المجال (I) : الطـاقة .

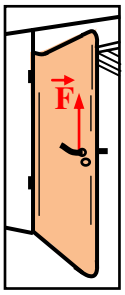
الوحـدة ③: العمل و الطاقة الحركية (حالة الحركة الدورانية)

● 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 .

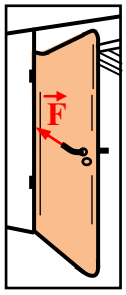
1 - عزم قوة بالنسبة لمحور ثابت :

1 ـ1) مفهوم العزم :



▪ الشكل – 1

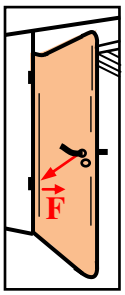
نشاط ① : نعلم أن الأبواب تدور حول محور ثابت ، ندعوه **محور الدوران (Δ)** ، يمر من مفاصلها .



▪ الشكل – 2

- امسك بأيدٍ 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 – 3

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) .

- 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 : $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta}$.

1 ـ2) 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 طردًا) .

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) .

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

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) .

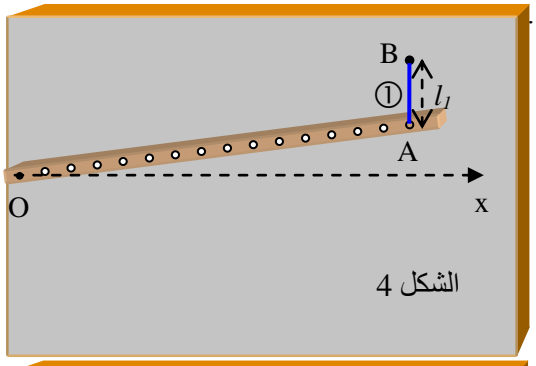
- نتيجة استنتج بإكمال الفراغات :

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 ($1\ cm \times 1\ cm \times 50\ cm$) 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 .

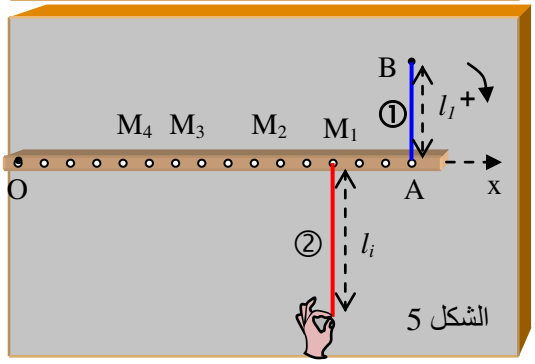


الشكل 4

العمل التجريبي :

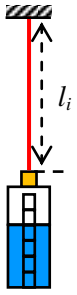
الجزء (أ) : علق القضيب بواسطة سلك مطاطي ① مربوط في النقطتين A و B (**الشكل – 4**) . علق مطاطًا آخر ② في النقطة M_1 ثم اسحبه بيدك حتى يصبح القضيب منطبقًا مع المحور الأفقي (Ox) الذي نختاره وضعًا مرجعيًا (**الشكل – 5**) . يكون المطاطان في هذه الحالة شاقوليين .

- 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

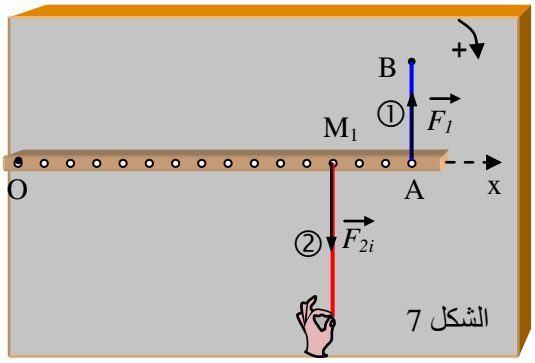
- استعمل قارورة البلاستيك المعايرة سابقًا بوحدة النيوتن (الرّبيعة) و حدّد شدة القوة الموافقة لكل طول و ذلك بملأ القارورة بالكمية المناسبة من الماء التي تجعل المطاط يستطيل بالطول المناسب l_i (**الشكل – 6**) .
- أرسم على ورقة التجربة باستعمال سلم رسم مناسب القوى المطبقة على القضيب من طرف المطاطات . ..... (أنظر الشكل – 7) .
- دوّن نتائجك في الجدولين التاليين و أكملهما .



