سلاسل المنجد في العلوم الفيزيائية – أولى ثانوي – الوحدة 02

# القوة و الحركة المنحنية

إعداد الأستاذ فرقاني فارس
ثانوية مولود قاسم نايت بلقاسم - الخروب - قسنطينة
www.sites.google.com/site/faresfergani

**********

## المحتوى المفاهيمي : 01

# الحركة الدائرية المنتظمة

## القوة و الحركة الدائرية المنتظمة

**• تعريف الحركة الدائرية المنتظمة :**

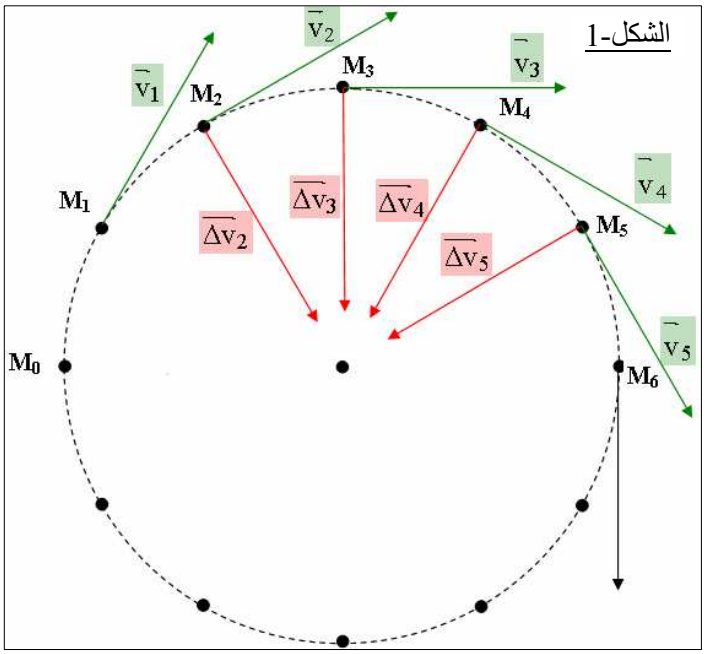
- نقول عن حركة جسم أنها دائرية منتظمة إذا كان مسارها دائريا و سرعتها ثابتة .

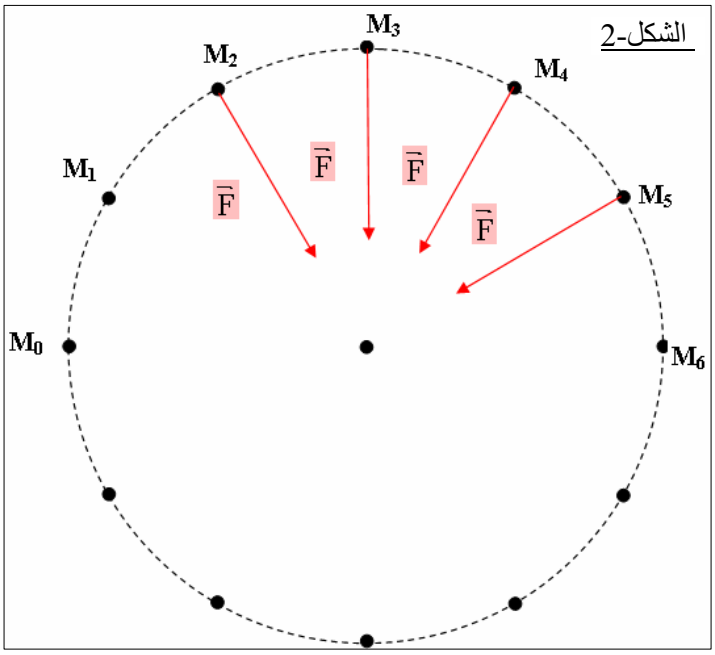
**• خصائص شعاع السرعة :**

- يحافظ شعاع السرعة $\vec{v}$ في الحركة الدائرية المنتظمة على قيمته بينما منحاه يكون مماسي للمسار في كل لحظة (الشكل-1) .

**• خصائص شعاع تغير السرعة و القوة :**

- في الحركة الدائرية المنتظمة شعاع تغير السرعة $\overrightarrow{\Delta v}$ ثابت في القيمة و متجه دوما نحو مركز للمسار (عمودي على شعاع السرعة ) (الشكل-2) مما يدل أن الجسم في الحركة الدائرية المنتظمة خاضع إلى تأثير قوة $\vec{F}$ ثابتة في القيمة و متجهة دوما نحو مركز المسار (الشكل-2) . ( يقال عن القوة $\vec{F}$ أنها ناظمية )




# دور الحركة الدائرية المنتظمة

**• تعريف دور الحركة الدائرية المنتظمة :**

- دور الحركة الدائرية المنتظمة الذي يرمز له بـ T و وحدته الثانية (s) هو المدة اللازمة لإنجاز دورة واحدة ، يعبر عنه بالعلاقة التالية :أي المدة الزمنية اللازمة لقطع مسافة قيمتها $2\pi\ r$ , و بالتالي يعبر عنه بالعلاقة :

$$T = \frac{2\pi.r}{v}$$

حيث : ▪ r : نصف قطر المسار الدائري ( يقدر بالمتر m ) .
▪ v : سرعة المتحرك على المسار الدائري ( تقدر بالمتر على الثانية m/s) .

