

الحركة Le mouvement

1. نسبية الحركة:

1-1 نسبية الحركة:

نعتبر مسافر جالس داخل حافلة تتحرك: المسافر في سكون بالنسبة للحافلة لكنه في حركة بالنسبة للأرض. إذن دائما عند التحدث عن الحركة، يجب تحديد جسم مرجعي تدرس الحركة بالنسبة إليه. ويكون الجسم المرجعي الجسم الصلب غير قابل للتشويه.

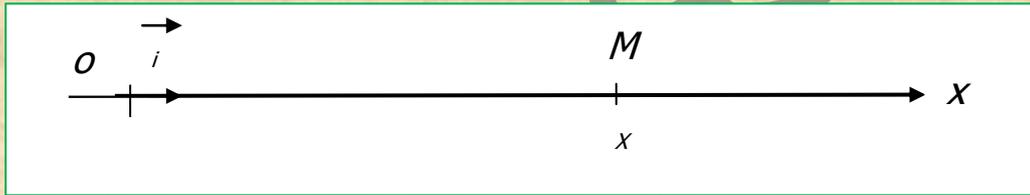
- إذا تم اختيار الحافلة كجسم المرجعي: المسافر في سكون.
- إذا تم اختيار الأرض كجسم مرجعي: المسافر في حركة.

نقول إذن للحركة تابع نسبي

2- معلم الفضاء:

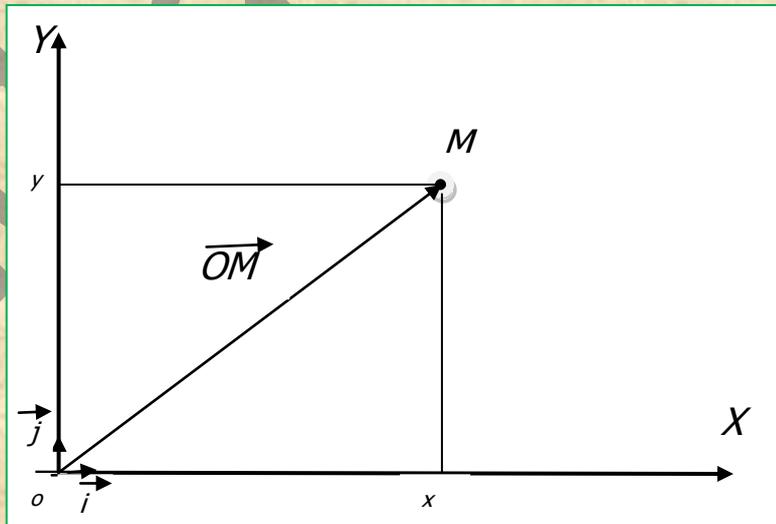
لدراسة حركة جسم صلب، يجب اختيار معلما مرتبط بالجسم المرجعي. يتكون المعلم من أصل ومحاور موجهة.

- حالة حركة مستقيمة: في هذه الحالة نختار معلم (O, \vec{i}) المتكون من محور واحد أصله O موجه بالمتجهة الواحدة \vec{i}



تكتب متجهة الوضع \vec{OM} كالتالي: $\vec{OM} = x \vec{i}$

- حالة الحركة المستوية: في هذه الحالة نختار المعلم (O, \vec{i}, \vec{j}) المتكون من محورين متعامدين وممنظمين.

