

الجزء الأول : الشغل الميكانيكي  
و الطاقة .  
الدرس 4  
ذ : عزيز العطور

الشغل و طاقة الوضع الثقالية  
الطاقة الميكانيكية

الأولى بكالوريا  
جميع الشعب

## 1- طاقة الوضع الثقالية :

### 1-1- إبراز مفهوم طاقة الوضع الثقالية :

#### 1-1-1- نشاط :



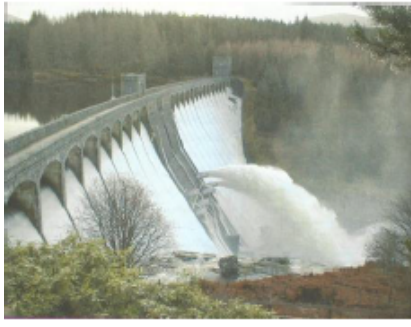
تشتغل المحطة الكهرمائية لتوليد الكهرباء بالاعتماد على جريان الماء من الحوض الأعلى نحو الحوض الأسفل مما يؤدي إلى تشغيل ترينيات المحطة فتنتج تيارا كهربائيا ينقل عبر شبكة التوزيع إلى المستهلكين .  
في معظم المحطات الكهرمائية يتم تزويد الحوض الأعلى بشكل متواصل بالماء ( مثلا ماء النهر ) لضمان اشتغال مستمر للمحطة . لكن بالنسبة للنموذج جانبه ، يتم تمرير الماء في النهار من الحوض الأعلى إلى الحوض الأسفل لإنتاج الكهرباء ، أما في الليل الذي يقل فيه استهلاك الكهرباء فيتم استغلال فائض الطاقة المتوفرة لتشغيل المحطة كمضخة تقوم بنقل الماء من الحوض الأسفل إلى الحوض الأعلى .  
أ- نعتبر الحالة التي يكون فيها الحوض الأسفل مملوءاً بالكتلة  $m$  من الماء .

لنقل هذه الكمية إلى الحوض الأعلى يلزم تطبيق قوة ثابتة  $\vec{F}$  . بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية على كمية الماء أثناء هذا الانتقال ، أوجد العلاقة بين  $W(\vec{F})$  و  $W(\vec{P})$  ، واستنتج تعبير  $W(\vec{F})$  بدلالة  $m$  و  $g$  و  $h$  .

المجموعة المدروسة : { كمية الماء } جرد القوى :  $\vec{P}$  وزنه و  $\vec{F}$  قوة ثابتة لنقل الماء .  
ندرس الحركة في معلم مرتبط بالأرض . بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية على الماء في حركة إزاحة بين الحوض الأسفل والحوض الأعلى نجد :  $\Delta E_c = \sum W(\vec{F}_{ext}) = W(\vec{P}) + W(\vec{F})$   
الماء في سكون في الحوضين أي  $V_1 = V_2 = 0$  إذن  $\Delta E_c = 0$  وبالتالي  $W(\vec{P}) + W(\vec{F}) = 0$  إذن  $W(\vec{F}) = -W(\vec{P}) = -m \cdot g \cdot (z_1 - z_2) = m \cdot g \cdot h$  .

ب- نتيجة للانتقال من الحوض الأسفل إلى الحوض الأعلى ، يُكسب شغل القوة  $\vec{F}$  كمية الماء طاقة إضافية تتعلق بالارتفاع  $h$  والكتلة  $m$  تسمى طاقة الوضع الثقالية  $E_{pp}$  . ما هي إشارة تغير هذه الطاقة ؟ وكيف ستصبح هذه الإشارة عند نزول كتلة الماء هاتمة من الحوض الأعلى إلى الحوض الأسفل ؟  
عند صعود الماء تكون  $\Delta E_{pp} = E_{pp}(2) - E_{pp}(1) = W(\vec{F}) = m \cdot g \cdot h > 0$  .  
عند نزول الماء تكون  $\Delta E_{pp} = E_{pp}(1) - E_{pp}(2) = -W(\vec{F}) = -m \cdot g \cdot h < 0$  .  
ج- يؤدي نزول الماء من الحوض الأعلى إلى الحوض الأسفل إلى دوران ترينيات المحطة . ما شكل الطاقة التي يكتسبها الماء أثناء النزول ؟ وما مصدرها ؟

