

فيزياء درس 04	الشغل وطاقة الوضع الثقالية- الطاقة الميكانيكية	الأولى باك لوريا
الكفايات المستهدفة : ❖ معرفة تعبير طاقة الوضع الثقالية لجسم صلب ووحدها. ❖ تطبيق علاقة شغل الوزن بتغير طاقة الوضع الثقالية. ❖ معرفة تعبير الطاقة الميكانيكية. ❖ معرفة تحول طاقة الوضع الثقالية إلى حركية والعكس. ❖ تعليل عدم انحفاظ الطاقة الميكانيكية. معرفة استغلال العلاقة بين تغير الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية الناتجة عن الاحتكاك : $\Delta E_m = -Q$.		

1- الشغل وطاقة الوضع الثقالية :

1-1 (إبراز وجود طاقة الوضع الثقالية :

يرفع مجرب كرة حديدية كتلتها 200g من سطح الأرض حتى ارتفاع 2m ، ويطلقها لتعود إلى سطح الأرض وتسقط على كأس من زجاج.

يمكن تقسيم العملية إلى مرحلتين :

الأولى : المجرب يطبق قوة ثابتة $\vec{F}$ ويرفع الكرة من النقطة A (الوضعية 1) إلى النقطة B (الوضعية 2) .

الثانية : المجرب أطلق الكرة بدون سرعة بدئية لتسقط سقوطا حرا حتى النقطة C حيث تحطم الكأس و تتوقف (الوضعية 3) .

ندرس حركة الكرة في المعلم الأرضي بين الحالات التالية :

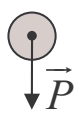
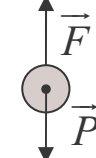
الوضعية 1 : الكرة ساكنة على سطح الأرض.

الوضعية 2 : الكرة ساكنة على العلو 2m .

الوضعية 3 : الكرة ساكنة على سطح الأرض بعد تكسير الكأس.

سؤال 1- مثل القوى المطبقة على الكرة بين الوضعيتين 1 و 2 ، ثم بين 2 و 3.

جواب 1 :

	
القوى المطبقة بين 2 و 3	القوى المطبقة بين 1 و 2

نقول إن لمجموعة ما طاقة إذا كانت قادرة على إعطاء شغل للوسط الخارجي .

سؤال 2- ما قيمة الطاقة الحركية في كل من الوضعيات 1 ، 2 و 3 ؟

جواب 2- الكرة ساكنة في كل من هذه الوضعيات إذن $E_{c1}=0$ ، $E_{c2}=0$ و $E_{c3}=0$.

سؤال 3- هل للكرة طاقة في الوضعية 1؟ في الوضعية 2 ؟ في الوضعية 3 ؟ علل جوابك.

جواب 3- الكرة ليست لديها طاقة في الوضعيتين 1 و 3 لأنها لا يمكن أن تبذل شغلا .

في الوضعية 2 ، الكرة لديها طاقة لأنها قادرة على الحركة والسقوط بشكل تلقائي .

هذا الطاقة تسمى طاقة الوضع الثقالية ونرمز لها بـ E_{pp} .

سؤال 4- على افتراض أن الكرة سقطت من الموضع B على الكأس ولم يتكسر ، سيعيد الجرب محاولة أخرى ، وينفس

الطريقة (أي يرفع الكرة ويطلقها بدون سرعة بدئية)، ما الذي يمكن أن يغيره لكي يزيد من احتمال تكسير

الكأس؟ ماذا تستنتج ؟

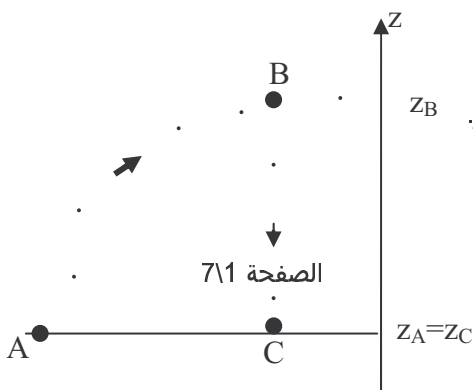
جواب 4 - يمكنه أن :

- يزيد في ارتفاع الكرة.

- يحافظ على نفس الارتفاع ، ولكن باستعمال كرة أخرى ذات كتلة أكبر.