الشكل 6

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

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



الشكل 7

- 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 .

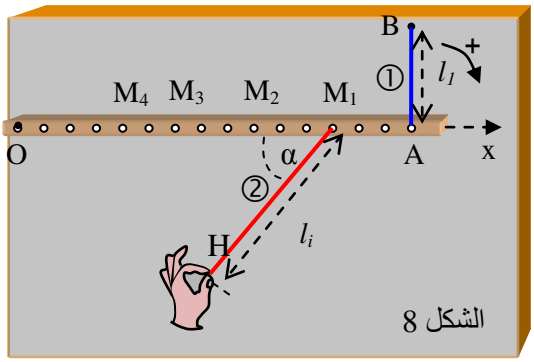
..... (كما هو موضح في الجدول ، نلاحظ أن $\|F_{2i}.OM_i\| = \|F_1.OA\|$)

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

- 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 :

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

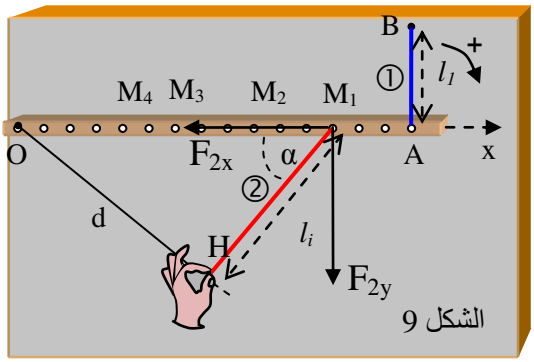
- أحسب الجداء $(F_{2i}.OM_i)$ و قارنه مع $(F_1.OA)$. ماذا تلاحظ ؟

..... (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") .

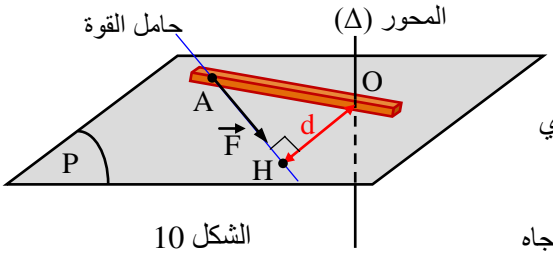
- نتيجة استنتج بإكمال الفراغات :

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

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

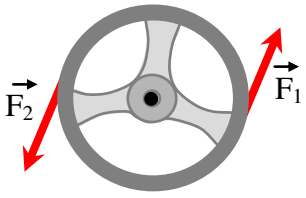
العزم مقدار جبري و إشارته تدل على اتجاه دوران الجسم :
- إذا كان العزم " موجبًا " ، يدور الجسم بالاتجاه الموجب المختار .
- إذا كان العزم " سالبًا " ، يدور الجسم بالاتجاه السالب .

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**) .

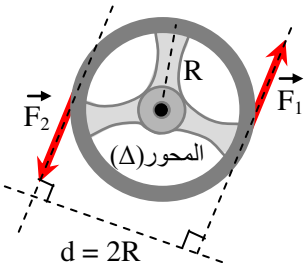
مثال : لاحظ على الشكل المقابل تأثير القوتين $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ على مقود السيارة .
تمثل هاتان القوتان : مزدوجة $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$.



