

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

الجدع المشترك  
الفيزياء  
جزء الميكانيك

## توازن جسم صلب خاضع لثلاث قوى غير متوازية

*Equilibre d'un corps solide soumis à l'action de trois forces non parallèles*

المحور الثالث:

توازن جسم صلب

الوحدة 6

4 س

### 1- شرط توازن جسم صلب خاضع لثلاث قوى غير متوازية:

#### 1-1- نشاط:

ننجز التركيب التجريبي أسفله . بحيث نشد جسما صلبا خفيفا جدا بواسطة الدينامومترات ( $D_1$ ) و ( $D_3$ ) . يوجد الجسم الصلب في حالة توازن ، وهو خاضع لثلاث قوى غير متوازية  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_2$  و  $\vec{F}$  المطبقة من طرف الدينامومترات الثلاثة . نضع مصباحا مضاءً أمام الجسم الصلب ونحدد على الورقة اتجاهات الخيوط .

التكوين التجريبي	رؤية جانبية	اتجاهات الخيوط بعد الإضاءة بالمصباح

أ- اوجد القوى المطبقة على الجسم الصلب ( $S$ ) عند التوازن ، ثم حدد القوة التي يمكن إهمال شدتها أمام شدة بقية القوى المطبقة عليه .

المجموعة المدروسة : { الجسم الصلب ( $S$ ) } .

جـرد القوى :  $\vec{P}$  وزنه و  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_2$  و  $\vec{F}_3$  المطبقة من طرف الدينامومترات الثلاثة .

وبما أن الجسم الصلب ( $S$ ) خفيف جدا فإن شدة وزنه مهمله أمام الشدة  $F_1$  و  $F_2$  و  $F_3$  .

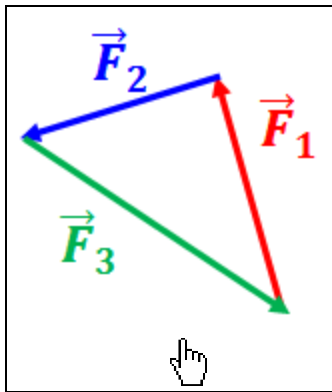
ب- هل توجد الخيوط الثلاثة في نفس المستوى ؟ ماذا تستنتج بالنسبة لخطوط تأثير القوى الثلاثة ؟ من خلال الرؤية الجانبية للتركيب التجريبي يتضح أن الخطوط الثلاثة توجد في نفس المستوى ، وبالتالي نستنتج أن خطوط تأثير القوى  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_2$  و  $\vec{F}_3$  مستوائية .

ج- أتمم ملاء الجدول التالي الذي يحدد مميزات القوى  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}$  و  $\vec{F}$  .

القوى	نقطة التأثير	خط التأثير	المنحى	المنظم
$\vec{F}$	النقطة A	المستقيم الذي يجسده الخيط (1)	من نحو	
$\vec{F}$	النقطة B	المستقيم الذي يجسده الخيط (2)	من نحو	
$\vec{F}$	النقطة C	المستقيم الذي يجسده الخيط (3)	من نحو	

د- بالاعتماد على اتجاهات الخيوط بعد الإضاءة بالمصباح ، هل خطوط تأثير القوى الثلاث متلاقية ؟ نرسم خطوط تأثير القوى الثلاثة فنجد أنها متلاقية في نقطة واحدة ( انظر أعلاه ) .

هـ- مثل ، في نفس الشكل السابق ، القوى  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_2$  و  $\vec{F}_3$  وذلك باستعمال سلم مناسب .



انظر أعلاه . بالسلم  $1cm \rightarrow 1N$  .  
و- أنشئ هندسيا المجموع المتجهي لهذه القوى ( الخط المضلعي ) . ماذا تستنتج

بالنسبة لـ  $\sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$  ؟

نلاحظ أن الخط المضلعي مغلق وبالتالي  $\sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$

ز- استنتج الشرطين اللازمين لتوازن جسم صلب خاضع لثلاث قوى غير متوازية .

الشرطان اللازمان لتوازن الجسم الصلب هما : المجموع المتجهي لهذه القوى منعدم

أي  $\sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$  أو الخط المضلعي مغلق و خطوط تأثير القوى

مستوائية و متلاقية .

