

الجزء الأول : الشغل الميكانيكي  
و الطاقة .  
الدرس 2  
ذ : عزيز العطور

شغل و قدرة قوة

الأولى بكالوريا  
جميع الشعب

## 1- مفهوم شغل قوة :

### 1-1- نشاط :

حدد المفاعيل أو التغيرات التي تحدثها هذه القوى على كل مجموعة ، سواء تعلق الأمر بالموضع أو بالسرعة أو بالحالة الفيزيائية .

المفعول الذي تحدثه هذه القوى :

- على السيارة هو تحريكها بفعل القوة التي يطبقها الشخص .
- على مقود السيارة هو إدارته بفعل القوة التي تطبقها اليد .
- على المسطرة هو تغيير شكلها بفعل القوة التي تطبقها اليد .
- على سيارة السباق هو تغيير سرعتها بفعل القوة التي تطبقها المكابح .

### 1-2- خلاصة :



يد تدير مقود سيارة

شخص يدفع سيارة

يد تضغط على مسطرة قابلة للتشويه

سيارة سباق أثناء تشغيل المكابح فينبعث دخان

تتعدد المفاعيل الميكانيكية التي تحدثها القوى المطبقة على جسم صلب والتي لها نقط تأثير تنتقل ، وذلك :

■ حسب طبيعة هذا الانتقال ( إزاحة ، دوران ، ... ) .

■ حسب مميزات هذه القوى .

■ حسب خصائص وطبيعة الجسم الصلب ( قابل للتشويه ... ) .

ونذكر من هذه المفاعيل :

■ تحريك جسم صلب .

■ إحداث دوران جسم صلب .

■ تشويه جسم صلب .

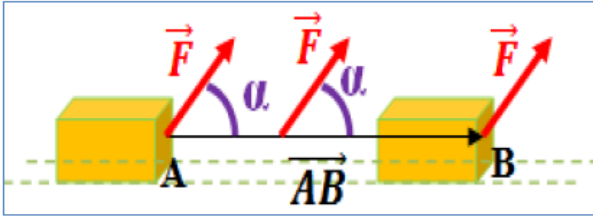
نقول إن قوة مطبقة على جسم ما تشتغل ، إذا انتقلت نقطة تأثيرها ، وغيرت حركة هذا الجسم (تغير في الارتفاع ، تغير في سرعته ...) أو غيرت خصائصه الفيزيائية (ارتفاع في درجة حرارته ، تشويهه... ) .

## 2- شغل قوة أو مجموعة قوى :

### 2-1- شغل قوة ثابتة مطبقة على جسم صلب في إزاحة :

- ⊕ نقول إن القوة ثابتة إذا احتفظت بنفس الاتجاه ، نفس المنحى ونفس الشدة طيلة الحركة .
- ⊕ نقول إن جسما صلبا في حركة إزاحة إذا حافظ على نفس التوجيه في الفضاء ( أي لم تتغير مميزات المتجهة  $\overrightarrow{AB}$  بحيث A و B نقطتان من الجسم ) .

### 2-1-1-1-1-1-2 إزاحة مستقيمة :



إذا اعتبرنا نقطة M من جسم صلب في إزاحة خاضعة لقوة  $\vec{F}$  ،  
وتنتقل من موضع A إلى موضع B . فإن القوة  $\vec{F}$  تنجز شغلا  
يساوي الجداء السلمي لمتجهة القوة  $\vec{F}$  و متجهة الانتقال  
 $\vec{AB}$  لنقطة تأثير القوة .

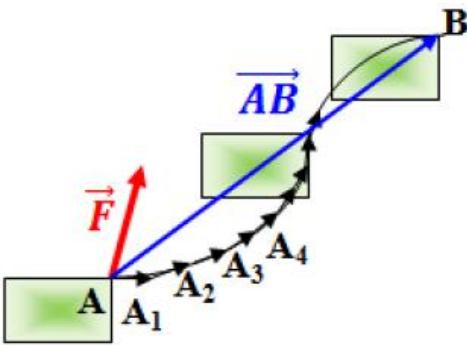
$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos \alpha$$

$$\alpha = (\vec{F}, \vec{AB}) \text{ مع}$$

وحدة الشغل في ( ن ع ) هي الجول J .

