Mohamed AIT GUENNOUN

Les Lois de NEWTON قوانين نيوتـن

I- تذكير

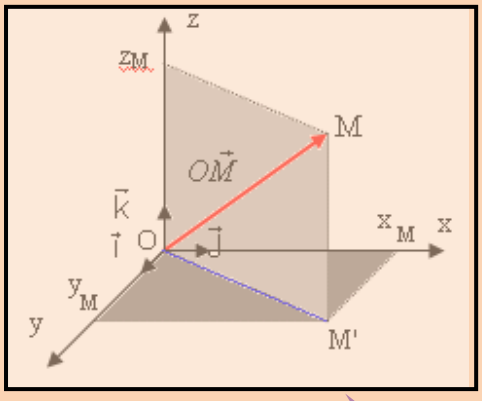
1-الجسم المرجعي:

☒ يمكن لجسم أن يكون في حالة حركة بالنسبة لبعض الأجسام وفي حالة سكون بالنسبة لأجسام أخرى، أي أن حركة أي جسم تبقى دائما نسبية أي تتعلق بالجسم المرجعي الذي اختير لدراسة هذه الحركة حيث نقرن به معلم للفضاء ومعلم للزمن وذلك لتحديد موضع المتحرك في كل لحظة.

☒ في الفيزياء، نستعمل الأجسام المرجعية الخاصة التالية، حسب المتحرك المدروس حيث نجد:

- ✓ الجسم المرجعي الأرضي.
- ✓ الجسم المرجعي المركزي الأرضي.
- ✓ الجسم المرجعي المركزي الشمسي.

2-متجهة الموضع:



نعتبر نحلة (نعتبرها نقطية) تطير فوق سطح الأرض، لتحديد موضعها M عند كل لحظة نأخذ سطح الأرض كجسم مرجعي ونقرن به معلم الفضاء $\Re(O;\vec{i};\vec{j};\vec{k})$ ومعلم للزمن ثم نبحث عن تعبير متجهة الموضع $\overrightarrow{OM}$ حيث نجد:

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

$x;y;z$ تمثل الإحداثيات الديكارتية للنحلة في المعلم $\Re(O;\vec{i};\vec{j};\vec{k})$.

عندما تغير النحلة موضعها في الفضاء فإن الإحداثيات الديكارتية $x;y;z$ تتغير كلها أو بعضها مع الزمن مشكلة دوال زمنية للحركة حيث نجد $x(t)$; $y(t)$; $z(t)$.

ملحوظة 1: نعتبر جسما متحركا كنقطة مادية إذا كانت المسافات التي يقطعها كبيرة جدا مقارنة بأبعاده.

ملحوظة 2: مجموع المواضع المتتالية التي تشغلها النحلة أثناء حركتها تكون المسار المتبع من طرفها.

3-متجهة السرعة:

نعتبر $G_{i-1};G_i;G_{i+1}$ مواضع مركز قصور متحرك عند اللحظات $t_{i-1};t_i;t_{i+1}$ على التوالي حيث: $t_{i+1} = \Delta t + t_{i-1}$.

أ - *السرعة المتوسطة*:

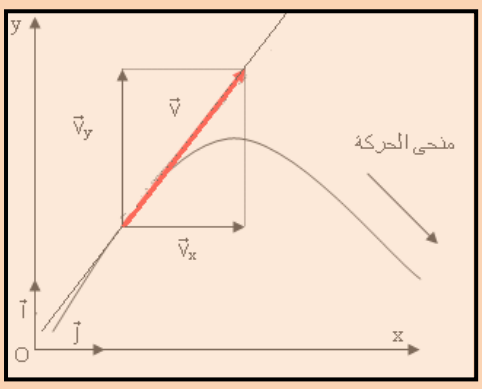
نعرف السرعة المتوسطة للمتحرك بين اللحظتين t_{i-1} و t_{i+1} بالعلاقة:

$$\overrightarrow{V_m} = \frac{\overrightarrow{G_{i-1}G_{i+1}}}{t_{i+1}-t_{i-1}} = \frac{\overrightarrow{OG_{i+1}} - \overrightarrow{OG_{i-1}}}{\Delta t}$$

ب -متجهة السرعة اللحظية:

عندما تكون اللحظتان t_{i-1} و t_{i+1} جد متقاربتين و تؤطران اللحظة t_i تكون السرعة اللحظية عند اللحظة t_i تساوي تقريبا السرعة المتوسطة بين اللحظتين t_{i-1} و t_{i+1} أي أن

$$\vec{v}_i = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\overrightarrow{OG_{i+1}} - \overrightarrow{OG_{i-1}}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \overrightarrow{OG_i}}{\Delta t} \Rightarrow \vec{v}_i = \frac{d\overrightarrow{OG_i}}{dt}$$



تساوي متجهة السرعة اللحظية عند كل لحظة، مشتقة متجهة الموضع بالنسبة للزمن.