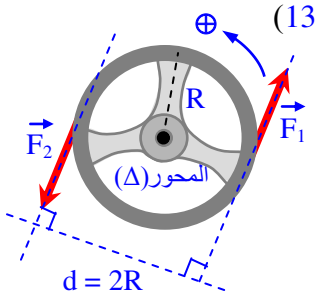
الشكل 11

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:

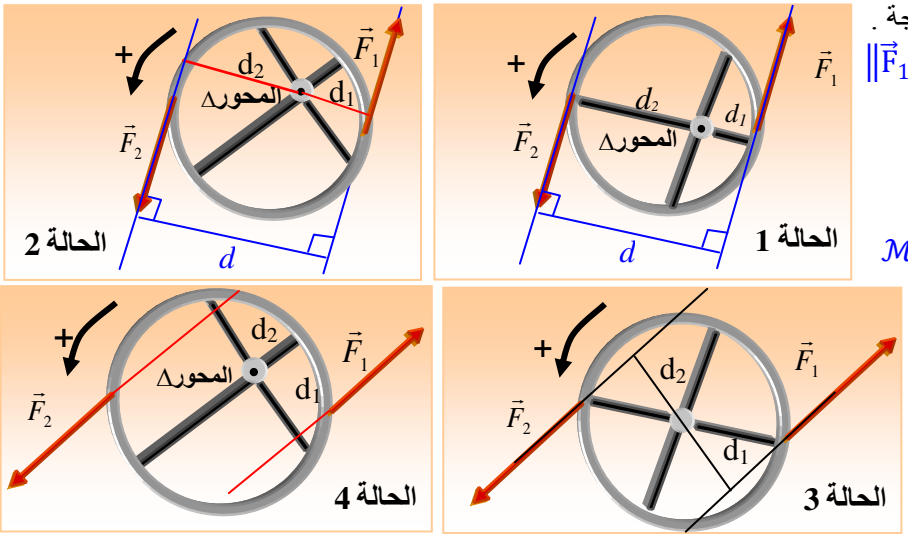
$\mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} = +\|\vec{F}\|.d_1$

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

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

- 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 :

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

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

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

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

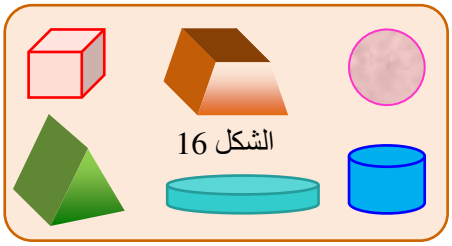
- هل لكل الأعمدة مسارات متشابهة ؟ ..... (لا يكون لكل الأعمدة مسارات متشابهة بل يكون لها مسارات عشوائية مختلفة) .
- ما هو العمود الذي له مسار خاص ؟ و ما نوع هذا المسار ؟ ..... (العمود الذي له مسار خاص هو العمود المغروز في مركز قطعة الصابون حيث يسلك مسارًا مستقيمًا و يكون للعمودين الآخرين مسارين منحنيين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

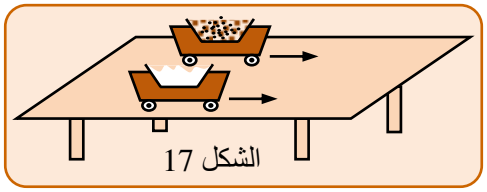

الشكل 16

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 :

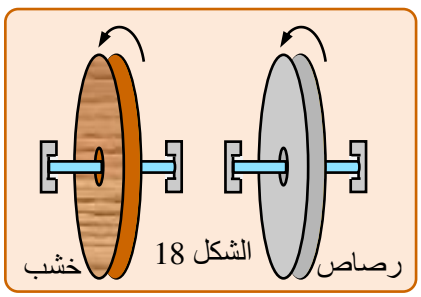
نشاط ① : خذ عربتين متماثلتين و ضع عليهما إنائين متماثلين فارغين .
إملأ أحد الإنائين بالرمل و الآخر بالصوف (**الشكل – 17**) .
ادفع بيدك العربة الأولى ثم ادفع بنفس الكيفية العربة الثانية (أي بتطبيق قوة مماثلة للحالة الأولى) .


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 .

