الأستـاذ : م.عمورة المادة : علوم فيزيائية (فيزياء) المستوى : السنة الثانية ثانوي الشعبة : رياضيات + علوم تجريبية
السنة الدراسية : 200... / 200...

المجـال (I) : الطـاقة .
الوحـدة ① : مقاربـة كيفية لطـاقة جملة و انحفاظها.

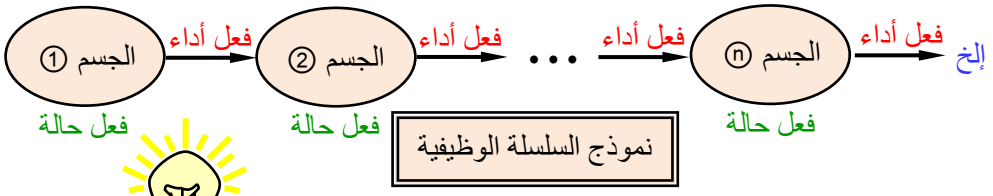
● الكفـاءات المستهدفة :ـ يكشف عن مختلف أشكال الطاقة و أنماط تحويلها من أجل وضعيات مختلفة بحسب الجملة المختارة .
ـ ينجز كيفيًا حصيلة طاقوية و يعبر عنها بالكتابة الرمزية .
ـ يكتب في أمثلة مختلفة المعادلة المعبرة عن انحفاظ الطاقة .
ـ يفسر مجهريًا ظاهرة طاقوية .

1 دراسة الظاهرة : (2 سا أ . م)

مقدمة : إن مفهوم " الطاقة " في الفيزياء يعبر عن مقدار تقاس به شدة تفاعلات الظواهر الفيزيائية ، و الطاقة تنتقل من جملة إلى جملة أخرى مع تغيّر شكلها عمومًا و تخضع لمبدأ الانحفاظ .

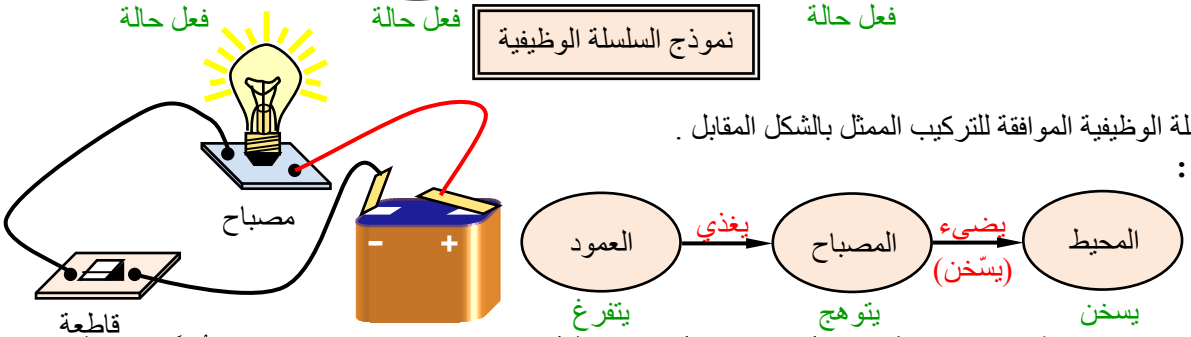
•1 ـ 1°) مفهوم السلسلة الوظيفية : لتحليل فعل ما (التحليل الطاقوي لبعض التجهيزات البسيطة من الحياة اليومية) في تركيب معين نستعمل "السلسلة الوظيفية" التي تبيّن مختلف الأجسام المكونة لهذا التركيب ، حيث نربط بين هذه الأجسام بـ "أفعال الأداء" كما نميز كل جسم في السلسلة الوظيفية الموافقة بـ "فعل الحالة" التي يكون عليها .

•1 ـ 2°) نمذجة تركيب أو ظاهرة : الوثيقة المرفقة تبيّن النموذج الذي يعبر عن مراحل الحصول على الفعل النهائي في تركيب ما ، إذ نربط في هذا النموذج بين الأجسام بسلسلة تدعى السلسلة الوظيفية تكتب فيها أسماء الأجسام و أفعال الحالة و الأداء الموافقة ، و يعتمد هذا التمثيل على ما يلي :
ـ نمثل الأجسام بـ "حلقات" أو "فقاعات" نكتب بداخلها أسم الجسم .
ـ نمثل الأجسام المكونة للتركيب المدروس على التسلسل ، و نربط بينها بأسهم موجهة بين كل جسم و الجسم الموالي له .
ـ نرفق كل جسم بـ فعل حالة يعبر عن حالته و دوره في التركيب (يدور ، يضيء ، يتفرغ ، يتوهج ، ...) .
ـ نرفق كل سهم (←) يربط بين جسمين بـ فعل أداء يعبر عن ما يؤديه كل جسم يتجه منه السهم في الجسم الآخر (يدّور ، يسّخن ، يغذي ، يشّع ، ...) .



• **مثال :**
مثل السلسلة الوظيفية الموافقة للتركيب الممثل بالشكل المقابل .

• **الجواب :**

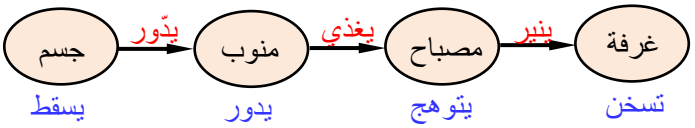


●1 ـ 3°) مفهوم الجملة : تمثل الجملة جسمًا أو جزء منه أو مجموعة أجسام نختارها قصد دراستها ، و تُحدَّد بالنسبة لمحيطها المسمى بـ " الوسط الخارجي " ، فلكل جملة حدود تحيط بعناصرها (مكوناتها) بحيث يعتبر كل عنصر خارج هذه الحدود عنصرًا من الوسط الخارجي المحيط .

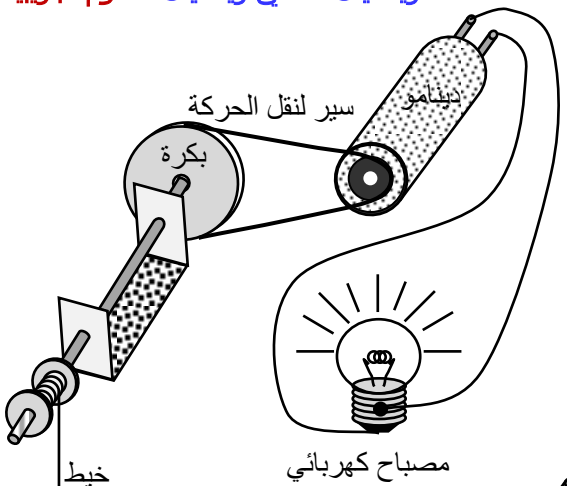
● الأنشطة : وضعيات إشكالية (التركيز على الوضعيتين ـ1 ، 4)
ـ 1°) إشعال مصباح بواسطة حجر .
ـ 2°) تحريك عربة صغيرة بواسطة مدخرة .
ـ 3°) إشعال مصباح بواسطة مدخرة .
ـ 4°) إشعال مصباح بواسطة قارورة غاز .
ـ 5°) إشعال مصباح بواسطة عصافة (Soufflerie) .
ـ 6°) إشعال مصباح بواسطة حوض مملوء بالماء (ماء الحنفية) .

• سؤال : (بعد تقسيم التلاميذ إلى مجموعات مصغرة :4 تلاميذ ، و تزويدهم بالأدوات المتوفرة غير كاملة)
حدد الأجسام اللازمة لحل الإشكالية ، و قدم مخططًا للتركيبة المقترحة (تكلف كل مجموعة بحل وضعية إشكالية واحدة أو اثنتين وتقديم الإشكالية و الحل المقترح على شكل مخططات أو رسومات مع احترام الترميز)
ـ مناقشة الأفعال المستعملة من طرف التلاميذ دون إدخال مصطلح "الطاقة" .
ـ الحلول الممكنة لبعض الوضعيات الإشكالية المقترحة (أنظر الوثيقة المرفقة ص:104، 105، 106، 107) .

الوضعية الإشكالية (1) : إشعال مصباح بواسطة حجر
التركيب المقترح (أنظر الشكل المقابل)
ـ السلسلة الوظيفية الموافقة :

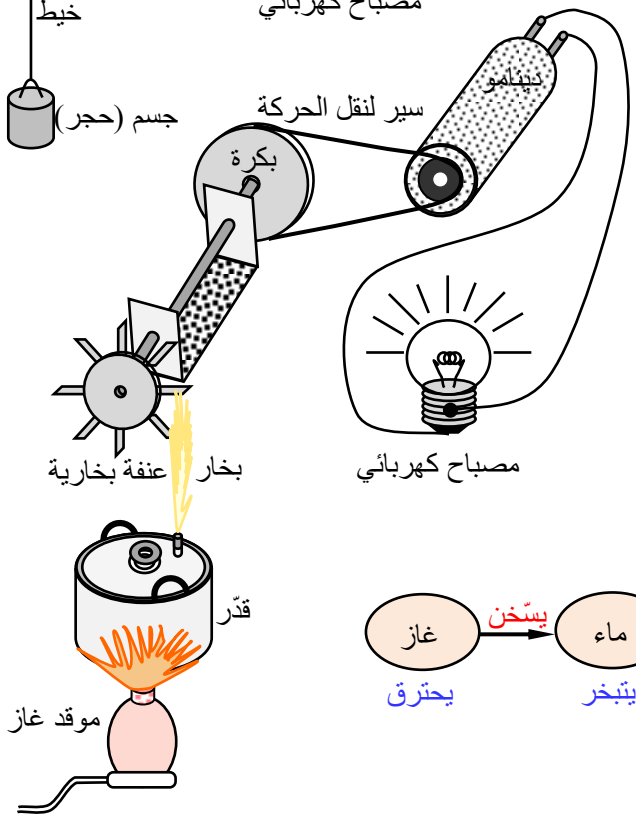


يشتعل المصباح بفعل سقوط الجسم (الحجر)



الوضعية الإشكالية (4) :
إشعال مصباح بواسطة قارورة غاز
التركيب المقترح (أنظر الشكل المقابل)

يشتعل المصباح بفعل احتراق الوقود الغازي



ـ السلسلة الوظيفية الموافقة :

السلاسل الوظيفية لباقي الإشكاليات المقترحة :

ـ 2°) تحريك عربة صغيرة بواسطة مدخرة

ـ 3°) إشعال مصباح بواسطة مدخرة

ـ 5°) إشعال مصباح بواسطة عصافة (Soufflerie)

ـ 6°) إشعال مصباح بواسطة حوض مملوء بالماء (ماء الحنفية)

2 نموذج للطاقة و انحفاظها : (1 سا + 1 سا : درس نظري)

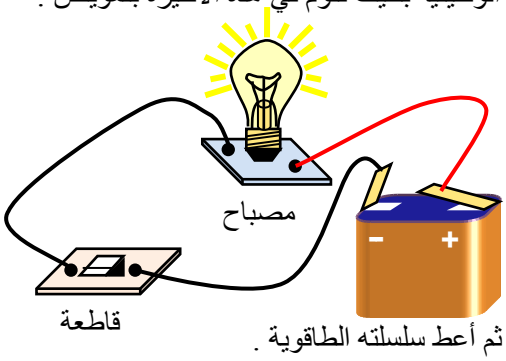
2 ـ 1°) مفهوم السلسلة الطاقوية : نطوّر النموذج المستعمل في السلسلة الوظيفية إلى نموذج آخر (الوثيقة المرفقة أدناه) يعبّر بوضوح أكثر عن مراحل الحصول على الفعل النهائي في تركيب ما ؛ إذ نربط في هذا النموذج الجديد بين **الجمل** بسلسلة تدعى : **السلسلة الطاقوية** ، تكتب فيها أسماء الجمل (**الأجسام**) ، و **أشكال الطاقة** ، و **أنماط التحويل** الموافقة .

نموذج السلسلة الطاقوية

• **ملاحظة :** لتمثيل السلسلة الطاقوية الموافقة لتركيب معين نعتمد على سلسلته الوظيفية بحيث نقوم في هذه الأخيرة بتعويض :

ـ 1°) "أفعال الأداء" بـ "أنماط التحويل" وهي أربعة أنماط :

- **ـ نمط تحويل ميكانيكي (W_m) .**
- **ـ نمط تحويل كهربائي (W_e) .**
- **ـ نمط تحويل حراري (Q) .**
- **ـ نمط تحويل إشعاعي (E_r) .**



ـ 2°) "أفعال الحالة" بـ "أشكال الطاقة" وهي ثلاث : **ـ طاقة حركية (E_c) .**
ـ طاقة كامنة (E_p) .
ـ طاقة داخلية (E_i) .

• **مثال** : مثل السلسلة الوظيفية الموافقة للتركيب الممثل بالشكل المرفق أعلاه ، ثم أعط سلسلته الطاقوية .

• **الجواب :** ـ السلسلة الوظيفية مرفقة بالسلسلة الطاقوية :

2 ـ 2°) أشكال الطاقة و أنماط تحويلها (سبل تحويلها):

2° ـ أ) أشكال الطاقة : هناك شكلان على المستوى العياني (الماكروسكوبي) ، و هما :

• **الطاقة الحركية :** هي طاقة تتعلق بحركة الجسم (الجملة) ، أي لها علاقة بسرعته(ها) في معلم معين ، و يرمز لها بالرمز (E_c) .

• **الطاقة الكامنة :** هي طاقة تتعلق بموضع الجملة (الجملة القابلة للتشوه بسبب التأثيرات المتبادلة بين الأجسام) ، و أحيانًا تعرف بـ **"طاقة الموضع"** ، و يرمز لها بالرمز (E_p) ، و نميز ثلاثة أنواع :

ـ الطاقة الكامنة الثقالية : وهي الطاقة التي يختزنها جسم نتيجة وجوده بالقرب من الأرض ، و يرمز لها بالرمز (E_{pp}) .
ـ الطاقة الكامنة المرونية : هي طاقة تتعلق بمقدار تشوه الجسم المرن (نابض ، سلك مطاطي ، ...) ، و يرمز لها بالرمز (E_{pe}) .
ـ الطاقة الكامنة الفتلية : وهي الطاقة المختزنة في جسم قابل للفتل (سلك فتل) عند تشوهه ، و يرمز لها بالرمز (E_{pt}) .

و شكل واحد على المستوى المجهري (الميكروسكوبي) و هو :

• **الطاقة الداخلية :** هي طاقة تتعلق بالحالة المجهرية للجملة أي لها علاقة مباشرة بالطاقة الحركية للجسيمات (الدقائق) المكونة لهذه الجملة و بمختلف التأثيرات بين هذه الجسيمات (تصادمات ، احتكاكات ، ...) .

2° ـ ب) أنماط تحويل الطاقة : تتحول الطاقة من جسم إلى جسم آخر أو من جملة إلى جملة أخرى وفق أربعة سبل أو أنماط مختلفة حسب الحالة :

• **تحويل ميكانيكي :** و يرمز له بالرمز W_m ، و يتحقق هذا التحويل بواسطة قوة أو مجموعة قوى عند حدوث انتقالات لنقاط تطبيق هذه القوى .

• **تحويل كهربائي :** و يرمز له بالرمز W_e ، و يتحقق هذا التحويل عندما يعبر تيار دارة كهربائية .

• **تحويل بالإشعاع :** و يرمز له بالرمز E_r ، و يحدث هذا التحويل عندما يرسل جسم أو يستقبل إشعاعًا كهرمغناطيسيًا (ضوءًا مرئيًا أو غير مرئي) بحيث لا يحتاج هذا النوع من التحويل لوجود وسط مادي لأن الإشعاع الكهرومغناطيسي بإمكانه الانتشار حتى في الفراغ

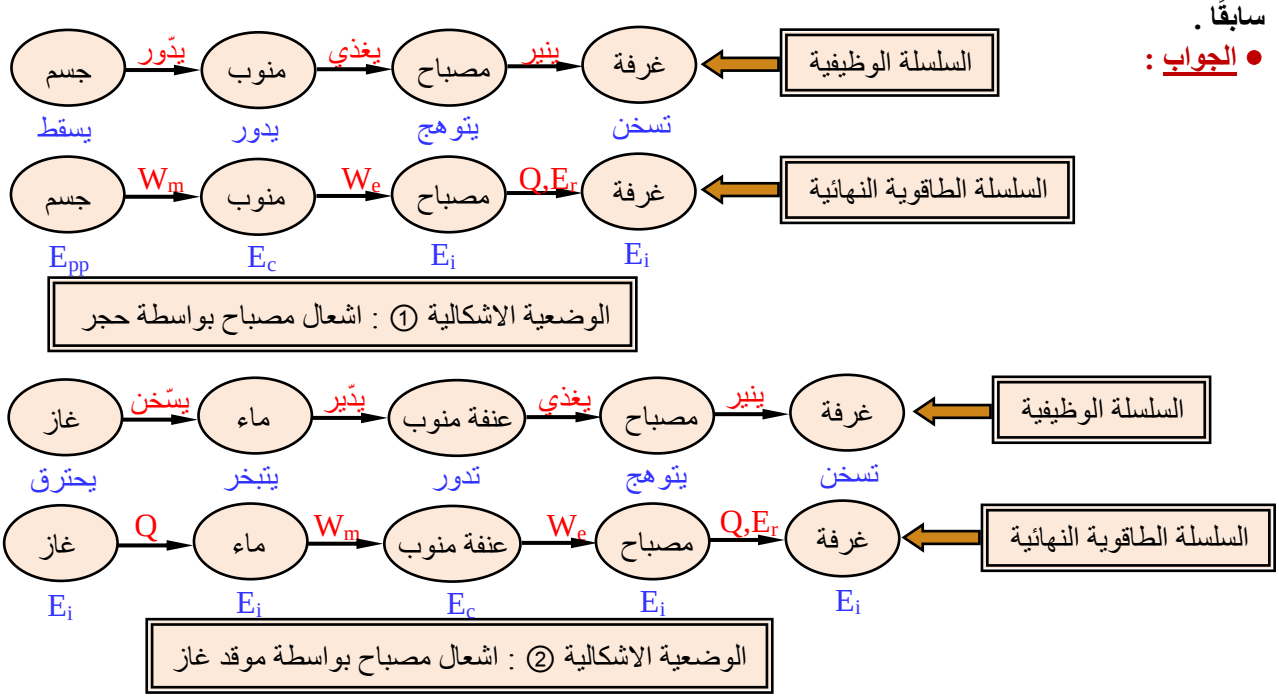
• **تحويل حراري :** و يرمز له بالرمز Q ، يحدث عادة هذا النوع من التحويل عندما تتلامس أجسام ليس لها نفس درجة الحرارة .

• **ملاحظة :** بعض أفعال الأداء و أفعال الحالة مقترنة بالتعبير العلمي المكافئ (أنظر الجدول)

أفعال الأداء		أفعال الحالة	
يُحرّك ← تحويل ميكانيكي W_m يُغذّي ← تحويل كهربائي W_e	يُسخّن ← تحويل حراري Q يُشِعّ ← تحويل اشعاعي E_r	يتقدم ، يتراجع ، يدور ، ... ← طاقة حركية E_c يرتفع ، ينزل ← طاقة كامنة ثقالية E_{pp}	يمتد ، ينضغط ← طاقة كامنة مرونية E_{pe} يسخُن ← طاقة داخلية E_i

● **الأنشطة :** أرسم السلاسل الطاقوية النهائية الموافقة للسلاسل الوظيفية التي شكلتها سلفًا و الخاصة بالوضعيتين الإشكاليتين (1) ، (4) مبينًا في كل سلسلة أسماء الجمل و أشكال الطاقة و أنماط التحويلات الطاقوية الموافقة مستعينًا بالمثال المدروس سابقًا .

● **الجواب :**



2° ـ 3°) استطاعة التحويل : تسمى غزارة تحويل الطاقة بـ **"استطاعة التحويل"** لهذه الطاقة ، لأن تحويلات الطاقة بين الجمل لا تتم بنفس الطريقة و لا بنفس السرعة ، وتشير **استطاعة التحويل** إلى الطاقة المحولة في واحدة الزمن .

إذا كانت **E** تمثل الطاقة المحولة ، و كانت **t** تمثل مدة تحويلها ، فإن **استطاعة التحويل P** تعطى بالعلاقة : $P = E / t$

حيث الوحدة الدولية للاستطاعة هي **الواط (W)** بينما وحدة الطاقة هي **الجول (J)** ، و وحدة الزمن هي **الثانية (s)** أي :

1 واط = 1 جول \ ثانية ⇔ $1\ Watt = 1\ Joule / seconde$ أو $1\ W = 1\ J.s^{-1}$.

● **ملاحظة :** عادة تقدر الطاقة بوحدة **الكيلو واط الساعي (kW.h)** حيث : $1\ kW.h = 3600\ kJ$.

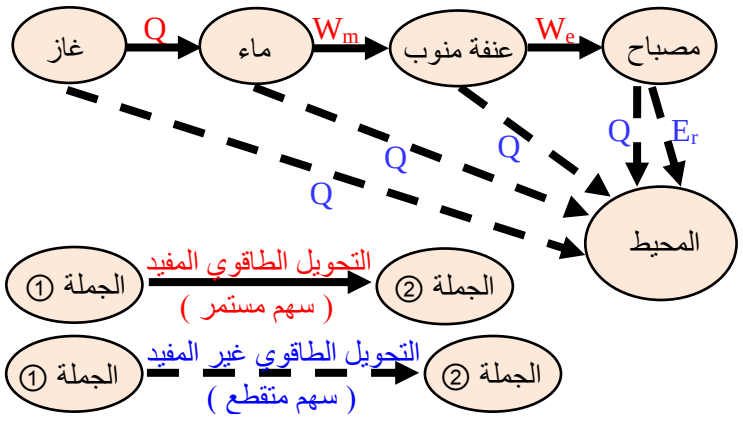
2° ـ 4°) مبدأ انحفاظ الطاقة : يفسر العلم كل الظواهر الفيزيائية و الكيميائية بواسطة مقدار يدعى **الطاقة** الذي ينتقل من جملة إلى جملة أخرى مع تغير شكله (في أغلب الحالات) و يخضع إلى **مبدأ الانحفاظ** الذي نصه كما يلي :

4°ـ أ) نص المبدأ :

> **" الطاقة لا تستحدث و لا تزول ، إذا اكتسبت جملة ما طاقة أو فقدتها ، فإنها بالضرورة أخذتها من جملة أو جمل أخرى أو قدمتها لها "**

4° ـ ب) التحويل المفيد و التحويل غير المفيد : إن مبدأ انحفاظ الطاقة لا ينطبق فقط على الطاقة المفيدة (غير الضائعة) و لكنه ينطبق على كل أشكال الطاقة بما فيها غير المفيدة (الطاقة الضائعة) ، و من أجل احترام هذا المبدأ يجب الأخذ بالحسبان تحويلات الطاقة نحو المحيط حتى و إن كانت غير معتبرة (طفيفة) مما يستوجب منا الترميز بفكرة **التفرع** للسلسلة الطاقوية .

● **مثال :** يتم إثراء الترميز الموافق للسلاسل الطاقوية كما هو موضح بالشكل المقابل بحيث يُمثَّل **التحويل الطاقوي المفيد** بواسطة **سهم متصل** و يُمثَّل **التحويل الطاقوي غير المفيد** بواسطة **سهم متقطع** كما يبينه النموذج المرفق الموالي :



4° ـ جـ) معادلة انحفاظ الطاقة :

عندما تنتقل جملة معينة من **الحالة (1)** في اللحظة t_1 إلى **الحالة (2)** في اللحظة t_2 يمكن لطاقتها أن تتغير . يكون هذا التغير ناتج عن تحويلات طاقوية متبادلة بين الجملة و الوسط الخارجي .

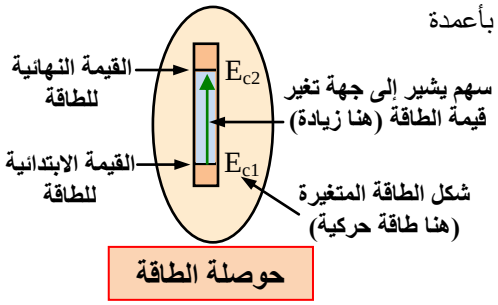
اعتمادا على مبدأ انحفاظ الطاقة تكتب معادلة الانحفاظ على النحو التالي :

الطاقة الابتدائية للجملة + الطاقة المستقبلة ـ الطاقة المقدّمة = الطاقة النهائية للجملة ⇔ $E_2 = E_1$.

● **نتائج & ملاحظات :** ـ **الطاقة المستقبلة** هي الطاقة التي تستقبلها الجملة (من الوسط الخارجي أو من جملة أخرى) خلال التحويل .
ـ **الطاقة المقدّمة** هي الطاقة التي تفقدها الجملة خلال التحويل .
ـ في حالة **التحويل الميكانيكي** تقاس هذه الطاقة بقيمة عمل القوى W_m أو في حالة **التحويل الحراري** بقيمة التحويل Q .
ـ اصطلاحا : تعدّ الطاقة موجبة إذا اكتسبتها الجملة ، و تعدّ الطاقة سالبة في الحالة المعاكسة (إذا فقدتها الجملة) .
ـ إذا كانت الجملة لا تتبادل الطاقة مع الوسط الخارجي فهذا يعني أنها لا تستقبل و لا تقدم طاقة و بالرجوع إلى معادلة الانحفاظ الطاقوي نجد : **الطاقة النهائية للجملة = الطاقة الابتدائية للجملة** وتدعى مثل هذه الجمل : **جمل معزولة طاقويًا** .

4° ـ د) الحصيلة الطاقوية :

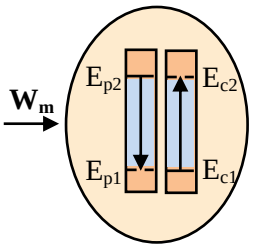
يستعمل النموذج المبين بالمثال أدناه للتعبير عن تغير الطاقة بين الحالة الابتدائية **(1)** و الحالة النهائية **(2)** حيث :
ـ نمثل رمزيًا الجسم أو الجملة بقفاعة أو حلقة .
ـ نمثل أشكال الطاقة داخل الجسم أو الجملة والتي تتغير بين حالتين (1) ، (2) بأعمدة (عمود واحد لكل شكل من الطاقة المتغيرة) مرسومة داخل القفاعة و مملوء جزئيًا . السهم داخل العمود يشير إلى جهة تغير الطاقة المخزنة .



● **ملاحظات :** 1°) يستعمل عمود واحد أو أكثر داخل القفاعة حسب عدد أشكال الطاقات المتغيرة في الجملة .
2°) في حالة عدم تغير شكل من الأشكال الثلاثة للطاقة (E_c , E_p , E_i) لا يرسم العمود الذي يمثلها .

● **مثال (1) :** يقذف طفل كرة برجله نحو الأعلى .
مثل الحصيلة الطاقوية ، و أكتب معادلة انحفاظ الطاقة في مرحلة الصعود .

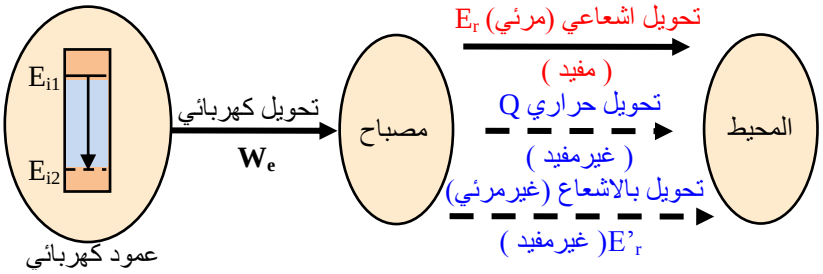
● **الحل :** نعتبر الجملة (**كرة + أرض**) بالتالي لحظة قذف الكرة تتحول طاقة من الطفل (وسط خارجي) إلى الجملة بسبيل ميكانيكي W_m . خلال مرحلة الصعود تنقص **الطاقة الحركية** E_c للجملة بالمقابل تزداد **طاقتها الكامنة الثقالية** E_p ، فإذا كانت للجملة مباشرة قبل القذف طاقة حركية E_{c1} و طاقة كامنة E_{p1}



فإن معادلة انحفاظ الطاقة تكتب كالتالي : $E_1 = E_2 \Leftrightarrow E_{c1} + E_{p1} + W_m = E_{c2} + E_{p2}$.

● **مثال (2) :** يغذي عمود كهربائي مصباح ذو سلك متوهج . مثل الحصيلة الطاقوية للتركيب الموافق بين الحالتين : بعد غلق الدارة و اللحظة التي تنخفض فيها شدة توهج المصباح ، ثم أكتب معادلة انحفاظ الطاقة للعمود الكهربائي .

● **الحل :** خلال توهج المصباح ، تنقص الطاقة الداخلية (E_i) للعمود الكهربائي بحدوث تحويل كهربائي للطاقة بين هذا الأخير و المصباح و الذي بدوره يحول الطاقة المستقبلة إلى الوسط الخارجي (المحيط) بشكل إشعاع مرئي (E_r) "طاقة مفيدة" و بشكل إشعاع غير مرئي (E'_r) و تحويل حراري (Q) "طاقة غير مفيدة" و منه



معادلة انحفاظ الطاقة للعمود الكهربائي (أنظر نموذج الحصيلة الطاقوية المرفق) : $E_{i2} = E_{i1} - W_e$.

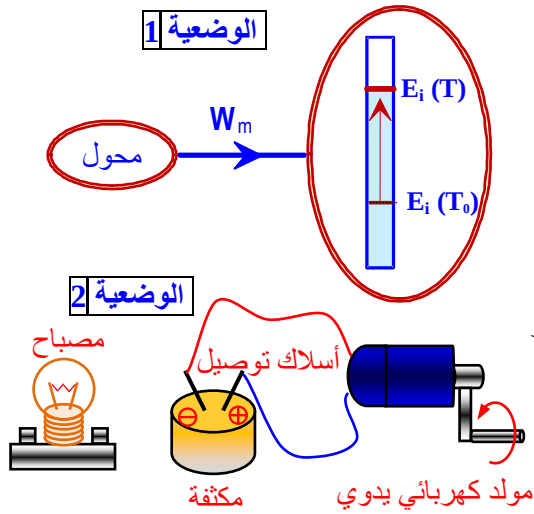
3 مقاربة للطاقة الداخلية : (2 سا ـ أ . م)

إذا قدمنا **طاقة** لجملة ما على شكل **عمل** و لاحظنا أنه لم يحدث أي تأثير على الحالة الحركية للجملة (**عدم تغير في طاقة الجملة الحركية**) أو على الارتفاع الموجودة عليه بالنسبة للأرض أو عدم تشوهها عمومًا (**عدم تغير في طاقة الجملة الكامنة**) نقول أن الجملة خزنت طاقة نسميها بـ : **الطاقة الداخلية** .

3° ـ1) وضعيات إشكالية :

● **الوضعية ـ 1) فتل سلك من الحديد بين أصابع اليد حتى ينقطع .**
الأسئلة : ـ ماهي الآثار الملاحظة على سلك الحديد ؟ ترتفع حرارة السلك بتخزينه **طاقة داخلية** E_i بسبيل **ميكانيكي** W_m
ـ أنجز مخططًا للطاقة يشرح الوضعية . نكتفي بالإشارة إلى التحويلات و التخزينات الأساسية ، و نرمز لدرجة الحرارة السائدة بالرمز (T_0) ..... لاحظ المخطط جانبه

● **الوضعية ـ 2) مولد كهربائي يدوي مربوط إلى مكثفة بسلكي توصيل كهربائيين :** تُشحن المكثفة في البداية ، ثم تُفصل عن المولد مع تفادي قصر دارتها و ربطها بالمصباح (الشكل)
الأسئلة : ـ ما هي الآثار الملاحظة على الجملة (**مكثفة + المولد**) ؟ ..... (تُشحن المكثفة بتخزينها **طاقة داخلية** E_i بسبيل **ميكانيكي** W_m) .

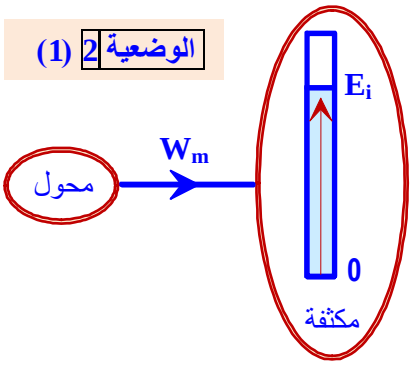


- أنجز مخططا للطاقة يشرح انحفاظ الطاقة خلال مرحلة شحن المكثفة. ..... (**مخطط الطاقة** خلال مرحلة شحن المكثفة (أنظر الشكل المرفق أدناه)) .

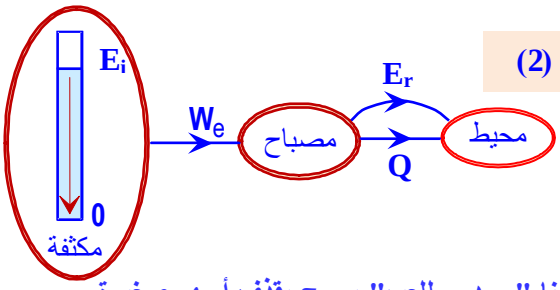
- أنجز مخططا ثان للطاقة يوافق مرحلة ربط المكثفة بالمصباح حيث الجملة هي **المكثفة** ، ثم مخطط ثالث للمرحلة نفسها لكن الجملة هي **المصباح** .

..... (بنفس الطريقة السابقة يكون لدينا في هاتين الحالتين على الترتيب :

الوضعية 2 (1)



الوضعية 2 (2)



• **الوضعية ـ 3 لدينا "مسدس للعب" يسمح بقذف أسهم صغيرة.**

الأسئلة : - ما هي الآثار الملاحظة على الجملة (**نابض+ المسدس**) ؟

- أنجز مخططا للطاقة يشرح مرحلة وضع السهم في المسدس ثم مخططا ثان للطاقة يشرح مرحلة قذف السهم وفي كل حالة، الجملة هي النابض.

- أنجز مخططا للطاقة لمرحلة قذف السهم حيث الجملة الآن هي السهم.

• **الوضعية ـ 4 لدينا محلول بارد في أنبوب اختبار وكأس بيشر به ماء ساخن جدا.**

نضع الأنبوب داخل البيشر وعن طريق محرارين ، نتابع تغير درجة الحرارة في الماء و في المحلول.

الأسئلة : - ما هي الآثار الملاحظة ؟

- أنجز مخططا للطاقة يشرح تطور المحلول ومخطط أخر يشرح تطور الماء.

- هل نواصل في تسمية التحويلات الطاقوية بين الماء والمحلول بالعمل؟

- برأيك ، هل يستمر التحويل دون قطعه ؟ وإلاّ، متى يتوقف ؟

4 **تقويم حول نموذج الطاقة :** (1 سا + 1 سا : درس نظري)

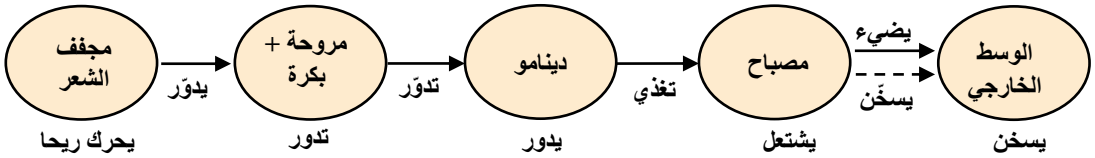
• **تطبيقات :** (أنظر التمارين المقترحة في الكتاب المدرسي ـ **ص : 28 ، 29 ، 30 ، 31**)

• **حلول بعض التمارين :**

حلول بعض التمارين (صفحة28)

التمرين 2 :

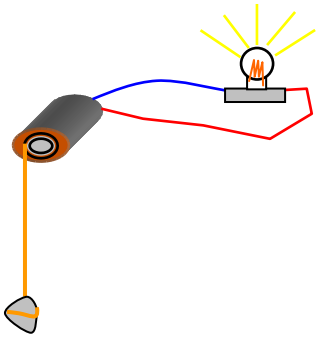
تمثيل السلسلة الوظيفية للتركيب



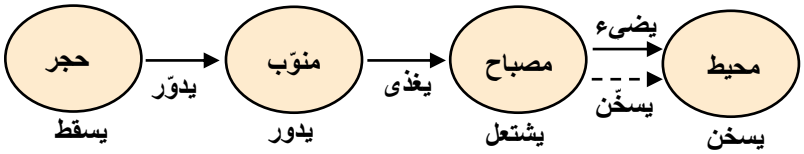
ملاحظة :

- في هذه السلسلة يمكن تمثيل المروحة والبكرة كل واحدة في فقاعة كما يمكن جمعهما أو حتى جمع الدينامو معهما وتمثيل الكل في فقاعة واحدة.

- بالنسبة لمجفف الشعر يمكن تمثيله في فقاعة وتمثيل الريح الخارج منه في فقاعة أخرى .



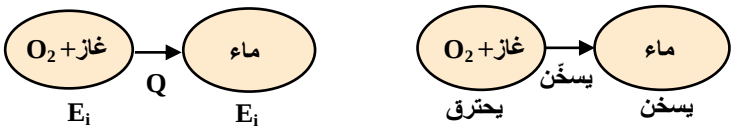
التمرين 3 : السلسلة الوظيفية الموافقة لاشتعال مصباح بفعل سقوط حجر



عندما يسقط الحجر يدوّر المنوّب (الدينامو) بواسطة الخيط الملفوف عليه ، وهذا الأخير عندما يدور يولّد تيارا يعبر الدارة الكهربائية الموجود فيها مصباح فيشتعل هذا الأخير . عند اشتعاله يبث المصباح إشعاعا يضيء المحيط (الغرفة) كما يظهر ارتفاع في درجة حرارة هذا الأخير أي يسخن .

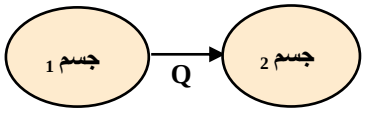
التمرين 4 :

تمثيل **السلسلة الوظيفية و الطاقوية** للتركيب :



التمرين 12 :

بما أن الجملة المكونة من الجسمين معزولة فإن الطاقة المفقودة من طرف جسم يكتسبها الجسم الآخر.تنتقل الطاقة من الجسم$_1$ مثلا إلى الجسم$_2$ بسبيل حراري **Q** .



التمرين 16 :

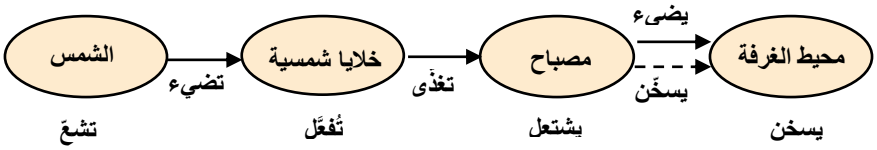
1 - الشمس تخزّن طاقة داخلية.

2 - تتحوّل الطاقة من الشمس إلى الخلايا بالإشعاع

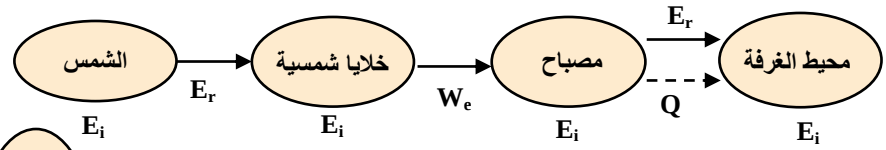
3 - تتحوّل الطاقة من المصباح إلى المحيط بنمطين : بالإشعاع وبالحرارة (المصباح يضيء ويسخّن المحيط)

السلسلة الطاقوية للتركيب

السلسلة الوظيفية :



السلسلة الطاقوية :

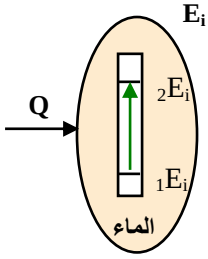


التمرين 17 :

1 - **الماء** يكتسب **طاقة داخلية** لأنه حدث تغيير في درجة حرارته .

2 - تتحول الطاقة من المقاومة إلى الماء **بالحرارة Q** (**نمط حراري**) .

3 - تمثيل **الحصيلة الطاقوية** ، نعتبر الجملة : **الماء** .



التمرين 19 :

1- يشير المؤشر إلى قيمة انضغاط النابض بوحدة الأطوال .

إذا كان هذا النابض معايرا بالنيوتن (ربيعة) فإنه يشير إلى قيمة القوة المطبقة عليه من طرف المكبس .

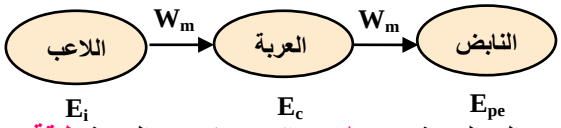
- بما أن **الطاقة الكامنة المرونية** تتعلق بمقدار **انضغاط** النابض فيمكن لهذا المؤثر أن يقيس الطاقة الكامنة المرونية ويدرج بوحدة الطاقة (**الجول**) .

2- في الحقيقة هذا الجهاز لا يقيس "قوة" اللاعب ولكن يمكن أن يعبر عن الطاقة المفقودة من طرف اللاعب .

ملاحظة :

يمكن للتلميذ أن يعود لاحقا لهذا التمرين ويحسب القوة المطبقة من طرف يد اللاعب على العربة بمعرفة المسافة التي قطعتها العربة تحت تأثير قوة اليد في حالة قوة ثابتة .

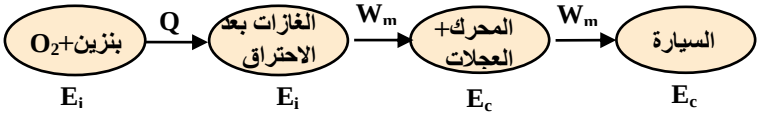
3- لشرح **التحويلات الطاقوية** نمثل **السلسلة الطاقوية للتركيب**



بدفعه العربة يفقد اللاعب **طاقة داخلية** . تتحول هذه الطاقة من اللاعب إلى العربة **بتحويل ميكانيكي** فتكتسب العربة **طاقة حركية** ثم تتحوّل هذه الطاقة الحركية إلى **طاقة كامنة مرونية** في النابض **بتحويل ميكانيكي** .

التمرين 21 :

السلسلة الطاقوية للتركيب :



التمرين 22 :

يسمح هذا التمرين بتحديد الجملة المدروسة وتعيين التحويلات والتحوّلات الطاقوية التي تحدث .

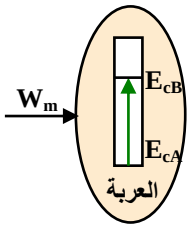
- **أشكال الطاقة**

الوضع / الجملة	A	B	C
العربة	-	E_c	-
النابض	-	0	E_{pe}
عربة + الأرض	E_{pp}	E_c	-
عربة + نابض	0	E_c	E_{pe}
عربة + الأرض + نابض	E_{pp}	E_c	E_{pe}

● **الحصيلة الطاقوية :**

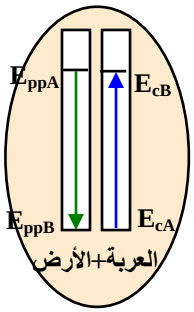
1- الجملة : **العربة**

في الوضع **A** لا تكسب العربة أية طاقة ، وعند تركها تنحدر تكتسب **طاقة حركية** ناتجة عن عمل قوة الثقل (**تحويل ميكانيكي**) .



2- الجملة: **العربة + الأرض**

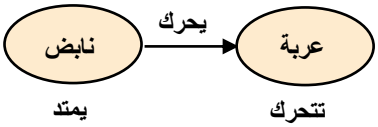
تكسب الجملة **طاقة كامنة ثقالية** في الوضع **A** وعندما تصل العربة إلى الموضع **B** تتحوّل هذه الطاقة إلى **طاقة حركية** تظهر في العربة .



ملاحظة :

- يواصل التلميذ على هذا المنوال تمثيل الحصيلة الطاقوية لكل الجمل .
- يستحسن أن نطلب منه كذلك تمثيل الحصيلة الطاقوية بين اللحظتين الموافقتين للموضعين **A** و **C** حتى يتمكن من معرفة التحويلات والتحوّلات التي حدثت .

التمرين 23 :



1 - تمثيل **السلسلة الوظيفية** للتركيب :

2 - في الحالة **2** لا تكسب العربة طاقة .

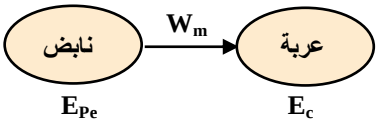
3 - نعم في الحالة **3** تكسب العربة **طاقة حركية** تتعلق بالسرعة التي اكتسبتها من النابض .

4 - يخزن النابض **طاقة كامنة مرونية** في الحالة **2** تتعلق بمقدار **الانضغاط** اكتسبها من المجرّب .

5 - نعم

6 - تتحول الطاقة من النابض إلى العربة **بتحويل ميكانيكي** .

7 - **السلسلة الطاقوية** للتركيب :



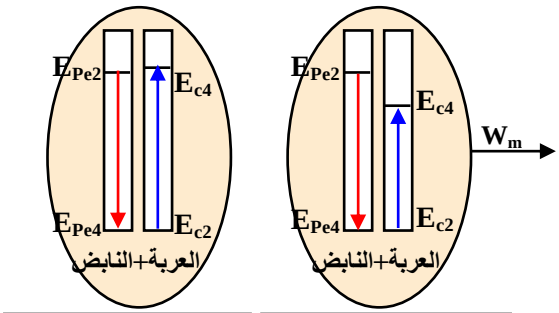
8 - تصبح **الطاقة الكامنة المرونية** للنابض معدومة حين يأخذ النابض طوله الأصلي في وضع الراحة (غير متوتر).

9 - تكون **الطاقة الحركية** للعربة **أعظمية** في هذه الحالة حيث تتحول كل **الطاقة الكامنة المرونية** للنابض إلى **طاقة حركية** للعربة .

10 - الحصيلة الطاقوية :

نعتبر الجملة (**عربة + نابض**)

الحالة **4** تمثل لحظة رجوع النابض إلى طوله الأصلي .



11 -معادلة انحفاظ الطاقة :

نعلم أن معادلة انحفاظ الطاقة تكتب على الشكل :

مجموع الطاقات الابتدائية للجملة + الطاقة المستقبلة – الطاقة المقدمة = الطاقة النهائية للجملة .

- في حالة **عدم وجود ضياع للطاقة** تكون المعادلة : $E_{pe2} = E_{c4} + E_{pe4}$

$E_{c4} = E_{pe2} - E_{pe4} = -\Delta E_{pe}$

ولكن $E_{pe4} = 0$ لأن النابض رجع إلى حالته الطبيعية إذن: $E_{c4} = E_{pe2}$

- في حالة **وجود ضياع للطاقة** تكون المعادلة : $E_{pe2} - W_m = E'_{c4}$

12 - حسب **معادلة الانحفاظ** السابقة : $E_{c4} = E_{pe2}$ فإن **الطاقة الحركية** في الوضع **4** تساوي **الطاقة الكامنة المرونية** في الوضع **2** وهذا ما يحقق السؤال **9** .

التمرين27 :

باختيار سطح الأرض **مرجعا** لحساب **الطاقة الكامنة الثقالية** ($E_{pp} = 0$) و محور التراتيب موجه نحو الأعلى :

- المنحنى **2** هو منحنى **الطاقة الكامنة الثقالية** E_{pp} لأن عندما **h** تتناقص E_{pp} تتناقص (تناسب طردي) .
- المنحنى **3** هو منحنى **الطاقة الحركية** E_c لأن عندما **h** تتناقص E_c تتزايد .

نلاحظ أنه إذا جمعنا في كل لحظة المنحنيين **3** ، **2** نحصل على المنحنى **1** ، إذن هذا المنحنى هو **مجموع الطاقتين الحركية والكامنة الثقالية** فهو يمثل ما يسمى **بالطاقة الميكانيكية** E_m وهي قيمة **ثابتة** في هذه الحالة هذا يعني أن كل الطاقة الكامنة تتحول إلى طاقة حركية ، نستنتج إذن أن الجملة **معزولة طاقويا** و طاقتها الكلية **محفوظة** .

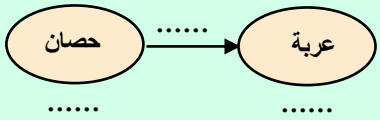
● تمارين مقترحة (للحل) :

التمرين الأول : 1°) ماهي السلسلة الوظيفية ؟

2°) صنف الكلمات التالية إلى **أسماء جمل** و **أفعال حالة** و **أفعال أداء** : **يسحب ، يتفرغ ، محرك كهربائي ، يتوهج ، جسم ، يدور ، مصباح كهربائي ، تشحن ، يغذي ، عمود كهربائي ، يتقدم ، دينامو ، مدخرة سيارة ، يسخن ، يسقط ، يُدير ، مكواة ، يُسخّن .**

3°) أكمل نموذج السلسلة الوظيفية المرفق أدناه بالكلمات المناسبة :

4°) أجب بـ **صحيح** أو بـ **خطأ** :



1ـ يغذي العمود الكهربائي المصباح الكهربائي .
2ـ تجر المقطورة الجرار .
3ـ تدير العنفة الماء لتنتج طاقة كهربائية .
4ـ الخلية الضوئية (Cellule photovoltaïque) تُشحن البطارية .

5°) اختر **أفعال الأداء** و **أفعال الحالة** الصحيحة :

1ـ عندما (**تدور\تدير**) عجلة الدراجة فإنها (**تدور\تدير**) الدينامو الذي (**يدور\يغذي**) المصباح فـ(**يتوهج\يتحرك**) .
2ـ (**تسخن\تضيء**) الشمس الخلية الضوئية التي (**تُشحِن\تُفرِّغ**) البطارية .
3ـ في محطة كهرومائية (**يرتفع\ يسقط**) الماء على العنفة فيؤدي إلى (**تدويرها\سحبها**) و بدورها هذه الأخيرة (**تدير\تسحب**) المنوب.

6°) أنجز أحد الطلبة السلسلة الوظيفية المقابلة و التي توافق اشتعال مصباح كهربائي لدراجة هوائية ، فلم يوافقه زميل له . ما رأيك ؟ علل .

التمرين الثاني : 1°) أذكر أنماط تحويل الطاقة و أشكالها .
2°) ماذا يعني التحويل المفيد للطاقة ؟
3°) متى تختزن جملة ما طاقة ؟ و متى تكتسب جملة مثلاً طاقة حركية ؟
4°) ماهي وحدة الطاقة ؟ مالقصد من مبدأ انحفاظ الطاقة ؟
5°) اختر العبارة الصحيحة :

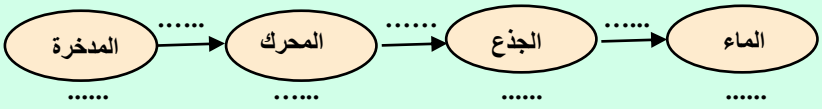
1ـ (**تتغير\لاتتغير**) طاقة سيارة عندما تتحرك على طريق منحدر .
2ـ عندما يسقط جسم على الأرض (**تزداد\تنقص**) طاقته الكامنة الثقالية .
3ـ عندما تدور عنفة تكتسب طاقة (**كامنة\حركية**) .
4ـ عندما نمدد أو نضغط نابضًا فإنه (**يكتسب\يفقد**) طاقة كامنة مرونية .

6°) أجب بـ **صحيح** أو بـ **خطأ** :

1ـ يكون التحويل ميكانيكيًا عندما نوصل عمودًا كهربائيًا بمصباح كهربائي .
2ـ عندما نشعل مصباحًا ، تكون الطاقة المحولة إليه غير محفوظة .
3ـ يحول المحرك الكهربائي كل الطاقة المقدمة له إلى طاقة مفيدة .

7°) شكل السلسلة الوظيفية الموافقة للتركيب المقترح بإكمال المخطط التالي :

ـ استنتج السلسلة الطاقوية الموافقة .



● تقويم في المجال :

① اختر الإجابة أو الأجوبة الصحيحة (نقطتان):

أ°) ـ تسمح السلسلة الوظيفية بوصف تشغيل جملة .
ـ تعبر السلسلة الوظيفية بطريقة علمية عن تشغيل جملة .
ـ يتم تشغيل جملة بواسطة السلسلة الوظيفية .
ـ لا تشتغل جملة إلا بوجود سلسلة وظيفية .

ب°) ـ الطاقة جسم يسمح بتحريك جملة .
ـ يمكن تخزين الطاقة الكامنة .
ـ العمود الكهربائي خزان للطاقة .

② أجب بصحيح أو بخطأ (نقطتان):

أ°) ـ الطاقة مقدار فيزيائي .
ب°) ـ كلما زادت مدة تحويل طاقة ، كلما انخفضت استطاعة هذا التحويل .
جـ°) ـ الواط الساعي وحدة للطاقة .
د°) ـ تعطى استطاعة التحويل بالعبارة : $P = E . t$.

③ أوجد الكلمة المناسبة و املأ الفراغ (نقطتان) :

أ°) ـ يفسر العلم اشتغال جملة بمقدار فيزيائي يسمى ..... .
ب°) ـ يمكن للطاقة أن ..... أو أن تُحول .
جـ°) ـ يحول المحرك الكهربائي الطاقة الكهربائية المتلقاة إلى طاقة تسمح بـ ..... الجملة .

د°) ـ تحول الخلية الكهرضوئية الطاقة ..... إلى طاقة كهربائية .

④ **أكمل الجدول (نقطتان) :**

الطاقة المحولة	500 J	9×10^{6} J	300 Wh	..... kJ	..... kWh	540 J
مدة التحويل	5 min 12 s	2 h	15 min	8,1 s	6 h	..... min
استطاعة التحويل	..... W	..... W	..... kW	2 kW	75 W	90×10^{-3} W

⑤ **أي طريقة تجريبية ؟ (نقطتان) :**

أ°) ـ كيف يمكن إشعال مصباح كهربائي بواسطة جسم يسقط ؟ أرسم تركيبة تسمح بذلك .

ب°) ـ نشغل عربة صغيرة (لعبة أطفال) بواسطة عمود كهربائي : ـ 1°) أرسم السلسلة الطاقوية التي توافقها .

ـ 2°) أعط نموذجًا للحوصلة الطاقوية الموافقة .

● **الإجـابة :**

① ـ أ°) تسمح السلسلة الوظيفية بوصف تشغيل جملة . ب°) ـ يمكن تخزين الطاقة الكامنة للعمود الكهربائي خزان للطاقة .

② ـ أ°) ـ الطاقة مقدار فيزيائي (**صحيح**). ب°) ـ كلما زادت مدة تحويل طاقة ، كلما انخفضت استطاعة هذا التحويل (**صحيح**) .

جـ°) ـ الواط الساعي وحدة للطاقة (**صحيح**) . د°) ـ تعطى استطاعة التحويل بالعبارة : $P = E . t$ (**خطأ : بل بالعبارة** $P = E/t$) .

③ ـ أ°) الطاقة ـ ب°) تُخزّن ـ جـ°) تحريك ـ د°) الضوئية (الإشعاعية) .

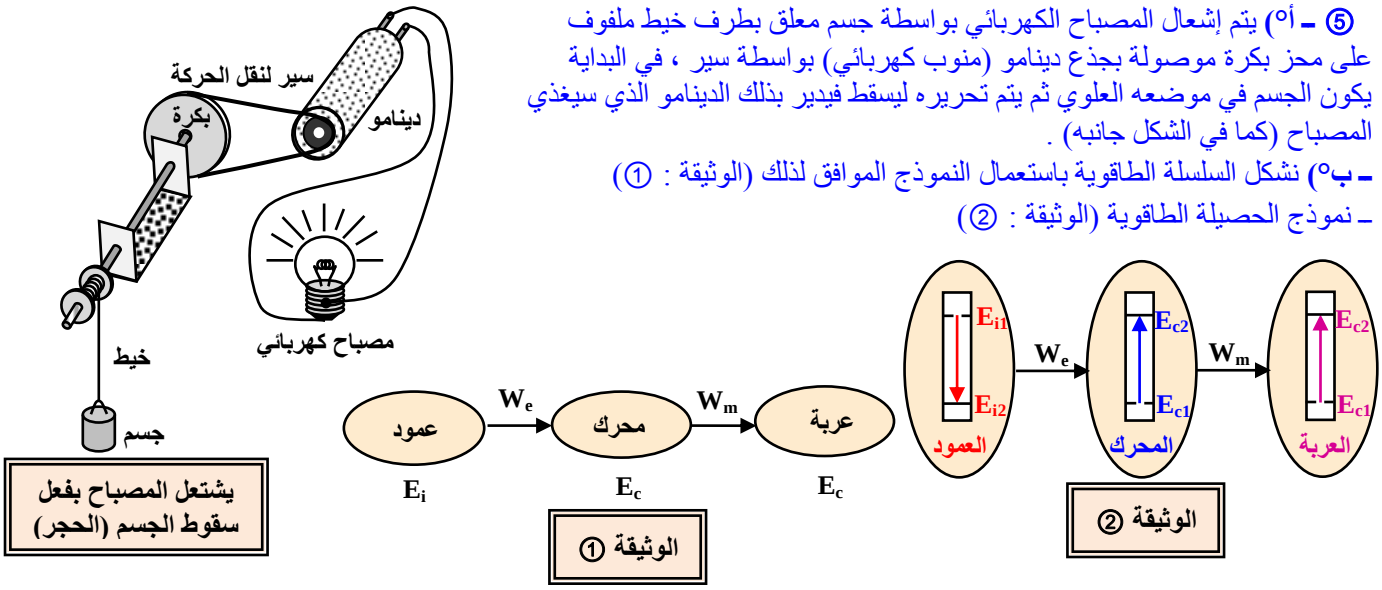
④ تكملة الجدول :

الطاقة المحولة	500 J	9×10^{6} J	300 Wh	16,2 kJ	0,45 kWh	540 J
مدة التحويل	5 min 12 s	2 h	15 min	8,1 s	6 h	600 min
استطاعة التحويل	1,6 W	1250 W	1,2 kW	2 kW	75 W	90×10^{-3} W

⑤ ـ أ°) يتم إشعال المصباح الكهربائي بواسطة جسم معلق بطرف خيط ملفوف على محز بكرة موصولة بجذع دينامو (منوب كهربائي) بواسطة سير ، في البداية يكون الجسم في موضعه العلوي ثم يتم تحريره ليسقط فيدير بذلك الدينامو الذي سيغذي المصباح (كما في الشكل جانبه) .

ـ ب°) نشكل السلسلة الطاقوية باستعمال النموذج الموافق لذلك (الوثيقة : ①)

ـ نموذج الحصيلة الطاقوية (الوثيقة : ②)



⑤ ـ **محاكاة حول درجة الحرارة** (2 سا ـ أ . م)

ـ **التحويل الحراري و التوازن الحراري**

التحويل الحراري : يحدث تحويل حراري **مفيد** داخل جملة **غير متوازنة** حراريًا من عناصر (أجسام) الجملة **الساخنة** إلى عناصرها **الباردة** ، و يتواصل هذا التحويل إلى أن تصبح الجملة **متوازنة حراريًا** ، عندها تكون لكل جسم من الجملة **نفس** درجة الحرارة النهائية ، و نقول عندئذٍ أن درجة حرارة الجملة **منتظمة** .

المركبة الحرارية للطاقة الداخلية : للطاقة الداخلية مركبات فالمركبة التي تتعلق بحركة جزيئات الجسم (درجة الحرارة) نسميها المركبة الحرارية للطاقة الداخلية . يوافق كل تغيير في درجة حرارة جسم زيادة في طاقته الداخلية .

التوازن الحراري : يحدث التوازن الحراري في جملة عندما تصبح لكل نقاط الجملة نفس درجة الحرارة .

● **مثال :**

المجال (I) : الطـاقة .

الوحـدة ② : العمل و الطاقة الحركية (حالة الحركة الانسحابية)

● **الكفاءات المستهدفة :**

ـ يعبر ويحسب عمل قوة ثابتة و الطاقة الحركية لجسم صلب في حركة انسحابية .

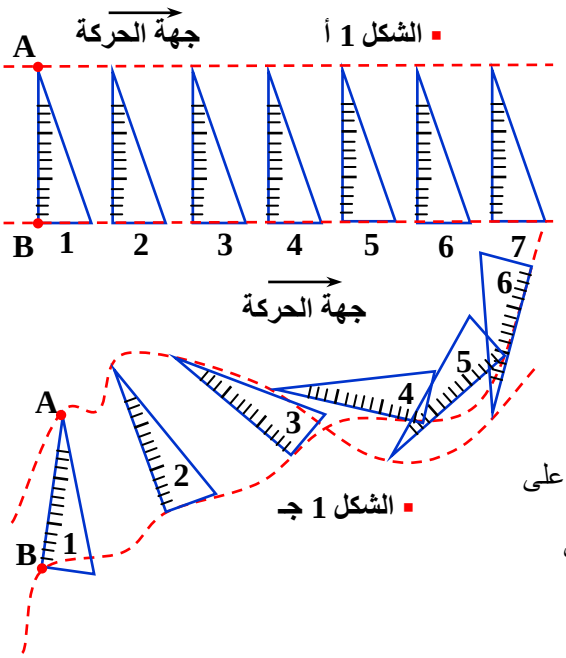
ـ يستعمل مبدأ انحفاظ الطاقة لتحديد سرعة جسم صلب في حركة انسحابية .

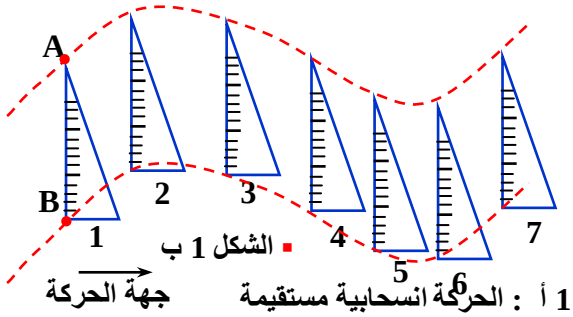
● **تذكير :**

الحركة الانسحابية لجسم صلب : في الحركة الانسحابية لجسم صلب ، يكون لكل نقطة من نقاطه نفس شعاع السرعة $\vec{v}$

نقول حينئذٍ أن للجسم الصلب سرعة $\vec{v}$.

لدراسة حركة جسم صلب في حالة انسحاب نختار نقطة كيفية منه و تعود دراسة حركة هذا الجسم إلى دراسة حركة هذه النقطة .





الشكل 1 أ : الحركة انسحابية مستقيمة

الشكل 1 ب : الحركة انسحابية منحنية

الشكل 1 جـ : الحركة ليست انسحابية

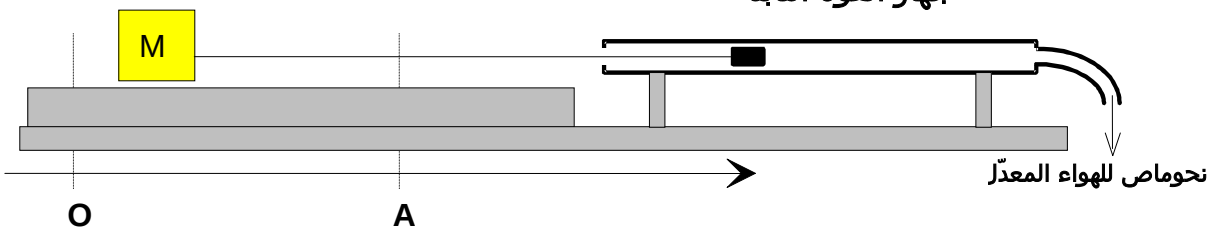
الطاقة الحركية : (2 سا ـ أ . م)

● **النشاط :**

1 ـ نستعمل جهازا ندعوه جهاز القوة الثابتة . وهو جهاز يسمح بالتأثير على حركة جسم صلب بقوة ثابتة خلال الزمن .

2 ـ نستعمل متحركا يتحرك على مستو أفقي بحيث تكون قوى الاحتكاك مهملة أمام القوة التي يؤثر بها الجهاز .

جهاز القوة الثابتة



نشغل الجهاز و نترك المتحرك **M** بدون سرعة ابتدائية من النقطة **O** .

برأيك :

1- ما هو شكل التسجيل بالتصوير المتعاقب لحركة **M** ؟ مثّل برسم وبصفة كيفية و دقيقة التصوير المتعاقب المفترض .

2- ما هي المقادير التي تتعلّق بها سرعة **M** عند النقطة **A** ؟كيف تؤثر هذه المقادير على قيمة السرعة ؟ علّل

3 ـ نريد أن نعرف كيف تتغيّر قيمة السرعة **v** للمتحرك **M** في نقطة **A** بدلالة العمل **W** الذي تنجزه القوة بين النقطتين : **O** و **A** . من بين العبارات البسيطة المحتملة التالية و التي تربط **M**،**W** و **v** حيث **a** يمثّل ثابتا يتعيّن تحديده . ما هي التي تقبلها و بالتالي تستحق أن نتحقق منها تجريبيا ؟ أحذف الباقية مع التعليل .

$W = \frac{v}{M}$ ، $W = a$ ، $W = a\left(\frac{M}{v}+v\right)$ ، $W = a\,M\,v$ ، $W = a\,M\,v^2$ ، $W = a\,M^2\,v$ ، $W = a\,M^2\,v^2$

. a

4 ـ اكتب بروتوكولا تجريبيا يسمح بالتحقق من العبارات المحتملة . (أنظر ص : 37 من كتاب التلميذ) .

● **التصديق :**

يصادق على الفرضية الصحيحة بالوصول إلى النتيجة :

السرعة المكتسبة من طرف متحرك كتلته M ، يتلقى عملا W من طرف قوة F واحدة ، مطبقة عليه ، تحقق العلاقة :

$W = \frac{1}{2} M\,v^2$.

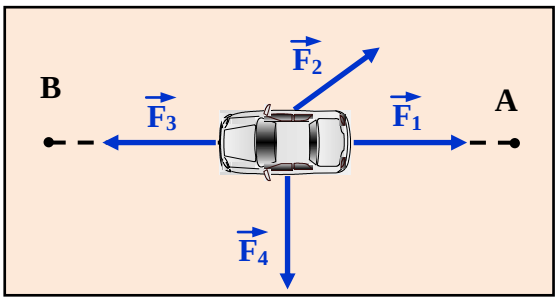
1 العمل ، العمل المحرك & العمل المقاوم ، عمل الثقل: (1سا + 1سا : درس نظري)

① ـ 1) عمل قوة ثابتة :

1 ـ أ°) مفهوم عمل قوة : يتطلب **العمل الميكانيكي** (W) دومًا **قوة** ($\vec{F}$) ، و **انتقال** ($\overrightarrow{AB}$) لنقطة تطبيق هذه القوة بين الموضعين **A** و **B** ، و عمومًا فإن : $W = \vec{F} \times \overrightarrow{AB}$ (الجداء السلمي لشعاع القوة بشعاع الانتقال) .

1 ـ ب°) عمل قوة ثابتة في حالة حركة انسحابية مستقيمة :

يمثل الشكل المقابل مساهمة أربعة أشخاص في نقل سيارة انطلاقا من السكون من الموضع **A** إلى الموضع **B** حيث يطبق كل واحد منهم **قوة متساوية الشدة : F**



1°) ماهي القوة من بين القوى الأربع التي تجعل العربة تصل إلى النقطة **B** بأقصى سرعة إذا أثرت لوحدها ؟

..... (القوة $\vec{F}_3$ لأنها تنجز أكبر عمل ممكن في نفس الزمن) .

2°) رتب القوى الأربع حسب فعالية كل منها في نقل العربة من **A** إلى **B** .

..... (لدينا مما سبق حسب مفهوم العمل : $W(\vec{F}_3) = -W(\vec{F}_1) > 0$ ؛ $W(\vec{F}_2) < 0$ ؛ $W(\vec{F}_4) = 0$ بالتالي :

$W(\vec{F}_3) > W(\vec{F}_4) > W(\vec{F}_2) > W(\vec{F}_1)$) .

3°) ماهي العلاقة من العلاقات التالية التي تُميز أحسن فعالية كل قوة و تسمح بشرح الترتيب السابق : **F.d** ؛ **F.d.cosα** ؛ **F.d.sinα** ؟ **F.d.α** ؟ حيث **α** هي الزاوية التي يصنعها شعاع القوة مع المستقيم **AB** و **d** هي المسافة **AB** .

..... (العبارة : $W_{AB}(\vec{F}) = F.d.\cos\alpha$) .

● **تعريف :** يُعرّف عمل قوة $\vec{F}$ ثابتة عندما تنتقل نقطة تطبيقها وفق مسار مستقيم **AB** بالعبارة التالية :

$W_{AB}(\vec{F}) = F.AB.\cos\alpha$ حيث : **α** هي الزاوية التي يصنعها شعاع الانتقال $\overrightarrow{AB}$ مع شعاع القوة $\vec{F}$.

يُعبر في النظام الدولي للوحدات عن المسافة(**AB**) بوحدة الطول (**المتر : m**) ، و شدة (قيمة) القوة (**F**) بوحدة (**النيوتن : N**) و بالتالي يُعبر عن العمل (**W**) بوحدة (**الجول : J**) حيث : 1Joule = 1(Newten.mètre) أي : **1 J = 1 N . m** .

● **تطبيق :** تؤثر قوة على عربة لتنقلها من **A** إلى **B** . ماهي قيمة عمل هذه القوة في الحالات التالية :

ـ القوة معدومة . ($F = 0 \Rightarrow W = 0$)

ـ القوة عمودية على مسار نقطة تطبيقها . ($\alpha = 90° \Rightarrow \cos\alpha = 0 \Rightarrow W = 0$) .

ـ الانتقال **AB** معدوم . ($AB = d = 0 \Rightarrow W = 0$) .

1 ـ جـ) العمل المحرك و العمل المقاوم :

● **نشاط (1) :** تُجر سيارة بقوة ثابتة من الموضع **A** إلى الموضع **B** .

1°ـ هل هذه القوة مساعدة أو معيقة للحركة ؟ ..... (قوة جر (قوة مساعدة)) .

2°ـ أحسب عمل هذه القوة إذا علمت أن شدتها **1000 N** ، وأن المسافة **AB** تساوي **100 m** . ..... ($W = 10^5$ J) .

3°ـ ماهي إشارة هذا العمل ؟ ..... (العمل محرك $\Leftarrow W > 0$) .

● **نشاط (2) :** يفرمل سائق سيارة سيارته فتتوقف بعد قطع المسافة **CD = 50 m** . تكافئ الفرملة قوة قدرها **500 N** في الاتجاه المعاكس للحركة .

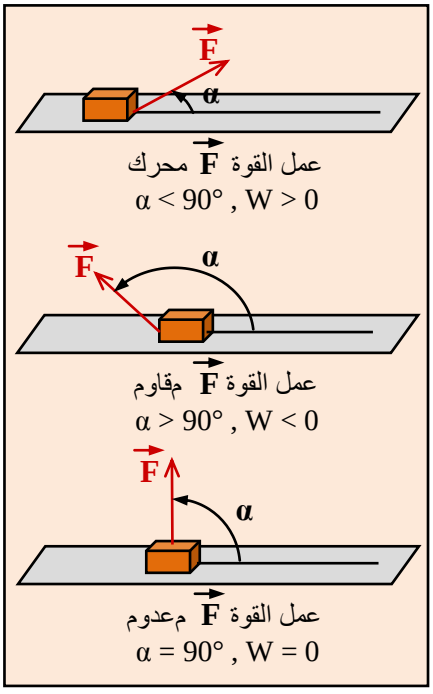
1°ـ هل هذه القوة مساعدة أو معيقة للحركة ؟ ..... (قوة كبح (قوة معيقة)) .

2°ـ أحسب عمل هذه القوة . ..... ($W = -F.CD = -500 \times 50 = 25000$ J $\Leftarrow W = 25$ kJ) .

3°ـ ماهي إشارة هذا العمل ؟..... (العمل مقاوم $\Leftarrow W < 0$) .

● **نتيجة** : استنتج بإكمال الفراغات .

تكون القوة المطبقة على متحرك في **جهة** الحركة **مساعدة** لحركته ، وتكون إشارة عمل هذه القوة **موجبة** و ندعوه عملاً **محركًا** .
تكون القوة المطبقة على متحرك في **الاتجاه** المعاكس للحركة **معيقة** لحركته ، وتكون إشارة عمل هذه القوة **سالبة** و ندعوه عملاً **مقاومًا** ..... (لاحظ الشكل) .



1 ـ د) عمل الثقل : نترك كرية تسقط شاقوليًا بدون سرعة ابتدائية من الموضع **A** إلى الموضع **S** ..... (الشكل ـ أ) .
ـ جد عبارة عمل ثقل هذه الكرية خلال السقوط .

$W_{AS}(\vec{P}) = P.AS.\cos\alpha = P.h$ حيث : $AS = h$.

ـ كيف تكون هذه العبارة إذا قذفت الكرية أفقيًا انطلاقا من نفس الموضع **A** لتسقط في الموضع **S'** ؟.....(الشكل ـ ب)
للتبسيط نُجزّئ المسار المنحني (فرع من قطع مكافئ) الذي تسلكه الكرية (تتبعه نقطة تطبيق القوة $\vec{P}$) إلى قطع صغيرة جدًا يمكن اعتبارها مستقيمة ، فيكون عمل قوة الثقل من **A** إلى **S'** هو مجموع أعمال هذه القوة وفق هذه المسارات المستقيمة " **عمل قوة ثابتة في مسار كيفي يساوي المجموع الجبري للأعمال العنصرية المنجزة من طرف هذه القوة**"
بالتالي (لاحظ الشكل ـ ب) :

$$W_{AS'}(\vec{P}) = \sum \delta W(\vec{P}) = P.AC.\cos\alpha_1 + P.CE.\cos\alpha_2 + P.EG.\cos\alpha_3 + \ldots$$
$$= P.AB + P.BD + P.DF + \ldots = P(AB + BD + DF + \ldots) = P.AS' = P.h .$$

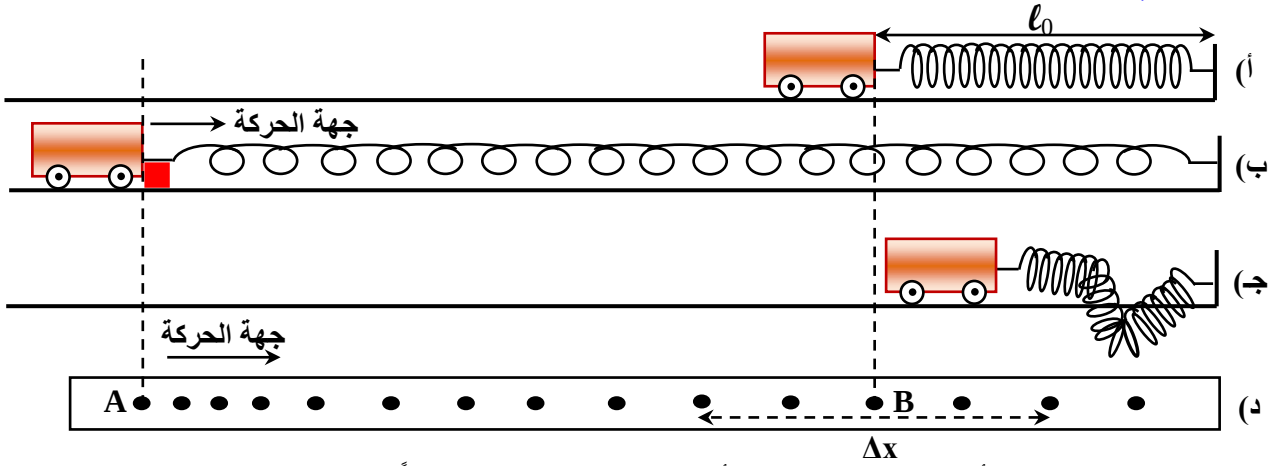
ـ هل تتغير عبارة عمل الثقل لو تدحرجت الكرية على مستوٍ مائل من **A** إلى **S'** ؟
يبقى العمل محفوظ و لا تتغير عبارته ، وإنما الذي يتغير في هذه الحالة القوة التي تنجز هذا العمل من $\vec{P}$ إلى $\vec{P}\sin\alpha$.
ـ ماذا تستنتج من هذه الحالات الثلاث ؟
نستنتج من الحالات الثلاث السابقة عمومًا :
عمل الثقل لا **يتعلق** بالطريق **المتبع (المسلوك)** من طرف المتحرك ، بل يتعلق بـ **شدة** الثقل و **الفرق** في الارتفاع **h** بين الموضع **الابتدائي** و الموضع **النهائي** فقط أي :

$$W(\vec{P}) = P.h$$

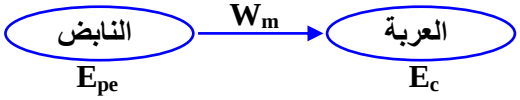
● **نتيجة** : عندما ينتقل مركز ثقل جسم من نقطة **A** الموجودة على ارتفاع z_A في معلم معين إلى نقطة **B** الموجودة على ارتفاع z_B فإن عمل ثقل هذا الجسم لا يتعلق بمسار مركز ثقله ، و إنما يتعلق بشدة الثقل و الفرق في الارتفاع $(z_A - z_B)$.
يعبر عن هذا العمل بالعبارة : $W(\vec{P}) = P.(z_A - z_B)$ ..... لاحظ الشكل المرفق .