ت -مميزات متجهة السرعة اللحظية:

- ✓ الأصل : موضع النقطة المتحركة عند اللحظة t .

- ✓ الاتجاه: اتجاه المسار أو المستقيم المماس للمسار عند هذا الموضع.
- ✓ المنحى : منحى الحركة.
- ✓ المنظم : قيمة السرعة اللحظية عند اللحظة t.

ث -الإحداثيات الديكارتية لمتجهة السرعة اللحظية:

لدينا متجهة الموضع لمتحرك M في معلم متعامد ممنظم $\Re(O;\vec{i};\vec{j};\vec{k})$ (معلم ديكارتي) هو: $\overrightarrow{OM}=x.\vec{i}+y.\vec{j}+z.\vec{k}$

وبما أن $\vec{v}=\frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$ فإن: $\vec{v}=\frac{dx}{dt}.\vec{i}+\frac{dy}{dt}.\vec{j}+\frac{dz}{dt}.\vec{k}=\dot{x}.\vec{i}+\dot{y}.\vec{j}+\dot{z}.\vec{k}=v_x.\vec{i}+v_y.\vec{j}+v_z.\vec{k}$

ملحوظة: منظم متجهة السرعة اللحظية في معلم ديكارتي هو: $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2+v_z^2}$

II-متجهة التسارع اللحظي

$$\vec{a}=\frac{d\vec{v}}{dt}=\frac{dv_x}{dt}.\vec{i}+\frac{dv_y}{dt}.\vec{j}+\frac{dv_z}{dt}.\vec{k}=\frac{d^2x}{dt^2}.\vec{i}+\frac{d^2y}{dt^2}.\vec{j}+\frac{d^2z}{dt^2}.\vec{k}=\ddot{x}.\vec{i}+\ddot{y}.\vec{j}+\ddot{z}.\vec{k}=a_x.\vec{i}+a_y.\vec{j}+a_z.\vec{k}$$

1-تعريف:

تساوي متجهة التسارع $\vec{a}$ لمركز قصور جسم صلب، مشتقة متجهة السرعة اللحظية بالنسبة للزمن: $\vec{a}=\frac{d\vec{v}}{dt}$

وحدة التسارع في النظام العالمي للوحدات هي: $m.s^{-2}$.

2-إحداثيات متجهة التسارع:

أ - في معلم ديكارتي:

ملحوظة: منظم متجهة التسارع في معلم ديكارتي هو: $a=\sqrt{a_x^2+a_y^2+a_z^2}$

$$\vec{a}=\overrightarrow{a_T}+\overrightarrow{a_N}=a_T.\vec{u}+a_N.\vec{n}=\frac{dv}{dt}.\vec{u}+\frac{v^2}{\rho}.\vec{n}$$

ب -في معلم فريني:

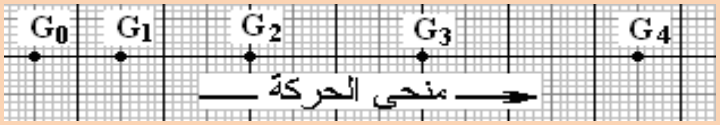
☒ تعريف: معلم فريني معلم متعامد ممنظم $(M,\vec{u},\vec{n})$ حيث ينطبق أصله في كل لحظة، مع الموضع M للمتحرك و متجهته الواحدية $\vec{u}$ مماسة للمسار وموجهة في منحى الحركة أما متجهته الواحدية $\vec{n}$ فتكون متعامدة مع $\vec{u}$ وموجهة نحو تقعر المسار.

