قوانين نيوتن
Les lois de Newton

I ــ بعض المفاهيم الأساسية

1 ــ المرجع والمعلم

حركة الجسم الصلب هي **نسبية** أي تتعلق **بالجسم المرجعي** الذي اختير لدراسة هذه الحركة .
لدراسة حركة جسم ما ، يجب أن نختار جسم مرجعي :

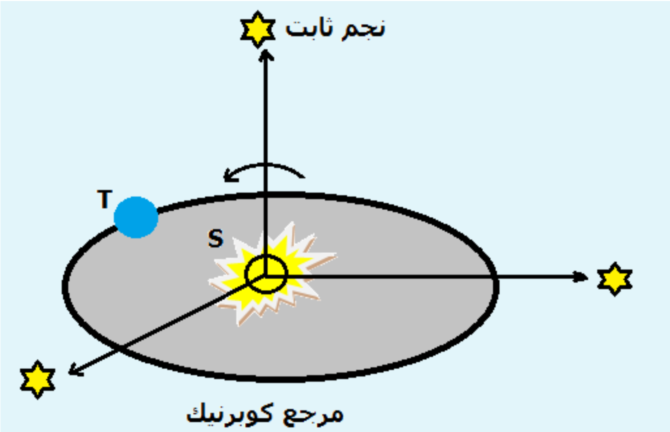
معلم للفضاء : يمكن من وصف الحركة ويتم اختياره وفق أبعاد الحركة $\mathscr{R}(0,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$

معلم الزمن : بصفة عامة يتم اختيار أصل معلم الزمن $t=0$ متطابق و موضع انطلاق الحركة

معلم الفضاء ومعلم الزمن مرتبطان بالجسم المرجعي

في جسم مرجعي ، يكون جسم صلب في حركة عندما يتغير موضع نقطه خلال الزمن

* نقتصر في دراسة حركة جسم صلب في جسم مرجعي ما على حركة **مركز قصوره G** والتي تمكننا من معرفة **حركته الإجمالية** .



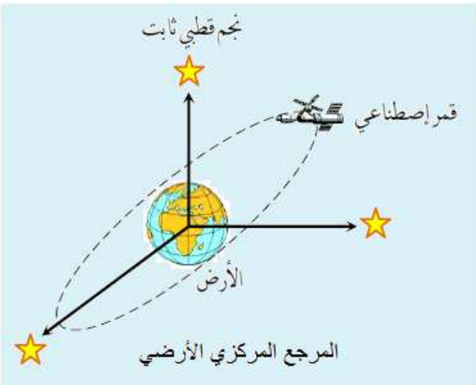
المراجع الغاليلية :

يمكِّن مبدأ مركز القصور من التمييز بين مراجع غاليلية ومراجع غير غاليلية : المراجع الغاليلية هي مراجع يتحقق فيها مبدأ القصور .

المراجع العملية

المرجع المركزي الشمسي (مرجع كوبرنيك) : مركزه الشمس ومحاوره ثلاث موجهة نحو ثلاثة نجوم ثابتة . أفضل مرجع غاليلي .

المرجع المركزي الأرضي : مركزه الأرض ملائم لدراسة حركات الأجسام التي تتحرك حول الأرض (الطائرات والأقمار الاصطناعية ..) ليس بمرجع غاليلي بالمعنى الدقيق .



المرجع الأرضي : كل جسم صلب مرتبط بسطح الأرض يمكن اعتباره مرجعا أرضيا . مثال : المختبر . ويستعمل لدراسة جميع الأجسام التي تتحرك على سطح الأرض أو على ارتفاع ضئيل منه . فهو ليس بمرجعا غاليليا بالمعنى الدقيق . بالنسبة للحركات قصيرة المدة يمكن اعتبار هذين المرجعين غاليليين .

2 ــ المقادير الحركية

2 ــ 1 متجهة الموضع

* نمعلم نقطة متحركة من جسم صلب بواسطة **متجهة الموضع** .

مثلا حركة مركز قصور الجسم (S) نمعلمها بالمتجهة : $\overrightarrow{OG}$ بحيث أن إحداثياتها في المعلم المتعامد والممنظم $\mathscr{R}(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ هي :

$$\boxed{\overrightarrow{OG}(t)=x(t)\vec{i}+y(t)\vec{j}+z(t)\vec{k}}$$

مجموع المواضع المتتالية التي تشغلها النقطة G خلال الزمن تكوِّن **المسار** (C) لهذه النقطة

2 ــ 2 متجهة السرعة اللحظية

أ ــ تعريف :

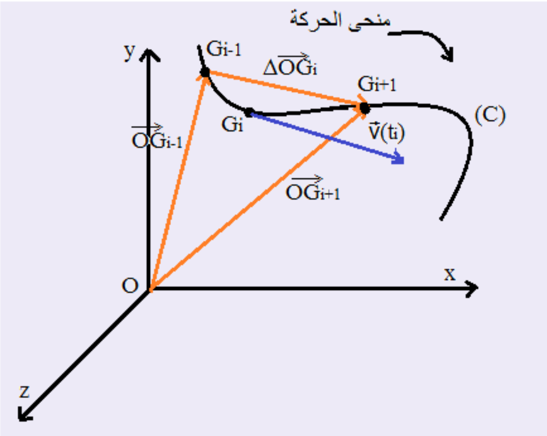
نعتبر $G(t_1)$ موضع مركز قصور المتحرك عند اللحظة t_1 و $G(t_2)$موضع مركز القصور للمتحرك عند اللحظة t_2 و $G(t_3)$ موضع مركز القصور عند اللحظة $t_3=t_1+\Delta t$ ، نعرف متجهة السرعة عند اللحظة t_2 بالعلاقة التالية :

$$\vec{v}(t_i)=\frac{\overrightarrow{G_{i-1}G_{i+1}}}{\Delta t}$$

هذه الطريقة تسمى بالطريقة التأطيرية تستعمل في حالة أن اللحظة t_i تكون مؤطرة من طرف لحظتين t_{i+1} و t_{i-1} جد متقاربتين .

