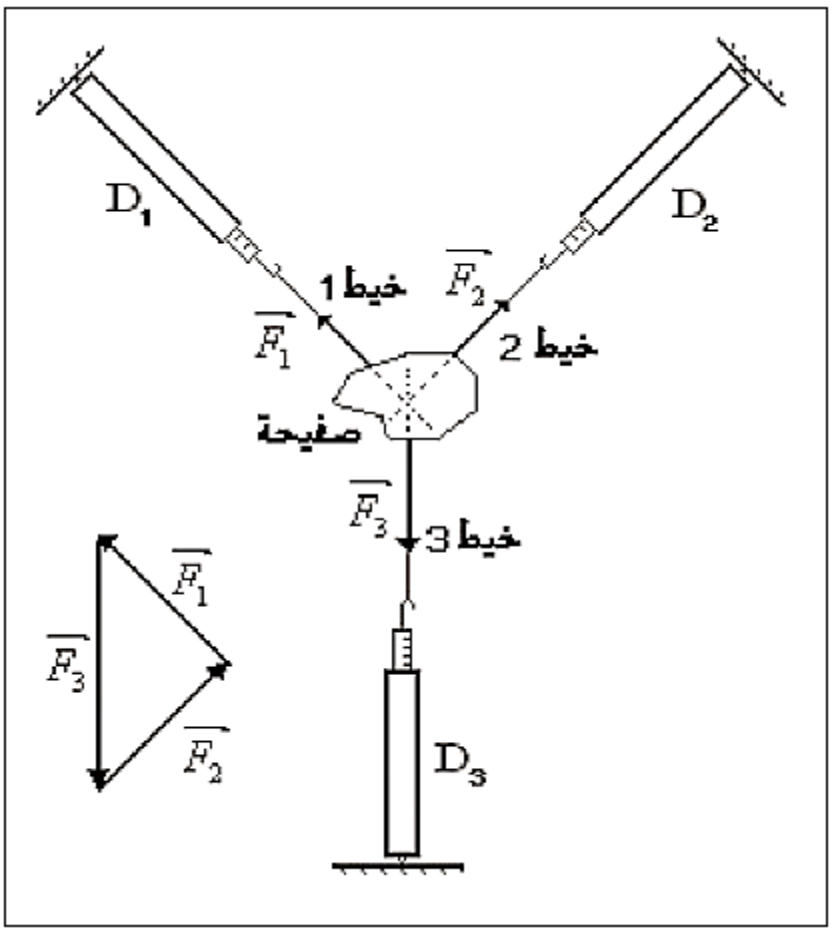
توازن جسم صلب خاضع لثلاث قوى غير متوازية
Equilibre d'unsolide soumis à l'actions de trois forces non paralléles

I-توازن جسم صلب خاضع لثلاث قوى غير متوازية :

1-تجربة :



ننجز التركيب التجريبي التالي :

حيث الصفيحة S ذات كتلة مهملة مرتبطة بثلاث خيوط (1) و (2) و (3) غير مدودة .

بإهمال وزن الصفيحة أمام القوى الأخرى ، تصبح الصفيحة في حالة توازن تحت تأثير ثلاث قوى $\vec{F}_1$ ، $\vec{F}_2$ ، $\vec{F}_3$ غير متوازية .

2-نتائج التجربة :

نلاحظ أن :

-خطوط تأثير القوى الثلاث توجد في نفس المستوى ، نقول إنها مستوائية .

-خطوط تأثير القوى الثلاث تتقاطع في نقطة واحدة ، نقول إنها متلاقية .

لتمثيل القوى المطبقة على الصفيحة ومجموع متجهاتها نستعمل سلما مناسبا ، ونأخذ بعين الاعتبار مميزات كل قوة .

-نمثل المجموع المتجهي لمتجهات القوى $\vec{F}_1$ ، $\vec{F}_2$ ، $\vec{F}_3$ مع الأخذ بعين الاعتبار اتجاه ، منحى وشدة كل منها .

المثلث المحصل عليه يسمى الخط المضلعي ، تسمى هذه الطريقة الهندسية أو المبيانية .