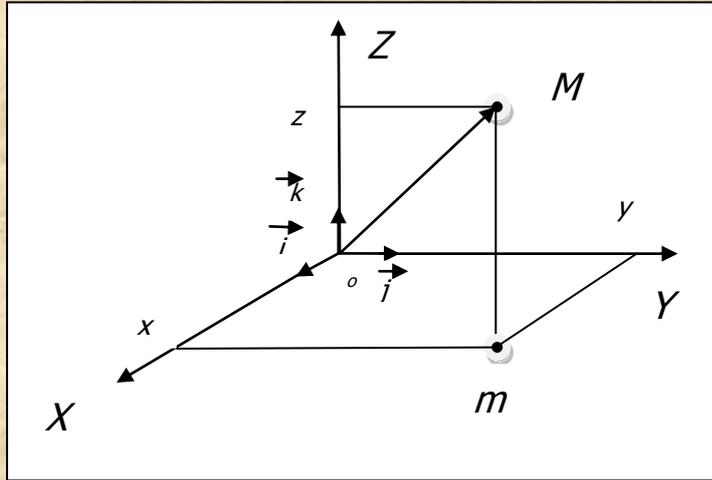


متجهة الوضع: $\vec{OM} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$

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

متجهة الوضع:

- حالة حركة في الفضاء: نختار في هذه الحالة المعلم $(0, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ يتكون من ثلاث محاور متعامدة وممنظمة. المحورين Ox و Oy يوجدان في المستوى الأفقي و Oz تحدد الارتفاع.



تكتب متجهة الوضع \vec{OM} كالآتي:

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

x و y و z تمثل إحداثيات النقطة M في المعلم $(0, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$.

3- معلم الزمن:

لدراسة حركة نقطة من جسم دراسة شاملة لابد من الإشارة إلى تاريخ اللحظات التي يجتاز خلالها الجسم مواضع معينة، إذ نقرن بكل موضع M_i تاريخ t_i . لتحديد هذا التاريخ نختار أصل إعتباطي يسمى أصل التواريخ ومنحى موجب من الماضي نحو المستقبل ووحدة للزمن. وحدة الزمن في النظام العالمي للوحدات هي الثانية رمزها s .
ملحوظة: لا يجب الخلط بين اللحظة (أو التاريخ) t والمدة الزمنية Δt : المدة الزمنية هي المجال الزمني الذي يفصل بين تاريخين $\Delta t = t_f - t_i$

4- المسار:

عندما يتحرك متزحلق على الجليد فإنه يترك وراءه أثرا يجسد هذا الأثر ما يسمى بمسار المتزحلق أثناء حركته.

تعريف: مسار نقطة من متحرك في معلم معين هي مجموع المواضع المتتالية التي تحتلها هاته النقطة خلال حركتها.

يمكن للمسار أن يكون مستقيما أو منحنيا.

مسار متحرك يتعلق بالجسم المرجعي الذي يتم اختياره.

II. سرعة نقطة من جسم في حركة إزاحة:

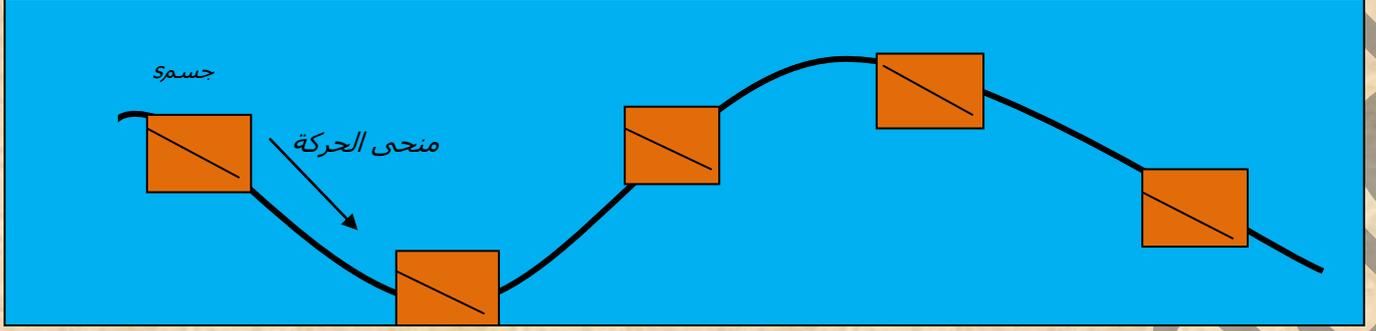
1- تعريف:

يكون جسم في إزاحة، إذا لم يتغير اتجاه قطعة منه خلال حركته. والإزاحة تكون مستقيمة أو منحنية.

