| بسم الله الرحمن الرحيم<br>الجذع المشترك<br>الفيزياء-جزء الميكانيك | الحركة<br>Le Mouvement | المحور الثاني :<br>الحركة<br>الوحدة 3<br>6 س |
|---|---|---|

# 1- الحركة :

## 1-1- نسبية الحركة :

### 1-1-1- نشاط :


عمر وسمير جالسان بينما صعد خالد الحافلة ويتجه نحو مقعده بجانب عمر ، أما ليلى فتنتظر حافلة أخرى .

أ- أثناء حركة الحافلة :

| بالنسبة لـ | عمر | للحافلة | للطريق (الأرض) |
|---|---|---|---|
| هل سمير في حركة | لا | لا | نعم |
| هل ليلى في حركة | نعم | نعم | لا |

ب- بالنسبة لأي جسم يوجد خالد في حركة ؟

خالد في حركة بالنسبة للأرض و الحافلة و سمير و ليلى و عمر .

ج - ماذا تتطلب دراسة مفهومي الحركة والسكون ؟

تتطلب دراسة مفهومي الحركة والسكون تحديد الجسم الذي تتم بالنسبة إليه الدراسة .

### 1-1-2- خلاصة :

**نقول إن جسما يتحرك بالنسبة لجسم آخر ، اختير جسما مرجعيا ، إذا انتقل وتغير موضعه بالنسبة لهذا الجسم المرجعي .**

**الحركة والسكون مفهومان نسبيان يتعلقان بالجسم المرجعي الذي يدرسان فيه .**

## 1-2- الجسم المرجعي :

**الجسم المرجعي** هو جسم (أو مجموعة أجسام) صلب غير قابل للتشويه تدرس بالنسبة إليه حركة جسم .

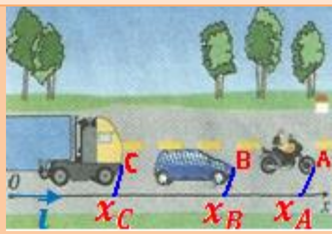
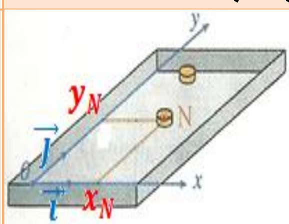
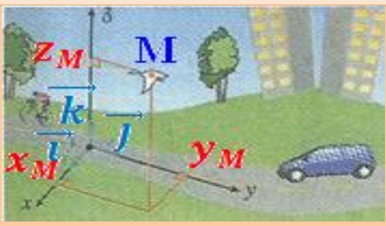
✎ **المرجع الأرضي** : يتكون من أي جسم صلب مرتبط بالأرض (ثابت على سطح الأرض) ، ويستعمل لدراسة حركة جميع الأجسام التي تنتقل على سطح الأرض أو على ارتفاع ضئيل منه .

✎ **المرجع المركزي الأرضي** : هو مرجع مرتبط بمركز الأرض و يستعمل لدراسة الطائرات...

# 2- معلمة الحركة :

## 2-1- معلم الفضاء :

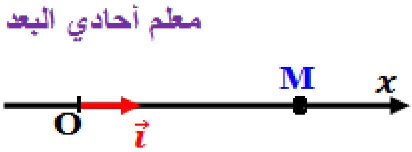
### 2-1-1- نشاط :

| | الدراجة والسيارة والشاحنة في حركة مستقيمية بالنسبة للأرض | الحامل الذاتي في حركة بالنسبة للمنضدة | السيارة والدراجة والطائر في حركة بالنسبة للأرض |
|---|---|---|---|
| حدد في كل حالة : |  |  |  |
| الجسم المرجعي | الأرض | المنضدة | الأرض |
| معلم الفضاء | $R(O,\vec{\imath})$ | $R(O,\vec{\imath},\vec{\jmath})$ | $R(O,\vec{\imath},\vec{\jmath},\vec{k})$ |
| إحداثيات النقط | $A(x_A);\ B(x_B);\ C(x_C)$ | $N(x_N,y_N)$ | $M(x_M,y_M,z_M)$ |
| متجهة الموضع | $\overrightarrow{OA}=x_A\vec{\imath}$ و $\overrightarrow{OB}=x_B\vec{\imath}$ و $\overrightarrow{OC}=x_C\vec{\imath}$ | $\overrightarrow{ON}=x_N\vec{\imath}+y_N\vec{\jmath}$ | $\overrightarrow{OM}=x_M\vec{\imath}+y_M\vec{\jmath}+z_M\vec{k}$ |

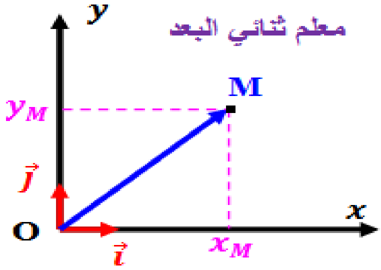
### 2-1-2-خلاصة :

لدراسة حركة جسم ما نختار جسما مرجعيا و نرفق به معلما يسمى **معلم الفضاء** .

