الشغل وطاقة الوضع الثقالية – الطاقة الميكانيكية
الأولى بكالوريا علوم تجريبية علوم رياضية وتجريبية
2008 – 2007

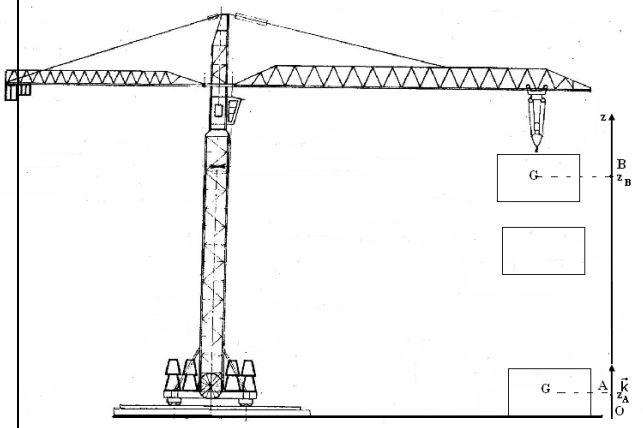
I ـ طاقة الوضع الثقالية

1 ـ مفهوم طاقة الوضع

طاقة الوضع الثقالية لجسم ما في مجال الثقالة هي الطاقة التي يتوفر عليها الجسم نتيجة موضعه بالنسبة للأرض . وهي ناتجة عن التأثير البيني الحاصل بينه وبين الأرض .

مثال : عند نقل حمولة بواسطة رافعة من موضع A يوجد على سطح الأرض إلى موضعB يوجد على ارتفاع H من سطح الأرض ، خلال هذا الانتقال يكتسب الجسم طاقة تتعلق بموضعه بالنسبة لسطح الأرض تسمى **بطاقة الوضع الثقالية** énergie potentielle de pesanteur.

2 ـ تعبير طاقة الوضع الثقالية



نطبق مبرهنة الطاقة الحركية خلال انتقال الحمولة من الموضع A أنسوبه z_A إلى موضع B أنسوبه z_B .

نعتبر أن سرعة الحمولة خلال الصعود ثابتة .

$$\frac{1}{2}mv_B^{\,2}-\frac{1}{2}mv_A^{\,2}=W_{A\to B}\left(\vec{P}\right)+W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)$$

$$v_A=v_B$$

$$W_{A\to B}\left(\vec{P}\right)=-W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)$$

$$W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)=-\left(-mg\left(z_B-z_A\right)\right)$$

$$W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)=mgz_B-mgz_A \quad (1)$$

يلاحظ أن الفرق mgz_B-mgz_A هو تغير مقدار لا يتعلق إلا بالأنسوب z لمركز القصور G للحمولة . نسمي هذا المقدار بطاقة الوضع الثقالية . ونرمز له ب E_{pp} وبالتالي تكتب العلاقة :

$$W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)=E_{pp}(A)-E_{pp}(B)$$

3 ـ صيغة طاقة الوضع الثقالية – الحالة المرجعية .

تعرف طاقة الوضع الثقالية لجسم صلب في مجال الثقالة بالعلاقة التالية :

$$E_{pp}=mgz+C \quad (2)$$

m : كتلة الجسم الصلب . نعبر عنها ب kg

g : شدة الثقالة نعبر عنها ب N/kg

z : أنسوب مركز قصور الجسم الصلب . نعبر عنها بالمتر m

E_{pp} : طاقة الوضع الثقالية ونعبر عنها بالجول J

C : ثابتة تتعلق بالحالة المرجعية حيث تسند لطاقة الوضع الثقالية القيمة $E_{pp}=0$ وهي حالة يتم اختيارها اعتباطيا .

مثال لاختيار الحالة المرجعية :

* نختار كحالة مرجعية $z=z_0$ أي أن $E_{pp}=0$ في هذه الحالة .

في العلاقة (2) $E_{pp}=0=mgz_0+C\Rightarrow C=-mgz_0$

بالتالي أن طاقة الوضع الثقالية في هذه الحالة هي :

$$E_{pp}=mg\left(z-z_0\right)$$

ويلاحظ من خلال هذه العلاقة أن طاقة الوضع الثقالية يمكن أن تكون موجبة $(z > z_0)$ أو سالبة $(z < z_0)$ أو منعدمة $(z = z_0)$.

ملحوظة :

ـ طاقة الوضع الثقالية تبقى ثابتة خلال انتقال أفقي مستقيمي $z_G = Cte$.