أثناء نزول الماء يكتسب طاقة حركية نتيجة انخفاض طاقة وضعه الثقالية بسبب شغل وزنه .  
د- توجد التربينات في نهاية قناة الربط بين الحوضين على مقربة من الحوض الأسفل . إذا اعتبرنا أن سرعة الماء عند خروجه من التربينات تكون شبه معدومة . إلى أي شكل من أشكال الطاقة تتحول الطاقة التي اكتسبها الماء أثناء نزوله ؟  
تحول التربينات الطاقة الحركية للماء إلى طاقة كهربائية تنتقل عبر شبكة التوزيع إلى المستهلكين .



### 2-1-1- خلاصة :

عند فتح قنوات سد ، تكتسب كمية الماء المتدفق طاقة تظهر على شكل طاقة حركية ، وذلك عن طريق شغل وزنها . وهذا يجعلنا نقبل أن كمية الماء المتدفق في مجال **الثقالة** ، تحتوي على طاقة مخزونة نسميها طاقة الوضع . وبما أن الكيفية التي تنتقل بها هذه الطاقة هي **شغل قوة الثقالة** ( وزن الماء ) فإننا نسميها **طاقة الوضع الثقالية** .

### 2-1-2- تعريف :

**طاقة الوضع الثقالية** لجسم صلب في مجال **الثقالة** هي الطاقة التي يمتلكها الجسم نتيجة موضعه بالنسبة للأرض . ونرمز لها بـ  $E_{pp}$  وحدتها في ( ن ع ) هي **ال جول J** . مصدر هذه الطاقة هو التأثير البيني الحاصل بين الجسم والأرض .

### 3-1- تعبير طاقة الوضع الثقالية :

الصيغة العامة لطاقة الوضع الثقالية هي  $E_{pp} = m \cdot g \cdot z + C$   $m$  كتلة الجسم (kg)  $g$  شدة مجال الثقالة (N/kg)  $z$  أنسوب مركز قصور الجسم (m)  $C$  ثابتة تتعلق بالحالة المرجعية التي نسد لها القيمة  $E_{pp} = 0$  ويتم اختيارها اعتباطيا .

ليكن  $z_0$  أنسوب الحالة المرجعية أي  $E_{pp}(z_0) = 0$

أي  $m \cdot g \cdot z_0 + C = 0$  إذن  $C = -m \cdot g \cdot z_0$

وبالتالي  $E_{pp} = m \cdot g \cdot (z - z_0)$

تكون  $E_{pp} > 0$  إذا كان  $z > z_0$  أي يوجد الجسم فوق الحالة المرجعية

تكون  $E_{pp} < 0$  إذا كان  $z < z_0$  أي يوجد الجسم تحت الحالة المرجعية

### 4-1- تغير طاقة الوضع الثقالية :

نعتبر جسما صلبا (S) كتلته  $m$  في سقوط حر حيث ينتقل مركز قصوره G من نقطة A إلى نقطة B . بما أن المحور  $Oz$  موجه نحو الأعلى فإن تعبير شغل وزن الجسم هو

$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot (z_A - z_B)$  . تغير طاقة الوضع الثقالية لهذا الجسم خلال

هذا الانتقال هو  $\Delta E_{pp} = E_{pp}(B) - E_{pp}(A)$

أي  $\Delta E_{pp} = m \cdot g \cdot (z_B - z_0) - m \cdot g \cdot (z_A - z_0) = m \cdot g \cdot (z_B - z_A)$

إذن  $\Delta E_{pp} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$

**استنتاج :** تغير طاقة الوضع الثقالية لا يتعلق بالحالة المرجعية المختارة ، بل يتعلق فقط بأنسوب الموضع البدني و أنسوب الموضع النهائي .

