# Travail et puissance d'une force شغل وقدرة قوة

## I. مفعول بعض التأثيرات الميكانيكية على جسم صلب

تؤثر القوى على الجسم الصلب بعدة أنواع من المفاعيل الميكانيكية منها:

- ✔ تحريك جسم صلب: سقوط الأجسام بفعل تأثير وزنها.
- ✔ إحداث دوران جسم صلب: يدور الباب بفعل تأثير القوة التي يطبقها الشخص.
- ✔ تشويه جسم صلب: تتشوه النفاخة بفعل القوة المطبقة من قبل الأصبع.

## II. شغل قوة أو مجموعة قوى ثابتة مطبقة على جسم في إزاحة

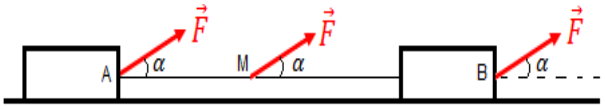
### 1. مفهوم شغل قوة

نقول إن قوة مطبقة على جسم ما تشتغل, إذا انتقلت نقطة تأثيرها, وغيرت حركة هذا الجسم أو غيرت خصائصه الفيزيائية.

### 2. شغل قوة ثابتة مطبقة على جسم في إزاحة

القوة الثابتة هي التي تحتفظ بنفس الاتجاه, نفس المنحى, ونفس الشدة طيلة الحركة.

#### a. حالة الإزاحة المستقيمية




يعبر عن شغل قوة ثابتة $\vec{F}$ خلال انتقال مستقيمي AB بالعلاقة:

$$W_{A\to B}(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{AB} = F.AB\cos\alpha$$

(Joule :J) (N) (m)

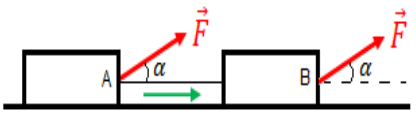
ملحوظة: يمكن كذلك التعبير عن شغل قوة بواسطة الإحداثيات: $\vec{F}(F_x ; F_y)$ و $A(x_A ; y_A)$ و $B(x_B ; y_B)$.

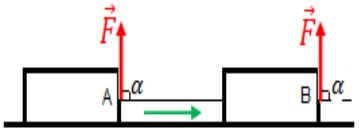
$$W_{A\to B}(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{AB} = F_x(x_B - x_A) + F_y(y_B - y_A) \Leftarrow$$

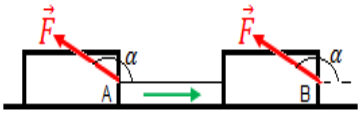
❖ **طبيعة شغل قوة ثابتة**

لدينا: $W_{A\to B}(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{AB} = F.AB\cos\alpha$ حيث: $AB>0$ ; $F>0$ ; $-1<\cos\alpha<1$

إذن نقول إن شغل قوة مقدار جبري وترتبط إشارته بقيمة الزاوية $\alpha$.

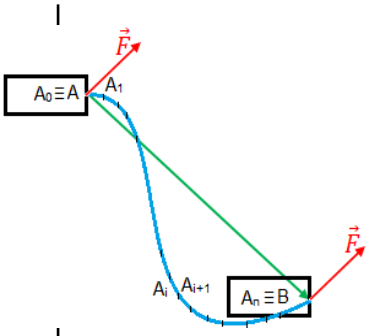


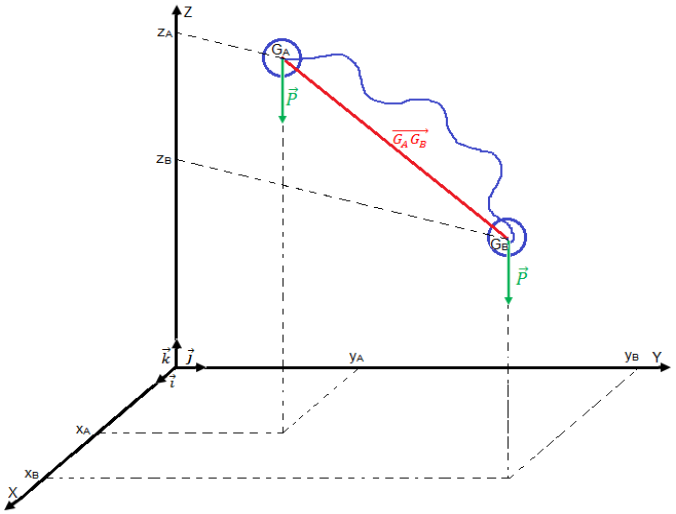




| $\alpha \le 90° \ge 0$ | $\alpha = 90°$ | $\alpha \le 180° \ge 90°$ |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| cosα > 0 | | |
| $W_{A\to B}(\vec{F}) > 0$ | $W_{A\to B}(\vec{F}) = 0\cos\alpha = 0$ | $W_{A\to B}(\vec{F}) < 0\cos\alpha < 0$ |
| نقول إن الشغل محرك. | نقول إن الشغل منعدم. | نقول إن الشغل مقاوم. |




### b. حالة الإزاحة المنحنية




نقسم المسار المنحني إلى أجزاء صغيرة يمكن اعتبارها مستقيمية.

