

## البطاقة التربوية.

المستوى : 2ر + 2ت ر

رقم المذكرة : 03

المجال : الميكانيك والطاقة

الوحدة 03: العمل والطاقة الحركية (حالة ح دورانية).

<b>مؤشرات الكفاءة</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- يعبر ويحسب عزم قوة بالنسبة لمحور دوران ثابت .</li><li>- يعرف عزم عطالة جسم بالنسبة لمحور دوران ثابت مار من مركزه .</li><li>- يوظف نظرية هويغنز</li><li>- يعرف أن التوازن في حالة الدوران يفسر بعزم القوة لا بالقوة نفسها .</li><li>- يحدد الشرطين العامين لتوازن جملة ميكانيكية .</li></ul>	<b>الأسئلة الأساسية</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• ما هي الحركة المنحنية ؟</li><li>• ما هي الحركة الدائرية المنتظمة ؟</li><li>• ما هو مفهوم العزم ؟</li><li>• تعيين مركز ثقل بعض الأجسام .</li><li>• الطاقة الحركية لبعض الجمل في حركة دورانية</li><li>• استنتاج عبارة الطاقة الحركية لجملة تتحرك حركة انسحابية دورانية .</li></ul>
<b>المحتوى</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1- تذكير بالحركة الدائرية .</li><li>2- عزم قوة بالنسبة لمحور ثابت .</li><li>1-2- مفهوم العزم.</li><li>2-2- عبارة عزم قوة بالنسبة لمحور ثابت.</li><li>2-3- تعيين المسافة d.</li><li>2-4- تأثير عدة قوى على جسم صلب يدور حول محور ثابت.</li><li>3- مزدوجة قوتين.</li><li>1-3- تعريف المزدوجة.</li><li>2-3- عزم المزدوجة.</li><li>4- عزم عطالة جسم صلب بالنسبة لمحور ثابت مار من مركزه.</li><li>1-4- مركز الكتل.</li><li>2-4- مركز العطالة.</li><li>3-4- عطالة الأجسام الصلبة.</li><li>4-4- عزم عطالة جسم صلب بالنسبة لمحور ثابت.</li><li>4-5- نظرية هويغنز.</li><li>5- شروط توازن جسم صلب خاضع لعدة قوى.</li><li>6- عبارة عمل مزدوجة.</li><li>7- عبارة الطاقة الحركية لجسم صلب يتحرك بحركة الدورانية .</li></ol>	<b>الوسائل المستعملة</b> <p>- عربة - مطاط</p> <b>الطرائق:</b> <p>3 ساعات نظري 2 ساعات عمل مخبري</p>
<b>التقويم</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- انجاز النشاطات من طرف التلاميذ .</li><li>- حل تمارين تطبيقية من الكتاب المدرسي.</li></ul>	<b>أمثلة للنشاطات</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- انجاز النشاطات الموجودة في الكتاب المدرسي</li><li>- انجاز تجارب .</li></ul>
<b>المراجع</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- الكتاب المدرسي المقرر ، الوثيقة المرفقة ،</li><li>- الانترنت</li><li>- CD</li></ul>	<b>النقد الذاتي</b>



- \* السرعة الزاوية المتوسطة : هي حاصل قسمة الزاوية  $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$  المسوحة بين لحظتين  $t_1$  و  $t_2$  على المدة الزمنية  $\Delta t = t_2 - t_1$  اللازمة لقطع هذه المسافة أي :  $\omega_m = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$  .
- \* العلاقة بين السرعة المتوسطة و السرعة الزاوية المتوسطة :  $v_m = R \omega_m$
- \* وحدة القياس : نعبر في نظام الوحدات الدولية على الزاوية بالراديان (rd) والزمن بالثانية (s) فتكون وحدة السرعة الزاوية الراديان على الثانية (rd / s) .
- كما نعبر على طول القوس  $\Delta s$  بالمتر (m) والزمن  $\Delta t$  بالثانية (s) فتكون وحدة السرعة (m / s) .