**مثال :**

1- جسم نقطي (S) ، يتحرك على مسار دائري نصف قطره r = 50 cm بسرعة v = 2 m/s . أحسب دور حركة هذا الجسم .

2- جسم نقطي (S) ، يدور بمعدل 600 دورة في الدقيقة ، أحسب دور حركة هذا الجسم .

**الجواب :**

1- حساب دور الحركة :

$$T = \frac{2\pi.r}{v} = \frac{2\pi\,.\,0.5}{2} = 0.5\,\pi = 1.57\ m/s$$

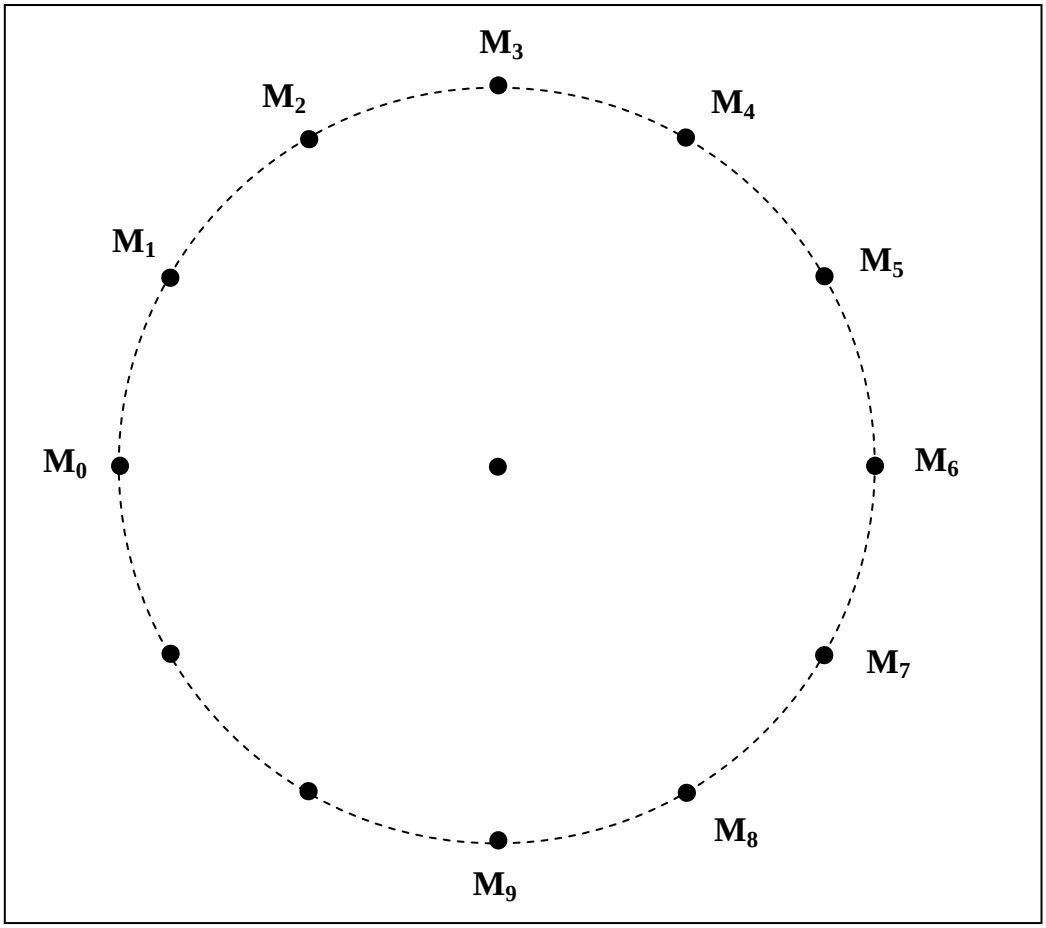
2- حسب تعريف الدور و المتمثل في أنه الزمن اللازم لإنجاز دورة واحدة ، يكون حسب القاعدة الثلاثة :

600 دورة $\longrightarrow$ 60 s (1min)
1دورة $\longrightarrow$ T s

$$T = \frac{60\,.\,1}{600} = 0.1\,s$$

**التمرين (2) :** ( التمرين : 003 في بنك التمارين على الموقع )

يمثل الشكل الآتي التصوير المتعاقب لحركة جسم M على طاولة أفقية ، حيث أخذت المواضع في مجالات زمنية متساوية $\tau = 0.05\ s$ ، بسلم $1\ cm \rightarrow 0.1\ m$ .




1- أحسب السرعة اللحظية عند المواضع $M_1$ ، $M_3$ ، $M_5$ ، $M_7$ .
2- ماذا تلاحظ ؟ استنتج طبيعة الحركة .
3- بأخذ السلم : ( $1\ cm \rightarrow 1.25\ m/s$ ) مثل على الوثيقة المعطاة دون نقلها إلى ورقة إجابتك أشعة السرعة عند المواضع $M_1$ ، $M_3$ ، $M_5$ ، $M_7$ و كذا شعاع تغير السرعة عند المواضع $M_2$ ، $M_4$ ، $M_6$ .
4- استنتج خصائص شعاع السرعة $\vec{v}$ و كذا شعاع تغير السرعة $\overrightarrow{\Delta v}$ و شعاع القوة $\vec{F}$ في هذه الحركة .
5- باعتبار مبدأ الأزمنة عند $M_0$ ، أوجد لحظة مرور الجسم (M) بالموضع $M_8$ .

