

## الشغل وطاقة الوضع الثقالية Travail et énergie potentielle de pesanteur

### I - طاقة الوضع الثقالية

#### 1 - مفهوم طاقة الوضع الثقالية

##### أ - مثال:

عندما يحترق الخيط يسقط الجسم تحت تأثير وزنه نقول إن الجسم يخزن طاقة تتعلق بموضعه في مجال الثقالة تسمى طاقة الوضع الثقالية.

##### ب - تعريف:

طاقة الوضع الثقالية لجسم في مجال الثقالة هي الطاقة التي يمتلكها الجسم نتيجة موضعه بالنسبة للأرض.

#### 2 - صيغة طاقة الوضع الثقالية

نعتبر جسما صلبا في سقوط حر في مجال الثقالة، شغل وزن الجسم:  $W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{P}) = mg(z_1 - z_2)$

$$= mgz_1 - mgz_2$$

نلاحظ أن شغل وزن الجسم يظهر كفرق لحددين:

✓  $mgz_1$  الذي يمثل طاقة الوضع الثقالية بالنسبة للجسم (S) عند الأنسوب  $z_1$ ؛

✓  $mgz_2$  الذي يمثل طاقة الوضع الثقالية بالنسبة للجسم (S) عند الأنسوب  $z_2$ .

نرمز لطاقة الوضع الثقالية بـ  $E_{pp}$ .

بصفة عامة نعرف طاقة الوضع الثقالية بالعلاقة:

حيث: C ثابتة اعتباطية تتعلق بالحالة المرجعية؛

z أنسوب مركز قصور الجسم.

$$J \rightarrow E_{pp} = mgz + C \leftarrow J$$

Kg N/Kg m

$$W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{P}) = mgz_1 - mgz_2 \text{ لدينا}$$

$$E_{pp1} = mgz_1 + C \Leftrightarrow mgz_1 = E_{pp1} - C$$

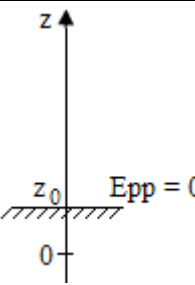
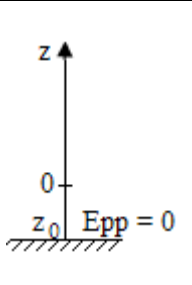
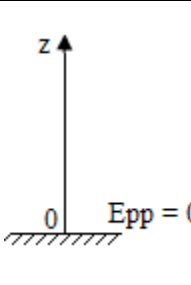
$$E_{pp2} = mgz_2 + C \Leftrightarrow mgz_2 = E_{pp2} - C$$

$$W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{P}) = E_{pp1} - E_{pp2} \text{ إذن:}$$

#### 3 - الحالة المرجعية:

نسمي الحالة المرجعية لطاقة الوضع الثقالية الحالة التي نختارها اعتبارا حيث نُسند لطاقة الوضع الثقالية لجسم صلب في مجال الثقالة القيمة

$$E_{pp} = 0$$

الحالة المرجعية III	الحالة المرجعية II	الحالة المرجعية I
 $E_{pp} = mgz + C$ <p>عند ح م : <math>E_{pp} = 0</math>  <math>z = z_0</math>  <math>0 = mgz_0 + C</math>  أي: <math>C = -mgz_0</math></p> $E_{pp} = mg(z - z_0)$	 $E_{pp} = mgz + C$ <p>عند ح م : <math>E_{pp} = 0</math>  <math>z = -z_0</math>  <math>0 = -mgz_0 + C</math>  أي: <math>C = mgz_0</math></p> $E_{pp} = mg(z + z_0)$	 $E_{pp} = mgz + C$ <p>عند ح م : <math>E_{pp} = 0</math>  <math>z = 0</math>  <math>0 = mg \times 0 + C</math>  أي: <math>C = 0</math></p> $E_{pp} = mgz$