الخط المضاعي المحصل عليه مغلق ، يعني أن المجموع المتجهي لهذه القوى منعدم :

Moutamadris.ma

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

3-شرطا التوازن :

عندما يكون جسم صلب في توازن وهو خاضع لثلاث قوى $\vec{F}_1$ ، $\vec{F}_2$ ، $\vec{F}_3$ غير متوازية ، فإن :

المجموع المتجهي لهذه القوى منعدم : $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$

أي أن الخط المضلعي للقوى مغلق ، وهذاشرط أول لازم لسكون G مركز قصور الجسم .

خطوط تأثير القوى الثلاث مستوائية ومتلاقية .

وهذا شرط ثاني لازم لغياب الدوران في حالة تحقيق الشرط الأول .

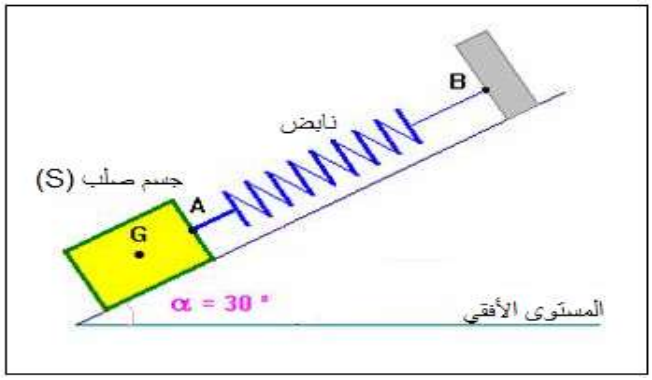
ملحوظة :

هذان شرطان لازمان لتوازن جسم صلب تحت تأثير ثلاث قوى لكنهما غير كافيين .

4-تطبيق :

نضع جسما صلبا (S) كتلته $m = 1kg$ على مستوى مائل بزاوية $\alpha = 30°$ بالنسبة للمستوى الأفقي دون احتكاك .
نحقق التوازن بواسطة ربط نابض بالجسم (S) بحيث يكون محور النابض موازيا للمستوى المائل .لنحدد مميزات تأثيري النابض والمستوى بطريقتين مختلفتين .

نعطي : $g = 10\ N.kg^{-1}$



4-1-الطريقة الهندسية :

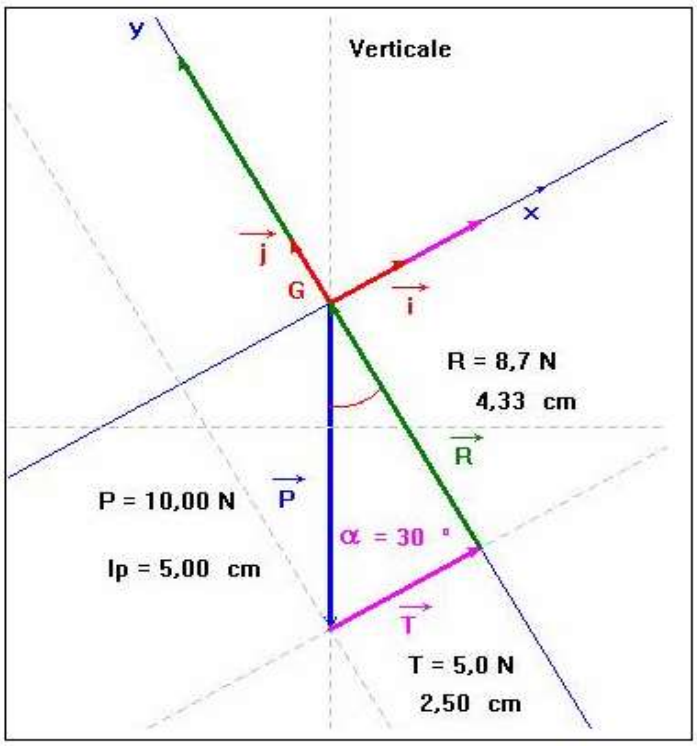
*المجموعة المدروسة : الجسم (S).

*جرد القوى :

$\vec{P}$: وزن الجسم .

$\vec{T}$: توتر النابض .