نستنتج أن طاقة الوضع الثقالية تزداد بزيادة كتلة الجسم

أو ارتفاعه عن سطح الأرض.



ف. درس 04 أولى باك الشغل وطاقة الوضع الثقالية- الطاقة الميكانيكية

(2-1) تعبير طاقة الوضع الثقالية :

سؤال 1 - أوجد تعبير شغل وزن الكرة عند انتقال مركز قصورها من A إلى B. هل هذا الشغل محرك أم مقاوم ؟

جواب 1 - $W_{AB}(\vec{P}) = P(z_A - z_B)$

الشغل مقاوم لأن $z_A < z_B$ وبالتالي $W_{AB}(\vec{P}) < 0$.

سؤال 2 - باستعمال مبرهنة الطاقة الحركية، أعط تعبير شغل

القوة $\vec{F}$ التي يطبقها المجرب على الكرة من A حتى B.

جواب 2 -

$$E_{C_B} - E_{C_A} = \sum W_{AB}(\vec{F}_{ext})$$

$$\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{F})$$

الكرة ساكنة في الموضعين 1 و 2 ، $v_A = v_B = 0$. نستنتج :

$$W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{F}) = 0 \Rightarrow W_{AB}(\vec{F}) = -W_{AB}(\vec{P})$$

$$\Rightarrow W_{AB}(\vec{F}) = mg(z_B - z_A)$$

هذا الشغل محرك لأنه موجب .

سؤال 3- ما هي القوة التي بسبب بذلها شغلا زادت قيمة طاقة الوضع الثقالية للكرة بين A و B.

جواب 3 - شغل القوة $\vec{F}$ هو سبب تزايد طاقة الوضع الثقالية للكرة، لأنها هي التي عملت على رفعها من A حتى B.

سؤال 4 - اقترح تعبيراً لتغير طاقة الوضع الثقالية للكرة بين A و B : $E_{pp_B} - E_{pp_A}$.

جواب 4 - يساوي تغير طاقة الوضع الثقالية قيمة شغل القوة $\vec{F}$ المكتسب من طرف الكرة عند تغير ارتفاعها من A

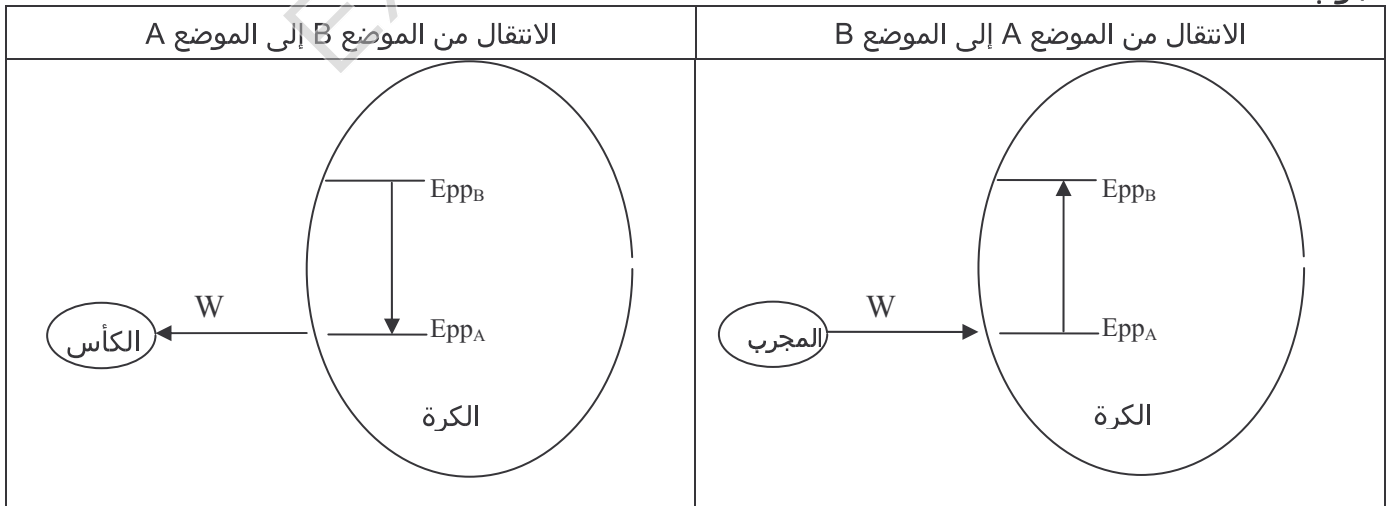
$$\text{إلى B. إذن } E_{pp_B} - E_{pp_A} = mg(z_B - z_A)$$