**الأجوبة :**

1- السرعة اللحظية عند المواضع $M_1$ ، $M_2$ ، $M_3$ ، $M_4$ ، $M_5$ :

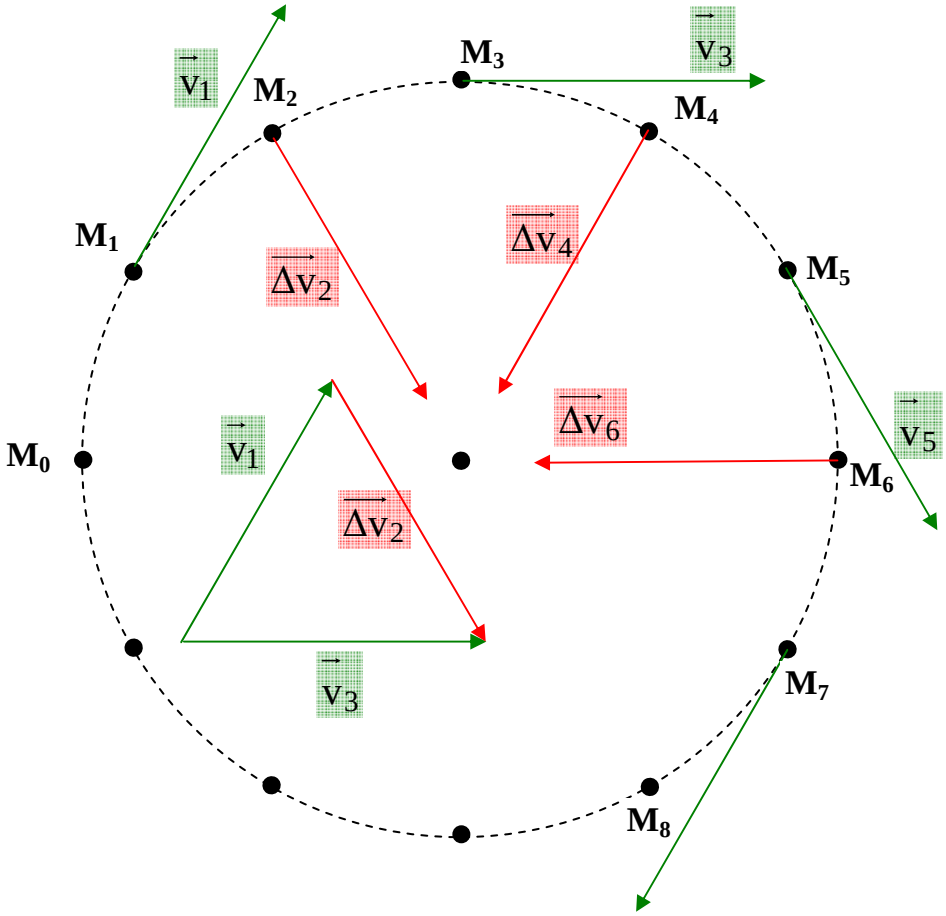
- $v_1 = \dfrac{M_0M_2}{2\tau} = \dfrac{5.0.1}{2\times 0.05} = 5m/s$

بنفس الطريقة نجد : $v_3 = v_5 = v_7 = 5\ m/s$

2- الاستنتاج :

نلاحظ أن السرعة ثابتة القيمة في جميع المواضع و كون أن المسار دائري ، نستنتج أن طبيعة الحركة دائرية منتظمة .

3- تمثيل أشعة السرعة و تغير السرعة : (الشكل التالي)




4- خصائص شعاع السرعة $\vec{v}$ و كذا شعاع تغير السرعة $\overrightarrow{\Delta v}$ و شعاع القوة $\vec{F}$ في هذه الحركة :

- شعاع السرعة $\vec{v}$ ثابت في القيمة و مماسي دوما للمسار الدائري في جميع المواضع .
- شعاع تغير السرعة $\overrightarrow{\Delta v}$ ثابت في القيمة و متجه دوما نحو مركز المسار (يقال عنه ناظمي) .
- بما أن شعاع تغير السرعة $\overrightarrow{\Delta v}$ ثابت في القيمة و متجه دوما نحو مركز المسار ، يكون كذلك شعاع القوة $\vec{F}$ هو أيضا ثابت في القيمة و متجه دوما نحو مركز المسار .

5- لحظة مرور الجسم M بالموضع $M_8$ :

