

قوانين نيوتن

I - متجهة السرعة اللحظية - متجهة التسارع اللحظي .

1 - تذكير .

* الحركة : متى يكون جسم صلب في حركة ؟
 حركة الجسم الصلب هي **نسبية** أي تتعلق **بالجسم المرجعي** الذي اختير لدراسة هذه الحركة .
 لدراسة حركة جسم ما يجب أن نختار جسم مرجعي ونعتبر **معلم للفضاء ومعلم الزمن** مرتبطين **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 تمكنا من معرفة **حركته الإجمالية** .
 * نعلم نقطة متحركة من جسم صلب بواسطة **متجهة الموضع** .
 مثلا حركة مركز قصور الجسم (S) نعلمها بالمتجهة : \overline{OG} بحيث أن إحداثياتها في المعلم المتعامد والممنظم $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ هي :

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

مجموع المواضع المتتالية التي تشغلها النقطة G خلال الزمن تكون **مسار** هذه النقطة .

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 :

$$\vec{v}(t_2) = \frac{\overline{G(t_3)G(t_1)}}{t_3 - t_1} = \frac{\overline{G(t_3)G(t_1)}}{\Delta t}$$

نطبق علاقة شال في الرياضيات :

$$\overline{G(t_1)G(t_3)} = \overline{G(t_1)O} + \overline{OG(t_3)} = \overline{OG(t_3)} - \overline{OG(t_1)} = \Delta \overline{OG}(t_2)$$

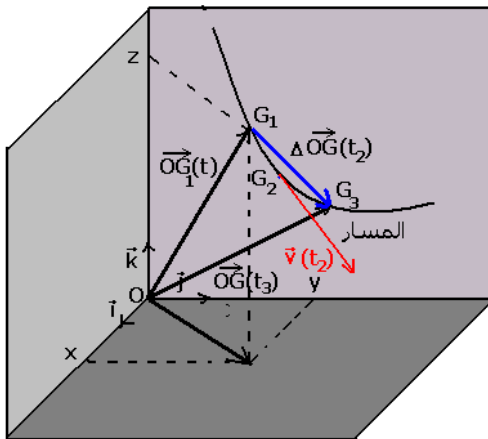
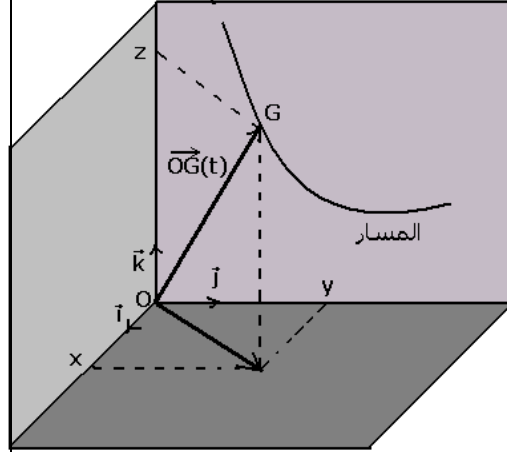
$$\vec{v}(t_2) = \frac{\Delta \overline{OG}(t_2)}{\Delta t}$$

يمكن أن نعمم هذه النتيجة على الشكل التالي :

$$\vec{v}(t) = \frac{\Delta \overline{OG}(t)}{\Delta t}$$

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

رياضيا نبرهن على أن $\frac{\Delta \overline{OG}(t)}{\Delta t}$ تؤول إلى المشتقة الأولى $\frac{d\overline{OG}}{dt}$ عندما تؤول $\Delta t \rightarrow 0$ أي أن :



$$\vec{v}_G = \frac{d\vec{OG}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{OG}}{\Delta t}$$

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 العالى للوحدات هي m/s

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

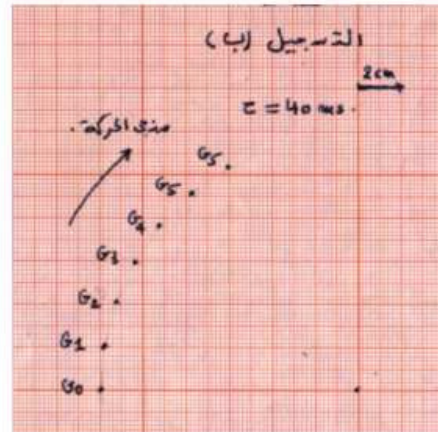
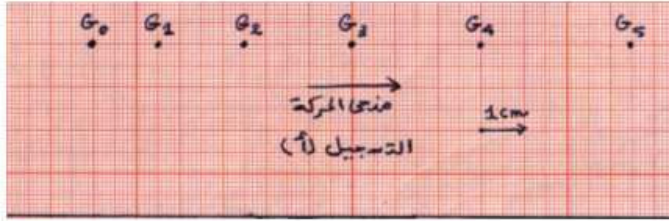
ب - إحداثيات متجهة السرعة في معلم ديكارتي