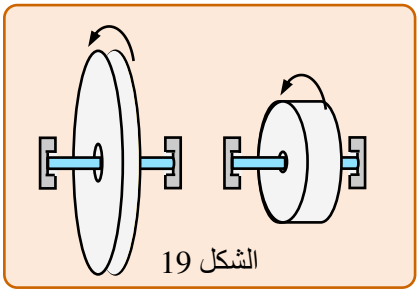


الشكل 18

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

- 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) .

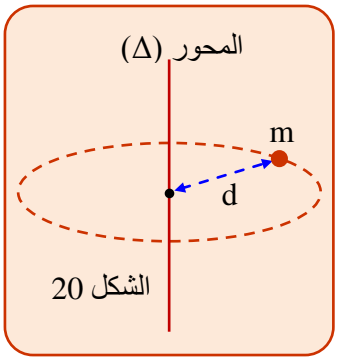
نتيجة استنتج بإكمال الفراغات :

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)" .

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 : $kg.m^2$.



الشكل 20

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 : $J_{/\Delta} = \Sigma m_i.d_i^2$.

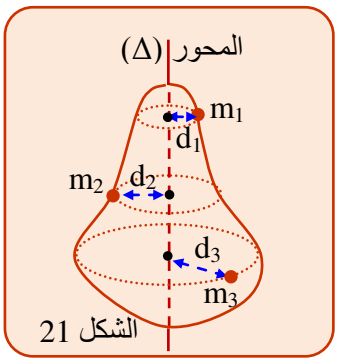
☒ ملاحظة : عزم عطالة جسم صلب بالنسبة لمحور هو مقدار ثابت يميز الجسم .

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

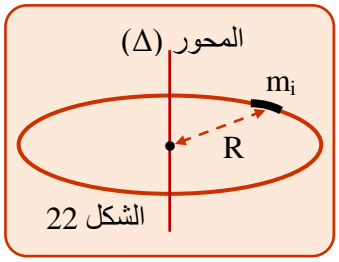
- نقسم الحلقة إلى قطع صغيرة كتلها m_i يمكن اعتبارها نقاطًا مادية تبعد كل منها نفس البعد R عن محور الدوران (Δ) .
- تعتبر الحلقة جملة من النقاط المادية و بالتالي يحسب عزم عطالتها بالعبارة التالية :

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

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 21

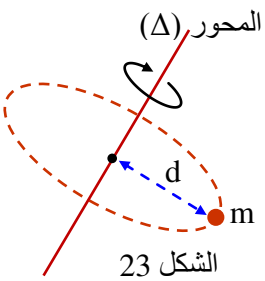


الشكل 22

- 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)** :

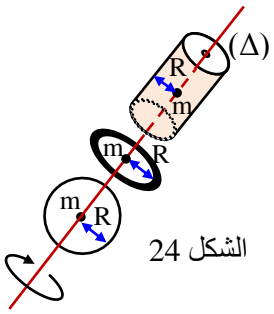
$$J_{/\Delta} = m.d^2$$



الشكل 23

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

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

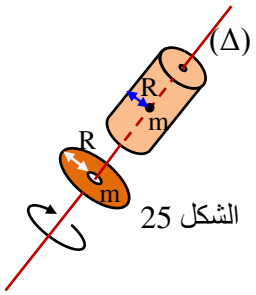


الشكل 24

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

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

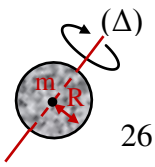
$$J_{/\Delta} = \frac{1}{2} m.R^2$$



الشكل 25

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

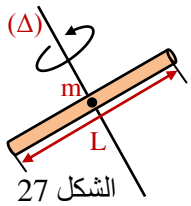
$$J_{/\Delta} = \frac{2}{5} m.R^2$$



الشكل 26

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

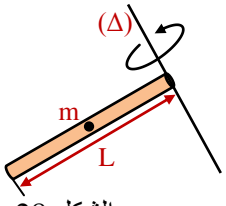
$$J_{/\Delta} = \frac{1}{12} m.L^2$$



الشكل 27

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

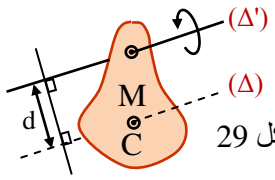
$$J_{/\Delta} = \frac{1}{3} m.L^2$$



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**) .

