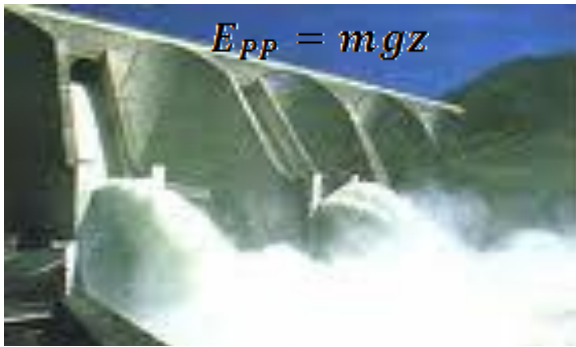


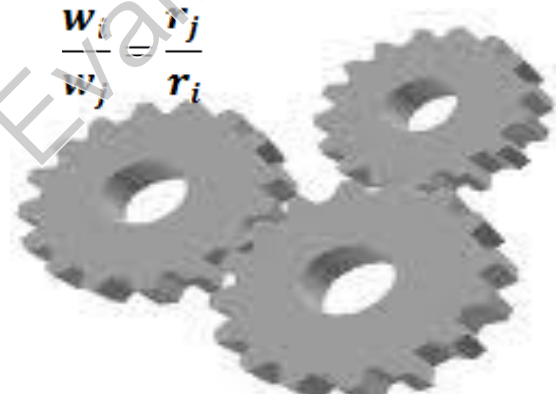
Bensad salaheddine



الشغل أحد أشكال انتقال الطاقة

Le travail est une forme de transfert d'énergie

17/09/2010



إن الهدف من تدريس الشغل الميكانيكي و الطاقة في هذا المستوى هو تقديم مقدار فيزيائي أساسي هو الطاقة ،التي يعتبر انحفاظها من القوانين العامة للفيزياء. وينطلق هذا التدريس من معالجة حركة الدوران و خصائصها قصد تمكين المتعلم من إدراك مفهوم الطاقة بصورة متكاملة وفي وضعيات متنوعة.من خلال دراسة الشغل الميكانيكي و الطاقة يتم تقديم أشكال مختلفة للطاقة انطلاقا من شغل قوة وعن طريق تغير سرعة المتحرك،أو تغير موضعه، حيث يبرز الشغل كأحد أشكال انتقال الطاقة

A. حركة دوران جسم صلب غير قابل للتشوه حول محور ثابت

Mouvement de rotation d'un solide indéformable autour d'un axe fixe

التوجيهات

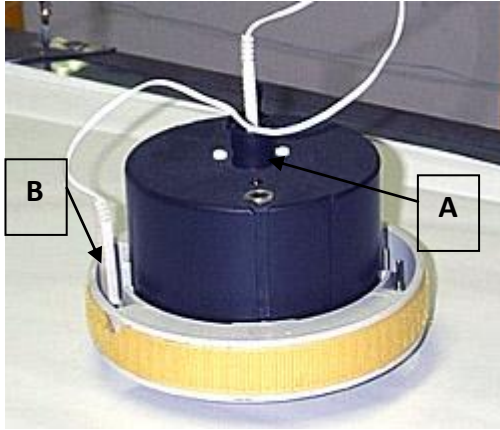
- ✓ تستغل الدراسة التجريبية لحركة نقطة من جسم صلب في دوران حول محور ثابت لتعريف الأفصول المنحني و الأفصول الزاوي و السرعة الزاوية و السرعة الخطية و العلاقة بين السرعة الخطية و السرعة الزاوية
- ✓ يعرف الدوران المنتظم وتقدم خاصياته و المعادلتان الزميتان لهذه الحركة $\theta(t)$ و $S(t)$ و العلاقة بينهما
- ✓ يميز بين الحركة الدورانية و الإزاحة الدائرية من خلال أمثلة مستقاة من المحيط المعيش للمتعلم أو من خلال حركة بعض الكواكب

1. معلمة نقطة من جسم صلب في دوران حول محور ثابت

1. حركة الدوران حول محور ثابت

أ. نشاط تجريبي 1

نعتبر التركيب التجريبي المكون من: مضخة هوائية و حامل ذاتي مزود بمفجرين أحدهما مركزي A و الآخر جانبي B , بواسطة خيط غير قابل للامتداد نربط الحامل الذاتي بجسم صلب عند النقطة O نرسل الحامل الذاتي و نسجل حركة النقطتين A و B أثناء مدد زمنية متتالية و متساوية قيمتها $\tau = 40\text{ms}$ فنحصل على التسجيل الشكل أ

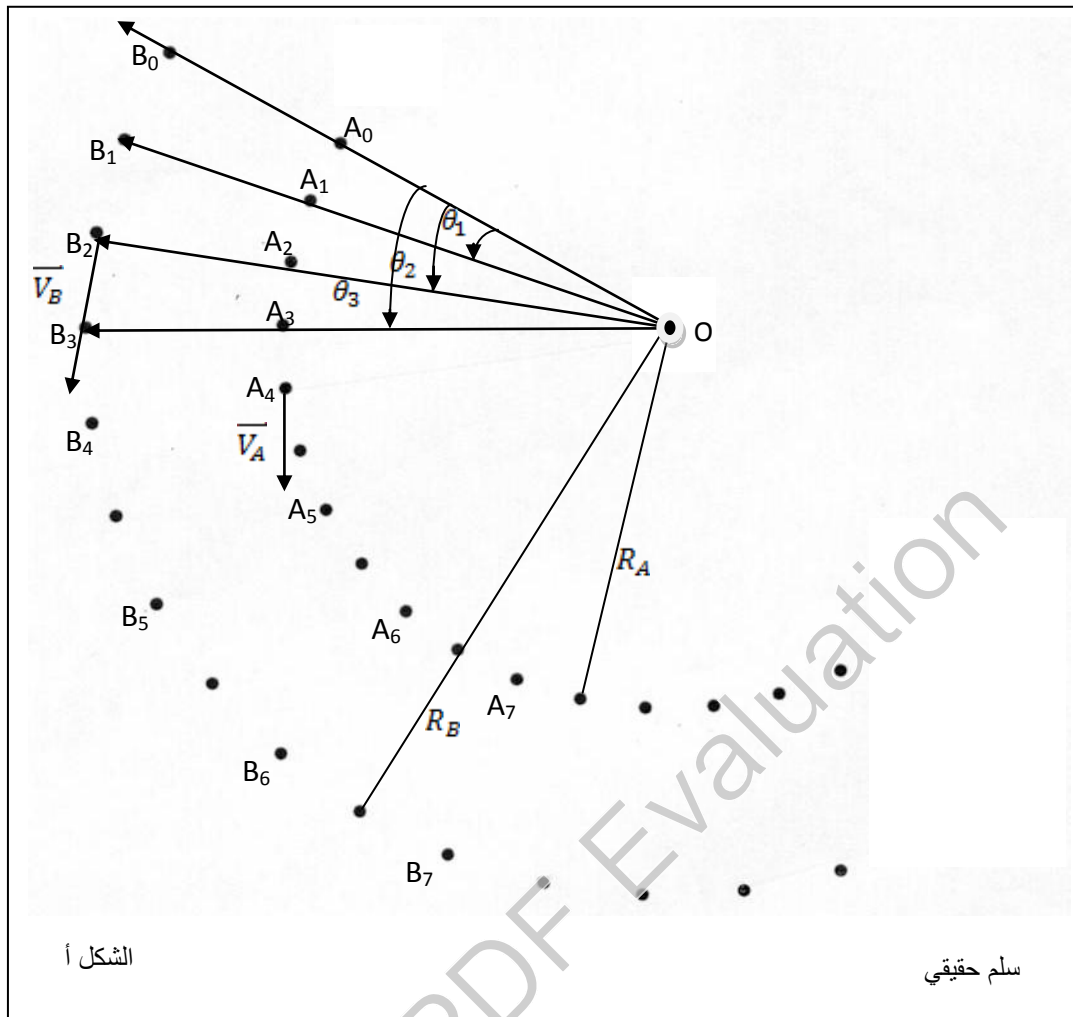


1. قارن المسافات المقطوعة من طرف النقطتين متتاليتين خلال نفس المدة الزمنية τ . استنتج ؟
2. بالاعتماد على منقلة قس الزاوية المكسوحة من طرف النقطتين A و B خلال نفس المدة الزمنية τ
3. حدد O مركز المسار الدائري ثم استنتج قيمة الشعاع R_A شعاع المسار الدائري للنقط A و R_B شعاع المسار الدائري للنقط B
4. أحسب السرعتين V_A و V_B ثم متلهاما بسلم مناسب؟
5. بالاعتماد على العلاقة التأطير $\omega_i = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$ أحسب السرعة الزاوية للنقطة A في المواضيع التالية A_2 و A_3 و A_4 و A_5 والنقطة B في المواضيع التالية B_2 و B_3 و B_4 و B_5 ماذا تستنتج ؟
6. أحسب المقدارين $R_A \cdot \omega$ و $R_B \cdot \omega$ وقارنهما على التوالي مع V_A و V_B ماذا تستنتج ؟

الأجوبة

1. المسافات المقطوعة خلال نفس المدة الزمنية ثابتة و بما أن الحركة دائرية فان الحركة دائرية منتظمة
2. جميع نقط الجسم الصلب تدور بنفس خلال نفس المدة الزمنية
3. يتم تحديد المركز O بالاعتماد الطريقة الهندسية التالية
- ✓ نرسم أولا القطعة A_1A_2 و واسطها Δ (المر من منتصف القطعة و العمودي عليها)
- ✓ نرسم ثانيا القطعة A_3A_4 و واسطها Δ_1 (المر من منتصف القطعة و العمودي عليها)

تقاطع الواسطين Δ و Δ_1 يحدد O مركز المسار الدائري بالنسبة للنقطتين



تحديد R_B و R_A

لدينا $R_A = OA_0 = OA_1 = OA_2 = \text{ثابتة}$ و $R_B = OB_0 = OB_1 = OB_2 = \text{ثابتة}$

$$R_B = 7,5\text{cm}$$

$$R_A = 5\text{cm}$$

4. حساب السرعة الخطية بالاعتماد على علاقة التآطير عند

$$\text{الموضع } A_2 \quad V_{A_2} = \frac{A_2 A_3}{2\tau} = 0,21\text{m/s} \quad \text{عند الموضع } A_3 \quad V_{A_3} = \frac{A_3 A_4}{2\tau} = 0,21\text{m/s} \quad \text{عند الموضع } A_5$$

نلاحظ أن $V_A = \text{ثابتة}$

بنفس الطريقة نحسب السرعة الخطية للنقطة B عند المواضع مختلفة

$$\text{مثلا عند الموضع } B_3 \quad V_{B_3} = \frac{B_3 B_4}{2\tau} = 0,32\text{m/s} \quad \text{عند الموضع } B_6 \quad V_{B_6} = \frac{B_6 B_7}{2\tau} = 0,32\text{m/s}$$

نلاحظ أن $V_B = 0,32\text{m/s}$

تمثيل السرعتين $\vec{V}_B$ و $\vec{V}_A$

نعتبر السلم التالي $0,2\text{m/s} \rightarrow 1\text{cm}$

طول السهم الممثل للمتجهة $\vec{V}_A$ هو 1,5cm و طول السهم الممثل للمتجهة $\vec{V}_B$ هو 2cm

اتجاه المتجهتين يكون مماس للمسار الدائري و المنحى هو منحى الحركة
(أنظر الشكل نعتبر أصل المتجهة $\vec{V}_A$ هي النقطة A_4 وأصل المتجهة $\vec{V}_B$ النقطة B_2)

5. الحساب السرعة الزاوية للنقطتين A و B (أنظر الشكل)

السرعة الزاوية للنقطة A

$$w_4 = \frac{\theta_5 - \theta_1}{2\tau} = 5rad/s \quad \text{في الموضع } A_4 \quad w_2 = \frac{\theta_5 - \theta_1}{2\tau} = 5rad/s \quad \text{في الموضع } A_2$$

$$w_A = \text{ثابتة} \quad \text{ادن} \quad w_2 = w_4 = \text{ثابتة}$$

السرعة الزاوية للنقطة B

$$w_2 = \frac{\theta_5 - \theta_1}{2\tau} = 5rad/s \quad \text{في الموضع } B_2 \quad w_4 = \frac{\theta_5 - \theta_1}{2\tau} = 5rad/s \quad \text{في الموضع } B_4$$

$$w_B = \text{ثابتة} \quad \text{ادن} \quad w_2 = w_4 = \text{ثابتة}$$

استنتاج

نلاحظ $w_B = w_A = w = \text{ثابتة}$ اذن جميع نقط الجسم الصلب تدور بنفس السرعة الزاوية

$$R_B \cdot w = V_B \quad \text{و} \quad R_A \cdot w = V_A$$

6. نلاحظ أن $V = R \cdot \omega$: العلاقة التالية : تربط السرعة الخطية بالسرعة الزاوية

ب. تعريف (من خلال السؤال 1 و 2 و 3)

يكون جسم صلب غير قابل للتشوه في دوران حول محور ثابت اذا كانت كل نقطة من نقطه في حركة دائرية ممرزة على هذا المحور

2. معلمة نقطة من جسم صلب في دوران حول محور ثابت

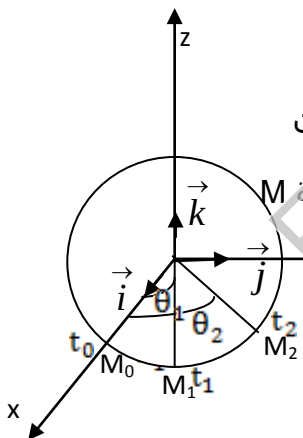
لتعين موضع النقطة المتحركة M , نختار معلما ممنظما متعامدا $(O; \vec{i}; \vec{j}; \vec{k})$ بحيث تكون

المتجهة الوحيدة k منطبقة مع محور الدوران و المستوى $(O; \vec{i}; \vec{j})$ منطبق مع مسار النقطة M

نعتبر المحور (Ox) محورا مرجعيا و لتحديد النقطة M يكفي تحديد أفضولها

الزاوي و أفضولها المنحني نرسم للأفصول المنحني ب θ و الأفصول الزاوي ب S

أ. الأفصول الزاوي



تحتل النقطة M خلال حركتها الموضع M_1 عند اللحظة t_1 و الموضع M_2 في اللحظة t_2 .