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

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

تمرين تجريبي :

لدراسة حركة مركز قصور حامل ذاتي على منضدة هوائية نقوم بتجربتين :
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 $\tau = 40ms$ فنحصل على التسجيل (أ) .
التجربة الثانية : نعيد المنضدة إلى وضعها الأفقي ونربط الحامل الذاتي بخيط غير قابل الامتداد حيث أحد طرفيه مثبت بحامل ثابت والطرف الآخر مرتبط بالحامل الذاتي ونجره بطريقة . نسجل مواضع مركز قصوره G خلال مدد زمنية متتالية ومتساوية $\tau = 40ms$. فنحصل على التسجيل (ب) .



استثمار :

1 - أحسب بالنسبة لكل تسجيل v_2 و v_4 سرعتا G مركز قصور الحامل الذاتي على التوالي في الموضعين G_2 و G_4 .

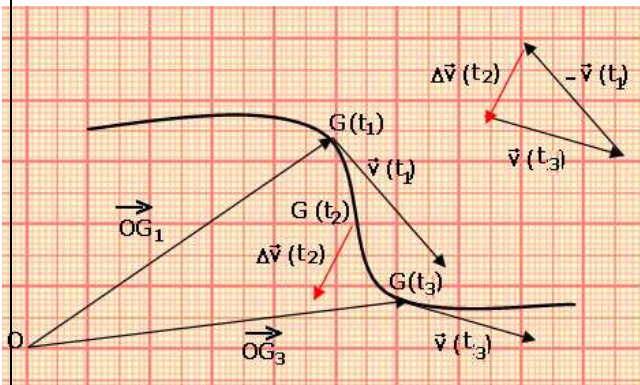
2 - مثل على كل تسجيل المتجهتين \vec{v}_2 و \vec{v}_4 باستعمال سلم ملائم . مثل في G_3 من كل تسجيل المتجهة $(\vec{v}_4 - \vec{v}_2)$.

3 - 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 $\vec{a}_c(t_2)$ بالعلاقة التالية :

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



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

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 $\frac{\Delta \bar{v}_G}{\Delta t}$ نحو متجهة التسارع $\bar{a}_G(t)$ بحيث أن :

$$\bar{a}_G(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \bar{v}_G}{\Delta t} \right) = \frac{d\bar{v}_G}{dt}$$

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

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

تطبيق :

3 - احسب بالنسبة للدراسة التجريبية السابقة المتجهة \bar{a}_3 . ومثلها باستعمال سلم مناسب .

ب - إحدائات متجهة التسارع

* إحدائات متجهة التسارع في معلم ديكارتي $(O, \bar{i}, \bar{j}, \bar{k})$:

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

حالات خاصة :

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

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

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

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

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

* إحدائات التسارع في أساس فريني .

تعريف أساس فريني :

أساس فريني هو أساس للإسقاط غير مرتبط بالمرجع .

معلم فريني (M, \bar{u}, \bar{n}) معلم متعامد وممنظم

ينطبق أصله مع موضع النقطة المتحركة ، حيث

متجهته الواحدية \bar{u} مماسة للمسار وموجهة في

منحنى الحركة ، ومتجهته \bar{n} متعامدة مع \bar{u}

وموجهة داخل انحناء المسار .

