

قوانين نيوتن  
Les lois de Newton

I - بعض المفاهيم الأساسية

1 - 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 الفضاء** : يمكن من وصف الحركة ويتم اختياره وفق أبعاد الحركة  $\mathcal{R}(0, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$

**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 يمكننا من

معرفة **حركته الإجمالية** .

**المراجع الغاليلية :**

يمكن 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

بمرجع غاليليا بالمعنى الدقيق . بالنسبة للحركات قصيرة المدة يمكن اعتبار هذين المرجعين غاليليين .

2 - المقادير الحركية

2 - 1 متجهة الموضع

\* نعلم نقطة متحركة من جسم صلب بواسطة **متجهة الموضع** .

مثلا حركة مركز قصور الجسم (S) نعلمها بالمتجهة :  $\overrightarrow{OG}$  بحيث أن

إحداثياتها في المعلم المتعامد والممنظم  $\mathcal{R}(0, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  هي :

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

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

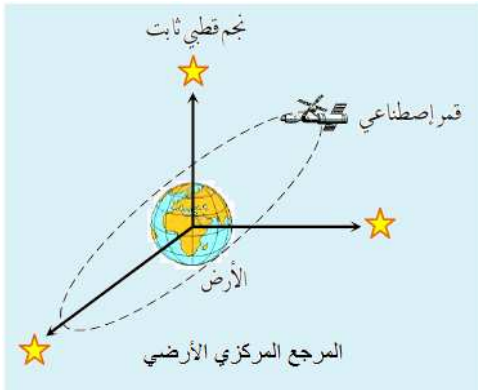
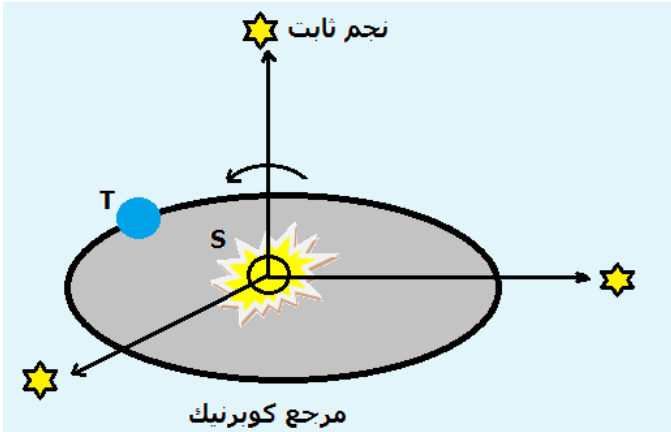
2 - 2 متجهة السرعة اللحظية

**أ - 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 :

$$\vec{v}(t_2) = \frac{\overrightarrow{G_{i-1}G_{i+1}}}{\Delta t}$$

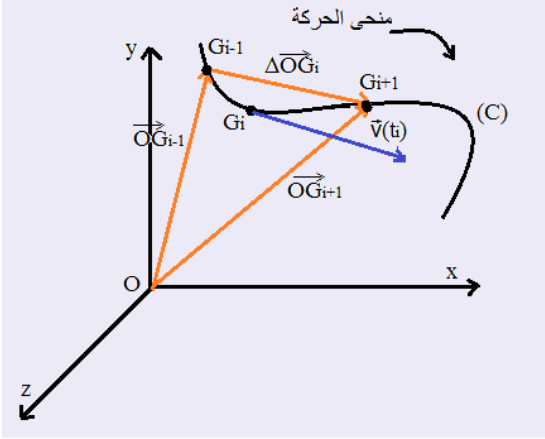
هذه الطريقة تسمى بالطريقة التأطيرية تستعمل في حالة أن اللحظة  $t_i$  تكون مؤطرة من طرف لحظتين  $t_{i-1}$  و  $t_{i+1}$  .  
جد متقاربتين .



## الميكانيك : قوانين نيوتن

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

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



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 منحنى حركتها .  
في حالة حركة مستقيمة يكون اتجاه متجهة السرعة متطابق مع مسار هذه النقطة .