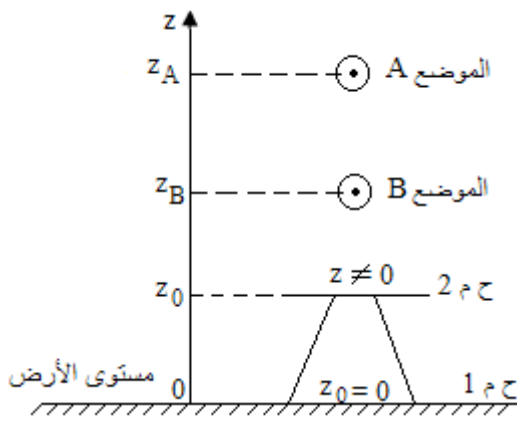
يمكن لطاقة الوضع الثقالية لجسم صلب في مجال الثقالة أن تكون موجبة أو سالبة حسب موضع الجسم بالنسبة للحالة المرجعية.

➤ إذا وُجد الجسم فوق الحالة المرجعية فإن  $E_{pp} > 0$ ؛

➤ إذا وُجد الجسم تحت الحالة المرجعية فإن  $E_{pp} < 0$ .

### II - تغير طاقة الوضع الثقالية

نعتبر سقوطا حراً لجسم صلب، ونقوم بتحديد تغير طاقة الوضع الثقالية بين موضعين A و B بالنسبة لحالتين مرجعيتين مختلفتين.



✓ الحالة المرجعية الأولى:

$E_{pp} = 0$  عند سطح الأرض ( $z_0 = 0$ )

$$E_{pp} = mgz$$

$$E_{pp_B} = mgz_B \quad \text{و} \quad E_{pp_A} = mgz_A$$

$$\Delta E_{pp} = E_{pp_B} - E_{pp_A} = mg(z_B - z_A)$$

✓ الحالة المرجعية الثانية:

$E_{pp} = 0$  عند مستوى الطاولة ( $z_0 \neq 0$ )

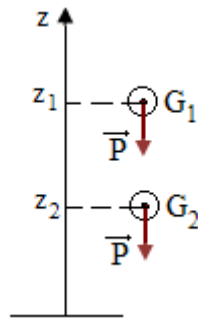
$$E_{pp} = mg(z - z_0)$$

$$E_{pp_B} = mg(z_B - z_0) \quad \text{و} \quad E_{pp_A} = mg(z_A - z_0)$$

$$\Delta E_{pp} = E_{pp_B} - E_{pp_A} = mg(z_B - z_A)$$

نلاحظ إذن أن تغير طاقة الوضع الثقالية لا يتعلق بالحالة المرجعية بل يتعلق فقط بالحالة البدئية والحالة النهائية.

### III - علاقة تغير طاقة الوضع الثقالية لجسم في مجال الثقالية بشغل وزن الجسم



$$E_{pp1} = mgz_1 - mgz_0$$

$$E_{pp2} = mgz_2 - mgz_0$$

$$\Delta E_{pp} = E_{pp2} - E_{pp1} : \text{تغير طاقة الوضع الثقالية بين الموضعين } G_2 \text{ و } G_1$$

$$= mgz_2 - mgz_1$$

$$= mg(z_2 - z_1)$$

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

$$W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{P}) = -\Delta E_{pp} : \text{نستنتج إذن:}$$

عند انتقال الجسم في مجال الثقالية تتغير طاقة الوضع الثقالية لهذا الجسم بقدر شغل وزنه.

الطاقة الميكانيكية لجسم صلب  
Energie mécanique d'un solide

**I - مفهوم الطاقة الميكانيكية**

1 - حالة انزلاق جسم صلب فوق مستوى مائل بدون احتكاك

**أ - نشاط تجريبي:**

**العدة التجريبية:**

نضد هوائي، خيال، ورق التسجيل، مولد الشرارات.

**المناقشة:**

\* نميل النضد الهوائي بزاوية  $\alpha = 6^\circ$  بالنسبة للمستوى الأفقي

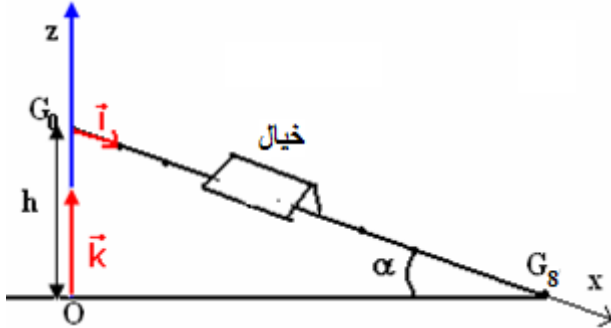
\* نطلق الخيال ذا الكتلة  $m$ ، من أعلى نقطة من النضد الهوائي بدون

سرعة بدئية، ونسجل مواضع نقطة منه في مدد زمنية متساوية

ومتتالية قيمتها  $\tau = 60\text{ms}$ .