ـ تتناسب طاقة الوضع الثقالية اطرادا مع الارتفاع .

ـ طاقة الوضع مقدار جبري عكس الطاقة الحركية .

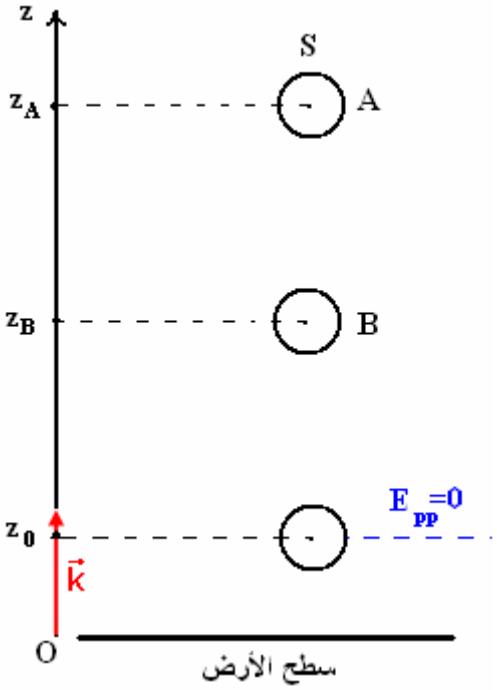
4 ـ تغير طاقة الوضع الثقالية

تمرين

نعتبر جسما صلبا S كتلته m في سقوط حر من نقطة A أنسوبها z_A . عند لحظة t يمر مركز قصوره من النقطة B ذات أنسوب z_B . حدد تغير طاقة الوضع الثقالية بين الموضعين A و B بالنسبة للحالتين المرجعيتين التاليتين :

أ ـ نأخذ $E_{pp} = 0$ عند سطح الأرض $z = 0$ أصل المعلم $O\vec{z}$ الموجه نحو الأعلى .

ب ـ نأخذ $E_{pp} = 0$ عند مستوى أنسوبه $z = z_0$



الحالة المرجعية الأولى :

$E_{pp} = mgz + C$ حسب الحالة المرجعية نأخذ $E_{pp} = 0$ عند سطح الأرض $z = 0$ أي أن $C = 0$ وبالتالي فتعبير طاقة الوضع الثقالية في هذه الحالة هو :

$$E_{pp} = mgz$$

وتغير طاقة الوضع الثقالية بين الموضعين A و B هو :

$$\Delta E_{pp} = E_{ppB} - E_{ppA}$$

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

الحالة المرجعية الثانية

حسب الحالة المرجعية : $E_{pp} = 0$ عند مستوى أنسوبه $z = z_0$ لذينا $E_{pp} = 0 = mgz_0 + C \Rightarrow C = -mgz_0$

أي أن $E_{pp} = mg(z - z_0)$ وبالتالي فتغير طاقة الوضع الثقالية بين الموضعين A و B هو :

$$\Delta E_{pp} = E_{ppB} - E_{ppA}$$

$$\Delta E_{pp} = mg(z_B - z_0) - mg(z_A - z_0)$$

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

خلاصة : يلاحظ من خلال هذا المثال أن تغير طاقة الوضع لا يتعلق بالحالة المرجعية التي يتم اختيارها ، فهو يتعلق إلا بالحالة البدئية والحالة النهائية .

5 ـ علاقة طاقة الوضع الثقالية بشغل وزن الجسم .

نحسب شغل وزن الجسم الصلب عند انتقاله من A إلى B :

$$W_{A \to B}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B)$$

وتوصلنا في الدراسة السابقة أن $\Delta E_{pp} = mg(z_B - z_A)$ وبالتالي أن :

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

في حالة $z_A > z_B$ و $\Delta E_{pp} < 0$ وبالتالي فإن الجسم يفقد طاقة الوضع الثقالية خلال نزوله .

في حالة $z_A > z_B$ و $\Delta E_{pp} > 0$ وبالتالي فإن الجسم يفقد طاقة الوضع الثقالية خلال صعوده .

II ـ الطاقة الميكانيكية

1ـ تعريف الطاقة الميكانيكية لجسم صلب

تساوي الطاقة الميكانيكية لجسم صلب عند كل لحظة ، في معلم معين ، مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع الثقالية لهذا الجسم : $E_m = E_C + E_{pp}$

وحدتها في النظام العالمي للوحدات : الجول J .