**تعميم :** عند انتقال مركز قصور الجسم من الموضع A إلى الموضع B ، يكون تغير طاقة الوضع الثقالية هو  $\Delta E_{pp} = m \cdot g \cdot (z_B - z_A)$  وشغل وزن الجسم الصلب بين

الموضعين A و B هو  $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot (z_A - z_B)$

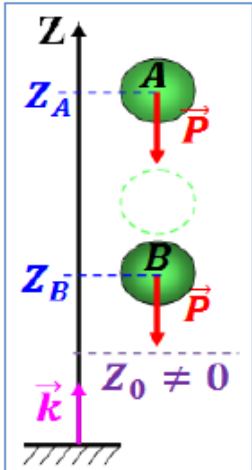
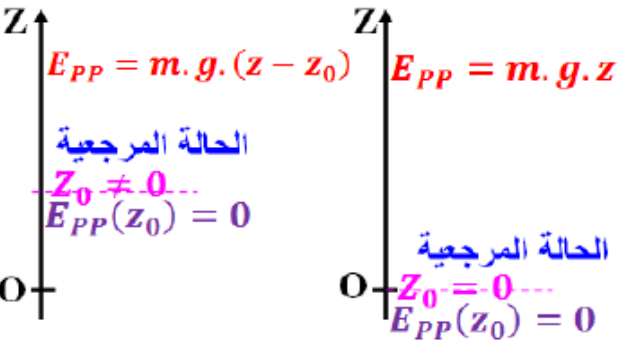
إذن  $\Delta E_{pp} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$

في حالة النزول  $z_A > z_B$  يكون شغل الوزن محركا  $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) > 0$  وبالتالي

$\Delta E_{pp} < 0$  أي يفقد الجسم طاقة الوضع الثقالية أثناء نزوله .

في حالة الصعود  $z_A < z_B$  يكون شغل الوزن مقاوما  $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) < 0$  وبالتالي

$\Delta E_{pp} > 0$  أي يكتسب الجسم طاقة الوضع الثقالية أثناء صعوده .



## 2- الطاقة الميكانيكية لجسم صلب :

### 1-2- تعريف :

تساوي الطاقة الميكانيكية لجسم صلب عند كل لحظة ، وفي معلم معين ، مجموع الطاقة الحركية و طاقة الوضع الثقالية لهذا الجسم :  $E_m = E_c + E_{pp}$  وحدتها في ( ن ع ) هي الجول  $J$  .

### 2-2- انحفاظ الطاقة الميكانيكية :

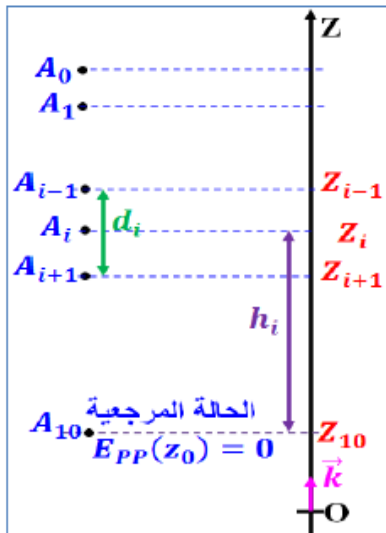
#### 1-2-2- حالة السقوط الحر :

##### ■ نشاط :

تمكن كاميرا رقمية من تصوير كرية (كتلتها  $m = 24g$ ) في سقوط حر بدون سرعة بدئية من موضع  $A_0$  . باستعمال برنم أفيمكا (AviMeca) يتم تحليل الشريط صورة بصورة فنحصل على النتائج التالية :

| موضع الكرة $A_i$ | $t(s)$ | $z_i(m)$ |
|------------------|--------|----------|
| $A_0$            | 0,00   | 0,882    |
| $A_1$            | 0,04   | 0,874    |
| $A_2$            | 0,08   | 0,849    |
| $A_3$            | 0,12   | 0,814    |
| $A_4$            | 0,16   | 0,758    |
| $A_5$            | 0,20   | 0,684    |
| $A_6$            | 0,24   | 0,600    |
| $A_7$            | 0,28   | 0,497    |
| $A_8$            | 0,32   | 0,380    |
| $A_9$            | 0,36   | 0,250    |
| $A_{10}$         | 0,40   | 0,100    |

نختار المستوى المرجعي لطاقة الوضع الثقالية عند الموضع  $A_{10}$  .



