الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التربية الوطنية

مديرية التربية لولاية سطيف ثانوية الـ 45 مهدوما بوسلام

منهاج العلوم الفيزيائية للسنة الثانية

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

الوحدة رقم2: العمل و الطاقة الحركية(حالة الحركة الدورانية)		
مؤشرات الكفاءة	أمثلة عن النشاطات	المحتوى المفاهيمي
ـ يعبر و يحسب عزم قوة بالنسبة لمحور دوران ـ يعرف عزم عطالة جسم ـ يوظف نظرية هويغنز ـ يعرف أن التوازن في حالة الدوران يفسّر بعزم القوة لا بالقوة نفسها ـ يحدد الشروط العامة لتوازن جملة ميكانيكية	ـ أمثلة عن دوران أجسام حول محور ثابت(دوران الباب، ...) ـ عزم عطالة بعض الأجسام الصلبة المتجانسة ذات الأشكال الهندسية المعروفة مثل: حلقة، قرص،بكرة، اسطوانة، قضيب منتظم ، كرة ،... ـ توازن مسطرة متجانسة طويلة بالنسبة لمحور ثابت مار من إحدى نقاطها. ـ توازن بكرة.	ـ عزم قوة بالنسبة لمحور . ـ عزم مزدوجة. ـ عزم عطالة جسم صلب بالنسبة لمحور. ـ توازن جسم صلب قابل للدوران حول محور ثابت. ـ عبارة عمل عزم ثابت $W_M = M \times \alpha$ ـ الطاقة الحركية لجسم صلب في حركة دورانية: $E_c = \frac{1}{2} J\omega^2$

ـ بطاقة تربوية(03- أ-)ـ

المستوى : 2 رياضي + تقني رياضي المجال : الطاقة الوحدة(3) : العمل و الطاقة الحركية(حالة الحركة الدورانية)	الرقم : 1 نوع النشاط : درس نظري المدة : دقيقة

الموضوع	العمل و الطاقة الحركية(حالة الحركة الدورانية
الكفاءات المستهدفة	ـ يعبر ويحسب عزم قوة بالنسبة لمحور دوران ثابت . ـ يعرف عزم عطالة جسم بالنسبة لمحور دوران ثابت مار من مركزه . ـ يوظف نظرية هويغنز ـ يعرف أن التوازن في حالة الدوران يفسر بعزم القوة لا بالقوة نفسها . ـ يحدد الشرطين العامين لتوازن جملة ميكانيكية .
النشاطات المقترحة	ـ انجاز النشاطات الموجودة في الكتاب المدرسي ـ انجاز تجارب .
الوسائل و المراجع التعليمية	ـ السبورة ،الوثيقة المرافقة،المنهاج، و كل الوسائل التي تؤدي الغرض

مراحل النشاط	التوقيت
1ـ تذكير بالحركة الدائرية . 2ـ عزم قوة بالنسبة لمحور ثابت . 1.2ـ مفهوم العزم. 2.2ـ عبارة عزم قوة بالنسبة لمحورثابت. 3.2ـ تعيين المسافة d. 4.2ـ تأثيرعدة قوى على جسم صلب يدورحول محور ثابت. 3ـ مزدوجة قوتين. 1.3ـ تعريف المزدوجة. 2.3ـ عزم المزدوجة. 4ـ عزم عطالة جسم صلب بالنسبة لمحور ثابت مار من مركزه. 1.4ـ مركز الكتل. 2.4ـ مركز العطالة. 3.4ـ عطالة الأجسام الصلبة. 4.4ـ عزم عطالة جسم صلب بالنسبة لمحور ثابت. 5.4ـ نظرية هويغنز. 5ـ شروط توازن جسم صلب خاضع لعدة قوى. 6ـ عبارة عمل مزدوجة. 7ـ عبارة الطاقة الحركية لجسم صلب يتحرك بحركة الدورانية .	

ملاحظات :	

العرض النظري

1ـ تذكير

1.1ـ الحركة الدائرية لنقطة مادية.

1.1.1ـ تعريف النقطة المادية : هي كل جسم مادي أبعاده مهملة أمام كل المسافات المعتبرة في الدراسة.