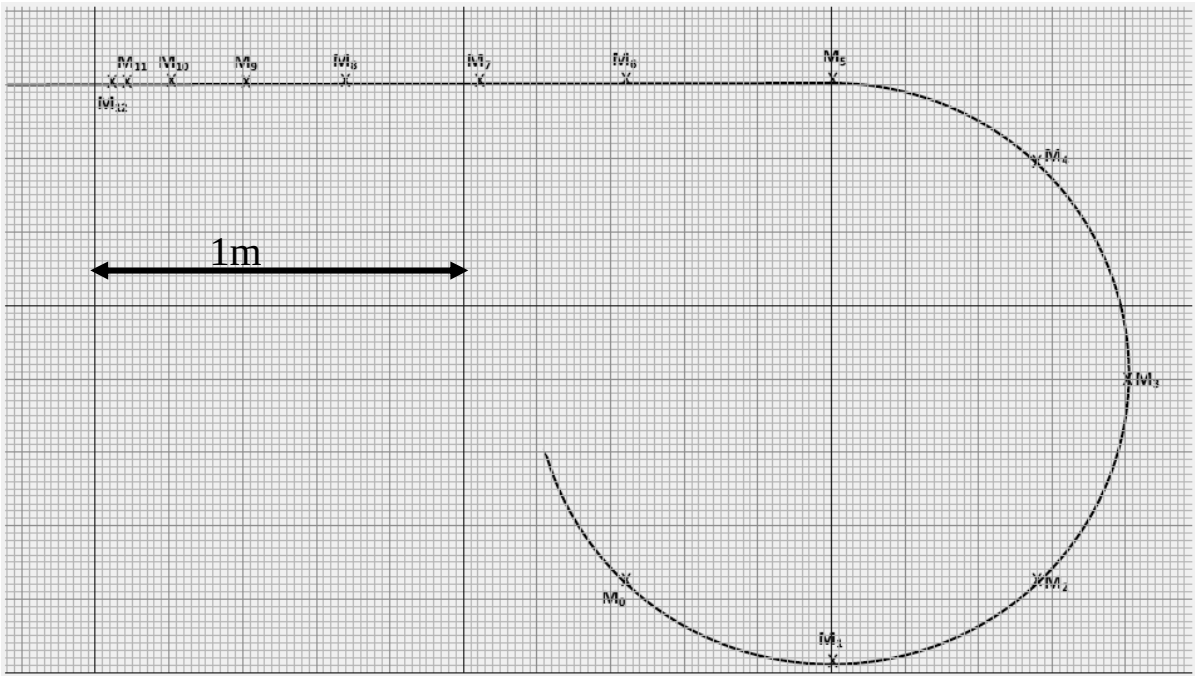
بما أن مبدأ الأزمنة هو لحظة مرور المتحرك بـ $M_0$ يكون :

$M_0 \rightarrow t = 0$
$M_1 \rightarrow t = \tau$
$M_2 \rightarrow t = 2\tau$
⋮ ⋮
$M_8 \rightarrow t = 8\tau = 8 \cdot 0.05 = 0.4\ s$

و هي لحظة مرور الجسم (M) بالموضع $M_8$ .

**التمرين (2) :** ( التمرين : 005 في بنك التمارين على الموقع )

بواسطة خيط غير قابل لمتطاط للامتطاط على طاولة أفقية ، يدير محرك جسماً صغيراً (S) ، في حالة الحركة يكون الخيط مشدودا، و فجأة انقطع الخيط . تمثل الوثيقة (1) و المرفقة بسلم الرسم تسجيلا لهذه الحركة حيث أخذت الصور خلال مجالات زمنية متساوية و متعاقبة $\tau = 0.1\ s$ .




1- أحسب سرعة المتحرك في المواضع $M_1$ ، $M_3$ ، $M_6$ ، $M_8$ ، $M_{10}$ ثم مثلها بعد تحديد السلم .

2- أحسب ثم مثل أشعة تغير السرعة $\overrightarrow{\Delta v}$ في المواضع $M_2$ ، $M_7$ ، $M_9$ ، بأخذ السلم $1\ cm \rightarrow 2\ m/s$ .

3- حدد أطوار الحركة وطبيعتها ؟ ( التحديد يكون بمجالات زمنية ) .

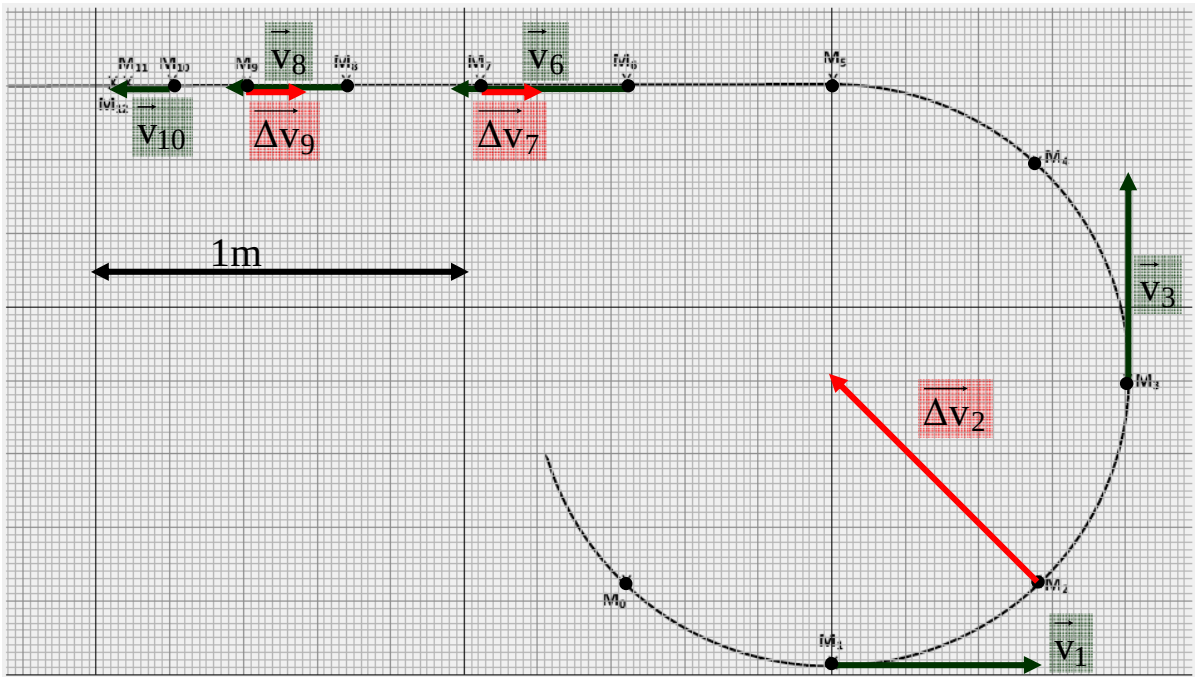
4- حدد خصائص القوة المؤثرة على الجسم في كل الأطوار؟

