ؟ ما هو استنتاجك ؟

بالنسبة ل Z>20 تكون منطقة الاستقرار فوق المستقيم ذي المعادلة Z=N وتتميز هذه النوى بأن عدد النوترونات أكبر من عدد البروتونات . نستنتج أن استقرار النواة في هذه الحالة لا يمكن أن يحصل إلا إذا كان عدد النوترونات أكبر من عدد البروتونات .

4ـ كيف تصبح النسبة $\frac{A}{Z}$ بالنسبة للنوى الثقيلة المستقرة أي بالنسبة ل Z>70 ؟

$\frac{A}{Z} \approx 2,5$ بالنسبة للنوى الثقيلة .

5 ـ النواة $^{137}_{56}Ba$ هل هي مستقرة ؟ هل هي نشيطة إشعاعيا ؟

نفس السؤال بالنسبة ل $^{131}_{56}Ba$ و $^{144}_{56}Ba$

$^{137}_{56}Ba$ و $^{144}_{56}Ba$ و $^{131}_{56}Ba$ توجد هذه النوى في منطقة الاستقرار , فهي نوى مستقرة .

6 ـ في بعض الحالات ، وخلال تحول نووي تلقائي ، تتفتت نوترون داخل نواة إلى بروتون . في أي مجال من المخطط توجد هذه النوى التي تخضع لهذا التحول ؟

يحصل هذا التحول بالنسبى للنوى غير المستقرة وعدد نوتروناتها أكبر من عدد البروتونات .

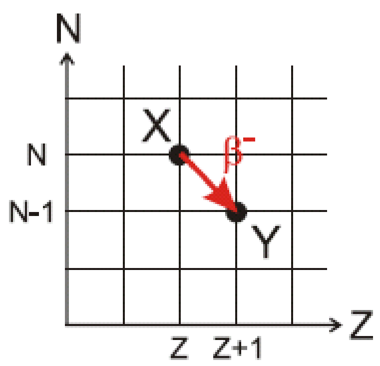
خلاصة :

منطقة الاستقرار : بالنسبة ل Z<20 هي المتطابقة مع المستقيم ذي المعادلة Z=N أي أن عدد البروتونات مساو لعدد النوترونات .

بالنسبة ل Z>20 تتموضع منطقة الاستقرار فوق المستقيم N=Z ويكون في هذه الحالة عدد النوترونات أكبر من عدد البروتونات .

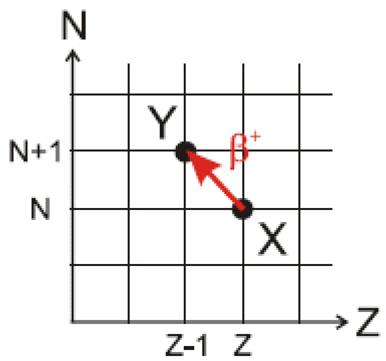
النوى غير المستقرة :

هناك ثلاث حالات :



- **النواة الأصل $^{A}_{Z}X$ توجد فوق منطقة الاستقرار .**

عدد النوترونات أكبر من عدد البرتونات في هذه الحالة تكون عندنا استحالة نووية تلقائية حيث تتحول البرتونات إلى نوترونات ويصاحب هذا التحول انبعاث إلكترونات $^{0}_{-1}e$ تسمى دقائق β^{-} حيث نحصل على نواة متولدة $^{A}_{Z+1}Y$ والتي تقترب من مجال من الاستقرار .



- **النواة الأصل $^{A}_{Z}X$ توجد تحت منطقة الاستقرار .**

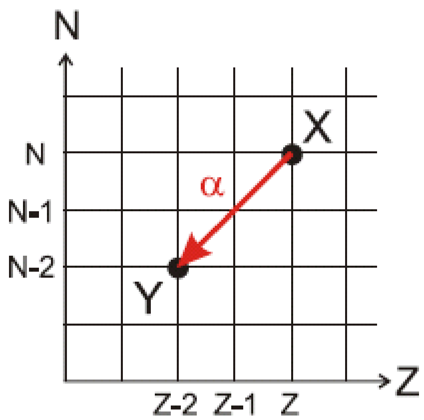
تتوفر نواة الأصل على أكبر عدد من البرتونات مقارنة مع النوترونات أي أن هناك استحالة نووية تلقائية حيث تتحول البرتونات إلى نوترونات مع انبعاث بوزترونات $^{0}_{+1}e$ تسمى دقائق β^{+} حيث نحصل على نواة متولدة $^{A}_{Z-1}Y$ والتي تقترب إلى منطقة الاستقرار .

- **حالة النوى الثقيلة (N , Z) كبيران جدا**

A>170 لكي تقترب من منطقة الاستقرار تتفتت باعثة نوى الهيليوم $^{4}_{2}He$ تسمى بالدقائق α . ونحصل على نواة متولدة $^{A-4}_{Z-2}Y$.

في غالب الأحيان يصاحب هذا التحولات انبعاث إشعاعات مهرمغناطيسية γ وهذا يلاحظ عندما تكون النواة الأصلية في حالة مثارة حيث تتوفر على وفرة من الطاقة .

III ـ قوانين الانحفاظ والمعادلات النووية للأنشطة الإشعاعية . α,β;γ



يمكن نمذجة الأنشطة الإشعاعية بمعادلات نووية تخضع لقانون صودي .

نص القانون : خلال تحول نووي تنحفظ الشحنة الكهربائية Z وكذلك العدد إجمالي للنويات A .

1 ـ معادلة النشاط الإشعاعي α

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$$

$${}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

يلاحظ أنه خلال هذا التحول يتحقق قانون صودي .

2 ـ معادلة النشاط الإشعاعي β^-

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$$

$${}^{60}_{27}Co \rightarrow {}^{60}_{28}Th + {}^{0}_{-1}e$$

3 ـ معادلة النشاط β^+ .

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e$$

$${}^{19}_{10}Ne \rightarrow {}^{19}_{9}F + {}^{0}_{+1}e$$

4 ـ معادلة النشاط الإشعاعي γ

الإشعاع γ α, و β^- و β^+ ،

حيث تكون النواة المتولدة في حالة إثارة ولفقدان إثارتها تفقد الطاقة وذلك ببعث إشعاعاتγ

معادلة الإشعاع γ تكتب على الشكل التالي :

$${}^{A}_{Z}Y^* \rightarrow {}^{A}_{Z}Y + \gamma$$

$${}^{16}_{7}N \rightarrow {}^{16}_{8}O^* + {}^{0}_{-1}e$$

$${}^{16}_{8}O^* \rightarrow {}^{16}_{8}O + \gamma$$

${}^{16}_{8}O^*$ نواة متولدة في حالة مثارة

${}^{16}_{8}O$ نواة متولدة في حالتها الأساسية .

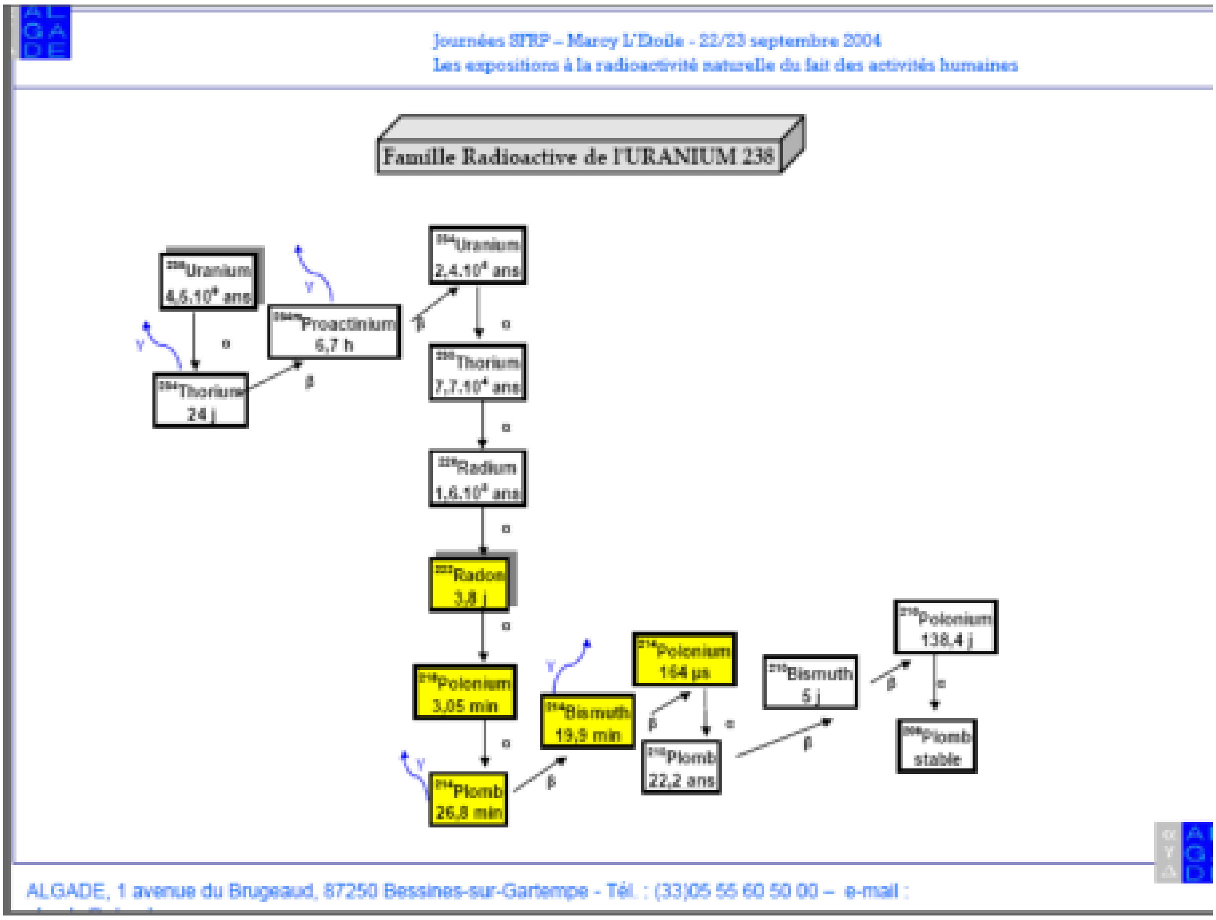
5 ـ الفصيلة المشعة .

تتحول نواة أصلية غير مستقرة إلى نواة أخرى , إذا كانت هذه الأخيرة غير مستقرة ، فإنها بدورها تتحول إلى نواة أخرى ، وهكذا إلى أن نحصل على نواة مستقرة وغير مشعة . نسمي مجموع النوى الناتجة عن نفس النواة الأصلية فصيلة مشعة / famille radioactive

توجد أربع فصائل مشعة طبيعية تنحدر من النوى التالية :

$${}^{232}_{90}Th,\ {}^{237}_{93}Np,\ {}^{235}_{92}U,\ {}^{238}_{92}U$$

مثال فصيلة الأورانيوم 238 :



VI ـ التناقص الإشعاعي

1 ـ الصبغة العشوائية للنشاط الإشعاعي

النشاط الإشعاعي ظاهرة عشوائية تحدث تلقائيا ، إذ لا يمكن التنبؤ باللحظة التي يحدث فيها التفتت ولا يمكن تغيير خاصيات هذه الظاهرة .

النشاط التجريبي 3

تفتت نواة ظاهرة عشوائية غير مرتقبة في الزمن ، ذلك أنه لا يمكن التنبؤ بحدوث نشاط إشعاعي لنواة في لحظة معينة . غير أنه يمكن معرفة احتمال وقوعه خلال مدة زمنية معينة Δt .

نفس الشيء

مثلا ، بل يمكن فقط معرفة احتمال ظهور الوجه (6) وهو $p = \frac{1}{6}$.

يمكن مماثلة نواة مشعة بنرد ، والحصول على منحنى يوافق قانون التناقص الإشعاعي وذلك بتحديد عدد الرميات التي يظهر فيها الوجه (6)

يمكن لهذا الغرض استعمال برنم محاكات رمي الرند

نبث عدد النردات $N_0=100$. نقوم بالرمية الأولى فيسجل لنا عدد النردات التي يظهر فيها الوجه (6) فهذا العدد يمثل عدد النوى المفتتة خلال الثانية الأولى نزيل هذا العدد من N_0 فنحصل على العدد N_1 عدد النوى المتبقية بدون تفتت . نقوم بالرمية الثانية فيسجل لنا عدد النردات التي يظهر فيها الوجه (6) . يمثل هذا العدد النوى المفتتة خلال الثانية الموالية . نزيل العدد N_2 من بين العدد N_1 الخ

نعيد نفس العملية بواسطة برنم المحاكة . ندون النتائج في الجدول التالي :

t(s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
عدد النردات التي ظهر فيها الوجه (6)																					
عدد النردات المتبقية	100	85	73	61	54	42	38	35	27	24	21	19	14	14	11	10	8	6	5	4	4

استثمار النتائج

1 ـ مثل المنحنى N(t) عدد النردات المتبقية بدلالة الزمن .

2 ـ حدد المدة الزمنية $t_{1/2}$ التي تقلص خلالها عدد النردات المتبقية إلى النصف . نسمي $t_{1/2}$ عمر النصف .

3 ـ أدخل نتائج التجربة في برنم يعالج المعطيات (ريغريسي)

4 ـ أحسب النسبة $\frac{t_{1/2}}{\tau}$ وقارنها مع ln2 . ماذا تستنتج ؟

2 ـ قانون التناقص الإشعاعي

ـ نعتبر عينة تحتوي على N_0 من نوى المشعة في اللحظة t=0 . ونعتبر N(t) عدد النوى المتبقية في اللحظة t أي التي لم تتفتت بعد .

$N(t)+dN(t)$ عدد النوى المتبقية في اللحظة $t+dt$ بما N(t) تتناقص إذن dN(t)<0 . أي أن عدد النوى المتفتتة بين اللحظتين t و t+dt هو $N(t)-\left(N(t)+dN(t)\right)=-dN(t)$

تبين الدراسة الإحصائية لعينة أن عدد النوى المتفتتة dN(t) - يتناسب مع N(t) عدد النوى المتبقية في العينة و dt المدة الزمنية

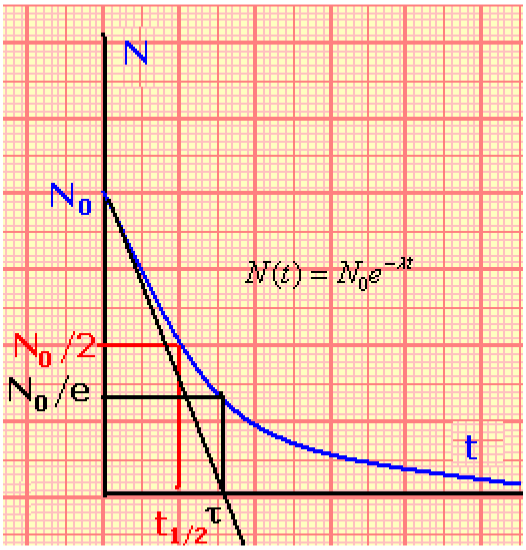
ويعبر عن هذا رياضيا بالعلاقة :

$$-dN(t)=\lambda N(t).dt \Rightarrow \frac{dN(t)}{N(t)}=-\lambda dt$$

وهي معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى حلها يكتب على الشكل التالي :

$N(t)=Ke^{-\lambda t}$ تحدد الثابتة K حسب الشروط البدئية :

$N(t=0)=N_0=K$



الجداء λt لا بعد له أي أن $\left([\lambda]=\frac{1}{[t]}=s^{-1}\right)$ وبالتالي فإن وحدة λ هي s^{-1}

يخضع عدد النوى N(t) المتبقية في عينة مشعة لقانون التناقص الإشعاعي التالي : $N(t)=N_0e^{-\lambda t}$ ، حيث :

λ تسمى ثابتة النشاط الإشعاعي أو ثابتة التفتت . وهي تميز طبيعة النويدة المشعة و N_0 عدد النوى في اللحظة t=0 .

3 ـ ثابتة الزمن ـ عمر النصف

أ ـ ثابتة الزمن τ

تمكن ثابتة النشاط الإشعاعي λ من تعرف زمن مميز لنويدة مشعة معينة ، يسمى ثابتة الزمن رمزها τ وتعرف بالعلاقة : $\tau=\frac{1}{\lambda}$

τ تميز طبيعة النويدة المشعة . وحدة τ هي s (الثانية)

يصبح قانون التناقص الإشعاعي كالتالي :

$$N(t)=N_0e^{-\lambda t}=N_0e^{-\frac{t}{\tau}}$$

عند اللحظة t=τ نأخذ N(t) القيمة :

$$N(\tau)=N_0e^{-1}\Rightarrow N(\tau)=0,37N_0$$

وهو ما يمثل نقصانا في عدد النوى البدئية N_0 بنسبة 63% .

وتجدر الإشارة إلى أن المماس للمنحنى الأسي عند اللحظة t=0 يقع محور الأفاصيل عند التاريخ t=τ .

ب ـ عمر النصف $t_{1/2}$ لنويدة مشعة .

يسمى عمر النصف $t_{1/2}$ المدة الزمنية اللازمة لتفتت نصف عدد نوى عينة .

عند $t=t_{1/2}$ لدينا $N(t_{1/2})=\frac{N_0}{2}$ أي أن

$$N_0e^{-\lambda t_{1/2}}=\frac{N_0}{2}\Rightarrow e^{-\lambda t_{1/2}}=\frac{1}{2}$$

$$Ln\left(e^{-\lambda t_{1/2}}\right)=-Ln2\Rightarrow \lambda t_{1/2}=Ln2$$

$$t_{1/2}=\frac{Ln2}{\lambda}=\tau Ln2$$

مثال : نويدة الأورانيوم 238 عمرها النصف هو$t_{1/2}=4,5.10^9$ ans

نويدة الكربون 14 عمرها النصف هو 5600ans

نويدة سيزيوم 137 عمرها النصف 30ans

ويدة بولونيوم 212 عمرها النصف 3.10^{-7}s

4 ـ نشاط عينة مشعة activité radioactive

أ ـ تعريف

نشاط عينة a(t) تحتوي على عدد N(t) من النوى المشعة هو عدد النوى المفتتة في وحدة الزمن . تعبيره :

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

وحدة a(t) هي بيكريل (Bq)

1Bq يمثل تفتتا واحدا في الثانية .

من العلاقة $-dN(t)=\lambda N(t)dt\Rightarrow a(t)=-\frac{dN(t)}{dt}=\lambda N(t)$

بتعويض N(t) في العلاقة $N(t)=N_0e^{-\lambda t}$ نجد :

$a(t)=\lambda N_0e^{-\lambda t}\Rightarrow a(t)=a_0e^{-\lambda t}$ بحيث ان $a_0=\lambda N_0$

يقاس النشاط الإشعاعي بواسطة عدادات . مثلا عداد جيجر Geigre

ب ـ أمثلة لنشاط مصادر مشعة

رجل كتلته 70kg نشاطه 7000Bq

لتر من ماء معدني نشاطه 10Bq

1kg من السمك نشاطه 100Bq

1kg من البلوتونيوم نشاطه الإشعاعي 2.10^{12}Bq

مصدر طبي مشع نشاطه الإشعاعي 10^{14}Bq .

V ـ التأريخ بالنشاط الإشعاعي

يستعمل الجيولوجيون وعلماء الآثار تقنيات مختلفة لتحديد أعمار الحفريات والصخور التي تعتمد على النشاط الإشعاعي .

تحتوي الصخور والحفريات على نويدات مشعة حيث يتناقص عددها مع مرور الزمن نشاط عينة أخرى مرجعية يمكن تأريخها .

كلما كان عمر العينة المراد تأريخها كبيرا جدا وجب استعمال طريقة تعتمد نويدات ذات عمر نصف أكبر

1 ـ التأريخ بالكربون 14

نعلم أن عنصر الكربون يتوفر أساسا على نظيرين ، الكربون 12 وهو مستقر والكربون 14 وهو إشعاعي النشاط b^- موجود بكميات ضئيلة بسبب ضعف وفارته الطبيعية (0,0001%) حيث يوجد بهذه الوفارة في كل تركيب كيميائي يحتوي على الكربون . مثلا ثائي أوكسيد الكربون يحتوي على هذه النسبة .
وجود هذا النظير هو نتيجة تفاعل نوى الأزوت مع نوترونات الأشعة الكونية وفق المعادلة التالية

$${}^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}H$$

كيف يتم التأريخ بالكربون 14 ؟
نفترض أنه خلال 40000سنة نسبة الكربون 14 في الفضاء ثابتة مع مرور الزمن .
نعلم كذلك أن جميع الكائنات الحية تتبادل الكربون مع الجو من خلال التنفس التركيب الضوئي و التغذية ، أي أن هذه النسبة الثابتة توجد في كل الكائنات الحية . وعند موتها تتناقص هذه النسبة بسبب تفتت نوى الكربون 14 وفق المعادلة التالية : ${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$

وبتطبيق قانون التناقص الإشعاعي : $a(t) = a_0 e^{-\lambda t}$

علما أن $t_{1/2}$=5600ans نحسب $\lambda = \dfrac{Ln2}{t_{1/2}}$

$$a(t) = a_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{a(t)}{a_0} = e^{-\lambda t}$$

$$Ln\frac{a(t)}{a_0} = -\lambda t \Rightarrow t = -\frac{1}{\lambda} Ln\frac{a(t)}{a_0}$$

$$t = -\frac{t_{1/2}}{\ln 2} Ln\frac{a(t)}{a_0}$$

يقاس نشاط a(t) لكتلة معروفة من عينة (1g مثلا)
يقاس النشاط a_0 لنفس الكتلة من عينة شاهدة حالية .
ملحوظة : تستعمل هذه الطريقة ، التأريخ بالكربون 14 ، فقط بالنسبة لعينات عمرها أقل من 40000 سنة . وهذا راجع لكون العينات الأطول عمرا تحتوي على كمية ضئيلة من الكربون 14 ولا يمكن قياس نشاطها .

2 ــ التأريخ بطرق أخرى

توجد طرق أخرى للتاريخ تستعمل فيها نويدات مشعة عمر نصفها كبير جدا . وتمكن من تأريخ عينات أكثر قدما .
مثلا ، لتأريخ عينات قديمة جدا كالصخور ، يستعمل الأورانيوم 238 . لأن عمر نصفه كبير جدا واستعمال هذا النظير قد مكن من تقدير عمر الكرة الأرضية وهو حوالي 4,55 مليار سنة وعمر نصف هذا النظير $t_{1/2}=4,468.10^{9}$ans .

تمرين تطبيقي : أعطى قياس النشاط الإشعاعي لعينة من الفحم كتلتها غرام واحد ، أخذت من موقد نار يرجع إلى ما قبل التاريخ ، القيمة $a(t)=4,0.10^{-2}$Bq .

أحسب عمر الموقد ما قبل التاريخ ، علما أن نشاط غرام من الفحم الموجود في الوقت الحاضر a_0=0,23Bq

عمر النصف للكربون 14 هو $t_{1/2}$=5600ans

<u>الجواب</u> :

عمر الموقد هو :

وبتطبيق قانون التناقص الإشعاعي : $a(t) = a_0 e^{-\lambda t}$

علما أن $t_{1/2}$=5600ans لدينا $\lambda = \dfrac{Ln2}{t_{1/2}}$

$$a(t) = a_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{a(t)}{a_0} = e^{-\lambda t}$$

$$Ln\frac{a(t)}{a_0} = -\lambda t \Rightarrow t = -\frac{1}{\lambda} Ln\frac{a(t)}{a_0}$$

$$t = -\frac{t_{1/2}}{\ln 2} Ln\frac{a(t)}{a_0}$$

تطبيق عددي :

$$t = -\frac{5600}{Ln2} . Ln\left(\frac{4.10^{-2}}{0,23}\right) = 14132 Bq$$

النوى ، الكتلة والطاقة
Noyau ,masse et énergie

I ــ التكافؤ "كتلة ــ طاقة"

1 ــ علاقة إنشتاين

توصل العالم إنشتاين من خلال الميكانيك النسبوية الخاصة سنة 1905م إلى أن هناك تكافؤ بين الكتلة والطاقة .

تمتلك كل مجموعة كتلتها m ، في حالة سكون ، طاقة E تسمى طاقة الكتلة تعبيرها هو :

$$E = m.c^2$$

$c \simeq 3.10^8 m/s$ سرعة الضوء

m كتلة المجموعة نعبر عنها ب kg

E طاقة المجموعة نعبر عنها بالجول .

عندما تتغير كتلة المجموعة ب Δm خلال تحول ما ، يكون تغير الطاقة الكتلية لهذه المجموعة هو :

$$\Delta E = \Delta m.c^2$$

Δm<0 (تنقص كتلة مجموعة في سكون) ، طاقتها الكتلية تنقص كذلك ΔE<0 : **تحرر المجموعة في هذه الحالة طاقة تمنحها للوسط الخارجي . (Q>0)**

Δm>0 (تزداد كتلة مجموعة في سكون) ، طاقتها الكتلية تزداد كذلك ΔE>0 : **تكتسب المجموعة في هذه الحالة طاقة من الوسط الخارجي . (Q<0)**

2 ــ وحدة الكتلة والطاقة

أ ــ وحدة الكتلة الذرية

في الفيزياء النووية ، تكون كتل النوى والدقائق صغيرة جدا ، لذا يعبر عنها بوحدة ملائمة تسمى وحدة الكتلة الذرية ونرمز لها بu

1u يساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون 12

نعلم أن كتلة مول واحد من ذرات الكربون 12 تساوي 12.10^{-3}kg ويحتوي 1 مول على $N=6,02.10^{23}$ ذرة أي أن :

$1u = \frac{1}{12}\frac{12.10^3}{6.03.10^{23}} = 1,66.10^{-27} kg$ **وبالتالي $1u=1,66.10^{-27}$kg**

مثال : كتلة البروتون

$$m_p = 1,6725.10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_p = \frac{1,6725.10^{-27}}{1,66.10^{-27}} = 1,0073\text{u}$$

ب ــ وحدة الطاقة : الإلكترون ــ فولط

في الفيزياء النووية الجول وحدة غير ملائمة للطاقة ، لذلك يفضل استعمال الإلكترون ــ فولط ومضاعفاته كالميغا إلكترون ــ فولط (MeV) .

$$1eV = 1,602177 \times 10^{-19} J$$

$$1MeV = 10^6 eV = 1,602177 \times 10^{--13} J$$

ج ــ الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة الذرية u .

حسب علاقة انشتاين الطاقة التي تكافئ 1u هي :

$$E=1,66054\times\left(299792458)^2\right)=1492,42\times10^{-13}J$$

$$E=\frac{1492,42\times10^{-13}}{1,602177\times10^{-13}}=931MeV$$

$$1u=931,5MeV/c^2$$

مثال : حساب طاقة الإلكترون : $E=mc^2$ بحيث أن $m_e=9,1.10^{-31}kg$
$E=9,1.10^{-31}.9.10^{16}J=81,9.10^{-15}J$ وبما أن $1eV=1,6.10^{-19}J$ فإن $E=0,512Mev$
نستنتج أن كتلة الإلكترون بوحدة الطاقة الكتلية : $m_e=0,512Mev/c^2$.

II ـ طاقة الربط Energie de liaison

2 ـ 1 النقص الكتلي .

تبين قياسات دقيقة أنجزت بواسطة معيار الكتلة أن كتلة النواة تكون دائما أقل من مجموع كتل الدقائق التي تكونها .

مثال : كتلة نواة الدوتريوم ${}_1^2H$: $m({}_1^2H)=2,0109u$

الدقائق المكونة لنواة الدوتريوم Z=1 و N=1

مجموع كتل الدقائق : $m_p+m_n=2,0199u$

وبالتالي
$$\Delta m=(m_p+m_n)-m({}_1^2H)$$
$$=0,0050u$$

نسمي Δm بالنقص الكتلي للنواة .

بصفة عامة : **نسمي النقص الكتلي لنواة Δm الفرق بين مجموع كتل النويات وكتلة النواة وهو مقدار دائما موجب .**

$$\Delta m=\left(Zm_p+Nm_n\right)-m\left({}_Z^AX\right)$$

2 ـ 2 طاقة الربط

النواة مكونة من بروتونات ذات شحنة موجبة وn نوترونات ذات شحنة منعدمة . يفسر تماسك النواة بوجود قوى نووية ذات شدة كبيرة تسمى بقوى التأثيرات البينية القوية .

لفصل نويات النواة يجب إعطاؤها طاقة ، تسمى بطاقة الربط E_ℓ .

وحسب علاقة التكافؤ بين الكتلة والطاقة لأنشتاين فإن النقص الكتلي لنواة يكافئ الطاقة اللازمة إعطاؤها لفصل نوياتها :

$$Zm_p+(A-Z)m_n=m({}_Z^AX)+E_\ell$$

$$E_\ell=\Delta m.c^2=\left(Zm_p+(A-Z)m_n-m({}_Z^AX)\right).c^2$$

<u>2 ـ3 طاقة الربط بالنسبة لنوية</u>

$$\varepsilon=\frac{E\ell}{A}$$

وحدة ε هي Mev/nucléon

وهي تمثل طاقة الربط المتوسطة لنوية .

- للحكم على مدى استقرار نويدة يجب اعتبار طاقة الربط بالنسبة للنوية .
- تكون نويدة أكثر استقرارا كلما كانت طاقة الربط بالنسبة للنوية كبيرة .

<u>تمرين تطبيقي</u> :

نعتبر نويدة الراديوم ${}_{88}^{226}Ra$

أحسب طاقة الربط لنويدة الراديوم واستنتج طاقة الربط بالنسبة لكل نوية .

نعطي : $m(Ra)=225,977u$ و $m_p=1,00728u$ و $m_n=1,00867u$ و $1u=1,66.10^{-27}kg$ و
$c=3.10^8m/c^2$

<u>الجواب :</u> طاقة الربط اللازمة هي الطاقة اللازمة لفصل نويات موجودة في حالة سكون .

$$E_\ell = \Delta m.c^2 = \left[(Zm_p + Nm_n) - m({}^{A}_{Z}X)\right].c^2$$

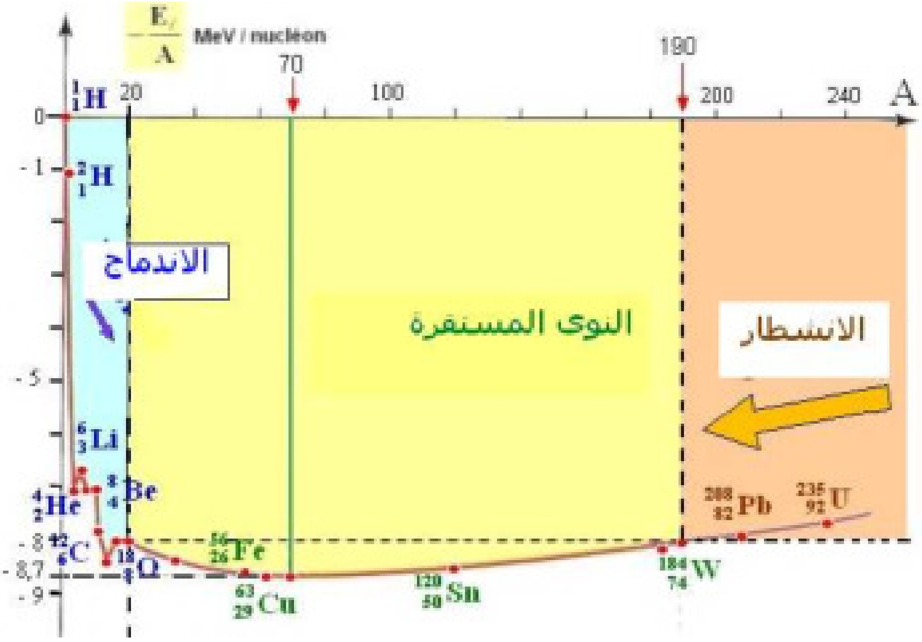
Z=88 و N=226 ومنه فإن

$$E_\ell = (88.1,00728 + 138.1,00867 - 225,977).9.10^{16} = 2,779.10^{-10}\,J = 1736,90MeV$$

طاقة الربط بالنسبة لكل نوية $\mathcal{E} = \dfrac{E\ell}{A}$ وبالتالي $\mathcal{E} = \dfrac{1736,90}{226} = 7,68MeV/c^2$

2 ـ 4 منحنى أسطون Aston

يمكن مقارنة استقرار مختلف النويدات باستعمال منحنى أسطون ، حيث يمثل تغيرات مقابل طاقة الربط بالنسبة لنويدة $\left(-\dfrac{E_\ell}{A}\right)$ بدلالة عدد النويات A . أنظر الشكل .



من خلال المنحنى نلاحظ :

- 20<A<195 :

$\left(-\dfrac{E_\ell}{A}\right)$ لها قيم دنيا تقارب قيمتها المطلقة 8MeV/c^2 . هذه المنطقة تظم النوى الأكثر استقرارا (مثال الحديد Fe هو النوى الأكثر استقرارا لذا يوجد بوفرة في الطبيعة .

- A<20 و A>195

$\left(-\dfrac{E_\ell}{A}\right)$ كبيرة أي أن $\left(\dfrac{E_\ell}{A}\right)$ صغيرة جدا وبالتالي فطاقة الربط بالنسبة لنوية ضعيفة الشيء الذي يبين أن هذه النوى غير مستقرة يمكنها أن تتحول إلى نوى أكثر استقرارا .

يمكن لهذه أن تتحول وفق نوعين من التفاعلات النووية :

-- A>19 ـ النوى الثقيلة غير المستقرة تنشطر إلى نواتين خفيفتين . وتسمى هذه **الظاهرة الانشطار النووي .**

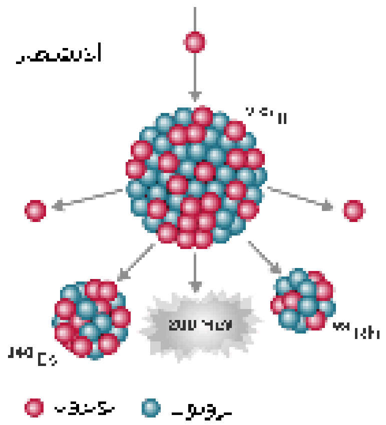
ـ A<20 ـ النوى الخفيفة تتحد فيما بينها لتعطي نواة أكثر ثقلا وتسمى هذه **الظاهرة الاندماج النووي .**

<u>ملحوظة</u> . الاندماج والانشطار تفاعلان محرّضان .

III ـ الانشطار والاندماج النوويان Fusion et fission nucléaire

1 ـ الانشطار النووي :

يمكن لنواة ثقيلة كالأورانيوم أو البلوتونيوم مثلا أن تنقسم ، بعد قدفها بنترون بطيء (طاقته الحركية أقل من 0,1MeV)إلى نواتين خفيفتين . يسمى هذا التحول الانشطار النووي ، وتسمى النوى الثقيلة النوى **الشطورة fissile** والنترون القديفة : **النوترون الحراري .**



أ ـ تعريف

الانشطار النووي تفاعل نووي تنقسم خلاله نواة ثقيلة شطورة ، بعد التقافها لنترون حراري إلى نواتين خفيفتين .