أ- اعط التعبير الحرفي لطاقة الوضع الثقالية  $E_{pp}$  ثم الطاقة الحركية  $E_c$

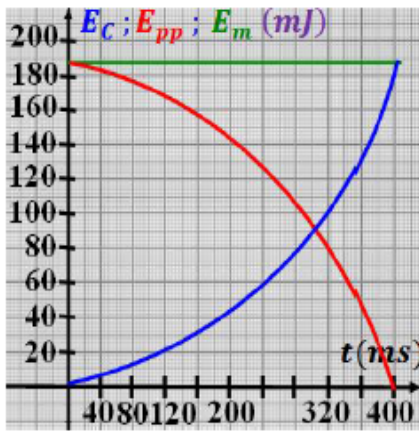
بدلالة  $m$  و  $g$  و  $h_i = A_i A_{10} = z_i - z_{10}$  و  $d_i = A_{i-1} A_{i+1} = z_{i+1} - z_{i-1}$  و  $\tau$  .

تعبير طاقة الوضع الثقالية  $E_{pp}(A_i) = mg(z_i - z_0) = mg(z_i - z_{10}) = mgh_i$

تعبير الطاقة الحركية  $E_c(A_i) = \frac{1}{2} m \cdot V_i^2 = \frac{1}{2} m \cdot \left( \frac{A_{i-1} A_{i+1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \right)^2 = \frac{1}{2} m \cdot \left( \frac{z_{i+1} - z_{i-1}}{2\tau} \right)^2 = \frac{1}{2} m \cdot \left( \frac{d_i}{2\tau} \right)^2$

ب- أتمم ملأ الجدول التالي : نعطي  $g = 10N/kg$  .

| الموضع       | $A_0$ | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$  | $A_9$ | $A_{10}$ |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|----------|
| $h_i(m)$     | 0,782 | 0,774 | 0,749 | 0,714 | 0,658 | 0,584 | 0,500 | 0,397 | 0,280  | 0,150 | 0        |
| $d_i(m)$     |       | 0,033 | 0,060 | 0,091 | 0,130 | 0,158 | 0,187 | 0,220 | 0,247  | 0,280 |          |
| $E_{pp}(mJ)$ | 188   | 186   | 180   | 171   | 158   | 140   | 120   | 95    | 67     | 36    | 0        |
| $E_c(mJ)$    | 0     | 2,04  | 6,75  | 15,53 | 31,69 | 46,81 | 65,57 | 90,75 | 114,39 | 147   | 188      |
| $E_m(mJ)$    | 188   | 188   | 186,7 | 186,5 | 189,7 | 186,8 | 185,6 | 185,7 | 181,4  | 183   | 188      |



ج- مثل على نفس المعلم المنحنيات  $E_C = f(t)$  و  $E_{pp} = f(t)$  و  $E_m = f(t)$ .  
انظر جانبه .

د- كيف تتغير المقادير  $E_C$  و  $E_{pp}$  و  $E_m$  خلال السقوط الحر للكرية ؟  
خلال السقوط الحر للكرية تتزايد طاقتها الحركية  $E_C$  وتتناقص طاقة وضعه الثقالية  $E_{pp}$  بينما تبقى طاقته الميكانيكية ثابتة  $E_m = Cte$ .

### ■ خلاصة :

نعتبر السقوط الحر لجسم صلب . بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية بين الموضعين A و B نجد :

$$\Delta E_C = \sum W(\vec{F}_{ext}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$$

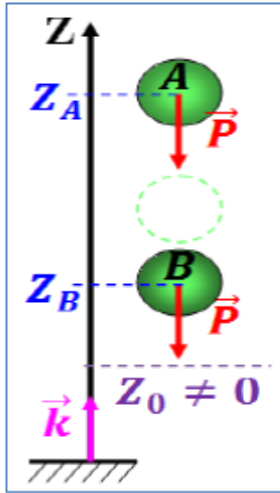
ونعلم أن تغير طاقة الوضع الثقالية هو :  $\Delta E_{pp} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$

$$\Delta E_C = -\Delta E_{pp} \text{ أي } E_C(B) - E_C(A) = E_{pp}(A) - E_{pp}(B)$$

$$\text{وبالتالي } E_C(B) + E_{pp}(B) = E_C(A) + E_{pp}(A)$$

$$\text{إذن } \Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = 0 \text{ أو } E_m(B) = E_m(A) = Cte$$