5- في أي لحظة انقطع الخيط ؟

**الأجوبة :**

1- حساب سرعة المتحرك في المواضع $M_1$ ، $M_3$ ، $M_6$ ، $M_8$ ، $M_{10}$ و تمثيلها :

- $v_1 = \dfrac{M_0M_2 \times \text{السلم}}{2} = 5.5\ m/s$
- $v_3 = \dfrac{M_2M_4 \times \text{السلم}}{2} = 5.5\ m/s$ .
- $v_6 = \dfrac{M_5M_7 \times \text{السلم}}{2} = 4.7\ m/s$ .
- $v_8 = \dfrac{M_7M_9 \times \text{السلم}}{2} = 3.2\ m/s$ .
- $v_{10} = \dfrac{M_{11}M_9 \times \text{السلم}}{2} = 1.6\ m/s$ .




3- أطوار الحركة و طبيعة الحركة في كل طور :

الطور الأول $[0\,;0.5]$ :

في هذا الطور نلاحظ أن طويلة شعاع السرعة ثابتة ، و كون أن المسار دائري فالحركة إذن دائرية منتظمة .

الطور الثاني $t \geq 0.5\,s$ :

في هذا الطور شعاع تغير السرعة $\overrightarrow{\Delta v}$ ثابت في المنحنى و الجهة و الطويلة ، و جهته عكس جهة الحركة ، فالحركة إذن مستقيمة متباطئة بانتظام .

4- خصائص القوة المؤثرة على الجسم في كل طور :

الطور الأول :

بما أن الحركة دارية منتظمة ، فالجسم يخضع إلى قوة لها نفس خصائص الشعاع $\overrightarrow{\Delta v}$ و بالتالي :

- نقطة التأثير : مركز الجسم .
- الحامل: عمودي على مماس المسار و موجه نحو المركز .
- الجهة نحو داخل التقعر .
- الشدة : ثابتة لان ثابت = $\Delta v$

الطور الثاني :

بما أن الحركة مستقيمة متباطئة بانتظام فإن الجسم يخضع لقوة لها نفس خصائص الشعاع $\overrightarrow{\Delta v}$ و بالتالي :

- الحامل: منطبق على المسار
- الجهة : عكس جهة الحركة .
- الشدة : ثابتة لأن ثابت = $\Delta v$ .

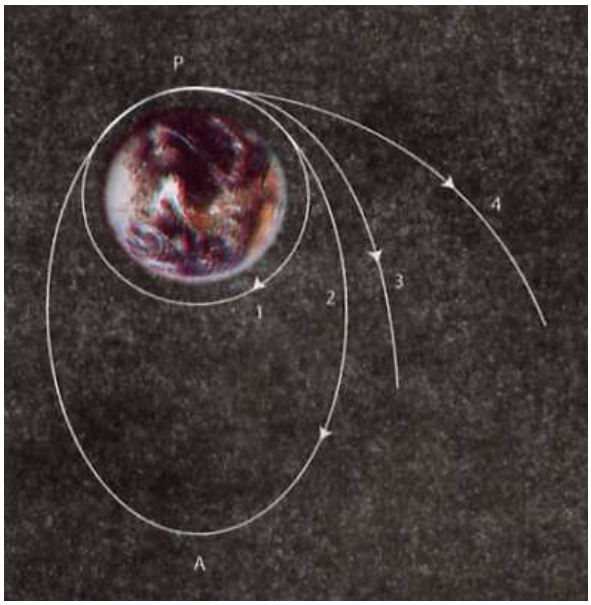
5- تحديد لحظة إنقطاع الخيط :

عندما ينقطع الخيط يحافظ الجسم على حامل سرعتة و يتحول المسار من دائري إلى مستقيم و هو ما يوافق الموضع $M_5$ في الشكل أي عند اللحظة : $t = 5\tau = 0.5s$ .

# حركة الأقمار الإصطناعية

**• تعريف القمر الاصطناعي و بعض مميزاته :**

- تطلق الأقمار الاصطناعية من قواعد خاصة تدعى قواعد الإطلاق ، و تتم هذه العملية بصواريخ الإطلاق وفق القوانين الأساسية للميكانيك .