يحدد موضع نقطة M من جسم في حركة في معلم الفضاء **بمتجهة الموضع** $\overrightarrow{OM}$ .

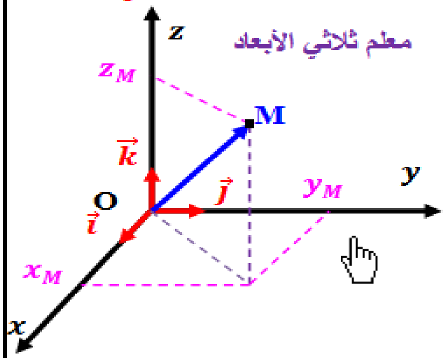



- **إذا كانت الحركة مستقيمية** : نختار معلما $R(O,\vec{i})$ يتكون من محور واحد $Ox$ أصله $O$ و موجه بالمتجهة الواحدية $\vec{i}$ و نكتب **متجهة الموضع** كالتالي : $\overrightarrow{OM} = x_M\vec{i}$ و $\|\overrightarrow{OM}\| = \sqrt{x_M^2}$




- **إذا كانت الحركة مستوية** : نختار معلما $R(O,\vec{i},\vec{j})$ يتكون من محورين متعامدين و ممنظمين و نكتب **متجهة الموضع** كالتالي :

$$\overrightarrow{OM} = x_M\vec{i} + y_M\vec{j} \quad \text{و} \quad \|\overrightarrow{OM}\| = \sqrt{x_M^2 + y_M^2}$$




- **إذا كانت الحركة فضائية** : نختار معلما $R(O,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ يتكون من ثلاثة محاور متعامدة و ممنظمة و نكتب **متجهة الموضع** كالتالي :

$$\overrightarrow{OM} = x_M\vec{i} + y_M\vec{j} + z_M\vec{k}$$

و $$\|\overrightarrow{OM}\| = \sqrt{x_M^2 + y_M^2 + z_M^2}$$

عند انتقال النقطة M تتغير إحداثياتها $x_M$ و $y_M$ و $z_M$ مع الزمن .

### 2-2- معلم الزمان :

يقتضي وصف حركة نقطة من جسم الإشارة إلى تواريخ اللحظات التي تحتل خلالها هذه النقطة مواضع معينة ، إذ نقرن بكل موضع M تاريخا t .

- **المدة** هي المجال الزمني الفاصل بين بداية الحدث ونهايته .
- **التاريخ** هي لحظة وقوع الحدث ، ولتحديده نختار وحدة للزمن ( الثانية ( s ) ، ومنحى موجبا ( من الماضي إلى المستقبل ) ، وأصلا اعتباطيا ( يأخذ القيمة 0 ) .

### 2-3- المسار :

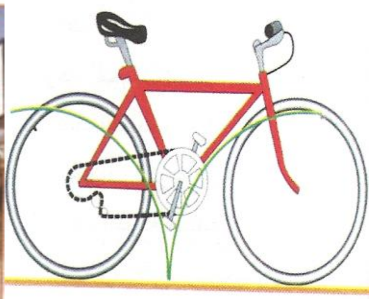
**مسار** نقطة من جسم في حركة هو **الخط المستمر الذي يصل مجموع المواضع المتتالية التي تحتلها هذه النقطة أثناء حركتها .**

**يتعلق شكل مسار** نقطة من جسم متحرك **بالجسم المرجعي** الذي تدرس فيه الحركة .

تكون **الحركة مستقيمية** إذا كان المسار مستقيميا .

تكون **الحركة منحنية** إذا كان المسار منحنيا .

تكون **الحركة دائرية** إذا كان المسار دائريا .