### 2-1- خلاصة :

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

❖ المجموع المتجهي للقوى الثلاث منعدم  $\sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$  أو الخط المضلعي

لمتجهات القوى الثلاث مغلق . وهذا الشرط لازم لسكون مركز القصور  $G$  للجسم الصلب .

❖ خطوط تأثير القوى الثلاث متلاقية و مستوائية . وهذا الشرط لازم لغياب الدوران في حالة تحقق الشرط الأول .

### ملحوظة :

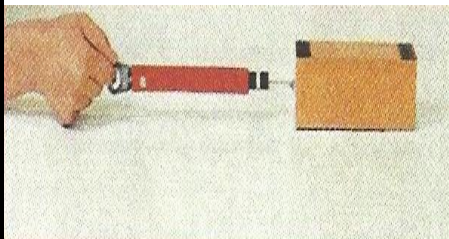
هذان الشرطان لازمان للحصول على توازن جسم صلب خاضع لثلاث قوى غير متوازية ، لكنهما غير

كافيين إذ يمكن أن يتحقق الشرطان ويكون مركز قصور الجسم الصلب في حركة مستقيمة منتظمة طبقا

لمبدأ القصور .

### 2- تطبيق : قوة الاحتكاك :

#### 2-1- نشاط :



نضع على لوحة خشبية أفقية قطعة من الخشب (S) كتلتها  $m = 400 g$

، ونطبق عليها قوة  $\vec{T}$  بواسطة الدينامومتر مواز للوحة الخشبية بحيث

تبقى القطعة (S) في توازن . نعطي  $g = 10 N.kg^{-1}$  .

أ- اجرد القوى المطبقة على قطعة الخشب (S) .

المجموعة المدروسة : { قطعة الخشب (S) } .

جرد القوى :  $\vec{P}$  وزنها و  $\vec{T}$  توتر الدينامومتر و  $\vec{R}$  تأثير السطح .

ب- مثل الخط المضلعي لهذه القوى ، استنتج مميزات  $\vec{R}$  تأثير

السطح واستنتج طبيعة التماس بين السطح والقطعة (S) .

لدينا القطعة (S) في توازن ، إذن الخط المضلعي مغلق

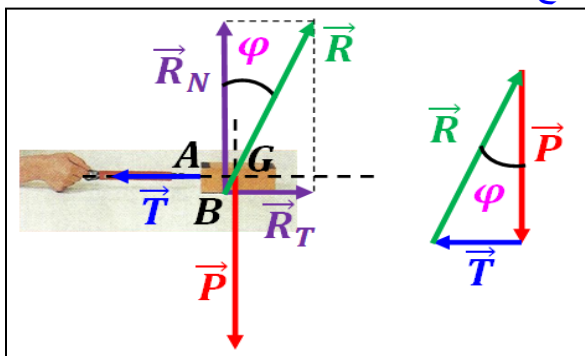
وخطوط التأثير مستوائية ومتلاقية .

وبمعرفة مميزات  $\vec{P}$  و  $\vec{T}$  نرسم الخط المضلعي المغلق فنحدد

مميزات  $\vec{R}$  .

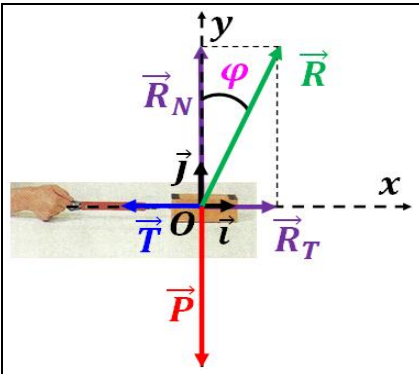
بما أن اتجاه  $\vec{R}$  مائل عن المنظمي بزواوية  $\phi$  فإن التماس بين

السطح والقطعة (S) يتم باحتكاك .



مميزات القوى	الوزن $\vec{P}$	توتر الدينامومتر $\vec{T}$	تأثير السطح $\vec{R}$
نقطة التأثير	مركز القصور $G$	نقطة تماس الجسم و (D)	نقطة تماس الجسم و السطح
خط التأثير	الرأسي المار من	الأفقي المار من $A$ و $G$	المائل عن المنظمي بزواوية $\phi$
المنحى	من الأسفل نحو الأعلى	من $A$ نحو (D)	من الأسفل نحو الأعلى
المنظم	$P = mg = 4N$	تقرأ مباشرة من الدينامومتر	يحدد هندسيا من الخط المضلعي

يحدد منظم القوة  $\vec{R}$  بطريقة هندسية اعتمادا على قياس طول المتجهة  $\vec{R}$  والسلم المستعمل أو اعتمادا على مبرهنة فيثاغورس حيث  $R = \sqrt{P^2 + T^2}$  أو العلاقات المثلثية  $R = \frac{P}{\cos \varphi}$  و  $R = \frac{T}{\sin \varphi}$ .