رياضيا نبرهن على أن $\frac{\overrightarrow{G_{i-1}G_{i+1}}}{\Delta t}$ تؤول إلى المشتقة الأولى $\frac{d\overrightarrow{OG}}{dt}$ عندما تؤول $\Delta t \to 0$ أي إلى المستقيم المماس إلى المسار (C) في اللحظة t_i :

$$\boxed{\vec{v}_G = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\overrightarrow{G_{i+1}G_{i-1}}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\overrightarrow{OG}}{\Delta t} = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt}}$$



باعتبار أن $\Delta t = t_{i+1} - t_{i-1}$

مميزات متجهة السرعة :

تكون متجهة السرعة في نقطة معينة مماسة لمسار هذه النقطة وموجهة في منحى حركتها .

في حالة حركة مستقيمية يكون اتجاه متجهة السرعة متطابق مع مسار هذه النقطة .

وحدة السرعة في النظام العالي للوحدات هي m/s

ملحوظة : تتعلق متجهة السرعة بالجسم المرجعي الذي تتم فيه الدراسة .

ب ــ إحداثيات متجهة السرعة في معلم ديكارتي

في معلم متعامد وممنظم $\mathscr{R}(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ (معلم ديكارتي)

إحداثيات السرعة اللحظية هي :

$$\boxed{\overrightarrow{OG} = x_G\vec{i} + y_G\vec{j} + z_G\vec{k} \Rightarrow \vec{v}_G(t) = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt} = \frac{dx_G}{dt}\vec{i} + \frac{dy_G}{dt}\vec{j} + \frac{dz_G}{dt}\vec{k} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k} = \dot{x}_G\vec{i} + \dot{y}_G\vec{j} + \dot{z}_G\vec{k}}$$

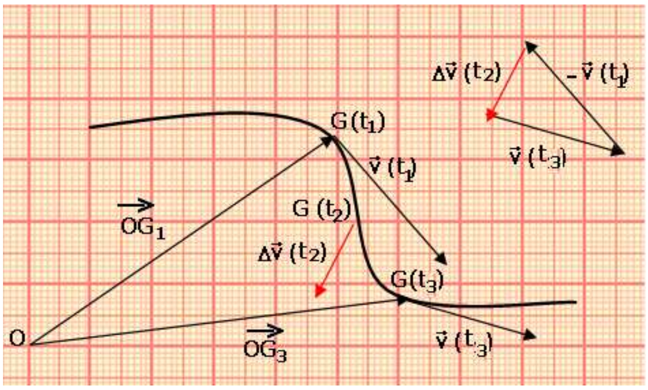
في حالة حركة مستوية لدينا

$$\boxed{\overrightarrow{OG} = x_G\vec{i} + y_G\vec{j} \Rightarrow \vec{v}_G(t) = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt} = \frac{dx_G}{dt}\vec{i} + \frac{dy_G}{dt}\vec{j} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} = \dot{x}_G\vec{i} + \dot{y}_G\vec{j}}$$

ومنظم السرعة هو : $\boxed{v_G = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}}$

2 ــ 3 متجهة التسارع اللحظي .

أ ــ تعريف



لتكن $\vec{v}(t_1)$ متجهة السرعة في اللحظة t_1 و $\vec{v}(t_3)$

في اللحظة $t_3 = t_1 + \Delta t$ نعرف متجهة التسارع $\vec{a}_G(t_2)$

بالعلاقة التالية :

$$\vec{a}_G(t_2) = \frac{\vec{v}(t_3) - \vec{v}(t_2)}{t_3 - t_2} = \frac{\Delta\vec{v}(t_2)}{\Delta t}$$

بصفة عامة تكتب متجهة التسارع في لحظة t هي : $\boxed{\vec{a}(t) = \frac{\Delta\vec{v}(t)}{\Delta t}}$

نستعمل هذه العلاقة في حالة أن اللحظة t_i مؤطرة بلحظتين t_{i+1} و t_{i-1} جد متقاربتين .

عندما تتناهى Δt نحو الصفر ، يتناهى المقدار $\frac{\Delta\vec{v}_G}{\Delta t}$ نحو متجهة

التسارع $\vec{a}_G(t)$ بحيث أن : $\vec{a}_G(t) = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta\vec{v}_G}{\Delta t}\right) = \frac{d\vec{v}_G}{dt}$

وحدة التسارع في النظام العالمي للوحدات هي m/s^2 .

ملحوظة : تتعلق متجهة التسارع بالجسم المرجعي الذي تتم فيه الدراسة .

ب ــ إحداثيات متجهة التسارع

* إحداثيات متجهة التسارع في معلم ديكارتي $\mathscr{R}(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$:

$$\vec{a}_G(t)=\frac{d\vec{v}_G}{dt}=\frac{dv_x}{dt}\vec{i}+\frac{dv_y}{dt}\vec{j}+\frac{dv_z}{dt}\vec{k}=\frac{d^2x_G}{dt^2}\vec{i}+\frac{d^2y_G}{dt^2}\vec{j}+\frac{d^2z_G}{dt^2}\vec{k}=\ddot{x}\vec{i}+\ddot{y}_G\vec{j}+\ddot{z}_G\vec{k}$$

3 ـ 3 حالات خاصة :

إذا كانت حركة G تتم على مستوى $(O,\vec{i},\vec{j})$ في معلم ديكارتي مرتبط بجسم مرجعي $\mathcal{R}$ تصبح العلاقات كالتالي :

$$\overrightarrow{OG}=x\vec{i}+y\vec{j},\vec{v}_G=\dot{x}\vec{i}+\dot{y}\vec{j},\vec{a}_G=\ddot{x}\vec{i}+\ddot{y}\vec{j}$$
$$v_G=\sqrt{v_x^2+v_y^2},a_G=\sqrt{a_x^2+a_y^2}$$

إذا كانت حركة G حركة مستقيمية تتم وفق المحور $(O,\vec{i})$ فإن العلاقات هي كالتالي :

$$\overrightarrow{OG}=x\vec{i},\vec{v}_G=\dot{x}\vec{i},\vec{a}_G=\ddot{x}\vec{i}$$

التمرين 1

إحداثيات مركز القصور G لمتحرك في معلم ديكارتي $\mathcal{R}(O,\vec{i},\vec{j})$ هي كالتالي :

$$x(t)=9t+3 \quad , \quad y(t)=6t^2+4t-3$$

1 ـ أوجد إحداثيات متجهة السرعة $\vec{v}_G$ في المعلم $\mathcal{R}(O,\vec{i},\vec{j})$ واحسب منظمها في اللحظة t=2s .

