

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- نشاط :

تشغل المحطة الكهرومائية لتوليد الكهرباء بالاعتماد على جريان الماء من الحوض الأعلى نحو الحوض الأسفل مما يؤدي إلى تشغيل تربيعات المحطة فتنتج تيارا كهربائيا ينقل عبر شبكة التوزيع إلى المستهلكين .

في معظم المحطات الكهرومائية يتم تزويد الحوض الأعلى بشكل متواصل بالماء (مثل 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- تعتبر الحالة التي يكون فيها الحوض الأسفل ملوءاً 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 (\vec{F}) و $(W(\vec{P}))$ و $(W(\vec{F}))$ ، واستنتج تعبير (\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

$$\Delta E_C = \sum W(\vec{F}_{ext}) = W(\vec{P}) + W(\vec{F})$$

الماء في سكون في الحوضين أي $0 = V_1 = V_2$ إذن $\Delta E_C = 0$ وبالتالي

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

ب- نتيجة للانتقال من الحوض الأسفل إلى الحوض الأعلى ، يكتسب 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 $0 < \Delta E_{pp} = E_{pp}(2) - E_{pp}(1) = W(\vec{F}) = m \cdot g \cdot h$.

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

ج- يؤدي نزول الماء من الحوض الأعلى إلى الحوض الأسفل إلى دوران تربيعات المحطة . ما شكل الطاقة التي يكتسبها الماء أثناء النزول ؟ وما مصدرها ؟

أثناء نزول الماء يكتسب طاقة حرارية نتيجة انخفاض طاقة وضعه الثقالية بسبب شغل وزنه .

د- توجد التربيعات في نهاية قناة الربط بين الحوضين على مقربة من الحوض الأسفل . إذا اعتربنا أن سرعة الماء عند خروجه من التربيعات تكون شبه منعدمة . إلى أي شكل من أشكال الطاقة تحول الطاقة التي اكتسبها الماء أثناء نزوله ؟

تحول التربيعات الطاقة الحرارية للماء إلى طاقة كهربائية تنتقل عبر شبكة التوزيع إلى المستهلكين .



1-1-2 خلاصة :

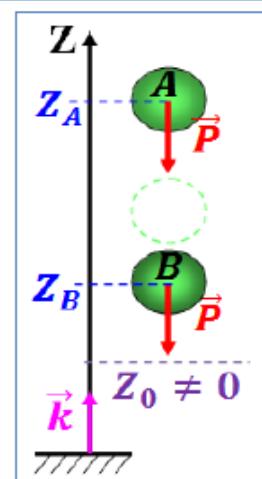
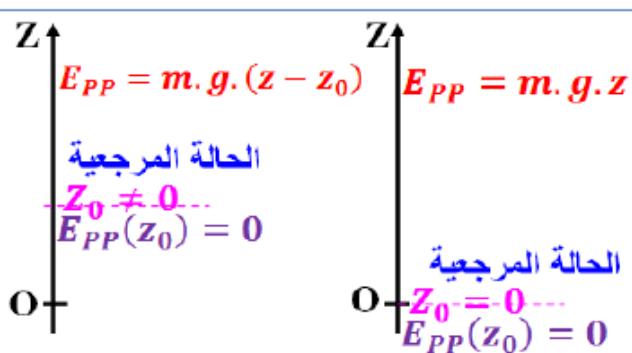
عند فتح قنوات سد ، تكتسب كمية الماء المتدفق طاقة تظهر على شكل طاقة حركية ، وذلك عن طريق شغل وزنها . وهذا يجعلنا نقبل أن كمية الماء المتدفق في مجال الثقالة ، تحتوي على طاقة مخزونة نسميها طاقة الوضع . وبما أن الكيفية التي تنتقل بها هذه الطاقة هي **شغل قوة الثقالة** (وزن الماء) فإننا نسميها **طاقة الوضع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

1-1-2 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 $E_{pp} = m \cdot g \cdot z + C$ حيث **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 $C = 0$ ويتم اختيارها اعتباطيا .



ليكن z_0 أنسوب الحالة المرجعية أي $E_{pp}(z_0) = 0$ أي $C = -m \cdot g \cdot z_0$ إذن $E_{pp} = m \cdot g \cdot (z - z_0)$ وبالتالي 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 جسمًا 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 البيني و أنسوب الموضع النهائي .

