

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

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 ؟

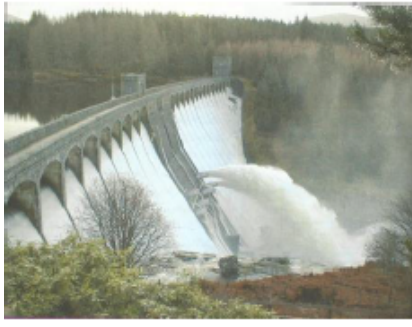
عند صعود الماء تكون $\Delta E_{pp} = E_{pp}(2) - E_{pp}(1) = W(\vec{F}) = m \cdot g \cdot h > 0$.
عند نزول الماء تكون $\Delta E_{pp} = E_{pp}(1) - E_{pp}(2) = -W(\vec{F}) = -m \cdot g \cdot h < 0$.

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



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

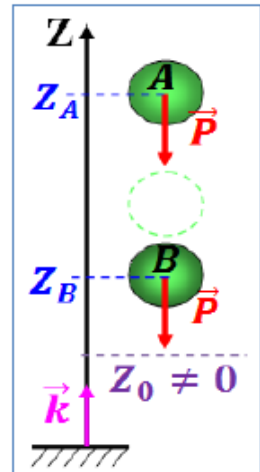
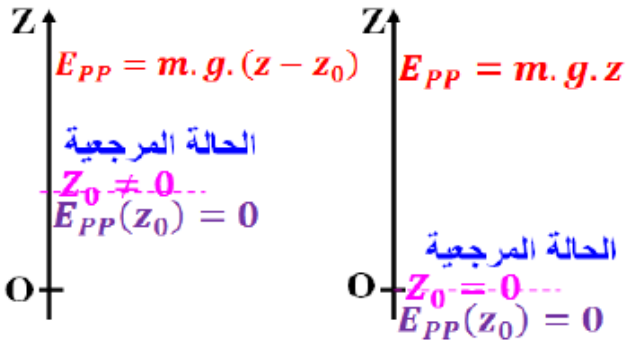
استنتاج : تغير طاقة الوضع الثقالية لا يتعلق بالحالة المرجعية المختارة ، بل يتعلق فقط بأنسوب الموضع البدني و أنسوب الموضع النهائي .

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 :

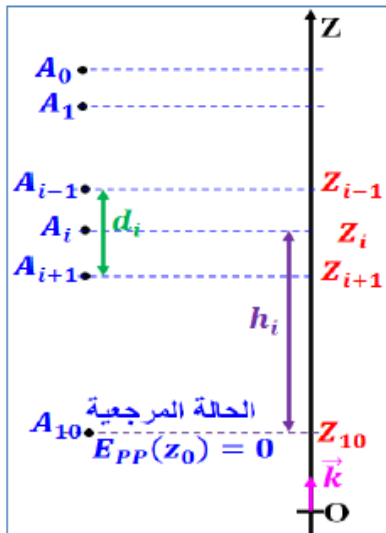
1-2-2- حالة السقوط الحر :

■ 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

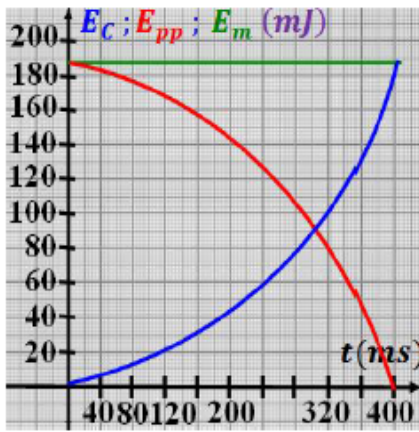
بدلالة m و g و $h_i = A_i A_{10} = z_i - z_{10}$ و $d_i = A_{i-1} A_{i+1} = z_{i+1} - z_{i-1}$ و τ .

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

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

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 :

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

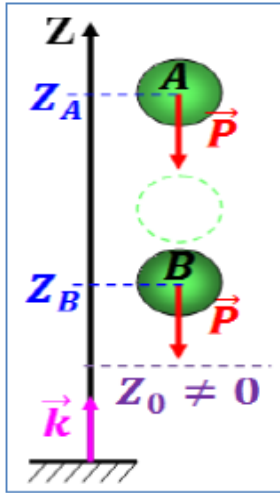
ونعلم أن تغير طاقة الوضع الثقالية هو : $\Delta E_{pp} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$

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

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

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

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

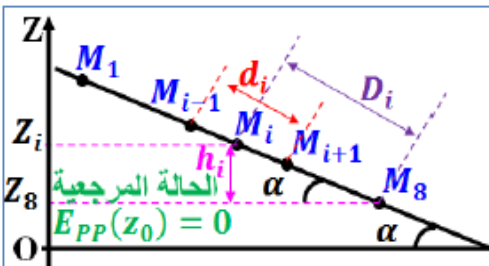
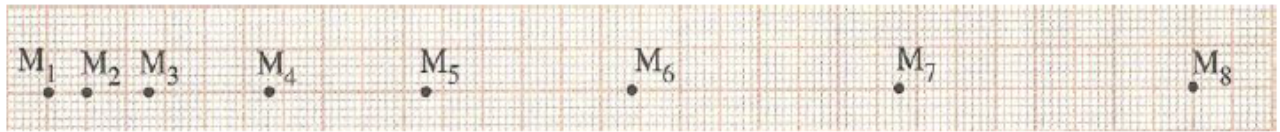


2-2-2- حالة انزلاق جسم صلب بدون احتكاك فوق مستوى مائل :

■ 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 ومنتتالية $\tau = 60ms$.



نختار المستوى المرجعي لطاقة الوضع الثقالية عند الموضع M_8 .

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

$$D_i = M_i M_8 \quad \text{ثم الطاقة الحركية} \quad E_c \quad \text{بدلالة} \quad m \quad \text{و}$$

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

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

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

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

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 α .
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 .

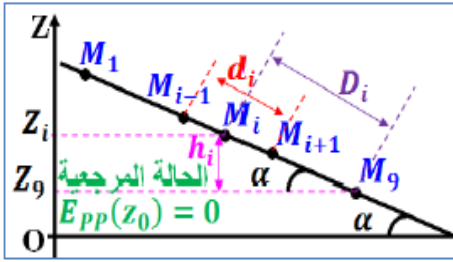
2-3- عدم انحفاظ الطاقة الميكانيكية :

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 τ .

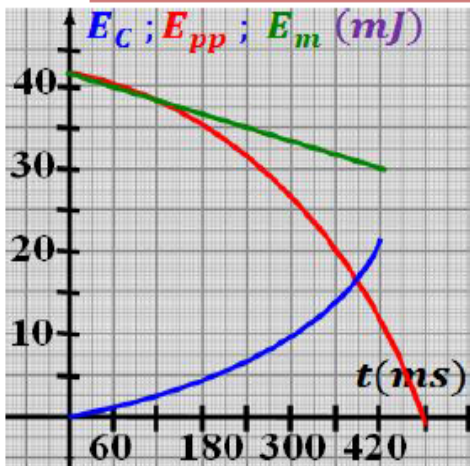
تعبير طاقة الوضع الثقالية $E_{pp}(M_i) = mg(z_i - z_0)$

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

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

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

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



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 α .
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 : $\Delta E_m = -Q$.