وحدة السرعة في النظام العالمي للوحدات هي m/s

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

### ب - إحدائيات متجهة السرعة في معلم ديكارتي

في معلم متعامد وممنظم  $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  ( معلم ديكارتي ) إحدائيات السرعة اللحظية هي :

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

في حالة حركة مستوية لدينا

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

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

## 2 - 3 متجهة التسارع اللحظي .

### أ - 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 نكتب متجهة التسارع في

$$\vec{a}(t) = \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t} \quad \text{لحظة } t \text{ هي}$$

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

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

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

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

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

### ب - إحدائيات متجهة التسارع

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

## الميكانيك : قوانين نيوتن

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

### 3 - 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 :

$$\vec{OG} = x\vec{i} + y\vec{j}, \vec{v}_G = \dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j}, \vec{a}_G = \ddot{x}\vec{i} + \ddot{y}\vec{j}$$

$$v_G = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}, a_G = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$

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

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

### التمرين 1

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

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

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

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

### 3 - 4 الحركة المستقيمة المتغيرة بانتظام

#### أ - تعريف

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

#### ب - المعادلة الزمنية للحركة

تعتبر أن جسماً S يتحرك على مسار مستقيماً ، في معلم ديكارتي  $\mathcal{R}(O, \vec{i})$  نمعلم مركز قصوره G في كل

لحظة t بمتجهة الموضع  $\vec{OG} = x\vec{i}$  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

$$a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow v = at + C$$

$$t = 0 \Rightarrow v = v_0 \Rightarrow C = v_0$$

$$v = at + v_0 \quad (1)$$

$$v = \frac{dx}{dt} = at + v_0 \Rightarrow x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + C'$$

$$t = 0 \Rightarrow x = x_0 \Rightarrow C' = x_0$$

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0 \quad (2)$$

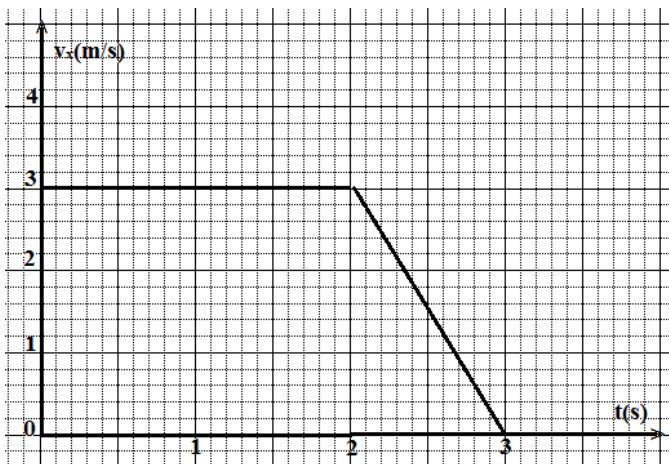
$x(t)$  تمثل المعادلة الزمنية للحركة وهي تتعلق بالشروط البدئية .

### التمرين 2

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

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

-  $[0; 2s]$  و  $[2s; 3s]$



## الميكانيك : قوانين نيوتن

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

### 3 \_ 5 إحدائنا التسارع في أساس فريني .

#### تعريف أساس فريني :

أساس فريني 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 منحنى الحركة ، ومتجهته  $\vec{n}$  متعامدة مع  $\vec{u}$  وموجهة داخل انحناء المسار .  
نعتبر عن متجهة التسارع  $\vec{a}_G$  في أساس فريني ، بالنسبة لحركة مستوية كالتالي :

$$\vec{a}_G = a_T \cdot \vec{u} + a_N \cdot \vec{n} \quad \text{بحيث أن :}$$

$$a_T = \frac{dv_G}{dt} \quad \text{متجهة التسارع المماسي بحيث أن}$$

$$a_N = \frac{v^2}{\rho} \quad \text{بحيث أن } \rho \text{ هو شعاع انحناء المسار في الموضع } M .$$

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

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

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

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

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

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

### التمرين 3 \*\*\*

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

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

x و y بالمتر و t بالثانية .

