بسم الله الرحمن الرحيم
السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

الثانية باكالوريا
الفيزياء

قوانين نيوتن
Les Lois de Newton

الجزء الرابع :
الميكانيك
الوحدة 1
5 س

1- متجهة السرعة و متجهة التسارع :

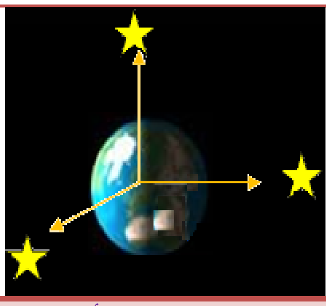
1-1- تذكير :

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 ($\vec{i}$ ، $\vec{j}$ ، $\vec{k}$) .**

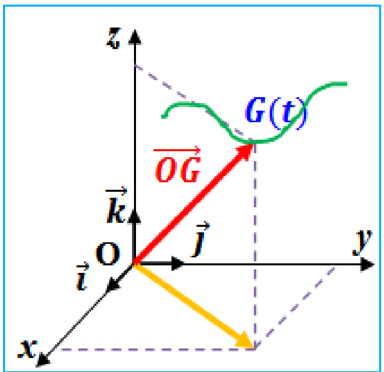
لدراسة حركة جسم ما ، نستعمل الأجسام المرجعية التالية :
الجسم المرجعي الأرضي ، المرجع المركزي الأرضي ، المرجع المركزي الشمسي .

الجسم المرجعي الأرضي



المرجع المركزي الأرضي

المرجع المركزي الشمسي (مرجع كوبرنيك)



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** $\overrightarrow{OG}$

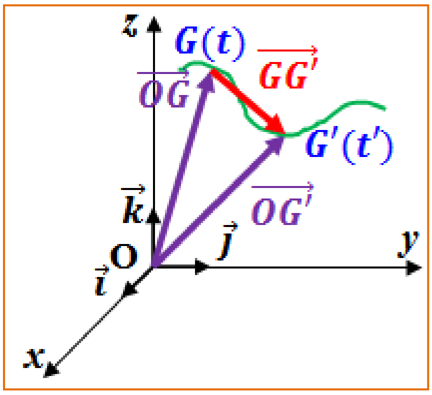
بحيث : $\overrightarrow{OG} = x.\vec{i} + y.\vec{j} + z.\vec{k}$ و $\|\overrightarrow{OG}\| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$

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

1-2- متجهة السرعة :

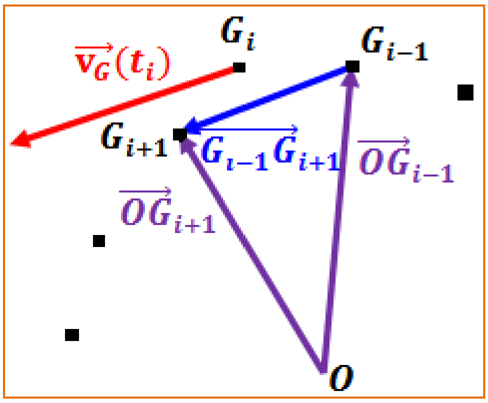
1-2-1- متجهة السرعة المتوسطة :



عند انتقال المتحرك بين اللحظتين t و t' من النقطة G إلى النقطة G' بالنسبة لجسم مرجعي معين ، تكون متجهة السرعة المتوسطة بين هاتين اللحظتين هي :

$$\overrightarrow{V_m} = \frac{\overrightarrow{GG'}}{\Delta t} = \frac{\overrightarrow{OG'} - \overrightarrow{OG}}{t' - t}$$

1-2-2- متجهة السرعة اللحظية :



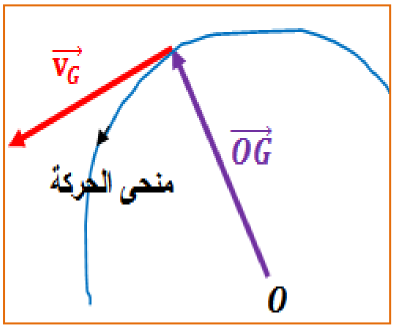
يمكن تحديد متجهة السرعة اللحظية لمركز القصور G لجسم صلب في لحظة t_i بتحديد متجهة السرعة المتوسطة للنقطة G بين t_{i-1} و t_{i+1} جد متقاربتين و تؤطران t_i .

