الأولى بكالوريا جميع الشعب	الشغل و طاقة الوضع الثقالية الطاقة الميكانيكية	الجزء الأول : الشغل الميكانيكي و الطاقة . الدرس 4 ذ : عزيز العطور

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 تربينات 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 $W(\vec{F}) = -W(\vec{P}) = -m.g.(z_1 - z_2) = m.g.h$.

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 هاته من الحوض الأعلى إلى الحوض الأسفل ؟

عند صعود الماء تكون $\Delta E_{pp} = E_{pp}(2) - E_{pp}(1) = W(\vec{F}) = m.g.h > 0$.

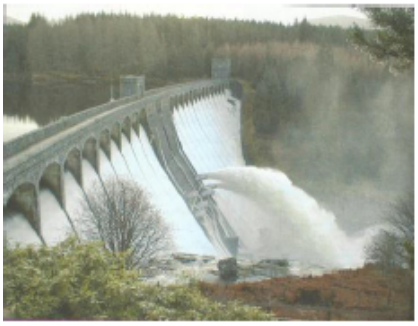
عند نزول الماء تكون $\Delta E_{pp} = E_{pp}(1) - E_{pp}(2) = -W(\vec{F}) = -m.g.h < 0$.

ج- يؤدي نزول الماء من الحوض الأعلى إلى الحوض الأسفل إلى دوران تربينات 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 منعدمة . 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 .



1-1-2- 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 .

1-2- تعريف :

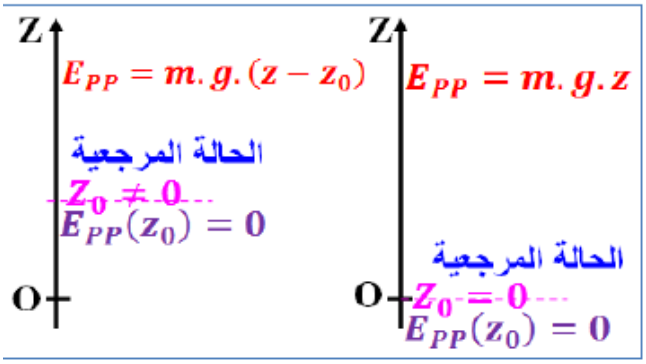
طاقة الوضع الثقالية لجسم صلب في مجال الثقالة هي الطاقة التي يمتلكها الجسم نتيجة موضعه بالنسبة للأرض . ونرمز لها بـ E_{pp} وحدتها في (ن ع) هي الجول J .
مصدر هذه الطاقة هو التأثير البيني الحاصل بين الجسم والأرض .

1-3- تعبير طاقة الوضع الثقالية :

الصيغة العامة لطاقة الوضع الثقالية هي $E_{PP} = m.g.z + C$

m كتلة الجسم (kg) g شدة مجال الثقالة (N/kg) z أنسوب مركز قصور الجسم (m)

C ثابتة تتعلق بالحالة المرجعية التي نسند لها القيمة $E_{PP} = 0$ ويتم اختيارها اعتباطيا .



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

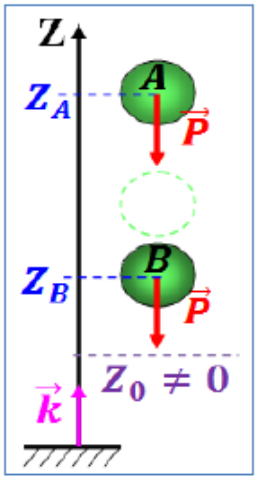
أي $m.g.z_0 + C = 0$ إذن $C = -m.g.z_0$

وبالتالي $E_{PP} = m.g.(z - z_0)$.

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**

1-4- 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 $W_{A\to B}(\vec{P}) = m.g.(z_A - z_B)$. **تغير طاقة الوضع الثقالية** لهذا الجسم خلال هذا الانتقال هو $\Delta E_{pp} = E_{pp}(B) - E_{pp}(A)$

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

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

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

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

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

- في حالة النزول $z_A > z_B$ يكون شغل الوزن محركا $W_{A\to B}(\vec{P}) > 0$ وبالتالي $\Delta E_{pp} < 0$ أي **يفقد الجسم طاقة الوضع الثقالية أثناء نزوله** .
- في حالة الصعود $z_A < z_B$ يكون شغل الوزن مقاوما $W_{A\to B}(\vec{P}) < 0$ وبالتالي $\Delta E_{pp} > 0$ أي **يكتسب الجسم طاقة الوضع الثقالية أثناء صعوده** .