ج- حدد الشدة  $R_N$  و  $R_T$  بطريقة حسابية.

$$\sum \vec{F} = \vec{P} + \vec{T} + \vec{R} = \vec{0} \text{ إذن في توازن، (S) لدينا القطعة المتجهة في المعلم } R(O, \vec{i}, \vec{j}) \text{ فنجد:}$$

$$\begin{cases} 0 - T + R_T = 0 \\ -P + 0 + R_N = 0 \end{cases} \text{ أي } \begin{cases} P_x + T_x + R_x = 0 \\ P_y + T_y + R_y = 0 \end{cases}$$

إذن  $\begin{cases} R_T = T \\ R_N = P \end{cases}$  وبالتالي نقيس شدة قوة الاحتكاك مباشرة من الدينامومتر.

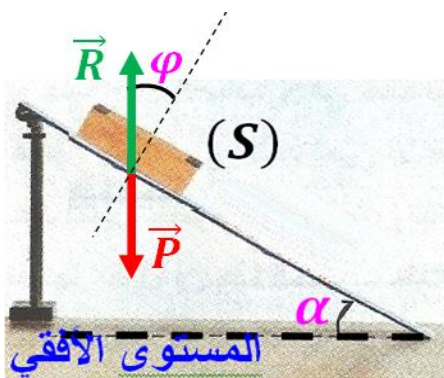
د- النتائج التجريبية لهذه التجربة مدونة في الجدول أسفله، أتمم الجدول وفسر كيف يبقى الجسم في توازن رغم قوة الجر المطبقة من طرف الدينامومتر.

اختل التوازن			في توازن				الحالة الميكانيكية
3,0	2,5	2,1	2,0	1,5	1,0	0,5	الشدة $T(N)$
2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,0	0,5	الشدة $R_T(N)$
4	4	4	4	4	4	4	الشدة $R_N(N)$
4,47	4,47	4,47	4,47	4,27	4,12	4,03	الشدة $R(N)$
26,5	26,5	26,5	26,5	20,5	13,9	7,0	الزاوية $\varphi(^{\circ})$

يعزى توازن الجسم عندما تكون  $T < T_m$  رغم وجود قوة الجر إلى وجود قوة الاحتكاك حيث  $R_T = T$ ، وعندما تكون  $T_m < T$  يختل توازن الجسم.

ه- حدد  $T_m$  شدة القوة القصوى التي يبقى الجسم عندها في توازن، و  $\varphi_0$  زاوية الاحتكاك الساكن و  $K_0 = \tan \varphi_0$  معامل الاحتكاك الساكن التي يختل عندها الجسم.

من خلال الجدول نجد أن  $T_m = 2,0N$  و  $\varphi_0 = 26,5^{\circ}$  و  $K_0 = \tan \varphi_0 = \tan 26,5 = 0,5$ .



و- نزيل الدينامومتر ونميل تدريجيا اللوحة الخشبية عن المستوى الأفقي

حتى يختل توازن الجسم (S) عند الزاوية  $\alpha_m$ . أوجد العلاقة بين  $\alpha$  و  $\varphi$ ، ثم حدد قيمة  $\alpha_m$ . ماذا تستنتج؟ المجموعة المدروسة: { قطعة الخشب (S) }.

جرد القوى:  $\vec{P}$  وزنها و  $\vec{R}$  تأثير السطح.

لدينا القطعة (S) في توازن، إذن  $\sum \vec{F} = \vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$

إذن اتجاه  $\vec{R}$  رأسي وبالتالي فهو مائل عن المنظمي بزاوية  $\varphi$ .

بما أن  $\varphi$  هي الزاوية بين الرأسى والمنظمي على السطح و  $\alpha$  هي

الزاوية بين الأفقي والسطح فإن  $\alpha = \varphi$  إذن  $\alpha_m = \varphi_0 = 26,5^{\circ}$ .