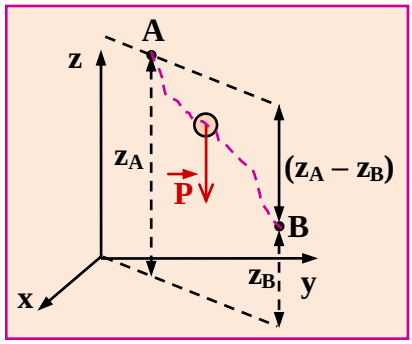
2 العمل و الطاقة الحركية :

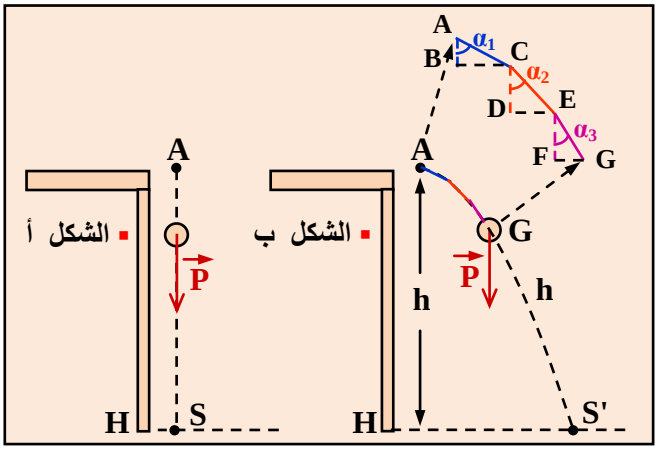
② ـ 1) مقاربة أولية لعبارة الطاقة الحركية :



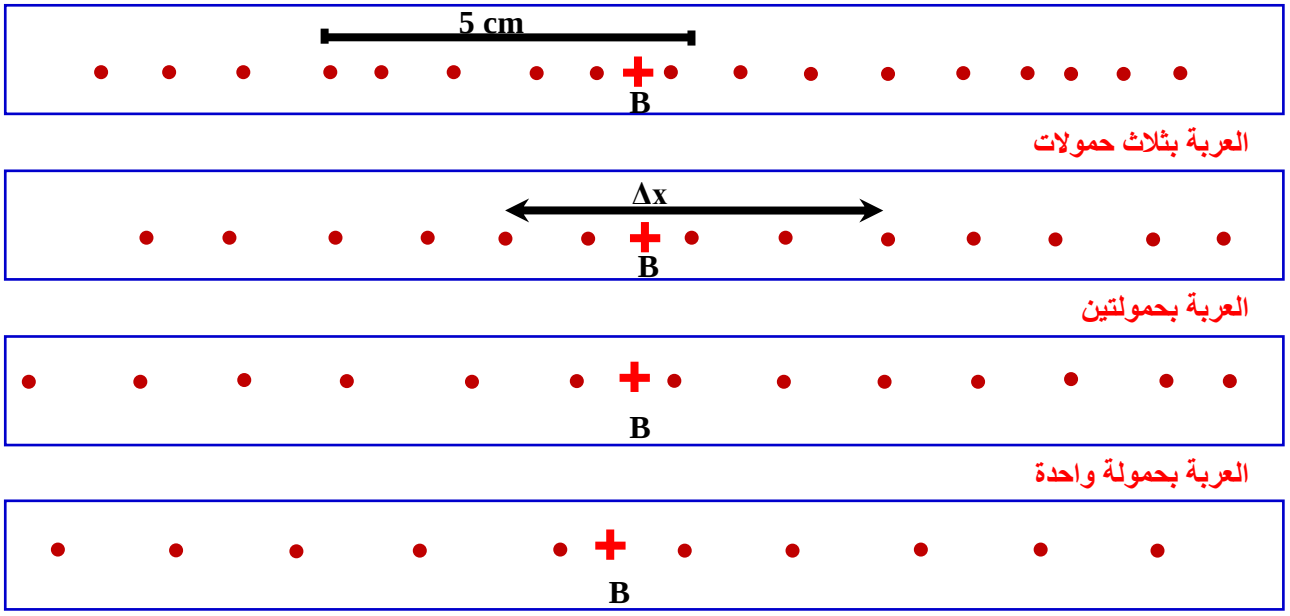
نربط عربة بنابض (الشكل ـ أ) ، ثم نسحبها على مستو أفقي حتى يصبح النابض مستطالاً كفاية (في حدود مرونته) ، ثم نضع أمامها حاجزًا أو نمسكها باليد (الشكل ـ ب) . نحرر العربة في لحظة معينة مع أخذ صور متعاقبة خلال حركتها .
يمثل (الشكل ـ د) نموذج لتسجيل حركة العربة حيث المجال الزمني الفاصل بين تسجيلي نقطتين متتاليتين هو $(\tau = 0{,}01\ s)$.
نُعلّم على الشريط النقطتين **A** و **B** الموافقتين لموضع انطلاق العربة و موضع العربة حيث يكون النابض في طوله الأصلي l_0 (وضع الراحة : الشكل أ)
ـ في الموضع **A** : هل تكسب العربة طاقة ؟ هل يُخزّن النابض طاقة ؟ ..... (العربة لا ، لكن النابض يُخزّن **ط . ك . مرونية** E_{pp}) .
ـ في الموضع **B** : هل تكسب العربة طاقة ؟ إذا كان الجواب بنعم ، من أين اكتسبتها ؟ ..... (نعم ، طاقة حركية E_c اكتسبتها من النابض بسبيل ميكانيكي W_m) .







نكرر نفس التجربة بتحميل العربة بحمولة واحدة ، ثم بحمولتين اثنتين ، ثم بثلاث حمولات و يُسحَب النابض إلى نفس الاستطالة في كل مرة . الشكل المرفق الموالي يبين التسجيلات المتحصل عليها :



● أشرطة التسجيل بجوار النقطة B

نقيس على أشرطة التسجيلات المعطاة في الشكل أعلاه قيم المسافات Δx المقاسة باختيار أربعة مجالات بجوار النقطة **B** .

ـ أحسب سرعة العربة في الموضع **B** في مختلف الحالات وأكمل الجدول التالي :

كتلة العربة M (kg)		Δx (m)	سرعة العربة v (m/s)	$M^2 v$	M v	$M v^2$
عربة بدون حمولة	0,276	0,066	$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{4\tau} = 1,65$	0,125	0,455	0,75
عربة بحمولة واحدة	0,376	0,055	1,41	0,199	0,530	0,75
عربة بحمولتين	0,476	0,050	1,25	0,283	0,595	0,75
عربة بثلاث حمولات	0,576	0,039	0,98	0,590	0,760	0,75

لدينا في الجدول أعلاه :

$\tau = 0,01\ s \Leftarrow 4\tau = 0,04\ s$ ؛ $m = 0,276\ kg$: كتلة العربة بدون حمولة ؛ $m' = 0,100\ kg$: كتلة الحمولة

بالتالي كتلة الجملة (العربة محمّلة) : $M = m + m'$.

ـ في الموضع **A** :

● ما هو شكل طاقة الجملة المكونة من العربة و النابض ؟ .....(النابض متوتر و العربة ساكنة ⇐ طاقة الجملة **كامنة مرونية** E_{pe}) .

● هل طاقة الجملة متساوية في الحالات الأربع ؟ علل . .....(نعم ، لأنها تتعلق بمقدار تشوه النابض (استطالته) و هي نفس الاستطالة في جميع الحالات) .

ـ في الموضع **B** :

● ما هو شكل طاقة الجملة ؟ علل . .....(**طاقة حركية** E_c لأن النابض غير متوتر في الموضع **B** ، ويحوِّل كل الـ **ط . ك المرونية** E_{pe} إلى **طاقة حركية عظمى** E_c للعربة) .

● هل طاقة الجملة متساوية في الحالات الأربع ؟ علل . .....(نعم ، لأن الـ **ط. ك. المرونية** للنابض هي نفسها وتتحول كلية إلى **ط.حركية** للعربة و بنفس المقدار في الحالات الأربع) .

● ما هو نمط التحويل الطاقوي الذي حدث بين النابض و العربة ؟ ..... (W_m نمط تحويل ميكانيكي) .

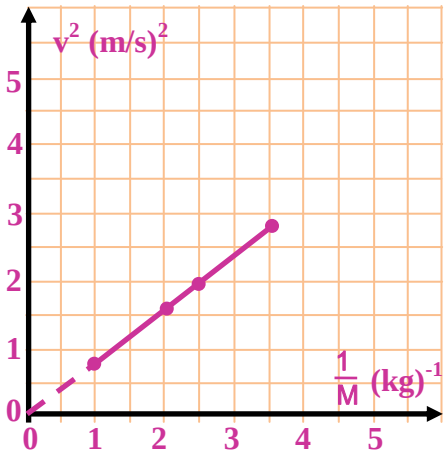
● هل قيمة هذا التحويل هي نفسها في كل تجربة ؟ علل . .....(نعم ، لأن هذا النوع من التحويل يتعلق بعمل قوة توتر النابض و هذا الأخير هو نفسه في جميع التجارب) .

● كيف تتغير سرعة العربة في الموضع **B** عندما تزداد كتلة الجملة $M = m + m'$ ؟ .....(بما أن : **ثابت** $= E_c$ كما أسلفنا فإن سرعة الجملة **v** تتناسب عكسًا مع كتلتها $M = m + m'$) .

● ماهي العبارة من العبارات الثلاث المقترحة (Mv^2 , Mv , M^2v) التي تناسب التحويل الذي حدث في الجملة في مختلف الحالات ؟ .....(العبارة : $Mv^2 = C^{te} = 0,75\ J$ .....(لاحظ جدول القياسات)) .

● تحقق من نتيجة السؤال السابق برسم بيان تغيرات مربع السرعة v^2 بدلالة تغيرات مقلوب الكتلة ($\frac{1}{M}$) .

..... (البيان : $v^2 = f\left(\frac{1}{M}\right) \Leftarrow v^2 = C^{te} \cdot \frac{1}{M}$ حيث : $Mv^2 = C^{te} = 0,75\ J \Leftarrow C^{te} = 0,75\ J$ ، أنظر البيان المرفق أدناه) .



● **نتيجة** : استنتج بإكمال الفراغات :

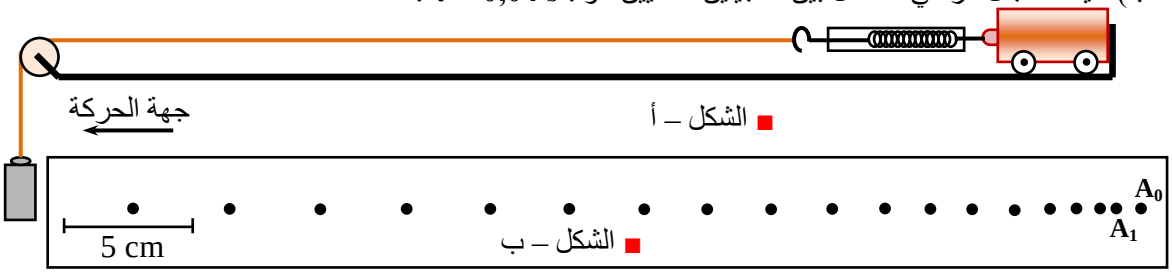
تتعلق الطاقة الحركية لجسم متحرك بـ **سرعته** و **كتلته** ، وتتناسب طردًا مع المقدار Mv^2 ، وتكون عبارتها من الشكل : $E_c = K_c\ Mv^2$ حيث : K_c قيمة ثابتة تمثل معامل التناسب .

● **تحديد الثابت K_c :**

لتحديد الثابت K_c نقوم بالتجربة التالية :

يجر جسم عربة كتلتها $M = 0,60\ kg$ بواسطة خيط عديم الإمتطاط مرتبط بربيعة تطبق هذه الأخيرة قوة ثابتة على العربة (قوة ثقل الجسم المعلق) ، فتنسحب العربة على مستو أفقي (لاحظ الشكل ـ أ) .

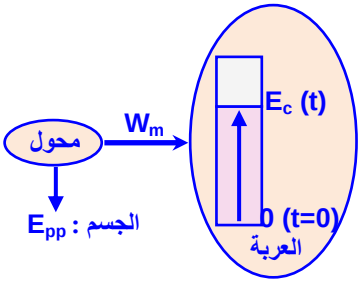
ندرس حركة العربة باستعمال التصوير المتعاقب ، فنحصل على التسجيل الممثل في (الشكل ـ ب) حيث المجال الزمني الفاصل بين تسجيلين متتاليين هو : $\tau = 0,04\ s$.



الجزء أ :

● 1°ـ مثل الحصيلة الطاقوية للعربة بين الانطلاق و لحظة كيفية . ..... (لاحظ الشكل) .

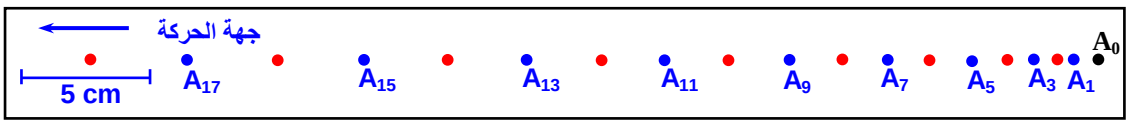
● 2°ـ بتطبيق مبدأ إنحفاظ الطاقة تحقق أن معادلة إنحفاظ الطاقة تكتب بالشكل : $W = E_c$ حيث W يمثل عمل القوة خلال انتقالها و E_c الطاقة الحركية للعربة ($E_c = K_c\ Mv^2$) .



..... (اعتمادا على نموذج الحصيلة الطاقوية جانبه و بتطبيق مبدأ إنحفاظ الطاقة نكتب معادلة انحفاظ الطاقة كالتالي : $W = E_c = K_c\ Mv^2 \Rightarrow E_0 = E$) .

الجزء ب :

● 1°ـ رقم مواضع العربة على شريط التسجيل (A_0 , A_1 , A_2 , ...) .



● 2°ـ أحسب سرعة العربة في المواضع A_2 ، A_4 ، A_6 ، ...

..... (لدينا بالتعريف في الموضع A_2 مثلاً : $v_2 = \frac{A_1A_3}{2\Delta t} = \frac{1,6}{0,08} = \frac{d}{2\tau} = 20\ cm/s \Rightarrow v_2 = 0,2\ m/s$

بنفس الطريقة تُحسب بقية السرعات فنجد : $v_4 = 0,3\ m/s$, $v_6 = 0,4\ m/s$, $v_8 = 0,5\ m/s$, $v_{10} = 0,6\ m/s$) .

● 3°ـ تحقق من أن القوة المطبقة على العربة ثابتة بحساب شعاع تغير السرعة $\overrightarrow{\Delta v}$.

..... (نعلم أن خصائص $\vec{F}$ من خصائص $\overrightarrow{\Delta v}$ بالتالي : $\overrightarrow{\Delta v_3} = \vec{v}_4 - \vec{v}_2 = 0,1\ \vec{\imath}$ حيث $\vec{\imath}$ شعاع الواحدة على المحور

بنفس الطريقة نجد : $\overrightarrow{\Delta v_3} = \overrightarrow{\Delta v_5} = \overrightarrow{\Delta v_7} = \overrightarrow{\Delta v_9} = 0,1\ \vec{\imath}$ و منه : **القوة المطبقة ثابتة** لأن **شعاع تغير السرعة ثابت**) .

● 4°ـ أحسب المسافات d_i الموافقة لانتقالات العربة من نقطة الانطلاق A_0 إلى الموضع المعتبر A_i .

..... (بالتعريف : $d_i = A_0A_i \Leftarrow d_2 = A_0A_2$ ، $d_4 = A_0A_4$ ، $d_6 = A_0A_6$ ، $d_8 = A_0A_8$ ، $d_{10} = A_0A_{10}$ ...

(أنظر الجدول المرفق لاحقًا)) .

● 5°ـ أحسب عمل القوة الموافق لهذه الانتقالات ، علمًا أن الربيعة تشير إلى القيمة $0,67N$ خلال حركة العربة .

..... (القوة ثابتة $\Leftarrow W_i = F.d_i.\cos\alpha_i$ ، $\cos\alpha_i = 1$ لأن : $\alpha_i = 0 \Leftarrow \boxed{W_i = F.d_i = 0,67\ d_i\ (u.I)}$ لأن : $F = 0,67N$

... (أنظر الجدول)) .

● 6°ـ أحسب المقدار Mv^2 الموافق لكل موضع . ..... (لدينا : $M = 0.6\ kg$ (كتلة العربة) $\Leftarrow \boxed{Mv^2 = 0,6\ v^2\ (u.I)}$

(أنظر الجدول)) .

● 7°- دون نتائجك في الجدول التالي :

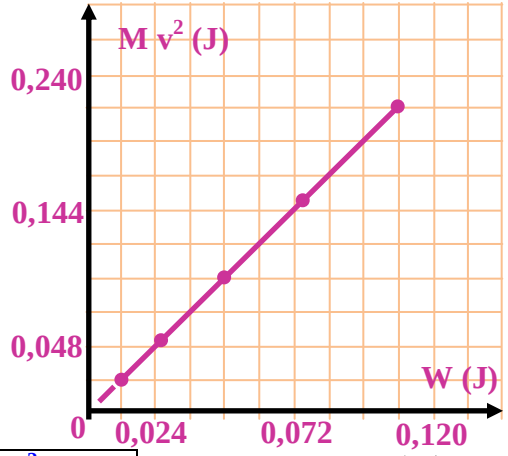
الموضع	v(m/s)	d(m)	Mv^2(J)	W=Fd(J)
2				
4				
6				
8				
10				

الموضع	v(m/s)	d(m)	Mv^2(J)	W=Fd(J)
2	0,2	0,018	0,024	0,0120
4	0,2	0,038	0,054	0,0254
6	0,2	0,070	0,096	0,0470
8	0,2	0,110	0,150	0,0737
10	0,2	0,153	0,216	0,1025

الجزء جـ :

● 1°- أرسم المنحنى الممثل لتغيرات المقدار Mv^2 بدلالة العمل W .
ماذا تلاحظ ؟

البيان : $Mv^2 = f(W)$ ⇔ علاقة خطية (تناسب طردي) .

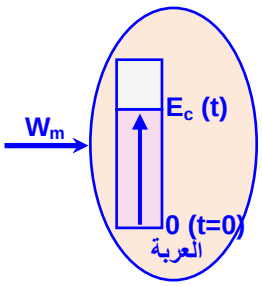


● 2°- أحسب ميل المنحنى . ..... (بيانيا : $Mv^2 = 2\,W$) . $(tg\alpha = \Delta(Mv^2) / \Delta(W) = 0{,}096/0.048 = 2 \Rightarrow$

● 3°- استنتج قيمة الثابت K_c بالاعتماد على نتائج الجزء أ . ..... (لدينا مما سبق :

ـ الجزء أ ⇔ $W = E_c = K_c\,Mv^2$.

ـ الجزء جـ ⇔ $W = \frac{1}{2}Mv^2$ ومنه : $K_c = \frac{1}{2}$ أي أن : $E_c = \frac{1}{2}Mv^2$) .



الجزء د :

● 1°- مثل الحصيلة الطاقوية للعربة بين لحظتين كيفيتين ..... (الحصيلة الطاقوية للعربة) .

● 2°- بالاعتماد على معادلة انحفاظ الطاقة ، جد العلاقة التي تربط تغير الطاقة الحركية و عمل القوى المؤثرة على العربة بين الموضعين الموافقين للحظتين المعتبرتين (تهمل قوى الاحتكاك) ..... (بناءً على حوصلة الطاقة للعربة بين اللحظتين $(t = 0)$ و (t) و حسب مبدأ انحفاظ الطاقة

نكتب معادلة الانحفاظ كالتالي : $(E(t = 0) = E(t) \Rightarrow W + 0 = E_c \Rightarrow W = E_c$.

● تعميم (مبرهنة الطاقة الحركية) : إذا كانت في البداية للجملة (العربة) طاقة حركية E_{c1} عند اللحظة الابتدائية $(t = t_1)$ و حدث تغير في طاقتها الحركية بسبيل ميكانيكي W (عمل قوى داخلية و خارجية)لتصبح في النهاية E_{c2} عند اللحظة $(t = t_2)$ فإن معادلة انحفاظ الطاقة لهذه الجملة بناءً على مبدأ الانحفاظ و الحصيلة الطاقوية للجملة تُكتب عمومًا بالشكل التالي :

$$E_1(t_1) = E_2(t_2) \Leftrightarrow E_{c1} + W = E_{c2} \Leftrightarrow E_{c2} - E_{c1} = W \Leftrightarrow \boxed{\Delta E_c = W}$$

" في معلم معين ، التغير الحادث في الطاقة الحركية لجملة بين لحظتين كيفيتين يساوي المجموع الجبري لكل أعمال القوى الداخلية و الخارجية المؤثرة على الجملة بين هاتين اللحظتين"

● **نتيجة** : استنتج بإكمال الفراغات :

ـ عندما ينسحب جسم ذو كتلة M بسرعة v ، تكون طاقته الحركية : $E_c = \frac{1}{2}Mv^2$.

ـ تغير **الطاقة الحركية** للعربة بين موضعين يساوي **عمل القوى** المؤثرة على هذه العربة بين هذين الموضعين .

● **تطبيق : ..... (التمرين المحلول ص : 44 & 45 من كتاب التلميذ) .**

يسحب جرار قاطرة بسرعة ثابتة $v = 9{,}0$ m/s مدة **ساعة و نصف** ، بواسطة حبل حيث يطبق هذا الأخير قوة $\vec{F}$ على القاطرة شدتها 15×10^3 N ، ويصنع زاوية $20°$ مع مسار القاطرة ... أنظر الشكل المرفق .

1°- أحسب الطاقة الحركية للقاطرة إذا كانت كتلتها تساوي 8×10^4 kg .

2°- أحسب عمل القوة المطبقة من طرف الحبل على القاطرة .

3°- مثل الحصيلة الطاقوية للقاطرة .

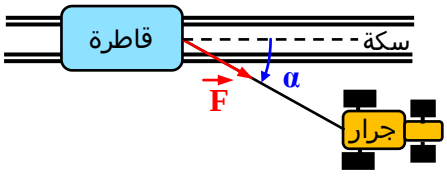
4°- استنتج عمل قوى الاحتكاك و شدتها باعتبارها تكافئ قوة وحيدة ثابتة الشدة و معاكسة لجهة الحركة .

5°- أحسب استطاعة القوة $\vec{F}$.

6°- ينقطع الحبل فجأة . اشرح ماذا سيحدث للقاطرة ؟

7°- ماذا تصبح في هذه المرحلة الحصيلة الطاقوية للقاطرة ؟

8°- استنتج المسافة التي تقطعها القاطرة .



الحل :

1°- حساب الطاقة الحركية للقاطرة : بما أن سرعة القاطرة ثابتة فإن طاقتها الحركية الانسحابية كل لحظة تُعادل القيمة :

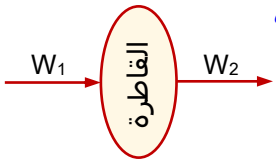
$$E_c = \frac{1}{2} Mv^2 \Leftrightarrow Ec = \frac{1}{2} \times 8 \times 10^4 \times (9{,}0)^2 = 3{,}24 \times 10^6 \text{ J} .$$

2°- حساب عمل القوة المطبقة على القاطرة : بالتعريف : $W_1(\vec{F}) = F.d.\cos\alpha$

بما أن القاطرة تتحرك بسرعة ثابتة فإن حركتها مستقيمة منتظمة ومنه : $d = v.\Delta t$ بالتالي : $W_1(\vec{F}) = F.v\Delta t.\cos\alpha$.

ت.ع : $\Delta t = 1{,}5 \times 60 \times 60 = 5400 \text{ s} \Leftarrow W_1 = 15 \times 10^3 \times 9{,}0 \times 5400 \times \cos 20° = 6{,}85 \times 10^8 \text{ J}$.

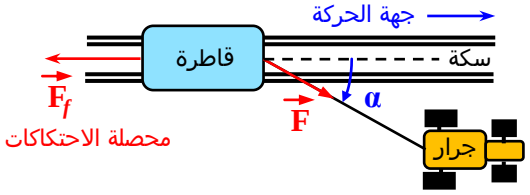
3°- الحصيلة الطاقوية : بما أن سرعة القاطرة ثابتة و لا يحدث أي تغيير في طاقتها الحركية بالتالي لا نمثل أعمدة داخل الفقاعة ، ويكون تمثيل الحصيلة الطاقوية كما في الشكل المقابل ، فالجملة (القاطرة) تستقبل طاقة بسبيل ميكانيكي محسوبة بقيمة عمل قوة جر الجرار لها W_1 وهو عمل محرك $(W_1>0)$ وتفقد هذه الطاقة المستقبلة بسبيل ميكانيكي أيضًا بسبب عمل قوى الاحتكاك W_2 وهو عمل مقاوم $(W_2<0)$.



4°- استنتاج عمل قوى الاحتكاك : حسب مبدأ انحفاظ الطاقة واعتمادًا على الحصيلة الطاقوية للقاطرة فإن معادلة الانحفاظ تكتب بالشكل : $E_{c1} + W_1 - W_2 = E_{c2}$ ، و بما أن سرعة القاطرة ثابتة فإن : $E_1 = E_2 \Rightarrow E_{c1} = E_{c2}$ ،

نستنتج أن : $W_1 - W_2 = 0$ أي أن : $W_1 = W_2 \Leftarrow 6{,}85 \times 10^8 \text{ J} = -$ W_2 (عمل مقاوم : $W_2<0$) .

شدة القوة المحصلة للاحتكاكات باعتبار هذه الأخيرة تكافئ قوة وحيدة $\vec{F}_f$ ثابتة الشدة و معاكسة لجهة حركة القاطرة هي :ـ بالاعتماد على مبدأ العطالة و حيث أن سرعة القاطرة ثابتة فإن :



(لاحظ الشكل جانبه)

$$F_f = F\cos\alpha = 15 \times 10^3 \times \cos 20° = 15000 \times 0{,}94 = 14{,}1 \times 10^3 \text{ N} .$$

أو بطريقة أخرى :ـ لدينا مما سبق : $W_2 = -F_f . d = -F_f . v.\Delta t$ حيث : $W_1 = W_2$

لأن : قوة الاحتكاك ثابتة و محمولة على المسار المستقيم لانتقال القاطرة بالجهة المعاكسة بالتالي :

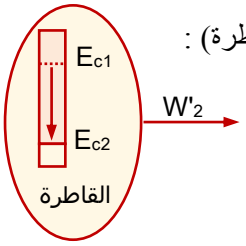
$$F_f = W_2 / (-v.\Delta t) = -6{,}85 \times 10^8 / (-9{,}0 \times 5400) = 14{,}1 \times 10^3 \text{ N}$$

5°- استطاعة القوة $\vec{F}$: بالتعريف لدينا : $P = E / \Delta t$ حيث : E تُمثل عمومًا الطاقة المحولة ، وفي حالة التحويل الطاقوي بسبيل ميكانيكي كما هو الحال بالنسبة لتجربتنا هذه فإن الطاقة المحولة تعادل عدديًا عمل القوة المطبقة أي : $E = W$ ومنه :

$$P = 125 \text{ kW} \Leftarrow P = 6{,}85 \times 10^8 / 5400 = 125 \times 10^3 \text{ Watt} \Leftarrow P = W / \Delta t .$$

6°- حالة انقطاع الحبل : عند انقطاع الحبل تخضع القاطرة لقوة الاحتكاك $\vec{F}_f$ فقط و بالإعتماد على مبدأ العطالة تكون حركتها اللاحقة مستقيمة متباطئة لتتوقف بعد قطعها لمسافة محددة d' .

7°- الحصيلة الطاقوية في المرحلة الأخيرة (منذ لحظة انقطاع الحبل حتى لحظة التوقف النهائي للقاطرة) : في هذه المرحلة تفقد الجملة طاقتها المكتسبة لحظة انقطاع الحبل بنمط تحويل ميكانيكي ناتج عن عمل قوى الاحتكاك فقط التي تبقى ثابتة طيلة الحركة ، وتكتب معادلة الانحفاظ بالشكل :



$E_{c1} - W'_2 = E_{c2}$ حيث : W'_2 هو عمل محصلة قوى الاحتكاك $\vec{F}_f$ خلال مرحلة التوقف (قطع القاطرة للمسافة : d') .

8°- استنتاج المسافة d' : بما أن القاطرة تتوقف نهائيًا في نهاية المرحلة الأخيرة بعد قطعها فرضًا للمسافة d' منذ لحظة انقطاع الحبل فإن طاقتها الحركية النهائية معدومة : $E_{c2} = 0$ وتصبح معادلة الانحفاظ الطاقوي السابقة :

$$d' = W'_2 / F_f = E_{c1} / F_f \Leftarrow E_{c1} = W'_2 = F_f.d' \Leftarrow E_{c1} - W'_2 = 0$$

ت.ع : $d' = 230 \text{ m} \Leftarrow d' = 3{,}24 \times 10^6 / 14{,}1 \times 10^3 = 230 \text{ m}$.

● **تطبيقات :** التمارين ت2 ، ت3 ، ت7 ، ت8 ، ت9 (العمل) صفحات : 46 ، 47 (كتاب التلميذ) .
ت14 ، ت16 ، ت19 ، ت24 (العمل و الطاقة الحركية) صفحات : 48 ، 49 ، 50 (كتاب التلميذ) .

● حلول بعض التمارين (صفحة46)

● **العمل :**

ـ تمرين2 :

1 - عمل قوة ثابتة : $F\,d\cos\alpha$.
2 - صحيح .
3 - عمل قوة الاحتكاك : $W = -Fd$ حيث d هو طول المسافة المقطوعة .
4 - صحيح .

ـ تمرين3:

لايمكن التعبير عن العمل بهذه العلاقة لأن قوة الثقل غير ثابتة من **A** إلى **B** ، لأن **g** قيمة الجاذبية الأرضية غير ثابتة بين **A** و **B** ، لأنها تتعلق بالارتفاع عن سطح الأرض (كلما زاد الارتفاع نقصت قيمة الجاذبية).

ـ تمرين7:

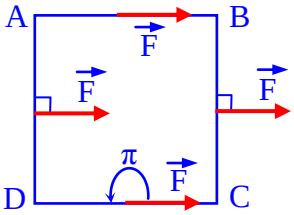
حساب شدّة القوة في كل حالة : $W = F.AB.\cos\alpha \Leftarrow F = W/AB.\cos\alpha \Leftarrow F = 100/10\cos\alpha$

$\alpha = 0° \Rightarrow F = 100/10\cos 0 = 10\ N$

$\alpha = 30° \Rightarrow F = 100/10\cos 30 = 11.5\ N$

$\alpha = 60° \Rightarrow F = 100/10\cos 60 = 20\ N$

• ملاحظة : لإنجاز نفس العمل خلال نفس المسافة ، نلاحظ أنه كلما زادت قيمة الزاوية زادت شدة القوة .



ـ تمرين8:

1- حساب عمل القوة وفق كل ضلع :

وفق الضلع **AB** : $W_{AB} = F.AB$

وفق الضلع **BC** : لأن : $\vec{BC} \perp \vec{F}$ $W_{BC} = 0$

وفق الضلع **CD** : $W_{CD} = F.CD.\cos\pi = -F\ CD$

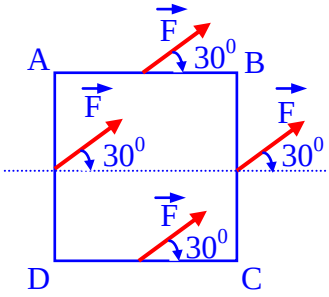
وفق الضلع **DA** : لأن : $\vec{DC} \perp \vec{F}$ $W_{DA} = 0$

2- عمل القوة $\vec{F}$ وفق المسار المغلق ABCDA يكون معدوما :

$W_{AA} = W_{AB} + W_{BC} + W_{CD} + W_{DA} = 0$

3 - نتبع نفس الخطوات عندما تصنع القوة $\vec{F}$ زاوية $\alpha = 30°$ مع القطعة المستقيمة **AB**

نجد بعد الحساب : $W_{AA} = 0$



ـ تمرين9:

حساب العمل في الحالات التالية :

1. رفع الجسم شاقوليا :

حركة الجسم مستقيمة منتظمة أي أن هناك قوة $\vec{F}$ مطبقة على الجسم في جهة الحركة بحيث مجموع القوى يساوي صفر حسب مبدأ العطالة أي أن في هذه الحالة القوة المطبقة على الجسم تعاكس مباشرة الثقل .

$W_1 = F.h = P.h = 980 \times 10 = 9800\ J$

2. سحب الجسم على طريق أفقي :

عملي القوتين $\vec{P}$ و $\vec{N}$ معدومين لأنهما عموديان على المسار

نسمي $\vec{f}$ قوة الاحتكاك . أي أننا نطبق قوة شدتها تساوي شدة قوة الاحتكاك .

$W_2 = F.d = 300 \times 10 = 3000\ J$

3. سحب الجسم على مستو مائل :

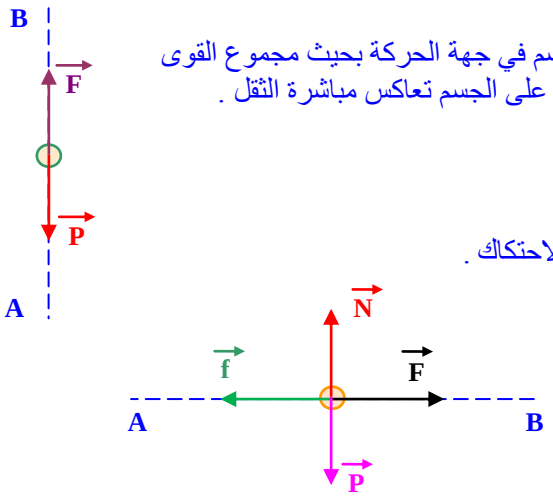
$W_3 = F.d = 980\ J$

في هذه الحالة يجب تطبيق قوة تعاكس قوة الاحتكاك و مركبة الثقل أي أن هناك عملين :

عمل قوة تعاكس قوة الاحتكاك و عمل قوة تعاكس الثقل

$W_{AB} = F.AB = f.AB + P.d$

$\therefore W_{AB} = (300 \times 10) + (980 \times 6) = 5880 + 3000 = 8880\ J = 8{,}88\ kJ$



4. استطاعة القوة في كل حالة :

نعلم أن : $P = E/\Delta t$ حيث وحدة الاستطاعة هي **الواط (W)**

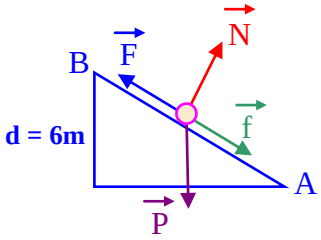
حيث : **E** هو التحويل الطاقوي و في هذه الحالة هو عمل القوة أي : $E = W$

Δt هو الزمن اللازم لإنجاز هذا العمل هنا : $\Delta t = 55\ s$

الحالة1 : $P = W/\Delta t = 9800/55 = 178{,}2\ W$

الحالة2 : $P = W/\Delta t = 3000/55 = 54{,}54\ W$

الحالة3 : $P = W/\Delta t = 8880/55 = 161{,}45\ W$



ـ تمرين14 :

1- حساب الطاقة الحركية للحجر :

باعتبار الجملة الحجر وحده ، معادلة انحفاظ الطاقة بين لحظة السقوط **1** و لحظة لمس الأرض **2** تكتب : $W_P = E_{c2}$

ومنه نستنتج الطاقة الحركية للحجر: $E_{c2} = P\,h = m\,g\,h = 60 \times 9.80 \times 40 = 23520\ J$

2- سرعة الحجر لحظة ملامسته الأرض : $\frac{1}{2} m v^2 = P\,h = m\,g\,h \Rightarrow v^2 = 2\,g\,h$

ت.ع: $v^2 = 2 \times 9.80 \times 40 = 784\ (m/s)^2 \Rightarrow v = 28\ m/s$.

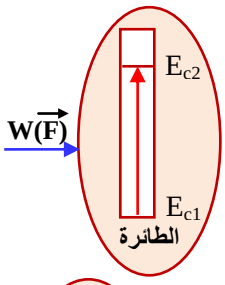
ـ تمرين16:

1- التغير في الطاقة الحركية بين الانطلاق **1** و الإقلاع **2** : $\Delta E_c = E_{c2} - E_{c1} \Rightarrow \Delta E_c = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$

بما أن السرعة الابتدائية معدومة إذن : $\Delta E_c = \frac{1}{2} \times 70 \times 10^3 \times (83{,}33)^2 - 0 = 2{,}43 \times 10^8\ J$.

2- عمل القوة المحركة : $W = F\,d = 3{,}5 \times 10^5 \times 900 = 3{,}15 \times 10^8\ J$.

3- الحصيلة الطاقوية : باعتبار : $\vec{F}$ هي القوة الوحيدة المؤثرة عل الطائرة تكتب معادلة الانحفاظ :



$W(\vec{F}) + E_{c1} = E_{c2}$

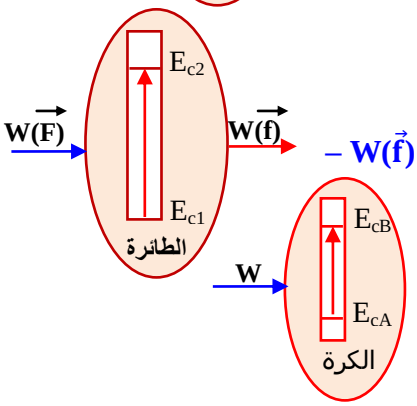
بما أن: $E_{c1} = 0$ إذن: $W(\vec{F}) = \Delta E_c = E_{c2}$.

4- بمقارنة قيمة عمل القوة $\vec{F}$ والتغير في الطاقة الحركية نلاحظ أن : $W(\vec{F}) > \Delta E_c$

نستنتج أن هناك قوة أخرى تؤثر على الطائرة وهي **معيقة** فهي قوة الاحتكاك $\vec{f}$.

فتصبح الحصيلة الطاقوية ومعادلة الانحفاظ كالتالي: $W(\vec{F}) - W(\vec{f}) = E_{c2}$

حيث عمل قوة الاحتكاك يساوي : $-W(\vec{f}) = 3{,}15 \times 10^8 - 2{,}43 \times 10^8 = 0.72 \times 10^8\ J$



ـ تمرين 19

1 - عمل الثقل لا يتعلق بالطريق المسلوك إذن :

$W_{AB} = P.h = 25 \times 1{,}8 = 45\ J \Rightarrow W_{AB} = 45\ J$.

2 - الحصيلة الطاقوية للجملة (الكرة) :

3 - معادلة انحفاظ الطاقة : $E_{cA} + W = E_{cB} \Rightarrow E_{cB} - E_{cA} = W$

4 - سرعة الكرة عند لمسها للأرض : $\frac{1}{2} m v_A^2 + W = \frac{1}{2} m v_B^2 \Rightarrow v_B^2 = v_A^2 + 2\,W/m$

$\therefore v_B^2 = 10^2 + 2 \times \frac{45}{2{,}5} = 136\ (m/s)^2 \Rightarrow v_B = 11.66\ m/s$.

ـ تمرين24

السلم المستعمل نستخرجه من الرسم : **1cm** (في الوثيقة) $\Rightarrow$ **2cm** (في الحقيقة)

1- حساب سرعة العربة : ـ في الموضع **A** : $v_A = 1{,}9 \times \frac{2}{2\tau} = 47.5\ cm/s$

ـ في الموضع **B** : $v_B = 3{,}7 \times \frac{2}{2\tau} = 92.5\ cm/s$

2 - الطاقة الحركية في هذين الموضعين : $E_{cA} = \frac{1}{2} m_1 . v_A^2 = \frac{1}{2} \times 0{,}674 \times (47.5)^2 \times 10^{-4} = 0{,}076\ J$

$E_{cB} = \frac{1}{2} m_1 . v_B^2 = \frac{1}{2} \times 0{,}674 \times (92.5)^2 \times 10^{-4} = 0{,}29 J$

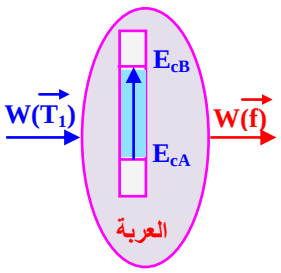
3- حساب $\vec{T_1}$:

- أولا لتبيان أن القوة $\vec{T_1}$ ثابتة نبين أن شعاع تغير السرعة $\overrightarrow{\Delta v}$ ثابت خلال الحركة، من أجل ذلك نحسب سرعة المتحرك في مختلف النقاط ثم نستنتج قيمة $\overrightarrow{\Delta v}$ نجدها تقريبا ثابتة .

إذن نستنتج أن القوة $\vec{T_1}$ المطبقة على العربة من طرف الخيط ثابتة حسب ما درسناه في السنة الماضية لأن هناك علاقة طردية بين القوة و التغير في السرعة .

ـ كيف نحسب شدة $\vec{T_1}$ ؟

لحساب شدة $\vec{T_1}$ ندرس ما هي القوى المطبقة على العربة ، نلاحظ أن الثقل ورد الفعل الناظمي هما قوتان عملهما معدوم ، تبقى إذن القوة $\vec{T_1}$ و قوة الاحتكاك $\vec{f}$ المطبقة من طرف شريط التسجيل على العربة (قوة احتكاك داخل جهاز التسجيل مطبقة على الشريط) .



الحصيلة الطاقوية ومعادلة الانحفاظ في الحالة العامة تكون :

$$E_{cB} = E_{cA} + W(T_1) - W(f)$$
$$T_1.AB - f.AB = E_{cB} - E_{cA}$$
$$AB\,(T_1 - f) = E_{cB} - E_{cA}$$
$$T_1 - f = (E_{cB} - E_{cA})/AB$$
$$T_1 - f = (0,29 - 0,076)/7 \times 10^{-2} \times 2 = 1,53\ N$$

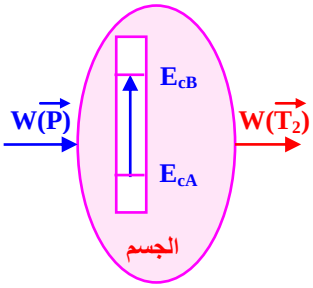
نلاحظ في هذه العبارة أنه إذا كانت قيمة $\vec{f}$ غير مهملة فلا يمكن حساب T_1 في هذا السؤال ، لذلك يجب حساب T_2 أوّلا ثم استنتاج T_1.

4- الطاقة الحركية للجسم المعلق :

بما أن الخيط غير قابل للإمتطاط فإن سرعة الجسم المعلق تساوي سرعة العربة في كل لحظة إذن :

$$E_{c2A} = \frac{1}{2} m_2.v_A^2 = \frac{1}{2} \times 0,443 \times (47.5)^2 \times 10^{-4} = 0.05\ J$$
$$E_{c2B} = \frac{1}{2} m_2.v_B^2 = \frac{1}{2} \times 0,443 \times (92.5)^2 \times 10^{-4} = 0.19\ J$$

5- حساب T_2 و مقارنتها بالثقل P :



نكتب معادلة الانحفاظ في هذه الحالة باعتبار الجملة (الجسم)

$$E_{c2B} = E_{c2A} + W(P) - W(T_2)$$
$$P.AB - T_2.AB = E_{c2B} - E_{c2A}$$
$$AB\,(P - T_2) = E_{c2B} - E_{c2A}$$
$$(P - T_2) = (E_{c2B} - E_{c2A})/AB > 0$$

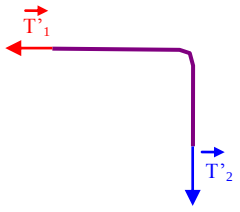
إذن P لا يساوي T_2

استنتاج قيمة $\vec{T_2}$: بالتعويض في المعادلة السابقة نجد : $T_2 = 3.3\ N$

6- مقارنة T_2 و T_1 :

ـ نحسب أوّلا قيمة $\vec{T_1}$ ومن أجل ذلك ندرس الجملة (**الخيط**) :

نعتبر الخيط مهمل الكتلة ، عديم الامتطاط والبكرة كذلك مهملة الكتلة ، يكون الخيط خلال حركته تحت تأثير قوتين (التي تعمل) هما $\vec{T'_2}$ و $\vec{T'_1}$ حيث شدّتهما حسب مبدأ الفعلين المتبادلين تكون: $T'_1 = T_1$ و $T'_2 = T_2$



معادلة انحفاظ الطاقة بين A و B بالنسبة للجملة (الخيط) :

$$W(\vec{T'_2}) - W(\vec{T'_1}) = 0 \quad \text{(لأن كتلة الخيط مهملة)}$$

وبما أن الخيط عديم الامتطاط ، تنتقل نقطتي تأثير القوتين بنفس المسافة

ومنه : $T'_2 . AB - T'_1 . AB = 0$

$$\therefore \quad T'_2 = T'_1$$

نستنتج أن : $T_2 = T_1 = 3,3\ N$ (شدّة متساوية)

يمكن كذلك استنتاج قوة الاحتكاك : $T_1 - f = 1,53\ N$

$$\therefore \quad f = T_1 - 1,53 = 3,3 - 1,53 = 1,8\ N$$

نلاحظ أن قوة الاحتكاك (القوة التي يطبقها شريط التسجيل على العربة) ليست مهملة في هذه الحالة .

● **ملاحظة** : لو كانت أداة التسجيل هي آلة التصوير مثلا لما وجدت هذه القوة .

المجال (I) : الطـاقة .

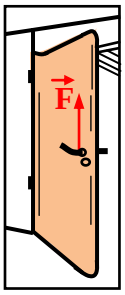
الوحـدة ③ : العمل و الطاقة الحركية (حالة الحركة الدورانية)

● الكفاءات المستهدفة :

- يعبر ويحسب عزم قوة بالنسبة لمحور الدوران .
- يعرف عزم عطالة جسم .
- يعرف أن التوازن في حالة الدوران يفسر بعزم القوة لا بالقوة نفسها .
- يحدد الشرطين العامين لتوازن جملة ميكانيكية .

1 - عزم قوة بالنسبة لمحور ثابت :

1 1) مفهوم العزم :

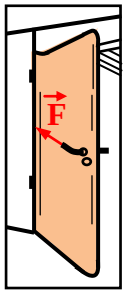


▪ الشكل – 1

نشاط ① : نعلم أن الأبواب تدور حول محور ثابت ، ندعوه **محور الدوران (Δ)** ، يمر من مفاصلها .

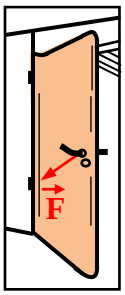
- امسك بابًا من مقبضه و طبق عليها قوة نحو الأعلى بحيث يكون حامل القوة موازيًا لمحور دوران الباب (**الشكل – 1**) . هل يدور الباب ؟ ..... (لا يدور الباب) .
- غيّر الآن اتجاه القوة بحيث يقطع حاملها محور دوران الباب كما هو مبين في (**الشكل – 2**) . هل يدور الباب ؟ ..... (لا يدور الباب) .
- كيف يجب أن يكون اتجاه القوة حتى يكون لها فعل على دوران الباب ؟

..... (حتى يدور الباب " فتحه أو غلقه " يجب التأثير عليه بقوة حاملها لا يوازي و لا يلاقي محور الدوران) .



▪ الشكل – 2

نشاط ② : ارجع إلى النشاط السابق و طبق هذه المرة قوة كيفية $\vec{F}$ على مقبضها بحيث لا يقطع حاملها محور دوران الباب و ليست موازية له (**الشكل – 3**). هل لهذه القوة أثر على دوران الباب ؟ ..... (نعم ، الباب يدور مالم يكون حامل القوة موازيًا لمحور دوران الباب أو يلاقيه) .



▪ الشكل – 3

● نتيجة استنتج بإكمال الفراغات :

حتى يكون لقوة $\vec{F}$ ، مطبقة على جسم صلب متحرك حول محور ثابت ، أثر دوراني على حركته يجب أن لا تكون هذه القوة موازية لمحور الدوران و لا يقطع حاملها هذا المحور .

نقول أن لقوة $\vec{F}$ مطبقة على جسم صلب متحرك حول محور ثابت عزم بالنسبة لهذا المحور إذا كان لها أثر على دوران هذا الجسم . نرمز لعزم قوة بالنسبة لمحور Δ بالرمز : $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta}$.

2 1) عبارة عزم قوة بالنسبة لمحور :

نشاط ① : طبق في نفس الظروف قوة عمودية على مستوى هذا الباب مرة على مقبضها و مرة في نقطة قريبة من محور دورانها

1 - هل لهذه القوة أثر على دوران الباب في كلتا الحالتين ؟ ..... (نعم ، للقوة فعل دوراني مختلف في كلتا الحالتين)
2 - هل الباب يدور بنفس السهولة ؟ ..... (يدور الباب بسهولة أكثر كلما كانت نقطة تطبيق القوة بعيدة عن محور الدوران)
3 - هل الأثر الدوراني لهذه القوة على الباب يختلف في كل مرحلة ؟ ..... (نعم ، يختلف الأثر الدوراني للقوة في كل مرحلة بحسب بعد نقطة تطبيقها عن محور دوران الباب) .
4 - مالذي تستنتجه بالنسبة لعزم القوة ؟ ..... (إذا كانت شدة القوة ثابتة فإن عزم هذه القوة "فعلها التدويري" يتعلق ببعد نقطة تأثيرها عن محور الدوران الثابت "ذراع القوة") .

نشاط ② : ارجع للباب السابق و طبق على مقبضه قوة عمودية على مستوى الباب . أعد التجربة بتطبيق في نفس النقطة قوة بنفس الاتجاه و بشدة أكبر .

1 - هل يوجد فرق في الأثر الدوراني للقوة على الباب في كل حالة ؟ ..... (نعم ، يوجد فرق في الأثر الدوراني للقوة "عزمها" بحسب شدة هذه القوة في كل حالة) .
2 - مالذي تستنتجه بالنسبة لعزم القوة ؟ ..... (يتعلق كذلك عزم القوة بالنسبة لمحور دوران ثابت بشدة القوة حيث يتناسبان طرديًا) .

نشاط ③ : ارجع للباب السابق و طبق على مقبضه قوة عمودية على مستوى الباب . أعد التجربة بتطبيق في نفس النقطة قوة لها نفس الشدة و اتجاه معاكس لاتجاه القوة السابقة .

1 - هل يدور الباب في نفس الاتجاه ؟ ..... (يدور الباب بالجهة المعاكسة لجهة دورانه السابقة عند تغيير اتجاه القوة المطبقة عليه) .
2 - هل يوجد فرق في الأثر الدوراني للقوة على الباب في كل حالة ؟ ..... (نعم ، و بالاتجاه المعاكس) .

3 - مالذي تستنتجه بالنسبة لعزم القوة ؟ ..... (نستنتج أنه توجد جهتان متعاكستان لدوران الباب يكون في احداهما عزم القوة **محركًا** نعتبره "**موجبًا**" و هي عادة الجهة المعاكسة لدوران عقارب الساعة ، بينما يكون العزم **مقاومًا** نعتبره "**سالبًا**" بالجهة المعاكسة أي بجهة دوران عقارب الساعة اصطلاحًا) .

4 - استنتج من النشاطات الأربعة مميزات عزم قوة بالنسبة لمحور ثابت . ..... (عزم قوة بالنسبة لمحور ثابت يتعلق بشدة القوة و ببعد نقطة تطبيقها عن المحور و هو مقدار فيزيائي جبري) .

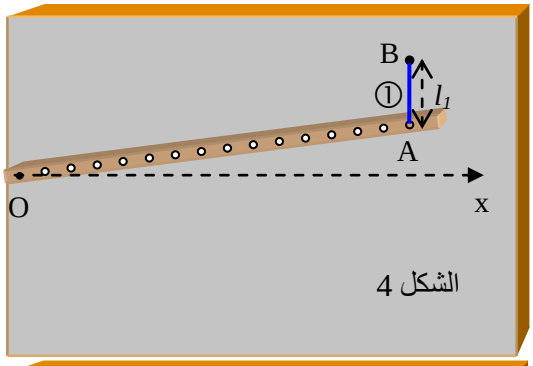
- نتيجة استنتج بإكمال الفراغات :

يتعلق عزم قوة $\vec{F}$ بالنسبة لمحور الدوران Δ حاملها لا يوازي و لا يقطع هذا المحور بشدّة و اتجاه هذه القوة و البعد العمودي بين حامل القوة و المحور Δ .

3 1) العمل التجريبي :

نشاط : الأدوات المستعملة

- خذ قضيبًا من خشب أبعاده (1 cm × 1 cm × 50 cm) تقريبًا . نهمل ثقله بالنسبة للقوى المعتبرة في هذه التجربة و اجعل فيه ثقوبًا صغيرة تسمح لك بتعليق خيوط مطاطية (أو نوابض) .
- خذ لوحًا (قطعة مسطحة) من خشب مستطيلة الشكل و غلفها بورقة بيضاء تسمح لك بتسجيل قياساتك عليها .
- اغرز في النقطة O مسمارًا يسمح للقضيب الدوران حوله و اجعل اللوح في وضع شاقولي .
- حضّر قارورة بلاستيكية معايرة (أو ربيعة) تقيس بها شدات القوى .

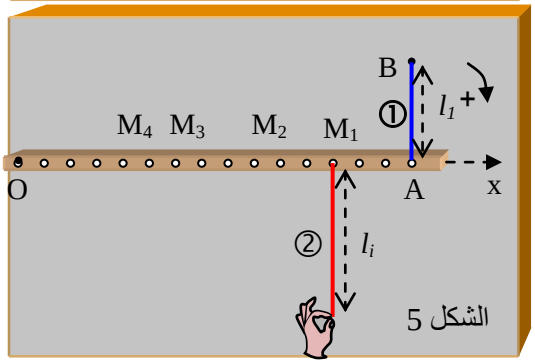


الشكل 4

العمل التجريبي :

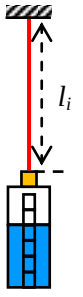
الجزء (أ) : علق القضيب بواسطة سلك مطاطي ① مربوط في النقطتين A و B (**الشكل – 4**) . علق مطاطًا آخر ② في النقطة M_1 ثم اسحبه بيدك حتى يصبح القضيب منطبقًا مع المحور الأفقي (Ox) الذي نختاره وضعًا مرجعيًا (**الشكل – 5**) . يكون المطاطان في هذه الحالة شاقوليين .

- علم على الورقة طول كل مطاط l_i و ارسم الخط الحامل له .
- أعد التجربة بتعليق المطاط ② في المواضع M_2 ، M_3 و M_4 و سجل في كل مرة طول المطاط ② ، الذي من أجله يكون القضيب أفقيًا .



الشكل 5

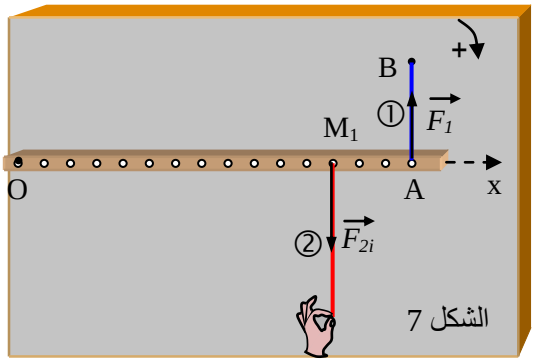
- استعمل قارورة البلاستيك المعايرة سابقًا بوحدة النيوتن (الرّبيعة) و حدّد شدة القوة الموافقة لكل طول و ذلك بملأ القارورة بالكمية المناسبة من الماء التي تجعل المطاط يستطيل بالطول المناسب l_i (**الشكل – 6**) .



الشكل 6

- أرسم على ورقة التجربة باستعمال سلم رسم مناسب القوى المطبقة على القضيب من طرف المطاطات . ..... (أنظر الشكل – 7) .
- دّون نتائجك في الجدولين التاليين و أكملهما .

l_1 (m)	F_1 (N)	OA (m)	F_1.OA (N.m)
0,35	2	0,15	0,3



الشكل 7

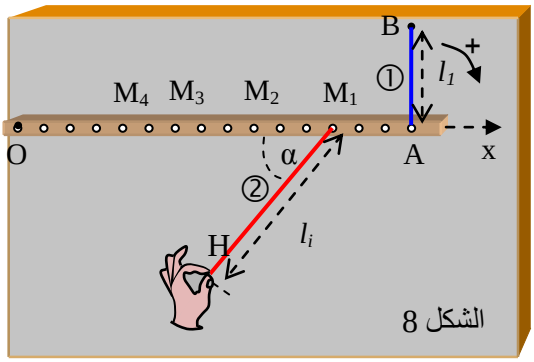
l_{2i} (m)	F_{2i} (N)	OM_i (m)	$F_{2i}.OM_i$ (N.m)
0,45	2,5	0,12	0,3
0,60	3,3	0,09	0,3
0,90	5,0	0,06	0,3
1,35	7,5	0,04	0,3

- قارن قيم جداء شدة القوة F_{2i} المطبقة من طرف المطاط ② على القضيب في البعد OM_i أي $(F_{2i}.OM_i)$. ماذا تلاحظ ؟ ..... (نلاحظ أن : $F_{2i}.OM_i \approx C^{te} = 0,3$ N.m ، في كل الحالات بالنظر إلى أخطاء القياس)
- قارن هذه القيم مع الجداء $(F_1.OA)$ المتعلق بالمطاط ① . ..... (كما هو موضح في الجدول ، نلاحظ أن $\|F_{2i}.OM_i\| = \|F_1.OA\|$)

- ما هو أثر القوة المطبقة من طرف المطاط ① على القضيب ؟ ..... (يدير المطاط① القضيب في الاتجاه المعاكس للاتجاه الموجب المختار)
- ما هو أثر القوة المطبقة من طرف المطاط ② على القضيب ؟ ..... (يدير المطاط② القضيب في نفس الاتجاه الموجب المختار)

ماذا تستنتج ؟ ..... (نستنتج أن : المجموع الجبري لعزوم القوى المطبقة على القضيب معدوم عند التوازن)

الجزء (ب) : نميل المطاط ② بحيث يصنع حامله زاوية α مع القضيب ثم نسحبه حتى يرجع القضيب إلى الوضع الأفقي المحدد (**الشكل – 8**) .



الشكل 8

- ما هي شدة القوة التي يطبقها المطاط ② في هذه الحالة ؟

..... (شدة القوة التي يطبقها المطاط ② في هذه الحالة هي :

$$(\|\vec{F}_2\| = \sqrt[2]{{F_{2x}}^2 + {F_{2y}}^2} = \sqrt[2]{(F_2\cos\alpha)^2 + (F_2\sin\alpha)^2}$$

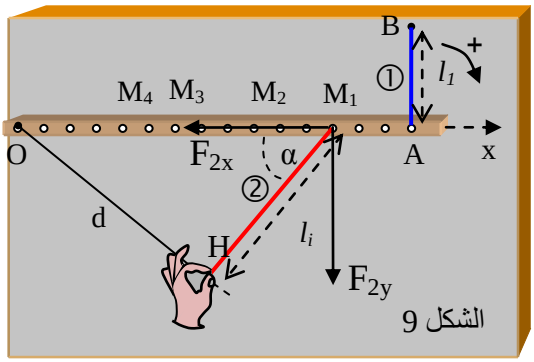
- أحسب الجداء $(F_{2i}.OM_i)$ و قارنه مع $(F_1.OA)$. ماذا تلاحظ ؟

..... (نلاحظ أن $\|F_{21}.OM_1\| = \|F_1.OA\|$)

- أرسم القوة المطبقة من طرف المطاط ② ثم حللها إلى مركبتين (أفقية و شاقولية) . بماذا تتميز كل مركبة ؟

..... (نلاحظ أن المطاط استطال أكثر مما كان عليه في الجزء(أ) . الجداء $(F_2.OM_1)$ أكبر من الجداء $(F_1.OA)$ بخلاف ما كان عليه في الجزء (أ) .

عند تحليل القوة F_2 إلى مركبتين على المحور Ox و على المحور Oy يظهر أن المركبة F_{2x} ليس لها أثر دوراني لأن حاملها يمر من محور الدوران . للمركبة F_{2y} فقط أثر دوراني على القضيب و نجد أن F_{2y} يساوي F_{21} للجزء (أ)) .



الشكل 9

- أي المركبتان لها فعل تدويري ؟ قارن قيمتها مع القيمة F_2 في الحالة السابقة . ..... (كما هو موضح على الشكل – 9 : المركبة $F_{2x} = F_2.\cos\alpha$ ليس لها فعل تدويري "عزمها معدوم" لأن حاملها يلاقي محور الدوران ،بينما المركبة $F_{2y} = F_2.\sin\alpha$ لها فعل تدويري غير معدوم ، مقداره : $\|F_{2y}.OM_1\| = \|F_2.\sin\alpha.OM_1\| = \|F_2.d\| = \|F_1.OA\|$.

الجزء (جـ) : مثل H المسقط العمودي للنقطة O على حامل القوة $\vec{F}_2$ (**الشكل – 8**) . نسمي $OH = d$ "**ذراع القوة** $\vec{F}_2$" .

- أحسب الجداء $(F_2.d)$. ماذا تلاحظ ؟ ..... (نلاحظ أن : $F_{2y}.OM_1 = F_2.d$) .
- ماذا تستنتج ؟ ..... (نستنتج أن : عزم قوة بالنسبة لمحور ثابت يساوي جداء شدتها بذراعها "البعد العمودي بين حامل القوة و محور الدوران") .

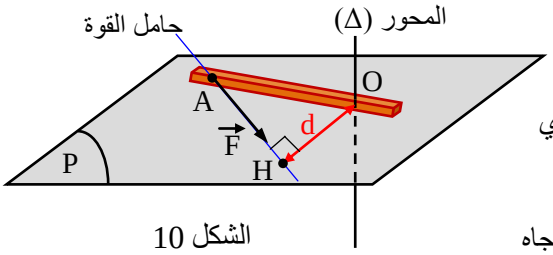
- نتيجة استنتج بإكمال الفراغات :

يحسب عزم قوة بالنسبة لمحور Δ . بجداء شدة هذه القوة في البعد العمودي d بين حامل هذه القوة و المحور Δ . و تكتب العبارة على الشكل : $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = \|\vec{F}\|.d$

بعد اختيار اتجاه موجب للدوران يكون عزم القوة موجبا إذا كانت القوة تدير الجسم في الاتجاه الموجب و يكون سالبا إذا كانت تديره في الاتجاه السالب . نكتب حينئذ عبارة عزم القوة كما يلي : $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = \pm\|\vec{F}\|.d$

في جملة الوحدات الدولية (S.I) ، يعبر عن عزم قوة بوحدة : **النيوتن × المتر (N.m)**

1 1) كيف نعيّن المسافة d ؟



الشكل 10

النقطة O هي نقطة تقاطع المحور (Δ) مع المستوى (P) العمودي على هذا المحور و الحاوي للقوة $\vec{F}$. النقطة A هي نقطة تطبيق القوة (**الشكل – 10**) . تُمثِّل المسافة d البعد بين النقطة A و النقطة H ، حيث H هو المسقط العمودي للنقطة O على حامل القوة $\vec{F}$.

1 2) تأثير عدة قوى على جسم صلب يدور حول محور ثابت :

إذا أثرت عدة قوى على جسم صلب متحرك حول محور ثابت (Δ) ، يتعلق اتجاه دوران الجسم بالتأثير الدوراني الإجمالي لهذه القوى بالنسبة لهذا المحور .

نقبل أن التأثير الدوراني الإجمالي لعدة قوى هو المجموع الجبري لعزوم هذه القوى بالنسبة للمحور (Δ) و نرمز له بالرمز : $\mathcal{M}_{/\Delta}$

أي أن : $\mathcal{M}_{/\Delta} = \mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_3/\Delta} + \ \ldots$

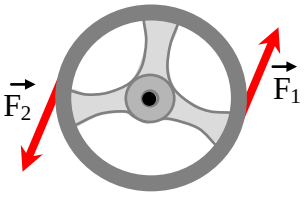
العزم مقدار جبري و إشارته تدل على اتجاه دوران الجسم :
- إذا كان العزم "موجبًا" ، يدور الجسم بالاتجاه الموجب المختار .
- إذا كان العزم "سالبًا" ، يدور الجسم بالاتجاه السالب .

2 - مزدوجة قوتين :

2-1) تعريف المزدوجة :

تدعى جملة قوتين محصلتهما معدومة (متوازيتين و متعاكستين بالاتجاه) و ليس لهما نفس الحامل مزدوجة قوتين (أو مزدوجة) .
نقتصر في هذه الدراسة على المزدوجات $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ الموجودة في المستوى العمودي على محور دوران الجسم الصلب (**الشكل – 11**) .

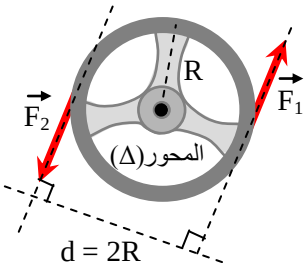
مثال : لاحظ على الشكل المقابل تأثير القوتين $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ على مقود السيارة .
تمثل هاتان القوتان : مزدوجة $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$.



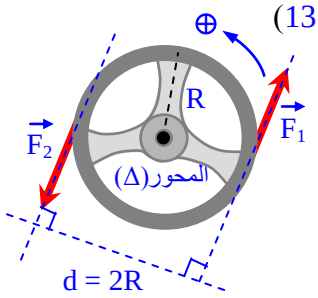
الشكل 11

2-2) عزم المزدوجة :

نشاط ① : تؤثر مزدوجة قوتين $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ على مقود سيارة نصف قطره R (**الشكل – 12**) .



الشكل 12



الشكل 13

- اختر اتجاه موجب للدوران ..... (لاحظ الشكل – 13)
- أحسب عزم القوة $\vec{F}_1$ بالنسبة لمحور الدوران .

..... $(\mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} = +\|\vec{F}_1\|.R > 0$: عزم محرك$)$

- أحسب عزم القوة $\vec{F}_2$ بالنسبة لمحور الدوران .

..... $(\mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} = +\|\vec{F}_2\|.R > 0$: عزم محرك$)$

- أحسب مجموع عزمي القوتين .

..... $\mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} = \|\vec{F}_1\|.R + \|\vec{F}_2\|.R)$

لكن بالتعريف : $\|\vec{F}_1\| = \|\vec{F}_2\| = \|\vec{F}\|$ ؛ $d = 2R$

بالتالي : $(\mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} = \|\vec{F}\|(R+R) = \|\vec{F}\|.2R = \|\vec{F}\|.d$

- استنتج عبارة عزم المزدوجة .

..... $\mathcal{M}_{(\vec{F}_1,\vec{F}_2)/\Delta} = \mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} = \|\vec{F}\|.d)$ ، حيث d يسمى "**ذراع المزدوجة**" و هو البعد العمودي بين حاملي القوتين $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$)

☒ ملاحظة : لا علاقة لعزم المزدوجة بموضع محور الدوران (Δ) بين خطي عمل القوتين .

● نتيجة استنتج بإكمال الفراغات :

يرجع حساب عزم مزدوجة قوتين $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ تؤثر على جسم صلب يدور حول محور (Δ) إلى حساب المجموع الجبري لعزمي القوتين . يتعلق عزم هذه المزدوجة بشدّة احدى القوتين و البعد العمودي بين حاملي القوتين . و تكتب العبارة على الشكل :

$$\mathcal{M}_{(\vec{F}_1,\vec{F}_2)/\Delta} = \mathcal{M}_{/\Delta} = \|\vec{F}\|.d$$

نشاط ② : تخيل أن المقود السابق يدور حول محور لا يمر من مركزه (**الشكل – 14**) .
لاحظ الأشكال الأربعة التالية ثم أتبع نفس الخطوات السابقة لحساب عزم مزدوجة القوتين اللتين تؤثران على المقود في كل حالة .

- هل يتعلق عزم مزدوجة القوتين بموضع محور الدوران ؟
- استنتج صيغة لعلاقة عزم مزدوجة .

نضع شدة كل قوة : $\|\vec{F}_1\| = \|\vec{F}_2\| = \|\vec{F}\|$

- الحالة 1:

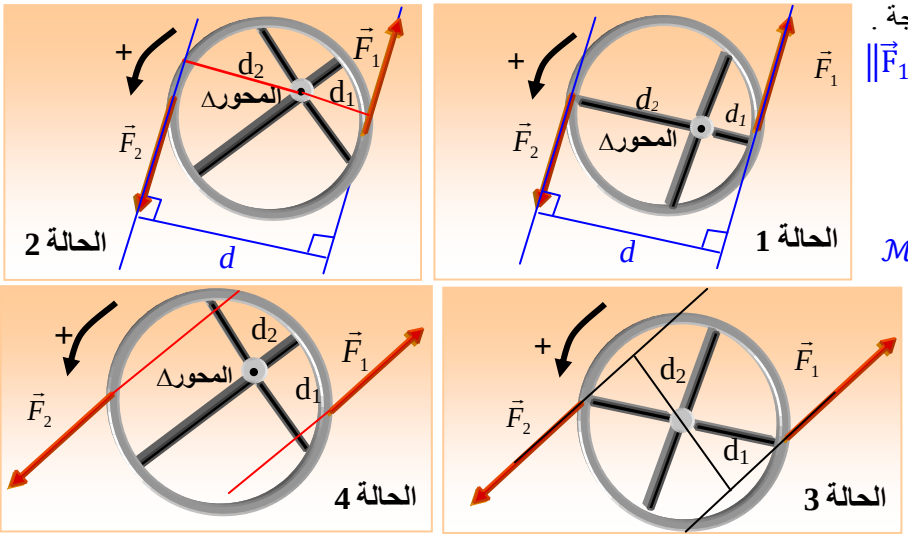
$\mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} = +\|\vec{F}\|.d_1$

$\mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} = +\|\vec{F}\|.d_2$

$\therefore \mathcal{M}_{/\Delta} = \|\vec{F}\|(d_1 + d_2) = \|\vec{F}\|.d$

- الحالات 2 ، 3 و 4 :

في كل حالة نتبع نفس الطريقة في الحساب و نجد دائما أن عزم المزدوجة يساوي جداء شدة إحدى القوتين في المسافة الفاصلة بين حاملي القوتين ولا يتعلق بموضع محور الدوران .



الشكل 14

● نتيجة استنتج بإكمال الفراغات :

لا يتعلق عزم مزدوجة قوتين موجودتين في المستوي العمودي على محور الدوران (Δ) لجسم صلب بموضع هذا المحور .
يحسب عزم المزدوجة بجداء شدة إحدى القوتين (شدة القوتين متساويتان) في البعد العمودي d بين حاملي القوتين :

$$\mathcal{M}_{/\Delta} = \|\vec{F}\|.d$$

☒ ملاحظة :

1- عندما نتكلم عن عزم مزدوجة لا نذكر المحور خلافًا عن عزم القوة التي يجب دائمًا ذكر المحور الذي يحسب بالنسبة إليه العزم

2- تدعى المسافة بين القوتين "ذراع المزدوجة" .

3 - عزم عطالة جسم صلب بالنسبة لمحور ثابت :

3-1) مركز الكتل :

تعريف : يعرف مركز كتل جملة مادية مؤلفة من مجموعة نقاط مادية كتلها : m_1 ، m_2 ، m_3 ، ... مواضعها على التوالي M_1 ، M_2 ، M_3 ، ... على أنه **مركز الأبعاد المتناسبة للنقاط M_i المرفقة بالكتل m_i** . إذا اعتبرنا موضع مركز الكتل النقطة C ،
يحسب موضعه بالعبارة التالية : $\boldsymbol{m_1.\overrightarrow{CM_1} + m_2.\overrightarrow{CM_2} + m_3.\overrightarrow{CM_3} + \cdots = \vec{0}}$

بالنسبة لنقطة O مختارة كمبدأ في مرجع معين ، تكتب العلاقة السابقة على الشكل : $\boldsymbol{\overrightarrow{OC} = \frac{\Sigma m_i.\overrightarrow{CM_i}}{\Sigma m_i}}$

3-2) مركز العطالة :

نشاط : ضع صفيحة زجاجية على طاولة ثم خذ قطعة صابون و اغرز فيها ثلاثة اعمدة صغيرة (أعواد ثقاب ، مصاصات مشروبات ، ...) في مواضع مختلفة على أن يكون أحد الأعمدة في مركز القطعة (**الشكل – 15**) .
بلّل قطعة الصابون ثم ضعها على اللوح الزجاجي و ادفعها لتتحرك عليه .

الشكل 15

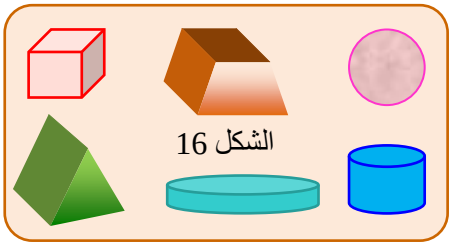
- هل لكل الأعمدة مسارات متشابهة ؟ ..... (لا يكون لكل الأعمدة مسارات متشابهة بل يكون لها مسارات عشوائية مختلفة) .
- ما هو العمود الذي له مسار خاص ؟ و ما نوع هذا المسار ؟ ..... (العمود الذي له مسار خاص هو العمود المغروز في مركز قطعة الصابون حيث يسلك مسارًا مستقيمًا و يكون للعمودين الآخرين مسارين منحنيين عشوائيين) .

نتيجة استنتج بإكمال الفراغات :

في الأجسام الصلبة التي نعتبرها مجموعة نقاط مادية ، توجد نقطة واحدة لها حركة خاصة (حركة مستقيمة منتظمة اذا كانت الجملة معزولة) ندعوها مركز عطالة الجملة أو مركز عطالة الجسم و نرمز لها عادة بالرمز C . إذا كانت الكتلة لا تتعلق بسرعة الجسم كما هو الحال في دراستنا ، ينطبق مركز العطالة مع مركز الكتل .

3-3) مركز عطالة بعض الأجسام البسيطة :

نعتبر في دراستنا حالة الأجسام الصلبة المتجانسة (**الشكل – 16**) .

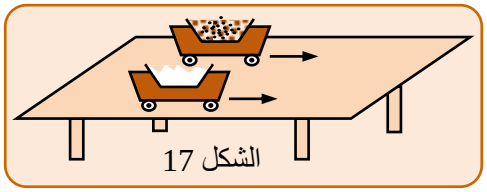

الشكل 16

1 - الأجسام الصلبة (ذات الشكل الهندسي المنتظم)التي تملك مركز تناظر يكون مركز عطالة هذه الأجسام منطبقًا مع مركز تناظرها .
2 - الأجسام الصلبة التي لها محور تناظر أو مستوى تناظر ، ينتمي مركز عطالة هذه الأجسام لمحور التناظر أو مستوى التناظر .

☒ ملاحظة : ينطبق مركز العطالة مع مركز الكتل في كل الحالات التي نحن بصدد دراستها .

3-4) عطالة الأجسام الصلبة :

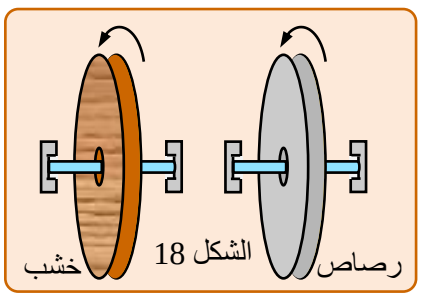
نشاط ① : خذ عربتين متماثلتين و ضع عليهما إنائين متماثلين فارغين .
إملأ أحد الإنائين بالرمل و الآخر بالصوف (**الشكل – 17**) .
ادفع بيدك العربة الأولى ثم ادفع بنفس الكيفية العربة الثانية (أي بتطبيق قوة مماثلة للحالة الأولى) .


الشكل 17

- ما هي العربة التي أحسست أنها "تسارعت" حركتها أكثر عند الاقلاع ؟ ..... (العربة المعبأة بالصوف هي التي تتسارع أكثر عند الاقلاع) .
- ما هي العربة التي أحسست أنها تقاوم أكثر تغير السرعة ؟ هل هي العربة الثقيلة أم الخفيفة ؟ ..... (الثقيلة المعبأة بالرمل) .

نشاط ② :

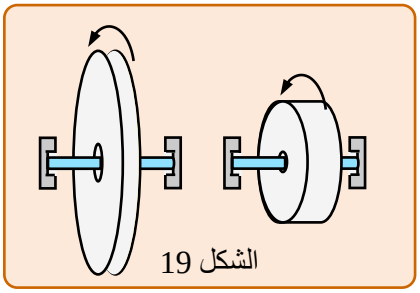
جزء أ) خذ قرصين متماثلين (لهما نفس القطر و نفس السمك) واحد من خشب و الآخر من رصاص مثلاً (**الشكل – 18**) . اجعل كل قرص يدور حول محور أفقي يمر من مركزه . طبق على حافة القرص و بنفس الكيفية قوة لها نفس القيمة تجعلهما يدوران حول هذين المحورين .



الشكل 18

- أي قرص يبدي مقاومة أكبر للأثر الدوراني لهذه القوة ؟ ..... (قرص الرصاص) .
- في رأيك بماذا تتعلق هذه المقاومة للأثر الدوراني ؟ ..... (تتعلق المقاومة التي يبديها كل قرص تجاه محاولة تدويره بمادة القرص أي بالكتلة الحجمية لمادته ، و بما أن للقرصين نفس الأبعاد (نفس الشكل و نفس الحجم) فإن هذه مقاومة الأثر الدوراني للقوة المطبقة على القرص تتعلق بكتلته) .

جزء ب) خذ كمية من الجبس ، امزجه بالماء ثم اقسمه إلى نصفين متساويين .
اصنع بهما قرصين أحدهما قطره R و الآخر قطره 2R تقريبًا (**الشكل – 19**) .
طبق على حافة كل قرص و بنفس الكيفية قوة لها نفس القيمة تجعلهما يدوران حول محوريهما .


الشكل 19

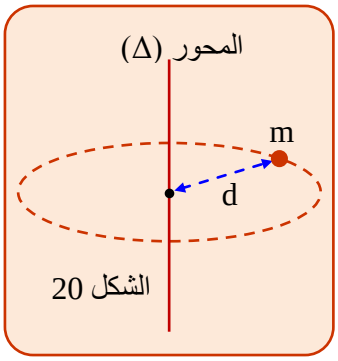
- أي قرص يبدي مقاومة أكبر للأثر الدوراني للقوة المطبقة عليه ؟ ..... (القرص الذي قطره 2R) .
- في رأيك بماذا تتعلق هذه المقاومة للأثر الدوراني ؟ ..... (تتعلق المقاومة التي يبديها كل قرص تجاه محاولة تدويره بشكل القرص) .

نتيجة استنتج بإكمال الفراغات :

تبدي الأجسام الصلبة المتحركة حول محور (Δ) مقاومة للأثر الدوراني للقوى المطبقة عليها ندعوها العطالة الدورانية . تتعلق هذه العطالة في الأجسام الصلبة بكتلة و شكل الجسم .

5-3) عزم عطالة جسم بالنسبة لمحور :

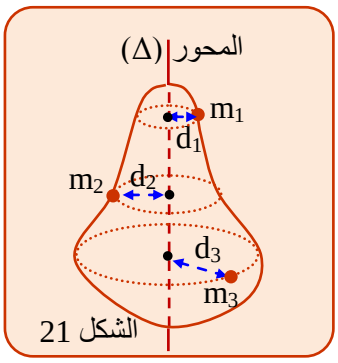
تقاس العطالة الدورانية لجسم صلب يدور حول محور ثابت (Δ) بمقدار فيزيائي يدعى :
"عزم عطالة الجسم بالنسبة للمحور (Δ)" .