## 2- عزم قوة بالنسبة لمحور دوران ثابت :

### 2-1- مفهوم العزم :

#### نشاط 1

- امسك بابا من مقبضه وطبق عليه قوة نحو الأعلى حاملها موازيا لمحور الدوران . هل يدور الباب ؟
- غير الآن اتجاه القوة بحيث يقطع حاملها محور دوران هذا الباب . هل يدور الباب ؟
- كيف يجب أن يكون اتجاه القوة حتى يكون لها فعل تدويري على الباب ؟
- طبق الآن قوة كيفية على مقبض الباب حاملها لا يقطع ولا يوازي محور دوران الباب . هل لهذه القوة أثر على دوران الباب ؟

#### الاستنتاج:

حتى يكون لقوة  $F$  ، مطبقة على جسم صلب يدور حول محور ثابت ، أثر دوراني على حركته يجب أن لا يوازي حامل هذه القوة محور الدوران ولا يقطع حاملها هذا المحور .  
نفول أن لقوة  $F$  مطبقة على جسم صلب يدور حول محور ثابت عزم بالنسبة لهذا المحور إذا كان لها أثر على دوران هذا الجسم . نرمز لعزم قوة بالنسبة لمحور  $\Delta$  بالرمز :  $M_{F/\Delta}$

## 2-2- عبارة عزم قوة بالنسبة لمحور دوران ثابت:

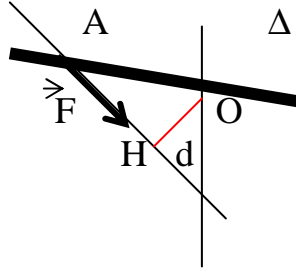
#### نشاط

- طبق على باب قوة عمودية على مستواه مرة على مقبضه ، ومرة في نقطة قريبة من محور دورانه . هل لهذه القوة أثر على دوران الباب في كلتا الحالتين ؟
- هل الباب يدور بنفس السهولة ؟
- هل الأثر الدوراني لهذه القوة على الباب يختلف في كل مرحلة ؟
- ما الذي تستنتجه بالنسبة لعزم القوة ؟
- طبق على مقبض الباب قوة عمودية على مستوى الباب ثم أعد التجربة بتطبيق قوة في نفس الاتجاه وبشدة أكبر وفي نفس النقطة . هل يوجد فرق في الأثر الدوراني للقوة على الباب في كل حالة ؟
- ما الذي تستنتجه بالنسبة لعزم القوة ؟
- طبق على مقبض الباب قوة عمودية على مستوى الباب ثم أعد التجربة بتطبيق قوة لها نفس الشدة واتجاه معاكس لاتجاه القوة السابقة وفي نفس النقطة .
- هل يدور الباب في نفس الاتجاه ؟
- هل يوجد فرق في الأثر الدوراني للقوة على الباب في كل حالة ؟
- ما الذي تستنتجه بالنسبة لعزم القوة ؟
- استنتج مما سبق عزم قوة بالنسبة لمحور ثابت .

#### الاستنتاج

يتعلق عزم قوة بالنسبة لمحور دوران  $\Delta$  حاملها لا يوازي ولا يقطع هذا المحور بشدة واتجاه هذه القوة والبعد العمودي بين حامل القوة والمحور  $\Delta$  .

### 3-2 كيف نعين المسافة d ذراع قوة حاملها كفي؟



O نقطة تقاطع محور الدوران  $\Delta$  مع المستوي P العمودي على هذا المحور، القوة F تنتمي لهذا المستوي و A نقطة تطبيقها .

تمثل المسافة d البعد بين النقطة O والنقطة H ، حيث H هو المسقط العمودي للنقطة O على حامل القوة F .

### 4-2 تأثير عدة قوى على جسم صلب يدور حول محور ثابت :

إذا أثرت عدة قوى على جسم صلب متحرك حول محور ثابت  $\Delta$  ، 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  $\Delta$  ونرمز له

$$M_{/\Delta} = M_{F1/\Delta} + M_{F2/\Delta} + M_{F3/\Delta} + \dots : M_{/\Delta}$$

العزم مقدار جبري وإشارته تدل على اتجاه دوران الجسم :

- إذا كان العزم موجبا ، يدور الجسم في الاتجاه الموجب المختار .
- إذا كان العزم سالبا ، يدور الجسم في الاتجاه السالب .