أمثلة :

$${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{140}_{55}Cs + {}^{93}_{37}Rb + 3{}^{1}_{0}n$$

$${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{94}_{38}Sr + {}^{139}_{54}Xe + 3{}^{1}_{0}n + \gamma$$

ب ـ تفاعل متسلسل

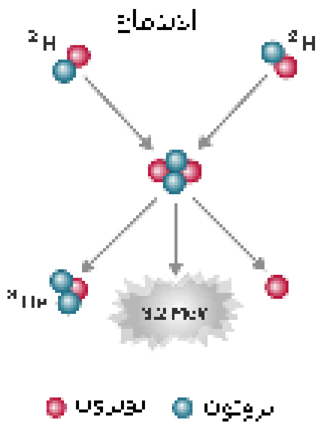
يمكن لنوترونات الناتجة عن الانشطار النووي أن :

ـ تفلت من وسط التفاعل .

ـ أو تلتقفها نوى غير شطورة .

أو تتسبب في انشطار نوى أخرى ، مساهمة في حدوث تفاعل متسلسل قد يتم بكيفية تفجيرية ، إذا كان غير متحكم فيه ، وهذا ما يحدث في القنبلة النووية . ويمكن التحكم فيه وضبطه وهذا ما يحدث في المفاعلات النووية حيث ينتج الطاقة بكيفية منتظمة .

ويتحكم في التفاعل التنسلسل في المفاعلات النووية عن طريق امتصاص النوترونات بواسطة قضبان من الكاديوم .



2 ـ الاندماج النووي .

أ ـ تعريف

الاندماج النووي تفاعل يتم خلاله انضمام نواتين خفيفتين لتكوين نواة أكثر ثقلا .

أمثلة : تقع تفاعلات الاندماج داخل الشمس حيث يتم خلالها تكون الهيليوم انطلاقا من الهيدروجين ، وفق ثلاث مراحل :

$${}^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{2}_{1}H + {}^{0}_{1}e$$

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

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

ب ـ شروط تحقيق الاندماج النووي

لا يتحقق الاندماج النووي إلا إذا كان للنواتين الخفيفتين طاقة تمكنها من التغلب على قوى التأثيرات البينية التنافرية . ويتطلب توفير هذه الطاقة درجة حرارة عالية . ولهذا السب ينعت الاندماج **بالتفاعل النووي الحراري .**

VI ـ الحصيلة الكتلية والطاقية لتفاعل نووي .

1 ـ الحالة العامة :

نعتبر تفاعلا نوويا معبرا عنه بالمعادلة التالية :

$${}^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow {}^{A_3}_{Z_3}X_3 + {}^{A_4}_{Z_4}X_4$$

X_i تدل على نوى عناصر كيميائية أو دقائق .

الحصيلة الطاقية المقرونة بهذا لتفاعل هي :

$$\left[E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2)\right] = \left[E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)\right] + \Delta E$$

$$\Delta E = \left[E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2)\right] - \left[E_\ell(X_3) + E_\ell(X_4)\right]$$

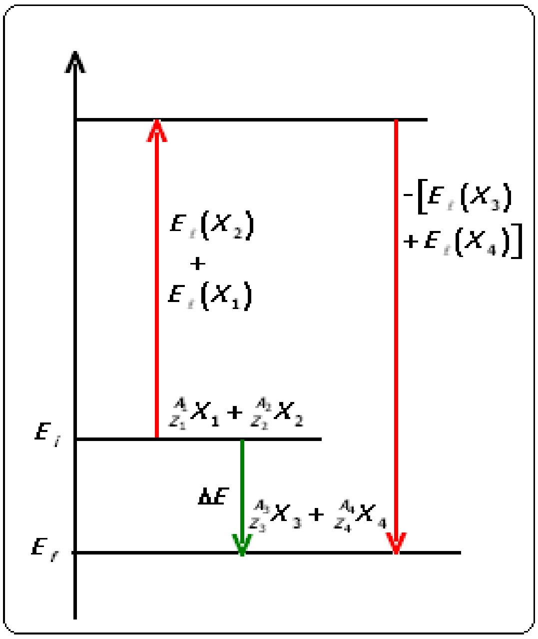
حيث $E_\ell(X_i)$ طاقة الربط للنواة أو الدقيقة X_i . و ΔE طاقة التفاعل .

حسب تعبير طاقة الربط E_ℓ لدينا :

$$\Delta E = \left[m(X_3) + m(X_4)\right].c^2 - \left[m(X_1) + m(X_2)\right].c^2$$

$$\Delta E = \left[m(X_3) + m(X_4) - m(X_1) - m(X_2)\right].c^2$$

$$\Delta E = \Delta m.c^2 = \left[m(produit) - m(reactifs)\right].c^2$$



ملحوظة : مخطط الطاقة لتفاعل نووي عام :

E_i : الطاقة البدئية للمجموعة

E_f : الطاقة النهائية للمجموعة .

$E_\ell(X_1)+E_\ell(X_2)$ الطاقة التي تكتسبها المجموعة لتفكيك النواتين .

$-\left[E_\ell(X_3)+E_\ell(X_4)\right]$ الطاقة التي تحررها المجموعة عند تكون النواتين X_3 و X_4 .

ΔE الطاقة الكلية لهذا التفاعل النووي وبذلك تصبح أكثر استقرارا .

ملحوظة : الطاقة المحررة خلال تفاعل ناشر للطاقة هي $Q = -\Delta E > 0$

2 ـ تطبيقات على الانشطار ولاندماج النوويين

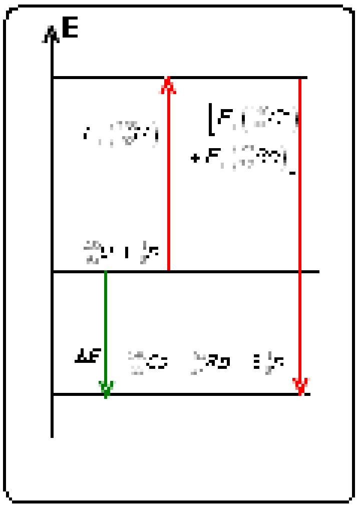
أ ـ الانشطار النووي :

نعتبر معادلة الانشطار النووي التالية :

$${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{140}_{55}Cs + {}^{93}_{37}Rb + 3\,{}^{1}_{0}n$$

نعطي كتل النوى المتدخلة في هذا التفاعل النووي .

${}^{235}_{92}U$	${}^{140}_{55}Cs$	${}^{93}_{37}Rb$	${}^{1}_{0}n$
234,99346 u	139,88711 u	92,90174 u	1,00866 u



أحسب الطاقة المحررة من طرف نواة واحدة من الأورانيوم .

لدينا حسب تعبير تغير الطاقة : $\Delta E = \Delta m.c^2$

بحيث أن

$$\Delta m = m_f - m_i$$

$$= \left[m\left({}^{140}_{55}Cs\right) + m\left({}^{93}_{37}Rb\right) + 3m\left({}^{1}_{0}n\right)\right] - \left[m\left({}^{235}_{92}U\right) + m\left({}^{1}_{0}n\right)\right]$$

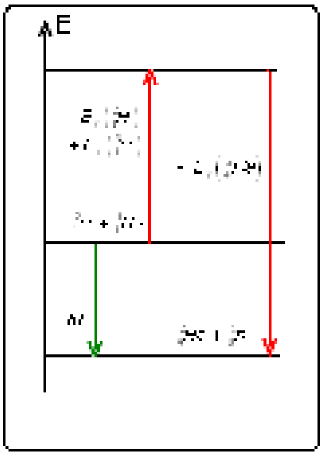
$$= \left[m\left({}^{140}_{55}Cs\right) + m\left({}^{93}_{37}Rb\right) + 2m\left({}^{1}_{0}n\right) - m\left({}^{235}_{92}U\right)\right]$$

$$=-0{,}18729u=-3{,}1100\times10^{-28}kg$$

$$\Delta E = \Delta m.c^2 = -2{,}7995\times10^{-11}J = -174{,}699MeV$$

أي أن انشطار نواة واحدة من الأورانيوم تحرر طاقة $Q=-\Delta E$ تساوي 174,699MeV .

مخطط الطاقة لتفاعل الانشطار : أنظر الشكل



ب ـ الاندماج النووي

نعتبر تفاعل الاندماج التالي :

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

$$\Delta E = \Delta m.c^2$$

$$\Delta m = m_f - m_i = \left[m\left({}^{2}_{4}He\right) + m\left({}^{1}_{0}n\right)\right] - \left[m\left({}^{2}_{1}H\right) + m\left({}^{3}_{1}H\right)\right]$$

$$=-0{,}18729u=-3{,}1100\times10^{-28}kg$$

$$\Delta E = \Delta m.c^2 \simeq -17{,}585MeV$$

${}^{2}_{1}H$	${}^{3}_{1}H$	${}^{2}_{4}He$	${}^{1}_{0}n$
2,01355	3,01550	4,00150	1,00866

تفاعل الاندماج يحرر طاقة تقارب 18MeV ، بينما تفاعل الانشطار يحرر طاقة تقارب 200MeV تقريبا .
فالبنسبة لعدد النويات بالنسبة للاندماج النووي 5 نويات وبالنسبة للانشطار النووي 236 نوية أي أنه بالنسبة لنوية واحدة الطاقة المحررة بالاندماج أكبر بخمس مرات

سلسلة التمارين 2)

3 ـ تطبيقات على التحولات النووية التلقائية .

ملحوظة مهمة :

$\Delta E < 0$ تكون المجموعة ناشرة للطاقة أي أنها تحرر الطاقة يكتسبها المحيط الخارجي (Q=-ΔE>0).

$\Delta E > 0$ تكون المجموعة ماصة للطاقة (تكتسب طاقة من المحيط الخارجي (Q=ΔE <0)

بالنسبة للتفاعلات النووية التلقائية تكون دائما $\Delta E < 0$ ونرمز لها بالحرف E وتظهر هذه الطاقة على شكل طاقة طاقة حركية تكتسبها على الخصوص الدقائق المنبعثة خلال التفتت .

ا ـ النشاط الاشعاعي α

معادلة التفتت α هي :

$${}^{Z}_{A}X \to {}^{A-4}_{z-2}Y + \alpha$$

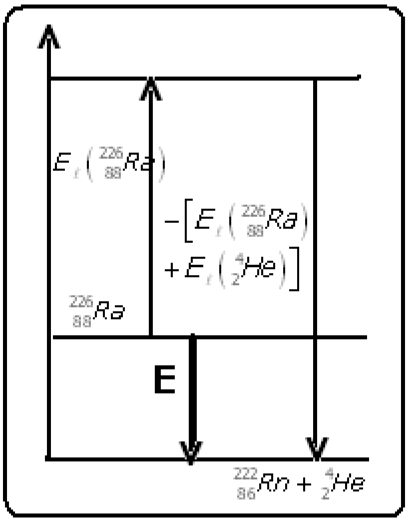
الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي α :

$$E = \left[m(\alpha) + m\left({}^{A-4}_{z-2}Y\right) - m\left({}^{Z}_{A}X\right)\right].c^2$$

تطبيق : أحسب الطاقة الناتجة عن تفتت نواة واحدة من الراديوم 226 . نواة الراديوم إشعاعية النشاط α

نعطي :

${}^{226}_{88}Ra$	${}^{222}_{86}Rn$	${}^{4}_{2}He$
225,977u	221,9702	4,0015



$${}^{226}_{88}Ra \to {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$$

ننجز الحصيلة الطاقية لهذا التفاعل :

$$E = \left[m\left({}^{222}_{86}Rn\right) + m\left({}^{4}_{2}He\right) - m\left({}^{226}_{88}Ra\right)\right].c^2$$

$$= \left[-5,3.10^{-3}u\right].c^2$$

نعلم أن $1u=931,5MeV/c^2$ وبالتالي فإن :

$$E = -5,3.10^{-3} \times 931,6\frac{MeV}{c^2}.c^2 = -4,94MeV$$

وبالتالي الطاقة المحررة عن هذا التفاعل هي :

$Q = -E = E_C(\alpha) = 4,94MeV$ وهي تظهر على شكل طاقة حركية تكتسبها على الخصوص الدقيقة α .

ب ـ النشاط الإشعاعي β^- .

معادلة التفتت للنشاط الإشعاعي β^-

$${}^{Z}_{A}X \to {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$$

الحصيلة الطاقية للنشاط الإشعاعي β^- :

$$E = \left[m\left({}^{A}_{Z+1}Y\right) + m\left({}^{0}_{-1}e\right) - m\left({}^{Z}_{A}X\right)\right].c^2$$

ج ـ النشاط الإشعاعي β^+

معادلة التفتت للنشاط الإشعاعي β^+

$${}^{Z}_{A}X \to {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e$$

الحصيلة الطاقية للنشاط الإشعاعي :

$$E = \left[m\left({}^{A}_{Z-1}Y\right) + m\left({}^{0}_{+1}e\right) - m\left({}^{Z}_{A}X\right)\right].c^2$$

ملحوظة :

تتحول الطاقة المحررة خلال التفاعلات النووية إلى طاقة حركية للنوى والدقائق الناتجة عن هذا التحول وكذلك إلى طاقة كهرمغناطيسية للإشعاعات γ .

$$Q = -\Delta E = \sum E_C\left({}^{A}_{Z}Y\right)$$

$^{A}_{Z}Y$: **النوى والدقائق الناتجة عن التحول**

٧ ـ التأثيرات البيولوجية للنشاط الإشعاعي .

للإشعاعات النووية تأثير على جسم الإنسان وذلك حسب الكمية التي يمتصها الجسم وبطبيعة الأشعة

- الإشعاعات α
  الجلد .
- الإشعاعات β أكثر نفاذية من α ، ويلزم عددة مليمترات لإيقافها . تستعمل هذه الإشعاعات لمعالجة الخلايا السرطانية .
- الإشعاعات γ نافدة بقدر كبير ، ولإيقافها يلزم عدة سنتيمترات من الرصاص ، وتستعمل في تشخيص الأمراض بالصور .

تستعمل الإشعاعات النووية في الطب بكميات ضئيلة جدا كعنصر لاستشفاء ولتشخيص الأمراض أو لمعالجتها .

كيف تؤثر الإشعاعات النووية على الإنسان ؟

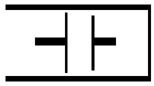
تتفاعل الإشعاعات النووية ذات الطاقة العالية مع المادة المكونة لجسم الإنسان ، إذ يمكنها انتزاع إلكترونات ذرات خلايا بعض الأعضاء محدثة بعض التشوهات بيوكميائية .

ثـــــــــــــــنائي القطب RC
Dipole RC

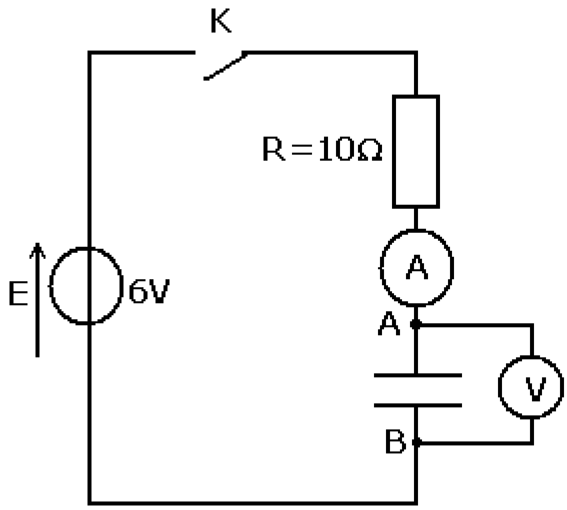
I ــ المكثف Condensateur

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 تجربية</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 .

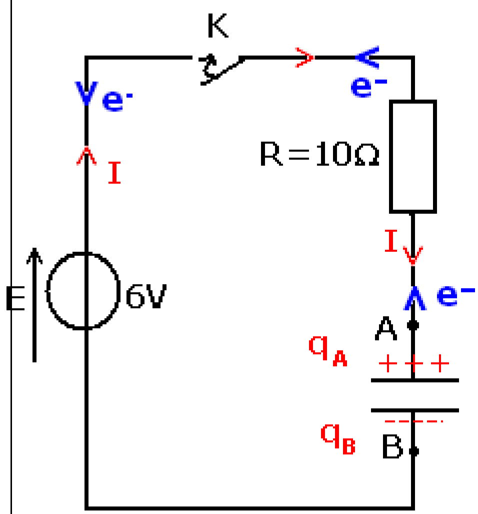
<u>استثمار :</u>

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 :

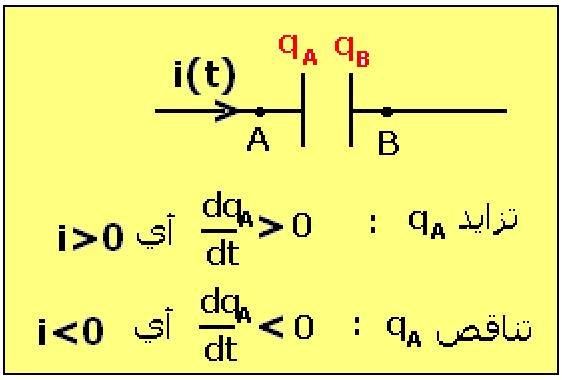
ــ عندما يمر التيار في المنحى المختار فإن $i>0$

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 :

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

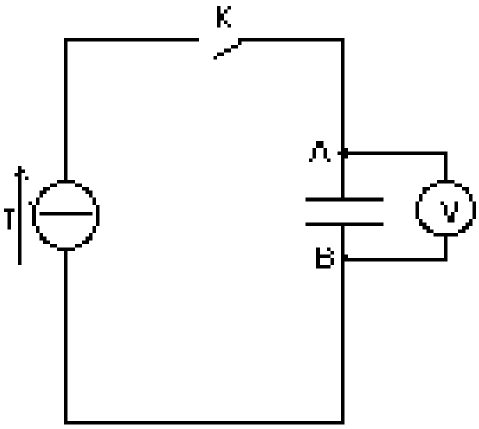


i(t) موجهة نحو اللبوس A
الوحدات :
q_A بالكولوم (C) ، t بالثانية (s) و i(t) بالأمبير (A) .
<u>**ملحوظة : حالة التيار المستمر**</u> : في حالة شحن المكثف بواسطة مولدمؤمثل للتيار (I=Cte) تصبح العلاقة بين شدة التيار وشحنة المكثف هي : $q_A = I.\Delta t$

3 ـ العلاقة بين الشحنة والتوتر : السعة .

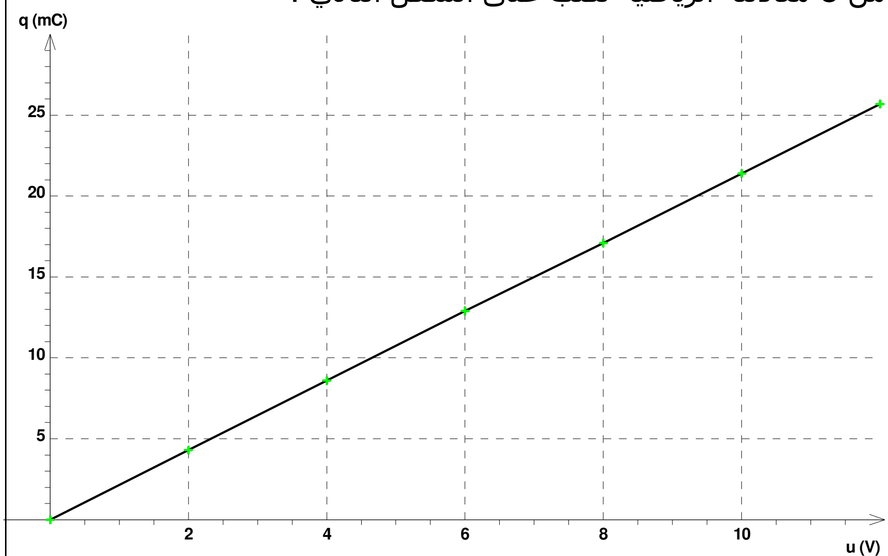
النشاط التجريبي 2

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

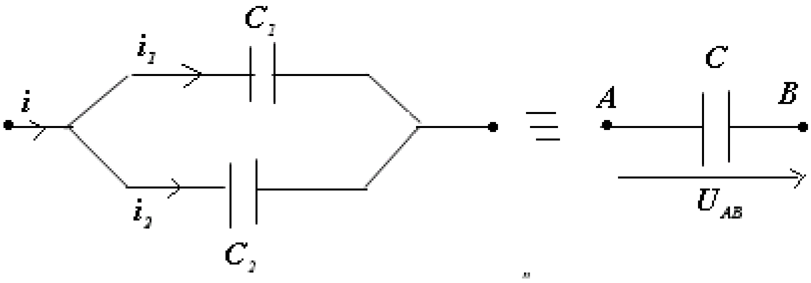
استثمار :
1 ـ ما العلاقة بين q_A شحنة المكثف والزمن t ؟ أتمم ملأ الجدول اعلاه .
q_A=I.t من خلال القيم المتوفرة بالجدول يمكن حساب q_A .
2 ـ مثل المنحنى q_A=f(u_{AB}) باختيار سلم ملائم .
3 ـ ما هو شكل المنحنى المحصل عليه ؟ أكتب معادلته الرياضية .
ما هو المدلول الفيزيائي للمعامل الموجه لهذا المنحنى ؟ ما 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 ــ تجميع المكثفات .

1 ــ التركيب على التوازي



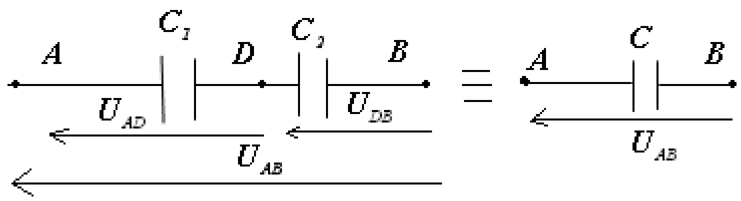
$$q = q_A + q_B \Leftrightarrow i = i_1 + i_2$$
$$q = C_1U_{AB} + C_2U_{AB}$$
$$q = C.U_{AB}$$
$$C = C_1 + C_2$$

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 ــ 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 ــ استجابة ثنائي القطب RC لرتبة توتر .

1 ــ تعاريف

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

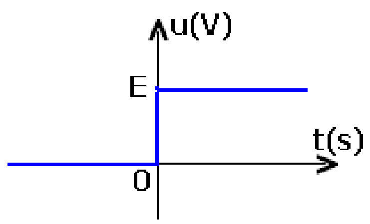
رتبة توتر هي إشارة كهربائية ونميز بين u(t) :

ــ رتبة صاعدة للتوتر ومعادلتها هي :

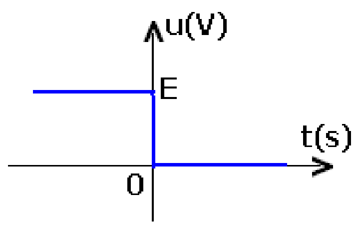
بالنسبة ل t≤0 : u(t)=0 وبالنسبة ل t>0 : u(t)=E الشكل 1

ــ رتبة نازلة للتوتر ومعادلتها هي :

بالنسبة ل t≤0 : u(t)=0 وبالنسبة ل t>0 : u(t)=-E الشكل 2



الشكل 1

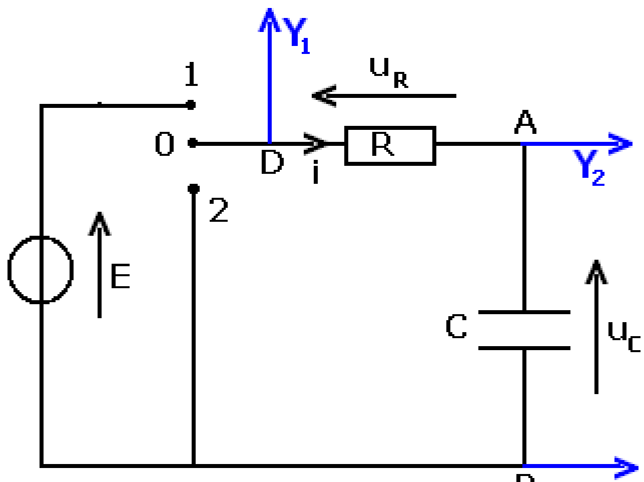


الشكل 2

2 ــ 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 للتوتر $u_{DB}=E$

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

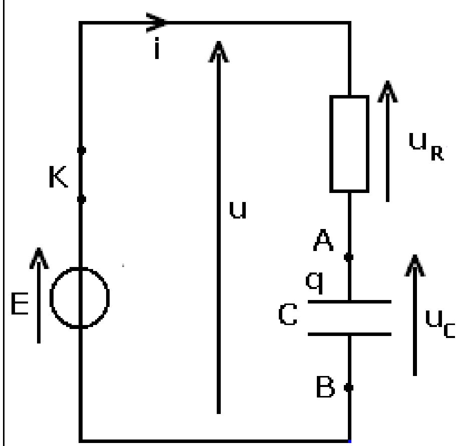
عند غلق الدارة ، يكون المكثف غير مشحون ، أي أن التوتر بين مربطيه منعدما .

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 :

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

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

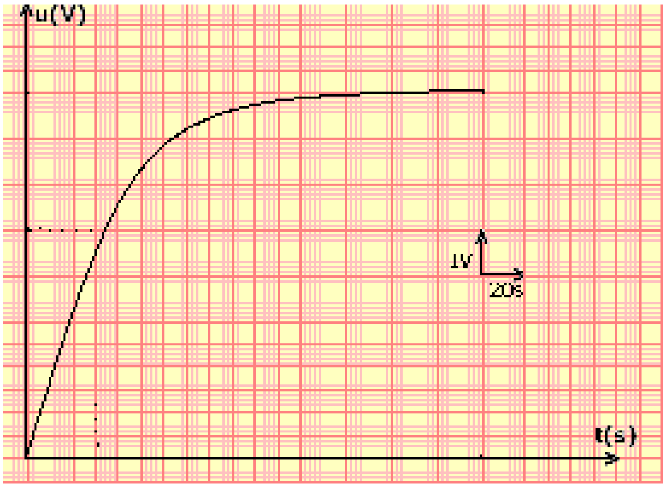
$$E-B=0 \Rightarrow B=E$$

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 . $u_C(t=0^+)=u_C(t=0^-)=0$

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

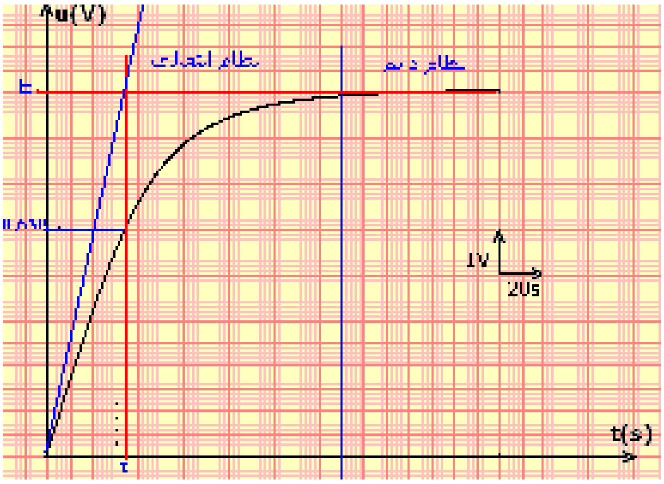
$$u_C(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$



3 ــ 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 ــ 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 ــ 2 عين $u_C(0)$ و $u_C(\infty)$ قيمة $u_C(t)$ عندما تؤول t
4 ــ تسمى τ ثابتة الزمن لثنائي القطب RC ، وبينت الدراسة النظرية أن $\tau = R.C$.
4 ــ 1 باستعمال معادلة الأبعاد بين أن τ عبارة عن زمن .

ثابتة الزمن τ=RC

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 ــ 2 تحقق من أن قيمة الجداء R.C تساوي τ .
عند حساب RC=33s وحسب المبيان فإن τ=33s .
5 ــ نعتبر الدالة التي تمثل المنحنى $u_C(t)$.
5 ــ 1 عبر عن $u_C(t=\tau)$ بدلالة E.

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

5 ــ 2 استنتج طريقة مبيانية تمكن من تحديد τ .
أن τ هو الأفصول الذي يوافق الأرثوب 0,63E .
5 ــ 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 .

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

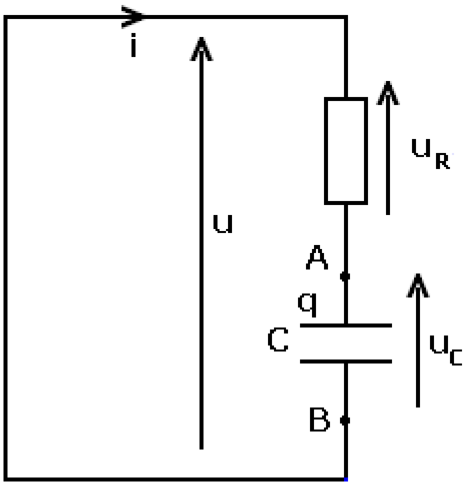
يقطع مماس المنحنى $u_C(t)$ عند اللحظة t=o المقارب $u_C=E$ ، في اللحظة $t=\tau$.

6 ــ تعبير شدة تيار الشحن .

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

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

تعبير شدة التيار الكهربائي المار في ثنائي القطب RC



الشكل 5

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 ــ نضع قاطع التيار في الموضع 2

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

حسب قانون أوم : $u_R = Ri$

2 ــ 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 ــ 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 ــ 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

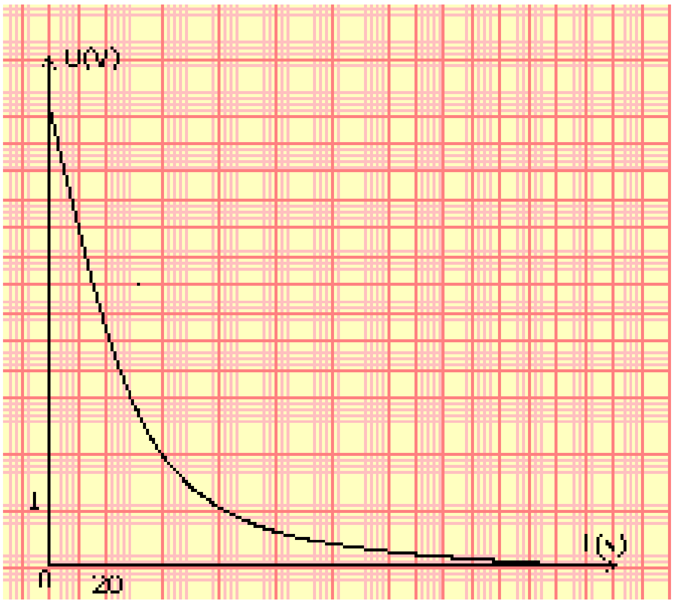
القسمة $\frac{u_C(5\tau')}{u_C(0)}$ بالنسبة المائوية . ماذا تستنتج ؟

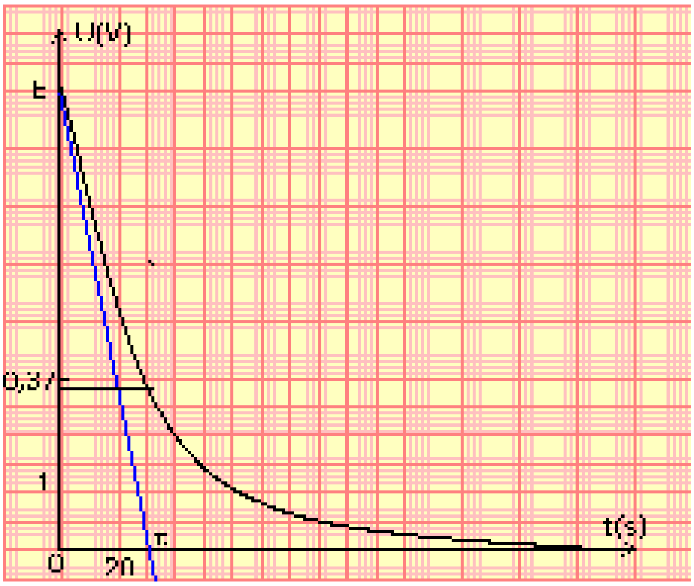
$$\frac{u_C(5\tau')}{u_C(0)}=6,73.10^{-3}=0,67\%$$

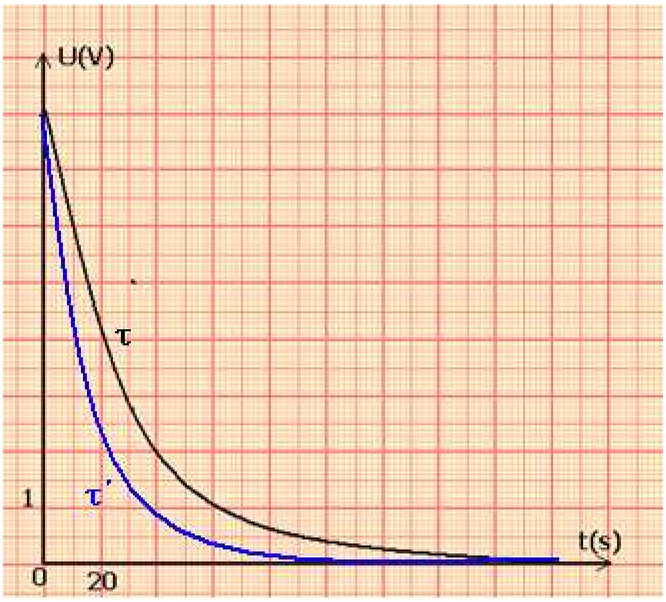
أي أنه عند $t=5\tau$ ينعدم التوتر .

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 :

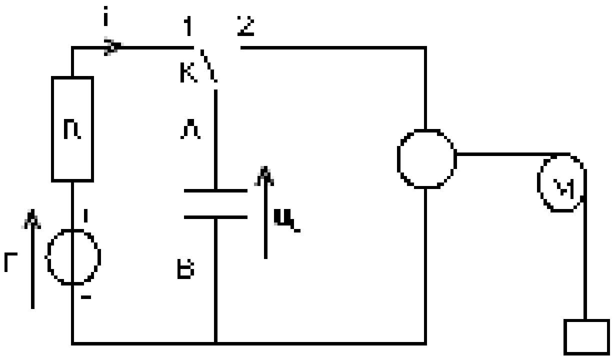
$$i=\frac{dq}{dt}=C.\frac{du_C}{dt}=-\frac{E}{R}e^{-\frac{t}{\tau}}$$

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 RL
Dipôle RL

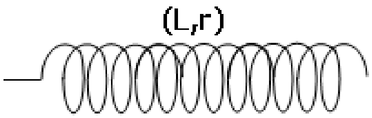
I ـ الوشيعة : la bobine

1 ـ التعريف

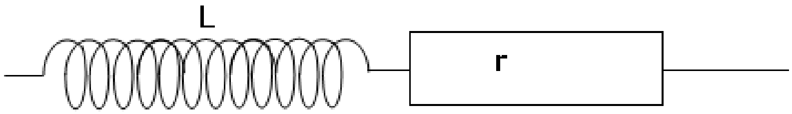
الوشيعة ثنائي قطب يتكون من لفات ، من سلك من النحاس ، غير متصلة فيما بينها لكونها مطلية ببرنيق عازل كهربائي .