2 ـ أوجد إحداثيات متجهة التسارع $\vec{a}_G$ في المعلم $\mathcal{R}(O,\vec{i},\vec{j})$ واحسب قيمتها .

3 ـ 4 الحركة المستقيمية المتغيرة بانتظام

أ ـ تعريف

تكون لمركز القصور G لجسم صلب حركة مستقيمية متغيرة بانتظام ، إذا كان مسار G مستقيميا وإذا كانت $\vec{a}_G$ متجهة التسارع للنقطة G ثابتة خلال الحركة .

ب ـ المعادلة الزمنية للحركة

تعتبر أن جسما S يتحرك على مسار مستقيمي ، في معلم ديكارتي $\mathcal{R}(O,\vec{i})$ نمعلم مركز قصوره G في كل لحظة t بمتجهة الموضع $\overrightarrow{OG}=x\vec{i}$ أي أم متجهة السرعة للنقطة G هي $\vec{v}_G=v_G.\vec{i}$.

نعتبر الشروط البدئية التالية : عند اللحظة $t_0=0$ لدينا $x=x_0$ و $v_G=v_0$.

نعلم أن

$$a=\frac{dv}{dt}\Rightarrow v=at+C$$
$$t=0\Rightarrow v=v_0\Rightarrow C=v_0$$
$$\boxed{v=at+v_0} \qquad (1)$$
$$v=\frac{dx}{dt}=at+v_0\Rightarrow x=\frac{1}{2}at^2+v_0t+C'$$
$$t=0\Rightarrow x=x_0\Rightarrow C'=x_0$$
$$\boxed{x=\frac{1}{2}at^2+v_0t+x_0} \qquad (2)$$

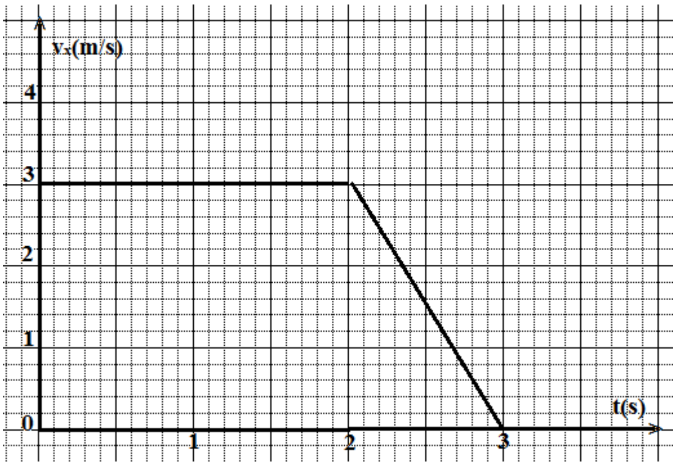
$x(t)$ تمثل المعادلة الزمنية للحركة وهي تتعلق بالشروط البدئية .

التمرين 2

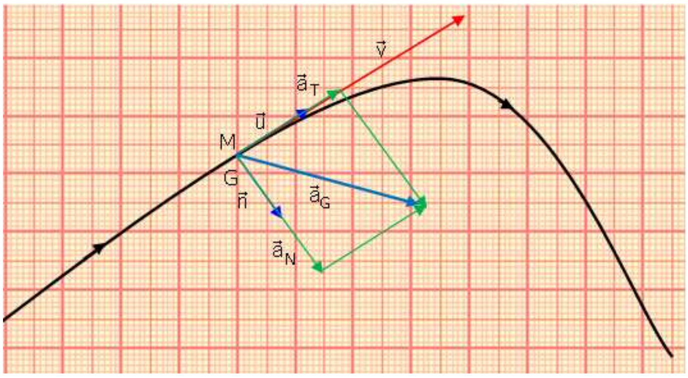
يمثل المنحنى جانبه تغيرات سرعة نقطة M من متحرك وفق مسار مستقيمي بدلالة t . في اللحظة t=0 النقطة M في حالة سكون وفي الموضع O (x=0)

1 ـ أوجد تعبير v(t) بدلالة الزمن t في المجالين التاليين :

ـ $[0;2s]$ و $[2s;3s]$



2 ـ حدد طبيعة الحركة في كل مجال .واحسب تسارعها
3 ـ اكتب المعادلة الزمنية لحركة النقطة M في كل مجال .



<u>3 ـ 5 إحداثيتا التسارع في أساس فريني .</u>

<u>تعريف بأساس فريني :</u>

أساس فيرني هو أساس للإسقاط غير مرتبط بالمرجع .
معلم فريني $(M,\vec{u},\vec{n})$ معلم متعامد وممنظم ينطبق أصله مع موضع النقطة المتحركة ، حيث متجهته الواحدية $\vec{u}$ مماسة للمسار وموجهة في منحى الحركة ، ومتجهته $\vec{n}$ متعامدة مع $\vec{u}$ وموجهة داخل انحناء المسار .
نعبر عن متجهة التسارع $\vec{a}_G$ في أساس فريني ، بالنسبة لحركة مستوية كالتالي :

$\boxed{\vec{a}_G = a_T.\vec{u} + a_N.\vec{n}}$ بحيث أن :

متجهة التسارع المماسي $\vec{a}_T$ بحيث أن $\boxed{a_T = \frac{dv_G}{dt}}$

متجهة التسارع المنظمي $\vec{a}_N$ $\boxed{a_N = \frac{v^2}{\rho}}$ بحيث أن ρ هو شعاع انحناء المسار في الموضع M .

<u>ملحوظة</u> : من خلال الجداء السلمي للمتجهتين $\vec{a}$ و $\vec{v}$ يمكن لنا تحديد طبيعة الحركة :

$\vec{a}.\vec{v} = a.v.\cos(\vec{a},\vec{v})$

تتعلق إشارة الجداء $\vec{a}.\vec{v}$ بالزاوية $\alpha = (\vec{a},\vec{v})$

$\vec{a}.\vec{v} < 0$ تكون الحركة متباطئة

$\vec{a}.\vec{v} > 0$ تكون الحركة متسارعة

$\vec{a}.\vec{v} = 0$ تكون الحركة مستقيمية منتظمة .