نعبر عن متجهة التسارع \bar{a}_G في أساس فريني ،

بالنسبة لحركة مستوية كالتالي :

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

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

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

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

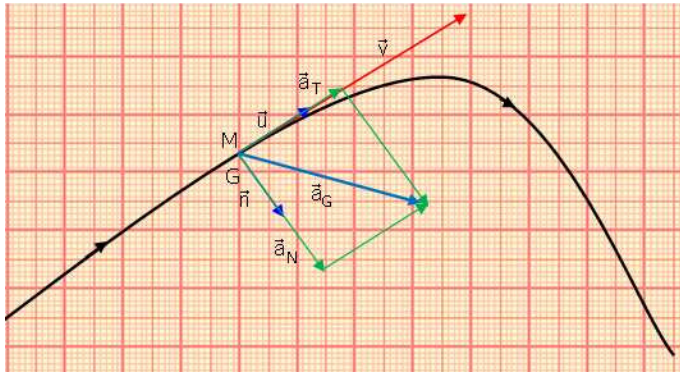
$$\bar{a} \cdot \bar{v} = a v \cos(\bar{a}, \bar{v})$$

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

$$\bar{a} \cdot \bar{v} < 0 \quad \text{تكون الحركة متباطئة}$$

$$\bar{a} \cdot \bar{v} > 0 \quad \text{تكون الحركة متسارعة}$$

$$\bar{a} \cdot \bar{v} = 0 \quad \text{تكون الحركة مستقيمة منتظمة .}$$



II – قوانين نيوتن

1 – القوة الداخلية – القوة الخارجية .

لليقيام 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 الأجسام 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 .

ملحوظة :

يمكن مركز القصور من التمييز بين مراجع غاليلية ومراجع غير غاليلية : المراجع الغاليلية هي مراجع يتحقق فيها مبدأ القصور . المرجع المركزي الشمسي (مرجع كوبرنيك) مركزه الشمس والمحاور الثلاث 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 القصيرة المدة يمكن اعتبار هذين المرجعين غاليليين .

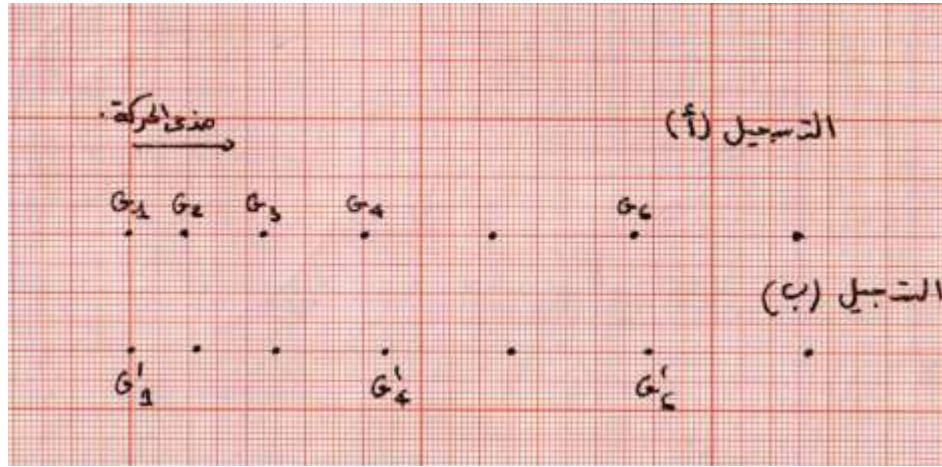
3 – القانون الثاني لنيوتن (القانون الأساسي للحريك)

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

النشاط التجريبي 2

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

نضبط المنضدة أفقيا ، ونضع الحامل الذاتي فوقها ، ثم نربطه بجهاز يطبق قوة ثابتة قابلة للضبط بواسطة خيط غير قابل الامتداد وكتلته مهملة . نحرك الحامل الذاتي في اتجاه محور أنبوب الجهاز حتى يصير الخيط موازيا لسطح المنضدة ، ونبقه في حالة سكون . نشغل الجهاز فينزل الحامل الذاتي فوق المنضدة بفعل القوة \vec{F} التي يطبقها عليه الخيط $(F = 0, 27 N)$ ، وفي نفس الوقت نسجل المواضع التي يحتلها G مركز قصور الحامل الذاتي في مدد متتالية ومتساوية $\tau = 80 ms$ فنحصل على التسجيل (أ) أنظر التسجيل أسفله . نعيد نفس التجربة مع الاحتفاظ بنفس الشدة F لكن بوجود نقص في صبيب الهواء المنبعث من معصفة soufflerie الحامل الذاتي . نحصل على التسجيل (ب)