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

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

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

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



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 .
- ❖ **المنظم :** عمليا نحدده بـ $\mathrm{v}_{G_i} = \frac{G_{i-1}G_{i+1}}{t_{i+1}-t_{i-1}} = \frac{G_{i-1}G_{i+1}}{2\,\tau}$

■ **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 $\vec{V}(t) = \mathrm{v}_x.\vec{i} + \mathrm{v}_y.\vec{j} + \mathrm{v}_z.\vec{k}$ إذن $\mathrm{v}_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$ و $\mathrm{v}_y = \frac{dy}{dt} = \dot{y}$ و $\mathrm{v}_z = \frac{dz}{dt} = \dot{z}$

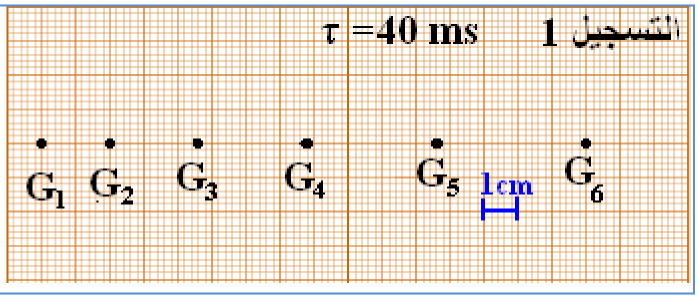
حيث v_x و v_y و v_z تمثل **الإحداثيات الديكارتية** لمتجهة السرعة .

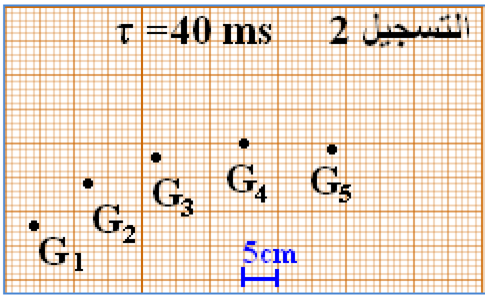
1-3- متجهة التسارع :

ندرس حركة مركز قصور الحامل الذاتي حسب التجربتين التاليتين :

تجربة 1 : نطلق بدون سرعة بدئية الحامل الذاتي فوق المنضدة الهوائية المائلة بالزاوية $\alpha = 10°$ بالنسبة للمستوى الأفقي ، ونسجل في نفس الوقت ، مواضع مركز قصوره G في مدد زمنية متتالية و متساوية τ . (**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 ومتساوية τ . (**التسجيل 2**)

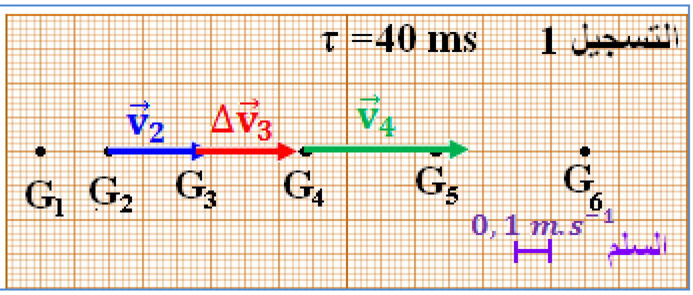


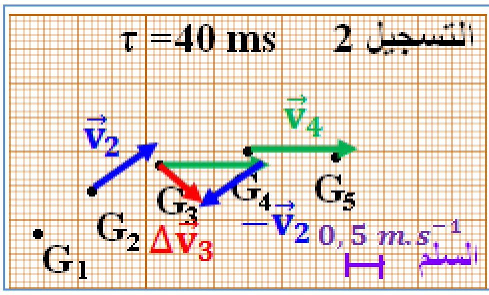


أ- احسب بالنسبة لكل تسجيل V_2 و V_4 سرعتا G مركز قصور الحامل الذاتي في الموضعين G_2 و G_4 .