نعبر عن الشغل الجزئي الذي تنجزه القوة $\vec{F}$ خلال انتقال جزئي $\vec{dl}_i = \vec{A_iA_{i+1}}$

بالعلاقة: $\delta W_i(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{dl}_i$

أما شغل القوة $\vec{F}$ عند انتقال نقطة تأثيرها من A إلى B فهو مجموع الأشغال الجزئية:

$$W_{A\to B}(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{dl}_0 + \vec{F}.\vec{dl}_1 + \ldots + = \vec{F}.\vec{dl}_i + \ldots + \vec{F}.\vec{dl}_n = \vec{F}.\sum_i \vec{dl}_i$$

$$W_{A\to B}(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{AB} \quad \Leftarrow$$

إذن نقول إن شغل قوة ثابتة مستقل عن المسار الذي تتبعه نقطة تأثيرها, إذ يرتبط فقط بموضعها البدئي والنهائي.

## 3. تطبيق: شغل وزن جسم

بالنسبة لانتقال لا يتجاوز بضع كيلومترات (قريب من سطح الأرض), يمكن اعتبار مجال الثقالة منتظما.

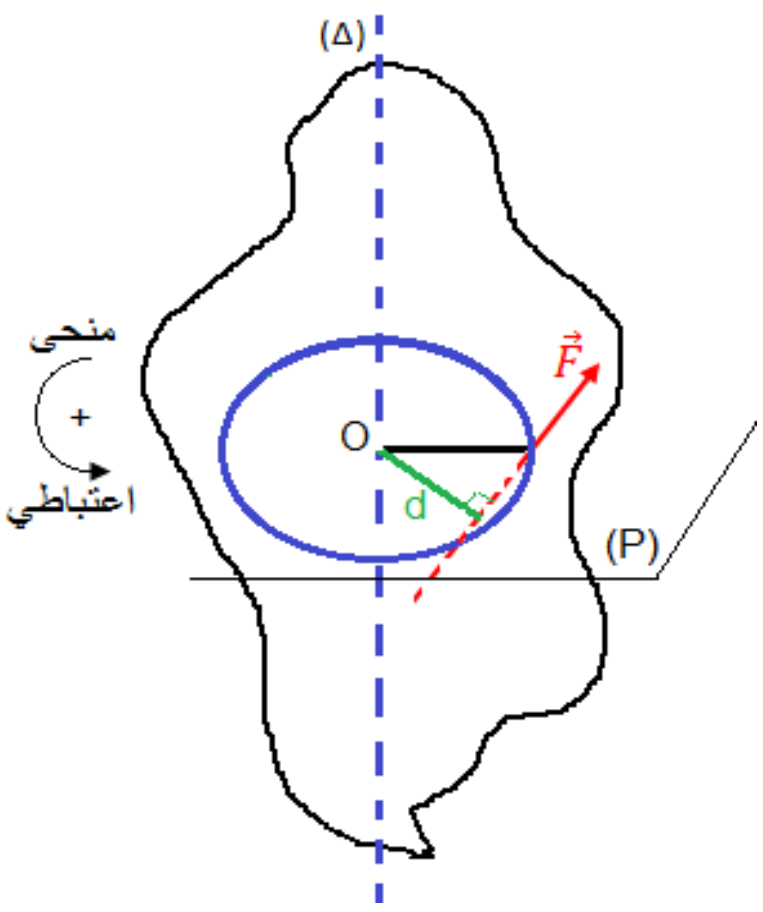
عند انتقال مركز قصور الجسم من الموضع $G_A$ إلى $G_B$, ينجز $\vec{F}$ شغلا:

$$W_{G_A\to G_B}(\vec{P}) = \vec{P}.\vec{G_AG_B}$$

لدينا: $\vec{P} = -mg\vec{k}$

و $\overrightarrow{G_AG_B} = (x_B - x_A)\vec{i} + (y_B - y_A)\vec{j} + (z_B - z_A)\vec{k}$

إذن: $W_{G_A \to G_B}(\vec{P}) = -mg(z_B - z_A)$ وبالتالي: $W_{G_A \to G_B}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B)$




خلاصة: لا يرتبط شغل وزن جسم إلا بالأنسوب $z_A$ للموضع البدئي والأنسوب $z_B$ للموضع النهائي لمركز قصور الجسم.