رمز الوشيعة :

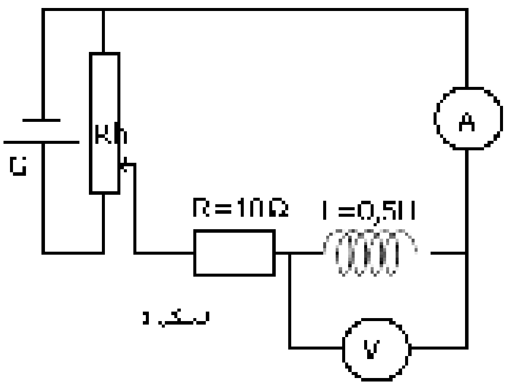
لتمثيل لوشيعة نستعمل أحد الرمزين التاليين :



الشكل 1



الشكل 2



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 .

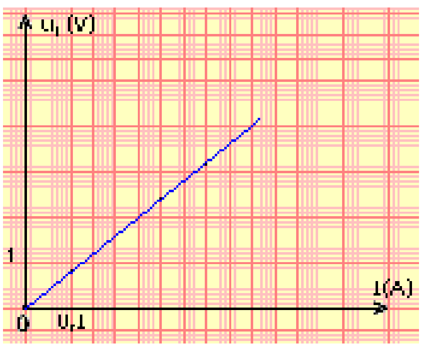
نغير قيم التوتر بواسطة المعدلة وفي كل مرة نقيس التوتر u_L بين مربطي الوشيعة وكذلك شدة التيار I المار في الدارة .

فنحصل على النتائج التالية :

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

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 .

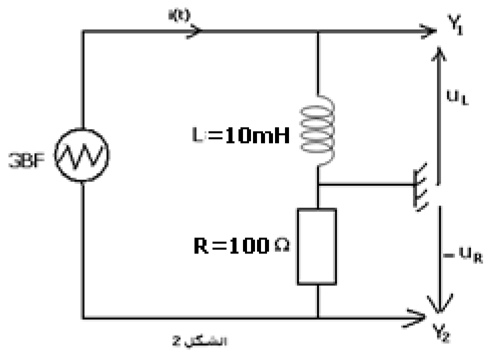
استثمار

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

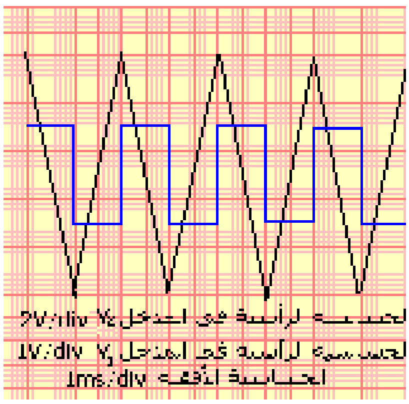
$$i(t) = \frac{-u_R}{R} = \frac{a't + b'}{R} = at + b$$

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

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

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

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 u_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 .

النشاط التجريبي 2 : تأثير الوشيعة على دارة كهربائية .

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 ؟

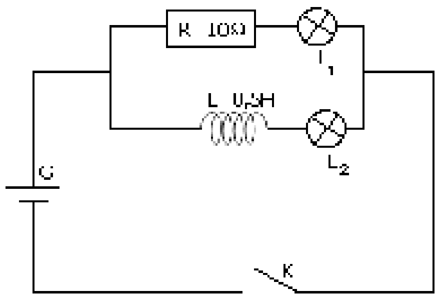
تتغير شدة التيار في المصباح L_1 لحظيا بينما في المصباح L_2 تتغير تدريجيا متأخرة بلحظات عن تألق L_1

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

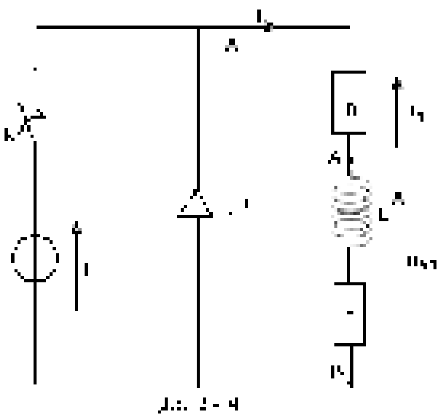
II ـ ثنائي القطب RL

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 .

1 ـ 1 المعادلة التفاضلية التي تحققها شدة التيار المار في الدارة RL .



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 .

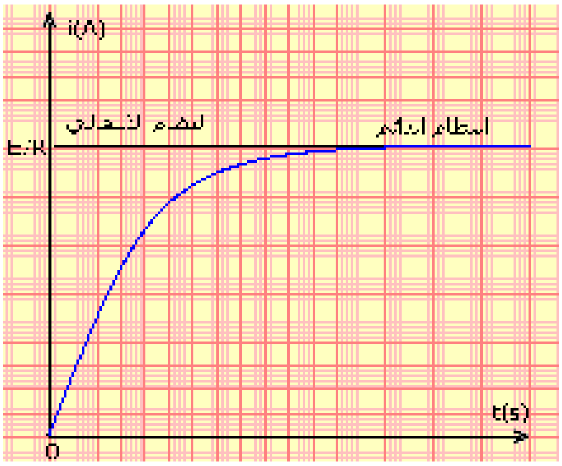
حسب قانون إضافية التوترات لدينا :

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

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 :

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

1 ـ 2 حل المعادلة التفاضلية .

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 :

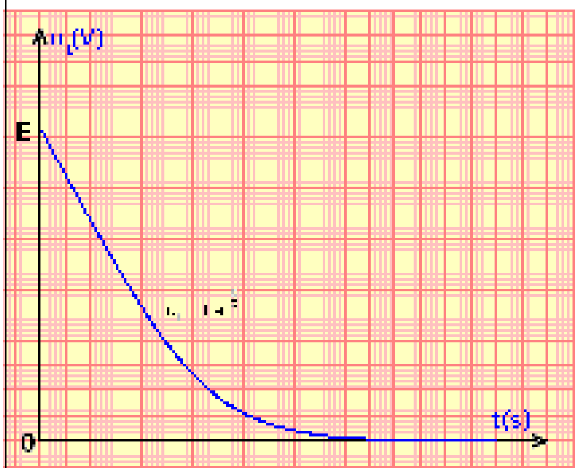
$$\tau\left(-\alpha Ae^{-\alpha t}\right) + Ae^{-\alpha t} + B = \frac{E}{R_t} \Rightarrow (1 - \alpha\tau)Ae^{-\alpha t} + B = \frac{E}{R_t}$$

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

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

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 :

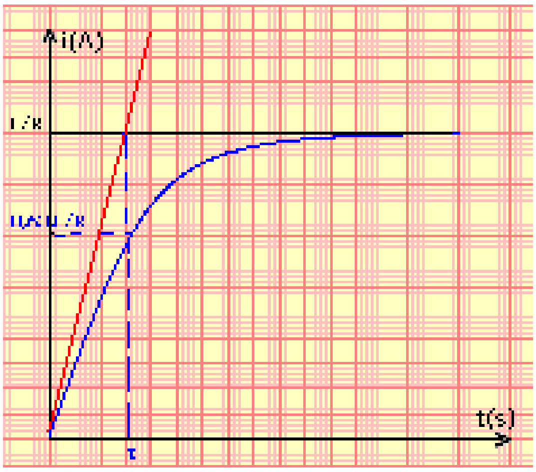
أي أن $u = u_{AB} + Ri(t)$

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

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



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

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 $\left[\frac{L}{R_t}\right] = [s]$

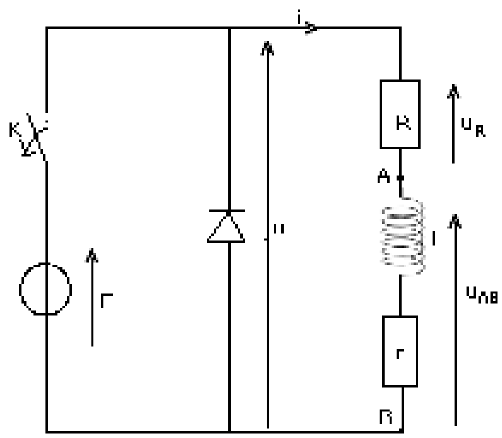
أي أن القيمة $\tau = \frac{E}{R_t}$ لها بعد زمني تسمى ثابتة الزمن وتميز ثنائي القطب RL .

3 ـ 2 كيفية تحديد τ

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 .



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

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 .

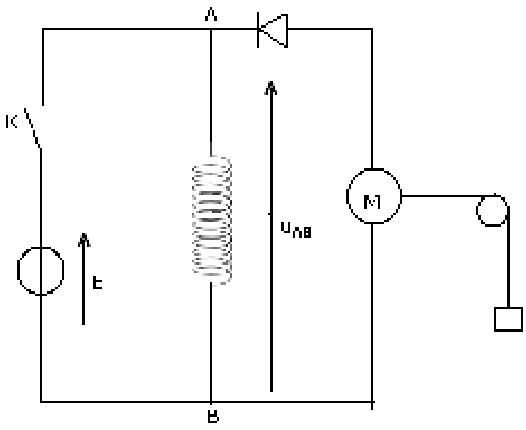
نستعمل في التركيب التجريبي الصمام من أجل حماية الدارة RL من فرط التوتر الذي يحدث بين مربطيها عند فتح قاطع التيار K .

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 :

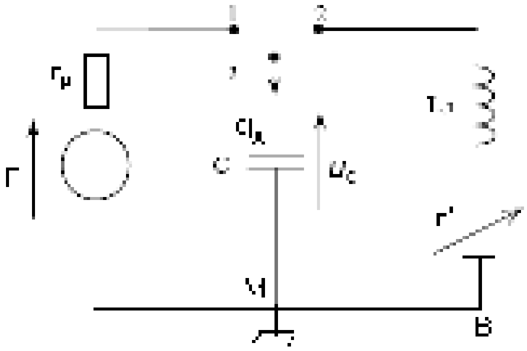
$$\xi_m = \int_0^t d(\frac{1}{2}Li^2) = \frac{1}{2}Li^2$$

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 التجريبي1

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 $E=3V$ومقاومة الموصل الاومي على $r'=0\Omega$

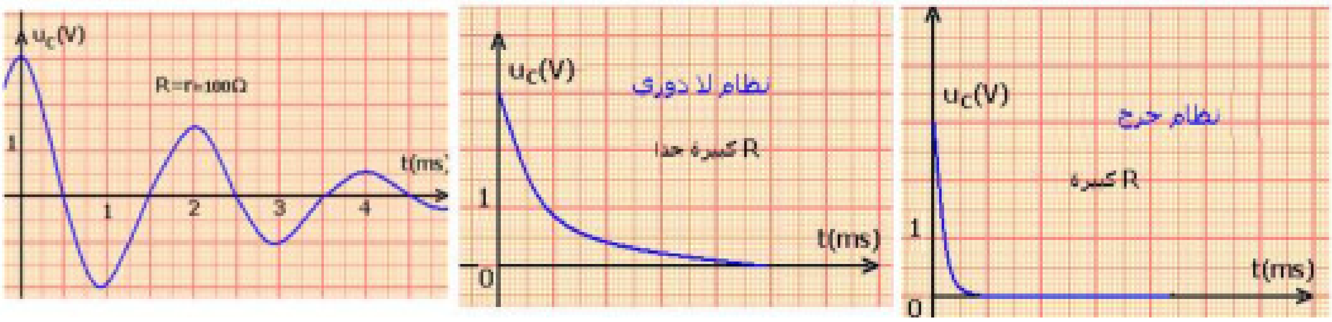
+نؤرجح قاطع التيار إلى الموضع (1) لمدة زمنية كافية لشحن المكثف كليا .

+نؤرجح قاطع التيار إلى الموضع (2) فنحصل على دارة RLC متوالية مقاومتها الكلية $R=r+r'$ حيث r مقاومة 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 $u_c(t)$.

2 ـ ما تأثير المقاومة R على :

2-1 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 ؟

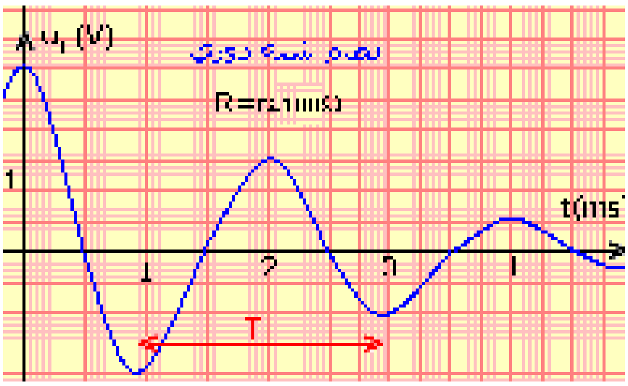
نعم يتعلق شبه الدور بقيم L و C ولا يتعلق بقيم R

ـ أنظمة الذبذبات الحرة

حسب مقاومة الدارة RLC نحصل على ثلاثة أنظمة

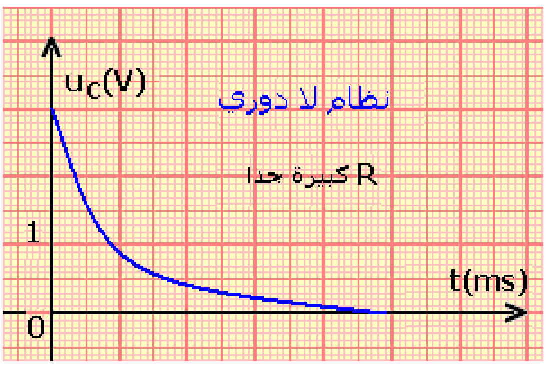
أ-نظام شبه دوري

R صغيرة نحصل على ذبذبات يتناقص وسعها تدريجيا مع الزمن

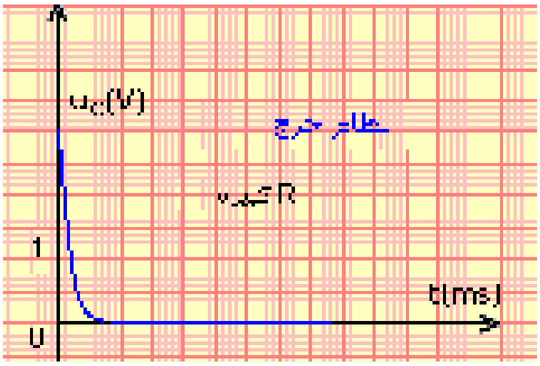


ب- نظام لا دوري

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



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)

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

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

$$r + r' = R$$

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

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

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

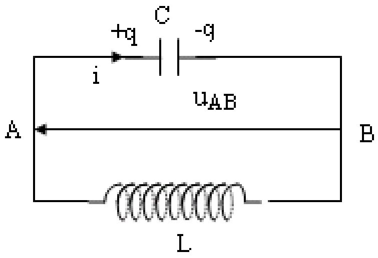
وشيعة معامل تحريضها L ومقاومتها الداخلية r ونعتبرها مهملة . تنعت هذه الدارة بالمثالية لاستحالة تحقيقها تجريبيا لكون أن كل الوشيعات تتوفر على مقاومة داخلية .

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

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

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

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 ــ تعبير الشحنة q(t) و i(t) .

نعلم أن شحنة المكثف هي :

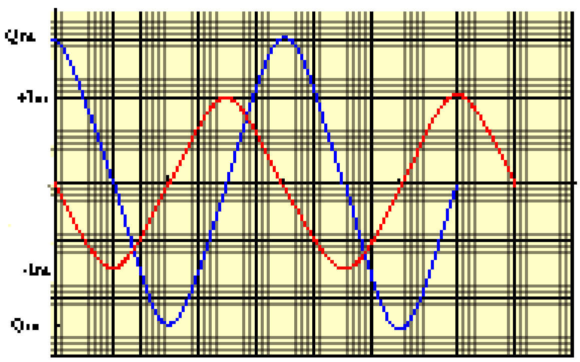
$$q(t)=C.u_C(t)=CU_m\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)=q_m\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi\right)$$

$$q_m=CU_m$$

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 $\dfrac{\pi}{2}$ 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 ــ انتقالات الطاقة بين المكثف والوشيعة .

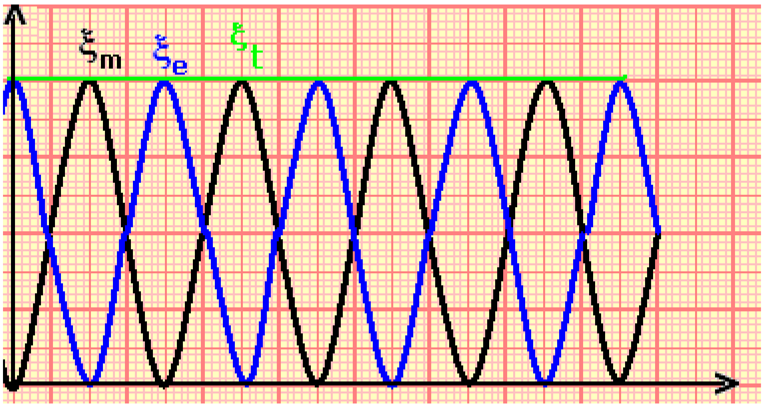
توصلنا في الدروس السابقة أن المكثف بإمكانه أن يخزن طاقة كهربائية $\xi_e=\dfrac{1}{2}Cu_C^2$ وأن الوشيعة كذلك

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

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 .

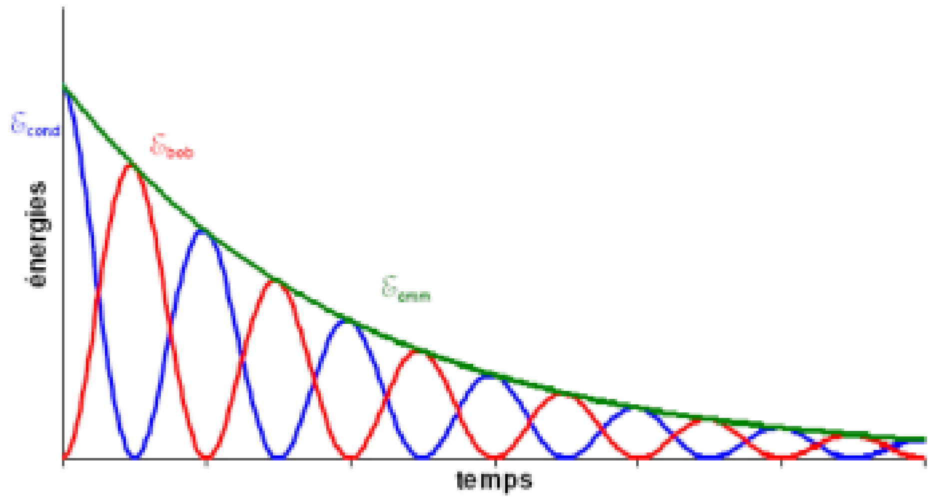
خلال الذبذبات غير المخمدة تتحول الطاقة الكهربائية في المكثف إلى طاقة مغنطيسية في الوشيعة والعكس صحيح .

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

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 .

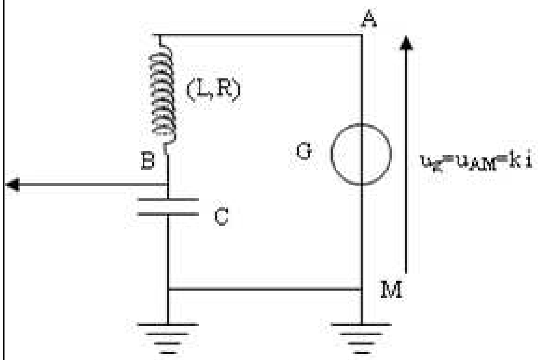
4 ـ ما المقدار الذي يحول دون الحصول على ذبذبات غير مخمدة ؟

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

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

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

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



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 .

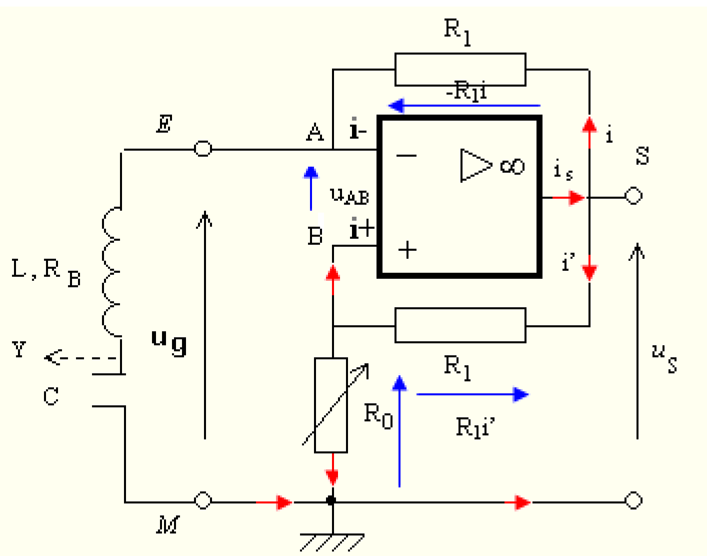
في كل لحظة يمكن كتابة

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

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

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

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



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 $i^-=i^+=0$

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

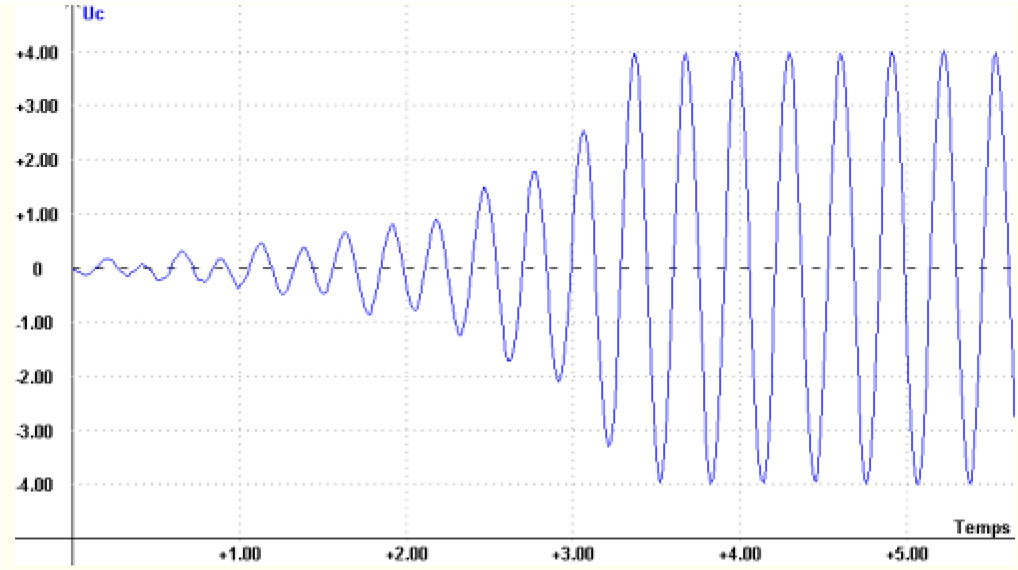
معاينة التوتر بين مربطي مكثف الدارة (L,C) الذي يوجد بها المولد G

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



R

التحولات السريعة والتحولات البطيئة
العوامل الحركية

I ـ تذكير بالمزدوجات مختزل/مؤكسد .

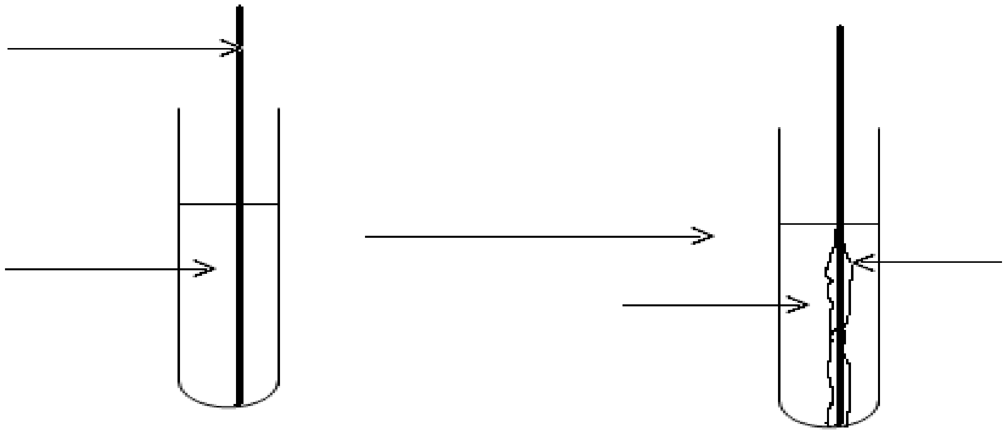
1 ـ مثال لتفاعل أكسدة ـ اختزال . : التفاعل بين ايونات الفضة $Ag^+(aq)$ وفلز النحاس Cu .

الدراسة التجريبية :

في أنبوب اختبار ، يحتوي على $5m\ell$ 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 :

$$(\times 2)\quad Ag^+(aq)+1e^- = Ag(s)$$

$$(\times 1)\quad Cu(s) = Cu^{++}(aq)+2e^-$$

$$2Ag^+(aq)+Cu(s)\rightarrow 2Ag(s)+Cu^{2+}(aq)$$

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

$$n_2\times(Ox_1+n_1e^- = Red_1)$$

$$n_1\times(Red_2 = Ox_2+n_2e^-)$$

$$n_2Ox_1+n_1Red_2\rightarrow n_2Red_1+n_1Ox_2$$

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 $Fe^{3+}_{aq}/Fe^{2+}_{aq}$. النوعان المتفاعلان هما المؤكسد $MnO_4^-(aq)$ والمختزل (Fe^{2+}_{aq})

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 :

$$(\times1) \quad MnO_4^{2-}(aq)+8H^+(aq)+5e^- = Mn^{2+}(aq)+4H_2O(\ell)$$

$$(\times5) \quad Fe^{2+}_{aq} = Fe^{3+}_{aq}+1e^-$$

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 أثبت 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 :

$$S_2O_3^{2-}(aq)+6H^+(aq)+4e^-=2S(s)+3H_2O$$

$$S_2O_3^{2-}(aq)+H_2O(\ell)=2SO_2(aq)+2H^+(aq)+4e^-$$

$$2S_2O_3^{2-}(aq)+4H^+(aq)\rightarrow 2S(s)+2SO_2(aq)+2H_2O(\ell)$$

ب ـ تعريف

التحولات البطيئة هي التي تستغرق من عدة ثواني إلى عدة ساعات بحيث يمكن تتبع تطورها بالعين أو بأجهزة القياس المتوفرة في المختبر

تمرين تطبيقي

صنف التحولات الكيميائية التالية الى تحولات سريعة وتحولات بطيئة في الجدول اسفله :

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

III ــ الإبراز التجريبي للعوامل الحركية .

تعريف :

نسمي عاملا حركيا كيميائيا ، كل مقدار يمكن من تغيير سرعة تطور مجموعة كيميائية

1 ــ 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 ــ 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 ــ 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

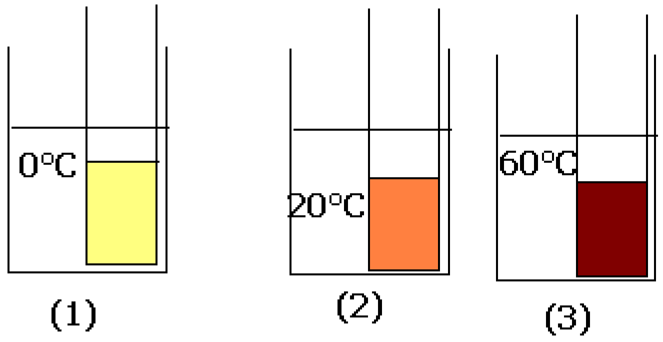
II ـ تأثير درجة الحرارة

تجربة :

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 .

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 ـ 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 ـ 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		$I_2(aq)$	$+\ 2S_2O_3^{2-}(aq)$	$\rightarrow\ 2I^-(aq)$	$+\ S_4O_6^{2-}(aq)$	
حالة المجموعة	التقدم x(mol)	كمية المادة (mol)				
الابتدائية	0	$n(I_2)$	CV	كبيرة	0	0
خلال التحول	x	$n(I_2)-x_f$	$CV-2x$	كبيرة	$2x$	x
النهائية	x_f	$n(I_2)-x_f$	$CV-2x_f$	كبيرة	$2x_E$	x_f

3 ـ 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 ـ 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)				
الابتدائية	0	C_1V_1	C_2V_2	كبيرة	0	0
خلال التحول	x	$C_1V_1-x_i$	C_2V_2-2x	كبيرة	x	2x
النهائية	x_{max}	$C_1V_1-x_{max}$	$C_2V_2-2x_{max}$	كبيرة	x_{max}	$2x_{max}$

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 $x_i=\dfrac{C.V_E}{2}$

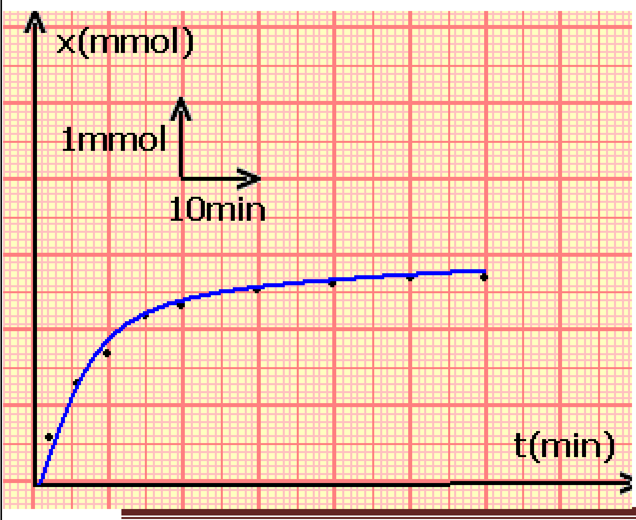
5 ــ أحسب x عند كل لحظة في 100ml من الخليط التفاعلي . اتمم الجدول السابق واستنتج التقدم الأقصى x_{max} .

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 ثنائية 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 لهذين المماسين . ؟

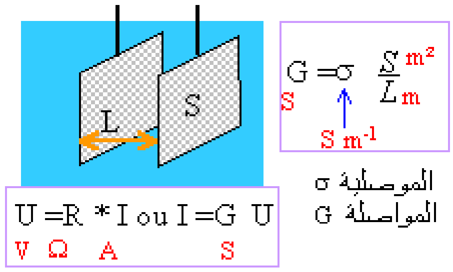
III ـ تتبع تحول كيميائي بقياس الموصلية .

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 :

$$\sigma = \lambda_{Na^+}\left[Na^+_{aq}\right] + \lambda_{C\ell^-}\left[C\ell^-_{aq}\right]$$
$$\left[Na^+_{aq}\right] = \left[C\ell^-_{aq}\right] = 10^{-2} mol/\ell = 10 mol/m^3$$
$$\lambda_{Na^+} = 5,0.10^{-3} S.m^2.mol^{-1}$$
$$\lambda_{C\ell^-} = 7,6.10^{-3} S.m.mol^{-1}$$
$$\sigma = 126.10^{-3} S.m^{-1}$$

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
□S.m^{-1})	0	0,489	0,977	1,270	1,466	1,661	1,759	1,856	1,905

1800	2000
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	o	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 ـ كلورو ـ 2 مثيل بروبان M=92,0g/mol ، كتلته الحجمية $\rho = 0,85g/cm^3$

كمية المادة البدئية ل 2 ـ 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 : $n_0=9,1.10^{-3}mol$

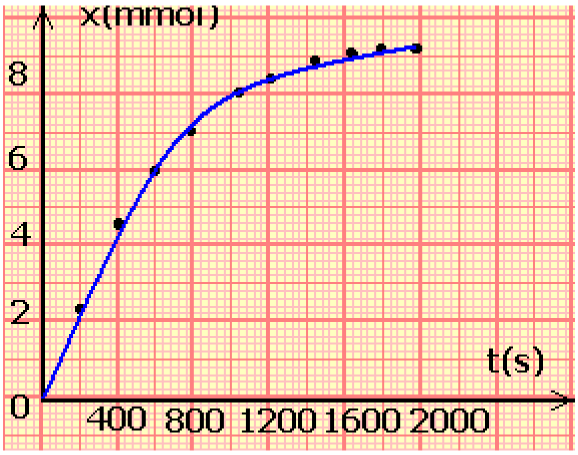
حسب جدول التقدم التقدم الأقصى $x_{max}=n_0=9,2.10^{-3}mol$.

7 ـ 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 $\rho_f = 1,955 S.m^{-1}$

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 ـ سرعة التفاعل وزمن نصف التفاعل .

1 ـ سرعة التفاعل .

يتميز التحول الكيميائي ، بالسرعة التي يحدث بها التفاعل .

كيف نحدد سرعة التفاعل الكيميائي ؟

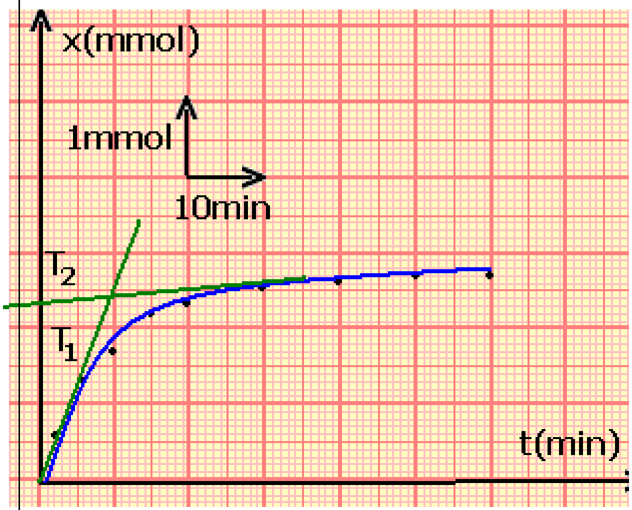
1 ـ بالنسبة للمنحنى الممثل لتغيرات التقدم x=f(t) بدلالة الزمن ، في التجربة الأولى ، خط المماسين للمنحنى عند اللحظتين t=0 و t=30min. كيف يتطور المعامل الموجه لهذين المماسين ؟ .

بالنسبة للماس T_1 :

المعامل الموجه لهذا المماس هو :

$$K_1 = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{(2,5-0).10^{-3}}{10-0} = 2,5.10^{-4} mol/min$$

R



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 .

