

# قوانين نيوتن

## Les Lois de Newton



الثانية باكوريا  
الفيزياء

### 1- متجهة السرعة و متجهة التسارع :

#### 1-1- تذكير :

رأينا فيما سبق ، أن مفهوم الحركة والسكون نسبيان ، أي يتعلقان بالجسم المرجعي .

**الجسم المرجعي** هو جسم صلب تدرس بالنسبة إليه حركة مجموعة ما ، نقرن به :

⊕ **معلم الزمن** ، ويتم تحديده باختيار أصل التواريخ ( غالبا ما نختاره منطبقا مع بداية الحركة ) .

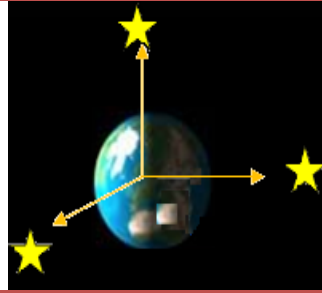
⊕ **معلم الفضاء** ، ويتم تحديده بأصله  $O$  وبقاعدة متعامدة ممنظمة  $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  .

لدراسة حركة جسم ما ، نستعمل الأجسام المرجعية التالية :

**الجسم المرجعي الأرضي** ، **المرجع المركزي الأرضي** ، **المرجع المركزي الشمسي** .



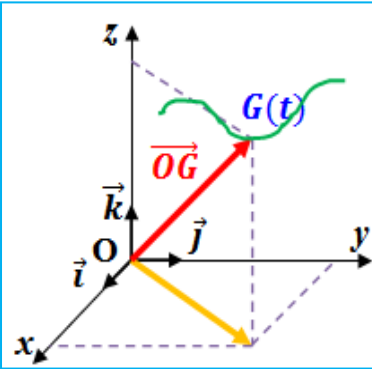
المرجع المركزي الشمسي ( مرجع كوبرنيك )



المرجع المركزي الأرضي



الجسم المرجعي الأرضي



تتطلب دراسة حركة جسم صلب دراسة حركة جميع نقطه ، غير أننا ندرس فقط حركة مركز قصوره  $G$  لأنها تمكننا من معرفة حركته الإجمالية .

ويمكن معلمة نقطة متحركة  $G$  من جسم صلب ، في معلم متعامد ممنظم

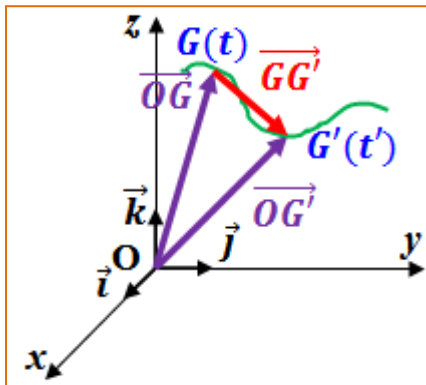
$\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  مرتبط بالجسم المرجعي في كل لحظة ، **بمتجهة الموضع**  $\vec{OG}$

بحيث :  $\vec{OG} = x.\vec{i} + y.\vec{j} + z.\vec{k}$  و  $\|\vec{OG}\| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$

مع  $x$  و  $y$  و  $z$  إحداثيات موضع  $G$  في المعلم  $\mathcal{R}$  .

**متجهة الموضع** هي متجهة ينطبق أصلها مع أصل المعلم ، وطرفها مع موضع المتحرك .

يكون مجموع المواضع المتتالية التي تحتلها النقطة المتحركة أثناء حركتها مسار هذه النقطة .



#### 1-2-1- متجهة السرعة :

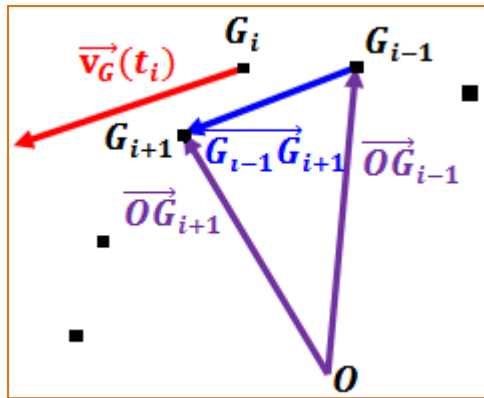
##### 1-2-1- متجهة السرعة المتوسطة :