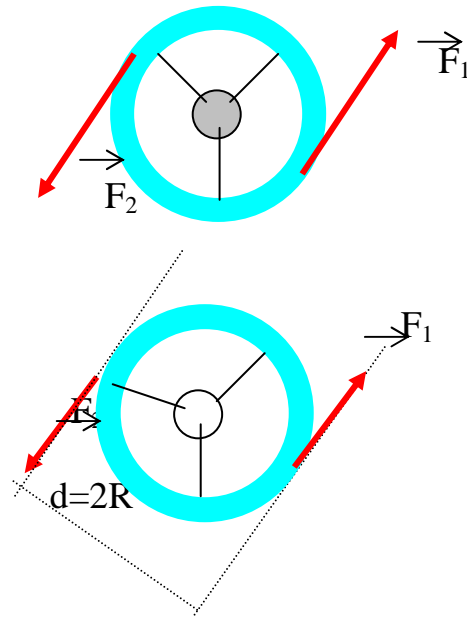
### 3- مزدوجة قوتين

#### 1-3 تعريف المزدوجة:

عبارة عن قوتين متساويتين في الشدة ومتعاكستين في الاتجاه وحاملهما متوازيين و محصلتهما معدومة .

نقتصر في هذه الدراسة على المزدوجات  $(F_1, F_2)$  الموجودة في المستوى العمودي على محور دوران الجسم الصلب .

مثال : تأثير القوتان  $F_1$  و  $F_2$  على مقود السيارة تمثل مزدوجة .



#### 2-3 عزم المزدوجة: نشاط 1

تؤثر مزدوجة قوتين  $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$  على مقود سيارة نصف قطره R

- اختر اتجاه موجب للدوران .
- احسب عزم القوة  $\vec{F}_1$  بالنسبة لمحور الدوران المار من مركز المقود .
- احسب عزم القوة  $\vec{F}_2$  بالنسبة لمحور الدوران .
- أحسب مجموع عزمي القوتين .
- استنتج عبارة عزم المزدوجة .

#### الاستنتاج

يرجع حساب عزم مزدوجة قوتين  $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$  تؤثر على جسم صلب يدور حول محور  $\Delta$  إلى حساب المجموع الجبري لعزمي القوتين .

يتعلق عزم هذه المزدوجة بشدة إحدى القوتين وذراع المزدوجة الذي هو البعد العمودي بين حامي القوتين . وتكتب العبارة على الشكل :

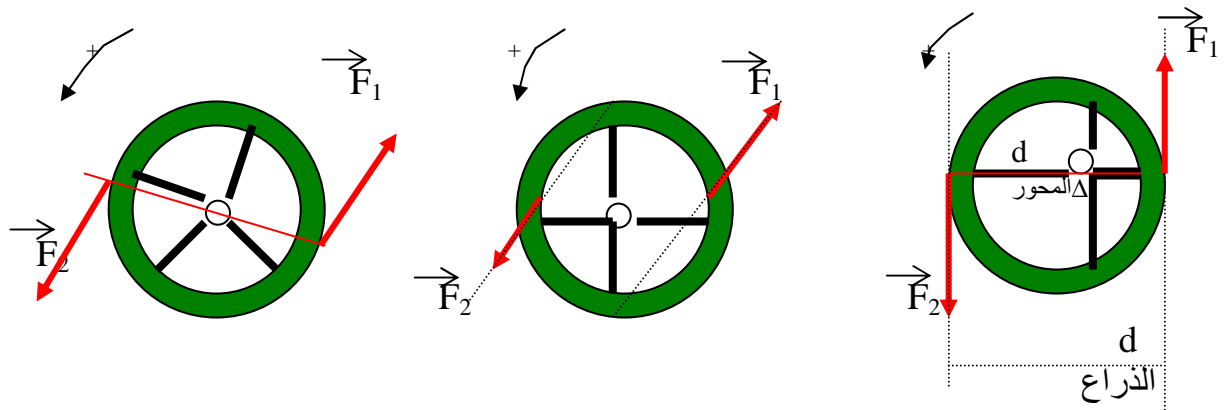
$$M_{/\Delta} = F.d$$

#### نشاط 2

تخيل أن المقود السابق يدور حول محور لا يمر من مركزه .