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

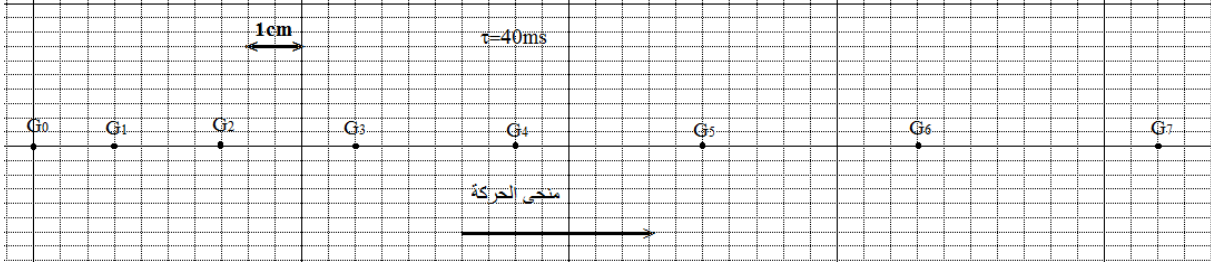
2 \_ أوجد تعبير متجهة التسارع  $\vec{a}_G$  في المعلم  $(O, \vec{i}, \vec{j})$  واستنتج منظمها .

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

II - الدراسة التجريبية لحركة مستوية

التجربة الأولى

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



- 1 - أحسب  $v_4$  و  $v_2$  سرعتنا G مركز قصور الحامل الذاتي على التوالي في الموضعين  $G_4$  و  $G_2$  .
- 2 - مثل المتجهتين  $\vec{v}_4$  و  $\vec{v}_2$  باستعمال سلم ملائم . مثل في  $G_3$  من كل تسجيل المتجهة  $(\vec{v}_4 - \vec{v}_2)$  .
- 3 - احسب منظم متجهة التسارع  $\vec{a}_3$  . ومثلها باستعمال سلم مناسب .

التجربة الثانية :

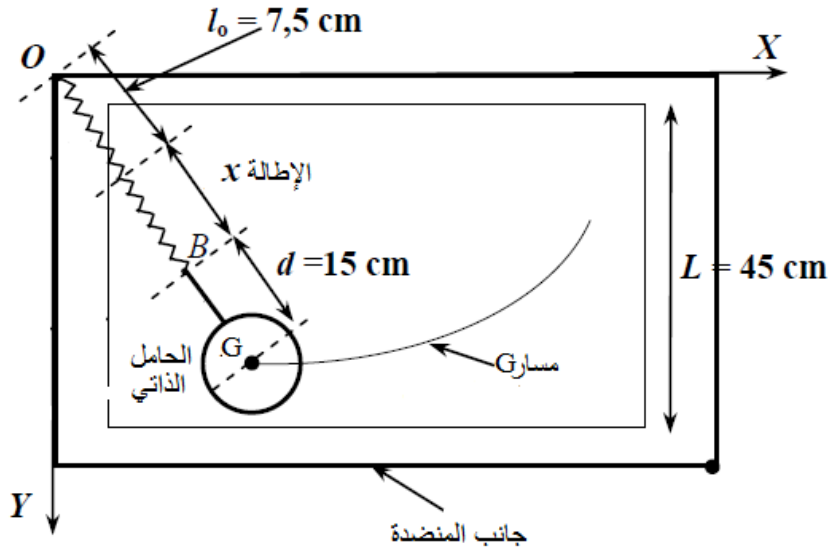
نعيد المنضدة إلى وضعها الأفقي ونربط الحامل الذاتي بنابض (R) أحد طرفيه مثبت بحامل ثابت مرتبط بالمنضدة ثم نطلقه من نقطة  $G_0$  أنظر الشكل أسفله . نسجل مواضع مركز قصوره G خلال مدد زمنية متتالية ومتساوية

$\tau = 50\text{ms}$  . فنحصل على التسجيل (ب) .

الطول الأصلي للنابض :  $l_0 = 7,5\text{cm}$

صلابة النابض  $k = 8,2\text{N/m}$

كتلة الحامل الذاتي  $m = 712,4\text{g}$



- 1 - أحسب  $v_7$  و  $v_5$  سرعتنا G مركز قصور الحامل الذاتي على التوالي في الموضعين  $G_7$  و  $G_5$  .
- 2 - مثل المتجهتين  $\vec{v}_7$  و  $\vec{v}_5$  باستعمال سلم ملائم . مثل في  $G_6$  من كل تسجيل المتجهة  $(\vec{v}_7 - \vec{v}_5)$  .
- 3 - احسب منظم متجهة التسارع  $\vec{a}_6$  . ومثلها باستعمال سلم مناسب .