عند انتقال المتحرك بين اللحظتين  $t$  و  $t'$  من النقطة  $G$  إلى النقطة  $G'$

بالنسبة لجسم مرجعي معين ، تكون متجهة السرعة المتوسطة بين هاتين

$$\vec{V}_m = \frac{\vec{GG'}}{\Delta t} = \frac{\vec{OG'} - \vec{OG}}{t' - t}$$

اللحظتين هي :



### 1-2-2- متجهة السرعة اللحظية :

يمكن تحديد متجهة السرعة اللحظية لمركز القصور  $G$  لجسم صلب في لحظة  $t_i$  بتحديد متجهة السرعة المتوسطة للنقطة  $G$  بين  $t_{i-1}$  و  $t_{i+1}$  جد متقاربتي و تؤطران  $t_i$ .

$$\vec{v}_G(t_i) = \vec{v}_i = \frac{\overrightarrow{G_{i-1}G_{i+1}}}{t_{i+1} - t_{i-1}} = \frac{\overrightarrow{OG_{i+1}} - \overrightarrow{OG_{i-1}}}{t_{i+1} - t_{i-1}} = \frac{\Delta \overrightarrow{OG}}{\Delta t}$$

ولكي نحصل على السرعة اللحظية يجب أن تكون  $\Delta t \rightarrow 0$

و بالتالي ، نبرهن في الرياضيات أن :  $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta \overrightarrow{OG}}{\Delta t} \right) = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt}$

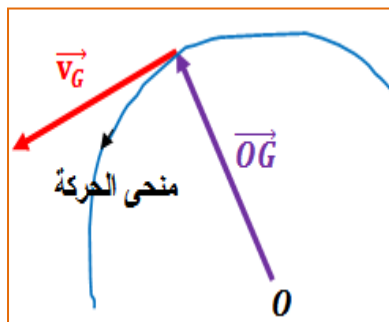
$$\vec{v}_G(t_i) = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt} \quad \text{إذن :}$$

#### تعريف

في مرجع معين ، تساوي **متجهة السرعة اللحظية** لمركز القصور  $G$  لجسم

صلب المشتقة بالنسبة للزمن لمتجهة الموضع :  $\vec{v}_G = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt}$

وحدة قياس السرعة في ( ن، ع ) هي : المتر على الثانية  $m.s^{-1}$ .



### ■ مميزات متجهة السرعة اللحظية :

- ❖ **الأصل :** النقطة  $G$  مركز قصور المتحرك عند اللحظة  $t$ .
- ❖ **الاتجاه :** المماس للمسار في النقطة  $G$ .
- ❖ **المنحى :** منحى الحركة.

$$\vec{v}_{Gi} = \frac{G_{i-1}G_{i+1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} = \frac{G_{i-1}G_{i+1}}{2\tau} \quad \text{❖ المنظم : عمليا نحدده بـ}$$

### ■ تعبير متجهة السرعة اللحظية في معلم ديكارتي :

لدينا  $\overrightarrow{OG} = x.\vec{i} + y.\vec{j} + z.\vec{k}$  ونعلم أن  $\vec{V}(t) = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt} = \frac{dx}{dt}.\vec{i} + \frac{dy}{dt}.\vec{j} + \frac{dz}{dt}.\vec{k}$  و  $\vec{V}(t) = v_x.\vec{i} + v_y.\vec{j} + v_z.\vec{k}$  إذن  $v_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$  و  $v_y = \frac{dy}{dt} = \dot{y}$  و  $v_z = \frac{dz}{dt} = \dot{z}$  حيث  $v_x$  و  $v_y$  و  $v_z$  تمثل الإحداثيات الديكارتية لمتجهة السرعة .