خلال المدة الزمنية $\Delta t = t_2 - t_1$ تنتقل النقطة M من الموضع M_1 إلى الموضع M_2 , و تدور بالزاوية $\theta = \theta_2 - \theta_1$

$\theta = (OM_1, OM_2)$ و يسمى الأفصول الزاوي و حدته في النظام العالمي هي الرديان رمزه rad

ب. الأفصول المنحني

خلال نفس المدة الزمنية Δt تعبر النقطة M القوس M_1M_2 ويسمى الأفصول المنحني للنقطة المتحركة نرمل له ب S و وحدته في SI هي المتر رمزه m

ملاحظة هامة

- ✓ الأفصول المنحني و الأفصول الزاوي مقداران جبريان
- ✓ الأفصول المنحني $S(t)$ و الأفصول الزاوي $\theta(t)$ يتغيران بدلالة الزمن

ج. العلاقة بين الأفصول المنحني و الأفصول الزاوي

$$S = R \cdot \theta$$

S الأفصول المنحني و θ الأفصول الزاوي , و R شعاع المسار الدائري

II. السرعة الزاوية

1. تعريف

السرعة الزاوية المتوسطة ω_{moy} بين لحظتين t_{i-1} و t_{i+1} هي :

$$\omega_{moy} = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$$

وحدة السرعة المتوسطة في SI هي الراديان على المتر و رمزه rad/m

θ_{i+1} الأفصول الزاوي (الزاوية المكسوحة من طرف المتحرك) عند اللحظة t_{i+1}

θ_{i-1} الأفصول الزاوي (الزاوية المكسوحة من طرف المتحرك) عند اللحظة t_{i-1}

ملحوظة هامة

إذا كانت اللحظتان t_{i-1} و t_{i+1} جد متقاربتين و تأطران اللحظة t_i فإن قياس السرعة الزاوية المتوسطة

ω_{moy} بين اللحظتين t_{i-1} و t_{i+1} يساوي قياس السرعة الزاوية اللحظية عند اللحظة t_i أي :

$$\omega_{moy} = \omega_i = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$$

2. العلاقة بين السرعة اللحظية الخطية و السرعة الزاوية اللحظية

أ. السرعة الخطية اللحظية

نعلم أن تعبير السرعة الخطية اللحظية هي :

$$v_i = \frac{M_{i+1} - M_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$$

نعتبر اللحظتان t_{i-1} و t_{i+1} جد متقاربتين , ادن

$$\widehat{M_{i-1}M_{i+1}} = [M_{i-1}M_{i+1}]$$

بعد عملية التعويض و تطبيق علاقة شال بإدخال النقطة M_0 نحصل على العلاقة التالية :

$$v_i = \frac{S_{i+1} - S_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$$

s_{i+1} الأفصول المنحني عند اللحظة t_{i+1}

s_{i-1} الأفصول المنحني عند اللحظة t_{i-1}

نضع $\delta s = s_{i+1} - s_{i-1}$ و $\delta t = t_{i+1} - t_{i-1}$ فنحصل على: $v_i = \frac{\delta s}{\delta t}$

تعبير السرعة الخطية اللحظية $V_i = \frac{\delta s}{\delta t}$

ب. استغلال النشاط التجريبي 1 (تحديد العلاقة $V_i = R_i \cdot \omega$ تجريبيا)

من خلال السؤال 6 من النشاط التجريبي 1 نستنتج العلاقة التالية $V_i = R_i \cdot \omega$

ج. تحديد العلاقة $V_i = R_i \cdot \omega$ نظريا

نعلم أن $s = R \cdot \theta$ إذن $\delta s = R \cdot \delta \theta$ ومنه فإن $v_i = \frac{R \cdot \delta \theta}{\delta t}$

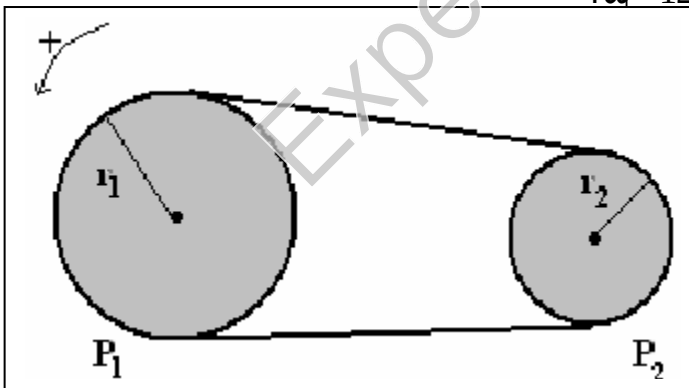
وبالتالي نجد: $v_i = R \cdot \omega_i$

تعميم عموما العلاقة بين السرعة الخطية V_i و السرعة الزاوية ω_i لكل نقطة من نقط الجسم الصلب، شعاع مسارها R_i هي: $v_i = R_i \cdot \omega_i$

تطبيق

تمرين تطبيقي

على مروود محرك كهربائي ثبت بكرة (P_1) شعاعها $R_1 = 355 \text{ mm}$ وبواسطة سير نربط هذه الأخيرة ببكرة (P_2) شعاعها $R_2 = 100 \text{ mm}$. زاوية دوران مروود المحرك $\omega = 12 \text{ rad/s}$.



نعتبر أن السير لا ينزلق على البكرتين.

1- أوجد تعبير السرعة الخطية v لنقطة تنتمي لمحيط

البكرة (P_1) بدلالة السرعة الزاوية ω و

الشعاع r_1 . وكذلك السرعة الخطية v_2 لنقطة

تنتمي لمحيط البكرة (P_2) بدلالة ω و r_2 .

2- نعتبر أن α_1 و α_2 زاويتي الدوران خلال نفس المدة الزمنية t . بين أن $\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2$.

3- أحسب السرعة الزاوية ω_2 للبكرة (P_2).

4- أحسب دور و تردد البكرتين (P_1) و (P_2).

/// حركة الدوران المنتظم

1. استغلال النشاط السابق

من خلال النشاط السابق السؤال 5 نلاحظ أن $w_2 = w_3 = w_3 = w_4 = \text{constante}$

2. تعريف

تكون حركة الدوران لجسم صلب قابل لدوران حول محور ثابت منتظمة اذا بقيت السرعة الزاوية w لهذا الجسم ثابتة

$$w = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \text{constante} \quad \text{مع مرور الزمن}$$

ملحوظة هامة جميع نقط الجسم الصلب تدور بنفس سرعة الزاوية (تكسح نفس الزاوية) باستثناء النقط المنتمية لمحور الدوران

2. خاصيات الدوران المنتظم

أ. الدور والتردد

✓ **الدور:** المدة الزمنية اللازمة لكي تنجز نقطة من الجسم الصلب في حركة دوران منتظم دورة كاملة و نمرز له ب T وحدته في S هي الثانية s

✓ **التردد:** عدد الدورات التي تنجزها نقطة من جسم صلب في دوران منتظم في ثانية واحدة $1s$ ورمزه f أو N

حيث $f = 1/N$ وو حدته في S هي الهرتز رمزه Hz

ب. المعادلات الزمنية

استغلال النشاط السابق

نعتبر مسار النقطة A و نختار الاتجاه المرجعي OX الذي يمر من النقطة A_0 (أنظر التسجيل)

نحدد كل موضع بالأفصول الزاوي θ_i حيث $\theta_i = (\overrightarrow{OA_0}, \overrightarrow{OA_i})$ نختار اللحظة التي سجل فيها الموضع A_1 أصلا للتواريخ (t_0)

✓ دون في جدول قيم الزوج (θ, t)

✓ مثل تغيرات $\theta = f(t)$ ثم أوجد الصيغة الرياضية لهذه المعادلة , واعط المدلول الفيزيائي للمقادير

الفيزيائية الواردة فيها

استنتج المعادلة الزمنية $S = f(t)$

التائج

أنظر الجدول

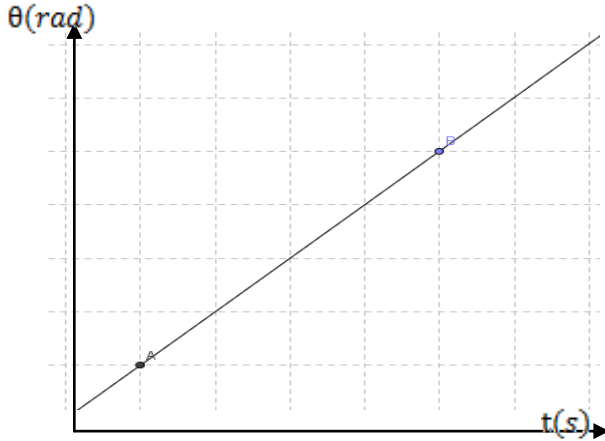
$t_i(s)$	0	0,04	0,08	0,12	0,16
$\theta_i(rad)$	0,17	0,34	0,51	0,68	0,85

المنحنى عبارة عن دالة خطية معادلتها تكتب

$$\theta(t) = K.t + b$$

k رياضيا يمثل المعامل الموجه للمنحني حيث $K = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = 4,25 \text{ rad/s}$ ومن خلال وحدة الثابتة نستنتج أن k فيزيائيا يمثل السرعة الزاوية w

B رياضيا يمثل الأرتوب عند الأصل حيث $b = 0,17 \text{ rad}$ ومن خلال وحدته يمثل الأفصول الزاوي عند اللحظة t_0 θ_0 $b = \theta_0$ ادن



استنتاج نعبر عن المعادلة الزمنية الخاصة بتغيرات الأفصول الزاوي بدلالة الزمن ب :

$$\theta(t) = w.t + \theta_0$$

المعادلة الزمنية الخاصة بالأفصول المنحني

نعلم أن $s = \theta.R$ ادن $\theta = s/R$ ومنه فان : $s = V.t + s_0$ حيث v تمثل السرعة الخطية

IV. حركة الدوران و حركة الإزاحة الدائرية

نشاط تجريبي (محاكات أمثلة من المحيط المعيش)

http://www.ostralo.net/3_animations/swf/mouvements.swf

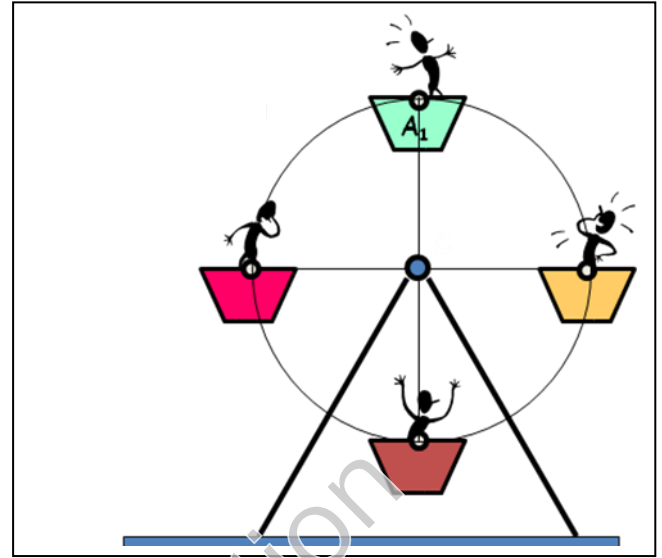
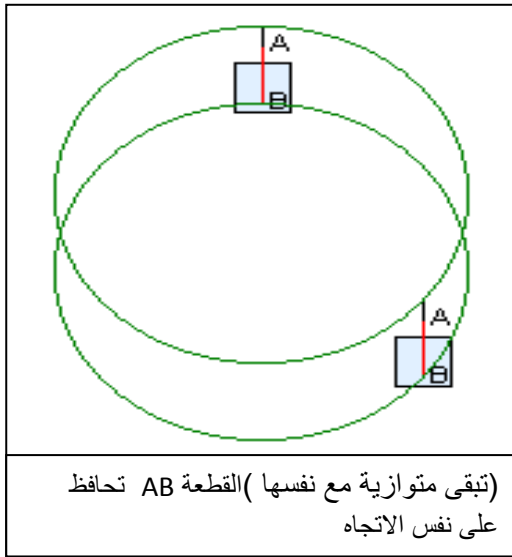
1. تعريف

(حركة الدوران)

يكون جسم صلب غير قابل لتشوه في دوران حول محور ثابت إذا كان لجميع نقاط الجسم الصلب حركة دائرية ممرزة حول هذا المحور

(حركة الإزاحة الدائرية)

- ✓ بالنسبة للإزاحة الدائرية تكون مسارات كل نقط الجسم دوائر مراكزها مختلفة ولها نفس الشعاع
- ✓ في حالة الإزاحة الدائرية تحافظ القطعة AB من الجسم الصلب على نفس الاتجاه
- ✓ الطفل في حالة حركة إزاحة دائرية (أنظر الشكل)



B. شغل و قدرة قوة Travail et puissance d'une force

التوجيهات

- ✓ يبرز تغير قيمة السرعة من خلال دراسة السقوط الحر لجسم صلب أو انزلاقه الحر فوق مستوى أفقي أو مائل بدون احتكاك و دراسة حركة قرص حول محور ثابت
- ✓ يذكر بعزم قوة بالنسبة لمحور ثابت و متعامد مع خط تأثيرها و بعزم مزدوجة قوتين تمهيدا لتقديم مفهوم شغل قوة
- ✓ يقتصر على شغل قوة ثابتة أو مجموعة قوى ثابتة في حالتها الإزاحة المستقيمة و الإزاحة المنحنية و على العزم الثابت في حالة الدوران

1. مفهوم شغل قوة

1. مفعول بعض التأثيرات الميكانيكية على جسم صلب خاضع لقوى نقط تأثيرها تنتقل

تذكير

تتنوع وتتعدد المفاعيل الميكانيكية التي تحدثها القوى المطبقة على جسم صلب ، و التي لها نقط تأثير تنتقل وذلك، حسب طبيعة هذا الانتقال (إزاحة دوران) ، حسب مميزات هذه القوى ، حسب خصائص و طبيعة الجسم الصلب الذي يخضع لهذه القوى (قابل للتشويه، غير قابل لتشويه).

بعض أنواع هذه المفاعيل :

أنظر (http://www.defl.ca/rbw/dsf/phys30/module06/6-02_lois_de_mouvement.html)

- ✓ تحريك جسم (يسقط المظلي بفعل وزنه)
- ✓ إحداث دوران جسم (يدور الباب تحت تأثير قوة شريطة أن لا يتقاطع خط تأثير مع محور الدوران ، و أن لا يكون موازي له)
- ✓ تشويه جسم (يتغير شكل العجين بفعل القوة المطبق من طرف المرأة)
- ✓ تغير اتجاه حركة جسم (تأثير مغناطيس على حركة كرية حديدية)

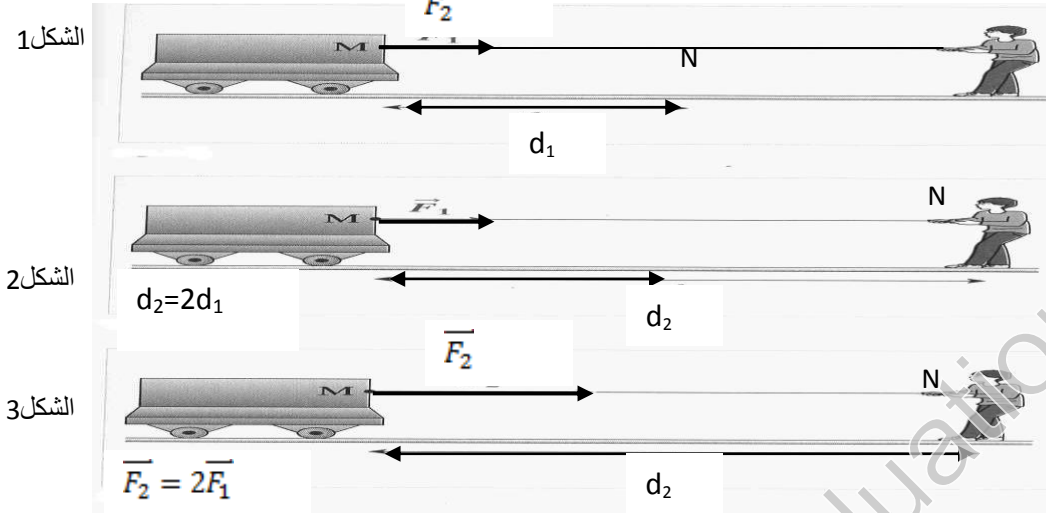
2. شغل قوة ثابتة مطبقة على جسم صلب في إزاحة

أ. القوة الثابتة

القوة الثابتة هي القوة التي تحتفظ بنفس الاتجاه ، بنفس المنحى ونفس الشدة طيلة الحركة

نشاط 1) تحديد المقادير التي يتعلق بها شغل قوة ثابتة و اقتراح الصيغة الرياضية لشغل قوة (

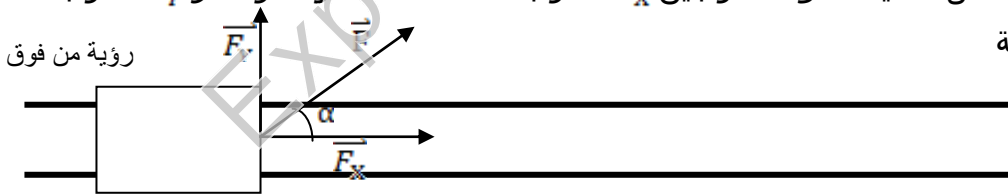
نطبق قوة ثابتة لتحريك عربة صغيرة (أنظر الأشكال 1 و 2 و 3)



في الحالات الثلاث تنتقل نقطة تأثير القوة المطبقة على العربة ، فتزيحها من النقطة M إلى النقطة N. نقول إن القوة $\vec{F}$ تنجز شغلا نرمز له بـ $W_{MN}(\vec{F})$.