2- الطاقة الميكانيكية لجسم صلب :

2-1- تعريف :

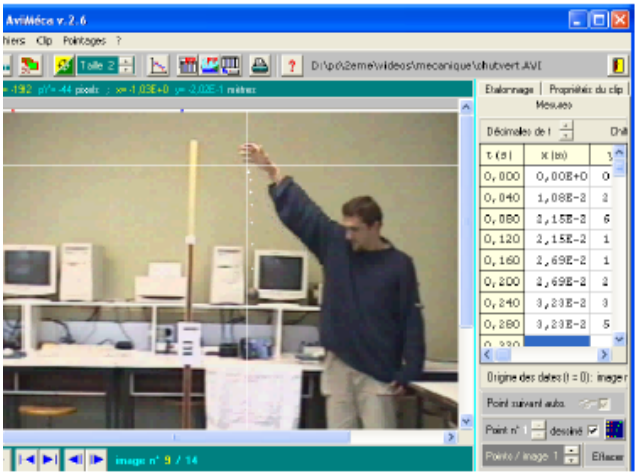
تساوي **الطاقة الميكانيكية** لجسم صلب عند كل لحظة ، وفي معلم معين ، **مجموع الطاقة الحركية** و**طاقة الوضع الثقالية** لهذا الجسم : $E_m = E_C + E_{pp}$ وحدتها في (ن ع) هي **الجول** J .

2-2- انحفاظ الطاقة الميكانيكية :

2-2-1- حالة السقوط الحر :

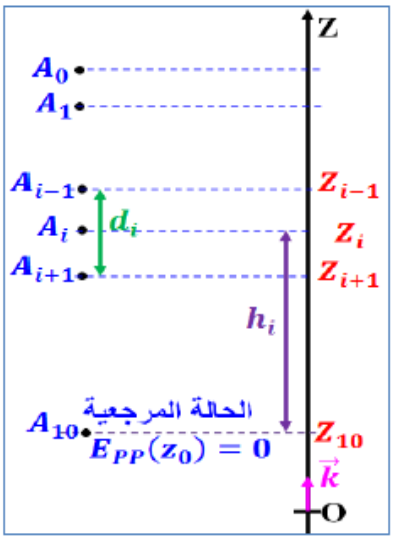
نشاط :

تمكن كاميرا رقمية من تصوير كرية (كتلتها $m = 24g$) في سقوط حر بدون سرعة بدئية من موضع A_0 .
باستعمال برنم **أفيميكا** (AviMéca) 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} .



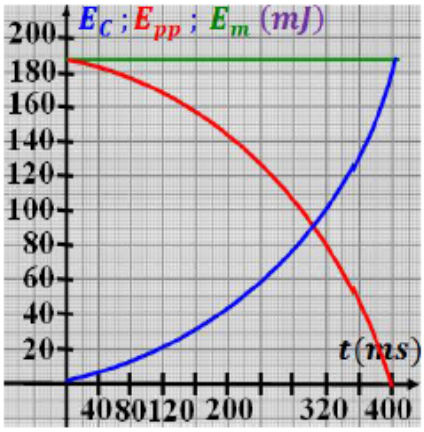
أ- اعط التعبير الحرفي لطاقة الوضع الثقالية E_{pp} ثم الطاقة الحركية E_C بدلالة m و g و $h_i = A_iA_{10} = z_i - z_{10}$ و $d_i = A_{i-1}A_{i+1} = z_{i+1} - z_{i-1}$ و τ .