## 3- متجهة السرعة :

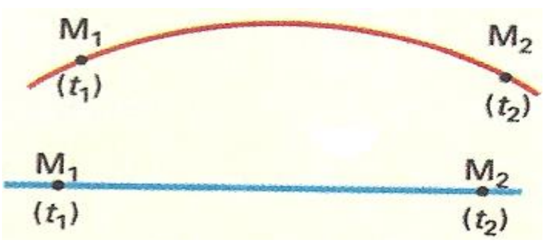
### 3-1- السرعة المتوسطة:

**السرعة المتوسطة** هي خارج قسمة المسافة المقطوعة d على المدة الزمنية $\Delta t$ المستغرقة لقطع هاته المسافة .

$$m.s^{-1} \leftarrow V_m = \frac{d \rightarrow m}{\Delta t \rightarrow s}$$

مع $1\, m.s^{-1} = 3,6\, km.h^{-1}$

بالنسبة لمسار مستقيمي : $V_m = \frac{M_1M_2}{t_2 - t_1}$




بالنسبة لمسار منحني : $V_m = \frac{M_1M_2}{t_2 - t_1}$

### 3-2- متجهة السرعة اللحظية :

تُمَيِّز متجهة السرعة اللحظية لنقطية M من جسم متحرك اتجاه ومنحى حركة M عند اللحظة t .

**مميزات متجهة السرعة اللحظية $\vec{V}_i$ :**

- **الأصل :** النقطة $M_i$ موضع النقطة M عند اللحظة $t_i$ .
- **الاتجاه :** المماس للمسار في النقطة $M_i$ .
- **المنحى :** منحى الحركة .
- **المنظم :** $V_i = \|\vec{V}_i\|$ ويساوي قيمة السرعة اللحظية ، عمليا نحدده

بالنسبة لمسار مستقيمي $$V_i = \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{t_{i+1}-t_{i-1}} = \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{2\,\tau}$$

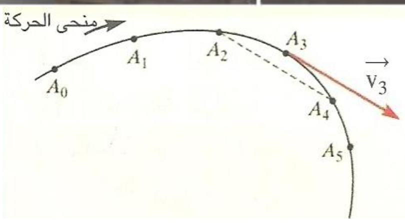
بالنسبة لمسار منحني $$V_i = \frac{\overset{\frown}{M_{i-1}M_{i+1}}}{t_{i+1}-t_{i-1}} \approx \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{2\,\tau}$$

**ملحوظة :**

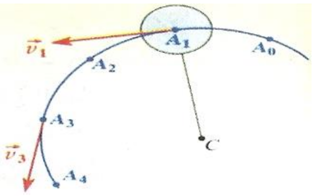



تحدد **الإشارة الطرقية** السرعة اللحظية التي يجب تجاوزها على الطريق ، وهي سرعة يقرأها سائق سيارة على **مِسراع سيارته** كما يقيسها **الرادار** من أجل المراقبة .

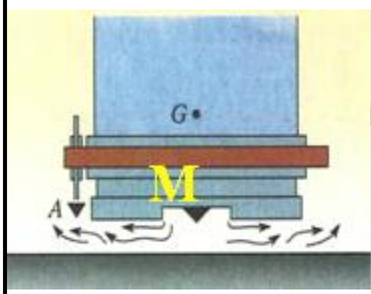
**تمثيل متجهة السرعة اللحظية $\vec{V}_i$ :**

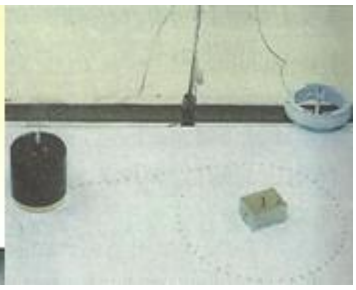



- **نمثل متجهة السرعة بسهم** يكون اتجاهه مماسا للمسار ، ومنحاه هو منحى الحركة ، وطوله يتناسب مع قيمة V وذلك باستعمال سلم مناسب .
- خلال **الحركة المنحنية** يكون اتجاه متجهة السرعة هو المماس للمسار عند النقطة $M_i$ ، وعمليا هذا المماس هو الموازي للقطعة $[M_{i-1}M_{i+1}]$ .
- خلال **الحركة الدائرية** يكون اتجاه متجهة السرعة هو المستقيم العمودي على شعاع الدائرة عند النقطة $M_i$ .

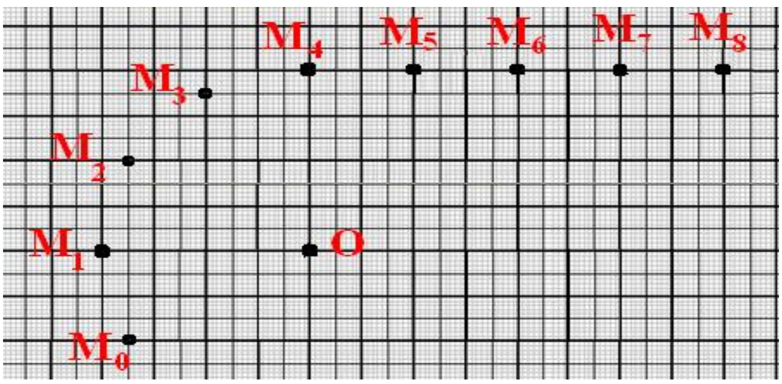



### 3-3- نشاط :





نربط **حاملا ذاتيا** بطرف خيط غير مدود ثبت طرفه الآخر في النقطة O . نرسل الحامل الذاتي بسرعة أفقية وعمودية على الخيط ( حيث يبقى موترا ) ونعمل على تحريره من الخيط قبل أن ينجز دورة كاملة . وأثناء الحركة نسجل حركة المفجر المركزي M للحامل الذاتي خلال مدد زمنية متساوية ومتتالية $\tau = 60ms$ فنحصل على التسجيل جانبه .