- ✓ هل المجهود المبذول هو نفسه في الحالات الثلاث ؟
- ✓ ماهي المقادير الفيزيائية التي يتعلق بها هذا الشغل ؟
- ✓ حدد التعبير الرياضي المناسب للشغل من بين التعابير التالية ، $W_{MN}(\vec{F}) = \frac{F}{MN}$ ، $W_{MN}(\vec{F}) = MN.F$ ، $W_{MN}(\vec{F}) = \frac{MN.F}{F}$

❖ نعتبر حالة الشكل 4 حيث للقوة $\vec{F}$ مركبتين $\vec{F}_x$ المركبة المماسية لمسار الحركة و $\vec{F}_y$ المركبة العمودية لمسار الحركة



- ✓ ماهي المركبة التي تساعد على حركة العربة ؟
- ✓ من بين العلاقات التالية حدد العلاقة التي تبدو لك ملائمة $W_{MN}(\vec{F}) = MN.F \cos \alpha$ ، $W_{MN}(\vec{F}) = MN.F \sin \alpha$ ؟

النتائج

✓ المجهود المبذول في حالة الشكل 2 اكبر من المجهود المبذول في حالة الشكل 1 لأن القوة المطبقة في الحالتين ثابتة $\vec{F}_1 = \vec{F}_2$ لكن المسافة $d_1 < d_2$

✓ المجهود المبذول في حالة الشكل 3 اكبر من المجهود المبذول في حالة الشكل 2 لأن المسافة المقطوعة في الحالتين ثابتة $d_1 = d_2$ والقوة المطبقة في حالة الشكل 3 أكبر من القوة المطبقة في حالة الشكل 2 $\vec{F}_1 < \vec{F}_2$ ✓

✓ لا يتعلق الشغل المنجز بالقوة المطبقة فقط بل يتعلق كذلك بالمسافة المقطوعة أي أن الشغل يتزايد بتزايد قيمة القوة المطبقة و، المسافة المقطوعة

✓ التعبير الملائم هو التالي: $W_{MN}(\vec{F}) = MN.F$ لأن الشغل يتزايد بتزايد d و F

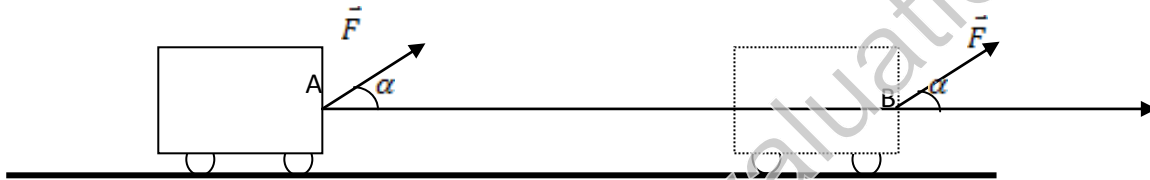
✓ المركبة التي تساعد على الحركة هي المركبة المماسية

✓ التعبير المناسب هو $W_{MN}(\vec{F}) = MN.F \cos \alpha$ لأن تعبير المركبة المماسية هو $F_x = F \cos \alpha$

ب. تعريف

يساوي شغل قوة ثابتة مطبقة على جسم صلب في إزاحة مستقيمة الجداء السلمي لمتجهة القوة $\vec{F}$ و متجهة الانتقال $\vec{AB}$ ونعبر عنه بالرمز $W_{AB}(\vec{F})$ حيث

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos \alpha$$



نعتبر عن الشغل بالجلول رمزه J و القوة بالنيوتن رمزه N والمسافة AB ب المتر رمزه m من خلال الصيغة الرياضية للشغل نستنتج أن الشغل مقدار جبري حيث أن اشارته تتعلق ب المقدار $\cos \alpha$:

✓ $\cos \alpha > 0$ اذا كانت $0 \leq \alpha < 90$ أي $W > 0$ الشغل محرك

✓ $\cos \alpha < 0$ اذا كانت $90 \leq \alpha < 180$ أي $W < 0$ الشغل مقاوم

✓ $\cos \alpha = 0$ اذا كانت $\alpha = 90$ أي $W = 0$ القوة لا تشغل (اتجاه القوة عمودي على متجهة الانتقال)

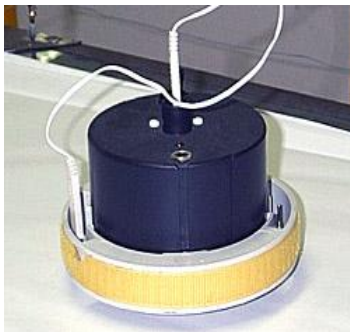
(الانتقال)

ملاحظة هامة

✓ الجول هو شغل قوة ثابتة شدتها $1N$ عند انتقال نقطة تأثيرها ب $1m$ وفق اتجاهها ومنحائها

✓ المجهود العضلي لا يمكن اعتباره شغلا اذا لم تنتقل نقطة تأثير القوة

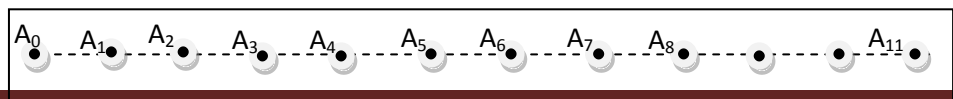
✓ شغل القوة يتعلق بالجسم المرجعي



نشاط 2 (حساب شغل قوة ثابتة و معرفة مفعول هذا الشغل على الحركة)

نرسل حاملا ذاتيا فوق منصدة أفقية ونسجل المواضع المحتملة من طرف المفجر المركزي

خلال مدد زمنية متتالية و متساوية $\tau = 40ms$ أنظر التسجيل



1. حدد السرعة عند الوضعين A و B حيث A و B منطبقين على التوالي مع الموضعين A₂ و A₅ ثم أحسب $\Delta V = V_B - V_A$

2. حدد مجموع أشغال القوى المطبقة على الجسم الصلب بين النقطتين A و B

3. قارن ΔV و ΣW ماذا تستنتج

التائج

1. لدينا $V_B = \frac{A_4 A_5}{2\tau} = 0,25m/s$ و $V_A = \frac{A_1 A_3}{2\tau} = \frac{2cm}{80ms} = 0,25m/s$

$$V_B - V_A = 0m/s \quad \text{ادن}$$

2. يخضع الحامل الذاتي إلى القوى $\vec{R}$ تأثير السطح و $\vec{P}$ وزن الحامل الذاتي

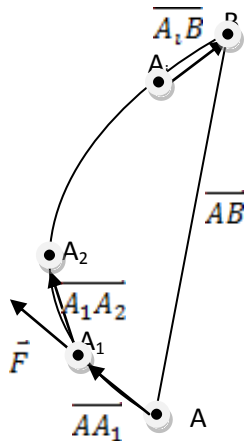
القوتين $\vec{R}$ و $\vec{P}$ لا تشتغلان لأن اتجاههما عمودي على المتجهة الانتقال ادن $\Sigma W = 0$

3. نلاحظ $\Delta V = \Sigma W$ نستنتج أن القوة التي شغلها منعدم لاتغير السرعة

3. شغل قوة ثابتة مطبقة على جسم في إزاحة منحنية

في هذه الحالة نقسم المسار المنحني إلى مسارات صغيرة نعتبرها

مستقيمة. نضع $\delta l_1 = AA_1$ ، $\delta l_2 = A_1 A_2$ ، $\delta l_i = A_i B$



يخضع الجسم طول المسار AB إلى قوة ثابتة

$$W_{A \rightarrow B} = \vec{F} \cdot \delta \vec{l}_1 + \vec{F} \cdot \delta \vec{l}_2 + \dots \dots \dots \vec{F} \cdot \delta \vec{l}_i$$

$$W_T = \vec{F} \cdot \vec{AB}$$

نعتبر عن الشغل الجزئي ب $\delta W_i = \vec{F} \cdot \delta \vec{l}_i$ ادن الشغل الكلي هو $W_{A \rightarrow B} = \Sigma_i W_i$

استنتاج شغل قوة ثابتة مطبقة على جسم في إزاحة مستقل عن المسار المتبع

يتعلق فقط بالموضع البدئي و الموضع النهائي

4. شغل مجموعة قوى ثابتة مطبقة على جسم في إزاحة

عند انتقال الجسم الصلب من الموضع A الموضع B تحت تأثير مجموعة من القوى $\vec{F}_1$ ، $\vec{F}_2$ ، $\vec{F}_n$

نعتبر عن الشغل : $W_{A \rightarrow B} = \vec{F}_1 \cdot \vec{AB} + \vec{F}_2 \cdot \vec{AB} + \dots \dots \dots \vec{F}_n \cdot \vec{AB}$

$$W_{A \rightarrow B} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \cdot \vec{AB}$$

$$\Sigma_{i=1}^n \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots \dots \dots + \vec{F}_n$$

حيث

استنتاج يساوي شغل مجموعة قوى ثابتة ($\vec{F}_1$ ، $\vec{F}_2$ ، $\vec{F}_n$) مطبقة على جسم في إزاحة الجداء السلمي لمجموع

متجهات القوى و متجهة الانتقال $W_{A \rightarrow B} = \Sigma_{i=1}^n \vec{F}_i \cdot \vec{AB}$

5. شغل وزن الجسم

نعتبر عن شغل وزن الجسم عند انتقال الجسم من الموضع A إلى الموضع B

$$\vec{AB} = (x_B - x_A)\vec{i} + (y_B - y_A)\vec{j} + (z_B - z_A)\vec{k} \quad \text{و} \quad \vec{P} = -P\vec{k} \quad \text{حيث} \quad W(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB}$$

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

استنتاج

لا يرتبط شغل وزن الجسم إلا بالأنسوب z_A للموضع البدئي و بالأنسوب z_B للموضع النهائي لمركز قصور الجسم اذن فهو لايتعلق بطبيعة المسار المتبع

ملحوظة هامة

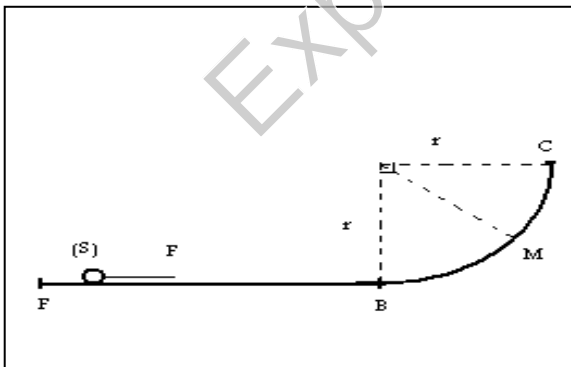
- ✓ يتعلق تعبير شغل وزن الجسم بمنحى المحور (Oz)
- ✓ $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = mg.(z_B - z_A)$ المحور (Oz) نحو الأسفل
- ✓ $W(\vec{P}) > 0$ الانتقال نحو الأسفل
- ✓ $W(\vec{P}) < 0$ الانتقال نحو الأعلى

تمرين تطبيقي

الجزء BC دائري شعاعه $r = 50cm$

يتحرك الجسم (S) من A إلى B بسرعة ثابتة، تحت تأثير قوة ثابتة $\vec{F}$. نزيل القوة $\vec{F}$ عند النقطة B ويستمر الجسم S في الحركة ليغادر السكة عند الموضع M

حيث: $g = 10N/Kg$, $m = 500g$, $AB = 80cm$, $V = 2m/s$



- 1- احسب F علما أن $P(\vec{F}) = 2W$ بين A و B
- 2- احسب شغل الوزن خلال الانتقال من B إلى C
- 3- عبر عن شغل الوزن من B إلى M بدلالة θ
- 4- عبر عن شغل قوة الاحتكاك من B إلى M بدلالة f , θ
- 5- عبر عن شغل وزن الجسم من C إلى M بدلالة θ

6. شغل قوة عزمها ثابت مطبقة على جسم صلب في دوران حول محور ثابت

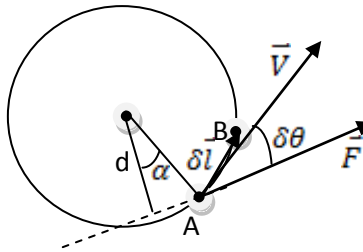
أ. عزم قوة بالنسبة لمحور الدوران (تذكير)
نعتبر عن عزم قوة بالنسبة لمحور Δ متعامد مع خط تأثير القوة

$$\mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F}) = \pm F \cdot d$$

- ✓ $\pm$ يتعلق بالمنحى الاعتباري للحركة
- ✓ F شدة القوة و وحدتها النيوتن N
- ✓ d المسافة الفاصلة بين خط تأثير القوة $\vec{F}$ ومحور الدوران Δ وحدتها المتر m
- ✓ $\mathcal{M}_{\Delta}$ عزم القوة $\vec{F}$ وحدته النيوتن في المتر رمزه N.m

ب. شغل قوة ذات عزم ثابت

الشغل الجزئي



عند دوران الجسم الصلب بزاوية صغيرة جدا $\delta\theta$ تحت تأثير قوة ثابتة $\vec{F}$ تقطع نقطة تأثيرها القوس الصغير $\overline{AB}$ الذي يمكن اعتباره مستقيماً ونعبر عنه بالمتجهة $\overline{AB} = \delta\vec{l}$ تنجز القوة $\vec{F}$ شغلاً جريبياً نعبر عنه كالتالي :

$$\delta W(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \delta\vec{l} = F \cdot \delta l \cos\alpha$$

ونعلم $\delta l = R \cdot \delta\theta$ ومنه $\delta W(\vec{F}) = F \cdot \delta\theta \cdot R \cdot \cos\alpha$

و $\cos\alpha = \frac{d}{R}$ أي $d = R \cdot \cos\alpha$ ومنه فإن : $\delta W(\vec{F}) = F \cdot d \cdot \delta\theta$

$$\delta W(\vec{F}) = \mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F}) \cdot \delta\theta$$

الشغل الكلي

عند دوران الجسم الصلب بزاوية معينة $\Delta\theta$ يكون الشغل المنجز من طرف القوة $\vec{F}$ ذات العزم الثابت بالنسبة لمحور الدوران مساوياً لمجموع الأشغال الجزئية

$$W(\vec{F}) = \sum \delta W = \sum \mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F}) \cdot \delta\theta$$

بما أن العزم ثابت فإن $W(\vec{F}) = \sum \delta W = \mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F}) \cdot \sum \delta\theta$ وأخيراً :

$$W(\vec{F}) = \mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F}) \cdot \Delta\theta$$

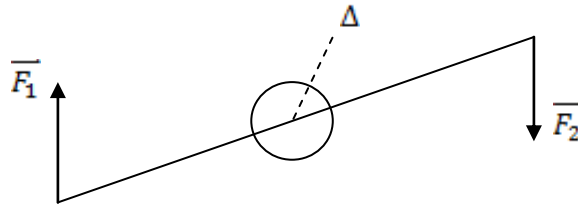
$\Delta\theta$ زاوية الدوران وحدتها rad

$\mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F})$ عزم القوة $\vec{F}$ بالنسبة للمحور Δ وحدته N.m

ج. شغل مزدوجة عزمها ثابت

عزم مزدوجة قوتين بالنسبة لمحور ثابت (تذكير)

الصيغة الرياضية لعزم مزدوجة قوتين $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ هو:



$$\mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = \pm Fd$$

شدة القوة المشتركة $F = F_2 = F_1$

d المسافة بين خطي تأثير القوتين

$\mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ عزم مزدوجة قوتين وحدته النيوتن في المتر رمزه N.m

ملحوظة

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$$

✓ قوى مستوائية $\vec{F}_2$ و $\vec{F}_1$

✓ تتميز المزدوجة بعزم ثابت بالنسبة لأي محور دوران عمودي على مستواها

نعتبر عن شغل مزدوجة عزمها ثابت ب: $W(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = \mathcal{M}_{\Delta}(\vec{F}_1, \vec{F}_2) \cdot \Delta\theta$

1. قدرة قوة أو مجموعة قوى

1. قدرة قوة

تختلف المدة الزمنية اللازمة لانجاز نفس الشغل من قوة إلى أخرى ، نقول أن القدرة تختلف من قوة إلى أخرى:

القدرة مقدار فيزيائي يتعلق بالشغل و بالمدة الزمنية

أ. تعريف القدرة المتوسطة

القدرة هي مقدار الشغل المنجز في وحدة الزمن و نعبر عنه رياضيا بالعلاقة التالية $\mathcal{P} = \frac{W}{\Delta t}$

$\mathcal{P}$ القدرة وحدتها الواط ورمزها watt

Δt المدة الزمنية اللازمة لانجاز الشغل W وحدتها الثانية رمزها s

ب. القدرة اللحظية

(حالة الإزاحة)

القدرة اللحظية $\mathcal{P}_i$ لقوة ثابتة $\vec{F}$ (أو مجموعة قوى ثابتة) هي

خارج قسمة الشغل الجزئي المنجز δW على المدة الزمنية δt

$$\mathcal{P}_i = \frac{\delta W}{\delta t} \quad \text{ادن:}$$

نعلم أن $\delta W = \vec{F} \cdot \delta \vec{l}$ و $\vec{V} = \frac{\delta \vec{l}}{\delta t}$ و بعد التعويض نجد:

$$\mathcal{P}_i = \vec{F} \cdot \vec{V} = F \cdot V \cos \alpha$$

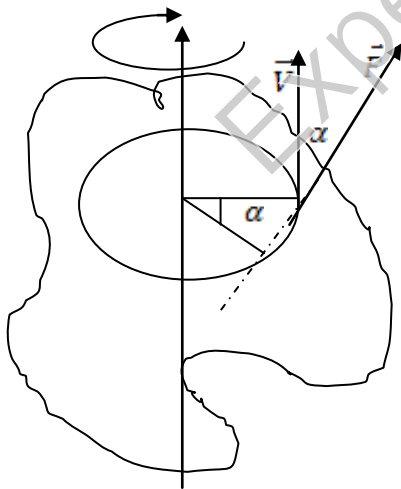
$$\alpha = \widehat{\vec{F}, \vec{V}} \quad \text{حيث}$$

خلاصة

من خلال الصيغة الرياضية للقدرة نستنتج أن القدرة مقدار جبري حيث أن

إشارته تتعلق ب المقدار $\cos \alpha$:

✓ $\cos \alpha > 0$ إذا كانت $0 \leq \alpha < 90$ أي $\mathcal{P} > 0$ القدرة محركة



✓ $\cos \alpha < 0$ إذا كانت $90 \leq \alpha < 180$ أي $\mathcal{P} < 0$ القدرة مقاومة

✓ $\cos \alpha = 0$ إذا كانت $\alpha = 90$ أي $\mathcal{P} = 0$ القوة لا تشغل

ملحوظة

في حالة مجموعة من القوى $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ فإن $\vec{P}_i = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \vec{V}_i$

حالة الدوران

نعتبر جسما صلبا في دوران حول محور ثابت تحت تأثير قوة $\vec{F}$

نعتبر نقطة M من الجسم الصلب تتحرك وفق مسار دائري شعاعه $OM=R$

القدرة اللحظية $\mathcal{P}_i = \vec{F} \cdot \vec{V} = F \cdot V \cos \alpha$

من خلال الشكل لدينا :

$$\cos \alpha = \frac{d}{R} \quad \text{ونعلم أن } \delta_\Delta(\vec{F}) = F \cdot d$$

ادن نستنتج : $\mathcal{P}_{int} = \delta_\Delta(\vec{F}) \cdot w$ حيث :

$$w = \frac{v}{R} \quad \text{هي السرعة الزاوية و } \delta_\Delta(\vec{F}) \text{ عزم القوة } \vec{F}$$

تمرين تطبيقي

بواسطة محرك قدرته 1KW نحرك قرصا متجانسا قطره $D=10cm$ بسرعة ثابتة تساوي 1000 دورة في الدقيقة.

1- أحسب التردد N لدوران القرص بالوحدة Hz. استنتج قيمة السرعة الزاوية للقرص.

2- أحسب السرعة الخطية لنقطة من محيط القرص.

3- (أ) أحسب العزم M الذي نعتبره ثابتا للمزدوجة المحركة التي يطبقها المحرك على القرص.

(ب) أحسب شغل هذه المزدوجة عندما ينجز القرص 10 دورات.

4- نريد كبح حركة القرص، و بالتالي نوقف المحرك عن الاشتغال و نطبق مماسيا على القرص قوة مقاومة $\vec{F}$ شدتها $F=25N$.

نلاحظ أن القرص يتوقف عن الحركة بعد انجاز 50 دورة كاملة، مثل على الشكل القوة $\vec{F}$ و احسب الشغل $W(\vec{F})$.

الشغل و الطاقة الحركية

Travail et énergie cinétique

التوجيهات

- ✓ يقدم مفهوم الطاقة الحركية لجسم صلب انطلاقا من أمثلة أو استغلال وثائق، ويعطى تعبيرها في حالة الإزاحة والدوران
- ✓ يعطى تعبير عزم القصور بالنسبة لمحور الدوران لبعض الأجسام المتجانسة : قرص و اسطوانة و بكرة
- ✓ تقتصر الدراسة التجريبية لمبرهنة الطاقة الحركية على الإزاحة لجسم صلب بدون احتكاك و تعمم النتيجة
- ✓ تنحصر الوضعيات المدروسة على حالة جسم صلب في حركة إزاحة و كذلك الدوران حول محور ثابت ، و يشار إلى أن المبرهنة تبقى صالحة في الحالة التي يكون فيها العزم أو القوة غير ثابتين

1. الطاقة الحركية لجسم صلب

1. حالة الإزاحة

أ. نشاط تجريبي (إبراز تعبير الطاقة الحركية) محاكاة

[http://193.51.214.201/~physique.chimie/physiquefree/_private/troisieme/energie/energie_\(cinetique_qcm.htm](http://193.51.214.201/~physique.chimie/physiquefree/_private/troisieme/energie/energie_(cinetique_qcm.htm)

مناولة 1 (الكتاب المدرسي المسار ص 38)

- ✓ كلما زاد ارتفاع السقوط تزداد سرعة الكرة وبالتالي تزداد شدة التشوه
- ✓ تزداد شدة التشوه بازدياد كتلة الكرة (شدة التشوه تتعلق بالكتلة والسرعة)

استنتاج:

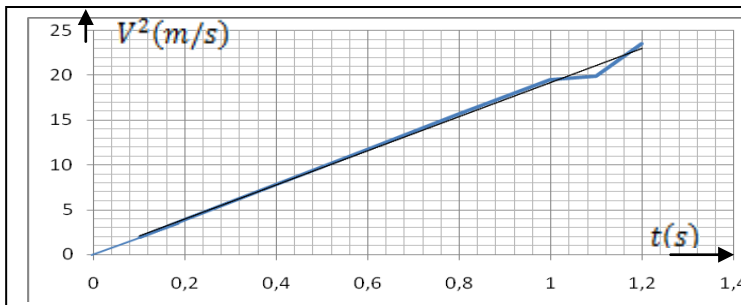
خلال سقوط الكرة ينجز وزنها شغلا يجعلها تكتسب طاقة تؤدي إلى تشويه قطعة العجين.
تتعلق قيمة هذه الطاقة ب السرعة V و بالكتلة m

مناولة 2 (الكتاب المدرسي المسار ص 38)

ندون في الجدول أسفله تغيرات V^2 بدلالة الارتفاع h

$h(m)$	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,1	1,2
	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8
$V^2(m/s)$	1,96	3,92	7,84	11,76	15,68	19,54	19,89	23,52
	V_1^2	V_2^2	V_3^2	V_4^2	V_5^2	V_6^2	V_7^2	V_8^2

نمثل تغيرات V^2 بدلالة الارتفاع h



✓ المنحنى عبارة عن منحنى دالة خطية

معادلتها $V^2 = k \cdot h$ حيث k يمثل

المعامل الموجه للدالة

$$k = \frac{\Delta V^2}{\Delta h} = 19,6 m/s^2 \quad k \text{ قيمة}$$

مقارنة k مع g شدة الثقالة

$$k = 2 \cdot g \quad \text{ادن تصبح المعادلة السابقة كالتالي: } \frac{V^2}{2} = gh \quad \text{المعادلة 1}$$

✓ أثناء سقوط الكرة من ارتفاع h ينجز وزنها شغلا تعبيره $W(\vec{P}) = mgh$

استنتاج

✓ بضرب طرفي المعادلة 1 في الكتلة m نجد: $m \frac{V^2}{2} = mgh$ ومن خلال مقارنة المعادلة المحصل عليها

$$W(\vec{P}) = \frac{1}{2} m V^2 \quad \text{بتعبير شغل وزن الكرة نستنتج أن}$$

✓ شغل وزن الجسم أكسب الكرة طاقة تتعلق بسرعتها وكتلتها تسمى الطاقة الحركية

ب. تعريف

نسمي الطاقة الحركية لجسم صلب في حركة إزاحة كتلته m وسرعته V بالنسبة لجسم مرجعي المقدار E_c

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2$$

الطاقة الحركية مقدار سلمي موجب وحدته هي الجول رمزه J

2. حالة الدوران

نعتبر جسما صلبا في دوران حول محور ثابت Δ بسرعة الزاوية w

✓ كل نقطة من الجسم الصلب تتحرك بسرعة خطية معينة اذن تتوفر

على طاقة حركية E_c

✓ نقسم الجسم الصلب إلى أجزاء صغيرة ذات كتل m_i توجد على مسافة

r_i من محور الدوران Δ

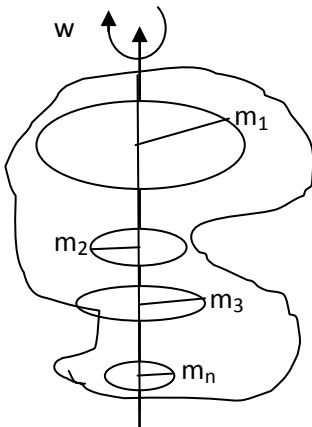
✓ كل جزء من هذا الجسم يدور بسرعة خطية V_i اذن تتوفر على طاقة حركية

$$E_c = \frac{1}{2} m_i V_i^2 \quad \text{تعبيرها}$$

$$E_{CT} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} m_i V_i^2 \quad \text{الطاقة الحركية الكلية للجسم هي:}$$

$$E_{CT} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} m_i r_i^2 w^2 \quad \text{نعلم} \quad V_i^2 = r_i^2 w^2 \quad \text{ومنه فان}$$

و بما أن w ثابتة فان:



$$E_{CT} = \frac{1}{2} \omega^2 \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$$

نضع

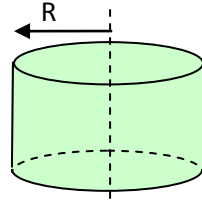
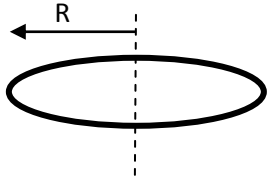
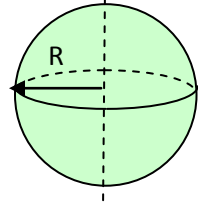
$$I_{\Delta} = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$$

نسمى هذا المقدار عزم/القصور

أ. تعريف

تساوي الطاقة الحركية لجسم صلب في دوران حول محور ثابت بسرعة زاوية المقدار $E_e = \frac{1}{2} I_{\Delta} \omega^2$

ب. صيغ عزوم القصور لبعض الأجسام

ساق طولها L	$\frac{ML^2}{12}$	
قرص أو أسطوانة	$\frac{1}{2} MR^2$	
حلقة	MR^2	
كرة	ممتلئة $\frac{2}{5} MR^2$ مجوفة $\frac{2}{3} MR^2$	

II. مبرهنة الطاقة الحركية

1. حالة جسم صلب في سقوط حر بدون سرعة بدئية

نقول أن جسماً صلباً في سقوط حر إذا كان يخضع فقط لوزنه

نشاط تجريبي (البرهنة على $\Delta E_e = W(\vec{P})$)

نعتبر نتائج المناولة 2

✓ أحسب النسبة $p = \frac{(v_4^2 - v_3^2)}{h_4 - h_3}$ ثم قارنها بـ $g = 9,8 N.kg^{-1}$ ماذا تستنتج

✓ عمم هذه النتيجة بالنسبة لجميع المواضع

الأجوبة

حساب النسبة p

$$p = \frac{(v_4^2 - v_3^2)}{h_4 - h_3} = 19,6 \approx 2.g$$

$$v_4^2 - v_3^2 = 19,6 \approx 2.g(h_4 - h_3) = 2g.h$$

نستنتج أن

و منه فإن $V_4^2 - V_3^2 = 2.g$ و بضرب طرفي المعادلة في كتلة الجسم m نجد:

$$\frac{1}{2}mV_4^2 - \frac{1}{2}mV_3^2 = m.g.h$$

خلاصة (تعميم)

تغير الطاقة الحركية للكرة أثناء سقوطها الحر بين موضعين (لحظتين) يساوي شغل القوة الوحيدة المطبقة عليها

$$\Delta E_c = W(\vec{P})$$

عليها

2. حالة جسم صلب في إزاحة مستقيمة

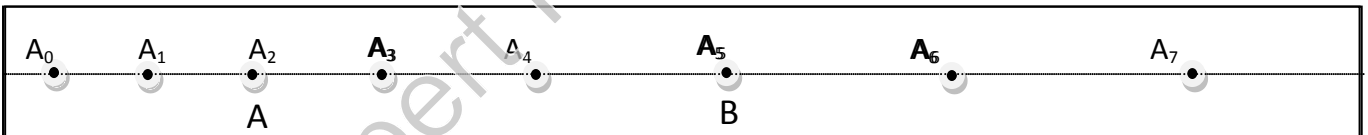
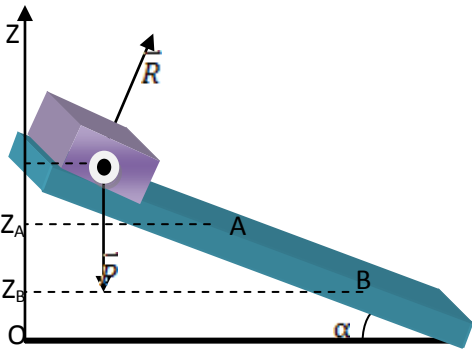
ننجز التركيب التجريبي الممثل جانبه أنظر الشكل :

نطلق الحامل الذاتي كتلته $m=0,695kg$ من فوق المنضدة

مائلة بزاوية $\alpha = 10^\circ$ بدون سرعة بدئية وبدون احتكاك فينزل

، ونسجل مواضع مركز قصوره G خلال مدد زمنية متتالية

ومتساوية $\tau = 40ms$ (أنظر التسجيل)



✓ أجرد القوى المطبقة على الحامل الذاتي

✓ أكتب تعبير شغل كل قوة عندما ينتقل مركز قصور الحامل الذاتي من الموضع M_i إلى الموضع M_{i+1} ($A=A_2$)

$$\sum W_{M_i \rightarrow M_{i+1}}(\vec{F}) \text{ ثم استنتج } (B=A_5)$$

✓ أحسب الطاقة الحركية في الموضعين M_i و M_{i+1} ثم استنتج $\Delta E_c = E_c(M_{i+1}) - E_c(M_i)$

✓ قارن $\Delta E_c = E_c(M_{i+1}) - E_c(M_i)$ و $\sum W_{M_i \rightarrow M_{i+1}}(\vec{F})$ ماذا تستنتج ؟

✓ عمم النتيجة

الأجوبة

يخضع الجسم S (الحامل الذاتي) إلى :

$\vec{R}$ تأثير السطح

$\vec{P}$ وزن الحامل الذاتي

شغل القوة $\vec{R}$ $W(\vec{R}) = 0J$ لأن الحركة تتم بدون احتكاك
شغل $\vec{P}$

$$W(\vec{P}) = mgh = mgAB\sin\alpha$$

حيث $\sin\alpha = \frac{10}{91}$ و

$$W(\vec{P}) = 10,8 \cdot 10^{-2}J$$

ادن : $\sum W_{A \rightarrow B} = W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$

حساب الطاقة الحركية في الموضعين $M_i = A$ و $M_{i+1} = B$

$$E_c(A) = \frac{1}{2}mv_A^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{A_1A_3}{2\tau}\right)^2 = \dots J \quad \text{عند الموضع A}$$

$$E_c(B) = \frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{A_4A_6}{2\tau}\right)^2 = \dots J \quad \text{عند الموضع B}$$

$$\sum W_{A \rightarrow B} = W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = mgAB\sin\alpha \quad \text{و} \quad \Delta E_{c_{A \rightarrow B}} = E_c(A) - E_c(B) \quad \text{مقارنة}$$

من خلال النتائج التجريبية نلاحظ أن $\Delta E_{c_{A \rightarrow B}} \approx \sum W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$

خلاصة (تعميم)

في معلم غاليلي يساوي تغير الطاقة الحركية لجسم صلب في إزاحة مستقيمة بين لحظتين مجموع أشغال كل القوى الخارجية المطبقة عليه بين هاتين اللحظتين .