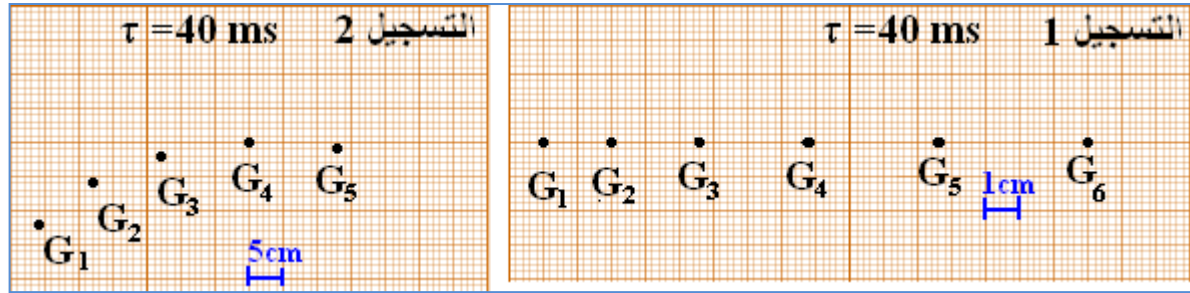
### 1-3- متجهة التسارع :

ندرس حركة مركز قصور الحامل الذاتي حسب التجربتين التاليتين :

**تجربة 1 :** نطلق بدون سرعة بدئية الحامل الذاتي فوق المنضدة الهوائية المائلة بالزاوية  $\alpha = 10^\circ$  بالنسبة للمستوى الأفقي ، ونسجل في نفس الوقت ، مواضع مركز قصوره  $G$  في مدد زمنية متتالية و متساوية  $\tau$ . ( التسجيل 1 )

**تجربة 2 :** نضبط المنضدة في وضع أفقي ونثبت الحامل الذاتي بخيط غير مدود طرفه الثاني مثبت بحامل ، ونجره بطريقة ما ، ونسجل من جديد مواضع  $G$  في مدد متتالية و متساوية  $\tau$ . ( التسجيل 2 )

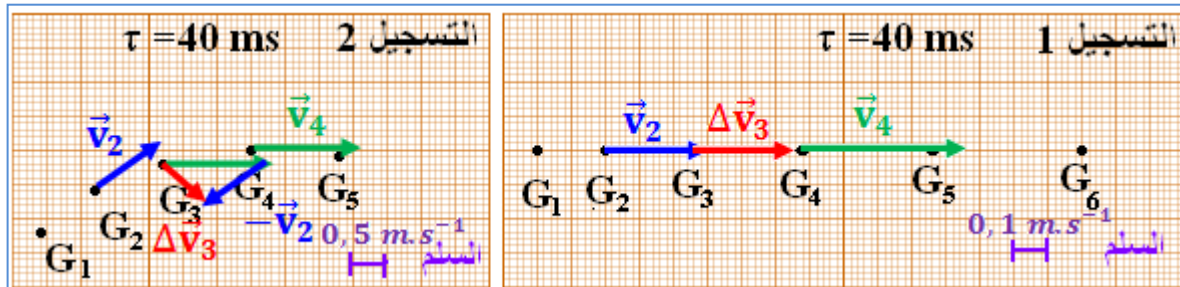




أ- احسب بالنسبة لكل تسجيل  $V_2$  و  $V_4$  سرعتا  $G$  مركز قصور الحامل الذاتي في الموضعين  $G_4$  و  $G_2$ .

$V_4$	$V_2$	
$V_4 = \frac{G_3 G_5}{t_5 - t_3} = \frac{G_3 G_5}{2 \tau} = \frac{3,5 \cdot 10^{-2}}{2 \times 40 \cdot 10^{-3}}$ $V_4 = 0,44 \text{ m.s}^{-1}$	$V_2 = \frac{G_1 G_3}{t_3 - t_1} = \frac{G_1 G_3}{2 \tau} = \frac{2,3 \cdot 10^{-2}}{2 \times 40 \cdot 10^{-3}}$ $V_2 = 0,29 \text{ m.s}^{-1}$	التسجيل 1
$V_4 = \frac{\widehat{G_3 G_5}}{t_5 - t_3} \approx \frac{G_3 G_5}{2 \tau} = \frac{2,6 \times 5 \cdot 10^{-2}}{2 \times 40 \cdot 10^{-3}}$ $V_4 = 1,62 \text{ m.s}^{-1}$	$V_2 = \frac{\widehat{G_1 G_3}}{t_3 - t_1} \approx \frac{G_1 G_3}{2 \tau} = \frac{2 \times 5 \cdot 10^{-2}}{2 \times 40 \cdot 10^{-3}}$ $V_2 = 1,25 \text{ m.s}^{-1}$	التسجيل 2

ب- مثل المتجهتين  $\vec{V}_4$  و  $\vec{V}_2$  بالنسبة لكل تسجيل باستعمال سلم مناسب. ثم مثل في الموضع  $G_3$  المتجهة  $\Delta \vec{V}_3 = \vec{V}_4 - \vec{V}_2$ .



