بسم الله الرحمن الرحيم
السلام عليكم ورحمة الله وبركاته
الجذع المشترك
الفيزياء
جزء الميكانيك

توازن جسم صلب خاضع لثلاث قوى غير متوازية

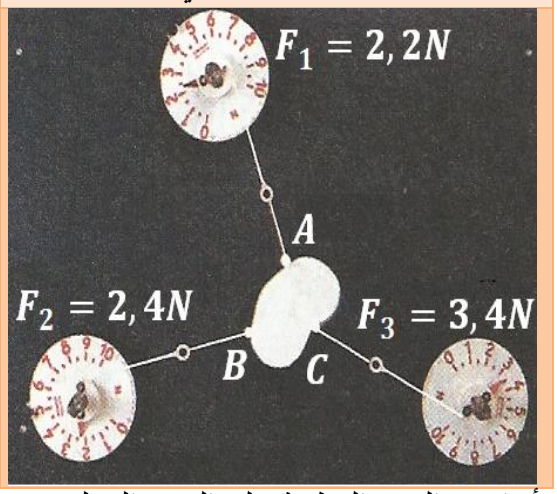
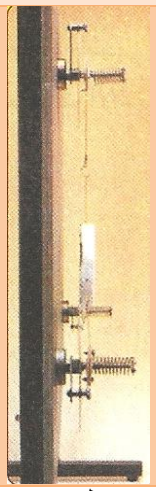
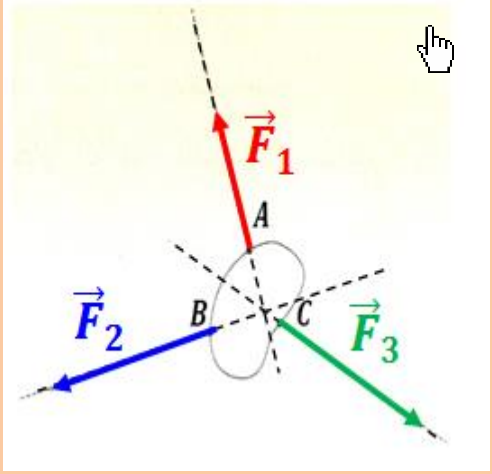
Equilibre d'un corps solide soumis à l'action de trois forces non parallèles

المحور الثالث : توازن جسم صلب
الوحدة 6
4 س

1- شرطا توازن جسم صلب خاضع لثلاث قوى غير متوازية :

1-1- نشاط :

ننجز التركيب التجريبي أسفله . بحيث نشد جسما صلبا خفيفا جدا بواسطة الديناموترات (D_1) و (D_2) و (D_3) . يوجد الجسم الصلب في حالة توازن ، و هو خاضع لثلاث قوى غير متوازية $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ و $\vec{F}_3$ المطبقة من طرف الديناموترات الثلاثة . نضع مصباحا مضاءً أمام الجسم الصلب ونحدد على الورقة اتجاهات الخيوط .

التركيب التجريبي	رؤية جانبية	اتجاهات الخيوط بعد الإضاءة بالمصباح
		

أ- اجرد 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) } .

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

وبما أن الجسم الصلب (S) خفيف جدا فإن شدة وزنه مهملة 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 .

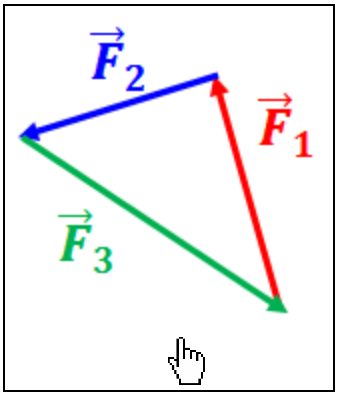
ج- أتمم ملأ الجدول التالي الذي يحدد مميزات القوى $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ و $\vec{F}_3$.

القوى	نقطة التأثير	خط التأثير	المنحى	المنظم
$\vec{F}_1$	النقطة A	المستقيم الذي يجسده الخيط (1)	من A نحو (D_1)	$F_1 = 2,2N$
$\vec{F}_2$	النقطة B	المستقيم الذي يجسده الخيط (2)	من B نحو (D_2)	$F_2 = 2,4N$
$\vec{F}_3$	النقطة C	المستقيم الذي يجسده الخيط (3)	من C نحو (D_3)	$F_3 = 3,4N$

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) .