\* تبرز الوثيقة أسفله، بالسلم الحقيقي، مثالا لجزء من التسجيل

المحصل عليه:



منحى الحركة									
$G_0$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	$G_5$	$G_6$	$G_7$	$G_8$	$G_9$

**ب - استثمار:**

1 - اجد القوى المطبقة على الخيال أثناء حركته، أي منها تشتغل؟

2 - احسب سرعة الخيال  $V_i$  في الموضع  $G_i$  بحيث  $0 < i < 9$ ، واستنتج قيم الطاقة الحركية للخيال الموافقة.

3 - نعتبر طاقة الوضع الثقالية  $E_{pp}$  للخيال منعدمة في المستوى الأفقي الذي يمر بالنقطة  $G_8$ ، حيث أنسوب

هذه النقطة هو  $z = 0$ ، احسب قيم  $E_{pp}$  بالنسبة للمواضع  $G_i$ .

4 - دون في جدول، بالنسبة لمختلف المواضع  $G_i$  ( $0 < i < 9$ )، قيم  $E_c$ ، قيم  $E_{pp}$  وقيم المجموع  $E_c + E_{pp}$ . نعطي:

$m = 250\text{g}$ ،  $g = 9,8\text{ N/Kg}$

5 - مثل المنحنيات:  $E_c = f(t)$ ،  $E_{pp} = f(t)$ ،  $E_c + E_{pp} = f(t)$ . ماذا تستخلص؟

1 - جرد القوى:

✓  $\vec{P}$ : وزن الخيال؛

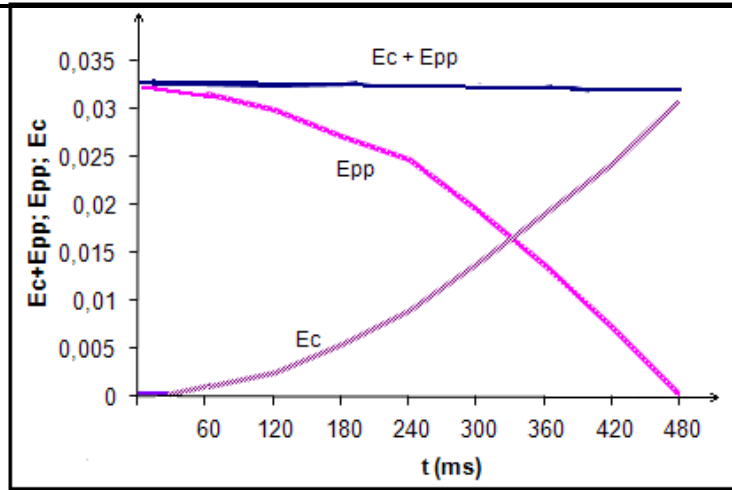
✓  $\vec{R}$ : تأثير النضد الهوائي.

القوة التي تشتغل هي القوة  $\vec{P}$ ، أما شغل القوة  $\vec{R}$  فمنعدم لغياب الاحتكاك.

باقي الأجوبة فستدون في الجدول التالي:

$E_c + E_{pp}$	$E_{pp} = mgZ(J)$	$E_c = \frac{1}{2}mV^2(J)$	V (m/s)	Z (m)	موضع النقطة المتحركة $G_i$	t (s)
					$G_1$	
					$G_2$	
					$G_3$	
					$G_4$	
					$G_5$	
					$G_6$	
					$G_7$	
					$G_8$	

5 - تمثيل المنحنيات:  $E_c = f(t)$ ،  $E_{pp} = f(t)$ ،  $E_c + E_{pp} = f(t)$



### خلاصة:

يلعب المقدار  $E_c + E_{pp}$  دورا مهما في الميكانيك، نسمي هذا المقدار الطاقة الميكانيكية ونعبر عنه بالرمز:  $E_m$ .

