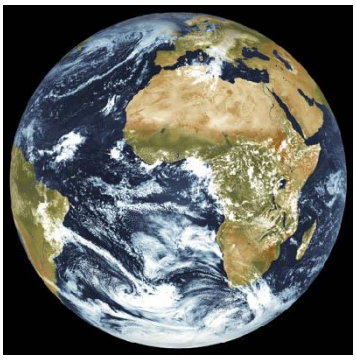
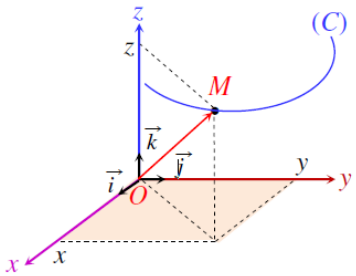
1- المرجع و المعلم درس الأستاذ مولاي أعمر

تمهيد: الحركة و السكون مفهومان نسبيان. **قال تعالى**:

{وَ تَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ صُنْعَ اللَّهِ الَّذِي أَتْقَنَ كُلَّ شَيْءٍ إِنَّهُ خَبِيرٌ بِمَا تَفْعَلُونَ }النمل88





لدراسة حركة جملة مادية يتطلب تحديد المرجع .

المرجع : جسم صلب مرتبط دوما بمعلمين :

1- معلم المسافة : مثل المعلم الفضائي : $(o,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$.

2- معلم الزمن : عادة يختار مبدأ الأزمنة $(t=o)$ مع لحظة بداية الحركة .

المراجع الغاليلية : (المراجع العطالية)

المراجع العملية :

1- **المرجع الهليومركزي** : المرجع الشمسي

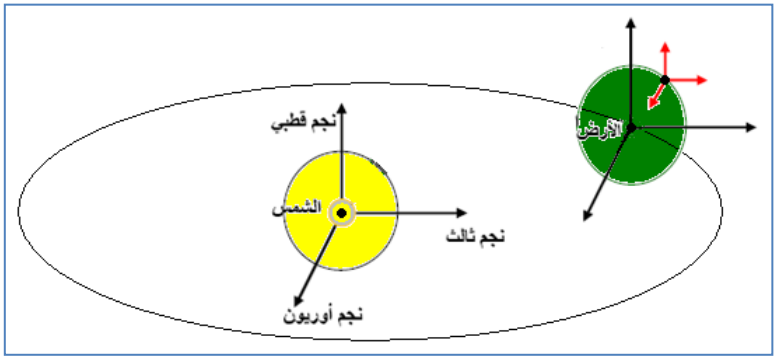
- معلم بثلاثة محاور موجهة نحو ثلاثة نجوم في الفضاء (نعتبرها ثابتة بالنسبة للشمس لمدة قرن) . مبدؤه مركز الشمس (S) .
- يستعمل في دراسة : الكواكب و المذنبات و بعض المركبات الفضائية .
- يعرف بمعلم كوبرنيك . و هو المعلم الغاليلي الأكثر دقة .

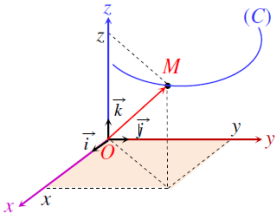
2- **المرجع الجيومركزي** : المرجع الأرضي

- معلم بثلاثة محاور مسايرة لمحاور المعلم الشمسي . مبدؤه مركز الأرض . المحاور لا تدور مع دوران الأرض.
- يستعمل لدراسة القمر و الأقمار الاصطناعية و بعض الحركات الأرضية.

3- **المرجع سطح أرضي**

- معلم مرتبط بسطح الأرض ، يعتبر غاليليا ولكنه أقل دقة من سابقيه .
- يسمح بدراسة كل الحركات الجارية على سطح الأرض خلال مدة زمنية صغيرة جدا مقارنة بمدة دوران الأرض .