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

باستعمال التسجيل السابق :

## الميكانيك : قوانين نيوتن

1 - نضع  $\Delta \vec{v}_G = (\vec{v}_7 - \vec{v}_5)$  بين أن اتجاه  $\Delta \vec{v}_G$  هو اتجاه المستقيم  $\overline{OG_6}$  الذي يجسد محور النابض عند اللحظة

$$t_6 \text{ استنتج } \left| \frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t} \right|$$

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

3 - تحديد  $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$  :

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

3 - 2 مثل هذه القوى على التبيانة بدون سلم

3 - 3 أوجد تعبير  $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$

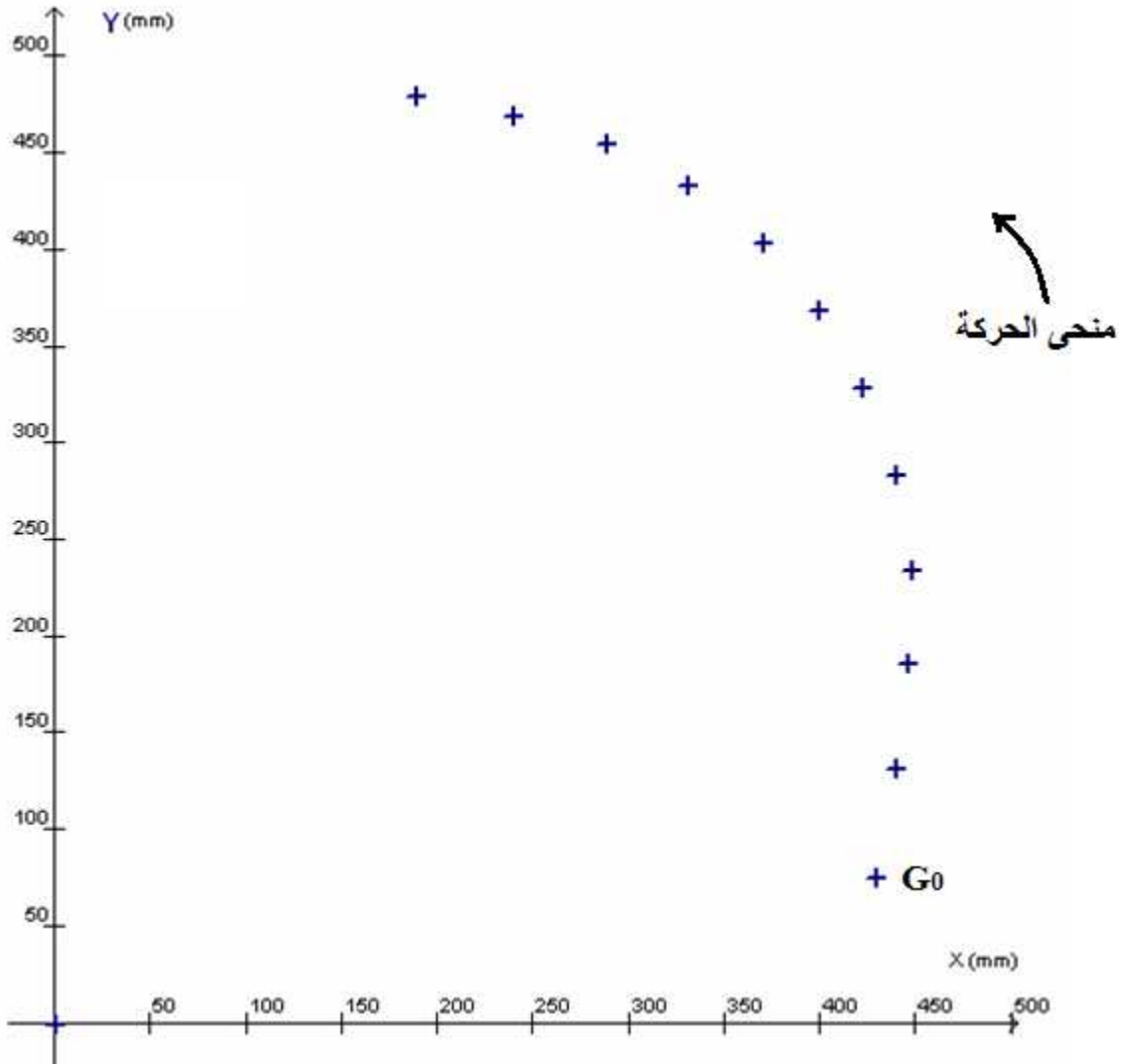
3 - 4 استنتج منحى واتجاه  $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$  وقارن بين  $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$  و  $\frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$