مثال : في حالة السقوط الحر لجسم صلب كتلته m ، وباعتبار أن الحالة المرجعية هي سطح الأرض $(E_{pp} = 0, z = 0)$ طاقته الميكانيكية في لحظة t حيث سرعته v وانسوب مركز قصوره z هي :

$$E_m = \frac{1}{2}mv^2 + mgz$$

بما أن الطاقة الميكانيكية تتعلق بطاقة الوضع الثقالية فهي كذلك لا تعرف إلا بثابتة C تتعلق بالحالة المرجعية التي يتم اختيارها .

2 ـ انحفاظ الطاقة الميكانيكية

أ ـ الإبراز التجريبي لانحفاظ الطاقة الميكانيكية

***حالة السقوط الحر : النشاط التجريبي 1**

استغلال برنم أفيميكا لدراسة سقوط حر مسجل بواسطة كاميرا رقمية .

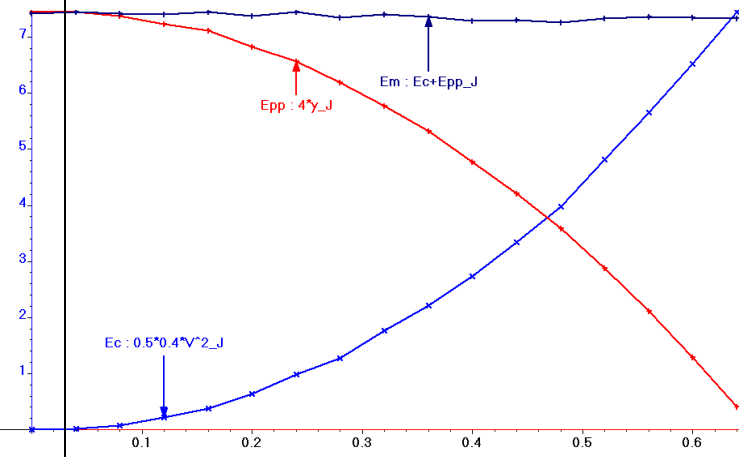
ـ نأخذ تاريخ انطلاق الكرية أصلا للتواريخ

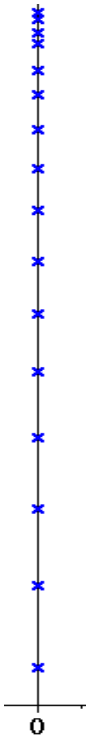
ـ نرسل جدول القياسات إلى البرنم المجدول والراسم للمنحنيات ريغريسي الذي يمكن من حساب قيم السرعة v للكرية وقيم E_{pp} و E_C والمجموع E_C+E_{pp}

ـ بواسطة نفس البرنم نقوم بخط المنحنيات $E_C = f(t)$ و $E_{pp} = g(t)$ و

$E_C + E_{pp} = h(t)$ في نفس المعلم .

i	t	x	y	V	Ec	Epp	Em
	s	m	m	m/s	J	J	J
0	0	0	2	-0.02857	0.0001633	8	8
1	0.04	0	2	-0.3143	0.01976	8	8.02
2	0.08	0	1.98	-0.6	0.072	7.92	7.992
3	0.12	0	1.94	-1.025	0.2101	7.76	7.97
4	0.16	0	1.91	-1.375	0.3781	7.64	8.018
5	0.2	0	1.83	-1.775	0.6301	7.32	7.95
6	0.24	0	1.76	-2.225	0.9901	7.04	8.03
7	0.28	0	1.66	-2.525	1.275	6.64	7.915
8	0.32	0	1.55	-2.975	1.77	6.2	7.97
9	0.36	0	1.43	-3.325	2.211	5.72	7.931
10	0.4	0	1.28	-3.695	2.731	5.12	7.851
11	0.44	0	1.13	-4.088	3.342	4.52	7.862
12	0.48	0	0.961	-4.46	3.978	3.844	7.822
13	0.52	0	0.772	-4.905	4.812	3.088	7.9
14	0.56	0	0.567	-5.32	5.66	2.268	7.928
15	0.6	0	0.346	-5.713	6.527	1.384	7.911
16	0.64	0	0.11	-6.106	7.456	0.44	7.896





<u>استثمار المنحنيات</u>

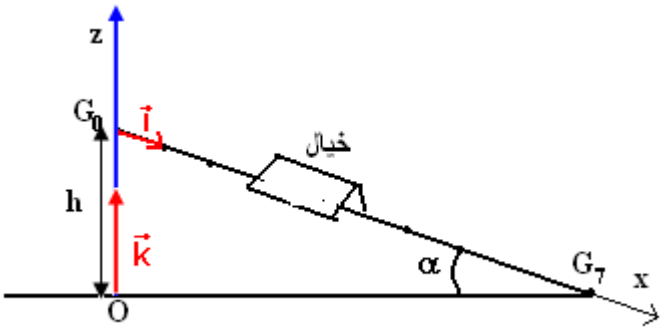
1 ـ اجرد القوى المطبقة على الكرية .