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

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

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

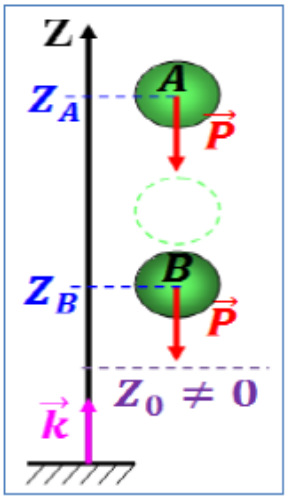
الموضع	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}
$h_i(m)$	0,782	0,774	0,749	0,714	0,658	0,584	0,500	0,397	0,280	0,150	0
$d_i(m)$		0,033	0,060	0,091	0,130	0,158	0,187	0,220	0,247	0,280	
$E_{pp}(mJ)$	188	186	180	171	158	140	120	95	67	36	0
$E_C(mJ)$	0	2,04	6,75	15,53	31,69	46,81	65,57	90,75	114,39	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 $E_{pp} = f(t)$ و $E_C = f(t)$ 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 : $\Delta E_C = \sum W(\vec{F}_{ext}) = W_{A\to B}(\vec{P})$

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

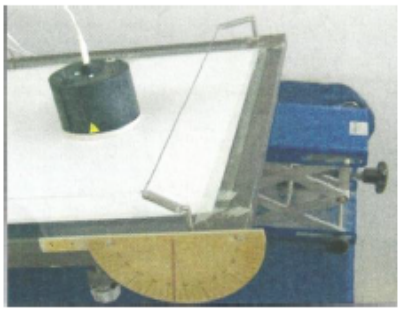
إذن $\Delta E_C = -\Delta E_{pp}$ **أي** $E_C(B) - E_C(A) = E_{pp}(A) - E_{pp}(B)$

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

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

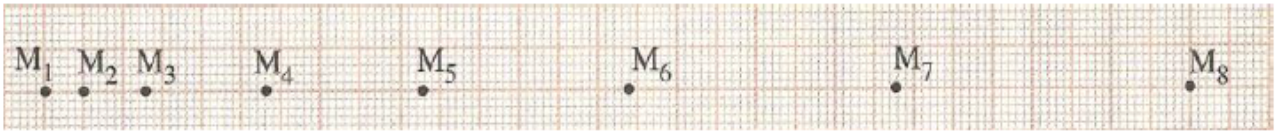
تنحفظ الطاقة الميكانيكية لجسم في سقوط حر فتتحول طاقة الوضع الثقالية إلى طاقة حركية أو العكس ، ونقول أو الوزن قوة محافظية .

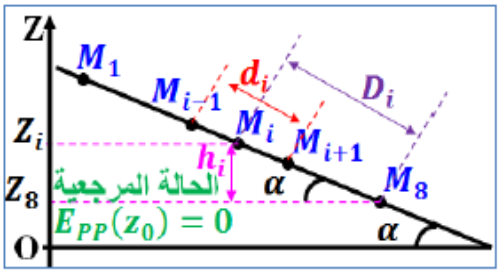
2-2-2- حالة انزلاق جسم صلب بدون احتكاك فوق مستوى مائل :



■ **نشاط :**

نضع حاملا ذاتيا كتلته $m = 732g$ فوق منضدة مائلة بزاوية $\alpha = 10°$ 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 $D_i = M_iM_8$ و α ثم الطاقة الحركية E_C بدلالة m و $d_i = M_{i-1}M_{i+1}$ و τ .

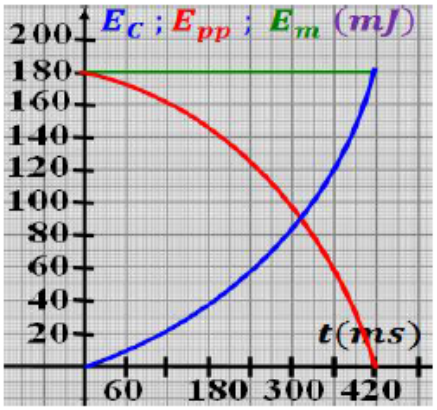
تعبير طاقة الوضع الثقالية $E_{PP}(M_i) = mg(z_i - z_0)$

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

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

ب- أتمم ملأ 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 $E_{pp} = f(t)$ و $E_C = f(t)$ و $E_m = f(t)$.
انظر جانبه .