أ- حدد مرجعا لدراسة حركة الحامل الذاتي .

نختار كمرجع المنضدة الهوائية .

ب- حدد طبيعة المسار .

من $M_0$ إلى $M_4$ : المسار دائري

من $M_4$ إلى $M_8$ : المسار مستقيمي .

ج-حدد قيمة سرعة M بالنسبة للحامل الذاتي.

قيمة سرعة M بالنسبة للحامل الذاتي منعدمة

د- احسب قيمة السرعة المتوسطة للنقطة M بين الموضعين $M_0$ و $M_4$ ثم بين $M_4$ و $M_8$ بالنسبة للجسم المرجعي المرتبط بالمختبر .

لدينا من $M_0$ إلى $M_4$ :
$$V_m = \frac{\widehat{M_0M_4}}{t_4-t_0} = \frac{8,4.10^{-2}}{4\times 60.10^{-3}} = 0,35\ m.s^{-1}$$

و من $M_4$ إلى $M_8$ :
$$V_m = \frac{M_4M_8}{t_8-t_4} = \frac{8.10^{-2}}{4\times 60.10^{-3}} = 0,33\ m.s^{-1}$$

ه- احسب قيم السرعات اللحظية $V_1$ و $V_3$ و $V_5$ و $V_7$ .

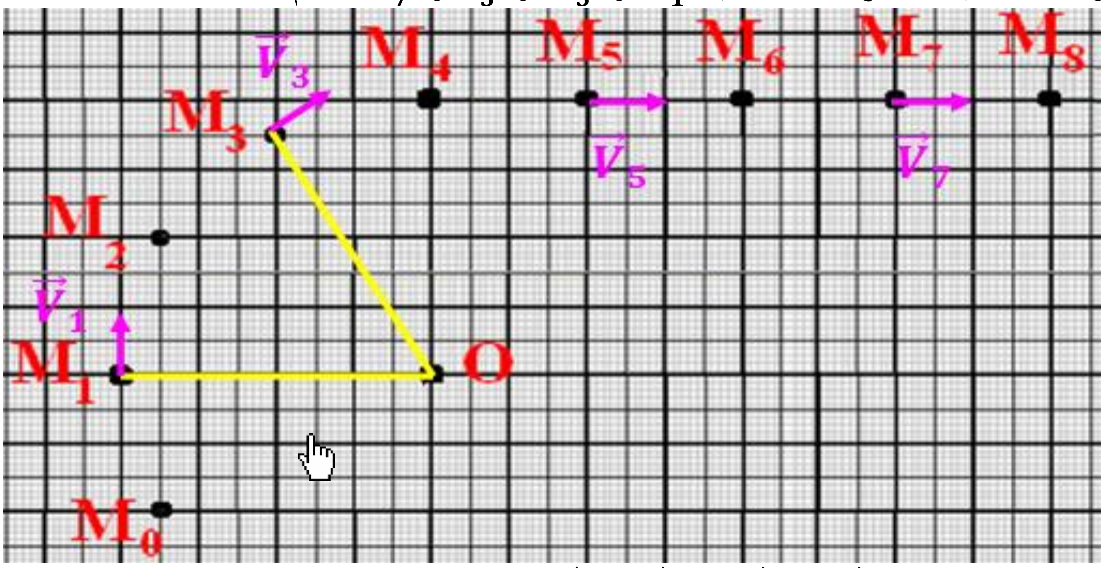
لدينا
$$V_1 = \frac{\widehat{M_0M_2}}{t_2-t_0} \approx \frac{M_0M_2}{2\,\tau} = \frac{4.10^{-2}}{2\times 60.10^{-3}} = 0,33\ m.s^{-1}$$

و
$$V_3 = \frac{\widehat{M_2M_4}}{t_4-t_2} \approx \frac{M_2M_4}{2\,\tau} = \frac{4.10^{-2}}{2\times 60.10^{-3}} = 0,33\ m.s^{-1}$$

و
$$V_5 = \frac{M_4M_6}{t_6-t_4} = \frac{M_4M_6}{2\,\tau} = \frac{4.10^{-2}}{2\times 60.10^{-3}} = 0,33\ m.s^{-1}$$

و
$$V_7 = \frac{M_6M_8}{t_8-t_6} = \frac{M_6M_8}{2\,\tau} = \frac{4.10^{-2}}{2\times 60.10^{-3}} = 0,33\ m.s^{-1}$$

و- مثل متجهات السرعات اللحظية $\vec{V}_1$ و $\vec{V}_3$ و $\vec{V}_5$ و $\vec{V}_7$ بالسلم $0,33\ m.s^{-1} \rightarrow 1cm$ .