2 ـ كيف تتغير الطاقة الحركية E_C للكرية بدلالة الزمن ؟

3 ـ كيف تتغير طاقة الوضع الثقالية E_{pp} للكرية بدلالة الزمن ؟

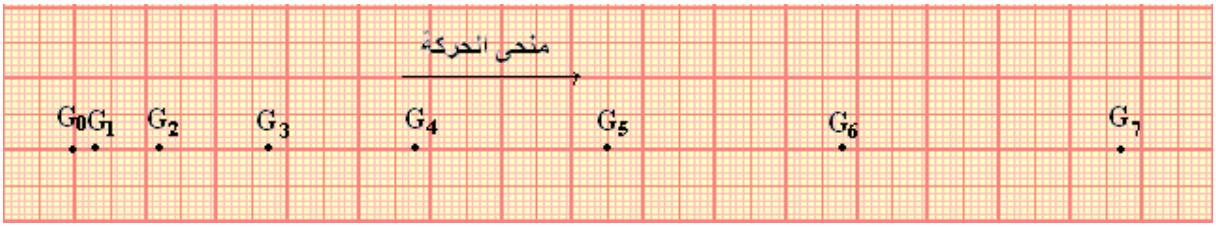
4 ـ كيف يتغير المجموع $E_C + E_{pp}$ خلال السقوط الحر للكرية ؟ ماذا نستنتج ؟

<u>* حالة انزلاق خيال على نضد هوائي .</u>



نميل نضد هوائي بزاوية $\alpha = 5,52°$ بالنسبة للمستوى الأفقي . تم نطلق خيال ذي كتلة $m = 400g$ ، من أعلى نقطة وبدون سرعة بدئية ونسجل مواضع نقطة منه في مدد زمنية متساوية ومتتالية قيمتها $\tau = 80ms$.

تبرز الوتيقة التالية بالسلم الحقيقي مثالا لجزء من التسجيل المحصل عليه :



نعتبر لحظة تسجيل النقطة G_0 أصلا للتواريخ (t=0) ونأخذ $g = 9,8N/kg$

<u>استثمار :</u>

1 ـ أجرد القوى المطبقة على الخيال خلال حركته وحدد القوى التي تشتغل . علل جوابك .

2 ـ نعتبر الجدول التالي :

G_7	G_6	G_5	G_4	G_3	G_2	G_1	G_0	الموضع G_i
560	480	400	320	240	160	80	0	$t(s).10^{-3}$
14,7	10,8	7,5	4,8	2,7	1,2	0,3	0	$x_i(m).10^{-2}$
								$M_{i+1}M_{i-1}(m)$
								$V_i(m/s)$
								$Z_i(m)$
								$E_C(J)$
								$E_{pp}(J)$
								$E_C+E_{pp}(J)$

أ ـ أحسب قيم سرعة الخيال V_i في المواضع G_i واستنتج قيم الطاقة الحركية للخيال الموافقة .

ب ـ نسمي ℓ المسافة التي يقطعها مركز القصور G للخيال بين الموضعين G_1 و G_6 ونسمي h فرق الارتفاع بين G_1 و G_6 (أنظر الشكل)

أتبث العلاقة التالية : $z_i = h\left(1-\frac{x_i}{\ell}\right)$ بحيث أن z_i هو أنسوب الموضع G_i في المعلم الرأسي $(O,\vec{k})$ ، و x_i هو أفصول الموضع G_i في المعلم $(O,\vec{i})$ الموازي للنضد الهوائي .

نأخذ كمرجع لطاقة الوضع الثقالية E_{pp} أصل المحور الرأسي $(O,\vec{k})$ حيث أن النقطة O متطابقة مع G_7 . أحسب قيم E_{pp} بالنسبة لمختلف المواضع G_i بحيث أن $0<i<7$.