تتحفظ الطاقة الميكانيكية لجسم في سقوط حر فتتحول طاقة الوضع الثقالية إلى طاقة حركية أو العكس ، ونقول أو الوزن قوة محافظة .

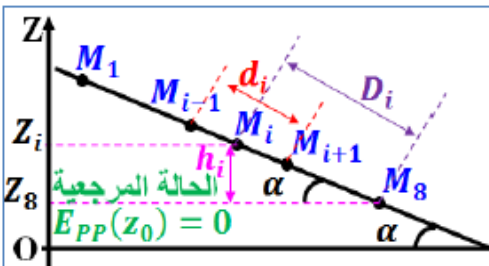
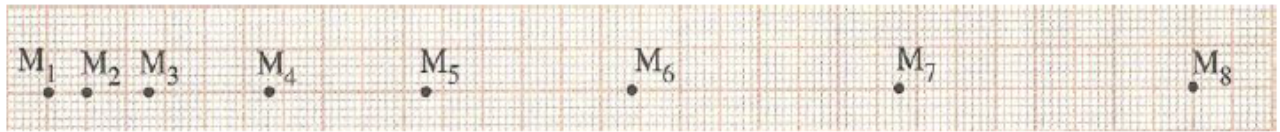


### 2-2-2- حالة انزلاق جسم صلب بدون احتكاك فوق مستوى مائل :

#### ■ نشاط :

نضع حاملا ذاتيا كتلته  $m = 732g$  فوق منضدة مائلة بزاوية  $\alpha = 10^\circ$  بالنسبة للمستوى الأفقي .

نطلق الحامل الذاتي بدون سرعة بدئية ونسجل مواضع مركز قصوره خلال مدد زمنية متساوية ومتتالية  $\tau = 60ms$ .



نختار المستوى المرجعي لطاقة الوضع الثقالية عند الموضع  $M_8$ .

أ- اعط التعبير الحرفي لطاقة الوضع الثقالية  $E_{pp}$  بدلالة  $m$  و  $g$  و

$$D_i = M_i M_8 \text{ و } \alpha \text{ ثم الطاقة الحركية } E_C \text{ بدلالة } m \text{ و}$$

$$d_i = M_{i-1} M_{i+1} \text{ و } \tau$$

$$\text{تعبير طاقة الوضع الثقالية } E_{pp}(M_i) = mg(z_i - z_0)$$

$$\text{أي } E_{pp}(M_i) = mg(z_i - z_8) = mgh_i = mgD_i \sin \alpha$$

$$\text{تعبير الطاقة الحركية } E_C(M_i) = \frac{1}{2} m \cdot V_i^2 = \frac{1}{2} m \cdot \left( \frac{M_{i-1} M_{i+1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \right)^2 = \frac{1}{2} m \cdot \left( \frac{d_i}{2\tau} \right)^2$$

ب- أتمم ملاً الجدول التالي : نعطي  $g = 10N/kg$  .

| الموضع       | $M_1$ | $M_2$ | $M_3$ | $M_4$ | $M_5$ | $M_6$ | $M_7$ | $M_8$ |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $t(s)$       | 0,000 | 0,060 | 0,120 | 0,180 | 0,240 | 0,300 | 0,360 | 0,420 |
| $d_i(cm)$    |       | 1,3   | 2,3   | 3,5   | 4,6   | 6,0   | 7,1   |       |
| $D_i(cm)$    | 14,5  | 14    | 13,2  | 11,7  | 9,7   | 7,1   | 3,7   | 0     |
| $E_{pp}(mJ)$ | 184,3 | 177,9 | 167,8 | 148,7 | 123,3 | 90,2  | 47,0  | 0     |
| $E_c(mJ)$    |       | 4,3   | 13,4  | 31,1  | 53,8  | 91,5  | 128,1 |       |
| $E_m(mJ)$    |       | 182,2 | 181,2 | 179,8 | 177,1 | 181,7 | 175,1 |       |

ج- مثل على نفس المعلم المنحنيات  $E_c = f(t)$  و  $E_{pp} = f(t)$  و  $E_m = f(t)$  .  
انظر جانبه .