الشكل 20

تعريف : يعرّف عزم العطالة $J_{/\Delta}$ بالنسبة لمحور (Δ) لجسم نقطي كتلته m و يبعد مسافة d عن هذا المحور بالعبارة التالية : $J_{/\Delta} = m.d^2$ (**الشكل – 20**) .
وحدة عزم العطالة في النظام الدولي هي : $kg.m^2$.
يحسب عزم عطالة جملة من النقاط المادية كتلها : m_1 ، m_2 ، m_3 ، ... تبعد كلها عن محور الدوران الثابت على التوالي بالأبعاد : d_1 ، d_2 ، d_3 ، ... (**الشكل – 21**) . بجمع عزوم عطالة كل هذه النقاط بالنسبة لنفس المحور : $J_{/\Delta} = \Sigma m_i.d_i^2$.

☒ ملاحظة : عزم عطالة جسم صلب بالنسبة لمحور هو مقدار ثابت يميز الجسم .



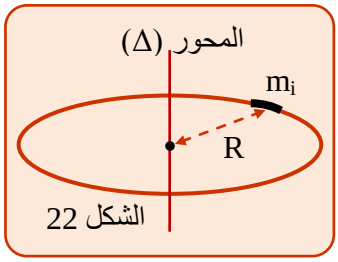
الشكل 21

مثال : حساب عزم عطالة حلقة كتلتها M و نصف قطرها R (**الشكل – 22**) .
لحساب هذا العزم نتبع الخطوات التالية :

- نقسم الحلقة إلى قطع صغيرة كتلها m_i يمكن اعتبارها نقاطًا مادية تبعد كل منها نفس البعد R عن محور الدوران (Δ) .
- تعتبر الحلقة جملة من النقاط المادية و بالتالي يحسب عزم عطالتها بالعبارة التالية :

$$J_{/\Delta} = m_1.R^2 + m_2.R^2 + m_3.R^2 + \ldots$$
$$= (m_1 + m_2 + m_3 + \ldots)R^2$$

أي : $J_{/\Delta} = \Sigma m_i.R^2 = \Sigma m_i.R^2 = M.R^2$
حيث : $M = \Sigma m_i$ هي كتلة الحلقة .

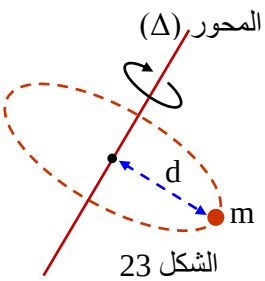


الشكل 22

- عزوم عطالة بعض الأجسام الصلبة المتجانسة بالنسبة لمحاور مارة من مراكز عطالتها :

1) كتلة نقطية m تدور حول محور (Δ) على بعد d (**الشكل – 23**) :

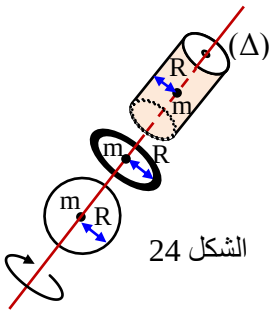
$$J_{/\Delta} = m.d^2$$



الشكل 23

2) اسطوانة مجوفة ، حلقة ، كرة مفرغة ، ... (كتلتها m و نصف قطرها R) **الشكل – 24** :

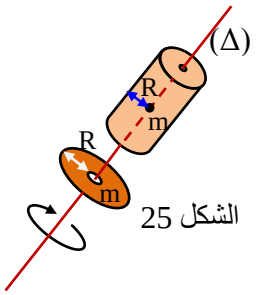
$$J_{/\Delta} = m.R^2$$



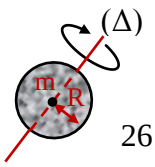
الشكل 24

3) اسطوانة مصمتة ، قرص متجانس (كتلة كل منهما m و نصف قطره R) **الشكل – 25** :

$$J_{/\Delta} = \frac{1}{2} m.R^2$$



الشكل 25



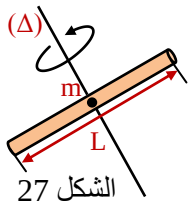
الشكل 26

4) كرة مصمتة نصف قطرها R كتلتها m موزعة بانتظام على كامل حجمها (**الشكل – 26**) :

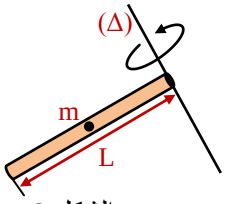
$$J_{/\Delta} = \frac{2}{5} m.R^2$$

5) قضيب اسطواني متجانس كتلته m طوله L بالنسبة لمحور عمودي عليه و مار من مركزه (**الشكل – 27**) :

$$J_{/\Delta} = \frac{1}{12} m.L^2$$



الشكل 27



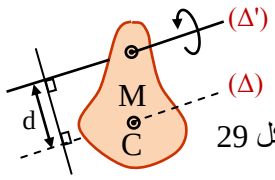
الشكل 28

6) قضيب اسطواني متجانس كتلته m طوله L بالنسبة لمحور عمودي عليه و يمر من أحد طرفيه (**الشكل – 28**) :

$$J_{/\Delta} = \frac{1}{3} m.L^2$$

6-3) نظرية هويغنز Huygens : عزم عطالة جسم صلب بالنسبة لمحور لا يمر بمركز كتلته : عزم عطالة جسم صلب بالنسبة لمحور (Δ') لا يمر بمركز كتلته يساوي عزم عطالة هذا الجسم بالنسبة لمحور (Δ) يوازي المحور (Δ') و يمر من مركز كتلته مضافًا إليه جداء كتلة الجسم في مربع البعد بين هذين المحورين (**الشكل – 29**) .

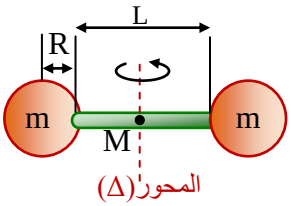
$$J_{/\Delta'} = J_{/\Delta} + M.d^2$$



الشكل 29

مثال :

يمثل (**الشكل – 30**) جسمًا متكونًا من كرتين متماثلتين كتلة كل واحدة منهما m و نصفي قطريهما R مرتبطتين بقضيب طوله L و كتلته M .
جد عزم عطالة الجسم بالنسبة للمحور (Δ) المار من منتصف القضيب .



الشكل 30

الحل :

عزم عطالة الجملة بالنسبة للمحور (Δ) : $J_{/\Delta} = J_1 + J_2 + J_3$

حيث : J_1 عزم عطالة الكرة الأولى ، عبارته حسب نظرية هويغنز : $J_1 = \frac{2}{5}m.R^2 + m\left(\frac{L}{2} + R\right)^2$

J_2 عزم عطالة الكرة الثانية ، بما أن الكرتان متماثلتان و تبعدان نفس البعد عن المحور (Δ) فإن : $J_2 = J_1$

J_3 عزم عطالة القضيب ، عبارته بالتعريف : $J_3 = \frac{1}{12} M.L^2$

بالتعويض عن قيم J_1 ، J_2 و J_3 في عبارة $J_{/\Delta}$ نحصل على :

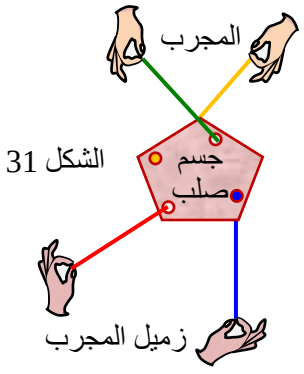
$$J_{/\Delta} = 2\left[\frac{2}{5} m.R^2 + m\left(\frac{L}{2} + R\right)^2\right] + \frac{1}{12} M.L^2 = \frac{4}{5} m.R^2 + 2m\left(\frac{L}{2} + R\right)^2 + \frac{1}{12} M.L^2$$

4 - توازن الجسم الصلب :

إذا كان الجسم الصلب "ساكنًا" في معلم عطالي (معلم مخبري مثلاً) أي لا ينسحب و لا يدور، نقول عنه أنه في "حالة توازن" بما أن الجسم لا ينسحب ، فحسب مبدأ العطالة (المدروس في السنة الماضية) فإن الأثر الاجمالي الإنسحابي عليه يكون معدومًا أي أن المجموع الشعاعي لجميع القوى المطبقة على الجسم معدوم : $\sum_i \vec{F}_i = \vec{0}$.
كذلك ، بما أن الجسم لا يدور ، هذا يعني أن الأثر الاجمالي الدوراني عليه معدوم أي أن المجموع الجبري لعزوم القوى المؤثرة على الجسم معدوم : $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$.

نشاط ① : خذ جسمًا خفيفًا من الفلين (أو البوليستران) و بالاستعانة بزميل لك حاول أن تطبق عليه (بواسطة أسلاك مطاطية) أربعة قوى كيفية (**الشكل – 31**) .

- حقق توازن الجسم في وضعية كيفية للأيدي . هل يمكنكما الحصول على توازن حيث لا تكون حوامل القوى في نفس المستوى ؟ ..... (ليس بالضرورة) .



الشكل 31

نشاط ② : للقيام بالحسابات ، نقتصر على دراسة أوضاع التوازن التي تكون فيها القوى في نفس المستوى .
خذ هذه المرة جسمًا مسطحًا خفيفًا من فلين أو ورق مقوى . طبق أربعة قوى بواسطة خيوط مطاطية مثبتة بواسطة دبابيس على لوح خشبي (طاولة ، سبورة ، ...) عليه ورقة بيضاء تسمح لك بتحديد موضع الجسم و الخيوط (**الشكل – 32**) .

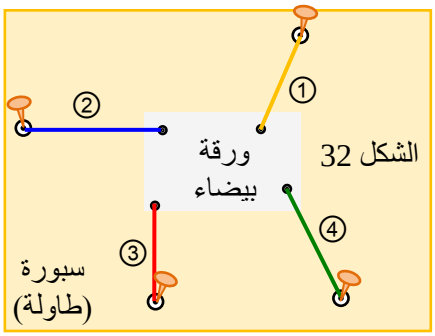
1 - علّم على الورقة البيضاء بقلم شكل الجسم و حوامل الخيوط المطاطية ونقاط تثبيتها . رقّم المطاطات . ..... (أنظر الشكل– 32) .

2 - استنتج شدات القوى المطبقة على الجسم بواسطة القارورة المعايرة (أو الربيعة) . ..... (بعد المعايرة يمكن أن نجد :

$F_1 = 7\ N$ ، $F_2 = 5\ N$ ، $F_3 = 3\ N$ و $F_4 = 3{,}46\ N$

حيث : $(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = 120°$ ، $(\vec{F}_3, \vec{F}_4) = 30°$) .

3 - مثل على الورقة أشعة القوى المطبقة على الجسم باختيار سلّم . ..... (أنظر الشكل– 33) .



الشكل 32

4 - جد المجموع الشعاعي للقوى الأربع . ماذا تلاحظ ؟

..... (بالرجوع إلى "الشكل– 34" أو مضلع القوى يتبين أن :

$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = \vec{0}$ ، حيث محصلة القوتين $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ معاكسة مباشرة لمحصلة القوتين $\vec{F}_3$ و $\vec{F}_4$) .

5 - أحسب عزم كل قوة بالنسبة إلى نقطة كيفية تختارها .

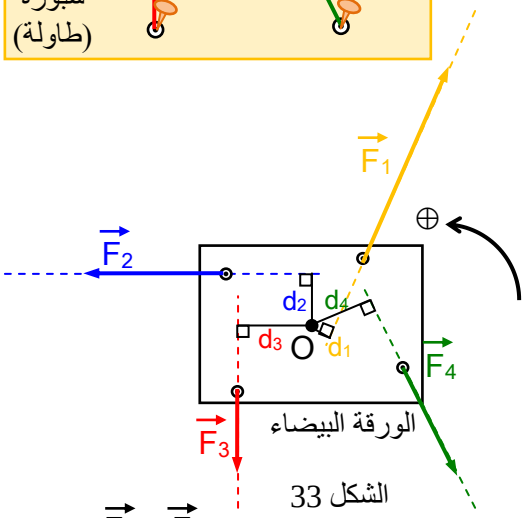
..... (نختار مثلاً نقطة مركز الورقة البيضاء O كمرجع لحساب عزوم القوى ، فيكون بعد القياس : $d_1 = 1\ cm$ ، $d_2 = 3\ cm$ ، $d_3 = 7\ cm$ و $d_4 = 12{,}5\ cm$ بالتالي :

$\mathcal{M}_{\vec{F}_1/O} = +\|\vec{F}_1\|.d_1 = +0{,}07\ N.m$ ،

$\mathcal{M}_{\vec{F}_2/O} = +\|\vec{F}_2\|.d_2 = +0{,}15\ N.m$ ،

$\mathcal{M}_{\vec{F}_3/O} = +\|\vec{F}_3\|.d_3 = +0{,}21\ N.m$ ،

$\mathcal{M}_{\vec{F}_4/O} = -\|\vec{F}_4\|.d_4 = -0{,}43\ N.m$) .



الشكل 33

6 - أحسب المجموع الجبري لهذه العزوم . ماذا تلاحظ ؟

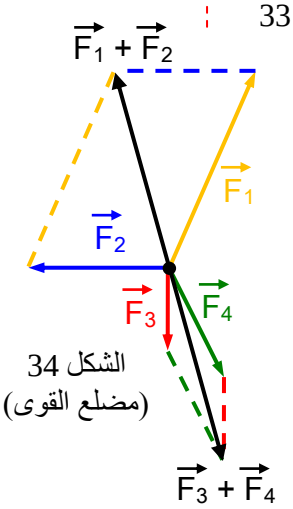
..... (واضح أن : $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/O} = 0$

أي : $\mathcal{M}_{\vec{F}_1/O} + \mathcal{M}_{\vec{F}_2/O} + \mathcal{M}_{\vec{F}_3/O} + \mathcal{M}_{\vec{F}_4/O} = 0$) .

7 - استنتج عبارتي شرطي توازن جسم صلب خاضع لأربع قوى تقع في نفس المستوى . ..... (مما سبق يتبين أن شرطا التوازن لجسم صلب خاضع لأربع قوى تقع في مستو واحد هما :

$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = \vec{0}$ أو $\sum_i \vec{F}_i = \vec{0}$ ..... (الشرط ①)

$\mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_3/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_4/\Delta} = 0$ أو $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$ ..... (الشرط ②)



الشكل 34
(مضلع القوى)

8 - هل يبقى الجسم في حالة توازن إذا تحقق شرط واحد من شرطي التوازن ؟

..... (لا يتوازن الجسم إلا إذا تحقق شرطا التوازن ①و② معًا باستثناء حالة الحركة الانسحابية يكفي تحقق الشرط ①)

9 - اقترح طريقة عملية تبين فيها ذلك . ..... (جسم معلق بخيط في نقطة ثابتة أو في نابض مثبت) .

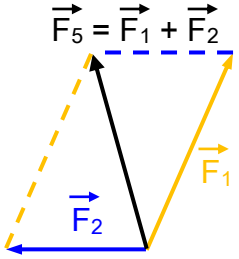
نشاط ③ : عوض في التجربة السابقة قوتين بقوة واحدة (تعويض المطاطين ① و ② بمطاط واحد ⑤) محافظًا على نفس وضعية توازن الجسم السابقة (المرسومة على الورقة) . لتعيين خصائص هذه القوة نتبع الخطوات التالية :

- تعيين حامل القوة :

1 - أرسم على الورقة المجموع الشعاعي للقوتين المحذوفتين . ..... (لاحظ الشكل – 35) .

2 - كيف يجب أن يكون حامل المطاط ⑤ لتحقيق التوازن ؟

..... (يجب أن يكون حامل المطاط ⑤ منطبقًا على حامل القوة $\vec{F}_5$)



الشكل 35

- تعيين نقطة تطبيق هذه القوة :

استعمل شرط التوازن الثاني $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$ لتعيين نقطة تطبيق الخيط المطاطي ⑤ على الجسم حتى يتحقق التوازن السابق (يخضع الجسم لتأثير المطاطات ③ ، ④ و ⑤) ..... $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/O} = 0$

$\mathcal{M}_{\vec{F}_5/O} + \mathcal{M}_{\vec{F}_3/O} + \mathcal{M}_{\vec{F}_4/O} = 0 \Leftarrow$ بالتالي : $\mathcal{M}_{\vec{F}_5/O} + 0{,}21 - 0{,}43 = 0 \Leftarrow \mathcal{M}_{\vec{F}_5/O} = +0{,}22\ N.m$

لكن : $\mathcal{M}_{\vec{F}_5/O} = +\|\vec{F}_5\|.d_5$ ؛ $\|\vec{F}_5\| = \sqrt{\|\vec{F}_1\|^2 + \|\vec{F}_2\|^2 + 2\|\vec{F}_1\|.\|\vec{F}_2\|\cos(\vec{F}_1, \vec{F}_2)} = 6{,}24\ N$

و منه : $d_5 = \frac{\mathcal{M}_{\vec{F}_5/O}}{\|\vec{F}_5\|} = \frac{0{,}22}{6{,}24} = 0{,}035\ m \Leftarrow d_5 = 3{,}5\ cm$

و هي المسافة التي يبعد بها حامل القوة $\vec{F}_5$ عن النقطة المختارة O .

☒ ملاحظة : نقطة التطبيق ليست وحيدة بل هي كل نقطة تنتمي للمستقيم الحامل للقوة $\vec{F}_5$ والذي يبعد المسافة d_5 عن النقطة المختارة O .

- تعيين شدة هذه القوة :

حقق التوازن المطلوب بسحب المطاط ⑤ بيدك (بدون تغيير استطالتي المطاطين ③ و ④) .

1 - استنتج شدة و جهة هذه القوة .

2 - علم على نفس الورقة حامل الخيط المطاطي ⑤ بعد تحقيق التوازن .

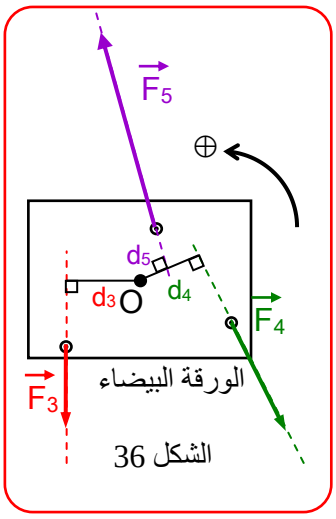
3 - مثل شعاع هذه القوة في نقطة تطبيقها باستعمال نفس السلم .

..... (1- ، 2- ، 3- لاحظ الشكل – 36) .

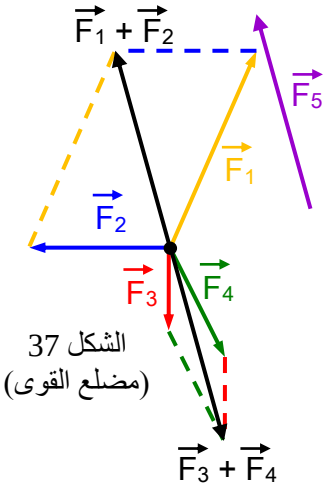
4 - أرسم المحصلة الشعاعية للقوتين المحذوفتين .

..... (لاحظ الشكل – 37) .

5 - قارن خصائص هذه القوة مع خصائص محصلة القوتين المحذوفتين . ..... (للقوة $\vec{F}_5$ و المحصلة $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ حاملين متوازيين و شدتين متساويتين و اتجاه واحد أي هما قوتان منطبقتان) .



الشكل 36



الشكل 37
(مضلع القوى)

6 - مدد على الورقة حوامل القوى الثلاث . ماذا تلاحظ ؟ ..... (كما هو موضح بالشكل – 37 فإن حوامل القوى الثلاث : $\vec{F}_5$ و $\vec{F}_3$ و $\vec{F}_4$ ، عند تمديدها أو سحبها تتقاطع في نقطة واحدة أي هي قوى متلاقية) .

7 - هل عبارتي شرطي توازن الجسم الصلب تبقى محققة ؟ ..... (نعم ، تبقى محققة) .

8 - استنتج صيغة أخرى لشرطي توازن جسم صلب خاضع لثلاث قوى غير متوازية . ..... (يتلخص شرطي توازن جسم صلب خاضع لثلاث قوى غير متوازية فيما يلي :

1- المجموع الشعاعي للقوى المطبقة عليه معدوم : $\sum_i \vec{F}_i = \vec{0}$

2- أن تكون القوى الثلاث متقاطعة في نفس النقطة .

9 - كيف تصبح هذه الصيغة إذا كانت القوى متوازية ؟ ..... (إذا كانت القوى متوازية يجب تحقق شرطا التوازن ① و ② معًا)

نشاط ④ : عوض هذه المرة في تجربة النشاط ③ القوتين المؤثرتين على الجسم من طرف المطاطين ③ و ④ بقوة واحدة باستعمال مطاط ⑥ محافظًا دائمًا على نفس وضعية توازن الجسم السابقة (المرسومة على الورقة) . ابحث عن وضعية التوازن بسحب المطاط ⑥ بيدك (بدون تغيير استطالة المطاط ⑤) .

1 - ابحث عن نقطة تثبيت الخيط المطاطي ⑥ على الجسم حتى يتحقق التوازن السابق ؟

..... (يجب أن تكون هذه النقطة من حامل القوة $\vec{F}_5$) .

2 - علم على نفس الورقة حامل الخيط المطاطي ⑥ بعد تحقيق التوازن . ..... (لاحظ الشكل – 38) .

3 - استنتج خصائص القوة التي يطبقها هذا المطاط على الجسم . ..... (القوتان $\vec{F}_6$ و $\vec{F}_5$ لهما نفس الخصائص فقط متعاكستان بالاتجاه) .

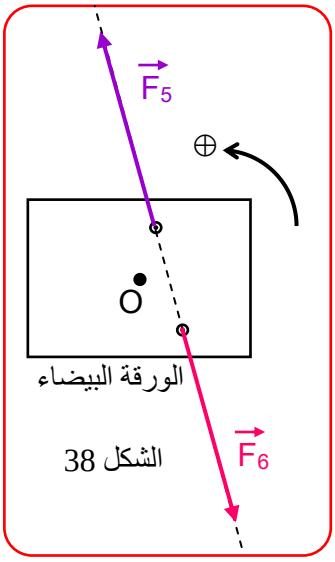
4 - مثل شعاع هذه القوة في نقطة تطبيقها باستعمال نفس السلم . ..... (لاحظ الشكل – 38) .

5 - أرسم المحصلة الشعاعية للقوتين المحذوفتين .

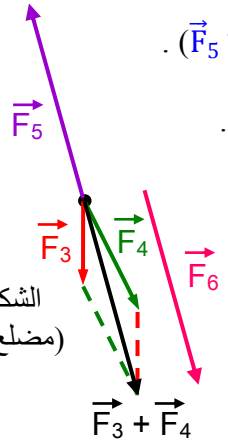
..... (لاحظ الشكل – 39) .

6 - قارن خصائص قوتي المطاطين ⑤ و ⑥ .

..... (القوتان $\vec{F}_6$ و $\vec{F}_5$ متعاكستان مباشرة) .



الشكل 38



الشكل 39
(مضلع القوى)

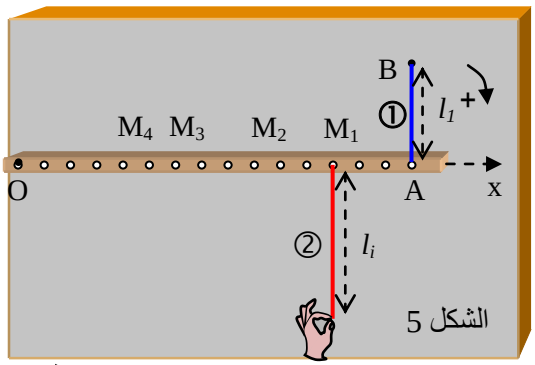
7 - هل عبارتي شرطي توازن الجسم الصلب تبقى محققة ؟ ..... (نعم ، تبقى محققة) .

8 - استنتج صيغة أخرى لشرطي توازن جسم صلب خاضع لقوتين . ..... (يتلخص شرطي توازن جسم صلب خاضع لقوتين فيما يلي :

1) القوتان متعاكستان في الاتجاه و متساويتان في الشدة .

2) لهما نفس الحامل .

نشاط ⑤ : ارجع إلى النشاط المدروس في العمل التجريبي 1-3)
كما هو موضح في (**الشكل – 5**)
عندما كان القضيب في الوضع الأفقي ، ندعوه الآن "وضع التوازن" .



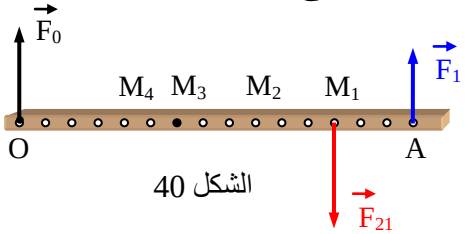
الشكل 5

- هل يطبق المسمار قوة على القضيب ؟ علل .

..... (نعم يطبق المسمار قوة على القضيب ليس لها فعل تدويري "عزمها معدوم" لأن حاملها يلاقي محور الدوران).

- إذا كان الجواب نعم مثل هذه القوة و احسب شدتها .

..... (لاحظ الشكل – 40 ، لدينا مما سبق : $F_1 = 2\ N$ ، $F_{21} = 2{,}5\ N$
لحساب شدة $\vec{F}_0$ نطبق شرطي توازن جسم خاضع لثلاث قوى متوازية $\sum_i \vec{F}_i = \vec{0}$ ؛ $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/O} = 0$ بالتالي :



الشكل 40

$\mathcal{M}_{\vec{F}_0/O} + \mathcal{M}_{\vec{F}_1/O} + \mathcal{M}_{\vec{F}_{21}/O} = 0$ ؛ $\vec{F}_0 + \vec{F}_1 + \vec{F}_{21} = \vec{0}$
$\Leftarrow \|\vec{F}_{21}\| = \|\vec{F}_1\| + \|\vec{F}_0\|$ ؛
$\|\vec{F}_0\|.OO + \|\vec{F}_{21}\|.OM_1 + \|\vec{F}_1\|.OA = 0$
$\Leftarrow (\|\vec{F}_0\| = 0{,}5\ N)$

- أحسب المجموع الجبري لعزوم القوى المطبقة على القضيب بالنسبة لنقطة كيفية و لتكن M_3 مثلاً .

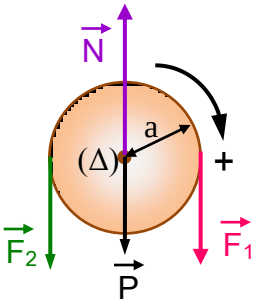
..... (إذا كان المسمار مثلاً عند النقطة M_3 فإن المجموع الجبري لعزوم القوى المطبقة على القضيب بالنسبة لهذه النقطة ، باعتبار الجهة الموجبة للدوران هي جهة تدوير القوة $\vec{F}_1$ يحسب كالتالي :

$$-\|\vec{F}_0\|.OM_3 - \|\vec{F}_{21}\|.M_1M_3 + \|\vec{F}_1\|.AM_3 = -0{,}5 \times 0{,}06 - 2{,}5 \times 0{,}06 + 2 \times 0{,}09 = 0$$

$\Leftarrow (\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/M_3} = 0)$.

- ماذا تستنتج ؟ ..... (نستنتج أن التوازن يبقى محقق مهما كان موضع محور الدوران) .
- اخترنا في هذه التجارب الوضعية الأفقية للقضيب وضع توازن . ما فائدة هذا الاختيار ؟ هل توجد وضعيات أخرى يتحقق فيها التوازن و تحقق نتائج التجربة ؟ ناقش . ..... (تم اختيار الوضع الأفقي للقضيب كوضع توازن لكي يتسنى لنا بسهولة التحقق من شرطي التوازن : $\sum_i \vec{F}_i = \vec{0}$ ؛ $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$ و عمومًا أي وضع للقضيب يتحقق فيه هذين الشرطين هو وضع توازن مهما كانت الوضعية) .

تطبيق : توازن بكرة
يبين **الشكل – 41** بكرة نصف قطرها a في حالة توازن . استنتج صيغة أخرى لشرطي توازن هذه البكرة .



الشكل 41

الحل : القوى المؤثرة على البكرة عند التوازن هي :
- ✓ قوة الثقل $\vec{P}$ للبكرة (قوة تأثير الأرض على البكرة) المطبقة في مركز ها .
- ✓ قوة رد الفعل $\vec{N}$ للمحور (قوة تأثير المحور على البكرة) المطبقة في المركز .
- ✓ قوتي تأثير الحبل $\vec{F}_1$ ، $\vec{F}_2$ على جانبي البكرة .

من شرطي توازن البكرة نستنتج ما يلي :
- الشرط ① : المجموع الشعاعي للقوى المطبقة معدوم $\sum_i \vec{F}_i = \vec{0} \Leftarrow \vec{P} + \vec{N} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$.
- الشرط ② : المجموع الجبري لعزوم القوى المطبقة معدوم $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$

$$\Leftarrow (P \times 0) + (N \times 0) + (F_1 \times a) - (F_2 \times a) = 0 \Leftarrow F_1 \times a = F_2 \times a \Leftarrow F_1 = F_2$$

و منه نستنتج أن لقوتي توتر (شد) الحبل على جانبي البكرة نفس القيمة (الشدة) .

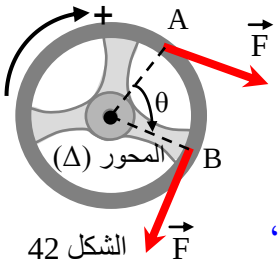
الصيغة الجديدة لشرطي توازن بكرة هي :
1 - مجموع القوى معدوم .
2 - لقوتي تأثير الحبل على البكرة نفس الشدة .

نتيجة استنتج بإكمال الفراغات :

يكون جسم متحرك في حالة توازن إذا تحقق الشرطان :
مجموع القوى المؤثرة عليه معدوم $(\sum_i \vec{F}_i = \vec{0})$ و المجموع الجبري لعزوم القوى المطبقة عليه معدوم $(\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0)$.

5 - عبارة عمل مزدوجة :

تعرفنا في الفصل السابق على عبارة عمل قوة ثابتة شدتها F .
في حالة قوة موازية لمسار انتقال نقطة تطبيقها انتقالاً مستقيمًا طوله d و في جهة الحركة ، يحسب هذا العمل بالعبارة التالية : $W = F.d$.



الشكل 42

نشاط ① : طبق قوة على مقود شاحنة تديره بزاوية θ . نفرض أن القوة التي تطبقها على المقود ، الدائري الشكل الذي نصف قطره R ، تبقى ثابتة و اتجاهها دائمًا مماسي للمقود عند نقطة التطبيق (**الشكل – 42**) .

- جزئ المسار الدائري AB للقوة إلى قطع صغيرة نعتبرها مستقيمة و احسب عمل القوة عندما تنتقل نقطة تطبيقها على كل جزء .

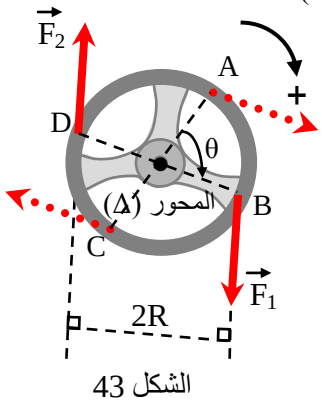
..... (كل انتقال عنصري مستقيم δL لنقطة تطبيق القوة $\vec{F}$ يوافقه عملاً عنصريًا $\delta W(\vec{F})$ ، تعطى عبارته بالعلاقة : $\delta W(\vec{F}) = F.\delta L$) .

- باعتبار عمل القوة من A إلى B (**الشكل – 41**) هو مجموع أعمال القوة على كل جزء ، جد عبارة عمل القوة من A إلى B . ..... ($W_{A\to B}(\vec{F}) = \sum_{A\to B}\delta W(\vec{F}) = \sum_{A\to B}(F.\delta L) = F.(\sum_{A\to B}\delta L)$) .
- بيّن أن هذه العبارة تكتب على الشكل التالي : $W_{A\to B}(\vec{F}) = \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta}.\theta$ حيث $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta}$ عزم القوة بالنسبة لمحور الدوران .

..... (لدينا : $\sum_{A\to B}\delta L = \overset{\frown}{AB} = R.\theta$ ؛ $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = F.R$

$\Leftarrow W_{A\to B}(\vec{F}) = F.(\sum_{A\to B}\delta L) = F(R.\theta) = \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta}.\theta$ بالتالي : $W_{A\to B}(\vec{F}) = \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta}.\theta$) .

نشاط ② : طبق هذه المرة بيديك الإثنتين مزدوجة قوتين على المقود لتديره بزاوية θ (**الشكل – 43**) .



الشكل 43

- اتبع نفس خطوات النشاط السابق لحساب عمل هذه المزدوجة .

..... (لدينا : $W_{A\to B}(\vec{F_1},\vec{F_2}) = W_{C\to D}(\vec{F_1},\vec{F_2}) = W_{A\to B}(\vec{F_1}) + W_{C\to D}(\vec{F_2})$

بالاعتماد على ما سبق ، يمكن أن نكتب : $W(\vec{F_1},\vec{F_2}) = \mathcal{M}_{\vec{F_1}/\Delta}.\theta + \mathcal{M}_{\vec{F_2}/\Delta}.\theta$

$\therefore W(\vec{F_1},\vec{F_2}) = F_1(R.\theta) + F_2(R.\theta) = F.2R.\theta$) .

- بيّن أن عبارة عمل هذه المزدوجة تكتب على الشكل التالي : $W(\vec{F_1},\vec{F_2}) = \mathcal{M}_{/\Delta}.\theta$ حيث $\mathcal{M}_{/\Delta}$ هو عزم المزدوجة .

..... (لدينا : $\mathcal{M}_{/\Delta} = F.2R$ ؛ $W(\vec{F_1},\vec{F_2}) = F.2R.\theta$

$\Leftarrow (W(\vec{F_1},\vec{F_2}) = \mathcal{M}_{/\Delta}.\theta)$.

- جد عبارة الاستطاعة علمًا أنها تساوي عمل المزدوجة على وحدة الزمن .

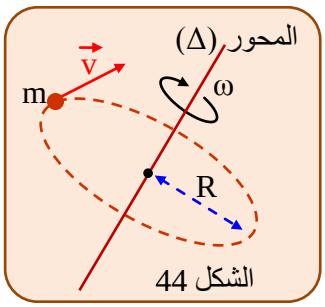
..... (نعلم أن الاستطاعة P هي نسبة العمل W إلى زمن انجازه Δt ، أي :

$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{\mathcal{M}_{/\Delta}.\theta}{\Delta t} = \mathcal{M}_{/\Delta}\frac{\theta}{\Delta t} = \mathcal{M}_{/\Delta}.\omega$

$\therefore P = \mathcal{M}_{/\Delta}.\omega$ حيث $\omega = \frac{\theta}{\Delta t}$ هي السرعة الزاوية للدوران) .

1-5) عبارة الطاقة الحركية لجسم صلب في حركة دورانية :

نشاط ① : يدور جسم نقطي كتلته m حول محور ثابت بسرعة v ثابتة و يرسم مسارًا دائريًا نصف قطره R (**الشكل – 44**) . جد عبارة طاقته الحركية .



الشكل 44

..... (نعلم أن : $E_c = \frac{1}{2}m\,v^2$) .

بالاعتماد على علاقة السرعة الخطية v بالسرعة الزاوية ω ، بيّن أن الطاقة الحركية تكتب على الشكل التالي : $E_c = \frac{1}{2}J_{/\Delta}\,\omega^2$

حيث $J_{/\Delta} = m.R^2$ هو عزم عطالة الجسم النقطي بالنسبة لمحور الدوران .

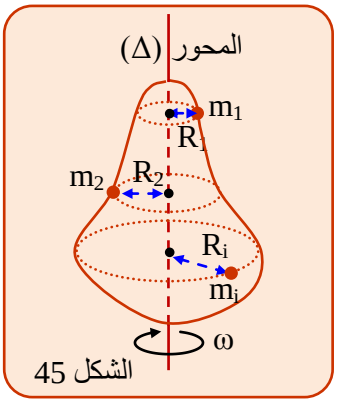
..... (نعلم أن : $v = R.\omega$ ، بالتعويض في عبارة E_c

السابقة نحصل على : $E_c = \frac{1}{2}m\,(R.\omega)^2 = \frac{1}{2}m.R^2.\omega^2 = \frac{1}{2}J_{/\Delta}\,\omega^2$) .

نشاط ② : يدور جسم صلب حول محور ثابت (Δ) بسرعة زاوية ω ثابتة ، عزم عطالته $J_{/\Delta}$ بالنسبة لهذا المحور (**الشكل – 45**) .

لاحظ أن الجسم الصلب عبارة عن جملة من النقاط المادية التي كتلها m_i تبعد مسافات R_i عن محور الدوران . علمًا أن الطاقة الحركية للجسم الصلب (جملة نقاط مادية) هي مجموع الطاقات الحركية لهذه النقاط المادية . جد عبارة الطاقة الحركية لهذا الجسم الصلب .

..... (بما أن الجسم الصلب جملة نقاط مادية متماسكة فإن هذه النقاط يكون لها نفس



الشكل 45

السرعة الزاوية ω للدوران و اعتمادًا على ما سبق يمكننا كتابة : $E_c = \sum_i E_{ci} = \sum_i \frac{1}{2} m_i . R_i^{\,2} . \omega^2 = \frac{1}{2} \sum_i m_i . R_i^{\,2} . \omega^2$)

بيّن أن عبارة الطاقة الحركية في الحركة الدورانية لجسم صلب تكتب على الشكل : $E_c = \frac{1}{2} J_{/\Delta}\, \omega^2$ حيث $J_{/\Delta} = \sum_i m_i . R_i^{\,2}$ يمثل عزم عطالة هذا الجسم بالنسبة للمحور الثابت (Δ) . ..... (لدينا مما سبق : $E_c = \frac{1}{2} \sum_i m_i . R_i^{\,2} . \omega^2$

و بالتعريف $J_{/\Delta} = \sum_i m_i . R_i^{\,2} \Leftarrow E_c = \frac{1}{2} J_{/\Delta} \omega^2$) .

نتيجة استنتج بإكمال الفراغات :

الطاقة الحركية الدورانية لجسم صلب يدور حول محور ثابت (Δ) هو جداء عزم عطالة هذا الجسم بالنسبة لنفس المحور في مربع السرعة الزاوية (السرعة الدورانية) لهذا الجسم: $E_c = \frac{1}{2} J_{/\Delta} \omega^2$.

☒ ملاحظة : لاحظ التشابه بين عبارتي الطاقة الحركية الانسحابية $E_c = \frac{1}{2} m v^2$ و الطاقة الحركية الدورانية $E_c = \frac{1}{2} J_{/\Delta}\, \omega^2$ حيث عوّض :

- المقدار الذي يقيس العطالة الانسحابية (الكتلة m) بالمقدار الذي يقيس العطالة الدورانية (عزم العطالة $J_{/\Delta}$) .
- السرعة الخطية v بالسرعة الدورانية ω .

● **حلول بعض التمارين (صفحة72)**

التمرين 1

- خطأ : لأن شعاع السرعة في حركة منتظمة ثابتا في الشدة ولكن يغير اتجاهه خلال الزمن . لذا لا يمكن لجسم معزول أن يتحرك بحركة دائرية منتظمة .
- صحيح : في الواقع هذه السعة بين السرعة الخطية و السرعة الزاوية دائما صحيحة ليس فقط في الحركة الدائرية المنتظمة .
- خطأ : لأن الطاقة ليست مقدار شعاعي و لكن الطاقة هي مقدار سلمي، لذا لا يمكن لشكل منه أن يكون مقدارا شعاعيا .
- خطأ : الطاقة الحركية هي شكل من أشكال الطاقة و وحدتها هي وحدة الطاقة أي الجول (J) .
- صحيح : تعريف الحركة الانسحابية هو أن يكون لكل نقاط الجسم نفس السرعة ، ومنه فإن سرعة نقطة كيفية منه هي سرعة الجسم .
- خطأ : في الحركة الدورانية ليس لكل نقاط الجسم نفس السرعة و لهذا فإن الطاقة الحركية للجسم تتعلق بسرعة كل نقطة مادية من هذا الجسم أي بكيفية توزيع هذه النقاط بالنسبة لمحور الدوران . يميز هذا التوزيع عزم عطالة الجسم المحرك .
- نعم : يساعد النشاط 2 من الفقرة 3-5 في فهم كيف تبدى الأجسام الصلبة التي تدور حول محور ثابت مقاومتها للأثر الدوراني التي ندعوها العطالة الدورانية .
- خطأ : تتعلق الطاقة الحركية الانسحابية بمعلم الدراسة لأن السرعة الانسحابية تحسب بالنسبة لمعلم .
- خطأ : تتعلق الطاقة الحركية الدورانية بموضع محور الدوران لأن عزم عطالة الجسم المتحرك يتعلق بمحور الدوران ، أي أن كيفية توزيع نقاط الجسم الصلب تتعلق بموضع محور الدوران .
- خطأ : إذا تغيرت سرعة الجسم فإن طاقته الحركية بالضرورة تتغير .
- صحيح : لأن الطاقة الحركية دالة حالة معرّفة في كل لحظة .

التمرين 2

عقرب الساعات : $\omega_1 = \frac{2\pi}{86400} = 7{,}27\times10^{-5}(\frac{rd}{s})$

عقرب الدقائق : $\omega_1 = \frac{2\pi}{3600} = 1{,}74\times10^{-3}(\frac{rd}{s})$

عقرب الثواني : $\omega_1 = \frac{2\pi}{60} = 10{,}47\times10^{-2}(\frac{rd}{s})$

السرعة الزاوية هي النسبة بين الزاوية الممسوحة على الزمن اللازم لمسحها.

التمرين 3

$$\omega_T = \omega_1 = \frac{2\pi}{24\times60\times60} = 7{,}27\times10^{-5}(\frac{rd}{s})$$

التمرين 4

إذا رمزنا لعدد الدورات التي يدورها جسم حول محور معين في الدقيقة بالرمز N و فإن العلاقة التي تربطها بالسرعة الزاوية ω

هي : $\omega = \frac{60}{2\pi} N$ أو $N = \frac{2\pi N}{60}$ أي إذا كانت السرعةالزاوية تساوي 2π $(\frac{rd}{s})$ يدور الجسم60 دورة في الدقيقة أي دورة في الثانية . من أجل جسم يدور 300 دورة في الثانية سرعته الزاوية تساوي : $\omega = 2\pi N = 6,28 \times 300 = 1884$ $(\frac{rd}{s})$

التمرين 5

$$N = \frac{60}{2\pi}\omega = \frac{60 \times 10}{2\pi} = 95,54 \ (tr / mn)$$

التمرين 6

استطاعة المزدوجة هي عمل هذه المزدوجة على وحدة الزمن : $P = \frac{\mathcal{M}\theta}{t} = \mathcal{M}\omega = 100 \times 6 = 600 \ W$

التمرين 7

$$W = \mathcal{M}\theta = Fd\theta = 100 \times 0,1 \times 20\pi = 628 \ (J)$$

التمرين 8

- سالبة لأن القوتان تعرقلان حركة الجسم .
- $W = \mathcal{M}\theta = Fd\theta = 15 \times 0,1 \times 100\pi = 471 \ (J)$

التمرين 9

$$W_R = -\mathcal{M}\theta = -Fd\theta = -5 \times 0,1 \times 20\pi = -31,4 (J)$$
$$W_M = \mathcal{M}\theta = Fd\theta = 7 \times 0,03 \times 20\pi = 13,2 (J)$$

العمل الكلي (سؤال لم يطرح في التمرين يستحسن طرحه) : $W = W_R + W_M = 13,2 - 31,4 = -18,2 \ (J)$

التمرين 10

1 - مدة دوران الشمس حول الأرض (الدور) .
2 - مدة الدورة + طول عقرب الساعة .
3 - الإستطاعة + عدد دوران المحرك في الدقيقة (N) .
4 - الإستطاعة + عدد دوران المحرك في الدقيقة .

التمرين 11

$$v_1 = R_1\omega = \frac{2\pi N R_1}{60} = \frac{6,28 \times 20 \times 0,25}{60} = 0,52 \ (m/s)$$

$$v_2 = R_2\omega = \frac{2\pi N R_2}{60} = \frac{6,28 \times 20 \times 0,5}{60} = 1,05 \ (m/s)$$

التمرين 12

- السرعة الزاوية للقمر الاصطناعي هي نفسها للتي للأرض حول محورها : $\omega_S = \frac{2\pi}{24 \times 60 \times 60} = 7,27 \times 10^{-5} (\frac{rd}{s})$
- السرعة الخطية : $v = R\omega_S = (R_T + h)\omega_S = (6400 + 36000) \times 1000 \times 7,27 \times 10^{-5} = 3080 \ (m/s)$

أي : $v = 3080 \times 3600 / 100 = 11100 \ km/h$

التمرين 13

السرعة الزاوية لكل عجلة : $\omega = \frac{v}{R} = \frac{100000}{3600 \times 0,35} = 79,4 \ (rd/s)$

الزاوية الممسوحة : المساقة المقطوعة $s = R\theta$ و منه $\theta = \frac{s}{R} = \frac{1000}{0,35} \approx 2857 \ (rd)$

التمرين 14

السرعة الزاوية لكل عجلة : $\omega_1 = \frac{v}{R_1} = \frac{7500 \times 2}{3600 \times 0.5} = 8,3 (rd/s)$ ؛ $\omega_2 = \frac{v}{R_2} = \frac{7500 \times 2}{3600 \times 1} = 4,2 (rd/s)$

الزاوية الممسوحة من نقطة على العجلة الكبيرة عندما تدور العجلة الصغيرة بدورة واحدة : $\theta = \pi \ (rd)$ أي نصف دورة .

التمرين 15

1 - يستحسن لف الحبل على البكرة التي لها قطر أصغر حتى تقل شدة القوة التي تسحب الحبل على البكرة الكبيرة .

2 - قوة السحب F عندما يصعد الجسم بسرعة ثابتة أي عندما يحدث تساوي العزمان اللذان يديران البكرة :

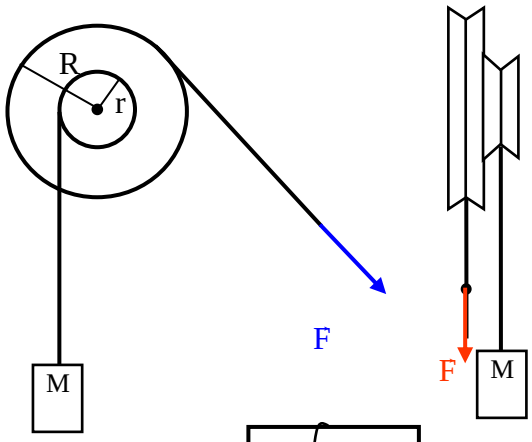
$$F = \frac{r}{R}P = 1000 \times \left(\frac{10}{50}\right) = 200\ N \quad \Leftarrow \quad F.R = P.r$$

3 - $h = r\theta_0 = 2\ m$ لأن الحمولة معلقة على البكرة الصغيرة .

طول الحبل $l = R\theta_0$ لأن حبل السحب على البكرة R الكبيرة

و منه : $l = R\left(\frac{h}{r}\right) = 10\ m$

4 - الزاوية الممسوحة هي : $\theta_0 = \left(\frac{h}{r}\right) = 20\ rd$



التمرين 16

القوة التي يجب تطبيقها على المقبض لجعل الملفاف في حالة توازن :

تخضع البكرة المتحركة لثلاث قوى الثقل P توتر الخيط علي الجهتين T و T' .

شرط التوازن : $P = T + T'$

الثقل P مطبق في مركز البكرة (على نفس البعد T و T')

نستنتج أن : $T = T'$ و تصبح عبارة التوازن : $P = 2T$.

وكذلك الملفاف يخضع لثلاث قوى : التوترين T و T' و القوة F .

شرط التوازن ينص على أن مجموع عزوم القوى التي تحاول تدوير الملفاف في جهة عقارب الساعة يساوي إلى مجموع عزوم القوى التي تدير الملفاف في الجهة المعاكسة .

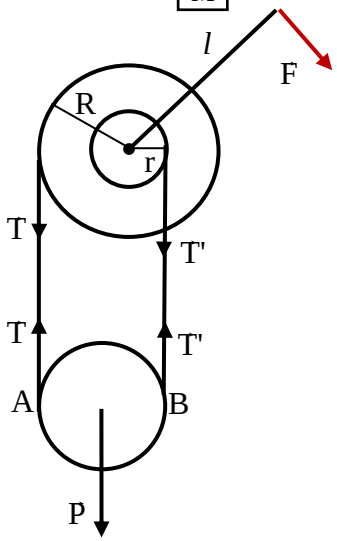
$Fl + T'r = TR$ ، لكن $T = T' = \frac{P}{2}$ ومنه نستنتج $Fl = \frac{P}{2}(R - r)$

ونجد أخيرا : $F = \frac{P}{2l}(R - r)$

ت.ع : $F = 25\ N$

تكون القوة F صغيرة كلما كان الفرق بين نصف القطرين صغيرا .

- في حالة ما إذا كان $R = r$ يكون عزمي T و T' متساويين بحيث مهما تكن القوة F صغيرة تدير الملفاف le treuil .



التمرين 17

1/ لا: لأن المزدوجة العظمى تكون عند سرعة دوران المحرك 3500tr/mn .

و الاستطاعة العظمى عندما يدور المحرك بسرعة 6000 tr/mn .

ملاحظة : ورد خطأ في النص حيث أن قيمة السرعة هي 6000 و ليس 600 .

2/ $\mathcal{M} = \frac{60}{2\pi N}P$ يوافق السرعة العظمى عند الاستطاعة العظمى P : $\mathcal{M} = \frac{60 \times 120 \times 1000}{6{,}28 \times 6000} = 191\ N.m$

3/ $P = \mathcal{M}\frac{2\pi N}{60} = \frac{170 \times 6{,}28 \times 3500}{60} = 63{,}2\ kW$

4/ $P = Fv \quad \Leftarrow \quad F = \frac{P}{v} = \frac{120000 \times 3600}{210000} = 2057\ N$

التمرين 18

1- الطاقة الحركية للكرة و هي تنزلق ولا تتدحرج أي أن لها حركة انسحابية و طاقتها الحركية تكتب على الشكل :

$$E_c = \frac{1}{2}Mv^2 = \frac{1}{2}0{,}5 \times 5^2 = \frac{25}{4} = 6{,}25\ (J)$$

2- لو كانت تدور حول محور فإن طاقتها الحركية تكتب على الشكل : $E_{cR} = \frac{1}{2}J_{/\Delta}\omega^2$

حيث $J_{/\Delta}$ عزم عطالة الكرة : $E_{cR} = \frac{1}{2}\left(\frac{2}{5}MR^2\right)\omega^2$ و منه نستنتج $\omega = \sqrt{\frac{5}{2}}\left(\frac{v}{R}\right) \approx 79\ rd/s$

التمرين 19

العمل الذي يبذله لقطع مسافة d : $W = Fd = 20\times1000 = 20\ kJ$

الاستطاعة التي يبذلها : $P = Fv = 20\dfrac{25000}{3600} \approx 139\ W$

الاستطاعة التي سوف يبذلها : $P' = (F + P\times5\,\%)v = (20 + 900\times\dfrac{5}{100})\dfrac{25000}{3600} \approx 451\ W$

عندما يصعد الدراج طريقا مائلا تضاف مركبة الثقل الموازية لاتجاه الحركة إلى قوة الاحتكاك .

التمرين 20

مبدأ انحفاظ الطاقة : الطاقة الابتدائية + الطاقة المكتسبة – الطاقة المفقودة = الطاقة النهائية

$E_c = 0 - Pt + 0$

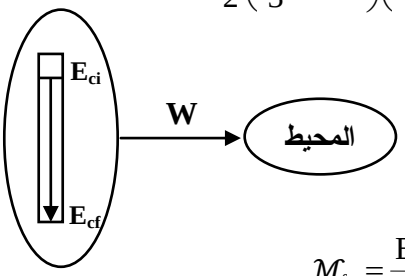
بما أن الحركة دورانية : $E_c = \dfrac{1}{2}J_{/\Delta}\omega^2$ و منه نستنتج الزمن اللازم للأسطوانة حتى تدور، انطلاقا من السكون ،

بسرعة 1750 tr/mn : $t = \dfrac{m\pi^2N^2R^2}{3600P} = \dfrac{250\times10\times1750^2\times0,75^2}{3600\times3000} \approx 393\ s$

التمرين 21

1 - الطاقة الحركية للجملة : $E_c = E_{c\,b} + E_{c\,2m} = \dfrac{1}{2}J_{/\Delta}\omega^2 + 2\times\dfrac{1}{2}m'l^2\omega^2$ أي بعد الاختزال نجد :

$$E_c = \frac{1}{2}\left(\frac{m}{3} + 2m'\right)\left(\frac{2\pi Nl}{60}\right)^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{0,5}{3} + 2\times0,2\right)\left(\frac{6,28\times100\times0,5}{60}\right)^2 = 7,76\ J$$



2 - مبدأ حفظ الطاقة : $0 = P.t - 0 + E_c$

أي : $P = \dfrac{E_c}{t} = \dfrac{14,25}{600} = 13\ mW$

3 - عزم قوى الاحتكاك :

$$\mathcal{M}_f = \frac{E_c}{\theta} = \frac{14,25}{400\times6,28} = 3\times10^{-3}\ N.m \Leftarrow W = \mathcal{M}_f\,\theta = E_c$$

التمرين 22

1- يكون جسم متحرك في حالة توازن إذا تحقق الشرطان :

- مجموع القوى المؤثرة عليه معدوم ($\sum_i \vec{F}_i = \vec{0}$) .
- مجموع الجبري لعزوم القوى الطبقة عليه معدوم ($\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$) .

2- $F_1 + F_2 + F_3 + R = \vec{0}$ و $\mathcal{M}_{F_1/O} + \mathcal{M}_{F_2/O} - \mathcal{M}_{F_3/O} + \mathcal{M}_{R/O} = 0$

ملاحظة : $\mathcal{M}_{R/O} = 0$ لأن نقطة تطبيقها هي نفسها النقطة O . نستنتج : $\mathcal{M}_{F_3/O} = \mathcal{M}_{F_1/O} + \mathcal{M}_{F_2/O}$ أي :

$$\mathcal{M}_{F_3/O} = F_1.d_1 + F_2.d_2 = F_1.OA.\sin 60 + F_2.OB\sin 60$$

ت.ع : $\mathcal{M}_{F_3/O} = 124\dfrac{\sqrt{3}}{2}$

نستنتج شدة القوة من عبارة عزمها : $\mathcal{M}_{F_3/O} = F_3OC\sin 60 = 124\dfrac{\sqrt{3}}{2}$ و نجد : $F_3 = 310\ N$

4 - عزم الفعل بالنسبة للمحور معدوما إذا ليس له أثر دوراني لكنه يحقق أحد شرطي التوازن :

$$F_1 + F_2 + F_3 + R = \vec{0}$$

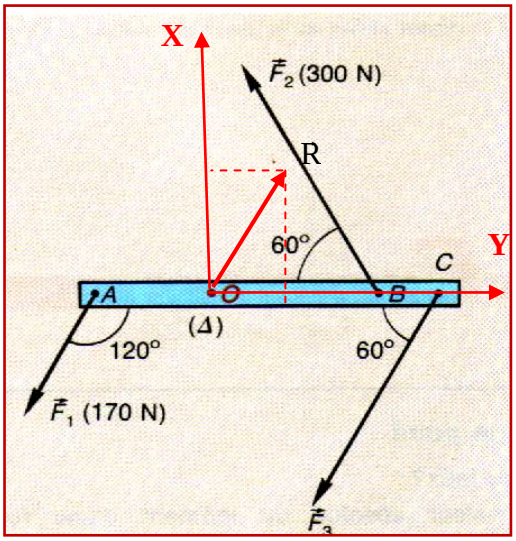
$$R_X = F_{1X} + F_{2X} + F_{3X} = \frac{1}{2}(F_1 + F_2 + F_3)$$

$$R_Y = F_{1Y} - F_{2Y} + F_{3Y} = \frac{\sqrt{3}}{2}(F_1 - F_2 + F_3)$$

ت.ع : $R_X = \frac{1}{2}780 = 390\ N$

و $R_Y = \frac{\sqrt{3}}{2}180 \approx 156\ N$ و $R = 420\ N$

$$\theta = 21{,}8° \Leftarrow tg(\overrightarrow{OC}, R) = \frac{R_y}{R_X}$$



التمرين 23

1- $\mathcal{M}_{(\vec{F}_1,\vec{F}_2)} = F_1(2l) = 0{,}4\times 6 = 2{,}4\ N.m$

$\mathcal{M}_{(\vec{F}_3,\vec{F}_4)} = -F_3(4l) = -0{,}8\times 2 = -1{,}6\ N.m$

2- $\mathcal{M}_{(\vec{F}_1,\vec{F}_2)} + \mathcal{M}_{(\vec{F}_3,\vec{F}_4)} = 2.4 - 1{,}6 = 0{,}8\,N.m$

3 - ليس في حالة توازن .

4 - لازم إضافة عزم $\mathcal{M} = 0{,}8\,N.m$

5- $\mathcal{M}_{(\vec{F}_5,\vec{F}_6)} = 0{,}8\ N.m = F_5\times(0{,}8)$ أي $F_5 = F_6 = 1\ N$

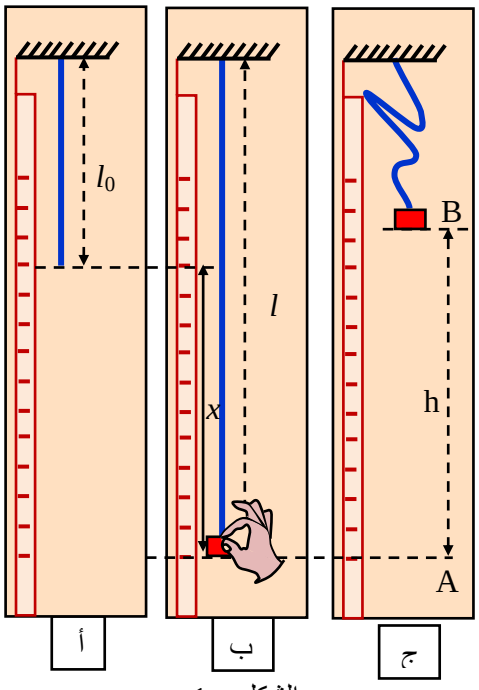
المجال (I) : الطـاقة .
الوحـدة ④ : الطاقة الكامنة :

● الكفاءات المستهدفة :
ـ يكشف عن مختلف أشكال الطاقة و أنماط تحويلها من أجل وضعيات مختلفة و حسب الجملة المختارة .
ـ ينجز كيفيا حصيلة طاقوية و يعبر عنها بالكتابة الرمزية .
ـ يكتب في أمثلة مختلفة المعادلة المعبرة عن إنحفاظ الطاقة .
ـ يفسر مجهريا ظاهرة طاقوية .

3 ـ1°) الطاقة الكامنة الثقالية (E_{pp}) :

1°ـ أ) مقاربة أولية لعبارة الطاقة الكامنة الثقالية:

نشاط ـ 1 : نعلق جسمًا كتلته **M** بواسطة خيط مطاطي ..... (الشكل – 1) .
يبين (الشكل – 1 أ) خيطًا مطاطيًا في حالة راحة (غير متوتر) .
1) أسحب الجسم باليد نحو الأسفل حتى يصبح المطاط مستطالاً كفاية ، نسمي هذا الموضع **A** و نعتبره موضعًا مرجعيًا لحساب الطاقة الكامنة الثقالية (شكل – 1 ب) .
2) حرّر الجسم في لحظة ما و علّم على مسطرة أقصى إرتفاع **h** بالنسبة للموضع المرجعي **A** يبلغه هذا الجسم . نسمي هذا الموضع **B** (شكل – 1 جـ) .



الشكل – 1

نسمي :
l_0 : الطول الأصلي للمطاط (الشكل – أ).
l : طول المطاط الكلي (الشكل – ب) .
x : إستطالة المطاط أي : $x = l - l_0$.
h : أقصى إرتفاع عن الموضع المرجعي **A** يبلغه الجسم .
أعد التجربة من أجل قيم مختلفة للكتلة **M** و دوّن نتائجك في الجدول التالي :

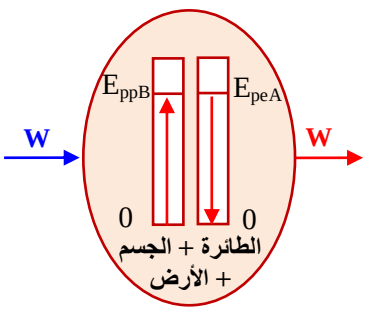
M (kg)	h (m)	$\frac{1}{M}$	$\frac{1}{M^2}$	$\frac{1}{\sqrt{M}}$
0,100	0,50			
0,150	0,33			
0,200	0,25			

● تحليل نتائج القياس :
1°ـ مثل الحوصلة الطاقوية للجملة المكونة من المطاط ، الجسم و الأرض بين الموضعين **A** و **B** . (تهمل الطاقة المحولة إلى الوسط الخارجي بفعل الاحتكاك) .
2°ـ ماهو شكل الطاقة المخزنة في الجملة عند الموضع **A**؟
3°ـ ماهو شكل الطاقة المخزنة في الجملة عند الموضع **B**؟
4°ـ ماهو التحول الطاقوي الذي حدث في الجملة بين الموضعين **A** و **B** ؟
5°ـ هل قيمة هذا التحول هي نفسها في كل الحالات الموافقة لمختلف الكتل ؟ علل .
6°ـ كيف تتغير قيمة الارتفاع **h** عندما تزداد الكتلة ؟
7°ـ أرسم المنحنى الممثل لتغيرات الارتفاع **h** بدلالة مقلوب الكتلة ($\frac{1}{M}$) ثم بدلالة مقلوب مربع الكتلة ($\frac{1}{M^2}$) ، ثم بدلالة مقلوب جذر الكتلة ($\frac{1}{\sqrt{M}}$) . ماذا تستنتج ؟
8°ـ استنتج من السؤال السابق العبارة من العبارات الثلاث التالية : M^2h ، Mh ، Mh^2 التي تناسب التحويل الطاقوي الذي حدث في الجملة في مختلف الحالات .
9°ـ استنتج عبارة الطاقة الكامنة الثقالية E_{pp} .

الجواب :
● تكملة الجدول ..... لاحظ الجدول المرفق جانبه .

M (kg)	h (m)	$\frac{1}{M}$	$\frac{1}{M^2}$	$\frac{1}{\sqrt{M}}$
0,100	0,50	10	100	3,16
0,150	0,33	6,67	44,4	2,58
0,200	0,25	5	25	2,24

1°ـ الحوصلة الطاقوية للجملة (**المطاط + الجسم + الأرض**) :
باعتبار المستوى الأفقي المار بالموضع **A** كمستوى ابتدائي مرجعي لقياس الطاقات الكامنة الثقالية (E_{pp}=**0**) و وضع التوازن عند تعليق الجسم بالمطاط كمرجع لقياس الطاقة الكامنة المرونية (E_{pe}=**0**) و بإهمال كل التحولات الطاقوية غير المفيدة يمكن نمذجة الحصيلة الطاقوية للجملة كما في الشكل المقابل .

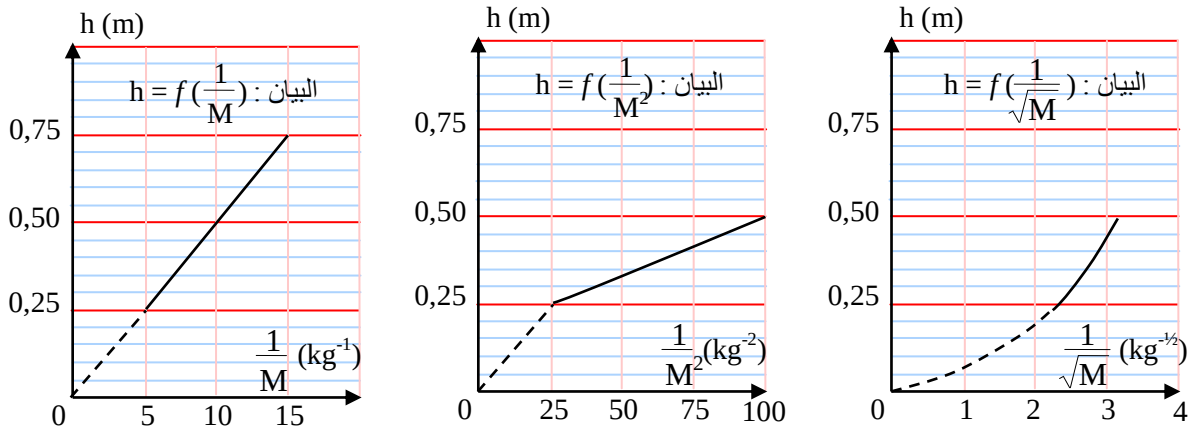


2°ـ كما هو موضح بالشكل فإن شكل الطاقة المخزنة في الجملة عند الموضع **A** هو **طاقة كامنة مرونية** E_{pe} .
3°ـ شكل الطاقة المخزنة في الجملة عند الموضع **B** هو **طاقة كامنة ثقالية** E_{pp} .
4°ـ التحويل الطاقوي الحادث في الجملة بين الموضعين **A** و **B** هو نمط تحويل ميكانيكي **W** (يُحسب بعمل قوة توتر المطاط الذي يُعادل عمل ثقل الجسم) .

5°ـ نعم قيمة التحويل هي نفسها بالنسبة لجميع الكتل لأنه يتعلق باستطالة المطاط وهي نفسها في جميع التجارب .

6°ـ بما أن التحويل الطاقوي محفوظ في جميع التجارب ويعادل عمل ثقل الجسم فإن الارتفاع **h** يتناسب عكسًا مع الكتلة **M** .

7°ـ رسم المنحنيات البيانية : $h = f(\frac{1}{M})$ ، $h = f(\frac{1}{M^2})$ ، $h = f(\frac{1}{\sqrt{M}})$ على الورق الملمتري .



بيانيا نستنتج أن : الارتفاع **h** يتناسب طردًا مع مقلوب الكتلة الموافقة **(1/M)** كما يوضحه البيان : **h = f(1/M)** أعلاه .

8°ـ مما سبق يتضح أن : $h = C^{te}.(1/M)$ ..... علاقة خطية بين الارتفاع **h** و مقلوب الكتلة **(1/M)** حيث : C^{te} ثابت يمثل الميل " معامل التوجيه " للمستقيم المائل المار من المبدأ : $h = C^{te}.(1/M)$ بالتالي **ثابت** $= C^{te}$ **Mh** والعبارة المناسبة للتحويل الطاقوي الحادث في الجملة في مختلف الحالات هي العبارة : **ثابت** $= C^{te}$ **Mh** .

9°ـ مما سبق نستنتج أنه بالنسبة للجسم : $E_A = E_B \Leftrightarrow 0 = E_{pp} - W$

ولدينا بالتعريف : $W = P.h$ ... (عمل الثقل) $\Leftarrow W = P.h = P.C^{te}.(1/M) = (P/M).Mh = K_{pp}.Mh$ حيث : $K_{pp} = P/M$.

● **نتيجة** : استنتج بإكمال الفراغات :

تتعلق الطاقة الكامنة الثقالية لجسم **بكتلته** و **ارتفاعه عن سطح الأرض** وتتناسب طردًا مع المقدار **Mh** وتكون عبارتها من الشكل $E_{pp} = K_{pp}.M.h$ حيث K_{pp} قيمة ثابتة تمثل معامل التناسب .

1°ـ ب) **تحديد الثابت K_{pp} (نشاط ـ 2)** :

ترك جسم كتلته $M = 0,1kg$ يسقط بدون سرعة ابتدائية من حافة طاولة على ارتفاع **h** من سطح الأرض ، يُمثل (الشكل – 2) المقابل تسجيل حركة الجسم . باختيار الجملة (**الجسم + الأرض**) حيث المجال الزمني الفاصل بين كل تسجيلين متتاليين هو : $\tau = 0,05\ s$.

1°ـ أحسب سرعة الجسم في المواضع : M_0 ، M_2 ، M_4 ، M_6 ، M_8 وأملأ الجدول التالي :

الموضع	v (m/s)	h (m)	½Mv^2 (J)	M.h (kg.m)
M_0				
M_2				
M_4				
M_6				
M_8				

2°ـ أرسم المنحنى الممثل لتغيرات الطاقة الحركية E_c بدلالة المقدار **Mh** .

3°ـ أكتب معادلة المنحنى و ضعها على الشكل : $E_c = U'_0 - K_1 U$

حيث : $U = Mh$ ، $U'_0 = K_1\ Mh_0$.

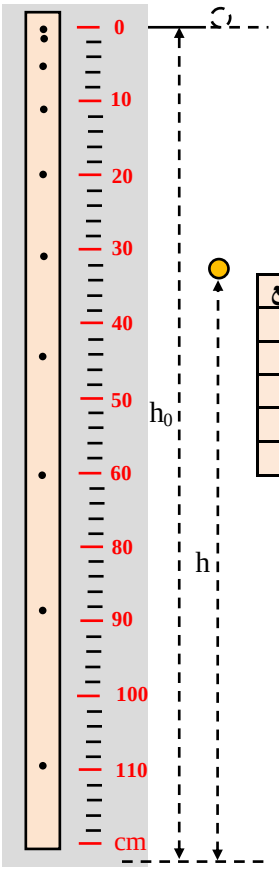
4°ـ استنتج قيمة : K_1 .

5°ـ تحقق أن معادلة انحفاظ الطاقة بين الموضعين الموافقين للارتفاعين **h** ، h_0 تكتب على الشكل : $E_c + E_{pp} = E_{p0}$

حيث : E_{p0} هي **الطاقة الكامنة الثقالية** عند الموضع الموافق للارتفاع h_0 .

E_{pp} و E_c هما على الترتيب **الطاقة الكامنة الثقالية** و **الطاقة الحركية** عند الموضع الموافق للارتفاع **h** .

6°ـ استنتج العلاقة بين K_1 و K_{pp} ثم عبارة **الطاقة الكامنة الثقالية** E_{pp} .



الشكل – 2

● **الجواب :**

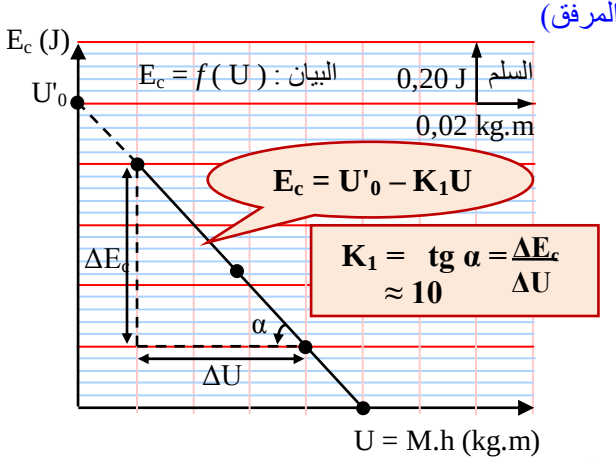
1°ـ حساب السرعات : v_0 ، v_2 ، v_4 ، v_6 ، v_8 في المواضع M_0 ، M_2 ، M_4 ، M_6 ، M_8 على الترتيب (لاحظ الجدول الموالي) حيث : $v_i = \frac{M_i M_{i+1}}{\Delta t} = \frac{d_i}{2\tau}$ ... ($\frac{m}{s}$)

ولدينا : **في الشكل :** 11,5 cm → 100 cm

الموضع	v (m/s)	h (m)	½Mv² (J)	M.h (kg.m)
M_0	0	1,00	0	0,100
M_2	0,870	0,95	0,04	0,095
M_4	1,914	0,80	0,18	0,080
M_6	3,045	0,55	0,46	0,055
M_8	3,915	0,20	0,77	0,020

و منه : 1 cm → 8,7 cm ..... (سلم الرسم)
∴ $v_0 = 0$ m/s لأن الجسم ينطلق من السكون دون سرعة ابتدائية .
كذلك : $v_2 = (1\times8,7)\times10^{-2}/(2\times0,05) = 0,870$ m/s
وتُحسب بقية السرعات بنفس الطريقة .
● تكملة الجدول :

2°ـ رسم البيان : $E_c = f(U)$ على الورق الملمتري (أنظر البيان المرفق)
حيث : $E_c = 1/2\ Mv^2$ ، $U = Mh$.
3°ـ البيان : $E_c = f(U)$ عبارة عن خط مستقيم مائل لا يمر من المبدأ معادلته من الشكل : $E_c = K_1(U_0 - U) = U'_0 - K_1U$.
4°ـ الثابت : K_1 هو الميل (معامل التوجيه) قيمته بيانيًا :

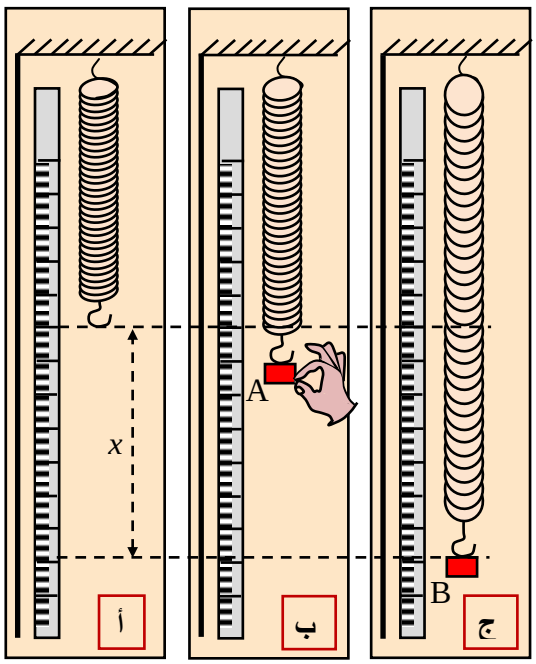


$K_1 = 10$ u.I
كذلك : $U'_0 = K_1Mh_0 = 1$ u.I بالتالي : $E_c = U'_0 - K_1U$
∴ $E_c = 1 - 10U = 1 - 10\ Mh$.
5°ـ نظريًا : باعتبار سطح الأرض ($h = 0$) كمستو ابتدائي مرجعي لقياس الطاقات الكامنة الثقالية ($E_{pp} = 0$) وباعتبار الجسم يسقط بتأثير قوة ثقله الوحيدة $\vec{P}$ فإن معادلة انحفاظ الطاقة بين الموضعين الموافقين للارتفاعين h_0 و h هي :
$E_0(h_0) = E(h) \Leftrightarrow 0 + E_{p0} = E_c + E_{pp} \Leftrightarrow E_{p0} = E_c + E_{pp}$
6°ـ بالرجوع إلى معادلة الانحفاظ : $E_{p0} = E_c + E_{pp}$ ، يكون لدينا : $E_c - 0 = E_{p0} - E_{pp} \Leftarrow E_c = E_{p0} - E_{pp}$
∴ $\Delta E_c = -\Delta E_{pp} \Leftarrow E_c - E_{c0} = -(E_{pp} - E_{p0})$.
لدينا من التجربة السابقة : $E_{pp} = K_{pp}.Mh = K_{pp}.U$
∴ $\Delta E_c = -K_{pp}(U - U_0) = E_c - 0 \Leftarrow E_{p0} = K_{pp}.U_0$
بالتالي : $E_c = K_{pp}.U_0 - K_{pp}.U$.....(1)
بيانيًا لدينا : $E_c = U'_0 - K_1U$.....(2)
⇐ بالمقارنة بين العلاقتين (1) و (2) نجد : $U'_0 = K_{pp}.U_0 = 1$ J
كذلك : $K_{pp} = K_1 \simeq 10$ N/kg .
∴ عبارة الطاقة الكامنة الثقالية E_{pp} اعتمادا على ما سبق هي : $E_{pp} = K_{pp}.Mh = K_1.Mh = 10Mh$.
● نتيجة : استنتج بإكمال الفراغات :

عندما يكون جسم كتلته **M** على ارتفاع **h** من سطح الأرض (**h = 0**) ، وباختيار الجملة (**الجسم + الأرض**) تكون الطاقة الكامنة الثقالية للجملة **$E_{pp} = M.g.h$** .

● نتائج & ملاحظات :
1°ـ إن الثابت : $K_{pp} = K_1 = g$ هو **تسارع الجاذبية الأرضية** على سطح الأرض و قيمته تُعادل تقريبًا : **10 N / kg** (في **الجزائر العاصمة**) :
g = 9,80 N/kg وفي العاصمة الفرنسية **باريس** : **g = 9,81 N/kg** .
2°ـ كما أسلفنا : $\Delta E_c = -\Delta E_{pp} \Leftrightarrow E_c - E_{c0} = -(E_{pp} - E_{pp0})$
$E_c + E_{pp} = E_{c0} + E_{pp0} \Leftrightarrow E = E_0$.

3 - 2°) الطاقة الكامنة المرونية و الفتلية (E_{pe}) :
2° - 1) الطاقة الكامنة المرونية :
2° - 1 / أ) **مقاربة أولية لعبارة الطاقة الكامنة المرونية (نشاط - 1)** :
نربط جسمًا كتلته **M** إلى أحد طرفي نابض طويل ، ثم نتركه يسقط من الموضع **A** بدون سرعة ابتدائية فيستطيل النابض حتى الموضع **B** أين تنعدم سرعة الجسم و يستطيل النابض بالمقدار **x** (الشكل – 3 جـ) .
1°ـ مثل الحوصلة الطاقوية للجملة المكونة من النابض ، الجسم و الأرض بين الموضعين **A** و **B**.
2°ـ استنتج من معادلة انحفاظ الطاقة بين الموضعين **A** و **B** المعادلة التالية : $E_{pe} = \Delta E_{pp}$ حيث : E_{pe} هي الطاقة الكامنة المرونية للنابض .
3°ـ كرّر التجربة من أجل قيم مختلفة للكتلة **M** و قس في كل مرة الاستطالة



الشكل – 3

x للنابض .
4°ـ دوّن نتائجك في الجدول المقابل :
5°ـ أرسم المنحنى الممثل لتغيرات E_{pe} ($E_{pe} = Mgx$) بدلالة المقدار x^2 .
ماذا تلاحظ ؟
6°ـ أحسب ميل المنحنى و استنتج أن عبارة الطاقة الكامنة المرونية تكتب بالشكل : $E_{pe} = K_e x^2$.