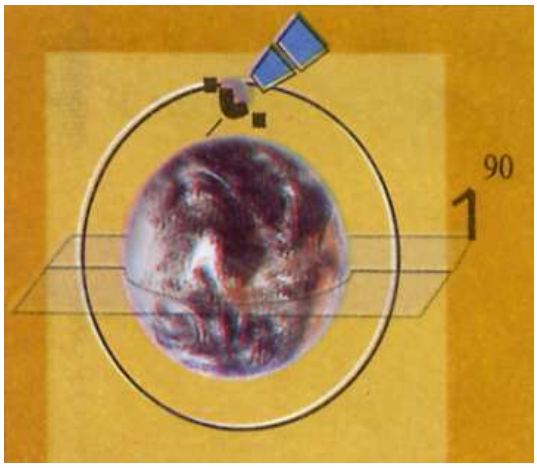



- يتعلق شكل المسارات (أو المدارات) التي تأخذها الأقمار الاصطناعية بالسرعة التي تعطى لها عند النقطة P التي تمثل بداية وضعها في مداراتها .
- إذا كانت قيمة سرعة الجسم عند النقطة P ضعيفة ، فإنه يسقط على الأرض بمسار على شكل قطع مكافئ .
- من أجل سرعة محددة تتعلق بارتفاع االنقطة P عن سطح الأرض ، لا يسقط القمر الاصطناعي بل يتخذ مسارا دائريا (الحالة-1 من الشكل ) ، و تدعى هذه السرعة بالسرعة الفضائية الأولى ( أو سرعة الاستقمار ) يرمز لها بـ $v_S$ و هي تقدر بـ 7.5 km/s من أجل مدار يبعد عن الأرض بمقدار 800 km .
- إذا كانت سرعة القمر الاصطناعي عند P أكبر بقليل من $v_S$ ، فإن القمر الاصطناعي يتخذ مسارا إهليليجيا (الحالة-2 من الشكل )
- عندما يبلغ القمر الاصطناعي سرعة $v_l$ و التي تدعى السرعة الفضائية الثانية و تقدر تقريبا بـ 11 km/s ($v_l > v_s$) يتحرر القمر الاصطناعي من الجاذبية الأرضية و يبتعد عن الأرض (الحالتين 3،4 من الشكل ) .

## المدارات المختلفة للأقمار الاصطناعية

**- المدار القطبي :**

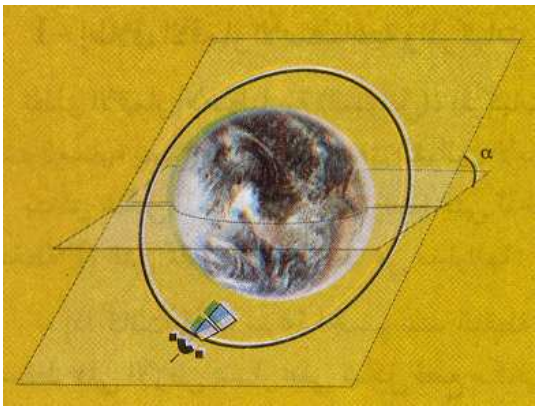
- في هذا المدار يمر القمر الاصطناعي فوق القطبين في كل دورة (الشكل) . بالإضافة إلى أنه عمودي بالنسبة لمحور خط الاستواء .




- عند هذا المدار تشاهد الأرض كلها و بإمكان القمر الاصطناعي أن يمسح كل الأرض .

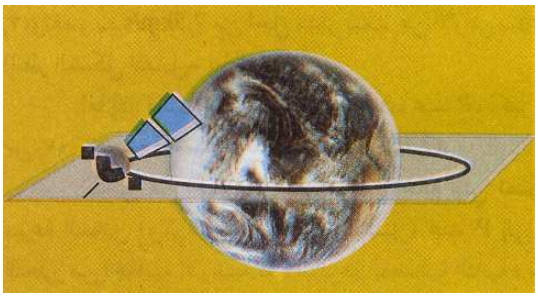
**- المدار المائل :**

له نفس خصائص المدار القطبي أي يمر فوق القطبين في كل مرة إلا أنه مائل بالنسبة لمحور خط الإستواء (الشكل) .



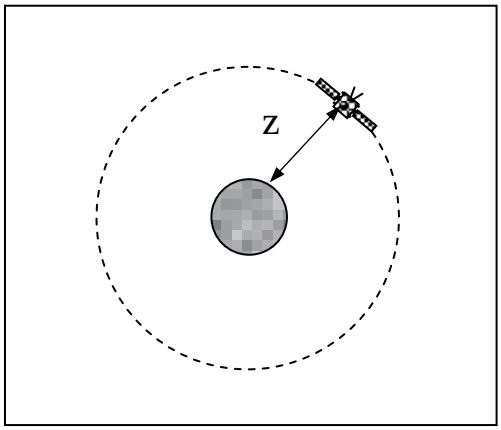

**- المدار الأرضي المستقر :**

هو مدار يوجد على ارتفاع 36000 km ، بالاضافة إلى أنه يوجد في مستوي خط الاستواء (الشكل) .



- سرعة دوران هذا المار حول الأرض تساوي سرعة دوران الأرض حول نفسها ، لذا يبدو مستقر بالنسبة لها .

## التمرين (3) : ( التمرين : 006 في بنك التمارين على الموقع )




يدور القمر الإصطناعي الجزائري ALSAT1 في مدار على ارتفاع z = 1200 km عن سطح الأرض و ينجز ثلاث دورات خلال 24 ساعة .

1- أحسب دور القمر الإصطناعي ؟

2- إذا علمت أن نصف قطر الأرض هو R = 6400 km ، أحسب :

أ- نصف قطر مدار القمر الاصطناعي r .