☒ نعبر عن متجهة التسارع في معلم فريني بالنسبة لحركة مستوية بالعلاقة:

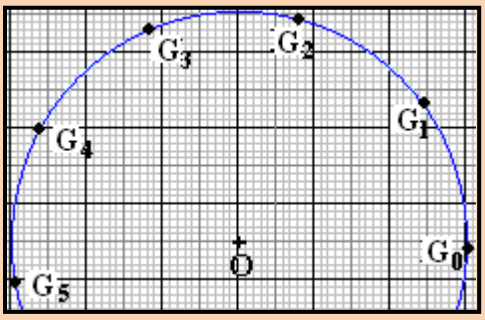
- ✓ $\overrightarrow{a_T}$ متجهة التسارع المماسي أو المركبة المماسية لمتجهة التسارع منظمها هو: $a_T=\frac{dv}{dt}$
- ✓ $\overrightarrow{a_N}$ متجهة التسارع المنظمي أو المركبة المنظمية لمتجهة التسارع منظمها هو: $a_N=\frac{v^2}{\rho}$

ملحوظة:

يمكن تحديد طبيعة الحركة من خلال الجداء السلمي $\vec{a}.\vec{v} = \|\vec{a}\|.\|\vec{v}\|.\cos(\vec{a};\vec{v})$ حيث إذا كان:



- ✓ $\vec{a}.\vec{v} < 0$ تكون الحركة متباطئة.
- ✓ $\vec{a}.\vec{v} > 0$ تكون الحركة متسارعة.
- ✓ $\vec{a}.\vec{v} = 0$ تكون الحركة منتظمة.



تطبيق 1:

نطلق حاملا ذاتيا بدون سرعة بدئية فوق منضدة مائلة بزاوية $\alpha = 40°$ ونسجل مواضع مركز قصوره خلال مدد زمنية متتالية ومتساوية $\tau = 50ms$ فنحصل على التسجيل التالي:

1-أحسب السرعة اللحظية عند الموضعين G_1 و G_3، ثم مثل المتجهتين $\vec{V_1}$ و $\vec{V_3}$ باستعمال السلم: $1cm \mapsto 0,15m.s^{-1}$.

2-أحسب التسارع اللحظي عند النقطة G_2.

تطبيق 2:

يمثل الشكل جانبه وبسلم حقيقي مواضع مركز القصور G لجسم صلب يتحرك فوق منضدة أفقية وفق مسار دائري وخلال مدد زمنية متتالية ومتساوية $\tau = 20ms$.

1-أحسب قيمة السرعة اللحظية عند الموضعين G_1 و G_3، ثم مثل المتجهتين $\vec{V_1}$ و $\vec{V_3}$ باستعمال سلم مناسب.

2- أحسب التسارع اللحظي عند النقطة G_2.

III-قوانين نيوتن

1-القوى الداخلية والقوى الخارجية:

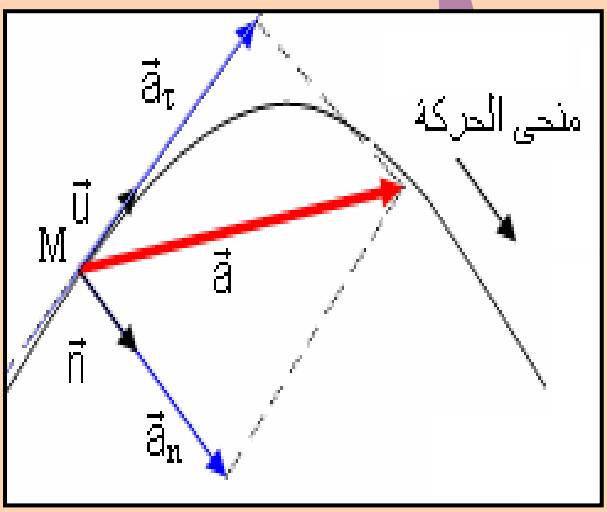
بعد تحديد المجموعة المدروسة نسمي:

☒ القوى الداخلية: القوى المطبقة من طرف جسم ينتمي إلى المجموعة المدروسة على جسم آخر ينتمي للمجموعة نفسها.

☒ القوى الخارجية: القوى المطبقة من طرف جسم لا ينتمي للمجموعة المدروسة على جسم ينتمي لها.

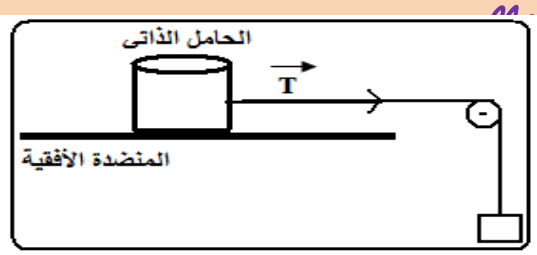
ملحوظة:

- ✓ إذا كانت المجموعة المدروسة لا تخضع إلى أي تأثير خارجي نقول أنها معزولة ميكانيكيا.
- ✓ إذا كان مجموع التأثيرات الخارجية المطبقة على المجموعة المدروسة منعدم، نقول أنها شبه معزولة ميكانيكيا.