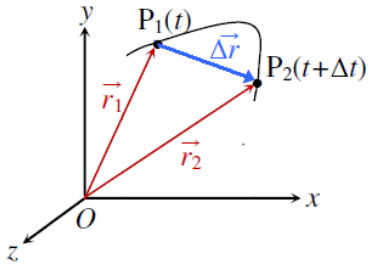
2- القوانين الثلاثة لنيوتن ومفهوم التسارع

2-1- شعاع الموضع : $\vec{r}$

يكتب شعاع الموضع في المعلم الفضائي $Oxyz$ لجسم متحرك بالإحداثيات الكارتيزية (x, y, z) بالعبارة :

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

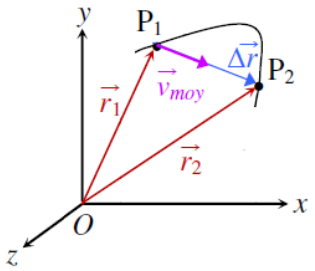
2-2- شعاع الانتقال : $\overrightarrow{\Delta r}$



عندما ينتقل المتحرك :

- من النقطة P_1 شعاع موضعها $\vec{r}_1$ عند اللحظة (t) .
- إلى النقطة P_2 شعاع موضعها $\vec{r}_2$ عند اللحظة $(t + \Delta t)$.
- يعبر عن هذا الانتقال بشعاع يدعى : **شعاع الانتقال** .
- ويكتب بالعبارة : $\overrightarrow{\Delta r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = \Delta x\vec{i} + \Delta y\vec{j} + \Delta z\vec{k}$

2-3- شعاع السرعة المتوسطة : $\vec{v}_{moy}$



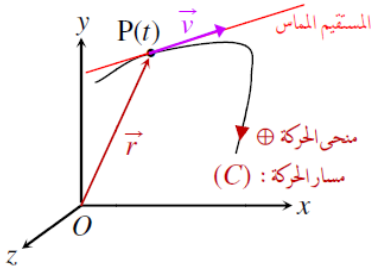
- بالتعريف هو النسبة بين شعاع الموضع $\overrightarrow{\Delta r}$ و الزمن Δt الموافق لذلك .
- ونكتب :

$$\vec{v}_{moy} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

- لشعاع السرعة المتوسط نفس الخصائص مع شعاع الانتقال – أنظر الشكل :

2-4- شعاع السرعة اللحظية : $\vec{v}$

- عندما : $\Delta t \to o$ فإن شعاع السرعة المتوسطة يؤول نحو شعاع السرعة اللحظية المحمول على المستقيم المماس للمسار عند اللحظة المعتبرة (t) . أي : $\overrightarrow{v_{moy}} \to \vec{v}$.



- نكتب : $\vec{v} = \lim_{\Delta t \to o} \vec{v}_{moy} = \lim_{\Delta t \to o} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$
- أي : $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k}$
- حيث : $v_x = \frac{dx}{dt}$ و $v_y = \frac{dy}{dt}$ و $v_z = \frac{dz}{dt}$
- حامل الشعاع $\vec{v}$ مماسي للمسار وجهته من جهة الحركة .
- شدة السرعة : $\mathbf{v} = |\vec{\mathbf{v}}| = \sqrt{\mathbf{v_x^2} + \mathbf{v_y^2} + \mathbf{v_z^2}}$
- تقدر في جملة الوحدات الدولية *(SI)* بوحدة m/s أو $m.s^{-1}$.

مفهوم التسارع: a

- هو تغير السرعة بالنسبة للزمن . وحدته في الجملة الدولية هي : $\frac{m}{s^2}$ أو $m.s^{-2}$.

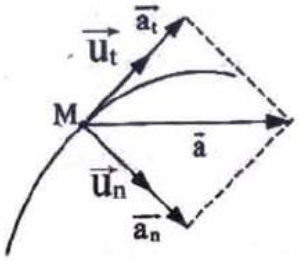
2-6- شعاع التسارع المتوسط : $\vec{a}_{moy}$

- يعطى بالعبارة : $\vec{a}_{moy} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$

2-7- شعاع التسارع اللحظي : $\vec{a}$

- يعطى بالعبارة : $\vec{a} = \lim_{\Delta t \to o} \vec{a}_{moy} = \lim_{\Delta t \to o} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt}$
- أي : $\vec{a} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k}$
- قيمة التسارع في معلم كارتيزي : $a = \sqrt{\mathbf{a_x^2} + \mathbf{a_y^2} + \mathbf{a_z^2}}$
- تقدر وحدتها في الجملة الدولية بـ m/s^2 .