ج ـ أحسب قيم المجموع E_C+E_{pp} . ماذا تستنتج ؟

خلاصة : في حالة السقوط الحر أو في حالة انزلاق جسم على مستوى مائل بدون احتكاك توصلنا إلى أن $E_C+E_{pp}=cte$ أي بصفة عامة لتكن mكتلة جسم صلب و v سرعة مركز قصوره وz أنسوبه في معلم $(O,\vec{k})$ موجه نحو الأعلى ، وباعتبار الحالة المرجعية $E_{pp}=0$ عند $z=0$

فإن طاقته الميكانيكية في كل لحظة هي : $E_m=\frac{1}{2}mv^2+mgz=Cte$

أي أن

$$\Delta E_m=0 \Leftrightarrow E_{C2}+E_{pp2}=E_{C1}+E_{pp1} \Rightarrow E_{C2}-E_{C_1}=E_{pp1}-E_{pp2}$$

$$\Delta E_C=-\Delta E_{pp}$$

بالنسبة لجسم صلب يعتبر وزنه هو القوة الوحيدة التي تنجز شغلا غير منعدم ، يساوي تغير الطاقة الحركية لهذا الجسم مقابل طاقة الوضع الثقالية . أي أنه خلال الحركة تتحول الطاقة الحركية للجسم إلى طاقة الوضع والعكس صحيح .

ب ـ تعميم :

أثناء السقوط الحر لجسم صلب ، أو أثناء انزلاقه بدون احتكاك على مستوى مائل ، تتحول طاقة الوضع الثقالية إلى طاقة حركية (والعكس صحيح) ، وتنحفظ الطاقة الميكانيكية .

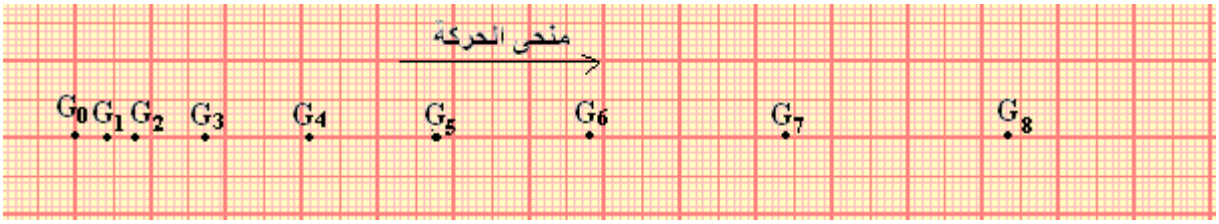
في الحالتين يكون وزن الجسم هو القوة الوحيدة التي تنجز شغلا نقول أن $\vec{P}$ قوة محافظية .

3 ـ عدم انحفاظ الطاقة الميكانيكية

الإبراز التجريبي لعدم انحفاظ الطاقة الميكانيكية .

نميل نضد هوائي بزاوية $\alpha=10°$ بالنسبة للمستوى الأفقي تم نعمل على نقص صبيب هواء معصفة النضد لكي تتم حركة الخيال بالاحتكاك . تم نطلق الخيال ذي الكتلة $m=400g$ ، من أعلى نقطة وبدون سرعة بدئية ونسجل مواضع نقطة منه في مدد زمنية متساوية ومتتالية قيمتها $\tau=60ms$.

تبرز الوتيقة التالية بالسلم الحقيقي مثالا لجزء من التسجيل المحصل عليه :



نعتبر لحظة تسجيل النقطة G_0 أصلا للتواريخ (t=0)

استثمار :

1 ـ أجرد القوى المطبقة على الخيال خلال حركته وحدد القوى التي تشتغل . علل جوابك .

2 ـ نعتبر الجدول التالي :

G_8	G_7	G_6	G_5	G_4	G_3	G_2	G_1	G_0	الموضع G_i
480	420	360	300	240	180	120	60	0	$t(s).10^{-3}$
12,8	9,9	6,9	4,8	3,1	1,6	0,8	0,4	0	$x_i(m).10^{-2}$
									$M_{i+1}M_{i-1}(m)$
									$V_i(m/s)$
									$Z_i(m)$
									$E_C(J)$
									$E_{pp}(J)$
									$E_C+E_{pp}(J)$

أ ـ أحسب قيم سرعة الخيال V_i في المواضع G_i واستنتج قيم الطاقة الحركية للخيال الموافقة .