يعبر عن هذه النتيجة في حالة انتقال مركز قصور الجسم الصلب من الموضع M_i إلى الموضع M_{i+1} بالعلاقة

$$\Delta E_c = E_c(M_{i+1}) - E_c(M_i) = \sum W_{M_i \rightarrow M_{i+1}}(\vec{F})$$

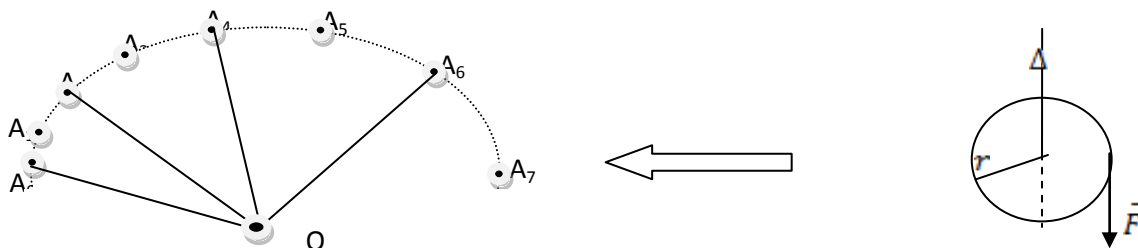
3. حالة جسم صلب في دوران حول محور ثابت

أ. استغلال النشاط التجريبي ص 40 المسار

ينجز قرص متجانس كتلته $m=1,15kg$ و شعاعه r حركة دوران حول محور (Δ) ثابت تحت تأثير قوة $\vec{F}$ شدتها ثابتة

$$F = 1,2N$$

أنظر الشكل (التسجيل المحصل عليه بسلم حقيقي و $\tau = 40ms$)



✓ ماهي طبيعة الحركة؟

✓ أجرد القوى المطبقة على القرص ثم احسب شغل كل منهما بين الموضعين A_1 و A_4 واستنتج

✓ أحسب الطاقة الحركية في الموضعين A_2 و A_4 ثم استنتج $\Delta E_c = E_c(A_4) - E_c(A_2)$

✓ قارن $\Delta E_c = E_c(A_4) - E_c(A_2)$ و $\sum W_{A_2 \rightarrow A_4}(\vec{F})$ ماذا تستنتج ؟

✓ عمم النتيجة

الإجابة

✓ الزاوية التي تكتسحها النقطة A خلال نفس المدة الزمنية غير ثابتة اذن الحركة دائرية غير منتظمة

✓ جرد القوى

$\vec{P}$ وزن القرص

$\vec{R}$ تأثير المحور

$\vec{F}$ القوة المسؤولة عن دوران القرص

✓ حساب شغل القوى المطبقة على القرص

$\mathcal{W}(\vec{P}) = \mathcal{W}(\vec{R}) = 0$ لأن خطا تأثيرهما يقطعان محور الدوران

$$W_{A_2 \rightarrow A_4}(\vec{F}) = \mathcal{M}_A(\vec{F}) \cdot \Delta \theta$$

$\Delta \theta$ الزاوية التي تكتسحها النقطة A بين الموضعين A_2 و A_4 يتم تحديدها بالاعتماد على المنقلة

$$\vec{M}_A(\vec{F}) = +F \cdot r \quad \text{عزم القوة } \vec{F}$$

✓ حساب تغير الطاقة الحركية بين الموضعين A_2 و A_4

أولا نحسب السرعة الزاوية في الموضعين A_2 و A_4 بالاعتماد على طريقة التأطير

$$w_4 = \frac{\theta_5 - \theta_4}{2\tau} \quad \text{و} \quad w_2 = \frac{\theta_3 - \theta_1}{2\tau}$$

حساب الطاقة الحركية في:

$$E_c(A_2) = \frac{1}{2} J_\Delta w_2^2 \quad \text{الموضع } A_2$$

$$E_c(A_4) = \frac{1}{2} J_\Delta w_4^2 \quad \text{الموضع } A_4$$

$$\Delta E_{c, A_2 \rightarrow A_4} = \frac{1}{2} J_\Delta (w_4^2 - w_2^2) \quad \text{تغير الطاقة الحركية بين الموضعين } A_2 \text{ و } A_4$$

استنتاج

من خلال النتائج المحصل عليها نستنتج

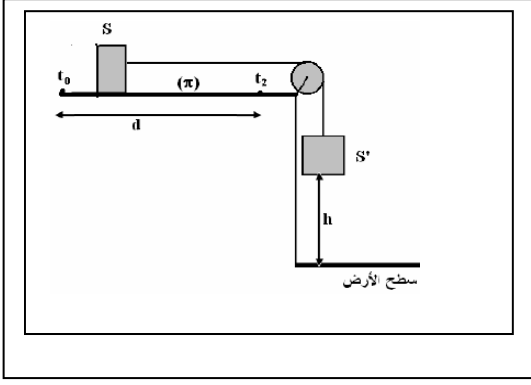
$$\Delta E_c = E_c(A_4) - E_c(A_2) = \frac{1}{2} J_\Delta w_4^2 - \frac{1}{2} J_\Delta w_2^2 = \sum W_{A_2 \rightarrow A_4}(\vec{F})$$

نص مبرهنة الطاقة الحركية

في معلم غاليلي يساوي تغير الطاقة الحركية لجسم صلب غير قابل لتشوه في إزاحة مستقيمة أو في دوران حول محور ثابت بين لحظتين المجموع الجبري لأشغال كل القوى الخارجية المطبقة عليه بين هاتين اللحظتين .

يعبر عن هذه النتيجة بالعلاقة

$$\Delta E_c = E_c(\text{نهائية}) - E_c(\text{البداية}) = \sum W_{\text{البداية} \rightarrow \text{النهائية}}(\vec{F})$$



تمرين تركيبى

نعتبر جسمين S و S' كتلتهما على التوالي M و M' مرتبطتين بواسطة خيط غير قابل للامتداد و كتلته مهملة يمر من مجرى بكرة P بدون احتكاك و كتلتها مهملة. عند اللحظة $t_0 = 0$ المجموعة $\{S', S\}$ في حالة سكون و يوجد S' على ارتفاع h من السطح الأفقي. نترك S' في سقوط حر بدون سرعة بدئية فينزل الجسم S على المستوى (π) . نعتبر أن حركة الجسم على المستوى (π) تتم باحتكاك و أن القوة المقرونة بالاحتكاك تبقى ثابتة خلال الحركة.

و أن المسافة المقطوعة من طرف الجسم S قبل توقفه نتيجة الاحتكاكات هي d ($d > h$).

1- صف ما سيحدث خلال سقوط S' نحو السطح الأفقي.

2- أوجد القوى المطبقة على الجسم S' خلال السقوط. بتطبيق مبرهنة الطاقة

الحركية بين اللحظتين t_0 و t_1 [لحظة وصول الجسم الى السطح الأفقي]

3. أوجد تعبير السرعة v بدلالة h, T, M', g .

سرعة الجسم S' عند وصوله الى السطح الأفقي. T شدة توتر الخيط قبل توقف الجسم S' .

3- أوجد القوى المطبقة على الجسم S خلال انزلاقه على المستوى (π) في كل مرحلة

بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية بين اللحظتين t_0 و t_1 . و بين t_1 و t_2 بين أن شدة قوة الاحتكاك المطبقة من طرف المستوى على الجسم بحيث أن اللحظة التي سيتوقف فيها الجسم S على المستوى (π) نتيجة الاحتكاكات خلال حركة S هي كالتالي:

$$f = \frac{MM'gh}{m'(d-h) + Md}$$

C. الشغل و طاقة الوضع الثقالية travail et énergie potentielle de pesanteur

التوجيهات

- ✓ يقدم مفهوم طاقة الوضع الثقالية ويقتصر على أجسام في تأثير بيني مع الأرض
- ✓ يحدد تعبير طاقة الوضع الثقالية انطلاقا من شغل وزن الجسم (حالة خاصة بجوار الأرض)
- ✓ ضرورة تحديد الحالة المرجعية لطاقة الوضع الثقالية

1. طاقة الوضع الثقالية

1. المقاربة الكيفية

نشاط 1 محاكاة (تعريف طاقة الوضع) أنظر

(<http://www.cea.fr/content/download/3836/298600/file/08-force-eau.swf>)



✓ عند فتح قنوات سد تكتسب كمية الماء المتدفق طاقة حركية وذلك عن طريق شغل وزن هذه الكمية . هذا ما يجعلنا نقبل أن كمية الماء تختزن طاقة ✓ كيف تتغير هذه الطاقة مع ارتفاع كمية الماء عن سطح الأرض؟ ولماذا سميت بطاقة الوضع الثقالية؟ كلما ازداد الارتفاع عن سطح الأرض كلما ازدادت هذه الطاقة ، إذن فهي تتعلق بموضع الجسم بالنسبة لسطح الأرض لهذا سميت بطاقة الوضع ، وما أن الكيفية التي تتغل بها هي شغل وزن الجسم فهي تسمى **طاقة الوضع الثقالية**

تعريف

طاقة الوضع الثقالية لجسم في مجال الثقالة هي الطاقة التي يمتلكها الجسم نتيجة موضعه بالنسبة لسطح الأرض

و نرمز لها ب E_{pp}

2. تعبير طاقة الوضع الثقالية

نشاط2 (البرهنة على $(E_{pp} = mgz + k)$)

لنقل حمولة كتلتها m من الموضع A ذو الأنسوب Z_A بسرعة ثابتة

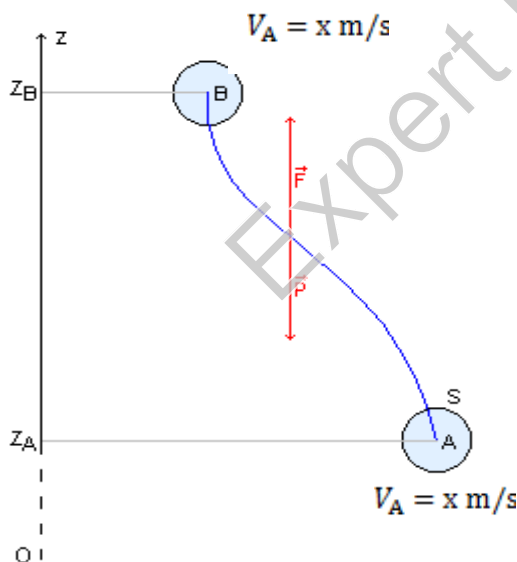
إلى الموضع B ذو الأنسوب Z_B نطبق عليها قوة $\vec{F}$ (أنظر الشكل)

✓ بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية بين الموضعين A و B

أوجد تعبير شغل القوة $\vec{F}$ $W(\vec{F})$

✓ إلى أي شكل من أشكال الطاقة ينتقل شغل القوة $\vec{F}$

بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية بين الموضعين A و B



$$Ec(B) - Ec(A) = W_{AB}(\vec{F}) + W_{AB}(\vec{F})$$

$$\Rightarrow Ec(B) - Ec(A) = m.g.(Z_A - Z_B) + W_{AB}(\vec{F})$$

$$\Rightarrow 0 - 0 = m.g.(Z_A - Z_B) + W_{AB}(\vec{F})$$

=>

$$W_{AB}(\vec{F}) = -m.g.(z_A - z_B)$$

=>

$$W_{AB}(\vec{F}) = m.g.(z_B - z_A)$$

شغل القوة $\vec{F}$ هو عبارة عن فرق بين حدين $mgz_B - mgz_A$ حيث لا يتعلق هذا المقدار إلا بالارتفاع z لمركز القصور و بكتلة الحمولة m وشدة الثقالة g

بما أن $\Delta E_{C \rightarrow B} = 0$ فإن $W(\vec{F})$ تحول إلى طاقة الوضع الثقالية

استنتاج

شغل القوة $\vec{F}$ يكسب الحمولة طاقة تتعلق بالارتفاع عن سطح الأرض تسمى طاقة الوضع الثقالية رمزها E_{pp} و تعبيرها

$$E_{pp} = mgz + k$$

✓ وحدة E_{pp} هي الجور ورمزه J

✓ K ثابتة اعتباطية تتعلق بالحالة المرجعية

الحالة المرجعية

نسمى الحالة المرجعية لطاقة الوضع الثقالية الحالة التي نختارها اعتباطيا حيث تسند لطاقة الوضع الثقالية لجسم في مجال الثقالة القيمة $E_{pp} = 0j$

نعتبر مظلي في حالة السقوط الحر

الحالة 1

نختار سطح الأرض كحالة مرجعية (الموضع O)

تعبير طاقة الوضع الثقالية

$$E_{pp} = mgz + k$$

$E_{pp} = 0j$ عند الموضع O أي عند الموضع $Z_0 = 0$

$$E_{pp} = mgz_0 + k = 0j$$

اذن

$$E_{pp} = mg.0 + k = 0j$$

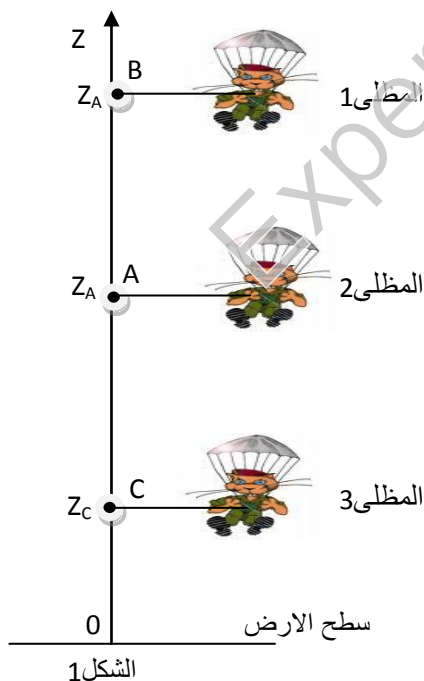
و بالتالي فان : $k = 0$ و منه نجد

$$E_{pp} = mgz$$

الحالة 2

نختار الموضع A كحالة مرجعية (الموضع Z_A)

تعبير طاقة الوضع الثقالية



الشكل 1

$$E_{pp} = mgz + k$$

$E_{pp} = 0$ عند الموضع A أي عند الموضع $Z_A \neq 0$ إذن

$$E_{pp} = mgz_A + k = 0$$

:

$$k = -mgz_A$$

$$E_{pp} = mgz - mgz_A$$

$$E_{pp} = mg(z - z_A)$$

$E_{pp} > 0$ إذا كان الجسم فوق الحالة المرجعية حالة المظلي رقم 1 (الشكل 1)

$E_{pp} < 0$ إذا كان الجسم تحت الحالة المرجعية حالة المظلي 3 (الشكل 1)

$E_{pp} = 0$ إذا كان الجسم مطابق مع الحالة المرجعية حالة المظلي رقم 2 (الشكل 1)

ملحوظة

✓ طاقة الوضع الثقالية لجسم تبقى ثابتة إذا انتقل الجسم فوق مستوى أفقي ثابتة $Z =$

✓ طاقة الوضع الثقالية مقدار جبري تتعلق إشارته بالمقدار $(z - z_A)$

✓ تتناسب طاقة الوضع الثقالية اضطرابا مع الارتفاع

تمرين تطبيقي

نعتبر جسما نقطيا A، كتلته $m=2\text{Kg}$ يمكن له أن يحتل مواضع مختلفة على المحور $\vec{Oz}$ الموجه نحو الأعلى و مدرج بالمتر.