- **شعاع التسارع في معلم فريني $(M,\vec{u},\vec{u}_N)$**



$$\left.\begin{aligned} a_T &= \frac{dv}{dt} \\ a_N &= \frac{v^2}{\rho} \end{aligned}\right| \quad \vec{a} = a_T\,\vec{u}_T + a_N\,\vec{u}_N$$

حيث ρ نصف قطر انحناء المسار

أمثلة تطبيقية

مثال (1): ثناء حركة مركز عطالة جسم صلب ، تعطى إحداثيات شعاع موضعه $\overrightarrow{OM}$ في كل لحظة بالمعادلات الزمنية التالية :

$$\begin{cases} x = 2t \\ y = 7 \\ z = 5t^2 \end{cases}$$

المطلوب : 1- أكتب المعادلة الزمنية لشعاع الموضع .

2- استنتج المعادلة الزمنية لشعاع السرعة .

3- استنتج عبارة شعاع السرعة عند اللحظة $t = 10\ s$.

4- أحسب قيمة شعاع السرعة عند تلك اللحظة .

5- استنتج عبارة وقيمة شعاع التسارع عند اللحظ $t = 5\ s$.

مثال (2):

متحرك M ، يقوم بحركة في معلم كارتيزي $\left(O,\vec{i},\vec{j},\vec{K}\right)$. يحدد موضعه في كل لحظة بالمعادلات الزمنية التالية:

$$\begin{cases} x = 2t - 5 \\ y = -2t^2 \\ z = \frac{1}{2}t \end{cases}$$

1 – أكتب عبارة شعاع الموضع.

2 – استنتج عبارة شعاع السرعة اللحظية

3 – استنتج عبارة شعاع التسارع اللحظي.

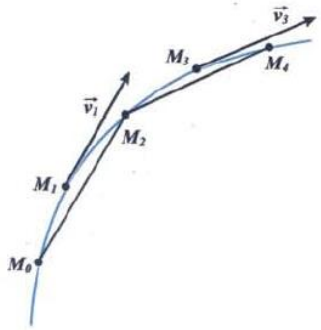
الجواب : $\vec{a}_M = 0\cdot\vec{i} + (-4)\cdot\vec{j} + 0\cdot\vec{k}$

دراسة وثيقة

- إذا كانت مدة التسجيل صغيرة في حدود $\tau \approx 10^{-3}s$

1- شعاع السرعة اللحظية $\vec{v}$

- **قيمتها :**

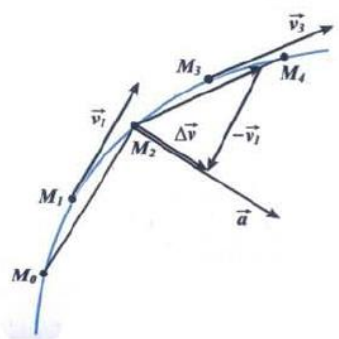


$$v_1 = v_{(t_1)} \approx \frac{M_0 M_2}{2\tau} \quad ، \quad v_3 = v_{(t_3)} \approx \frac{M_2 M_4}{2\tau}$$

- حاملها : المماس للمسار في مختلف مواضع المتحرّك.
- جهتها : بجهة الحركة.

2- شعاع تغير السرعة $\overrightarrow{\Delta v}$: $\overrightarrow{\Delta v_2} = \vec{v}_3 - \vec{v}_1$

- **جهته و حامله :** نحو داخل تقعر انحناء المسار



3- شعاع التسارع اللحظي $\vec{a}$: $\vec{a} = \frac{\overrightarrow{\Delta v}}{\Delta t}$ ، قيمتها : $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

- **جهته و حامله :** نحو داخل تقعر انحناء المسار (بجهة $\overrightarrow{\Delta v}$)

القوانين الثلاثة لنيوتن

1- القانون الأول لنيوتن (مبدأ العطالة)

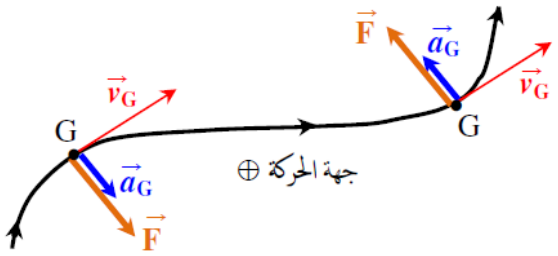
في المعالم الغاليلية أو العطالية :
" يحافظ كل جسم على سكونه أو حركته المستقيمة المنتظمة إذا لم تتدخل قوة خارجية لتغير من حالته الحركية "

2- القانون الثاني لنيوتن (نظرية مركز العطالة)

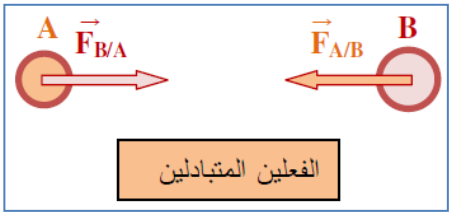
$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$$

$\sum \vec{F}$ مجموع القوى المؤثرة في الجملة الميكانيكية

$\vec{a}_G$ تسارع مركز عطالة الجملة في معلم عطالي.