2-القانون الأول لنيوتن: مبدأ القصور

في معلم غاليلي، إذا كان مجموع القوى الخارجية المطبقة على جسم صلب يساوي المتجهة المنعدمة، فإن متجهة سرعة مركز قصوره



تكون ثابتة، والعكس صحيح أي أن: $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0} \Leftrightarrow \overrightarrow{V_G} = \overrightarrow{Cte}$.

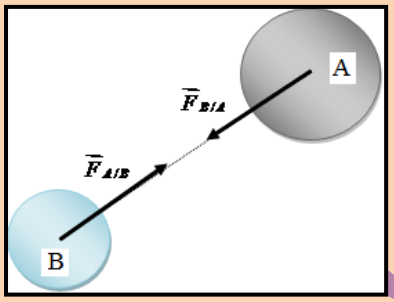
ملحوظة:

يعتبر معلم كوبيرنيك أفضل معلم غاليلي (أصله هو مركز الشمس ومحاوره موجهة نحو ثلاثة نجوم ثابتة) وكل معلم في حركة مستقيمية منتظمة بالنسبة له يعتبر غاليليا، وبذلك لا يمكن اعتبار المعالم الأرضية غاليلية إلا بالنسبة لمدد زمنية قصيرة.

3-القانون الثاني لنيوتن: المبدأ الأساسي للتحريك (الديناميك)

أ - نص القانون:

في معلم غاليلي، مجموع متجهات القوى المطبقة على جسم صلب يساوي، في كل لحظة، جداء كتلته ومتجهة تسارع مركز قصوره. $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m.\overrightarrow{a_G}$



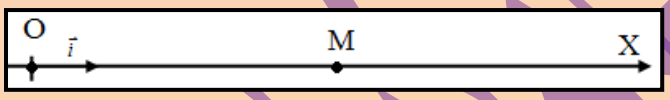
ب -التحقق التجريبي من القانون الثاني لنيوتن:

نستعمل منضدة أفقية نسلط على الحالم الذاتي بواسطة خيط غير قابل للامتداد قوة ثابتة شدتها $T = 0,27N$ ثم نحرر المجموعة ونسجل مواضع مركز قصور الحامل الذاتي في مدد زمنية متتالية ومتساوية $\tau = 80ms$ فنحصل على التسجيل التالي:

1-أجرد القوى المطبقة على الحامل الذاتي.

2-أثبت أن مجموع متجهات القوى المطبقة على الحامل الذاتي أثناء حركته يكافئ القوة $\vec{T}$.

3-أوجد باستغلال التسجيل قيمة Δv_G ،تغير سرعة G في الحالات التالية:



أ-بين G_2 و G_3 ب-بين G_2 و G_4 ج-بين G_2 و G_5 د-بين G_2 و G_6. ماذا تستنتج؟

4-مثل منحنى تغيرات Δv_G بدلالة Δt المدة الزمنية الموافقة.

5-ما المدلول الفيزيائي للمعامل الموجه للمنحنى المحصل؟ قارن هذا المعامل وخارج القسمة $\frac{T}{m}$ حيث $m = 450g$ كتلة الحامل الذاتي. تحقق من العلاقة $\Sigma \vec{F}_{ext} = m.\vec{a}_G$

4-القانون الثالث: مبدأالتأثيرات المتبادلة

عندما يتم تأثير متبادل بين جسمين A و B، فإن القوة $\vec{F}_{A/B}$ التي يطبقها الجسم A على الجسم B والقوة $\vec{F}_{B/A}$ التي يطبقها لجسم B على الجسم A تحققان العلاقة: $\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$ وذلك كيفما كانت حالة الحركة أو السكون للجسمين.

IV-دراسة بعض الحركات المستقيمية

1-الحركة المستقيمية:

- ☒ تكون حركة جسم صلب مستقيمية عندما يكون المسار الذي يسلكه خلال حركته عبارة عن جزء من مستقيم.
- ☒ متجهة الموضع: $\overrightarrow{OM} = x.\vec{i}$

☒ متجهة السرعة: $\vec{v}=\frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}=\frac{dx}{dt}.\vec{i}=\dot{x}.\vec{i}=V_x.\vec{i}$

☒ متجهة التسارع: $\vec{a}=\frac{d\vec{v}}{dt}=\frac{dv_x}{dt}.\vec{i}=\frac{d^2x}{dt^2}.\vec{i}=\ddot{x}.\vec{i}=a_x.\vec{i}$