	V_2	V_4
التسجيل 1	$v_2=\frac{G_1G_3}{t_3-t_1}=\frac{G_1G_3}{2\,\tau}=\frac{2,3.10^{-2}}{2\times 40.10^{-3}}$ $V_2=0,29\ m.s^{-1}$	$v_4=\frac{G_3G_5}{t_5-t_3}=\frac{G_3G_5}{2\,\tau}=\frac{3,5.10^{-2}}{2\times 40.10^{-3}}$ $V_4=0,44\ m.s^{-1}$
التسجيل 2	$v_2=\frac{\widehat{G_1G_3}}{t_3-t_1}\approx\frac{G_1G_3}{2\,\tau}=\frac{2\times 5.10^{-2}}{2\times 40.10^{-3}}$ $V_2=1,25\ m.s^{-1}$	$v_4=\frac{\widehat{G_3G_5}}{t_5-t_3}\approx\frac{G_3G_5}{2\,\tau}=\frac{2,6\times 5.10^{-2}}{2\times 40.10^{-3}}$ $V_4=1,62\ m.s^{-1}$

ب- مثل المتجهتين $\vec{V}_2$ و $\vec{V}_4$ 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 منظمها $\|\Delta\vec{V}_3\|$.

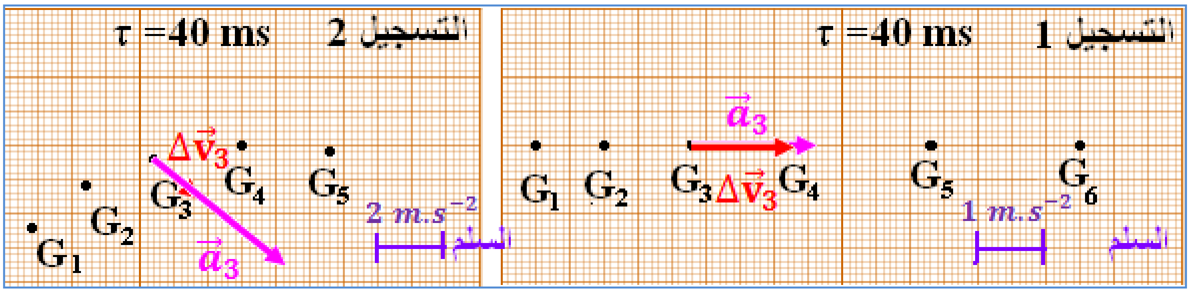
	طول المتجهة $\Delta\vec{V}_3$	منظمها $\|\Delta\vec{V}_3\|$
التسجيل 1	1,5	$\|\Delta\vec{v}_3\|=1,5\times 0,1=0,15\ m.s^{-1}$
التسجيل 2	0,8	$\|\Delta\vec{v}_3\|=0,8\times 0,5=0,40\ m.s^{-1}$

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 .