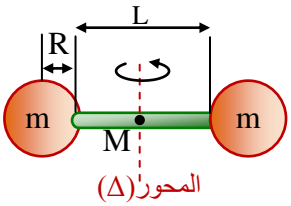
$$J_{/\Delta'} = J_{/\Delta} + M.d^2$$



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 :

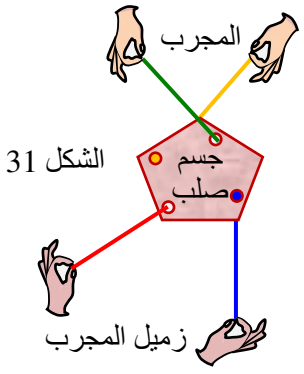
$$J_{/\Delta} = 2\left[\frac{2}{5} m.R^2 + m\left(\frac{L}{2} + R\right)^2\right] + \frac{1}{12} M.L^2 = \frac{4}{5} m.R^2 + 2m\left(\frac{L}{2} + R\right)^2 + \frac{1}{12} M.L^2$$

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**) .

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

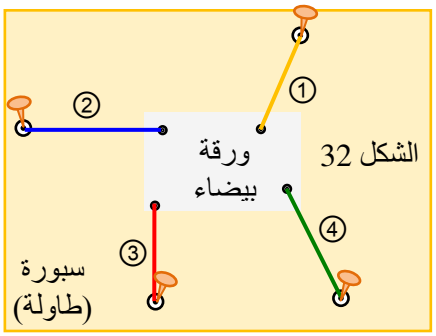
1 - علّم على الورقة البيضاء بقلم شكل الجسم و حوامل الخيوط المطاطية ونقاط تثبيتها . رقّم المطاطات . ..... (أنظر الشكل– 32) .

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 .

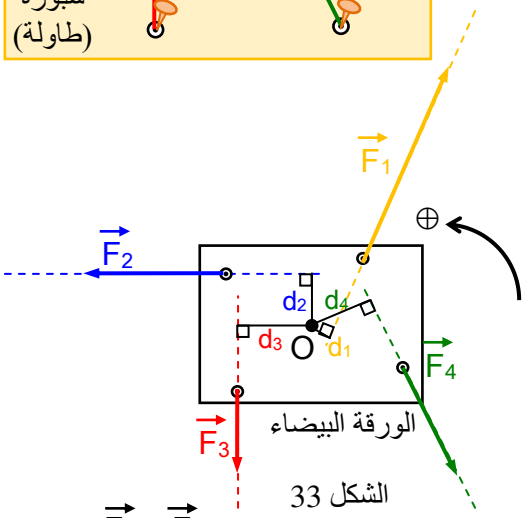
..... (نختار مثلاً نقطة مركز الورقة البيضاء O كمرجع لحساب عزوم القوى ، فيكون بعد القياس : $d_1 = 1\ cm$ ، $d_2 = 3\ cm$ ، $d_3 = 7\ cm$ و $d_4 = 12{,}5\ cm$ بالتالي :

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

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

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

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



الشكل 33

6 - أحسب المجموع الجبري لهذه العزوم . ماذا تلاحظ ؟

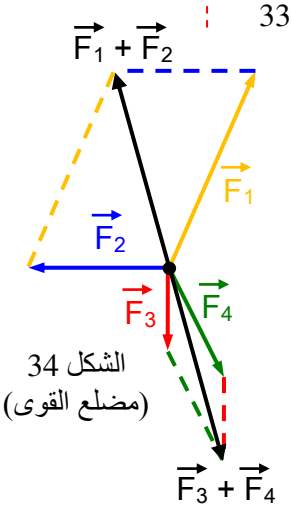
..... (واضح أن : $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/O} = 0$

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) .