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

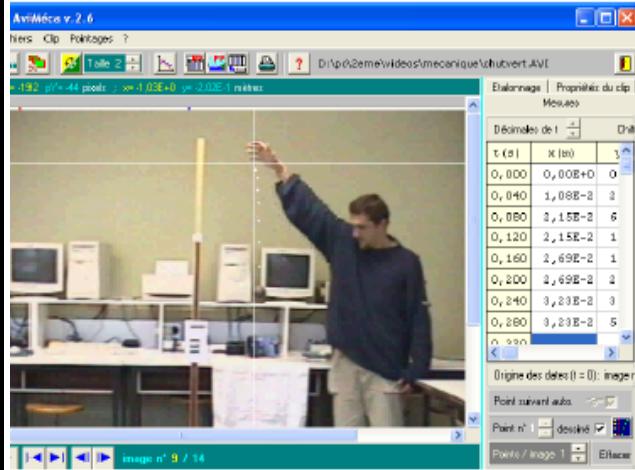
● في حالة النزول $z_A > z_B$ يكون شغل الوزن محركا $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) > 0$ وبالتالي $\Delta E_{pp} < 0$ أي يفقد الجسم طاقة الوضع الثقالية أثناء نزوله .

● 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 .

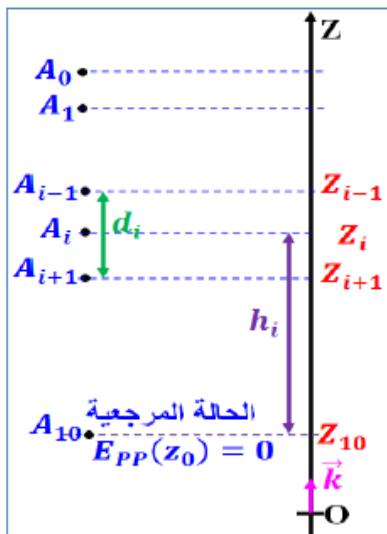
2- الطاقة الميكانيكية لجسم صلب :

1-2-تعريف :

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



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



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 أفيميكا (AviMéca) يتم تحليل الشريط بصورة بصورة فنحصل على النتائج التالية :

موضع الكرة	$t(s)$	$A_i(m)$
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

أ- اعط التعبير الحرفي لطاقة الوضع التفالي E_{pp} ثم الطاقة الحركية E_C

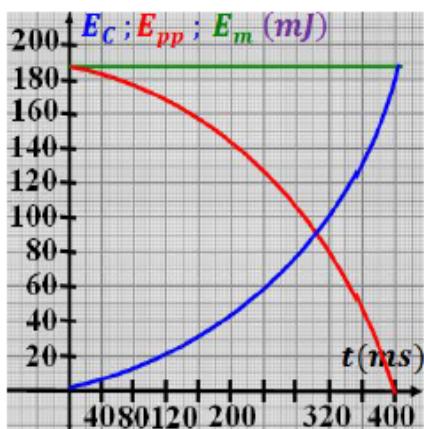
بدالة τ و $d_i = A_{i-1}A_{i+1} = z_{i+1} - z_{i-1}$ و $h_i = A_iA_{10} = z_i - z_{10}$ و $g = m$

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

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

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

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



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 تزداد طاقتها الحركية E_C وتتناقص طاقة وضعه الثقالية E_m بينما تبقى طاقته الميكانيكية ثابتة $E_m = Cte$.

خلاصة:

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

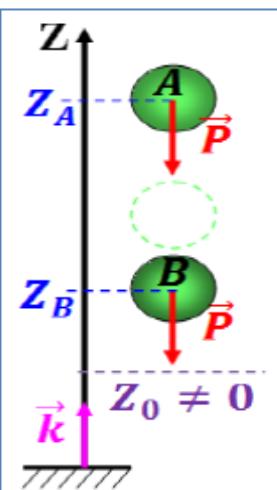
$$\Delta E_C = \sum W(\vec{F}_{ext}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$$

ونعلم أن تغير طاقة الوضع الثقالية هو :

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

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

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



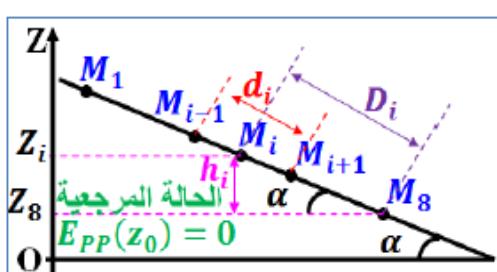
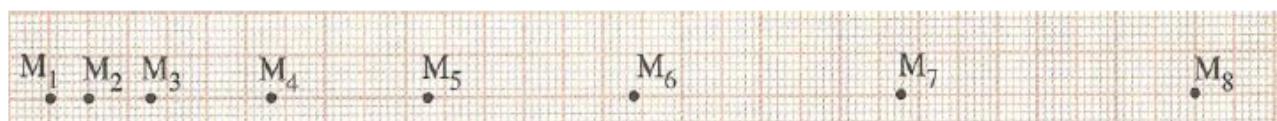
تنحفظ الطاقة الميكانيكية لجسم في سقوط حر فتحول طاقة الوضع الثقالية إلى طاقة حركية أو العكس ، ونقول أو الوزن قوة محافظة.