ب- طول المدار d الذي يتحرك فيه القمر الإصطناعي بفرض أنه دائري .

3- استنتج قيمة سرعته v . مثلها في وضع كيفي باختيار سلم مناسب .

4- مثل في نفس الموضع شعاع القوة $\vec{F}_{T/S}$ الناتجة عن جذب الأرض للقمر الإصطناعي و كذا شعاع تغير السرعة . اشرح .

**الأجوبة :**

1- دور القمر الاصطناعي :

- حسب تعريف الدور و المتمثل في أنه الزمن اللازم لإنجاز دورة واحدة ، يكون حسب القاعدة الثلاثة :

03 دورة → 24 h (1min)

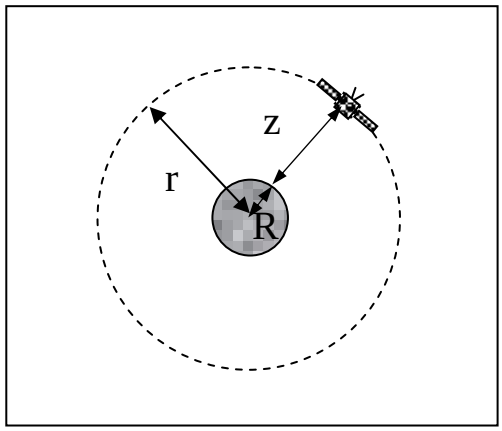
1دورة → T h

و منه :

$$T = \frac{24 \cdot 1}{3} = 8\,h$$

2- أ- نصف قطر مسار القمر الاصطناعي :

يمثل نصف قطر مدار القمر الاصطناعي ، نصف قطر الأرض مضاف إليه ارتفاع القمر اصطناعي بالنسبة للأرض كما مبين في الشكل التالي :




إذن :

r = R + z

r = 6400 km + 1200 km = 7600 km

ب- طول المدار الذي يتحرك فيه القمر الإصطناعي :

d = 2π r

d = 2 . 3.14 . (7600 km) = 47728 km

3- قيمة سرعته v :

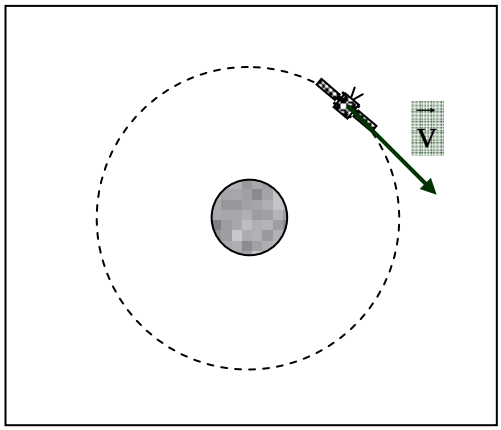
لدينا :

$$T = \frac{2\pi . r}{v} \rightarrow v = \frac{2\pi . r}{T}$$

- $T = 8\ h = 8 . 3600 = 28800\ s$
- $r = 7600\ km = 7.6 . 10^6\ m$
- $v = \frac{2\pi . 7.6 . 10^6}{28800} = 1657.2\ m/s$

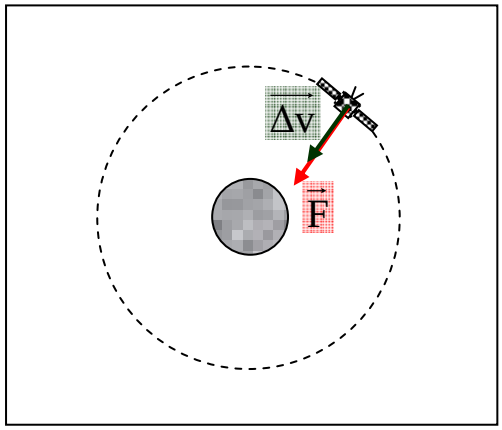
- تمثيل شعاع السرعة :

شعاع السرعة في الحركة الدائرية ، يكون مماسي للمسار و في جهة الحركة لذا يكون :




4- تمثيل شعاع القوة $\vec{F}_{T/S}$ الناتجة عن جذب الأرض للقمر الإصطناعي و كذا شعاع تغير السرعة :

بما أن الحركة دائرية منتظمة ، يكون شعاع تغير السرعة متجه نحو مركز المسار و كذلك شعاع القوة $\vec{F}_{T/S}$ كما مبين في الشكل التالي :



سلاسل المنجد في العلوم الفيزيائية – أولى ثانوي – الوحدة 02

# القوة و الحركة المنحنية

إعداد الأستاذ فرقاني فارس
ثانوية مولود قاسم نايت بلقاسم - الخروب - قسنطينة
www.sites.google.com/site/faresfergani