وبالتالي نحدد اتجاه  $\vec{R}$  عمليا من خلال زاوية ميلان السطح مادام الجسم (S) في توازن.

## 2-2- خلاصة:

نضع على لوحة خشبية أفقية قطعة من الخشب (S)، ونطبق

عليها قوة  $\vec{T}$  بواسطة الدينامومتر مواز للوحة الخشبية بحيث

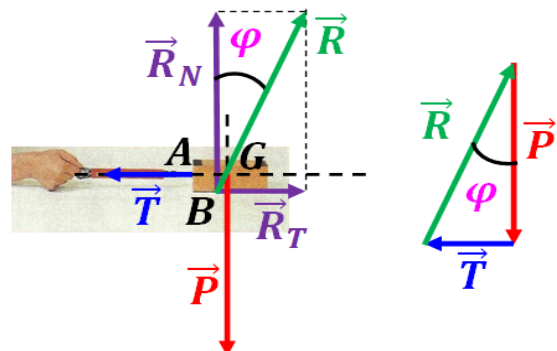
تبقى القطعة (S) في توازن و هي خاضعة لثلاث قوى:

$\vec{P}$  وزنها و  $\vec{T}$  توتر الدينامومتر و  $\vec{R}$  تأثير السطح.

إذن الخط المضلعي مغلق وخطوط التأثير مستوائية ومتلاقية.

وبمعرفة مميزات  $\vec{P}$  و  $\vec{T}$  نرسم الخط المضلعي المغلق فنحدد

مميزات  $\vec{R}$ .



### 2-3- مفهوم الاحتكاك :

يعزى بقاء الجسم (S) في توازن رغم تزايد شدة القوة  $\vec{T}$  المطبقة من طرف الدينامومتر ( حيث  $T < T_m$  ) إلى وجود الاحتكاكات نتيجة خشونة سطحي التماس و طبيعتهما . وبالتالي تقوم القوة  $\vec{R}$  بمفعولين :

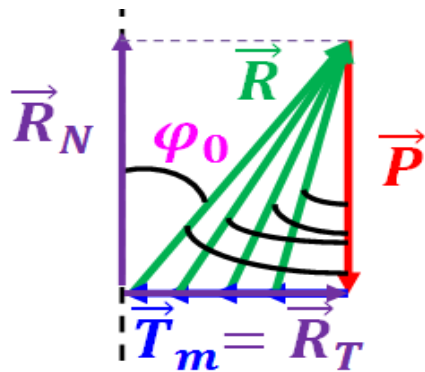
☞ مقاومة الوزن  $\vec{P}$  للجسم ( أي مقاومة الانغراز ) من خلال المركبة المنظمية  $\vec{R}_N$  .  
☞ مقاومة التوتر  $\vec{T}$  للدينامومتر ( أي مقاومة الحركة ) من خلال المركبة المماسية  $\vec{R}_T$  والتي تسمى قوة الاحتكاك  $\vec{f}$  .

$$\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{R}_T = \vec{R}_N + \vec{f}$$

### 2-4- زاوية الاحتكاك الساكن :

نسمي زاوية الاحتكاك الساكن  $\varphi_0$  القيمة الحدية لزاوية الاحتكاك  $\varphi$  التي يختل توازن الجسم عندها و هي مقدار مميز لطبيعة التماس بين جسمين معينين .

نعرف معامل الاحتكاك الساكن  $K_0$  بالعلاقة :  $K_0 = \tan \varphi_0 = \frac{R_T}{R_N}$  . وهذا المقدار يتعلق بطبيعة الجسمين المتماسين و لا يتعلق بمساحتهما .



#### مثال

قيمة $K_0$	طبيعة السطحين المتماسين
0,15	فولاذ على فولاذ
0,50	خشب على خشب
0,03	فلز على جليد

#### ملحوظة :

بالنسبة لجسم صلب فوق سطح مائل بزاوية  $\alpha$  ، فإن الجسم يكون :

في توازن أي $\sum \vec{F} = \vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$	في حركة أي $\sum \vec{F} = \vec{P} + \vec{R} \neq \vec{0}$
سطح خشن و $\alpha < \varphi_0$ و $\alpha = \varphi$	سطح خشن و $\alpha > \varphi_0$