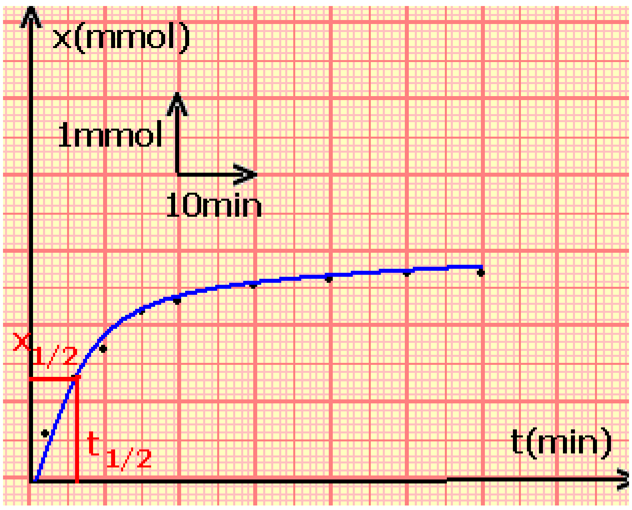
تطور سرعة التفاعل خلال الزمن .

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_f ($x = \frac{x_f}{2}$)

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 $t_{1/2}=0,6min$

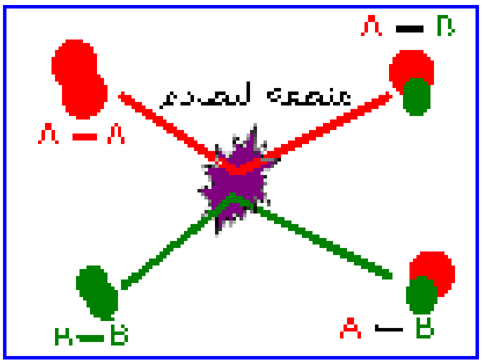
V ـ التفسير الميكروسكوبي

1 ـ الارتجاج الحراري

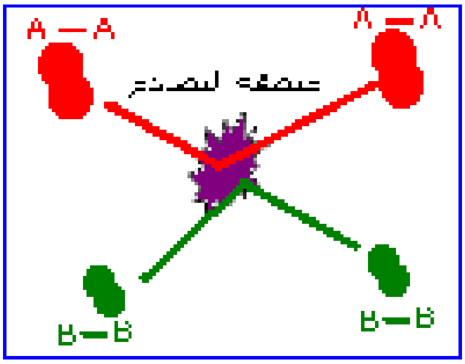
المكونات الكيميائية المتواجدة في مائع تتحرك بسرعة وبصفة دائمة وعشوائية ، مما يجعلها تتصادم فيما بينها بتردد مرتفع . كلما ارتفعت درجة الحرارة أي ارتجاج دقائقي قوي ، كلما زادت قيم سرعات هذه المكونات وتردد تصادمها .

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 .

R

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 :

$HCO_3^-(aq)/CO_3^{2-}(aq)$	$H_3O^+(aq)/H_2O(\ell)$
$HCO_3^-(aq) = H^+ + CO_3^-(aq)$	$H_3O^+(aq) = H^+ + H_2O(\ell)$
$CO_{2,}H_2O(aq)/HCO_3^-(aq)$	$H_2O(\ell)/HO^-(aq)$
$CO_2(aq) + H_2O(aq) = H^+ + HCO_3^-(aq)$	$H_2O(\ell) = H^+ + HO^-(aq)$

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 ، $[H_3O^+] \leq 5.10^{-2} mol/\ell$ بالعلاقة التالية : $pH = -\log[H_3O^+]$ ، تمثل $[H_3O^+]$ العدد الذي يقيس التركيز المولي لأيونات الأوكسيونيوم ، ونعبر عنه بالوحدة : mol/ℓ.

$$\mathbf{pH = -\log[H_3O^+] \Leftrightarrow [H_3O^+] = 10^{-pH}}$$

$\log 10 = 1$
$\log 1 = 0$
$\log a.b = \log a + \log b$
$\log \frac{a}{b} = \log a - \log b$
$\log 10^x = x \log 10 = x$
$y = 10^x \Leftrightarrow x = \log y$

تذكير لبعض خاصيات الدالة اللوغريتمية

تمرين تطبيقي :

نتوفر على أربعة محاليل مائية (A) و (B) و (C) و (D)

تركيز أيونات الأوكسونيوم في المحلولين (A) و (B) تباعا هو :

$[H_3O^+]_A = 2,0.10^{-3} mol/\ell$ و $[H_3O^+]_B = 5,1.10^{-5} mol/\ell$

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 $[H_3O^+]$ في المحلولين (C) و (D) .

نستعمل الآلة الحاسبة (10^x)

$[H_3O^+]_C \simeq 1,6.10^{-3} mol/\ell$ و $[H_3O^+]_D \simeq 1,3.10^{-9} mol/\ell$

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 $[H_3O^+]_A$ و $[H_3O^+]_B$ بحيث أن $[H_3O^+]_A > [H_3O^+]_B$

لدينا من المتساوية السابقة :

$$\log[H_3O^+]_A > \log[H_3O^+]_B$$
$$-\log[H_3O^+]_A < -\log[H_3O^+]_B$$
$$pH_A < pH_B$$

2 ـ قياس pH محلول مائي .

يمكن قياس pH محلول مائي من تحديد تركيز أيونات الأوكسونيوم $[H_3O^+]$ 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-متر .

مبدأ الـ pH ـ متر :

يتكون الـ 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 الـpH ــ متر بعين الاعتبار قيمتي الوسيطين a و b .
والتي تتعلق بدرجة الحرارة وبطبيعة الإلكترودين .
تقدر دقة القياس بواسطة ال pH ــ متر تقريبا ب 0,1 وحدة ، وتكون هذه الدقة من رتبة 0,05 بالنسبة للأجهزة الأكثر دقة .

كيفية استعمال pH ــ متر :

<u>ــ يجب قبل إنجاز أي قياس غسل الإلكترود المركبة بالماء المقطر ومسحها بورق نشاف</u>
<u>ــ يجب تعيير جهاز ال pH ــ متر بواسطة محلولين عياريين لهما pH معروف .</u>
<u>* الضبط الأول يجب أن يكون بواسطة محلول عيار ذي pH=7</u>
<u>* الضبط الثاني يجب أن يكون ب pH=4 إذا كان المحلول المدروس حمضا أو ب pH=9 إذا كان المحلول المدروس قاعديا .</u>
<u>ــ بعد الانتهاء من القياسات يجب غسل الإلكترود بالماء المقطر ووضعها في غمدها الوقائي</u>

ج ــ دقة قياس ال pH .

<u>تمرين :</u>

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 ــ 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 ــ 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 ــ التحولات الكلية وغير الكلية .

<u>1 ــ إبراز تحول غير كلي .</u>

النشاط التجريبي 1

نصب في حوجلة معيرة سعتها $V_0=500,0m\ell$ مملوءة بالماء المقطر ، حجما $V=1,00m\ell$ 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 ــ متر ، نحصل على النتيجة التالية : pH=3,10 .
1 ــ اكتب معادلة التفاعل حمض ــ 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 3ة1 يدل على أن المجموعة توجد في حالتها النهائية أي أن تركيز الأيونات $\left[H_3O^+\right]$ في هذه الحالة هو :

$$\left[H_3O^+\right]=10^{-pH}\Rightarrow\left[H_3O^+\right]=10^{-3,1}\simeq 7,9.10^{-4}mol/\ell$$

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 ــ 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 ــ 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 ــ 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 ــ 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 ــ كيف تطورت قيمة pH ؟

$$pH_2 > pH_1 \Rightarrow \left[H_3O^+\right]_1 < \left[H_3O^+\right]_2$$

2 ــ 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 ــ 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 .

$$CH_3COOH(aq) + H_2O(\ell) \underset{\text{المنحى غير المباشر}\ (2)}{\overset{\text{المنحى المباشر}\ (1)}{\rightleftarrows}} CH_3CO_2^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

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 ــ قاعدة على الشكل التالي :

يحدث خلال تفاعل كيميائي غير كلي ، تفاعل في المنحيين . (المباشر وغير المباشر لمعادلة التفاعل)

IV ــ حالة توازن مجموعة كيميائية .

تعريف حالة توازن مجموعة كيميائية

مثال :

R

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.

٧ 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 .

R

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 :

$$\lambda_{H_3O^+} = 35,0mS.m^2.mol^{-1}$$

$$\lambda_{CH_3COO^-} = 4,09mS.m^2.mol^{-1}$$

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) :

$$aA(aq) + bB(aq) \rightarrow cC(aq) + dD(aq) \quad K_1$$

$$cC(aq) + dD(aq) \rightarrow aA(aq) + bB(aq) \quad K_2$$

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 :

$$\sigma_1 = 153\mu S.cm^{-1} \quad و \quad \sigma_2 = 510\mu S.cm^{-1}$$

1 ... 1 و S_2 ؟
2 ـ حدد نسبة التقدم النهائي لكل تفاعل ؟

$$\lambda_{H_3O^+} = 35,0mS.m^2.mol^{-1}$$

$$\lambda_{CH_3COO^-} = 4,09mS.m^2.mol^{-1}$$

$$\lambda_{HCOO^-} = 5,46mS.m^2.mol^{-1}$$

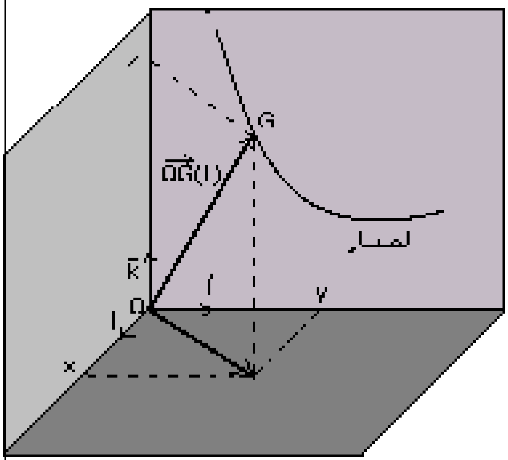
<u>خلاصة :</u>

كلما كانت ثابتة التوازن كبيرة ، كانت نسبة التقدم النهائي مرتفعة .

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

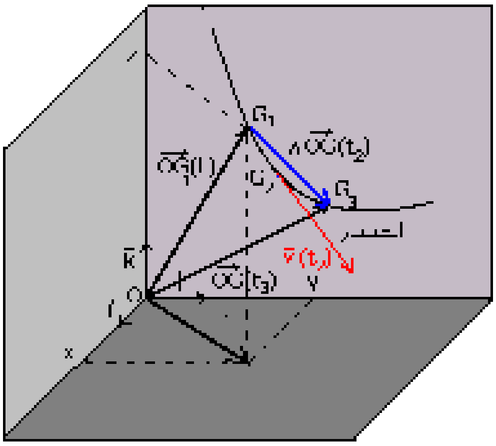
* نقتصر في دراسة حركة جسم صلب في جسم مرجعي ما على حركة **مركز قصوره G** والتي تمكننا من معرفة **حركته الإجمالية** .

* 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 :

$$\overrightarrow{G(t_1)G(t_3)} = \overrightarrow{G(t_1)O} + \overrightarrow{OG(t_3)} = \overrightarrow{OG(t_3)} - \overrightarrow{OG(t_1)} = \overrightarrow{\Delta OG(t_2)}$$

$$\vec{v}(t_2) = \frac{\overrightarrow{\Delta OG(t_2)}}{\Delta t}$$

يمكن أن نعمم هذه النتيجة على الشكل التالي :

$$\vec{v}(t) = \frac{\overrightarrow{\Delta OG(t)}}{\Delta t}$$

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 $\frac{\overrightarrow{\Delta OG(t)}}{\Delta t}$ 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 .

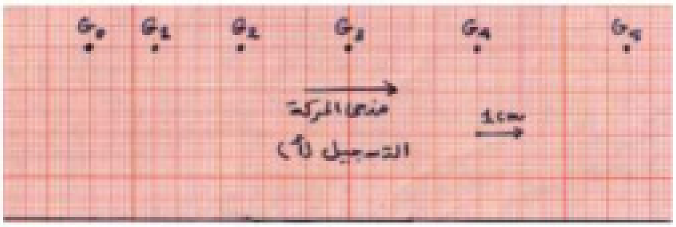
ب ـ إحداثيات متجهة السرعة في معلم ديكارتي

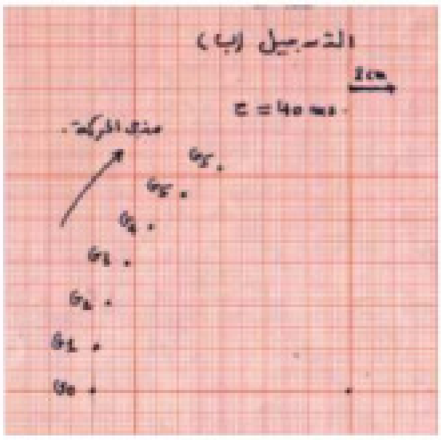
في معلم متعامد وممنظم $\mathcal{R}(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ (معلم ديكارتي) إحداثيات السرعة اللحظية هي :

$$\overrightarrow{OG} = x_G\vec{i} + y_G\vec{j} + z_G\vec{k} \Rightarrow \vec{v}_G(t) = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt} = \frac{dx_G}{dt}\vec{i} + \frac{dy_G}{dt}\vec{j} + \frac{dz_G}{dt}\vec{k} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k} = \dot{x}_G\vec{i} + \dot{y}_G\vec{j} + \dot{z}_G\vec{k}$$

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) .

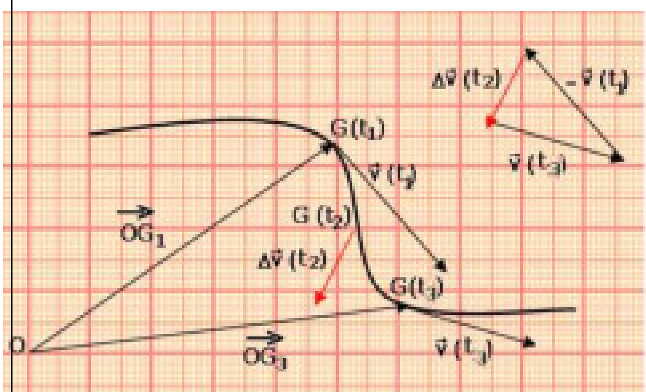




استثمار :

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 : $\vec{a}(t)=\frac{\Delta\vec{v}(t)}{\Delta t}$

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 $\frac{\Delta\vec{v}_G}{\Delta t}$ 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 ـ احسب بالنسبة للدراسة التجريبية السابقة المتجهة $\vec{a}_3$. ومثلها باستعمال سلم مناسب .

<u>ب ـ 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 :

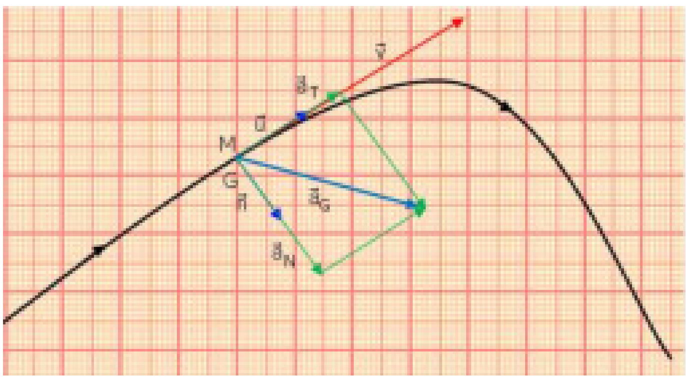
$$\overrightarrow{OG}=x\vec{i},\vec{v}_G=\dot{x}\vec{i},\vec{a}_G=\ddot{x}\vec{i}$$

<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 ، ومتجهة $\vec{n}$ 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 $a_T=\frac{dv_G}{dt}$

$\vec{a}_N$ متجهة التسارع المنظمي $a_N=\frac{v^2}{\rho}$ 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 .

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 الأجسام 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 :

يمكّن 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 .

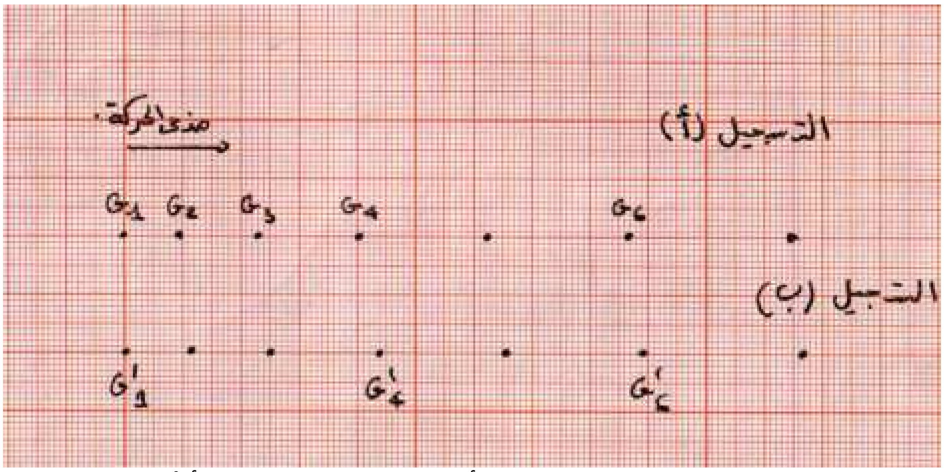
3 ـ القانون الثاني لنيوتن (القانون الأساسي للتحريك)

3 ـ 1 العلاقة بين $\frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$ و $\sum \vec{F}_{ext}$

النشاط التجريبي 2

التحقق التجريبي من العلاقة $\sum \vec{F}_{ext}=m\frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$

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 ـ أجرد القوى المطبقة على الحامل الذاتي أثناء حركته في التجربة ألأولى .

2 ـ أثبت أن $\left(\sum \vec{F}_{ext}\right)$ مجموع القوى الخارجية المطبقة على الحامل الذاتي أثناء حركته يكافئ القوة $\vec{F}$ خلال التجربة ألأولى .

3 ـ أوجد باستغلال التسجيل قيمة Δv_G تغير سرعة G في الحالات التالية :

أ ـ بين G_1 و G_3 ب ـ بين G_2 و G_4 ج ـ بين G_2 و G_5 د ـ بين G_2 و G_6 . ماذا تلاحظ ؟

4 ـ 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 ـ نعتبر أن قوة الاحت $\vec{f}$

موازية لمسار G ومنحاها عكس منحى G . أحسب f شدة هذه القوة .

7 ـ 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 ـ 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 :

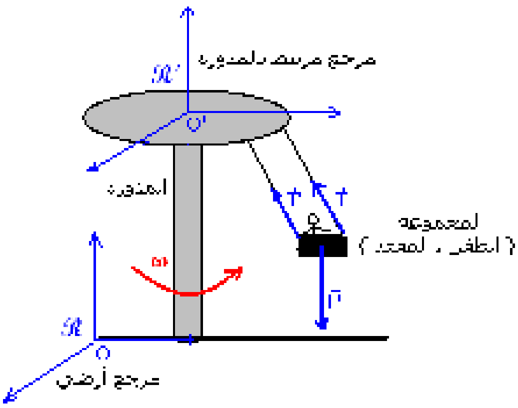
$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$$

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 .

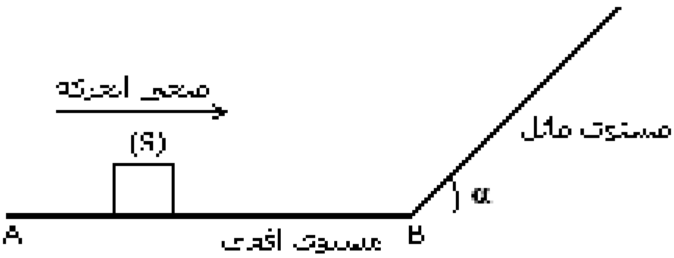
الجواب :

لتطبيق القانون الثاني لنيوتن نحدد المجموعة المدروسة : (S) . ونختار مرجعا غاليليا وهو المرجع الأرضي .

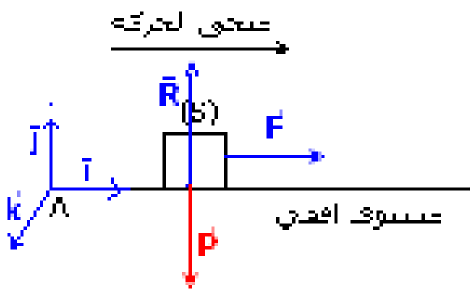
نقوم بجرد القوى المطبقة على المجموعة المدروسة : (S)

$\vec{P}$ 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) :

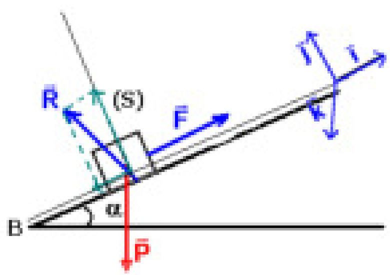
$\vec{P}$ وزن الجسم (S)

$\vec{F}$ 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

$$-mg\sin\alpha - kmg\cos\alpha + F = m.a_2 \Rightarrow a_2 = \left(\frac{F}{m} - \left(g\sin\alpha + kg\cos\alpha\right)\right)$$

$$a_2 = a_1 - \left(g\sin\alpha + kg\cos\alpha\right)$$

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 : $a_2 = -5,1m/s^2$
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 :

$$\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = \underset{A\to B}{W}\left(\vec{F}\right) \Rightarrow \frac{1}{2}mv_B^2 = F.\ell = m.a_1.\ell$$

$$v_B = \sqrt{2.a_1.\ell} = 1,22m/s$$

نطبق مبرهنة الطاقة الحركية لحساب d المسافة التي سيقطعها الجسم قبل توقفه :

$$\frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_B^2 = \underset{B\to f}{W}\left(\vec{P}\right) + \underset{B\to f}{W}\left(\vec{R}\right) + \underset{B\to f}{W}\left(\vec{F}\right)$$

$$-\frac{1}{2}mv_B^2 = -mgd\sin\alpha - R_T.d + F.d \Rightarrow -\frac{1}{2}mv_B^2 = m.d\left(-g\sin\alpha - kg.\cos\alpha + \frac{F}{m}\right)$$

$$-\frac{1}{2}mv_B^2 = m.a_2.d$$

$$d = -\frac{v_B^2}{2a_2} = 0,15m$$

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 $\frac{\rho_f}{\rho_s} = \frac{\vec{F}_A}{\vec{P}_s}$ 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

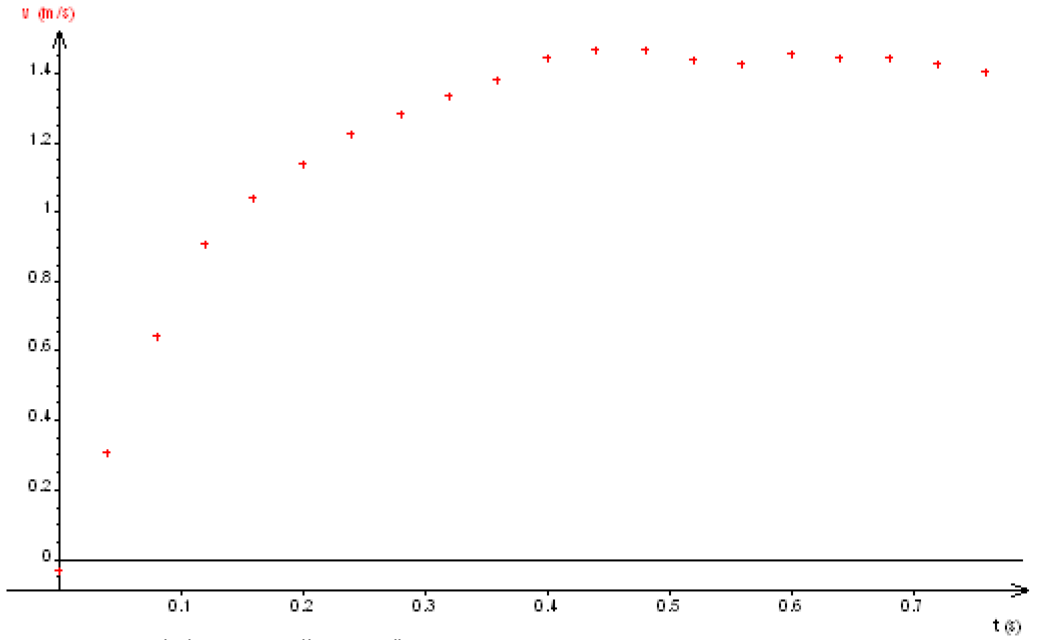
النشاط التجريبي

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 ــ استغلال المنحنى v=f(t)

أ ــ يبرز المنحنى وجود نظامين ، حدد مبيانيا المجال الزمني لكل نظام مبرزا طبيعة حركة الكرية في كل نظام .

ب ــ هل تتزايد أم تتناقص متجهة التسارع $\vec{a}_G$ مركز قصور الكرية خلال الحركة ؟ علل جوابك .

ج ــ مثل على الشكل الخط المقارب للمنحنى .

يمثل نقطة تقاطع هذا الخط مع محور السرعات قيمة السرعة الحدية v_ℓ . حدد قيمة v_ℓ .

د ــ 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 ــ ما قيمة a_0 لإحداثية $\vec{a}_0$ على المحور الرأس عند اللحظة t=0 ؟

2 ــ الدراسة النظرية

أ ــ أذكر مرجعا يمكن اعتماده في دراسة حركة G مركز قصور الكرية .

ب ــ 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 ــ 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 ــ 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 ــ بين أن سرعة G تبلغ قيمة حدية v_ℓ ، واعط تعبير v_ℓ بدلالة A و B و n .

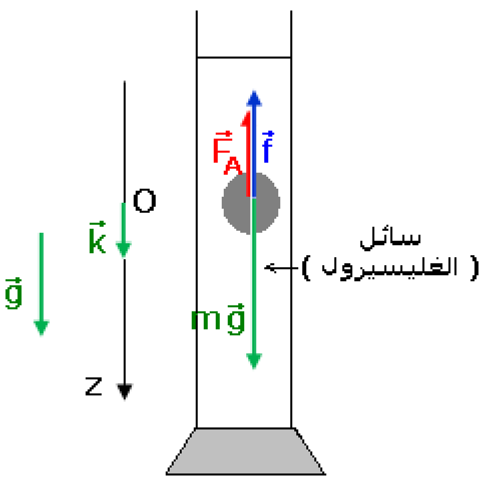
و ــ أثبت أن العلاقة (1) تكتب على النحو التالي : $\frac{dv}{dt} = A\left(1-\left(\frac{v}{v_\ell}\right)^n\right)$ (2)

ز ــ أوجد التعبير الحرفي للإحداثية a لمتجهة التسارع $\vec{a}_G$ على المحور $(O,\vec{k})$ في اللحظة t=0

<u>1 ــ المعادلة التفاضلية للحركة</u>

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 $(O,\vec{k})$.



ــ المجموعة المدروسة : الكرية

ــ 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 : $\vec{f} = -k.v^n.\vec{k}$

ــ 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 ــ 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 ــ ما طبيعة مسار G مركز قصور الكرة ؟

2 ــ أجرد القوى المطبقة على الكرة أثناء سقوطها . ما القوى التي نهملها أمام وزن الجسم ؟ وما هي الشروط لكي نقوم بهذا الإهمال ؟

3 ــ عبر بدلالة الزمن t عن الأنسوب z للنقطة G .

4 ــ أحسب السرعة التي ستصل بها الكرة إلى الأرض . نعطي h=2m .

II ــ السرعة البدئية في اللحظة t=0 لمركز قصور الكرة أرسلت رأسيا نحو الأعلى تساوي v_0=15,0m/s

1 ــ 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 ــ أوجد تعبير t_M تاريخ اللحظة الموافقة للارتفاع الأقصى z_M للنقطة G ، واحسب قيمته .

3 ــ أحسب قيمة z_M .

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 نعلم 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 :

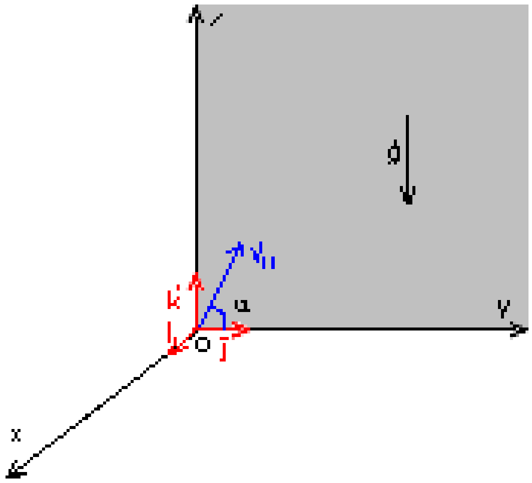
تخضع القذيفة إلى وزنها فقط أي أن $\vec{P}=m.\vec{a}_G$ ومنه $\vec{a}_G=\vec{g}$ (1)

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 :

$$\vec{v}_0 \begin{cases} v_{0x}=0 \\ v_{0y}=v_0\cos\alpha \\ v_{0z}=v_0\sin\alpha \end{cases}$$ وبالتالي ستكون

أي أن إحداثيات متجهة السرعة في المعلم $\mathcal{R}(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ هي :

$$(2)\ \vec{v}_G \begin{cases} v_x = 0 \\ v_y = v_0 \cos\alpha \\ v_z = -gt + v_0 \sin\alpha \end{cases}$$

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 ثوابت يجب تحديدها انطلاقا من الشروط البدئية أي أنه في اللحظة $t_0 = 0$ لدينا :

$$\overrightarrow{OG_0} \begin{cases} 0 \\ 0 \\ 0 \end{cases}$$ 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 :

$$y = (v_0 \cos\alpha)t \Rightarrow t = \frac{y}{v_0 \cos\alpha}$$

$$z = -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 \sin\alpha)t$$

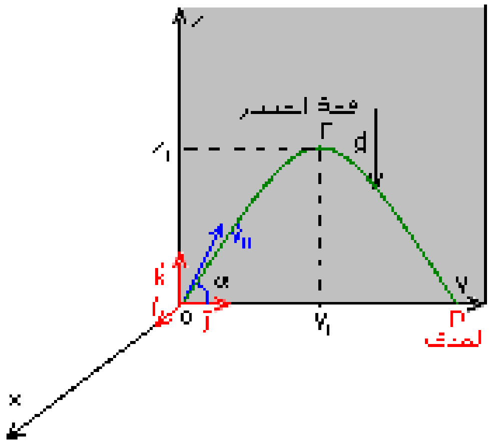
أي أن معادلة المسار هي :

$$z = -\frac{g}{2v_0^2 \sin^2\alpha} y^2 + y \tan\alpha$$

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)

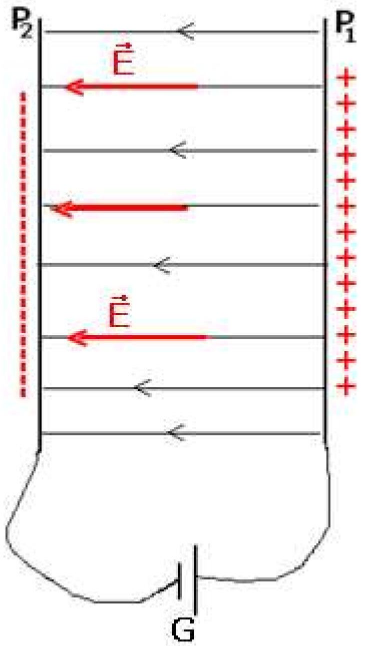
ملحوظة :

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



نسمي خط المجال الكهرساكن كل منحنى (أو مستقيم) تكون متجهة مجال الكهرساكن مماسة له في كل نقطة من نقطه .

ج ــ المجال الكهرساكن المنتظم

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 : $E = \dfrac{U}{d}$ 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 .