Moutamadris.ma



$\vec{R}$: تأثير المستوى المائل .

الجسم (S) في توازن :

-الخط المضلعي للقوى الثلاث مغلق .

-خطوط تأثير القوى الثلاث متلاقية ومستوائية .

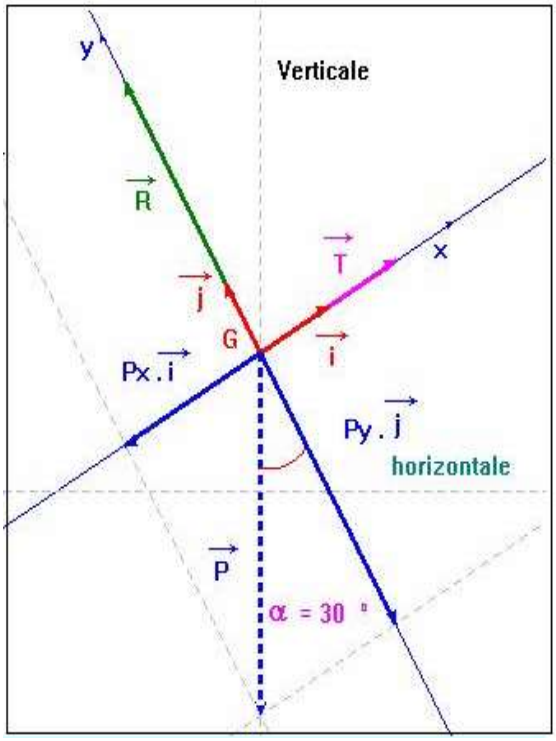
نختار سلما مناسبا للتمثيل : $2N \longrightarrow 1cm$

مع : $P = mg = 10\ N$ أي أن طول سهم متجهة $\vec{P}$ هو $5cm$

نجد : $R = 8{,}7\ N$ و $T = 5\ N$

4-2-الطريقة المبيانية :

نختار معلما متعامدا ممنظما $(O,\vec{\imath},\vec{\jmath})$ ، نسقط عليه العلاقة : $\vec{R} + \vec{T} + \vec{P} = \vec{0}$



إحداثيات متجهات القوى :

$$\vec{P}\begin{bmatrix} P_x = -m.g.sin\alpha \\ P_y = -m.g.cos\alpha \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad \vec{T}\begin{bmatrix} T_x = T \\ T_y = 0 \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad \vec{R}\begin{bmatrix} R_x = 0 \\ R_y = R \end{bmatrix}$$

الإسقاط على المحور Ox و Oy :

$$\begin{bmatrix} R_x + T_x + F_x = 0 \\ R_Y + T_y + F_y = 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} T - m.g.sin\alpha = 0 \\ R - m.g.cos\alpha = 0 \end{bmatrix}$$

$$T = m.g.sin\alpha$$

$$R = m.g.cos\alpha$$

ت.ع: $T = 1 \times 10 \times \sin(30°) = 5N$

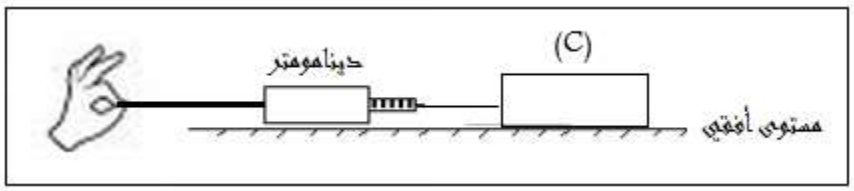
$$R = 1 \times 10 \times coos(30°) = 8{,}7\ N$$

Moutamadris.ma

II-قوة الاحتكاك :

1-تجربة :

نجر جسما خشبيا (C) موضوعا فوق مستوى أفقي ، بواسطة دينامومتر ، كما هو مبين في الشكل جانبه .