الجول يمثل شغل قوة ثابتة شدتها 1N عند  
انتقال نقطة تأثيرها بمتر 1m وفق اتجاهها  
وفي منحائها .  $1J = 1N.m$

### 2-1-1-2 إزاحة منحنية :



نقسم المسار إلى أجزاء متناهية في الصغر بحيث يمكن اعتبارها مستقيمة .  
نعتبر عن الشغل الجزئي  $\delta W_i$  للقوة  $\vec{F}$  خلال الانتقال الجزئي

$$\delta \vec{l}_i = \vec{A_i A_{i+1}} \text{ بالعلاقة : } \delta W_i = \vec{F} \cdot \delta \vec{l}_i$$

الشغل الكلي للقوة  $\vec{F}$  عند انتقال نقطة تأثيرها من A إلى B هو مجموع

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \sum \delta W_i = \vec{F} \cdot \sum \delta \vec{l}_i = \vec{F} \cdot \vec{AB} \text{ الأشغال الجزئية}$$

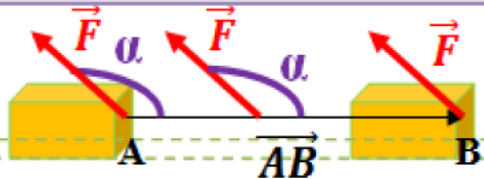
في حالة الإزاحة المنحنية ، يُعبر عن شغل قوة  $\vec{F}$  عند انتقال نقطة تأثيرها من A إلى B

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} \text{ بالعلاقة :}$$

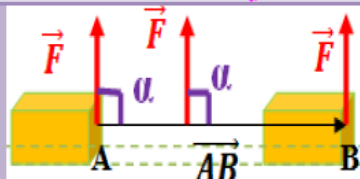
**ملحوظة :** لا يرتبط شغل قوة ثابتة بمسار نقطة تأثيرها ، بل يرتبط فقط بموضعها البدني و النهائي .

### 3-1-2-3-1-2 طبيعة الشغل :

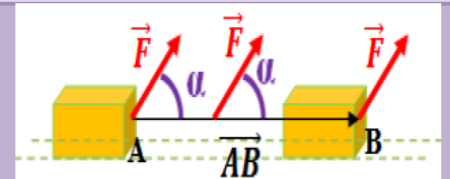
الشغل مقدار جبري و تتعلق إشارته بإشارة  $\cos \alpha$



$\cos \alpha < 0 \Leftrightarrow 90^\circ < \alpha < 180^\circ$   
وبالتالي  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) < 0$  فنقول إن  
الشغل مقاوم



$\cos \alpha = 0 \Leftrightarrow \alpha = 90^\circ$   
وبالتالي  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = 0$  فنقول إن  
الشغل منعدم



$\cos \alpha > 0 \Leftrightarrow 0 < \alpha < 90^\circ$   
وبالتالي  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) > 0$  فنقول  
إن الشغل محرك

### 2-2-2-2-2-2 شغل مجموعة قوى ثابتة مطبقة على جسم في إزاحة :

يساوي شغل مجموعة قوى ثابتة  $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n)$   
مطبقة على جسم صلب في إزاحة ، الجداء السلمي لمجموع  
متجهات القوى  $\sum \vec{F}_i$  و متجهة الانتقال  $\vec{AB}$  .

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \sum \vec{F}_i \cdot \vec{AB}$$

### 2-3- شغل وزن جسم :

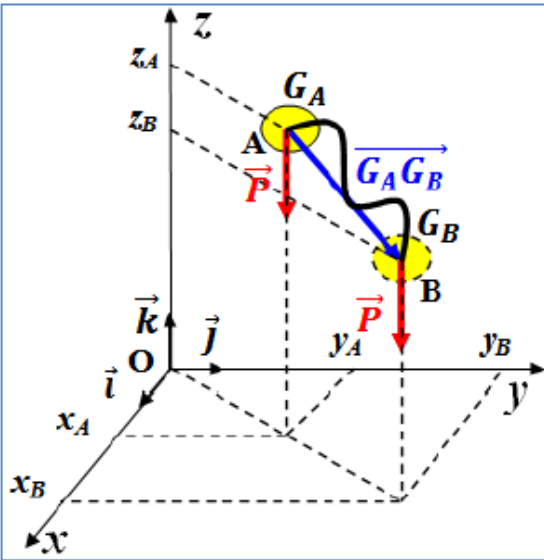
بالنسبة لانتقال جسم على مقربة من الأرض ، يعتبر وزن الجسم قوة ثابتة .  
تعبير شغل وزن جسم عند انتقال  $G$  مركز قصوره من  $A$  إلى  $B$  هو :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{G_A G_B}$$