ملحوظة: يتعلق تعبير شغل وزن جسم بمنحى المحور OZ, إذا تم اختيار منحى المحور نحو الأسفل يصبح هذا التعبير:

$$W_{G_A \to G_B}(\vec{P}) = mg(z_B - z_A)$$

## 4. شغل مجموعة قوى ثابتة مطبقة على جسم صلب في إزاحة

لدينا الجسم في إزاحة:

$$\overrightarrow{A_1B_1} = \overrightarrow{A_2B_2} = \dots = \overrightarrow{A_nB_n} = \overrightarrow{AB}$$

شغل القوى عند انتقال الجسم يعبر عنه بالعلاقة:

$$W_{A \to B} = \vec{F_1}.\overrightarrow{AB} + \vec{F_2}.\overrightarrow{AB} + \dots + \vec{F_n}.\overrightarrow{AB} = \left(\vec{F_1} + \vec{F_2} + \dots + \vec{F_n}\right)\overrightarrow{AB}$$

وبالتالي: $W_{A \to B} = \vec{F}.\overrightarrow{AB}$ حيث: $\vec{F} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F_i}$

تمرين تطبيقي: نقوم بسحب جسم صلب ذي كتلة $m = 250\ Kg$ نحو الأعلى فوق مستوى مائل بزاوية $\alpha = 30°$ بالنسبة للمستوى الأفقي. فيقطع مركز ثقله المسافة $AB = 12\ m$.

1. أنجز تبيانة موضحة لمعطيات التمرين.
2. احسب $W_{A \to B}(\vec{P})$. نعطي $g = 10\ N.Kg^{-1}$.

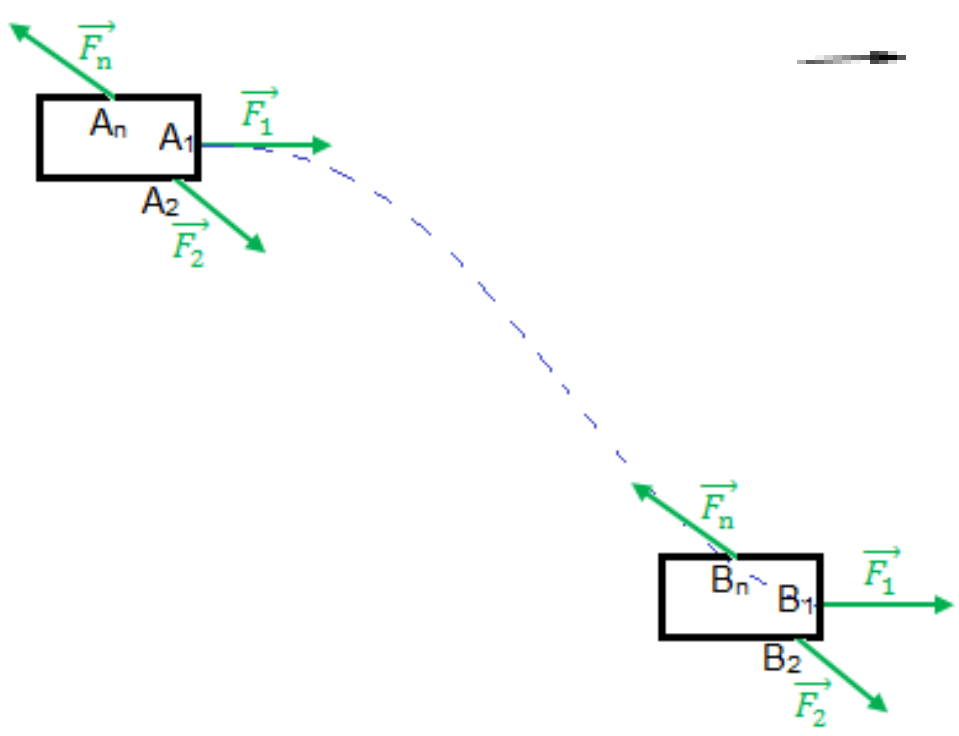
# III. شغل قوة عزمها ثابت مطبقة على جسم صلب في دوران حول محور ثابت

## 1. عزم قوة بالنسبة لمحور دوران ثابت (تذكير)

صيغة عزم قوة $\vec{F}$ بالنسبة لمحور (Δ) متعامد مع خط تأثيرها هي:

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

(N) (m)




## 2. شغل قوة ذات عزم ثابت

عندما يدور الجسم بزاوية صغيرة $d\theta$, تقطع نقطة تأثير القوة $\vec{F}$ قوسا صغيرا $\overset{\frown}{M_1M_2}$ يمكن اعتباره مستقيميا ونعبر عنه بالمتجهة $\vec{dl}$.