ج- قس طول المتجهة  $\Delta \vec{V}_3$ ، واستنتج منظما  $\|\Delta \vec{V}_3\|$ .

منظما $\ \Delta \vec{V}_3\ $	طول المتجهة $\Delta \vec{V}_3$	
$\ \Delta \vec{V}_3\  = 1,5 \times 0,1 = 0,15 \text{ m.s}^{-1}$	1,5	التسجيل 1
$\ \Delta \vec{V}_3\  = 0,8 \times 0,5 = 0,40 \text{ m.s}^{-1}$	0,8	التسجيل 2

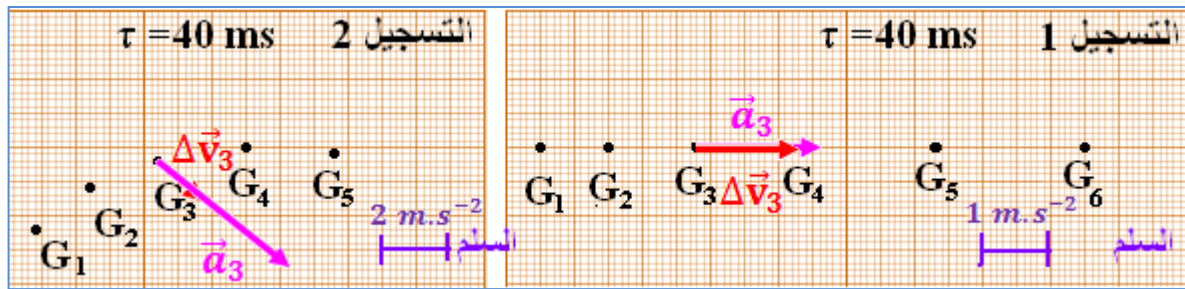
د- نعين مبيانيا ، متجهة التسارع  $\vec{a}_i$  في نقطة  $G_i$  من المسار ، باستعمال العلاقة التقريبية التالية :

$$\vec{a}_i = \frac{\Delta \vec{V}_i}{\Delta t} = \frac{\vec{V}_{i+1} - \vec{V}_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}}$$

احسب منظم المتجهة  $\vec{a}_3$  ثم مثلها باستعمال سلم مناسب .

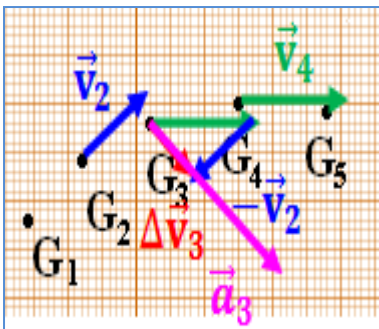
بالنسبة للتسجيل 1 ، لدينا  $\|\vec{a}_3\| = \frac{\|\Delta \vec{V}_3\|}{\Delta t} = \frac{\|\Delta \vec{V}_3\|}{2 \tau} = \frac{0,15}{2 \times 40 \cdot 10^{-3}} = 1,87 \text{ m.s}^{-2}$

بالنسبة للتسجيل 2 ، لدينا  $\|\vec{a}_3\| = \frac{\|\Delta \vec{V}_3\|}{\Delta t} = \frac{\|\Delta \vec{V}_3\|}{2 \tau} = \frac{0,40}{2 \times 40 \cdot 10^{-3}} = 5,00 \text{ m.s}^{-2}$



### 1-3-1 تعريف :

يعبر رياضيا عن متجهة التسارع بالعلاقة :  $\vec{a}_G(t_i) = \vec{a}_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta \vec{V}_G}{\Delta t} \right) = \frac{d\vec{V}_G}{dt}$



في مرجع معين ، تساوي متجهة التسارع لمركز القصور  $G$  لجسم صلب في لحظة  $t$  المشتقة بالنسبة للزمن لمتجهة السرعة في نفس اللحظة :

$$\vec{a}_G = \frac{d\vec{V}_G}{dt} \quad \text{وحدة قياس التسارع في (ن،ع) هي : } m.s^{-2}$$

$$\vec{a}_G = \frac{d\vec{V}_G}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{d\vec{OG}}{dt} \right) = \frac{d^2\vec{OG}}{dt^2} \quad \text{فإن } \vec{V}_G = \frac{d\vec{OG}}{dt} \quad \text{وبما أن}$$

