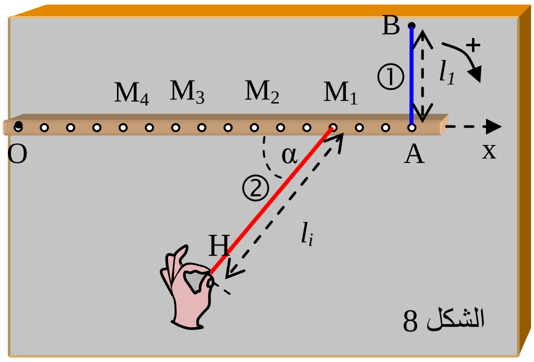
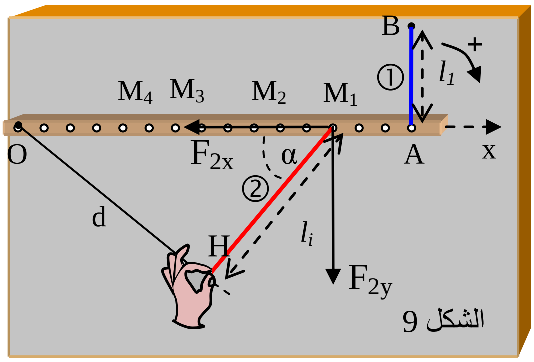
- ما هو أثر القوة المطبقة من طرف المطاط ① على القضيب ؟ .... (يدير المطاط ① القضيب في الاتجاه المعاكس للاتجاه الموجب المختار)
- ما هو أثر القوة المطبقة من طرف المطاط ② على القضيب ؟ .... (يدير المطاط ② القضيب في نفس الاتجاه الموجب المختار)

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



الشكل 8



الشكل 9

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

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

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

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

- 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 ؟

.... (تلاحظ 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)) .

- 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 :

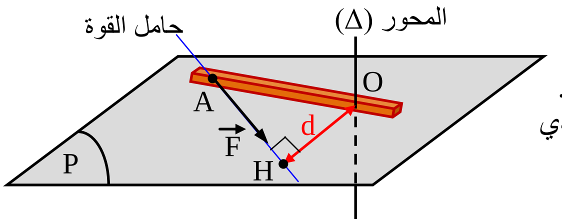
يحسب عزم قوة بالنسبة لمحور Δ . بجداء شدة هذه القوة في البعد العمودي d بين حامل هذه القوة و المحور Δ . و تكتب العبارة على الشكل : $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = \|\vec{F}\|.d$

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 ؟

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**) . تُمثّل d البعد بين النقطتين A و H ، حيث H هو المسقط العمودي للنقطة O على حامل القوة $\vec{F}$.



الشكل 10

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

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 :

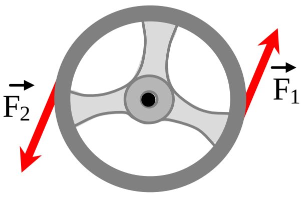
2-1) تعريف المزدوجة :

تدعى جملة قوتين محصلتهما معدومة (متوازيتين و متعاكستين بالاتجاه) و ليس لهما نفس الحامل مزدوجة قوتين (أو مزدوجة) .

نقتصر في هذه الدراسة على المزدوجات $\left(\vec{F}_1, \vec{F}_2\right)$ 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 $\left(\vec{F}_1, \vec{F}_2\right)$.



الشكل 11

2-2) عزم المزدوجة :

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

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

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

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

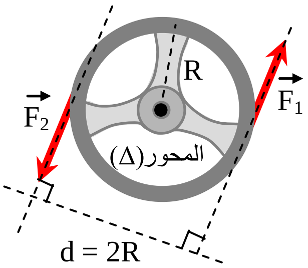
.... $\left(\text{عزم محرك : } \mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} = +\|\vec{F}_2\|.R > 0\right)$

- أحسب مجموع عزمي القوتين .