التمرين 3 ***

المعادلتان الزمنيتان لمركز قصور جسم صلب في معلم $(O,\vec{i},\vec{j})$ هما :

$$x = 3\cos\left(2t + \frac{\pi}{4}\right) \quad , \quad y = 3\sin\left(2t + \frac{\pi}{4}\right)$$

x و y بالمتر و t بالثانية .

1 ـ أوجد تعبير متجهة السرعة $\vec{v}_G$ في المعلم $(O,\vec{i},\vec{j})$ واستنتج منظمها .

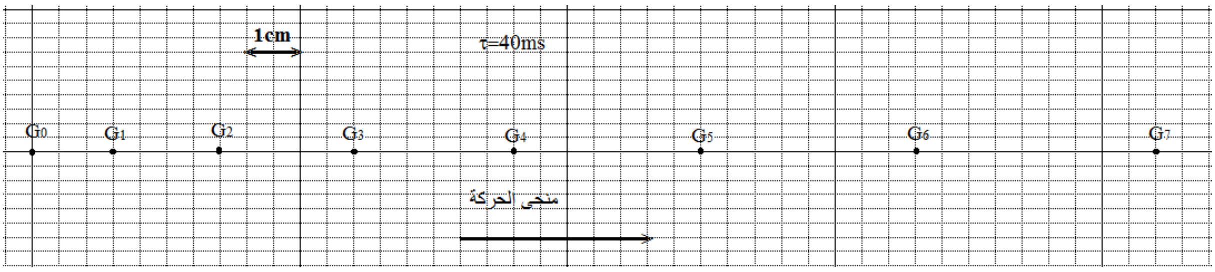
2 ـ أوجد تعبير متجهة التسارع $\vec{a}_G$ في المعلم $(O,\vec{i},\vec{j})$ واستنتج منظمها .

3 ـ أوجد تعبير متجهة التسارع $\vec{a}_G$ في أساس فريني .

II ـ الدرسة التجريبية لحركة مستوية

التجربة الأولى

نميل المنضدة بزاوية $\alpha = 20°$ بالنسبة للمستوى الأفقي . نطلق الحامل الذاتي من أعلى المنضدة بدون سرعة بدئية ونسجل مواضع مركز قصوره G خلال مدد زمنية متتالية ومتساوية $\tau = 40ms$ فنحصل على التسجيل (أ) .



1 ـ أحسب v_2 و v_4 سرعتا G مركز قصور الحامل الذاتي على التوالي في الموضعين G_2 و G_4 .

2 ـ مثل المتجهتين $\vec{v}_2$ و $\vec{v}_4$ باستعمال سلم ملائم . مثل في G_3 من كل تسجيل المتجهة $(\vec{v}_4 - \vec{v}_2)$.

3 ـ احسب منظم متجهة التسارع $\vec{a}_3$. ومثلها باستعمال سلم مناسب .

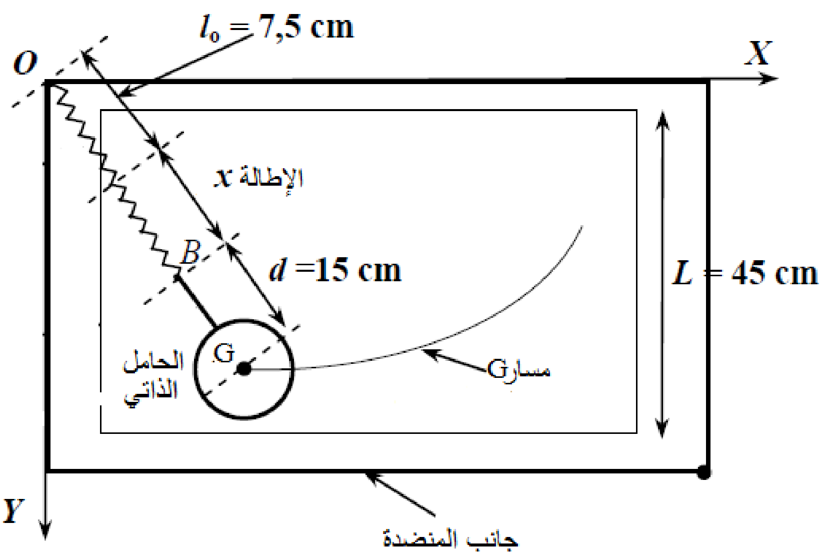
التجربة الثانية :

نعيد المنضدة إلى وضعها الأفقي ونربط الحامل الذاتي بنابض (R) أحد طرفيه مثبت بحامل ثابت مرتبط بالمنضدة ثم نطلقه من نقطة G_0 أنظر الشكل أسفله . نسجل مواضع مركز قصوره G خلال مدد زمنية متتالية ومتساوية $\tau = 50ms$. فنحصل على التسجيل (ب) .

الطول الأصلي للنابض : $\ell_0 = 7,5cm$

صلابة النابض $k = 8,2N/m$

كتلة الحامل الذاتي $m = 712,4g$



1 ـ أحسب v_5 و v_7 سرعتا G مركز قصور الحامل الذاتي على التوالي في الموضعين G_5 و G_7 .

2 ـ مثل المتجهتين $\vec{v}_5$ و $\vec{v}_7$ باستعمال سلم ملائم . مثل في G_6 من كل تسجيل المتجهة $(\vec{v}_7 - \vec{v}_5)$.

باستعمال السلم : $5cm \leftrightarrow 1m/s$

3 ـ احسب منظم متجهة التسارع $\vec{a}_6$. ومثلها باستعمال سلم مناسب .