### 1-3-2 تعبير متجهة التسارع :

■ في معلم ديكارتي :

$$\vec{OG} = x.\vec{i} + y.\vec{j} + z.\vec{k} \quad \text{لدينا}$$

$$\vec{V}_G = \frac{d\vec{OG}}{dt} = v_x.\vec{i} + v_y.\vec{j} + v_z.\vec{k} = \frac{dx}{dt}.\vec{i} + \frac{dy}{dt}.\vec{j} + \frac{dz}{dt}.\vec{k} \quad \text{ولدينا}$$

$$\vec{a}_G = \frac{d\vec{V}_G}{dt} = \frac{d^2\vec{OG}}{dt^2} = \frac{dv_x}{dt}.\vec{i} + \frac{dv_y}{dt}.\vec{j} + \frac{dv_z}{dt}.\vec{k} = \frac{d^2x}{dt^2}.\vec{i} + \frac{d^2y}{dt^2}.\vec{j} + \frac{d^2z}{dt^2}.\vec{k} \quad \text{إذن}$$

$$\vec{a}_G = a_x.\vec{i} + a_y.\vec{j} + a_z.\vec{k} \quad \text{ونعلم أن}$$

$$a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2} = \ddot{z} \quad \text{و} \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} = \ddot{y} \quad \text{و} \quad a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x} \quad \text{إذن}$$

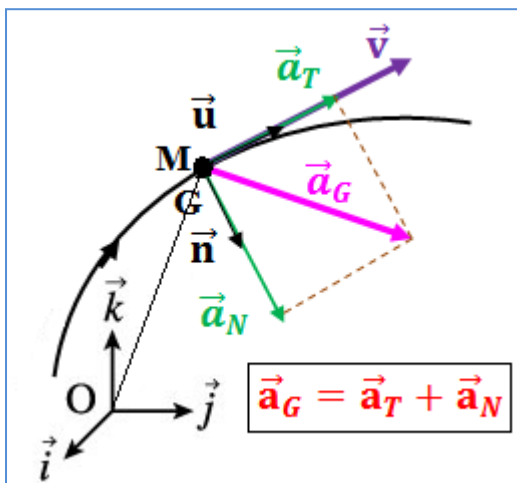
حيث تمثل  $a_x$  و  $a_y$  و  $a_z$  الإحداثيات الديكارتية لمتجهة التسارع  $\vec{a}_G$ .

■ في أساس فريني :

أساس فريني هو أساس للإسقاط غير مرتبط بالمرجع .

### تعريف :

معلم فريني  $(M, \vec{u}, \vec{n})$  معلم متعامد ممنظم ينطبق أصله في كل لحظة مع موضع النقطة المتحركة  $M$  ، ومتجهته الواحدية  $\vec{u}$  مماسة للمسار وموجهة في منحنى الحركة ، أما المتجهة الواحدية  $\vec{n}$  فتكون متعامدة مع  $\vec{u}$  وموجهة نحو تقعر المسار .





نعتبر عن متجهة التسارع  $\vec{a}_G$  في أساس فريني ، بالنسبة لحركة مستوية كالتالي :  $\vec{a}_G = \vec{a}_T + \vec{a}_N$

حيث  $\vec{a}_T = a_T \cdot \vec{u}$  هي متجهة التسارع المماسي  $a_T = \frac{dv_G}{dt}$

$\vec{a}_N = a_N \cdot \vec{n}$  هي متجهة التسارع المنظمي  $a_N = \frac{v_G^2}{\rho}$  مع  $\rho$  هو شعاع انحناء المسار في الموضع  $M$ .