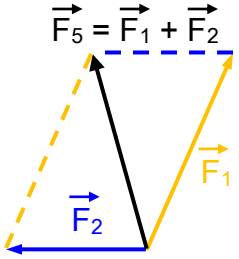
نشاط ③ : عوض في التجربة السابقة قوتين بقوة واحدة (تعويض المطاطين ① و ② بمطاط واحد ⑤) محافظًا على نفس وضعية توازن الجسم السابقة (المرسومة على الورقة) . لتعيين خصائص هذه القوة نتبع الخطوات التالية :

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

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

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 .

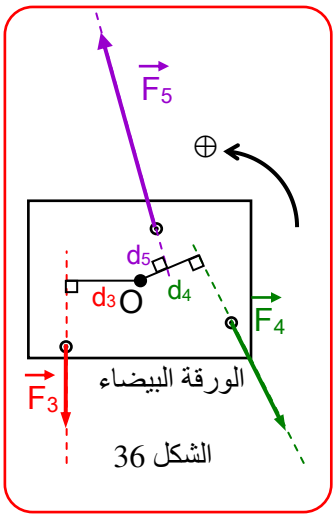
3 - مثل شعاع هذه القوة في نقطة تطبيقها باستعمال نفس السلم .

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

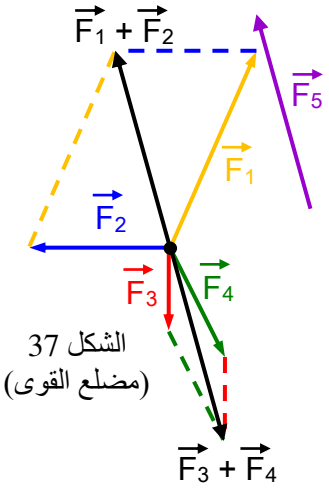
4 - أرسم المحصلة الشعاعية للقوتين المحذوفتين .

..... (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 .

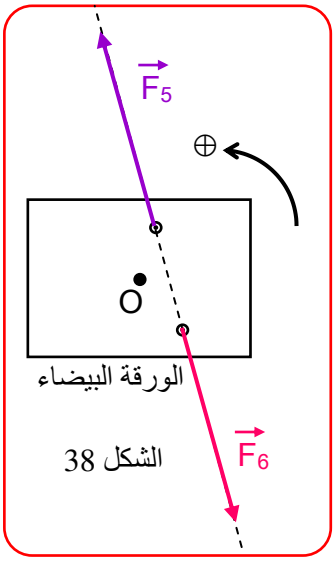
..... (القوتان $\vec{F}_6$ و $\vec{F}_5$ متعاكستان مباشرة) .

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

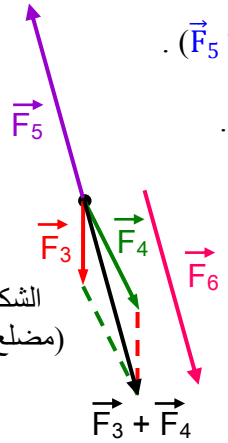
8 - استنتج صيغة أخرى لشرطي توازن جسم صلب خاضع لقوتين . ..... (يتلخص شرطي توازن جسم صلب خاضع لقوتين فيما يلي :

1) القوتان متعاكستان في الاتجاه و متساويتان في الشدة .

2) لهما نفس الحامل .



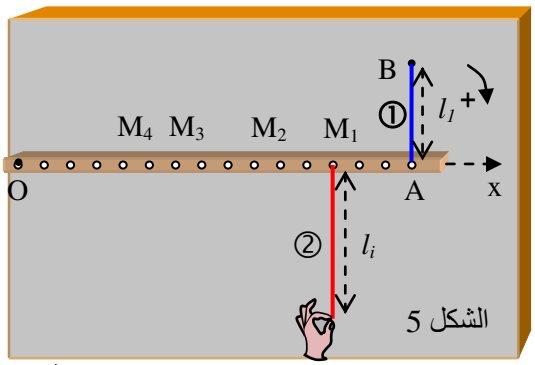
الشكل 38



الشكل 39
(مضلع القوى)

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

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" .