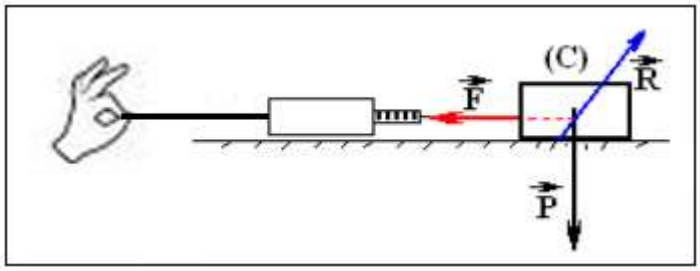
نلاحظ أن الجسم يبقى في توازن مادامت شدة القوة المطبقة عليه من طرف الدينامومتر لا تتعدى قيمة قصوية F_m .

2-النتائج :

$F(N)$	$2,0$	$3,0$	$5,0$	$5,1$	$5,2$
الحالة الميكانيكية	توازن			حركة	

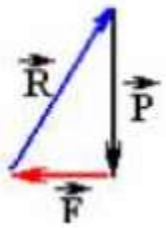
3-دراسة التوازن :

يوجد الجسم الجسم (C) في توازن تحت ثلاث قوى :



$\vec{P}$: وزن الجسم .

$\vec{T}$: تأثير الدينامومتر .

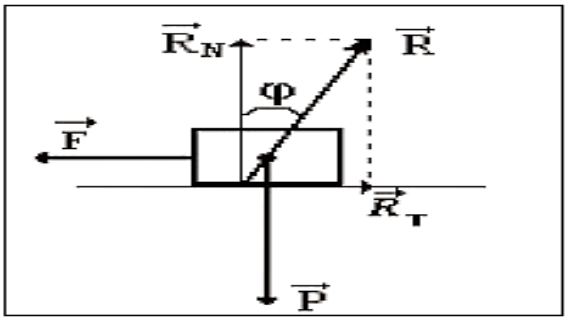


$\vec{R}$: تأثير المستوى الأفقي .

*مميزات القوة $\vec{R}$:

الجسم (C) في حالة توازن ومنه : $\vec{R}+\vec{T}+\vec{P}=\vec{0}$

وخطوط تأثير القوى الثلاث مستوائية ومتلاقية .



Moutamadris.ma

نلاحظ أن الجسم (C) يبقى في حالة توازن مادامت شدة القوة المطبقة من طرف الديناموميتر اصغر من قيمة حدية F_m

3-مفهوم الاحتكاك :

القوة $\vec{R}$ ليست عمودية على سطح التماس لأن التماس يتم باحتكاك .

يمكن تفكيك القوة $\vec{R}$ الى مركبتين :

- ✓ مركبة مماسية $R_T = f$ تسمى قوة الاحتكاك .
- ✓ مركبة منظمية R_N عمودية على سطح التماس .

الزاوية φ تسمى زاوية الاحتكاك .

والمعامل $k = tan\varphi$ يسمى معامل الاحتكاك .

بسبب وجود الاحتكاك يبقى الجسم الصلب في حالة توازن مادامت شدة القوة F أصغر من قسمة حدية F_m .

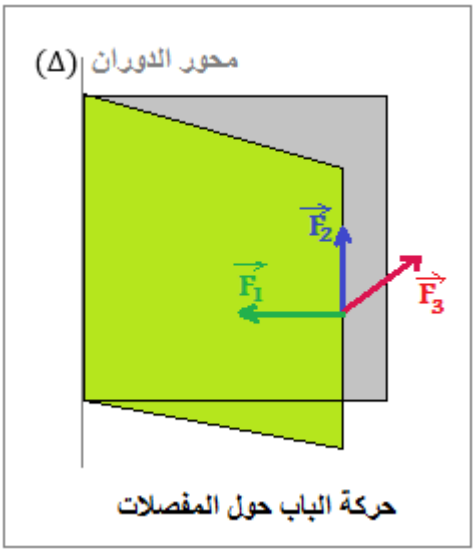
- $F < F_m$: الجسم الصلب في حالة توازن $(\varphi < \varphi_0)$ حيث φ_0 زاوية الاحتكاك الساكن .
- $F > F_m$: الجسم الصلب في حركة $(\varphi > \varphi_0)$.