1- نأخذ كحالة مرجعية نقطة أنسوبها $z=2$. أحسب طاقة الوضع الثقالية للجسم A عند المواضع التالية: $z_A=6$ و

$$z_{A_2} = 4$$

2- نأخذ كحالة مرجعية النقطة ذات الأنسوب: $z = -1$. أحسب طاقة الوضع الثقالية للجسم A عند المواضع التالية:

$$z_{A_3}=9, z_{A_2} = 4, z_{A_1}=6$$

3. تغير طاقة الوضع الثقالية

أ. هل يتعلق تغير طاقة الوضع الثقالية بالحالة المرجعية

نعتبر مظلي كتلته m في سقوط حر من الموضع B إلى الموضع A

أحسب تغير طاقة الوضع الثقالية $\Delta E_{ppB \rightarrow A}$ بين الموضعين A و B أنظر الشكل 2

حالة 1

نختار سطح الأرض كحالة مرجعية (الموضع O)

تعبير طاقة الوضع الثقالية

$$E_{pp} = mgz + k$$

وجدنا

$$E_{pp} = mgz$$

تعبير طاقة الوضع الثقالية عند الموضع A أنسوبه Z_A

$$E_{pp}(A) = mgz_A$$

تعبير طاقة الوضع الثقالية عند الموضع B أنسوبه Z_B

$$E_{pp}(B) = mgz_B$$

تغير طاقة الوضع الثقالية $\Delta E_{ppB \rightarrow A}$ بين الموضعين A و B

$$\Delta E_{ppB \rightarrow A} = E_{pp}(A) - E_{pp}(B) = mgz_A - mgz_B$$

$$\Delta E_{ppB \rightarrow A} = mg(z_A - z_B)$$

حالة 1

نختار الموضع C ذو الأنسوب Z_C كحالة مرجعية

تعبير طاقة الوضع الثقالية

$$E_{pp} = mgz + k$$

بنفس الطريقة السابقة نجد:

$$E_{pp} = mgz - mgz_c$$

تعبير طاقة الوضع الثقالية عند الموضع A أنسوبه Z_A

$$E_{pp}(A) = mgz_A - mgz_c$$

تعبير طاقة الوضع الثقالية عند الموضع B أنسوبه Z_B

$$E_{pp}(B) = mgz_B - mgz_c$$

تغير طاقة الوضع الثقالية $\Delta E_{ppB \rightarrow A}$ بين الموضعين A و B

$$\Delta E_{ppB \rightarrow A} = E_{pp}(A) - E_{pp}(B) = mgz_A - mgz_c - mgz_B + mgz_c$$

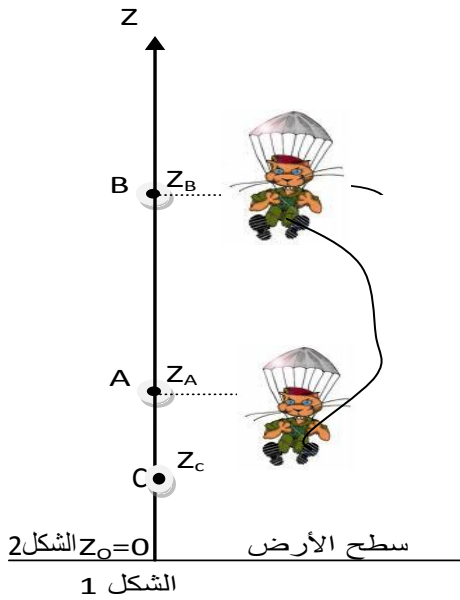
$$\Delta E_{ppB \rightarrow A} = mg(z_A - z_B)$$

استنتاج

تغير طاقة الوضع الثقالية لا يتعلق بالحالة المرجعية

ب. العلاقة بين تغير طاقة الوضع الثقالية بشغل وزن الجسم

أثناء انتقال المظلي من الموضع B إلى الموضع A (أنظر الشكل 2) ينجز وزن المظلي شغلا تعبيره



$$W_{B \rightarrow A}(\vec{P}) = mg(Z_B - Z_A)$$

تغير طاقة الوضع الثقالية $\Delta E_{PP_{B \rightarrow A}}$ بين الموضعين A و B

$$\Delta E_{PP_{B \rightarrow A}} = mg(z_A - z_B)$$

اذن نستنتج أن

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

ملاحظة

✓ حالة الصعود $\Delta E_{PP_{B \rightarrow A}} > 0$ و $W_{B \rightarrow A}(\vec{P}) < 0$

✓ حالة النزول $\Delta E_{PP_{B \rightarrow A}} < 0$ و $W_{B \rightarrow A}(\vec{P}) > 0$

تطبيقات

تحتوي حقينة سد على كمية من الماء عمقها 15m و مساحة سطحها 1,5Km². مركز قصور كمية الماء توجد على ارتفاع h=2000m من سطح البحر. توجد محطة هيدروكهربائية على مقربة من السد و على ارتفاع h'=1200m من سطح البحر و تتم تغذية المحطة بماء السد لإنتاج الطاقة الكهربائية.

- 1 - أحسب طاقة الوضع الثقالية المخزونة في ماء السد بعد اختيار حالة مرجعية.
- 2 - أحسب تغير طاقة الوضع الثقالية إذا اعتبرنا أن كتلة الماء الموجودة بالسد تنزل بكاملها إلى محطة توليد الكهرباء
- 3 - أحسب القدرة الكهربائية المحصل عليها بالنسبة لصبيب مائي يساوي (10m³/s). إذا اعتبرنا أن 75% من الطاقة المخزونة تتحول إلى طاقة كهربائية.

D. الطاقة الميكانيكية لجسم صلب

التوجيهات

✓ تعرف الطاقة الميكانيكية و يتطرق إلى انحفاظها في الحالات التي يكون فيها وزن الجسم هو القوة الوحيدة التي تنجز شغلا و يفسر، عدم انحفاظها بوجود الاحتكاكات لتقديم العلاقة $\Delta E_m = -Q$ المعبر عن تحول جزء من الطاقة الميكانيكية إلى طاقة حرارية

1. طاقة الوضع الثقالية

2. إبراز الطاقة الميكانيكية

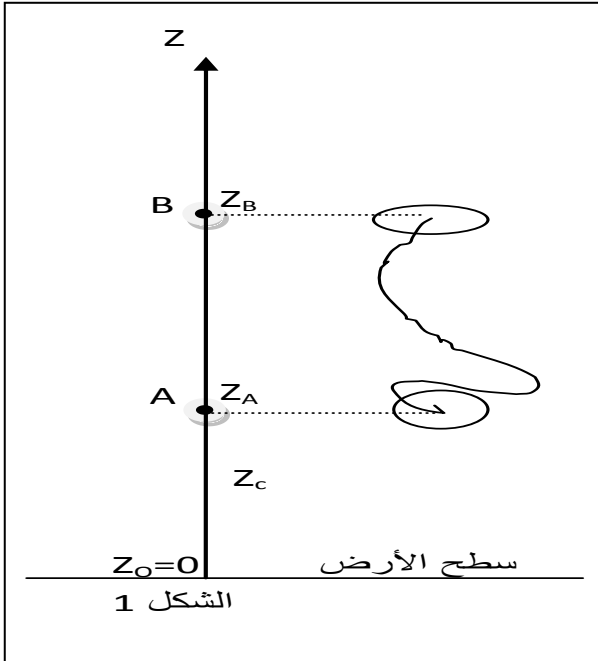
نشاط (محاكاة أنظر www.lyc-vangogh-ermont.ac-versailles.fr/spip.php?article91)

أثناء السقوط الحر ينتقل مركز قصور الجسم الصلب من الموضع B بسرعة $\vec{V}_B$ إلى الموضع A بسرعة $\vec{V}_A$

(أنظر الشكل 1)

✓ بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية بين الموضعين A و B

بين أن المقدار $E_c + E_{pp}$ يبقى ثابت خلال السقوط الحر



بتطبيق م. ط. ح بين B و A

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

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

نعلم أن

$$\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = -\Delta E_{pp(B \rightarrow A)}$$

و منه

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

و بالتالي

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

$$E_m(A) = E_m(B)$$

استنتاج

✓ المقدار $E_c + E_{pp}$ يبقى ثابت خلال السقوط الحر للجسم S

✓ نسمي المقدار $E_c + E_{pp}$ الطاقة الميكانيكية أو الطاقة الكلية ونرمز له E_m وحدته الجول رمزه J

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

2. تعريف

نسمي الطاقة الميكانيكية لجسم صلب و عند كل لحظة و في معلم معين مجموع طاقته الحركية و طاقة الوضع الثقالية

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

ملحوظة

في حالة السقوط الحر حيث $\vec{v}$ سرعة الجسم و Z أنسوب مركز قصوره في لحظة معينة

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

3. انحفاظ الطاقة الميكانيكية

أ. حالة السقوط الحر

نشاط محاكاة (أنظر www.lyc-vangogh-ermont.ac-versailles.fr/spip.php?article91)

[http://193.51.214.201/~physique.chimie/physiquefree/_private/troisieme/energie/energie_cinetique\(e_qcm.htm](http://193.51.214.201/~physique.chimie/physiquefree/_private/troisieme/energie/energie_cinetique(e_qcm.htm)

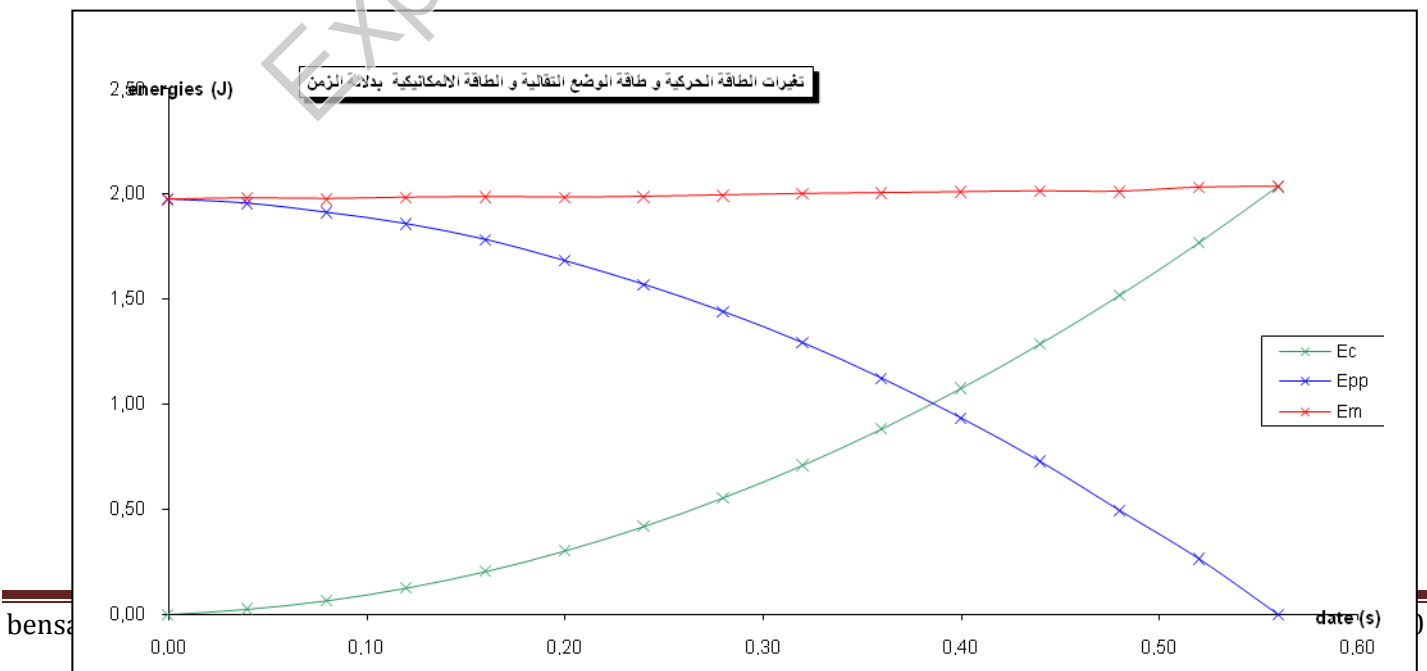
من خلال المحاكاة يتم تحديد تغيرات السرعة V بدلالة الارتفاع h و بدلالة الزمن t خلال السقوط الحر للجسم، و تدون النتائج المحصل عليها في جدول.

- ✓ تحسب الطاقة الحركية زمن معين
- ✓ تحدد طاقة الوضع الثقالية الموافقة لنفس الزمن السابق
- ✓ يحدد قيمة الطاقة الميكانيكية في كل لحظة

مثال أنظر الجدول

H(m)	1,2	1,1	1	0,8	0
T(s)	0	0,14	0,2	0,28	0,49
V(m/s)	0	1,4	1,98	2,8	4,85
E_c	0	1,96	3,92	7,84	23,52
E_{pp}	24	22	20	16	0
E_m	24	23,96	23,92	23,84	23,52

✓ مثل تغيرات E_c و E_{pp} و E_m بدلالة الزمن



من خلال مخطط الطاقة نلاحظ أنه أثناء السقوط الحر للجسم الصلب الطاقة الميكانيكية لا تتغير (تتحفظ)

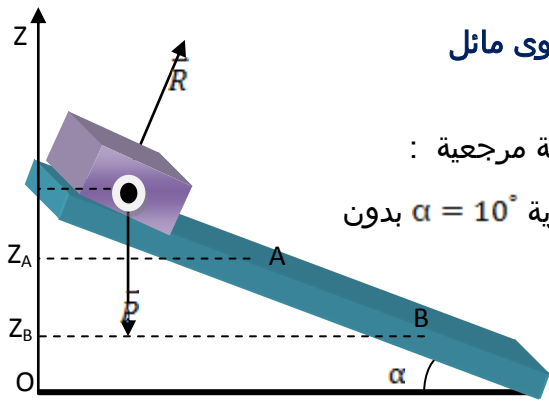
$$\Delta E_m = E_{mf} - E_{fi} = 0 \text{ و منه فإن } E_m$$

الطاقة الميكانيكية النهائية E_{mf}

الطاقة الميكانيكية النهائية E_{mi}

استنتاج

من خلال مخطط الطاقة نلاحظ أنه أثناء السقوط الحر للجسم يحدث تبادل بين الطاقة الحركية و طاقة الوضع الثقالية حيث أن طاقة الوضع الثقالية تتناقص بنفس المقدار الذي تزايد به الطاقة الحركية بينما الطاقة الميكانيكية لا تتغير (تتحفظ)



ب. حالة جسم صلب ينزلق بدون احتكاك فوق مستوى مائل
الدراسة التجريبية

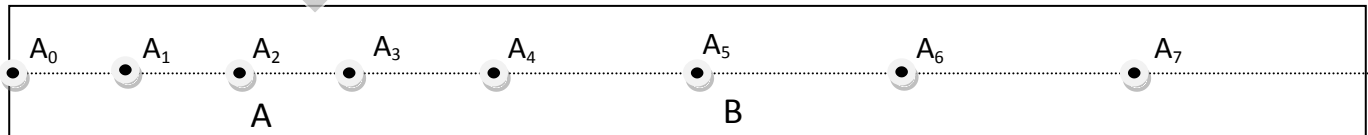
ننجز التركيب التجريبي الممثل جانبه أنظر الشكل نعتبر الموضع O كحالة مرجعية :
نطلق الحامل الذاتي كتلته $m=0,695kg$ من فوق المنضدة مائلة بزاوية $\alpha = 10^\circ$ بدون
سرعة بدئية وبدون احتكاك فينزلق ، ونسجل مواضع مركز قصوره G
خلال مدد زمنية متتالية ومتساوية $\tau = 40ms$ (أنظر التسجيل).