سؤال 5 - كيف يمكن للكرة أن تعطى طاقة للوسط الخارجي من وضعيتها في النقطة B؟

جواب 5 - يمكن للكرة إعطاء طاقة للوسط الخارجي إذا تناقص ارتفاعها. ولذلك ، عندما تسقط الكرة، تعطى طاقة ببذلها شغلا يمكنه تكسير الكأس.

سؤال 6 - اقترح مخططاً للطاقة يمكنه التعبير عن الانتقال من الموضع A إلى الموضع B، ثم من B إلى C.

جواب 6 -



3-1) تعريف :

طاقة الوضع الثقالية لجسم صلب هي طاقة تكون لديه بفعل موضعه بالنسبة للأرض. وسببها هو التجاذب الكوني بين الجسم والأرض.

نحدد موضع الجسم بالأنسوب z لمركز قصوره G على المحور Oz الموجه نحو الأعلى. تعبير طاقة الوضع الثقالية لجسم صلب هو : $Epp(z) = mgz + C$.

حيث $Epp(z)$ طاقة الوضع الثقالية بوحدة الجول J ، m كتلة الجسم ب kg .

g ثابتة الثقالة ب N/kg .

z أنسوب مركز قصور الجسم الصلب .

C ثابتة تتعلق بالموضع المرجعي، أي الموضع الذي نختار عنده اعتبارا $Epp=0$.

ملاحظة هامة : إذا كان المحور موجه نحو الأسفل فإن التعبير يصبح كالتالي : $Epp(z) = -mgz + C$

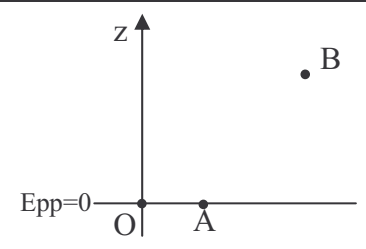
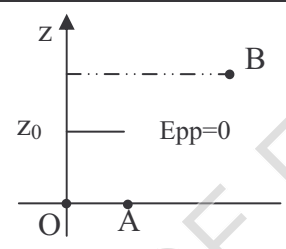
4-1) كيفية تحديد الثابتة C:

نختار أصل المعلم Oz بحيث $z_A=0$.

سنحدد قيمة C في الحالتين التاليتين :

- الحالة الأولى : نختار كحالة مرجعية المستوى الأفقي المار من A ، $Epp_A=0$.

- الحالة الثانية : نختار كحالة مرجعية المستوى الأفقي المار من A ، $Epp_B=0$.

الحالة الأولى : $Epp_A=0$	الحالة الثانية : $Epp_B=0$
	
$Epp(z) = mgz + C$ عند $z=0$ $Epp=0$ إذن $Epp = mg \times 0 + C = 0$ وبالتالي $Epp(z) = mgz$. نستنتج $C=0$	$Epp(z) = mgz + C$ عند $z=z_0$ $Epp=0$ إذن $Epp = mg \times z_0 + C = 0$ وبالتالي $Epp(z) = mgz - mgz_0$. نستنتج $C = -mgz_0$
$Epp_B - Epp_A = mgz_B - mgz_A = mg(z_B - z_A)$	$Epp_B - Epp_A = (mgz_B - mgz_0) - (mgz_A - mgz_0) = mgz_B - mgz_A = mg(z_B - z_A)$

نلاحظ أن :

- قيمة C تتغير بتغير الحالة المرجعية .

- $Epp(z)$ تتعلق بقيمة C .

- فرق الطاقة الثقالية بين نقطتين $\Delta Epp = Epp_B - Epp_A = mg(z_B - z_A)$ لا يتعلق بقيمة C .