أمثلة :

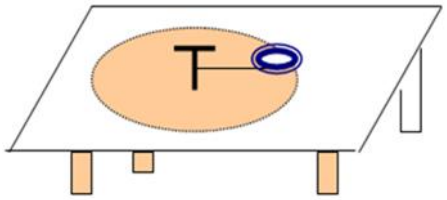
ـ كرة تنس بالنسبة لمتفرج في المدرجات .

ـ الأرض بالنسبة للشمس .

ـ الإلكترون بالنسبة للنواة في نموذج بور .

1.1.2ـ مميزات الحركة الدائرية لنقطة مادية :

مثال :

نقذف أسطوانة صغيرة مربوطة بخيط وطرفه الثاني مثبت في مسمار حيث يبقى الخيط مشدودا خلال الحركة.	

أ ـ المسار : مسار الجسم دائري وبالتالي حركته دائرية.

ب ـ تحديد موضع الجسم النقطي في لحظة معينة :

ـ الفاصلة المنحنية :

ـ الفاصلة الزاوية :

ج ـ العلاقة بين المسافة المقطوعة على المسار والزاوية الممسوحة بين لحظتين t_1 و t_2

د ـ السرعة

2ـ عزم قوة بالنسبة لمحور دوران ثابت :

2.1ـ مفهوم العزم :

نشاط 1

ـ امسك بابا من مقبضه وطبق عليه قوة نحو الأعلى حاملها موازيا لمحور الدوران .هل يدور الباب ؟

ـ غيرالآن اتجاه القوة بحيث يقطع حاملها محور دوران هذا الباب .هل يدور الباب ؟

ـ كيف يجب أن يكون اتجاه القوة حتى يكون لها فعل تدويري على الباب ؟

ـ طبق الآن قوة كيفية على مقبض الباب حاملها لا يقطع ولا يوازي محور دوران الباب .

هل لهذه القوة أثرعلى 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 .
نقول 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 Δ 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 ؟

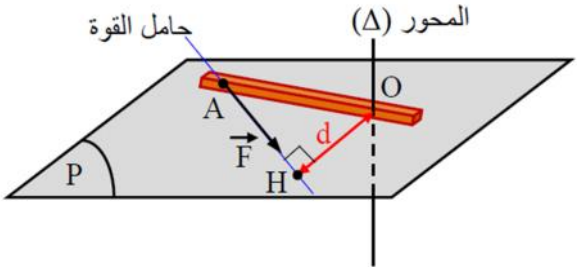
طبق على مقبض الباب قوة عمودية على مستوى الباب ثم أعد التجربة بتطبيق قوة لها نفس الشدة واتجاه معاكس لاتجاه القوة السابقة وفي نفس النقطة .

- 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 Δ حاملها لا يوازي و لا يقطع هذا المحور بـ شدة واتجاه هذه القوة والبعد العمودي بين حامل القوة والمحور Δ .

3.2 كيف نعين المسافة d ذراع قوة حاملها كيفي؟



O نقطة تقاطع محور الدوران Δ مع المستوي P العمودي على
هذا المحور، القوة $\vec{F}$ تنتمي لهذا المستوي و A نقطة تطبيقها .
تمثل المسافة d البعد بين النقطة 0 والنقطة H , حيث H هو المسقط العمودي للنقطة 0 على حامل القوة $\vec{F}$.

4.2 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 ونرمز له بالرمز $M_{/\Delta}$: $M_{/\Delta} = M_{F1/\Delta} + M_{F2/\Delta} + M_{F3/\Delta} + \ldots .$

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 .

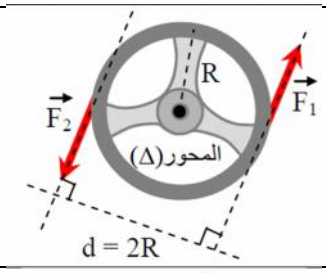
3. مزدوجة قوتين

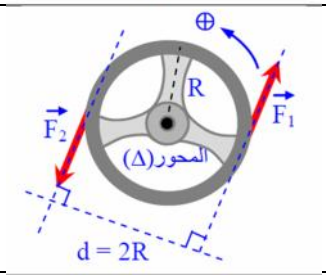
3.1. تعريف المزدوجة:

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

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

مثال : تأثير القوتان $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ على مقود السيارة تمثل مزدوجة .