إزاحة مستقيمة لجسم S



إزاحة منحنية



2- السرعة المتوسطة:

1- تعريف: السرعة المتوسطة V لنقطة من جسم في حركة هي حاصل قسمة المسافة المقطوعة d على المدة الزمنية المستغرقة لقطع هذه المسافة.

$$V = \frac{d}{\Delta t}$$

d المسافة المقطوعة يعبر عنها بالمتر m
 Δt المدة الزمنية يعبر عنها بالثانية s

2- حساب السرعة المتوسطة باستعمال علاقة التأخير:

نشاط تجريبي:

نرسل حاملا ذاتيا من أعلى نقطة لمنضدة هوائية مائلة بالنسبة للمستوى الأفقي. ونسجل حركة المفجر المركزي M خلال مدد زمنية متتالية ومتساوية $\zeta = 60ms$ فنحصل على التسجيل التالي:



نعتبر اللحظة التي سجلت فيها النقطة M_0 أصلا للتواريخ.

أسئلة للإستثمار:

- 1- حدد مرجعا لدراسة حركة النقطة M .
- 2- ما طبيعة مسار النقطة M ؟
- 3- بإستعمال علاقة التأخير، أحسب السرعة المتوسطة بين اللحظتين t_1 و t_3 ثم بين اللحظتين t_2 و t_6 .

جواب:

- 1- نأخذ معلما مرتبط بالمنضدة والتي تمثل الجسم المرجعي، ونأخذ اللحظة التي ينطلق فيها المتحرك من M_0 أصلا للتواريخ.
- 2- مسار مستقيمي.

$$V_m = \frac{M_i M_j}{t_i - t_j}$$

3- علاقة التأخير: السرعة المتوسطة بين لحظتين t_i و t_j هي

$M_i M_j$ المسافة بين M_i و M_j

$$V_m = \frac{M1M3}{t3-t1} = \frac{M1M3}{2\zeta} \quad \text{السرعة المتوسطة بين اللحظتين } t_1 \text{ و } t_3 :$$

$$V_m = 0,458 \text{ m/s} \quad V_m = \frac{5,5 \cdot 10^{-2}}{120 \cdot 10^{-3}} = \frac{5,5}{12} \quad \text{ت ع:}$$

السرعة المتوسطة بين اللحظتين t_2 و t_6 :

$$V_m = \frac{M2M6}{t6-t2} = \frac{M2M6}{2\zeta}$$

$$V_m = 0,875 \text{ m/s}$$

$$V_m = \frac{10,5 \cdot 10^{-2}}{120 \cdot 10^{-3}} \quad \text{ت ع:}$$

3- السرعة اللحظية:

1-3: تعريف:

السرعة اللحظية لنقطة متحركة هي قيمة السرعة في لحظة معينة تاريخها t .

2-3: تحديد السرعة اللحظية:

لحساب السرعة اللحظية عند اللحظة t_i ، نحسب السرعة المتوسطة بين لحظتين جد مقاربين t_{i+1} و t_{i-1} تؤطران اللحظة t_i .

$$\frac{t_{i-1}}{M_{i-1}} \quad t_i \quad M_i \quad t_{i+1} \quad M_{i+1}$$

$$V_i = \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{t_{i-1} - t_{i+1}}$$

• **تطبيق:** نعتبر التسجيل السابق لحركة الحامل الذاتي. أحسب السرعة اللحظية عند اللحظة t_2 ثم عند اللحظة t_3 .