باعتبار أن $\vec{F}$ تقريبا ثابتة, نعبر عن الشغل الجزئي ب:

$$\delta W = \vec{F}.\vec{dl} \qquad \delta W = F.dl.\cos\cos\alpha$$

نعلم أن: $dl = Rd\theta$ $\qquad \delta W = F.R\cos\cos\alpha\,.d\theta$

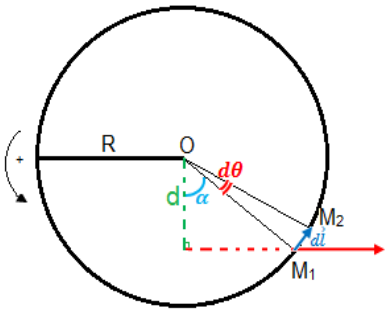
حسب الشكل لدينا: $M_\Delta(\vec{F}) = F.d$ ولدينا $d = R\cos\cos\alpha$

إذن: $\qquad \delta W = M_\Delta(\vec{F}).d\theta$

عند دوران الجسم بزاوية $\Delta\theta$, تنجز القوة $\vec{F}$ شغلا مساويا لمجموع الأشغال الجزئية

$$W(\vec{F}) = \sum M_\Delta(\vec{F}).d\theta$$ بما أن: $M_\Delta(\vec{F}) = M_\Delta(\vec{F})\sum.d\theta$ فإن:

وبالتالي: $\qquad W(\vec{F}) = M_\Delta(\vec{F}).\Delta\theta$




## IV. شغل مزدوجة عزمها ثابت

### 1. عزم مزدوجة قوتين (تذكير)

$$M_\Delta(\vec{F}_1;\vec{F}_2) = \pm F.d$$

$F$: الشدة المشتركة للقوتين $F_1 = F_2 = F$.

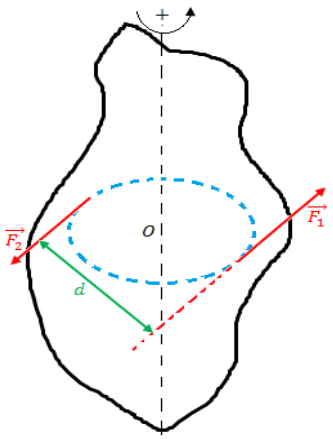
$d$: المسافة الفاصلة بين خطي تأثيرهما.

**❖ تعميم:**

المزدوجة مجموعة قوى بحيث:

✔ يكون مجموع متجهاتها منعدما.

✔ لها عزم غير منعدم.




أمثلة: مزدوجة محرك, مزدوجة الكبح, مزدوجة اللي.

### 2. شغل مزدوجة ذات عزم ثابت

بإتباع نفس المنهجية السابقة (حالة خاصة مزدوجة قوتين) نبين أن الشغل الجزئي لمزدوجة هو:

$$\delta W = M_\Delta.d$$

بالنسبة لدوران بزاوية $\Delta\theta$, يكون شغل المزدوجة هو

$$W = \sum \delta W_i$$

نعلم أن العزم ثابت وبالتالي: $W = M_{\Delta}.\Delta\theta$

تمرين تطبيقي: لتشغيل محرك مضخة ماء نلف خيطا غير مدود على اسطوانة المحرك, ذات الشعاع $R = 5\ cm$, ونقوم بسحبه بتطبيق قوة $\vec{F}$ حيث: $\|\vec{F}\| = 100N$.

أحسب شغل هذه القوة عند انجاز الأسطوانة 20 دورة.

## V. قدرة قوة

القدرة هي مفهوم فيزيائي يربط بين الشغل المنجز والمدة اللازمة لانجازه.

### 1. القدرة المتوسطة

نسمي القدرة المتوسطة المقدار: $P_m = \frac{A\to B(\vec{F})}{\Delta t}$

حيث: $W_{A\to B}(\vec{F})$: الشغل المنجز ب (J).

$\Delta t$: المدة اللازمة لانجاز هذا الشغل ب: (s).

$P_m$: القدرة المتوسطة للقوة $\vec{F}$. ب: W (Watt).

### 2. القدرة اللحظية

نعبر عن القدرة اللحظية بالعلاقة: $P = \frac{\delta W}{dt}$

#### a. حالة جسم في إزاحة

إذا كان جسم في إزاحة ومطبق عليه قوة أو عدة قوى ثابتة $\vec{}$.

فإن: $\delta W = \vec{F}.\vec{dl}$ إذن: $P = \vec{F}.\frac{\vec{dl}}{dt} \Longleftarrow P = \vec{F}.\vec{v}$

#### b. حالة جسم في دوران حول محور ثابت

إذا كان جسم في حالة دوران حول محور ثابت ومطبق عليه قوة أو مزدوجة ذات عزم ثابت.

فإن: $\delta W = M_{\Delta}.d\theta$ إذن $P = M_{\Delta}.\frac{d\theta}{dt} \Longleftarrow P = M_{\Delta}.\omega$.

❖ **تصحيح تمارين الكتاب المدرسي.**