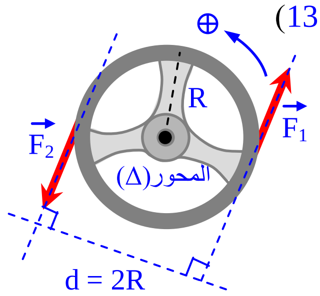
.... $\mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} = \|\vec{F}_1\|.R + \|\vec{F}_2\|.R)$

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

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



الشكل 12



الشكل 13

- 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 $\left(\vec{F}_1, \vec{F}_2\right)$ تؤثر على جسم صلب يدورحول 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:

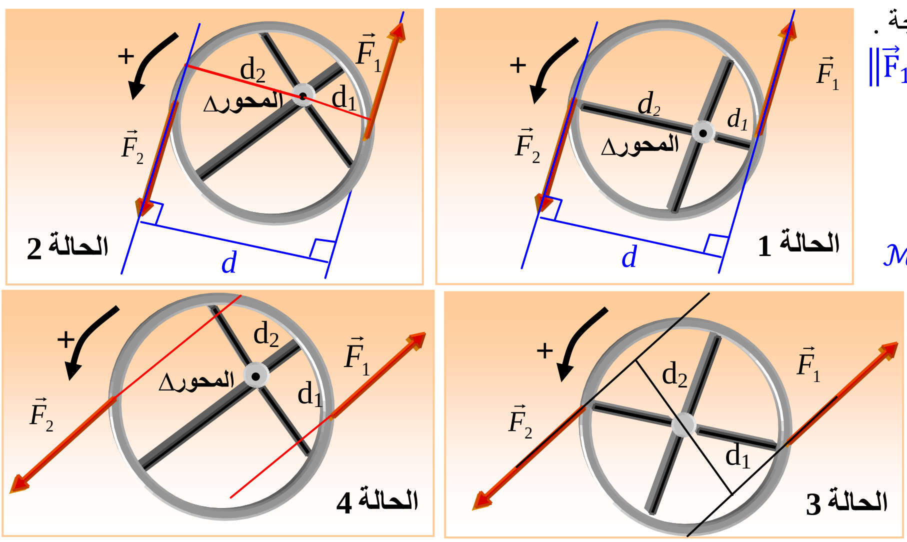
$$\mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} = +\|\vec{F}\|.d_1$$

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

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

- 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 :

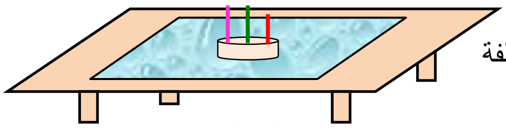
$$\boxed{m_1.\overrightarrow{CM_1} + m_2.\overrightarrow{CM_2} + m_3.\overrightarrow{CM_3} + \dots = \vec{0}}$$

بالنسبة لنقطة O مختارة كمبدأ في مرجع معين ، تكتب العلاقة السابقة على الشكل :

$$\boxed{\overrightarrow{OC} = \frac{\Sigma m_i.\overrightarrow{CM_i}}{\Sigma m_i}}$$

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 .



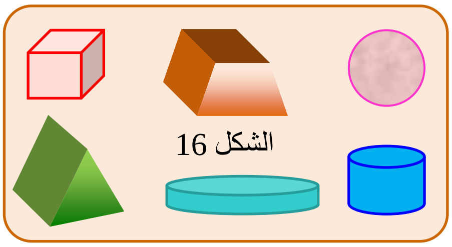
الشكل 15

- 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 :



الشكل 16

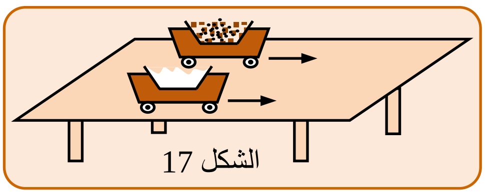
نعتبر في دراستنا حالة الأجسام الصلبة المتجانسة (**الشكل – 16**) .

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 .

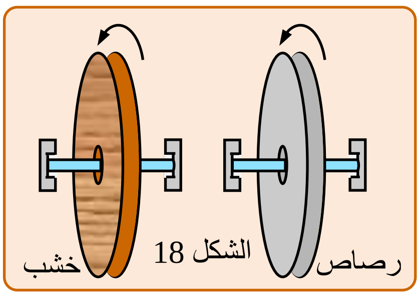
3-4) عطالة الأجسام الصلبة :



الشكل 17

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) .

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

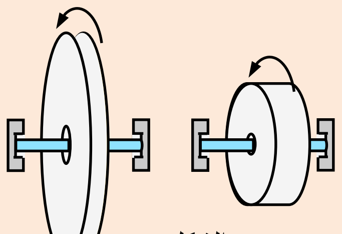


الشكل 18

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 .

- 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) .


الشكل 19

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 .