السرعة اللحظية عند اللحظة t_2 :

$$V_2 = \frac{5,5 \cdot 10^{-2}}{120 \cdot 10^{-3}} = \frac{5,5 \cdot 10^{-2}}{12 \cdot 10^{-2}} = 0,458 \text{ m/s} \quad \text{ت ع:}$$

$$V_2 = \frac{M_1M_3}{t_2 - t_1}$$

السرعة اللحظية عند اللحظة t_3 :

$$V_3 = \frac{6,5 \cdot 10^{-2}}{120 \cdot 10^{-3}} = \frac{6,5 \cdot 10^{-2}}{12 \cdot 10^{-2}} = 0,541 \text{ m/s} \quad \text{ت ع:}$$

$$V_3 = \frac{M_2M_4}{t_4 - t_2}$$

4- متجهة السرعة اللحظية:

1-4: مميزات متجهة السرعة اللحظية:

نقرن بالسرعة متجهة نرملها ب \vec{V} وتسمى متجهة السرعة ومميزاتها:

➤ الأصل: موضع النقطة المتحركة في لحظة تاريخها t

➤ الإتجاه: المستقيم المماس للمسار في هذا الموضع

➤ المنحى: منحى الحركة

➤ المنظم (أو الشدة): قيمة السرعة اللحظية عند اللحظة t

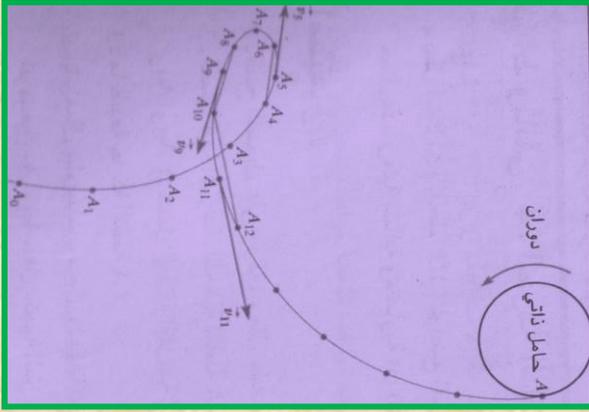
2-4: تمثيل متجهة السرعة:

نمثل متجهة السرعة \vec{V} بسهم أصله موضع النقطة المتحركة عند اللحظة t ، وإتجاهه للمماس للمسار في الموضع M ومنحاه هو منحى الحركة وطوله يتناسب مع منظمه V .

• **نشاط تجريبي:**

نرسل حاملا ذاتيا بشكل دائري على منضدة أفقية، ونسجل حركة نقطة A جانبية خلال مدد زمنية متتالية ومتساوية $\zeta = 40 \text{ ms}$ فنحصل على التسجيل التالي:

نعتبر اللحظة التي ينطلق فيها الحامل الذاتي من A_0 أصلا للتواريخ. التسجيل **بالسلم 1/10**
أسئلة للإستثمار:



- 1- ما طبيعة مسار النقطة A ؟
- 2- أحسب قيمة السرعة اللحظية عند اللحظات t_5 و t_9 و t_{11} .
- 3- حدد مميزات متجهة السرعات \vec{V}_5 و \vec{V}_9 و \vec{V}_{11}
- 4- بإستعمال سلم مناسب مثل متجهات هاته السرعات على التسجيل.

أجوبة:

1- المسار منحنى.

2- السرعة اللحظية عند t_5 :

$$V_5 = \frac{A_4A_6}{t_6 - t_4} = \frac{A_4A_6}{t_6 - t_4}$$

ت ع :

$$V_5 = \frac{1,1 \cdot 10^{-2} \cdot 10}{80 \cdot 10^{-3}} = 1,25 \text{ m/s}$$

السرعة اللحظية عند اللحظة t_9 :

$$V_9 = \frac{A_8A_{10}}{t_{10} - t_8} = 1,37 \text{ m/s} \quad \text{ت ع :}$$

السرعة اللحظية عند اللحظة t_{11} :

$$V_{11} = \frac{A_{10}A_{12}}{t_{12} - t_{10}} = 2,25 \text{ m/s} \quad \text{ت ع :}$$

3- مميزات متجهة السرعة \vec{V}_5 :

- الأصل: الموضع A_5
- الإتجاه: المماس للمسار عند الموضع A_5
- المنحى: مرعى الحركة
- المنظم: $V_5 = 1,25 \text{ m/s}$

نفس الطريقة بالنسبة للسرعتين \vec{V}_9 و \vec{V}_{11}

4- نستعمل السلم : $V = 1,25 \text{ m/s}$ ← 1cm
 انظر التمثيل في الشكل أعلاه.