**ملحوظة:** نحدد طبيعة حركة النقطة المتحركة من خلال الجداء السلمي للمتجهتين  $\vec{V}_G$  و  $\vec{a}_G$  حيث :

$$\vec{a}_G \cdot \vec{V}_G = \vec{a}_T \cdot \vec{V}_G = \|\vec{a}_G\| \cdot \|\vec{V}_G\| \cdot \cos(\vec{a}_G, \vec{V}_G)$$

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

$\vec{a}_G \cdot \vec{V}_G = 0$	$\vec{a}_G \cdot \vec{V}_G < 0$	$\vec{a}_G \cdot \vec{V}_G > 0$
حركة منتظمة	حركة متباطئة	حركة متسارعة

## 2- قوانين نيوتن :

لجرد القوى المطبقة على جسم ، نغزله عن باقي الأجسام المحيطة به ، فيسمى **المجموعة المدروسة** .  
**القوة الخارجية** هي القوة التي يطبقها جسم لا ينتمي إلى المجموعة المدروسة على هذه المجموعة .  
**القوة الداخلية** هي القوة التي يطبقها جسم ينتمي إلى المجموعة المدروسة على جزء من هذه المجموعة .  
 إذا كان مجموع القوى الخارجية المطبقة على مجموعة ما منعدما (  $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$  ) ، نقول إن هذه المجموعة شبه معزولة ميكانيكيا .

## 1-2- القانون الأول لنيوتن : مبدأ القصور

في معلم غاليلي ، إذا كان المجموع المتجهي للقوى الخارجية المطبقة على جسم صلب منعدما

(  $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$  ) ، فإن متجهة السرعة  $\vec{V}_G$  لمركز القصور  $G$  للجسم الصلب تكون ثابتة

(  $\vec{V}_G = cte$  ) أي يكون  $G$  إما ساكنا أو في حركة مستقيمة منتظمة ، وفي المقابل ، إذا كانت

متجهة السرعة لمركز قصور الجسم الصلب ثابتة ، فإن المجموع المتجهي للقوى الخارجية

المطبقة على الجسم منعدم .  $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{V}_G = cte$

نص القانون

**ملحوظة :** المعلم الغاليلي هو معلم يتحقق فيه مبدأ القصور .

نعتبر كل معلم في إزاحة مستقيمة منتظمة بالنسبة لمعلم غاليلي ، معلما غاليليا كذلك .  
 لا يتحقق مبدأ القصور إلا في المعالم الغاليلية .

## 2-2- القانون الثاني لنيوتن : القانون الأساسي للتحريك

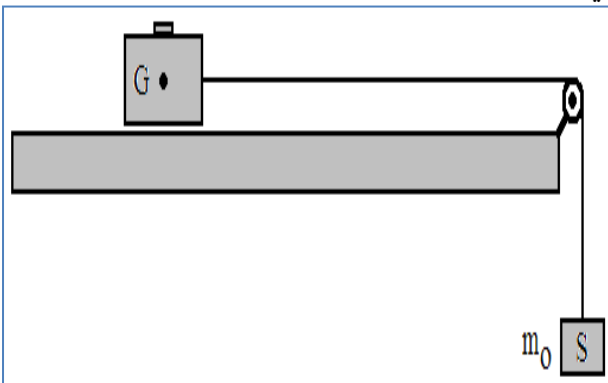
نضع حاملا ذاتيا كتلته  $m = 500 g$  فوق منضدة هوائية

أفقية ، ونربطه بواسطة خيط ذو كتلة مهملة وغير مدود

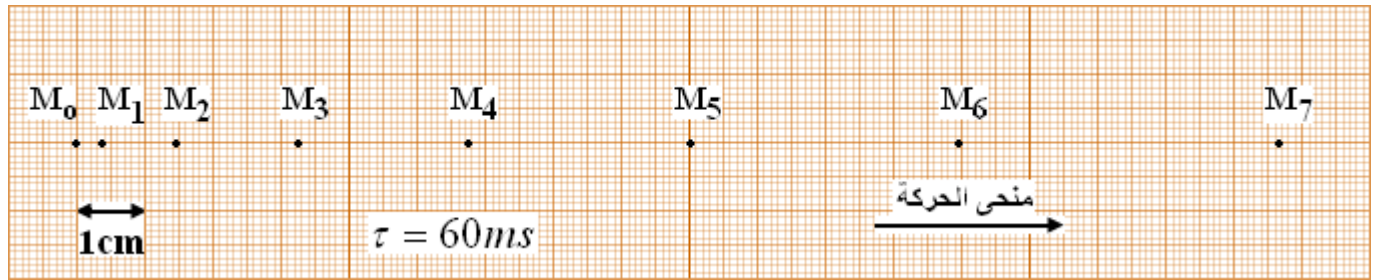
يمر عبر مجرى بكرة ويحمل في طرفه الآخر جسما صلبا