- 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) .

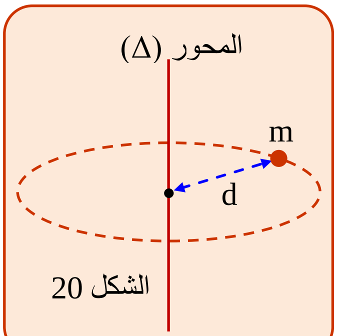
نتيجة استنتج بإكمال الفراغات :

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 .

3-5) عزم عطالة جسم بالنسبة لمحور :

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

تعريف : يعرّف عزم العطالة $J_{/\Delta}$ بالنسبة لمحور (Δ) لجسم نقطي كتلته m و يبعد مسافة d عن هذا المحور بالعبارة التالية: $\boxed{J_{/\Delta} = m.d^2}$ (**الشكل – 20**) .
وحدة عزم العطالة في النظام الدولي هي : $\mathbf{kg.m^2}$.
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 : $J_{/\Delta} = \Sigma m_i.d_i^2$.



الشكل 20

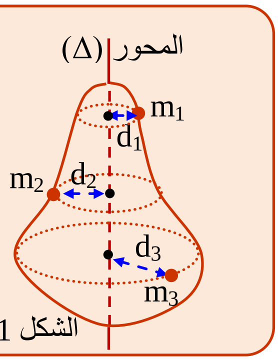
☒ ملاحظة : عزم عطالة جسم صلب بالنسبة لمحور هو مقدار ثابت يميز الجسم .

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

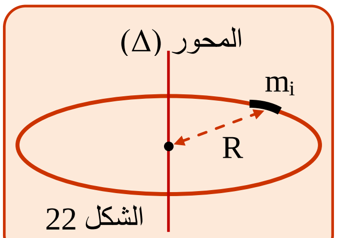
- نقسم الحلقة إلى قطع صغيرة كتلها m_i يمكن اعتبارها نقاطًا مادية تبعد كل منها نفس البعد R عن محور الدوران (Δ) .
- تعتبر الحلقة جملة من النقاط المادية و بالتالي يحسب عزم عطالتها بالعبارة التالية :

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

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 21



الشكل 22

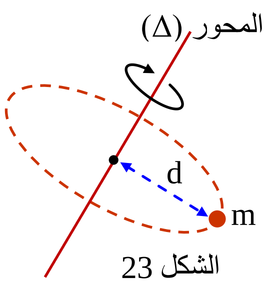
- عزوم عطالة بعض الأجسام الصلبة المتجانسة بالنسبة لمحاور مارة من مراكز عطالتها :

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

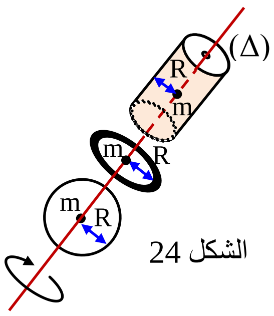
$$\boxed{J_{/\Delta} = m.d^2}$$

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

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



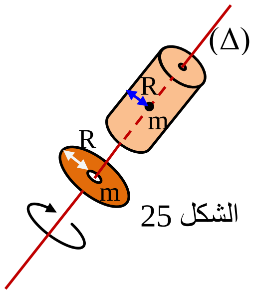
الشكل 23



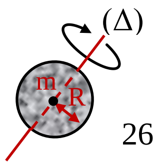
الشكل 24

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

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



الشكل 25



الشكل 26

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

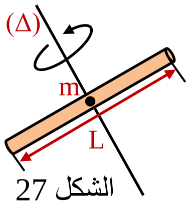
$$\boxed{J_{/\Delta} = \frac{2}{5}\,m.R^2}$$

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

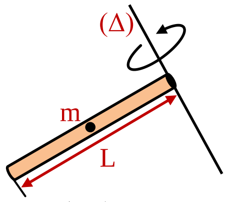
$$\boxed{J_{/\Delta} = \frac{1}{12}\,m.L^2}$$

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

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



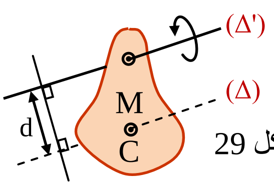
الشكل 27



الشكل 28

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**) .