III. الحركة المستقيمة المنتظمة:

1-تعريف:

تكون حركة نقطة مستقيمة منتظمة إذا كان مسارها مستقيما و سرعتها اللحظية ثابتة.

2- المعادلة الزمنية:

❖ **نشاط تجريبي:**

نطلق بواسطة ماصة نقطة ماء ملون في مخبر مدرج مملوء بالزيت، وعند وصول القطرة للتدرجة 450mL نشغل الميقت ونسجل المدد الزمنية التي تستغرقها قطرة الماء لقطع مسافات d مختلفة.

نحدد مسبقا مسافات مختلفة d على المخبر بإستعمال مسطرة ونعلمها بقلم حبر. بدون النتائج المحصل عليها في الجدول التالي:

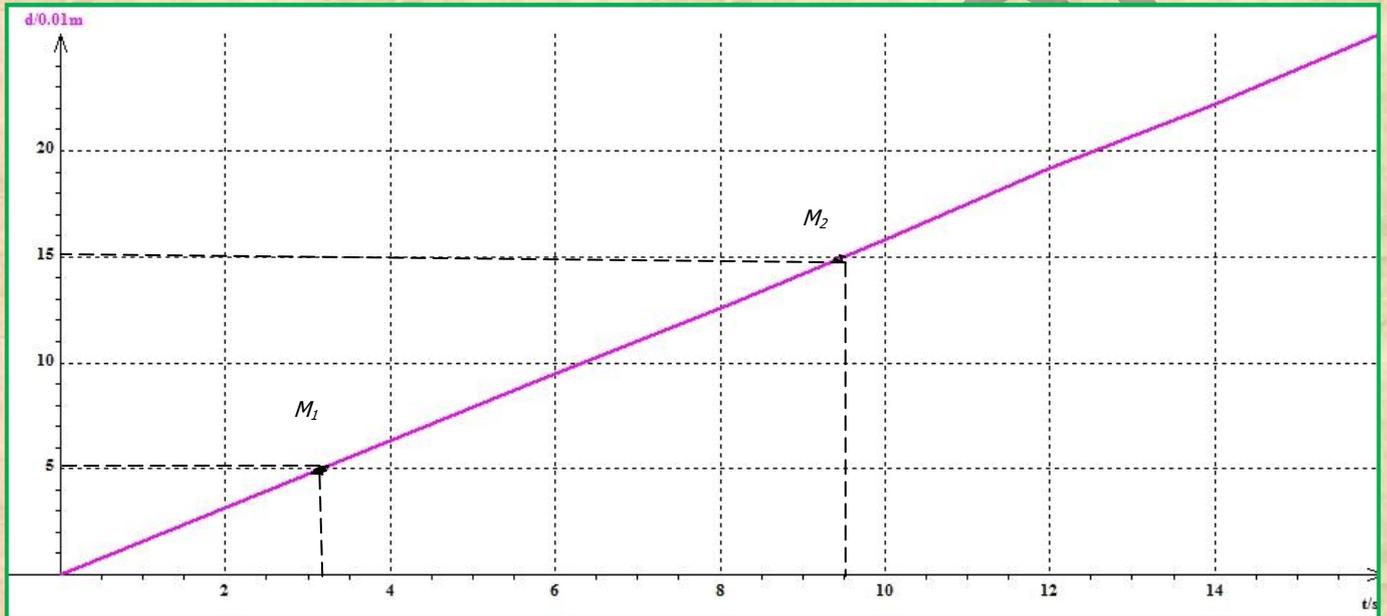
16	14	12	10	8	6	2	$d \cdot 10^2 (m)$
25,5	22,2	19,2	15,8	12,6	9,5	3,2	$\Delta t (s)$