ه- 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 :

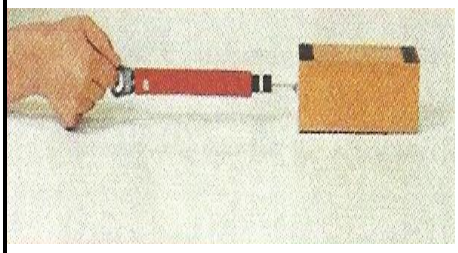
- **المجموع المتجهي للقوى الثلاث منعدم** $\sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$ أو **الخط المضلعي لمتجهات القوى الثلاث مغلق** . و هذا الشرط لازم لسكون مركز القصور G للجسم الصلب .
- **خطوط تأثير القوى الثلاث متلاقية و مستوائية** . و هذا الشرط لازم لغياب الدوران في حالة تحقق الشرط 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 مستقيمية منتظمة** طبقا لمبدأ القصور .

2- تطبيق : قوة الاحتكاك :

2-1- نشاط :

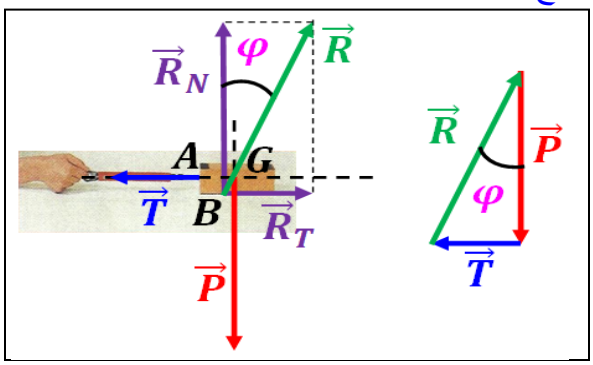


نضع على لوحة خشبية أفقية قطعة من الخشب (S) كتلتها $m = 400\ g$ ، ونطبق عليها قوة $\vec{T}$ بواسطة الدينامومتر موازٍ للوحة الخشبية بحيث تبقى القطعة (S) في توازن . نعطي $g = 10\ N.kg^{-1}$.

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 .

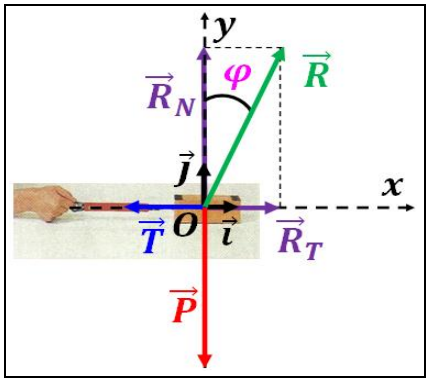
وبمعرفة مميزات $\vec{P}$ و $\vec{T}$ نرسم الخط المضلعي المغلق فنحدد مميزات $\vec{R}$.

بما أن اتجاه $\vec{R}$ مائل عن المنظمي بزاوية φ 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	A نقطة تماس الجسم و (D)	B نقطة تماس الجسم و السطح
خط التأثير	الرأسي المار من	الأفقي المار من A و G	المائل عن المنظمي بزاوية φ
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 هندسيا اعتمادا على قياس طول المتجهة $\vec{R}$ والسلم المستعمل أو اعتمادا على مبرهنة فيتاغورس 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 .