5-1) خصائص طاقة الوضع الثقالية :

- عكس الطاقة الحركية التي تكون لدى جسم متحرك وليس ساكنا، لا تتعلق طاقة الوضع الثقالية لجسم بكونه ساكنا أو في حركة. حيث يمكن أن تكون لديه أو لا تكون وهو ساكن أو متحرك.

- تؤثر طاقة الوضع الثقالية بفعل تغيرها، حيث بين النقطتين A و B : $\Delta Epp = mg(z_B - z_A)$. هذا التغير لا يتعلق بالمسار المتبع

أثناء الحركة : $\Delta Epp = Epp_B - Epp_A = mg(z_B - z_A) = -W_{AB}(\vec{P})$

2- الطاقة الميكانيكية لجسم صلب :

1-2) تعريف :

نسمى الطاقة الميكانيكية لجسم مجموع طاقته الحركية وطاقته وضعه، رمزها E_m :

$$E_m = E_c + E_{pp}$$

2-2) السقوط الحر لجسم صلب :

2-2-1) الدراسة التجريبية :

في مجال الثقالة، نرسل كرة صغيرة بدون سرعة بدئية، فتكون معرضة فقط لقوة وزنها، أي أنها في سقوط حر، نقوم بتصوير الكرة في مدد زمنية متتالية ومتساوية $\theta = 40^\circ$ نملا الجدول التالي، المحور Oz رأسي موجه نحو الأعلى :

	$z_i(\text{cm})$	$V_i(\text{m.s}^{-1})$	$E_{ci}(\text{J})$	$mgz_i(\text{J})$
M_0	0	-	-	0
M_1	-0,15	-0,187	$1,74.10^{-3}$	$-1,47.10^{-3}$
M_2	-0,75	-0,387	$7,48.10^{-3}$	$-7,35.10^{-3}$
M_3	-1,70	-0,587	$17,22.10^{-3}$	$-16,67.10^{-3}$
M_4	-3,10	-0,787	$30,96.10^{-3}$	$-30,41.10^{-3}$
M_5	-4,85	-0,975	$47,53.10^{-3}$	$-47,58.10^{-3}$
M_6	-7,00	-1,150	$66,12.10^{-3}$	$-68,67.10^{-3}$
M_7	-9,45	-1,350	$91,12.10^{-3}$	$-92,70.10^{-3}$
M_8	-12,40	-1,587	$125,92.10^{-3}$	$-121,64.10^{-3}$
M_9	-15,80	-	-	$-154,10.10^{-3}$