أسئلة للإستثمار:

- 1- حدد مرجعا تدرس بالنسبة إليه حركة قطرة الماء. وما مسارها؟
- 2- مثل المنحنى الممثل لتغيرات d بدلالة Δt .
- 3- ما مدلول المعامل الموجه للمنحنى المحصل عليه؟ وحدد مبيانيا قيمته.
- 4- إستنتج طبيعة حركة قطرة الماء.
- 5- أعط المعادلة الزمنية للحركة.

أجوبة:

- 1- نختار كجسم مرجعي المخبر وتأخذ المعلم $(0, \vec{A})$ أصله منطبق مع لتدرية 450mL وموجه نحو الأسفل.
- 2- نلاحظ من خلال التجربة أن مسار قطرة الماء مستقيمي.



3- المنحنى عبارة عن مستقيم يمر من أصل المعلم إذن $d=k.t$ مع k ثابتة تناسب وتسمى أيضا المعامل الموجه للمستقيم. من العلاقة السابقة نستنتج ان $k=\frac{d}{t}$ نلاحظ أن الثابتة k لها مدلول سرعة (المسافة على الزمن).

نحسب قيمة الثابتة k :

$$k = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} \quad \text{ت ع: } k = \frac{15 - 5 \cdot 10^{-2}}{9.5 - 3.2} = 1,58 \cdot 10^2 \text{ m/s} \quad \text{إذن السرعة هي } V = 1,58 \cdot 10^2 \text{ m/s}$$

4- السرعة ثابتة والمسار مستقيمي، إذن طبيعة حركة قطرة الماء مستقيمية منتظمة.

6- رأينا أن $k=V=\frac{d}{t}$ نضع $d=x$ مع أفصول قطرة الماء على المحور $(0, \vec{A})$ وبالتالي:

$$x(t) = V \cdot t \quad \text{أي } V = \frac{x}{t}$$

تسمى هذه العلاقة بالمعادلة الزمنية لحركة قطرة الماء في المعلم $(0, \vec{A})$.

تعريف:

المعادلة الزمنية لحركة نقطة M في حركة مستقيمة منتظمة، هي الدالة التي تمثل تغيرات الأفعال $x(t)$ بدلالة الزمن ويعبر عنها بالعلاقة :

x_0 أفعال النقطة المتحركة عند أصل التواريخ ($t=0$)

$$x(t) = v \cdot t + x_0$$

IV. الحركة الدائرية المنتظمة:

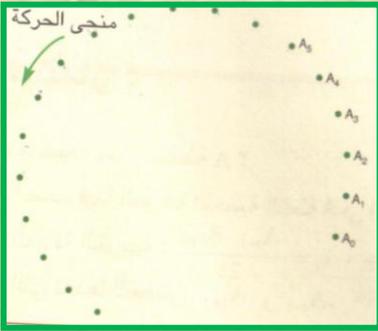
1- تعريف:

إذا كان مسار نقطة متحركة دائريا، وقيمة سرعتها ثابتة فإن حركة هذه النقطة تكون دائرية منتظمة.

2- إبراز مميزات حركة دائرية منتظمة:

❖ نشاط تجريبي:

نرسل حامل ذاتي مشدود بخيط عند نقطة ثابتة 0 في حركة دائرية فوق منضدة هوائية أفقية ونسجل مواضع المفجر المركزي A خلال مدد زمنية متتالية ومتساوية $\zeta = 60ms$ فنحصل على التسجيل الممثل في الشكل جانبه، وبالسلم 1/10. نعتبر اللحظة التي تم فيها تسجيل النقطة A أصلا للتواريخ.