التحقق التجريبي من العلاقة $\sum \vec{F}_{ext} = m\dfrac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$

باستعمال التسجيل السابق :

1 ـ نضع $\Delta\vec{v}_G = (\vec{v}_7 - \vec{v}_5)$ بين أن اتجاه $\Delta\vec{v}_G$ هو اتجاه المستقيم $\overrightarrow{OG_6}$ الذي يجسد محور النابض عند اللحظة t_6 استنتج $\left|\frac{\Delta\vec{v}_6}{\Delta t}\right|$

2 ـ ما هو اتجاه ومنحى $\frac{\Delta\vec{v}_G}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{v}_6}{\Delta t}$ مثل هذه المتجهة باستعمال السلم $1cm \leftrightarrow 1m/s^2$

3 ـ تحديد $\sum\vec{F}_{ext}$:

3 ـ 1 اجرد القوى الخارجية المطبقة على المجموعة { الحامل الذاتي + السلك }

3 ـ 2 مثل هذه القوى على التبيانة بدون سلم

3 ـ 3 أوجد تعبير $\sum\vec{F}_{ext}$

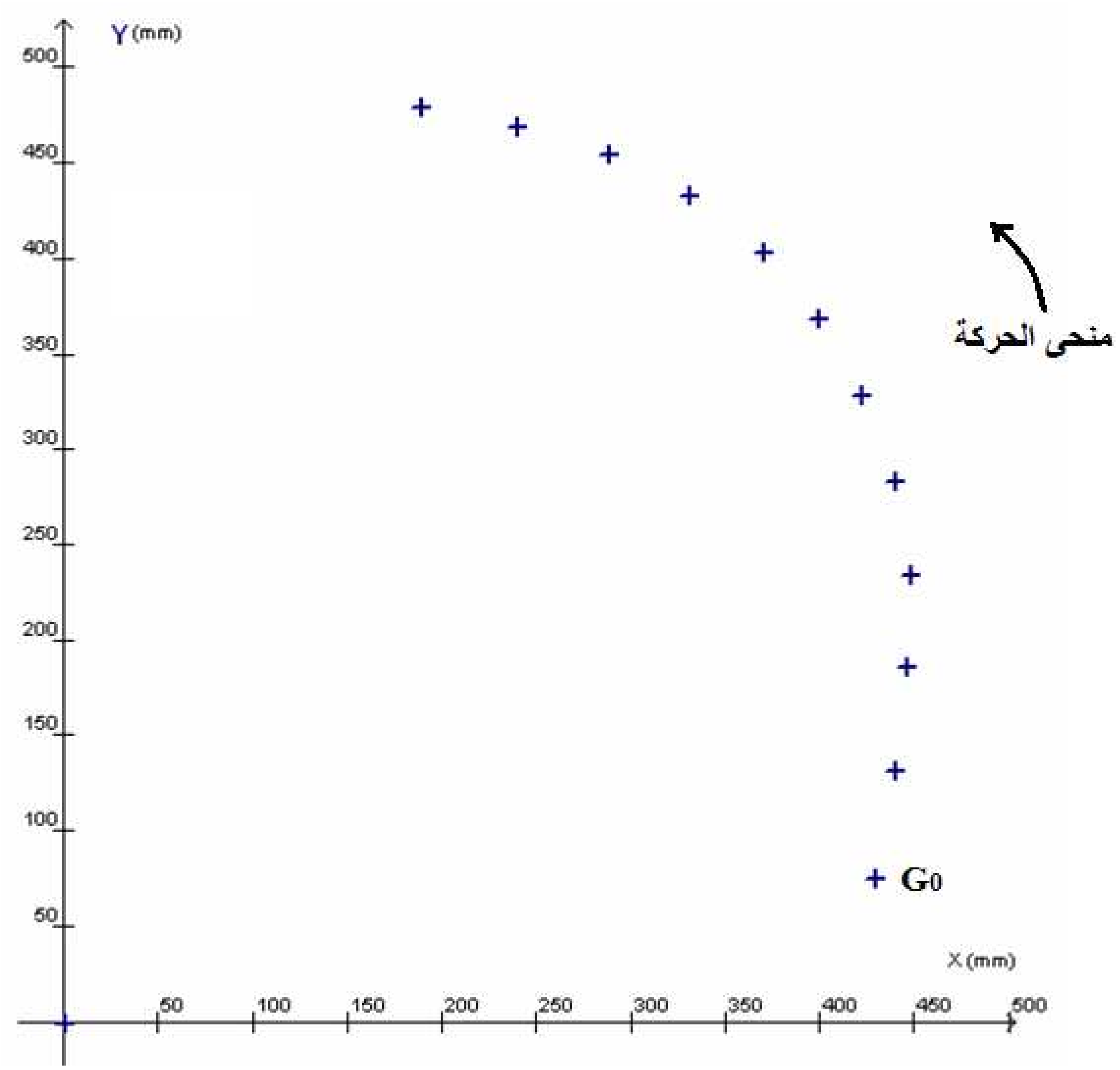
3 ـ 4 استنتج منحى واتجاه $\sum\vec{F}_{ext}$ وقارن بين $\sum\vec{F}_{ext}$ و $\frac{\Delta\vec{v}_G}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{v}_6}{\Delta t}$

4 ـ حساب $\sum\vec{F}_{ext}$

4 ـ 1 بالنسبة للموضع A_6 أحسب الإطالة x_6 للنابض

4 ـ 2 استنتج منظم $\sum\vec{F}_{ext}$ ومثل المتجهة $\sum\vec{F}_{ext}$ باستعمال السلم $2cm \leftrightarrow 1N$

5ـ قارن بين $\sum\vec{F}_{ext}$ و $m\times\left|\frac{\Delta\vec{v}_G}{\Delta t}\right|$



III ـ قوانين نيوتن

1 ـ القوة الداخلية ـ القوة الخارجية .

للقيام بدراسة ميكانيكية يجب تحديد المجموعة المدروسة وهي تتكون من جسم واحد أو أكثر . ما يسمح بتصنيف القوى المقرونة بالتأثيرات الميكانيكية بين مكوناتها إلى قوى داخلية وقوى خارجية .
القوة الخارجية هي كل التأثيرات الميكانيكية المطبقة على المجموعة من أجسام لا تنتمي إليها .
القوى الداخلية هي التأثيرات الميكانيكية المطبقة من طرف الأحسام المنتمية للمجموعة .

ملحوظة : إذا كان مجموع القوى الخارجية منعدما $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$ نقول أن هذه المجموعة شبه معزولة ميكانيكيا .

2 ـ القانون الأول لنيوتن أو مبدأ القصور

في مرجع غاليلي ، إذا كان مجموع القوى الخارجية المطبقة على جسم صلب يساوي متجهة منعدمة $\left(\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}\right)$، فإن متجهة السرعة $\vec{v}_G$ لمركز القصور G للجسم الصلب تكون ثابتة . وفي المقابل ، إذا كانت متجهة السرعة لمركز القصور G للجسم الصلب ثابتة ، فإن مجموع القوى الخارجية المطبقة على الجسم مجموع منعدم .