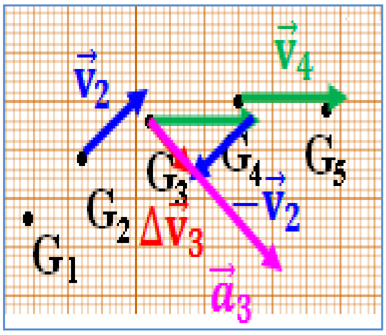
بالنسبة للتسجيل 1 ، لدينا $\|\vec{a}_3\|=\frac{\|\Delta\vec{V}_3\|}{\Delta t}=\frac{\|\Delta\vec{V}_3\|}{2\,\tau}=\frac{0,15}{2\times 40.10^{-3}}=1,87\ m.s^{-2}$

بالنسبة للتسجيل 2 ، لدينا $\|\vec{a}_3\|=\frac{\|\Delta\vec{V}_3\|}{\Delta t}=\frac{\|\Delta\vec{V}_3\|}{2\,\tau}=\frac{0,40}{2\times 40.10^{-3}}=5,00\ m.s^{-2}$



1-3-1- تعريف :

يعبر رياضيا عن متجهة التسارع بالعلاقة : $\vec{a}_G(t_i) = \vec{a}_i = \lim\limits_{\Delta t \to 0}\left(\dfrac{\Delta\vec{V}_G}{\Delta t}\right) = \dfrac{d\vec{V}_G}{dt}$



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

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

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

1-3-2- تعبير متجهة التسارع :

■ **في معلم ديكارتي :**

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

ولدينا $\vec{v}_G = \dfrac{d\overrightarrow{OG}}{dt} = v_x.\vec{i} + v_y.\vec{j} + v_z.\vec{k} = \dfrac{dx}{dt}.\vec{i} + \dfrac{dy}{dt}.\vec{j} + \dfrac{dz}{dt}.\vec{k}$

إذن $\vec{a}_G = \dfrac{d\vec{v}_G}{dt} = \dfrac{d^2\overrightarrow{OG}}{dt^2} = \dfrac{dv_x}{dt}.\vec{i} + \dfrac{dv_y}{dt}.\vec{j} + \dfrac{dv_z}{dt}.\vec{k} = \dfrac{d^2x}{dt^2}.\vec{i} + \dfrac{d^2y}{dt^2}.\vec{j} + \dfrac{d^2z}{dt^2}.\vec{k}$

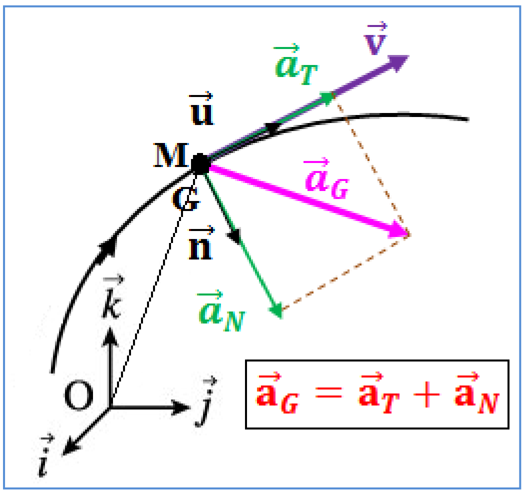
ونعلم أن $\vec{a}_G = a_x.\vec{i} + a_y.\vec{j} + a_z.\vec{k}$

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

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 منحى الحركة ، أما المتجهة الواحدية $\vec{n}$ فتكون متعامدة مع $\vec{u}$ وموجهة نحو تقعر المسار .

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

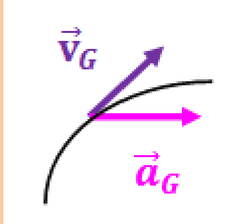
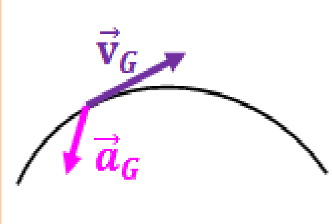
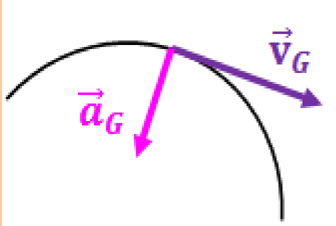
حيث $\vec{a}_T = a_T.\vec{u}$ هي **متجهة التسارع المماسي** $a_T = \frac{dV_G}{dt}$

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

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

$\vec{a}_G.\vec{V}_G = \vec{a}_T.\vec{V}_G = \|\vec{a}_G\|.\|\vec{V}_G\|.cos(\vec{a}_G,\vec{V}_G)$ لأن $\vec{a}_G \perp \vec{V}_G$

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

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

2- قوانين نيوتن :

لجرد القوى المطبقة على جسم ، نعزله 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** .