توازن جسم قابل للدوران حول محور ثابت

Equilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe

I-مفعول قوة على دوران جسم صلب

*مثال 1 :



حركة الباب حول المفصلات والتي تجسد محو الدوران (Δ) .

ليس للقوتين $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ مفعول على دوران الباب .

*مثال 2 :

القوة $\vec{F}_3$ بإمكانها إدارة الباب حول المحور (Δ) .

نلاحظ أن شدة القوة تزداد كلما اقتربنا من محور الدوران (Δ) أي المفصلات .

استنتاج :

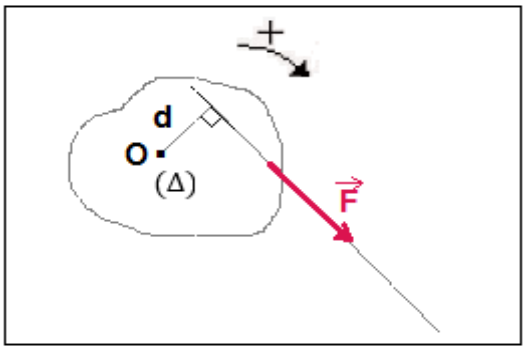
يكون لقوة $\vec{F}$ مفعول دوران على جسم صلب قابل للدوران حول محور ثابت (Δ) إذا كان خط تأثيرها غير مواز لمحور الدوران ولا يتقاطع معه .

II-عزم قوة بالنسبة لمحور ثابت :

1-تعريف :

عزم قوة $\vec{F}$ بالنسبة لمحور الدوران (Δ) ثابت ومتعامد مع خط تأثيرها هو جداء الشدة F لهذه القوة والمسافة d الفاصلة بين المحور (Δ) وخط تأثيرها .

وحدة العزم في النظام العالمي للوحدات هي النيوتن في المتر $(N.m)$.



2-عزم قوة مقدار جبري :

إن الجداء $F.d$ لا يحدد منحى دوران الجسم حول المحور (Δ) ، لذلك نختار منحى اعتباطيا لدوران الجسم نعتبره موجبا .

بالنسبة للشكل جانبه القوة $\vec{F}$ تدير الجسم في المنحى الموجب الذي تم اختياره ومنه العزم يكتب : $M_\Delta(\vec{F}) = +F.d$

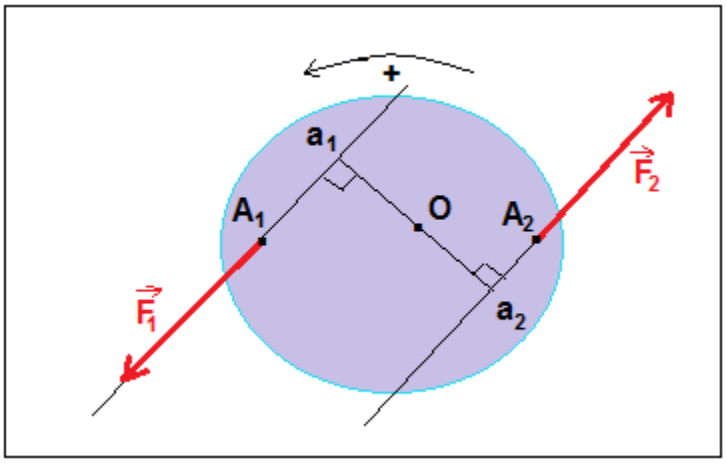
بصفة عامة يعبر عن عزم قوة بالنسبة لمحور (Δ) ثابت بالعلاقة :

$$M_\Delta(\vec{F}) = \pm F.d$$

Moutamadris.ma

III-عزم مزدوجة قوتين :

1-تعريف :



تكون القوتان $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ مزدوجة قوتين ، إذا كان مجموعهما المتجهي منعدم : $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$