تمرين تطبيقي :

شاحنة متوقفة تحمل قطعة جليد كتلتها m=20kg .
1 ـ أجرد القوى المطبقة على قطعة الجليد .
2 ـ هل يتحقق مبدأ القصور بالنسبة للمرجع الأرضي، ثم بالنسبة لمرجع مرتبط بالشاحنة ؟ ماذا يمكن أن نقول عن المرجعين السابقين ؟
3 ـ تنطلق الشاحنة فتنزلق قطعة الجليد إلى الوراء ، فسر الظاهرة المشاهدة (نعتبر الاحتكاكات مهملة)

الجواب :
1 ـ جرد القوى المطبقة على قطعة الجليد :
$\vec{P}$ وزن قطعة الجليد .
$\vec{R}$ تأثير سطح الحافلة على قطعة الجليد .
2 ـ هل يتحقق مبدأ القصور بالنسبة للمرجع الأرضي ؟
نعم يتحقق مبدأ القصور لقطعة الجليد بالنسبة للمرجع الأرضي $(\mathscr{R})$ لأن الحافلة متوقفة أي أن قطعة الجليد شبه معزولة ميكانيكيا وبما أنها متوقفة فسرعة مركز قصورها كذلك منعدمة .
الجسم المرجعي $\mathscr{R}'$ المرتبط بالحافلة وبما أن الحافلة متوقفة كذلك الجسم المرجعي $\mathscr{R}'$ وبالتالي فهو يتطابق مع الجسم المرجعي الأرضي $\mathscr{R}$ إذن يتحقق فيه مبدأ القصور . $\mathscr{R}$ و $\mathscr{R}'$ مرجعان غليليان .
3 ـ عند انطلاق الحافلة ، سرعتها ستتغير من قيمة منعدمة إلى قيمة تخالف الصفر أي $\vec{v}_G \neq \vec{0}$ إذن حركة مركز قصورها حركة متغيرة بالنسبة للجسم المرجعي الأرضي أي أن $\sum \vec{F}_i \neq \vec{0}$ أي أن $\mathscr{R}'$ لا يبقى مرجعا غاليليا .

3 ـ القانون الثاني لنيوتن (القانون الأساسي للتحريك)

3 ـ 1 العلاقة بين $\frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$ و $\sum \vec{F}_{ext}$

النشاط التجريبي 2

التحقق التجريبي من العلاقة $\sum \vec{F}_{ext} = m\frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$

باستعمال التسجيل السابق :

1 ـ نضع $\Delta \vec{v}_G = (\vec{v}_7 - \vec{v}_5)$ بين أن اتجاه $\Delta \vec{v}_G$ هو اتجاه المستقيم $\overrightarrow{OG_6}$ الذي يجسد محور النابض عند اللحظة t_6 استنتج $\left|\frac{\Delta \vec{v}_6}{\Delta t}\right|$

2 ـ ما هو اتجاه ومنحى $\frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{v}_6}{\Delta t}$ مثل هذه المتجهة باستعمال السلم $1cm \leftrightarrow 1m/s^2$

3 ـ تحديد $\sum \vec{F}_{ext}$:

3 ـ 1 اجرد القوى الخارجية المطبقة على المجموعة { الحامل الذاتي + السلك }
3 ـ 2 مثل هذه القوى على التبيانة بدون سلم
3 ـ 3 أوجد تعبير $\sum \vec{F}_{ext}$

3 ــ 4 استنتج منحى واتجاه $\sum \vec{F}_{ext}$ **وقارن بين** $\sum \vec{F}_{ext}$ **و** $\frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{v}_6}{\Delta t}$

4 ــ حساب $\sum \vec{F}_{ext}$

4 ــ 1 بالنسبة للموضع A_6 **أحسب الإطالة** x_6 **للنابض**

4 ــ 2 استنتج منظم $\sum \vec{F}_{ext}$ **ومثل المتجهة** $\sum \vec{F}_{ext}$ **باستعمال السلم** $2cm \leftrightarrow 1N$

5ــ قارن بين $\sum \vec{F}_{ext}$ **و** $m \times \left| \frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t} \right|$

3 ــ 2 نص القانون الثاني لنيوتن .

عندما تتناهى Δt نحو الصفر يتناهى خارج القسمة $\frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$ نحو متجهة التسارع $\vec{a}_G$ ، فتصبح العلاقة

$\sum \vec{F}_{ext} = m\frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$ بمثابة قانون لحظي ، وهو القانون الثاني لنيوتن $\sum \vec{F}_{ext} = m.\vec{a}_G$

نص قانون :

في مرجع غاليلي ، يساوي مجموع القوى الخارجية المطبقة على جسم صلب جداء كتلة هذا الجسم ومتجهة التسارع لمركز قصوره G :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$$

<u>ملحوظة</u> : لا يطبق القانون الثاني لنيوتن إلا في المراجع الغاليلية .

<u>4 ــ القانون الثالث لنيوتن</u>

نص القانون : مبدأ التأثيرات المتبادلة .

نعتبر جسمين A و B في تأثير بيني ، لتكن $\vec{F}_{A/B}$ **القوة التي يطبقها A على B و** $\vec{F}_{B/A}$ **القوة التي يطبقها B على A .**

سواء كان الجسمان في حركة أو في سكون فإن القوتين $\vec{F}_{A/B}$ **و** $\vec{F}_{B/A}$ **تحققان المتساوية :**

$$\boxed{\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}}$$

يطبق هذا القانون بالنسبة لقوى التماس وكذلك بالنسبة لقوى عن بعد .

IV ــ تطبيقات : حركة جسم صلب على مستوى أفقي وعلى مستوى مائل .

1 ــ نعتبر جسما صلبا (S) كتلته M=200g ، موضوعا فوق مستوى أفقي بحيث يتم التماس بينهما بدون احتكاك . نطبق قوة أفقية ثابتة $\vec{F}$ **شدتها** $0,5N$ **و تسمح بتحريكه على المستوى الأفقي . خط تأثير القوة** $\vec{F}$ **موازي للمستوى الأفقي . نهمل جميع قوى الاحتكاك في هذه الحالة .**

بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على الجسم الصلب (S) أثناء حركة مركز قصوره G ، بين أن طبيعة حركة مركز قصوره حركة مستقيمية متغيرة بانتظام . أحسب قيمة التسارع a_G **لمركز قصوره .**

الجواب :

لتطبيق القانون الثاني لنيوتن نحدد المجموعة المدروسة : (S) .