لاحظ الأشكال الثلاثة التالية ثم اتبع 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 .



#### الاستنتاج

لا يتعلق عزم مزدوجة قوتين موجودتين في المستوي العمودي على محور الدوران  $\Delta$  لجسم صلب بموضع هذا المحور.

يحسب عزم المزدوجة بجداء شدة إحدى القوتين في البعد العمودي  $d$  بين حاملتي القوتين :  $M_{F/\Delta} = F \cdot d \pm$

**ملاحظة :** عندما نتكلم عن عزم مزدوجة لا نذكر المحور خلافاً عن عزم القوة التي يجب دائماً ذكر محور الدوران .

**4- عزم عطالة جسم صلب بالنسبة لمحور ثابت:**

**1-4- مركز الكتلة :**

**تعريف :** يعرف مركز كتل جملة نقاط مادية كتلة كل منها  $m_1, m_2, m_3, \dots$  وموضع كل منها على التوالي

$M_1, M_2, M_3, \dots$  على أنه مركز الأبعاد المتناسبة للنقاط  $M_i$  المرفقة بالكتل  $m_i$  .

إذا اعتبرنا موضع مركز الكتل النقطة  $C$  يحسب موضعه بالعلاقة التالية :

$$m_1 \vec{CM}_1 + m_2 \vec{CM}_2 + m_3 \vec{CM}_3 + \dots = \vec{0}$$

بالنسبة لنقطة  $O$  نختارها كمبدأ نكتب العلاقة السابقة على الشكل :

$$\vec{OC} = \frac{\sum m_i \vec{OM}_i}{\sum m_i}$$

**2-4- مركز العطالة :**

**نشاط:**

ضع صفيحة من زجاج على طاولة ثم خذ قطعة صابون واغرز فيها ثلاثة أعمدة صغيرة ( أعواد ثقاب مثلاً ) في مواضع مختلفة حيث أحد الأعمدة يكون في مركز القطعة؛ بلل قطعة الصابون ثم ضعها على اللوح الزجاجي وادفعها لتتحرك عليه .

**1- هل لكل الأعمدة مسارات متشابهة خلال الحركة ؟**

- مسارات الأعمدة غير متشابهة خلال الحركة .

**2- ماهو العمود الذي له مسار خاص ؟ وما نوع هذا المسار ؟**

- العمود الذي له مسار خاص يقع في مركز القطعة و له مسار مستقيم .

#### الاستنتاج

في الأجسام الصلبة التي نعتبرها مجموعة نقط مادية ، توجد نقطة واحدة لها حركة خاصة ( حركة مستقيمة منتظمة إذا كانت الجملة معزولة ) ندعوها **مركز عطالة** الجملة ونرمز لها عادة بالرمز  $C$  . إذا كانت الكتلة لا تتعلق بسرعة الجسم كما هو الحال في دراستنا ، ينطبق مركز العطالة على مركز الكتل .

**3-4- عطالة الأجسام الصلبة :**

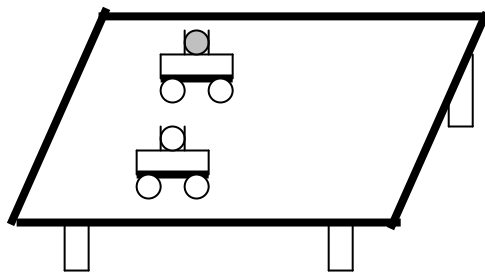
**نشاط 1**

خذ عربتين متماثلتين وضع عليهما إناءين متماثلين فارغين .

أملأ أحد الإناءين بالرمل والأخر بالصوف .

ادفع بيدك العربة الأولى ، ثم ادفع بنفس الكيفية العربة الثانية.

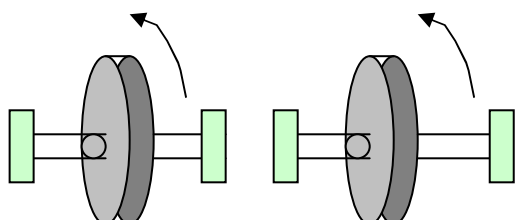
ليتحركا بحركة انسحابية .