### 2 - تعريف:

تساوي الطاقة الميكانيكية لجسم صلب عند كل لحظة وفي معلم معين مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع الثقالية،

أي:  $E_m = E_c + E_{pp}$ .

وحدة الطاقة الميكانيكية في SI هي الجول: J

3 - انحفاظ الطاقة الميكانيكية

من خلال نتائج الجدول السابق، يتبين أن  $E_m = E_c + E_{pp} = C^{te}$ .

❖ نطبق مبرهنة الطاقة الحركية على الجسم أثناء انزلاقه فوق مستوى مائل بدون احتكاك بين موضعين A و B :

$$\Delta E_c = \sum_{A \rightarrow B} W(\vec{F})$$

$$= W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{R})$$

عند انعدام الاحتكاك:  $W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = 0$

$$(1) \quad E_{cB} - E_{cA} = W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$$

$$(2) \quad W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = -\Delta E_{pp} \quad \text{❖ حسب تغير طاقة الوضع الثقالية:}$$

$$E_{cB} - E_{cA} = -\Delta E_{pp} \quad \text{من (1) و (2) يتبين أن:}$$

$$E_{cB} - E_{cA} = -(E_{ppB} - E_{ppA})$$

$$= E_{ppA} - E_{ppB}$$

$$E_{cB} + E_{ppB} = E_{cA} + E_{ppA}$$

$$\text{إذن: } E_{m_A} = E_{m_B}$$

نقول في غياب الاحتكاك، قوة التماس قوى مُحافِظية لكونها لا تغير الطاقة الميكانيكية.

ملحوظة:

نفس النتيجة نحصل عليها عند حالة السقوط الحر لجسم صلب خاضع لتأثير وزنه فقط، حيث الوزن قوة مُحافِظية:

$$\Delta E_c = -\Delta E_{pp}$$

## II - عدم انحفاظ الطاقة الميكانيكية

### 1 - تغير الطاقة الميكانيكية

ينزل جسم صلب (S) فوق مستوى مائل بزاوية  $\alpha$  بالنسبة للمستوى الأفقي، التماس بين الجسم (S) والسطح المائل يتم باحتكاك.

بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية بين اللحظتين  $t_1$  و  $t_2$  نجد:  $\Delta E_c = W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{P}) + W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{R})$

لدينا:  $W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{P}) = -\Delta E_{pp}$

وبالتالي:  $\Delta E_C = -\Delta E_{pp} + W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{R})$

ومنه:  $\Delta E_C + \Delta E_{pp} = W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{R})$  أي:  $\Delta E_m = W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{R})$

وبالتالي  $\Delta E_m < 0$  ومنه  $E_{m_2} < E_{m_1}$  (تتناقص الطاقة الميكانيكية).

الطاقة الميكانيكية للجسم لا تنحفظ، نقول إن قوى الاحتكاك قوى غير محافظة.

لدينا:  $\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{R}_T$   
 $W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{R}) = W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{R}_N) + W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{f}) \iff$   
 $= \vec{R}_N + \vec{f}$

ومنه:  $W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{R}_N) = 0$   
 $W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{R}) = W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{f})$

وبالتالي فإن:  $\Delta E_m = W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{f})$

$W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{f})$  هو شغل القوة المكافئة لقوى الاحتكاك أثناء الانتقال.

يساوي تغير الطاقة الميكانيكية لجسم صلب في انزلاق باحتكاك على مستوى مائل شغل قوى الاحتكاك.

## 2 - تعليل:

خلال حركة الجسم (S) فوق المستوى المائل باحتكاك، تتناقص الطاقة الميكانيكية وينتج عن هذا التناقص، ارتفاع درجة حرارة سطحي التماس إذ يتحول جزء من الطاقة الميكانيكية إلى طاقة حرارية  $Q$  :  $W_{G_1 \rightarrow G_2}(\vec{f}) = -Q$

ومنه:  $\Delta E_m = -Q$