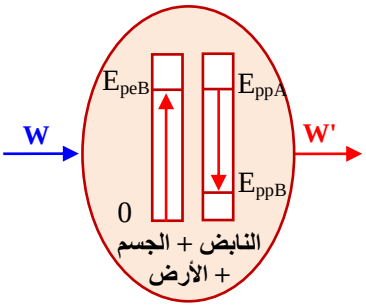
M (kg)	x (m)	Mgx (J)	x^2 (m^2)

● الجواب :

1°ـ الحوصلة الطاقوية للجملة (**النابض + الجسم + الأرض**) : لاحظ الشكل
2°ـ معادلة انحفاظ الطاقة للجملة بين الموضعين **A** و **B** تكتب اعتمادا على نموذج الحصيلة الطاقوية المرفق كالتالي :

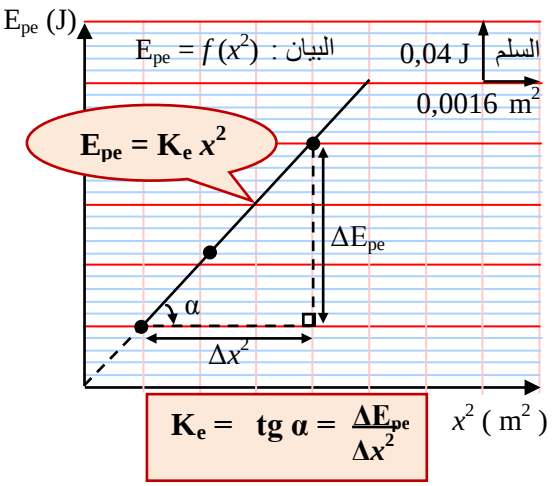
$$E_A = E_B \Leftrightarrow 0 + E_{p0} + W - W' = 0 + E_{pe} + E_{pp}$$

$$\therefore \boxed{\Delta E_{pp} = E_{pe}} \Leftrightarrow E_{p0} - E_{pp} = E_{pe} .$$

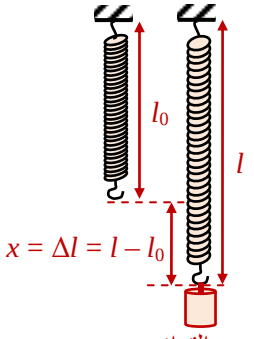


3°ـ نعلق في كل مرة كتلة معايرة **M** في النابض و نقيس استطالته الموافقة x ، والنتائج المحصل عليها ندّونها في الجدول المقابل :
4°ـ جدول القياسات :
5°ـ رسم البيان $E_{pe} = f(x^2)$ على الورق الملمتري ... (أنظر البيان أسفله).
نلاحظ أن : البيان $E_{pe} = f(x^2)$ عبارة عن خط مستقيم مائل يمر من المبدأ
معادلته من الشكل : $E_{pe} = K_e x^2$ أي أن :
E_{pe} تتناسب طردًا مع x^2 ...(K_e = ثابت : الميل أو معامل التوجيه) .
6°ـ بيانيًا : $K_e = tg\alpha = \Delta E_{pe}/\Delta x^2$
$= (3\times0,04)/(3\times0,0016) = 25$ u.I
$\therefore \boxed{K_e = 25 \text{ N/m}} \Leftarrow \boxed{E_{pe} = K_e x^2 = 25 x^2}$.

M (kg)	x (m)	Mgx (J)	x^2 (m^2)
0,100	0,04	0,04	0,0016
0,150	0,06	0,09	0,0036
0,200	0,08	0,16	0,0064
0,250	0,10	0,25	0,0100



2°ـ 1 / ب) **تعيين الثابت K_e (نشاط ـ 2)** :
لتعيين الثابت K_e قم بمعايرة النابض المستعمل في التجربة السابقة علق في نهاية النابض أجسامًا مختلفة الكتلة و قس في كل مرة الاستطالة عند وضعية توازن الجسم (الشكل جانبه) .
ـ دوّن نتائجك في جدول (الجدول أدناه) .
ـ أرسم منحنى المعايرة الممثل لتغيرات القوة المطبقة على النابض $T = Mg$ بدلالة الاستطالة x .ماذا تلاحظ ؟



ـ أحسب ميل المنحنى الذي يُمثل **ثابت مرونة النابض (K)** .
ـ قارن قيمة الميل **K** مع قيمة الثابت K_e . ماذا تلاحظ ؟
كرّر التجربتين السابقتين باستعمال نوابض مختلفة (ثوابت مرونة مختلفة) .
ـ قارن في كل مرة قيمة K_e مع قيمة ثابت المرونة لكل نابض . ماذا تلاحظ ؟
ـ استنتج من هذه المقارنة أن : $K_e = \ldots K$
حيث **K** هو ثابت مرونة النابض .
ـ استنتج أن عبارة **الطاقة الكامنة المرونية** تكتب بالشكل :
$E_{pe} = \ldots K x^2$.
ـ هل يمكن استعمال سلك مطاطي بدلاً من نابض في الأنشطة السابقة ؟ ناقش .

M (kg)	x (m)	Mg (N)

● **الجواب :**
ـ جدول القياسات ..... (لاحظ الجدول المقابل) .
ـ رسم منحنى معايرة النابض : $T = f(x)$ على الورق الملمتري
... (أنظر البيان المرفق أدناه) .
نلاحظ أن البيان عبارة عن " خط مستقيم مائل يمر من المبدأ " معادلته من الشكل :
$T = K x$ حيث : **K** ثابت يمثل ميل المستقيم (فيزيائيًا يُعرف بـ : **ثابت المرونة**)
أي أن :

M (kg)	x (m)	Mg (N)
0,100	0,02	1,0
0,150	0,03	1,5
0,200	0,04	2,0
0,250	0,05	2,5

استطالة النابض x تتناسب طردًا مع القوة المطبقة T " **قوة توتر النابض** " .

ـ بيانياً : الميل (ثابت المرونة) :

$$K = tg\alpha = \Delta T/\Delta x = (3\times0,5)/(3\times0,01) = 50\ u.I$$

∴ $K = 50\ N/m$ ..... (ثابت مرونة النابض المستعمل) .

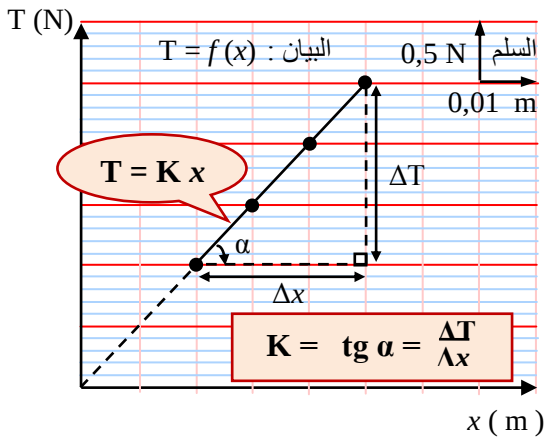
ـ لدينا : $K_e = 25\ N/m$ .....(النشاط ـ 1)

و لدينا : $K = 50\ N/m$ .....(النشاط ـ 2)

مما سبق يتضح أن : $K_e = ½\ K$.

ـ عند إعادة التجربتين السابقتين باستخدام نوابض مختلفة نجد في كل مرة نفس العلاقة بين الثابتين K_e و K أي دومًا :

$K_e = ½\ K$ بالنسبة لأي نابض .



- **نتيجة** : $K_e = ½\ K$

ـ لدينا مما سبق : عبارة **الطاقة الكامنة المرونية** : $E_{pe} = K_e\ x^2$

بالرجوع إلى النتيجة الأخيرة السابقة تصبح هذه العبارة بشكلها النهائي التالي : $E_{pe} = ½\ K\ x^2$.

ـ نعم يمكن استبدال النابض بسلك من المطاط لأن كليهما يُخزن **طاقة كامنة مرونية** .

- **نتيجة** : استنتج بإكمال الفراغات :

عندما يستطيل (ينضغط) نابض ثابت مرونته **K** بمقدار **x** تكتب عبارة طاقته **الكامنة المرونية** على الشكل التالي : $E_{pe} = ½\ K\ x^2$.

2 - °2) الطاقة الكامنة الفتلية :

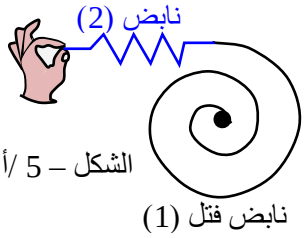
°2 - 2 / أ) معايرة نابض الفتل (نشاط ـ 1) :

ثبت نابض حلزوني مسطح ندعوه " نابض فتل (1) " من طرفه الداخلي في النقطة O ، مثل ما هو مبين في الشكل – 4 (يمكنك صنعه من سلك معدني مرن تديره بيدك) .

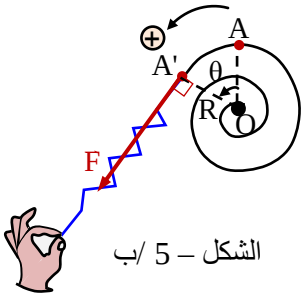
باستعمال نابض (2) معاير ثابت مرونته K ، طبق على الطرف الحر لنابض الفتل (1) قوة عمودية على AO . اختر مرجعًا لقياس زاوية دوران نقطة تطبيق القوة .

1 - غيّر في شدة القوة المطبقة و قس في كل مرة استطالة النابض (2) و زاوية دوران نابض الفتل (1) .

2 - دون نتائجك في الجدول التالي :



الشكل – 5 /أ



الشكل – 5 /ب

عزم القوة F بالنسبة لنقطة تثبيت نابض الفتل	شدة القوة F (N)	زاوية دوران نابض الفتل θ (rd)	استطالة النابض (2) x (cm)

3 - ارسم تغيرات عزم القوة بدلالة تغيرات زاوية دوران نابض الفتل .

4 - احسب ميل المنحنى الذي يمثل ثابت فتل النابض .

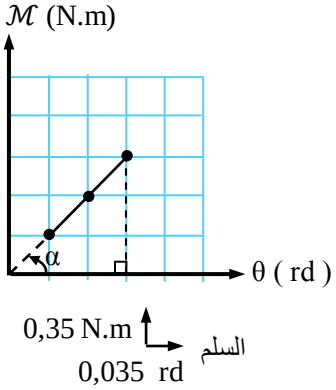
- **الجواب :**

2 - جدول القياسات ... (لاحظ الجدول المرفق) .

عزم القوة F بالنسبة لنقطة تثبيت نابض الفتل	شدة القوة F (N)	زاوية دوران نابض الفتل θ (rd)	استطالة النابض (2) x (cm)
0,349	3,49	0,0349	9,0
0,697	6,97	0,0697	17,5
1,047	10,47	0,1047	26,0

3 - رسم البيان $\mathcal{M}_{\vec{F}/O} = f(\theta)$ ... (لاحظ البيان المقابل) .

4 - حساب ميل المنحنى $\mathcal{M}_{\vec{F}/O} = f(\theta)$:



كما هو مبين على البيان ، ميل المنحنى هو : $tg\,\alpha = \frac{\Delta\mathcal{M}}{\Delta\theta} = \frac{3\times0,35}{3\times0,035} = 10\ N.m/rd$

∴ ثابت فتل النابض الحلزوني المسطح : $C = 10\ N.m.rd^{-1}$

2°- 2 / ب) الطاقة الكامنة المرونية (نشاط - 2) :

لحساب الطاقة المخزنة في نابض الفتل المستعمل في النشاط – 1 ، نقبل أن الطاقة المخزنة في نابض الفتل (1) تساوي في كل وضعية الطاقة المخزنة في النابض (2) . (يمكنك الوصول إلى هذه النتيجة بتوظيف مبدأ انحفاظ الطاقة و مبدأ الفعلين المتبادلين و ذلك بدراسة الجملتين النابض (1) و النابض (2) .

باستعمال نتائج النشاط 1 املأ الجدول التالي :

استطالة النابض (2) x (cm)	زاوية دوران نابض الفتل θ (rd)	الطاقة المخزنة في النابض (1) ½ Kx^2 (J)	θ^2 (rd^2)

1 - ارسم منحنى تغيرات الطاقة المخزنة في النابض (1) بدلالة مربع الزاوية (θ^2) .

2 - احسب ميل المنحنى و استنتج أن عبارة الطاقة الكامنة المرونية لنابض الفتل تكتب على الشكل : $E_{pe} = C_e.\theta^2$

● **الجواب :**

ملء الجدول حيث ثابت مرونة النابض (2) هو $K = 40\ N/m$:

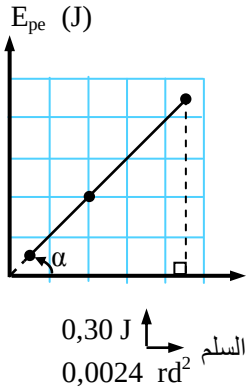
استطالة النابض (2) x (cm)	زاوية دوران نابض الفتل θ (rd)	الطاقة المخزنة في النابض (1) ½ Kx^2 (J)	θ^2 (rd^2)
9,0	0,0349	0,162	0,0012
17,5	0,0697	0,612	0,0048
26,0	0,1047	1,352	0,0110

1 - رسم المنحنى $E_{pe} = f(\theta^2)$: ... (لاحظ البيان المرفق)

2 - حساب الميل :

البيان $E_{pe} = f(\theta^2)$ عبارة عن خط مستقيم مائل امتداده يمر من المبدأ ، معادلته من الشكل : $E_{pe} = C_e.\theta^2$ حيث C_e معامل التوجيه (الميل) .

ميل المنحنى هو : $C_e = tg\,\alpha = \frac{\Delta E_{pe}}{\Delta\theta^2} = \frac{(4{,}5\times0{,}30)}{(4{,}5\times0{,}0024)} = 125\ J/rd^2$



2°- 2 / جـ) تعيين الثابت C_e :

قارن قيمة C_e مع قيمة ثابت فتل النابض الحلزوني C . ماذا تلاحظ ؟

... (مما سبق يتبين أن : $C_e = \frac{1}{2}C$) .

استنتج أن عبارة الطاقة الكامنة المرونية لنابض الفتل تكتب على الشكل : $E_{pe} = \ldots\ C.\theta^2$

... (لدينا : $E_{pe} = C_e.\theta^2$ ، $C_e = \frac{1}{2}C \Leftarrow E_{pe} = \frac{1}{2}C.\theta^2$)

● **نتيجة :** استنتج بإكمال الفراغات :

عندما نفتل بزاوية θ سلك فتل أو نابض حلزوني (نابض فتل) ثابت فتله C، فإنه يخزن طاقة كامنة مرونية عبارتها :

$$E_{pe} = \frac{1}{2}C\theta^2$$

● **تطبيق : (التمرين المحلول ص : 84 من كتاب التلميذ) .**

نربط كرية صغيرة كتلتها : M = 60g بطرف خيط طوله : L = 60 cm ، و نعلق الطرف الثاني للخيط في حامل ، نزيح الكرية عن وضع توازنها بزاوية قدرها : $\alpha_0 = 30°$ ثم نتركها لحالها . باختيار وضع التوازن كمرجع للتراتيب :

1°) جد عبارة الطاقة الكامنة الثقالية للكرية بدلالة الزاوية α .

2°) بيّن أن مجموع الطاقتين الحركية و الكامنة للكرية ثابت خلال الحركة .

3°) أحسب سرعة الكرية عند مرورها من وضع التوازن .

4°) ماهي قيمة الزاوية α التي من أجلها تبلغ سرعة الكرية نصف قيمتها الأعظمية ؟

5°) إذا وضع مسمار في النقطة S منتصف القطعة [OO'] و أزيحت الكرية بنفس الزاوية $\alpha_0 = 30°$. ماهي أقصى زاوية β يصنعها الخيط مع الشاقول من الجهة المقابلة ؟

● **الجواب :**

1°) عبارة الطاقة الكامنة الثقالية للكرية :

نعتبر الحالة الكيفية التي يصنع فيها الخيط زاوية α مع المحور الشاقولي Oz (وضع التوازن : α = 0) ، و باعتبار المستوى الأفقي المار بمركز الكرية عند التوازن **كمستوى مرجعي ابتدائي لقياس الطاقة الكامنة الثقالية**

$E_{pp} = Mg.h = Mg.L(1 - \cos\alpha)$ فإن : $(h = 0 \Rightarrow E_{pp} = 0)$

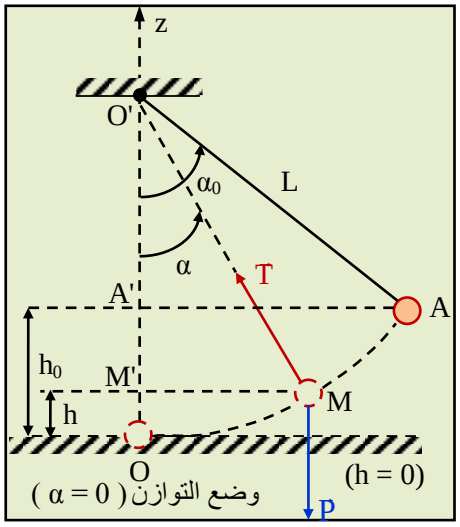
حيث : $h = L - L\cos\alpha = L(1 - \cos\alpha)$ ..... (لاحظ الشكل جانبه) .

2°) إثبات أن مجموع الطاقتين الحركية و الكامنة ثابت خلال الحركة :

نعلم أن : ـ مبدأ انحفاظ الطاقة $\Delta E_c = - \Delta E_{pp} \Leftrightarrow$ بين الموضعين الابتدائي **A** و الكيفي **M** وهذا بإهمال كل التحولات الطاقوية غير المفيدة بسبب الاحتكاكات . بالتالي : $E_c(M) - E_c(A) = - E_{pp}(M) + E_{pp}(A)$ أي أن :

$E_c(M) + E_{pp}(M) = E_c(A) + E_{pp}(A)$

ومنه : **مجموع الطاقتين الحركية و الكامنة في الموضع A يُساوي مجموع الطاقتين الحركية و الكامنة في الموضع M .**



● ملاحظة : ❶ **بالتعريف نُسمي مجموع الطاقتين الحركية و الكامنة في موضع كيفي للجملة الميكانيكية بـ "الطاقة الميكانيكية" ويُرمز لها بالرمز :** E_m **أي أن :** $E_m = E_c + E_{pp}$.

❷ **في حالة الجملة التي لا تستقبل و لا تفقد الطاقة (أو ما يُعرف بـ : الجملة المعزولة) فإن الطاقة الميكانيكية الكلية للجملة تبقى محفوظة أي :** $E_m = E_c + E_{pp} = C^{te}$ **أو :** $\Delta E_c = - \Delta E_{pp}$ **أو :** $\Delta E_m = 0$.

3°) سرعة الكرية لحظة مرورها من وضع التوازن :

ـ في الموضع **A** : $E_c(A) = 0 \; ; \; E_{pp}(A) = Mgh_0 = MgL(1 - \cos\alpha)$

ـ في الموضع **M** : $E_c(M) = 1/2\, Mv^2 \; ; \; E_{pp}(M) = Mgh_0 = MgL(1 - \cos\alpha_0)$

$\Delta E_c = E_c(M) - E_c(A) = 1/2\, Mv^2 - 0 = 1/2\, Mv^2$ ..... (1)

$\Delta E_{pp} = E_{pp}(M) - E_{pp}(A) = Mg\,(h - h_0) = MgL(\cos\alpha_0 - \cos\alpha)$ ..... (2)

من (1) و (2) وبالرجوع إلى العلاقة $\Delta E_c = - \Delta E_{pp}$ نجد : $1/2\, Mv^2 = MgL(\cos\alpha - \cos\alpha_0)$ بالتالي :

$v^2 = 2gL(\cos\alpha - \cos\alpha_0) \Rightarrow v = \sqrt{2gL(\cos\alpha - \cos\alpha_0)}$ وهي سرعة الكرية في موضع كيفي خلال الحركة .

عند المرور بوضع التوازن $(\alpha = 0)$ فإن : $\cos\alpha = 1$ وبالرجوع إلى عبارة السرعة السابقة تكون :

$v_0 = \sqrt{2gL(1 - \cos\alpha_0)}$ ت . ع : $v_0 = 1{,}25$ m/s وهي أعظم سرعة تكتسبها الكرية خلال الحركة .

4°) حساب الزاوية α عندما تبلغ سرعة الكرية نصف قيمتها العظمى :

لأجل سرعة تكتسبها الكرية أثناء الحركة قدرها : $v = ½\, v_0$ في موضع كيفي **M** بعد إزاحتها في البداية إلى الموضع **A** بزاوية : $\alpha_0 = 30°$ فإن معادلة انحفاظ الطاقة بين الموضعين **A** و **M** هي :

$E_m(A) = E_m(M) \Leftrightarrow E_0(A) = E(M)$

$\therefore E_c(A) + E_{pp}(A) = E_c(M) + E_{pp}(M)$ و منه :

$½\, Mv^2 + MgL(1 - \cos\alpha) = MgL(1 - \cos\alpha_0)$

لكن : $v = ½\, v_0 \Leftarrow v^2 = ¼\, v_0^2$ بالتعويض في المعادلة السابقة نجد :

$⅛\, Mv_0^2 + MgL(1 - \cos\alpha) = MgL(1 - \cos\alpha_0)$

ولدينا : $v_0^2 = 2gL(1 - \cos\alpha_0)$ بالتالي :

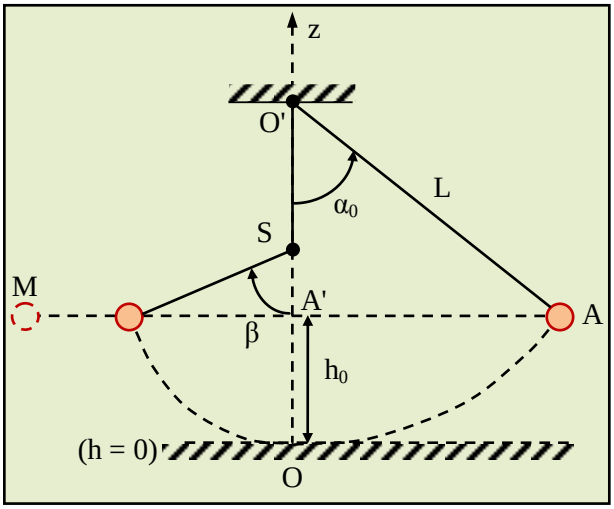
$¼\, MgL(1 - \cos\alpha_0) + MgL(1 - \cos\alpha) = MgL(1 - \cos\alpha_0)$

$\therefore \cos\alpha = ¼ + ¾\cos\alpha_0 \Leftarrow \cos\alpha = 0{,}90 \Leftarrow \alpha \simeq 26°$

5°) حساب الزاوية β :

كماهو موضح بالشكل المقابل فإن الكرية تنطلق من السكون عند الموضع **A** لتستقر في الجانب الآخر من الشاقول لحظة انعدام سرعتها بحيث يصنع جزء الخيط الزاوية **β** مع جزء الخيط الشاقولي **O'S** وحسب معادلة الانحفاظ الطاقوي فإن : $E_{p0} = E_{pp} \Leftrightarrow h_0 = h$ أي أن الكرية تصعد لنفس الارتفاع من الجانب الآخر ومنه : $A'S = A'O' - SO' = L\cos\alpha - L/2 = L(\cos\alpha - 1/2)$

$\Leftarrow \cos\beta = A'S/(L/2) = 2\cos\alpha - 1 = 2 \times 0{,}866 - 1 = 0{,}73 \Rightarrow \beta \simeq 43°$.



3 تطبيقات : التمارين : ت2 ؛ ت3 ؛ ت5 الصفحة ـ 86
الطاقة الكامنة الثقالية
ت7 الصفحة ـ 87

التمارين : ت12 الصفحة ـ 88 ؛ ت13 الصفحة ـ 89 ؛ ت16 الصفحة ـ 90 ..... الطاقة الكامنة المرونية .

● حلول بعض التمارين(صفحة86)

الطاقة الكامنة الثقالية :

● تمرين2 :

العبارة " **الطاقة الكامنة الثقالية معرّفة بتقريب ثابت**" تعني أن مرجع حساب الطاقة الكامنة الثقالية اختياري أي أن :

ـ باختيار محور التراتيب موجه نحو الأعلى نكتب في الحالة العامة عبارة الطاقة الكامنة الثقالية على الشكل :

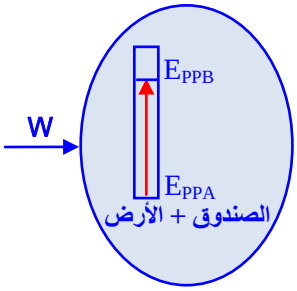
$$E_{pp} = mgz + C^{te}$$

ـ باختيار الطاقة الكامنة الثقالية تساوي صفرا عندما $z = 0$ تصبح العبارة : $E_{pp} = m\,g\,z$

● تمرين 3 :

إذا اخترنا الجملة هي **الجسم** فقط دون **الأرض** فإنه لا يمكن الحديث عن **طاقة كامنة ثقالية** ، لأن الطاقة الكامنة الثقالية هي طاقة تتعلق بموضع الجسم بالنسبة للأرض داخل الجملة .

● تمرين5 :



1 - الحصيلة الطاقوية للجملة بين A و B

2 - معادلة انحفاظ الطاقة $W + E_{ppA} = E_{ppB}$

باختيار : $E_{ppA} = 0$ تكتب المعادلة : $W = E_{ppB}$

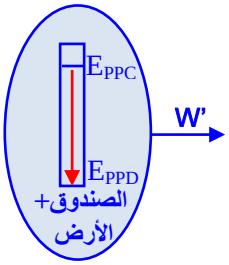
3 - عمل قوة الكابل من A إلى B

$$W_{AB} = E_{ppB} = m\,g\,h = m\,g\,AB$$
$$W_{AB} = 500 \times 9{,}80 \times 6 = 29400\ J$$

4 - عمل قوة الكابل من B الى C

العمل معدوم لأن القوة عمودية على الإنتقال

5 - عمل قوة الكابل من C الى D



$E_{ppC} - W' = E_{ppD}=0$ نضع $-W' = W_{CD}$

$- E_{ppC} = - W' = W_{CD}$

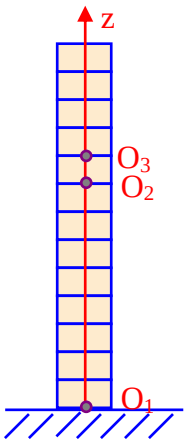
بما أن $E_{ppB} = E_{ppC}$ إذن $W_{CD} = - W_{AB} = - 29400\ J$

6 - عمل هذه القوة من A الى D يكون معدوما .

● تمرين7 :

يستحسن كتابة عبارة الطاقة الكامنة الثقالية بإستعمال المتغير z بدلا من h

نكتب : $E_{pp} = M\,g\,z$ (باختيار محور التراتيب موجه نحو الأعلى)



1°- الطاقة الكامنة للجملة في حالة :

أ- المرجع في O_1 (سطح الأرض)

$$E_{pp1} = M\,g\,z_1 = 1025 \times 9{,}80 \times 3 \times 9 = 2{,}7 \times 10^5\ J$$

مع $z_1 = 3 \times 9 = 27\ m$ حيث : علو كل طابق هو 3m

ب- المرجع في O_2 (الطابق التاسع)

$E_{pp2} = M\,g\,z_2 = 0$ لأن : $z_2 = 0$

جـ- المرجع في O_3 (الطابق العاشر)

$$E_{pp3} = M\,g\,z_3$$

هنا : $z_3 = -3m$ إذن : $E_{pp3} = 1025 \times 9{,}80 \times (-3) = -0{,}3 \times 10^5\ J$

2°- عمل قوة الكابل من الطابق الأرضي الى الطابق التاسع

نكتب معادلة الانحفاظ : $W = E_{ppB}$

$$W = E_{ppB} = E_{pp1} = 2{,}7 \times 10^5\ J$$

3°- إستطاعة القوة : $P = E/t = W/t$

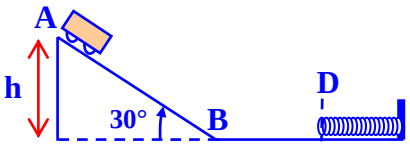
بما أن المصعد له حركة مستقيمة منتظمة إذن : $t = z/v$ بالتعويض في عبارة P نحصل على:

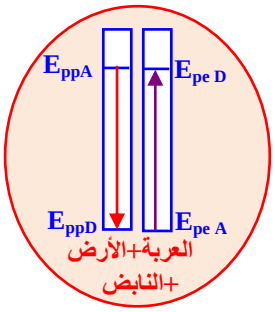
$$P = W/t = W\,v\,/\,z$$
$$P = 2{,}7 \times 10^5 \times 1{,}2\ /27 = 0{,}12 \times 10^5\ Watt$$

الطاقة الكامنة المرونية :

● **تمرين12 :**

1°- بإختيار الجملة (**عربة+الأرض+النابض**) تتحول الطاقة الكامنة الثقالية للجملة في الوضع **A** الى طاقة حركية في الوضع **B** ثم الى طاقة كامنة مرونية تظهر في النابض عندما ينضغط كلية في الوضع **D** .





2- الحصيلة الطاقوية بين الوضعين A و D :

3- معادلة انحفاظ الطاقة :

$$E_{ppA} = E_{peD}$$
$$Mgh = 1/2\ kx^2$$

4- أقصى انضغاط للنابض :

$$Mg\ AB\ \sin 30° = 1/2\ kx^2$$
$$X = 12{,}5\ cm$$

5- شدة القوة المطبقة من طرف النابض في هذا الوضع :

$$T = k\ x$$
$$T = 400 \times 12{,}5 \times 10^{-2} = 50\ N$$

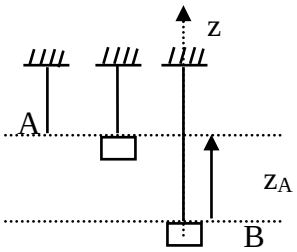
6°- بالإعتماد على مبدأ إنحفاظ الطاقة و بإهمال قوى الإحتكاك تصعد العربة حتى الموضع **A** بعد إستطالة النابض حيث تتحول كل **الطاقة الكامنة المرونية** إلى **طاقة كامنة ثقالية**.

7°- الهدف من هذا السؤال هو تمثيل الحصيلة الطاقوية ثم إيجاد الطاقة الحركية للعربة لحظة ملامستها النابض ثم دراسة تحويل الطاقة من العربة إلى النابض .

● **تمرين 13 :**

نختار النقطة **B** مبدأ التراتيب التي توافق أقصى إستطالة للنابض مرجعا لحساب الطاقة الكامنة الثقالية.

عبارة الطاقة الكامنة الثقالية تكون: $E_{pp} = m\ g\ z$



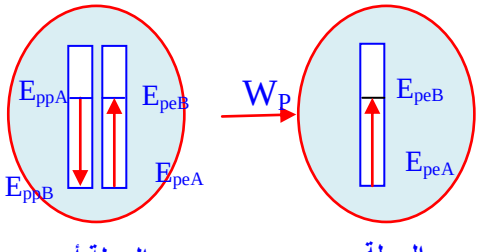
1°- الحصيلة الطاقوية و معادلة انحفاظ الطاقة في الحالات :

أ- الجملة (**الجسم + النابض + الأرض**)

$$E_{ppA} = E_{peB}$$

ب- الجملة (**الجسم+النابض**)

$W_P = E_{peB}$ حيث : W_P : هو عمل قوة الثقل



3- حساب أقصى استطالة :

$$E_{ppA} = E_{peB}$$
$$M\ .\ g\ .\ z_A = 1/2\ K\ .\ z_A^2$$
$$z_A = 2\ mg/K = 2 \times 0{,}2 \times 9{,}80/10 = 0{,}39\ m = 39\ cm$$

4- الطاقة الكامنة المرونية للنابض :

$$E_{pe} = 1/2\ K\ .\ z_A^2 = 1/2 \times 10 \times 0{,}39^2 = 0{,}76\ J$$

● **تمرين16 :**

1- نمثل الحصيلة الطاقوية للجملة (النابض)

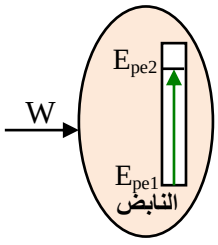
ثم نكتب معادلة انحفاظ الطاقة على النحو التالي : $W = E_{pe}$

ومنه الطاقة الكامنة المرونية تساوي عمل المزدوجة $E_{pe} = W = 10\ J$

2- ثابت الفتل C : $E_{pe}=1/2.C.\theta^2 = W \Rightarrow C=2W/\theta^2 = 2\times10/(10\times2\pi)^2$

$$C = 0{,}005\ Nm/rd \Leftarrow$$

ملاحظة : في هذه العبارة وحدة الزاوية هي الراديان (rd) ووحدة ثابت الفتل هي (Nm/rd)



3- تحولات الطاقة : باعتبار الجملة (النابض+العربة).

عند ترك النابض لحاله فإن الطاقة الكامنة المرونية المخزنة فيه تتحوّل إلى طاقة حركية في العربة وذلك بتدوير عجلات العربة عند امتداده ورجوعه .

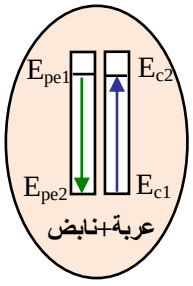
4- الحصيلة الطاقوية و معادلة الإنحفاظ : $E_{pe1}=E_{c2}$

5- الطاقة الحركية للسيارة عندما يرجع النابض إلى حالته الطبيعية

$$E_{pe1} = E_{c2} = W = 10\ J$$

سرعة العربة عندئذ :

$$E_{c2} = 1/2.m.v^2 = W$$
$$v = 14{,}14 m/s \Leftarrow v^2 = 2W/m$$

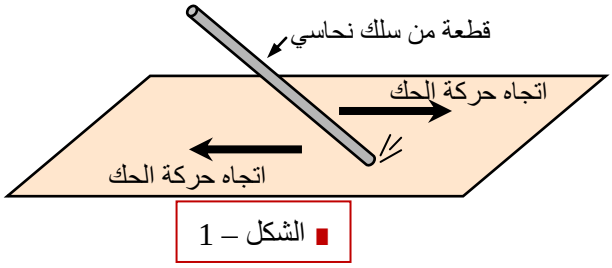


المجال (I) : الطـاقة .
الوحـدة ④ : الطاقة الداخلية :

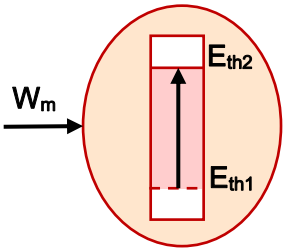
● الكفاءات المستهدفة :
ـ يُوظف حصيلة طاقوية كمية .
ـ يعرف أن طاقة الرابطة أكبر تقريبًا بعشرة أضعاف من طاقة التماسك .

4 ـ 1°) المركبة الحرارية E_{th} للطاقة الداخلية :

● نشاط : خذ قطعة من سلك معدني ثم حُكّ أحد طرفيه على سطح خشن لمدة كافية ... (أنظر الشكل – 1) .
ـ ألمس (بحذر) بيدك طرف السلك قبل و بعد عملية الحك .
ماذا تلاحظ ؟... (ارتفاع ملحوظ في درجة حرارة السلك)
ـ هل تغيرت الطاقة الداخلية للسلك بعد عملية الحك ؟ لماذا ؟
... (نعم بدليل ارتفاع حرارة السلك) .
ـ مثل الحصيلة الطاقوية للسلك بين بداية و نهاية الحك
... (أنظر النموذج جانبه)



الشكل – 1



ـ أعط تفسيرًا على المستوى المجهري لتغير الطاقة الداخلية للسلك .
... (بعد مرور بضع دقائق على الحك تتعادل درجة حرارة السلك ، إذ أن الجسيمات المكونة للسلك الموجودة عند طرفه تكتسب طاقة حركية نتيجة الاحتكاك مع السطح الخشن ، هذه الجسيمات تُقدم جزءا من طاقتها الحركية للجسيمات التي تجاورها ، وبدورها هذه الأخيرة تُحوَّل جزءا من طاقتها إلى الجزيئات التي بالقرب منها ... وهكذا يستمر التحويل إلى أن يصبح لكل الجزيئات في المتوسط نفس الطاقة الحركية ، وتصبح لكل نقطة من السلك نفس درجة الحرارة نقول حينئذٍ على الجملة "السلك" أنها في حالة توازن حراري) .

● نتيجة : استنتج بإكمال الفراغات

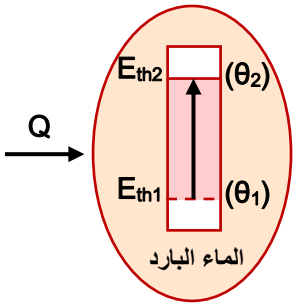
يدل ارتفاع درجة حرارة الجملة على تغير طاقتها الداخلية ΔE_{th} . ارتفاع الطاقة الداخلية للجملة ناتج عن زيادة الطاقة الحركية المجهرية "الميكروسكوبية" لجسيمات الجملة . يُقاس هذا التغير في الطاقة الداخلية بقيمة التحويل الحراري Q بين الجملة و الوسط الخارجي .

1°ـ 1) العوامل التي يتعلق بها التحويل الحراري :

● نشاط ـ 1 " علاقة التحويل الحراري بتغير درجة الحرارة" :

Ⓐ ـ ضع كمية من الماء البارد (200 g مثلاً) درجة حرارته الابتدائية $\theta_1 = 20\ °C$ في وعاء و أضف له نفس الكمية من ماء ساخن درجة حرارته $\theta_2 = 60\ °C$. اعتبر الجملة المكونة من كميتي الماء معزولة حراريًا أي يُهمل التحويل الحراري الذي يحدث مع الوسط الخارجي (الوعاء + المحيط) .

① مثل الحصيلة الطاقوية للماء البارد بين الحالة الابتدائية ($\theta = \theta_1$) و الحالة النهائية ($\theta = \theta_2$) .
... (أنظر النموذج جانبه)



② ماذا يُمثِّل التحويل الحراري Q بين الماء البارد و الماء الساخن ؟
... (يُمثِّل التحويل الحراري Q بين كميتي الماء مقدار التغير الحادث في الطاقة الداخلية لكل منهما : الزيادة في الطاقة الداخلية للماء البارد = النقصان في الطاقة الداخلية للماء الساخن) .
③ هل يمكنك تقدير درجة حرارة الجملة عند التوازن الحراري في هذه الحالة ؟
... (حيث أن كميتي الماء الممزوجتين متساويتين فإن درجة حرارتهما عند بلوغ التوازن الحراري تأخذ معدل درجتي حرارتهما الابتدائيتين تقريبًا أي : $\theta = (\theta_1 + \theta_2)/2 \simeq 40\ °C$) .
④ قس درجة حرارة الماء بعد التوازن الحراري . ماذا تلاحظ ؟... (بعد حدوث التوازن الحراري تثبت درجة حرارة الماء عند القيمة المقاسة النهائية $\theta \simeq 40\ °C$)
⑤ استنتج الفرق في درجة حرارة الماء البارد بين الحالة الابتدائية و الحالة النهائية .
... ($\Delta\theta = \theta - \theta_0 = 40 - 20 = 20\ °C$)

Ⓑ ـ أعد التجربة بأخذ نفس كمية الماء البارد السابقة ($m = 200\ g$ و $\theta_0 = \theta_1 = 20\ °C$) ثم أضف لها نفس الكمية من ماء ساخن درجة حرارته $\theta_2 = 80\ °C$. اعتبر دوما الجملة المكونة من كميتي الماء معزولة حراريا .
① قس درجة حرارة الجملة عند التوازن الحراري في هذه الحالة ، هل لها نفس القيمة السابقة ؟... (لا يكون لدرجة حرارة الماء النهائية عند بلوغ التوازن الحراري نفس القيمة السابقة $\theta \simeq 40\ °C$ وإنما يكون لها قيمة مختلفة قدرها في هذه الحالة

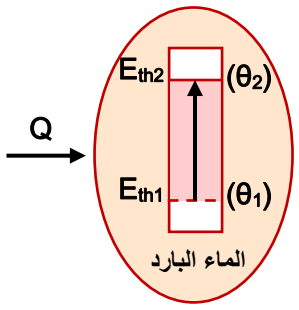
($\theta \simeq 50$ °C)

② استنتج الفرق في درجة حرارة الماء البارد بين الحالةالابتدائية و الحالة النهائية .

... ($\Delta\theta = \theta - \theta_0 = 50 - 20 = 30$ °C) .

③ مثل الحصيلة الطاقوية للماء البارد بين الحالةالابتدائية و الحالة النهائية.

... (أنظر النموذج جانبه) .



④ هل قيمة التحويل الحراري Q هي نفسها القيمة السابقة ؟ ... (لايكون للتحويل الحراري في هذه الحالة نفس القيمة كما في الحالة السابقة) .

⑤ بماذا تتعلق قيمة التحويل الحراري ؟... (تتعلق قيمة التحويل الحراري Q بالفرق في درجة الحرارة النهائية و الابتدائية : $\Delta\theta = \theta - \theta_0$)

● **نشاط ـ 2 " علاقة التحويل الحراري بكمية المادة (الكتلة)" :**

أعد التجربة وخذ نفس كمية الماء البارد في نفس درجة الحرارة ($m = m_1 = 200$ g و $\theta_0 = \theta_1 = 20$ °C) وأضف لها ضعف الكمية من الماء الساخن ($m_2 = 400$ g) درجة حرارته $\theta_2 = 60$ °C .

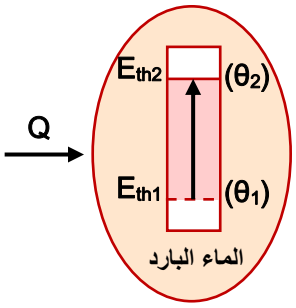
① هل يكون للجملة نفس درجة حرارة التوازن السابقة ـ (الجزء ـⒶ) ؟ ... (لايكون للجملة نفس درجة التوازن كما هو الحال في الجزء ـ Ⓐ من النشاط ـ 1 أي : $\theta \simeq 40$ °C بل يكون لها درجة حرارة مختلفة) .

② قس درجة حرارة الماء بعد التوازن الحراري . ماذا تلاحظ ؟... (درجة حرارة الماء تثبت عند قيمتها النهائية بعد حدوث التوازن الحراري وتقدر في هذه الحالة تقريبا $\theta \simeq 46,66$ °C) .

③ استنتج الفرق في درجة حرارة الماء البارد بين الحالةالابتدائية و الحالة النهائية.

... ($\Delta\theta = \theta - \theta_0 = 46.66 - 20 = 26,66$ °C) .

④ مثل الحصيلة الطاقوية للماء البارد بين الحالةالابتدائية و الحالة النهائية. ... (أنظر النموذج جانبه)



⑤ قارن بين قيمة التحويل الحراري Q لهذا النشاط و قيمته في النشاط ـ 1 (الجزء ـ Ⓐ) .

... (بما أن كمية الماء البارد هي نفسها في النشاط ـ 1 ـ الجزء Ⓐ و كذا في النشاط ـ 2 بينما التغير الحادث في درجة حرارة الماء مختلفة في الحالتين " **$\Delta\theta \simeq 20$ °C في الحالة الأولى** " و " **$\Delta\theta \simeq 26,66$ °C في الحالة الثانية** " فإن قيمة التحويل الحراري Q **غير متساوية** في الحالتين) .

● **نشاط ـ 3 " علاقة التحويل الحراري بنوع المادة " :**

أعد التجربة وخذ نفس كمية الماء البارد في نفس درجة الحرارة ($m = 200$ g و $\theta_1 = 20$ °C)

و أضف لها نفس الكمية من معدن النحاس (سلك نحاسي: $m_{Cu} = 200$ g) درجة حرارته $\theta_2 = 60$ °C (عمليًا : يُستخرج السلك النحاسي من حمام مائي درجة حرارته 60 °C ويوضع مباشرة في الماء البارد) .

① قس درجة حرارة الجملة عند التوازن الحراري في هذه الحالة ، هل لها نفس القيمة التي حصلت عليها في النشاط 1 الجزء Ⓐ ؟ ... (عند التوازن الحراري للجملة نقيس درجة حرارتها النهائية فنجدها مساوية $\theta \simeq 23,33$ °C وبالتالي ليس لها نفس القيمة المقاسة في النشاط ـ 1 ـ الجزء Ⓐ) .

② استنتج الفرق في درجة حرارة الماء البارد بين الحالةالابتدائية و الحالة النهائية

... ($\Delta\theta = \theta - \theta_0 = 23,33 - 20 = 3,33$ °C) .

③ بماذا تتعلق قيمة التحويل الحراري ؟... (تتعلق قيمة التحويل الحراري Q بطبيعة " أو نوع " المادة المستقبلة أو الفاقدة للتحويل الحراري الحادث في الجملة المتوازنة) .

● **نتيجة : استنتج بإكمال الفراغات**

تتعلق قيمة الطاقة المحولة Q بين كميتين من المادة بـكتلة و نوع كل مادة و الفرق بين درجتي الحرارة النهائية و الابتدائية لكل مادة تفقد أو تستقبل الطاقة بتحويل حراري.Q حيث يساوي هذا التحويل التغير في الطاقة الداخلية لكل مادة $Q = \Delta E_{th}$.

1°ـ 2) عبارة التحويل الحراري Q :

تتناسب قيمة **التحويل الحراري** المصحوب بتغير في درجة الحرارة و غير المرفق بتغير في الحالة الفيزيائية للمادة مع **كتلة** هذه الأخيرة و **الفرق في درجة الحرارة** بين الحالة النهائية و الحالة الابتدائية للجملة المدروسة ، حيث تُكتب عبارة هذا التحويل بالشكل التالي : $\boxed{Q = mc\,(\theta_f - \theta_i) = C.\Delta\theta}$ وفيها :

Q : تمثل **التحويل الحراري** و يقدر بوحدته الدولية **الجول** (**J**) .

m : تمثل **كتلة المادة** المستقبلة أو الفاقدة للتحويل الحراري مقدرة بوحدتها الدولية **الكيلوغرام** (**kg**) .

c : تمثل **معامل ثابت** يعرف باسم **الحرارة الكتلية** للمادة المعتبرة وهي تتعلق بـ **نوع المادة** حيث : $C = mc$ هي **السعة الحرارية** للمادة ... (تقدر الحرارة الكتلية **c** بوحدتها الدولية **الجول لكل كيلوغرام في الدرجة المطلقة** (أو : **المئوية**) : $J / (kg . °C)$ ، وتقدر السعة الحرارية **C** بوحدة **الجول لكل درجة** : $J /°C$).

θ_i **:** درجة الحرارة **الابتدائية** و θ_f درجة الحرارة **النهائية** وتقدران بوحدة **°C** حيث : $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$ **الفرق في درجة الحرارة** .

- **ملاحظات :**
- إذا كانت : $\theta_f > \theta_i$ فإن : $Q > 0$ " يحدث ارتفاع في المركبة الحرارية لطاقة الجملة الداخلية " أي أن : الجملة استقبلت طاقة .
- في الحالة المعاكسة : الجملة تفقد الطاقة أي $\Delta E_{th} = Q < 0$.
- السعة الحرارية لجملة تعادل مجموع السعات الحرارية لكل مكوناتها :

$$C = \sum C_i = \sum m_i c_i = m_1c_1 + m_2c_2 + m_3c_3 + \dots$$

1°– 3) فعل جول : فعل جول هو التحويل الحراري الذي يرافق مرور تيار كهربائي في ناقل أومي .

- **نشاط : التحقق من قانون جول :**

حقق التركيب المبين في الشكل – 2 و المكون من مسعر حراري و لواحقه :
معدلة كهربائية ؛ مولد كهربائي ؛ آمبيرمتر ؛ فولطمتر ؛ مقاومة لتسخين الماء ؛ ...

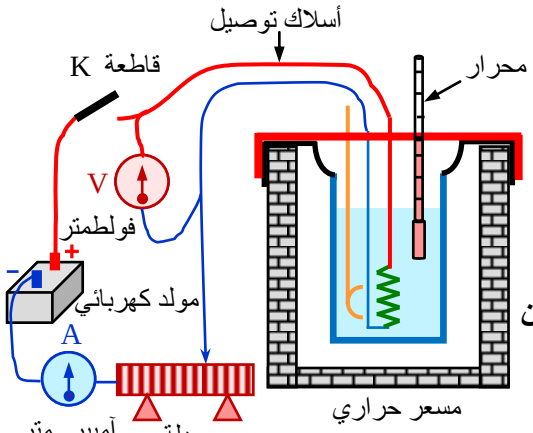
ـ ضع كمية من الماء كتلتها $m = 300\ g$ في المسعر و قس درجة الحرارة الابتدائية .

ـ أغلق القاطعة وقس الزمن اللازم لرفع درجة حرارة الماء داخل المسعر بعشر درجات مئوية : $\Delta\theta = 10\ °C$

ـ قس في نفس الوقت شدة التيار الكهربائي المار في المقاومة وفرق الكمون المطبق بين طرفيها .

ـ غيّر في شدة التيار ، وذلك بتغيير قيمة مقاومة المعدلة ، وقس شدة التيار وفرق الكمون والزمن اللازم لرفع درجة حرارة الماء داخل المسعر بعشر درجات مئوية (10 °C) .

ـ كرّر العملية عدة مرات بتغيير شدة التيار ، ثم دوّن نتائجك في الجدول التالي :



■ الشكل – 2

I (A)	t (s)	I^2t ($A^2.s$)

- تحليل نتائج القياس :

أ) ـ أكتب عبارة الطاقة المكتسبة من طرف الماء .

ب) ـ أكتب عبارة الطاقة الكهربائية المحولة إلى المقاومة .

جـ) ـ باعتبار المسعر معزولاً حراريًا وأن المقاومة تُحوِّل كل الطاقة الكهربائية التي تستقبلها ، أكتب معادلة انحفاظ الطاقة .

د) ـ هل نتائج التجربة تحقق قانون جول ؟

- **الجواب :**

ـ جدول القياسات ..... (أنظر الجدول المقابل : لأجل $R = 500\ \Omega$)

I (A)	t (s)	I^2t ($A^2.s$)
0,5	100	25
1,0	25	25
1,5	11,1	25
2,0	6,25	25

أ) ـ **عبارة الطاقة المكتسبة من طرف الماء :** بإهمال السعة الحرارية للمسعر و لواحقه فإن عبارة الطاقة المكتسبة من الماء هي :

$$Q = \Delta E_{th} = mc(\theta_f - \theta_i) = C . \Delta\theta$$

ب) ـ **عبارة الطاقة الكهربائية المحولة إلى المقاومة :** ... $E_e = R . I^2 . t$

جـ) ـ **معادلة انحفاظ الطاقة :** مماسبق وحسب مبدأ انحفاظ الطاقة للجمل المعزولة فإن :

$$E_0 = E \Leftrightarrow E_e = Q \Leftrightarrow R . I^2 . t = mc(\theta_f - \theta_i) = C . \Delta\theta$$

د) ـ لدينا : $m = 300\ g$ و $\Delta\theta = 10\ °C$ ونعلم أن : $c = 4,185\ J/g . °C$ (الحرارة الكتلية للماء) بالتالي :

$Q = mc(\theta_f - \theta_i) = 300 \times 4,185 \times 10 = 12555\ J$ ، وهي الطاقة المكتسبة من طرف الماء من المقاومة الكهربائية .

لدينا كذلك : $R = 500\ \Omega$ و بالرجوع إلى جدول القياسات نجد : $I^2 . t = C^{te} = 25\ u.I \dots (A^2 . s)$ بالتالي :

$E_e = R . I^2 . t = 500 \times 25 = 12500\ J$ ، وهي الطاقة الكهربائية المحولة إلى المقاومة .

∴ واضح أن : $Q \simeq E_e$ أي أن : نتائج التجربة تحقق **قانون جول** في حدود أخطاء القياس : $E_e = Q = R . I^2 . t$

- **نتيجة : استنتج بإكمال الفراغات :**

عندما يعبر تيار مقاومة كهربائية تستقبل هذه الأخيرة طاقة كهربائية وتحولها كاملة إلى الوسط الخارجي على شكل تحويل حراري . تُدعى الظاهرة التي تصحب مرور التيار في ناقل أو مقاومة بـ فعل جول .

● **ملاحظة : يكون فعل جول مفيدًا في بعض الحالات وغير مفيد في الكثير من الحالات :**

ـ **مفيد** إذا كان الهدف هو الاستفادة من ذلك التحويل الحراري الناتج عنه كماهو الحال في : **المسخن الكهربائي ، المكواة ، الفرن الكهربائي ، فواصم الدارات ، ...**

ـ **غير مفيد** في الحالة التي يكون فيها رفع درجة الحرارة غير مرغوب فيه : **حالة دارة كهربائية ، الضياع في الخط ، ...**

4 ـ 2°) مركبة الطاقة الداخلية المنسوبة للحالة الفيزيائية ـ الكيميائية للجملة :

عندما يحدث تغيير في الحالة الفيزيائية لجملة يرافقه امتصاص أو فقدان طاقة نتيجة تغير في التأثيرات المتبادلة بين جسيمات المادة . كذلك التفاعلات الكيميائية يمكنها امتصاص أو فقدان الطاقة ، وفي كلتا الحالتين تعتبر الطاقة المحولة عبارة عن **" تغير في الطاقة الداخلية للمادة "** .

يجب التمييز بين : **التحول الفيزيائي** الذي ينتج عنه طاقة ندعوها : **طاقة التماسك** وبين **التحول الكيميائي** الذي ينتج عنه **طاقة الرابطة الكيميائية** ، كما يجب تقدير **رتبة التحويلات الحرارية** المرافقة لكل تحول .

تتكون المادة في كل حالاتها الفيزيائية (**الصلبة ـ السائلة ـ الغازية**) على المستوى المجهري من جسيمات (**جزيئات ، ذرات أو شوارد**) وإن حالة المادة تتعلق بشدة التأثير المتبادل بين هذه الجسيمات .

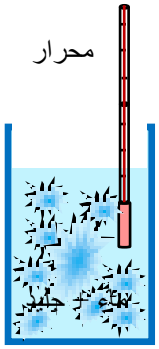
● **الحالة الصلبة :** هي الحالة التي تتوزع فيها جسيمات المادة على شبكة بللورية حيث تكون شديدة الارتباط فيما بينها . تؤمن هذه الروابط تماسك البنية البللورية للمادة .

● **الحالة السائلة :** هي الحالة التي تكون فيها جسيمات المادة ضعيفة الارتباط فيما بينها حيث يكون التأثير المتبادل بين جسيمات المادة ضعيف الشدة .

● **الحالة الغازية :** هي الحالة التي تكون فيها شدة التأثير المتبادل بين الجسيمات مهملة (جسيمات مستقلة حرة غير مترابطة) .

2 ـ 1) طاقة التماسك (التحول الفيزيائي) :

● **نشاط ـ 1 :** خذ قطعة من الجليد و ضعها داخل وعاء معدني فيه كمية من الماء البارد درجة حرارته تقارب **0 °C** (الشكل – 3) . راقب لمدة كافية ، باستعمال محرار ، درجة حرارة الجملة (**كمية الماء البارد + قطعة الجليد + الوعاء**) .



■ الشكل – 3

1°ـ هل الجملة معزولة حراريًا ؟ ...(نعم ، تبقى درجة حرارتها ثابتة تقريبًا في حدود 0 °C)

2°ـ قس باستعمال ميقاتية مدة ذوبان الجليد . ... (مدة كافية معتبرة Δt) .

3°ـ هل درجة حرارة الجملة تغيّرت مدة ذوبان الجليد ؟ ... (لا تتغير و تظل ثابتة تقريبًا عند القيمة 0 °C) .

ملاحظة : الطاقة الممتصة من طرف الجليد لا ترفع من درجة حرارته و إنما تغيّر حالته الفيزيائية .

4°ـ هل الجملة اكتسبت طاقة من الوسط الخارجي مدة ذوبان الجليد ؟ ... (باعتبار الجملةهي (قطعة الجليد) : نعم اكتسبت الجملة طاقة من الوسط الخارجي) .

5°ـ إذا كان الجواب نعم ، ماهو أثر الطاقة المكتسبة على الجملة ؟ ... (يذوب الجليد بفك ارتباط جزيئات الماء فيما بينها فيه وجعلها ضعيفة الارتباط و يتطلب ذلك طاقة يقدمها الوسط الخارجي بسبيل حراري Q تزداد به الطاقة الحركية المجهرية لجزيئات الماء)

ملاحظة : تغير الحالة يحدث عند درجات حرارة ثابتة ... فالطاقة المستقبلة من قبل الجليد خلال مدة ذوبانه لم ترفع في درجة حرارته بل كانت سببًا في ذوبانه .

● **نتيجة :** استنتج بإكمال الفراغات :

تمتص قطعة الجليد تحويلا حراريًا من الوسط الخارجي حتى تتحول من قطعة جليدية عند درجة حرارة 0 °C إلى ماء سائل عند نفس درجة الحرارة .

● **نشاط ـ 2 :** أعد التجربة السابقة بأخذ ضعف كتلة الجليد السابقة .

ـ قس مدة ذوبان الجليد . ... (يزداد الوقت المرافق لفك ارتباط الجزيئات بحسب كتلة المادة)

ـ قارن هذه المدة مع مدة ذوبان قطعة الجليد في تجربة النشاط ـ 1 . ماذا تستنتج ؟ ...(مدة أكبر من المدة الأولى و يتطلب ذلك تحويل حراري مضاعف) .

ـ في رأيك هل قيمة التحويل الحراري في هذا النشاط أكبر من قيمة التحويل في النشاط ـ 1 ؟ لماذا ؟ ...(نعم قيمة التحويل الحراري Q' في هذا النشاط أكبر من قيمته Q في النشاط ـ 1 السابق لأن التحويل الحراري Q يتعلق بكتلة المادة المستقبلة للطاقة و هي أكبر بمرتين في هذه الحالة عما كانت عليه في الحالة السابقة أي : $m' = 2m \Rightarrow Q' = 2Q$) .

● **نشاط ـ 3 :** أعد التجربة السابقة بأخذ كتل مختلفة للجليد ($3m$, $4m$, ...) و قس في كل مرة مدة ذوبان الجليد . ماذا تلاحظ ؟ ماذا تستنتج ؟ ...(نلاحظ أن مدة التحويل تتضاعف بتضاعف الكتلة وبالتالي تتضاعف قيمة التحويل الحراري أي أن : Q يتعلق بـ m (تناسب طردي)) .

● **نتيجة** : استنتج بإكمال الفراغات :

تتناسب مدة الذوبان مع كتلة قطعة الجليد . بما أن التحويل الحراري المتبادل بين الجليد و الوسط الخارجي يتناسب مع الزمن نستنتج أن قيمة التحويل الحراري اللازم لذوبان قطعة الجليد متناسب مع كتلته . يمثل التحويل الحراري المرافق لذوبان قطعة الجليد الطاقة اللازمة لتلاشي الروابط التي كانت تتماسك بها جزيئات الماء . تدعى هذه الطاقة **طاقة التماسك** .

2°-1-أ) عبارة التحويل الحراري Q في حالة تغير الحالة الفيزيائية للمادة :

يتطلب تغيير **الحالة الفيزيائية** لجسم نقي كتلته **m** ، عند درجة حرارة ثابتة ، تحويلاً حراريًا **Q** عبارته : $\boxed{Q = m.L}$

يدعى المعامل **L** " **السعة الكتلية لتغير حالة الجسم النقي**" وهو يتعلق بنوع المادة و تحولات الحالة .

Q التحويل الحراري بالجول (J) .
m كتلة الجسم بالكيلوغرام (kg) .
L السعة الكتلية لتغير الحالة بالجول\الكيلوغرام (J/kg) .

ـ يكون التحول (تغير الحالة) **ماصًا للحرارة** إذا اكتسب الجسم النقي طاقة حرارية من الوسط الخارجي (**ذوبان الجليد**) .
ـ يكون التحول (تغير الحالة) **ناشرًا للحرارة** إذا فقد الجسم النقي طاقة حرارية نحو الوسط الخارجي (**تجمد الماء**) .

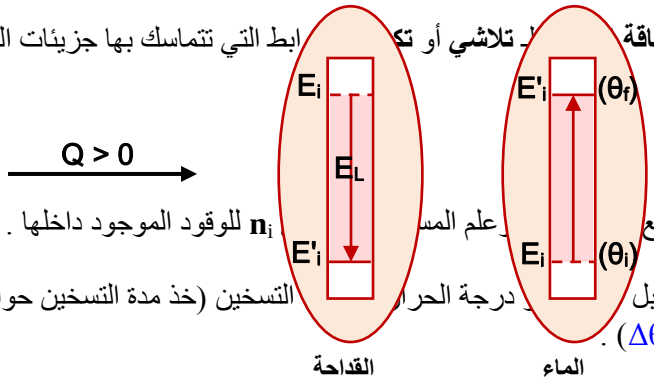
● **ملاحظة :** ① عبارة **Q** تكتب بالشكل : $Q = mc(\theta_f - \theta_i) = C.\Delta\theta$ في حالة تغير درجة حرارة الجسم النقي دون تغير حالته الفيزيائية أما في حالة تغير الحالة عند درجة حرارة ثابتة فتكتب بالشكل : $Q = m.L$.

② يجب أن نعي أن **Q** الموافق لتغير الحالة لا يتعلق بـ **Δθ** لأن التحول (تغير الحالة) يتم عند $\theta = C^{te}$ وإنما يتعلق بـ **m** و **L** فقط .

2°-1-ب) التفسير المجهري لتغير الحالة الحرارية المرافقة لتحول فيزيائي:

تتعلق **حالة المادة** بشدة التأثير المتبادل بين الجزيئات المكونة لها أي بـ **طاقة التماسك** ، و تغير الحالة الفيزيائية للمادة ماهو إلا تغير في قيمة طاقة تماسك جزيئاتها .

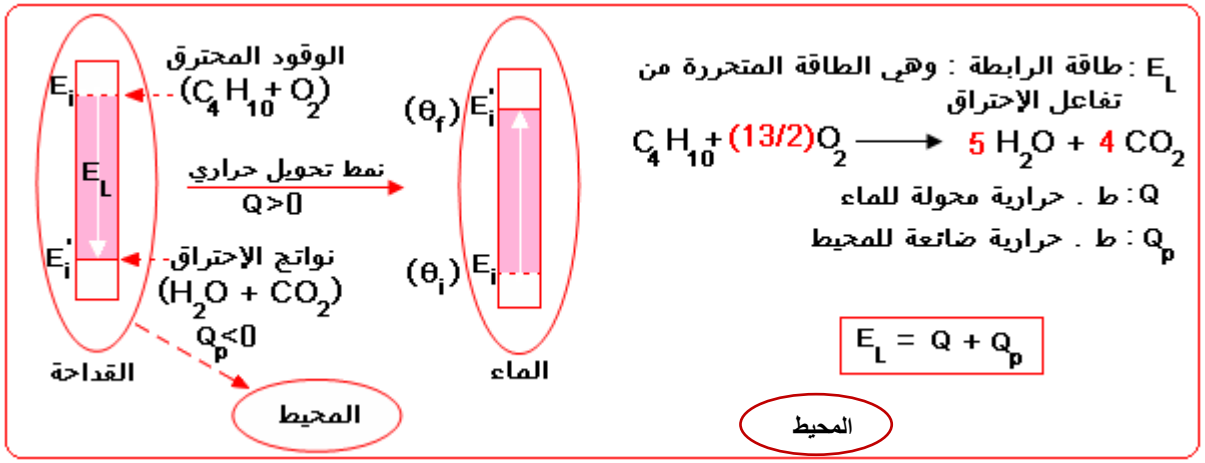
تمثل **طاقة التماسك** المرافقة لتغير الحالة الفيزيائية لمادة **الطاقة** ـ **تلاشي** أو **تك** ابط التي تتماسك بها جزيئات المادة (**تغير الترابط الجزيئي**) .



2°-2) طاقة الرابطة الكيميائية (التحول الكيميائي) :

● **نشاط-1 : تعيين طاقة الرابطة الكيميائية لوقود قداحة**

ـ ضع كتلة $m = 40\ g$ من الماء في علبة من الألمنيوم .
ـ خذ قداحة تحتوي على كمية من الوقود (غاز البوتان المميع) و علم المس
استعمل هذه القداحة لتسخين الكمية السابقة من الماء .
ـ استعمل محرارًا لقياس درجة الحرارة الابتدائية θ_i للماء قبل
دقيقة) ...(بعد إجراء القياسات المطلوبة نجد : $\Delta\theta = 15\ °C$) .
ـ عيّن على القداحة المستوى النهائي n_f للوقود .
ـ قدّر كمية الوقود المستهلكة لتسخين الماء . ... (بعد معايرة خزان القداحة نجد كتلة الوقود $(C_4H_{10} + O_2)$: $m = 150\ mg$) .
ـ لماذا نستعمل وعاء من الألمنيوم ؟ ...(لتسهيل انتقال الحرارة من القداحة إلى الماء وإنقاص الضياع غير المفيد نحو المحيط) .
ـ مثل الحصيلة الطاقوية للجملة (**ماء**) بين بداية التسخين (θ_i) و نهايته (θ_f) . ... (لاحظ النموذج المرفق)



ـ أحسب الطاقة المكتسبة من طرف الماء علمًا أن الحرارة الكتلية للماء : $c_e = 4{,}185\ J/g.°K$ ..... **بالتعريف لدينا :**

$\boxed{Q = mc_e.\Delta\theta}$ ولدينا من القياسات التجريبية : $m = 40\ g$ ، $\Delta\theta = 15\ °C$ ⇐ $\boxed{Q = 40} \times \boxed{4{,}185} \times \boxed{15} = \boxed{2500\ J}$

ـ استنتج الطاقة E_L التي تتحرر عن احتراق كتلة $m = 1\ g$ من الوقود علمًا أن الكتلة الحجمية لوقود القداحة $\rho = 0,58\ g/cm^3$.

..... بإهمال الضياع في الطاقة إلى المحيط Q_p فإن : $E_L \simeq Q \simeq 2500\ J$ لكن في كل الحالات فإن : طاقة الرابطة E_L أكبر دومًا من الطاقة المحولة للماء Q حيث : ـ بعد معايرة خزان القداحة لدينا حجم الوقود المستهلك هو : $V \simeq 0,26\ cm^3$ بالتالي :

كتلة الوقود المستهلك هي : $m = \rho \cdot V = 0,58 \times 0,26 \simeq 0,15\ g \simeq 150\ mg$ و الطاقة المتحررة عن احتراق هذه الكمية من الوقود هي عمليًا : $E_L \simeq Q \simeq 2500\ J$ بالتالي :

$$\begin{cases} 2500\ J & \xleftarrow{\text{تحرر}} \text{من الوقود } m = 0,15\ g \\ E_L & \xleftarrow{\text{تحرر}} \text{.} \quad \text{.} \quad m = 1\ g \end{cases} \Rightarrow E_L = \frac{1 \times 2500}{0,15} = 16600\ J$$

∴ طاقة الرابطة المتحررة عن احتراق الوقود هي : $E_L \simeq 16600\ J/g$.

ـ الطاقة المكتسبة من الماء أقل من الطاقة المحررة من احتراق الوقود ، أي أن قيمة **طاقة الرابطة الكيميائية** E_L التي وجدتها في التجربة أقل من القيمة الحقيقية لها . لماذا ؟ ..... **وجدنا بالقياس التجريبي** $E_L \simeq 16600\ J/g$ **لكن القيمة المضبوطة لهذه الطاقة أكبر من القيمة المقاسة هذه أي :** $E_L > 16600\ J$ **نظرًا لأخطاء القياس من جهة وكذا للضياع المحول للمحيط من جهة ثانية و الأهم من ذلك كله يعود لكون " طاقة الرابطة هي الطاقة اللازمة لتغيير الحالة الكيميائية للمادة بسبب التفاعل بين الذرات و تحطيم و تشكيل الروابط وهي أكبر دومًا من طاقة التماسك اللازمة لتغيير الحالة الفيزيائية للمادة" و بعبارة أخرى :**

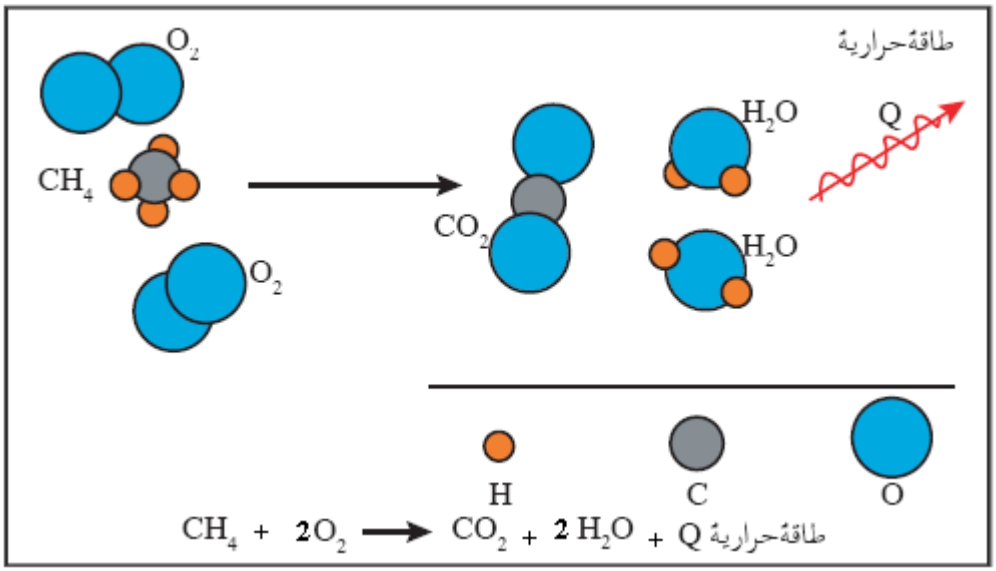
ـ طاقة التماسك Q هي الطاقة المحولة للماء و هي : ط . الحالة الفيزيائية (طاقة تحطيم التماسك بين الجزيئات) .

ـ طاقة الرابطة E_L هي الطاقة المحررة من الوقود وهي : ط . الحالة الكيميائية (ط . تلاشي و تكوين الروابط بين الذرات) .

... دومًا : ط . الرابطة أكبر بكثير من ط . التماسك $E_L >> Q$

2° ـ 2 ـ أ) التفسير المجهري لتغير الحالة الحرارية المرافقة لتحول كيميائي:

تتغير الروابط الكيميائية نتيجة التفاعل بين الذرات حيث تنكسر روابط و تتشكل روابط أخرى مما يُحدِث تغييرًا في مخزون الطاقة الكامنة الميكروسكوبية للجملة ، تُدعى هذه الطاقة ، **طاقة الرابطة الكيميائية** ، وقيمتها تُعادل قيمة التحويل الحراري الذي يحدث . الشكل المرفق أدناه يُمثل التغييرات الميكروسكوبية التي ترافق تحرير الطاقة عند احتراق غاز الميثان CH_4 .



- إذا **تزايد** مخزون **الطاقة الكامنة الميكروسكوبية** للجملة يكون التحول الكيميائي **ماصًا للحرارة** .
- إذا **تناقص** مخزون **الطاقة الكامنة الميكروسكوبية** للجملة يكون التحول الكيميائي **ناشرًا للحرارة** .

2° ـ 2 ـ ب) تطبيق : (رتبة التحولات : تعيين ط . التماسك و مقارنتها مع ط . الرابطة الكيميائية)

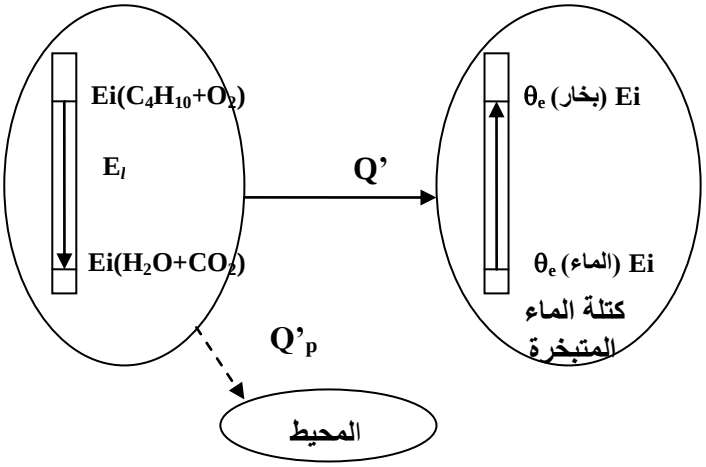
ضع كمية من الماء كتلتها **20 g** في علبة من الألمنيوم و سخّنها حتى درجة الغليان ثم قم بوزن هذه الكمية و بعدها مباشرة أشعل القداحة و ضعها تحت العلبة . انتظر دقيقة أو دقيقتين حتى تتبخر كمية من الماء ، ثم أعد وزن الماء المتبقي في العلبة .

ـ 1°) حدد كتلة الماء المتبخر . ..... **تقريبًا** $m = 2,0\ g$.

ـ 2°) اقترح طريقة لقياس كتلة الوقود المحترق من القداحة . ..... **لقياس كتلة الوقود المحترقة نقترح أخذ قداحتين متماثلتين واحدة مملوءة و الأخرى فارغة ، ثم نقوم بوزنهما و تعيين الكتلة الكلية للوقود في القداحة المملوءة ، بعدها تُدّرج هذه القداحة بتدريجات متساوية (10 تد مثلاً) ثم إيجاد كتلة الوقود الموافقة لكل تدريجة و بعد إجراء التجربة نحدد كمية الوقود المحترق من**

قياس الفرق بين مستويي الوقود قبل وبعد الاحتراق أي تحديد عدد تدريجات الوقود المختفي (المتفاعل) وحساب كتلته فنجدها مثلاً في تجربتنا هذه $m' = 0,2\ g = 200\ mg$.

ـ 3°) أنجز الحصيلة الطاقوية . ..... **(لاحظ الحصيلة أدناه أو الحصيلة الطاقوية المعطاة في الصفحة السابقة) .**



ـ 4°) هل يمكنك تقدير ، باستعمال نتائج النشاط السابق ، الطاقة الحرارية التي اكتسبتها كمية الماء المتبخرة .

..... **لدينا من النشاط السابق $1\ g$ من الوقود يحرر $16600\ J$ و لدينا في هذا النشاط كمية الماء المتبخر $m = 2,0\ g$ و يحترق لأجل ذلك كتلة من الوقود قدرها $m' = 0,2\ g$ فتكون الطاقة المتحررة حينئذٍ : $Q' = 0,2 \times 16600 = 3320\ J$ بإهمال Q'_p المحولة للمحيط .**

ـ 5°) استنتج الطاقة الحرارية التي تكتسبها كتلة $m = 1\ g$ من الماء لكي تتبخر . L_V للماء .

..... **مما سبق يتضح أن : $L_V = 1660\ J/g$ هي الحرارة التي تكتسبها كتلة من الماء قدرها $1\ g$ لكي تتبخر وتعرف هذه الحرارة بـ " السعة الكتلية للتبخر : L_V " .**

ـ 6°) قارن بين هذه القيمة و قيمة طاقة الرابطة الكيميائية لوقود القداحة E_L . ماذا تستنتج ؟ ..... **لدينا مما سبق :**

ـ طاقة الرابطة الكيميائية لوقود القداحة : $E_L = 16600\ J/g$.

ـ السعة الكتلية للتبخر : $L_V = 1660\ J/g$ وهي نفسها طاقة التماسك Q لنفس كمية الماء المتبخرة .

بالتالي : $E_L = 10\ L_V = 10\ Q$ نستنتج أنه في جميع الحالات :

" طاقة الرابطة الكيميائية E_L تعادل عدة أضعاف طاقة التماسك Q "

● **نتيجة** : استنتج بإكمال الفراغات :

تبين نتائج النشاطات السابقة أن الطاقة الكامنة المخزنة في المادة اللازمة (**لتماسك**) مجموعة من (**الذرات**) في الجزيئات تفوق بـ (**عشرة**) أضعاف تقريبًا الطاقة اللازمة (**لتماسك**) مجموعة من الجزيئات .

● **قياسات حرارية " أ . تطبيقية "**

● **تطبيق : التمرين المحلول (ص : 107 ـ كتاب التلميذ) .**

تعيين مردود مسخن ماء منزلي

لتحديد مردود مسخن ماء يشتغل بغاز المدينة نقوم بالتجربة التالية :

ـ نقيس ، باستعمال محرار ، درجة حرارة ماء الحنفية (قبل أن يمر عبر المسّخن) : $T_i = 15\ °C$.

ـ نقيس درجة حرارة الماء السّاخن (بعد أن يمر عبر المسّخن) : $T_f = 65\ °C$.

ـ نقيس ، باستعمال ميقاتية ، مدة ملأ قدر سعته : $V = 10\ L$: $t = 5\ min$.

ـ نقيس ، بالقراءة على عداد الغاز ، حجم الغاز المستعمل لتسخين الماء حتى يمتلئ القدر : $V_g = 120\ L$.

ـ نعلم من المراجع أن : الحرارة الكتلية للماء $c_e = 4185\ J/kg.°K$ و السعة الحرارية لغاز المدينة $c = 2,5 \times 10^7\ J/m^3$.

ـ 1°) أحسب قيمة التحويل الحراري المحول إلى الماء ، ثم استنتج الاستطاعة المحولة .

ـ 2°) أحسب قيمة التحويل الحراري الناتج عن احتراق الغاز .

ـ 3°) قارن بين قيمتي التحويلين ، ثم مثل الحصيلة الطاقوية للجملتين : (**الماء**) و (**غاز المدينة + ثنائي الأكسجين**) خلال عملية تسخين كمية الماء .

ـ 4°) انطلاقا من نتائج السؤال السابق ، عرّف ثم أحسب مردود مسخن الماء .

ـ 5°) نقدر من فاتورة الكهرباء و الغاز التسعيرة المتوسطة التالية لاستهلاك الطاقة :

· سعر $1\ kWh$ من طاقة الكهرباء يساوي 3 **د.ج** .

· سعر $1\ th = 1\ M\ cal = 4,18 \times 10^6\ J$ من طاقة الغاز يساوي $0,3$ **د.ج** .

ـ أ°) أحسب كلفة تسخين $100\ L$ من الماء باستعمال هذا المسخن بالغاز .