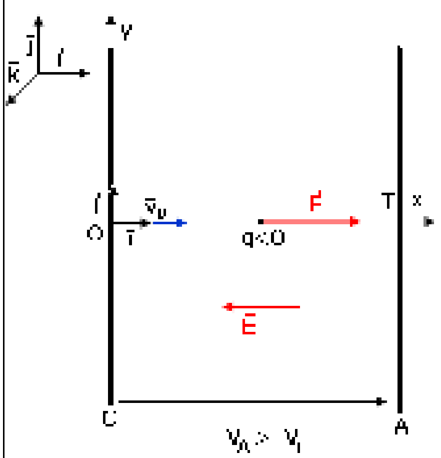
جرد القوى المطبقة على الدقيقة :

$\vec{F}$ القوة الكهرساكنة 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 : $\vec{a} = \dfrac{\vec{F}}{m} \Rightarrow \vec{a} = \dfrac{q}{m}\vec{E}$

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 :

$$\vec{v}_0 \begin{cases} v_0 \\ 0 \\ 0 \end{cases} \quad \text{و} \quad O \begin{cases} 0 \\ 0 \\ 0 \end{cases}$$

$$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x_M = -\dfrac{1}{2}\dfrac{qE}{m}t^2 + v_0 t \\ y_M = 0 \\ z_M = 0 \end{cases} \quad \text{و} \quad \vec{v}\begin{cases} v_x = -\dfrac{qE}{m}t + v_0 \\ v_y = 0 \\ v_z = 0 \end{cases} \quad \text{و} \quad \vec{a}\begin{cases} a_x = -\dfrac{qE}{m} \\ a_y = 0 \\ a_z = 0 \end{cases}$$

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 :

$$x = \frac{eE}{2m}t^2 \quad , \quad v_x = \frac{eE}{m}t \quad , \quad a_x = \frac{eE}{m}$$

يمكن حساب السرعة التي تغادر بها الإلكترون الثقب T وذلك بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية على الإلكترون بين O و T :

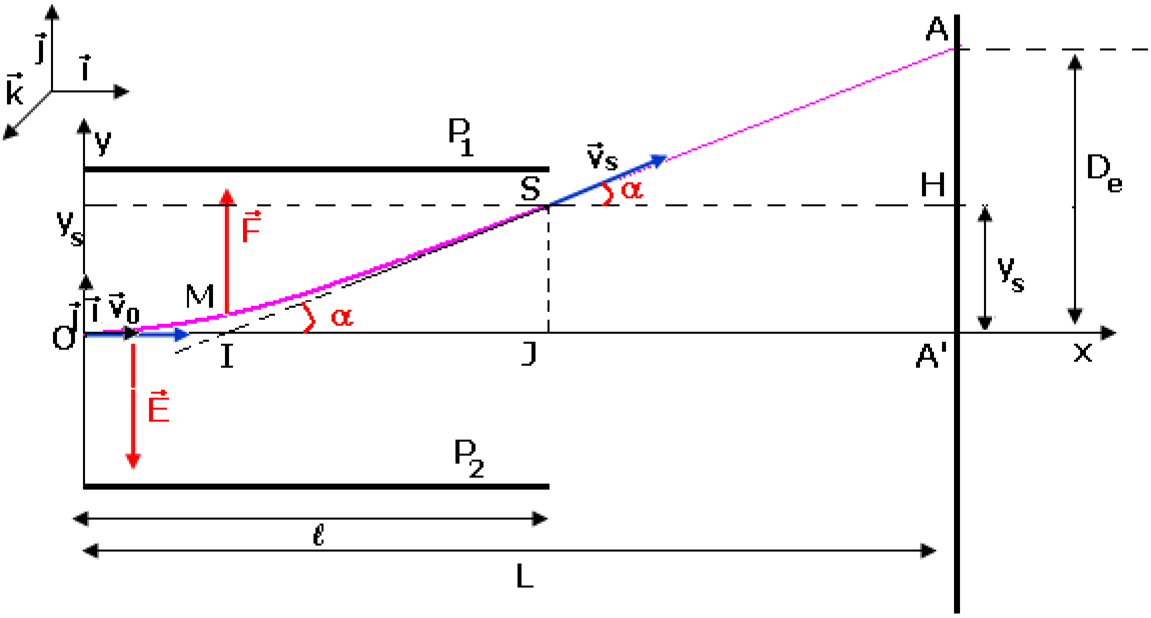
$$_O^T\Delta E_C = \underset{O\to T}{W}\left(\vec{F}\right) \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = eU_{AC}$$

$$U_{AC} = E.d \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = eE.d$$

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 : $\boxed{\vec{a}=\frac{q\vec{E}}{m}}$ 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 $\boxed{\vec{a}\begin{cases}a_x=0\\a_y=-\frac{qE}{m}\\a_z=0\end{cases}}$

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 : $\boxed{\vec{v}\begin{cases}v_x=v_0\\v_y=-\frac{qE}{m}t\\v_z=0\end{cases}}$ وعلى المعادلات الزمنية

في المعلم $(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ أي أن $\boxed{\overrightarrow{OM}\begin{cases}x=v_0t\\y=-\frac{qE}{m}t^2\\z=0\end{cases}}$

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) :

$t=\frac{x}{v_0}$ في المعادلة الزمنية y(t) لدينا : $\boxed{y=-\frac{qE}{2mv_0^2}x^2}$ 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 :

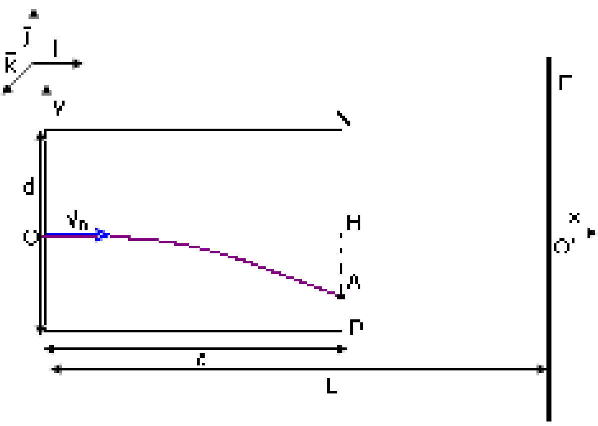
$S\begin{cases}x_s=\ell\\y_S=-\frac{qE}{2mv_0^2}\ell^2\end{cases}$ وتوجد الدقيقة في النقطة S عند اللحظة $t_S=\frac{\ell}{v_0}$ في المعادلات السرعة نحصل

على : $\boxed{\vec{v}_S\begin{cases}v_{Sx}=v_0\\v_{Sy}=-\frac{qE}{m}\left(\frac{\ell}{v_0}\right)\end{cases}}$

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 مستشععة 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 المستشععة 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 $U' = 282,5V$

R

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 : $\vec{F}=q\vec{E}\wedge\vec{B}$

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

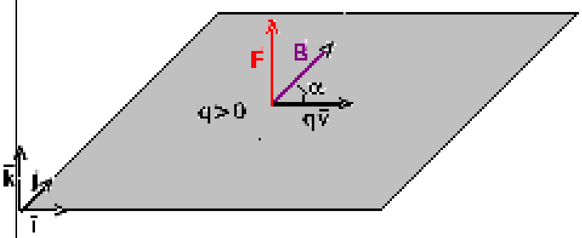
2 ـ 2 مميزات القوة المغنطيسية

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 : $F=|qvB\sin\alpha|$

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 :

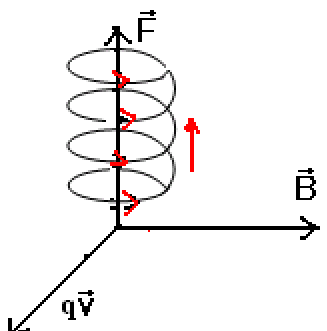
منحى $\vec{F}$ يتغير حسب إشارة q . عمليا للحصول على منحى المتجهة $\vec{F}$ نطبق إحدى القواعد .

ـ قاعدة الأصابع الثلاث لليد اليمنى . الإبهام $q\vec{v}$. السبابة : $\vec{B}$.

الوسطى: $\vec{F}$

ـ قاعدة مفك البرغي

ـ قاعدة اليد اليمنى



قاعدة مفك البرغي

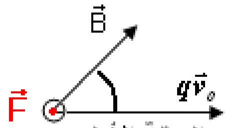
الحالات التي تنعدم فيها القوة المغناطيسية :

- 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 .

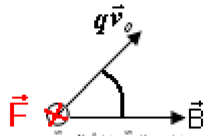
<u>تمرين تطبيقي</u> : ندخل حزمة من دقائق الهيليوم $^{2}_{4}He^{2+}$

بسرعة $v_0=10^3m/s$ 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 $F = 3,2.10^{-19} N$



الحالة الأولى



الحالة الثانية

<u>3ـ حركة دقيقة مشحونة في مجال مغناطيسي منتظم</u>

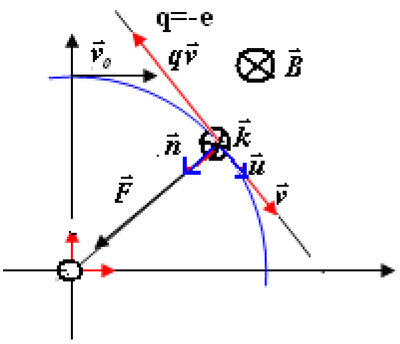
ندرس حركة دقيقة تم نعممها على الحزمة الإلكترونية باعتبار أن جميع الدقائق مماثلة في الحركة
نعتبر دقيقة شحنتها q وكتلتها m تلج مجالا مغنطيسيا منتظما $\vec{B}$ بسرعة بدئية $\vec{v}_0$ عمودية على $\vec{B}$.

<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 $\vec{a} = \frac{q}{m}\left(\vec{v}_0 \wedge \vec{B}\right)$

في معلم فريني الذي تم اختياره في الشكل $M\left(\vec{u},\vec{n},\vec{k}\right)$ 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 $\left(\vec{u},\vec{n}\right)$ 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

$$v = cte = v_0$$

وكذلك $a_n = \frac{v_0^2}{\rho}$ 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 : $\boxed{R = \frac{m.v_0}{|q|.B}}$ **(1)**

<u>د ـ الدراسة الطاقية</u>

*** قدرة القوة المغناطيسية**

$$\boxed{\mathscr{P} = \vec{F}.\vec{v} \Leftrightarrow \mathscr{P} = q\left(\vec{v} \wedge \vec{B}\right).\vec{v} = 0}$$

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

$\Delta E_C = W(\vec{F}) = 0$ أي أن $E_C = Cte$ إذن $\frac{1}{2}mv^2 = Cte \Rightarrow v = cte = v_0$

خلاصة : المجال المغناطيسي لا يغير الطاقة الحركية لدقيقة مشحونة .

4 : الإنحراف المغناطيسي

تعريف : نسمي الانحراف المغناطيسي المسافة $\overline{O'P} = D_m$

تلج حزمة دقائق من النقطة O وبسرعة $\vec{v}_0$ حيزا طوله ℓ حيث يخضع لمجال مغناطيسي منتظم ☐ متعامد مع متجهة السرعة البدئية .

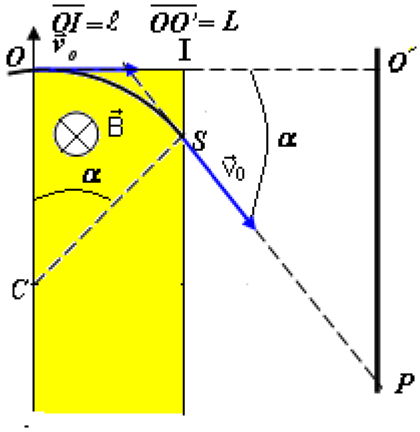
مسار كل دقيقة في المجال المغناطيسي هو عبارة عن قوس من دائرة مركزها C وشعاعها $R = \frac{mv_0}{|q|.B}$

.

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 $\ell << L$)

($\sin\alpha = \tan\alpha$

$\frac{\ell}{R} = \frac{D_m}{L}$ أي أن $D_m = \frac{|q|.B.L.\ell}{m.v_0}$

ملحوظة : المقارنة بين الانحراف الكهربائي والانحراف المغناطيسي

$D_e = \frac{|q|E.L.\ell}{m.v_0^2}$ و $D_m = \frac{|q|.B.L.\ell}{m.v_0}$

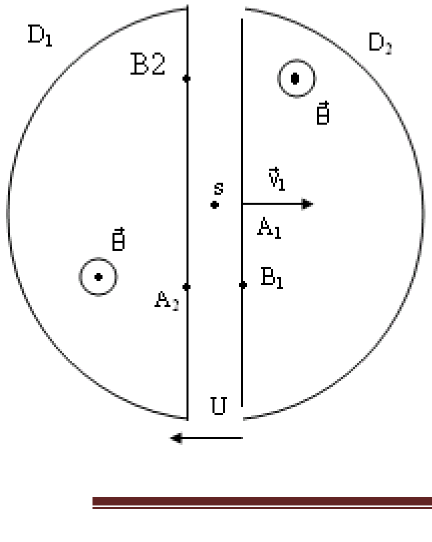
يلاحظ أن ألانحراف المغناطيسي أكثر تكيفا من الانحراف الكهربائي

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 .

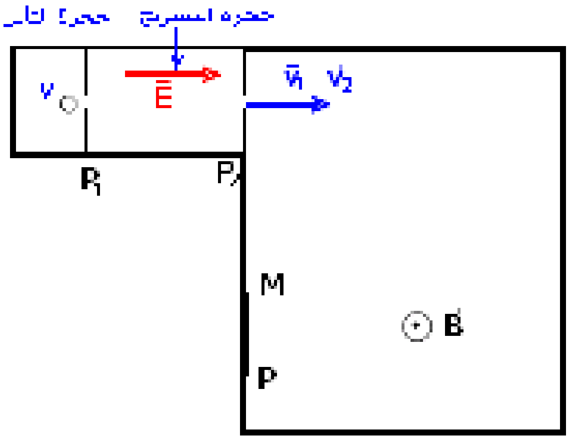
2 ـ يصل البروتون إلى B_1 في اللحظة التي تتغير عندها إشارة التوتر U ، فيتسرع البروتون ، من جديد ، نحو العلبة D_2

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 ــ2 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 $e = 1.6.10^{-19}C$

<u>2 ــ راسم طيف الكتلة</u>

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 ${}_2^4He^{2+}, {}_2^3He^{2+}$ 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 ${}_2^4He^{2+}, {}_2^3He^{2+}$ 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 وقوع الأيونات ${}_2^4He^{2+}, {}_2^3He^{2+}$ على منطقة استقبال . نعطي U
$B=0.5T$ و $=10^4V$

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

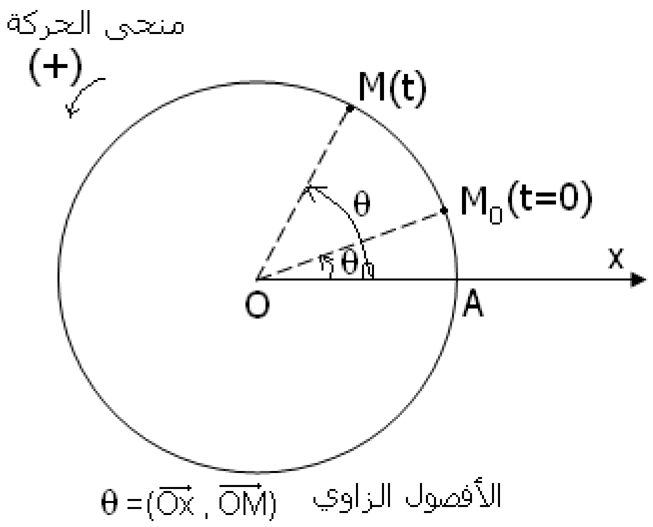
الأفصول الزاوي للنقطة المتحركة M من جسم صلب في حركة دوران حول محور ثابت (Δ) هو الزاوية الموجهة θ بحيث : $\theta=\left(\overrightarrow{Ox},\overrightarrow{OM}\right)$ بحيث

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}

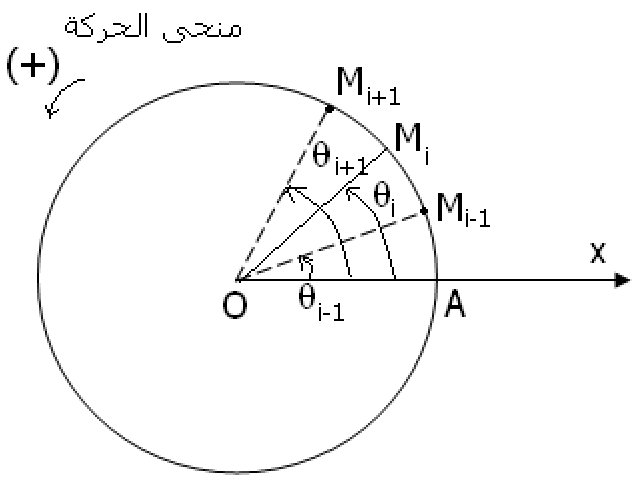
نضع $\Delta\theta=\theta(t_{i+1})-\theta(t_{i-1})$ و $\Delta t=t_{i+1}-t_{i-1}$

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

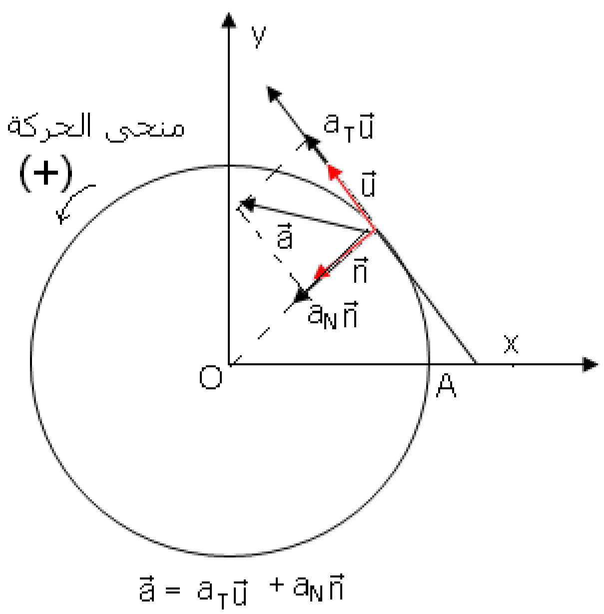
$a_T=\frac{dv}{dt}$ و $a_n=\frac{v^2}{\rho}$

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 $s=r.\theta$ $\dot{s}=r\dot{\theta}$



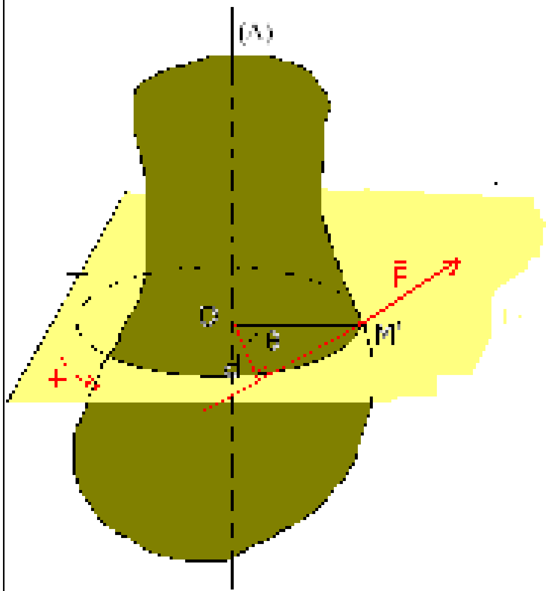
$$a_T = \frac{dv}{dt} = r.\frac{d\theta}{dt} = r.\dot{\theta}$$

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 :

$$\sum \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_i) = J_\Delta.\ddot{\theta}$$

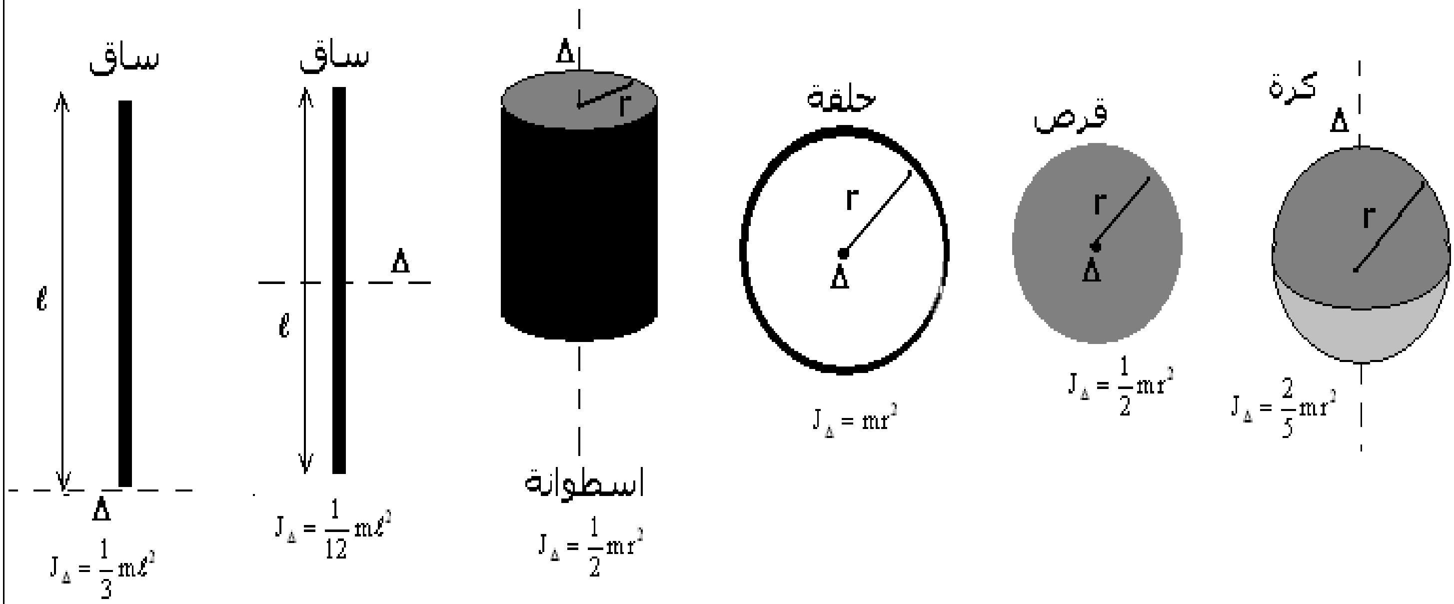
$\sum \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_i)$ مجموع العزوم بالنسبة للمحور Δ للقوى المطبقة على الجسم الصلب $(N.m)$

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)



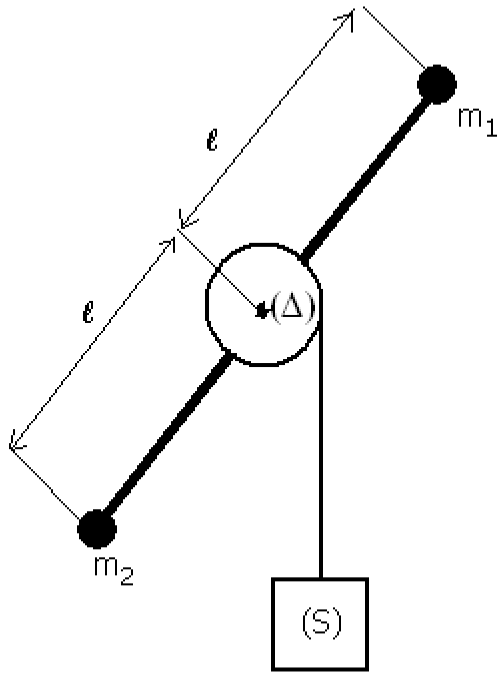
حالتان خاصتان :

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 $\omega_0=\frac{2\pi\times400}{60}=41,8rad/s$
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 : $\ddot{\theta}=-\frac{\omega_0}{t}=-\frac{41,8}{3\times60}=-0,23rad/s^2$

2 ـ حساب عزم المزدوجة المقاومة :
$\mathcal{M}_C=J_\Delta.\ddot{\theta}$ بحيث أن $J_\Delta=\frac{1}{2}mr^2=0,05kg.m^2$ وبالتالي فإن $\mathcal{M}_C=-0,0115N.m$

حساب عدد الدورات المنجزة قبل لأن يتوقف :
لدينا $\theta=-0,23t^2+41,8t$ $\theta=-0,23(180)^2+41,8(180)=72rad$

ونعلم أن $\theta=2\pi n\Rightarrow n=\frac{\theta}{2\pi}=11,5$

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 ذى انفجار moteur à explosion .

اهتزاز الأرض بفعل مرور قطار.

1. 2. أمثلة

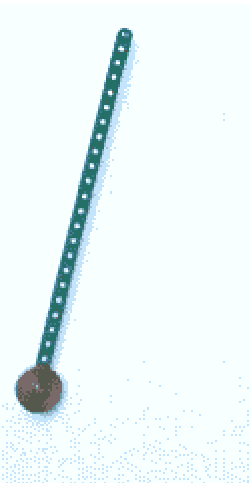
أ – متذبذب أولي : النواس الوازن

النواس الوازن هو كل جسم صلب متحرك حول محور أفقي ثابت (Δ) و لا 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.

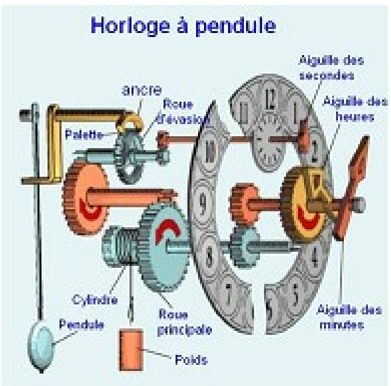
أول ساعة حائطية ظهرت في القرن العاشر ميلادي ، وقد تصور غاليلي في سنة 1638 استعمال مميزان النواس البسيط لتطوير ميكانيزمات تنظيم الساعات.

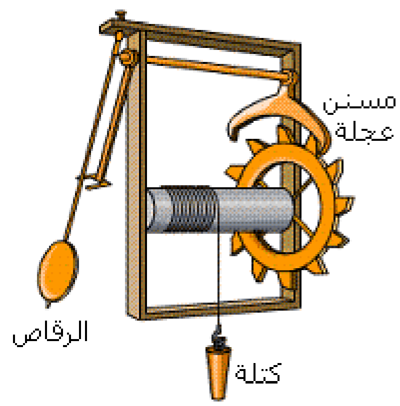
الساعة ذات رقاص Horloge à balancier طورها هيكنز Huyghens.

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





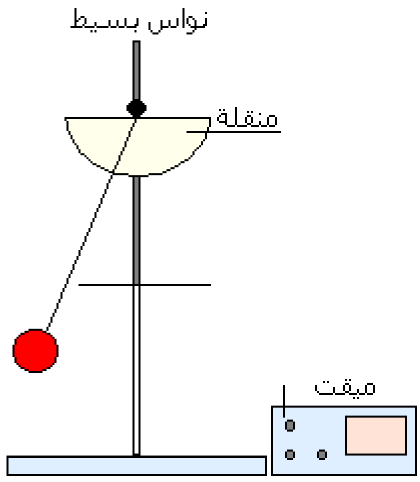
ب – النواس البسيط

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.

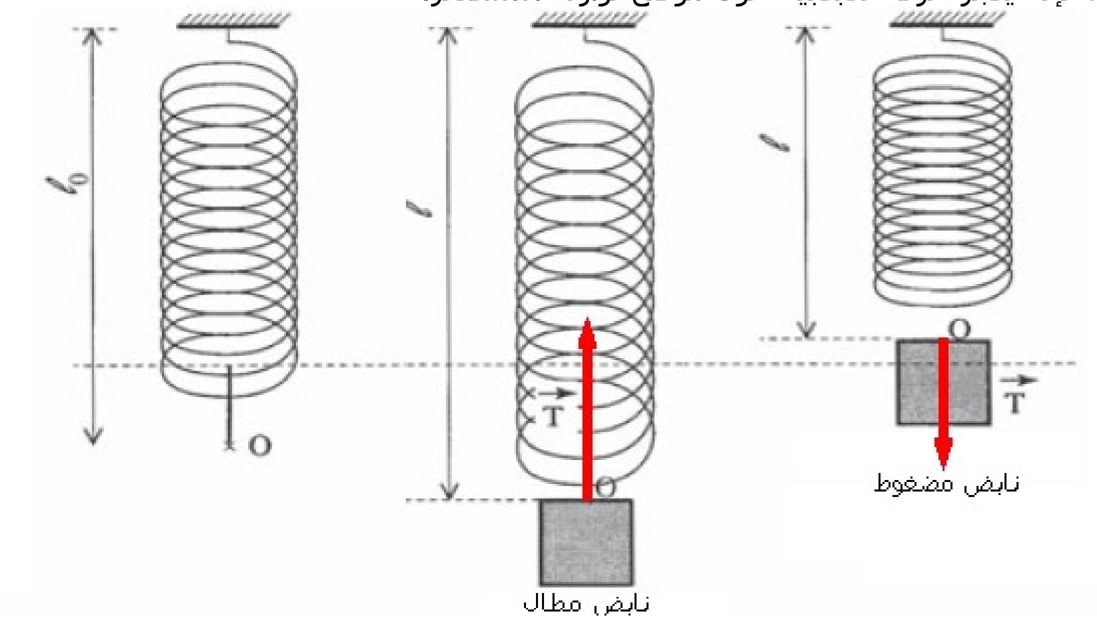
ملحوظة : إذا كانت أبعاد الجسم جد صغيرة أمام طول الخيط، وإذا كانت كتلة أكبر بكثير من كتلة الخيط، آنذاك يمكن اعتبار الجسم نقطيا، وبذلك يشكل النواس البسيط متذبذبا ميكانيكيا مثاليا.



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

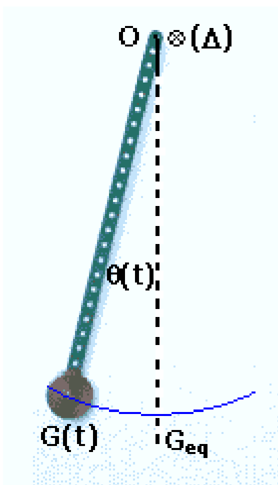
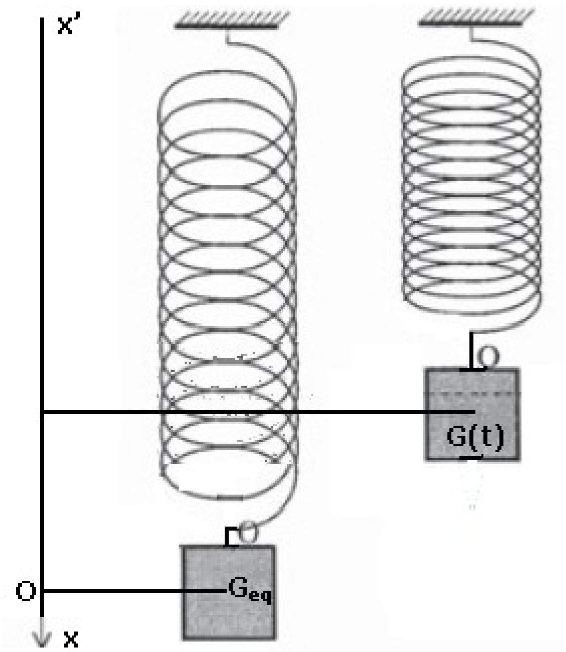
أ – موضع التوازن المستقر

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  $\theta(t)=(\overrightarrow{OG_{(eq)}},\overrightarrow{OG_{(t)}})$ 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.	نستعمل الأفصول x  $\overrightarrow{G_{eq}G}=x\,\vec{i}$ 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.

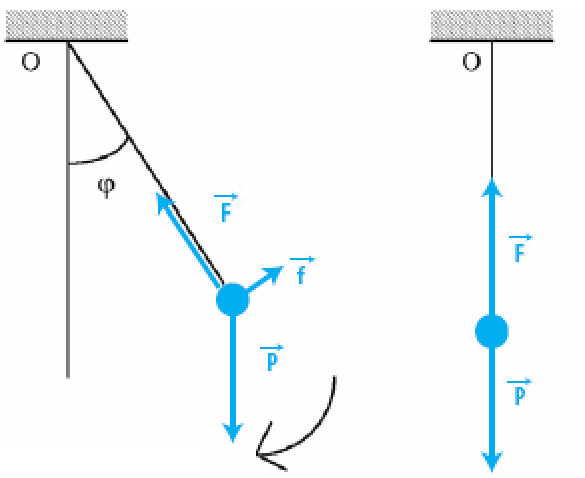
ج – الدور الخاص

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.



الكرية في حركة
الكرية في توازن

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 :

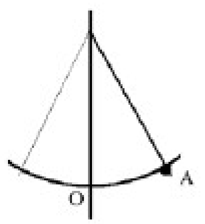
نواس بسيط مكون من خيط غير مرن كتلته مهملة وطوله معروف، ومن كتلة معلمة، منقلة مثبتة إلى حامل وميقت.

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 المنحيين 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 مستق 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 $T \approx T_0$.

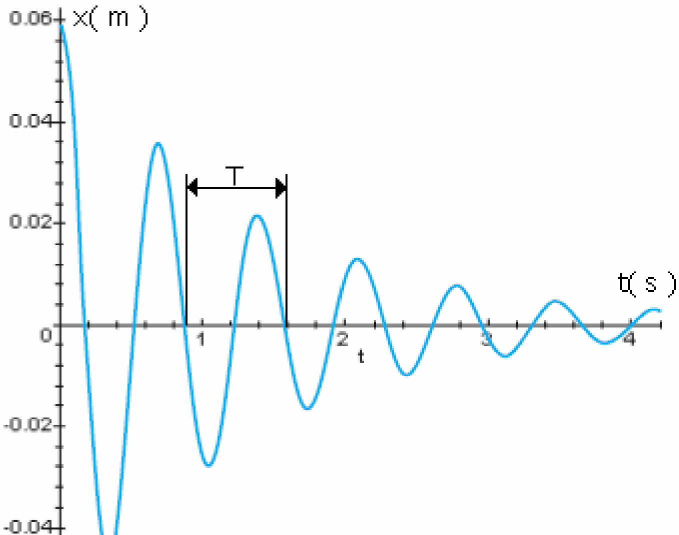
نقول في كلتا الحالتين أن هناك ضياع للطاقة الميكانيكية للمتذبذب خلال كل دور بحيث لن يبقى المتذبذب توافقيا وبالتالي حركته لن تبقى جيبية. الطاقة الضائعة، تتحول تدريجيا إلى حرارة، تتوزع بين المتذبذب والوسط الخارجي.

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.

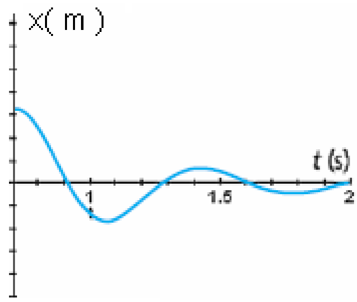
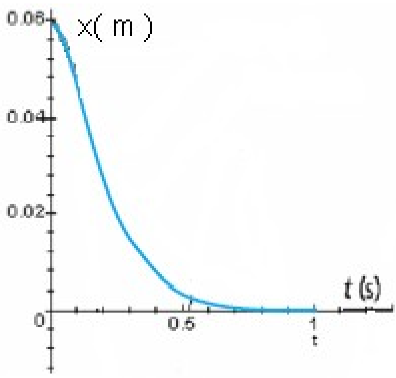
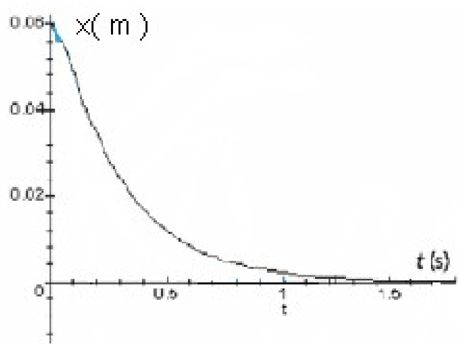


ذبذبات شبه دورية لنواس مرن خموده ضعيف

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 تحت الحرج	النظام الحرج	النظام فوق الحرج
		

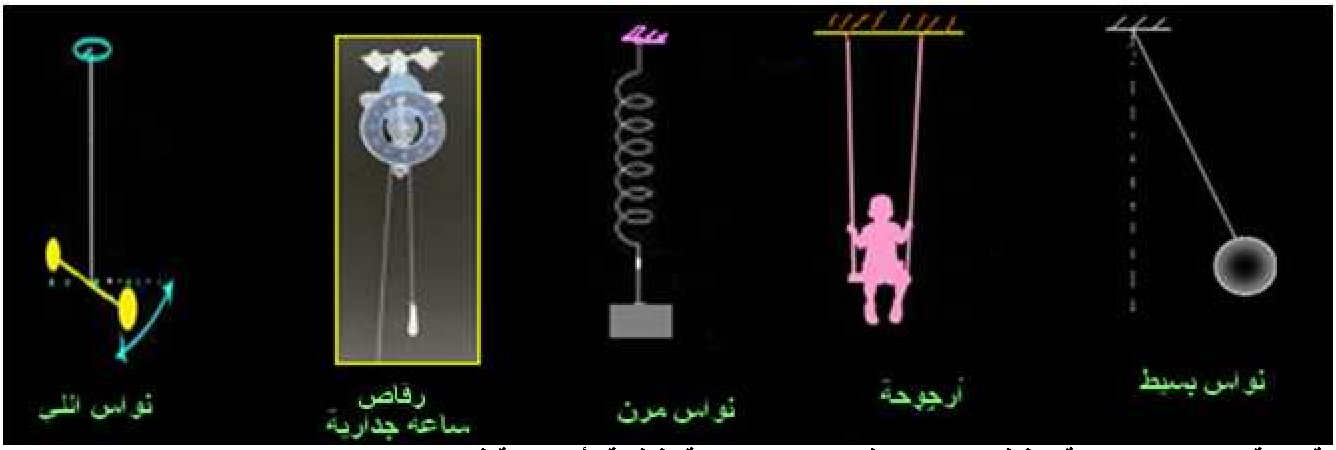
التذبذبات الميكانيكية
Les oscillations mécaniques

I المجموعات الميكانيكية المتذبذبة.