- 1 - أجرد القوى المطبقة على الحامل الذاتي أثناء حركته في التجربة الأولى .
- 2 - أثبت أن $(\sum \vec{F}_{ext})$ مجموع القوى الخارجية المطبقة على الحامل الذاتي أثناء حركته يكافئ القوة \vec{F} خلال التجربة الأولى .
- 3 - أوجد باستغلال التسجيل قيمة Δv_G تغير سرعة G في الحالات التالية :
أ - بين G_1 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 تلاحظ ؟
- 4 - مثل تغيرات Δv_G بدلالة Δt المدة الزمنية الموافقة .
- 5 - ما المدلول الفيزيائي للمعامل الموجه للمنحنى المحصل ؟ قارن بين قيمة هذا المعامل وخارج القسمة $\frac{F}{m}$ ، m هي كتلة الحامل الذاتي : $m=450g$. تحقق من العلاقة $\sum \vec{F}_{ext} = m \frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$.
- 6 - نعتبر أن قوة الاحتكاك المطبقة على الحامل الذاتي في التجربة الثانية مكافئة لقوة ثابتة ووحيدة \vec{f} موازية لمسار G ومنحاهها عكس منحى G . أحسب f شدة هذه القوة .
- 7 - إذا علمت أن القانون الثاني لنيوتن تجسده العلاقة $\sum \vec{F}_{ext} = m \frac{\Delta \vec{v}_G}{\Delta t}$ ، اقترح نص هذا القانون ، مبرزا الفائدة منه .

3 - 2 نص القانون الثاني لنيوتن .

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

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

نص قانون :

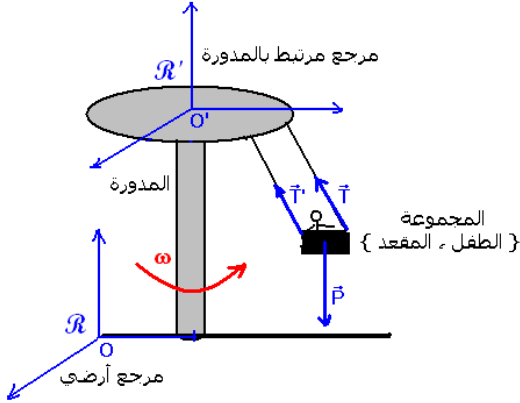
في مرجع غاليلي ، يساوي مجموع القوى الخارجية المطبقة على جسم صلب جداء كتلة هذا الجسم ومتجهة التسارع لمركز قصوره G :

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

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

تنجز مدورة ألعاب دوران منتظم ، حول محور ثابت ، في مرجع أرضي . أخذ الطفل أحمد مقعده في هذه المدورة . نعتبر { الطفل ، المقعد } المجموعة المدروسة ونجسم هذه المجموعة بمركز قصورها G ، حيث كتلتها M .

1 - اجرد القوى المطبقة على المجموعة خلال حركة دورانها . ومثلها بدون سلم في مركز قصور المجموعة .



- وزن المجموعة \vec{P}

- تأثير الحبل على المجموعة \vec{F}

2 - نعتبر الجسم المرجعي \mathcal{R}' مرتبط بالمدورة والجسم المرجعي الأرضي \mathcal{R} .

2 - 1 حدد الحالة الميكانيكية للمجموعة في \mathcal{R} و \mathcal{R}' . واستنتج تسارعها في المرجع \mathcal{R}' .

في الجسم المرجعي \mathcal{R}' المرتبط بالمدورة المجموعة في حالة سكون

في الجسم المرجعي \mathcal{R} في حركة دوران منتظم .

- تسارع المجموعة في \mathcal{R}' منعدم $\vec{a}_G = \vec{0}$

2 - 2 طبق القانون الثاني لنيوتن في \mathcal{R} و \mathcal{R}' . ماذا تستنتج ؟

نطبق القانون الثاني لنيوتن في \mathcal{R} : $\vec{P} + \vec{F} = M\vec{a}_G$

نطبق القانون الثاني لنيوتن في \mathcal{R}' بما أن $\vec{a}_G = \vec{0}$ فإن $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$ لكن حسب تمثيل القوى يلاحظ أن

$\sum \vec{F}_{ext} \neq \vec{0}$ نستنتج أن قانون نيوتن لا يتحقق في هذا المرجع وبالتالي فهو مرجعاً غير غاليليا .

4 - القانون الثالث لنيوتن

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 :

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

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

III - تطبيق : حركة جسم صلب على مستوى أفقي وعلى مستوى مائل .