ـ ب°) أحسب كلفة تسخين $100\ L$ من الماء باستعمال مسخن كهربائي له نفس استطاعة التحويل لمسخن الماء الغازي السابق و اعتبار مردوده يساوي الواحد ($100\ \%$) أي : تحول فيه كل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية . ماذا تستنتج ؟

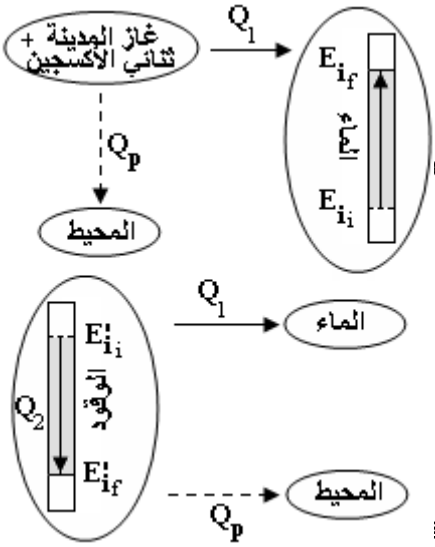
● **الحـل :**

ـ 1°) باعتبار الجملة المدروسة هي (**الماء**) فإن :

الجملة تتلقى من الوسط الخارجي (سخان الماء) تحويلاً حراريًا Q_1 يرفع من الطاقة الحركية الميكروسكوبية لجزيئات الجملة فتتغير درجة حرارة الماء دون تغير حالته الفيزيائية حيث :

$$Q_1 = mc_e(T_f - T_i) \Rightarrow \quad Q_1 = 10 \times 4,185 \times (65 - 15) = 2,1 \times 10^6\ J$$

كذلك بالتعريف : $P = Q_1/t \Rightarrow P = 2{,}1\times10^6/300 = 7000\ W$ ... (الاستطاعة المحولة)



ـ 2°) نعتبر الآن الجملة المدروسة هي وقود سخان الماء
(**غاز المدينة + ثنائي الأكسجين**) و الذي يحرر عند احتراقه التحويل الحراري :

$Q_2 = c \cdot V_g \Rightarrow Q_2 = 2{,}5\times10^7\times120\times10^{-3} = 3\times10^6\ J$.

ـ 3°) نلاحظ أن : $Q_2 > Q_1$ بالتالي : الطاقة المحررة باحتراق الوقود لا تُسخّن الماء فحسب بل يضيع جزء منها نحو المحيط ، هذا الجزء الضائع من الطاقة (غير المفيدة) يُقدر بـ :

$Q_p = Q_2 - Q_1 \Rightarrow Q_p = (3 - 2{,}1)\times10^6 = 0{,}9\times10^6\ J$.

بالتالي الحصيلة الطاقوية للماء و الوقود خلال عملية تسخين الماء هي :
(أنظر النموذجين المرفقين جانبه) .

ـ 4°) نعرّف مردود سخان الماء بأنه : **النسبة بين الطاقة المفيدة Q_1 و الطاقة الكلية المحررة من احتراق الوقود Q_2** أي : $\eta = Q_1 / Q_2$

بالتالي : $\eta = 70\ \%$ $\Rightarrow$ $\eta = 2{,}1 / 3 = 0{,}7$.

ـ 5°\ أ) بما أن تسخين $10\ L$ من الماء يتطلب تحويل حراري $Q_2 = 3\ MJ$ ؛ حرارية محررة من احتراق الوقود قدرها $30\ MJ$ و بكلفة قدرها : $s_1 = (0{,}3 \times 30 \times 10^6)/(4{,}18 \times 10^6) = 2{,}15\ D.A$

ب) لدينا بالنسبة للمسخن الكهربائي : $P = 7000\ W$ وكذا : $\eta = 100\ \% = 1$

بالتالي : $Q_2 = Q_1 = 21\ MJ$ هي الطاقة الحرارية التي يقدمها السخان الكهربائي لتسخين $100\ L$ و بكلفة $s_2 = (3 \times 21 \times 10^6)/(3{,}6 \times 10^6) = 17{,}5\ D.A$.

حلول بعض التمارين

● التمرين 1

نسمّي جملة كل جسم أو جزء منه أو مجموعة أجسام نختارها قصد دراستها. لهذه الجملة حدود حقيقية أو وهمية تحيط بعناصرها.

● التمرين 2

"الطاقة لاتستحدث و لا تزول، إذا اكتسبت جملة ما طاقة أو فقدتها فإن هذه الطاقة تكون بالضرورة قد أخذتها من جملة (أو جمل) أخرى أو قدّمتها لها".

الطاقة الإبتدائية للجملة + الطاقة المستقبلة ـ الطاقة المقدّمة = الطاقة النهائية للجملة

● التمرين 3

للطاقة الداخلية لجملة مركبات تتعلق بنوع الجملة و التغيرات التي تطرأ عليها.

تقسم هذه المركبات إلى أربعة أنواع:

- طاقة حركية ميكروسكوبية ناتجة عن حركة الجسيمات المكونة للجملة و هي عادة حركة عشوائية.
- طاقة كامنة ميكروسكوبية ناتجة عن كل التأثيرات المتبادلة بين مختلف مكونات الجملة:

الطاقة الكامنة النووية الناتجة عن تماسك النواة

الطاقة الكامنة الكهربائية الناتجة عن التفاعل الكهربائي بين الإلكترونات و البروتونات المكونة لذرات الجملة.

الطاقة الكامنة المرونية الناتجة عن التشوه الذي يحدث للأجسام الصلبة.

- طاقة داخلية فيزيائية تتعلق بالحالة الفيزيائية للجمالة.
- طاقة داخلية كيميائية ناتجة عن التفاعل الكيميائي.

● التمرين 4

لا: خلال تغير الحالة الفيزيائية لجملة (ذوبان الجليد مثلا) فان الجملة تستقبل طاقة من الوسط الخارجي دون أن ترتفع درجة حرارتها.

● التمرين 5

لا: يمكن للجملة أن تستقبل نفس الطاقة التي تفقدها لذلك فإن طاقتها تبقى ثابتة ولكنها تتبادل الطاقة مع الوسط الخارجي ، إذا ليست بالضرورة معزولة.

● **التمرين 6**

التحولات الماصة للحرارة هي :-الإنصهار، التبخير و التسامي : $Q = m L_f$ ، $Q = m L_v$

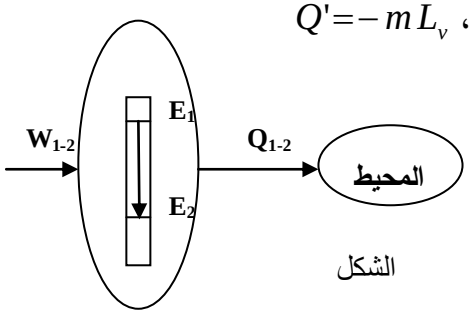
● **التمرين 7**

التحولات الناشرة للحرارة هي:-التجمد، التمييع و التكثيف : $Q' = -m L_f$ ، $Q' = -m L_v$

● **التمرين 8**

إستطاعة تحويل حراري هي النسبة بين التحويل الحراري على المدة الزمنية التي يستغرقها هذا التحويل:

ت.ع : $P = \frac{Q}{t} = \frac{mc\Delta\theta}{t}$ $P = \frac{0.5*4185*60}{20*60} \approx 105\ W$



الشكل

● **التمرين 9**

$Q = P.t = 500*3600 = 1{,}8\ MJ$

● **التمرين 10**

1- الجملة غير معزولة لأنها تتبادل الطاقة مع الوسط الخارجي.

2- التمثيل المبين على الشكل

3- $P = \frac{W_{1-2}}{t_2 - t_1} = \frac{6500}{10} 650\ W$

● **التمرين 11**

- في البداية (مباشرة بعد وضع القطعة المعدنية) تكون الجملة في حالة غير متوازنة ثم يبدأ حدو تبادل حراري بين عناصر الجملة.
- يحدث التحويل الحراري تلقائيا من الجملة الساخنة نحو الجملة الباردة .

● **التمرين 12**

1- درجة حرارة المادتين

2- يساوي التحويل المفقود

3- بالكثافة الحجمية للمادة

● **التمرين 13**

- $Q = mc\Delta\theta = 2*390*190 = 148.2\ kJ$ ، **الطاقة الداخلية**

$P = \frac{Q}{t} = \frac{148200}{3*60+5} = 801\ W$

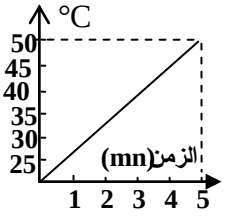
● **التمرين 15**

- ت.ع: $C = m_{Al}c_{Al} + Mc_e + mc + m_h c_h$

$C = 0.45*890 + 4185 + \frac{2}{3}4185 + \frac{1}{4}\frac{1}{2}4185 \approx 7899\left(\frac{J}{kg}\right)$

- **درجة الحرارة النهائية للجملة:** $Q = C\Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = \frac{Q}{C} = \frac{270000}{7899} \approx 34$

$\theta_f = 20 + \Delta\theta = 54°C$



● **التمرين 16**

$P = \frac{Q}{t} = \frac{mc\Delta\theta}{t} \Rightarrow c = \frac{Pt}{m\Delta\theta} = \frac{420*5*60}{1*(50-20)} = 4200\left(\frac{J}{kg.°C}\right)$

● **التمرين 17**

1- تبدأ درجة حرارة القطعة الجلدية ترتفع ، باكتساب تحويل حراري من الوسط الخارجي حتى تصبح درجة حرارة القطعة الجليدية 0 وعنده ا تتحول حالتها من صلب إلى سائل عند نفس درجة الحرارة .
بعدما تتحول كل القطعة إلى سائل تواصل درجة الحرارة في الارتفاع وبعد مدة كافية ،تصل درجة الحرارة النهائية إلى درجة الحرارة المحيطة $20°C$.
الحالة النهائية هي عبارة عن $75g$ من الماء داخل إناء عند درجة حرارة $20°C$.

2- قيمة التحويل الحراري Q الذي امتصته القطعة الجليدية: $Q = m_g c_g \Delta\theta_g + m_g L_f + m_e c_e \Delta\theta$

ت.ع: $Q = 0.075*2090*15 + 75*330 + 0.075*4185*20 \approx 33.4\ kJ$

● **التمرين 18**

$$Q = m_g c_g \Delta\theta_g + m_g L_f + m_e c_e \Delta\theta$$

ت.ع: $Q = 0.020*2090*6 + 20*330 + 0.020*4185*30 \approx 9.36\ kJ$

● **التمرين 19**

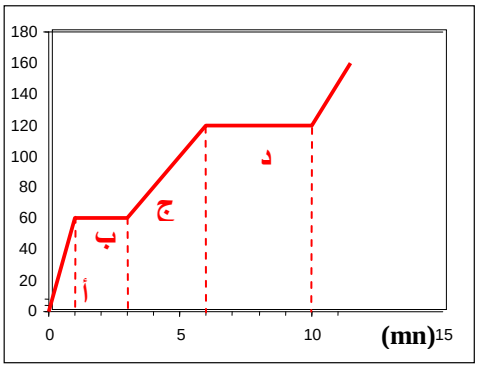
- في الحالة إضافة كمية من الماء عند $0°C$ للماء الموجود في الكأس فان هذا الأخير يفقد التحويل الحراري الذي يكتسبه الماء المضاف: $Q_1 = mc_e(\theta_f - \theta_i) = m' c_e(\theta - \theta_f)$

حيث تصبح درجة الحرارة النهائية : $\theta_f = \dfrac{m\theta_i + m'\theta}{m + m'}$

- في حالة القطعة الجليدية عند نفس درجة الحرارة $Q'_1 = mL_f + mc_e(\theta_f - \theta_i) = m' c_e(\theta - \theta_f)$

حيث تصبح درجة الحرارة النهائية : $\theta_f = \dfrac{m\theta_i + m'\theta}{m + m'} - \dfrac{L_f}{c_e}$

● **التمرين 20**



1- حالة المادة :
- في الفترة أ كانت المادة في حالتها الصلبة
- في الفترة ب كانت المادة تتحول من الصلب إلى السائل
- في الفترة ج كانت المادة في حالتها السائلة
- في الفترة د كانت المادة تتحول من السائل إلى غاز

2- درجة حرارة انصهار المادة هي الدرجة التي تمر بها الحالة ب أي : $\theta=60°C$

أما درجة غليانها في التحول الذي يحدث في الفترة د أي: $\theta=120°C$

3-في الحالة الصلبة يعني الفترة أ: $c = \dfrac{P\Delta t}{m\Delta\theta} = \dfrac{400*60}{60} = 400\left(\dfrac{J}{kg°C}\right)$

في الحالة السائلة يعني الفترة ج: $c = \dfrac{P\Delta t}{m\Delta\theta} = \dfrac{400*3*60}{60} = 1200\left(\dfrac{J}{kg°C}\right)$

4- السعة الكتلية للانصهار (الفترة ب) : $mL_f = P\Delta t \Rightarrow L_f = \dfrac{P\Delta t}{m} = \dfrac{400*2*60}{1} = 4800\left(\dfrac{J}{kg}\right)$

السعة الكتلية للتبخير (الفترة د) : $mL_v = P\Delta t \Rightarrow L_v = \dfrac{P\Delta t}{m} = \dfrac{400*4*60}{1} = 9600\left(\dfrac{J}{kg}\right)$

● **التمرين 21**

تعيين الحالة النهائية للجملة:

1 - التحويل الحراري الذي يمكن أن يمتصه الماء و المسعر بدون تغير الحالة الفيزيائية للماء:

$$Q_1 = (M + \mu)c_e(\theta - \theta_f) = 0.625*4185*15 = 39.234\ kJ$$

2 - التحويل الحراري الذي تفقده القطعة النحاسية إذا افترضنا درجة الحرارة النهائية 0°C:

نستنتج إذا أن درجة الحرارة النهائية أكبر من 0°C: $Q_2 = m_{Cu}c_{Cu}(\theta_f - \theta_i) = 0.3*390*15 = 1.755\ kJ$

$$\theta_f = \frac{(M+\mu)c_e\theta + m_{Cu}c_{Cu}\theta_i}{(m+\mu)c_e + m_{Cu}c_{Cu}} = \frac{39234 - 0.3*390*25}{0.625*4185 + 0.3*390} = \frac{36309}{2733} \approx 13.3°C$$

● التمرين 22

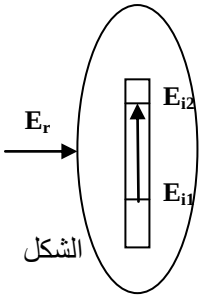
1 - التحويل الحراري الذي يكتسبه الماء خلال دقيقة واحدة:

$$Q = D*60*\rho*c_e*(\theta_f - \theta_i) = 0.1*60*1*4185*50 \approx 1.25\ MJ$$

2 - التحويل الحراري الذي يولده احتراق الغاز خلال دقيقة واحدة: $Q_g = 1.2*Q \approx 1.5\ MJ$

3 - معدل جريان الغاز المستهلك:

● التمرين 23



1 - الحصيلة الطاقوية ممثلة الشكل التالي:

2 - درجة الحرارة التي يخرج بها الماء الساخن:

طاقة الإشعاع الشمسي: $E_r = P*S = 1000*200 = 200\ kW$

التحويل الحراري الذي يمتصه الماء خلال ثانية من الزمن (الاستطاعة):

$$Q = \rho*E_r = 0.87*200 = 174\ kJ$$

درجة الحرارة:

$$Q = D*1*c_e(\theta_f - \theta_i) \Rightarrow \theta_f = \theta_i + \frac{Q}{Dc_e} = 15 + \frac{174000}{0.8*4185} = 67°C$$

● التمرين 24

1 - الطاقة الممتصة في المحول خلال سنة:

$$Q = D*\rho_e*365*24*c_e*(T_1 - T) = 200*1000*365*24*4185*50 = 3671\,0^{12}\ J$$

2 - كتلة البترول المكافئة: $M = \frac{Q}{tep} = \frac{367000}{42} = 8738\ tonnes$

3 - حجم البترول المقتصد: $v = \frac{M}{\rho_p} = \frac{8738*1000}{800} = 10923\ m^3$

● التمرين 25

1 - يمتص الجليد و المسعر تحويل حراري Q_1 حتى ترتفع درجة حرارتهما من -20°C إلى 0°C:

$Q_1 = (mc + m'c')(T_2 - T_1)$ يتحول الجليد عند درجة الحرارة T2 إلى ماء و يمتص التحويل: $Q_2 = mL_f$

و تكون قطرات الماء قد فقدت التحويل Q_3: $Q_3 = d.\theta.c_e(T - T_2)$ و من مبدأ نحفاظ الطاقة فإن: $Q_1 + Q_2 = Q_3$

ثم نستنتج عبارة L_f.

2 - حتى ترتفع درجة حرارة المسعر من 0°C إلى 20°C يجب أن يستقبل تحويل حراري Q_1':

$Q'_1 = \{c_e(m + d\theta) + c'm'\}(T_3 - T_2)$ و تكون قطرات الماء قد فقدت التحويل Q_2': $Q'_2 = c_e d\theta'(T - T_3)$

و من مبدأ نحفاظ الطاقة فإن: $Q'_1 = Q'_2$ ثم نستنتج عبارة θ'.

3 - التحويل الحراري الذي فقدته قطعة الألمنيوم: $Q''_1 = m_1c_{Al}(T'_1 - T'_2)$. امتص المسعر و الكمية $M=m+d(\theta+\theta')$

من الماء التحويل Q''_2: $Q''_2 = \{m.c_e + c_e.d(\theta + \theta') + c'm'\}(T'_2 - T_3)$ و من مساواة التحويلين نستنتج c_{Al}.

4 - و من مبدأ نحفاظ الطاقة فإن التحويل الممتص من الغاز المثالي هو نفسه المفقود من قطعة الألمنيوم:

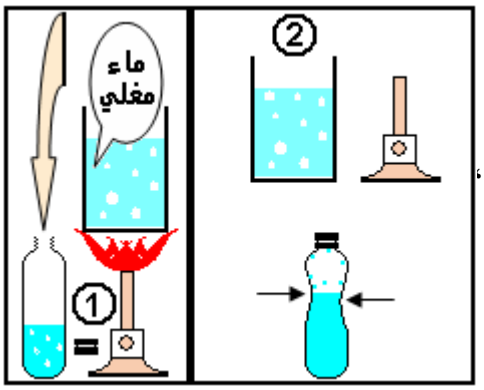
$m_1c_{Al}(T'_1 - T'_3) = C\frac{v}{22.4}(T'_3 - T_2)$ ثم نستنتج عبارة C ، حيث $C=Mc_2$ و M الكتلة الجزيئية للغاز

و c_2 سعته الحرارية الكتلية.

● المجال : المادة و تحولاتها
● الوحدة ① : نموذج الغاز المثالي
ـ طريقة لقياس كمية المادة في الحالة الغازية ـ
● الأهداف : ـ يكتشف أن للغازات نفس السلوك في درجة حرارة و ضغط منخفضين .
ـ يعطي التفسير الميكروسكوبي لدرجة حرارة و ضغط غاز .
ـ يحسن إستعمال المعادلة PV = nRT من أجل حساب كمية المادة .

① المقادير المميزة للغاز :

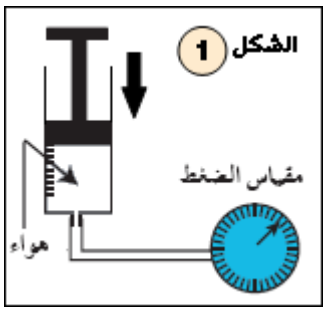
① ـ 1°) الحالة الماكروسكوبية (الضغط ـ الحرارة ـ الحجم ـ كمية المادة) :



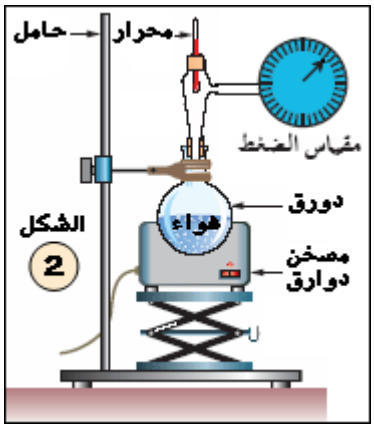
يبين الشكل جانبه تحقيق تجربة عملية بسيطة جدًا :
ـ تسكب كمية قليلة من الماء المغلي ($\theta = 100\ °C$) في قارورة بلاستيكية (الشكل ①) ثم تُسد بإحكام مباشرة و تترك عند درجة الحرارة السائدة في المكان ، بعد لحظات يلاحظ حدوث إنقباض للقارورة (الشكل ②) .
ـ 1°) ما طبيعة الغاز الذي تحتويه القارورة في بداية التجربة (مباشرة بعد سدها) ؟
ـ 2°) مابين بداية و نهاية التجربة كيف يتغير (تتغير) :
أ) ـ درجة حرارة الغاز داخل القارورة المسدودة ؟
ب) ـ حجم القارورة ؟
ت) ـ ضغط الغاز داخل القارورة ؟
ث) ـ كمية مادة الغاز داخل القارورة ؟

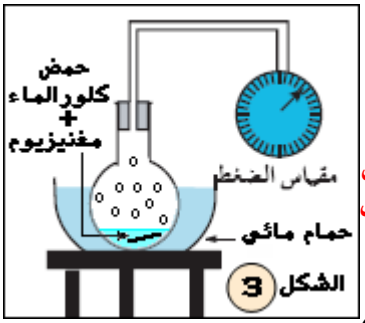
● الجواب : ـ 1°) الغاز هو بخار الماء .
ـ 2°) ما بين بداية التجربة و نهايتها يحدث ما يلي :
ـ أ) تنخفض درجة حرارة البخار المحجوز داخل القارورة المسدودة من $\theta = 100\ °C$ الى درجة الحرارة السائدة في المكان فتتغير حالته الفيزيائية من بخار غازي الى ماء سائل يرافق ذلك تشكل فراغ (خلاء) داخل القارورة المسدودة .
ـ ب) تنقبض القارورة و يتناقص حجمها بسبب خلوها من البخار (تناقص حجم البخار الى أن ينعدم) .
ـ ت) إنخفاض ضغط الغاز داخل القارورة بكثير عن قيمة الضغط الجوي خارجها .
ـ ث) إنعدام كمية المادة الإبتدائية لبخار الماء المحجوز في بداية التجربة بعد تحوله كلية الى ماء سائل في نهايتها.

① ـ 2°) العلاقة بين المقادير الماكروسكوبية للغاز:



● نشاط ① :
2°) ـ أ\ مالمقدار الماكروسكوبي الذي بإمكانه تغيير ضغط الغاز ؟
ـ حقق التجارب الثلاثة التالية :
الشكل ① ◄ إضغط ببطء شديد على مكبس الحقنة الموصولة بمقياس الضغط *Manomètre*
الشكل ② ◄ الدورق المسدود والمزود بمحرار و مقياس الضغط يوضع في مسخن دوارق مخبري
الشكل ③ ◄ داخل الدورق المسدود والحاوي على كمية من حمض كلور الماء (محلول :HCl) ندخل شريط صغير من المغنيزيوم Mg ، ثم يوضع الدورق في حمام مائي درجة حرارته ثابتة ويوصل بمقياس الضغط .





ـ لأجل كل تجربة :
1°) بيّن المقادير الماكروسكوبية التي لم يتم تغييرها تجريبيًا و تلك التي تغيرت أثناء إجراء التجربة .
2°) حدد جهة تطور المقادير المتغيرة في كل تجربة .
● الجواب : في كل تجربة من التجارب السابقة تم تثبيت مقدارين من المقادير الماكروسكوبية الأربع للغاز ، حيث يمكننا التأكد من أن ضغط الغاز يتعلق بالمقدار الذي يتم تغييره في كل مرة ، ففي التجربة ① تم تثبيت كمية المادة الغازية (حجز كمية ثابتة من الهواء داخل الحقنة) و كذا الحرارة (دفع المكبس ببطء شديد حتى لا ترتفع درجة حرارة الهواء المضغوط) بينما تم تغيير حجم الغاز فنتج عن ذلك تغير ضغطه .
في التجربة ② تطور الضغط مرتبط بالحرارة (ثبوت كمية المادة والحجم) بينما في التجربة ③ تطور الضغط مرتبط بكمية المادة (ثبوت الحرارة و الحجم) .
● نتيجة : إستنتج بإكمال الفراغات
في غاز متوازن يرتبط (الضغط) بأحد المقادير الماكروسكوبية (الثلاثة) للغاز بـ (ثبوت) المقدارين الآخرين وهي (كمية المادة) و (الحجم) و (الحرارة) .

2°) ـ ب\ مالعلاقة الكائنة بين المقادير الماكروسكوبية الأربع للغاز ؟
لايمكننا إيجاد العلاقة بين المقادير الماكروسكوبية الأربعة السابقة للغاز المتوازن إذا ما تغيرت آنيًا دفعة واحدة كما في تجربة القارورة السابقة ، و من الضرورة بما كان الإحتفاظ دوماً بمقدارين ثابتين عند دراسة العلاقة الكائنة بين المقدارين الآخرين .

3°) ـ ① العوامل الماكروسكوبية المؤثرة في الغاز :

3°) ـ أ\ كيف يتغير ضغط الغاز تبعًا لحجمه (بثبوت الحرارة و كمية المادة)؟

● قانون بويل ـ ماريوط : في التجربة الموضحة بالشكل ① قمنا بتثبيت المقدارين العيانيين وهما الحرارة و كمية المادة فنتج عن ذلك زيادة في الضغط بنقصان الحجم.

في عام 1662 أفصح الفيزيائي الإيرلندي ـ بويل Robert BOYLE عن قانون الإنضغاط للهواء :

" يتناسب حجم الهواء عكسًا مع الضغط الذي يتلقاه "

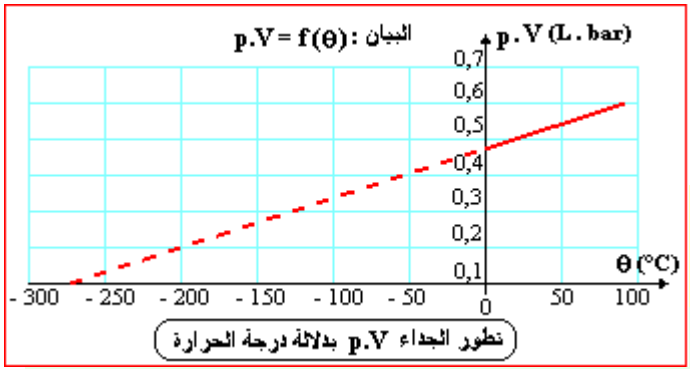
في عام 1676 أكمل الفيزيائي الفرنسي ـ ماريوط Edmé MARIOTTE قانون بويل بإضافة " عند درجة حرارة ثابتة "
و أصبح القانون بشكله النهائي يعرف بـقانون بويل ـ ماريوط : La loi de BOYLE-MARIOTTE

" عند درجة حرارة ثابتة ، و لأجل كمية مادة محددة (ثابتة) من الغاز ، جداء الضغط p بالحجم V الذي يشغله الغاز يكون ثابتًا أي : $p \cdot V = C^{te}$ "

● ملاحظة : هذا القانون يخص الغاز المثالي و يتحقق أيضًا بالنسبة للغاز الحقيقي المتوازن مهما كانت طبيعته شرط أن يكون مأخوذ في ظروف تكون فيها الحرارة منخفضة و كذلك الضغط منخفض .

3°) ـ ب\ كيف يرتبط الجداء p . V بدرجة الحرارة ؟
إن الجداء p . V للضغط p بالحجم V لغاز يكون ثابتًا حسب قانون بويل ـ ماريوط وذلك من أجل كمية مادة n (عدد من المولات) محددة و ثابتة من الغاز و عند درجة حرارة θ ثابتة و محددة كذلك ، لنحتفظ بكمية مادة ثابتة من الغاز و نقوم بتغيير درجة حرارتها .

● نشاط ② : كيف يتطور الجداء p . V بدلالة درجة حرارة الغاز θ ؟
ـ بعد إجراء سلسلة من القياسات للضغط و درجة الحرارة في المخبر بإستخدام التجهيز التجريبي الخاص بالتجربة الموضحة بالشكل ② ـ النشاط ① والتي يكون فيها حجم الغاز V ثابتًا تسمح النتائج المحصل عليها برسم البيان المرفق : $p.V = f(\theta)$ الممثل لتطور الجداء p.V بدلالة θ ..... (أنظر البيان المرفق) .

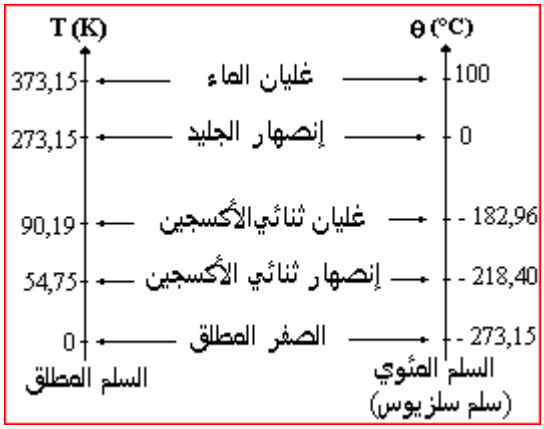


● مالعلاقة التي يمكن كتابتها بين الجداء p.V و درجة الحرارة θ المعبر عنها بالدرجات المئوية (°C) ؟
● إذا كان الضغط ليس مرتفعًا ، فإن التجارب تظهر بأن الجداء p.V يتناسب مع (θ + 273,15) °C .
● نعرّف درجة الحرارة المطلقة T إنطلاقًا من درجة الحرارة المئوية θ كالتالي :

درجة الحرارة المطلقة T المقدرة على السلم المطلق بوحدة الكالفن (K) ، ودرجة الحرارة المئوية المقدرة على السلم المئوي بوحدة الدرجة المئوية(°C) يرتبطان بالعلاقة :
$T(K) = \theta(°C) + 273,15$

● لأجل كمية مادة معطاة من الغاز ، فإن الجداء p.V يتناسب مع درجة الحرارة المطلقة T .

● درجة الحرارة المطلقة :
ـ درجة الحرارة المطلقة لغاز هي مقدار ماكروسكوبي يميز الحالة الحرارية للغاز ، أي التأثيرات الميكروسكوبية (الهيجان أو الإثارة) للجزيئات المكونة له .
في غياب كل تأثير حراري لجسيمات المادة (جزيئات ساكنة) ، فإن درجة حرارتها المطلقة T تساوي 0K أي الصفر المطلق ، حيث لا توجد درجة حرارة أخفض من 0K .

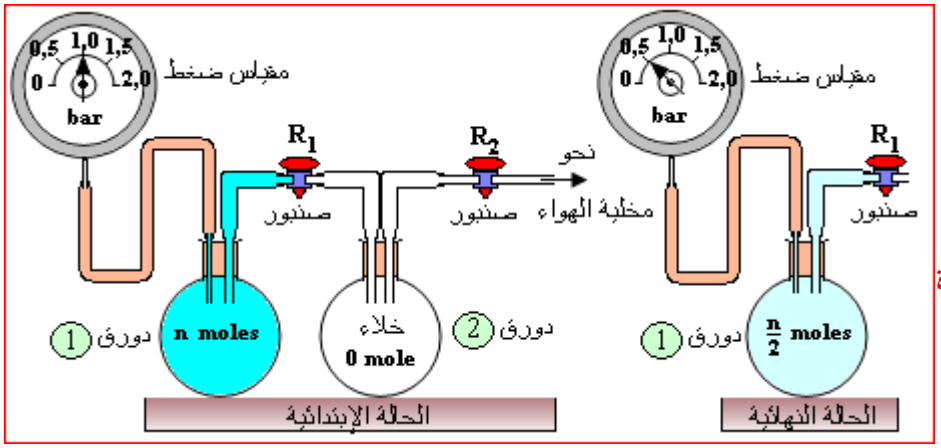


3°) ـ جـ\ كيف يرتبط الجداء p . V بكمية المادة ؟
إن الجداء p.V للضغط p بالحجم V لغاز يبقى ثابتًا لأجل كمية مادة n ثابتة و محددة منه عند درجة حرارة مطلقة T محددة .

● نشاط ③ : كيف يتطور الجداء p.V بدلالة كمية مادة الغاز n ؟
ـ حقق التركيب التجريبي المعطى بالشكل المرفق في الصفحة الموالية و فيه يتصل دورقين متماثلين بأنبوب زجاجي مزود بصنبور(R_1) ، يكون في البداية مغلقاً . الدورق ① تحجز فيه كمية من الهواء قدرها (n) moles و يوصل بمقياس ضغط : manomètre ، و تسجل قيمة الضغط الإبتدائية p_i .
● أفرغ الدورق ② بسحب الهواء منه تماماً ، ثم أغلق الصنبور (R_2) .
● إفتح الصنبور (R_1) لكي يتصل الدورقين ببعضهما البعض .

● بعد التأكد من بلوغ التوازن الحراري للهواء في الدورقين المتصلين ، أغلق الصنبور(R_1) و سجل بعدها القيمة النهائية للضغط p_f .

ـ تكلم بإيجاز عن الحالة الإبتدائية و الحالة النهائية للغاز المحتوى في الدورق① .



الجواب :

خلال التجربة تبقى درجة الحرارة و حجم الغاز (الهواء) V ثابتين في الدورق ① لكن كمية المادة n في الحالة الإبتدائية قسمت على 2 لتصبح (n/2) في الحالة النهائية .

في الجدول المرفق أدناه تم تحديد تطور الجداء p.V بدلالة كمية مادة الغاز n في الدورق ① بين الحالة الإبتدائية و الحالة النهائية .

● **نتيجة :**

يوضح الجدول بأن :

عند درجة حرارة ثابتة ، يتناسب الجداء p.V لضغط الغاز p بحجمه V طردًا مع كمية مادة الغاز n

● **ملاحظة** : هذه النتيجة تتحقق في الغاز الحقيقي المتوازن تحت ضغط منخفض و درجة حرارة منخفضة .

الحالة	كمية المادة	الضغط	الجداء p.V
الإبتدائية	n	p_i	$P_i.V$
النهائية	n/2	$p_f = p_i/2$	$P_f.V = p_i.V/2$

② **معادلة الغاز المثالي :**

② ـ 1°) **نموذج الغاز المثالي** : الدراسات السابقة بينت أن قيمة الجداء p.V متناسبة مع درجة الحرارة المطلقة T و كمية المادة n للغاز ، شرط أن يبقى الضغط منخفضًا (أقل من بضعة بارات) .

بينت تجارب عملية عدة أن قيمة الجداء p.V هو نفسه بالنسبة لجميع الغازات (التي تتشكل من نفس كمية المادة عند نفس درجة الحرارة) .

∴ كل الغازات تحت ضغط منخفض ، تسلك سلوك الغاز المثالي

② ـ 2°) **معادلة الحالة للغاز المثالي :**

ترتبط العوامل الأربعة للغاز المثالي وهي الضغط p ، الحجم V ، درجة الحرارة المطلقة T و كمية المادة n بالعلاقة التالية المسماة بـ

" معادلة الحالة للغاز المثالي " : $p.V = n.R.T$ حيث :

R ثابت يعرف بـ " ثابت الغاز المثالي " .

في جملة الوحدات الدولية ، قيمة الثابت R هي 8,314 عندما يُقدر الضغط p بوحدة الباسكال ($Pa = 1\ N/m^2$) ، والحجم V بوحدة المتر مكعب (m^3) ، وكمية المادة n بوحدة المول (mol) ودرجة الحرارة المطلقة بوحدة الكالفن (K) .

كل غاز حقيقي ، يُحقق معادلة الحالة للغاز المثالي في مجال محدد من الضغط ، يُمكن إعتباره كغاز مثالي في هذا المجال .

في الواقع لا يوجد أي غاز يحقق هذه المعادلة مهما كان ضغطه و خاصة إذا كان هذا الضغط مرتفعًا .

إن الغاز المثالي هو غاز نموذجي ، إلا أنه في الشروط الإعتيادية من الضغط و درجة الحرارة يمكن إعتبار الهواء الموجود بقاعة الدراسة مثلاً كأنه غاز مثالي .

● **تطبيق** : (الحجم المولي الغازي في الشروط النظامية)

إن الشروط التجريبية المعروفة بـ " الشروط النظامية من الضغط و درجة الحرارة " تتحدد بـ : $\theta = 0,00\ °C$, $p = 1,013 \times 10^5\ Pa$

أوجد قيمة الحجم المولي الغازي (الحجم الذي يشغله مول واحد من الغاز) بإعتبار الغاز مماثل للغاز المثالي في هذه الشروط .

● **الجواب** : ـ في حالة الغاز المثالي يتم حساب هذا الحجم بالإعتماد على المعادلة : $p.V = n.R.T$

∴ الحجم المولي أو " الحجم الذي يشغله $n = 1\ mol$ من الغاز " يرمز له بالرمز V_m ، بالتالي نكتب :

$$V_m = V/n = R.T/p$$

لأجل : $\theta = 0,00\ °C$ فإن : $T = \theta + 273,15 = 273,15\ K$ و منه :

$$V_m = (8,314 \times 273,15)/(1,013 \times 10^5) = 0,0224\ m^3/mol \Rightarrow V_m = 22,4\ L/mol$$

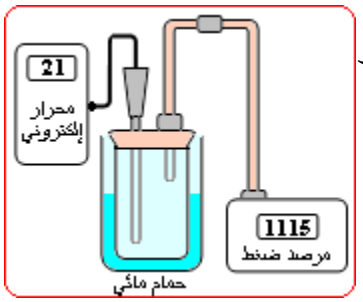
● **ملاحظة** : كل الغازات المماثلة للغاز المثالي يكون لها نفس الحجم المولي ، وهذا الحجم يتعلق بدرجة حرارتها و بضغطها .

إن الحجم الذي يشغله مول واحد من أي غاز في نفس الشروط من الضغط و درجة الحرارة لا يتعلق بطبيعة الغاز

يتم حساب هذا الحجم المولي دومًا بتطبيق معادلة الحالة للغاز المثالي على كمية مادة منه قدرها مول واحد .

θ (°C)	V_m ($L.mol^{-1}$)
0,00	22,4
25,0	24,5

● **تمرين محلول** : تم إستخدام التجهيز التجريبي الحديث الموضح بالشكل جانبه لإعادة إجراء التجربة العملية التي أجراها الفيزيائي ـ شارل(1746-1823) J. CHARLES . مسباري المحرار الإلكتروني و مرصد الضغط يسمحان بتسجيل قيم درجة الحرارة و ضغط الغاز المحجوز داخل وعاء سعته $V = 240\ cm^3$ و الذي يوجد داخل حمام مائي يسمح بتغيير درجة حرارة الوعاء و الغاز المتواجد فيه .

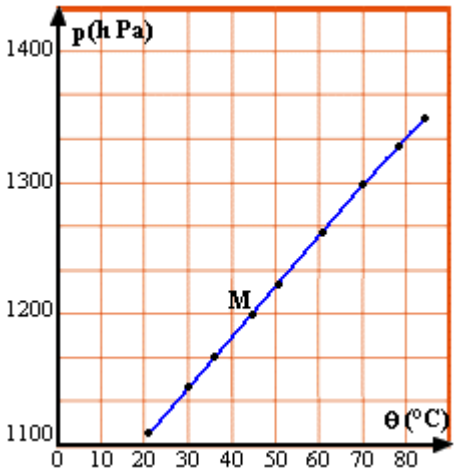


1°) ـ ماهي المقادير الماكروسكوبية للغاز التي لم يتم تغييرها في هذه التجربة ؟

2°) ـ النتائج التجريبية المحصل عليها بالقياسات التجريبية المجراة دونت في الجدول الموالي

θ(°C)	21	30	36	44	51	61	70	78	85
p(hPa)	1115	1150	1170	1200	1225	1270	1300	1325	1350

مثل بيانياً تطور ضغط الغاز p بدلالة درجة حرارته θ .



3°) ـ هل يمكننا القول بأن الضغط p متناسب مع درجة الحرارة θ ؟

4°) ـ بإعتبار هذا الغاز غازًا مثاليًا . أوجد كمية المادة n من الغاز التي تم حجزها في الوعاء . يعطى : $R = 8,314\ u.I$.

● **الجواب** :

1°) ـ المقادير الماكروسكوبية للغاز التي ثبتت و لم يتم تغييرها في التجربة المجراة هي : كمية المادة n و الحجم V

2°) ـ البيان الممثل لتغيرات الضغط p بدلالة درجة الحرارة θ عبارة عن " خط مستقيم لا يمر بالمبدأ " ..... (أنظر البيان المرفق جانبه) .

3°) ـ الضغط p تابع تآلفي لدرجة الحرارة θ من الشكل : $p = a.\theta + b$

يمكن التأكد بأن : $b \neq 0$ بالتالي : p غير متناسب مع θ .

4°) ـ بإعتبار الغاز المدروس غازًا مثاليًا نكتب : $p.V = n.R.T$

و لنحسب كمية مادة الغاز المحجوزة في الوعاء نجدها حسب المعادلة السابقة :

$$n = \frac{p.V}{R.T}$$ مع : $T = (\theta + 273)$ و منه : $$n = \frac{p.V}{R.(\theta + 273)}$$

نجري الحسابات العددية بإختيار زوج محدد (p,θ) على البيان مثلاً : M (44°C;1200hPa)

حيث : $p = 1200\ hPa = 1,20\times10^5\ Pa$ ؛ $\theta = 44\ °C \Rightarrow T = 44 + 273 = 317\ K$

و حسب المعطيات : $V = 240\ cm^3 = 2,40\times10^{-4}\ m^3$ بالتالي : $n = 1,1\times10^{-2}\ mol$.

● **تمارين تطبيقية** : ت1 (ص : 255) + ت3 ، ت4 ، ت5 (ص : 256) + ت17 ، ت18 ، ت19 (ص : 258)

حلول بعض التمارين

● **التمرين : 1** (أجب بنعم أو لا)

على الترتيب : لا ، لا ، لا ، لا ، لا ، تعم ، لا ، نعم ، لا ، نعم ، نعم ، نعم ، لا ، نعم ، لا ، نعم .

● **التمرين : 3**

خلال عملية تغيير الحجم بقيت كمية المادة ثابتة (عدد مولات الغاز لم يتغير) و درجة حرارة الغاز ثابتة أي : $p_1.V_1 = p_2.V_2 = n.R.T$

ومنه نستنتج : $p_2 = p_1.V_1/V_2 = 0,75\times10^5\times5/1,5 = 2,5\times10^5\ Pa \Rightarrow p_2 = 2,5\times10^5\ Pa$.

● **التمرين : 4**

ـ أ°) شدة القوة المطبقة على قاعدة الأسطوانة :

$$F = p.S = p.\pi.R^2 \Rightarrow F = 5\times10^5\times3,14\times0,04 = 6,28\times10^4\ N \Rightarrow F = 6,28\times10^4\ N$$

ـ ب°) إذا إفترضنا ثبوت درجة الحرارة خلال عملية خفض الضغط يصبح حجم الغاز : $V' = p.V/p' = 30\times5/2 = 75\ L$

و هذا الإفتراض غير ممكن لأن الأسطوانة لها حجم ثابت $V = 30\ L$ لا يتغير خلال خفض الضغط و الحل الوحيد لكي يكون بإمكاننا خفض ضغط الغاز دون تغيير كمية مادته ليشغل نفس الحجم السابق هو خفض درجة حرارته بحيث يتحقق :

$$V = C^{te} = T/p = T'/p'$$

● **التمرين : 5**

ـ أ) لدينا : كمية مادة الغاز ثابتة $n = C^{te}$ ، و درجة حرارة الغاز تبقى ثابتة $T = C^{te}$ خلال التجربة .

ـ ب) بعد فتح الصمام R_1 مع بقاء الصمام R_2 مغلقًا ، يحدث تغيير للحجم الذي يشغله الغاز والذي يعادل حجمي الغرفتين : $V' = V_1 + V_2$

و يرافق ذلك تغيير في ضغط الغاز بحيث :

$$n.R.T = C^{te} = p.V = p'.V' \Rightarrow p' = p.V/(V_1+V_2) \Rightarrow p' = 2\times10^5\times5/(2+5) \simeq 1,44\times10^5\ Pa$$

ـ جـ) بعد فتح الصمام R_2 يحدث كذلك تغيير للحجم الذي يشغله الغاز والذي يعادل $V'' = V_1 + V_2 + V_3$ (حجم الغرف الثلاث) و يتغير تبعًا لذلك ضغط الغاز ليصبح : $p.V = p'.V' = p''.V'' \Rightarrow p'' = 1,25\times10^5\ Pa$

● **التمرين : 17**

كتلة و حجم الغاز ثابتين بالتالي النسبة : $p/T = C^{te}$ ثابتة أي : $p_1/T_1 = p_2/T_2$ (قانون شارل) $\Leftarrow p_2 = p_1.T_1/T_2$

لدينا : $T = \theta + 273 \Leftarrow T_2 = 10 + 273 = 283\ K$; $T_1 = 50 + 273 = 323\ K$ و لدينا : $p_1 = 1,1\times10^5\ Pa$

∴ $p_2 = 1,1\times10^5\times283/323 = 9,64\times10^4\ Pa \Leftarrow p_2 = 9,64\times10^4\ Pa$.

لدينا من معادلة الحالة للغاز المثالي : $n = p_1.V/R.T_1$

∴ ـ مع : $V = 10^{-3}\ m^3$ نجد : $n = 1,1\times10^5\times10^{-3}/(8,314\times323) \simeq 4,1\times10^{-2}\ mol$ و بنفس الطريقة نجد :

ـ مع : $V = 2\ L$ نجد : $n = 8,2\times10^{-2}\ mol$.

ـ مع : $V = ½\ L$ نجد : $n = 2,05\times10^{-2}\ mol$.

● **التمرين : 18**

ـ 1) لتكن : $m\ (kg)$ كتلة الهواء المحتواة في الحجم $V\ (m^3)$ [حجم العجلة الثابت] تحت الضغط $p\ (Pa)$ عند درجة الحرارة $T\ (K)$

فإذا كانت : $M\ (kg.mol^{-1})$ هي " **الكتلة المولية الجزيئية** " للغاز فإن كمية مادته (عدد مولاته) بالتعريف هي $n = m/M$

عندها نكتب قانون الغاز المثالي $p.V = n.R.T$ بالشكل التالي : $p.V = m.R.T/M$ و منه :

$n = p.V/R.T$ و $m = p.V.M/R.T$ أو $m = n.M$.

مع : $M = 29\ g.mol^{-1}$ (الكتلة المولية للهواء) ؛ $T = 20 + 273 = 293\ K$ ؛ $V = 30\ L = 0,03\ m^3$ ؛

$p = 2,10\ bar = 2,10\times10^5 Pa$ نجد :

$n = 2,59\ mol$ (كمية مادة الهواء في العجلة) ، $m = 75\ g$ (كتلته) حيث : $R = 8,314\ u.I$ (ثابت الغازات المثالية : ثابت بولتزمان) .

ـ 2) مما سبق يكون لدينا : $T' = p'.V/n.R$ حيث المقدار الماكروسكوبي المتغير في هذه الحالة هو درجة حرارة الهواء الموجود في العجلة بتابعية الضغط المتغير بالتالي : $T' = 2,30\times10^5\times0,03/(2,59\times8,314) = 320,6\ K$

$\Leftarrow T' = 320,6\ K$ أو $\theta' = T' - 273 = 47,6\ °C$.

القيم المقترحة من طرف الصناع لضغط الهواء ($M = 29\ g.mol^{-1}$) لا تختلف كثيرًا عن حالة الآزوت ($M = 28\ g.mol^{-1}$) لتقارب كتلتيهما المولیتين

● **التمرين : 19**

بالإعتماد على المعادلة العامة للغازات المثالية : $p.V = n.R.T$ يكون لدينا :

ـ 1) كمية المادة : $n = p.V/R.T$ و منه : $n_1 = p_1.V_1/R.T$ لأن درجة الحرارة ثابتة $T = C^{te} \Leftarrow n_1 = 0,16\ mol$.

كذلك : $n_2 = p_2.V_2/R.T \Leftarrow n_2 = 0,2\ mol$.

ـ 2) الحجم الكلي للغاز : $V_t = V_1 + V_2$ بالتالي : $V_t = 7\ L = 7\times10^{-3}\ m^3$.

بينما كمية المادة الكلية للغاز فهي : $n = n_1 + n_2$ بالتالي : $n = 0,36\ mol$ و بناءً عليه يكون الضغط النهائي الكلي للغاز المتوازن في الخزانين هو :

$p_t = n.R.T/V_t \Rightarrow p_t = 0,36 \times 8,314 \times 300/7 \times 10^{-3} = 1,28\times10^5\ Pa \Rightarrow p_t = 1,28\times10^5\ Pa$.

- المجال : المادة و تحولاتها
- الوحدة ② : قياس الناقلية

ـ طريقة جديدة لقياس كمية المادة في المحاليل الشاردية ـ

- الكفاءات المستهدفة ـ يكون قادرًا على تمييز المحاليل المائية .
ـ يعرف العوامل المؤثرة على الناقلية الكهربائية .

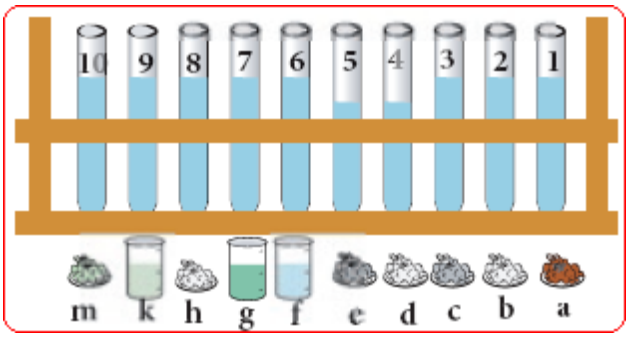
2 ـ 1) المحاليل المائية :

1ـ 1] الخلائط و المحاليل المائية :

- نشاط : الخليط المتجانس و الخليط غير المتجانس

خذ أنابيب إختبار و رقمها من 1 الى 10 كما في الجدول ثم أملأها بالماء المقطر الى الثلثين تقريبًا . أضف لكل أنبوب المادة المقترحة في الجدول ، مع رجها قليلاً ثم أتركها تهدأ

ـ ماذا تلاحظ في كل أنبوب ؟ ..... (يلاحظ في كل أنبوب تشكل خليط من طور واحد (متجانس) أو من طورين متمايزين (غير متجانس)) .



رقم الأنبوب	المادة المضافة	رقم الأنبوب	المادة المضافة
1	برمنغنات البوتاسيوم (a)	6	كحول إيثيلي (f)
2	كلور الصوديوم (b)	7	شراب النعناع (g)
3	كبريتات النحاس (c)	8	كبريتات الباريوم (h)
4	سكر (d)	9	زيت (k)
5	سكر + كلور الصوديوم (e)	10	رمل (m)

ـ أكمل الجدول التالي بوضع علامة X في الخانة المناسبة مع التعليل :..... (نكملة الجدول كماهو موضح جانبه) .
الخلائط المتواجدة في الأنابيب من 1 الى 8 متجانسة (من طور واحد) نقول عنها بأنها : **محاليل** بينما المزيجين الأخيرين في الأنبوبين 9 و 10 غير متجانسين (كل منهما يتشكل من طورين منفصلين) .

رقم الأنبوب	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
خليط متجانس										
خليط غير متجانس										

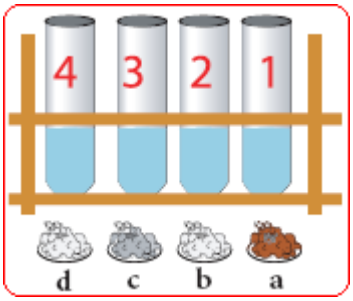
رقم الأنبوب	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
خليط متجانس	X	X	X	X	X	X	X	X		
خليط غير متجانس									X	X

- نتيجة : أكمل العبارات التالية :
الخليط مزيج من (مادتين) أو أكثر ، نعتبره غير (متجانس) إذا أمكن تمييز (مكوناته) بالعين المجردة ، وإذا تعذر ذلك نقول أنه (متجانسًا) و نسميه حينئذٍ محلولاً .

1ـ 2] المحاليل المائية :

- نشاط ① : مفهوم المحلول المائي

خذ أربعة أنابيب إختبار و رقمها من 1 الى 4 ، ثم أملأ الأنابيب بالماء المقطر الى الثلثين تقريبًا ، ضع في كل أنبوب المادة المناسبة كما في الشكل و قم برّج وتحريك المحاليل .
(a): برمنغنات البوتاسيوم ؛ (b): كلور الصوديوم ؛ (c): كبريتات النحاس ؛ (d): سكر
ـ ماذا تلاحظ في كل أنبوب ؟ ..... (يلاحظ تشكل خلائط متجانسة : محاليل متجانسة) .
ـ كيف تفسر توزع اللون في الأنبوب الأول والثالث ؟ ..... (الأنبوب 1 : محلول بنفسجي ناتج عن إنحلال بللورات برمنغنات البوتاسيوم البنفسجية في الماء المقطر الشفاف ، الأنبوب3 : محلول أزرق ناتج عن تشرد ملح كبريتات النحاس في الماء المقطر وحركة الشوارد Cu^{2+} الزرقاء في المحلول) .

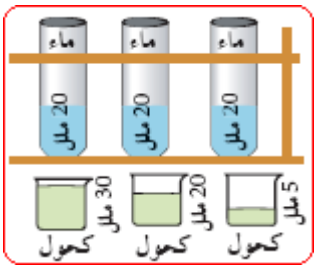


- نتيجة : أكمل العبارات التالية :
المحلول المائي خليط متجانس يتكون من مادتين أو (أكثر) لايمكن أن نميّز بينها بالعين المجردة ، ويكون لجميع أجزائه نفس (الخواص) .

- نشاط ② : نسب مكونات المحلول

خذ ثلاثة أنابيب إختبار و ضع في كل أنبوب 20 mL من الماء ، أضف لكل أنبوب الحجم المقترح في الجدول من الكحول .

رقم الأنبوب	1	2	3
حجم الماء (mL)	20	20	20
حجم الكحول (mL)	5	20	30



ـ هل هذه الخلائط محاليل ؟ علل إجابتك ..... (نعم لأنها خلائط متجانسة) .
ـ ما وجه التشابه و الإختلاف في المحاليل السابقة ؟..... (تشابه في المظهر ، ... إختلاف الحجوم و التراكيز) .

ـ أملأ الجدول المقابل
..... (تكملة الجدول) .

رقم الأنبوب	1	2	3
اسم المحل	ماء	ماء أو كحول	كحول
اسم الحلالة	كحول	كحول أو ماء	ماء
اسم المحلول	م.مائي	م.مائي أو م.كحولي	م. كحولي

رقم الأنبوب	1	2	3
اسم المحل			
اسم الحلالة			
اسم المحلول			

● **نتيجة** : أكمل العبارات التالية :

نسمي (المحل) أو المذيب (solvant) المادة التي تكون كميتها في المحلول أكبر ، و نسمي (المذاب) أو الحلالة (soluté) المادة التي كميتها أقل .عندما يكون المذيب هو (الماء) نسمي المنتوج محلولاً مائيًا .

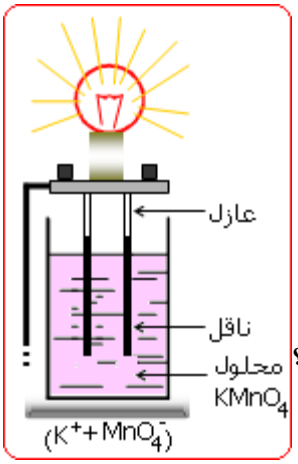
1°ـ 2] تحضير محلول شاردي :

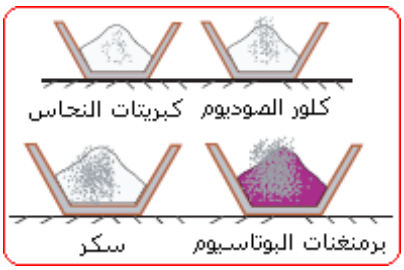
أ **المذاب (الحلالة) جسم صلب شاردي :**

ركب دارة كهربائية مكونة من مصباح و مولد و لبوسين (سلكين ناقلين) ... الشكل

ـ ضع كمية من بلورات برمنغنات البوتاسيوم $KmnO_4$ في بيشر ، وأدخل فيها اللبوسين

ـ ماذا تلاحظ ؟ ..... (بلورات $KMnO_4$ الصلبة لاتنقل التيار لذلك نلاحظ عدم إشتعال المصباح بالرغم من غلق دارته الكهربائية) .





ـ ضف الآن كمية من الماء المقطر الى البيشر الذي يحتوي بلورات $KMnO_4$. ماذا تلاحظ ؟ ماذا يحدث ؟ ..... (بعد إضافة الماء المقطر تنحل فيه بلورات $KMnO_4$ وتتحرر الشوارد K^+ الشفافة و الشوارد MnO_4^- البنفسجية في المحلول الناتج و بإنتقالها فيه يسري التيار في الدارة لذلك نلاحظ إشتعال المصباح في هذه الحالة) .

ـ أعد مرحلتي هذه التجربة بإستعمال مواد أخرى ($CuSO_4$ ، NaCl ، سكر) و سجل ملاحظاتك ..... (المواد الشاردية في الحالة الصلبة مثل $CuSO_4$ و NaCl غير ناقلة للتيار لعدم إنتقال الشوارد ، أما عند إنحلالها في الماء و تشردها فيه تصبح ناقلة للتيار مثل محلول $KMnO_4$ بإستثناء المحلول السكري الذي لا يمرر التيار خلال مرحلتي التجربة لأنه حتى في المرحلة الأخيرة تنفصل جزيئات السكر و لكنها تبقى متعادلة كهربائيًا و لاتوجد حاملات شحنة حرة في محلوله المائي) .

ـ ماهي المحاليل التي تمرر التيار الكهربائي ؟ ..... (فقط المحاليل الشاردية ـ الكهرليتات ـ) .

ـ بماذا تمتاز المحاليل المائية التي تمرر التيار الكهربائي ؟ كيف نسميها ؟ ..... (كما أسلفنا تمتاز المحاليل المائية التي تمرر التيار الكهربائي بخاصية **الناقلية** للكهرباء كونها محاليل شاردية و تسمى نتيجة لذلك بـ**المحاليل الشاردية** أو **الكهرليتات** ***Eléctrolytes***) .

ـ بماذا تمتاز المحاليل المائية التي لا تمرر التيار الكهربائي ؟ كيف نسميها ؟ ..... (تمتاز المحاليل المائية التي لا تمرر التيار الكهربائي بخاصية **عدم الناقلية** للكهرباء كونها محاليل غير شاردية و تسمى نتيجة لذلك بـ**المحاليل الجزيئية**) .

● **نتيجة** : أكمل العبارات التالية :

في الجسم الصلب الشاردي ، الشوارد تحتل مواقع معينة ولا (تنتقل) ، فالجسم الصلب الشاردي (معتدل) كهربائيًا ، وعند إنحلاله في الماء ، تنفصل (الشوارد) مكونة شحنات (شوارد) حرة (الحركة) في المحلول فيكون حينئذٍ ناقلاً للتيار الكهربائي . بينما السكر ، يحتوي على روابط (تكافؤية) و عند إنحلاله في الماء تنفصل جزيئاته و لكنها تبقى متعادلة فلا وجود لشحنات حرة في المحلول المائي الذي لا (ينقل) التيار الكهربائي .

ب **الجزيئات المستقطبة :**

① **جزيء الماء** : خذ مسطرة بلاستيكية وقم بدلكها بقطعة من الصوف مثلاً .

ـ إفتح حنفية الماء حتى يسيل خيط رفيع من الماء ، ثم قرب منه المسطرة المدلوكة دون لمسه (الشكل)

ـ ماذا تلاحظ ؟ ..... (نلاحظ إنجذاب سيل الماء نحو المسطرة المدلوكة كما في الشكل) .

ـ لماذا ندلك المسطرة قبل تقريبها ؟ ..... (لشحنها كهربائيًا بالدلك) .

ـ كيف تفسر هذه الظاهرة ؟ ..... (تنجذب الماء نحو المسطرة المدلوكة لأن جزيئاته مستقطبة كهربائيًا أي كل جزيء له قطبان كهربائيان كل منهما يحمل شحنة جزئية أحدهما موجبة و الآخر سالبة ،عمومًا تبين هذه الظاهرة أن : **جزيء الماء مستقطب**) .

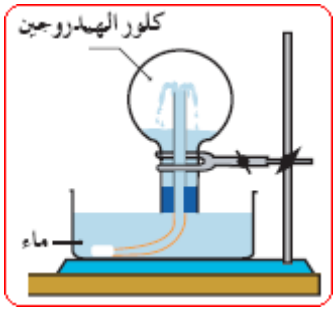
● أكمل العبارات التالية :

يحتوي جزيء الماء رابطة (مستقطبة) بين الأكسجين و الهيدروجين ناتجة عن وضع إلكترون ذرة الهيدروجين وإلكترون من ذرة الأكسجين ليتكون (زوج) إلكتروني ، وهما إحصائيًا قريبين من ذرة (الأكسجين) بدلاً من ذرة الهيدروجين . عدم التساوي في التوزيع يجعل ظهور (شحنة) عنصرية موجبة على كل من ذرتي الهيدروجين و (شحنة) سالبة على ذرة الأكسجين فيصبح جزيء الماء جزيء مستقطب أو قطبي .

② **جزيء كلور الهيدروجين** : ضع كمية من غاز كلور الهيدروجين HCl في حوجلة مجففة ، بها سدادة يخترقها أنبوب زجاجي في المركز .

ـ أنكس الحوجلة فوق حوض من الماء . ماذا تلاحظ ؟ ..... (نلاحظ تدفق الماء من الحوض داخل الحوجلة بشكل نافورة مائية) .

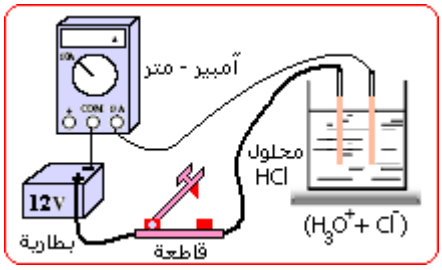
ـ هل غاز كلور الهيدروجين ينحل بشراهة في الماء ؟ علّل . ..... (نعم ينحل الغاز بشراهة في الماء لأن جزيئاته مستقطبة مثل جزيئات الماء ويتشكل نتيجة لذلك محلول مائي شاردي يتدفق الى الفراغ الذي يخلفه الغاز المنحل داخل الحوجلة بتأثير الضغط الجوي الخارجي) .



ـ إستعن بالجدول الدوري و حدد كهرسلبية كل ذرة ..... (تشكل جزيء غاز كلور الهيدروجين من ذرة هيدروجين (عنصر كهرجابي) ومن ذرة كلور (عنصر كهرسلبي) مرتبطتين برابطة تكافئية بسيطة مستقطبة) .
ـ قارن جزيء الماء و جزيء كلور الهيدروجين من حيث البنية ..... (كلاهما جزيء مستقطب) .
ـ ماذا تستنتج ؟ علّل . ..... (توجد روابط جزيئية بين جزيئات الماء بسبب قطبيتها وكذلك الحال بالنسبة لجزيئات كلور الهيدروجين ، وعند إمتزاجهما ينحل الغاز في الماء مشكلاً محلولاً مائيًا شارديًا ناقل للكهرباء) .

● أكمل العبارات التالية :
لغاز كلور الهيدروجين جزيء (مستقطب) لذلك (ينحل) بشراهة في الماء . فعند ضغط 1 بار ينحل 13,5 mol في 1 L من الماء .
ذرة الكلور مثل ذرة الأكسجين لها (كهرسلبية) أكبر من ذرة الهيدروجين ، فهي تجذب الزوج الإلكتروني للرابطة بين الكلور و (الهيدروجين) لتتشكل شحنة عنصرية (سالبة) على ذرة الكلور و شحنة عنصرية موجبة على ذرة (الهيدروجين) . إذن هذه الرابطة مستقطبة .

③ <u>محلول كلور الهيدروجين</u> :
إملأ وعاء الى ثلثي حجمه بمحلول مائي لـ HCl ، ثم أغمس فيه لبوسين من النحاس ، و أوصله على التسلسل مع آمبير- متر ، مولد و قاطعة .

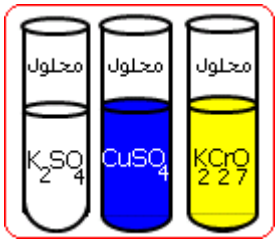


ـ أرسم الدارة الكهربائية . ..... (لاحظ الشكل المقابل) .
ـ هل المحلول يمرر التيار الكهربائي ؟ ..... (نعم) .
ـ هل محلول كلور الهيدروجين شاردي ؟ ..... (نعم) .
ـ أكتب معادلة التفاعل أثناء الإنحلال .

المعادلة : $HCl + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + Cl^-$

● أكمل العبارات التالية :
يمر (التيار) في المحلول المائي لكلور الهيدروجين فنستنتج أن إنحلال (الغاز) في الماء يصاحبه تشكل شاردة (كلور Cl^-) و شاردة الهيدرونيوم (H_3O^+) .

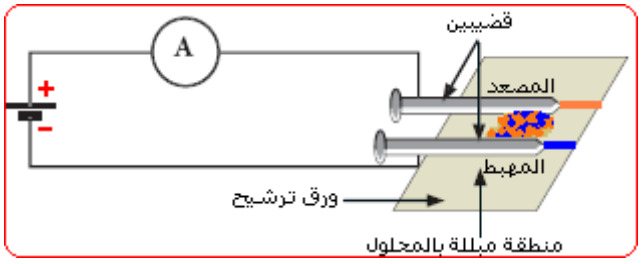
2 ـ 2) <u>النقل الكهربائي للمحاليل الشاردية</u>:



2°ـ 1] <u>التيار الكهربائي و المحاليل</u> : ● <u>نشاط</u> ① : تبرز بعض الشوارد لونًا مميزًا لها في محاليلها المائية .
إليك الأدوات التالية و بعض المواد الكيميائية :
بيشر ، أنابيب إختبار ، ماء مقطر ، كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4 ، كبريتات النحاس $CuSO_4$ ، بيكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$.
ـ ماهي الشوارد المشكلة لهذه الأملاح ؟ ..... (الشوارد المشكلة للأملاح الثلاثة : K_2SO_4 ، $CuSO_4$ ، $K_2Cr_2O_7$ هي : الشوارد المعدنية الموجبة (المهبطيات : الكاتيونات) K^+ ، Cu^{2+} و الشوارد المصعدية السالبة (المصعديات : الأنيونات) SO_4^{2-} ، $Cr_2O_7^{2-}$) .
ـ ذوب كمية من كل ملح في أنبوب إختبار . ماذا تلاحظ في كل أنبوب ؟ ..... (لاحظ تشكل محاليل مائية بعضها ملون وبعضها الآخر شفاف (غير ملون)) .
ـ ماهو لون كل محلول ؟ لأي سبب تُرجع اللونين الناتجين ؟ علّل إجابتك ..... (كما هو موضح بالشكل المرفق فإن : المحلول ($2K^+ + Cr_2O_7^{2-}$) أصفر برتقالي ، المحلول ($Cu^{2+} + SO_4^{2-}$) أزرق ، المحلول ($2K^+ + SO_4^{2-}$) عديم اللون حيث يعزى تلون المحلولين الملونين لإحتوائهما على شوارد ملونة مع شوارد غير ملونة و لكن المحلول يأخذ دومًا لون شوارده الملونة) .
ـ لماذا قمنا بتحضير المحلول غير الملون ؟ مادوره هنا ؟ إشرح . ..... (لما بتحضير المحلول الشفاف ($2K^+ + SO_4^{2-}$) لأنه يحتوي شوارد غير ملونة وهي شوارد البوتاسيوم K^+ و شوارد الكبريتات SO_4^{2-} وهذه الشوارد الشفافة متواجدة كذلك في المحلولين الملونين و منه نستنتج أن اللون الذي يظهر في المحلول ($2K^+ + Cr_2O_7^{2-}$) يرجع للشوارد $Cr_2O_7^{2-}$ البرتقالية أما اللون الذي يظهر في المحلول ($Cu^{2+} + SO_4^{2-}$) فإنه يرجع للشوارد Cu^{2+} الزرقاء) .

● نتيجة : أكمل العبارات التالية :

ـ يحتوي محلول كبريتات النحاس على شاردتي (Cu^{2+}) و (SO_4^{2-}) ولونه (أزرق) .
ـ يحتوي محلول كبريتات البوتاسيوم على شاردتي (K^+) و (SO_4^{2-}) ولا (لون) له .
ـ يحتوي محلول بيكرومات البوتاسيوم على شاردتي (K^+) و ($Cr_2O_7^{2-}$) ولونه (أصفربرتقالي) .
إذن يعود اللون (الأزرق) لمحلول كبريتات النحاس لإحتوائه شوارد (Cu^{2+}) فقط ، بينما يعود اللون (الأصفرالبرتقالي) لمحلول بيكرومات البوتاسيوم لإحتوائه شوارد ($Cr_2O_7^{2-}$) فقط لأن شاردتي (K^+) و (SO_4^{2-}) لا تلون المحلول المائي الذي يحتويها و ذلك ما لاحظناه عند إذابة بلورات من (كبريتات البوتاسيوم) في الماء .



● <u>نشاط</u> ② : التيار الكهربائي في المحاليل ناتج عن إنتقال الشوارد .
<u>الأدوات</u> : ورقة ترشيح ، محاليل : K_2SO_4 ، $K_2Cr_2O_7$ ، $CuSO_4 . 5H_2O$ ، مولد توتر مستمر ، لبوسين ناقلين (صفيحتين صغيرتين من النحاس مثلاً) ، آمبير- متر ، أسلاك توصيل .
ـ خذ ورقة ترشيح ، بللها بمحلول K_2SO_4 وضع عليها اللبوسين المتقابلين ثم أغلق الدارة (أنظر الشكل المقابل) .
ـ أفرغ بين الصفيحتين مزيجًا من $K_2Cr_2O_7$ و $CuSO_4 . 5H_2O$.

ـ صف ماذا تشاهد على الورقة بعد غلق الدارة مباشرة ..... (بعد غلق الدارة مباشرة نلاحظ إنحراف مؤشر الآمبيرمترو إمتزاج لوني المحلولين في المنطقة الكائنة بين اللبوسين) .

ـ هل يمر تيار في الدارة ؟ ..... (نعم) .

ـ صف ماذا يحدث بعد مدة (10 دقائق أو أكثر) ..... (بعد مدة كافية ينفصل اللونين الأزرق و البرتقالي عن بعضهما) .

ـ حدد اللون الظاهر على ورقة الترشيح من جانب المصعد و من جانب المهبط . كيف تفسر ذلك و لماذا ؟ ..... (يظهر اللون **البرتقالي** على ورقة الترشيح بجوار المصعد (اللبوس ذو الكمون المرتفع+) بسبب هجرة الشوارد المصعدية سالبة الشحنة (الأنيونات) $Cr_2O_7^{2-}$ إليه أثناء سريان التيار في الدارة ، ويظهر اللون **الأزرق** بجوار المهبط (اللبوس ذو الكمون المنخفض-) بسبب هجرة الشوارد المهبطية موجبة الشحنة (الكاتيونات) Cu^{2+} إليه) .

ـ ماطبيعة التيار الكهربائي في المحاليل الشاردية ؟ إشرح آلية حدوثه ..... (التيار الكهربائي عمومًا عبارة عن حركة جماعية منظمة لحاملات الشحنة (جسيمات مشحونة) و تحديدًا يتم سريان التيار في المحاليل الشاردية الناقلة بالإنتقال المزدوج لشوارد المحلول بين المسريين المغمورين في المحلول حيث تتجه الأنيونات (الشوارد سالبة الشحنة) ناحية المسرى الموجب للتيار بينما تتجه الكاتيونات (الشوارد موجبة الشحنة) ناحية المسرى السالب للتيار) .

ـ قارن آلية النقل الكهربائي في المعادن مع آلية النقل الكهربائي في المحاليل الشاردية مبرزًا مميزاتها ..... (ينتقل التيار الكهربائي في النواقل المعدنية مثل الأسلاك بفضل إنتقال الإلكترونات الحرة لذرات معدن السلك وبالإتجاه المعاكس دومًا لجهة إنتقال هذه الإلكترونات وفق الجهة الإصطلاحية دون إنتقال للمادة بينما يتم ذلك في المحاليل الشاردية أي إنتقال للمادة بفضل الإنتقال المزدوج للشوارد الموجبة و السالبة (الكاتيونات و الأنيونات) أي أن المحاليل الشاردية عمومًا تمتاز بـ**ناقليتها للكهرباء**) .

2°ـ 2] **الطاقوية و الناقلية** :

أ **الطاقوية** : تعرف المقاومة R لناقل كهربائي ، يعبره تيار شدته I (A) عندما يُطبق بين طرفيه فرق في الكمون (توتر كهربائي) U (V) على أنها النسبة بين قيمة U المقدرة بـ "الفولط" : Volts (V) والشدة I المقدرة بـ "الآمبير" : Ampéres (A) أي :

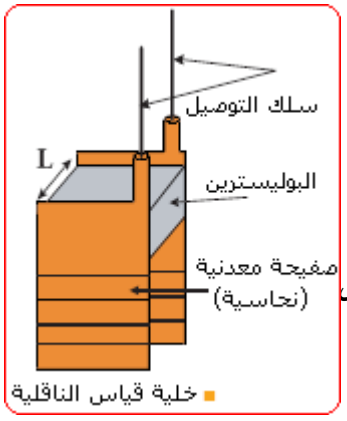
$$R(\Omega) = U(V)/I(A)$$

تقدر المقاومة الكهربائية R في الجملة الدولية للوحدات (S.I) بوحدة "الأوم" ويرمز لها بالرمز Ω أي : $1\Omega = 1V/A = 1V.A^{-1}$.

ب **الناقلية** : في كثير من الأحيان ، وللتعبير عن خاصية ـ نقل الكهرباء ـ في النواقل المعدنية و المحاليل الشاردية ، نلجأ الى مقدار فيزيائي آخر هو ـ **الناقلية** ـ ويرمز لها بالرمز G و تعرف على أنها النسبة بين قيمة شدة التيار I المارة في الناقل و قيمة التوتر الكهربائي U المطبق بين طرفيه . أي أن الناقلية هي مقلوب المقاومة : $G = 1/R = I/U$

في جملة الوحدات الدولية (S.I) حيث تقدر R بـ (Ω) وتقدر I بـ (A) بينما يقدر U بـ (V) فإن الناقلية الكهربائية G تقدر بوحدتها الدولية $\Omega^{-1} = A/V = A.V^{-1}$ وتسمى " السييمنس : Sièmens " ويرمز لها بالرمز S أي : $1S = 1\Omega^{-1} = 1A/V = 1A.V^{-1}$.

2 ـ 3) **قياس الناقلية G لمحلول** :



لقياس الناقلية لمحلول ما نقوم بحصر جزء (حجم) من هذا المحلول بين صفيحتين معدنيتين متماثلتين مساحة سطح كل منهما S ، وتفصلهما مسافة L ، ثم نطبق عليهما بواسطة مولد من نوع G.B.F فرق كمون كهربائي متناوب جيبي قيمته الفعالة U_{eff} تواتره f منخفض ويربط مقياس آمبير على التسلسل في الدارة لقياس الشدة الفعالة (المنتجة) I_{eff} للتيار المار عبر الجزء المأخوذ من المحلول .

نسمي جملة الصفيحتين و الفضاء (الحجم) المحدد بينهما بـ" خلية قياس الناقلية " ..... (الشكل)

ـ تقاس القيمة المنتجة U_{eff} لفرق الكمون المطبق بين الصفيحتين بواسطة مقياس فولط يضبط على وضع التيار المتناوب وموصول على التفرع بين الصفيحتين .

ـ تقاس القيمة المنتجة I_{eff} لشدة التيار المار عبر الجزء من المحلول بواسطة مقياس آمبير يضبط على وضع التيار المتناوب وموصول على التسلسل مع الصفيحتين في الدارة .

ـ تُحدد ناقلية الجزء من المحلول في هذه الظروف بالعلاقة التالية : $G = I_{eff}/U_{eff}$

1°) ـ لماذا نلجأ في هذه العملية الى إستخدام التيار المتناوب الجيبي بدلاً من التيار المستمر ؟ ..... (حتى لا تحدث عملية تحليل كهربائي للمحلول الكهرليتي و بدلاً من ذلك يتم قياس ناقليته الكهربائية) .

2°) ـ ماهو الشرط الذي يجب تحقيقه في الصفيحتين لإستعمالهما في قياس الناقلية ؟ ..... (الصفيحتين نظيفتين (يتم غسلهما قبل الإستعمال مباشرة بالماء المقطر وتجفيفهما) و متوازيتين تمامًا ($L = C^{te}$) و يغمران في المحلول بنفس العمق ($S = C^{te}$) وأن يتم غسلهما بإستمرار عند الإستخدام مع عدة محاليل) .

- **عمل مخبري** : " مدخل لقياس الناقلية في المحاليل الشاردية " .
- **عمل تطبيقي محلول** : ص ـ 276 [حساب تركيز مصل فيزيولوجي Sérum physiologique عن طريق قياس الناقلية] .
- **تطبيقات** : **التمارين** 1 ، 2 ، 3 **ص** : 280

التمارين 4 ، 5 ، 6 ، 7 ، 8 **ص** : 281

التمارين 9 ، 10 ، 11 **ص** : 282

التمارين 12 ، 13 ، 14 ، 15 ، 16 **ص**

حلول التمارين :

● التمرين : 1] أجب بصحيح أو خطأ

صحيح ، صحيح ، صحيح ، صحيح ، صحيح ، صحيح ، خطأ ... [على الترتيب]

● التمرين : 2] 1 ـ أ] نغير سطح اللبوسين و البعد بينهما .

2 ـ ب] الناقلية للجزء من المحلول المحصور بين المصعد و المهبط .

● التمرين : 3] لدينا بالتعريف : الناقلية النوعية المولية لمحلول يحتوي عدة شوارد تحسب بالعلاقة التالية :

$\sigma = \sum(\lambda_{X^+}[X^+] + \lambda_{X^-}[X^-])$ حيث : $[X^+]$ التركيز المولي للشاردة X^+ و $[X^-]$ التركيز المولي للشاردة X^- في المحلول بـ $mol.m^{-3}$.

بالرجوع الى معطيات الجدول نجد :

ـ بالنسبة لمحلول كلور البوتاسيوم : $(K^+ + Cl^-) \Leftarrow [K^+] = [Cl^-] = C = 0,0352\ mol/L = 35,2\ mol/m^3$

و لدينا : $\lambda_{K^+} = 7,35 . 10^{-3}$ ، $\lambda_{Cl^-} = 7,63 . 10^{-3}$ و منه : $\sigma = 35,2 . 10^{-3}(7,35 + 7,63) = 0,527\ S/m$.