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

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

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

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

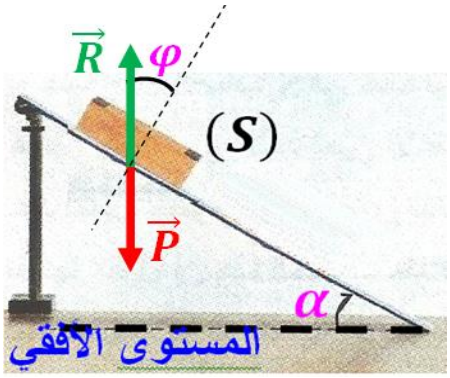
الحالة الميكانيكية	في توازن					اختل التوازن		
الشدة $T(N)$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,1	2,5	3,0
الشدة $R_T(N)$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0
الشدة $R_N(N)$	4	4	4	4	4	4	4
الشدة $R(N)$	4,03	4,12	4,27	4,47	4,47	4,47	4,47
الزاوية $\varphi(°)$	7,0	13,9	20,5	26,5	26,5	26,5	26,5

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 φ_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 $\varphi_0=26,5°$ و $K_0=\tan\varphi_0=\tan 26,5=0,5$.

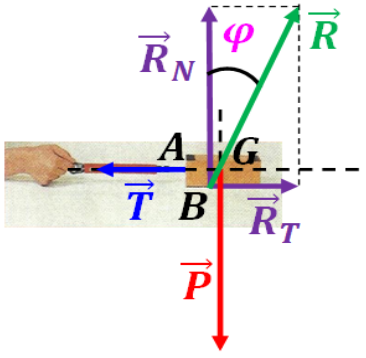
و- نزيل الديناموتر ونميل تدريجيا اللوحة الخشبية عن المستوى الأفقي حتى يختل توازن الجسم (S) عند الزاوية α_m .
أوجد العلاقة بين α و φ ، ثم حدد قيمة α_m . ماذا تستنتج ؟

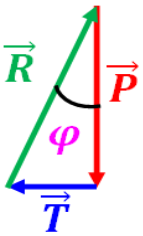


المجموعة المدروسة : { قطعة الخشب (S) } .
جرد القوى : $\vec{P}$ وزنها و $\vec{R}$ تأثير السطح .
لدينا القطعة (S) في توازن ، إذن $\sum\vec{F}=\vec{P}+\vec{R}=\vec{0}$
إذن اتجاه $\vec{R}$ رأسي وبالتالي فهو مائل عن المنظمي بزاوية φ .
بما أن φ هي الزاوية بين الرأسي و المنظمي على السطح و α هي الزاوية بين الأفقي والسطح فإن $\alpha=\varphi$ إذن $\alpha_m=\varphi_0=26,5°$.
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 الديناموتر موازٍ للوحة الخشبية بحيث تبقى القطعة (S) في توازن و هي خاضعة لثلاث قوى :
$\vec{P}$ وزنها و $\vec{T}$ توتر الديناموتر 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 :

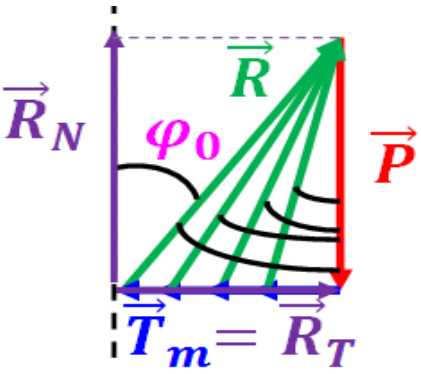
يعزى بقاء الجسم (S) في توازن رغم تزايد شدة القوة $\vec{T}$ المطبقة من طرف الدينامومتر (حيث $T < T_m$) إلى وجود الاحتكاكات نتيجة خشونة سطحي التماس و طبيعتيهما .

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 $\vec{f}$.

إذن نكتب : $\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{R}_T = \vec{R}_N + \vec{f}$.

2-4- زاوية الاحتكاك الساكن :



نسمي زاوية الاحتكاك الساكن φ_0 القيمة الحدية لزاوية الاحتكاك φ التي يختل توازن الجسم عندها و هي مقدار مميز لطبيعة التماس بين جسمين معينين .

نعرف معامل الاحتكاك الساكن K_0 بالعلاقة : $K_0 = \tan\varphi_0 = \frac{R_T}{R_N}$.

و هذا المقدار يتعلق بطبيعة الجسمين المتماسين و لا يتعلق بمساحتيهما .

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

ملحوظة :

بالنسبة لجسم صلب فوق سطح مائل بزاوية α ، 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 $\alpha > \varphi_0$	سطح أملس واتجاه $\vec{R}$ منظمي