4 - حساب  $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$

4 - 1 بالنسبة للموضع  $A_6$  أحسب الإطالة  $x_6$  للنابض

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

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



III - قوانين نيوتن

1 - القوة الداخلية - 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 الأقسام المنتمية للمجموعة .

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

2 - القانون الأول لنيوتن أو مبدأ القصور

في مرجع غاليلي ، إذا كان مجموع القوى الخارجية المطبقة على جسم صلب يساوي متجهة منعدمة ( $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$ ) ، 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  $m=20\text{kg}$  .

- 1 - أجرد القوى المطبقة على قطعة الجليد .
- 2 - هل يتحقق مبدأ القصور بالنسبة للمرجح الأرضي ، ثم بالنسبة لمرجع مرتبط بالشاحنة ؟ ماذا يمكن أن نقول عن المرجعين السابقين ؟
- 3 - تنطلق الشاحنة فتزلق قطعة الجليد إلى الورا ، ففسر الظاهرة المشاهدة ( نعتبر الاحتكاكات مهملة )

الجواب :

1 - جرد القوى المطبقة على قطعة الجليد :

$\vec{P}$  وزن قطعة الجليد .

$\vec{R}$  تأثير سطح الحافلة على قطعة الجليد .

2 - هل يتحقق مبدأ القصور بالنسبة للمرجح الأرضي ؟

نعم يتحقق مبدأ القصور لقطعة الجليد بالنسبة للمرجح الأرضي ( R ) لأن الحافلة متوقفة أي أن قطعة الجليد شبه معزولة ميكانيكيا وبما أنها متوقفة فسرعة مركز قصورها كذلك منعدمة .

$\mathcal{R}'$  الجسم المرجعي المرتبط بالحافلة وبما أن الحافلة متوقفة كذلك الجسم المرجعي  $\mathcal{R}'$  وبالتالي فهو يتطابق مع الجسم المرجعي الأرضي  $\mathcal{R}$  إذن يتحقق فيه مبدأ القصور .  $\mathcal{R}$  و  $\mathcal{R}'$  مرجعان غاليليان .

3 - 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  $\mathcal{R}'$  لا يبقى مرجعا غاليليا .

3 - القانون الثاني لنيوتن ( القانون الأساسي للحريك )

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

النشاط التجريبي 2

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

باستعمال التسجيل السابق :

1 - نضع  $\Delta \vec{v}_G = (\vec{v}_7 - \vec{v}_5)$  بين أن اتجاه  $\Delta \vec{v}_G$  هو اتجاه المستقيم  $\overline{OG_6}$  الذي يجسد محور النابض عند

اللحظة  $t_6$  استنتج  $\left| \frac{\Delta \vec{v}_6}{\Delta t} \right|$

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

3 - تحديد  $\sum \vec{F}_{ext}$  :

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

3 - 2 مثل هذه القوى على التبيانة بدون سلم

3 - 3 أوجد تعبير  $\sum \vec{F}_{ext}$

## الميكانيك : قوانين نيوتن

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

4 - حساب  $\sum \vec{F}_{ext}$

4 - 1 بالنسبة للموضع  $A_6$  أحسب الإطالة  $x_6$  لل نابض

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

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

3 - 2 نص القانون الثاني لنيوتن .