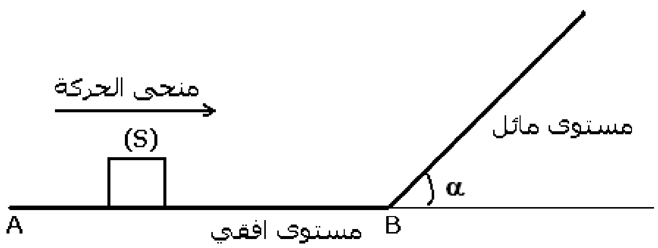
ونختار مرجعا غاليليا وهو المرجع الأرضي .

نقوم بجرد القوى المطبقة على المجموعة المدروسة : (S)

$\vec{P}$ وزن الجسم (S)

$\vec{F}$ القوة الأفقية الثابتة .

$\vec{R}$ تأثير السطح على (S) . في غياب الاحتكاك بين الجسم والسطح تكون المتجهة $\vec{R}$ عمودية على السطح الأفقي .

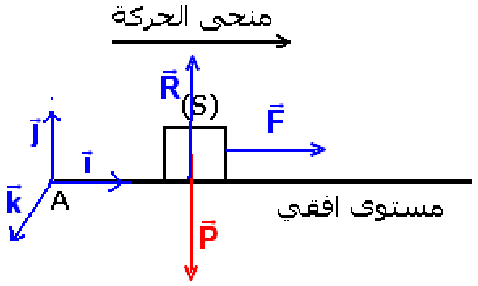


نطبق القانون الثاني لنيوتن ، القانون الأساسي للتحريك

$$\vec{P} + \vec{F} + \vec{R} = m.\vec{a}_G$$

إسقاط العلاقة المتجهية على المعلم المتعامد الممنظم $\mathscr{R}(O,\vec{i},\vec{j})$

على Ox لدينا : $P_x + R_x + F_x = m.a_1 \Rightarrow F = m.a_1 \quad (1)$



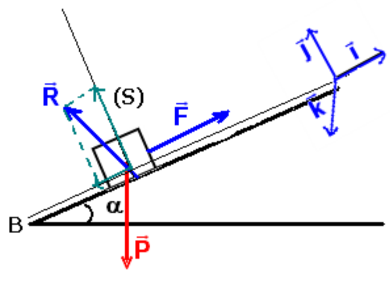
على Oy لدينا $P_y + F_y + R_y = 0$ غياب الحركة على المحور Oy
أي أن $R - P = 0 \Rightarrow R = P = mg$
حركة مركز قصور الجسم (S) حركة مستقيمية لأن مسار مركز قصور الجسم مستقيمي .
من خلال العلاقة (1) يتبين أن التسارع a لمركز قصور الجسم ثابت
حسب التعبير التالي : $a_1 = a_{1x} = \frac{F}{m} = Cte$
وبالتالي فحركة مركز قصور الجسم (S) حركة مستقيمية متغيرة بانتظام .
حساب التسارع a_1 : $a_1 = 2,5 m/s^2$

2 ــ في نقطة B ، تبعد عن النقطة A موضع انطلاقه بدون سرعة بدئية بمسافة $\ell = 30cm$ ، يصعد الجسم (S) مستوى مائلا بالنسبة للمستوى الأفقي بزاوية $\alpha = 45°$ حيث تبقى نفس القوة $\vec{F}$ مطبقة عليه ، خط تأثيرها موازي للمستوى المائل . نعتبر أن التماس بين المستوى المائل والجسم (S) يتم بالاحتكاك وأن معامل الاحتكاك في هذه الحالة هو k=0,1 .
ما هي طبيعة حركة مركز قصور الجسم (S) خلال حركته على المستوى المائل ؟
أحسب المسافة الدنوية التي يمكن أن يقطعها الجسم قبل توقفه .

الجواب :
نطبق القانون الثاني لنيوتن على الجسم (S) في الجزء الثاني من مساره وهو المستوى المائل .
نختار نفس المرجع السابق وهو المرجع الأرضي والذي نعتبر ه مرجعا غاليليا ونربطه بمعلم متعامد وممنظم $\mathscr{R}(O, \vec{i}, \vec{j})$
جرد القوى المطبقة على (S) :
$\vec{P}$ وزن الجسم (S)
$\vec{F}$ القوة الثابتة حيث اتجاهها موازي للمستوى المائل .
$\vec{R}$ تأثير السطح على (S) .
وجود الاحتكاك بين الجسم والسطح تكون المتجهة $\vec{R}$ مائلة بالنسبة للخط المنظمي على المستوى المائل بزاوية φ تسمى بزاوية الاحتكاك ومنحاها عكس منحى حركة الجسم (S) . نعرف معامل الاحتكاك بالعلاقة التالية

$$\boxed{k = \tan\varphi = \left|\frac{R_T}{R_N}\right|}$$

بحيث أن $\vec{R}_T$ المركبة المماسية للمتجهة $\vec{R}$ وهي التي تقاوم حركة الجسم تسمى بقوة الاحتكاك ونرمز لها ب $\vec{f}$ و $\vec{R}_N$ المركبة المنظمية على المستوى المائل للمتجهة $\vec{R}$



نطبق القانون الثاني لنيوتن ، القانون الأساسي للتحريك
$\vec{P} + \vec{F} + \vec{R} = m.\vec{a}_G$
إسقاط العلاقة المتجهية على المعلم المتعامد الممنظم $\mathscr{R}(O, \vec{i}, \vec{j})$
على Ox لدينا : $P_x + R_x + F_x = m.a_{2x} \Rightarrow -mg\sin\alpha - R_T + F = m.a_{2x}$ (1)
على Oy لدينا $P_y + F_y + R_y = 0$ غياب الحركة على المحور
Oy أي أن $R_N - mg\cos\alpha = 0 \Rightarrow R_N = mg\cos\alpha$
لدينا $k = \frac{R_T}{R_N} \Rightarrow R_T = k.R_N = k.mg\cos\alpha$ من العلاقة (1) نستنتج أن

$$-mg\sin\alpha - kmg\cos\alpha + F = m.a_{2x} \Rightarrow a_{2x} = \left(\frac{F}{m} - (g\sin\alpha + kg\cos\alpha)\right)$$

$$a_{2x} = a_{1x} - (g\sin\alpha + kg\cos\alpha)$$

يلاحظ من خلال التعبير أن a_2 ثابتة وأصغر من a_1 نظرا لوجود الاحتكاكات وكذلك المستوى المائل .
إذن فحركة مركز قصور الجسم (S) في هذا الجزء هي حركة مستقيمية متغيرة بانتظام .
قيمة التسارع a_2 هي : $a_{2x} = -5,12 m/s^2$ وبالتالي فإن $a_2 = 5,12 m/s^2$