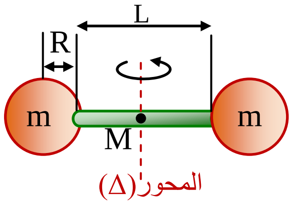
$$\boxed{J_{/\Delta'} = J_{/\Delta} + M.d^2}$$



الشكل 29

مثال :

يمثل (**الشكل – 30**) جسمًا متكونًا من كرتين متماثلتين كتلة كل واحدة منهما m و نصف 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 : $J_2 = J_1$

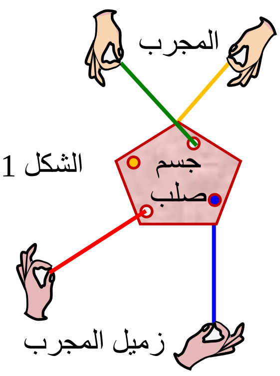
J_3 عزم عطالة القضيب ، عبارته بالتعريف : $J_3 = \frac{1}{12}\,M.L^2$

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 : $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$.

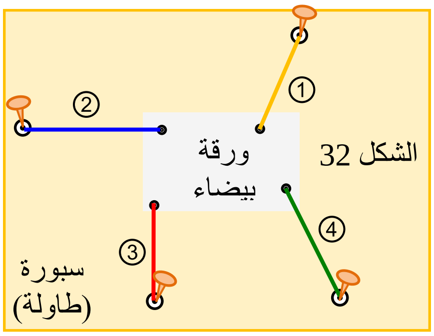


الشكل 31

نشاط ① : خذ جسمًا خفيفًا من الفلين (أو البوليسترن) 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) .

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**) .

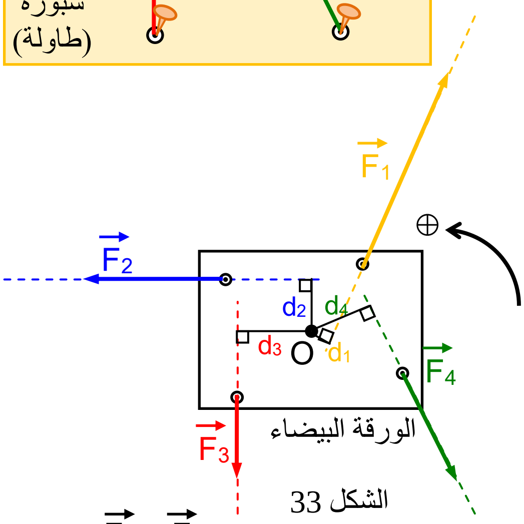


الشكل 32

1 - علّم على الورقة البضاء 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 :
$F_1 = 7\ \text{N}$ ، $F_2 = 5\ \text{N}$ ، $F_3 = 3\ \text{N}$ و $F_4 = 3{,}46\ \text{N}$
حيث : $\left(\vec{F}_1, \vec{F}_2\right) = 120°$ ، $\left(\vec{F}_3, \vec{F}_4\right) = 30°$) .

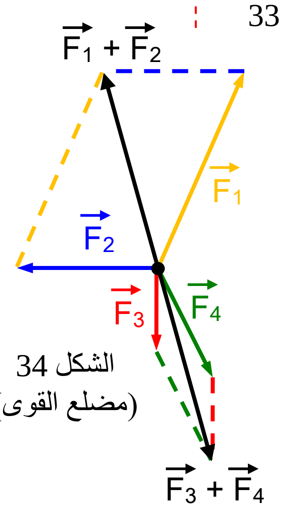
3 - مثل على الورقة أشعة القوى المطبقة على الجسم باختيار سلّم . ... (أنظر الشكل –33) .



الشكل 33

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 : $d_1 = 1\ \text{cm}$ ، $d_2 = 3\ \text{cm}$ ، $d_3 = 7\ \text{cm}$ و $d_4 = 12{,}5\ \text{cm}$ بالتالي :
$\mathcal{M}_{\vec{F}_1/O} = +\|\vec{F}_1\|.d_1 = +0{,}07\ \text{N.m}$ ،
$\mathcal{M}_{\vec{F}_2/O} = +\|\vec{F}_2\|.d_2 = +0{,}15\ \text{N.m}$ ،
$\mathcal{M}_{\vec{F}_3/O} = +\|\vec{F}_3\|.d_3 = +0{,}21\ \text{N.m}$ ،
$\mathcal{M}_{\vec{F}_4/O} = -\|\vec{F}_4\|.d_4 = -0{,}43\ \text{N.m}$) .