1) أمثلة لبعض المتذبذبات الميكانيكية.

نعطي بعض المجموعات الميكانيكية المتذبذبة :

- النواس البسيط : يتكون من جسم صلب ، كتلته m ، ومرتبط بخيط غير قابل للمد.
- النواس المرن : يتكون من جسم صلب كتلته m مرتبط بطرف نابض صلابته k .
- النواس الوازن: جسم صلب غير قابل للتشويه يمكنه إنجاز حركة تذبذبية حول محور ثابت لا يمر بمركز قصوره.
- نواس اللي: يتكون من سلك فلزي قابل للالتواء، مثبت من طرفه العلوي، ويحمل في طرفه السفلي قضيبا متجانسا معلقا من مركز قصوره.

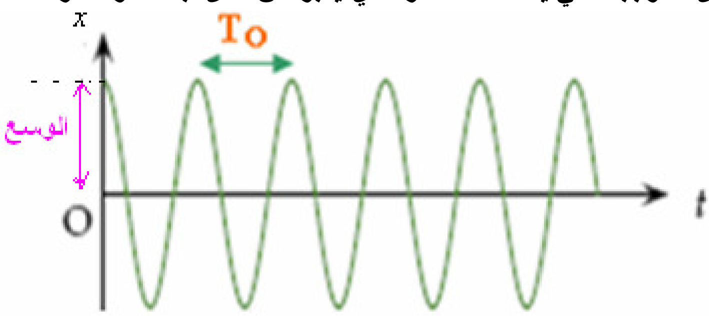


وبصفة عامة ، تعتبر المجموعة متذبذبا ميكانيكيا إذا كانت تنجز حركة تذبذبية (أي حركة ذهاب وإياب) حول موضع التوازن.

2) مميزات الحركة التذبذبية:

كل حركة تذبذبية تتميز بما يلي:

- موضع التوازن المستقر: هو الموضع الذي إذا زحزح عنه المتذبذب يعود إليه ليستقر فيه.
- الدور الخاص : هو مدة انجاز ذبذبة واحدة.(بينما التردد الخاص: عدد الذبذبات المنجزة في الثانية).
- الوسع : هو القيمة القصوى الموجبة التي يأخذها المقدار الذي يعبر عن مدى ابتعاد أو انحراف المتذبذب عن موضع توازنه المستقر.



3- خمود التذبذبات الميكانيكية.

أ- تعريف:

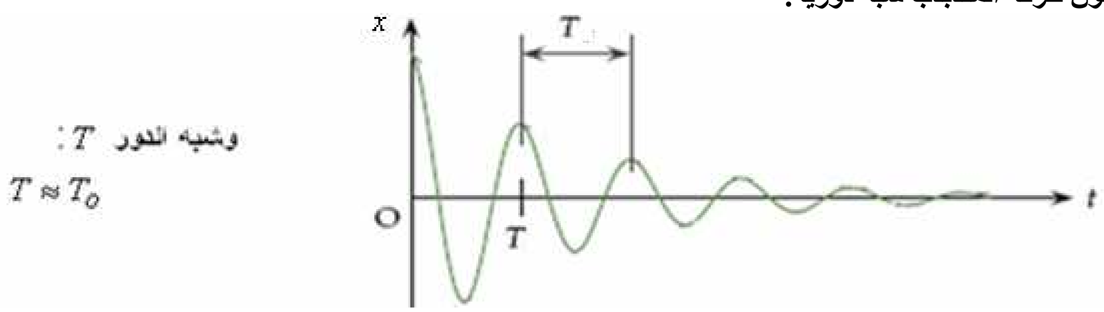
نزيح نواسا مرنا ، عن موضع التوازن المستقر ، ثم نحرر المجموعة ، نلاحظ أن وسع التذبذبات يتناقص إلى أن يتوقف المتذبذب عن الحركة . تسمى هذه الظاهرة : ظاهرة الخمود.

تحدث ظاهرة الخمود بسبب الاحتكاكات التي يمكن تصنيفها إلى صنفين :

- احتكاكات مائعة، تحدث عند تماس المتذبذب مع جسم مائع كالهواء أو الماء.
- احتكاكات صلبة تحدث عند تماس المتذبذب مع جسم صلب .

ب) أنظمة خمود التذبذبات الميكانيكية.

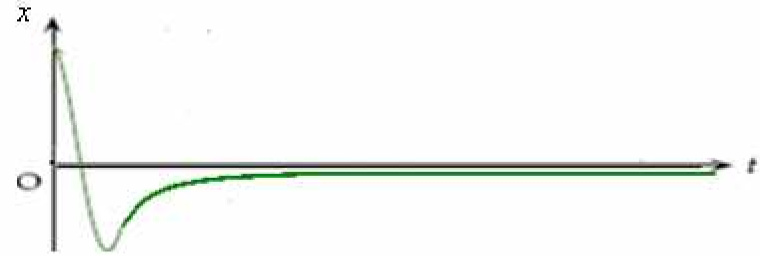
- حالة الخمود الضعيف :يتناقص وسع المتذبذب تدريجيا إلى أن يستقر في موضع توازنه المستقر.وبذلك تكون حركة المتذبذب شبه دورية.



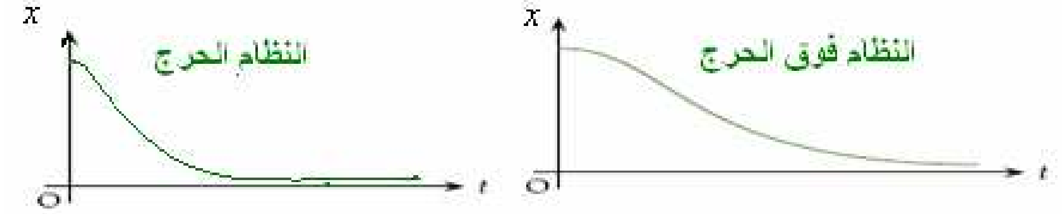
●حالة الخمود الحاد:النظام اللآدوري.

في هذه الحالة تكون حركة المتذبذب لا دورية وحسب أهمية الخمود نحصل على الحالات التالية:

▪النظام تحت الحرج: ينجز خلاله المتذبذب ذبذبة واحدة قبل أن يتوقف . (انظر الشكل)



▪النظام الحرج:يعود خلاله المتذبذب إلى موضع توازنه المستقر دون أن يتذبذب.



▪النظام فوق الحرج: يستغرق خلاله المتذبذب وقتا طويلا لكي يعود إلى موضع توازنه المستقر دون أن يتذبذب.

ملحوظة : لصيانة الحركة التذبذبية نستعمل أجهزة ملائمة تمكن من تعويض الطاقة المبددة وبذلك تصبح الحركة التذبذبية مصانة .
مثلا يمكن صيانة حركة شفرة مهتزة باستعمال كهر مغناطيس.

IIدراسة مجموعات ميكانيكية متذبذبة.

1) النواس المرن:

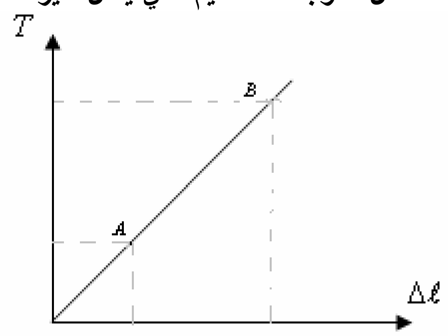
ا) الدراسة التجريبية

تحديد صلابة النابض.

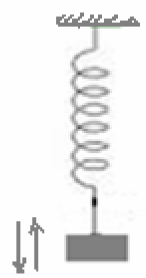
شدة القوة المقرونة بتوتر النابض تتناسب اطرادا مع إطالته $\Delta\ell$: $T = K\Delta\ell$ حيث K صلابة النابض، وهي ثابتة تميز النابض ويعبر عنها في النظام العالمي للوحدات ب: N/m والإطالة: $\Delta\ell = l_f - l_o$

ومبيانيا صلابة النابض تساوي المعامل الموجه للمستقيم الذي يمثل تغيرات شدة توتر النابض بدلالة إطالته $\Delta\ell$.

$$K = \frac{\Delta T}{\Delta \ell} = \frac{T_B - T_A}{(\Delta\ell)_B - (\Delta\ell)_A}$$



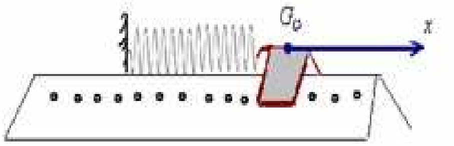
تحديد العوامل الفيزيائية المؤثرة على الدور الخاص
- نعلق جسما صلبا كتلته m في طرف نابض طوله الأصلي ℓ_o.
-نزيح الجسم رأسيا نحو الأسفل بالوسع x_m ثم نحرره بدون سرعة بدئية .
-بواسطة ميقت نقيس مدة 10 تذبذبات . ثم نحسب الدور الخاص للتذبذبات .
- نغير الكتلة ونقيس من جديد بنفس الطريقة السابقة الدور الخاص للتذبذبات .
- نغير النابض ونقيس من جديد بنفس الطريقة السابقة الدور الخاص للتذبذبات .
نستنتج أن الدور الخاص للتذبذبات يتعلق بصلابة النابض وكتلة الجسم المعلق .



ب) الدراسة التحريكية:(للنواس المرن الأفقي)

●المعادلة التفاضلية:

نعتبر نواسا مرنا أفقيا مكونا من خيال كتلته m مثبت في طرف نابض ذي لفات غير متصلة وموضوع فوق نضد هوائي أفقي كما يبينه الشكل التالي:



بعد تشغيل المعصفة الهوائية، نزيح الخيال أفقيا عن موضع توازنه بمسافة x_m ثم نحرره.فتصبح له حركة تذبذبية غير مخمدة .

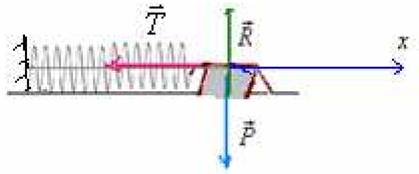
المجموعة المدروسة{الخيال}

جرد القوى : الخيال خلال حركته يخضع للقوى التالية: $\vec{P}$: وزنه .

قوة $\vec{R}$: تأثير النضد الهوائي وهي عمودية على سطح التماس (الاحتكاكات مهملة) .

$\vec{T}$: القوة المقرونة بتوتر النابض $\vec{T}=-K.x.\vec{i}$ارتداد (تسعى دائما إلى رد الجسم الصلب إلى موضع توازنه المستقر G_O)

بحيث x قيمة جبرية.



تطبيق القانون الثاني لنيوتن : $\Sigma\vec{F}=m.\vec{a}_G$

$$\vec{P}+\vec{R}+\vec{T}=m.\vec{a}_G$$

الإسقاط على المحور ox

$$0+0-Kx=m.a_x$$

$$-Kx=m.\frac{d^2x}{dt^2} \Leftarrow m.\ddot{x}+Kx=0$$

ويمكن كتابتها كما يلي: $\ddot{x}+\frac{K}{m}x=0$ وهي المعادلة التفاضلية للحركة.

K: صلابة النابض و m كتلة الجسم .

● المعادلة الزمنية للحركة:

حل المعادلة التفاضلية : $\ddot{x}+\frac{K}{m}x=0$ هو دالة جيبية تكتب كما يلي : $x(t)=x_m\cos(\omega_o t+\varphi)$

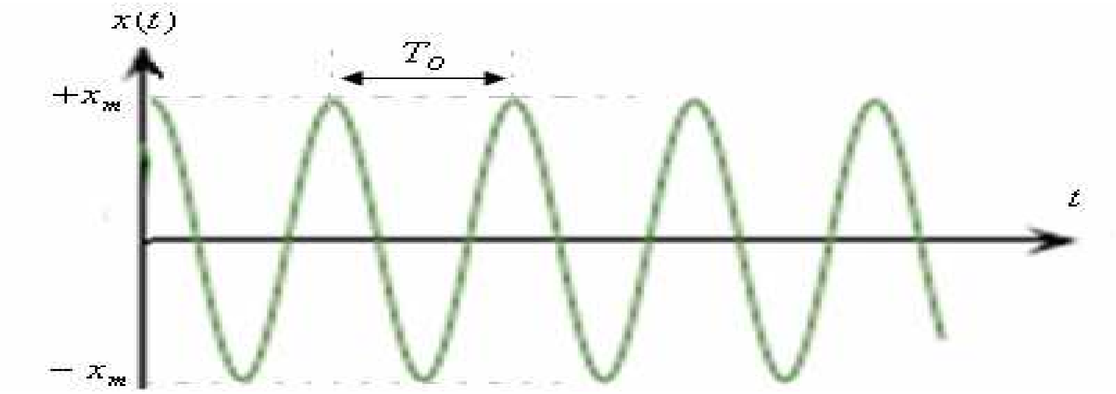
$x(t)$: الاستطالة وهي مقدار جبري ، $-x_m\le x(t)\le +x_m$ يعبر عنها ب (m).

x_m : وسع الحركة وهي الاستطالة القصوية ب (m).

$\omega_o t+\varphi$: طور الحركة التذبذبية عند اللحظة t. وحدته (rad)

φ : طور الحركة عند أصل التواريخ.ب (rad).

ω_o : النبض الخاص ب: rad/s وهو مرتبط مع الدور الخاص T_O بالعلاقة التالية:



ملحوظة: بما أن: $-1\le\cos(\omega_o t+\varphi)\le+1$

فإن : $-x_m\le x_m\cos(\omega_o t+\varphi)\le+x_m$

أي : $-x_m\le x(t)\le+x_m$

● النبض الخاص والدور للنواس المرن:

بما أن : $x(t)=x_m\cos(\omega_o t+\varphi)$ هو حل المعادلة التفاضلية $\ddot{x}+\frac{K}{m}x=0$.

نبحث عن المشتقة الثانية ل: x ثم نعوض في المعادلة التفاضلية :

$$\dot{x}(t) = -\omega_o x_m \sin(\omega_o t + \varphi)$$

$$\ddot{x}(t) = -\omega_o^2 \underbrace{x_m \cos(\omega_o t + \varphi)}_{x(t)} = -\omega_0^2 . x(t)$$

نعوض في المعادلة التفاضلية التي تصبح كما يلي:

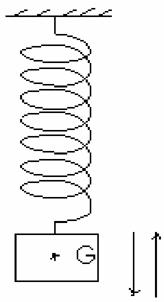
$-\omega_o^2 x + \dfrac{K}{m} x = 0 \Leftarrow$ $\omega_o = \sqrt{\dfrac{K}{m}}$ النبض الخاص ولدينا : $T_O = \dfrac{2\pi}{\omega_o} = \dfrac{2\pi}{\sqrt{\dfrac{K}{m}}} = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{K}}$

الدور الخاص للنواس المرن : $T_O = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{K}}$ وهو يتعلق بكتلة الجسم وصلابة النابض الشيء الذي يتطابق مع نتائج الدراسة التجريبية.

ج) تطبيق رقم 1: النواس المرن الرأسي

نعتبر نواسا مرنا رأسيا مكونا من نابض صلابته $K = 20N/m$ وجسم صلب كتلته S $m = 200g$.

نزيح الجسم S رأسيا نحو الأسفل عن موضع توازنه ب $3cm$ ثم نحرره بدن سرعة بدئية.



نعتبر معلما $(o,\vec{i})$ رأسيا موجها نحو الأسفل أصله 0 منطبق مع مركز قصور الجسم S عند التوازن G_O.

عند اللحظة $t = 0$ يمر الجسم من موضع توازنه المستقر G_O في المنحى الموجب.

1) أوجد إطالة النابض $\Delta\ell_o$ عند التوازن .

2) أوجد المعادلة التفاضلية للحركة.

3) أوجد المعادلة الزمنية للحركة .

4) احسب الدور الخاص لحركة المتذبذب.

نعطي : $g = 10N/Kg$

---

1) المجموعة المدروسة { الجسم S }

جرد القوى : الجسم عند التوازن يخضع للقوى التالية: • $\vec{P}$: وزن الجسم .

• $\vec{T}_O$: القوة المقرونة بتوتر الخيط عند التوازن.شدتها $T_O = K\Delta\ell_O$

من خلال شرط الوازن لدينا : $T_O = P = m.g$ أي: $mg - K\Delta\ell_O = 0$ هذه العلاقة تعبر عن شرط التوازن.

ومنه إطالة النابض عند التوازن هي: $\Delta l_o = \dfrac{m.g}{K} = \dfrac{0,2Kg.10N/Kg}{20N/m} = 0,1m = 10cm$

2) تطبيق القانون الثاني لنيوتن :

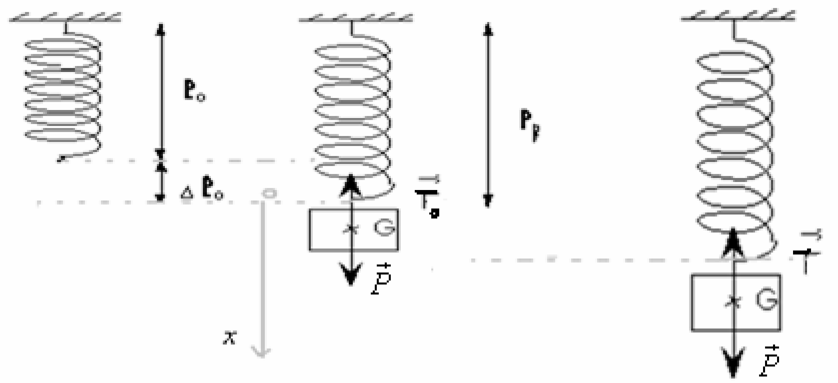
خلال حركته يخضع الجسم S للقوى التالية: • $\vec{P}$: وزن الجسم

• $\vec{T}$: القوة المقرونة بتوتر الخيط خلال التذبذب. $\vec{T} = -K(\Delta\ell_0 + x)\vec{i}$

العلاقة : $\Sigma\vec{F} = m.\vec{a}_G$ تكتب كما يلي : $\vec{P} + \vec{T} = m.\vec{a}_G$

$$(2)\ \vec{P} - K(\Delta\ell + x)\vec{i} = m.\vec{a}_G$$

نعتبر معلما $(o,\vec{i})$ موجها نحو الأسفل أصله o. منطبق مع الطرف السفلي للنابض عند التوازن (انظر الشكل)



بإسقاط العلاقة **(2)** على المحور (o,x) نحصل على :

$$+P-K(\Delta l_o+x)=m.a_x$$

$$mg-K\Delta l_o-Kx=m.\ddot{x}$$

وبما أنه من خلال شرط التوازن $mg-K\Delta\ell_O=0$ فإن العلاقة السابقة تصبح:

$-Kx=m.\ddot{x}$ أي: $\ddot{x}+\dfrac{K}{m}x=0$ المعادلة التفاضلية لحركة النواس المرن الراسي.

3) حل المعادلة التفاضلية السابقة يكتب كما يلي : $x(t)=x_m\cos(\omega_o t+\varphi)$

من خلال المعطيات لدينا : $x_m=3cm$

ومن خلال الشروط البدئية لدينا عند اللحظة $t=o$ ، $x=o$ إذن : $o=x_m\cos\varphi$ $\Leftarrow$ $\cos\varphi=0$ $\Leftarrow$ $\varphi=\pm\dfrac{\pi}{2}$ وبما انه عند

اللحظة $t=o$ يمر الجسم من موضع توازنه في المنحى الموجب $v>o$ عند هذه اللحظة

وبما أن : $x(t)=x_m\cos(\omega_o t+\varphi)$ فإن : $v=\dot{x}=-x_m\omega_o\sin(\omega_o.t+\varphi)$

وعند $t=0$ لدينا $v=-x_m\omega_o\sin\varphi>0$ $\Leftarrow$ $\sin\varphi<0$ $\Leftarrow$ $\varphi<0$ إذن : $\varphi=-\dfrac{\pi}{2}$

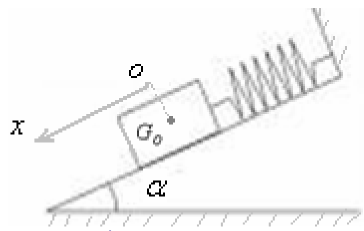
وبالتالي : $x(t)=3.10^{-2}\cos(\omega_o.t-\dfrac{\pi}{2})$

4)النبض الخاص : $\omega_o=\sqrt{\dfrac{K}{m}}=\sqrt{\dfrac{20}{0,2}}=\sqrt{100}=10rad/s$

الدور الخاص: $T_O=\dfrac{2\pi}{\omega_o}=\dfrac{2\pi}{10}0,628s=628ms$

د) تطبيق رقم 2: النواس المرن المائل.

جسم صلب كتلته $m=100g$ بإمكانه أن ينزلق بدون احتكاك فوق نضد هوائي ، مائل بزاوية $\alpha=10°$ بالنسبة للمستوى الأفقي. هذا الجسم مرتبط بنابض كما يبينه الشكل التالي:



علما أن إطالة النابض عند التوازن $\Delta\ell_o=8cm$ ، وشدة الثقالة $g=9,8N/kg$.

1)أوجد إطالة النابض.

2) نزيح الجسم الصلب عن موضع توازنه المستقر نحو الأسفل ب: $3cm$ ثم نحرره بدون سرعة بدئية .

1-2)أوجد المعادلة التفاضلية للحركة.

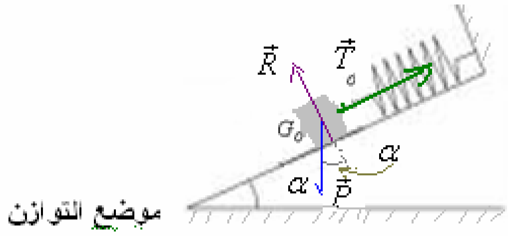
2-2: علما أن مركز قصور الجسم يمر، عند اللحظة $t=0$ من النقطة ذات الأفصول $x=+1,5cm$ ومنه : في المنحى الموجب .

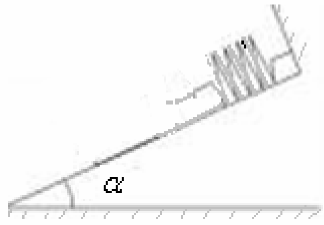
أوجد المعادلة الزمنية للحركة التذبذبية .

3-2) احسب الدور الخاص للحركة التذبذبية.

الإجابة:

1)دراسة التوازن:





عند التوازن ، يخضع الجسم الصلب للقوى التالية :

$\vec{P}$: وزنه .

$\vec{R}$: القوة المطبقة من طرف سطح التماس ، وهي عمودية على السطح ، لأن التماس يتم بدون احتكاك.

$\vec{T}_O$: القوة المقرونة بتوتر النابض عند التوازن ، شدتها: $T_O = k.\Delta\ell_o$.

لدينا عند التوازن : $\vec{P}+\vec{T}_O+\vec{R}=\vec{0}$

بالإسقاط على المحور ox :

$\Leftarrow +P\sin\alpha - T_O + 0 = 0$ $\quad m.g.\sin\alpha - k.\Delta\ell_o = 0$ وهو شرط التوازن .

ومنه : $k = \dfrac{m.g.\sin\alpha}{\Delta\ell_o} = \dfrac{0{,}1kg\times 9{,}8N.kg^{-1}\times\sin 10}{8\times10^{-2}\,m} \approx 2{,}13N/m$

(2

(1-2) خلال الحركة التذبذبية يخضع الجسم الصلب للقوى التالية:

$\vec{P}$: وزنه .

$\vec{R}$: القوة المطبقة من طرف سطح التماس ، وهي عمودية على السطح ، لأن التماس يتم بدون احتكاك.

$\vec{T}$: القوة المقرونة بتوتر النابض عند التوازن ، شدتها: $\vec{T} = -k(x+.\Delta\ell_o)\vec{i}$.

تطبيق القانون الثاني لنيوتن :

$$\vec{P}+\vec{T}+\vec{R}=m.\vec{a}_G$$

بإسقاط العلاقة السابقة على المحور ox .

$$+P\sin\alpha + 0 - k(x+\Delta\ell_0) = m.a_x$$

أي: $\quad mg.\sin\alpha - k.x - k\Delta\ell_o = m.\ddot{x} \quad$ (2)

ومن خلال شرط الوازن لدينا : $m.g.\sin\alpha - k.\Delta\ell_o = 0$ إذن العلاقة (2) تصبح : $-k.x = m.\ddot{x}$ $\Leftarrow$

$m.\ddot{x}+k.x=0$ أي: $\ddot{x}+\dfrac{k}{m}.x=0$

(2-2) المعادلة الزمنية للحركة:

حل المعادلة التفاضلية $\ddot{x}+\dfrac{k}{m}.x=0$ هي عبارة عن دالة جيبية على الشكل : $x = x_m.\cos(\omega_o.t+\varphi)$

مع : $x_m = 3cm = 3\times10^{-2}m$

النبض الخاص : $\omega_o = \sqrt{\dfrac{k}{m}} = \sqrt{\dfrac{2{,}13}{0{,}1}} = 4{,}61rad/s$

إذن الحل يصبح : $x = 3\times10^{-2}.\cos(4{,}61.t+\varphi)$

تحديد الطور φ عند أصل التواريخ : من خلال الشروط البدئية لدينا : عند اللحظة $t=0$ ، $x = +1{,}5cm = 1{,}5\times10^{-2}m$.

بالتعويض في الحل السابق : $x = x_m.\cos(\omega_o.t+\varphi)$ نحصل على : $1{,}5\times10^{-2} = 3\times10^{-2}.\cos(\varphi)$

ومنه : $\cos\varphi = 0{,}5$ $\Leftarrow$ $\varphi = \cos^{-1}(0{,}5) = \pm\dfrac{\pi}{3}$

وبما أن الجسم يمر من هذه النقطة عند أصل التواريخ في المنحى الموجب ، فإن $v>0$.(عند $t=0$).

لدينا : $x = x_m.\cos(\omega_o.t+\varphi)$

إذن : $v = \dot{x} = -x_m.\omega_o.\sin(\omega_o.t+\varphi)$

وعند $t=o$ ، $v = \dot{x} = -x_m.\omega_o.\sin\varphi > 0$ $\Leftarrow$ $\sin\varphi < 0$ $\Leftarrow$ $\varphi < 0$

إذن : $\varphi = -\dfrac{\pi}{3}$ وبالتالي المعادلة الزمنية للحركة هي : $x = 3\times10^{-2}.\cos(4{,}61.t-\dfrac{\pi}{3})$

(3-2) الدور الخاص :

$$T_O = \frac{2.\pi}{\omega_o} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 1,36s$$

2) نواس اللي: (خاص بمسلكي العلوم الفيزيائية والرياضية)

ا) الدراسة التجريبية:

في المرحلة الأولى: دراسة تأثير ثابتة اللي C.

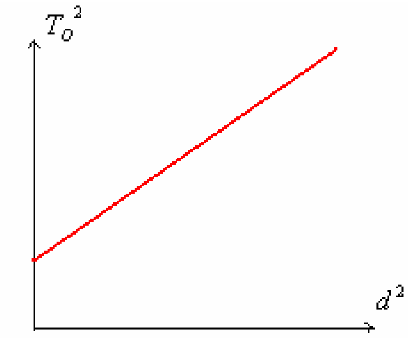
نستعمل نواسا للي ، ندير القضيب أفقيا حول المحور Δ الرأسي (المار من مركز القصور G للقضيب)، ثم نحرره بدون سرعة بدئية .
وباستعمال ميقت نقيس دور التذبذبات. ثم نعوض السلك بسلك آخر ونعيد التجربة.
من خلال هذه الدراسة نستنتج أن دور التذبذبات يتعلق بثابتة اللي للسلك المستعمل.

في المرحلة الثانية: دراسة تأثير عزم قصور المجموعة الصلبة العلقة في طرف السلك.

نحتفظ بنفس السلك ونثبت السحمتين على القضيب على نفس المسافة d من المحور Δ .ثم ندير المجموعة أفقيا بزاوية θ ونحررها بدون سرعة بدئية.ونقيس الدور الخاص للحركة التذبذبية.

نعيد التجربة مع تغيير موضعي السحمتين (أي تغيير المسافة d). نرسم المنحنى الذي يمثل تغيرات مربع الدور الخاص $T_O{}^2$ بدلالة d^2.

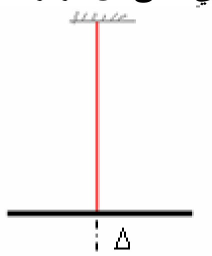
نحصل على منحنى على الشكل التالي:



ب) الدراسة النظرية:(لنواس اللي)

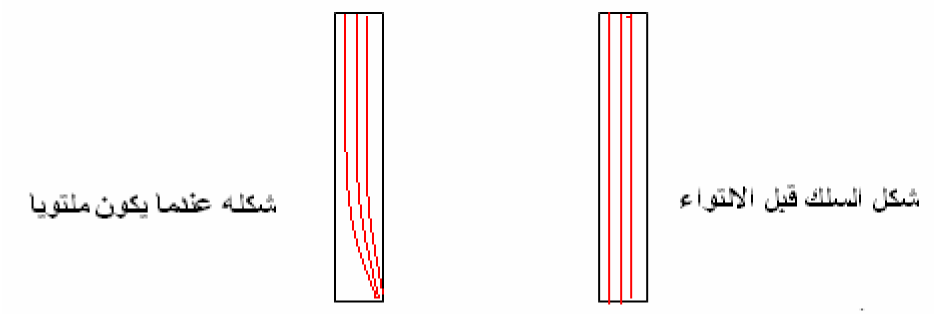
●مفهوم عزم مزدوجة اللي:

يتكون نواس اللي من سلك فلزي قابل للي ومن قضيب معدني معلق من مركز قصوره بأحد طرفي السلك .



عندما ندير القضيب أفقيا حول المحور Δ الرأسي بزاوية θ_m ثم نحرره بدون سرعة بدئية . نلاحظ أنه ينجز حركة تذبذبية دورانية حول موضع التوازن مما يدل على أن السلك الملتوي يؤثر عليه.

وهذا التأثير ناتج عن مجموع قوى اللي التي يسلطها السلك عندما يكون ملتويا.



مجموع قوى اللي لها نفس خاصيات مزدوجة قوتين و نقرن بها مزدوجة تسمى بمزدوجة اللي.
وبذلك ، كل سلك قابل للي ، عندما يكون ملتويا ، يسلط مزدوجة اللي التي تقاوم التوائه والتي تسعى إلى إرجاع السلك إلى وضعيته البدئية.
ونرمز لعزم مزدوجة اللي ب: M_t (وهي مزدوجة ارتداد).
وتبين التجربة أن عزم مزدوجة اللي تتناسب إطردا مع زاوية الالتواء، ومعامل التناسب بينهما ثابتة تميز السلك وتسمى : ثابتة اللي ونرمز إليها ب: C.

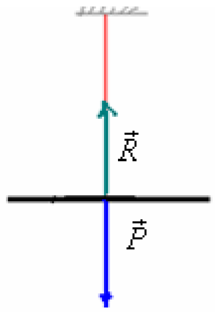
$$M_t = -C.\theta$$

بحيث :
M_t : عزم مزدوجة اللي ب: $M.m$
C : ثابتة اللي ب : $N.m/rad$
θ : زاوية التواء السلك ب: rad
والإشارة (-) تدل على أن عزم مزدوجة اللي عزم ارتداد.

ملحوظة : تتعلق ثابتة اللي بنوعية السلك المستعمل وبطوله ومساحة مقطعه.

●المعادلة التفاضلية:

ندير قضيب نواس اللي بزاوية θ_m ثم نحرره بدون سرعة بدئية. فتصبح له حركة تذبذبية . وفي غياب الاحتكاكات تبقى التذبذبات مصونة.



المجموعة المدروسة{القضيب}
جرد القوى: القضيب خلال الحركة يخضع للقوى التالية:

- $\vec{P}$: وزنه.
- $\vec{R}$: تأثير السلك .
- قوى اللي ذات العزم : $M_t = -C.\theta$

تطبيق العلاقة الأساسية للتحريك على القضيب: $\Sigma M_\Delta \vec{F} = J_\Delta.\ddot{\theta}$

أي: $M_\Delta \vec{P} + M_\Delta \vec{R} + M_t = J_\Delta.\ddot{\theta}$

$M_\Delta \vec{P} = 0$ و $M_\Delta \vec{T} = 0$ لأن خطي تأثيرهما يتقاطعان مع محور الدوران.

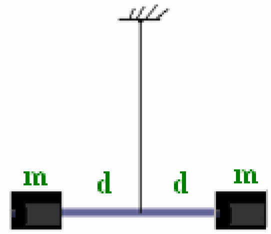
إذن : $0 + 0 - C.\theta = J_\Delta.\ddot{\theta}$

أي: $J_\Delta.\ddot{\theta} + C\theta = 0$ ومنه : $\ddot{\theta} + \dfrac{C}{J_\Delta}\theta = 0$ المعادلة التفاضلية للحركة التذبذبية لنواس اللي.

حل هذه المعادلة دالة جيبية تكتب كما يلي : $\theta(t) = \theta_m \cos(\omega_o t + \varphi)$

نبضها الخاص: $\omega_o = \sqrt{\dfrac{C}{J_\Delta}}$ ب: rad/s و دوره الخاص $T_O = \dfrac{2\pi}{\omega_o} = 2\pi\sqrt{\dfrac{J_\Delta}{C}}$ **(1)**

ملحوظة: إذا كان القضيب يحمل سحمتين مماثلتين لهما نفس الكتلة .(أنظر الشكل)

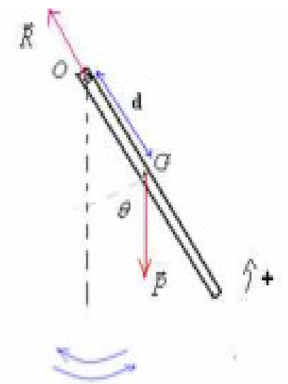


عزم قصوره : $J'_\Delta = J_\Delta + 2md^2$ مع : J_Δ :عزم القضيب.ودوره الخاص: $T'_o = 2.\pi\sqrt{\dfrac{J_\Delta + 2.m.d^2}{C}}$ **(2)**

3) النواس الوازن: (خاص بمسلكي العلوم الفيزيائية والرياضية)

أ- المعادلة التفاضلية للحركة :

نزيح النواس الوازن عن موضع توازنه ونحرره بدون سرعة بدئية . ونمعلم موضع المجموعة في كل لحظة بالزاوية θ التي يكونها OG مع المستقيم الرأسي المار من O.