3.2. عزم المزدوجة:

نشاط1

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

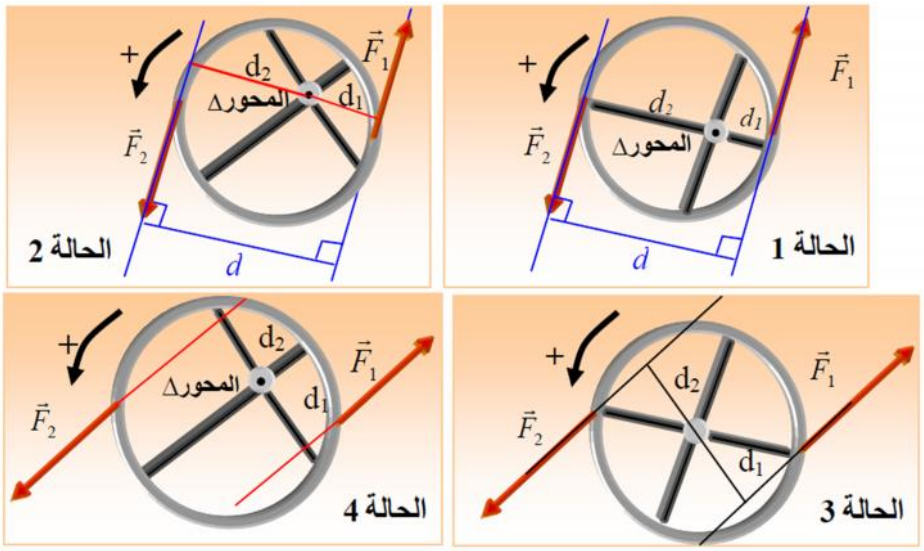
يرجع حساب عزم مزدوجة قوتين $(\vec{F_1}, \vec{F_2})$ تؤثر على جسم صلب يدور حول محور Δ إلى حساب المجموع الجبري لـ عزمي القوتين .
يتعلق عزم هذه المزدوجة بشدة إحدى القوتين وذراع المزدوجة الذي هو البعد العمودي بين حاملي القوتين . وتكتب العبارة على الشكل :

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

نشاط2

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 Δ لجسم صلب بموضع هذا المحور.
يحسب عزم المزدوجة بجداء شدة إحدى القوتين في البعد العمودي d بين حاملي القوتين : $M_{F/\Delta} = \pm F.d$

ملاحظة : عندما نتكلم عن عزم مزدوجة لا نذكر المحور خلافا عن عزم القوة التي يجب دائما ذكر محور الدوران .

4ـ عزم عطالة جسم صلب بالنسبة لمحور ثابت:

1.4ـ مركز الكتل :

تعريف : يعرف مركز كتل جملة نقاط مادية كتلة كل منها ..... $m_1 , m_2 , m_3 ,$ وموضع كل منها 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 :

$$m_1 \overrightarrow{CM_1} + m_2 \overrightarrow{CM_2} + m_3 \overrightarrow{CM_3} + \ldots\ldots = 0$$

بالنسبة لنقطة O نختارها كمبدأ تكتب العلاقة السابقة على الشكل :

$$\overrightarrow{OC} = \frac{\sum m_i \overrightarrow{OM_{i\rightarrow}}}{\sum m_i}$$

2.4 مركز العطالة :

نشاط:

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

1ـ هل لكل الأعمدة مسارات متشابهة خلال الحركة ؟

ـ مسارات الأعمدة غير متشابهة خلال الحركة .

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

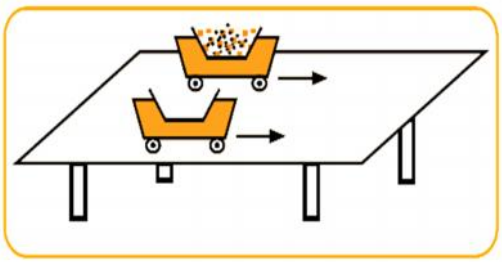
ـ العمود الذي له مسار خاص يقع في مركز القطعة و له مسار مستقيم .

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 .

3.4ـــعطالة الأجسام الصلبة :

نشاط1



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 .

ـ ما هي العربة التي أحسست أنها تسارعت حركتها أكثر عند الإقلاع ؟

ـ العربة المحملة بالصوف .