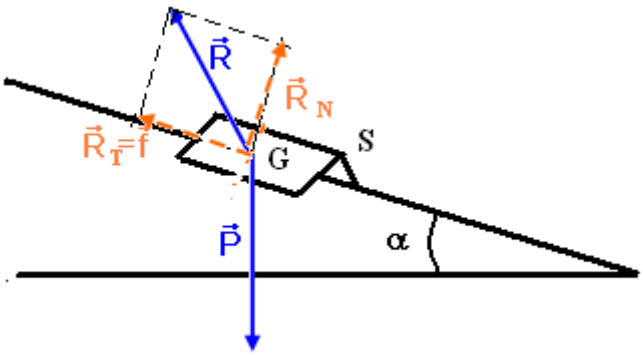
ب ـ نسمي ℓ المسافة التي يقطعها مركز القصور G للخيال بين الموضعين G_1 و G_7 ونسمي h فرق الارتفاع بين G_1 و G_7 (أنظر الشكل)

أثبت العلاقة التالية : $z_i = h\left(1-\frac{x_i}{\ell}\right)$ بحيث أن z_i هو أنسوب الموضع G_i في المعلم الرأسي $(O,\vec{k})$ ، و x_i هو أفصول الموضع G_i في المعلم $(O,\vec{i})$ الموازي للنضد الهوائي .

نأخذ كمرجع لطاقة الوضع الثقالية E_{pp} أصل المحور الرأسي $(O,\vec{k})$ حيث أن النقطة O متطابقة مع G_8 . أحسب قيم E_{pp} بالنسبة لمختلف المواضع G_i بحيث أن $0<i<8$.

ج ـ أحسب قيم المجموع $E_C + E_{pp}$. ماذا تستنتج ؟

خلاصة : يلاحظ من خلال الدراسة التجريبية أن $E_C + E_{pp} \neq cte$ أي أن هناك عدم انحفاظ الطاقة الميكانيكية .



بصفة عامة ، نعتبر انزلاق جسم صلب S فوق مستوى مائل بزاوية α بالنسبة للمستوى الأفقي . وأن الاحتكاكات غير مهملة ونطبق مبرهنة الطاقة الحركية بين لحظتين t_1 حيث يحتل فيها مركز قصور الجسم الموضع G_1 واللحظة t_2 حيث يحتل مركز قصور الجسم الموضع G_2 :

$$\Delta E_C = W_{G_1 \to G_2}(\vec{P}) + W_{G_1 \to G_2}(\vec{R})$$

ونعلم أن $W_{G_1 \to G_2}(\vec{P}) = -\Delta E_{pp}$ فتصبح العلاقة

$$\Delta E_C = -\Delta E_{pp} + W_{G_1 \to G_2}(\vec{R}) \Rightarrow \Delta E_C + \Delta E_{pp} = W_{G_1 \to G_2}(\vec{R})$$

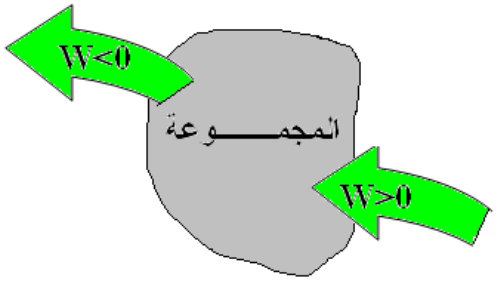
وبالتالي أن $\Delta E_m = W_{G_1 \to G_2}(\vec{R})$ وبما أن هناك وجود احتكاكات فإن $W_{G_1 \to G_2}(\vec{R}) = W_{G_1 \to G_2}(\vec{f})$ أي أن

$$\Delta E_m = W_{G_1 \to G_2}(\vec{f})$$

ـ يلاحظ أن الطاقة الميكانيكية لا تنحفظ . وبما أن $\Delta E_m < 0$ فإنها تتناقص ، ويوافق هذا التناقص شغل قوى الاحتكاك

نقول أن قوى الاحتكاك قوى غير محافظية .

كيف نعلل هذه النتيجة :



اصطلاح : مجموعة ميكانيكية تتبادل الطاقة مع الوسط الخارجي . كل ما تكتسبه المجموعة (من طاقة أو شغل W) من الوسط الخارجي فهو موجب . وكل ما تمنحه للوسط الخارجي فهو سالب .

المجموعة ، الجسم الصلب S ، خلال انزلاقه على المستوى المائل تتناقص طاقته الميكانيكية أي أنه يمنح طاقة للوسط الخارجي على شكل طاقة حرارية Q والتي تؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة بين سطحي التماس والهواء المجاور . وباعتماد الاصطلاح المذكور أعلاه نكتب :

$W_{G_1 \to G_2}(\vec{f}) = -Q$ وبالتالي فإن $\Delta E_m = -Q$

يساوي انحفاظ الطاقة الميكانيكية للجسم الصلب مقابل الطاقة الحرارية .