في المعلم  $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  (حيث  $oz$  موجه نحو الأعلى) إحداثيات  $\vec{P}$  و

$$\overrightarrow{G_A G_B} \begin{cases} x_B - x_A \\ y_B - y_A \\ z_B - z_A \end{cases} \text{ و } \vec{P} \begin{cases} P_x = 0 \\ P_y = 0 \\ P_z = -mg \end{cases} \text{ هي : } \overrightarrow{G_A G_B}$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m(z_A - z_B) \text{ إذن}$$



### ملحوظة :

❖ لا يرتبط شغل وزن جسم إلا بالأنسوب  $z_A$  للموضع البدئي و بالأنسوب  $z_B$  للموضع النهائي أي لا يتعلق بالمسار المتبع .

إذا كان المحور  $oz$  موجهًا نحو الأسفل فإن تعبير شغل وزن الجسم يصبح :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = mg(z_B - z_A)$$

### تمرين تطبيقي ( تمرين 4 ص 35 من المسار )

ينزلق طفل كتلته  $m=30\text{kg}$  فوق منزلق مستقيمي ومائل بزاوية  $\alpha = 45^\circ$  بالنسبة للمستوى الأفقي .  
1- أنجز تبيانة توضيحية .

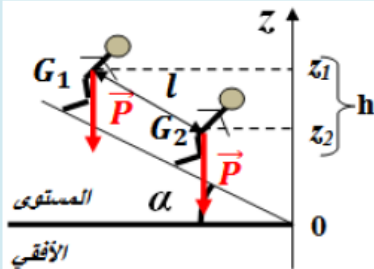
2- احسب الشغل الذي ينجزه وزن الطفل عند قطعه للمسافة  $l = 4\text{m}$  . نعطي :  $g = 10\text{N.kg}^{-1}$  .

1- انظر جانبه .

$$W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{P}) = mg(z_1 - z_2) = mgh \text{ لدينا}$$

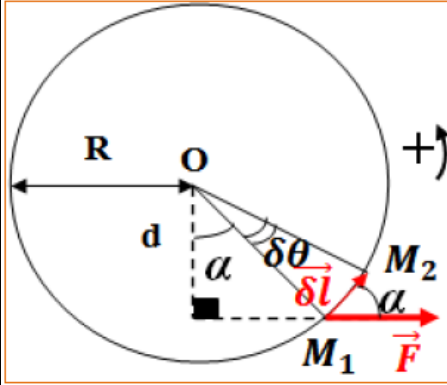
$$W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{P}) = mgl \sin \alpha \text{ وبالتالي } \sin \alpha = \frac{h}{l} \text{ لدينا}$$

$$\cdot W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{P}) = 30 \times 10 \times 4 \times \sin 45 = 848,53\text{J} \text{ إذن}$$



## 4-2- شغل قوة عزمها ثابت مطبقة على جسم صلب في دوران حول محور ثابت :

صيغة عزم قوة  $\vec{F}$  بالنسبة لمحور ( $\Delta$ ) متعامد مع خط تأثيرها هي  $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = \pm F \cdot d$  حيث  $F$  شدة القوة و  $d$  المسافة الفاصلة بين خط تأثيرها والمحور .



عند دوران جسم صلب بزواوية صغيرة  $\delta\theta$  ، تقطع نقطة تأثير القوة قوسا صغيرا  $\widehat{M_1M_2}$  الذي يمكن اعتباره مستقيما ونعبر عنه بالمتجهة  $\delta\vec{l}$  . كما يمكن اعتبار القوة  $\vec{F}$  تقريبا ثابتة .

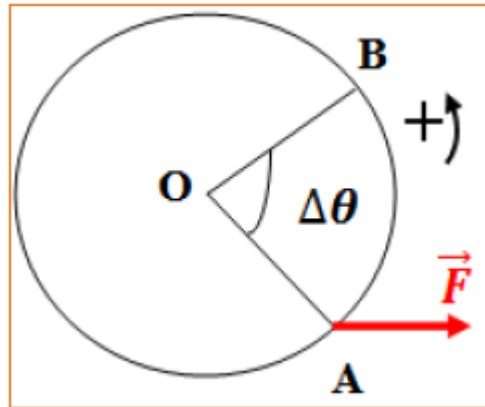
تعبير الشغل الجزئي  $\delta W$  هو :  $\delta W = \vec{F} \cdot \delta\vec{l} = F \cdot \delta l \cdot \cos \alpha$  مع  $\delta l = R\delta\theta$  و  $d = R \cdot \cos \alpha$  و  $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = F \cdot d$  إذن  $\delta W = F \cdot R \cdot \delta\theta \cdot \cos \alpha = F \cdot d \cdot \delta\theta = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \cdot \delta\theta$