2-1- القانون الأول لنيوتن : مبدأ القصور

نص القانون

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 ($\vec{V}_G = \vec{cte}$) أي يكون G إما ساكنا أو في حركة مستقيمية منتظمة ، وفي المقابل ، إذا كانت متجهة السرعة لمركز قصور الجسم الصلب ثابتة ، فإن المجموع المتجهي للقوى الخارجية المطبقة على الجسم منعدم .

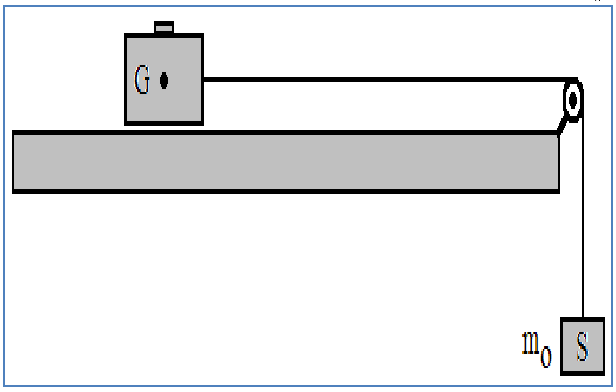
$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{V}_G = \vec{cte}$$

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

نعتبر كل معلم في **إزاحة مستقيمية منتظمة** بالنسبة لمعلم غاليلي ، **معلما غاليليا** كذلك .

لا يتحقق مبدأ القصور إلا في المعالم الغاليلية .

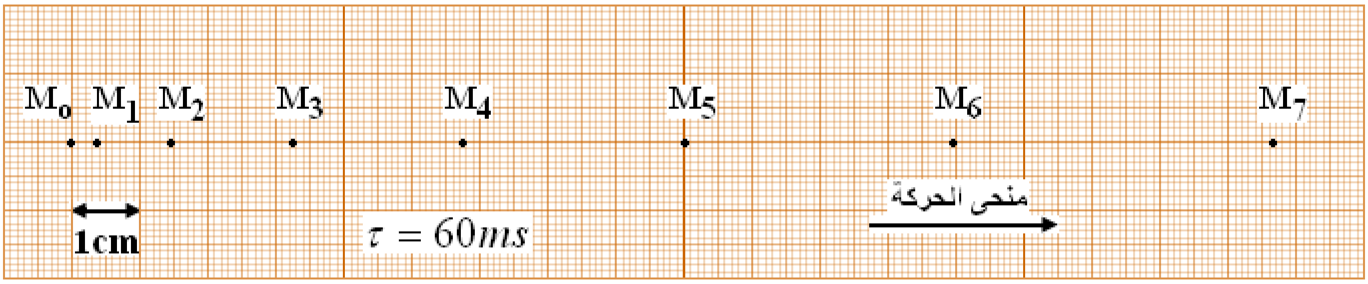
2-2- القانون الثاني لنيوتن : القانون الأساسي للتحريك



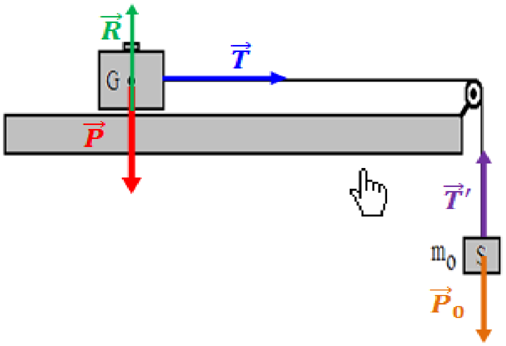
نضع حاملا ذاتيا كتلته $m = 500\ g$ فوق منضدة هوائية أفقية ، ونربطه بواسطة خيط ذو كتلة مهملة وغير مدود يمر عبر مجرى بكرة ويحمل في طرفه الآخر جسما صلبا (S) كتلته $m_0 = 100\ g$. نحرر الجسم (S) بدون سرعة بدئية ونسجل مواضع مركز القصور G للحامل