ـ بالنسبة هيدروكسيد الكالسيوم: $(Ca^{2+} + 2OH^-)$ و بنفس الطريقة السابقة نجد : $\sigma = 26,8 . 10^{-3}(11,9 + 2x19,9) = 1,39\ S/m$

● التمرين : 4] ـ 1] بالتعريف : ثابت الخلية k : $k = S/L \Rightarrow k = 1/1,5 = 2/3\ cm = 0,67\ cm \Rightarrow k = 0,67\ cm$

ـ 2] لدينا : $G = k\sigma \Leftarrow \sigma = G/k \Leftarrow \sigma = 128.10^{-3}/0,67.10^{-2} = 19,2\ S/m \Leftarrow \sigma = 19,2\ S/m$.

● التمرين : 5] ـ 1] لدينا المعادلة الكيميائية التالية : $KMnO_{4\ (s)} \xrightarrow{+\ H_2O} K^+_{(aq)} + MnO_4^-{}_{(aq)}$

حيث : $[K^+] = [MnO_4^-] = C$ ، الناقلية النوعية المولية للمحلول : $\lambda = \lambda_{K^+} + \lambda_{MnO_4^-} = (7,35 + 6,10) = 13,45\ mS.m^2/mol$

ـ 2] بالتعريف : $G = \lambda.C \Leftarrow C = G/\lambda \Leftarrow C = 85,1 / 13,45 = 6,32\ mol/m^3 \Leftarrow C = 0,00632\ mol/L$.

التركيز الكتلي للمحلول C_m : لدينا العلاقة بين التركيزين المولي الحجمي C و الكتلي الغرامي C_m هي : $M = C_m/C \Rightarrow C_m = M.C$

حيث M : الكتلة المولية الجزيئية للحالة [الصلب] بالتالي : $M(KMnO_4) = 39 + 55,5 + 64 = 158,5\ g/mol$

$\therefore C_m = 158,5 \times 0,00632 \simeq 1\ g/L \Rightarrow C_m = 1\ g/L$

● التمرين : 6] الكتلة المولية الجزيئية لمركب يود الصوديوم هي : $M = 149,9\ g/mol$.

$\therefore$ التركيز المولي الحجمي للمحلول : $C = C_m/M = 2/149,9 = 0,0133\ mol/L$ حيث : $C = [Na^+] = [I^-] = 0,0133\ mol/L$

ومنه الناقلية النوعية المولية لمحلول NaI هي بالتعريف : $\sigma = \lambda_{Na^+}[Na^+] + \lambda_{I^-}[I^-] \Leftarrow \sigma = 0,169\ S/m \Leftarrow \sigma \simeq 0,17\ S/m$

● التمرين : 7] ـ 1] لدينا : $G(Na^+ + NO_3^-) = k\sigma(Na^+ + NO_3^-)$ حيث : $k = S/L$ [ثابت الخلية] ،

بالتالي : $G = \lambda.C = \lambda_{Na^+}[Na^+] + \lambda_{NO3^-}[NO_3^-]$

$G(Na^+ + Cl^-) = \lambda_{Na^+}[Na^+] + \lambda_{Cl^-}[Cl^-]$

و $G(K^+ + NO_3^-) = \lambda_{K^+}[K^+] + \lambda_{NO3^-}[NO_3^-]$.

$G(K^+ + Cl^-) = \lambda_{K^+}[K^+] + \lambda_{Cl^-}[Cl^-]$

حيث أن لجميع المحاليل الملحية نفس التركيز المولي فيمكن أن نكتب : $[Na^+] = [Cl^-] = [K^+] = [NO_3^-] = C\ (mol/m^3)$

بالتالي : $\lambda_{K^+} + \lambda_{NO3^-} = G(K^+ + NO_3^-)/C = 1,33/C\ (mS.m^2/mol)$ ..... (1)

$\lambda_{K^+} + \lambda_{Cl^-} = G(K^+ + Cl^-)/C = 1,37/C\ (mS.m^2/mol)$ ..... (2)

$\lambda_{Na^+} + \lambda_{Cl^-} = G(Na^+ + Cl^-)/C = 1,16/C\ (mS.m^2/mol)$ ..... (3)

باستخدام العلاقات [1] ، [2] ، [3] نجد : $G(Na^+ + NO_3^-) = G(Na^+ + Cl^-) + G(K^+ + NO_3^-) - G(K^+ + Cl^-)$.

ـ 2] مما سبق لدينا : $G(Na^+ + NO_3^-) = G(Na^+ + Cl^-) + G(K^+ + NO_3^-) - G(K^+ + Cl^-) = 1,16 + 1,33 - 1,37 = 1,12\ mS$

أو : $G(Na^+ + NO_3^-) = [\lambda_{Na^+} + \lambda_{NO3^-}].C \Rightarrow G(Na^+ + NO_3^-) = [1,16/C + 1,33/C - 1,37/C].C = 1,12\ mS$

$\therefore G(Na^+ + NO_3^-) = 1,12\ mS$.

ـ 3] لدينا : $G(K^+ + Cl^-) = 1,37\ mS$ هي أكبر الناقليات ومنه " محلول كلور البوتاسيوم أكثر ناقلية من المحاليل الملحية الأخرى " .

● التمرين : 8] ـ 1] المحلول ممدد بالتالي يمكن كتابة : $G(Na^+ + OH^-) = k\sigma = \sigma . S/L = \lambda . C . S/L = [\lambda_{Na^+} + \lambda_{OH^-}].C.S/L$

بالمثل يكون : $G(Na^+ + Cl^-) = [\lambda_{Na^+} + \lambda_{Cl^-}].C.S/L$ وكذلك : $G(K^+ + Cl^-) = [\lambda_{K^+} + \lambda_{Cl^-}].C.S/L$

ـ 2] مما سبق يكون لدينا : $G(K^+ + OH^-) = [\lambda_{K^+} + \lambda_{OH^-}].C.S/L$ و بعد الإصلاح [انظر حل التمرين السابق] يمكن أن نجد :

$G(K^+ + OH^-) = G(Na^+ + OH^-) + G(K^+ + Cl^-) - G(Na^+ + Cl^-)$

$\therefore G(K^+ + OH^-) = 3,19 + 1,85 - 1,56 = 3,48\ mS \Rightarrow G(K^+ + OH^-) = 3,48\ mS$

نستنتج أن محلول هيدروكسيد البوتاسيوم هو الأكثر ناقلية للكهرباء من بين المحاليل المعتبرة .

● التمرين : 9] معادلة إنحلال ملح كلور الأمونيوم NH_4Cl في الماء هي :

$$NH_4Cl_{(s)} \xrightarrow{+ H_2O} NH_4^+{}_{(aq)} + Cl^-{}_{(aq)}$$

ـ 1] رسم البيان : $G = f(C)$ على الورق الملمتري ..... [أنظر البيان المرفق]

الخط البياني : $G = f(C)$ عبارة عن " خط مستقيم مائل يمر من المبدأ " معادلته من الشكل :

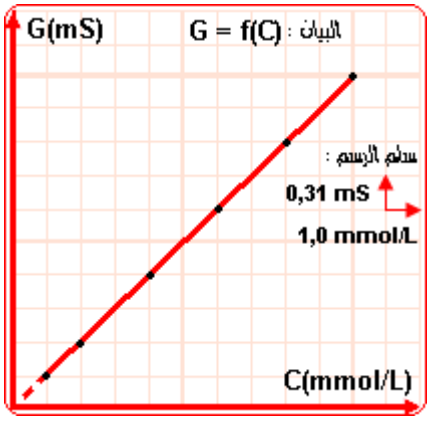
$G = A.C$ حيث : A معامل التوجيه [الميل] أي : $A = \Delta G/\Delta C = 0,31/1 = 0,31$ u.I

$\therefore$ $G(S) = 0,31\ C(mol/L)$ ..... [معادلة البيان] .

ـ 2] يجب أن يكون تركيز المحلول الذي نريد دراسته محصور في مجال التركيز الذي عايرنا به الخلية .

ـ 3] عند إسقاط القيمة : $G = 1,48$ mS على الخط البياني نقرأ القيمة الموافقة على محور التركيز ، فنجدها : $C = 4,78$ mmol/L .

أو] من معادلة البيان السابقة يكون لدينا : $C = G/0,31 = 1,48/0,31 = 4,78$ mmol/L



● التمرين : 10]

ـ 1] معادلة إنحلال ملح نترات البوتاسيوم KNO_3 في الماء H_2O :

$$KNO_3{}_{(s)} \xrightarrow{+ H_2O} K^+{}_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)}$$

ـ 2] نرسم البيان : $G = f(C)$ الذي يمثل مخطط المعايرة لخلية القياس المستعملة في هذه التجربة [أنظر التمرين السابق] ، فنلاحظ أن G تتناسب طردًا مع C ، ثم نقوم بقياس شدة التيار I المار في دارة الخلية و التوتر الكهربائي U المطبق بين طرفيها المغمورين في المحلول المجهول التركيز ، نلاحظ أنه لأجل : $U = 1$Volt نكون قيمة ناقلية G للمحلول المقدرة بـ mS مساوية لقيمة I المقدرة بـ mA لأن : $G = I/U$. نسقط القيمة G في البيان $G = f(C)$ على محور التركيز C و نقرأ التركيز الموافق .

ـ 3] البيان : $G = f(C)$ ..... [أنظر التمرين السابق] .

ـ 4] كما أسلفنا لأجل : $U = 1$Volt فإن $G = I$ ، بما أن : $G = 0,88$ mS $\Leftarrow I = 0,88$ mA

بالإسقاط على البيان نقرأ : $C = 3,49$ mmol/L .

● التمرين : 11] ـ 1] معادلة إنحلال ملح كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 في الماء H_2O :

$$Na_2SO_4{}_{(s)} \xrightarrow{+ H_2O} 2Na^+{}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

ـ 2] مخطط الدارة الكهربائية المستعملة في التجربة : [أنظر الشكل المقابل]

ـ عبارة الناقلية : $G(mS) = I(mA)/U(V)$ ، يتم حساب ناقلية كل محلول و تكملة الجدول بناءً على العبارة السابقة

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
C(mmol/L)	10,0	7,5	5,0	1,0	0,5	C_6
U(V)	0,904	0,850	0,851	0,851	0,851	0,808
I(mA)	2,070	1,485	1,010	0,212	0,125	0,700
G(mS)	2,290	1,750	1,190	0,249	0,147	0,866

ـ رسم البيان : $G = f(C)$ على الورق الملمتري ..... [أنظر البيان المرفق]

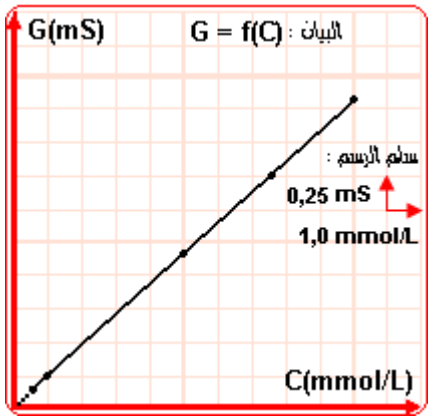
نلاحظ من البيان أن " الناقلية G تتناسب طردًا مع التركيز C " .

ـ لإيجاد التركيز C_6 للمحلول (S_6) بيانيًا نقوم بتحديد النقطة من البيان التي توافق $G = 0,866$ mS على محور الترتيب G ثم نقوم بإسقاطها على محور الفواصل C فنقرأ : $C_6 = 3,4$ mmol/L

ـ هذا البيان يمثل " مخطط المعايرة لخلية القياس المستعملة " .

ـ بالعودة الى معادلة الإنحلال نجد : $[SO_4^{2-}] = C_6 = 0,0033$ mol/L .

بينما : $[Na^+] = 2C_6 = 0,0067$ mol/L .



● التمرين : 12] ـ الجواب المختصر : $4,6 \times 10^{-3}$mol/L ، 0,46 mol/L ، $CaCl_2.6H_2O$.

● التمرين : 13] $Ca(NO_3)_2{}_{(s)} \xrightarrow{+ H_2O} Ca^{2+}{}_{(aq)} + 2NO_3^-{}_{(aq)}$ ومنه الكتلة المولية : $M = 164$ g/mol

ـ تركيز شاردة الكالسيوم : $[Ca^{2+}] = C = 1,5/164 = 9,15$ mmol/L .

ـ تركيز شاردة النترات : $[NO_3^-] = 2C = 18,3\ mmol/L$.

ـ ناقلية المحلول : $\sigma = \lambda_{Ca2+}\,[Ca^{2+}] + \lambda_{NO3-}\,[NO_3^-]$ $\Leftarrow$ $\sigma = 0,234\ mS/m$.

● التمرين : 14] ـ الجواب المختصر : بنفس الطريقة كما في إجابة تمرين $_8$ نجد : $G(Na^+ + NO_3^-) = 1,12\ mS$

∴ المحلول الأكثر ناقلية للكهرباء هو المحلول ذو الناقلية G الأكبر وهو : محلول نترات البوتاسيوم ($G = 1,37\ mS$) .

● التمرين : 15] ـ الجواب المختصر : CaF_2 ، $[F^-] = 0,4\ mol/L$ ، $[Ca^{2+}] = 0,2\ mol/L$.

● التمرين : 16] ـ الجواب المختصر : $5\ mL$ من المحلول الأصلي و يضاف لها الماء المقطر الى غاية $1000\ mL$،

$$H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2H_2O$$

$C_0=200C=2,1mol/L$ ،$C=0,01056mol/L$ $\Leftarrow$ $n(H_3O^+)=n(OH^-)=C_e.V_e= 0,096 \cdot 11 = 1,056\ mmol$ ، $V_e=11\ mL$.

- المجال : المادة و تحولاتها
- الوحدة ③ : تعيين كمية المادة بواسطة المعايرة (تحول كيميائي)
- الكفاءات المستهدفة: ـ يتعرف على طريقة المعايرات اللونية .
ـ يكون قادرًا على تحديد كمية المادة عن طريق قياس الناقليات الكهربائية .
ـ يكون قادرًا على إستغلال النّاقوة من أجل حساب كمية المادة .

3 ـ 1°] التفاعل بين المحاليل الحمضية و الأساسية :

1°ـ 1] المحاليل الحمضية و الأساسية :

- أ] ـ نشاط ① تصنيف المحاليل الحمضية و المحاليل الأساسية باستعمال كاشف الهليانتين :

خذ بضعة أنابيب إختبار ، وضع في كل أنبوب كمية قليلة من أحد المحاليل التالية : (عصير الليمون ، الخل ، محلول صابون ، بيكاربونات الصوديوم ، ملح الطعام) و أضف لها بضع قطرات من كاشف الهليانتين ... لاحظ الجدول المرفق

المواد	اللون الطبيعي	لون الكاشف فيها
ليمون	أصفر	أحمر وردي
خل	شفاف	أحمر وردي
محلول صابون	شفاف	برتقالي
بيكاربونات	عديم اللون	أصفر
ملح الطعام	عديم اللون	برتقالي

ـ ماهو لون كاشف الهليانتين ؟ ..... (برتقالي) .
ـ ماذا تلاحظ بعد إضافة الكاشف الى المحاليل ؟ ..... (أنظر الجدول) .
ـ رتب المحاليل حسب تماثل ألوانها بوجود الكاشف ..... (يمكن تصنيف المحاليل المدروسة بحسب اللون الذي يأخذه الكاشف الملون الموضوع فيها الى ثلاثة أصناف هي :

- محاليل تلون الهليانتين البرتقالي باللون الأحمر الوردي [محلول الليمون ، محلول الخل] .
- محاليل تلون الهليانتين البرتقالي باللون الأصفر [محلول البيكاربونات] .
- محاليل لا تغير لون الكاشف [محلول الصابون ، محلول ملح الطعام] .

ـ يتميز الليمون بطعم شائع ؟ أذكره ..... (الطعم الحامضي) .

- نتيجة : أكمل العبارات التالية :

... نسمي محلولاً حمضيًا كل محلول يأخذ فيه (الهليانتين) اللون (الأحمر) الذي يأخذه مع عصير الليمون .
و نسمي محلولاً أساسيًا كل محلول يأخذ فيه الهليانتين اللون (الأصفر) الذي يأخذه مع البيكربونات .

ـ نشاط ② تصنيف المحاليل الكيميائية الى حمضية و أساسية بواسطة كاشف أزرق البروموثيمول :

ضع محاليل مخففة من : H_2SO_4 ، HCl ، NaOH ، KOH و عصير الليمون في كؤوس وقطر عليها بواسطة الماصة بضع قطرات من كاشف أزرق البروموثيمول .
ـ ماذا تلاحظ بعد إضافة الكاشف الى المحاليل ؟ .....(تلون الكاشف بلون معين في كل منها) .
ـ رتب المحاليل حسب تماثل ألوانها بوجود الكاشف ..... (يمكن تصنيف المحاليل الكيميائية المدروسة بحسب اللون الذي يتلون به الكاشف المستعمل فيها الى صنفين متناظرين هما :

- محاليل تلون أزرق البروموثيمول ذو اللون الأخضر باللون الأصفر مثل H_2SO_4 ، HCl و عصير الليمون .
- محاليل تلون أزرق البروموثيمول ذو اللون الأخضر باللون الأزرق مثل NaOH ، KOH .

محاليل كيميائية	لون الكاشف فيها
H_2SO_4	أصفر
HCl	أصفر
NaOH	أزرق
عصير الليمون	أصفر
KOH	أزرق

ـ مالون كاشف أزرق البروموثيمول مع عصير الليمون ؟ ..... (أصفر) ـ لاحظ الجدول المرفق .
ـ صنف المحاليل الكيميائية السابقة الى حمضية و أساسية .
... المحاليل التي تلون أزرق البروموثيمول باللون الأصفر هي محاليل حمضية مثل: H_2SO_4 ، HCl و عصير الليمون .
... المحاليل التي تلون أزرق البروموثيمول باللون الأزرق هي محاليل أساسية مثل: NaOH ، KOH.

- نتيجة : أكمل العبارات التالية :

ـ النوع الكيميائي H_2SO_4 محلوله المائي (حمضي) يغير لون الكاشف الملون أزرق البروموثيمول الى (الأصفر) .
ـ النوع الكيميائي HCl محلوله المائي (حمضي) يغير لون الكاشف الملون أزرق البروموثيمول الى (الأصفر) .
ـ النوع الكيميائي NaOH محلوله المائي (أساسي) يغير لون الكاشف الملون أزرق البروموثيمول الى (الأزرق) .
ـ النوع الكيميائي KOH محلوله المائي (أساسي) يغير لون الكاشف الملون أزرق البروموثيمول الى (الأزرق) .

1°ـ 2] مفهوم الحمض و الأساس حسب برونستد ـ لوري (Brönsted – Lorry) :

ـ أ] مفهوم الحمض : الحمض هو كل نوع كيميائي جزيئيًا كان أم شارديًا بإمكانه أن يفقد بروتون H^+ أو أكثر خلال تفاعل كيميائي

أمثلة : $HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$

$CH_3COOH + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + CH_3COO^-$

ـ ب] مفهوم الأساس : الأساس هو كل نوع كيميائي جزيئيًا كان أم شاردياً بامكانه أن يكتسب بروتون H^+ أو أكثر خلال تفاعل كيميائي

أمثلة : $NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4^+ + OH^-$

$CH_3COO^- + H_2O \rightarrow CH_3COOH + OH^-$

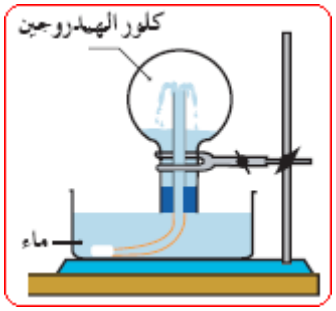
كل من جزيء النشادر NH_3 و شاردة الإيثانوات [الخلات] CH_3COO^- إكتسب H^+ أثناء التفاعل مع الماء ، فهو أساس .

● نشاط : ① مفهوم الحمض بنعلق بفقد H^+ أثناء تفاعله كيميائي :

ـ خذ كمية من غاز كلور الهيدروجين HCl بواسطة حوجلة منكسة على فوهة قارورة محلول تجاري مركز لحمض كلور الماء (روح الملح) حيث يتصاعد غاز HCl الذي يتم إستقباله في الحوجلة .

ـ أنكس الحوجلة فوق حوض مائي . ماذا تلاحظ ؟ ..... (نلاحظ تدفق المحلول المائي بشكل نافورة داخل الحوجلة كما في الشكل المقابل) .

ـ ماهو المحلول الذي حصلت عليه ؟ ..... (المحلول الناتج عن إذابة غاز HCl في الماء هو محلول مائي حمضي مخفف من حمض كلور الماء : $(H_3O^+ + Cl^-)$) .



ـ ما نوع الرابطة الكيميائية الموجودة في جزيئه ؟ ..... (الرابطة H–Cl في الجزيء HCl هي رابطة تكافؤية مستقطبة) .

ـ كيف نسمي الفرد H^+ الناتج من تفكك جزيء HCl ؟ ..... (ندعوه بروتون هيدروجين لأنه في الأصل ناتج عن ذرة هيدروجين H تخلت عن إلكترونها الوحيد) .

ـ أكتب معادلة التفاعل المنمذج للتحول الكيميائي الحادث بين غاز كلور الهيدروجين و الماء .

... (معادلة تفاعل إنحلال HCl في الماء هي : $HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$) .

ـ إستنتج معادلة التفاعل المنمذج للتحول الكيميائي الحادث أثناء إنحلال H_2SO_4 في الماء .

... (معادلة تفاعل إنحلال H_2SO_4 في الماء هي : $H_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow 2H_3O^+ + SO_4^{2-}$) .

● نتيجة : الحمض HCl فقد H^+ أثناء تفاعله مع الماء ، بينما الحمض H_2SO_4 فقد $2H^+$ أثناء تفاعله مع الماء .

● نشاط : ② طبيعة الكاشف الملون :

الكاشف الملون مثل كاشف أزرق البروموثيمول هو نوع كيميائي يمكن أن يوجد في المحلول المائي على شكلين بلونين مختلفين يمكن تمثيلهما بالفرد الجزيئي الحمضي HIn الذي يظهر في المحلول بلون أصفر ، والفرد الشاردي الأساسي In^- الذي يبدو في المحلول بلونأزرق ، حيث يأخذ كاشف أزرق البروموثيمول لونه الأصلي عندما يكون نقيًا وهو اللون الناتج من مزج لوني الفردين HIn ، In^- وهو اللون الأخضر أي : أصفر (لون HIn) + أزرق (لون In^-) = أخضر (اللون الأصلي لأزرق البروموثيمول HIn/In^-)

● التجربة : ـ أ) حضر كمية من محلول الكاشف الملون أزرق البروموثيمول في كأس بيشر ، ولاحظ اللون الأخضر للمحلول .

ـ كيف يمكنك شرح ظهور هذا اللون إعتمادًا على لون HIn ، ولون In ؟ ..... (أزرق البروموثيمول حمض ضعيف له صيغة كيميائية معقدة يمكن تمثيلها بالشكل المبسط HIn ويمكن له أن يسلك سلوك الحمض أو سلوك الأساس بحسب طبيعة المحلول الذي يوضع فيه لذلك يتوازن في المحلول وفق المعادلة : $HIn \rightleftarrows H^+ + In^-$ ، بالتالي إضافة قطرات من الكاشف الى محلول مائي حمضي يؤدي الى زيادة البروتونات H^+ التي تتفاعل مع الشوارد In^- لإعطاء المزيد من الجزيئات HIn فتنقص بذلك كمية الشوارد In^- ويختفي لونها الأزرق المميز في المحلول بينما تزداد كمية الجزيئات HIn ويغلب لونها الأصفر في المحلول ولذلك يبدو أزرق البروموثيمول في المحلول الحمضي عموماً بلون فرده الحمضي الأصفر ، ويحدث العكس عند إضافة قطرات من الكاشف الى محلول مائي أساسي حيث يظهر فيه الكاشف بلون فرده الأساسي الأزرق) .

ـ ب) ضف قطرات من الكاشف الى حجم معين من محلول حمض كلور الماء $(H_3O^+ + Cl^-)$ الممدد تركيزه المولي $C = 0,1\ mol/L$. سجل ملاحظاتك ..... (تلون المحلول الحمضي الشفاف باللون الأصفر بعد إضافة قطرات من الكاشف الملون إليه) .

ـ ماهو الفرد الكيميائي من بين (H_3O^+, Cl^-) المسبب للتحول المشاهد في هذه التجربة ؟ .....(الفرد الكيميائي الذي يتسبب في تغيير اللون هو شاردة الهيدرونيوم H_3O^+ لأن اللون الأصفر هو اللون الذي يأخذه كاشف أزرق البروموثيمول في جميع المحاليل الحمضية و الشاردة المشتركة مابين المحاليل الحمضية هي شاردة الهيدرونيوم) .

ـ جـ) أضف قطرات من الكاشف الملون الى كمية من محلول ملح كلور الصوديوم $(Na^+ + Cl^-)$. سجل ملاحظاتك ..... (عند إضافة قطرات من الكاشف الملون الى محلول ملح الطعام العديم اللون فإن هذا الأخير يتلون باللون الأخضر دالة على أن الوسط غير حمضي [وسط معتدل] ولذلك نستنتج أن شاردتي الصوديوم Na^+ و الكلور Cl^- المتواجدتان في نفس لون أزرق البروموثيمول) .

ـ هل يمكنك الآن تعيين الشاردة المسببة للتغير اللوني المشاهد في التجربة السابقة (ب) من بين الشاردتين H_3O^+ ، Cl^- ؟

..... (شاردة الكلور Cl^- موجودة في محلول حمض كلور الماء رفقة شاردة الهيدرونيوم H_3O^+ وفي محلول كلور الصوديوم رفقة شاردة الصوديوم Na^+ حيث تأثر لون الكاشف بالمحلول الحمضي ولم يتأثر بالمحلول الملحي وهذا يدل على أن السبب في تغير لون الكاشف هو وجود شوارد الهيدرونيوم الحمضية H_3O^+ وليس شوارد الكلور Cl^-) .

ـ أكتب معادلة التفاعل الكيميائي المنمذج لهذا التحول ..... ($H_3O^+ + In^- \rightarrow H_2O + HIn$) .

- أكمل العبارات التالية :

... إن إختفاء اللون الأخضر و ظهور اللون الأصفر يدل على إختفاء شوارد(In^-) و ظهور جزيئات HIn ، حيث فقدت $H_3O^+_{(aq)}$ بروتون H^+ الذي (إكتسبته) In^- لتتحول الى HIn الذي يلون المحلول (بالأصفر) ، ونسمي الشاردة $H_3O^+_{(aq)}$ حمضًا لأنها (بإمكانها) أن تفقد H^+ أثناء تحول كيميائي .

- تمرين تطبيقي : عين الحمض في كل تحول كيميائي تنمذجه المعادلات التالية ، وماهو عدد H^+ المفقودة بالنسبة لكل حمض ؟

$$HNO_3 + H_2O \rightarrow H_3O^+ + NO_3^-$$
$$H_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow 2H_3O^+ + SO_4^{2-}$$
$$NH_4^+ + H_2O \rightarrow NH_3 + H_3O^+$$
$$NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + OH^-$$

- نشاط : ③ مفهوم الأساس :

- التجربة : ضع كمية من محلول NaOH في كأس بيشر ، ثم أضف لها بضعة قطرات من كاشف أزرق البروموثيمول .

ـ أكتب ملاحظاتك بعد الإضافة ..... (يتلون الكاشف باللون الأزرق في محلول NaOH) .

ـ أعد التجربة مع محلول كلور الصوديوم NaCl . هل يحدث تغير في اللون ؟ ..... (لا يحدث تغير في لون الكاشف بعد إضافة قطرات منه الى المحلول الملحي و يظهر فيه بلونه الأصلي الأخضر) .

ـ هل هذا التحول يمكن أن تسببه الشاردة Na^+ ؟ علل ..... (لا يمكن لشاردة الصوديوم Na^+ أن تؤثر على الكاشف و تحدث تغير في لونه لأنها متواجدة في محلولي NaOH ، NaCl حيث تغير لون الكاشف في المحلول الأول لأنه أساسي من الأخضر الى الأزرق بينما المحلول الثاني بقي فيه الكاشف محافظًا على لونه الأصلي الأخضر لأن هذا المحلول ملحيًا) .

ـ ماهو الفرد الكيميائي المسؤول عن هذا التحول ؟ ..... (الفرد الكيميائي في المحلول الأساسي($Na^+ + OH^-$) الذي أدى الى تغيير لون الكاشف من الأخضر الى الأزرق هو شاردة الماءات الأساسية OH^-) .

ـ أكتب معادلة التفاعل الكيميائي المنمذج لهذا التحول .....($OH^- + HIn \rightarrow H_2O + In^-$) .

- أكمل العبارات التالية :

اللون (الأخضر) لمحلول أزرق البروموثيمول تحول الى اللون (الأزرق) بعد إضافته الى محلول NaOH ، نستنتج أنه تم ظهور شوارد In^- التي تجعل لون المحلول (أزرقًا) ، وإختفاء الجزيئ HIn الذي فقد (H^+) الذي إكتسبته شاردة OH^- لتصبح جزيء H_2O .

نسمي الشاردة OH^- (أساس) لأنها تستطيع أن (تثبت) $H^+_{(aq)}$ أثناء تحول كيميائي .

- تمرين تطبيقي : إعتمادًا على مفهوم الأساس عند برونستد و لوري ، عيّن الأساس في كل تحول كيميائي تنمذجه المعادلات الآتية ، وماهو عدد البروتونات H^+ المثبتة بالنسبة لكل أساس ؟

$$CO_3^{2-} + 2H_3O^+ \rightarrow H_2CO_3 + 2H_2O$$
$$NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4^+ + OH^-$$
$$OH^- + H_3O^+ \rightleftarrows H_2O + H_2O$$
$$CH_3NH_2 + H_2O \rightleftarrows CH_3NH_3^+ + OH^-$$

1° ـ 3] مفهوم الثنائية [حمض\ أساس] (Acide/Base) :

خلال النشاطات السابقة عرفنا الحمض بانه كل جسم يفقد H^+ أو أكثر أثناء تفاعل كيميائي وفق المعادلة : $AH \rightarrow A^- + H^+$

و الأساس هو كل جسم يكتسب H^+ أو أكثر أثناء تفاعل كيميائي وفق المعادلة : $A^- + H^+ \rightarrow AH$

حيث يمكن بحسب الظروف التحول من AH الى A^- أو العكس وفق المعادلة الإجمالية : $AH \rightleftarrows A^- + H^+$

نعرف الثنائية [حمض\ أساس] بانها جملة متكونة من الحمض AH والأساس A^- لنفس النوع الكيميائي [حمض ضعيف أو أساس ضعيف] والذين نربطهما المعادلة المسماة بـ "المعادلة النصفية : حمض – أساس" التالية : $AH \rightleftarrows A^- + H^+$

إصطلاحًا : نكتب الثنائية [حمض\ أساس] بالشكل : AH/A^- حيث دومًا يكتب فردها الحمضي AH الى يسار الخط المائل ، ويكتب فردها الأساسي A^- الى يمين الخط المائل و ننمذج بالمعادلة النصفية حمض – أساس كالتالي : $AH \rightleftarrows A^- + H^+$ (AH/A^-)

● ملاحظة : ـ عندما يفقد الحمض AH بروتون H^+ فإنه يعطي أساسًا A^- ندعوه أساس مرافق [الأساس المشتق] .

ـ عندما يكتسب الأساس A^- بروتون H^+ فإنه يعطي حمضًا AH ندعوه حمض مرافق [الحمض المشتق] .

● أمثلة : CH_3COOH/CH_3COO^- : $CH_3COOH \rightleftarrows CH_3COO^- + H^+$

الحمض هو : حمض الإيثانويك [حمض الخل] CH_3COOH و الأساس : شاردة الإيثانوات [الخلات] CH_3COO^- أساسه المرافق .

NH_4^+/NH_3 : $NH_3 + H^+ \rightleftarrows NH_4^+$

الأساس هو : النشادر [غاز الأمونياك] NH_3 و حمضه المرافق هو : شاردة [أيون] الأمونيوم NH_4^+ .

1° ـ 4] تفاعلات : حمض – أساس :

يتفاعل حمض الإيثانويك مع الماء وفق المعادلة : $CH_3COOH + H_2O \rightleftarrows CH_3COO^- + H_3O^+$

ـ جزيء حمض الإيثانويك CH_3COOH فقد H^+ و تحول الى شاردة الإيثانوات CH_3COO^- و الفردان CH_3COOH و CH_3COO^- يشكلان ثنائية [حمض\ أساس] هي : CH_3COOH/CH_3COO^-

ـ جزيء الماء H_2O إكتسب H^+ متحولاً الى شاردة هيدرونيوم H_3O^+ و الفردان H_3O^+ و H_2O يشكلان ثنائية [حمض\ أساس] هي : H_3O^+/H_2O .

بالتالي :

$$\underset{(\text{حمض}_1)}{CH_3COOH} + \underset{(\text{أساس}_2)}{H_2O} \rightleftarrows \underset{(\text{أساس}_1)}{CH_3COO^-} + \underset{(\text{حمض}_2)}{H_3O^+}$$

التفاعل : حمض – أساس السابق حدث بين الثنائيتين [حمض\ أساس] المشاركتين فيه وهما :

ـ الثنائية [حمض$_1$\ أساس$_1$] لحمض الإيثانويك [الحالة أو المذاب] : CH_3COOH/CH_3COO^-

ـ الثنائية [حمض$_2$\ أساس$_2$] للماء [المحلل أو المذيب] : H_3O^+/H_2O

أي أن التفاعل : حمض – أساس السابق حدث بسبب إنتقال بروتون H^+ من الحمض CH_3COOH للثنائية [حمض$_1$\ أساس$_1$] الى الأساس H_2O للثنائية [حمض$_2$\ أساس$_2$] .

● نتيجة : التفاعلات حمض – أساس تنتج من إنتقال بروتون H^+ أو أكثر من الحمض لثنائية [حمض$_1$\ أساس$_1$] الى الأساس لثنائية [حمض$_2$\ أساس$_2$] .

● المعايرة عن طريق قياس الناقلية :

ـ الهدف : معايرة محلول أساسي تجاري لهيدروكسيد الصوديوم (يستعمل لتنظيف الأفران و قنوات صرف المياه)

ـ الأدوات : محلول تجاري لهيدروكسيد الصوديوم (مادة منظفة) ، ماصة ، ماء مقطر ، كأسين بيشر ، سحاحة مدرجة ، آمبيرمتر ، فولطمتر خلية قياس الناقلية ، مولد تواترات منخفضة G.B.F .

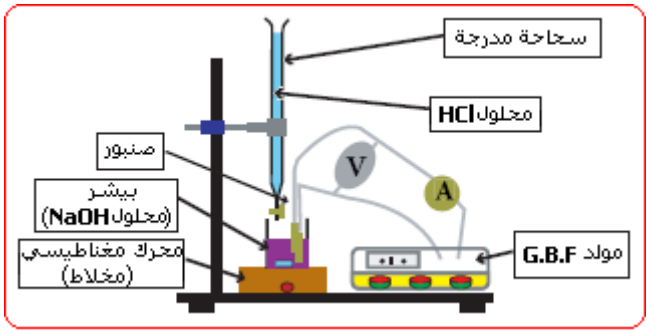
ـ التجربة : خذ 2 mL من المحلول التجاري لهيدروكسيد الصوديوم بواسطة الماصة في حوجلة و أفرغ عليها ماء مقطر الى غاية حصولك على محلول مائي حجمه 500 mL ، ثم خذ من المحلول الناتج (محلول مخفف لهيدروكسيد الصوديوم) 100 mL وأفرغها في بيشر .

ـ أضف الى المحلول قطرتين أو ثلاث من كاشف أزرق البروموثيمول .

ـ أملأ السحاحة بمحلول HCl (محلول حمض كلور الماء : $H_3O^+ + Cl^-$) تركيزه المولي 0,1 mol/L .

ـ ركب الدارة كما في الشكل المقابل ، أدخل خلية القياس في البيشر الذي يحتوي محلول NaOH (100 mL) ، و قس شدة التيار I_{eff} وفرق الكمون U_{eff} ، سجل لون كاشف أزرق البروموثيمول .

ـ أضف حجمًا محددًا V من المحلول الحمضي الموجود في السحاحة (محلول HCl) ، وفي كل مرة قس قيمتي I و U الموافقتين و سجل لون المحلول في البيشر كما في الجدول المرفق أدناه :



V(mL)	0	4	8	12	16	20	22	23	24	25	27	35
U(V)	6.5	6.45	6.48	6.55	6.55	6.56	6.5	6.52	6.48	6.49	6.49	6.45
I(mA)	92.5	82.7	71.7	59.7	49.3	41.4	40.6	42.1	44	45.1	51.3	103
G(mS)												
لون الكاشف												

● تحليل نتائج القياس :

1°) أكتب معادلة التفاعل الحادث بعد مزج اللونين . مهو نوع هذا التفاعل ؟

2°) أحسب قيم الناقلية G(mS) للجزء من المحلول المحصور بين لبوسي خلية قياس الناقلية ، أملأ الجدول ثم أرسم المنحنى : G = f(V) و اشرح البيان المتحصل عليه .

3°) أشرح تغيرات لون الكاشف .

4°) أنشئ جدول تقدم التفاعل من أجل $V < V_{eq}$ حيث : V_{eq} هو الحجم المضاف عند بلوغ نقطة التكافؤ حمض- أساس ، ثم من أجل $V < V_{eq}$.

5°) كيف نميز نقطة التكافؤ في البيان : G = f(V) ؟

6°) عين نقطة التكافؤ ، واحسب $[OH^-_{(aq)}]$ في المحلول المعاير ، ثم $[OH^-_{(aq)}]$ في المحلول التجاري (المنظف : Détergent) .

● الحل :

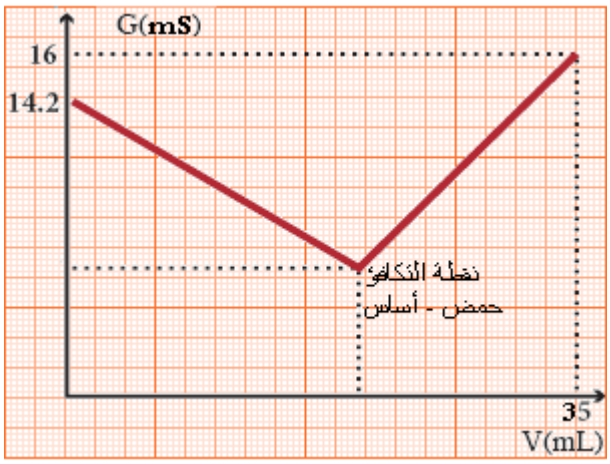
1ـ °1] معادلة التفاعل الحادث : $(H_3O^+ + Cl^-) + (Na^+ + OH^-) \rightarrow (Na^+ + Cl^-) + 2H_2O$

أو إختصارا : $H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2H_2O$ وهو تفاعل : حمض – أساس .

2ـ °2] نعطي نتائج القياس لكل من I و U في كل مرة قيم ناقلية المزيج إعتمادا على العلاقة : G(mS) = I(mA)/U(V) ، ومنه جدول القياسات :

G(mS)	14,2	12,8	11,0	9,1	7,5	6,3	6,2	6,5	6,8	6,95	7,9	16
V(mL)	0	4	8	12	16	20	22	23	24	25	27	35
لون الكاشف	أزرق	أزرق	أزرق	أزرق	أزرق	أزرق	أزرق	أزرق	أزرق	أصفر	أصفر	أصفر

رسم البيان : G = f(V) على الورق الملمتري . [أنظر البيان المرفق]



شرح البيان : نميز في البيان ثلاثة مراحل

أ] قبل التكافؤ : عند إضافة الحمض تتفاعل شوارد الهيدرونيوم مع شوارد الماءات لتعطي الماء ، فيتناقص تركيز شوارد الماءات في البيشر، ومنه تتناقص الناقلية G لجزء المحلول بين لبوسي الخلية و بما أن كمية مادة الشوارد OH^- في البيشر أكبر من كمية مادة الشوارد H_3O^+ المضافة من السحاحة قبل التكافؤ يبقى الوسط أساسيًا يلون الكاشف الموضوع فيه أزرقًا كما هو موضح بالجدول .

ب] عند التكافؤ : عند بلوغ التكافؤ حمض – أساس تتفاعل كل الشوارد OH^- في البيشر مع الشوارد H_3O^+ المضافة من السحاحة لتشكيل الماء (وسط معتدل) لذلك تصل الناقلية G الى أدنى قيمة لها لأن كمية مادة الشوارد في المحلول تكون أقل ما يمكن تتحدد نقطة التكافؤ بيانيًا بـ : "نقطة تقاطع المستقيمين المائلين للبيان G = f(V) قبل التكافؤ و بعده"

جـ] بعد التكافؤ : عند الإستمرار في إضافة المحلول الحمضي من السحاحة الى البيشر بعد بلوغ التكافؤ فإن شوارد الهيدرونيوم H_3O^+ المضافة تبقى في المحلول دون أن تتفاعل مع شوارد الماءات OH^- التي تلعب دور المتفاعل المحد كونها تفاعلت كلية عند حصول التكافؤ ، فتزداد ناقلية المحلول بعد التكافؤ بسرعة لأن الشوارد H_3O^+ ذات ناقلية مولية نوعية عالية ، وتتغير طبيعة المحلول في البيشر بعد التكافؤ مباشرة ليصبح حمضيًا لذلك يؤثر على الكاشف المتواجد فيه الذي يتلون باللون الأصفر كما هو موضح في الجدول .

4ـ] جدول تقدم التفاعل :

معادلة التفاعل	$H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2H_2O$	
كمية المادة (mol)	عدد مولات الحمض المضاف $n(H_3O^+_{(aq)})$	عدد مولات المحلول الأساسي المعاير $n(OH^-_{(aq)})$
المرحلة الإبتدائية	0	0,1.C
قبل التكافؤ	0,1.V	0,1.C – 0,1.V
عند التكافؤ	$0,1.V_{eq} = 0,1*0,0245 = 2,45$ mmol	$0,1.C - 0,1.V_{eq} = 0$
بعد التكافؤ	0,1(V – 0,0245) mol	0

5ـ] عند نقطة التكافؤ تكون كمية مادة الحمض و كمية مادة الأساس متناسبة مع الأعداد الستوكيومترية لمعادلة التفاعل) ومنه

$0,1.C = 0,1.V_{eq} = 0,1 \times 0,0245 = 2,45 \times 10^{-3}$mol $\Leftarrow$ $C = 2,45 \times 10^{-2}$ mol .

وهو تركيز المحلول المعاير بالشوارد OH^- المميهة أي $[OH^-_{(aq)}] = C = 2,45 \times 10^{-2}$ mol .

6ـ] تركيز المحلول التجاري المنظف : بإستخدام دستور التخفيف (التمديد) في المحاليل $C_0.V_0 = C.V$ نجد $C_0 = C.V/V_0$

حيث C_0 ، V_0 هما تركيز و حجم المحلول المركز (المحلول التجاري المنظف) بينما C ، V هما تركيز و حجم المحلول الممدد (المحلول المخفف المعاير) .

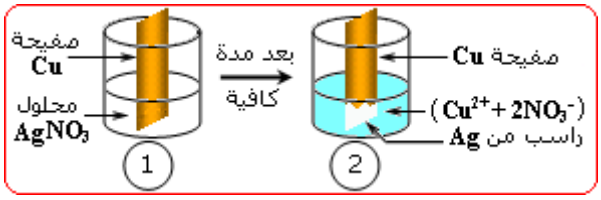
ت.عددي : $C_0 = 2,45 \times 10^{-2} \times 500/2 = 6,125\ mol/L$ $\Rightarrow$ $C_0 = 6,125\ mol/L$.

3 ـ 2°] نفاعلات الأكسدة الإرجاعية :

2°ـ 1] الأكسدة و الإرجاع :

● **نشاط ①** : التعرف على مفهوم المؤكسد و المرجع

● **التجربة** : نضع كمية من محلول $AgNO_3$ في كأس و نضع فيه قطعة نحاس Cu .



ـ إنتظر 10 دقائق ، واسم التجهيز التجريبي (الكأس و المحلول و قطعة النحاس) مستعملاً الألوان المناسبة في التجربة مبينًا التغيرات التي حدثت في المحلول و قطعة النحاس .

ـ سجل ملاحظاتك حول المحلول و قطعة النحاس. . (**الملاحظة كما هو موضح بالشكل المرفق نلاحظ ظهور لون جديد في المحلول وهو اللون الأزرق بعد أن كان المحلول شفافًا وكذلك ظهور راسب أبيض على قطعة النحاس ذات اللون الأحمر المصفر**)

ـ هل حدث تحول كيميائي ؟ برّر إجابتك . . (**سبب ظهور اللون الأزرق في المحلول و تشكل الراسب الفضي على صفيحة النحاس هو حدوث تفاعل كيميائي يترجم بالمعادلة النمذجة التالية :** $2AgNO_3 + Cu \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2Ag\downarrow$.)

ـ ماهو اللون الجديد الظاهر في المحلول ؟ . (**اللون الجديد الظاهر في المحلول هو اللون الأزرق ، وهو ناجم لوجود شوارد النحاس الثنائي Cu^{2+} في المحلول**) .

ـ ماهي الشاردة التي لونت المحلول ؟ . (**شوارد النحاس الثنائي** Cu^{2+}) .

ـ أكتب معادلة تفاعل تنمذج التحول الكيميائي الذي حدث لذرة النحاس Cu وحولها الى شاردة نحاس ثنائي Cu^{2+} ..... ($Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$) .

ـ هل ظهر جسم جديد ؟ ما لونه ؟ برّر إجابتك . . (**من التفاعل الحاصل بين محلول نترات الفضة و معدن النحاس نتج جسم جديد هو معدن الفضة التي ترسبت على صفيحة النحاس بشكل راسب أبيض براق**.

ـ أكتب معادلة تفاعل كيميائي تنمذج التحول الحاصل لشاردة الفضة Ag^+ و يحولها الى معدن الفضة Ag ..... ($Ag^+ + e^- \rightarrow Ag\downarrow$) .

● **أكمل العبارات التالية :**

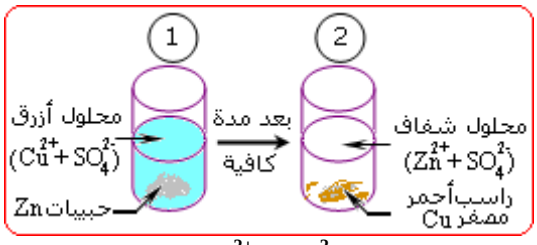
عند إدخال قطعة النحاس في محلول نترات الفضة $(Ag^+ + NO_3^-)$ ذي اللون (**الشفاف**) ، وبعد 10 دقائق نلاحظ ظهور اللون (**الأزرق**) في المحلول الذي يدل على وجود (**شوارد** Cu^{2+} فيه ، فنستنتج أن ذرة (**النحاس** Cu) تحولت الى (**شاردة نحاس** Cu^{2+}) بفقدها (**إلكترونين**) كما نلاحظ ترسب معدن أبيض هو معدن (**الفضة**) فنستنتج أن الشاردة Ag^+ تحولت الى ذرة (Ag) و ترسبت على قطعة (**النحاس**) التي تآكلت .

ـ نقول عن الجسم الذي فقد إلكترون أو أكثر أنه **تأكسد** و نسميه **مرجع** (مثل معدن النحاس Cu) .

ـ نقول عن الجسم الذي إكتسب إلكترون أو أكثر أنه **أرجع** (أو **أختزل**) و نسميه **مؤكسد** (مثل شوارد الفضة Ag^+) .

● **نشاط ②** : تحديد المؤكسد و المرجع خلال تحول كيميائي

● **التجربة** : نضع في كأس محلول $CuSO_4$ ، ثم أضف إليه كمية من قطع (حبيبات) معدن الزنك Zn ، إنتظر 10 دقائق .



ـ . . . ماذا تلاحظ ؟ . (**نلاحظ زوال اللون الأزرق للمحلول تدريجيًا ، وتشكل راسب أحمر مصفر على حبيبات الزنك التي يختفي جزء مهم منها**

ـ أكمل الرسم مستعملاً الألوان المناسبة عند إنتهاء التفاعل (**لاحظ الشكل المقابل**)

ـ هل حدث تحول كيميائي ؟ برّر إجابتك . . (**سبب زوال اللون الأزرق للمحلول و تشكل الراسب الأحمر على حبيبات الزنك المتبقية في قعر الكأس هو حدوث تفاعل كيميائي يترجم بالمعادلة الكيميائية التالية** $(Zn^{2+}+SO_4^{2-}) + Cu\downarrow + (Cu^{2+}+SO_4^{2-})$.)

ـ ماهو اللون المختفي ؟ إشرح سبب هذه الظاهرة . . (**اللون المختفي هو اللون الأزرق لشوارد النحاس الثنائي المتفاعلة و إستبدالها بشوارد الزنك عديمة اللون**.

ـ ماهو الجسم الجديد الذي ظهر ؟ . (**الجسم الجديد الذي ظهر هو معدن النحاس الأحمر والمترسب على حبيبات معدن الزنك المتبقية من التفاعل الحادث**

ـ أكتب معادلة تفاعل تنمذج التحول الكيميائي الذي حدث لشاردة النحاس الثنائي Cu^{2+} و حولها الى ذرة نحاس Cu ..... ($Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$) .

ـ أكتب معادلة تفاعل تنمذج التحول الكيميائي الذي حدث للزنك Zn و حوله الى شاردة زنك Zn^{2+} ..... ($Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$) .

ـ حدد المؤكسد و المرجع في هذا التحول الكيميائي. . (**مما سبق يتبين أن معدن الزنك تمت أكسدته بشوارد النحاس الثنائي بتخليه عن الإلكترونات لها ، وهو بذلك لعب دور الجسم المرجع في التفاعل الحادث ، بينما شوارد النحاس أرجعت بمعدن الزنك بإكتسابها للإلكترونات منه ، فهي بذلك لعبت دور الجسم المؤكسد في التفاعل الحاصل**

2°ـ 2] الثنائية [مؤكسد\مرجع] :

عندما يحدث تفاعل كيميائي و هو **الأكسدة** يتم فيه فقد $n\ e^-$ حيث n هو عدد الإلكترونات المفقودة من طرف فرد كيميائي A ، فيتحول الى فرد كيميائي آخر A^{n+}

وفق **المعادلة النصفية للأكسدة** $A \rightarrow A^{n+} + ne^-$.

يستطيع الفرد A^{n+} بتفاعل عكسي وهو **الإرجاع** في شروط مناسبة أخرى أن يكتسب نفس العدد $n\ e^-$ من الإلكترونات ليتحول الى A

وفق **المعادلة النصفية للإرجاع** $A^{n+} + ne^- \rightarrow A$.

نسمي الجملة المتشكلة من الفرد الكيميائي في شكله **المرجع** A و شكله **المؤكسد** A^{n+} الثنائية **(مؤكسد\مرجع)** (ox/red) ، ونمثلها إصطلاحًا كما يلي (A^{n+}/A) و نميزها

المعادلة النصفية: $A \rightleftarrows A^{n+} + ne^-$: (A^{n+}/A) .

(مؤكسد) (مرجع) (مؤ\مر)

ـ **المرجع** هو الفرد الكيميائي الذي بإمكانه منح إلكترون أو أكثر خلال تحول كيميائي **الأكسدة** مثل أكسدة الزنك

$(Zn^{2+}/Zn) : Zn \rightleftarrows Zn^{2+} + 2e^-$.

ـ **المؤكسد** : " " " " " " جلب " " " " " " **الإرجاع** مثل إرجاع النحاس

$(Cu^{2+}/Cu) : Cu^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Cu$.

● أمثلة عن الثنائيات (مؤ\مر) (ox/red) . . (أنظر الجدول الموالي)

المعادلة النصفية	المرجع A	المؤكسد A^{n+}	الثنائية (ox/red) : (A^{n+}/A)
$2H^+ + 2e^- \rightleftarrows H_2$	H_2	H^+	H^+/H_2
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightleftarrows Mn^{2+} + 4H_2O$	Mn^{2+}	MnO_4^-	MnO_4^-/Mn^{2+}
$Fe^{3+} + e^- \rightleftarrows Fe^{2+}$	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Fe^{3+}/Fe^{2+}
$I_2 + 2e^- \rightleftarrows 2I^-$	I^-	I_2	I_2/I^-
$S_4O_6^{2-} + 2e^- \rightleftarrows 2S_2O_3^{2-}$	$S_2O_3^{2-}$	$S_4O_6^{2-}$	$S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}$

● تمرين تطبيقي حدد الثنائية (مؤ\مر) (ox/red) في التحولات المنمذجة بالمعادلات النصفية أكسدة–إرجاع محددًا المؤكسد و المرجع كما في الجدول السابق

$Cu^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Cu$

$Zn^{2+} + 2e^- \rightleftarrows Zn$

$Ag^+ + e^- \rightleftarrows Ag$

$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightleftarrows 2Cr^{3+} + 7H_2O$

● **المعايرة اللونية لتفاعل الأكسدة الإرجاعية :**

ـ **الهدف** : ـ معايرة محلول حمض الأكساليك بواسطة محلول برمنغنات البوتاسيوم

ـ إستعمال خصائص تغير اللون أثناء تفاعل الأكسدة الإرجاعية لتعيين نقطة التكافؤ و حساب تركيز و كتلة حمض الأكساليك في عينة .

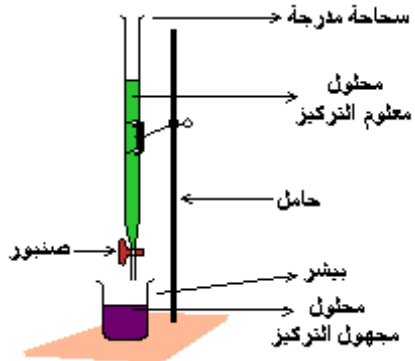
ـ **الأدوات** : محلول $H_2C_2O_4$ ، محلول $KMnO_4$ محمض بحمض الكبريت ، كأس ، سحاحة ، ماصة .

ـ **التجربة** : ـ خذ بواسطة الماصة حجمًا $V_1 = 25\ mL$ من محلول $H_2C_2O_4$ تركيزه مجهول $C_1(mol/L)$ ، وضعها في بيشر .

ـ أملأ السحاحة بواسطة محلول $KMnO_4$ تركيزه $C_2 = 0,1\ mol/L$.

ـ أفرغ من السحاحة بشكل قطرات محلول $KMnO_4$ على محلول $H_2C_2O_4$ مع التحريك .

ـ لاحظ زوال اللون البنفسجي المميز للبرمنغنات ، واصل الإضافة حتى تحصل على لون بنفسجي لا يزول مع التحريك ، حينها أوقف سكب محلول البرمنغنات من السحاحة واقرأ الحجم المضاف منها $V_2 = 10\ mL$.



1ـ إشرح لماذا يزول لون البرمنغنات عند إضافة محلول حمض الأكساليك قبل التكافؤ ؟

2ـ ماذا يعني إضافة قطرة من محلول $KMnO_4$ و عدم زوال اللون البنفسجي ؟

3ـ أكتب معادلة التفاعل الحادث : • المعادلة النصفية للأكسدة .

• المعادلة النصفية للإرجاع .

• المعادلة الإجمالية للأكسدة و الإرجاع .

4ـ علمًا أن الثنائيتين (مؤ\مر) هما : MnO_4^-/Mn^{2+} ، $CO_2\ ,\ H_2O/H_2C_2O_4$

كيف نحدد حجم محلول البرمنغنات عند نقطة التكافؤ ؟

5ـ أكتب جدول يوضح تقدم التفاعل عند التكافؤ . أحسب كمية المادة للحمض في البيشر .

6ـ ماهو تركيز محلول حمض الأكساليك في البيشر قبل التفاعل ؟

7ـ إن محلول حمض الأكساليك حصلنا عليه بإذابة كتلة m منه في 100 mL من الماء المقطر . أحسب m .

● **الحل :**

1°) عند إضافة قطرات من محلول $KMnO_4$ البنفسجي اللون نلاحظ زوال اللون مباشرة بعد سقوط القطرات وإمتزاجها مع محلول $H_2C_2O_4$ في البيشر ، نستنتج أنه حدث تفاعل كيميائي أدى الى إختفاء شاردة MnO_4^- البنفسجية بدليل إختفاء لونها البنفسجي المميز .

2°) بعد إستمرار إضافة محلول البرمنغنات من السحاحة الى البيشر قطرة قطرة ، و عند إضافة حجم كاف منه **بزيادة قطرة واحدة** من الحجم اللازم لحدوث التكافؤ **أكسدة–إرجاع** ، نلاحظ عدم زوال اللون البنفسجي المميز للشوارد MnO_4^- مما يعني أن كمية مادة هذه الشوارد التي أضيفت قبل ذلك تفاعلت كليًا وإضافة أي كمية منها بعد ذلك تعتبر زائدة عن المطلوب ولا تتفاعل مع محلول الحمض لأن هذا الأخير قد تفاعلت كل كمية مادته الموضوعة في البيشر من البداية ، نقول عندئذٍ أننا وصلنا الى **نقطة التكافؤ ، و أن كمية مادة المتفاعلات متناسبة مع الأعداد الستوكيومترية**

3°) معادلة التفاعل الحادث

ـ نصف معادلة الإرجاع (MnO_4^-/Mn^{2+}) : $5 \times [\ MnO_4^- + 8H_3O^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 12H_2O]$

ـ نصف معادلة الأكسدة $(CO_2,H_2O/C_2H_2O_4)$: $2 \times [C_2H_2O_4 + 2H_2O \rightarrow 2CO_2 + 2\ H_3O^+ + 2\ e^-\ ]$

ـ المعادلة الحصيلة أكسدة إرجاع $2\ MnO_4^- + 5\ C_2H_2O_4 + 6\ H_3O^+ \rightarrow 2\ Mn^{2+} + 10\ CO_2 + 14\ H_2O$

4°) نحدد حجم محلول البرمنغنات عند نقطة التكافؤ بقراءة الحجم المضاف من السحاحة بعد إضافة آخر قطرة من المحلول الى البيشر والتي لايزول لونها بالتحريك حيث يصل في هذه الحالة المزيج المتفاعل الى نقطة التكافؤ و التي عندها تتناسب كمية مادة المتفاعلين وهما المؤكسد و المرجع مع الأعداد الستوكيومترية [أنظر المعادلة الحصيلة]

$$n\ (MnO_4^-)/2 = n(C_2H_2O_4)/5$$

5°) **جدول تقدم التفاعل عند بلوغ التكافؤ**

معادلة التفاعل	$2\ MnO_4^- + 5\ C_2H_2O_4 + 6\ H_3O^+ \rightarrow 2\ Mn^{2+} + 10\ CO_2 + 14\ H_2O$	
كمية المادة (mol)	عدد مولات شاردة البرمنغنات المضافة $n(MnO_4^-)$	عدد مولات حمض الأكساليك المعاير $n(C_2H_2O_4)$
المرحلة الإبتدائية	0	0,025.C
قبل التكافؤ	0,1.V	0,025.C – 0,1.V.5/2
عند التكافؤ	$0,1.V_{eq} = 0,1*0,01 = 1$ mmol	$0,025.C – 0,25.V_{eq} = 0$
بعد التكافؤ	0,1(V – 0,01) mol	0

كمية المادة للحمض في البيشر : في البداية قبل التفاعل $n(C_2H_2O_4) = C_1.V_1 = 0,025.C = 0,025\ .\ 0,1 = 2,5$ mmol

ـ في النهاية بعد التكافؤ $n(C_2H_2O_4) = 0$ mol وهو المتفاعل المحد .

6°) **تركيز محلول حمض الأكساليك** ـ عند التكافؤ لدينا من الجدول أعلاه :

$$0,025.C – 0,25.V_{eq} = 0 \Rightarrow C = 0,1\ mol/L = C_1 = C_2$$

7°) **حساب كتلة حمض الأكساليك المذابة** لدينا بالتعريف $C = n/V = m/M.V \Rightarrow m = C.M.V$

و لدينا $M(C_2H_2O_4) = 90\ g/mol$ بالتعويض نجد $m = 0,1 \times 90 \times 0,1 = 0,9\ g \Rightarrow m = 9\ mg$.

● **تطبيقات : التمارين ت$_1$ ، ت$_2$ ، ت$_3$، ت$_4$، ت$_5$ ص** 308

التمارين ت$_6$، ت$_7$ ، ت$_8$، ت$_9$، ت$_{10}$ ص 309

التمارين ت$_{11}$، ت$_{12}$ ، ت$_{13}$، ت$_{14}$، ت$_{15}$ ، ت$_{16}$ ص 310 .

● **حلول التمارين :**

● **التمرين 1°) : أكمل العبارات التالية :**

ـ البروتون H^+ لايوجد (**حر**) في الطبيعة ، بل يتواجد مع (**شوارد**) و (**جزيئات**) .

ـ في غاز HCl الهيدروجين (**مرتبط**) برابطة (**تكافؤية**) مع الكلور .

ـ شاردة الهيدروجين تشترك (**بزوج**) إلكتروني مع ذرة أكسجين جزيئة (**الماء**) مشكلاً شاردة الهيدرونيوم (H_3O^+) .

ـ تفاعل : حمض ـ أساس يستلزم (**إنتقال**) البروتون من الحمض الى (**الأساس**) .

ـ الأسس هي (**جزيئات**) أو شوارد التي (**تستقبل**) البروتونات .

ـ الحمض هو فرد كيميائي (**جزيئي**) أو شاردي يمكن أن (**يفقد**) بروتون H^+ .

ـ التعديل هو تفاعل بين (**حمض**) قوي و (**أساس**) قوي ، مشكلاً محلولاً (**معتدلاً**) .

ـ نقول أنه حدث تعديل عندما نحصل على (**نتائج ، الملح ، الماء**) .

ـ المعايرة هي طريقة تسمح بمعرفة (**تركيز**) جسم في محلول ، فهي طريقة (**تحليلية**) تستعمل في محاليل معلومة التركيز (محلول شاهد) لتوصل لتركيز محلول (**مجهول**) .

● **التمرين 2°) : عيّن الإجابة الصحيحة**
ـ الحمض المرافق للأيون HPO_4^{2-} هو : $H_2PO_4^-$.
ـ الأساس المرافق للحمض NH_4^+ هو : NH_3 .

● **التمرين 3°) : عيّن الإجابة الصحيحة**
ـ أحد الأنواع الكيميائية التالية يسلك سلوك القاعدة (الأساس) فقط ، هو : CO_3^{2-} ، Al^{3+} ، NH_4^+ ، H_3O^+ ..... (CO_3^{2-}) .
ـ أحد الأنواع الكيميائية التالية يتصرف كحمض و كقاعدة ، هو : NH_4^+ ، CO_3^{2-} ، PO_4^{3-} ، HSO_3^- ..... (CO_3^{2-} ، HSO_3^-) .
ـ تقاس قوة الأساس وفق مفهوم برونستد ـ لوري بقدرتها على : (**استقبال البروتونات بسهولة**) .

● **التمرين 4°) :** في التفاعل : $HCl + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + Cl^-$ يعتبر أيون الهيدرونيوم H_3O^+ : (**حمضًا مرافقًا لـ H_2O**) .

● **التمرين 5°) :** المعادلة التي تمثل تفاعل حمض مع قاعدة لتكوين ملح و ماء هي :

$$CuO + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + H_2O$$

● **التمرين 6°) :** أكتب صيغة الحمض المرافق لكل من أسس برونستد ـ لوري التالية :

أساس	OH^-	NH_3	SO_4^{2-}	CH_3COO^-	PO_4^{3-}
حمض مرافق	H_2O	NH_4^+	HSO_4^-	CH_3COOH	HPO_4^{2-}

● **التمرين 7°) :** أكمل الجدول التالي :

حمض	HNO_3	$HCOOH$	CH_3CH_2OH	$CH_3NH_3^+$	HSO_4^-	H_3PO_4	NH_4^+	H_2O
أساس مرافق	NO_3^-	$HCOO^-$	$CH_3CH_2O^-$	CH_3NH_3	H_2SO_4	$H_2PO_4^-$	NH_3	OH^-

● **التمرين 8°) :** عيّن التفاعلات حمض ـ أساس ضمن التفاعلات التالية :

الماء حمض أم أساس ؟	ماهو الحمض ؟	نعم أم لا ؟	معادلة التفاعل
المذيب يلعب دور حمض	H_2O	نعم	$NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4^+ + OH^-$
المذيب يلعب دور أساس	HCl	نعم	$HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$
الماء يلعب دور حمض و أساس	H_2O	نعم	$H_2O + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + OH^-$
		لا	$C_2H_5OH + Na \rightarrow C_2H_5O^- + Na^+ + \frac{1}{2} H_2$

● **التمرين 9°) :** العبارة جـ) هي العبارة الصحيحة إصطلاحًا : H_3O^+/OH^- هي الثنائية (**أساس/حمض**) . (**Acide/Base**)
● **التمرين 10°) :** عند إضافة هيدروكسيد الصوديوم **NaOH** للحمض **HCl** يحدث تفاعل بين نوع كيميائي **أساسي** و نوع كيميائي **حمضي** .
للتعرف أكثر على خواص تفاعل **الأحماض** مع **الأسس** للحصول على **ملح** و **ماء** أي حدوث ما يسمى بتفاعل **المعايرة** (**التعديل**) فإن :
ـ في حالة وجود حمض كلور الهيدروجين في الماء يتم التفاعل بينهما وفق المعادلة الكيميائية التالية :

$$HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$$

نحصل على محلول مائي حمضي يدعى **حمض كلور الماء** (حمض قوي) والثنائية (أساس/حمض) للماء هي : H_3O^+/H_2O .
ـ بينما في حالة هيدروكسيد الصوديوم **NaOH** (أساس قوي) يشارك الماء بالثنائية (أساس/حمض) : H_2O/OH^- .
و منه معادلة التفاعل : حمض ـ أساس (التعديل أو المعايرة) إجمالاً هي :

$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$$

يتضح مما سبق أن التفاعل حمض ـ أساس ماهو إلا تفاعل تبادل بروتوني بين الفرد الحمضي لثنائية (**أساس$_1$/حمض$_1$**) و الفرد الأساسي لثنائية أخرى (**أساس$_2$/حمض$_2$**) أي : الثنائية H_3O^+/H_2O للمحلول الحامضي تتفاعل مع الثنائية H_2O/OH^- للمحلول القاعدي كالتالي :

$$H_3O^+/H_2O \;\&\; H_2O/OH^- \Rightarrow H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2H_2O$$

ملاحظة : في التفاعل السابق نقول عن الشوارد Na^+ ، Cl^- أنها **شوارد متفرجة** .
كمية المادة الإبتدائية لشوارد الهيدرونيوم و لشوارد الهيدروكسيد هي :
ـ بالنسبة للشوارد H_3O^+ و حسب المعادلة : $HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$ فإن : $n_{H3O+} = n_{Cl-} = n_1 = C_1.V_1$
بالتالي : $n_1 = 0,2 \times 0,1 = 0,02\ mol$.
ـ بالنسبة للشوارد OH^- كذلك لدينا : $n_{OH-} = n_{Na+} = n_2 = m/M$ بالتالي : $n_2 = 0,5/40 = 0,0125\ mol$.
حيث : $M(NaOH) = 40\ g.mol^{-1}$ ... (الكتلة المولية الجزيئية للأساس **NaOH**) .
ـ يمكن تلخيص النتائج أثناء التعديل في جدول تقدم التفاعل كالتالي :

كمية المادة n(mol)	H_3O^+	OH^-
في البداية	0,02	0,0125
أثناء التعديل	0,02 - x	0,0125 - x
في النهاية	0,02 – 0,0125 = 0,0075	0

واضح أن التقدم الأعظمي : $x_{max} = 0,0125\ mol$ ⇒ $0,0125 - x_{max} = 0$ ، و المتفاعل المحد هو OH^- .
الحمض متواجد بزيادة بالتالي المزيج في النهاية هو **حمضي** يتلون فيه كاشف أزرق البروموثيمول باللون **الأصفر** .

● **التمرين 11°) :** عند التكافؤ حمض ـ أساس فإن :

عدد مكافئات الحمض تساوي عدد مكافئات الأساس بالتالي : $n_A = n_B \Rightarrow C_A.V_A = C_B.V_B \Rightarrow C_B = C_A.V_A/V_B$

∴ $C_B = 0,5\ mol/L$.

● **التمرين 12°) :** بالعودة الى الأعداد الستوكيومترية في معادلة التحول الكيميائي :

$$H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2HCl_{(g)}$$

ـ لأجل تشكل **3 mol** من **HCl** : يتطلب تفاعل كمية مادة **1,5 mol** لكل من المتفاعلين H_2 ، Cl_2 .
ـ لأجل تفاعل **6 mol** من Cl_2 : تتفاعل نفس كمية المادة أي **6 mol** من H_2 لتشكيل **12 mol** من **HCl** .
ـ لأجل تفاعل **5 mol** من H_2 : تتفاعل نفس كمية المادة أي **5 mol** من Cl_2 لتشكيل **10 mol** من **HCl** .

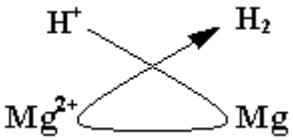
● **التمرين 13°) :** بنفس الطريقة كما في التمرين السابق نجد بالنسبة للتحول الكيميائي المنمذج بالمعادلة التالية :

$$3Fe + 2O_2 \rightarrow Fe_3O_4$$

Fe_3O_4	O_2	Fe	المتفاعلات و النواتج
1	2	3	الأعداد الستوكيومترية
5	10	15	كمية المادة n (mol)
1	2	3	
1	2	3	

● **التمرين 14°) :** التفاعل $Mg_{(s)} + 2H^+_{(aq)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}\uparrow$ هو تفاعل تبادل إلكتروني أي :
تفاعل أكسدة ـ إرجاعية يتم فيه : **أكسدة Mg (مرجع)** بشوارد H^+ للحمض **(مؤكسد)** أي **إرجاع** H^+ بـ **Mg** .

▪ نصف معادلة الأكسدة : (Mg^{2+}/Mg): $Mg \rightarrow 2e^- + Mg^{2+}$
▪ نصف معادلة الإرجاع : (H^+/H_2): $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$
▪ المعادلة الإجمالية : $Mg + 2H^+ \rightarrow Mg^{2+} + H_2\uparrow$



● **التمرين 15°) :**
الثنائيتين (أساس$_1$\حمض$_1$) ؛ (أساس$_2$\حمض$_2$) المشاركتين في التفاعل الحادث بين حمض كلور الماء و كربونات الصوديوم الهيدروجينية هما : (H_3O^+/H_2O) & $(CO_2,H_2O/HCO_3^-)$ حيث :

تفاعل الطرفين يعطي الوسطين $H_3O^+ + HCO_3^- \rightarrow CO_2 + 2H_2O$ ⇔
ـ كمية المادة الإبتدائية في الحالة الإبتدائية للمتفاعلات هي :

▪ بالنسبة لـ HCO_3^- : $n = m/M \Leftrightarrow n = 0,5/84 = 6 \times 10^{-3}\ mol \Leftrightarrow n = 6\ mmol$
حيث : $m = 0,5\ g$ (كتلة المركب) ، $M = 23 + 1 + 12 + (16 \times 3) = 84\ g/mol$ (الكتلة المولية الجزيئية للمركب) .
▪ بالنسبة لـ H_3O^+ : $n = C.V \Leftrightarrow n = 0,6 \times 0,050 = 0,03\ mol \Leftrightarrow n = 30\ mmol$
ـ جدول تقدم التفاعل :

معادلة التفاعل	$H_3O^+ + HCO_3^- \rightarrow CO_2 + 2H_2O$		
كمية المادة n(mmol)	HCO_3^-	H_3O^+	CO_2
ح . الإبتدائية	6 mmol	30 mmol	0
أثناء التفاعل	6 - x	30 - x	x (mmol)
ح . النهائية	0	30 – 6 = 24	6 mmol

واضح من الجدول أن :
ـ التقدم الأعظمي هو : $6 - x_{max} = 0 \Leftarrow x_{max} = 6\ mmol$ أو $30 - x_{max} = 0 \Leftarrow x_{max} = 30\ mmol$
∴ $x_{max} = 6\ mmol$ [الأصغر] ⇐ المتفاعل المحد هو : الشاردة HCO_3^- .
ـ حجم الغاز CO_2 المتحصل عليه : بالتعريف $n_{CO2} = V/V_m = x \Leftarrow V_{CO2} = n_{CO2}.V_m = x.V_m$
بالتالي : $V_{CO2} = 6 \times 10^{-3} \times 24 = 0,144\ L \Leftarrow V_{CO2} = 144\ mL$.

● **التمرين 16°) :**

- **المجال : المادة و تحولاتها**
- **الوحدة④: مدخل الى الكيمياء العضوية**
- **الكفاءات المستهدفة:** ـ يكون قادرًا على تسمية المركبات العضوية وفق نظام التسمية الدولية .

ـ يتعرف على بعض العائلات العضوية .

ـ يتعرف على المواد المشتقة من البترول و إستعمالاتها في الحياة اليومية ، و تأثيرها على المحيط و على البيئة .

① مدخل الى الكيمياء العضوية :

① ـ 1°) **عنصر الكربون :** يعتبر الكربون **(Carbone)** العنصر المكون الرئيسي لجميع المركبات العضوية ، فهو بذلك من العناصر المهمة جدًا على الأرض ، حيث تشكل المواد العضوية ما يقارب **6\5** من مجموع المواد الكيميائية عمومًا ، و عادة ما تعرف المواد العضوية بـ **مركبات الكربون** بإستثناء بعض المواد التي يدخل في تكوينها هذا العنصر لكنها تصنف كمواد غير عضوية (معدنية) مثل أكاسيد الكربون **CO** ، **CO_2** و كذا بعض الفحمات مثل **Na_2CO_3** و السيانيدات مثل **KCN** ... إلا أن هذه المواد لا تقلل من مجال المواد العضوية الواسع .

① ـ 2°) **نشأة الكيمياء العضوية:** كان الإعتقاد السائد قديمًا هو أن **المركبات العضوية** لا يمكن إستخلاصها إلا من عضويات الكائنات الحية الحيوانية و النباتية بفعل **قوة حيوية (force vitale)** خفية داخل عضوياتها ، و بقي هذا الإعتقاد سائدًا الى غاية عام **1828 م** أين تمكن الألماني **ف . وولر (F.Wohler:1800-1882)** من إنتاج أول مركب عضوي في المخبر إنطلاقًا من مكوناته الأساسية وهو مركب **البولة (اليوريا) :CH_4ON_2** ، و منذ هذا التاريخ توالت الأبحاث و الإكتشافات و الإنجازات حيث توصل الكثير من الكيميائيين مثل **بيرتللو (Berthelot:1827-1907)** ، و **كيكولي (V.S.Kekulé)** ، و غيرهم من التوصل الى صناعة و إنتاج الكثير من المواد العضوية الطبيعية و الإصطناعية و ما أكثرها في يومنا هذا .

① ـ 3°) **تعريف الكيمياء العضوية:** تعرف الكيمياء العضوية على أنها **كيمياء الكربون** ، و هي علم قائم بحد ذاته تهتم بدراسة و تحليل و تركيب كل المركبات العضوية التي يدخل في تكوينها بالأساس عنصري **الفحم C** و **الهيدروجين H** على الأقل إضافة لعدد محدود جدًا من العناصر الأخرى مثل **الأكسجين O** ، و **الآزوت N** ، و بعض الهالوجينات مثل **الكلور Cl** أو المعادن مثل **المغنيزيوم Mg** ، و غيره من العناصر الأخرى الثانوية .

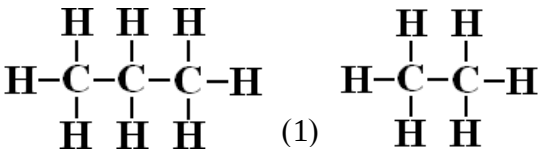
② الفحوم الهيدروجينية :

الفحوم الهيدروجينية (الهيدروكربونات) هي الأنواع الكيميائية العضوية التي تتألف جزيئاتها من عنصري **الفحم C** و **الهيدروجين H** فقط ، أي هي المركبات العضوية التي صيغتها العامة من الشكل **C_xH_y** .

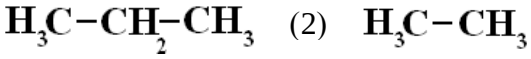
- **تذكير :** (تمثيل لويس للجزيئات)

يسمح تمثيل **لويس *Lewis*** كما نعلم بتمثيل البنية الجزيئية لجميع المركبات الكيميائية إعتمادً على قاعدتي **الثنائية *Duet*** و **الثمانية *Octet*** الإلكترونيتين ، بحيث يُمَكِّن هذا التمثيل في النهاية من كتابة الصيغ الكيميائية الجزيئية للمركبات العضوية بشكليها **المنشورة (المفصلة)** و **نصف المنشورة (نصف المفصلة)** كالتالي :

- **تطبيق** : أعط تمثيل لويس للمركبين العضويين : **C_2H_6** و **C_3H_8** .
- **الحل** : ▪ الصيغ الجزيئية المنشورة : (1)
  ▪ الصيغ الجزيئية نصف المنشورة : (2)



(1)



(2)

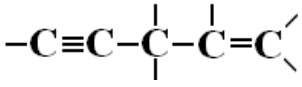
② ـ 1°) **السلاسل الفحمية المختلفة للفحوم الهيدروجينية :**

تصنف الفحوم الهيدروجينية متعددة الكربون من حيث بنية هيكلها الكربوني الى صنفين :

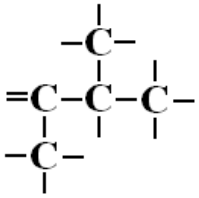
1° ـ أ) **الفحوم الهيدروجينية ذات السلاسل الفحمية المفتوحة :** و هي التي تكون فيها ذرات الفحم في الجزيء مرتبطة فيما بينها مشكلة سلسلة مفتوحة ، و يمكن لهذه السلسلة أن تكون **خطية** أو **متفرعة** .

- **مثال :**

▪ سلسلة فحمية مفتوحة **خطية**



▪ سلسلة فحمية مفتوحة **متفرعة**



1° ـ ب) **الفحوم الهيدروجينية ذات السلاسل الفحمية المغلقة (الحلقية) :** و هي التي تكون فيها ذرات الفحم في الجزيء مرتبطة فيما بينها مشكلة سلسلة مغلقة (حلقة) .

● **مثال :**

● **تطبيق** : أعط تمثيل سلاسل المركبات التالية : C_4H_8 و C_3H_6 علمًا أن السلسلة الكربونية لكل منهما مغلقة .