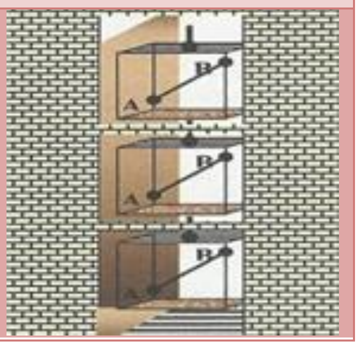
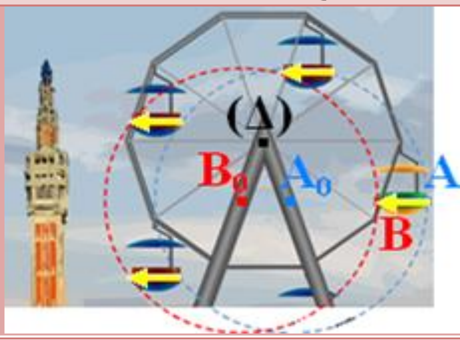



ز- قارن المتجهات $\vec{V}_1$ و $\vec{V}_3$ ثم $\vec{V}_5$ و $\vec{V}_7$ .

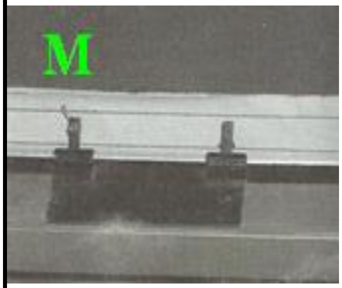
نلاحظ بالنسبة **للحركة الدائرية** أن $\vec{V}_1 \neq \vec{V}_3$ أما بالنسبة **للحركة المستقيمية** فإن $\vec{V}_5 = \vec{V}_7$ .

## 4-3- سرعة جسم صلب في إزاحة :

يكون جسم صلب في **حركة إزاحة إذا لم يتغير اتجاه قطعة ما من هذا الجسم خلال حركته** ، وهي :

| | | |
|---|---|---|
| **إزاحة مستقيمية : تكون مسارات كل نقط الجسم خطوطا مستقيمية** | **إزاحة منحنية : تكون مسارات كل نقط الجسم منحنيات متوازية** | **إزاحة دائرية : تكون مسارات كل نقط الجسم دوائر مراكزها مختلفة ولها نفس الشعاع** |
|  |  |  |

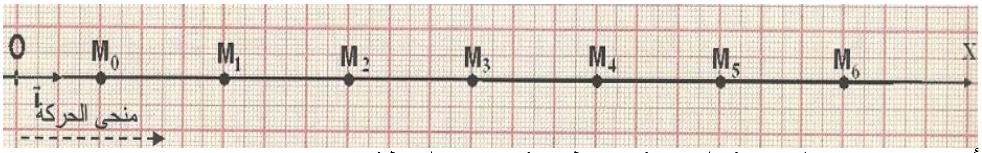
عندما يكون جسم صلب في **حركة إزاحة** فإن **جميع نقطه تتحرك بنفس متجهة السرعة اللحظية** ، وتساوي **متجهة السرعة اللحظية للجسم** عند نفس اللحظة .
إذن ، لدراسة حركة جسم صلب في **إزاحة يكفي دراسة حركة إحدى نقطه** .




## 4- الحركة المستقيمية المنتظمة :

### 4-1- نشاط :

نرسل خيالا فوق نضد هوائي أفقي ونسجل حركة النقطة M خلال مدد زمنية متتالية ومتساوية $\tau = 60\,ms$ .




أ- حدد مرجعا لدراسة الحركة ، وطبيعة مسار النقطة M .

نعتبر المنضدة كمرجع لدراسة الحركة وبما أن النقط $M_i$ تنتمي لمستقيم فإن مسار النقطة M **مستقيمي** .

ب- قارن المسافات المقطوعة من طرف M في نفس المدة الزمنية τ . ماذا تستنتج ؟

لدينا $M_iM_{i+1} = 3cm = cte$ إذن المسافات المقطوعة خلال نفس المدة الزمنية τ **متقايسة** وبالتالي **السرعة اللحظية ثابتة** .