✓ أحسب الطاقة الحركية عند الموضعين A و B ثم استنتج $\Delta E_{cA,B}$ ؟

✓ أحسب طاقة الوضع الثقالية عند الموضعين A و B ثم استنتج $\Delta E_{ppA,B}$ ؟

✓ احسب الطاقة الميكانيكية عند الموضعين A و B ماذا تستنتج ؟

✓ ماذا نقول عن الطاقة الميكانيكية



الاجوبة

حساب الطاقة الحركية

عند الموضع A

$$E_c(A) = \frac{1}{2} \cdot m V_A^2 = \frac{1}{2} m \left(\frac{A_4 A_3}{2\tau} \right)^2 = 7,0810^{-2} J$$

عند الموضع B

$$E_c(B) = \frac{1}{2} \cdot m V_B^2 = \frac{1}{2} m \left(\frac{A_4 A_5}{2\tau} \right)^2 = 1,09 \cdot 10^{-2}$$

حساب طاقة الوضع الثقالية عند

$$E_{pp}(A) = 0,2J \quad \text{مع} \quad E_{pp}(A) = mgz_A \quad \text{الموضع A}$$

$$E_{pp}(B) = 0,11J \quad \text{مع} \quad E_{pp}(B) = mgz_B \quad \text{الموضع A}$$

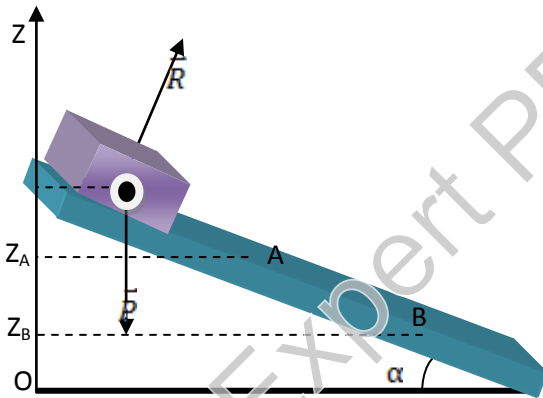
الطاقة الميكانيكية

$$E_m(A) = E_c(A) + E_{pp}(A) \quad \text{عند الموضع A}$$

$$E_m(B) = E_c(B) + E_{pp}(B) \quad \text{عند الموضع B}$$

$$E_m(B) = E_m(A) = \text{ثابتة} \quad \text{نلاحظ}$$

الطاقة الميكانيكية تتحفظ في غياب الاحتكاكات **استنتاج**



الدراسة النظرية

المجموعة المدروسة الحامل الذاتي

$\vec{R}$ تأثير السطح

$\vec{P}$ وزن الحامل الذاتي

يتنقل الحامل الذاتي من الموضع A بسرعة V_A إلى الموضع B بسرعة V_B

بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية بين الموضعين A و B

$$\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = \sum_i W_{AB}(\vec{F}_i)_{\text{ext}} = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{R})$$

ما أن الاحتكاكات مهملة فإن $W(\vec{R}) = 0J$

$$\Delta E_{PPA \rightarrow B} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) \quad \text{و نعلم أن}$$

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

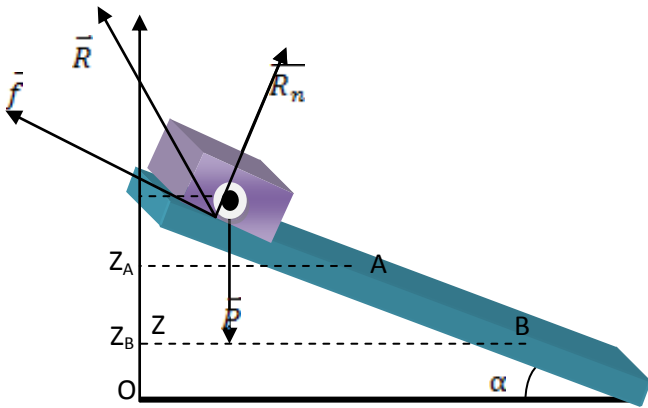
$$E_c(B) + E_{pp}(B) = E_{pp}(A) + E_c(A)$$

و بالتالي:

$$E_m(A) = E_m(B)$$

استنتاج

الطاقة الميكانيكية تتحفظ في حالة التماس بدون احتكاك ، و منه يمكن اعتبار قوى التماس في غياب الاحتكاكات قوى محافظة



4. عدم انحفاظ الطاقة الميكانيكية

تغير الطاقة الميكانيكية (الدراسة النظرية)

الدراسة النظرية

المجموعة المدروسة الحامل الذاتي

$$\vec{R} = \vec{R}_n + \vec{f}$$

$\vec{f}$ المركبة المماسية و $\vec{R}_n$ المركبة المنظمية

$\vec{P}$ وزن الحامل الذاتي

يتقل الحامل الذاتي من الموضع A بسرعة V_A إلى الموضع B بسرعة V_B

بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية بين الموضعين A و B

$$\begin{aligned} \Delta E_c &= E_c(B) - E_c(A) = \sum_i W_{AB}(\vec{F}_i)_{\text{ext}} = \\ &= W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{R}) \\ &= W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{R}_n) + W_{AB}(\vec{f}) \end{aligned}$$

$$\vec{R}_n \perp \vec{AB} \quad \text{لأن} \quad W(\vec{R}_n) = 0 \quad \text{لدينا}$$

$$\Delta E_{ppB \rightarrow A} = -W_{B \rightarrow A}(\vec{P}) \quad \text{و نعلم أن}$$

$$E_c(B) - E_c(A) = - (E_{pp}(A) - E_{pp}(B)) + W_{AB}(\vec{f})$$

$$E_c(B) + E_{pp}(B) = E_{pp}(A) + E_c(A) - f \cdot AB$$

$$E_m(B) = E_m(A) - f \cdot AB$$

$$\Delta E_{m_{A \rightarrow B}} = -f \cdot AB$$

استنتاج

✓ بما أن $\Delta E_m \neq 0$ فإن الطاقة الميكانيكية لا تتحفظ

بما أن $\Delta E_m < 0$ فإن الطاقة الميكانيكية تتناقص و يوافق هذا التناقص شغل قوى الاحتكاك ، و نعبر عن هذا التغير بالعلاقة

$$\Delta E_{m_{A \rightarrow B}} = W_{AB}(\vec{f})$$

تعليل

أثناء انزلاق جسم صلب باحتكاك فوق مستوى مائل تتناقص طاقته الميكانيكية و يقابل هذا التناقص مفعولا حراريا طاقته Q حيث نسجل سخونة سطحي التماس و الهواء المجاور نتيجة اشتغال قوى الاحتكاك حيث:

$$\Delta E_{m_{A \rightarrow B}} = W_{AB}(\vec{f}) = -Q$$

تمارين تركيبيّة (انتقال الطاقة)

تمرين 1 نمذجة سقوط مظلي

(مستوى سطح الأرض كحالة مرجعية) نعطي $g = 10 \text{ N/kg}$ أو $g = 10 \text{ m/s}^2$

عند اللحظة t_0 يقفز مظلي و لوازمه كتلتهما $m = 85 \text{ kg}$ من طائرة توجد على ارتفاع $h = 1 \text{ km}$ من سطح الأرض بدون سرعة بدئية. عند اللحظة t_1 يفتح مظله على ارتفاع $h_1 = 700 \text{ m}$ من سطح الأرض حيث تصبح المضلة خاضعة لتأثير الهواء, ويمكن نمذجة

تأثير الهواء بشدة $F = KV^2$ حيث $K = 20 \text{ Kg/m}$ و V

سرعة المظلي بعد اللحظة t_1 و تبقى ثابتة و يصل إلى الأرض عند اللحظة t_2 .

1- أحسب طاقة الوضع الثقالية للمظلي عند اللحظة t_0 ثم استنتج قيمة الطاقة

الميكانيكية في هذه اللحظة

2- كيف تتغير طاقته الميكانيكية بين اللحظة t_0 و t_1 , ثم أحسب سرعته

مباشرة قبل اللحظة t_1

3- كيف تتغير طاقته الميكانيكية بين اللحظة t_1 و t_2 ثم استنتج سرعته بعد اللحظة t_1

4- حدد كمية الحرارة المكتسبة من طرف المجموعة بين اللحظة t_1



و اللحظة التي تتحقق فيه العلاقة $5E_C = E_{pp}$ العلاقة

تمرين 2 نمذجة حركة المتزحلق تتم بدون احتكاك

ينطلق متزحلق كتلته $m = 65\text{kg}$ من نقطة A بدون سرعة بدئية فوق مسار نصف دائري مركزه I و شعاعه $R = 5\text{m}$ يوجد على ارتفاع $h = 2\text{m}$ من سطح الأرض.

. باعتبار المستوى الأفقي المار من النقطة B كحالة مرجعية

1 - أحسب الطاقة الميكانيكية للمتزحلق عند النقطة A و B استنتج سرعته عند النقطة B

2 - حدد موضع النقطة C التي يصلها المتزحلق بعد أن يتجاوز النقطة B

3 - بين أن حركة المتزحلق تدبب بين موضعين قصويين اللذين يجب تحديدهما

4 - اقترح مبيانا يبين تغيرات الطاقة الحركية و طاقة الوضع الثقالية و الطاقة الميكانيكية

بدلالة الزمن خلال حركة المتزحلق بين الموضعين القصويين

5 - حدد أنسوب المتزحلق الذي تتساوى فيه الطاقة الحركية و طاقة الوضع الثقالية

6 - ماهي السرعة البدئية اللازمة لكي يغادر المتزحلق السكة ويصل إلى ارتفاع $h_1 = 4\text{m}$ من النقطة C ثم استنتج سرعة السقوط

على الأرض

7 - في الواقع السرعة عند النقطة B هي $V_B = 6\text{m/s}$ كيف تفسر ذلك ثم استنتج كمية الحرارة المبددة

E. الشغل و الطاقة الداخلية travail et énergie interne (خاص بالعلوم الرياضية)

التوجيهات

✓ تعرف الطاقة الداخلية

✓ يعطى المبدأ الأول للترموديناميك

أ. ابراز بعض مفاعيل الشغل

1. ارتفاع درجة الحرارة

نشاط وثائقي (ارتفاع درجة الحرارة)

استخدم الإنسان (المجرب) في عصور ما قبل التاريخ أساليب بدائية لتسهيل حياته منها إشعال النار عن طريق الاحتكاك بين قطعتين خشبيتين وقد أحدث هذا الموضوع تغييرا جذريا في حياته حيث أصبح بإمكانه الاستفادة من النار في الطهي والتدفئة والحماية من الحيوانات المفترسة



كيف تظهر الطاقة المكتسبة بالشغل في هذه التجربة بما أن للقوة المطبقة من طرف المجرب تشتغل وأدت إلى اشتعال النار نقول أن الطاقة المكتسبة بالشغل تظهر على شكل ارتفاع درجة الحرارة

استنتاج

ارتفاع درجة الحرارة يعد من بين مفاعيل الشغل

2. تغير الحالة الفيزيائية

نشاط وتاقبي (تغير الحالة الفيزيائية)

أثناء انزلاق المتزحلق فوق الجليد تظهر قطرات من الماء بين الزلاجة و الجليد



✓ ما هو السبب تحول الجليد إلى ماء ماذا تستنتج ؟

أثناء انزلاق المتزحلق ترتفع درجة الحرارة بين سطحي التماس بفعل اشتغال قوى الاحتكاك

استنتاج

تحول الحالة الفيزيائية لجسم ما يعد من بين مفاعيل الشغل المكتسبة

3. التشوه المرن

نشاط

نقوم بضغط غاز بواسطة مكبس متحرك وذلك

بتطبيق قوة $\vec{F}$ كما هو مبين في الشكل 1

نعتبر سرعة المكبس شبه منعدمة والانضغاط كطيم

✓ حدد قيمة ΔE_c

✓ حدد $W(\vec{F})$

الأجوبة

تحت تأثير القوة $\vec{F}$ ينتقل مكبس مقطعه S قاطعا

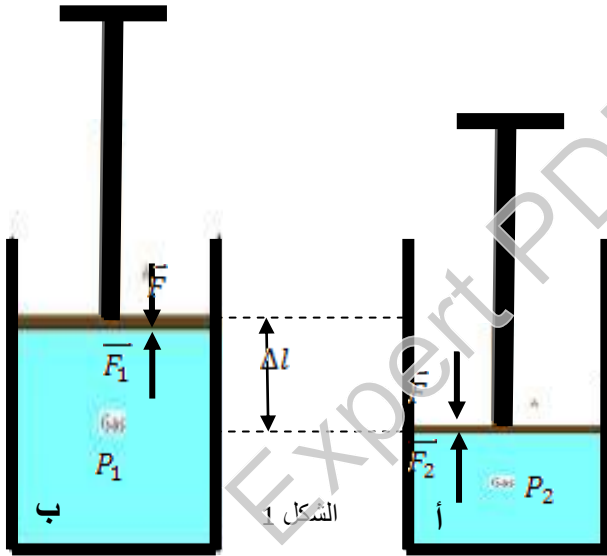
المسافة Δl ليصبح في توازن (الشكل 1 ب)

. جرد القوى عند التوازن

$\vec{F}$ تأثير القوى المطبقة من طرف المجرب

$\vec{F}_2$ القوى المطبقة من طرف الغاز

✓ بما أن سرعة المكبس شبه منعدمة فإن $\Delta E_c = 0$



تعبير $W(\vec{F})$ شغل القوة المطبقة من طرف المجرب على المكبس

لدينا : $W(\vec{F}) = F \cdot \Delta l$

نعتبر حالة (الشكل 1 أ) المكبس في حالة توازن أي $\vec{F} + \vec{F}_2 = \vec{0}$ ومنه $F_2 = F$

إذا كان P_2 هو ضغط الغاز في الحالة الشكل 1 أ، نكتب $F_2 = P_2 \cdot S$ إذن $F = P_2 \cdot S$

وبالتالي $W(\vec{F}) = P_2 \cdot S \cdot \Delta l$ حيث $V_1 - V_2 = S \cdot \Delta l$

وأخيرا نجد $W(\vec{F}) = P_2 (V_1 - V_2)$ أي $W(\vec{F}) = -P_2 (V_2 - V_1)$ ومنه فإن: $W(\vec{F}) = -P_2 \Delta V$

استنتاج

بما أن تغير الطاقة الحركية منعدم و شغل القوة $\vec{F}$ غير منعدم إذا الطاقة المكتسبة بالشغل من طرف الغاز تؤدي إلى تزايد الطاقة المخزونة في الغاز

عند منح طاقة بالشغل إلى مجموعة مرنة تشوه هذه الأخيرة ، فتكتسب طاقة تبقى مخزونة طالما المجموعة مشوهة

خلاصة

الشغل المكتسب من طرف جسم ما له مجموعة من المفاعيل:

✓ تغير درجة الحرارة

✓ تغير الحالة الفيزيائية

✓ تشوه المرن

و هذا الشغل المكتسب يتحول إلى طاقة مخالفة لطاقة الوضع الثقالية و الطاقة الحركية وهي شكل من أشكال الطاقة تسمى الطاقة الداخلية

II. الطاقة الداخلية

1. مفهوم الطاقة الداخلية

إن تطور مجموعة في السلم الماكروسكوبي (العياني) يمكن أن يصاحبه تحولات داخلية تؤثر على المكونات الميكروسكوبية (المجهريّة) ، في هذه الحالة نتكلم عن شكل جديد للطاقة يسمى **الطاقة الداخلية**

أمثلة

تغير الحالة الفيزيائية يؤدي إلى تغير في الروابط بين الجزيئات فتصبح أكثر حركية فتتكم عن الطاقة الحركية المجهريّة

التشوه المرن لمجموعة ما يؤدي إلى تغير في المسافة الفاصلة بين الجزيئات المكونة لها ، مما يؤدي الى تغير التأثيرات البينية المجهريّة بين الجزيئات المكونة للمجموعة فتتكم عن طاقة الوضع للتأثير البيني