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

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

**نص قانون :**

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

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

**ملحوظة :** لا يطبق القانون الثاني لنيوتن إلا في المراجع الغاليلية .

4 - القانون الثالث لنيوتن

**نص القانون :** مبدأ التأثيرات المتبادلة .

نعتبر جسمين  $A$  و  $B$  في تأثير بيني ، لنكن  $\vec{F}_{A/B}$  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 :

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

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

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

1 - نعتبر جسما صلبا  $(S)$  كتلته  $M=200\text{g}$  ، موضوعا فوق مستوى أفقي بحيث يتم التماس بينهما بدون احتكاك . نطبق قوة أفقية ثابتة  $\vec{F}$  شدتها  $0,5\text{N}$  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 مستقيمة 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

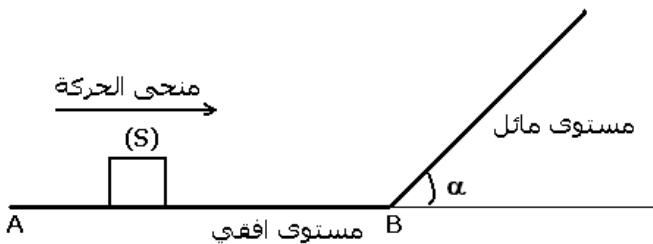
الجسم والسطح تكون المتجهة  $\vec{R}$  عمودية على السطح الأفقي .

نطبق القانون الثاني لنيوتن ، القانون الأساسي للتحريك

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

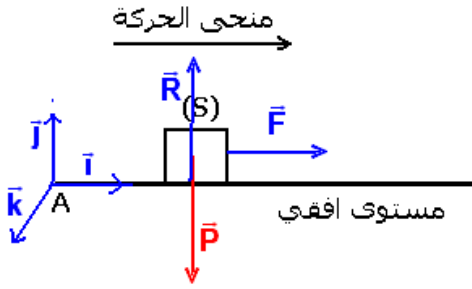
إسقاط العلاقة المتجهية على المعلم المتعامد الممنظم  $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j})$

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





## الميكانيك : قوانين نيوتن



على  $Oy$  لدينا  $P_y + F_y + R_y = 0$  غياب الحركة على المحور  $Oy$

$$R - P = 0 \Rightarrow R = P = mg$$

حركة مركز قصور الجسم (S) حركة مستقيمة لأن مسار مركز قصور الجسم مستقيمي .

من خلال العلاقة (1) يتبين أن التسارع  $a$  لمركز قصور الجسم ثابت

$$\text{حسب التعبير التالي : } a_1 = a_{1x} = \frac{F}{m} = \text{Cte}$$

وبالتالي فحركة مركز قصور الجسم (S) حركة مستقيمة متغيرة بانتظام .

$$\text{حساب التسارع } a_1 : a_1 = 2,5 \text{ m/s}^2$$

**2 - في نقطة B ، تبعد عن النقطة A موضع انطلاقه بدون سرعة بدئية بمسافة  $\ell = 30 \text{ cm}$  ، يصعد الجسم (S) مستوى مائلا بالنسبة للمستوى الأفقي بزواوية  $\alpha = 45^\circ$  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 نعتبره مرجعا غاليليا ونربطه بمعلم متعامد وممنظم

$$\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j})$$

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 بزواوية  $\varphi$  تسمى بزواوية الاحتكاك ومنحاهها عكس منحى حركة الجسم (S) . نعرف معامل الاحتكاك بالعلاقة التالية

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

بحيث أن  $\vec{R}_T$  المركبة المماسية للمتجهة  $\vec{R}$  وهي التي تقاوم حركة الجسم تسمى بقوة الاحتكاك ونرمز لها بـ

$\vec{f}$  و  $\vec{R}_N$  المركبة المنظمة على المستوى المائل للمتجهة  $\vec{R}$

نطبق القانون الثاني لنيوتن ، القانون الأساسي للتحرير

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

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

$$\text{على } Ox \text{ لدينا : } P_x + R_x + F_x = m \cdot a_{2x} \Rightarrow -mg \sin \alpha - R_T + F = m \cdot a_{2x} \quad (1)$$

على  $Oy$  لدينا  $P_y + F_y + R_y = 0$  غياب الحركة على المحور

$$\text{أي أن } Oy \text{ لدينا } R_N - mg \cos \alpha = 0 \Rightarrow R_N = mg \cos \alpha$$

$$\text{لدينا } k = \frac{R_T}{R_N} \Rightarrow R_T = k \cdot R_N = k \cdot mg \cos \alpha \text{ نستنتج أن}$$

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

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

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 مستقيمة متغيرة بانتظام .