(S) كتلته  $m_0 = 100 g$  . نحرر الجسم (S) بدون

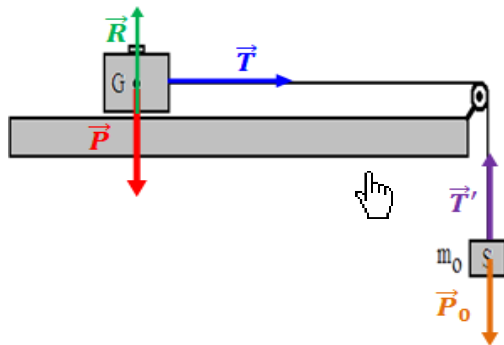
سرعة بدئية ونسجل مواضع مركز القصور  $G$  للحامل



الذاتي خلال مدد زمنية متتالية ومتساوية قيمتها  $\tau = 60 \text{ ms}$  نأخذ :  $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$   
نحصل على التسجيل التالي :



أ- اوجد القوى المطبقة على الحامل الذاتي ، كم يساوي المجموع المتهجي  $\sum \vec{F}_{ext}$  لهذه القوى ؟



المجموعة المدروسة : { الحامل الذاتي }  
جـرد القوى : وزنه  $\vec{P}$  وتأثير السطح  $\vec{R}$  و توتر الخيط  $\vec{T}$

إذن  $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{T} = \vec{T}$  لأن  $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$

ب- حدد مميزات القوة المكافئة لـ  $\sum \vec{F}_{ext}$  .

مميزات  $\sum \vec{F}_{ext}$  هي مميزات  $\vec{T}$  ، أي :

❖ الأصل : نقطة التماس بين الحامل الذاتي و الخيط .

❖ الاتجاه : الموازي للمسار .

❖ المنحى : منحى الحركة ( نحو البكرة ) .

❖ المنظم : الخيط غير مدود وكتلته مهملة ، إذن  $\|\sum \vec{F}_{ext}\| = T = T' = P_0 = m_0 \cdot g = 1 \text{ N}$

ج- إملأ الجدول التالي :

M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	M0	النقطة $M_i$
0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06	0	اللحظة $t_i$ (s)
	0,717	0,592	0,483	0,367	0,233	0,117		السرعة $V_i$ (m/s)
		0,23	0,23	0,25	0,25			$\Delta v_i = v_{i+1} - v_{i-1}$
		1,92	1,92	2,08	2,08			$\frac{\Delta v_i}{2 \tau} \text{ (m.s}^{-2}\text{)}$

د- كيف يتغير المقدار  $\frac{\Delta V_i}{\tau}$  مع الزمن ؟ استنتج مميزات المتجهة  $m \frac{\Delta \vec{V}_i}{2 \tau}$  .

من خلال الجدول ، نلاحظ أن المقدار  $\frac{\Delta V_i}{2 \tau}$  يبقى ثابتا حيث  $\frac{\Delta V_i}{2 \tau} = \frac{2,08+1,92}{2} = 2 \text{ m.s}^{-2}$

وبالتالي مميزات المتجهة  $m \frac{\Delta \vec{V}_i}{2 \tau}$  هي :

❖ الأصل : الموضع  $M_i$  .

❖ الاتجاه : الموازي للمسار .

❖ المنحى : منحى الحركة ( نحو البكرة ) .

❖ المنظم :  $\|m \frac{\Delta \vec{V}_i}{2 \tau}\| = m \frac{\|\Delta \vec{V}_i\|}{2 \tau} = m \frac{\Delta V_i}{2 \tau} = 0,5 \times 2 = 1 \text{ kg.m.s}^{-2}$