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

نشاط:

نضع حاملا ذاتيا كتلته $m = 732g$ فوق منضدة مائلة بزاوية 10° بالنسبة للمستوى الأفقي .

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



ختار المستوى المرجعي لطاقة الوضع الثقالية عند الموضع M_8 .

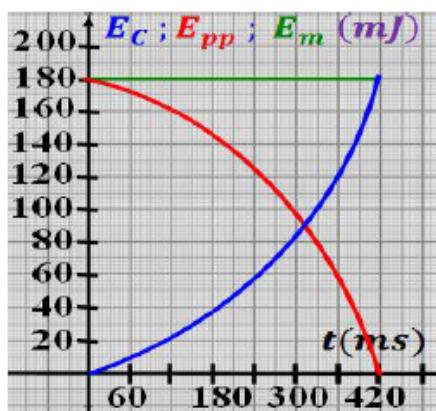
أ- اعط التعبير الحرفي لطاقة الوضع الثقالية E_{pp} بدلالة m و g و α و $D_i = M_i M_8$ و $d_i = M_{i-1} M_{i+1}$.

تعبير طاقة الوضع الثقالية ($E_{pp}(M_i) = mg(z_i - z_0)$)
 $E_{pp}(M_i) = mg(z_i - z_8) = mgh_i = mgD_i \sin \alpha$

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

بـ- أتمم ملأ الجدول التالي : نعطي

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



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

د- كيف تغير 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 جسمًا صلباً ينزلق بدون احتكاك فوق مستوى مائل بزاوية α .
المجموعة المدرosa : {الحامل الذاتي}.

جرد القوى : \bar{P} وزنه و \bar{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

ونعلم أن تغير طاقة الوضع الثقلية هو :

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

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

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

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

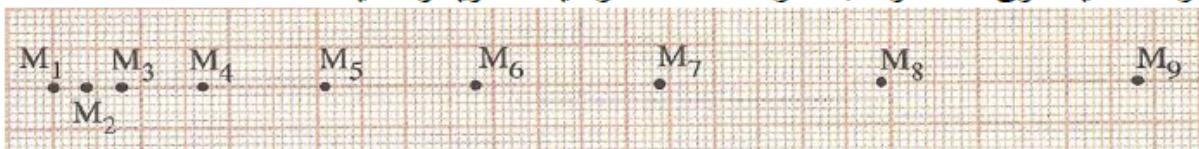
- 2-2-3 - تعمیم :

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 .

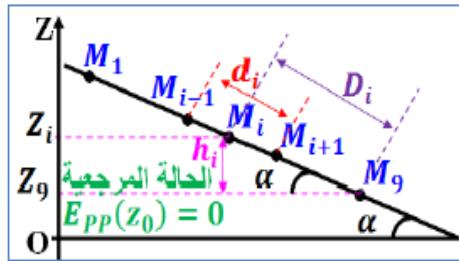


نضع فوق نضد هوائي مائل بزاوية 10° = α خيلا كتلته $m = 200g$
 ثم نعمل على نقص صبيب هواء معصفة النضد دون إفراط لكي تتم حركة
 الخيال بالاحتكاك.

نرسل الخيال فوق النضد ونسجل حركة أثناء مدد زمنية متساوية ومتالية $\tau = 60ms$



الأستاذ : عزيز العطوير



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

تعبير طاقة الوضع الثقالية (E_{pp})
 $E_{pp}(M_i) = mg(z_i - z_0)$ 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 $g = 10N/kg$

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

ج- مثل على نفس المعلم المنحنيات (E_c ; E_{pp} ; E_m) (mJ)
 $E_c = f(t)$ 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 حركة الخيال ؟
 خلال حركة الخيال تتزايد طاقته الحركية E_c وتتناقص طاقة وضعه الثقالية E_{pp} بينما تتناقص طاقته الميكانيكية E_m .
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 :
 $\Delta E_c = \sum W(\vec{F}_{ext}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{R})$
 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 :

$\Delta E_c + \Delta E_{pp} = W_{A \rightarrow B}(\vec{f})$ أي $\Delta E_c = -\Delta E_{pp} + W_{A \rightarrow B}(\vec{f})$
 إذن $E_m(B) < E_m(A)$ أي $\Delta E_m = W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) < 0$

إذن لا تحفظ 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 $\Delta E_m = -Q$ وبالتالي :