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

نحصل على التسجيل التالي :



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



المجموعة المدروسة : { الحامل الذاتي }

جرد القوى : وزنه $\vec{P}$ و تأثير 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 $\left\|\sum \vec{F}_{ext}\right\| = T = T' = P_0 = m_0.g = 1\ N$

ج- إملأ الجدول التالي :

M_7	M_6	M_5	M_4	M_3	M_2	M_1	M_0	النقطة M_i
0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06	0	اللحظة ti (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			$\frac{\Delta v_i}{2\tau}$ $(m.s^{-2})$

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 $\frac{\Delta V_i}{2\tau} = \frac{2{,}08+1{,}92}{2} = 2\ m.s^{-2}$.

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

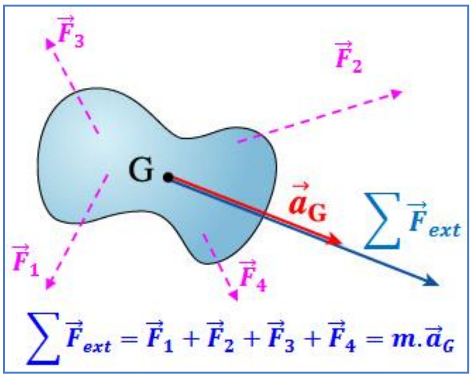
ه- قارن مميزات المتجهتين $m\frac{\Delta\vec{V}_i}{2\tau}$ و $\sum\vec{F}_{ext}$ ، ما ذا تستنتج ؟

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 Δt إلى الصفر .

يعبر رياضيا عن المتجهة بالعلاقة : $\lim\limits_{\Delta t\to 0}\left(\frac{\Delta\vec{V}_i}{\Delta t}\right) = \frac{d\vec{V}_i}{dt} = \vec{a}_i = \vec{a}_G(t_i)$

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



نص القانون

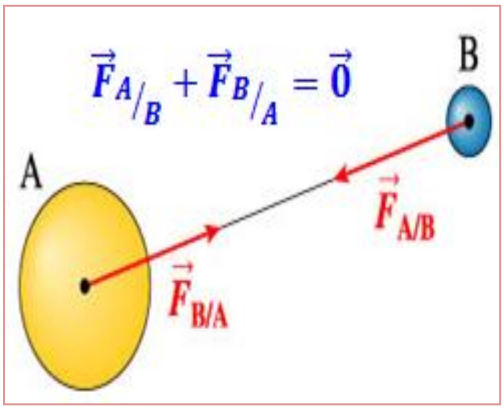
في معلم غاليلي ، يساوي المجموع المتجهي للقوى الخارجية المطبقة على جسم صلب جداء كتلته m ومتجهة التسارع $\vec{a}_G$ لمركز قصوره .

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

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 Δt **صغيرا** . إذن ، **تقاوم الكتلة تغير السرعة** وبالتالي فهي تميز **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 $\vec{V}_G = \overrightarrow{cte}$ ، ومنه فإن **القانون الأول** (مبدأ القصور) يعتبر **حالة خاصة للقانون الثاني** (**القانون الأساسي للتحريك**) .
- لا يطبق القانون الأساسي للتحريك إلا في **المعالم الغاليلية** .
- **النيوتن** هو شدة القوة التي تحرك جسما كتلته $1\ kg$ بتسارع $1\ m.s^{-2}$.

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 .