- ما هي العربة التي أحسست أنها تسارعت حركتها أكثر عند الإقلاع ؟
- العربة المحملة بالصوف .
- ما هي العربة التي أحسست أنها تقاوم أكثر التغير في السرعة ؟
- العربة الثقيلة .
- في رأيك بماذا تتعلق هذه المقاومة للأثر الانسحابي ؟
- تتعلق هذه المقاومة للأثر الانسحابي بالكتلة .

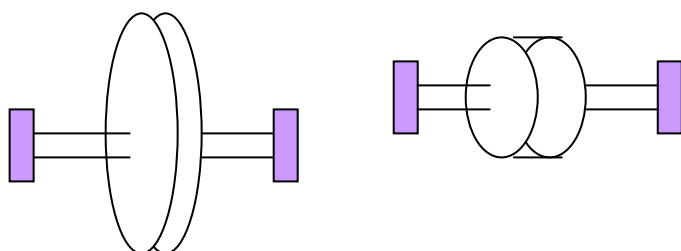
## شاط 2

( I ) خذ قرصين متماثلين ( نفس القطر ونفس السمك ) واحد من خشب والآخر من رصاص مثلا .



- اجعل كل قرص يدور حول محور أفقي يمر من مركزه .
- طبق على حافة كل قرص وبنفس الكيفية قوة لها قيمة تجعلهما يدوران حول هذين المحورين .
- أي قرص يبدي مقاومة أكبر للأثر الدوراني لهذه القوة ؟
- القرص الذي يبدي مقاومة أكبر هو القرص الثقيل .
- في رأيك بماذا تتعلق هذه المقاومة للأثر الدوراني ؟
- تتعلق هذه المقاومة للأثر الدوراني بالكتلة .

( II ) خذ كمية من الجبس امزجه بالماء ثم اقسمه إلى نصفي متساويين .



اصنع بهما قرصين أحدهما قطره R والآخر قطره 2R تقريباً .

- طبق على حافة كل قرص وبنفس الكيفية قوة لها نفس الشدة تجعلهما يدوران حول محوريهما .
- أي قرص يبدي مقاومة أكبر للأثر الدوراني للقوة ؟
- القرص الذي يبدي مقاومة أكبر للأثر الدوراني لهذه القوة هو الصغير في نصف القطر .
- في رأيك بماذا تتعلق هذه المقاومة للأثر الدوراني ؟
- تتعلق هذه المقاومة للأثر الدوراني بنصف القطر .

## نتيجة

تبدي الأجسام الصلبة المتحركة حول محور ( $\Delta$ ) مقاومة للأثر الدوراني للقوة المطبقة عليها ندعوها العطالة الدورانية . تتعلق هذه العطالة في الأجسام الصلبة بكتلة وبنصف قطر الجسم .

### 4-4- عزم عطالة جسم صلب بالنسبة لمحور ثابت:

تقاس العطالة الدورانية لجسم صلب يتحرك بالنسبة لمحور  $\Delta$

ثابت بمقدار فيزيائي يدعى عزم عطالة الجسم بالنسبة للمحور  $\Delta$

يرمز لعزم العطالة بالرمز  $J_{/\Delta}$  وهو مقدار ثابت وموجب

### تعريف

يعرف عزم العطالة  $J_{/\Delta}$  بالنسبة للمحور  $\Delta$  لجسم نقطي كتلته  $m$

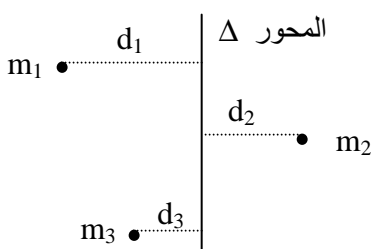
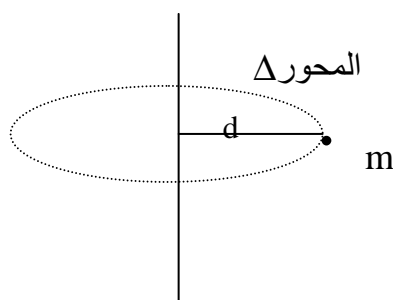
ويبعد مسافة عمودية  $d$  عن هذا المحور بالعبارة التالية :  $J_{/\Delta} = md^2$