ج- حدد طبيعة حركة النقطة M .

بما أن النقطة M تتحرك وفق **مسار مستقيمي بسرعة ثابتة** فإن النقطة M في **حركة مستقيمة منتظمة** .

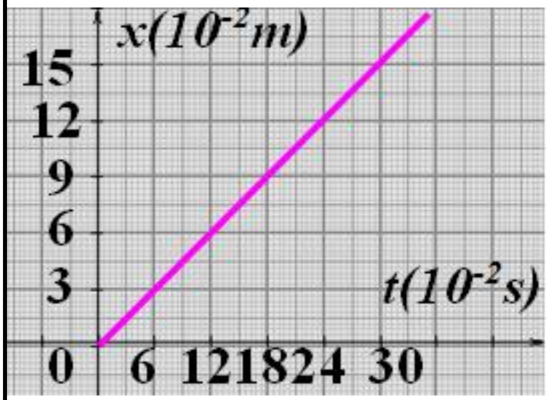
د- نختار $M_0$ أصلا لمعلم الفضاء $(O,\vec{i})$ واللحظة التي سُجلت فيها $M_0$ أصلا لمعلم الزمان $t_0 = 0$ .

أتمم ملأ الجدول حيث $x = OM = M_0M$ و $V_i = \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{t_{i+1}-t_{i-1}} = \frac{x_{i+1}-x_{i-1}}{2\,\tau}$

| الموضع | $M_0$ | $M_1$ | $M_2$ | $M_3$ | $M_4$ | $M_5$ | $M_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| التاريخ t(s) | 0 | $6.10^{-2}$ | $12.10^{-2}$ | $18.10^{-2}$ | $24.10^{-2}$ | $30.10^{-2}$ | $36.10^{-2}$ |
| الأفصول $x_i$(m) | 0 | $3.10^{-2}$ | $6.10^{-2}$ | $9.10^{-2}$ | $12.10^{-2}$ | $15.10^{-2}$ | $18.10^{-2}$ |
| السرعة $V_i$(m/s) | | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |

هـ- مثل الدالة $x = f(t)$ بسلم مناسب .

انظر جانبه .




و- تسمى معادلة الدالة $x = f(t)$ المعادلة الزمنية لحركة M ، أوجد تعبيرها .

المنحنى عبارة عن دالة خطية تكتب على شكل $x = a.t$

حيث a المعامل الموجه للمنحنى

إذن $a = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{(9-0).10^{-2}}{(18-0).10^{-2}} = 0,5\,m.s^{-1}$

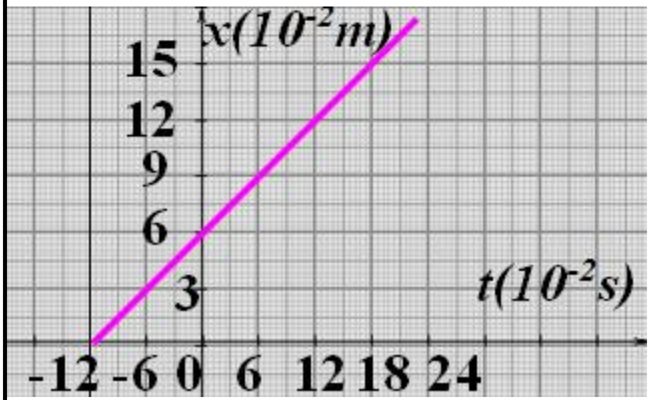
وبالتالي a يمثل **السرعة اللحظية** للنقطة M .

ومنه فإن **تعبير المعادلة الزمنية لحركة M** هو $x = 0,5\,t$ .

ز- نختار $M_0$ أصلا لمعلم الفضاء $(O,\vec{i})$ واللحظة التي سُجلت فيها $M_2$ أصلا لمعلم الزمان $t_2 = 0$ .

أتمم ملأ الجدول و مثل الدالة $x = f(t)$ بسلم مناسب ثم حدد تعبير المعادلة الزمنية لحركة M .