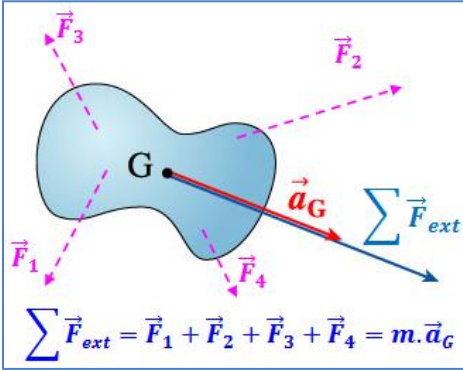
هـ- قارن مميزات المتجهتين  $m \frac{\Delta \vec{v}_i}{2\tau}$  و  $\sum \vec{F}_{ext}$  ، ما ذا تستنتج ؟

نلاحظ أن المتجهتين  $m \frac{\Delta \vec{v}_i}{2\tau}$  و  $\sum \vec{F}_{ext}$  لهما نفس المميزات ، إذن  $\sum \vec{F}_{ext} = m \frac{\Delta \vec{v}_i}{2\tau} = m \frac{\Delta \vec{v}_i}{\Delta t}$

و- عبر عن هذه العلاقة التي تربط المتجهتين  $m \frac{\Delta \vec{v}_i}{\Delta t}$  و  $\sum \vec{F}_{ext}$  عندما تؤول  $\Delta t$  إلى الصفر .

يعبر رياضيا عن المتجهة بالعلاقة :  $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta \vec{v}_i}{\Delta t} \right) = \frac{d\vec{v}_i}{dt} = \vec{a}_i = \vec{a}_G(t_i)$

وبالتالي ، تعبير القانون الثاني لنيوتن هو :  $\sum \vec{F}_{ext} = m \vec{a}_G$



### نص القانون

في معلم غاليلي ، يساوي المجموع المتجهي للقوى الخارجية المطبقة على جسم صلب جداء كتلته  $m$  ومتجهة التسارع  $\vec{a}_G$

$$\sum \vec{F}_{ext} = m \vec{a}_G \quad \text{لمركز قصوره .}$$

### ملحوظة :

يتبين من العلاقة  $\sum \vec{F}_{ext} = m \frac{\Delta \vec{v}_i}{\Delta t}$  أنه بالنسبة لنفس القوة المطبقة ، كلما كانت الكتلة كبيرة كلما كان تغير متجهة السرعة خلال المدة  $\Delta t$  صغيرا . إذن ، **تقاوم الكتلة تغير السرعة** وبالتالي فهي تتميز قصور الجسم الصلب أي الصعوبة في تغيير حركته ، مما يخول للكتلة  $m$  طابع **الكتلة القصورية** .

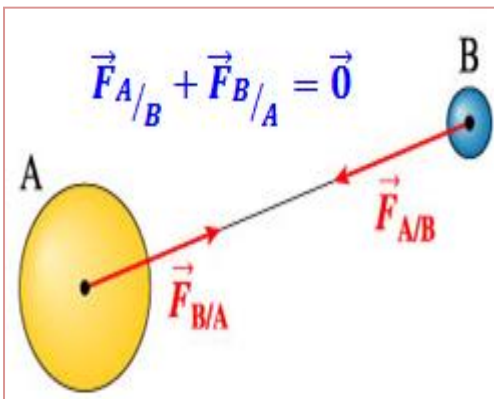
بالنسبة لجسم معزول ميكانيكيا أو شبه معزول ميكانيكيا ، يكون  $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$  أي  $m \vec{a}_G = \vec{0}$  و  $\vec{v}_G = \vec{cte}$  ، ومنه فإن **القانون الأول** ( مبدأ القصور ) يعتبر **حالة خاصة للقانون الثاني** ( القانون الأساسي للحريك ) .

لا يطبق القانون الأساسي للحريك إلا في المعالم الغاليلية .

**النيوتن** هو شدة القوة التي تحرك جسما كتلته  $1 \text{ kg}$  بتسارع  $1 \text{ m.s}^{-2}$  .

### 2-3- القانون الثالث لنيوتن : مبدأ التأثيرات المتبادلة

#### نص القانون



عندما يحدث تأثير متبادل بين جسمين  $A$  و  $B$  ، فإن القوة  $\vec{F}_{A/B}$  التي يطبقها الجسم  $A$  على الجسم  $B$  و القوة  $\vec{F}_{B/A}$  التي يطبقها الجسم  $B$  على الجسم  $A$  تحققان دائما العلاقة المتجهية  $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$  . وذلك كيفما كانت حالة الحركة أو السكون وسواء كان المعلم غاليليا أو غير غاليلي .