وحدة عزم العطالة في النظام الدولي هي :  $kg \cdot m^2$

يحسب عزم عطالة جملة نقاط مادية كتلة كل نقطة  $m_1, m_2, m_3, \dots$

تبعد كل منها عن محور الدوران على التوالي مسافة عمودية  $d_1, d_2, d_3, \dots$

بمجموع عزوم عطالة كل نقطة بالنسبة لنفس المحور :  $J_{/\Delta} = \sum m_i d_i^2$



**مثال :**

حساب عزم عطالة حلقة نصف قطرها R وكتلتها M  
لحساب هذا العزم نتبع الخطوات التالية :

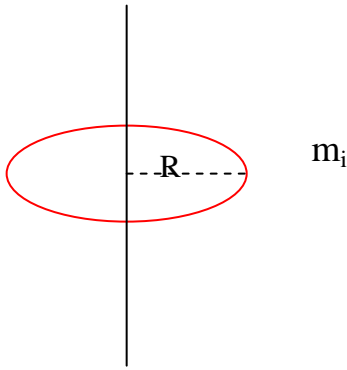
- نقسم الحلقة إلى عناصر صغيرة كتلتها  $m_i$  يمكن اعتبارها نقاط مادية تبعد كلها نفس المسافة R عن المحور  $\Delta$  .

- نعتبر الحلقة جملة نقاط مادية ويحسب عزم عطالتها بالعلاقة

$$J_{/\Delta} = m_1R^2 + m_2R^2 + m_3R^2 + \dots$$

$$J_{/\Delta} = \Sigma m_iR^2 = (\Sigma m_i)R^2 = MR^2 \text{ أي}$$

حيث  $\Sigma m_i = M$  هي كتلة الحلقة



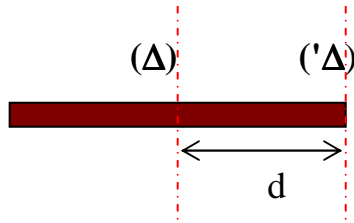
عزم عطالة بعض الأجسام الصلبة المتجانسة بالنسبة لمحور مار من مركزها:

الشكل	عزم العطالة	المحور	الجسم
	$J_{/\Delta} = MR^2$	محور الحلقة	حلقة نصف قطرها R وكتلتها M
	$J_{/\Delta} = 1/2 MR^2$	محور قطري	حلقة نصف قطرها R وكتلتها M
	$J_{/\Delta} = MR^2$	محور الأسطوانة	أسطوانة مجوفة نصف قطرها R وكتلتها M
	$J_{/\Delta} = 1/2 MR^2$	محور الأسطوانة	أسطوانة مصمتة نصف قطرها R وكتلتها M
	$J_{/\Delta} = 1/2 MR^2$	محور القرص	قرص نصف قطره R وكتلته M
	$J_{/\Delta} = 1/12 ML^2$	محور عمودي على القضيب ويمر من منتصفه	قضيب كتلته M وطوله L .
	$J_{/\Delta} = 2/5 MR^2$	محور يمر من مركزها	كرة مصمتة نصف قطرها R وكتلتها M

#### 4-5- نظرية هويغنز:

لحساب عزم عطالة جسم صلب يدور حول محور لا يمر من مركزه نستعين بنظرية هويغنز .  
**النظرية :** عزم عطالة جسم صلب بالنسبة لمحور ( $\Delta'$ ) لا يمر من مركزه يساوي عزم عطالة هذا الجسم بالنسبة لمحور  $\Delta$  مار من مركز الجسم و يوازي المحور ( $\Delta'$ ) زائدا جداء كتلة الجسم في مربع المسافة الفاصلة بين هذين المحورين :

$$J_{/\Delta'} = J_{/\Delta} + Md^2$$



مثال : اوجد عبارة عزم عطالة ساق متجانسة كتلتها M وطولها L بالنسبة لمحور دوران ر ( $\Delta'$ ) مار من طرفها .