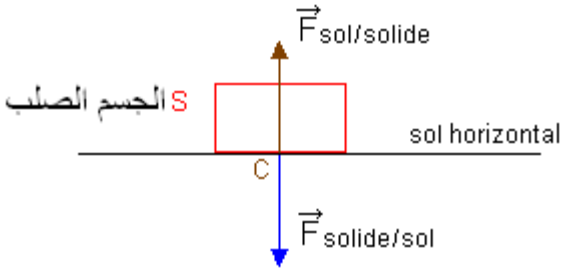
3- القانون الثالث لنيوتن (الفعلين المتبادلين)



إذا أثرت جملة A على جملة B بقوة $\vec{F}_{A/B}$ ، فإن الجملة B تؤثر على الجملة A بقوة $\vec{F}_{B/A}$ تساويها في الشدة و لها نفس الحامل و تعاكسها في الجهة .

نعبر بالعلاقة الشعاعية :

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



3- شرح حركة كوكب أو قمر صناعي

2-1- خواص الحركة الدائرية المنتظمة :

تعريف : نقول عن نقطة أنها تقوم بحركة دائرية منتظمة :

إذا انتقلت وفق مسار دائري نصف قطره (r) وبسرعة (V) ثابتة .

- **تسارع الحركة الدائرية المنتظمة :**

لها تسارع ناظمي (a_n) يتجه دائما نحو المركز .

$$a_n = \frac{V^2}{r}$$

- **دور الحركة الدائرية المنتظمة : T**

هو الزمن اللازم : لإنجاز دورة واحدة .

أو لقطع مساحة قدرها $2\pi r$. ونكتب :

$$T = \frac{2\pi r}{V}$$

- **عبارة مربع الدور و التسارع الناظمي :**

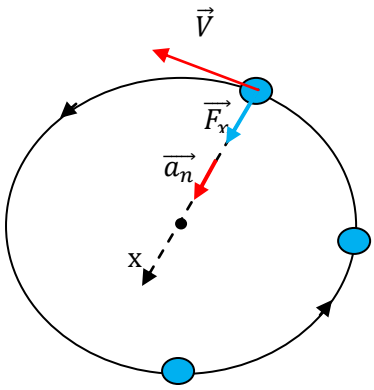
من العلاقتين السابقتين نجد :

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r}{a_n}$$

2-2- الحركة الدائرية المنتظمة للكواكب و الأقمار الاصطناعية :

2-2-1- تفسير حركة الكواكب و الأقمار الاصطناعية:

أ - باستعمال القانون الثاني لنيوتن:



- لتحليل الحركة نختار محور واحد – محور الفواصل x - متجه نحو مركز الدائرة .
- بتطبيق القانون الثاني لنيوتن وفق هذا المحور :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m.\vec{a}_G \quad \Leftrightarrow \quad \sum \vec{F}_x = m.\vec{a}_n$$

- **و منه نكتب :**

$$\sum F_x = \frac{mV^2}{r}$$

- وباستعمال علاقة مربع الدور نجد :

$$\sum F_x = \frac{m.4\pi^2 r}{T^2}$$

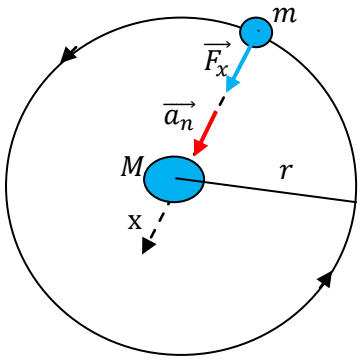
ملاحظة : F_x **هي القوة الجاذبة المركزية .**

ب- باستعمال قانون الجذب العام:

1 - **قانون الجذب العام :**

$$F = \frac{G.m.M}{r^2}$$

حيث : G ثابت التجاذب الكوني $G = 6.67 \times 10^{-11} N.m^2.Kg^{-2}$



2- السرعة المدارية للكوكب و الأقمار الاصطناعية

يمكن كتابة المساواة : $\frac{G.m.M}{r^2} = \frac{mV^2}{r}$ **ومنه** $V_{orb} = \sqrt{\frac{G.M}{r}}$

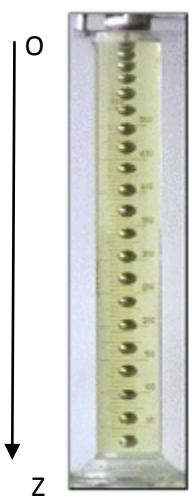
3- دور الكوكب : بما أن الدور $T = \frac{2\pi r}{V_{orb}}$ ومنه $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

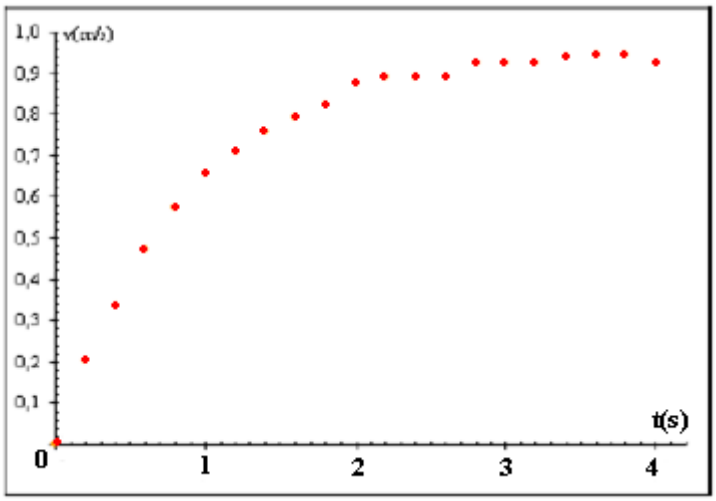
4- دراسة حركة السقوط الشاقولي لجسم صلب في مائع(هواء أو سائل)

3-1- دراسة حركة السقوط الحقيقي لجسم صلب في سائل:

تجربة: تم تصوير السقوط الشاقولي لكرية من حديد داخل الزيت . وبعد معالجة المعطيات بالإعلام الآلي .

تم الحصول على تطور السرعة $v_z(t)$ للكرية بدلالة الزمن . المحور (Oz) متجه نحو الأسفل .





دراسة البيان :

- شكل البيان من خلال النقاط .
- ماذا يمثل هذا البيان ؟
- ما هي السرعة الابتدائية v_0 للكرية ؟
- ما هي سرعتها الحدية v_{Lim} ؟
- حدد الزمن المميز للسقوط τ .
- حدد بواسطة المنحني قيمة التسارع :

في اللحظة $t_1 = 0s$ ثم $t_2 = 1.5s$ ثم $t_3 = 3.8s$.

- شكل البيان يوحي بوجود نظامين : أذكرهما مع شرح بسيط .

القوى المؤثرة على الكرية :

- مثل مخطط أجسام متأثرة والذي يبين الأفعال المتبادلة بين الكرية و الوسط الخارجي .
- ما هي القوى المؤثرة على الكرية ؟ مع إعطاء مميزات كل قوة .
- باختيارك مرجع مناسب (أذكره) طبق القانون الثاني لنيوتن على الكرية . ثم استنتج المعادلة التفاضلية المميزة للحركة .

3-2- دراسة حركة السقوط الحر لجسم صلب في الهواء بإهمال قوى الاحتكاك

- **قانون السقوط الحر**

صرح غاليلي : ينبغي على الأجسام أن تكون لها نفس حركة السقوط . لكن يمكن لهذه الحركة أن تتغير مع طبيعة الوسط الذي يحدث فيه السقوط

نيوتن أكد ما صرح به غاليلي بإنجاز بعض التجارب منها تجربة الأنبوب . راجع الكتاب المدرسي ص 257 .

- **نتيجة :** في الفراغ السقوط غير مرتبط بالكتلة .وتنعدم مقاومة الهواء . ويبقى تأثير الجاذبية فقط .
- **قانون السقوط الحر : في غياب مقاومة الهواء كل الأجسام تسقط بالتسارع نفسه مهما كان حجمها أو شكلها .**
- **تعريف : الجسم الخاضع لثقله فقط أثناء سقوطه يكون في حالة سقوط حر .**

✂.....