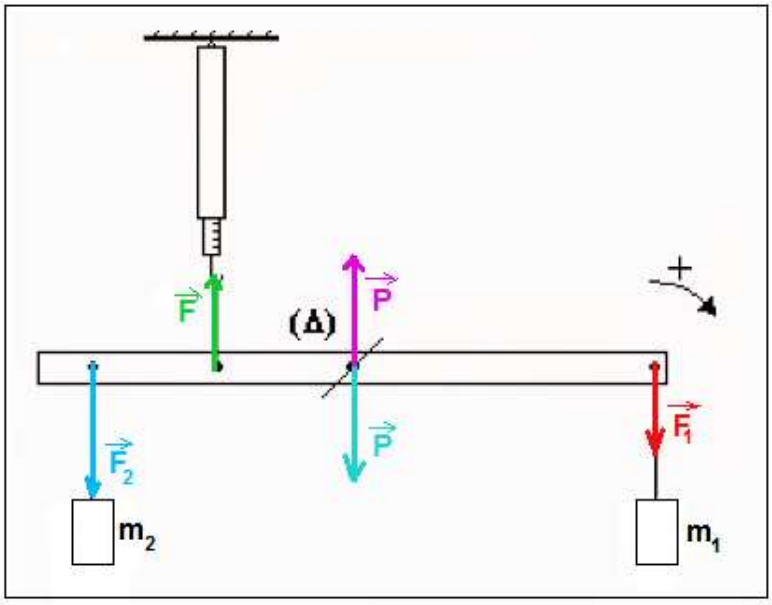
و خطا تاثيرهما متوازيان (أي غير متطابقان) .

2-عزم مزدوجة قوتين :

عزم مزدوجة قوتين $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ تفصل بين خطي تأثيرهما المسافة d ، بالنسبة لمحور الدوران ثابت وعمودي على المستوى الذي يتضمن المتجهتين $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ وبشكل مستقل عن المحور (Δ) هو : $M = \pm F.d$

IV-توازن جسم صلب قابل للدوران حول محور ثابت

1-تجربة :



نحقق توازن مسطرة (S) متجانسة قابلة للدوران حول محور ثابت (Δ) أفقي وعمودي ويمر من مركز ثقلها G

المسطرة (S) تخضع للتأثيرات التالية :

$\vec{R}$: تأثير محور الدوران (Δ) .

$\vec{P}$: وزن المسطرة .

$\vec{F}_1$: القوة المطبقة من طرف الكتلة المعلمة m_1 .

$\vec{F}_2$: القوة المطبقة من طرف الكتلة المعلمة m_2 .

$\vec{F}$: القوة المطبقة من طرف الدينامومتر .

Moutamadris.ma

2-نتائج التجربة :

متجهة القوة $\vec{F}_i$	$\vec{R}$	$\vec{P}$	$\vec{F}_1$	$\vec{F}_2$	$\vec{F}$
شدة القوة $F_i(N)$	$m.g$	R	1	2	2
المسافة $d_i(m)$	0	0	$0,12$	$0,10$	$0,04$
العزم $M_\Delta(N.m)$	0	0	$+0,12$	$-0,20$	$0,08$

$$\sum M_\Delta(\vec{F}_i) = M_\Delta(\vec{R}) + M_\Delta(\vec{P}) + M_\Delta(\vec{F}_1) + M_\Delta(\vec{F}_2) + M_\Delta(\vec{F})$$

$$\sum M_\Delta(\vec{F}_i) = 0 + 0 + 0,12 - 0,20 + 0,08$$

$$\sum M_\Delta(\vec{F}_i) \approx 0$$

3-مبرهنة العزوم :

عند توازن جسم صلب قابل للدوان حول محور ثابت (Δ) ، أيا كان ، فإن المجموع الجبري لعزوم كل القوى المطبقة على الجسم ، بالنسبة لهذا المحور منعدم :

$$\sum M_{\Delta}(\vec{F}) = 0$$

4-شرطا التوازن :

عندما يكون جسم صلب قابل للدوران حول محور ثابت (Δ) في توازن وهو خاضع لعدة قوى ، بالنسبة لمعلم مرتبط بالأرض ، فإن :

-مجموع متجهات القوى يكون منعدما $\sum \vec{F} = \vec{0}$

وهذا شط لازم لسكون مركز قصور الجسم الصلب .