نحسب المسافة الدنوية d_{min} التي يجب أن يقطعها الجسم قبل توقفه :

نطبق مبرهنة الطاقة الحركية بين النقطة B التي سيصل إليها الجسم في المرحلة الأولى بسرعة v_B والنقطة التي سيتوقف فيها الجسم (S) .

تذكير بمبرهنة الطاقة الحركية :

نص مبرهنة الطاقة الحركية

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

نعبر عن هذه المبرهنة بالعلاقة التالية :

$$\boxed{\Delta E_C = E_{C_f} - E_{C_i} = \sum \underset{i\to f}{W}\left(\vec{F}_{ext}\right)}$$

حيث E_{C_f} الطاقة الحركية للجسم في الحالة النهائية و E_{C_i} الطاقة الحركية في الحالة البدئية .

*** حساب v_B**

نطبق مبرهنة الطاقة الحركية مند انطلاقه من النقطة A إلى وصوله إلى النقطة B :

$$\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = \underset{A\to B}{W}\left(\vec{F}\right) \Rightarrow \frac{1}{2}mv_B^2 = F.\ell = m.a_{1x}.\ell$$

$$v_B = \sqrt{2.a_{1x}.\ell} = 1,22m/s$$

نطبق مبرهنة الطاقة الحركية لحساب d المسافة التي سيقطعها الجسم قبل توقفه :

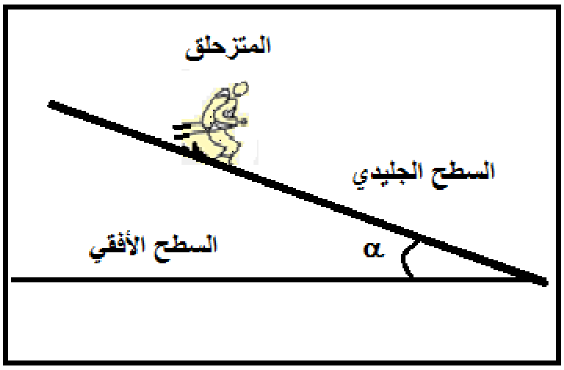
$$\frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_B^2 = \underset{B\to f}{W}\left(\vec{P}\right) + \underset{B\to f}{W}\left(\vec{R}\right) + \underset{B\to f}{W}\left(\vec{F}\right)$$

$$-\frac{1}{2}mv_B^2 = -mgd_{min}\sin\alpha - R_T.d_{min} + F.d \Rightarrow -\frac{1}{2}mv_B^2 = m.d_{min}\left(-g\sin\alpha - kg.\cos\alpha + \frac{F}{m}\right)$$

$$-\frac{1}{2}mv_B^2 = m.a_{2x}.d_{min}$$

$$\boxed{d_{min} = -\frac{v_B^2}{2a_{2x}} = 0,15m}$$

التمرين 2



متزحلق وزنه $P = 600N$ في محاولة أولى ، ينطلق على مستوى جليدي مستقيمي يكوّن زاوية $\alpha = 10°$ مع المستوى الأفقي بسرعة ثابتة .

<u>نهمل كل من قوى الاحتكاك الناتجة عن السطح الجليدى وكذا دافعة أرخميدس المطبقة من طرف الهواء أمام القوى الأخرى .</u>

<u>ننمذج احتكاك الهواء بقوة موازية للمنحدر ومعاكسة للحركة وقيمتها تتزايد وسرعة المتزحلق .</u>

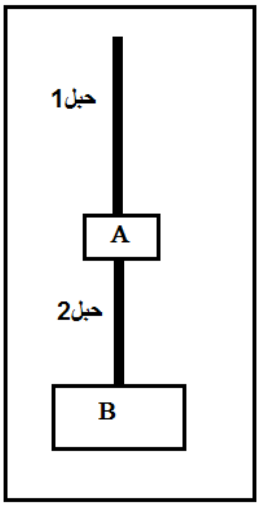
1 ـ أجرد القوى المطبقة على المتزحلق

2 ـ بتطبيق القانون الأول لنيوتن في مرجع مرتبط بسطح الأرض والذي نعتبره غاليليا ، حدد قيم جميع القوى المطبقة على المتزحلق

3 ـ في محاولة ثانية حيث ينطلق المتزحلق على منحدر جليدي مستقيمي يكوّن في هذه الحالة زاوية $\beta = 30°$ مع السطح الأفقي ، أوجد في هذه الحالة قيمة تسارعه وشدة القوة المطبقة من طرف السطح الجليدي على المتزحلق .

<u>نهمل جميع أنواع الاحتكاكات في هذه الحالة</u>

التمرين 3



جسمان A و B كتلتهما $m_A = 0,2kg$ و $m_B = 0,3kg$ معلقان على التوالي بواسطة حبلين غير مدودين وكتلتهما مهملة (أنظر الشكل)

ونأخذ $g = 9,8m/s^2$

حدد توتري الحبلين في الحالات التالية :

1 ـ الجسمان A و B في حالة سكون

2 ـ الجسمان يصعدان بسرعة ثابتة $v = 5m/s$

3 ـ الجسمان في حركة رأسية نحو الأعلى بتسارع ثابت $a = 2m/s^2$

4 ـ الجسمان في حركة رأسية نحو الأسفل بتسارع ثابت $a = 2m/s^2$

5 ـ إذا كان التوتر الأقصى الممكن هو $10N$ ما هو التسارع الأقصى الممكن للجسمين عندما يصعدان في حركة رأسية نحو الأعلى ؟