أسئلة للإستثمار:

- 1- ما شكل المسار المحصل عليه؟
- 2- أحسب قيمة السرعة اللحظية عند اللحظة t_1 وعند اللحظة t_4 .
- 3- إستنتج طبيعة حركة النقطة A.
- 4- بإستعمال سلم مناسب، مثل متجهة السرعة اللحظية في كل من الموضعين A_1 و A_4 .
- 5- هل متجهة السرعة ثابتة؟ علل جوابك.

أجوبة:

1- المسار دائري.

2- السرعة اللحظية عند اللحظة t_1 : $v_1 = \frac{A_0 A_2}{t_2 - t_1} \approx \frac{A_0 A_2}{t_2 - t_0}$ نأخذ طول القوس يساوي تقريبا

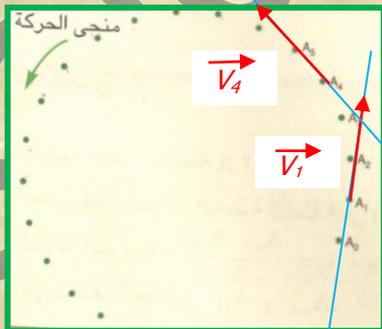
طول الوتر الذي يضمه السلم

$$v_1 = \frac{1,3 \cdot 10^{-2} \cdot 10}{120 \cdot 10^{-3}} = \frac{1,3}{12} = 1,08 m/s$$
 ت ع : السرعة اللحظية عند اللحظة t_4 :

$$v_4 = \frac{A_3 A_5}{t_5 - t_3} \quad \text{ت ع :} \quad v_4 = \frac{1,3 \cdot 10^{-2} \cdot 10}{120 \cdot 10^{-3}} = 1,08 m/s$$

3- المسار دائري ومنظم السرعة ثابت، إذن الحركة دائرية منتظمة.

4- نختار السلم: $v = 0,54 m/s$ $1cm$ \leftarrow \rightarrow إذن متجهة السرعة يناسبها طول $2cm$



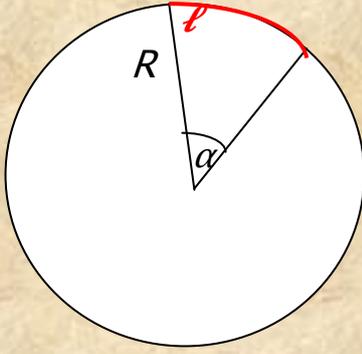
5- نقول أن متجهة ثابتة إذا بقيت مميزات ثابتة خلال الزمن. نلاحظ أن الإتجاه يغير لمتجهة السرعة إذن فمتجهة سرعة غير ثابتة (وهذا رغم أن منظم السرعة ثابت).

2- السرعة الزاوية:

خلال مدة Δt تقطع النقطة M قوسا دائريا طولها ℓ .

نسمي الزاوية α زاوية الدوران، لدينا $\ell = R\alpha$

R شعاع المسار الدائري



السرعة الزاوية ω هي خارج قسمة زاوية الدوران α على المدة Δt الموافقة.

$$\omega = \frac{\alpha}{\Delta t}$$

rad/s rad s

وحدة السرعة الزاوية في النظام العالمي للوحدات هي الراديان على الثانية رمزها rad/s
العلاقة بين السرعة الخطية V والسرعة الزاوية ω :

$$V = \frac{l}{\Delta t} = \frac{R\alpha}{\Delta t} = R \cdot \omega$$

لدينا السرعة الخطية هي خارج قسمة المسافة على الزمن

إذن: $V = R \cdot \omega$

3- الدور والتردد:

تعريف: الدور هو المدة الزمنية التي تستغرقها النقطة المتحركة لإنجاز دورة كاملة

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

نعبّر عن الدور T بالعلاقة:

وحدة الدور في النظام العالمي للوحدات هي الثانية s .

تعريف: التردد هو عدد الدورات التي تنجزها النقطة المتحركة خلال ثانية واحدة.

$$f = \frac{1}{T}$$

ويعبّر عنها بمقلوب الدور: وحدة التردد في النظام العالمي للوحدات هو

الهرتز ورمزه Hz .