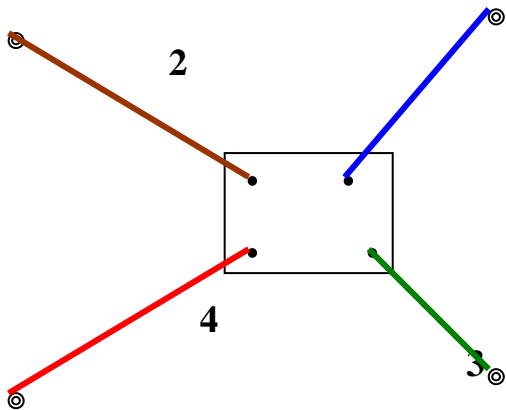
#### 5- شروط توازن جسم صلب خاضع لعدة قوى:

##### نشاط 1

خذ جسما خفيفا من فلين أو "بوليستران" استعن بزمالك وطبقا عليه أربع قوى كيفية بواسطة خيوط مطاطية .  
 حقق توازن الجسم في وضعية كيفية للأيدي .  
 هل يمكننا الحصول على توازن حيث لا تكون حوامل القوى في نفس المستوى ؟

##### نشاط 2

للقيام بالحسابات نقتصر على دراسة التوازن التي تكون فيها القوى في نفس المستوى .  
 خذ ورق مقوى ، طبق أربع قوى بواسطة خيوط مطاطية مثبتة بدبابيس على لوح من خشب عليه ورقة بيضاء تسمح لك بتعيين موضع الجسم والخيوط .  
 1- علم على الورقة بقلم شكل الجسم وحوامل الخيوط المطاطية ونقاط تثبيتها . رقم المطاطات .



- 2- استنتج شدة القوى المطبقة على الجسم باستعمال القارورة المعايرة
- 3- مثل على الورقة أشعة القوى المطبقة على الجسم باختيار سلم .
- 4- جد المجموع الشعاعي للقوى الأربع . ماذا تلاحظ ؟  
 - نلاحظ أنه معدوم .
- 5- احسب عزم كل قوة بالنسبة إلى نقطة كيفية تختارها .
- 6- احسب المجموع الجبري لهذه العزوم . ماذا تلاحظ ؟  
 - نلاحظ أنه معدوم .
- 7- استنتج عبارتي شرطي التوازن .  
 - عبارتي شرط توازن جسم صلب خاضع لعدة قوى تقع في نفس المستوى هما:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = \vec{0} \quad *$$

$$M_{/\Delta} = M_{F1/\Delta} + M_{F2/\Delta} + M_{F3/\Delta} + M_{F4/\Delta} = 0 \quad *$$

- 8- هل يبقى الجسم في حالة توازن إذا تحقق شرط واحد من شرطي التوازن ؟
- 9- اقترح طريقة عملية تبين فيها ذلك .

##### نشاط 3

عوض في التجربة السابقة قوتين بقوة واحدة (عوض المطاطين 1 و 2 بمطاط واحد 5) محافظا على نفس وضعية توازن الجسم السابق (المرسوم على الورقة) . لتعيين خصائص هذه القوة نتبع المراحل التالية :  
 تعيين حامل هذه القوة :