1 - نعتبر جسماً صلباً (S) كتلته $M=200g$ ، موضوعاً فوق مستوى أفقي بحيث يتم التماس بينهما بدون احتكاك . نطبق قوة أفقية ثابتة \vec{F} شدتها $F=0.5N$ و تسمح بتحريكه على المستوى الأفقي . خط تأثير القوة \vec{F} موازي للمستوى الأفقي .

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 .

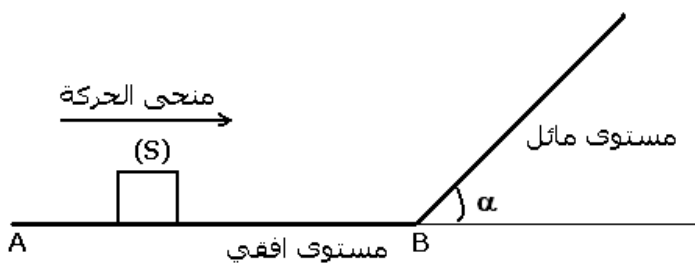
الجواب :

لتطبيق القانون الثاني لنيوتن نحدد المجموعة المدروسة : (S) . ونختار مرجعاً غاليليا وهو المرجع الأرضي .

نقوم بجرّد القوى المطبقة على المجموعة المدروسة : (S)

وزن الجسم (S) \vec{P}

القوة الأفقية الثابتة \vec{F}



\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 للتحرير

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

إسقاط العلاقة المتجهية على المعلم المتعامد الممنظم

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

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

على Oy لدينا $P_y + F_y + R_y = \vec{0}$ غياب الحركة على المحور

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

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 حسب التعبير التالي : $a = \frac{F}{m}$

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

$$a = 2,5 m/s^2$$

2 - في نقطة B ، تبعد عن النقطة A موضع انطلاقه بدون سرعة بدئية بمسافة $\ell = 30cm$ ، يصعد

الجسم (S) مستوى مائلا بالنسبة للمستوى الأفقي بزاوية $\alpha = 45^\circ$ 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

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

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 بزاوية φ تسمى بزاوية الاحتكاك ومنحاه عكس منحى حركة الجسم

(S) . نعرف معامل الاحتكاك بالعلاقة التالية : $k = \tan \varphi = \left| \frac{R_T}{R_N} \right|$ بحيث أن 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 للتحرير

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

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

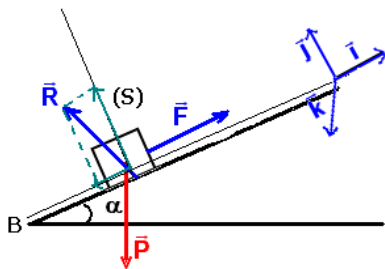
على Ox لدينا : $P_x + R_x + F_x = m.a_2 \Rightarrow -mg \sin \alpha - R_T + F = m.a_2$ (1)

(1)

على Oy لدينا $P_y + F_y + R_y = \vec{0}$ 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



$$-mg \sin \alpha - kmg \cos \alpha + F = ma_2 \Rightarrow a_2 = \left(\frac{F}{m} - (g \sin \alpha + kg \cos \alpha) \right)$$

$$a_2 = a_1 - (g \sin \alpha + kg \cos \alpha)$$

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 مستقيمة متغيرة بانتظام .

قيمة التسارع a_2 هي : $a_2 = -5 \text{ lm/s}^2$

نحسب المسافة الدنوية 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) .

حساب v_B نطبق كذلك مبرهنة الطاقة الحركية منذ انطلاقه من النقطة A إلى وصوله إلى النقطة B :

$$\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) \Rightarrow \frac{1}{2}mv_B^2 = F \cdot \ell = m \cdot a_1 \cdot \ell$$

$$v_B = \sqrt{2a_1 \cdot \ell} = 1,22 \text{ m/s}$$

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

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

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

$$-\frac{1}{2}mv_B^2 = m \cdot a_2 \cdot d$$

$$d = -\frac{v_B^2}{2a_2} = 0,15 \text{ m}$$

IV _ الحركة المستقيمة المتغيرة بانتظام

1 _ تعريف

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

2 _ المعادلة الزمنية للحركة

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

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

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

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

$$v = at + v_0$$

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

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

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

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