د- كيف تتغير المقادير  $E_m$  و  $E_{pp}$  و  $E_c$  خلال حركة الحامل الذاتي ؟  
خلال حركة الحامل الذاتي تتزايد طاقته الحركية  $E_c$  وتتناقص طاقة وضعه الثقالية  $E_{pp}$  بينما تبقى طاقته الميكانيكية ثابتة  $E_m = Cte$  .

### ■ خلاصة :

نعتبر جسماً صلباً ينزلق بدون احتكاك فوق مستوى مائل بزاوية  $\alpha$  .  
المجموعة المدروسة : {الحامل الذاتي} .

جـرد القوى :  $\vec{P}$  وزنه و  $\vec{R}$  تأثير السطح .

بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية بين الموضعين A و B نجد :

$$\Delta E_c = \sum W(\vec{F}_{ext}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{R})$$

بما أن الحركة بدون احتكاك فإن  $W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = 0$

ونعلم أن تغير طاقة الوضع الثقالية هو :  $\Delta E_{pp} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$

إذن  $\Delta E_c = -\Delta E_{pp}$  أي  $E_c(B) - E_c(A) = E_{pp}(A) - E_{pp}(B)$

وبالتالي  $E_c(B) + E_{pp}(B) = E_c(A) + E_{pp}(A)$

إذن  $E_m(B) = E_m(A) = Cte$  أو  $\Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = 0$  .

في غياب الاحتكاكات ، تعتبر قوى التماس محافظة لكونها لا تغير الطاقة الميكانيكية .

### 2-2-3- تعميم :

أثناء السقوط الحر لجسم صلب أو أثناء انزلاقه بدون احتكاك على مستوى مائل ، تتحول طاقة الوضع الثقالية إلى طاقة حركية أو العكس و تنحفظ طاقته الميكانيكية .

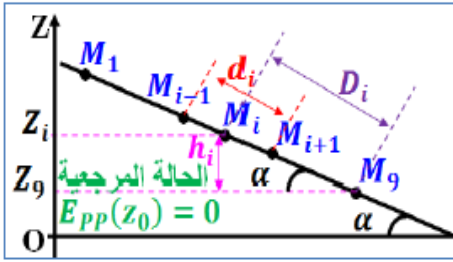
### 2-2-3- عدم انحفاظ الطاقة الميكانيكية :

### 2-3-1- نشاط :

نضع فوق نضد هوائي مائل بزاوية  $\alpha = 10^\circ$  خيالا كتلته  $m = 200g$  .  
ثم نعمل على نقص صبيب هواء معصفة النضد دون إفراط لكي تتم حركة الخيال بالاحتكاك .

نرسل الخيال فوق النضد ونسجل حركته أثناء مدد زمنية متساوية ومتتالية  $\tau = 60ms$  .





نختار المستوى المرجعي لطاقة الوضع الثقالية عند الموضع  $M_9$ .  
أ- اعط التعبير الحرفي لطاقة الوضع الثقالية  $E_{pp}$  بدلالة  $m$  و  $g$  و  $D_i = M_i M_9$  ثم الطاقة الحركية  $E_C$  بدلالة  $m$  و  $d_i = M_{i-1} M_{i+1}$  و  $\tau$ .