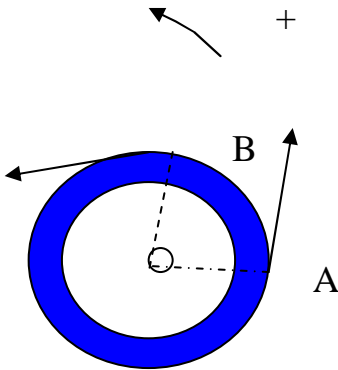


- 1- ارسم على الورقة المجموع الشعاعي للقوتين المحذوفتين .
- 2- كيف يجب أن يكون حامل المطاط 5 لتحقيق التوازن ؟
- \* يجب أن يكون حامل المطاط 5 موازيا لحامل القوة  $F_5$  التي تمثل المجموع الشعاعي للقوتين المحذوفتين .
- تعيين نقطة تطبيق هذه القوة :
- استعمل شرط التوازن الثاني  $\Sigma M_{F/\Delta} = 0$  لتعيين نقطة تثبيت الخيط المطاطي 5 على الجسم حتى يتحقق التوازن السابق . ( يخضع الجسم لتأثير الخيوط المطاطية 3 ، 4 ، 5 ) .
- تعيين شدة هذه القوة :
- حقق التوازن المطلوب بسحب المطاط 5 دون تغيير استطالتي المطاطين 3 و 4 .
- استنتج شدة وجهة هذه القوة .
- مدد على الورقة حوامل القوى الثلاث . ماذا تلاحظ ؟
- \* عند تمديد حوامل القوى الثلاث نجد أنها تلتقي في نقطة واحدة .
- هل عبارتي شرطي توازن الجسم الصلب تبقى محققة ؟
- \* نعم .
- استنتج صيغة أخرى لشرطي توازن جسم صلب خاضع لثلاثة قوى غير متوازية .
- \*  $\Sigma \vec{F}_i = \vec{0}$
- \* أن تكون القوى الثلاثة متقاطعة في نفس النقطة .

### نتيجة

- يكون جسما صلبا خاضعا لعدة قوى في حالة توازن في معلم عطالي إذا كان :
- 1- كل القوى المؤثرة عليه تقع في نفس المستوى .
  - 2- المجموع الشعاعي للقوى المطبقة على الجسم معدوم :  $\Sigma \vec{F}_i = \vec{0}$
  - 3- المجموع الجبري لعزوم القوى المؤثرة عليه معدوم :  $\Sigma M_{F/\Delta} = 0$  .
- 6- عبارة عمل مزدوجة

### نشاط



- طبق قوة بيدك على مقود سيارة نصف قطره R لتديره بزاوية  $\theta$  . نفرض أن القوة شدتها ثابتة .
- جزء المسار الدائري AB للقوة إلى قطع صغيرة نعتبرها مستقيمة واحسب عمل القوة عندما تنتقل نقطة تطبيقها على كل جزء .
- باعتبار عمل القوة من A إلى B هو مجموع أعمال القوة على كل جزء اوجد عمل القوة من A إلى B .

$$\begin{aligned} \Sigma(W_{AB}F) &= W_{AB1}(F) + W_{B1B2}(F) + W_{B2B3}(F) + \dots \\ &= F \cdot AB_1 + F \cdot B_1B_2 + F \cdot B_2B_3 + \dots \\ &= F ( AB_1 + B_1B_2 + B_2B_3 + \dots ) \end{aligned}$$

$$= F \cdot AB$$

$$AB = R \cdot \theta \quad \text{لدينا}$$

$$W(F) = AB \cdot F = R \cdot \theta \cdot F \quad \text{ومنه}$$

بما أن  $F \cdot R$  تمثل عزم القوة

$$W(F) = M_{F/\Delta} \cdot \theta \quad \text{إذن}$$

ويكون كذلك عزم المزدوجة :  $W_M = M \cdot \theta$

- جد عبارة الاستطاعة .

$$P = M_{F/\Delta} \cdot \theta / \Delta t = M_{F/\Delta} \cdot \omega$$

$$P = \frac{W(F)}{\Delta t}$$

## 7- عبارة الطاقة الحركية لجسم صلب في حالة حركة دورانية :

نشاط

- يدور جسم نقطي كتلته  $m$  حول محور ثابت بسرعة  $v$  ثابتة ويرسم مساراً دائرياً نصف قطره  $R$ .
- جد عبارة طاقته الحركية
  - بالاعتماد على علاقة السرعة بالسرعة الزاوية بين أن الطاقة الحركية تكتب على الشكل التالي :

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot J_{\Delta} \cdot \omega^2$$

حيث  $J_{\Delta} = m R^2$  هو عزم عطالة الجسم النقطي بالنسبة لمحور الدوران  
من عبارة الطاقة الحركية لحركة انسحابية نستنتج :

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2 = \frac{1}{2} m R^2 \omega^2 = \frac{1}{2} J_{\Delta} \cdot \omega^2$$

نتيجة

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