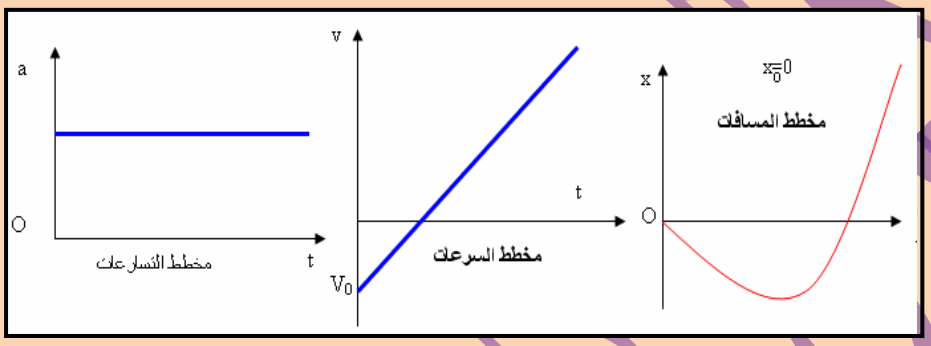
2-الحركة المستقيمية المنتظمة:

☒ تكون حركة جسم صلب مستقيمية منتظمة عندما يكون المسار مستقيمي وسرعة مركز قصوره ثابتة (القيمة الجبرية) أي أن $V_x=\frac{dx}{dt}=Cte=V_0$.

☒ المعادلة الزمنية للحركة:

$$a_x=\frac{dV_x}{dt}=0\Rightarrow V_x=\frac{dx}{dt}=V_0\Rightarrow dx=V_0.dt\Rightarrow\int_{x_0}^{x}dx=\int_0^t V_0.dt\Rightarrow x(t)=V_0t+x_0$$

☒ مخطط المسافات، السرعات ومخطط التسارعات:



3-الحركة المستقيمية المتغيرة بانتظام:

☒ تكون حركة جسم صلب مستقيمية متغيرة بانتظام عندما يكون تسارع مركز قصوره ثابتا أي أن $a_x=\ddot{x}=\frac{dV_x}{dt}=Cte$.

☒ تغيرات السرعة بدلالة الزمن:

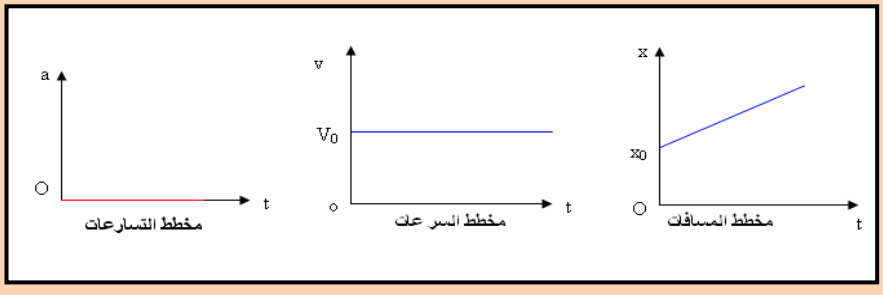
$$a=a_x=\ddot{x}=\frac{dV_x}{dt}=Cte\Rightarrow dV_x=a.dt\Rightarrow\int_{V_0}^{V}dV_x=\int_0^t a.dt\Rightarrow V_x(t)=at+V_0$$

☒ العادلة الزمنية للحركة:

$$V_x=\dot{x}=\frac{dx}{dt}\Rightarrow dx=V_x.dt\Rightarrow\int_{x_0}^{x}dx=\int_0^t(at+V_0).dt\Rightarrow x(t)=\frac{1}{2}at^2+V_0t+x_0$$

☒ المخططات:

☒ العلاقة المستقلة عن الزمن:



عندما يكون جسم صلب في حركة مستقيمية متغيرة بانتظام يكون لدينا:

$$\begin{cases} V_x = a_x.t + V_{0x} \\ x = \frac{1}{2}a_x.t^2 + V_{0x}.t + x_0 \end{cases}$$

أي أن

$$\begin{cases} t = \frac{V_x - V_{0x}}{a_x} \\ x = \frac{1}{2}a_x.t^2 + V_{0x}.t + x_0 \end{cases}$$

إذن

$$x = \frac{1}{2}a_x.\left(\frac{V_x - V_{0x}}{a_x}\right)^2 + V_{0x}.\left(\frac{V_x - V_{0x}}{a_x}\right) + x_0$$

وبالتالي :

$$\left(V_x^2 - V_{0x}^2\right) = 2.a_x\left(x - x_0\right)$$