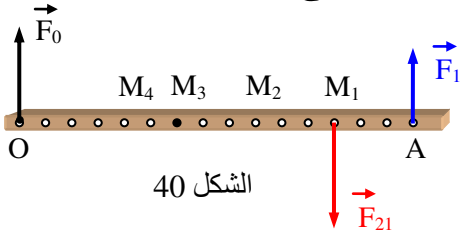
الشكل 5

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

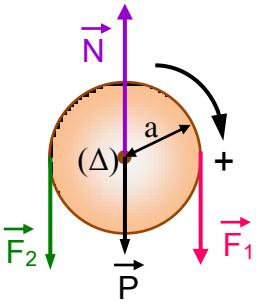
..... (إذا كان المسمار مثلاً عند النقطة M_3 فإن المجموع الجبري لعزوم القوى المطبقة على القضيب بالنسبة لهذه النقطة ، باعتبار الجهة الموجبة للدوران هي جهة تدوير القوة $\vec{F}_1$ يحسب كالتالي :

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

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

- 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 : $\sum \vec{F}_i = \vec{0}$ ؛ $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$ 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 $\sum \vec{F}_i = \vec{0} \Leftarrow \vec{P} + \vec{N} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$.
- 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 :

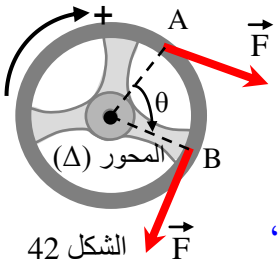
يكون جسم متحرك في حالة توازن إذا تحقق الشرطان :
مجموع القوى المؤثرة عليه معدوم $(\sum \vec{F}_i = \vec{0})$ و المجموع الجبري لعزوم القوى المطبقة عليه معدوم $(\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0)$.

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

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 :
$W = F.d$.

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**) .



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 : $\delta W(\vec{F}) = F.\delta L$) .

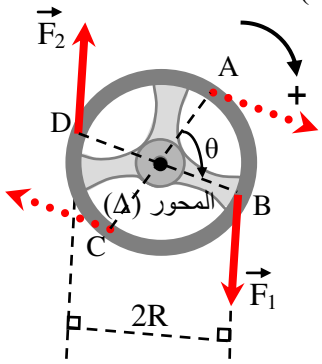
- باعتبار عمل القوة من A إلى B (**الشكل – 41**) هو مجموع أعمال القوة على كل جزء ، جد عبارة عمل القوة من A إلى B . ..... ($W_{A\to B}(\vec{F}) = \sum_{A\to B}\delta W(\vec{F}) = \sum_{A\to B}(F.\delta L) = F.(\sum_{A\to B}\delta L)$) .

- 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 .

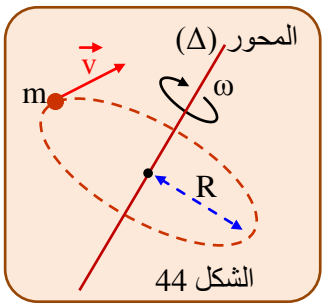
..... (نعلم أن الاستطاعة P هي نسبة العمل W إلى زمن انجازه Δt ، أي :

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

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

5-1) 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 : $E_c = \frac{1}{2}m\,v^2$) .

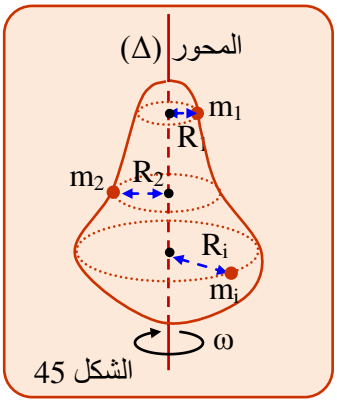
بالاعتماد على علاقة السرعة الخطية v بالسرعة الزاوية ω ، بيّن أن الطاقة الحركية تكتب على الشكل التالي: $E_c = \frac{1}{2}J_{/\Delta}\,\omega^2$

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**) .



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

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM

السرعة الزاوية ω للدوران و اعتمادا 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

قلم الجزائر
WWW.DZPEN.COM