$$\text{قيمة التسارع } a_2 \text{ هي : } a_{2x} = -5,12 \text{ m/s}^2 \text{ وبالتالي فإن } a_2 = 5,12 \text{ m/s}^2$$

## الميكانيك : قوانين نيوتن

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 .  
 نعتبر عن هذه المبرهنة بالعلاقة التالية :

$$\Delta E_C = E_{C_f} - E_{C_i} = \sum_{i \rightarrow f} W(\vec{F}_{\text{ext}})$$

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 :

$$\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) \Rightarrow \frac{1}{2}mv_B^2 = F \cdot \ell = m \cdot a_{1x} \cdot \ell$$

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

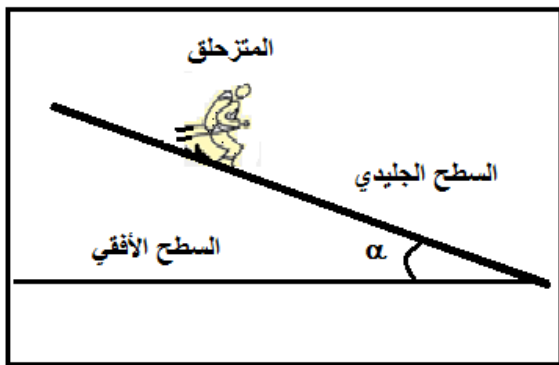
نطبق مبرهنة الطاقة الحركية لحساب d المسافة التي سيقطعها الجسم قبل توقفه :

$$\frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_B^2 = W_{B \rightarrow f}(\vec{P}) + W_{B \rightarrow f}(\vec{R}) + W_{B \rightarrow f}(\vec{F})$$

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

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

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



### التمرين 2

متزحلق وزنه  $P = 600 \text{ N}$  في محاولة أولى ، ينطلق على مستوى جليدي مستقيمي يكون زاوية  $\alpha = 10^\circ$  مع المستوى الأفقي بسرعة ثابتة .

**نهمل كل من قوى الاحتكاك الناتجة عن السطح الجليدي وكذا دافعة أرخميدس المطبقة من طرف الهواء أمام القوى الأخرى .**

**نمذج احتكاك الهواء بقوة موازية للمنحدر ومعاكسة للحركة وقيمتها تزايد وسرعة المتزحلق .**

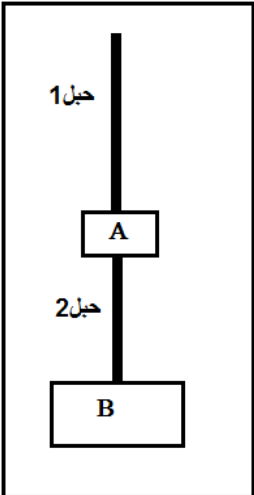
1 - أجرد القوى المطبقة على المتزحلق  
 2 - بتطبيق القانون الأول لنيوتن في مرجع مرتبط بسطح الأرض والذي نعتبره غاليليا ، حدد قيم جميع القوى المطبقة على المتزحلق

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

**نهمل جميع أنواع الاحتكاكات في هذه الحالة**

### التمرين 3

## الميكانيك : قوانين نيوتن



جسمان A و B كتلتهم  $m_B = 0,3\text{kg}$  و  $m_A = 0,2\text{kg}$  معلقان على التوالي بواسطة حبلين غير مدودين وكتلتهم مهملة ( أنظر الشكل )  
ونأخذ  $g = 9,8\text{m/s}^2$

حدد توتري الحبلين في الحالات التالية :

- 1 \_ الجسمان A و B في حالة سكون
- 2 \_ الجسمان يصعدان بسرعة ثابتة  $v = 5\text{m/s}$
- 3 \_ الجسمان في حركة رأسية نحو الأعلى بتسارع ثابت  $a = 2\text{m/s}^2$
- 4 \_ الجسمان في حركة رأسية نحو الأسفل بتسارع ثابت  $a = 2\text{m/s}^2$
- 5 \_ إذا كان التوتر الأقصى الممكن هو  $10\text{N}$  ما هو التسارع الأقصى الممكن للجسمين عندما يصعدان في حركة رأسية نحو الأعلى ؟