ـ ما هي العربة التي أحسست أنها تقاوم أكثر التغير في السرعة ؟

ـ العربة الثقيلة .

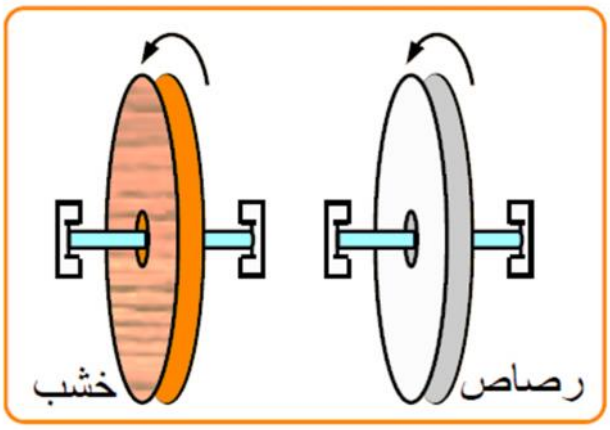
ـ في رأيك بماذا تتعلق هذه المقاومة للأثر الانسحابي ؟

ـ تتعلق هذه المقاومة للأثر الانسحابي بالكتلة

نشاط 2

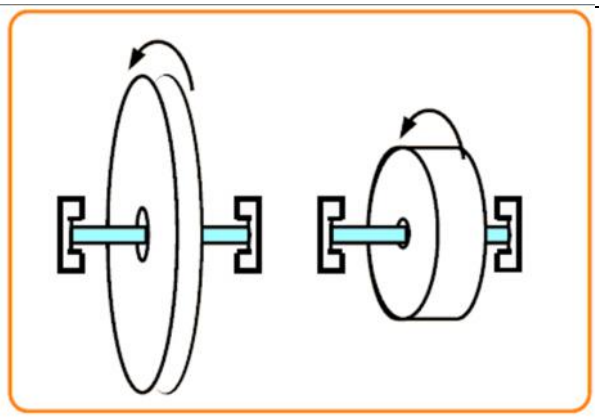
I) خذ قرصين متماثلين (نفس القطر ونفس السمك) واحد من خشب والأخر من رصاص مثلا .
اجعل كل قرص يدور حول محور أفقي يمر من مركزه .
طبق على حافة كل قرص وبنفس الكيفية قوة لها قيمة تجعلهما يدوران حول هذين المحورين .

- **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 تقريبا .
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(Δ) 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 لمحورثابت:

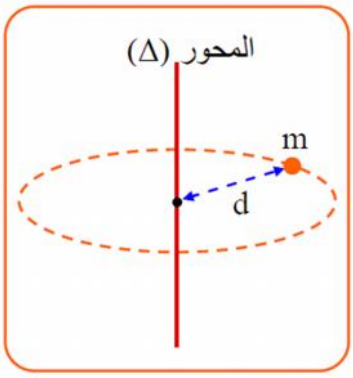
تقاس العطالة الدورانية لجسم صلب يتحرك بالنسبة لمحور Δ
ثابت بمقدار فيزيائي يدعى عزم عطالة الجسم بالنسبة للمحور Δ
يرمز لعزم العطالة بالرمز $J_{/\Delta}$ وهو مقدار ثابت وموجب

تعريف

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

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

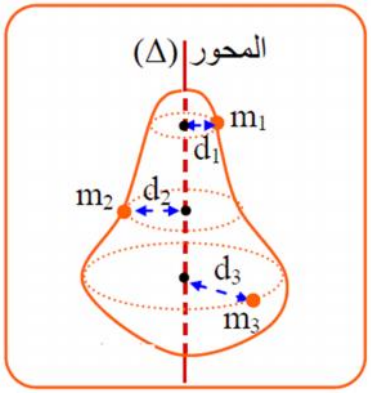
وحدة عزم العطالة في النظام الدولي هي : $kg \cdot m^2$



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

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

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



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

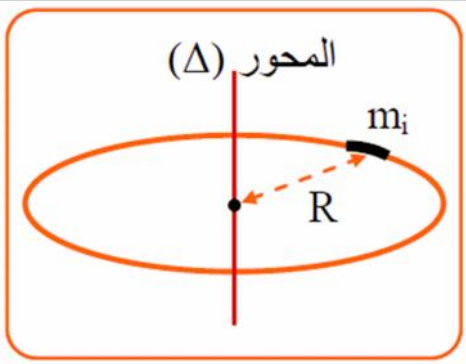
تبعد كلها نفس المسافة R عن المحور Δ .