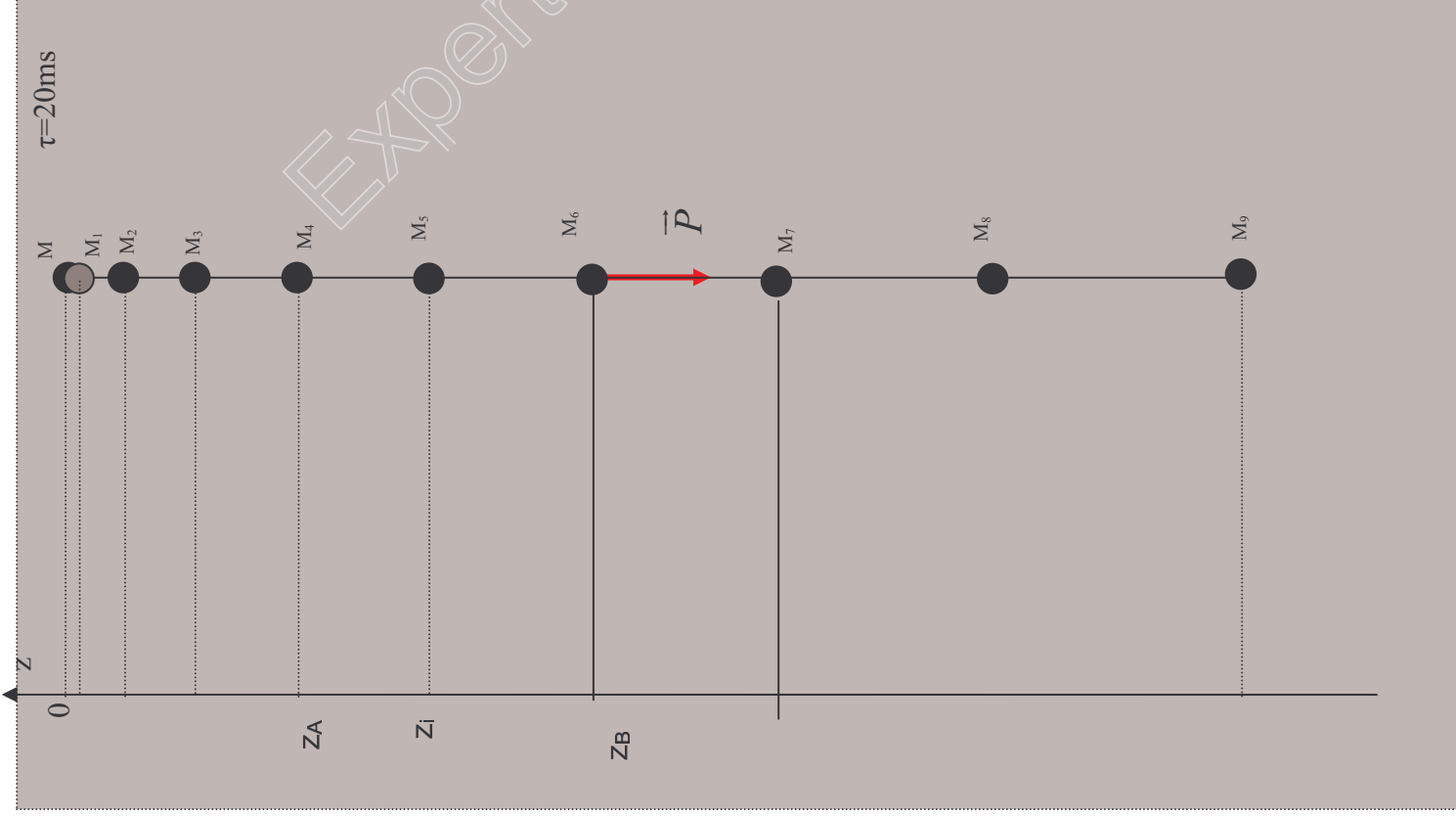
2-2-2) استنتاج :

تعبير طاقة الوضع الثقالية، نختار المستوى الأفقي المار من O كأصل لطاقة الوضع الثقالية

$E_{pp}=0$ عند $z=0$: $E_{pp}=mgz$.

نلاحظ أن $E_c + mgz \approx 0$ أي أن : $E_{pp} + E_c = 0$ عند كل نقطة من نقط المسار.

نستنتج أن الطاقة الميكانيكية تبقى ثابتة أثناء حركة السقوط الحر : $E_c + E_{pp} = C_{te}$.



3-2) الحركة بدون احتكاك على سطح مستو:

1-3-2) المستوى أفقي:

نرسل حاملا ذاتيا على طاولة أفقية، أثناء حركته، يوجد تحت تأثير قوتين $\vec{P}$ وزنه و $\vec{R}$ تأثير السطح عليه، الحامل شبه معزول: $\vec{P} + \vec{R} = 0$.

طاقة وضع الحامل الذاتي ثابتة لأن ارتفاعه عن سطح الأرض لا يتغير.

حسب مبدأ القصور، متجهة سرعة الحامل ثابتة، إذن طاقته الحركية ثابتة.

نستنتج أن طاقته الميكانيكية ثابتة.

2-3-2) المستوى مائل:

نطلق، بدون سرعة بدئية، حاملا ذاتيا على طاولة مائلة، ونسجل حركة مركز قصوره ($\tau = 80ms$):

$$v_i = \frac{M_i \cdot M_{i+1}}{2\tau}$$

نختار النقطة O المطابقة للنقطة M_0 كأصل للمحور Oz الرأسى الموجه نحو الأعلى.

نحدد أنسب النقطة M_i بالعلاقة $z_i = -d_i \sin \alpha$ ، حيث $d_i = M_0 M_i$ و α زاوية ميل الطاولة.

نأخذ كتلة الحامل الذاتي $m = 0,442 \text{ kg}$ ، $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.

طول الطاولة $95,2 \text{ cm}$ وطرفها O مرتفع عن المستوى الأفقى

بالمسافة $5,7 \text{ cm}$. نستنتج $\sin \alpha = \frac{5,7}{59,2} = 0,0962$.