الشغل الكلي للقوة  $\vec{F}$  هو مجموع الأشغال الجزئية  $W(\vec{F}) = \sum \delta W = \sum \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \cdot \delta\theta$  بما أن  $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = Ct$  فإن  $W(\vec{F}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \cdot \sum \delta\theta$  مع  $\sum \delta\theta = \Delta\theta$  وبالتالي فإن  $W(\vec{F}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \cdot \Delta\theta$

يساوي شغل قوة عزمها ثابت بالنسبة لمحور الدوران جداء العزم

$$W(\vec{F}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \cdot \Delta\theta$$

$\downarrow$                        $\downarrow$                        $\downarrow$   
 J                      N.m                      rad



## 5-2- شغل مزدوجة عزمها ثابت :

### 2-5-1- عزم مزدوجة قوتين بالنسبة لمحور الدوران :

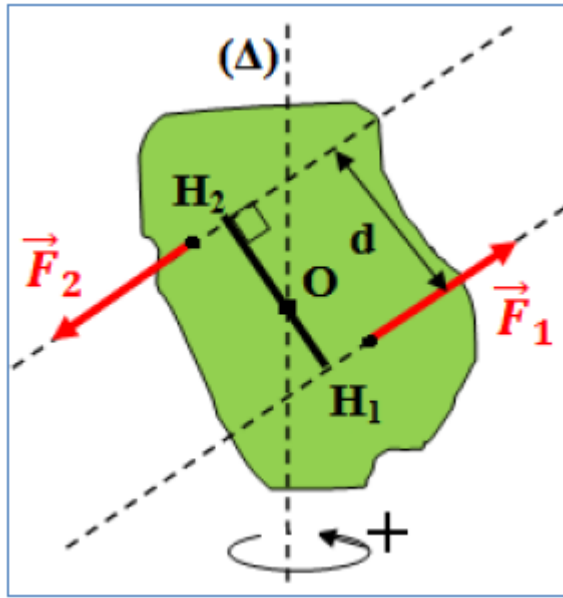
عزم مزدوجة قوتين بالنسبة لمحور الدوران ( $\Delta$ ) عمودي على مستوى المزدوجة هو جداء الشدة المشتركة  $F$  للقوتين والمسافة  $d$  الفاصلة بين

خطي تأثيريهما :  $\mathcal{M}_C = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = \pm F \cdot d$

**تعميم :** المزدوجة هي مجموعة قوى مستوائية بحيث :

✍ يكون مجموع متجهاتها منعدما .

✍ يميزها عزم ثابت بالنسبة لأي محور دوران عمودي على مستواها .



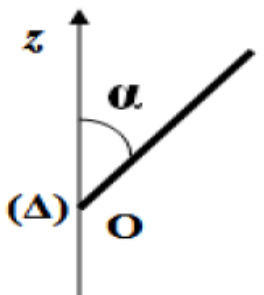
### 2-5-2- شغل مزدوجة ذات عزم ثابت :

بالنسبة لدوران جزئي بزاوية  $\delta\theta$  لجسم صلب حول محور ثابت  $(\Delta)$  ، يكون الشغل الجزئي للمزدوجة هو :  $\delta W = \mathcal{M}_C \cdot \delta\theta$  .

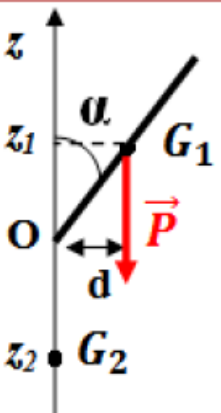
بالنسبة لدوران معين بزاوية  $\Delta\theta$  لجسم صلب حول محور ثابت  $(\Delta)$  ، يكون شغل المزدوجة هو مجموع الأشغال الجزئية هو :  $W = \sum \delta W$  .

إذا كان عزم المزدوجة ثابتا ، تصبح صيغة الشغل هي  $W(\vec{F}) = \mathcal{M}_C \cdot \Delta\theta$  .