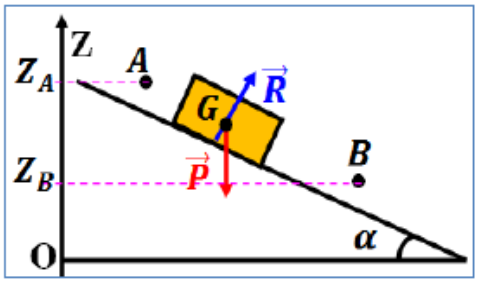
د- كيف تتغير المقادير E_C و E_{pp} و E_m خلال حركة الحامل الذاتي ؟
خلال حركة الحامل الذاتي تتزايد طاقته الحركية E_C وتتناقص طاقة وضعه الثقالية E_{pp} بينما تبقى طاقته الميكانيكية ثابتة $E_m = Cte$.

■ **خلاصة :**

نعتبر جسما صلبا ينزلق بدون احتكاك فوق مستوى مائل بزاوية α .
المجموعة المدروسة : {الحامل الذاتي} .
جرد القوى : $\vec{P}$ وزنه و $\vec{R}$ تأثير السطح .
بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية بين الموضعين A و B نجد :

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

بما أن الحركة بدون احتكاك فإن $W_{A\to B}(\vec{R}) =$
ونعلم أن تغير طاقة الوضع الثقالية هو : $\Delta E_{pp} = -W_{A\to B}(\vec{P})$
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 محافظية لكونها لا تغير الطاقة الميكانيكية .

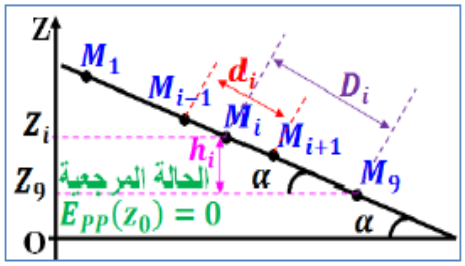
2-2-3- تعميم :

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 .

2-3- عدم انحفاظ الطاقة الميكانيكية :

2-3-1- نشاط :

نضع فوق نضد هوائي مائل بزاوية $\alpha = 10°$ 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 $D_i = M_iM_9$ و α ثم الطاقة الحركية E_C بدلالة m و $d_i = M_{i-1}M_{i+1}$ و τ .

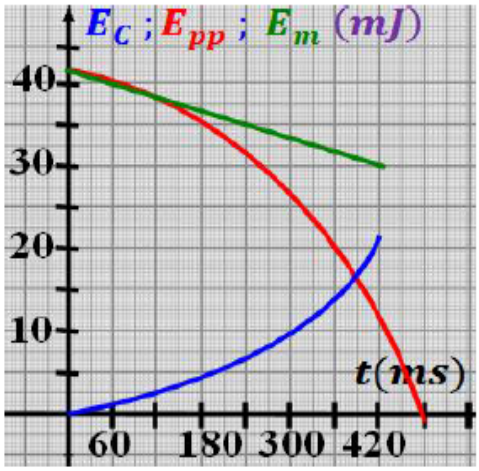
تعبير طاقة الوضع الثقالية $E_{PP}(M_i) = mg(z_i - z_0)$

أي $E_{PP}(M_i) = mg(z_i - z_9) = mgh_i = mgD_i \sin\alpha$

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

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

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 $E_{pp} = f(t)$ و $E_C = f(t)$ و $E_m = f(t)$.

انظر جانبه .

د- كيف تتغير المقادير E_C و E_{pp} و E_m خلال حركة الخيال ؟

خلال حركة الخيال تتزايد 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 α .

المجموعة المدروسة : {الحامل الذاتي} .

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

بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية بين الموضعين A و B نجد :

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

بما أن الحركة باحتكاك فإن

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

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

إذن $\Delta E_C = -\Delta E_{pp} + W_{A\to B}(\vec{f})$ **أي** $\Delta E_C + \Delta E_{pp} = W_{A\to B}(\vec{f})$

إذن $\Delta E_m = W_{A\to B}(\vec{f}) < 0$ **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 محافظية .

يعزى عدم انحفاظ الطاقة الميكانيكية لجسم صلب خاضع لقوى الاحتكاك إلى تحول جزء من الطاقة الميكانيكية إلى طاقة حرارية Q حيث $W_{A\to B}(\vec{f}) = -Q$ وبالتالي : $\Delta E_m = -Q$.