نملاً جدول القياسات التالى:

M_0	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$v_i (m.s^{-1})$	$Ec_i (J)$	$z_i (m)$	$mgz_i (J)$
0,075	$1,24.10^{-3}$	$-2,89.10^{-3}$	$-1,25.10^{-3}$
0,150	$4,97.10^{-3}$	$-1,16.10^{-3}$	$-5,00.10^{-3}$
0,225	$1,12.10^{-3}$	$-2,60.10^{-3}$	$-1,13.10^{-3}$
0,300	$1,99.10^{-3}$	$-4,62.10^{-3}$	$-2,00.10^{-3}$
0,375	$3,11.10^{-3}$	$-4,62.10^{-3}$	$-3,13.10^{-3}$
0,450	$4,48.10^{-3}$	$-7,22.10^{-3}$	$-4,50.10^{-3}$

تعبير طاقة الوضع الثقالية، نختار المستوى الأفقى المار من O كأصل

لطاقة الوضع الثقالية $E_{pp}=0$ عند $z=0$: $E_{pp}=mgz$.

نلاحظ أن $E_{pp} + E_{ec} = 0$ أي أن: عند كل نقطة من

نقط المسار.

نستنتج أن الطاقة الميكانيكية تبقى ثابتة أثناء الحركة على مستوى مائل بدون

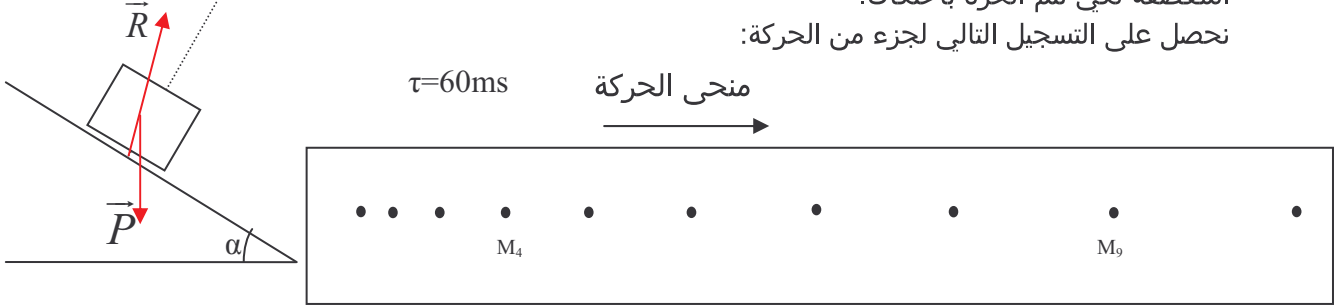
احتكاك: $E_{ec} + E_{pp} = Cte$.

3- ملاحظات :

نلاحظ أن الطاقة الحركية وطاقة الوضع الثقالية تتغيران بشكل معاكس. خلال الصعود ، كل الطاقة الحركية التي تضيع تظهر على شكل طاقة وضع ثقالية، أي أن الطاقة الحركية تتحول إلى طاقة وضع ، وعكس ذلك يتم خلال الهبوط.

2-2) حركة جسم صلب على مستوى مائل، تأثير الاحتكاك:

على نضد هوائي، نطلق خيالا بدون سرعة بدئية ، فيقوم بحركة مستقيمة نحو الأسفل، نعمل على التقليل من قوة المعصفة لكي تتم الحركة باحتكاك. نحصل على التسجيل التالي لجزء من الحركة:



تحديد الطاقة الحركية بالنقطتين M_4 و M_9 :

$$v_4 = \frac{M_3 M_5}{2\tau} = \frac{2.10^{-2}}{2 \times 60.10^{-3}} = 0,17 \text{ ms}^{-1}$$

$$Ec_4 = \frac{1}{2} m v_4^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,6 \cdot (0,17)^2 = 0,00867 \text{ J}$$

$$Ec_9 = \frac{1}{2} m v_9^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,6 \cdot (0,38)^2 = 0,04332 \text{ J}$$

$$\Delta E_m = Em_9 - Em_4 = 0,04332 - 0,04971 = -6,40.10^{-3} \text{ J}$$

$$v_9 = \frac{M_8 M_{10}}{2\tau} = \frac{4,6.10^{-2}}{2 \times 60.10^{-3}} = 0,38 \text{ ms}^{-1}$$

تحديد طاقة الوضع الثقالية بالنقطتين M_4 و M_9 :

نأخذ كحالة مرجعية لطاقة الوضع الثقالية، المستوى الأفقي المار من النقطة M_9 ، أي $E_{pp9}=0$.