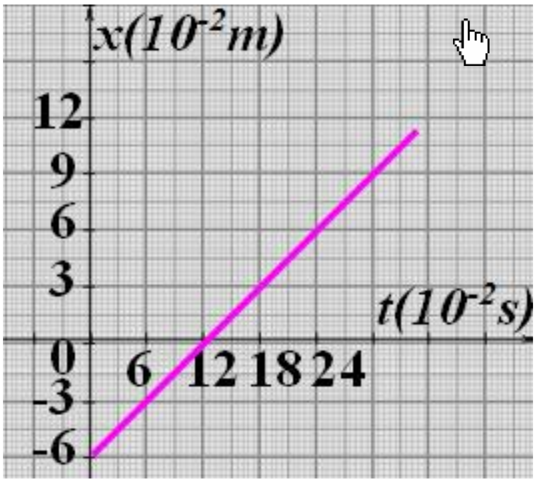
| الموضع | $M_0$ | $M_1$ | $M_2$ | $M_3$ | $M_4$ | $M_5$ | $M_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| التاريخ t(s) | $-12.10^{-2}$ | $-6.10^{-2}$ | 0 | $6.10^{-2}$ | $12.10^{-2}$ | $18.10^{-2}$ | $24.10^{-2}$ |
| الأفصول $x_i$(m) | 0 | $3.10^{-2}$ | $6.10^{-2}$ | $9.10^{-2}$ | $12.10^{-2}$ | $15.10^{-2}$ | $18.10^{-2}$ |
| السرعة $V_i$(m/s) | | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |




انظر جانبه تمثيل الدالة $x = (t)$ .
المنحنى عبارة عن دالة تألفية تكتب على شكل
$x = a.t + b$ حيث a المعامل الموجه للمنحنى
و b ثابتة عند أصل التواريخ $t_2 = 0$ .
لدينا $x(t_2) = a.t_2 + b = b = 6.10^{-2}m$
وبالتالي b يمثل **الأفصول البدئي** للنقطة M .
لدينا $a = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{(9-6).10^{-2}}{(6-0).10^{-2}} = 0,5\ m.s^{-1}$
وبالتالي a يمثل **السرعة اللحظية** للنقطة M .
ومنه فإن **تعبير المعادلة الزمنية لحركة M** هو $x = 0,5\,t + 6.10^{-2}$ .

ح- نختار $M_2$ أصلا لمعلم الفضاء $(O,\vec{\imath})$ واللحظة التي سُجلت فيها $M_0$ أصلا لمعلم الزمان $t_0 = 0$ .
أتمم ملأ الجدول و مثل الدالة $x = f(t)$ بسلم مناسب ثم حدد تعبير المعادلة الزمنية لحركة M .

| الموضع | $M_0$ | $M_1$ | $M_2$ | $M_3$ | $M_4$ | $M_5$ | $M_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| التاريخ t(s) | 0 | $6.10^{-2}$ | $12.10^{-2}$ | $18.10^{-2}$ | $24.10^{-2}$ | $30.10^{-2}$ | $36.10^{-2}$ |
| الأفصول $x_i(m)$ | $-6.10^{-2}$ | $-3.10^{-2}$ | 0 | $3.10^{-2}$ | $6.10^{-2}$ | $9.10^{-2}$ | $12.10^{-2}$ |
| السرعة $V_i(m/s)$ | | **0,5** | **0,5** | **0,5** | **0,5** | **0,5** | |




انظر جانبه تمثيل الدالة $x = f(t)$ .
المنحنى عبارة عن دالة تألفية تكتب على شكل
$x = a.t + b$ حيث a المعامل الموجه للمنحنى
و b ثابتة عند أصل التواريخ $t_0 = 0$ .
لدينا $x(t_0) = a.t_0 + b = b = -6.10^{-2}m$
وبالتالي b يمثل **الأفصول البدئي** للنقطة M .
لدينا $a = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{(6-0).10^{-2}}{(24-12).10^{-2}} = 0,5\ m.s^{-1}$
وبالتالي a يمثل **السرعة اللحظية** للنقطة M .
ومنه فإن **تعبير المعادلة الزمنية لحركة M** هو
$x = 0,5\,t - 6.10^{-2}$ .

### 2-4- تعريف :

تكون حركة نقطة من جسم صلب **مستقيمية منتظمة** إذا كانت **متجهة سرعتها اللحظية ثابتة مع مرور الزمن** ( أي تحتفظ متجهة السرعة اللحظية بنفس الاتجاه والمنحى والمنظم ) فنكتب: $\vec{V} = \overrightarrow{cte}$ .

**ملحوظة** : خلال الحركة المستقيمية المنتظمة تكون السرعة اللحظية تساوي السرعة المتوسطة $V = V_m$ .

### 3-4- المعادلة الزمنية للحركة المستقيمية المنتظمة :

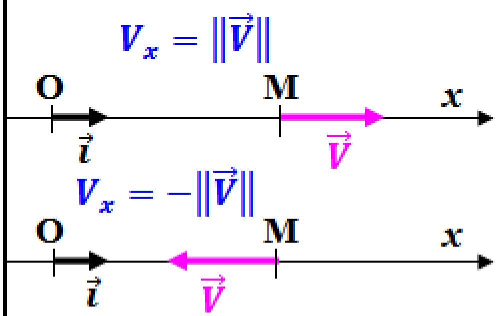
**المعادلة الزمنية للحركة المستقيمية المنتظمة** هي العلاقة التي تربط بين x أفصول نقطة من جسم متحرك في معلم الفضاء $(O,\vec{\imath})$ و t تاريخ ملاحظتها في معلم الزمان المرتبطين بالجسم المرجعي ، أي معادلة الدالة $x = f(t)$ ، ويعبر عنها بما يلي : $x(t) = V_x.t + x_0$ حيث