### تمرين تطبيقي ( تمرين 5 ص 35 من المسار )



نعتبر عارضة متجانسة كتلتها  $m=200g$  وطولها  $L=50cm$  ، وقابلة للدوران حول محور أفقي  $(\Delta)$  مار من  $O$  .  
نحدر العارضة من موضع بدئي حيث تكون الزاوية بينها وبين محور رأسي موجه نحو الأعلى  $\vec{O}$  هي  $\alpha = 45^\circ$  .  
احسب الشغل الذي يُنجزه وزن العارضة بين لحظة انطلاقها ولحظة مرورها لأول مرة من الخط الرأسي .



قيمة عزم وزن العارضة في الموضع  $G_1$  :  $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P}) = m \cdot g \cdot d$

ولدينا  $\sin \alpha = \frac{d}{\frac{L}{2}}$  إذن  $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P}) = m \cdot g \cdot \frac{L}{2} \cdot \sin \alpha \neq 0$

قيمة عزم وزن العارضة في الموضع  $G_2$  :  $\mathcal{M}_\Delta(\vec{P}) = m \cdot g \cdot 0 = 0$

بما أن العزم غير ثابت فإنه لا يمكن تطبيق العلاقة :  $W(\vec{P}) = \mathcal{M}_\Delta(\vec{P}) \cdot \Delta\theta$

لدينا  $W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{P}) = mg(z_1 - z_2)$

مع  $\cos \alpha = \frac{z_1}{\frac{L}{2}}$  أي  $z_1 = \frac{L}{2} \cdot \cos \alpha$  و  $z_2 = -\frac{L}{2}$  وبالتالي

$$W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{P}) = mg \frac{L}{2} (\cos \alpha + 1) = 0,2 \times 10 \times \frac{0,5}{2} (\cos 45 + 1) = 0,85J$$

### 3- قدرة قوة أو مجموعة قوى :

القدرة مقدار فيزيائي يتعلق بالشغل و بالمدة اللازمة لإنجازه .

#### 3-1- القدرة المتوسطة :

تساوي القدرة المتوسطة لقوة  $\vec{F}$  خارج قسمة الشغل  $W$  لهذه القوة على المدة الزمنية  $\Delta t$  اللازمة لإنجاز هذا الشغل .

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

#### 3-2- القدرة اللحظية لقوة ثابتة أو مجموعة قوى ثابتة مطبقة على جسم صلب في إزاحة :

تساوي القدرة اللحظية  $P$  لقوة ثابتة ، مطبقة على جسم صلب في إزاحة ، خارج قسمة الشغل الجزئي  $\delta W$  على المدة الصغيرة جدا اللازمة لإنجاز هذا الشغل .

$$P = \vec{F} \cdot \vec{V} \Leftrightarrow P = \vec{F} \cdot \frac{\delta \vec{l}}{\delta t} \Leftrightarrow P = \frac{\delta W}{\delta t}$$

#### ملحوظة :

القدرة مقدار جبري تتعلق إشارته بإشارة  $\alpha = (\vec{F}, \vec{V})$  أي  $P = F \cdot V \cdot \cos \alpha$  .  
 في حالة وجود مجموعة قوى ثابتة مطبقة على جسم صلب في إزاحة ، تساوي القدرة اللحظية

لهذه القوى مجموع القدرات اللحظية لمختلف القوى :  $P = \sum P_i = \sum \vec{F}_i \cdot \vec{V}_i$

وبما أن الجسم في إزاحة فإن  $\vec{V}_i = \vec{V} = \vec{cte}$  وبالتالي :  $P = (\sum \vec{F}_i) \cdot \vec{V}$

#### 3-3- القدرة اللحظية لقوة ذات عزم ثابت مطبقة على جسم صلب في دوران حول محور ثابت :

لدينا تعبير القدرة اللحظية هو  $P = \frac{\delta W}{\delta t}$  ولدينا في حالة الدوران  $\delta W = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \cdot \delta \theta$

إذن  $P = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \cdot \frac{\delta \theta}{\delta t}$  وبما أن العزم ثابت فإن  $P = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \cdot \omega$

تساوي القدرة اللحظية  $P$  لقوة ثابتة ، مطبقة على جسم صلب في دوران حول محور ثابت ، جداء عزم هذه القوة بالنسبة للمحور والسرعة الزاوية للجسم .

$$P = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) \cdot \omega$$