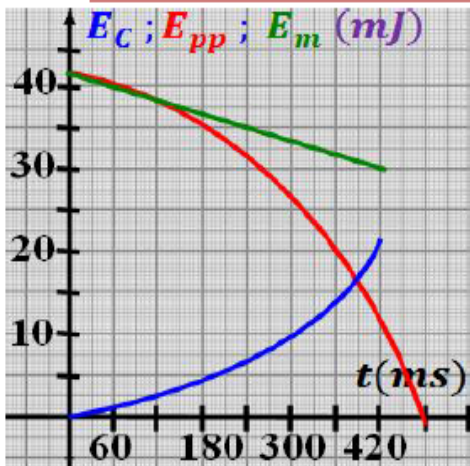
تعبير طاقة الوضع الثقالية  $E_{pp}(M_i) = mg(z_i - z_0)$

أي  $E_{pp}(M_i) = mg(z_i - z_0) = mgh_i = mgD_i \sin \alpha$

تعبير الطاقة الحركية  $E_C(M_i) = \frac{1}{2} m \cdot V_i^2 = \frac{1}{2} m \cdot \left( \frac{M_{i-1} M_{i+1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \right)^2 = \frac{1}{2} m \cdot \left( \frac{d_i}{2\tau} \right)^2$

ب- أتمم ملأ الجدول التالي : نعطي  $g = 10 \text{ N/kg}$

| الموضع       | $M_1$ | $M_2$ | $M_3$ | $M_4$ | $M_5$ | $M_6$ | $M_7$ | $M_8$ | $M_9$ |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $t(s)$       | 0,000 | 0,060 | 0,120 | 0,180 | 0,240 | 0,300 | 0,360 | 0,420 | 0,480 |
| $d_i(cm)$    |       | 0,8   | 1,3   | 2,3   | 3,1   | 3,8   | 4,6   | 5,4   |       |
| $D_i(cm)$    | 12,3  | 11,9  | 11,5  | 10,6  | 9,2   | 7,5   | 5,4   | 2,9   | 0     |
| $E_{pp}(mJ)$ | 42,7  | 41,3  | 39,9  | 36,8  | 31,9  | 26,0  | 18,7  | 10,1  | 0     |
| $E_C(mJ)$    |       | 0,44  | 1,17  | 3,67  | 6,67  | 10,03 | 14,69 | 20,25 |       |
| $E_m(mJ)$    |       | 41,74 | 41,07 | 40,47 | 38,57 | 36,03 | 33,39 | 30,35 |       |



ج- مثل على نفس المعلم المنحنيات  $E_C = f(t)$  و  $E_{pp} = f(t)$  و  $E_m = f(t)$ .

انظر جانبه .

د- كيف تتغير المقادير  $E_m$  و  $E_{pp}$  و  $E_C$  خلال حركة الخيال ؟  
خلال حركة الخيال تزايد طاقته الحركية  $E_C$  وتتناقص طاقة وضعه الثقالية  $E_{pp}$  بينما تتناقص طاقته الميكانيكية  $E_m \neq Cte$ .

### 2-3-2- خلاصة :

نعتبر جسما صلبا ينزلق باحتكاك فوق مستوى مائل بزاوية  $\alpha$ .  
المجموعة المدروسة : {الحامل الذاتي}.

جهد القوى :  $\vec{P}$  وزنه و  $\vec{R}$  تأثير السطح.

بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية بين الموضعين A و B نجد :

$$\Delta E_C = \sum W(\vec{F}_{ext}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{R})$$

بما أن الحركة باحتكاك فإن

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_N) + W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) < 0$$

ونعلم أن تغير طاقة الوضع الثقالية هو :  $\Delta E_{pp} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$

$$\Delta E_C + \Delta E_{pp} = W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) \text{ أي } \Delta E_C = -\Delta E_{pp} + W_{A \rightarrow B}(\vec{f})$$

$$\Delta E_m = W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) < 0 \text{ أي } E_m(B) < E_m(A)$$

إذن لا تنحفظ الطاقة الميكانيكية للجسم الصلب بل تتناقص ، ويوافق هذا التناقص شغل قوى الاحتكاك ، فنقول إن قوى الاحتكاك غير محافظة .

يعزى عدم انحفاظ الطاقة الميكانيكية لجسم صلب خاضع لقوى الاحتكاك إلى تحول جزء من الطاقة

الميكانيكية إلى طاقة حرارية  $Q$  حيث  $W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) = -Q$  وبالتالي :  $\Delta E_m = -Q$ .