● **الحل** : ▭ و △ على الترتيب

● **نشاط ① : (تطبيق نموذج لويس في بعض الجزيئات العضوية)**

نعتبر الأنواع الكيميائية العضوية التالية : **الإيثان ؛ الإيثلين ؛ الأستلين** .

ـ **إبحث عن الصيغة المجملة لجزيئات هذه الغازات** ..... (الجواب على الترتيب : C_2H_6 ؛ C_2H_4 ؛ C_2H_2) .

ـ **أكتب صيغها الجزيئية نصف المنشورة ثم صيغها المنشورة . ماذا تلاحظ ؟ علل**

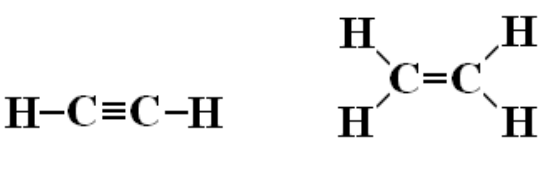
(الجواب : الصيغ نصف المنشورة على الترتيب : H_3C-CH_3 ؛ $H_2C=CH_2$ ؛ $HC\equiv CH$)

الصيغ المنشورة :

(1) : الإيثان

(2) : الإيثلين

(3) : الأستلين



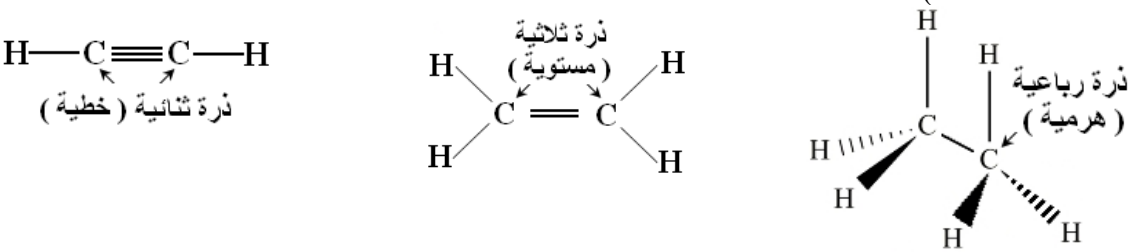
(3) (2) (1)

نلاحظ أن جزيئة الإيثان تتواجد في الفضاء أي في المعلم **3D** لإحتوائها على روابط بسيطة فقط **C – C** ، بينما الإيثن (الإيثلين) يتواجد في مستو بسبب إحتوائه على رابطة ثنائية واحدة **C = C** أي على شكل **2D** ، أما الإيثين (الأستلين) فيتواجد على خط مستقيم أي ذرات الجزيء مترافقة فيما بينها بشكل خط مستقيم لإحتوائه على رابطة ثلاثية واحدة **C ≡C** .

ـ **ماهو عدد الروابط التكافؤية في كل جزيء ؟** ..... (الجواب : في جزيء الإيثان توجد سبعة (**7**) روابط تكافؤية بسيطة من النوع **σ** ، و في جزيء الإيثلين توجد خمسة (**5**) روابط تكافؤية بسيطة **σ** و رابطة تكافئية واحدة من النوع **π** ، بينما في جزيء الأستلين توجد ثلاثة (**3**) روابط بسيطة من النوع **σ** و رابطتين من النوع **π**)

ـ **أعط التمثيل الفضائي لكل جزيء (تمثيل كرام)**

(الجواب : لاحظ الشكل أدناه ...)



ـ **هل للجزيئات الثلاثة هندسة فضائية متشابهة ؟ إشرح .**

(الجواب : لا يكون للجزيئات الثلاثة السابقة هندسة فضائية متشابهة لأن ذرات الفحم **C** في الجزيئات العضوية عمومًا تتواجد بثلاثة حالات مختلفة : **رباعية هرمية ؛ ثلاثية مستوية ؛ ثنائية خطية** كما هو موضح بالشكل أعلاه) .

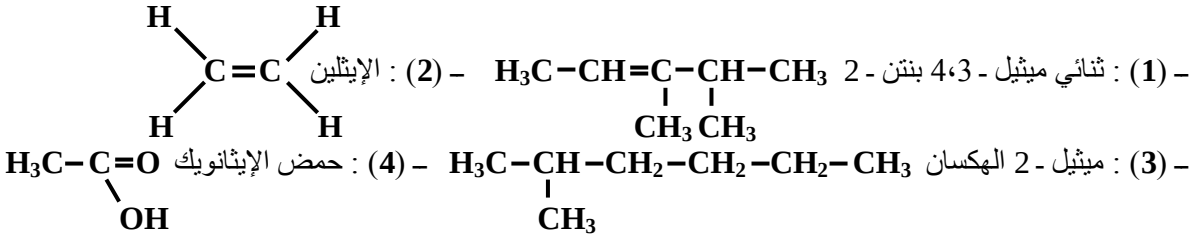
ـ **مثل سلاسل هذه الجزيئات** ..... ($-C\equiv C-$ ؛ $C=C$ ؛ $-C-C-$) سلاسل مفتوحة خطية " غير متفرعة "

● **نتيجة :** أكمل العبارات التالية :

تختلف الهندسة (الفضائية لجزيئات) **الفحوم الهيدروجينية بإختلاف** (عدد و نوع) **الروابط** (التكافؤية) **الموجودة في الجزيء و عدد ذرات** (الكربون) **فيها** .

● **نشاط ② : (التعرف على نماذج جزيئات بعض الأنواع الكيميائية العضوية و تمييز البعض منها)**

نعطي في الجدول التالي (**ص** : **317**) تمثيلاً للبنية الفضائية لبعض الجزيئات حيث تمثل الكريات **البيضاء** ذرات **الهيدروجين** و **السوداء** ذرات **الكربون** و **الحمراء** ذرات **الأكسجين** و **الزرقاء** ذرات **الآزوت** . أكمل الجدول بالبحث عن المطلوب



ـ (**1**) : ثنائي ميثيل ـ 3،4 بنتن ـ 2 $H_3C-CH=C(CH_3)-CH(CH_3)-CH_3$

ـ (**2**) : الإيثلين $H_2C=CH_2$

ـ (**3**) : ميثيل ـ 2 الهكسان $H_3C-CH(CH_3)-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$

ـ (**4**) : حمض الإيثانويك $H_3C-C(=O)-OH$

ـ (5) : ميثيل ـ أمين H_3C-NH_2 ـ (6) : هو نفسه المركب (1) ـ (7) : الإيثانول H_3C-CH_2-OH
ـ (8) : بروبن ـ1 ول ـ 3 $H_2C=CH-CH_2-OH$ ـ (9) : اليوريا (البولة) $(NH_2)_2C=O$
ـ (10) : ميثيل ـ 2 البروبان $(CH_3)_3C$.

ـ حدد الفحوم الهيدروجينية من بين الأنواع المقترحة في الجدول..... (الجواب : المركبات **1 ؛ 2 ؛ 3 ؛ 6 ؛ 10**) .

ـ ماهي الجزيئات التي تحتوي على روابط بسيطة فقط ؟ ماهو شكلها الفضائي ؟ علل

(الجواب : جزيئي المركبين **3** ، **10** فقط هما اللذان يحتويان روابط **كربون ـ كربون** أحادية بسيطة " من النوع **σ** " وبالتالي يكون لهيكليهما الكربوني بنية فضائية **هرمية** لأن **ذرات الكربون** في السلسلة الكربونية للجزيء **رباعية الروابط**) .

ـ ماهي الجزيئات التي تحتوي على روابط ثنائية ؟ ماهو شكلها الهندسي ؟ علل

(الجواب : جزيئي المركبين **1** ، **2** فقط هما اللذان يحتويان روابط **كربون ـ كربون** مضاعفة ثنائية " من النوع **σ,π** " وبالتالي يكون لهيكليهما الكربوني بنية **مستوية** على مستوى الرابطة **C=C** لأن **ذرات الكربون** في السلسلة الكربونية للجزيء **ثلاثية الروابط**) .

ـ ماهي الجزيئات التي تحتوي على روابط ثلاثية ؟ ماهو شكلها الهندسي ؟ علل

(الجواب : جزيئ الأستلين مثلاً هو الذي يحتوي رابطة **كربون ـ كربون** مضاعفة ثلاثية " من النوع **σ,π,π** " وبالتالي يكون لهيكله الكربوني بنية **خطية** على مستوى الرابطة **C≡C** لأن **ذرات الكربون** في السلسلة الكربونية للجزيء **ثنائية الروابط)**

ـ ماذا تستنتج ؟ ..... (الجواب : مما سبق نستنتج أن جزيئات **الفحوم الهيدروجينية** C_xH_y عموماً يكون لها بنية فراغية إما **هرمية رباعية** أو **مستوية** أو **خطية** بحسب طبيعة الروابط **كربون ـ كربون** في السلسلة الكربونية للجزيء) .

● **نتيجة** : أكمل العبارات التالية :

▪ **في هذه العينة الجزيئات التي تحتوي عنصر**(الأكسجين) **لا تصنف مع الفحوم** (الهيدروجينية) **.**

▪ **تختلف الفحوم** (الهيدروجينية) **المقترحة في** (الجدول : العينة) **في عدد و نوع** (العناصر) **المكونة لجزيئاتها ، و تختلف أيضًا في** (بنيتها) **الفضائية : للبعض منها بنية فضائية**(بثلاثة أبعاد : **3D**) **و البعض** (ببعدين : **2D**) **و البعض الآخر بنية** (خطية) **ببعد واحد .**

▪ **نلاحظ من الصور أن للفحوم الهيدروجينية المقترحة التي تحتوي :**

ـ رابطة (ثلاثية) **بنية** (خطية) **.**
ـ رابطة (ثنائية) **بنية** (مستوية) **.**
ـ رابطة (أحادية) **بنية** (فضائية) **.**

② ـ 2°) **الكتابة الطوبولوجية للفحوم الهيدروجينية:**

2° ـ أ) **الهيكل الكربوني :** نظرًا لكون **المركبات الهيدروكربونية** (الفحوم الهيدروجينية) تمتاز بإحتوائها فقط عنصري الكربون و الهيدروجين تم الإتفاق بين الكيميائيين على أن تمثل جزيئاتها بتمثيل مبسط يرتكز على **الهيكل الكربوني (الفحمي)** للمركب .

● **تعريف : الهيكل الكربوني** لمركب عضوي هو **تمثيل** لسلسلته الكربونية .

● **مثال :** الهيكل الكربوني للمركب C_2H_6 هو ببساطة $C-C$ ، و للمركب C_3H_8 هو $C-C-C$

● **نشاط تطبيقي : ـ أعط الهيكل الكربوني للجزيئات التالية : البوتان$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$ ؛ الميثان CH_4 . علل**
ـ أكتب الصيغ المجملة للجزيئات التي لها الهيكل الكربوني التالي : $C-C-C-C$ و $C-C-C-C$ و $C-C-C$
ـ إقترح عدة هياكل كربونية لجزيئات تحتوي على5 ذرات كربون .

● الجواب : ـ البوتان : $C-C-C-C$ ، الميثان : C .

ـ الصيغ الجزيئية المجملة على الترتيب : C_5H_{12} ، C_4H_{10} ، C_3H_8 .

ـ الهياكل الكربونية المقترحة للجزيئات C_5H_{12} هي : $C-C-C-C-C$ و $C-C(-C)-C-C$ و $C-C(-C)(-C)-C$

2° ـ ب) **الكتابة الطوبولوجية :** ***Ecriture Topologique***

● **تعريف :** الكتابة الطوبولوجية هي تمثيل للهيكل الكربوني للجزيء تتم بالإنتقال من الهيكل الكربوني المبسط إليها بتمثيل الروابط الكربونية فقط دون حتى كتابة رمز عنصر الكربون **C** أي هي إختصار للهيكل الكربوني الموافق .

إصطلاحًا : الكتابة الطوبولوجية ، عبارة عن خط متواصل منكسر و أحيانًا متفرع مكون من قطع مستقيمة متساوية الطول حيث نهاية قطعة منها أو إلتقاء قطعتين أو ثلاثة توافق موقع ذرة الكربون **C** .

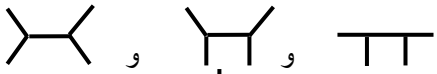
● **أمثلة :** ـ الكتابة الطوبولوجية للهيكل الكربوني التالي : $C-C(-C)-C$ هي : ⊤

ـ الكتابة الطوبولوجية للهيكل الكربوني التالي : $C-C(-C)-C-C$ هي : ⊤⊤

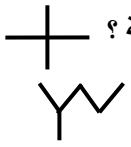
● **تطبيق : ـ أعط الكتابة الطوبولوجية للمركب التالي :C_3H_6 . لماذا لا نتحدث عن الكتابة الطوبولوجية للجزيءCH_4 ؟**
الجواب : ، لا نتحدث عن الكتابة الطوبولوجية للجزيء CH_4 كونه يحتوي ذرة واحدة كربون **C** (لا يحتوي روابط فحمية) .

2° ـ جـ) **تكافؤ الكتابات الطوبولوجية :**

نقول عن **كتابتين طوبولوجيتين** أنهما **متكافئتين** إذا أمكن الحصول على إحداهما **بتشويه** أو **تدوير** الأخرى ، حيث يقصد بالتشويه تغيير توجيه واحدة من القطع المستقيمة أو أكثر بينما يقصد بالتدوير دوران التمثيل حول نفسه كما هو موضح من الأمثلة التالية :

ـ كتابات طوبولوجية متكافئة بالتشويه :  و و

ـ كتابات طوبولوجية متكافئة بالتدوير : و

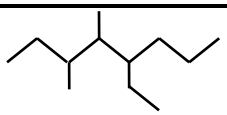
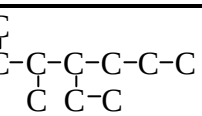
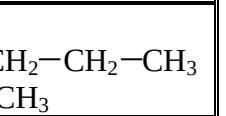
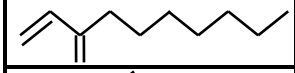
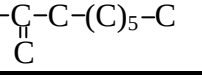
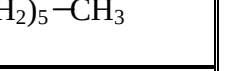
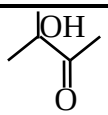
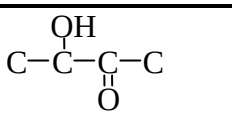
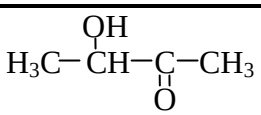
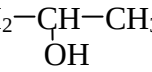
● **تطبيق : ـ هل الكتابات الطوبولوجية التالية متكافئة ؟**  و (الجواب : نعم بالتشويه)

و (الجواب : لا)

ـ إقترح 3 كتابات طوبولوجية غير متكافئة و الموافقة للصيغة المجملة التالية : C_5H_{12}

الجواب : و و

نشاط ③ : (التعرف على الصيغ المنشورة و الهيكل الكربوني و الكتابة الطوبولوجية في بعض المركبات العضوية)

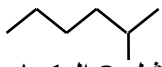
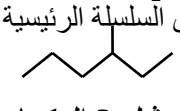
الكتابة الطوبولوجية	الهيكل الكربوني	الصيغة نصف المنشورة
	C=C	$H_2C=CH_2$
	C−C	H_3C-CH_3
		
		
	C−C−C=C−C	$H_3C-CH_2-CH=CH-CH_3$
	C−C−C−C−C	$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$
		
	C=C−C	$H_2C=CH-CH_3$
	C−C−C−C	$H_3C-CH_2-CH_2-CH_3$
	C−C−C=C	$H_3C-CH_2-CH=CH_2$
	C−C−COH−C	
	C−C−C−CCl	$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-Cl$

② ـ 3°) **المماكبات و التماكب : *Les Isomères et L'isomérie***

● **تعريف :** المماكبات هي المركبات الكيميائية التي لها نفس الصيغة الجزيئية المجملة (نفس عدد الذرات المكونة للجزيء) و بنية جزيئية مختلفة (صيغتها المنشورة مختلفة) ، فهي أنواع كيميائية مختلفة في الخواص الفيزيائية و الكيميائية رغم تماثل صيغها الجزيئية العامة . توجد عدة أنواع من التماكب ، سنهتم بدراسة التماكب التكويني منها فقط .

3° ـ أ) **التماكب التكويني الوضعي : *I.C.de position***

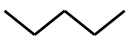
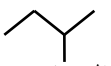
في هذا النوع من التماكب يكون للمماكبات نفس السلسلة الرئيسية و نفس الفروع (الجذور) و لكنها تختلف في موضع التفرع

● **مثال :**  

ميثيل ـ2 الهكسان **ميثيل ـ3 الهكسان** ..... (مماكبان لهما نفس الصيغة العامة : C_7H_{16})

3° ـ ب) **التماكب التكويني السلسلي : *I.C.de chaîne***

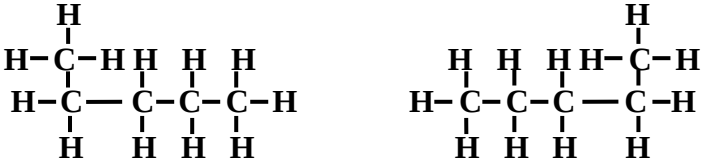
في هذا النوع من التماكب يكون للمماكبات نفس الصيغة المجملة و صيغ منشورة (أو نصف منشورة) بسلاسل فحمية مختلفة

● **مثال :**  

البنتان : C_5H_{12} (سلسلة خطية) **ميثيل ـ2 البوتان : C_5H_{12}** (سلسلة متفرعة)

● **ملاحظة** : توجد حالة أخرى من التماكب التكويني تخص **المماكبات الوظيفية** تعرف بـ " **التماكب التكويني الوظيفي** " ***I.C.de fonction*** و فيها يكون للمماكبات وظائف كيميائية مختلفة و نفس السلاسل الكربونية بنفس الجذور و المواضع .

● **تطبيق** : ـ لاحظ الصيغة المنشورة للجزيئين :



ـ أكتب الصيغة الجزيئية المجملة لكل جزيء .

ـ هل هما متماكبان ؟ علل .

● الجواب :

ـ الصيغة الجزيئية المجملة لكل من هذين الجزيئين هي : C_5H_{12} و هما جزيئان متماثلان لنفس المركب العضوي .

ـ للجزيئين نفس الصيغة المجملة و لكنهما ليس متماكبين لأن لهما كذلك نفس الصيغة المنشورة .

③ **التسمية النظامية للفحوم الهيدروجينية (المشبعة و غير المشبعة) حسب توصيات *(I.U.P.A.C)*** :

نظرًا للعدد الهائل من المركبات العضوية و لتسهيل دراستها و التعرف على خصائصها الفيزيائية و الكيميائية المختلفة تم تصنيفها في مجموعات (عائلات) على أساس التشابه في الخواص بين أفراد العائلة الواحدة و كذا وضع قواعد تسمية نظامية عامة و خاصة بإتفاق دولي من قبل الإتحاد العالمي للكيميائيين IUPAC .

تعتبر الفحوم الهيدروجينية المركبات الأساسية لجميع المركبات العضوية أي هي المركبات الأصلية التي تشتق منها كل المركبات الأخرى ، و تصنف الفحوم الهيدروجينية الى صنفين رئيسيين هما :

ـ **الفحوم الهيدروجينية المشبعة** : و هي التي تحتوي جزيئاتها روابط تكافؤية فحمية **أحادية** (بسيطة) فقط .

ـ **الفحوم الهيدروجينية غير المشبعة** : و هي التي تحتوي جزيئاتها على الأقل رابطة تكافؤية فحمية **ثنائية** أو **ثلاثية** .

③ ـ 1°) **الألكانات *Les Alcanes*** :

الألكانات هي فحوم هيدروجينية C_xH_y مشبعة لجزيئاتها سلاسل كربونية مفتوحة (خطية و متفرعة) يكون فيها عدد ذرات الكربون **C** : ($x = n$) و عدد ذرات الهيدروجين **H** : ($y = 2n+2$) ، صيغتها العامة من الشكل : C_nH_{2n+2}

حيث : $n \geq 1$ (**عدد صحيح طبيعي غير معدوم**) أي : $n = \{ 1 ، 2 ، 3 ، ... \}$

يتركب **الإسم النظامي للألكان** من جزئين : **ألكان = ألك + ان** .

ـ السابقة : **ألك** ... من أصل إغريقي تدل على عدد ذرات الكربون (**n**) في الجزيء حيث :

n = 1 (ميث...) ؛ n = 2 (إيث...) ؛ n = 3 (بروب...) ؛ n = 4 (بوت...) ؛ n = 5 (بنت...) ؛

n = 6 (هكس...) ؛ n = 7 (هبت...) ؛ n = 8 (أوكت...) ؛ n = 9 (نون...) ؛ n = 10 (ديك...) .

ـ اللاحقة : **...ان (ane)** مشتركة لكل الألكانات للتعبير عن إنتمائها لهذه العائلة (كل الروابط فيها أحادية) .

● **أمثلة** : لاحظ الجدول المرفق

CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	C_6H_{14}
الميثان	الإيثان	البروبان	البوتان	البنتان	الهكسان
Méthane	*Ethane*	*Propane*	*Butane*	*Pentane*	*Hexane*

③ ـ 2°) **الجذور الألكيلية *Les Alcyles*** :

الجذور الألكيلية هي مجاميع ألكيلية تشتق من الألكانات C_nH_{2n+2} بحذف ذرة هيدروجين **H** واحدة منها ، فتكون بذلك صيغتها العامة من الشكل : $-C_nH_{2n+1}$ و يرمز لها إختصارًا بالرمز : **–R** بمعنى لكل ألكان جذر ألكيلي موافق يشتق منه و يحمل إسمه مع إستبدال اللاحقة (...ان) **(ane)** في إسم الألكان باللاحقة (... يل) **(yle)** .

● **أمثلة** : لاحظ الجدول المرفق : (**ألك + ـان : R – H**) ⟵ (**ألك + يل : R –**)

$-CH_3$	$-C_2H_5$	$-C_3H_7$	$-C_4H_9$	$-C_5H_{11}$	$-C_6H_{13}$
ميثيل	إيثيل	بروبيل	بوتيل	بنتيل	هكسيل
Méthyle	*Ethyle*	*Propyle*	*Butyle*	*Pentyle*	*Hexyle*

③ ـ 3°) **تسمية المركبات العضوية** :

تعتمد التسمية النظامية للمركبات العضوية وفق الإتحاد الدولي (IUPAC) على الصيغة الجزيئية المفصلة (أو نصف المفصلة) للنوع الكيميائي بطريقة الترقيم وفق جملة من القواعد تضبط إسم المركب كالتالي :

● **تسمية الألكانات** : ▪ إختيار أطول سلسلة كربونية و اعتبارها **السلسلة الرئيسية** ، ثم ترقيمها و تسميتها ، وإذا كان لها فروع يجب أن تأخذ ذرات الكربون من السلسلة الموافقة لهذه الفروع أقل الأرقام الممكنة .

▪ يسبق إسم السلسلة الرئيسية بأسماء فروعها على أن يرفق إسم كل فرع (جذر ألكيلي) برقم ذرة الكربون المرتبط بها مباشرة من السلسلة الرئيسية ، و في حالة وجود فروع متماثلة تسمى مرة واحدة رفقة أرقام ذرات إرتباطاتها بالسلسلة مع الإشارة لعددها كأن نقول مثلاً :

ـ **ثنائي** أو (**داي**) في حالة وجود جذرين متماثلين

ـ **ثلاثي** أو (**تراي**) في حالة وجود ثلاثة جذور متماثلة

ـ **رباعي** أو (**تترا**) في حالة وجود أربعة جذور متماثلة ... **إلخ**

● **أمثلة :** (1) $(CH_3)_2CHC_2H_5$ ⟵ 2 – ميثيل البيوتان : ***2-méthylbutane***

(2) $(CH_3)_3CC_3H_7$ ⟵ 2،2 – ثنائي ميثيل البنتان : ***2,2-diméthylpentane***

(3) $(CH_3)_3CCHC_2H_5C_3H_7$ ⟵ 3 – إيثيل ثنائي ميثيل– 2،2 الهكسان : ***3-éthyl diméthyl-2,2 hexane***

③– 4°) **الألسانات (الألكنات) :** ***Les Alcènes***

الألسانات أو الألكنات هي العائلة الثانية من الفحوم الهيدروجينية صيغتها العامة من الشكل : C_nH_{2n} حيث : $2 \leq n$

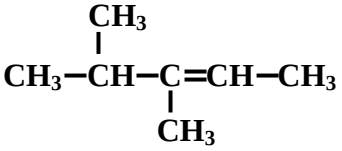
تحتوي جزيئاتها على رابطة تكافئية فحمية (كربون ـ كربون) واحدة ثنائية : $C = C$ من النوع (σ,π) ، وهي بذلك فحوم هيدروجينية غير مشبعة لإحتوائها روابط مزدوجة (غير مشبعة) .

عمومًا إسم الألسان (الألكن C_nH_{2n} = ألـكـ ... + ... ن (ène) : لاحقة مشتركة لكل الألسانات تدل على إنتمائها لهذه العائلة)

مثل : C_2H_4 (إيثن : ***Ethène*** الشائع باسم الإيثيلين : ***Ethylène***) C_3H_6 (بروبن : ***Propène***) ؛ C_4H_8 (بوتن : ***Butène***) ؛ C_5H_{10} (بنتن : ***Pentène***) ... إلخ

في حالة تسمية ألسان معطى بالصيغة المنشورة تطبق نفس القواعد المتبعة في تسمية الألكان على أن تعطى الأفضلية للرابطة الثنائية المميزة للألسان عند تعيين السلسلة الكربونية الرئيسية أو الترقيم بدءًا من طرف السلسلة الأقرب لهذه الرابطة و التي يشار لها عند التسمية باللاحقة ... ن (ène) .

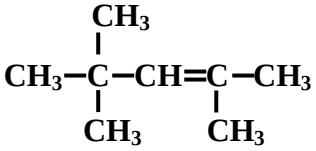
● **أمثلة :** (1)



3،4 – ثنائي ميثيل بنتـ– 2 – ن

3,4 – diméthylpent-2-ène

(2)



2،4،4 – ثلاثي ميثيل بنتـ– 2 – ن

2,4,4 – triméthylpent-2-ène

③– 5°) **الألسينات (الألكينات) :** ***Les Alcynes***

الألسينات أو الألكينات هي العائلة الثالثة من الفحوم الهيدروجينية صيغتها العامة من الشكل : C_nH_{2n-2} حيث : $2 \leq n$

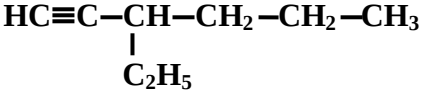
تحتوي جزيئاتها على رابطة تكافئية فحمية (كربون ـ كربون) واحدة ثلاثية : $C \equiv C$ من النوع (σ,π,π) ، وهي بذلك فحوم هيدروجينية غير مشبعة لإحتوائها روابط مضاعفة ثلاثية (غير مشبعة) .

عمومًا إسم الألسين (الألكين C_nH_{2n-2} = ألـكـ ... + ... ين (yne) : لاحقة مشتركة لكل الألسينات تدل على إنتمائها لهذه العائلة)

مثل : C_2H_2 (إيثين : ***Ethyne*** الشائع باسم الأستلين : ***Acétylène***) C_3H_4 (بروبين : ***Propyne***) ؛ C_4H_6 (بوتين : ***Butyne***) ؛ C_5H_8 (بنتين : ***Pentyne***) ... إلخ

في حالة وجود عدة مماكبات لنفس الألسين ، يتم تسمية كل مماكب على أساس صيغته المنشورة (أو نصف المنشورة) بطريقة التسمية بالترقيم كما أسلفنا على أن تعطى الأفضلية للرابطة الثلاثية المميزة للألسين عند تعيين السلسلة الكربونية الرئيسية أو الترقيم بدءًا من طرف السلسلة الأقرب لهذه الرابطة و التي يشار لها عند التسمية باللاحقة ... ين (yne) .

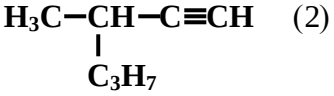
● **أمثلة :** (1)



إيثيل 3 هكسين - 1

3-éthylhex-1-yne

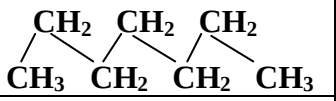
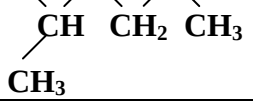
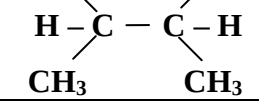
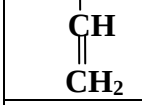
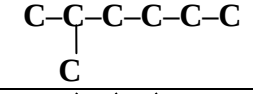
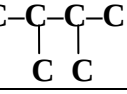
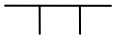
(2)



ميثيل 3 هكسين - 1

3-méthylhex-1-yne

● **تطبيق : إعتمادًا على القواعد السابقة ، أكمل الجدول التالي :**

الصيغة ن.المنشورة				
الهيكل الفحمي	C–C–C–C–C–C–C			C = C – C
الكتابة الطوبولوجية				
الإسم حسب IUPAC	الهبتان	2 – ميثيل الهكسان	2،3– ثنائي ميثيل البوتان	البروبن

④ **تأثير السلسلة الفحمية على الخصائص الفيزيائية:**

● **تعريف الكحول :** الكحول الأحادي المشبع مركب عضوي أكسجيني صيغته الجزيئية العامة من الشكل : $R{-}OH$ ، أين $R{-}$ جذر ألكيلي و $-OH$ مجموعة هيدروكسيل تمثل **الزمرة الوظيفية الكحولية** .

يشتق إسم الكحول عمومًا من إسم الألكان الموافق له (الذي يساويه في عدد ذرات الكربون) و ذلك بإضافة اللاحقة (...ول) المميزة لمجموعة الكحول لإسم الألكان الموافق أي : **ألكان + ول = ألكانول**

● **أمثلة :** CH_3OH الميثانول ***(Méthanol)*** ؛ C_2H_5OH الإيثانول ***(Ethanol)*** ؛ ... إلخ

تصنف الكحولات الأحادية المشبعة $R-OH$ الى ثلاثة أصناف رئيسية : **أولية ؛ ثانوية ؛ ثالثية** .

- **الكحولات الأولية :** صيغتها الجزيئية العامة من الشكل $R-CH_2-OH$.
- **الكحولات الثانوية :** صيغتها الجزيئية العامة من الشكل $R_1-CHOH-R_2$.
- **الكحولات الثالثية :** صيغتها الجزيئية العامة من الشكل $R_1R_2R_3COH$.

● **أمثلة :** للكحول الأحادي المشبع C_4H_9OH :

ـ مماكب كحولي من صنف أولي : $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-OH$ **(البوتانول ـ 1 :** ***Butane-1-ol*** **) .**

ـ مماكب كحولي من صنف ثانوي : $C_2H_5-CHOH-CH_3$ **(البوتانول ـ 2 :** ***Butane-2-ol*** **) .**

ـ مماكب كحولي من صنف ثانوي : $(CH_3)_3COH$ **(ميثيل ـ 2 بروبانول ـ 2 :** ***2-méthylpropane-2-ol*** **) .**

④ ـ أ) **تأثير السلسلة الفحمية على إنحلال الكحولات في الماء** :

● **نشاط تمهيدي :** ـ الأدوات : **أنابيب إختبار ، حامل أنابيب ، ماء مقطر ، الميثانول (méthanol) ، الإيثانول (éthanol) ، البنتانول ـ 1 (pentane-1-ol) ، البوتانول ـ 1 (butane-1-ol) .**

ـ إبحث عن الصيغة العامة لكل من الكحولات و صيغته المنشورة . أكتبها . ما نوع و شكل سلسلة كل كحول ؟ ماهو عدد ذرات كل منها ؟

ـ الجواب :

الكحول	الميثانول (méthanol)	الإيثانول (éthanol)	البنتانول ـ 1 (pentane-1-ol)	البوتانول ـ 1 (butane-1-ol)
الصيغة العامة	CH_3OH	C_2H_5OH	$C_5H_{11}OH$	C_4H_9OH
الصيغة ن.المنشورة	$H-CH_2-OH$	CH_3-CH_2-OH	$C_4H_9-CH_2-OH$	$C_3H_7-CH_2-OH$
السلسلة ـ عدد ذرات C ـ الصنف	خطية ، 1 ، أولي	خطية ، 2 ، أولي	خطية ، 5 ، أولي	خطية ، 4 ، أولي

ـ التجربة : **خذ (4) أنابيب إختبار ، وضع في كل أنبوب 10 mL من الماء المقطر ، ثم ضف لكل منها على الترتيب 2 mL من الكحولات المحضرة بواسطة الماصة .**

ـ ماذا تلاحظ ؟ ..... (الجواب : نلاحظ في الأنبوب الذي يحتوي على الماء و الميثانول أن الميثانول قد إمتزج كلية مع الماء أي تحصلنا على محلول مائي ، و كذلك الحال في الأنبوب الثاني الحاوي على الماء و الإيثانول . بينما في الأنبوبين الحاويين على الماء رفقة كل من البنتانول ـ 1 و البوتانول ـ 1 نلاحظ أنهما لا يمتزجان مع الماء و هذا لظهور طبقتين منفصلتين في كل أنبوب) .

ـ صف ما يحدث في الأنابيب بعد مدة معينة .

(الجواب : بعد الرّج يحدث إنفصال المادتين " الكحولين" عن الماء في الأنبوبين الثالث و الرابع أي لا تنحل في الماء .

ـ هل كل الكحولات تنحل في الماء ؟ ..... (الجواب : لاتنحل كل الكحولات في الماء بل هناك كحولين فقط من الكحولات الأربعة قليلين للإنحلال في الماء هما الميثانول و الإيثانول) .

- **زيادة على هذه الكحولات إبحث في المراجع (أو الأنترنت) في مجموعة الكحولات التي تنحل و التي لا تنحل :**

ـ ماهو عدد ذرات الكربون في كل كحول ينحل ؟ ..... (الجواب : أقل أو يساوي على الأكثر 3 ذرات) .

ـ ماهو عددها في التي لا تنحل ؟ ماذا تستنتج ؟ ..... (الجواب : 4 ذرات ، 5 ذرات ، ... نستنتج أن : الكحولات التي تحتوي على عدد كبير من ذرات الفحم "أكثر من أربعة تقريبًا" لا تنحل في الماء) .

ـ هل لعدد ذرات الكربون أثر في خاصية إنحلال الكحولات في الماء ؟

(الجواب : نعم عدد ذرات الكربون في الكحولات له علاقة بقابلية إنحلالها في الماء " علاقة عكسية ") .

④ ـ أ) **تأثير السلسلة الفحمية على درجة غليان الأنواع الكيميائية العضوية**:

● **نشاط : تعطى في الجدول التالي درجة غليان بعض الفحوم الهيدروجينية (ألكانات) تحت الضغط الجوي النظامي :**

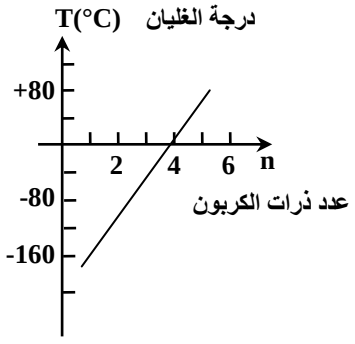
عدد ذرات الكربون (n)	1	2	3	4	5	6
النوع الكيميائي C_nH_{2n+2}	الميثان *méthane*	الإيثان *éthane*	البروبان *propane*	البوتان *butane*	البنتان *pentane*	الهكسان *hexane*
درجة الغليان (°C)	- 162	- 89	- 42	?	36	69

ـ ماذا تلاحظ في هذا الجدول ؟ ..... (الجواب : نلاحظ في الجدول زيادة درجة الغليان بزيادة عدد ذرات الكربون في السلسلة)

ـ كيف تتغير درجة الغليان من نوع كيميائي لآخر ؟..... (الجواب : تتغير درجة الغليان من نوع كيميائي لآخر بتناسب مع زيادة ذرات الكربون في السلسلة الكربونية) .

ـ أرسم الخط البياني : (T = f(n بين درجة الغليان T و عدد ذرات الكربون n .

(الجواب : لاحظ البيان المرفق جانبه) .



ـ عين درجة غليان البوتان من البيان . قارنها مع القيمة المعطاة في جداول الخصائص الفيزيائية للأنواع العضوية .

(الجواب : درجة غليان البوتان هي تقريبًا **0,5 °C**) .

● **نتيجة :** مما سبق يتضح أن عدد ذرات الكربون في السلسلة الكربونية للأنواع العضوية له تأثير مباشر على الخصائص الفيزيائية للنوع الكيميائي مثل قابلية الإنحلال ، درجة الغليان ، ... إلخ .

عمل تطبيقي

الكشف عن العائلات العضوية

● مفهوم المجموعة المميزة : **تتميز المركبات العضوية بتنوعها الكبير ، و لذلك و من أجل تسهيل دراستها صنفها الكيميائيون الى " عائلات " تتميز عن بعضها البعض بمجموعات كيميائية تسمى " الزمر الوظيفية " ، حيث تعطي كل زمرة وظيفية للعائلة التي تتميز بها خواص كيميائية و فيزيائية تميزها عن العائلات الأخرى .**

1°) عائلتي الألدهيدات و الكيتونات :

1°ـ أ) تعريف : ـ عائلة الألدهيدات هي مركبات عضوية أكسجينية صيغتها العامة من الشكل : RCHO ، تمتاز سلاسلها الأساسية بإحتوائها المجموعة الوظيفية الألدهيدية " مجموعة الفورميل : $-CHO$ " وهي الوظيفة المميزة لهذه العائلة .

ـ عائلة الكيتونات هي مركبات عضوية أكسجينية صيغتها العامة من الشكل : RCOR' ، تمتاز سلاسلها الأساسية بإحتوائها المجموعة الوظيفية الخلونية (السيتونية) " مجموعة الكاربونيل : $>CO$ " وهي الوظيفة المميزة لهذه العائلة .

1°ـ ب) تسمية الألدهيدات و الكيتونات :

ـ نسمي الألدهيدات بإسم سلسلتها الألكيلية الأصلية التي تضاف لها اللاحقة (...ال : al)

مثل : الميثانال $H_2C(H)=O$ ؛ **الإيثانال** $H_3C-C(H)=O$ ؛ **البروبانال** $H_5C_2-C(H)=O$ ... **إلخ**

ـ نسمي الكيتونات بإسم سلسلتها الألكيلية الأصلية التي تضاف لها اللاحقة (...ون : one)

مثل : البروبانون $H_3C-C(=O)-CH_3$ ؛ **البوتانون ـ 1** $H_3C-C(=O)-C_2H_5$ ؛ ... **إلخ**

1°ـ جـ) نشاطات تجريبية :

● نشاط : ① **تجربة المصباح دون لهب " Lampe sans flamme "**

ـ التجربة : سخن الإيثانول في بيشر حتى تتصاعد أبخرته ، و سخن سلك النحاس على مصباح بنزن حتى التوهج (الإحمرار) ثم ضعه في البيشر دون أن تتركه يسقط . لماذا سخنت الإيثانول ؟ ..... (تسخين الإيثانول حتى التبخر لكي يتفاعل بشكل أسرع) .

ـ ماذا تلاحظ عند وضع سلك النحاس المسخن في البيشر ؟ ..... (عند إدخال سلك النحاس المسخن في البيشر الحاوي على بخار الكحول يتوهج السلك دلالة على حدوث أكسدة مقتصدة للكحول بأكسجين الهواء في وجود وساطة معدنية من النحاس) .

ـ ماهي الفاكهة التي لها نفس الرائحة المنبعثة من وسط التفاعل ؟ ..... (تنبعث من وسط التفاعل رائحة مثل رائحة التفاح) .

ـ أي مادة تحصلت عليها ؟ لماذا ؟ ..... (حصلنا على الألدهيد بأكسدة الكحول أكسدة مقتصدة لأن الألدهيد المتحصل عليه تنبعث منه رائحة مماثلة لرائحة التفاح) .

ـ إبحث عن المركب العضوي الذي له نفس الرائحة ، ثم إستنتج النوع الكيميائي الذي حصلت عليه من التفاعل ..... (النوع الكيميائي المتحصل عليه هو ألدهيد الحل " الإيثانال " عن طريق الأكسدة المقتصدة للكحول الإيثيلي " الإيثانول ") .

● **النتيجة : عند أكسدة الكحول الأولي أكسدة مدبرة و مقتصدة نحصل على ألدهيد ثم على حمض كربوكسيلي .**

● نشاط : ② الكشف عن وظيفة الألدهيد $H-\underset{|}{C}=O$

ـ التجربة : ضع في أنبوب إختبار كمية من الميثانال (مادة ألدهيدية : الإيثانال ، النشاء ، ... إلخ) و ضف له بضعة قطرات من محلول فهلنغ ، و ضع المزيج في حمام مائي دافئ (مسخن قليلاً) .

ـ ماذا يحدث في الأنبوب ؟ ..... (تحدث تحول كيميائي تتم فيه أكسدة الألدهيد بمحلول فهلنغ في وسط قاعدي) .

● **صف ملاحظاتك وإستنتاجاتك في بضع أسطر بالإجابة عن الأسئلة التالية :**

ـ ماهو لون المحلول الناتج ؟ ..... (يأخذ محلول فهلنغ لوناً مميزًا مع الألدهيد ، ويتشكل راسب أحمر آجري) .

ـ ماهي المادة الناتجة عن هذا التفاعل ؟ ..... (المادة الناتجة عن أكسدة الألدهيد هي حمض عضوي كربوكسيلي مع تشكل راسب أحمر قرميدي من أحادي أكسيد النحاس Cu_2O بسبب إرجاع محلول فهلنغ) .

ـ ماذا تقول عن هذا اللون الذي يأخذه محلول فهلنغ بوجود مادة عضوية ألدهيدية ؟ ..... (لون مميز للزمرة الوظيفية الألدهيدية) .

ـ ماذا تستنتج إذن في حالة ظهور هذا اللون عند مزج محلول فهلنغ بمادة عضوية مجهولة ؟ ..... (في حالة ظهور هذا اللون عند مزج محلول فهلنغ مع مادة عضوية مجهولة نستنتج أن هذه الأخيرة عبارة عن مركب ألدهيدي) .

● نشاط : ③ الكشف عن وظيفة الكيتون $>C=O$

ـ التجربة : ضع في أنبوب إختبار 1mL من البروبانون (مادة كيتونية) و 2 mL من كاشف 2,4 – D.N.P.H (ثنائي نيترو ـ 4،2 فينيل الهيدرازين) في أنبوب آخر .

ـ لاحظ جيدًا لون الكاشف و لون البروبانون في البداية ..... (لون الكاشف أصفر بينما البروبانون عديم اللون) .

ـ أمزج محتوى الأنبوبين و لاحظ ماذا يحدث ؟ ..... (عند مزج المادة العضوية الحاوية على مجموعة الكربونيل $>C=O$ مع الكاشف **D.N.P.H** تحدث دومًا تشكل راسب بللوري لا يحل في الماء) .

ـ ماهو لون المزيج الناتج ؟ ماذا تستنتج ؟ ..... (لون المزيج الناتج أصفر برتقالي ، نستنتج أن المادة العضوية المختبرة تحوي مجموعة الكربونيل مثل الألدهيدات و الكيتونات وهي السبب في تشكل الراسب الأصفر البرتقالي) .

● **ضع في أنبوب إختبار كمية من الميثانال و ضف له بضع قطرات من الكاشف (D.N.P.H)**

ـ ماذا يحدث ؟ كيف تفسر هذه النتيجة ؟ ماذا تستنتج عن إستعمال الكاشف D.N.P.H في حالة الميثانال ؟ هل هذه النتيجة عامة في حالة الكيتونات و في حالة الألدهيدات ؟ ..... (عند مزج المادة العضوية الحاوية على مجموعة الكربونيل $>C=O$ مع الكاشف **D.N.P.H** تحدث دومًا تشكل راسب بللوري أصفر برتقالي لا يحل في الماء مثل الألدهيد (الميثانال) أو الكيتون (البروبانون) ، وهذه النتيجة تخص جميع المركبات العضوية الكربونيلية الحاوية على مجموعة الكربونيل أي الألدهيدات و الكيتونات) .

2°) الكشف عن الكحول :

● نشاط : ① تأثير برمنغنات البوتاسيوم في وسط حمضي على الكحولات :

ـ التجربة : ضع في أنبوب إختبار 5mL من محلول برمنغنات البوتاسيوم المحمض بحمض الكبريت ، ثم ضف له 1mL من الإيثانول . حرك المزيج ثم ضعه في حمام مائي ساخن .

ـ ماهو لون محلول البرمنغنات المحمضة قبل مزجها مع الكحول ؟ ..... (لون بنفسجي) .

ـ **ماهو اللون الظاهر بعد المزج مع الكحول ؟ ماذا تستنتج ؟** ..... (بعد إضافة الكحول الى محلول البرمنغنات البنفسجي يصبح المزيج الناتج شفافاً أي عديم اللون . نستنتج أنه يمكن الكشف عن الكحول بمفاعلته بمحلول البرمنغنات المحمض بحمض الكبريت الذي يزول لونه البنفسجي) .

ـ **ضف بضع قطرات من D.N.P.H الى المزيج الناتج السابق . ماذا تلاحظ ؟** ..... (نلاحظ تشكل راسب أصفر برتقالي) .

ـ **إستنتج النوع الكيميائي المتشكل بإستخدام نتائج النشاط السابق المتعلق بعملية الكشف عن مجموعة الكربونيل** ..... (يتشكل عن أكسدة الإيثانول (كحول أولي) في مرحلة متقدمة من التفاعل الإيثانال (ألدهيد) بدليل ظهور الراسب الأصفر البرتقالي بعد إضافة كاشف **D.N.P.H** الى وسط التفاعل) .

ـ **أعد التجربة مع الإيثانال ، هل يتغير لون محلول البرمنغنات المحمضة ؟ ضف له قطرات من D.N.P.H ماذا تلاحظ ؟** ..... (في تجربة ثانية وعند مزج الإيثانال مع محلول البرمنغنات المحمضة يزول اللون البنفسجي المميز لهذه الأخيرة دلالة على أن الألدهيد الناتج عن أكسدة كحول أولي في مرحلة متقدمة من التفاعل يتأكسد هو الآخر في مرحلة تالية وفي نفس الشروط التجريبية الى حمض عضوي كربوكسيلي بدليل عدم ظهور راسب أصفر برتقالي عند إضافة قطرات من كاشف الـ**D.N.P.H** أي أن الألدهيد المتشكل تمت أكسدته كلية) .

ـ **أعد التجربة مع البروبانون ، هل يتغير لون محلول البرمنغنات المحمضة ؟ ماذا تستنتج ؟** ..... (لا يتغير لون محلول البرمنغنات عند مزجه مع البروبانون مما يدل على عدم حدوث تفاعل بينهما أي أن الكيتون (جسم غير مرجع) لا يقبل الأكسدة المتصدة مثل الألدهيد) .

● نتيجة : يمكن أكسدة الكحول (من صنف أولي) الى ألدهيد في مرحلة أولى من التفاعل وفي حالة وجود بقية من المؤكسد يتأكسد الألدهيد الناتج بدوره في مرحلة ثانية الى حمض عضوي كربوكسيلي .

3°) الكشف عن الألسان (الألكن) :

ـ **التجربة : ضع في أنبوب إختبار كمية من محلول ثنائي البروم Br_2 مع كمية من الماء ، و أضف إليه كمية من الألسان (الألكن) 2– ميثيل بوت–2–ن 2-méthylbut-2-ène المنحلة في رابع كلور الميثان CCl_4** .

ـ **ماذا تلاحظ عند الخلط ؟** ..... (نلاحظ زوال اللون البني لمحلول البروم مباشرة بعد إمتزاجه بالألسان العديم اللون) .

ـ **كيف أصبح لون الخليط ؟** ..... (يصبح عديم اللون) .

ـ **إستنتج على ضوء نتائج هذه التجارب كاشفاً للألسانات** ..... (النتائج السابقة تجعلنا نقول أنه للكشف عن الألسانات نستعمل دوماً محلول البروم البني اللون الذي بتفاعله مع هذه المركبات ينتج دوماً مركب عضوي عديم اللون) .

4°) الكشف عن الأمينات :

4°- أ) تعريف : الأمينات مركبات عضوية آزوتية صيغتها العامة من الشكل : $C_nH_{2n+3}N$ و تصنف الى ثلاثة أصناف رئيسية :

ـ **أمينات أولية : RNH_2 .**

ـ **أمينات ثانوية : R_1NHR_2 .**

ـ **أمينات ثالثية : $R_1R_2R_3N$.**

ـ يمكن إعتبار الأمينات ناتجة بالأساس من النشادر NH_3 بإستبدال كل ذرة من ذرات الهيدروجين **H** فيه بجذر ألكيلي **R** .

ـ تعتبر ذرة الآزوت **N** الذرة الوظيفية لمجموعة الأمين ($-NH_2$; $>NH$; $\equiv N$) وهي الزمرة المميزة للأمينات .

4°- ب) تسمية الأمينات :

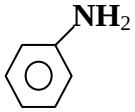
تسمى الأمينات حسب نظام التسمية الدولية المعتمد من قبل (**IUPAC**) تسمية إستبدالية كالتالي :

ـ **حالة الأمينات الأولية** : عادة تستخدم هذه الطريقة بوجه أخص مع الأمينات الأولية حيث يسبق إسم الألكان بإعتباره هو المركب الأصلي الذي تشتق منه صيغة الأمين (الأولي) بالسابقة **أمينو** : (**amino-**) مع الإشارة الى موضع المجموعة الأمينية ($-NH_2$) في السلسلة الفحمية .

أمثلة : H_3C-NH_2 أمينو الميثان *aminométhane* (عادة يسمى تسمية وظيفية : ميثيل أمين *méthylamine*) .

$H_3C-CH_2-CH_2-NH_2$ أمينو - 1 البروبان *amino-1 propane* (عادة : بروبيل أمين *propylamine*) .

$H_3C-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}-CH_3$ أمينو - 2 البروبان *amino-2 propane* .



أمينو البنزين *amino benzène* (فينيل أمين أو الأنيلين : *phénylamine ou aniline*) .

ـ **حالة الأمينات الثانوية و الثالثية** : بالنسبة لطريقة التسمية هذه تعتبر الأمينات الثانوية و الثالثية كمشتقات للأمينات الأولية الموافق لأطول سلسلة فحمية ، حيث يسبق إسم الأمين الأولي ذو السلسلة الفحمية الأطول بإسم المستبدل (حالة الأمين الثانوي) أو بإسمي المستبدلين (حالة الأمين الثالثي) على ذرة الآزوت **N** للمجموعة الأمينية ($-NH_2$) في الأمين الأولي الأصلي .

أمثلة : $C_2H_5-NH-CH_3$: N- ميثيل أمينو الإيثان *N-méthylaminoéthane* (إعتياديًا : إيثيل ميثيل أمين)

$C_2H_5-\underset{\displaystyle C_2H_5}{\underset{|}{N}}-C_2H_5$: N،N- ثنائي إثيل أمينوالإيثان *N,N-diéthylaminoéthane* (إعتياديًا : ثلاثي إيثيل أمين)

● نشاط : ① **تبيان دور ميثيل أمين (أمينوالميثان) في تفاعله مع حمض كلور الهيدروجين المركز** :

التجربة : بلل قضيب من الزجاج بمحلول مركز لحمض كلور الهيدروجين HCl ، ثم بلل قضيب زجاجي آخر بمحلول مركز لميثيل أمين CH_3NH_2 ، و قرب رأسي القضيبين المبللين من بعضهما البعض دون أن يتلامسان .

ـ ماذا تلاحظ عند إقتراب القضيبين المبللين ؟ ..... (عند إقتراب القضيبين يتفاعل كل من حمض كلور الهيدروجين و ميثيل أمين مشكلين **دخانًا أبيضًا**) .

ـ ماهو الدخان المتصاعد ؟ ..... (الدخان المتصاعد هو ملح كلور ميثيل الأمونيوم *Chlorure méthylammonium* CH_3NH_3Cl الناتج وفق معادلة التفاعل المنمذجة للتحول الكيميائي الحادث التالية :

$$HCl + CH_3NH_2 \xrightarrow{\text{تفاعل : حمض ـ أساس}} CH_3NH_3Cl$$

(حمض) (أساس) (ملح أمونيومي رباعي مستقر)

● نشاط : ② **الكشف عن الأمينات** :

التجربة : ضع في أنبوب إختبار كمية من محلول إيثيل أمين (أمينوالإيثان) ، وضع في أنبوب آخر قطرات من كاشف أزرق البروموثيمول .

ـ أي المحلولين له رائحة ؟ ما ميزتها ؟ ..... (المحلول الأميني إثيل أمين له **رائحة كريهة** و التي تشبه رائحة **النشادر**) .

ـ ما لون محلول أزرق البروموثيمول ؟ ..... (أخضر) .

ـ أسكب محلول أزرق البروموثيمول على المحلول الأميني . ماهو لون الخليط ؟ ماذا تستنتج ؟ ..... (يتحول لون الكاشف الملون من لونه الأصلي **الأخضر** الى اللون الأزرق الذي يظهر به في الأوساط الساسية مما يدل على ان **الأمين** مركب **أساسي**) .

ـ إستنتج طريقة للكشف عن الأمينات ..... (للكشف عن الأمينات ـ مركبات أساسية ، نستخدم أحد الكواشف الملونة مثل كاشف أزرق البروموثيمول الذي يتغير لونه الى الأزرق في وجود مركب أميني) .

● نتيجة : **أكمل العبارة التالية :**

أغلب الأمينات لها رائحة (كريهة) ، و تمتاز محاليلها بخاصية (أساسية) ، و تتلون باللون (الأزرق) مع كاشف أزرق البروموثيمول الذي يمكن إستخدامه (ككاشف) للأمينات .

5°) الكشف عن الأحماض الكربوكسيلية :

5°ـ أ) تعريف : الأحماض العضوية الكربوكسيلية مركبات عضوية أكسجينية صيغتها العامة $C_nH_{2n}O_2$ تتميز بزمرتها الوظيفية : $-COOH$ و يمكن بذلك كتابة صيغتها المجملة بالشكل : $R-COOH$.

5°ـ ب) التسمية : يشتق إسم الحمض العضوي الكربوكسيلي من إسم الألكان الموافق (الذي يساويه في عدد ذرات الكربون) مع إضافة كلمة **حمض** (**acide**) في البداية و اللاحقة **...ويك** (**oïque**) في النهاية .

أي : **إسم الحمض = حمض + ألكان + ويك = حمض ألكانويك** .

أمثلة : $HCOOH$ *acide méthanoïque* حمض الميثانويك (إعتياديًا : حمض النمل : *acide formique*) .

CH_3COOH *acide éthanoïque* حمض الإيثانويك (إعتياديًا : حمض الخل : *acide acétique*) .

$(CH_3)_2CHCOOH$ *acide 2-méthylpropanoïque* حمض ميثيل ـ 2 البروبانويك .

● نشاط : ① **الكشف على حمض كربوكسيلي** :

التجربة : ضع في أنبوب إختبار 5 mL من الماء المقطر ، ثم ضف له بضع قطرات من حمض كربوكسيلي بواسطة الماصة .

ـ ما لون المحلول الناتج ؟ ..... (شفاف : عديم اللون) .

ضع في أنبوب آخر 5 mL من الماء المقطر ، ثم ضف له بضع قطرات من كاشف أزرق البروموثيمول .

ـ ما لون المحلول الناتج ؟ ..... (أخضر) .

أمزج المحتويين في أنبوب ثالث . ما لون الخليط الناتج بعد المزج ؟ ..... (أصفر) .

ـ إقترح على ضوء نتائج هذه التجربة طريقة للكشف عن الأحماض الكربوكسيلية ..... (الكشف عن الأحماض الكربوكسيلية نستخدم أحد الكواشف الملونة مثل كاشف أزرق البروموثيمول الذي يتغير لونه من الأخضر الى الأصفر في الوسط الحمضي) .

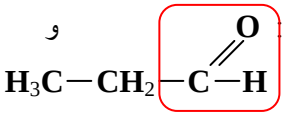
● نتيجة : **إستنتج بإكمال العبارة التالية :**

للكشف عن الأحماض (الكربوكسيلية) ، نستخدم كاشف (أزرق البروموثيمول) الذي يكون لونه الأصلي (مخضرًا) و يتحول الى اللون (الأصفر) بوجود حمض كربوكسيلي في المحلول .

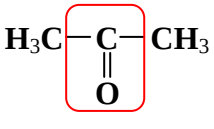
6°) التماكب الوظيفي :

للمتماكبات الوظيفية نفس الصيغة الجزيئية المجملة و صيغها المنشورة (نصف المنشورة) تختلف في الزمرة الوظيفية المميزة لكل منها .

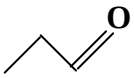
مثال : للصيغة الجزيئية C_3H_6O مماكبان وظيفيان هما :

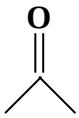


البروبانال (ألدهيد) : *propanal*



البروبانون (كيتون) : *propanone*





● **تطبيق** :

ـ لاحظ الصيغ الجزيئية نصف المفصلة التالية وأكتب الصيغة المجملة لكل جزيء .

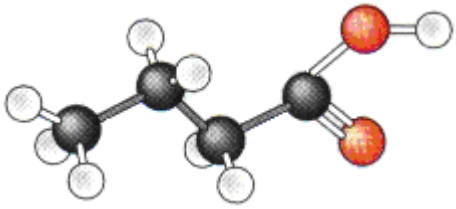
ـ ماهي الزمرة الوظيفية المميزة لكل جزيء ؟ هل تشكل متماكبات ؟ علل .

$H_3C-CH_2-CH_2-COOH$

$HO-CH_2-CH=CH-CH_2-OH$

$H_3C-CHOH-CH_2-CHO$

ـ في الصورة بنية أحد الجزيئات السابقة . ما إسم زمرته المميزة ، و ما إسم عائلته ؟



● **الجواب** : ـ الصيغة الجزيئية المجملة الموافقة لكل مركب هي : $C_4H_8O_2$

ـ الزمر المميزة في المركبات المنمذجة بالصيغ نصف المفصلة أعلاه هي :

- المجموعة الكربوكسيلية الحمضية $-COOH$ في المركب الأول .
- مجموعة الهيدروكسيل الكحولية $-OH$ في المركب الثاني .
- مجموعة الفورميل الألدهيدية $-CHO$ في المركب الثالث .

هناك تشكل للمماكبات إذا حصلنا على مركبات مختلفة في الخواص و مشتركة في الصيغة المجملة .

ـ تبين الصورة نموذج متباعد لجزيء المركب الأول $H_3C-CH_2-CH_2-COOH$ ، وهو **حمض عضوي كربوكسيلي** زمرته الوظيفية المميزة : **مجموعة الكربوكسيل** $-COOH$.

⑤ **المرور من مجموعة مميزة الى أخرى** :

5°-1) إماهة الألسان (الألكن) :

● نشاط : **إماهة الإيثيلين (الإيثن)** :

التجربة : خذ حجمًا من غاز الإيثيلين C_2H_4 ، و ضعه في أنبوب إختبار . أنكسه وأدخل فوهته في حوض به ماء محمض بحمض الكبريت ثم سخن الكل . إنتظر قليلاً . ماذا تلاحظ ؟ ..... (لاحظ صعود الماء في أنبوب الإختبار) .

ـ ماهي المادة التي حصلت عليها ؟ كيف تعلل إجابتك ؟..... (المادة المتحصل عليها عبارة عن **كحول** ، و يمكن التأكد من ذلك بالكشف عن المادة الناتجة) .

ـ أكتب معادلة التفاعل ..... ($H_2C=CH_2 + H_2O \underset{300\ °C}{\overset{H_2SO_4}{\rightleftharpoons}} H_3C-CH_2-OH$)

ـ هل يمكن إستغلال هذا التفاعل لإنتاج هذه المادة بكميات كبيرة ؟ علل

(يستغل هذا التفاعل في المصنع من أجل إنتاج هذه المواد صناعيًا أي التحضير الصناعي للكحولات بإماهة الألسانات بالرغم من أن التفاعل محدود و يتم بمردود ضعيف ويتم فيه الحصول على محلول ممدد للكحول والذي يتم تركيزه فيما بعد بالتقطير ، أما الألكن (الألسان) المتبقى فيتم إسترجاعه . إلا أن كل هذه الصعوبات التقنية لا تحد من الإنتاج الصناعي لكميات كبيرة من الكحولات بهذه الطريقة) .

5°-2) نزع الماء من الكحول :

● نشاط : **تشكيل الألسان بنزع الماء في وسط حمضي للكحول ميثيل ـ 2 بوتانول ـ 2** :

معادلة التفاعل :

$$\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\diagdown\!\diagup}}\text{COH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \xrightarrow[\text{H}_2\text{SO}_4]{\text{نزع الماء داخل الجزيئات}} \underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{H}}{\diagdown}}\text{C}=\text{C}\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\diagup}} + \text{H}_2\text{O}$$

التجربة : نحصل بتفاعل نزع الماء من الكحول الثنائي **2 – ميثيل بوتان – 2 – أول** : *2-méthylbutan-2-ol* في وساطة حامضية من حمض الكبريت المركز H_2SO_4 (مادة شرهة للماء) على الألسان **2 – ميثيل بيوت – 2 – ن** : *2-méthylbut-2-ène* ، و يعرف هذا التفاعل بـ : **تفاعل نزع الماء داخل الجزيئات** *Déshydratation* ***intramoléculaire*** أي نزع الماء من جزيئة واحدة للكحول رفقة تشكل الألسان الموافق ، و في تجربة أخرى بشروط تجريبية أخرى يمكن نزع جزيئة ماء من جزيئين كحوليين و ينتج عن ذلك مركب عضوي هو **الإيثر أوكسيد** و التفاعل يعرف في هذه الحالة بـ : **تفاعل نزع الماء مابين الجزيئات** *Déshydratation* ***intermoléculaire***

3-°5) الأكسدة المقتصدة للكحول :

3-°أ) المؤكسد بالنقصان : ***Oxydant en défaut***

تفاعل الأكسدة المقتصدة (المدبرة أو الوسيطية) : **Oxydation ménagée** هو تفاعل أكسدة لطيفة غير عنيف لا يؤدي الى تخريب الجزيء و إنما يحافظ هذا الأخير على شكله و هيكله على العكس من تفاعلات الإحتراق التي تقود الى تحطيم الهيكل الكربوني للجزيء .

● نشاط : **الأكسدة المقتصدة للإيثانول بمحلول محمض من برمنغنات البوتاسيوم** :

التجربة : ضع في حوجلة 6 mL من الإيثانول النقي ثم 1 mL من حمض الكبريت المركز و 2 mL من برمنغنات البوتاسيوم (0,2 mol/L) مع التسخين بلطف . أغلق الحوجلة بسدادة لها فتحة يمر من خلالها أنبوب توصيل بكأس بيشر موجودًا بحوض مليء بالثلج (أو ماء جليدي) لتكثيف المادة البخارية الناتجة عن التفاعل (القطارة).

ـ أكتب الصيغة نصف المفصلة للكحول المتفاعل . هل هو كحول أولي أم ثاني ؟ ..... (CH_3CH_2OH : كحول أولي) .

ـ إنتظر قليلاً حتى تحصل على القطارة (تكاثف البخار) ، أسكب 0,5 mL من كاشف D.N.P.H في أنبوب إختبار ثم ضف بضع قطرات من القطارة . لاحظ و صف ما يحدث . هل تحتوي القطارة على الزمرة المميزة المسماة بمجموعة الكربونيل ؟ علل

(نلاحظ تشكل راسب أصفر برتقالي بللوري مما يدل على أن القطارة الناتجة عن تفاعل الكحول مع المحلول المؤكسد هي مادة عضوية كربونيلية تحتوي على مجموعة الكربونيل $\text{C}=\text{O}$) .

ـ ضع 1 mL من محلول فهلنغ أو كاشف شيف في أنبوب إختبار ، ثم ضف إليه بضع قطرات من القطارة . سخن في حمام مائي ماذا تلاحظ ظ ماذا تستنتج ؟ ..... (مع محلول فهلنغ يتشكل راسب أحمر قرميدي ، أما مع كاشف شيف فإنه يتورد مما يدل في الحالتين على أن القطارة عبارة عن الألدهيد : الإيثانال CH_3CHO الذي يتميز برائحة شبيهة لرائحة التفاح) .

ـ إستنتج المجموعة المميزة التي يحتويها النوع الكيميائي الموجود في القطارة و الناتج من التفاعل الكيميائي الحادث بين الكحول و برمنغنات البوتاسيوم . أكتب معادلة التفاعل الحادث . إستنتج إسم و صيغة المركب الناتج .

(المجموعة المميزة للنوع الكيميائي المتشكل من تفاعل الكحول الأولي مع المحلول المؤكسد هي الزمرة الألدهيدية المسماة بمجموعة الفورميل **CHO**– أي أن المجموعة المميزة للكحول الأولي **CH_2OH**– تتحول الى المجموعة المميزة للألدهيد **CHO**– في وجود نقصان من المؤكسد .

معادلة التفاعل :

ـ نصف معادلة الأكسدة : تخص الثنائية **(CH_3CHO/CH_3CH_2OH) : $(RCHO/RCH_2OH)$**

$$5\times[CH_3CH_2OH \xrightarrow{\text{أكسدة}} CH_3CHO + 2H^+_{(aq)} + 2e^-]$$

ـ نصف معادلة الارجاع : تخص الثنائية **(MnO_4^-/Mn^{2+}) :**

$$2\times[MnO_4^- + 8H^+_{(aq)} + 5e^- \xrightarrow{\text{إرجاع}} Mn^{2+} + 4H_2O]$$

ـ المعادلة الاجمالية : أكسدة ـ إرجاع

$$\underset{\text{(الإيثانول)}}{5CH_3CH_2OH} + 2MnO_4^- + 6H^+_{(aq)} \xrightarrow[\text{المؤكسد بالنقصان}]{\text{أكسدة ـ إرجاع}} \underset{\text{(الإيثانال)}}{5CH_3CHO} + 2Mn^{2+} + 8H_2O$$

● نتيجة :

عند تفاعل الكحول الأولي (الإيثانول) مع (برمنغنات البوتاسيوم) الموجود بكمية (قليلة) ، نسمي التفاعل (أكسدة مقتصدة) و يكون ناتج التفاعل (ألدهيدًا) .

3-°ب) المؤكسد بالزيادة : ***Oxydant en excès***

التجربة : ضع في إرلينة ماير *Erlenmeyer* على الترتيب 9 قطرات (كمية قليلة جدًا) من الإيثانول النقي ثم حوالي 1 mL من حمض الكبريت المركز مع 16 mL من محلول برمنغنات البوتاسيوم (كمية وفيرة منه) .

ـ ضف للمزيج المتفاعل بعد فترة قطرات من كاشف أزرق البروموثيمول . هل يتغير لونه ؟ ..... (يتلون باللون الأصفر) .

ـ ماهي العائلة الكيميائية التي ينتمي إليها المركب الناتج من التفاعل ؟ أكتب معادلة التفاعل الحادث .

(تغير لون الكاشف الملون دليل على وجود حمض عضوي كربوكسيلي نتج عن أكسدة الكحول الأولي بمحلول محمض من برمنغنات البوتاسيوم و في وجود وفرة من المؤكسد .

معادلة التفاعل :

ـ نصف معادلة الأكسدة : تخص الثنائية **(CH_3COOH/CH_3CH_2OH) : $(RCOOH/RCH_2OH)$**

$$5\times[CH_3CH_2OH + H_2O \xrightarrow{\text{أكسدة}} CH_3COOH + 4H^+_{(aq)} + 4e^-]$$

ـ نصف معادلة الإرجاع : تخص الثنائية **(MnO_4^-/Mn^{2+}) :**

$$4\times[MnO_4^- + 8H^+_{(aq)} + 5e^- \xrightarrow{\text{إرجاع}} Mn^{2+} + 4H_2O]$$

ـ المعادلة الإجمالية : أكسدة ـ إرجاع

$$\underset{\text{(الإيثانول)}}{5CH_3CH_2OH} + 4MnO_4^- + 12H^+_{(aq)} \xrightarrow[\text{المؤكسد بالزيادة}]{\text{أكسدة ـ إرجاع}} \underset{\text{(حمض الإيثانويك)}}{5CH_3COOH} + 4Mn^{2+} + 11H_2O$$

● نتيجة :

الأكسدة المقتصدة لكحول أولي (بزيادة) من المؤكسد ينتج عنها (حمضًا كربوكسيليًا) .

4) 5°- المرور من الكحول الى المشتق الهالوجيني:

التجربة : ضع في إرلينة مايير سعتها 250 mL المواد التالية : 1 g من كلور الكالسيوم اللامائي ، 25 mL من الكحول الإيثيلي و 60 mL من حمض كلور الماء المركز ، رج الخليط و أتركه لمدة 25 دقيقة ثم ضعه في حبابة الفصل *Ampoule à décanter* ، أترك الخليط بعدها يهدأ لمدة 3 دقائق ثم تخلص من المادة السائلة (الطور المائي) . ضف 20 mL من الماء المقطر الى الحبابة و رج جيدًا ثم تخلص من السائل . كرر العملية بعد إضافة محلول كربونات الصوديوم الحامضية مع الرج لبضع دقائق و التخلص من الطور المائي . أغسل جيدًا الطور العضوي المتحصل عليه بالماء المقطر .

ـ ماهي عملية الترشيح ؟ و ما الفرق بينها و بين عمليتي التقطير و الإبانة ؟ ..... (عملية الترشيح هي عملية الفصل بين مادتين بواسطة ورق ترشيح و بعض الأدوات الأخرى : قمع زجاجي ، كؤوس بيشر ، ... الفرق بينها و بين عمليتي التقطير و الإبانة هو أن عملية التقطير تعتمد أساسًا على نقاط الغليان للمواد الممتزجة أثناء الفصل بينها ، و هي الطريقة الأدق مقارنة مع عمليتي الترشيح و الإبانة بينما هذه الأخيرة فهي عملية فصل بين المواد و الخلائط عن طريق التركيد والترسيب بترك مكونات الخليط الواحد لتهدأ و تترسب لمدة كافية من الزمن) .

ـ أكتب معادلة التفاعل الحاصل بين الكحول و حمض HCl . ما إسم المادة العضوية الناتجة ؟

(معادلة التفاعل الحاصل بين كحول أحادي مشبع أولي الصنف و حمض كلور الهيدروجين عمومًا تكتب بالشكل التالي :

$$R-CH_2OH + H-Cl \longrightarrow R-CH_2Cl + H_2O$$

مع الإيثانول مثلاً :

$$CH_3-CH_2OH + H-Cl \longrightarrow CH_3-CH_2Cl + H_2O$$

و عمومًا تفاعل كحول أحادي مشبع **ROH** مع أحد الأحماض الهيدروجينية **HX** يعطي مشتقًا هالوجينيًا **RX** وفق المعادلة :

$$ROH + HX \longrightarrow RX + H_2O$$

تطبيقات :

I) تمارين حول الفحوم الهيدروجينية :

■ حل التمرين : 1

ـ الكيمياء العضوية هي كيمياء الكربون بإستثناء أكاسيد الكربون CO ، CO_2 والكربونات ...

ـ تأخرت الكيمياء العضوية عن بقية الفروع الأخرى كون أن الكيمياء العضوية التي تهتم بدراسة المركبات العضوية كان يعتقد أن هذه الأخيرة تصنع من المواد الحية ولايمكن صناعتها في المخبر .

ـ أسماء الكيميائيين الذين ساهموا في تنمية الكيمياء العضوية ، و أهمية الكيمياء العضوية في الحياة المعاشة ... (راجع الكراس أو الكتاب المدرسي) .

■ حل التمرين : 2

ـ البوتان هو ألكان (فحم هيدروجيني مشبع) صيغته الجزيئية من الشكل C_nH_{2n+2} حيث : $n = 4$.

ـ الإيثانال هو ألدهيد زمرته الوظيفية $-CHO$ (مجموعة الفورميل) صيغته الجزيئية من الشكل $C_nH_{2n}O$ حيث : $n = 2$.

ـ تكملة الجدول :

الصيغة العامة	إسم العائلة	الصيغة . ن . المفصلة	المركب
CH_4	ألكان	CH_3-H	*Méthane* : الميثان
C_3H_8	ألكان	$CH_3-CH_2-CH_3$	*Propane* : البروبان
CH_4O	كحول	CH_3-OH	*Méthanol* : الميثانول
C_3H_6O	كيتون	$CH_3-CO-CH_3$	*Propanone* : البروبانون
CH_2O	ألدهيد	$H-CHO$	*Méthanal* : الميثانال
$C_2H_4O_2$	حمض كربوكسيلي	CH_3-COOH	*Acide éthanoïque* : حمض الإيثانويك

■ حل التمرين : 3

ـ الصيغ نصف المفصلة الممكنة للمركب الذي صيغته المجملة C_5H_{12} مع التسمية :

$CH_3(CH_2)_3CH_3$ ؛ $(CH_3)_2CHCH_2CH_3$ ؛ $(CH_3)_3CCH_3$

البنتان (*pentane*) ؛ 2 – ميثيل البوتان (*2-méthylbutane*) ؛ 2،2 – ثنائي ميثيل البروبان (*2,2-diméthylpropane*)

ـ الصيغة العامة للألكانات : RH .

ـ هذا المركب : $CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$ يسمى بوتان (*Butane*) .

ـ هذا المركب : $CH_3-CH=CH_2$ يسمى بروبن (*propène*) .

ـ هذا المركب : $CH_3-CH_2-CH_3$ يسمى بروبان (*propane*) .

ـ حسب نظام IUPAC هذا المركب $CH_3-CHCl-CH=CH_2$ يسمى : 3–كلوروبيوت–1– ن (*3-chlorobut-1-ène*) .

ـ حسب نظام IUPAC ، $CH_3-CCl_2-CH=CH_2$: 3،3 – ثنائي كلوروبيوت–1– ن (*3,3-dichlorobut-1-ène*)

■ حل التمرين : 4

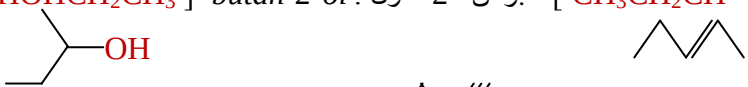
جدول أسماء المركبات و عائلاتها و كتابتها الطوبولوجية

$H_3C-CH-CH-CH_3$ (CH3 و CH3) ثنائي ميثيل - 2،2 البوتان (ألكان)	$H_3C-CH_2-CH=CH-CH_3$ بنتن - 2 (ألكن : ألسان)	$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$ (CH2-CH3 و CH3) ثلاثي ميثيل - 3،3،5 الهبتان (ألكان)
$H_3C-CH_2-C=CH_2$ (CH3) ميثيل - 2 البوتن - 1 (ألكن : ألسان)	$H_3C-CH_2-CH-CH-CH_3$ (CH2-CH3 و CH3) إيثيل - 3، ميثيل - 2 البنتان	$H_3C-CH-CH_2-CH-CH_3$ (CH2-CH3 و CH3) إيثيل - 2، ميثيل - 4 البنتان (ألكان)
$H_3C-CH-CH_2-CH_3$ (CH3) ميثيل - 2 البوتان (ألكان)	$H_3C-CH=CH-CH_2-CH_3$ بنتن - 2 (ألكن : ألسان)	$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-OH$ بوتانول - 1 (كحول أولي)
$H_3C-COH-CH_3$ (CH3 و OH) ميثيل - 2 بروبانول - 2 (كحول ثالثي)	$H_5C_2-CH-COOH$ (CH3) حمض (حمض كربوكسيلي) ميثيل - 2 البوتانويك	$H_3C-C-CH_3$ (CH3 و CH3) ثنائي ميثيل - 2،2 البروبان (ألكان)
$H_3C-CH=CH_2$ (CH3) ميثيل - 3 بوتن - 1 (ألكن : ألسان)	$C_3H_7-NH_2$ أمينو - 1 البروبان (أمين أولي)	$H_3C-CHOH-CH_2-CH_3$ (OH) بوتانول - 2 (كحول ثانوي)

■ حل التمرين : 5

الصيغ نصف المنشورة للمركبات و كتابتها الطوبولوجية

• بنت–2– ن : *pent-2-ène* [$CH_3CH_2CH{=}CHCH_3$] • بوتان– 2– أول : *butan-2-ol* [$CH_3CHOHCH_2CH_3$]



• بوتين - 1 : *but-1-yne* [$CH_3CH_2C{\equiv}CH$]

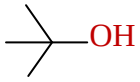
• كلور - 1، ميثيل - 2 البروبان : *1,2-chlorométhyl propane* [$(CH_3)_2CHCH_2Cl$]

• ثنائي ميثيل - 2،2 بروبانول - 1 : *2,2-diméthylpropan-1-ol* [$(CH_3)_3CCH_2OH$]

• حمض ميثيل - 2 البروبانويك : *acide 2-méthylpropanoïque* [$(CH_3)_2CHCOOH$]

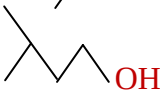
• ميثيل - 2 البروبان : *2-méthyl propane* [$(CH_3)_2CHCH_3$]

• ميثيل - 3 بوتن - 1 : *3-méthylbut-1-ène* [$(CH_3)_2CHCH{=}CH_2$]

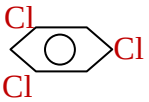


• ميثيل - 2 بروبانول - 2 : *2-méthylpropan-2-ol* [$(CH_3)_3COH$]

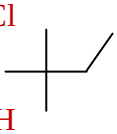
• ميثيل - 3 البنتان : *3-méthylpentane* [$(C_2H_5)_2CHCH_3$]



• ميثيل - 3 بوتانول - 1 : *3-méthylbutan-1-ol* [$(CH_3)_2CHCH_2CH_2OH$]

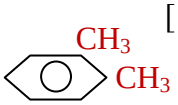


• ثلاثي كلور - 1،3،5 البنزين : *1,3,5-trichlorobenzène*



• ثنائي ميثيل - 2،2 البوتان : *2,2-diméthylbutane* [$(CH_3)_3CC_2H_5$]

• حمض البروبانويك : *acide propanoïque* [C_2H_5COOH]



• ثنائي ميثيل - 2،1 البنزين : *1,2-diméthylbenzène*

■ حل التمرين : 6

الإيثن ؛ كلور الإيثان ؛ ميثيل -2 بروبانول -2

II) تمارين حول المجاميع الوظيفية لبعض المركبات العضوية :

■ حل التمرين : 1

خاطئة ؛ صحيحة ؛ صحيحة ؛ صحيحة ؛ $-COOH$ ؛ $-CHO$ ؛ $R-CHO$ ؛ $R-OH$.