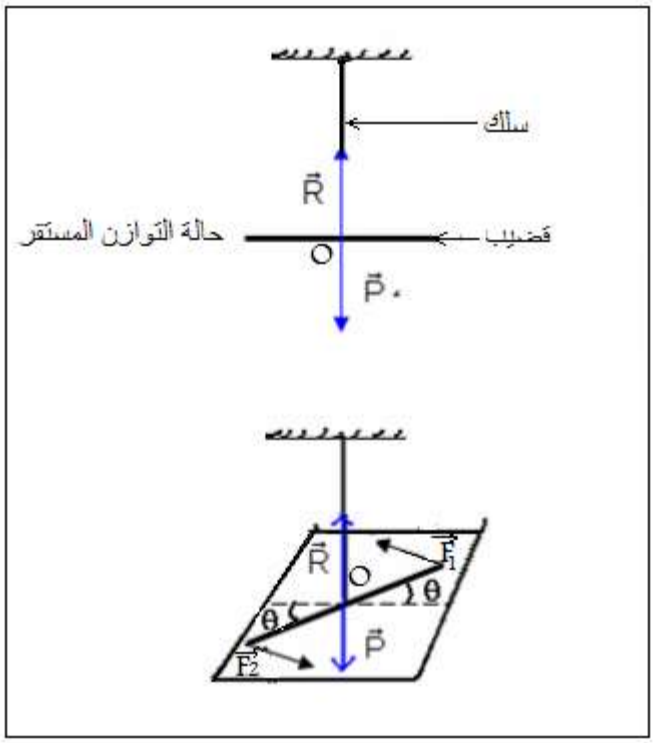
-المجموع الجبري لعزوم كل القوى المطبقة على الجسم الصلب ، بالنسبة للمحور (Δ) ، مجموع منعدم

$$\sum M_{\Delta}(\vec{F}) = 0$$

Moutamadris.ma

وهذا شرط لازم لغياب دوران الجسم الصلب حول المحور (Δ)

.



V-عزم مزدوجة اللي :

1-مزدوجة اللي :

عند تطبق عزم مزدوجة قوتين على الجزء غير المثبت لسلك اللي ، يلتوي بحيث تدور النقط المكونة للسلك بزاوية θ فتسلط هذه النقط قوى $\sum \vec{f}_i$ تسعى الى إعادة السلك الى شكله الاصلي . تكون القوى $\sum \vec{f}_i$ مزدوجة اللي عزمها M_T .

2-تعبير عزم مزدوجة اللي :

2-1-تجربة :

عند تطبيق مزدوجة قوتين على القضيب مزدوجة قوتين على القضيب ، نلاحظ أن السلك يلتوي أي أن تأثير المزدوجة أدى الى لي السلك ، وعند حدف المزدجة المزدوجة يعود القضيب الى موضع توازنه المستقر .

دراسة توازن القضيب :

عند تطبيق مزدوجة قوتين $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ يلتوي السلك و يكون خاضعا للقوى التالية :

$\vec{P}$ وزنه ، $\vec{R}$ تأثير السلك ، مزدوجة قوتين $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ وجموع قوى الارتداد المسلطة من طرف جميع مولدات السلك $\sum \vec{f}_i$.

القضيب في توازن :

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \sum \vec{f}_i = \vec{0}$$

$$\underbrace{M_\Delta(\vec{R})}_{=0} + \underbrace{M_\Delta(\vec{P})}_{=0} + M_\Delta(\vec{F}_1) + M_\Delta(\vec{F}_2) + \sum M_\Delta(\vec{f}_i) = 0$$

$$M(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = -\sum M_\Delta(\vec{f}_i)$$

قوى الارتداد $\sum \vec{f}_i$ لها خاصيات مزدوجة قوتين ، تسمى بمزدوجة اللي $Couple\ de\ tortion$ ونرمز لها ب M_T .

Moutamadris.ma

2-2-عزم مزدوجة اللي :

تجريبيا بتمثيل تغيرات العزم $M(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ بدلالة زاوية الدوران نحصل على مستقيم يمر من أصل المعلم . يعني $M(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = f(\theta)$ دالة خطية : $M(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = C.\theta$ ثابتة تميز السلك وتسمى ثابتة اللي .

نستنتج تعبير عزم مزدوجة اللي :

$$M_T = -C.\theta$$