- نعتبر الحلقة جملة نقاط مادية و يحسب عزم عطالتها بالعبارة

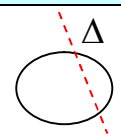
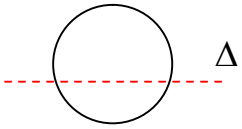
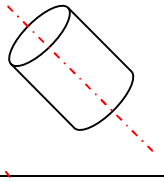
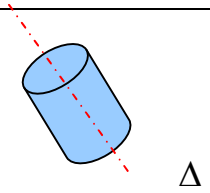
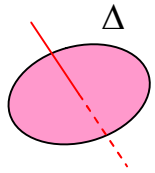
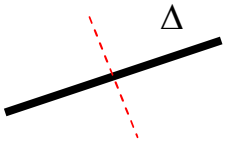
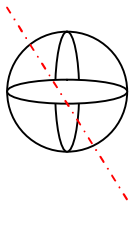
التالية : $J_{/\Delta} = m_1R^2 + m_2R^2 + m_3R^2 + ...$

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

حيث $\Sigma m_i = M$ هي كتلة الحلقة



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

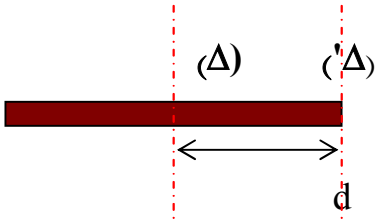
الجسم	المحور	عزم العطالة	الشكل
حلقة نصف قطرها R وكتلتها M	محور الحلقة	$J_{/\Delta} = MR^2$	
حلقة نصف قطرها R وكتلتها M	محور قطري	$J_{/\Delta} = 1/2\ MR^2$	
أسطوانة مجوفة نصف قطرها R وكتلتها M	محور الأسطوانة	$J_{/\Delta} = MR^2$	
أسطوانة مصمتة نصف قطرها R وكتلتها M	محور الأسطوانة	$J_{/\Delta} = 1/2\ MR^2$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

4.5 نظرية هويغنز:

لحساب عزم عطالة جسم صلب يدور حول محورلا يمرمن مركزه نستعين بنظرية هويغنز .

النظرية : عزم عطالة جسم صلب بالنسبة لمحور(Δ') لا يمر من مركزه يساوي عزم عطالة هذا الجسم بالنسبة لمحور Δ مار من مركز الجسم و يوازي المحور (Δ') زائدا جداء كتلة الجسم في مربع المسافة الفاصلة بين هذين المحورين :

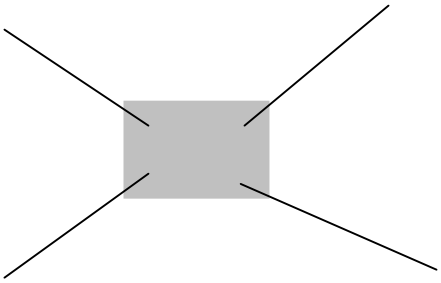
$$J_{/\Delta'} = J_{/\Delta} + Md^2$$



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

5. شروط توازن جسم صلب خاضع لعدة قوى:

نشاط 1

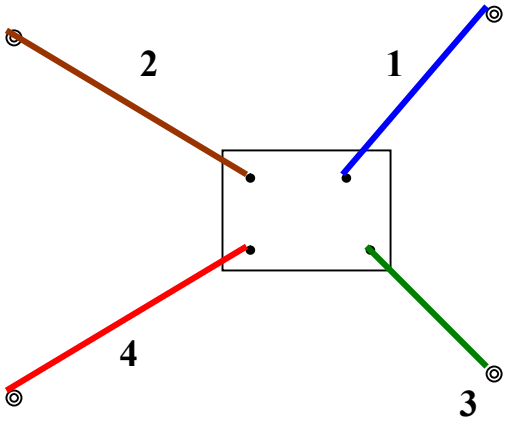


خذ جسما خفيفا من فلين أو "بوليستران"
استعن بزميلك وطبقا عليه أربع قوى كيفية بواسطة خيوط مطاطية .
حقق توازن الجسم في وضعية كيفية للأيدي .
هل يمكنكما الحصول على توازن حيث لا تكون حوامل القوى في نفس المستوى ؟

نشاط 2

للقيام بالحسابات نقتصر على دراسة أوضاع 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.**

7ـ استنتج عبارتي شرطي التوازن .