نعتبر المحور الرأسى Oz الموجه نحو الأعلى أصله O ينتمى إلى المستوى المرجعي بحيث $z_9=0$

$$E_{pp} = m.g.h + C \quad \text{عند النقطة } M_9 : E_{pp9} = m.g.z_9 + C \quad \text{إذن } 0 = 0 + C$$

$$E_{pp} = m.g.h \quad \text{وبالتالي } C = 0$$

$$E_{pp} = m.g.MM_9 \cdot \sin \alpha \quad h = MM_9 \cdot \sin \alpha$$

تحديد تغير الطاقة الميكانيكية بين M_4 و M_9

$$E_{pp4} = mgz_4 = mgM_4 M_9 \sin \alpha = 600.10^{-3} \times 9.81 \times 8.10^{-2} \times \sin 5^\circ = 0,04104 \text{ J}$$

$$E_{pp9} = 0$$

$$Em_4 = Ec_4 + E_{pp4} = 0,00867 + 0,04104 = 0,04971 \text{ J}$$

$$Em_9 = Ec_9 + E_{pp9} = 0,04332 + 0 = 0,04332 \text{ J}$$

$$\Delta E_m = Em_9 - Em_4 = 0,04332 - 0,04971 = -6,40.10^{-3} \text{ J}$$

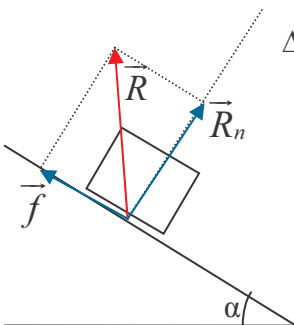
نلاحظ أن $\Delta E_m < 0$ ، إذن E_m تتناقص مع الزمن .

$$\Delta E_m = Em_B - Em_A \Rightarrow \Delta E_m = (E_{ppB} + Ec_B) - (E_{ppA} + Ec_A)$$

$$\Rightarrow \Delta E_m = (E_{ppB} + Ec_B) - (E_{ppA} + Ec_A)$$

$$\Rightarrow \Delta E_m = (E_{ppB} - E_{ppA}) + (Ec_B - Ec_A)$$

$$\Rightarrow \Delta E_m = \Delta E_{pp} + \Delta E_c$$



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

$$\Delta E_c = W(\vec{P}) + W(\vec{R}) \Rightarrow \Delta E_m = mg(z_B - z_A) + mg(z_A - z_B) + W(\vec{R})$$

$$W(\vec{P}) = mg(z_A - z_B)$$

$$\Rightarrow \Delta E_m = W(\vec{R})$$

حيث $\vec{R} = \vec{f} + \vec{R}_n$ مركبة $\vec{R}$ المنظمية على السطح و $\vec{f}$ مركبة $\vec{R}$ المماسية للسطح أو قوة الاحتكاك.

$$W(\vec{R}) = W(\vec{f}) + W(\vec{R}_n)$$

$$W(\vec{R}_n) = 0 \quad : \text{عمودية على المسار إذن لا تشتغل}$$

$$\Delta E_m = W(\vec{f}) \quad : \text{نستنتج}$$

$$\boxed{\Delta E_m = W(\vec{f})} \quad \text{وبالتالي}$$

يساوي تغير الطاقة الميكانيكية لجسم صلب في حركة على سطح، شغل قوى الاحتكاك. شغل قوى الاحتكاك يتحول إلى حرارة تظهر على مستوى التماس بين السطح والجسم. نرسم بكمية الحرارة الناتجة بفعل الاحتكاك ب Q ($Q > 0$) :

$$W(\vec{f}) = -Q \Rightarrow \boxed{\Delta E_m = -Q}$$

غياب الاحتكاك حالة خاصة حيث $\vec{f} = \vec{0}$ و $W(\vec{f}) = 0$ و $\Delta E_m = 0$ أي E_m تبقى ثابتة .