الشكل 34 (مضلع القوى)

6 - أحسب المجموع الجبري لهذه العزوم . ماذا تلاحظ ؟ .... (واضح أن : $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/O} = 0$
أي : $\mathcal{M}_{\vec{F}_1/O} + \mathcal{M}_{\vec{F}_2/O} + \mathcal{M}_{\vec{F}_3/O} + \mathcal{M}_{\vec{F}_4/O} = 0$) .

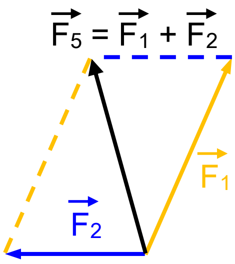
7 - استنتج عبارتي شرطي توازن جسم صلب خاضع لأربع قوى تقع في نفس المستوى . ... (مما سبق يتبين أن شرط التوازن لجسم صلب خاضع لأربع قوى تقع في مستو واحد هما :
$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = \vec{0}$ أو $\sum_i \vec{F}_i = \vec{0}$ .... (الشرط ①)
$\mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_3/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_4/\Delta} = 0$ أو $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$ .... (الشرط ②)

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) محافظاً على نفس وضعية توازن الجسم السابقة (المرسومة على الورقة) . لتعيين خصائص هذه القوة نتبع الخطوات التالية :

- تعيين حامل القوة :



الشكل 35

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 $\vec{F}_5$)

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

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

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

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

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 .

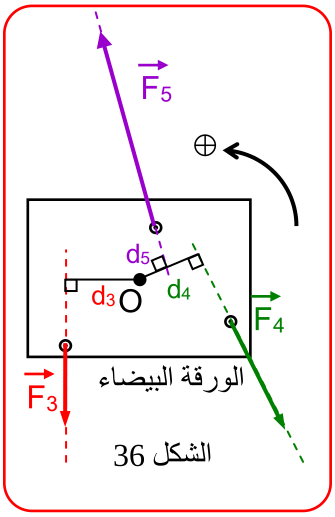
- تعيين شدة هذه القوة :

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

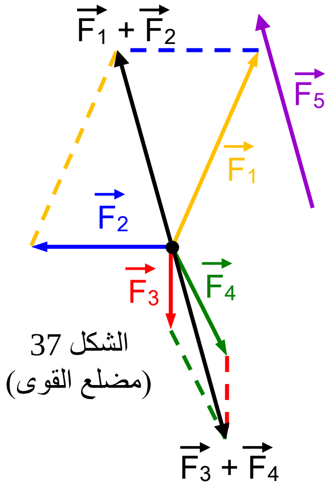
1 - استنتج شدة و جهة هذه القوة .

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) .



الشكل 36



الشكل 37
(مضلع القوى)

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) .

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 .

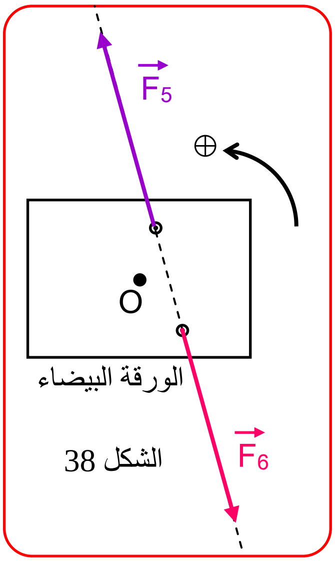
9 - كيف تصبح هذه الصيغة إذا كانت القوى متوازية ؟ .... (إذا كانت القوى متوازية يجب تحقق شرطا التوازن ①و② معًا)

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) .

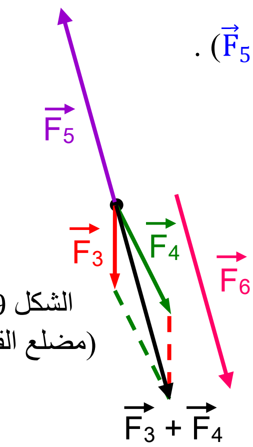
1 - ابحث عن نقطة تثبيت الخيط المطاطي ⑥ على الجسم حتى يتحقق التوازن السابق ؟
.... (يجب أن تكون هذه النقطة من حامل القوة $\vec{F}_5$) .

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) .



الشكل 38



الشكل 39
(مضلع القوى)

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) .

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 .