خلال حركته يخضع النواس الوازن للقوى التالية :

- $\vec{P}$: وزنه .
- $\vec{R}$: تأثير محور الدوران :

تطبيق العلاقة الأساسية للتحريك: $\Sigma M_{\Delta}\vec{F} = J_{\Delta}.\ddot{\theta}$

أي: $M_{\Delta}\vec{P} + M_{\Delta}\vec{R} = J_{\Delta}.\ddot{\theta} \quad \Leftarrow \quad -P.d.\sin\theta + 0 = J_{\Delta}.\ddot{\theta}$

أي : $\ddot{\theta} + \dfrac{mg.d}{J_{\Delta}}\sin\theta = 0$ (وهي المعادلة التفاضلية لكنها غير خطية عزم الوزن لا يتناسب مع θ)

الحل ليس بدالة جيبية باستثناء حالة التذبذبات الصيغرة $\theta < 15°$. حيث يمكننا أن نكتب بتقدير مقبول : $\sin\theta \approx \theta$

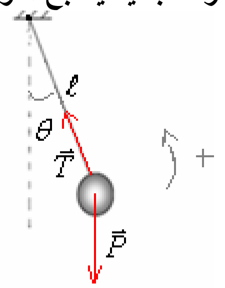
و تصبح المعادلة التفاضلية كما يلي: $\ddot{\theta} + \dfrac{mg.d}{J_{\Delta}}\theta = 0$ النبض الخاص : $\omega_o = \sqrt{\dfrac{mg\ell}{J_{\Delta}}}$

حل هذه الأخيرة دالة جيبية تكتب كما يلي : $\theta(t) = \theta_m\cos(\omega_o t + \varphi)$

تعبير الدور الخاص لنواس وازن في حالة التذبذبات الصغيرة يكتب كما يلي : $T_o = 2\pi\sqrt{\dfrac{J_{\Delta}}{m.g.d}}$

3) النواس البسيط: (خاص بمسلكي العلوم الفيزيائية والرياضية)

عند إزاحته عن موضع توازنه وتحريره بدون سرعة بدئية يصبح النواس البسيط في حركة تذبذبية .



جرد القوى المطبقة على الكرية .

$\vec{P}$: وزن الكرية.

$\vec{T}$: القوة المطبقة من طرف الخيط.

تطبيق العلاقة الأساسية للتحريك: $\Sigma M_{\Delta}\vec{F} = J_{\Delta}.\ddot{\theta}$ مع : $J_{\Delta} = m.\ell^2$

$M_{\Delta}\vec{P} + M_{\Delta}\vec{T} = J_{\Delta}.\ddot{\theta} \quad \Leftarrow \quad -P.\ell.\sin\theta + 0 = J_{\Delta}.\ddot{\theta}$

$$-mg.\ell.\sin\theta + 0 = m.\ell^2.\ddot{\theta}$$

بالنسبة للتذبذبات ذات الوسع الصغير: $-mg.d.\theta = m.\ell^2.\ddot{\theta}$ أي : $\ddot{\theta} + \dfrac{g}{\ell}\theta = 0$

$\Leftarrow \quad \omega_o = \sqrt{\dfrac{g}{\ell}} \quad \Leftarrow \quad T_o = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}}$

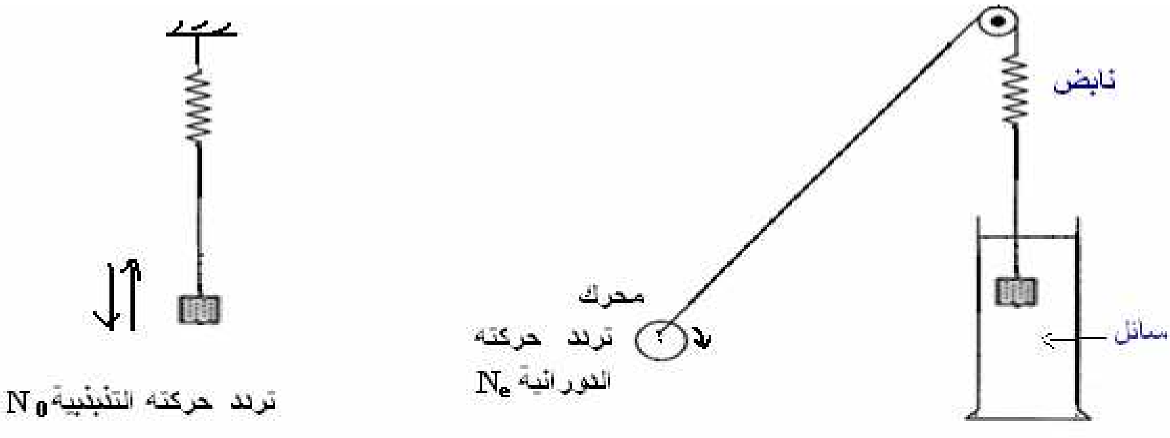
III ظاهرة الرنين الميكانيكي:

1) التذبذبات القسرية :

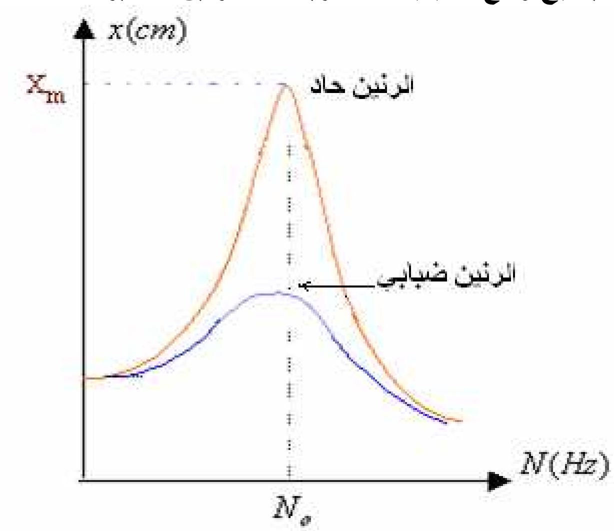
تؤثر الاحتكاكات على التذبذبات الميكانيكية فتصبح حركتها مخمدة . ويمكن صيانتها بتعويض الطاقة المبددة بكيفية تتناسب مع طبيعة المتذبذب.

بحيث يتم ربط المتذبذب الميكانيكي مع جهاز يمنحه الطاقة اللازمة لكي تصير حركته مصونة . هذا الجهاز يسمى بالمثير **(Excitateur)** ، وهو مجموعة ذات حركة تذبذبية تفرض دورها T_e على المجموعة المتذبذبة (الرنان) *résonateur* الذي تصبح تذبذباته قسرية .

2) أمثلة لبعض التذبذبات القسرية: أ)المثال الاول:



في هذا التركيب، النواس المرن يلعب دور الرنان تردده الخاص N_O بينما المحرك هو المثير تردده N_e .
يتم ربط المتذبذب الميكانيكي مع المحرك الذي يمنحه الطاقة اللازمة لكي تصير حركته مصونة وبذلك يصبح مجبرا على التذبذب بتردد يفرضه المحرك. عند تغيير تردد المحرك نحصل على أقصى وسع لتردد الرنان عندما نضبط تردد المثير (المحرك) على قيمة توافق التردد الخاص للرنان (النواس المرن) . $N_o = N_e$ نقول أن المجموعة في حالة رنين. الدور الخاص للرنان(النواس المرن) هو : $T_O = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$
وتردده الخاص هو مقلوب الدور الخاص.
ملحوظة : كلما كان الخمود ضعيفا كلما كانت ظاهرة الرنين بارزة فنحصل على الرنين الحاد الذي يتجلى في كون وسع التذبذبات القسرية يأخذ قيمة كبيرة عند الرنين.
وفي حالة الخمود القوي يكون الرنين ضبابيا بحيث يصبح وسع التذبذبات القسرية عند الرنين صغيرا.



ب) المثال الثاني:

يتكون هذا الجهاز من نواسين وازنين يربط بينهما على مستوى محور دورانهما المشترك نابض حلزوني .النواس الذي يحمل السحمة هو المثير.عندما نزيحه عن موضع توازنه ثم نحرره يتذبذب ويجبر النواس الثاني على التذبذب بترد مساو لتردده ، تقول أن تذبذبات هذا الأخير أصبحت قسرية.وبتغير تردد الرنان نحصل على الرنين عندما يصبح للنواسين نفس التردد .
في غياب هذا الجهاز يمكن استعمال نواسين وازنين وربطهما بواسطة نابض ذي لفات غير متصلة كما يبينه الشكل التالي:

لا تنسونا بأدعيتكم الصالحة ونسأل الله لكم التوفيق .

المظاهر الطاقية

I ـ شغل قوة

1 ـ 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 ـ 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 .

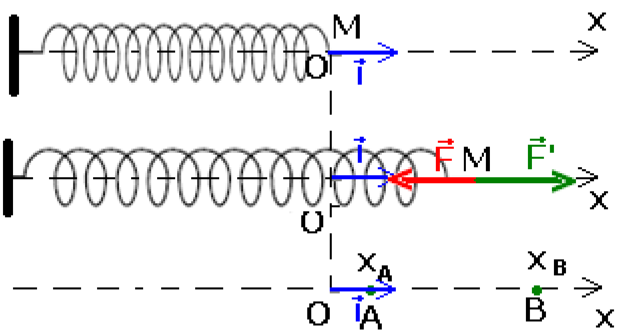
تعبير الشغل الجزئي للقوة $\vec{F}$ خلال الانتقال الجزئي $\overrightarrow{\delta\ell}$ هو : $\delta W\left(\vec{F}\right)=\vec{F}.\overrightarrow{\delta\ell}$

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 ـ 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

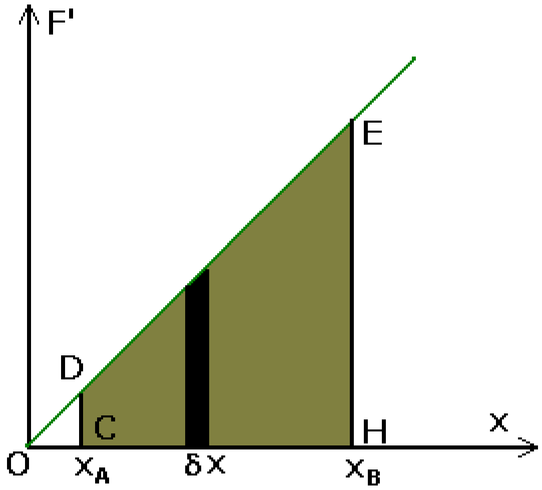
$$W_{A\to B}\left(\vec{F}'\right)=\sum_A^B\delta W\left(\vec{F}'\right)=\sum_A^B\vec{F}'.\overrightarrow{\delta\ell}=\sum_A^B kx\vec{i}.\delta x.\vec{i}$$

يمكن استعمال طريقتين لتحديد هذا المجموع :

أ ـ 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 $CDEF$

$$\underset{A\to B}{W}\left(\vec{F}'\right)=a_{CDEF}=a_{OEH}-a_{OCD}$$

$$\underset{A\to B}{W}\left(\vec{F}'\right)=\frac{1}{2}kx_B^2-\frac{1}{2}kx_A^2$$

ب ـ الطريقة التحليلية

نعوض في العلاقة السابقة المجموع $\sum$ بالتكامل $\int$

ولانتقال الجزئي $\delta\ell$ ب المقدار التفاضلي dx فنحصل على العلاقة التالية :

$$\underset{A\to B}{W}\left(\vec{F}'\right)=\int_{x_A}^{x_B}kxdx=\left[\frac{1}{2}kx^2\right]_{x_A}^{x_B}$$

$$\underset{A\to B}{W}\left(\vec{F}'\right)=\frac{1}{2}kx_B^2-\frac{1}{2}kx_A^2$$

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 : $\underset{A\to B}{W}\left(\vec{F}'\right)=\frac{1}{2}kx_B^2-\frac{1}{2}kx_A^2$.

وبما أن $\vec{F}=-\vec{F}'$ فإن شغل قوة الارتداد المطبقة من طرف النابض هو : $\underset{A\to B}{W}\left(\vec{F}\right)=\frac{1}{2}kx_A^2-\frac{1}{2}kx_B^2$

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 :

$$\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2=\underset{A\to B}{W}\left(\vec{F}\right)+\underset{A\to B}{W}\left(\vec{F}'\right)=0\Rightarrow\underset{A\to B}{W}\left(\vec{F}\right)=-\underset{A\to B}{W}\left(\vec{F}'\right)$$

$$\underset{A\to B}{W}\left(\vec{F}\right)=\frac{1}{2}kx_A^2-\frac{1}{2}kx_B^2$$

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 $\underset{A\to B}{W}\left(\vec{F}\right)=E_{Pe}(A)-E_{Pe}(B)$

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 .

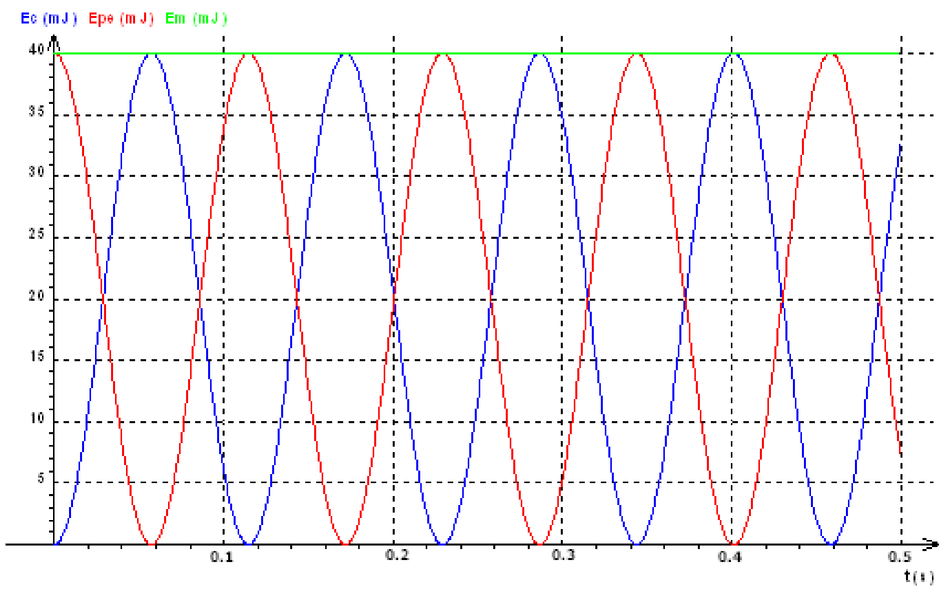
تعريف بالطاقة الميكانيكية :

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 ـ 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

ـ عندما تأخذ الاستطالة قيمتها القصوية x_m فإن الطاقة الميكانيكية $E_m = \frac{1}{2}kx_m^2$

ـ 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

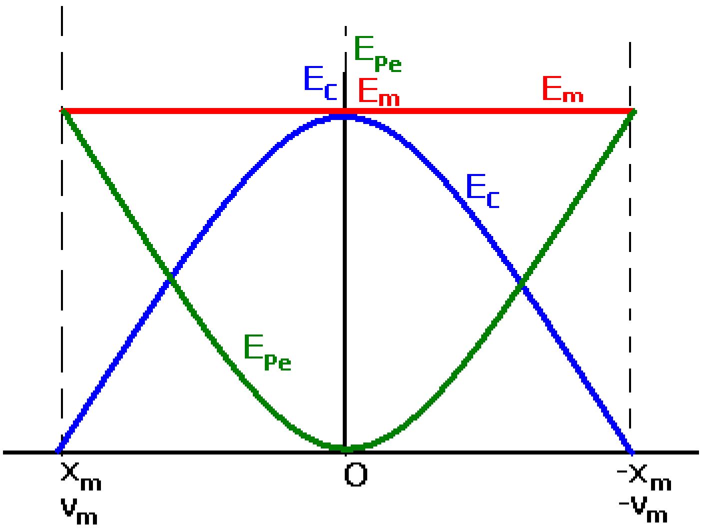
نستنتج العلاقة : $v_m = x_m\sqrt{\frac{k}{m}}$

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



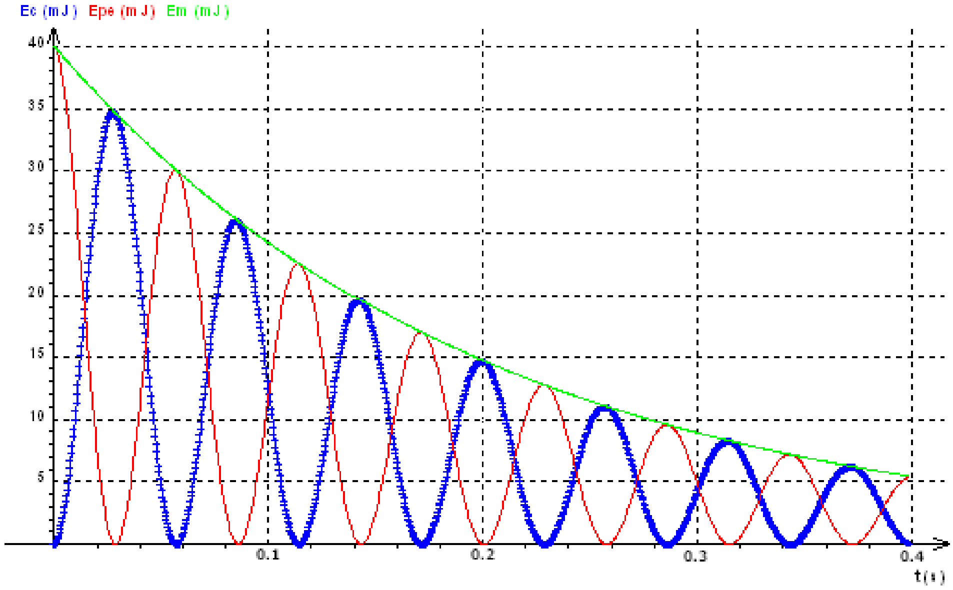
خلاصة : في غياب الاحتكاكات تنحفظ الطاقة الميكانيكية لنواس مرن أفقي وحر .

ب ـ 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 :

$$\frac{dE_m}{dt} = J_\Delta\ddot{\theta}\dot{\theta} + C\dot{\theta}\theta = \dot{\theta}\left(J_\Delta\ddot{\theta} + C\theta\right) = 0 \Rightarrow E_m = cte$$

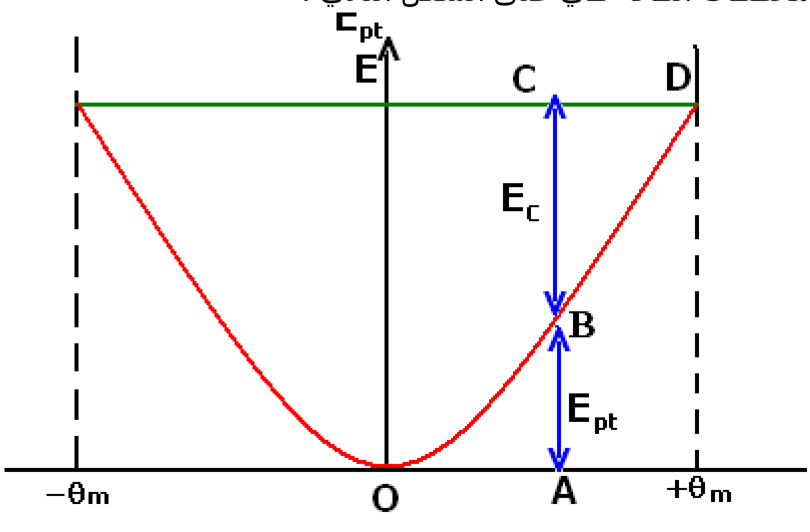
أي أن الطاقة الميكانيكية تنحفظ .

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 الميكانكة 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 :

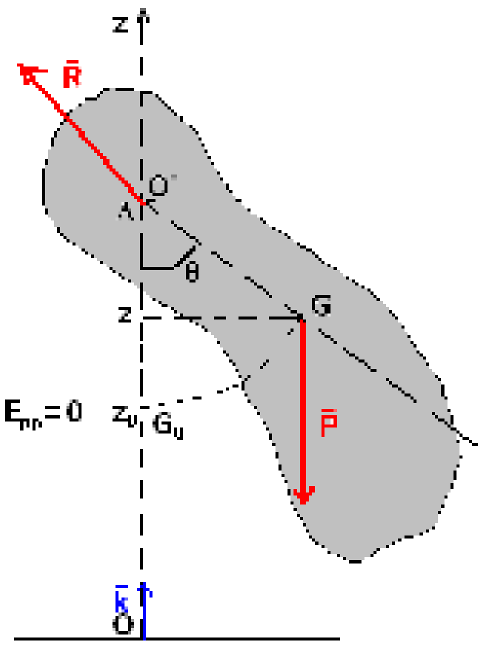
$$E_C = \frac{1}{2} J_\Delta \dot{\theta}^2$$

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 $O'G = d$

$$z = z_0 + d(1-\cos\theta)$$

يمكن تحديد الثابتة cte انطلاقا من الحالة المرجعية :

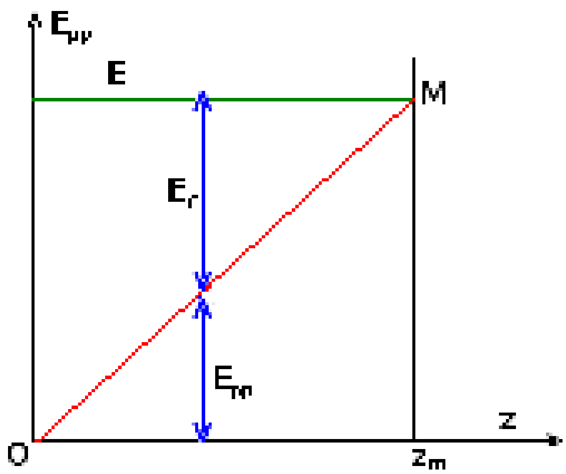
$E_{pp} = 0$ عند $z = z_0$ أي أن $cte = -mgz_0$

$$E_m = mgd(1-\cos\theta) + \frac{1}{2} J_\Delta \dot{\theta}^2$$

$$\frac{dE_m}{dt} = mg\dot{\theta}\sin\theta + J_\Delta \dot{\theta}\ddot{\theta}$$

$$= \dot{\theta}\left(mgd\sin\theta + J_\Delta \ddot{\theta}\right) = 0$$

$$E_m = cte$$



في غياب للاحتكاكات تبقى الطاقة الميكانيكية للنواس الوازن في مجال الثقالة ثابتة . __إذن النواس الوازن__ __مجموعة محافظة__

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

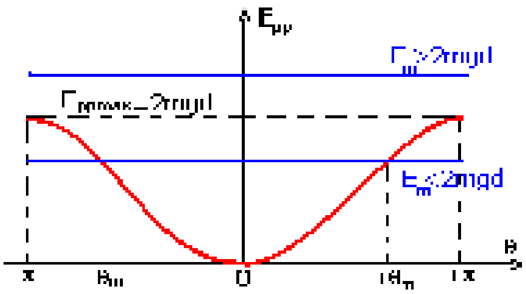
$$E_{pp} = mgd\left(1 - \cos\theta\right)$$

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 $\theta = \pi$

$-\pi \le \theta \le \pi$

$0 \le E_{pp} \le 2mgd$

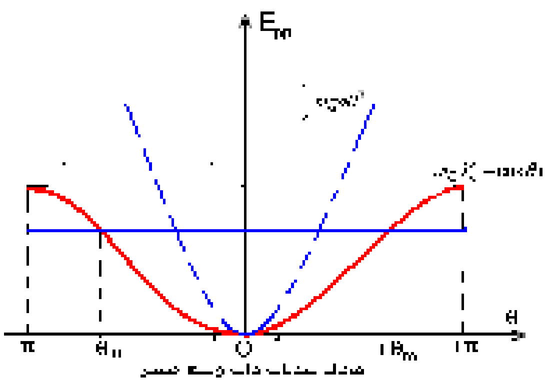
ـالحالة الأولى:

$E_m > 2mgd$ 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

$$\cos\theta \cong 1 - \frac{\theta^2}{2}$$

$$E_p = mgd\left(1 - 1 + \frac{\theta^2}{2}\right) = mgd\,\frac{\theta^2}{2}$$

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 :

معادلة التفاعل الكيميائي		$I_2(aq)$ +	$2S_2O_3^{2-}(aq)$ $\rightleftarrows$	$2I^-(aq)$ +	$S_4O_6^{2-}(aq)$
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

تمرين تطبيقي : تحديد منحى تطور مجموعة

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 .

$$Q_{r,i}=\frac{[CH_3COOH]_{eq}.\left[HCOO^-\right]_{eq}}{\left[CH_3COO^-\right]_{eq}[HCOOH]_{eq}}=\frac{K_{A1}}{K_{A2}}=10$$

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 $\frac{\left[HCOO^-\right]_i}{[HCOOH]_i}>\frac{\left[HCOO^-\right]_{eq}}{[HCOOH]_{eq}}$ أي أن النسبة $\frac{\left[HCOO^-\right]}{[HCOOH]}$ تتزايد .

لدينا كذلك $\frac{\left[CH_3COO^-\right]_i}{[CH_3COOH]_i}<\frac{\left[CH_3COO^-\right]_{eq}}{[CH_3COOH]_{eq}}$ أي تتناقص النسبة $\frac{\left[CH_3COO^-\right]}{[CH_3COOH]}$ 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 $\frac{\left[HCOO^-\right]_i}{[HCOOH]_i}<\frac{\left[HCOO^-\right]_{eq}}{[HCOOH]_{eq}}$ أي أن النسبة $\frac{\left[HCOO^-\right]}{[HCOOH]}$ تتناقص

لدينا كذلك $\frac{\left[CH_3COO^-\right]_i}{[CH_3COOH]_i}>\frac{\left[CH_3COO^-\right]_{eq}}{[CH_3COOH]_{eq}}$ أي تتزايد النسبة $\frac{\left[CH_3COO^-\right]}{[CH_3COOH]}$ 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 $\frac{\left[HCOO^-\right]_i}{[HCOOH]_i}=\frac{\left[HCOO^-\right]_{eq}}{[HCOOH]_{eq}}$ و كذلك $\frac{\left[CH_3COO^-\right]_i}{[CH_3COOH]_i}=\frac{\left[CH_3COO^-\right]_{eq}}{[CH_3COOH]_{eq}}$

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)**

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 ،

$$\begin{cases} Cu^{2+}/Cu \quad & Cu^{2+}(aq)+2e^- = Cu(aq) \\ Zn^{2+}/Zn \quad & Zn(s) = Zn^{2+}(aq)+2e^- \end{cases}$$

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 ؟

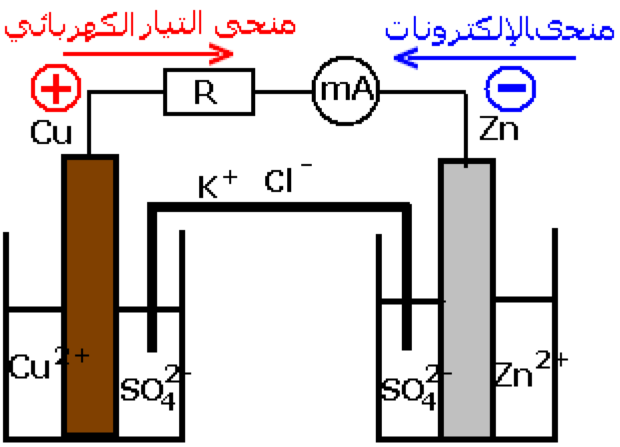
يحدث هذا الانتقال في نفس الخليط الموجود في الكأس أي أن هناك تماس بين الأنواع الكيميائية مما يجعل انتقال الإلكترونات ممكنا .

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 $K^+(aq)+C\ell^-(aq)$

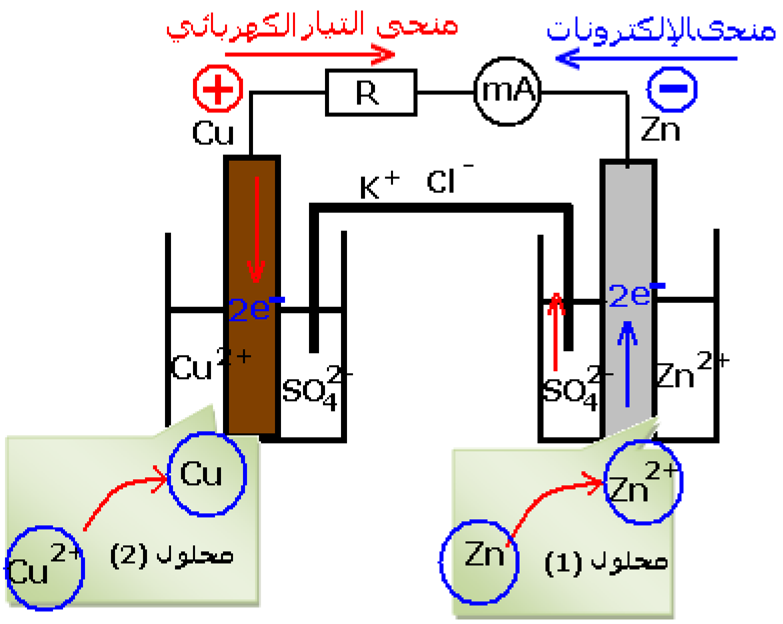
نصل الصفيحتين الفليزتين بجزء دارة تحتوي على مليئمبيرمتر وموصل أومي مقاومته $R=10\Omega$ وقاطع التيار . أنظر الشكل ، ثم نغلق قاطع التيار .

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 :

ــ الإلأكترونات في الصفيحتين وفي أسلاك الربط والموصل الأومي والميليئمبيرمتر .
ــ الأيونات المتوحدة في المحلولين .
2 ــ حدد منحى التيار الكهربائي المشار من طرف المليئمبيرمتر .
التيار الكهربائي يمر من خارج المحلولين من صفيحة النحاس نحو صفيحة الحديد.
3 ــ 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 ــ ماذا يحدث على مستوى التماس فلز ــ محلول في الصفيحتين ؟
على مستوى التماس بين الف
على الشكل التالي :
ــ على مستوى صفيحة الزنك ، تحرر
حسب نصف المعادلة التالية : $Zn(s) = Zn^{2+}(aq) + 2e^{-}$
ــ على مستوى صفيحة النحاس تستهلك الإلكترونات نتيجة اختزال أيون النحاس
المعادلة التالية : $Cu^{2+}(aq) + 2e^{-} = Cu(s)$
5 ــ 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 ــ 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 ــ خلاصة :

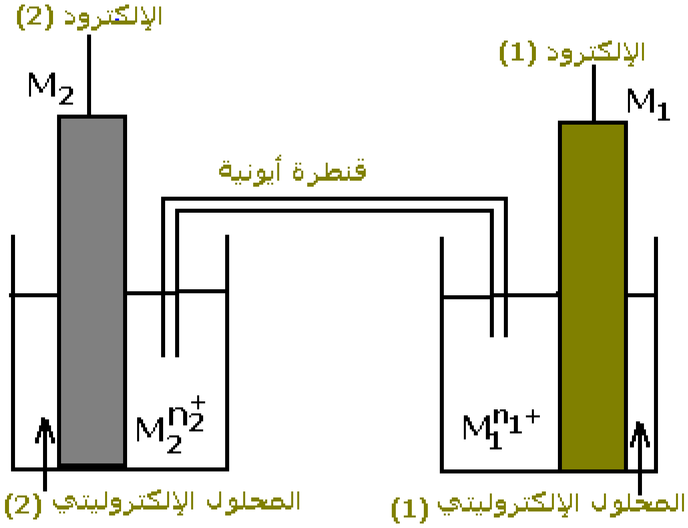
يمكن أن يحدث انتقال تلقائي للإلكترونات بين الأنواع الكيميائية لمزدوجتين مختزل منفصلة (عند ربط الفليزين بموصل كهربائي ووصل المحلولين فيما بينهما بقنطرة أيونية)

II ــ تكوين واشتغال عمود

1 ــ 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 $M_2^{n_2+}$.



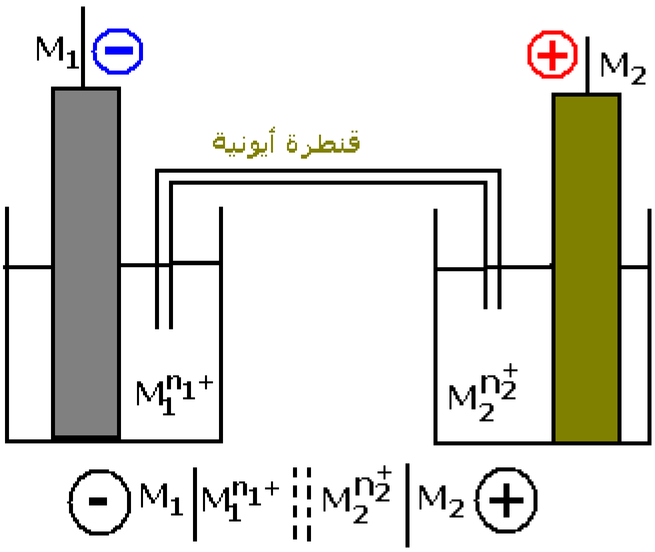
ـ قنطرة أيونية ، تصل المحلولين فيما بينهما .
نسمي M_1 و M_2 الإلكترودان اللذان يكونان قطبي العمود . وسمي المحلولان المحتويان على الكاتيونات $M_1^{n_1+}$ و $M_2^{n_2+}$ بالمحلولين الإلكتروليتين .
يسمى العمود زنك ـ نحاس بعمود دانييل نسبة إلى مخترعه . John Daniell

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 : $M_1 = M_1^{n_1+} + n_1e^-$
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 :

$$M_2^{n_2+} + n_2e^- = M_2$$



حيث ترد الإلكترونات اللازمة لهذا الاختزال من الدارة الخارجية أي أنه خلال اشتغال العمود يحدث تفاعل أكسدة واختزال ننمذج معادلته الكيميائية على الشكل التالي :

$$n_2M_1 + n_1M_2^{n_2+} \rightarrow n_1M_2 + n_2M_1^{n_1+}$$

يمثل هذا العمود بالتبيانة اصطلاحية التالية :

$$\ominus M_1(s)\left|M_1^{n_1+}(aq)\right|\!\left|M_2^{n_2+}(aq)\right|M_2(s)\oplus$$

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 .

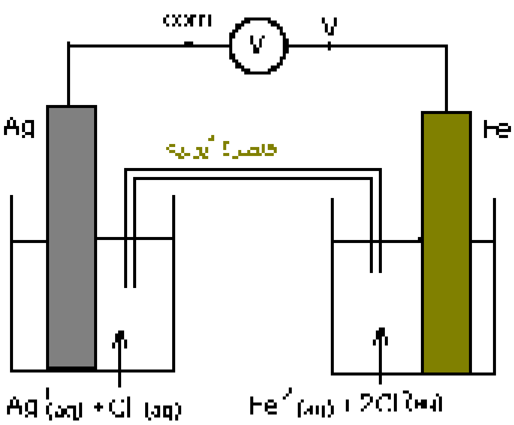
خلاصة :

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 .

$$Q_{\max} = n(e^-).N_A.|-e| = n(e^-).F$$

نعرف القيمة المطلقة لشحنة مول واحد من الإلكترونات بالفرادي ونرمز له ب F أي أن $1F = N_A.|-e|$

$$F = 6,02.10^{23} \times 1.6.10^{-19} = 9,65.10^4.C.mol^{-1}$$

(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 : $Q_{\max} = |N.(-e)| = N.e$

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 : $Q_{\max} = n(e^-).N_A.|-e| = n(e^-).F$)

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 :

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 .