ـ عبارتي شرط توازن جسم صلب خاضع لعدة قوى تقع في نفس المستوى هما:

- $\vec{F_1} + \vec{F_2} + \vec{F_3} + \vec{F_4} = \vec{0}$
- $M_{/\Delta} = M_{F1/\Delta} + M_{F2/\Delta} + M_{F3/\Delta} + M_{F4/\Delta} = 0$

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

9ـ 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 :

1ـ ارسم على الورقة المجموع الشعاعي للقوتين المحذوفتين .

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

ـ 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 ؟

ـ عند تمديد حوامل القوى الثلاث نجد أنها تلتقي في نقطة واحدة .

ـ هل عبارتي شرطي توازن الجسم الصلب تبقى محققة ؟

ـ نعم .

ـ 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 :

1ـ كل القوى المؤثرة عليه تقع في نفس المستوى .

2ـ المجموع الشعاعي للقوى المطبقة على الجسم معدوم : $\Sigma \vec{F_i} = \vec{0}$

3ـ المجموع الجبري لعزوم القوى المؤثرة عليه معدوم : $\Sigma M_{F/\Delta} = 0$.

6ـ عبارة عمل مزدوجة

نشاط

طبق قوة بيدك على مقود سيارة نصف قطره R لتديره بزاوية θ . 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.

$$\Sigma(W_{AB}F) = W_{AB1}(F) + W_{B1B2}(F) + W_{B2B3}(F)+\ldots\ldots$$
$$= F \cdot AB_1 + F \cdot B_1B_2 + F.B_2B_3 + \ldots\ldots$$
$$= F\,(AB_1 + B_1B_2+B_2B_3+ \ldots)$$
$$= F \cdot AB$$

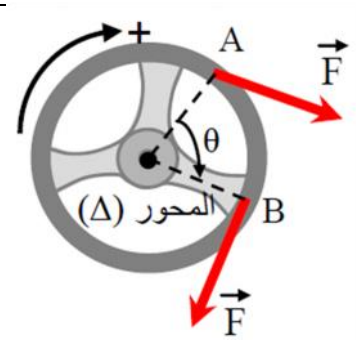
لدينا $AB = R \cdot \theta$

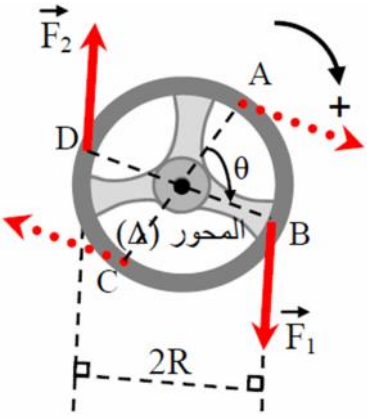
ومنه : $W(F) = AB \cdot F = R \cdot \theta \cdot F$

بما أن F .R تمثل عزم القوة

إذن : $\mathbf{W(F) = M_{F/\Delta} \cdot \theta}$

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





- جد عبارة الاستطاعة.

$$P = \frac{W(F)}{\Delta t} \qquad P = M_{F/\Delta} \cdot \theta / \Delta t = M_{F/\Delta} \cdot \omega$$

7ـ عبارة الطاقة الحركية لجسم صلب في حالة حركة دورانية :

نشاط

يدور جسم نقطي كتلته m حول محور ثابت بسرعة v ثابتة ويرسم مسارا دائريا نصف قطره R .

- جد عبارة طاقته الحركية
- بالاعتماد على علاقة السرعة بالسرعة الزاوية بين أن الطاقة الحركية تكتب على الشكل التالي :

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

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

من عبارة الطاقة الحركية لحركة انسحابية نستنتج :

$$E_c = \frac{1}{2} mV^2 = \frac{1}{2} m R^2\omega^2 = \frac{1}{2} J_\Delta.\omega^2$$

نتيجة

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