2. تعريف

تساوي الطاقة الداخلية لمجموعة معزولة مجموع الطاقة الحركية المجهريّة E_{cmic} و طاقة الوضع للتأثير البيني المجهري E_{pmic} ونعبر عنها ب:

$$U = E_{cmic} + E_{pmic}$$

U رمز الطاقة الداخلية ووحدتها الجول رمزه ل

ملحوظة هامة

✓ العلاقة $U = E_{cmic} + E_{pmic}$ لا تمكن من حساب الطاقة الداخلية لأنه لا يمكن معرفة سرعات و مواضع الدقائق المكونة للمجموعة

3. تغير الطاقة الداخلية

1. انتقال الطاقة بالشغل

نشاط (المجموعة معزولا حراريا)

(<http://sciences-physiques.ac-dijon.fr/documents/Flash/pression/pression.swf>)

ماذا تلاحظ و كيف تفسر ذلك؟

نلاحظ أن ضغط الغاز يتزايد بتزايد القوة الضاغطة

تفسير

عندما يخضع الغاز إلى قوة خارجية تجزئ شغلا . يؤدي ذلك إلى تزايد ضغط المجموعة نتيجة تغير المسافات الفاصلة بين الجزيئات المكونة للمجموعة ، وبالتالي تغير الطاقة الداخلية للمجموعة ادن نقول أن الغاز يتبادل الطاقة مع المحيط الخارجي بالشغل و نعبر عن تغير الطاقة الداخلية في هذه الحالة بالعلاقة التالية:

$$\Delta U = W(\vec{F})$$

2. انتقال الطاقة بالحرارة

نشاط (المجموعة معزولا ميكانيكيا)

(<http://sciences-physiques.ac-dijon.fr/documents/Flash/pression/pression.swf>)

ماذا تلاحظ وكيف تفسر ذلك ؟

نلاحظ أن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى الزيادة في ارتجاج الجزيئات المكونة للغاز

تفسير

الزيادة في ارتجاج الجزيئات يؤدي إلى الزيادة في الطاقة الحركية المهيمنة للجزيئات و بالتالي تغير الطاقة الداخلية للمجموعة ، نقول إن الغاز يتبادل الطاقة مع المحيط الخارجي بالانتقال الحراري و نعبر عن تغير الطاقة الداخلية في هذه الحالة بالعلاقة التالية ب $\Delta U = Q$

تطبيق

تتوفر على اسطوانة تحتوي على حجم $V = 1L$ من الغاز نعتبره كاملا عند درجة حرارة $\theta = 20^\circ C$,مغلقة بواسطة مكبس كتلته $m = 500g$ و مساحته $S = 1.10^{-2} m$ يتحرك رأسيا بدون احتكاك .

نعطي $g = 10 \text{ N/kg}$

علما أن الضغط الخارجي هو $P_{atm} = 10^5 \text{ Pa}$

1. حدد تعبير P_1 ضغط الغاز داخل الاسطوانة ثم احسب قيمته

2. نضع فوق المكبس جسما C كتلته $M = 1 \text{ kg}$

a. حدد تعبير P_2 الضغط الجديد للغاز داخل الاسطوانة عندما يستقر المكبس و ياخذ الغاز درجة الحرارة البدئية تم أحسب قيمته

b. حدد تعبير X المسافة التي ينزل بها المكبس بدلالة P_1 و P_2 و S ثم V

c. حدد W تعبير شغل القوى الخارجية المطبقة على المكبس ثم أحسب قيمتها

d. ماذا يمكن القول عن الطاقة الداخلية

3. التبادل الطاقي على شكل حرارة و على شكل شغل

نشاط

(<http://sciences-physiques.ac-dijon.fr/documents/Flash/pression/pression.swf>)

المبدأ الأول للترموديناميك

ملاحظات وتفسير

تزايد شدة ارتجاج الجزيئات المكونة للمجموعة، و تتغير المسافة الفاصلة بينها نتيجة تغير في درجة الحرارة و تغير في شدة القوة الضاغطة (الشغل)، مما يتسبب في تغير الطاقة الداخلية للمجموعة

استنتاج

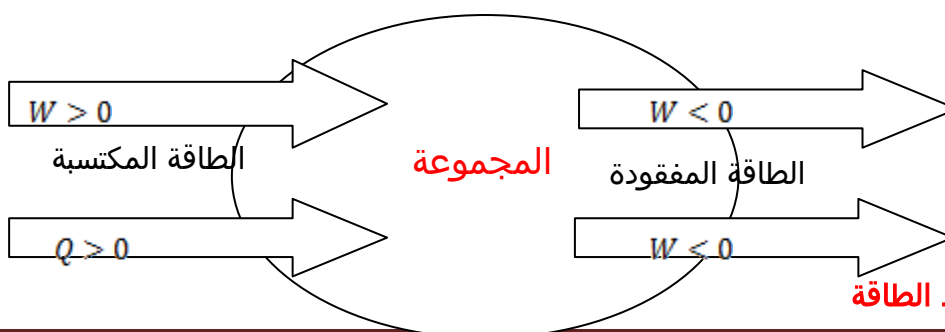
يساوي تغير الطاقة الداخلية لمجموعة معزولة ميكانيكيا و حراريا أثناء تحول ما، مجموع الطاقات المتبادلة مع المحيط الخارجي و نعبّر عنها ب:

$$\Delta U = Q + W$$

ملحوظة

بالنسبة للتحول الحلقى فان $\Delta U = 0$ و منه فان $Q = -W$ اذن هناك تكافؤ بين الشغل و الحرارة و يمكن مشاهدة في محرك السيارة أو الآلات البخارية القديمة

الإشارات الاصطلاحية



4. مبدأ انحفاظ الطاقة

1. الطاقة الكلية

يمكن أن نقرن بكل مجموعة في حالة معينة مقدار يسمى الطاقة الكلية و نرمز لها ب E_T حيث

$$E_T = U + E_{micanique}$$

E_m الطاقة الميكانيكية

5. مبدأ الانحفاظ

إذا كان التبادل الطاقي بين مجموعة و محيطها الخارجي مستحيلا نقول أن المجموعة معزول طاقياً أي أن طاقتها E_T تبقى ثابتة يعني تتحفظ ومنه فإن $\Delta E_T = 0$ و بالتالي فإن : $\Delta U = \Delta E_m$

تطبيقات

نعتبر آلة حرارية (آلة بخارية)، تستعمل هذه الآلة جسماً مائعاً الماء لانجاز التبادلات الحرارية بين منبع ساخن S_1 (مولد البخار) و منبع بارد S_2 (مكثف) وتمنح الطاقة بالشغل للمحيط الخارجي.

اشتغال هذه الآلة حلقى، مما يدل على أن الجسم المائع يرجع إلى حالته البدئية عند نهاية التحول. يمنح المنبع الساخن S_1 طاقة تساوي 10^3 J للجسم المائع و هذا الأخير يعيد 750 J للمنبع البارد S_2 .

1- عين الطاقة المكتسبة Q_1 و الطاقة الممنوحة Q_2 من طرف الجسم المائع بالانتقال الحراري.

2- عين تغير الطاقة الداخلية للجسم المائع خلال هذا التحول الحلقى.

3- عين إشارة و قيمة الطاقة W المتبادلة مع الجسم المائع بالشغل.

4- أنجز الحصيلة الطاقية للجسم المائع و استنتج قيمة الطاقة الميكانيكية E_m الناتجة من طرف الآلة خلال حلقة واحدة.

5- أوجد القدرة P لهذه الآلة علماً أنها أنجزت 3500 حلقة في الدقيقة.

5 - نعرّف المردود η لآلة بخارج الطاقة الميكانيكية الناتجة خلال حلقة إلى الطاقة التي تكتسبها الآلة من طرف المنبع الساخن. عين مردود هذه الآلة. ما هو رأيك؟

F. الطاقة الحرارية و الانتقال الحراري (خاص بالعلوم الرياضية)

التوجيهات

✓ يبرز من خلال تجارب بسيطة أن كمية الحرارة تتعلق بالكتلة و طبيعة المادة وبتغير درجة الحرارة و يعطى تعبير كمية الحرارة

✓ تعرف الحرارة الكتلية لجسم خالص و السعة الحرارية لمسعر

✓ تعرف الحرارة الكامنة لتغير الحالة لجسم صلب

✓ يشار إلى أن الحصيلة المسعرة لاتتعلق إلا بالحالتين البدئية و النهائية

ا. الانتقال الحراري

1 - تعريف

الانتقال الحراري انتقال طاقة يتم بين جسمين في ارتباط مادي بفعل اختلاف درجة حرارتهما فقط. ونميز 3 كيفيات للانتقال

أنظر (<http://www.tlv.com/global/FR/steam-theory/steam-heat-transfer.html>)

الانتقال بالتوصيل كيفية لانتقال الحرارة تتم بدون انتقال المادة

الحمل الحراري : كيفية لانتقال الحرارة يتم في وسط مائع بانتقال المادة

الانتقال بالإشعاع : كيفية لانتقال الحرارة يتم في وسط مادي

ملحوظة

يمكن لانتقال الطاقة الحراري أن يرفع درجة حرارة جسم أو أن يغير حالته الفيزيائية

ا. الطاقة الحرارية

1 - تعبير كمية الحرارة

نعتبر عن كمية الحرارة المكتسبة من طرف جسم كتلته m بالعلاقة التالية :

$$Q = mc(\theta_f - \theta_i) \quad \text{حيث :}$$

Q كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة من طرف من طرف جسم ما و حدها J

C الكتلة الحرارية للجسم و هي تمثل كمية الحرارة اللازم توفيرها لوحدة كتلة هذا الجسم من أجل

رفع درج حرارته ب $1^\circ C$ دون تغير حالته الفيزيائية . وهي تتميز طبيعة الجسم و حدها $J / .kg.K$ أو

$$J / .kg.C^\circ$$

m كتلة الجسم

نضع $\mu = mC$ و تسمى السعة الحرارية للجسم و هي تمثل كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة

الكتلة m لهذا الجسم ب $1^\circ C$ دون تغير حالته الفيزيائية , و وحدتها في النظام العالمي للوحدات هي

$$J / K \quad \text{أو} \quad J / C^\circ$$

ادن يمكن التعبير عن كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة بالتعبير: $Q = \mu(\theta_f - \theta_i)$

ملحوظة

نقبل أنه في حالة التسخين المنتظم , تتناسب كمية الحرارة المكتسبة مع مدة التسخين دون حدوث تغير

الحالة الفيزيائية

2 - نشاط تجريبي (تحديد السعة الحرارية)

تعريف المسعر جهاز تجريبي تكون التبادلات بين داخله وخارجه بطيئة جدا , الشيء الذي يمكن من

قياس التبادلات الطاقية بين الأجسام الموجودة داخله

نسخن كمية من الماء كتلته الحرارية C_e و كتلتها m_1 حتى تصل درجة حرارتها إلى θ_1 و نفرغ هذه الكمية

بسرعة في مسعر سعته الحرارية μ وبه كمية من الماء البار كتلتها m_2 و درجة حرارتها θ_2

نحرك الخليط فيحصل على التوازن الحراري حيث تصبح درجة حرارة المجموعة θ_e

1 - اعط تعبير تغير الطاقة الداخلية للمجموعة الباردة ΔU_1 تم المجموعة الساخنة ΔU_2

2 - اعط تعبير المعادلة المسعرية ثم استنتج السعة الحرارية للمسعر

المجموعة معزولا حراريا و طاقيا اذن $Q = 0$ و $W = 0$ اذن حسب المبدأ الأول لثرموديناميك فان

$\Delta U = 0$ اذن بعد عملية الحساب فان

$$\mu = -m_2 C_e - \frac{m_1 C_e (\theta_e - \theta_1)}{\theta_e - \theta_2}$$

3 - نشاط تجريبي (تحديد الحرارة الكتلية لفلز)

نقوم بتسخين قطعة فلزية كتلتها m_1 و حرارتها الكتلية C_F حيث تصبح حرارتها θ_1 , تم نضعها بسرعة

في مسعر سعته الحرارية μ به كمية من الماء البارد كتلتها m_2 و درجة حرارتها θ_2 . نحرك الخليط

فيحصل التوازن الحراري حيث تصبح درجة حرارة المجموعة هي θ_e

1 - اعط تعبير تغير الطاقة الداخلية للمجموعة الباردة ΔU_1 تم المجموعة الساخنة ΔU_2

2 - اعط تعبير المعادلة المسعرية ثم استنتج السعة الحرارية للمسعر

المجموعة معزولا حراريا و طاقيا اذن $Q = 0$ و $W = 0$ اذن حسب المبدأ الأول لثرموديناميك

فان

$\Delta U = 0$ اذن بعد عملية الحساب فان

$$C_F = \frac{(m_2 C_e + \mu)(\theta_e - \theta_2)}{m_1 (\theta_1 - \theta_e)}$$

III. الحرارة الكامنة لتغير الحالة الفيزيائية لجسم خالص

1 - الانصهار و التجمد

الانصهار هو ظاهرة تحول جسم صلب من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة حيث تبقى خلالها درجة

الحرارة الجسم ثابتة

و تسمى درجة حرارة انصهار الجسم الخالص θ_F

كمية الحرارة المكتسبة من طرف هذا الجسم تتناسب اضطرادا مع كتلة m هذا الجسم و نكتب $Q_F = mL_f$

L_f تسمى الحرارة الكامنة للانصهار , و هي تمثل كمية الحرارة اللازمة لوحدة كتلة هذا الجسم عند درجة

حرارة الانصهار و تحت ضغط معين لتحويلها كليا إلى الحالة السائلة , عند نفس درجة الحرارة و تحت نفس

الضغط , و تتعلق بطبيعة الجسم و وحتها J / Kg

ملحوظة

نعتبر عن كمية الحرارة التي يفقدها الجسم خلال التجمد عند درجة حرارة ثابتة θ_{Soli} إلى الوسط الخارجي:

$$Q_{Soli} = mL_{Soli} \quad L_{Soli} \text{ تسمى الحرارة الكامنة للتجمد حيث } L_{Soli} = -L_f$$

2 - التبخر والإسالة

كمية الحرارة Q_v اللازمة لتحويل كتلة m من جسم خالص كلياً من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية عند درجة حرارة ثابتة θ_v حيث يكون ضغط البخار المشبع ثابتاً تساوي $Q_v = mL_v$ الحرارة الكامنة لتبخروهي تمثل كمية الحرارة اللازمة لتوفيرها لوحدة كتلة هذا الجسم قصد تحويلها كلياً إلى غاز مع الإبقاء على ضغط البخار فوق السائل ثابتاً و مساوي لضغط البخار المشبع, وحدتها J / Kg

ملحوظة

نعتبر عن كمية الحرارة التي يفقدها الجسم خلال الإسالة عند درجة حرارة ثابتة θ_{li} إلى الوسط الخارجي:

$$Q_{li} = mL_{li} \quad L_{li} \text{ تسمى الحرارة الكامنة للإسالة حيث } L_{li} = -L_v$$

نشاط تجريبي (تحديد الحرارة الكامنة للانصهار)

نخرج قطعة ثلج من الثلاجة و عند ظهور أول قطرات الماء نجفف القطعة الجليدية و نفرغها في مسعر به ماء بارد كتلته m_2 و درجة حرارته θ_2 و كتلته الحرارية C_e . نحرك الخليط فيحصل التوازن الحراري عند درجة الحرارة θ_e

1 - اعط تعبير تغير الطاقة الداخلية للمجموعة الباردة ΔU_1 تم المجموعة الساخنة ΔU_2

2 - اعط تعبير المعادلة المسعرية ثم استنتج السعة الحرارية للمسعر

المجموعة معزولة حرارياً و طاقياً اذن $Q = 0$ و $W = 0$ اذن حسب المبدأ الأول لثرموديناميك فان

$$\Delta U = 0 \text{ اذن بعد عملية الحساب فان}$$

$$L_F = \frac{-(m_2 C_e + \mu)(\theta_e - \theta_2)}{m_1} - C_g \theta_e$$

من إنجاز الأستاذ صلاح الدين بنساعد 2010