■ حل التمرين : 2

كحول ميثيلي ؛ ميثانول ؛ بروبان– 2 – أول (*propan-2-ol*) ؛ كحول إيزوبروبيلي ؛ بوتان– 2 – أول (*butan-2-ol*) ؛ 3 – ميثيل بوتان – 2 – أول (*3-méthylbutan-2-ol*) ؛ 2 – ميثيل بوتان – 2 – أول (*2-méthylbutan-2-ol*) .

■ حل التمرين : 3

• الكحول الأولي قابل للأكسدة مرتين و الكحول الثالثي غير قابل للأكسدة ... **الكحول الأولي يتأكسد على مرحلتين بسبب إحتواء ذرة الفحم الوظيفي في جزيئه على ذرتي هيدروجين H ($-CH_2-OH$) معطيًا في المرحلة الأولى الألدهيد الموافق ليتأكسد هذا الأخير بدوره معطيًا الحمض الكربوكسيلي الموافق ، و لا تحدث المرحلة الأخيرة هذه من التفاعل إلا في وجود زيادة من المؤكسد ؛ بينما الكحول الثالثي لايقبل الأكسدة المقتصدة أصلاً لعدم إحتواء ذرة الفحم الوظيفي في جزيئه على ذرات هيدروجين H ($-\overset{|}{\underset{|}{C}}-OH$) .**

• درجة غليان الكحولات تزداد بزيادة الوزن الجزيئي ... **تتعلق درجة غليان الكحول بعدد ذرات الفحم المكونة لجزيئه أي بطول السلسلة الفحمية للجزيء و شكلها ، بالتالي تزداد درجة الغليان بزيادة الكتلة المولية للجزيء أو الوزن الجزيئي .**

• درجة غليان الكحول أعلى من درجة غليان الهيدروكربون الذي يقاربه في الوزن الجزيئي ... **تكون درجات غليان الكحولات أعلى من درجات غليان الفحوم الهيدروجينية المماثلة لها في الكتلة المولية تقريبًا بسبب الترابط الجزيئي مابين جزيئات الكحول و تماسكها فيما بينها لأنها مركبات وظيفية ذات جزيئات مستقطبة وإنعدام ذلك بالنسبة للهيدروكربونات .**

• تذوب بعض الكحولات بالماء ... **الحدود الأولى من الكحولات تنحل في الماء بنسب متفاوتة تتعلق بطول سلاسلها الفحمية نظرًا للتشابه الكائن بين جزيئات الماء و جزيئات الكحول (خاصية الإستقطاب : طبقًا للمثل الشائع ـ الطيور على أشكالها تقع ـ *Qui se ressemble s'assemble*) إلا أن قابلية الإنحلال هذه تقل أو تنعدم بزيادة طول السلسلة الفحمية أو بزيادة الوزن الجزيئي للكحول لذلك الحدود العليا من الكحولات لاتنحل في الماء .**

• تتفاعل الكحولات مع الصوديوم ... **تتفاعل الكحولات ROH مع معدن الصوديوم Na (مرجع قوي جدًا) ويرافق ذلك إنطلاق غاز ثنائي الهيدروجين H_2 وفق المعادلة : أكسدة ـ إرجاع**

$$ROH + Na \longrightarrow (RO^- + Na^+) + \tfrac{1}{2} H_2\uparrow$$

ألكانولات الصوديوم ثنائي الهيدروجين

• تقل الإنحلالية للكحولات بزيادة الوزن الجزيئي ... **نعم كما أسلفنا فإن إنحلال الكحولات في الماء يقل بزيادة الوزن الجزيئي للكحول أي بزيادة طول السلسلة الفحمية .**

■ حل التمرين : 4

صحيح ؛ صحيح ؛ خطأ ؛ صحيح ؛ صحيح ؛ خطأ ؛ صحيح ؛ صحيح ؛ صحيح .

■ حل التمرين : 5

① $C_2H_5OH + NaNH_2 \longrightarrow C_2H_5ONa + NH_3\uparrow$

② $2CH_3OH + 2Na \longrightarrow 2CH_3ONa + H_2\uparrow$

③ $(CH_3)_2CHBr + NaOH \longrightarrow (CH_3)_2CHOH + NaBr$

④ $CH_3CH{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} (CH_3)_2CHOH$

⑤ $C_2H_5OH + HCl \longrightarrow C_2H_5Cl + H_2O$

■ حل التمرين : 6

1) ـ معادلة تفاعل الإحتراق : $C_xH_yO_z + (x-z/2+y/4)O_2 \longrightarrow xCO_2 + (y/2)H_2O$

• حساب m_C ؛ m_H ؛ m_O الكائنة في كتلة العينة المتفاعلة من المركب : $m = 7,4\ g$

ـ يحترق الفحم متحولاً الى غاز ثنائي أكسيد الفحم وفق المعادلة : $C + O_2 \longrightarrow CO_2$

بالتالي : $m_C = m_{CO2}\,[M_C/M_{CO2}] = 17,7\,(12/44) = 4,83\ g$

ـ يحترق الهيدروجين متحولاً الى بخار الماء وفق المعادلة : $H_2 + O_2 \longrightarrow ½\ H_2O$

بالتالي : $m_H = m_{H2O}\,[2M_H/M_{H2O}] = 9,04\,(2/18) = 1,00\ g$

ـ لدينا : $m = m_C + m_H + m_O \Rightarrow m_O = m - (m_C + m_H) = 7,4 - (4,83 + 1,00) = 1,57\ g$

ـ دستور آفوغادرو ـ آمبير ⇐ الكتلة المولية الجزيئية التقريبية للمركب : $M = 29.d$

بالتالي : $M = 29 \times 2,55 = 73,95\ g/mol \simeq 74\ g.mol^{-1}$

ـ النسب المئوية الكتلية للعناصر المكونة للمركب : $C\% = 100\ m_C/m = 100\ m_{CO2}\,[M_C/m.M_{CO2}] = 65,27\ \%$

• بنفس الطريقة فإن : $H\% = 100\ m_H/m = 100\ m_{H2O}\,[2M_H/m.M_{H2O}] = 13,51\ \%$

$O\% = 100\ m_O/m = 100 - [C\% + H\%] = 21,22\ \%$

ـ مما سبق يكون لدينا : $\boxed{M/100 = 12x/C\% = y/H\% = 16z/O\%}$

ـ الصيغة المجملة للمركب :

$$C_4H_{10}O \longleftrightarrow \begin{cases} x = 4 \Leftarrow x = M.C\%/100.M_C = (74\times65,27)/1200 = 4 \\ y = 10 \Leftarrow y = M.H\%/100.M_H = (74\times13,51)/100 = 10 \\ z = 1 \Leftarrow z = M.O\%/100.M_O = (74\times21,22)/1600 = 1 \end{cases}$$

2) بما أن المركب $C_4H_{10}O$ يتفاعل مع معدن الصوديوم و يرافق ذلك إنطلاق غاز ثنائي الهيدروجين H_2 فإن المركب عبارة عن كحول أحادي مشبع : ROH زمرته الوظيفية المميزة هي مجموعة الهيدروكسيل $-OH$ ، و الصيغة المجملة له تحديدًا هي : C_4H_9OH ، و له مجموعة من المتماكبات الكحولية (**أولية ، ثانوية ، ثالثية**) .

3) معادلة التفاعل الحادث بين الكحول و معدن الصوديوم : $2C_4H_9OH + 2Na \longrightarrow 2C_4H_9ONa + H_2\uparrow$

بوتانولات الصوديوم

ـ كتلة المركب العضوي الناتج و حجم غاز ثنائي الهيدروجين المنطلق :

كمية مادة الكحول المتفاعلة : $n = m/M = 7,4/74 = 0,1\ mol$ ⇐ كمية مادة المركب العضوي الناتج : $n = 0,1\ mol$ ،

بينما كمية مادة الغاز المنطلق هي : $n' = n/2 = 0,05\ mol$ (حسب المعادلة)

بالتالي : ـ كتلة C_4H_9ONa الناتجة : $m = n.M = 0,1\times96 = 9,6\ g$

ـ حجم H_2 المنطلق (في الشروط النظامية : $V_0 = 22,4\ L/mol$) : $V = n'.V_0 = 0,05\times22,4 = 1,12\ L$

■ حل التمرين : 7

1) ـ معادلة تفاعل تحضير كحول بإماهة ألكن : $\underset{(أ)}{C_nH_{2n}} + H_2O \longrightarrow \underset{(ب)}{C_nH_{2n+1}OH}$

2) ـ معادلة تفاعل الإحتراق : $C_nH_{2n+1}OH + (3n/2)O_2 \xrightarrow{\text{تام}} nCO_2 + (n+1)H_2O$

ك ب ⟶ ك$_1$ + ك$_2$

ـ حساب قيمة n عدد ذرات الكربون في جزيء الكحول (ب) :

• المعادلة : ⇐ ك$_1$\ك$_2$ = $18(1+n)\backslash44n$ ..... (1)

• التجربة : ⇐ ك$_1$\ك$_2$ = $6\backslash11$ ..... (2)

من (1) و (2) نجد : $6\backslash11 = 18(1+n)\backslash44n$ ⇐ $\boxed{n = 3}$ ..... (عدد ذرات الفحم في جزيء الألكن ـ أ ـ و الكحول ـ ب ـ)

ـ الصيغتين الجزيئيتين المجملتين للألكن (أ) و الكحول (ب) :

• الألكن (أ) : C_nH_{2n} $\xleftrightarrow{n\ =\ 3}$ C_3H_6 ..... **(البروبن :** ألكن لا تناظري **) .**

• الكحول (ب) : $C_nH_{2n+1}OH$ $\xleftrightarrow{n\ =\ 3}$ C_3H_7OH ..... **(البروبانول :** له مماكبين كحوليين **) .**

ـ الصيغة الجزيئية النصف مفصلة لكل من (أ) و (ب) :

• كما أسلفنا : الألكن C_3H_6 لاتناظري صيغته نصف المفصلة : $H_3C-CH=CH_2$

• إماهة **ألكن لاتناظري** تعطي نظريًا متماكبين كحوليين لنفس الكحول و **عمليًا** ينتج أحدهما **بأفضلية** وهو المتماكب الكحولي ذو **الصنف الأعلى** (التي تتحقق لأجله قاعدة **ماركوف نيكوف**) والآخر بآثار طفيفة مهملة بالتالي الصيغة نصف المفصلة للكحول C_3H_7OH هي : $H_3C-CHOH-CH_3$ ..... (البروبان– 2– أول : كحول ثانوي) .

■ حل التمرين : 8

الإيثانول ؛ بوتان– 2– أول ؛ البروبان– 2– أول ؛ الإيثن (الإيثيلين)

■ حل التمرين : 10

الألدهيد ؛ $\diagdown C=O \diagup$ **؛ الأسيتون(الخلون) ؛ الألدهيد ؛ الأسيتون**

■ حل التمرين : 11

صحيح ؛ خطأ ؛ خطأ ؛ صحيح ؛ خطأ ..... (على الترتيب)

■ حل التمرين : 12

الأحماض العضوية ؛ حمض الزبدة (البيوتريك) ؛ حمض3 – بروم البوتانويك ؛ حمض3 – ميثيل البوتانويك .

■ حل التمرين : 14

صحيح ؛ صحيح ؛ صحيح ؛ خطأ ؛ خطأ

■ حل التمرين : 15

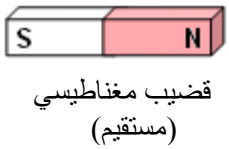
الأمين الثالثي ؛ إيثيل ثنائي ميثيل أمين ؛ ثنائي إيثيل أمين ؛ بروبيل أمين

- **المجال** : الظواهر الكهربائية
- **الوحدة** ① : مفهوم الحقل المغناطيسي
- **الكفاءات المستهدفة:** ـ يعرف الطابع الشعاعي للحقل المغناطيسي و يمثله .
  ـ يقدر قيم بعض الحقول المغناطيسية .
  ـ يوظف المغناطيسية في الحياة اليومية .

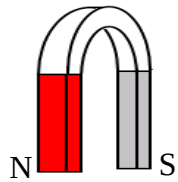
1 ـ 1) مشاهدات أولية : تذكير حول المغانط

1°ـ 1) تعريف المغناطيس : المغناطيس هو كل جسم يمتاز بخاصية جذب برادة الحديد و الفولاذ و النيكل و الكوبالت ، و كل السبائك التي تحتوي هذه المعادن .

ـ يمتاز المغناطيس مهما كان شكله (لاحظ الشكل المرفق) بمنطقتين تتكثف فيهما برادة الحديد عند تقريبه منها ، نسمي هاتين المنطقتين بـ : قطبا المغناطيس .



قضيب مغناطيسي
(مستقيم)



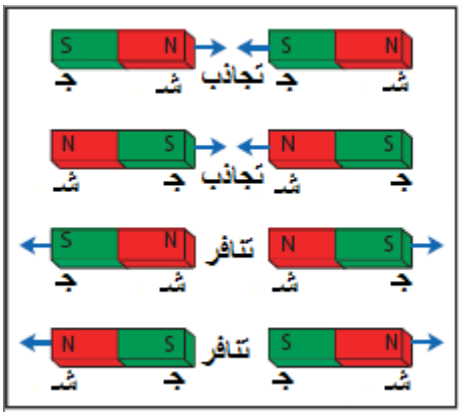
حدوة فرس (حرف U)

1°ـ 2) المغانط الدائمة و المغانط المؤقتة :

ـ المغناطيس الدائم : هو كل جسم يمتلك خاصية المغناطيس (جذب برادة الحديد) ، و يحافظ عليها بإستمرار .
ـ المغناطيس المؤقت : هو كل جسم يمتلك خاصية المغناطيس في ظروف معينة أو تحت تأثير مغناطيس دائم ، و يفقد هذه الخاصية عند غياب هذه الظروف أو زوال التأثير .

1°ـ 3) قطبا المغناطيس :

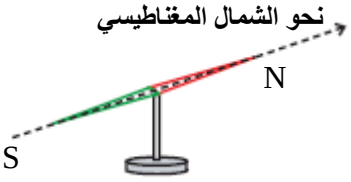
- **نشاط** : للمغناطيس قطبان مختلفان
- **نتيجة** : إستنتج بإكمال الفراغات



للمغناطيس قطبان يجذبان برادة الحديد والمواد الحديدية بنفس الكيفية ، لكن نلاحظ أن أحد قطبي المغناطيس الأول يجذب أحد قطبي المغناطيس الثاني عند تقريبه منه وينفر القطب الآخر إذا قرب منه . و يحدث العكس عند قلب المغناطيس الأول .
نستنتج أن للمغانط قطبين من نوعين مختلفين ، حيث أن قطبين من نفس النوع يتنافران وأن قطبين من نوعين مختلفين يتجاذبان .

1°ـ 4) تحديد قطبي المغناطيس :

4 ـ أ) تذكير حول البوصلة : البوصلة عبارة عن إبرة فولاذية ممغنطة يمكنها الدوران حول محور شاقولي في مستو أفقي ، تستعمل لتحديد الشمال (لاحظ الشكل المقابل) . عندما تكون البوصلة بعيدة عن التأثيرات المغناطيسية مثل مغناطيس بجوارها أو قطعة حديدية فإن الإبرة تأخذ وضعًا موازيًا تقريبًا للخط الجغرافي " شمال ـ جنوب " ، لذا أصطلح على تسمية قطبها الموجه نحو الشمال بالقطب الشمالي N ، و الآخر قطبها الجنوبي S .

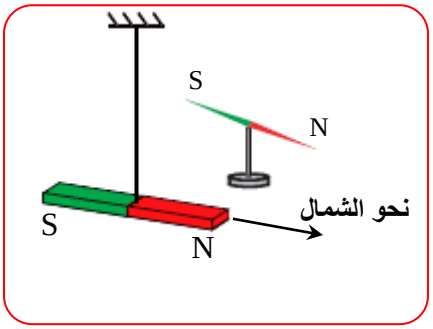


إبرة مغناطيسية

4 ـ ب) كيف نعين قطبي المغناطيس ؟

ـ خذ قضيبًا مغناطيسيًا مستقيمًا و علقه بواسطة خيط مثبت في منتصفه بحيث يمكث في وضع أفقي تقريبًا وأنتظر الى أن يستقر كما في الشكل المقابل ... لاحظ الوضع الذي يستقر فيه القضيب .
ـ أحظر بوصلة و قارن وضعها مع وضع القضيب . ماذا تستنتج ؟

- **نتيجة** : نستنتج أن المغناطيس عمومًا له قطبان مغناطيسيان متقابلان هما :
  ـ **القطب الشمالي N** : و هو القطب الموجه نحو الشمال المغناطيسي بجوار القطب الشمالي الجغرافي للأرض .
  ـ **القطب الجنوبي S** : و هو القطب الموجه نحو الجنوب المغناطيسي بجوار القطب الجنوبي الجغرافي للأرض .

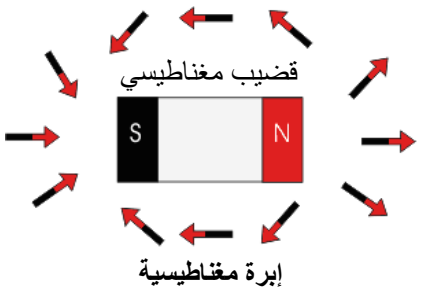


1 ـ 2) مفهوم الحقل المغناطيسي :

2°ـ 1) تعريف الحقل المغناطيسي : الحقل المغناطيسي هو مجموعة الخصائص المغناطيسية التي تمتاز بها كل نقطة من نقاط الفضاء الذي يخيم فيه هذا الحقل ، بحيث تتجلى هذه الخصائص في تأثير ميكانيكي على إبرة بوصلة موضوعة في نقطة ما منه .

- **نشاط** : ضع ثلاث أو أربع بوصلات متباعدة عن بعضها في أماكن مختلفة و كيفية بعيدة عن كل تأثير مغناطيسي خارجي

(قطع حديدية ، مغانط ، ...) . لماذا ؟ ..... (كي لا تخضع هذه البوصلات لأي تأثير مغناطيسي خارجي)
ـ لاحظ أوضاع هذه البوصلات . ماذا تستنتج ؟ ..... (كلها تأخذ أوضاعًا متوازية وفق الإتجاه الجغرافي : شمال ـ جنوب للأرض تقريبًا) .
ـ أحظر قضيبًا مغناطيسيًا و ضعه بجوارها . ماذا تلاحظ ؟ غير أوضاع البوصلات حول المغناطيس . لاحظ الأوضاع التي تستقر فيها ، و مثل برسم وضعية القضيب و البوصلات في عدة نقاط من حوله .
ـ أقلب القضيب المغناطيسي . ماذا يحدث ؟ غير أوضاع المغناطيس بإبعاده و تقريبه من البوصلات . ماذا تلاحظ ؟
ـ أعد التجارب السابقة بإستعمال مغانط مختلفة (على شكل حرف U ، دائري ، ...) (كما هو موضح بالرسم في الشكل المقابل فإن البوصلات تتأثر جميعها بالمغناطيس الموضوع بجوارها ، إلا أن هذا التأثير يتعلق بوضعية البوصلة بالنسبة للمغناطيس و كذا بطبيعة القطب المغناطيسي المقابل لها ، و عند قلب القضيب المغناطيسي نلاحظ دوران الإبرة بحيث يتوجه قطبها الآخر نحوه عكس ما كانت عليه في الوضع السابق) .

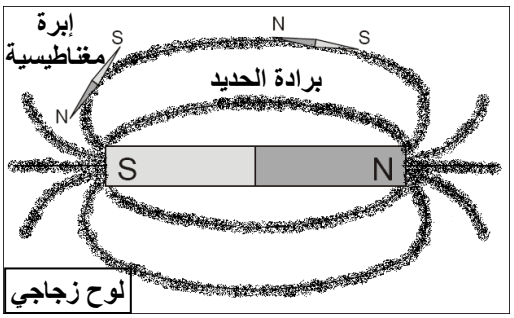


- **نتيجة : إستنتج بإكمال الفراغات**

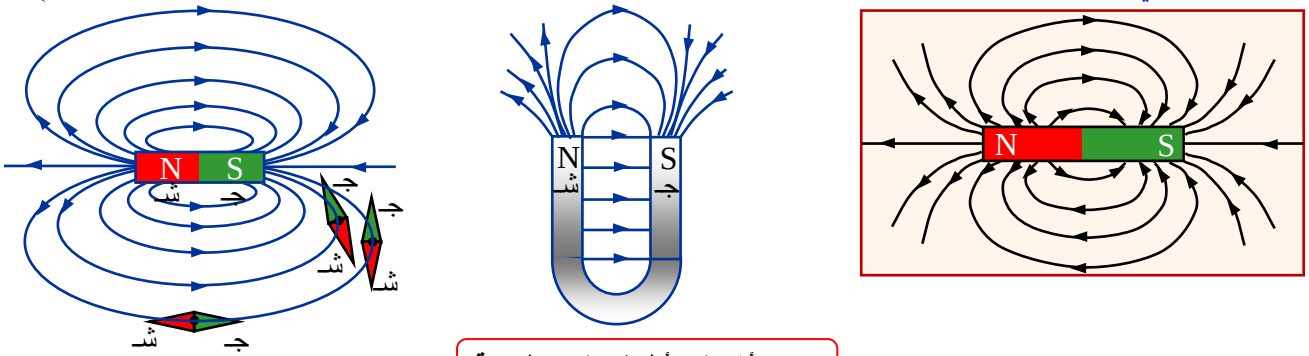
يُحدث المغناطيس تغيُّرا في خصائص الفضاء حيث تظهر في كل نقاطه خصائص مغناطيسية جديدة . نكشف عن هذه الخصائص في نقطة من الفضاء بوضع بوصلة فيها وملاحظة التأثير الذي تخضع له . نقول أن القضيب يولد حقلا مغناطيسيا في الفضاء.

2°ـ 2) تعريف الحقل المغناطيسي و خطوط الحقل :

ـ ضع قضيبًا مغناطيسيًا تحت لوح زجاجي أو ورق مقوى ، ثم ذر كمية من برادة الحديد حول وضع المغناطيس ، وأنقر بلطف على اللوح أو الورق . ماذا تلاحظ ؟ كيف تتوزع حبيبات البرادة حول المغناطيس ؟ مثل برسم توزيع البرادة على اللوح أو الورقة . هل تشكل أشكالاً مميزة ؟..... (تلاحظ إصطفاف و ترتيب البرادة وفق خطوط منحنية متوازية بين القطبين و متباعدة عندهما مشكلة أشكالاً مميزة كما في الشكل المرفق) .
ـ خذ إبرة ممغنطة صغيرة و ضعها في مختلف نقاط الطيف و لاحظ الأوضاع التي تستقر فيها . حاول تحويلها وفق أحد الخطوط المتشكلة ماذا تلاحظ ؟ قارن إتجاهها بالنسبة لقطبية المغناطيس مركزًا ملاحظاتك على وضعها بالنسبة للخط و إتجاهها .
(كما هو موضح بالرسم فإن إبرة ممغنطة صغيرة تستقر دومًا في وضع تكون فيه مماسية لخط الطيف المغناطيسي الذي تشكله برادة الحديد ، و هي متجهة دومًا من قطبه الشمالي N نحو قطبه الجنوبي S) .



ـ أعد نفس خطوات التجربة بإستعمال مغناطيس على شكل حرف U و أجب على نفس الأسئلة . أعد التجربة بإستعمال مغانط أخرى مختلفة الشكل و الحجم . صف في فقرة قصيرة كل هذه الأشكال مستعينًا برسومات توضيحية .
(عند إعادة التجربة مع مغانط مختلفة الشكل و الحجم ، نلاحظ في كل مرة تشكل طيف مغناطيسي يختلف من مغناطيس الى آخر لكنه يتكون من مجموعة خطوط وهمية نستدل عليها فقط بذر برادة الحديد في الفضاء المحيط بالمغناطيس ، هذه الخطوط تخرج من أحد قطبي المغناطيس و تدخل من القطب الآخر بحيث تكون متوازية داخل المغناطيس و منحنية مغلقة على نفسها خارجه) .



بعض أشكال الأطياف المغناطيسية

- **نتيجة : إستنتج بإكمال الفراغات**

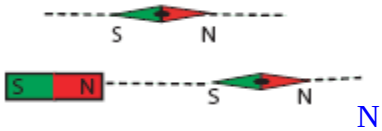
عند ذر برادة الحديد على سطح يحتوي تحته مغناطيسا ، نلاحظ توزيع حبيبات البرادة وفق خطوط وهمية تربط بين القطبين مكونة ما نسميه : الطيف المغناطيسي كما نسمي الخطوط المتشكلة في الطيف خطوط الحقل المغناطيسي .
من مميزات هذه الخطوط إستقرار بوصلة صغيرة ، موضوعة في إحدى نقاطها ، في وضع مماسي للخط المار من تلك النقطة .
عند تغيير موضع البوصلة على نفس الخط تبقى هذه الأخيرة دائما مماسية له محافظة على نفس الإتجاه بحيث يبقى شمالها دائما

موجه نحو جنوب المغناطيس المستعمل فنعبر عن ذلك بتوجيه هذه الخطوط إصطلاحاً وفق توجه البوصلة عليها أي من شمال المغناطيس المستعمل الى جنوبه .

نعبر عن ذلك عادة بالقول أن خطوط الحقل المغناطيسي تتوجه من القطب الشمالي نحو القطب الجنوبي خارج المغناطيس .

يختلف الشكل العام للطيف المغناطيسي المتشكل من مغناطيس لآخر، أي أن لكل مغناطيس طيفًا يميزه .

2°ـ 3) الحقل المغناطيسي مقدار شعاعي :



ـ ضع بوصلة صغيرة بعيدة عن كل تأثير مغناطيسي و دعها تستقر ، قرب منها وفق محورها S-N القطب الشمالي لقضيب مغناطيسي كما في الشكل . ماذا يحدث ؟ (تتوجه الإبرة وفق محور المغناطيس بحيث يتجه قطبها الجنوبي S نحو القطب الشمالي N للمغناطيس كما في الشكل) .

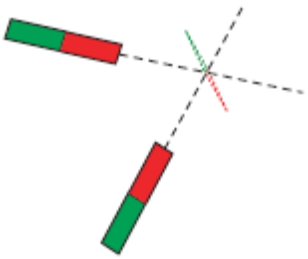
ـ قرب منها وفق محورها S-N القطب الجنوبي للقضيب . ماذا يحدث ؟ ..... (تدور الإبرة ليتجه قطبها الشمالي تجاه القطب الجنوبي للمغناطيس) .

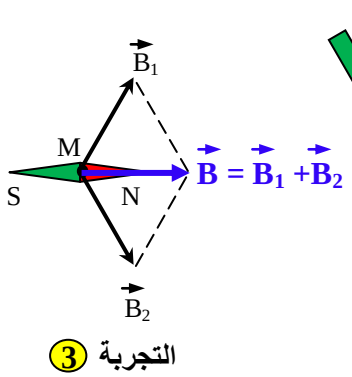
ـ أبعد القضيب وأتركها تستقر ثم قرب منها القطب الشمالي للمغناطيس وفق خط يصنع زاوية كيفية مع محورها S-N . ماذا تلاحظ ؟ أوقف القضيب عندما ينطبق محور البوصلة على محوره . علم هذا الوضع ..... (تدور الإبرة بمقدار الزاوية الكائنة بين محورها و محور القضيب لتستقر في الوضع الذي ينطبق فيه محورها مع محور القضيب المغناطيسي) .

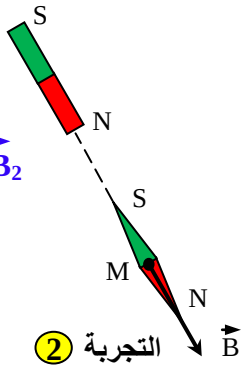
ـ أبعد القضيب الأول ثم أعد التجربة بتقريب القطب الشمالي لقضيب آخر وفق خط كيفي يختلف عن السابق . ماذا تلاحظ ؟ علم الوضع الذي عنده ينطبق محور البوصلة مع محوره .

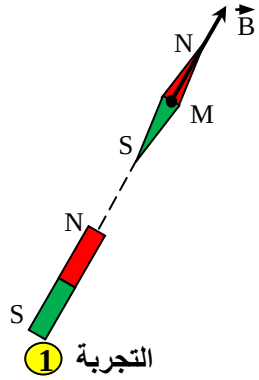
ـ ضع القضيبين في الموضعين المحددين سابقًا ليؤثرا معًا على البوصلة (لاحظ الشكل) كيف يكون وضع البوصلة في هذه الحالة ؟ ..... (يكون وفق محصلة التأثيرين) .

ـ صف في فقرة قصيرة ملاحظاتك في التجارب الثلاث موضحًا كل حالة برسم .









● **نتيجة : إستنتج بإكمال الفراغات**

يتعلق أثر الحقل المغناطيسي المتولد عن قضيب على بوصلة بالمسافة بين القضيب وموضع البوصلة وبالوضعية النسبية لمحوري القضيب والبوصلة ، أي أن للحقل المغناطيسي شدة وحامل وجهة ومنه يمكن نمذجته في نقطة من نقاط الفضاء بشعاع نرمز له بالرمز $\vec{B}$.

هذا ما تبينه نتائج التجربة الأخيرة حيث لا يمكن تفسير الوضع التي تأخذه البوصلة تحت تأثير حقلين مغناطيسيين إلا باعتبار أنها خاضعة لحقل واحد ناتج عن المجموع الشعاعي لحقلي القضيبين .

2°ـ 4) خصائص شعاع الحقل المغناطيسي $\vec{B}$:

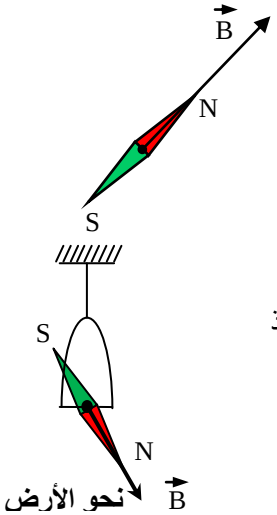
توصلنا الى أن الحقل المغناطيسي مقدار شعاعي محلي ، أي معرف في كل نقطة بصفة فريدة ، له الخواص التالية :

ـ نقطة تطبيقه : هي النقطة المعتبرة M .

ـ حامله : منطبق على محور البوصلة الموضوعة في النقطة المعتبرة (المحور S-N للبوصلة) .

ـ جهته : من الجنوب المغناطيسي S الى الشمال المغناطيسي N (S ⟶ N) .

ـ شدته : له قيمة معينة تقاس في ج . و . د (S.I) بوحدة : التسلا Tesla (T) (يتم تحديدها لاحقًا) .



شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي $\vec{B}$

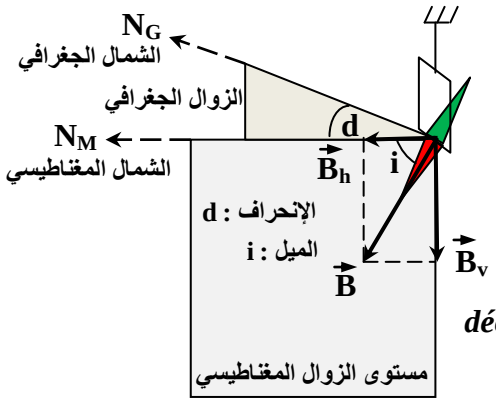
1 ـ 3) الحقل المغناطيسي الأرضي :

نعلم أن وجود بوصلة في نقطة من الفضاء في أي مكان من الأرض بعيدًا عن التأثيرات المغناطيسية تأخذ وضعًا مميزًا تستقر فيه بحيث يكون حاملها تقريباً وفق خط S-N الجغرافي ، و لا يمكن إزاحتها عنه إلا بتأثير مغناطيسي إضافي . نستنتج من هذا أن البوصلة خاضعة لحقل مغناطيسي خارجي ندعوه :

الحقل المغناطيسي الأرضي ، فالأرض كما أثبتت الدراسات و التجارب المختلفة مصدر لحقل مغناطيسي يمكن نمذجته بحقل يشبه تمامًا **حقل قضيب مغناطيسي كبير** .

إن تعليق بوصلة قابلة للحركة في نقطة من فضاء الحقل المغناطيسي الأرضي يجعلها تستقر في وضع تتجه فيه نحو سطح الأرض بشكل مائل عن الشاقول كما هو موضح في الشكل المقابل ، لذلك يتميز شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي في كل نقطة من الأرض **بشدة B** ، **زاوية الإنحراف d** و **زاوية الميل i** .

- **زاوية الإنحراف** : هي الزاوية d الكائنة بين المستوي الشاقولي الحامل لخط « شمال ـ جنوب » الجغرافي المسمى بـ : **مستوى الزوال الجغرافي** و المستوى الشاقولي الحامل لمحور البوصلة (خط : N ـ S المغناطيسي) المسمى بـ : **مستوى الزوال المغناطيسي** (أنظر الشكل المرفق)
- **زاوية الميل** : هي الزاوية i بين شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي $\vec{B}$ و مركبته الأفقية $\vec{B_h}$ التي تخضع لها إبرة بوصلة محمولة على حامل شاقولي و التي تحدد دومًا الإتجاه « شمال ـ جنوب » المغناطيسي S ـ N

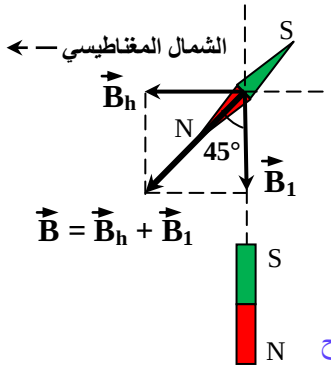


- **إصطلاحات** : ـ المركبة الأفقية لشعاع الحقل المغناطيسي الأرضي : $\vec{B_h}$
  ـ المركبة الشاقولية لشعاع الحقل المغناطيسي الأرضي : $\vec{B_v}$
  ـ زاوية الإنحراف المغناطيسي : d ***déclinaison magnétique***
  ـ زاوية الميل المغناطيسي : i ***inclinaison magnétique***
  ـ مستوى الزوال المغناطيسي : ***Méridien magnétique***
  ـ مستوى الزوال الجغرافي : ***Méridien géographique***

من الشكل لدينا : $\tan i = B_v/B_h$ ؛ $\sin i = B_v/B$ ؛ $\cos i = B_h/B$ حيث : $B_h \approx 2{,}2 \times 10^{-5}\ T$

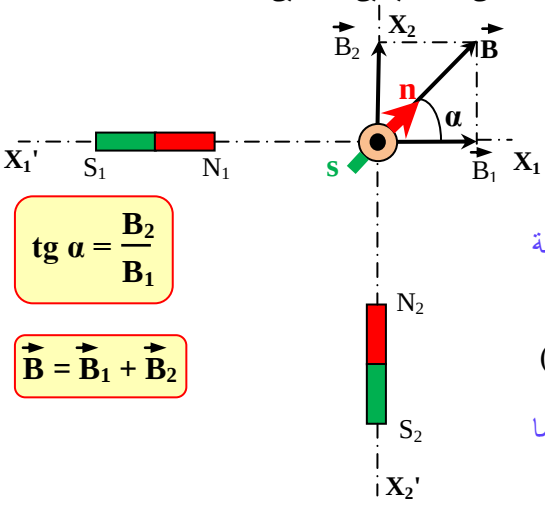
- **قياس شدة الحقل المغناطيسي لقضيب بدلالة B_h :**

يمكن إستعمال خاصية تراكب أشعة الحقل المغناطيسي لقياس شدة حقل مغناطيسي متولد في نقطة من الفضاء عن قضيب مغناطيسي بدلالة المركبة الأفقية B_h للحقل المغناطيسي الأرضي في تلك النقطة كالتالي :



نشاط : ـ ضع في نقطة من الفضاء بوصلة واتركها تستقر بعيدًا عن كل تأثير مغناطيسي
ـ مثل شعاع المركبة الأفقية $\vec{B_h}$ في تلك النقطة بإستعمال سلم رسم كيفي .
ـ قرب من البوصلة قضيبًا مغناطيسيًا عموديًا على محورها و في نفس المستوى .
ـ في أي وضع لمحور البوصلة تكون فيه شدة المركبة الأفقية B_h تساوي شدة الحقل المتولد عن القضيب المغناطيسي في تلك النقطة ؟
ـ أعط رسمًا هندسيًا يسمح لك بتحديد شدة حقل القضيب المغناطيسي في النقطة المعتبرة بدلالة المركبة الأفقية B_h ؟ .....(عندما تكون الزاوية المحصورة بين محور المغناطيس و محور البوصلة مساوية 45° فإن شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن القضيب B_1 تعادل شدة المركبة الأفقية B_h للحقل المغناطيسي الأرضي في المكان ، و كما هو موضح بالشكل المقابل فإن : $B_1 = B_h \Rightarrow \tan 45° = 1 = B_h/B_1$

ـ صف خطوات تجربة تسمح لك بمقارنة شدة الحقل المتولد في نقطة من الفضاء عن مغناطيسين مختلفين ...
(كما هو مبين في التجربة السابقة يمكن مقارنة شدتي حقلين مغناطيسيين متولدين عن مغناطيسين مختلفين في نقطة من الفضاء بوضع بوصلة في تلك النقطة و إخضاعها في المرة الأولى لتأثير أحد المغناطيسين لوحده و تحديد الوضع الذي تستقر فيه ثم تُخضع مرة ثانية لتأثير الآخر و تحديد الوضع الذي تستقر فيه من جديد ، ثم يؤثر على البوصلة بالمغناطيسين معًا و تحديد الوضع النهائي المحصل لإستقرارها ، و من ثم قياس الزاوية الكائنة بين الوضع المحصل و أحد وضعي إستقرار البوصلة قبله وحساب ظل الزاوية الذي يعادل النسبة بين شدتي الحقلين :
$\tan(\vec{B_1},\vec{B_2}) = B_2/B_1$ أو العكس : $\tan(\vec{B_1},\vec{B_2}) = B_1/B_2$) .



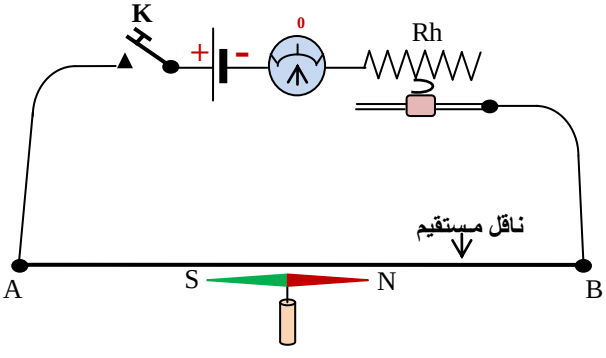
$\tan \alpha = \frac{B_2}{B_1}$

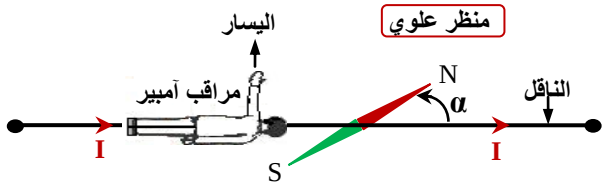
$\vec{B} = \vec{B_1} + \vec{B_2}$

ـ هل تسمح لك هذه التجربة الحكم أن المغناطيسين المتشابهين خارجيًا (شكلاً) مختلفين أو متماثلين مغناطيسيًا . ناقش
(إن تشابه مغناطيسين خارجيًا من حيث الشكل أو الأبعاد لا يعني بالضرورة أنهما متماثلين مغناطيسيًا إلا إذا كانت شدتي حقليهما المغناطيسيين في نفس النقطة من الفضاء متساوية أي نسبتهما تعادل الواحد الصحيح).

1 ـ 4) الكهرمغناطيسية : (الوشائع ـ المغانط الكهربائية)

4 ـ 1) تجربة أورستد : *L'expérience d'Œrsted*





أول من إكتشف تجريبيًا أثر التيار الكهربائي على مغناطيس « الأثر المغناطيسي للتيار » هو الفيزيائي الدنماركي : **أورستد ŒRSTED** عام 1820 ، الذي لاحظ إنحراف إبرة ممغنطة كانت موضوعة بجوار سلك ناقل إثر مرور تيار كهربائي فيه . و بعد إعادته للتجربة و التأكد من أن سبب إنحراف الإبرة يعود فقط لمرور التيار ، إستنتج أن للتيار الكهربائي **أثر مغناطيسي** .

● **التجربة :** ـ حقق التركيبة الموضحة بالشكل السابق ، و ذلك بوضع إبرة ممغنطة على طاولة بعيدة عن كل تأثير مغناطيسي واتركها تستقر ثم إجعل سلكًا مستقيمًا فوقها في وضع يوازي المحور S-N للإبرة .

ـ وصل أحد طرفي السلك الناقل بالقطب السالب للمولد . هل يؤثر السلك على الإبرة ؟ ..... (لايؤثر السلك على الإبرة) .

ـ أغلق الدارة (وصل قصير للقاطعة K) . ماذا تلاحظ ؟ ..... (نلاحظ إنحراف الإبرة و عودتها إلى وضع إستقرارها) .

ـ دع القاطعة مفتوحة و لاحظ تصرف الإبرة ..... (تبقى الإبرة مستقرة بإتجاه المركبة الأفقية $\vec{B}_h$ للحقل المغناطيسي الأرضي)

ـ في رأيك ماهو سبب إنحراف الإبرة عن وضعها عند غلق الدارة ؟ علل ..... (سبب إنحراف الإبرة عن وضعها هو مرور التيار الكهربائي في السلك بدليل إستقرارها في وضع جديد عند غلق القاطعة و مرور تيار في السلك وعودتها الى وضعها الإبتدائي أثناء قطع التيار) .

ـ كيف تفسر إنحراف الإبرة عن وضعها إثر مرور التيار و رجوعها الى وضعها الإبتدائي بعد فتح الدارة ؟ ..... (إنحراف الإبرة عن وضعها إثر مرور التيار يرجع الى نشوء حقل مغناطيسي جديد إضافة الى الحقل المغناطيسي الأرضي لذلك تنحرف الإبرة لتأخذ الوضع المحصل الناجم عن مجموع الحقلين (المركبة الأفقية للحقل الأرضي + حقل التيار) أما عودة الإبرة الى وضعها الإبتدائي بعد فتح الدارة فهو بسبب إنعدام حقل التيار و خضوع الإبرة فقط لتأثير المركبة الأفقية للحقل الأرضي) .

ـ لماذا وضعنا السلك فوق الإبرة ؟ ..... (لكي لا تصطدم بالسلك أثناء إنحرافها) .

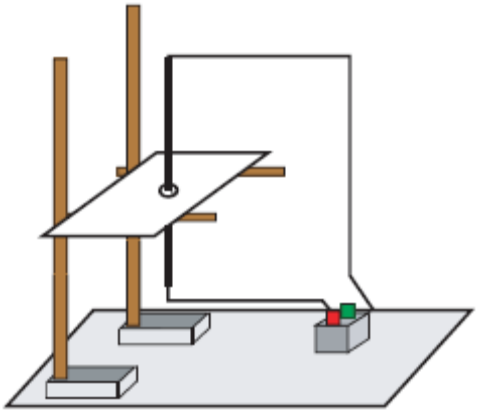
ـ أعد التجربة بتغيير وضعه بالنسبة للإبرة (موازٍ لها و من تحتها ، موازٍ لها و في نفس المستوى الأفقي ، السلك عمودي على المحور S-N للإبرة ، ...) . ماذا تلاحظ ؟ ..... (نلاحظ في جميع الحالات تأثر الإبرة بمرور التيار في السلك مما يدل على نشوء حقل مغناطيسي في الفضاء المحيط بالسلك أثناء مرور التيار فيه ندعوه : **حقل التيار** و نميزه في كل نقطة من الفضاء بـ : **شعاع الحقل** $\vec{B}_C$) .

ـ أعد التجربة بسلك مغطى بعازل ثم بآخر لا يغطيه عازل ؟ ..... (لا يتعلق حقل التيار بالعازل) .

ـ إستبدل السلك النحاسي بسلك من الألمنيوم . ماذا تلاحظ ؟ ..... (تتأثر الإبرة بسبب نشوء حقل التيار المار في السلك لأن الألمنيوم معدن غير ممغنط مثل النحاس) .

ـ هل يمكن إستعمال سلك من حديد ؟ علل ..... (لايمكن إستعمال سلك من حديد أو فولاذ أو كوبالت ... لأن هذه المواد تمتاز بخصائص مغناطيسية « مواد ممغنطة » أصلاً) .

ـ صف في فقرة ملاحظاتك في كل حالة . ماذا تستنتج ؟ ..... (في كل الحالات يتولد حقل مغناطيسي إثر مرور تيار كهربائي في النواقل غير الممغنطة و تصبح بذلك هذه المواد **مغانط مؤقتة** حيث تتعلق خصائص حقل التيار الناشئ بشكل الدارة التي يجتازها و كذا بشدة وجهة مرور التيار فيها كما سنرى ذلك لاحقًا) .



4° ـ 2) الحقل المغناطيسي المتولد عن تيار مستقيم :

ـ خذ سلكًا نحاسيًا مستقيمًا و ثبته في الموضع الشاقولي (أنظر الشكل المرفق) حيث يخترق ورق مقوى أفقي . أربط أحد طرفي السلك بالقطب السالب لبطارية وأمسك الطرف الآخر بيدك . ذر كمية من برادة الحديد على الورق حول السلك ثم أغلق الدارة بلمس السلك بالقطب الموجب للبطارية وانقر بلطف على الورقة

ماذا تلاحظ ؟ ..... (نلاحظ ترتيب دقائق البرادة و إصطفافها وفق دوائر متمركزة في السلك بشكل منتظم مشكلة لطيف مغناطيسي مميز) .

ـ إفتح الدارة مباشرة بعد تشكيل الطيف . أرسم شكل الطيف المتكون

ـ ماهو شكل خطوط الحقل الناتج عن مرور التيار الكهربائي ؟

ـ ضع بوصلة صغيرة في نقطة من هذا الطيف بعد غلق الدارة ثانية . ماذا تلاحظ ؟

ـ إعتمادًا على وضعها إستنتج حامل و جهة الحقل في تلك النقطة .

ـ أرسم بعض أشعة الحقل في نقاط تختارها ..... (للإجابة عن الأسئلة السابقة لاحظ الشكل المرفق جانبه) .

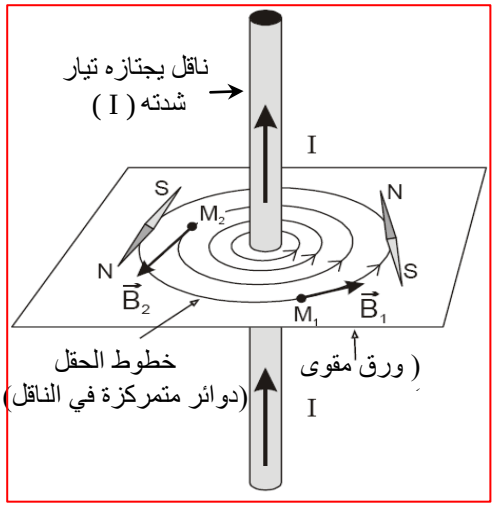
ـ غير جهة سريان التيار في السلك بقلب توصيل البطارية . ماذا تلاحظ ؟ ماذا يحدث للبوصلة ؟

ـ هل يتعلق شكل الخطوط بجهة التيار ؟

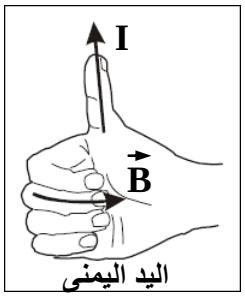
ـ هل تتعلق جهة الحقل بجهة التيار ؟ علل ..... (عند تغيير جهة سريان التيار في السلك ينقلب توجيه البوصلة بحيث تبقى مماسية لخط الحقل بينما تبقى خطوطه ثابتة دون تغيير بشكل دوائر متمركزة في السلك ما لم تتغير شدة التيار لأن الحقل يتعلق بشدة التيار) .

ـ إقترح تركيبًا يسمح لك بتغيير شدة التيار المار في السلك .

ـ ماذا يحدث لخطوط الحقل إذا زادت شدة التيار ؟ ..... (يمكن تغيير



شدة التيار المار في السلك بإدراج معدلة (مجزئة توتر) في الدارة حيث تزداد الشدة بإنقاص مقاومة المعدلة ، و عندها تقترب خطوط الحقل من السلك) .



● **نتيجة : استنتج بإكمال الفراغات .**

عندما يعبر تيار كهربائي شدته I سلكا مستقيما وطويلا يتولد حوله حقل مغناطيسي خطوطه دائرية مركزها على السلك ومحمولة في مستويات عمودية على السلك حيث يكون لشعاع الحقل المغناطيسي في كل نقطة الخصائص التالية :

ـ **حامله :** مماسي لخط الحقل المار من تلك النقطة .

ـ **جهته :** تتعلق بجهة التيار و تتحدد بقواعد مختلفة ... (قاعدة اليد اليمنى ـ لاحظ الشكل جانبه ، قاعدة مراقب آمبير ، قاعدة ماكسويل (البزال : ساحبة الفلين) ... إلخ .

ـ **شدته :** تتعلق بشدة التيار و ببعد النقطة عن السلك .

شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن تيار شدته I يعبر سلكًا مستقيمًا و طويلاً ، في نقطة من الفضاء المحيط بالسلك تبعد عنه مسافة d تعطى بالعلاقة التالية :

$$B = \mu_0 . I / 2\pi d = 2 \times 10^{-7} I/d$$

حيث : $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T.m/A النفاذية المغناطيسية للفراغ مقدرة في (S.I)

B (T) ⇐ d (m) ؛ I (A)

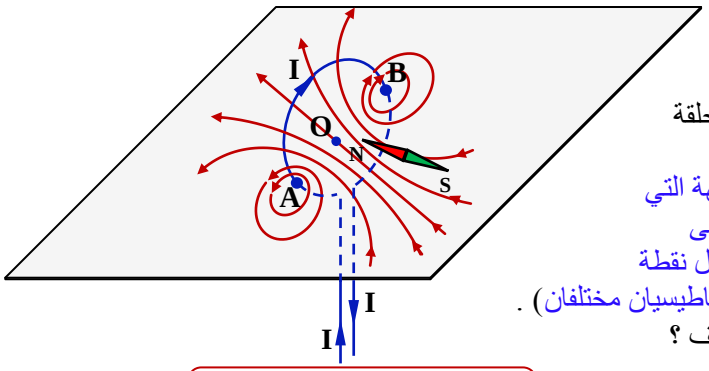
4° ـ 3) الحقل المغناطيسي المتولد عن تيار حلقي :

ـ قم بلف سلك ناقل (من النحاس مثلاً) ليشكل حلقة تخترق ورق مقوى و حقق الدارة المبينة في الشكل المقابل . ذر كمية من برادة الحديد على الورق . أغلق الدارة مع نقر طفيف على الورق .

ـ هل تتشكل خطوط الحقل ؟ ..... (نعم ، تصطف برادة الحديد على الورق مشكلة خطوط الطيف المغناطيسي بجوار السلك) .

ـ أرسم شكل الطيف الذي يتكون على الورقة . ..... (لاحظ الشكل) .

ـ ما هو شكل الخطوط في جوار السلك ؟ و ما هو شكلها في المنطقة وسط الحلقة ؟ (خطوط دائرية منحنية بشكل قطوع ناقصة متمركزة في النقطتين A و B و متناظرة بالنسبة لمحور الحلقة المار من مركزها O)



الحقل المغناطيسي لتيار حلقي

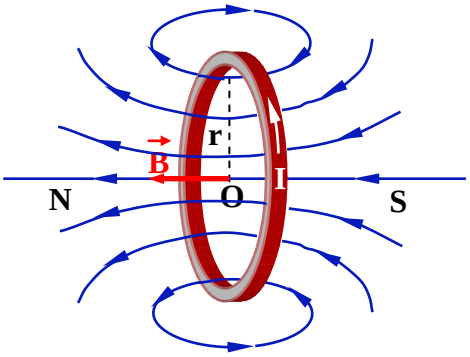
ـ قرب بوصلة (إبرة مغناطيسية صغيرة) من أحد وجهي الحلقة ثم قربها من الوجه الآخر ، ماذا تلاحظ ؟ ماذا تستنتج ؟ (عند تقريب بوصلة من أحد وجهي الحلقة تتوجه عكس الجهة التي تأخذها عند تقريبها من الوجه الآخر بحيث تكون عمودية على مستوى سطح الحلقة و مماسة لخط الحقل المغناطيسي في كل نقطة من الحقل المغناطيسي المتولد. نستنتج أن للحلقة وجهان مغناطيسيان مختلفان) .

ـ غيّر جهة سريان التيار في الحلقة . ماذا يحدث لشكل الطيف ؟ (يبقى شكل الطيف كما في الحالة الأولى) .

ـ أعد تقريب البوصلة من الوجهين على التوالي . ماذا تلاحظ ؟ (عند تغيير جهة سريان التيار في الحلقة و تقريب بوصلة من وجهيها على التوالي تأخذ البوصلة وجهة معاكسة لوجهتها السابقة) .

ـ ماذا تستنتج ؟ ..... (تتعلق جهة خطوط الطيف المغناطيسي لحقل التيار المتولد بجهة سريان التيار في الحلقة حيث يكون لهذه الخطوط جهة ثابتة دومًا من الوجه المغناطيسي الجنوبي للحلقة نحو وجهها المغناطيسي الشمالي) .

ـ قارن هذا الطيف مع طيف قضيب مغناطيسي و طيف تيار يجتاز ناقل مستقيم طويل . أين يكمن التشابه و أين يكمن الاختلاف ؟ (للطيف المغناطيسي أشكال مختلفة بحسب طبيعة الجملة المغناطيسية التي يتولد عنها الحقل المغناطيسي الموافق إلا أن خطوطه لها جهة ثابتة دومًا (جنوب ـ شمال) المغناطيسيين ، كما أن أشعة الحقل دومًا مماسة لخطوط الطيف في جميع نقاط الحقل) .



وجه جنوبي(S) وجه شمالي(N)

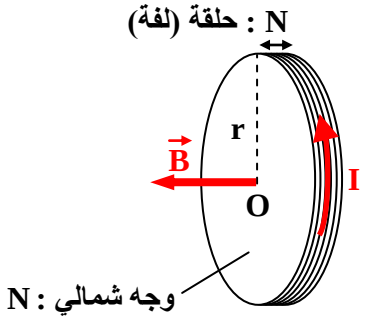
▪ الحقل المتولد عن تيار حلقي :

حالة حلقة واحدة : **شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن تيار شدته I يعبر ناقلاً على شكل حلقة نصف قطرها r في مركزها O (لاحظ الشكل أعلاه) يعطى بالعلاقة التالية :**

$$B = \mu_0 . I / 2r = 2\pi \times 10^{-7} I/r$$

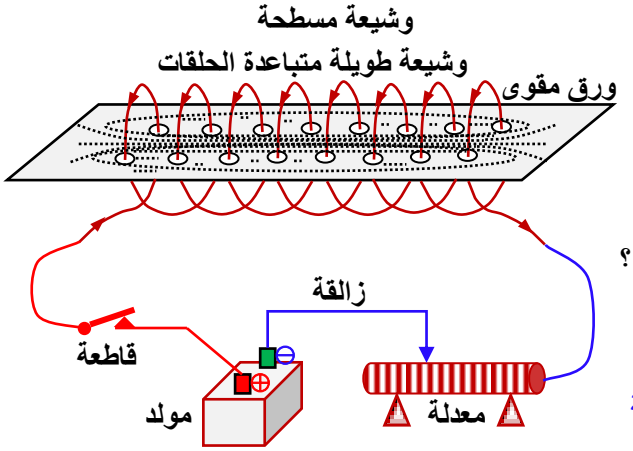
حيث : $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T.m/A النفاذية المغناطيسية للفراغ مقدرة في (S.I)

B (T) ⇐ r (m) ؛ I (A)



حالة وشيعة مسطحة : **الوشيعة المسطحة هي وشيعة تحتوي على عدد N من الحلقات (اللّفات) المتماثلة و المتراصة بحيث يكون نصف القطر المتوسط r للوشيعة أكبر من طولها ℓ (الشكل) فالحقل المتولد فيها ناتج عن تراكب حقول لفاتها (حلقاتها) ، شدته في مركزها O تعطى بالعلاقة :**

$$B = N . \mu_0 . I / 2r = 2\pi N \times 10^{-7} I/r$$



4° ـ4) الحقل المغناطيسي المتولد عن وشيعة :

أ) ابراز الخصائص المغناطيسية لوشيعة يعبرها تيار :

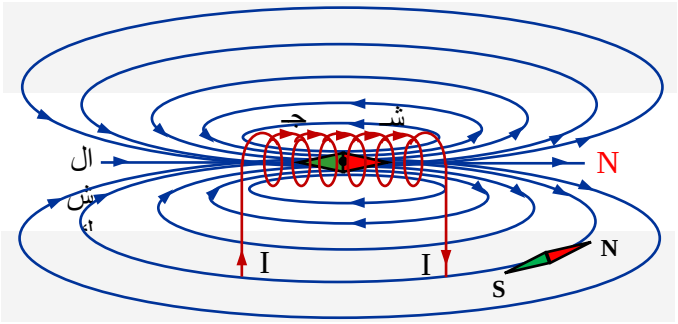
• **نشاط :** حقق الدارة الموضحة بالشكل المقابل ثم ذر برادة الحديد داخل و خارج الوشيعة مع نقر طفيف على الورقة .

ـ أرسم شكل الطيف المتشكل . ..... (لاحظ الشكل أدناه) .

ـ قرب بوصلة (إبرة مغناطيسية صغيرة) من أحد وجهي الوشيعة ثم قربها من الوجه الآخر ، حولها داخل و خارج الوشيعة . ماذا تلاحظ ؟ (عند تقريب بوصلة من أحد وجهي الوشيعة تتوجه عكس الجهة التي تأخذها عند تقريبها من الوجه الآخر بحيث تكون عمودية على مستوى سطح حلقات الوشيعة و محورها مماسي لخطوط الحقل في كل نقطة منه خارج الوشيعة . بينما تتوجه البوصلة وفق محور الوشيعة في كل نقطة من الحقل داخل الوشيعة ، مما يعني أن خطوط الحقل تكون متوازية و موازية لمحور الوشيعة في الداخل) .

ـ قرب من أحد أوجه الوشيعة قطعة حديدية صغيرة (مسمار مثلاً) ماذا تلاحظ ؟ قربه من الوجه الآخر . ماذا يحدث ؟ (عند مرور التيار الكهربائي داخل الوشيعة ، تجذب إليها كل جسم حديدي أو فولاذي يتم تقريبه من وجهها الأول أو الثاني) .

ـ قرب قضيبًا مغناطيسيًا معلقًا بخيط في مركزه من أحد وجهي الوشيعة . ماذا يحدث ؟ ثم قربه من الوجه الثاني ، ماذا تلاحظ ؟ (تلعب الوشيعة دور مغناطيس كهربائي عندما يجتازها تيار كهربائي بحيث تجذب كل جسم يتأثر بالمغناطيس عند تقريبه من وجهها الأول أو الثاني) .



1

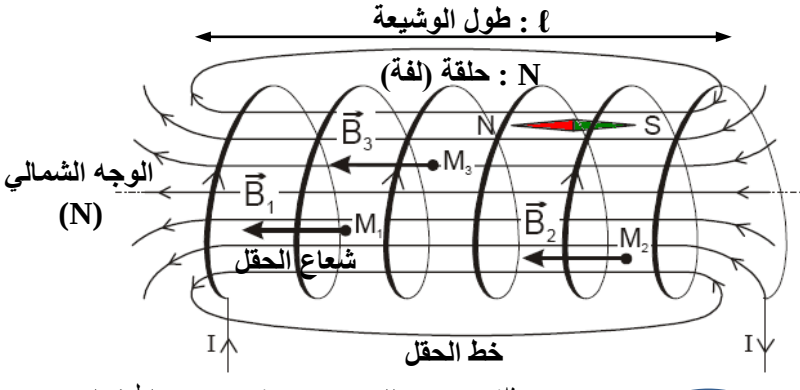
S

ـ لاحظ جيدًا شكل خطوط الحقل داخل الوشيعة و خارجها . ماذا تستنتج ؟ هل تلاحظ تواصل بين خطوط الحقل داخل و خارج الوشيعة ؟ ..... (تكون خطوط الحقل داخل الوشيعة متوازية و موازية لمحورها لتنحني هذه الخطوط مشكلة منحنيات متناظرة بالنسبة لمحور الوشيعة و نغلقة على نفسها) .

ـ هل يمكنك تقديم نتيجة عامة حول شكل خطوط الحقل المغناطيسي ؟ ..... (عمومًا و من خلال المشاهدات التجريبية السابقة يمكننا أن نتصور شكلين مختلفين لخطوط الحقل المغناطيسي ، حيث تكون هذه الخطوط متوازية و بجهة واحدة وفق الاتجاه : « جنوب – شمال » المغناطيسيين إذا كان الحقل منتظمًا كما هو الحال بالنسبة للحقل المغناطيسي المتولد بين فكي مغناطيس بشكل حدوة فرس « حرف U » أو حقل التيار المتولد داخل وشيعة طويلة عندما يجتازها تيار كهربائي بينما تشكل هذه الخطوط منحنيات مغلقة على نفسها تكون أشعة الحقل مماسة لها و موجهة باتجاهها وفق الاتجاه « جنوب – شمال » المغناطيسيين إذا كان الحقل المغناطيسي غير منتظم كما هو الحال خارج الوشيعة الحلزونية أثناء مرور تيار كهربائي فيها) .

ـ أرسم شكل خطوط الحقل داخل و خارج الوشيعة مع توجيهها و تمثيل بعض أشعة الحقل داخل و خارج الوشيعة باعتماد سلم كيفي .

..... (لاحظ الشكل المرفق جانبه) .

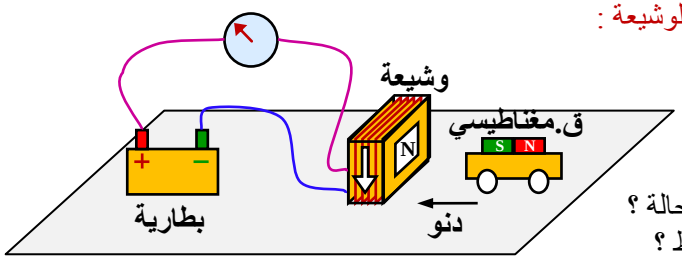


• **نتيجة** : استنتج بإكمال الفراغات .

عندما يعبر تيار وشيعة يتولد عنه حقلا مغناطيسيا طيفه خارج الوشيعة يشبه تماما طيف قضيب مغناطيسي وداخل الوشيعة عبارة عن خطوط متوازية . تكتسب الوشيعة الخصائص المغناطيسية التي يمتاز بها القضيب المغناطيسي. نستنتج من ذلك أن الوشيعة التي يعبرها تيار تكافئ قضيبا مغناطيسيا ويكافئ وجها الوشيعة قطبا المغناطيس فيكون لها وجه شمالي وآخر جنوبي.

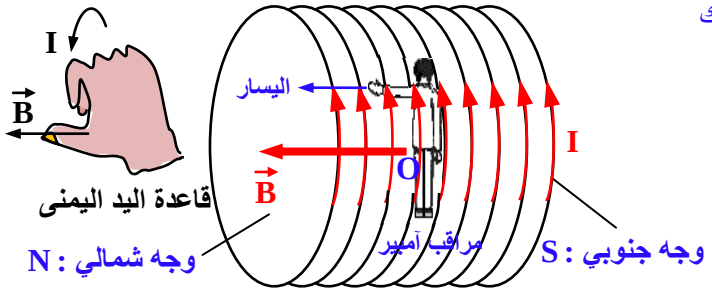
ب) العوامل المؤثرة على خصائص الحقل المغناطيسي في الوشيعة :

• **نشاط ①** : دور جهة التيار .



ضع قضيبًا مغناطيسيًا يمكنه التحرك بحرية (تقليل الاحتكاكات بوضع القضيب فوق عربة صغيرة أو مجموعة أقلام) أمام وجه وشيعة و حقق الدارة المبينة في الشكل المقابل .

ـ أغلق الدارة . ماذا تلاحظ ؟ ما هو نوع وجه الوشيعة في هذه الحالة ؟ أعد التجربة بعد تغيير جهة سريان التيار في الوشيعة . ماذا تلاحظ ؟ هل تغير نوع وجه الوشيعة ؟



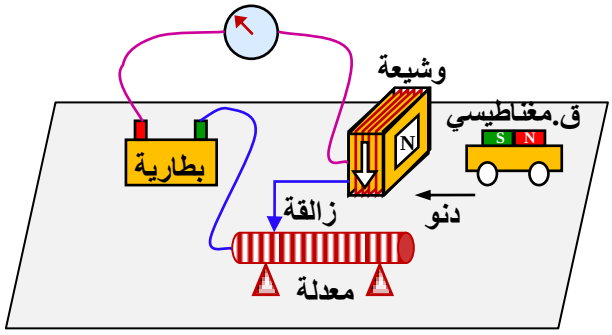
وشيعة طويلة (حلزونية)

(عند غلق الدارة تجذب الوشيعة القضيب المغناطيسي فيتحرك مقتربًا منها إذا كان وجهها من نوع مختلف عن نوع القطب المغناطيسي للقضيب بينما ينتقل مبتعدًا عنها إذا كان وجهها المغناطيسي و قطب القضيب من نوع واحد . يحدث العكس في حالة تغيير جهة سريان التيار في الوشيعة) .

ـ هل معرفة قطب البطارية (المولد) تكفي لمعرفة جهة سريان التيار في الوشيعة ؟ ..... (لا تكفي) .

ـ تفحص هذه الوشيعة و اكتشف جهة لف السلك فيها لمعرفة جهة سريان التيار فيها . طبق قاعدة مراقب آمبير لتحديد جهة الحقل داخل الوشيعة و عيّن وجهيها المغناطيسيين الشمالي و الجنوبي .

• **نشاط ②** : دور شدة التيار .



الأدوات المستعملة : وشيعة تحتوي على 1000 أو 500 لفة معدلة (10 Ω) ، مولد أو بطارية (12 V) ، أسلاك توصيل قاطعة و آمبير – متر .

ـ حقق الدارة المبينة في الشكل المقابل و ضع على أقلام ملساء (أو عربة صغيرة) قضيبًا مغناطيسيًا بالقرب من أحد وجهي الوشيعة و علم موضعه .

ـ اضبط المعدلة في الوضع (1) « مقاومتها مستعملة كليًا » . أغلق الدارة و لاحظ ما يحدث للقضيب . سجّل قيمة شدة التيار الموافقة ثم افتح الدارة . ..... (حركة بطيئة جدًا للقضيب ، شدة ضعيفة للتيار) .

ـ اضبط المعدلة في الوضع (2) « انقص من مقاومة المعدلة » أعد القضيب إلى موضعه الابتدائي السابق ثم أغلق الدارة و لاحظ حركة القضيب و قارنها مع الحالة السابقة . سجّل قيمة شدة التيار الموافقة . (حركة اسرع للقضيب ، شدة التيار أكبر) .

ـ أعد نفس خطوات التجربة بعد ضبط المعدلة في الوضع (3) « الاستمرار في انقاص مقاومة المعدلة مع مراقبة معيار مقياس الآمبير » . كيف تكون حركة القضيب في هذه الحالة ؟ (زيادة سرعة حركة القضيب بالتوافق مع زيادة شدة التيار) .

ـ ماذا يمكنك استنتاجه بخصوص شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن مرور التيار الكهربائي في الوشيعة عند مقارنة حركة القضيب في الحالات الثلاث ؟ (تزايد سرعة حركة القضيب دليل على تزايد شدة الحقل المغناطيسي المتولد في الوشيعة بفعل تزايد شدة التيار المار فيها أي أن قيمة حقل التيار تتناسب طردًا مع شدته) .

• **نشاط ③** : دور النواة الحديدية .

ـ ثبت في التركيب السابق شدة التيار الكهربائي المار في الوشيعة ثم ادخل فيها نواة حديدية . ماذا تلاحظ ؟ ..... (تزداد حركة القضيب بايلاج النواة الحديدية داخل الوشيعة) .

ـ أعد التجربة بعد نزع النواة الحديدية ، قارن تأثير الوشيعة على القضيب في كلا الحالتين . ..... (حركة القضيب تكون أسرع في وجود النواة الحديدية) .

ـ ما هو دور النواة الحديدية . ماذا تستنتج ؟ ..... (دور النواة الحديدية هو زيادة الفعل المغناطيسي للوشيعة على القضيب . نستنتج أن حقل التيار يتعلق بأبعاد و مكونات الوشيعة) .

ـ هل يمكن استعمال نواة من معدن آخر لتحقيق هذا الأثر ؟ (يمكن استعمال نواة غير حديدية من الكوبالت أو النيكل أو من بعض السبائك المعدنية كالفولاذ و التي لها خاصية التمغنط) .

• نتيجة : استنتج بإكمال الفراغات .

عندما يعبر تيار وشيعة ينشأ حقل مغناطيسي:

– تتعلق جهته بجهة سريان التيار وتحدّد بتطبيق قاعدة رجل أمبير أو قاعدة اليد اليمنى.

– تتعلق شدته في نقطة من الفضاء بـشدة التيار، فكلما زادت شدة التيار زادت شدة الحقل.

تزداد شدّته عند إدخال نواة حديدية لينة في الوشيعة.

☒ ملاحظة : تعتبر الوشيعة طويلة إذا كان طولها ℓ كبير كفاية أمام نصف قطرها r .

الحقل داخل الوشيعة منتظم و تعطى شدته بالعلاقة : $B = \mu_0.N.I/\ell = \mu_0.n.I = 4\pi \times 10^{-7} n.I$

حيث : N عدد اللفات (عدد حلقات الوشيعة) ، I شدة التيار المار في الوشيعة ، ℓ طولها .

$n = N/\ell$ عدد اللفات في واحدة الطول (المتر الواحد) .

حلول بعض التمارين (ص141)

التمرين 1 : أتأكد من معارفي

- كيف نكشف عن وجود حقل مغناطيسي في منطقة من الفضاء؟ بوضع بوصلة في نقطة تلك المنطقة وملاحظة تصرفها .
- اذكر مصدرين للحقل المغناطيسي. تيار كهربائي يمر في ناقل، مغناطيس دائم، الكوكب الأرضي .
- كيف ننمذج الحقل المغناطيسي في نقطة؟ ننمذج الحقل المغناطيسي في نقطة بشعاع مبدأه النقطة ذاتها، جهته جهة الحقل ، حامله حامل الحقل وطويلته تتناسب مع شدة الحقل وفق السلم المختار .
- ما هو اسم ورمز وحدة الحقل المغناطيسي؟ وحدة الحقل المغناطيسي هي التسلا (Tesla) ورمزها هو **T**.
- بأي جهاز تقاس شدة الحقل المغناطيسي؟ تقاس شدة الحقل المغناطيسي بالتسلامتر .
- كيف نجسد الطيف المغناطيسي للمغناطيس؟ نجسد الطيف المغاطيسي لمغناطيسي ببذر برادة الحديد من حوله .
- كيف نوجه خطوط الحقل المغناطيسي؟ نوجه خطوط الحقل المغناطيسي من القطب الشمالي نحو القطب الجنوبي لمغناطيس ومن الوجه الشمالي نحو الوجه الجنوبي خارج الوشيعة التي يعبرها تيار والعكس في داخلها.
- أعط تعريفا للحقل المغناطيسي المنتظم . هو الحقل الذي يتميز بخطوط حقل متوازية وبشدة وجهة ثابتتين في جميع نقاطه .
- بأي نوع من المغانط نحصل على حقل مغناطيسي منتظم في منطقة من الفضاء؟ يطلب تعينها . المغناطيس على شكل حرف **U** يكون الحقل المتولد عنه بين فرعيه منتظما .
- مثل شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي في نقطة مع ذكر المفاهيم والمقادير اللازمة لتعيينه . أنظر كتاب التلميذ .
- عرف الميل المغناطيسي اعتمادا على رسم توضيحي . أنظر كتاب التلميذ .

التمرين 2 : اختر الجواب أو الأجوبة الصحيحة :

- القضيب الممغنط ينتج حقلا منتظما . خطأ .
- في الحقل المغناطيسي المنتظم خطوط الحقل متوازية . صحيح .
- في غياب مغناطيس لا تخضع إبرة ممغنطة لتأثير ميكانيكي . خطأ (تخضع للحقل المغناطيسي الأرضي) .
- نقدر شدة الحقل المغناطيسي بـ : ا) ~~الأمبير (A)~~، ب) ~~الفولط (V)~~، ج) التسلا (**T**) .
- قيمة المركبة الأفقية للحقل المغناطيسي الأرضي تساوي $B_h = 22\mu T$ في وضع يكون فيه الميل المغناطيسي **60°** ، و الانحراف المغناطيسي **5°W** (غرب) ، ما هي من بين هذه القيم شدة الحقل المغناطيسي الأرضي في هذا الوضع :

ا) **44 µT** ب) ~~22,1 µT~~ ج) ~~11 µT~~ ؟

التمرين 3 : صحح التصريحات الخاطئة

- في حقل مغناطيسي منتظم شعاع الحقل ثابت . صحيح .
- يمكن الحصول على طيف مغناطيسي باستعمال برادة النحاس . النحاس لا يتأثر بالحقل المغناطيسي بل نستعمل برادة الحديد .
- يمكن لخطين من حقل مغناطيسي أن يتقاطعا . مستحيل : لا يمكن أن نحصل على حقلين في نفس النقطة (مبدأ التراكب) .
- حامل شعاع الحقل المغناطيسي عمودي على خطوط الحقل . خطأ ، بل مماسيا لها .
- تخرج خطوط الحقل المغناطيسي للقضيب من قطبه الشمالي لتتجه نحو قطبه الجنوبي . نعم صحيح .
- في الطيف المغناطيسي تكون خطوط الحقل أكثر تراصا كلما كان الحقل شديد . صحيح .
- قيمة الحقل المغناطيسي الأرضي من رتبة $0{,}5\times10^{5}\ T$. خطأ .
- قيمة الحقل المغناطيسي الأرضي بجوار الأرض هي ~~20mT~~ أو ~~20T~~ . **(20 µT)**
- قيمة الحقل المغناطيسي بجوار قضيب مغناطيسي هي **50µT** أو **50mT**.
- قيمة الحقل المغناطيسي في نجم نتروني من رتبة $10^{8}\ T$ أو ~~10 T~~ .

التمرين 4 : أجب بصحيح أو خطأ

- في مركز وشيعة، قيمة الحقل المتولد يتناسب طردا مع شدة التيار المار في الوشيعة . صحيح .
- داخل ناقل أسطواني ، خطوط الحقل موجهة من الوجه الشمالي نحو الوجه الجنوبي . خطأ .
- شدة الحقل المغناطيسي داخل وشيعة تنخفض إلى نصف قيمتها في حالة مضاعفة عدد حلقاتها . خطأ .
- قيمة الحقل المغناطيسي داخل ناقل أسطواني تعطى بالعلاقة $\mathbf{B = \mu_0.n.I}$ أين $\mathbf{n}$ هو عدد الحلقات لوحدة الطول . صحيح .
- إذا تمكنت وشيعة يعبرها تيار من الحركة بحرية في المجال المغناطيسي الأرضي ، فان وجهها الشمالي يتجه نحو القطب الشمالي الأرضي . صحيح .

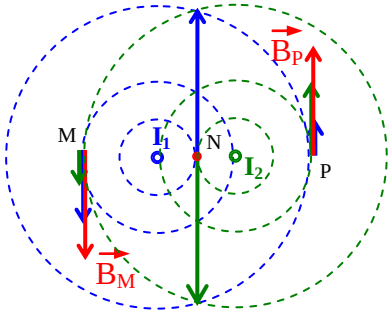
التمرين 5 : ب) $B = 53,6\ mT$ ؛ $tg\alpha = 1,34 \Leftarrow \alpha = 53°$

التمرين 9 :

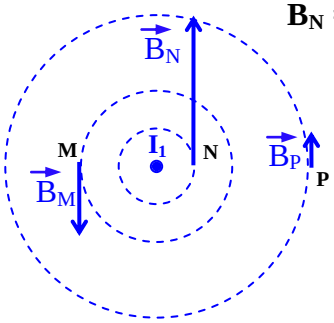
الحقل الكلي $\vec{B}$ ناتج عن تراكب الحقل $\vec{B_b}$ المتولد عن التيار في الوشيعة والمركبة الأفقية للحقل المغناطيسي الأرضي $\vec{B_h}$

حيث : $\mathbf{B_b = B_h.\ tg\alpha} \Leftarrow \mathbf{B_b = 11,55\mu T}$ و $\mathbf{B = B_h/cos\alpha} \Leftarrow \mathbf{B = 23\mu T}$

التمرين10: $\mathbf{B_N = 20\mu T}$



	M	N	P
$B(I_1)$	$\mathbf{B_N}$ /2	$\mathbf{B_N}$	$\mathbf{B_N}$ /4
$B(I_2)$	$\mathbf{B_N}$ /4	$\mathbf{B_N}$	$\mathbf{B_N}$ /2
B(t)	3 $\mathbf{B_N}$ /4	0	3 $\mathbf{B_N}$ /4



منظر علوي

	M	**N**	**P**
$B(I_1)$	**B_N /2**	**B_N**	**B_N /4**

	M	N	P
$B(I_1)$	B/2	B	B/4
$B(-2I_2)$	B/2	2B	B
B(t)	0	3B	3B/4

	M	N	P
$B(I_1)$	B/2	B	B/4
$B(2I_2)$	B/2	2B	B
B(t)	B	B	5B/4

	M	N	P
$B(I_1)$	B/2	B	B/4
$B(-I_2)$	B/4	B	B/2
B(t)	B/4	2B	B/4

التمرين 11 :

1) **نعتبر أن الوشيعة طويلة إذا كان طولها أكبر من قطرها:** $\ell >> d = 2r$

2) $B = 7,5 \times 10^{-4}\ T$.

3) نفس الحقل .

4) تتعلق قيمة الحقل الكلي بجهة التيار في الوشيعتين أي بجهة لف السلك فيهما.فيكون الحقل الكلي إذن إما مضاعف $\mathbf{B = 15 \times 10^{-4}\ T}$ أو معدوم $\mathbf{B = 0}$.