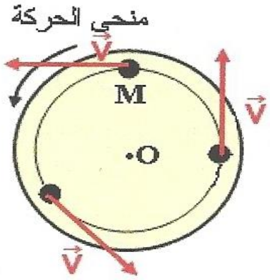
$x_0$ **الأفصول البدئي** و هو أفصول النقطة المتحركة عند اللحظة $t = 0$ .

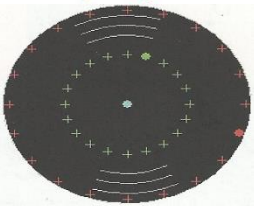
$V_x$ **إحداثي متجهة السرعة اللحظية** على المعلم $(O,\vec{\imath})$ أي

$\vec{V} = V_x\vec{\imath}$ مع $V_x = \pm\|\vec{V}\|$ .

يسمى المنحنى الممثل للمعادلة الزمنية **مخطط المسافات** .





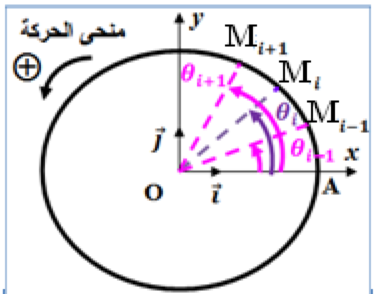
## 5- الحركة الدائرية المنتظمة :

### 5-1- تعريف :

تكون حركة نقطة من جسم صلب **دائرية منتظمة** إذا كان **مسارها دائريا** ويبقى **منظم متجهة سرعتها اللحظية ثابتا** مع مرور الزمن .

في هذه الحركة يتغير اتجاه ومنحى متجهة السرعة اللحظية أي $\vec{V} \neq \overrightarrow{cte}$ ولكن $V = cte$ .

**ملحوظة** : يكون جسم في دوران حول محور ثابت إذا كان مسار كل نقطة دائريا بحيث تكون هذه الدوائر ممركزة على المحور .

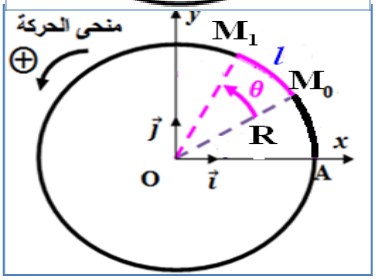



### 5-2- السرعة الزاوية :

**السرعة الزاوية اللحظية $V_i$ لنقطة M في حركة دائرية منتظمة هي خارج قسمة زاوية الدوران التي تكسها متجهة الموضع $\overrightarrow{OM}$ على وحدة الزمن :**

$$\omega_i = \frac{\delta\theta}{\delta t} = \frac{\theta_{i+1}-\theta_{i-1}}{t_{i+1}-t_{i-1}}$$

. وحدتها في ( ن ع ) هي $rad.s^{-1}$ .




**ملحوظة** :

خلال مدة زمنية $\Delta t$ تقطع النقطة M قوسا دائريا طوله $l$ بحيث تكسح متجهة الموضع $\overrightarrow{OM}$ زاوية $\theta$ تسمى زاوية الدوران . $l = R.\theta$

### 5-3- العلاقة بين السرعة الزاوية والسرعة الخطية :

لدينا

$$V_i = \frac{\overset{\frown}{M_{i-1}M_{i+1}}}{t_{i+1}-t_{i-1}} = \frac{l}{t_{i+1}-t_{i-1}} = \frac{R.\theta_{i+1}-R.\theta_{i-1}}{t_{i+1}-t_{i-1}} = R.\frac{\theta_{i+1}-\theta_{i-1}}{t_{i+1}-t_{i-1}}$$

إذن $V_i = R.\omega_i$

### 5-4- الدور والتردد:

**الدور** هو المدة الزمنية التي تستغرقها النقطة M في حركة دائرية منتظمة لإنجاز دورة كاملة .

$$(s) \leftarrow T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \begin{matrix} \rightarrow rad \\ \rightarrow rad.s^{-1} \end{matrix}$$

**التردد** هو عدد الدورات التي تنجزها النقطة M خلال ثانية . $(Hz) \leftarrow f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$