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 :

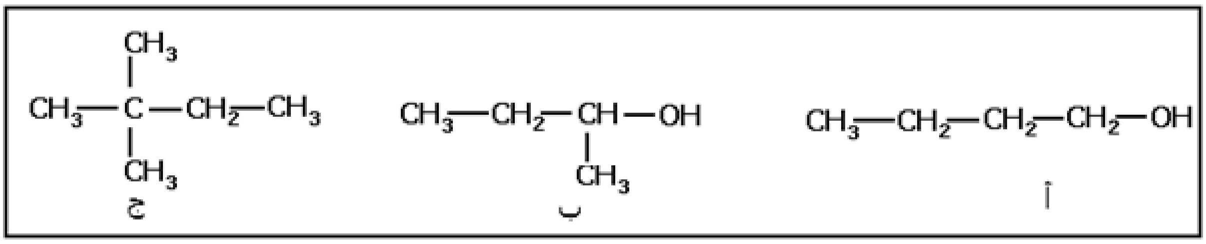
الكحول الأولي : $R-CH_2-OH$

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 واعطا أسمائها :

2 ـ الأحماض الكربوكسيلية

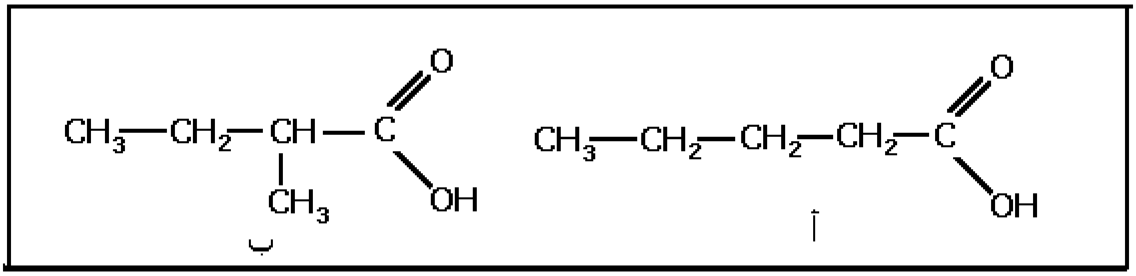
يحتوي الحمض الكربوكسيلي على المجموعة المميزة $-COOH$

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 .

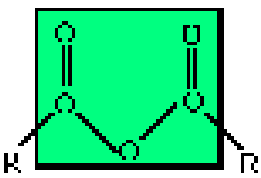
تمرين تطبيقي 2

أعط أسماء الأحماض الكربوكسيلية التالية :



II ـ أندريدات الحمض ـ الإسترات .

1 ـ أندريد الحمض



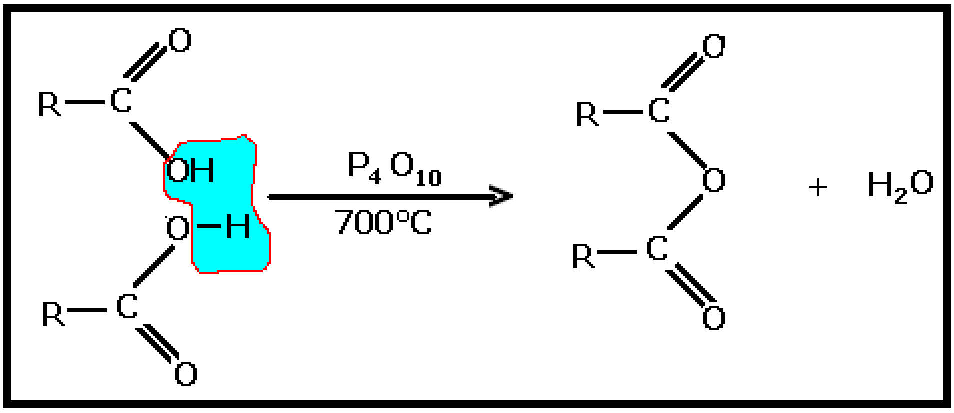
تحتوي جزيئة أندريد الحمض على المجموعة المميزة : $-CO-O-CO-$

الصيغة العامة لأندريد الحمض هي : $R-CO-O-CO-R$

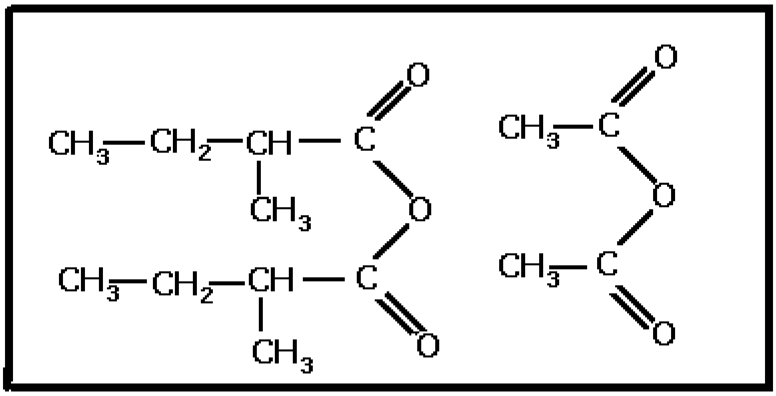
كيفية الحصول على أندريد الحمض :

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 :

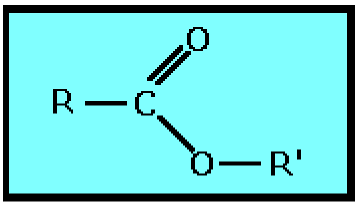


تسمية أندريدات الحمض :
يسمى أندريد الحمض باسم الحمض الكربوكسيلي الموافق ، مع تعويض كلمة حمض بكلمة أندريد .
تمرين تطبيقي :
أعط أسماء اندريدات الحمض التالية :



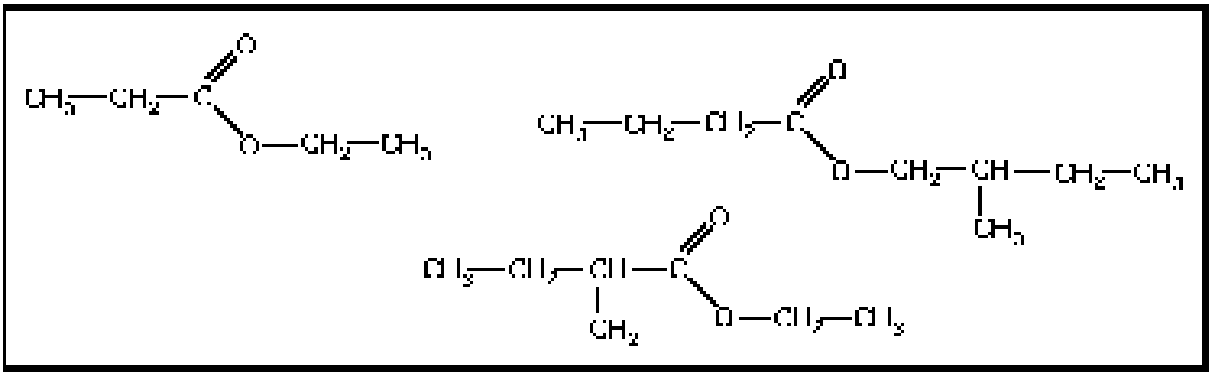
2 ـ الإسترات
تضم جزيئة الإستر المجموعة المميزة :

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 بذرة الأوكسيجين .

تمرين تطبيقي :



3 ـ تصنيع الاسترات

للإسترات دور كبير في تكوين العطور ، لأنها مركبات ذات رائحة معطرة وقابلة نسبيا للتطاير

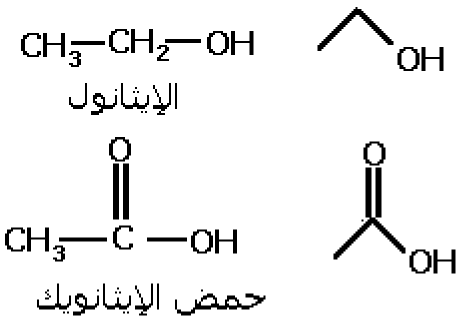
دراسة تجريبية : تصنيع إيثانوات الإثيل .

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 .

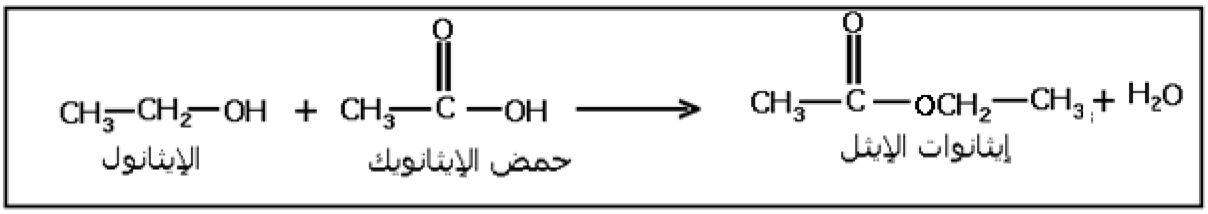


2

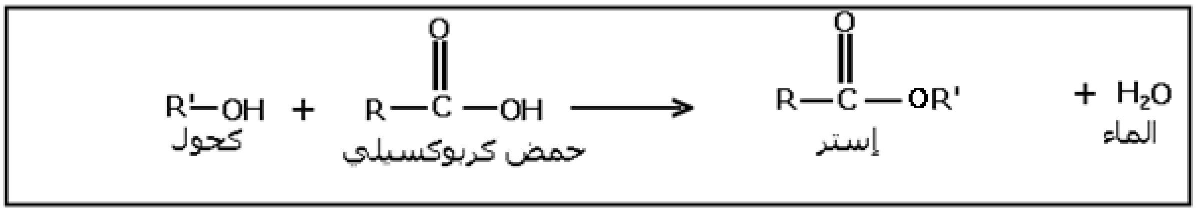
معادلته الكيميائية .

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 ــ 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

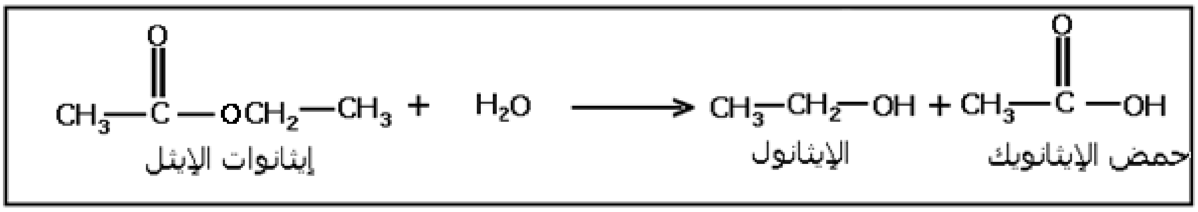
بعد تبريد الخليط ، نلاحظ أن $pH = 5$.

1 ــ على ماذا يدل تغير ال pH الملاحظ ؟

pH

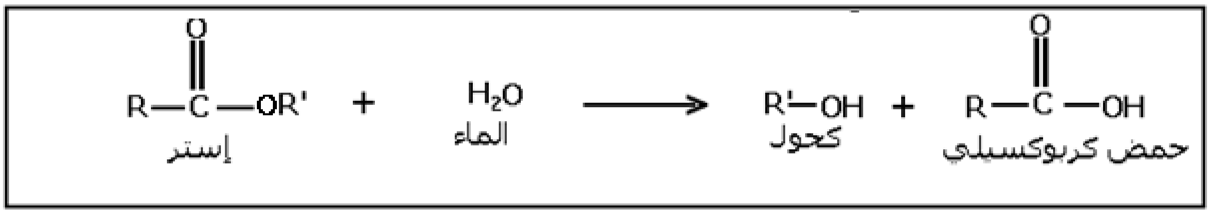
2 ــ ما هو التفاعل الذي حدث بين الماء و الإستر ؟

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 ــ الدراسة التجريبية لحالة توازن الأسترة والحلمأة

1 ــ مميزات تفاعل الأسترة

نشاط تجريبي 3 : إبراز مميزات تفاعل الأسترة

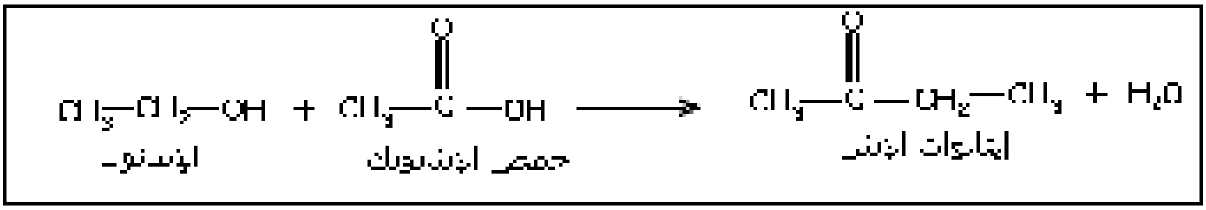
في أواخر القرن التاسع عشر قام العالم برتولو وتلميذه بيان دويان جيل بدراسة تفاعل أسترة مختلف الأحماض والكحولات .

في سنة 1862 م قام برتولو بدراسة منهجية للتفاعل بين حمض الإيثانويك والإيثانول ، وأبرز من خلالها تواجد تفاعلين عكوسين يؤديان إلى توازن كيميائي .

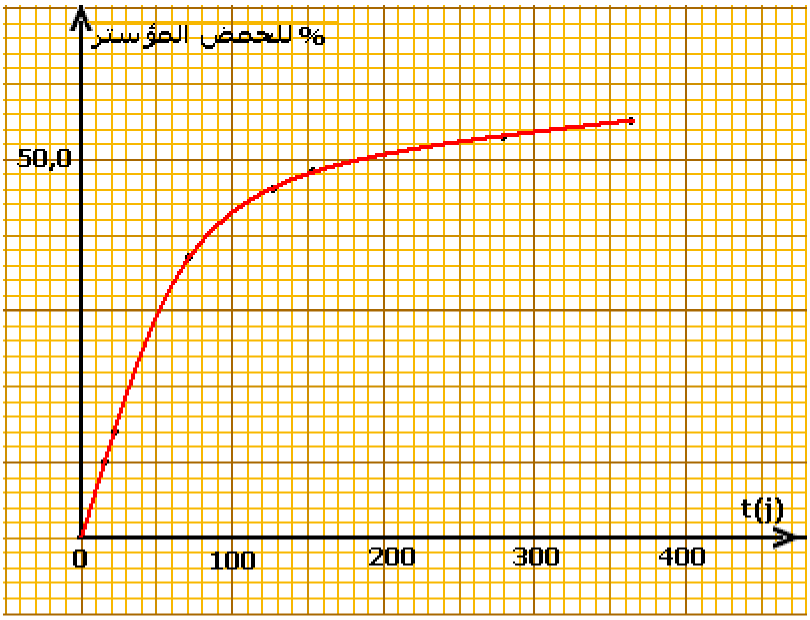
فيما يلي نرض وصف مبدأ التجارب المنجزة من طرف برتولو وتلميذه .
ـ إنجاز خليط متساوي المولات لحمض الإيثانويك والإيثانول .
ـ توزيع الخليط بكميات متساوية على عدة حبابات (أنابيب محكمة السد) ووضعها في حمام مريم درجة حرارته $20°C$ ، عند اللحظة $t=0$.
ـ إخراج ، عند اللحظة t ، حبابة وتبريدها ومعايرة محتواها بواسطة 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 ـ أرسم المبيان الممثل للنسبة المئوية للحمض المِستر بدلالة الزمن .



3 ـ ما هي مميزات تفاعل الأسترة ؟
ـ الأسترة تفاعل بطيء
ـ تؤول النسبة المئوية للحمض المؤستر نحو قيمة حدية أصغر من 100% أي لأن تفاعل الأسترة ، تفاعل محدود (غير كلي).

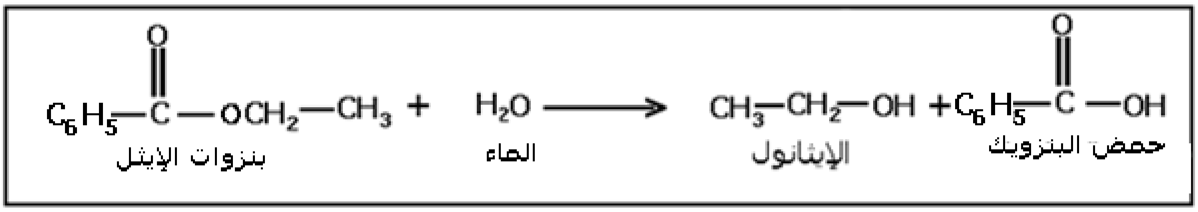
2 ـ ممزات تفاعل الحلمأة

نشاط تجريبي 4 : إبراز مميزات تفاعل الحلمأة

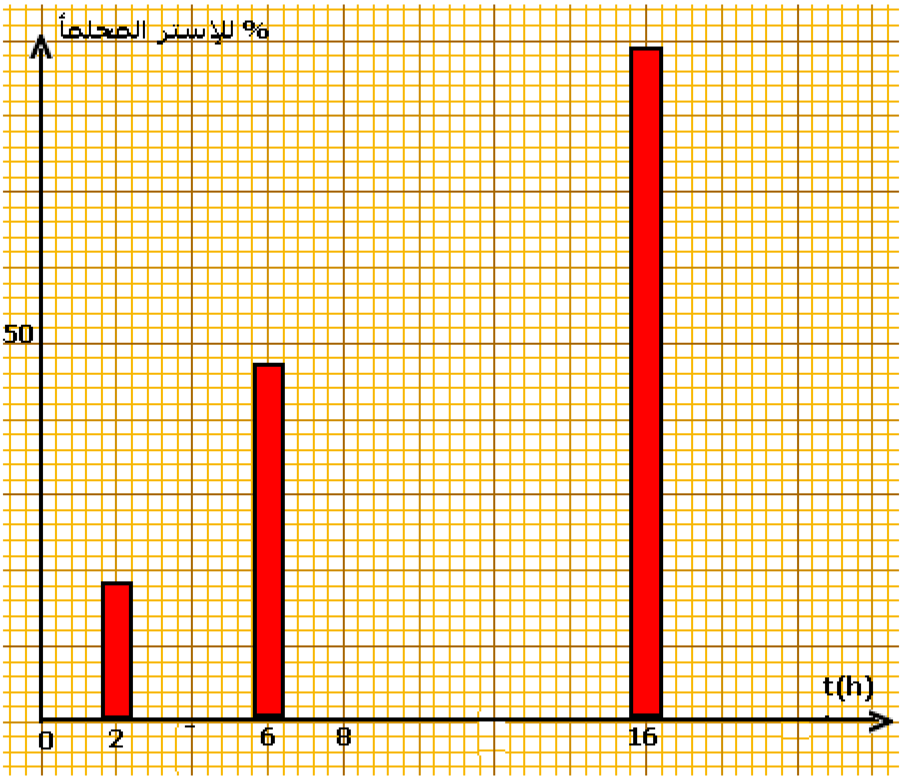
لدراسة تفاعل الحلمأة اتبع الكيميائيان نفس البروتوكول التجريبي السابق :
ـ تحضير خليط يتكون من مول واحد من بنزوات الإيثيل $C_6H_5COOC_2H_5$ و 83 مولا من الماء .
ـ توزيع الخليط بكميات متساوية على عدة حبابات (أنابيب محكمة السد) ووضعها في حمام مريم درجة حرارته $20°C$ ، عند اللحظة $t=0$.
ـ إخراج ، عند اللحظة 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 البدئية 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 ؟

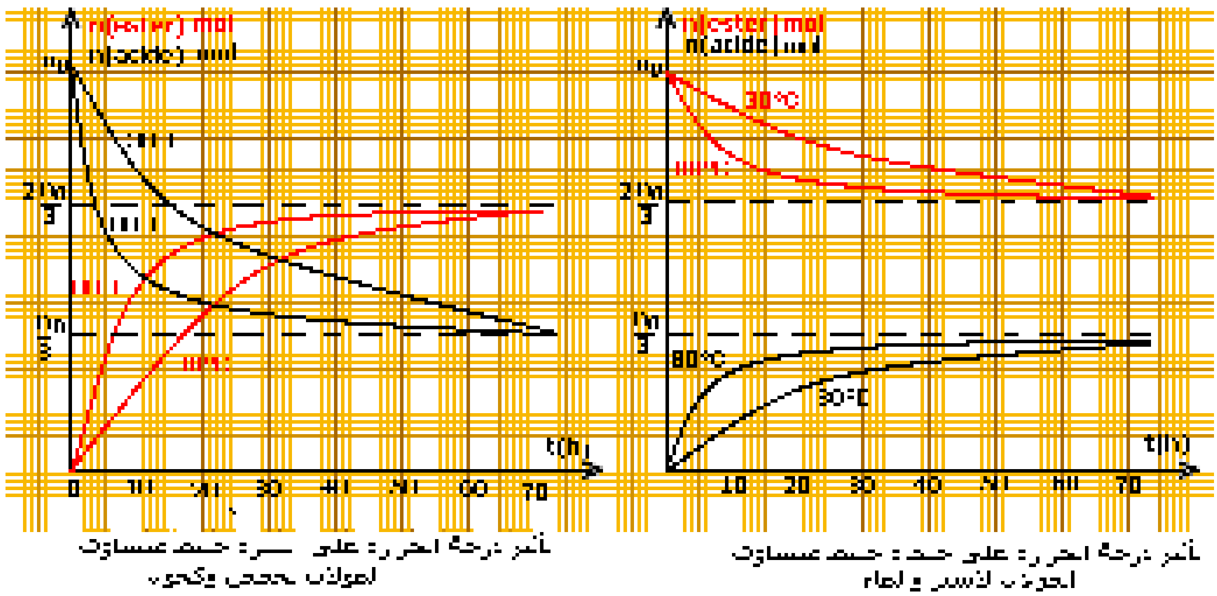
4 ـ 1 تأثير درجة الحرارة

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)



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

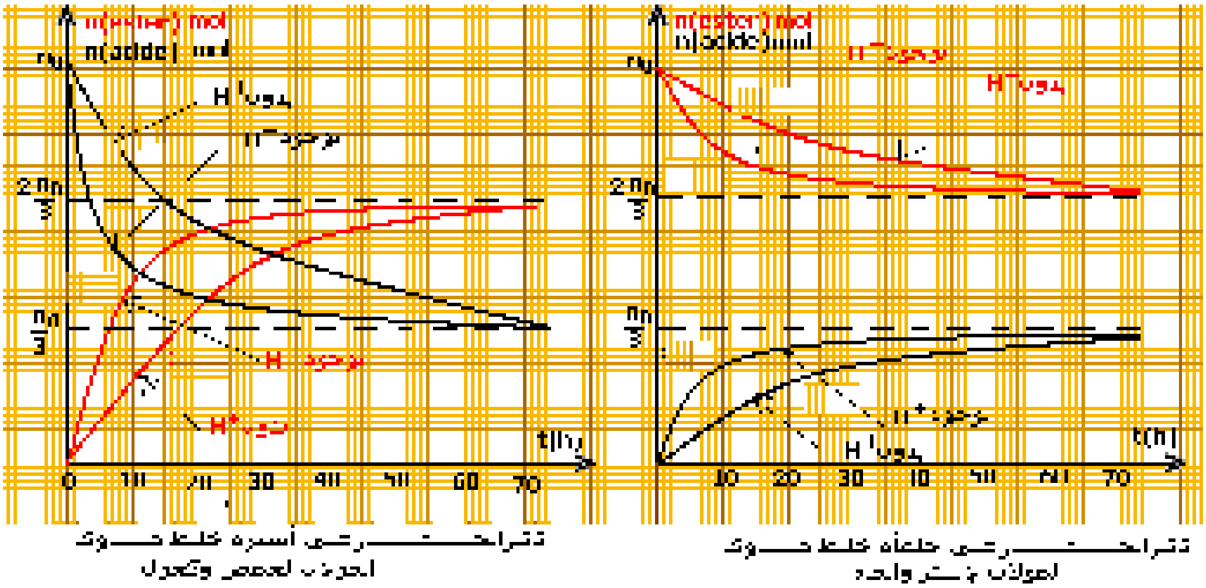
تعريف :

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)



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

3	1	2	1	1	الحمض	التركيب البدئي للمجموعة
1	3	1	2	1	الكحول	
90	90	84	84	67	نسبة التقدم النهائي %	

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 .

نسبة التقدم النهائي	صنف الكحول
67%	كحول اولي
60%	كحول ثانوي
5%	كحول ثالثي

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 .

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 .

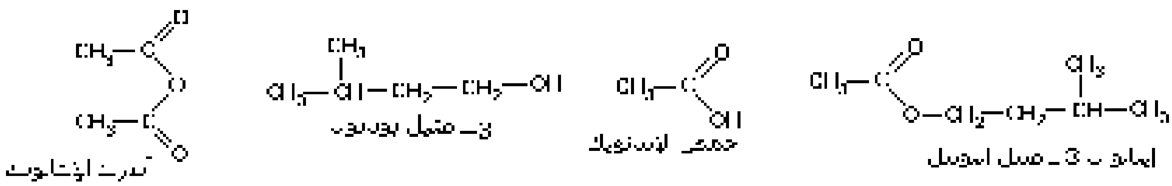
تتسم الأندريدات الحمض بتفاعليتها ، حيث تعوض الأحماض الكربوكسيلية في عدة تفاعلات خصوصا منها المتعلقة بتخا

1 ـ تفاعل أندريد الحمض مع كحول

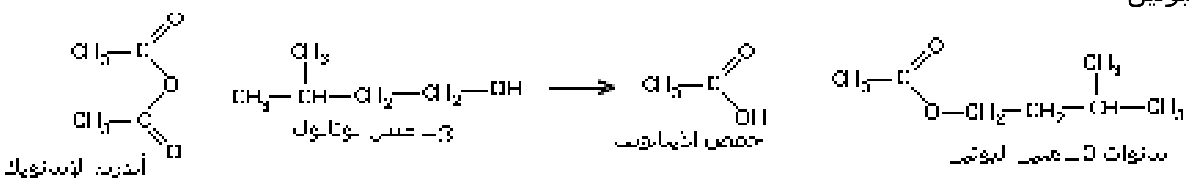
نشاط تجريبي 1

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 ؟

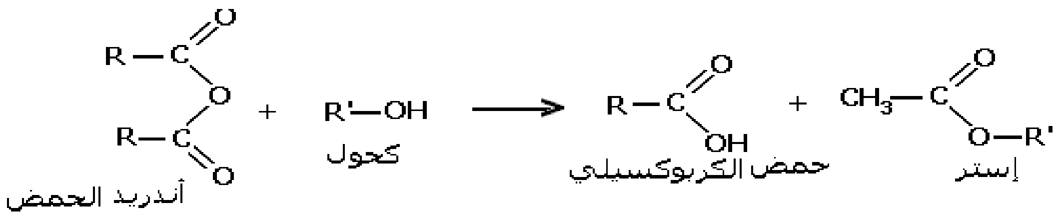
يتميز هذا التفاعل عن سابقيه أنه سريع وكلي حيث يكون التقدم النهائي للتفاعل قصويا .

4 ـ لماذا لاتحدث حلمأة الإستر الناتج ؟

لأن تكون الأستر في وسط لا مائي يجعل حلمأته غير ممكنة .

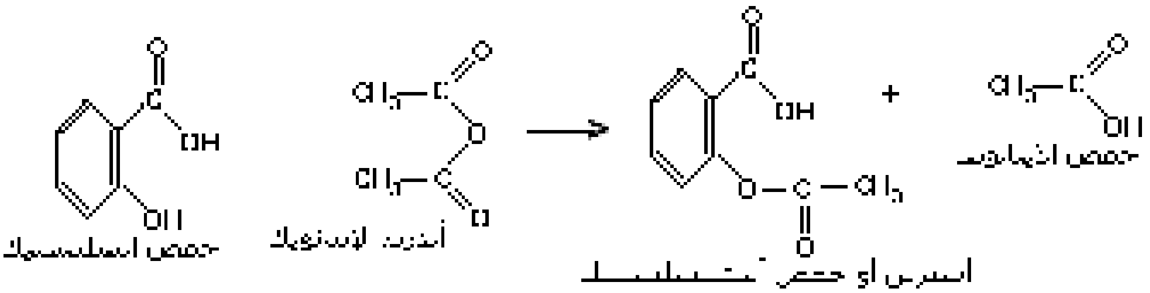
بصفة عامة :

تفاعل أندريد الحمض مع كحول تفاعل كلي وسريع حيث يعطي إستر ، 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 :



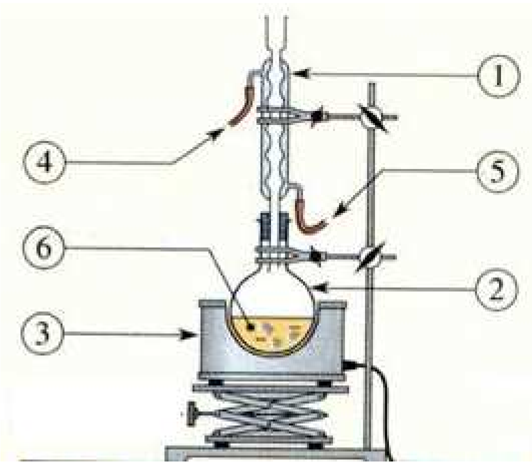
III ـ الحلمأة القاعدية للإسترات : التصبن

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 .

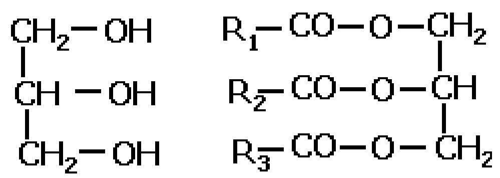
الحلمأة بوجود قاعدة مركزة تودي إلى تفاعل كلي وسريع .
خلاصة :
يمكن تعميم هذه النتائج على جميع الاسترات ، حيث يتحول الإستر تحت تأثير أيونات هيدروكسيد $HO^-(aq)$ إلى أيونات كربوكسيلات وكحول ، يدعى هذا التحول تصبنا (لكونه يؤدي إلى تحضير الصابون انطلاقا من مواد دهنية).
في وسط قاعدي يكون الحمض الكربوكسيلي 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 تحتوي على

2 ـ 1 الأجسام الدهنية

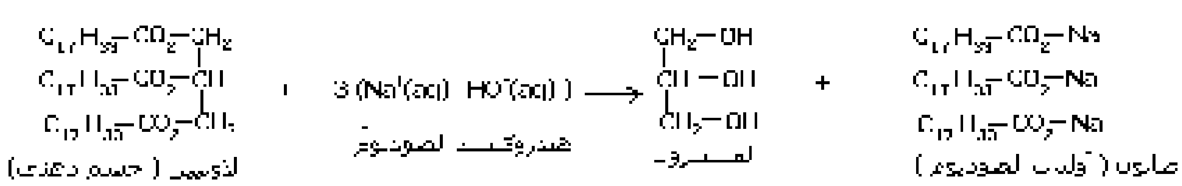


الغليسرول ثلاثي غليسريد

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 .
الأحماض الدهنية أحماض كربوكسيلية ذات سلسلة كربونية طويلة غير متفرعة تحتوي على عدد زوجي من ذرات الكربون .
أمثلة : حمض اللوريك Acide laurique $(C_{11}H_{23}COOH)$ وحمض الأولييك Acide oleique $(C_{17}H_{33}COOH)$

2 ـ 2 تحضير الصابون

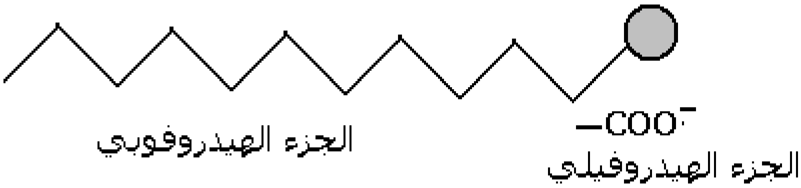
يتم تصبن الأجسام الدهنية بواسطة محلول هيدروكسيد الصوديوم $(Na^+(aq)+HO^-(aq))$ أو هيدروكسيد البوتاسيوم $(K^+(aq)+HO^-(aq))$
يتم في هذا التصبن تفاعل المجموعات المميزة الثلاث إستر للغليسريد مع الأيونات HO^- حيث يتكون الغليسرول وثلاث أيونات كربوكسيلات .
ينتج الصابون عن تصبن ثلاثي الغليسريد . وهو عبارة عن 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

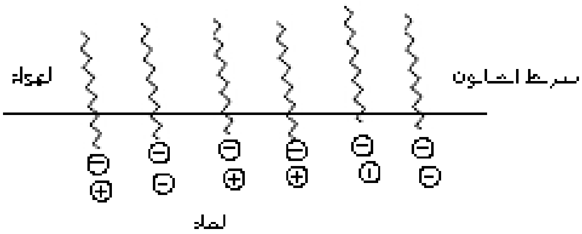
الذوبانية :
يذوب الصابون في الماء المقطر إلى حدود $100g/\ell$ ، وهو قليل الذوبان في الماء المالح أو الماء الذي يحتوي على أيونات الكالسيوم $Ca^{2+}(aq)$ أو أيونات المغنزيوم $Mg^{2+}(aq)$ حيث يترسب في هذه المحاليل.



ـ يحتوي أيون كربوكسيلات ذو سلسلة كربونية طويلة المتواجدة في الصابون على جزأين :

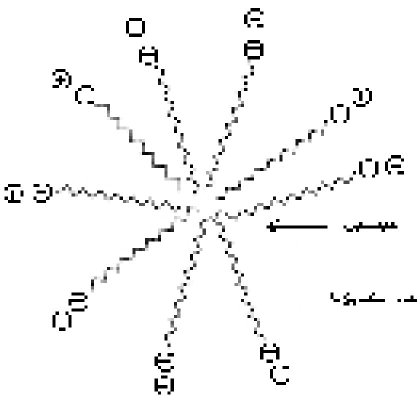
الجزء الأول هو عبارة عن مجموعة كربوكسيلات الأيوني COO^- المتواجد في رأس السلسلة ، وهو قابل للذوبان في الماء ويدعى الجزء الهيدروفيلي *Hydrophphyle* (محب للماء)

الجزء الثاني ، هو عبارة عن سلسلة كربونية طويلة غير قابلة للذوبان في الماء ويدعى الجزء الهيدروفوبي *hydrophobie* (كاره للماء)



ـ 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)

ـ 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 ـ 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 .