**********

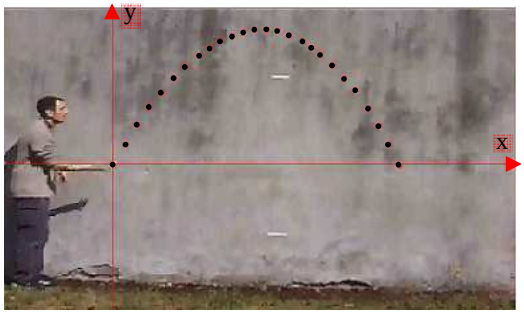
## المحتوى المفاهيمي : 02

# حركة القذيفة

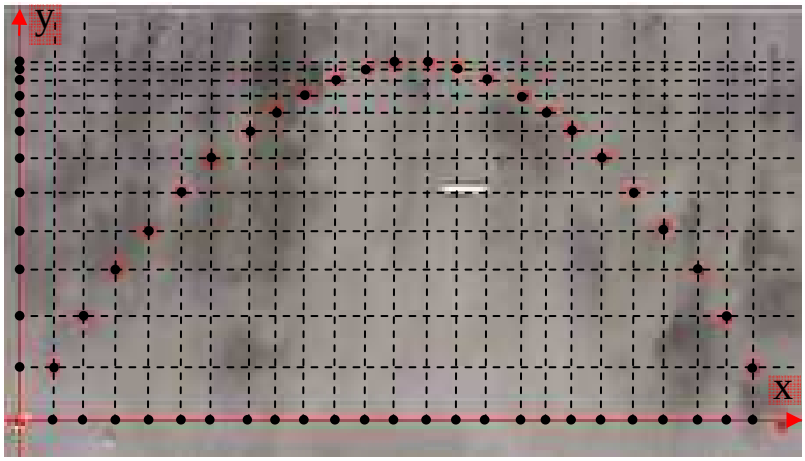
## القوة و حركة القذيفة

**• طبيعة الحركة :**

- عندما يقذف جسم (S) بسرعة ابتدائية $\vec{v}_0$ يصنع شعاعها الزاوية $\alpha$ مع المستوي الأفقي يكون المسار منحني .




مسقط حركة الجسم (S) على المحورين ox ، oy




- مسقط حركة القذيفة على المحور ox هي حركة مستقيمة منتظمة .
- مسقط حركة القذيفة على المحور oy هي حركة مستقيمة متغيرة بانتظام حيث تكون متباطئة في حالة الصعود و متسارعة في حالة النزول .

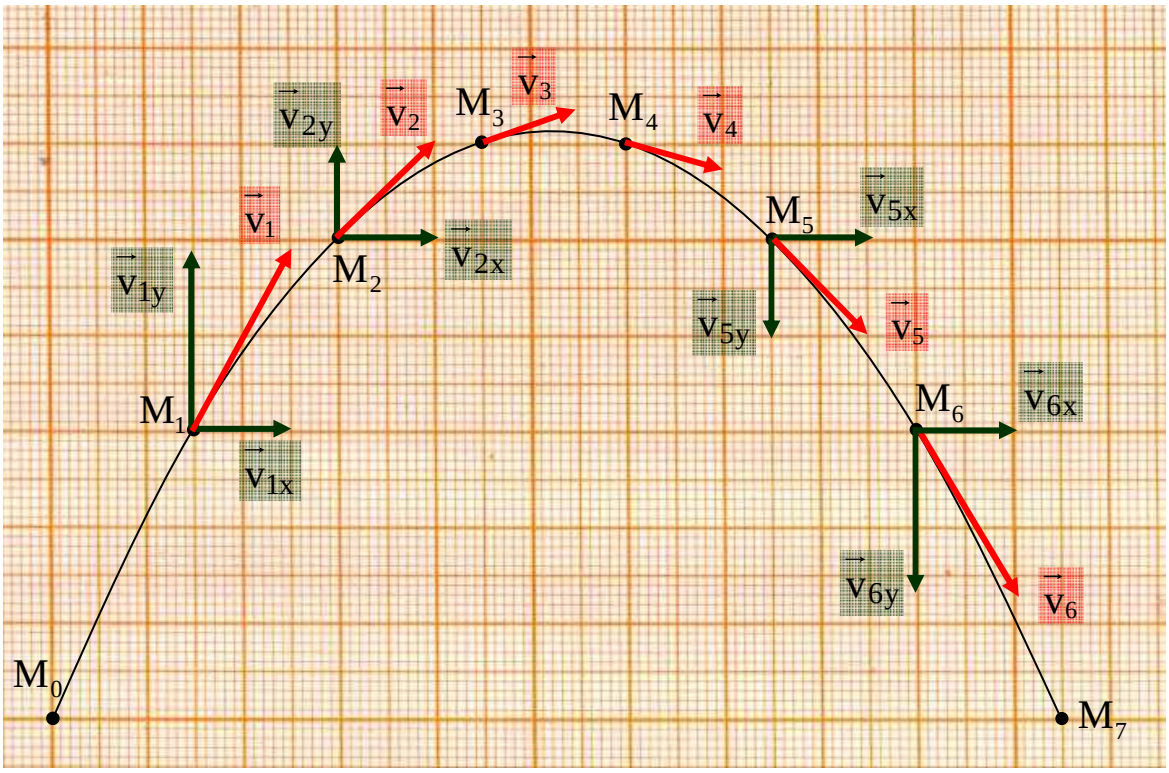
**● خصائص شعاع السرعة :**

- شعاع السرعة يكون مماسي للمسار في كل لحظة و طويلته تتناقص أثناء الصعود و تتزايد أثناء النزول .

- المركبة $\vec{v}_x$ لشعاع السرعة على المحور ox تكون ثابتة (في المنحى و الجهة و الطويلة ) في جميع المواضع بمعنى :

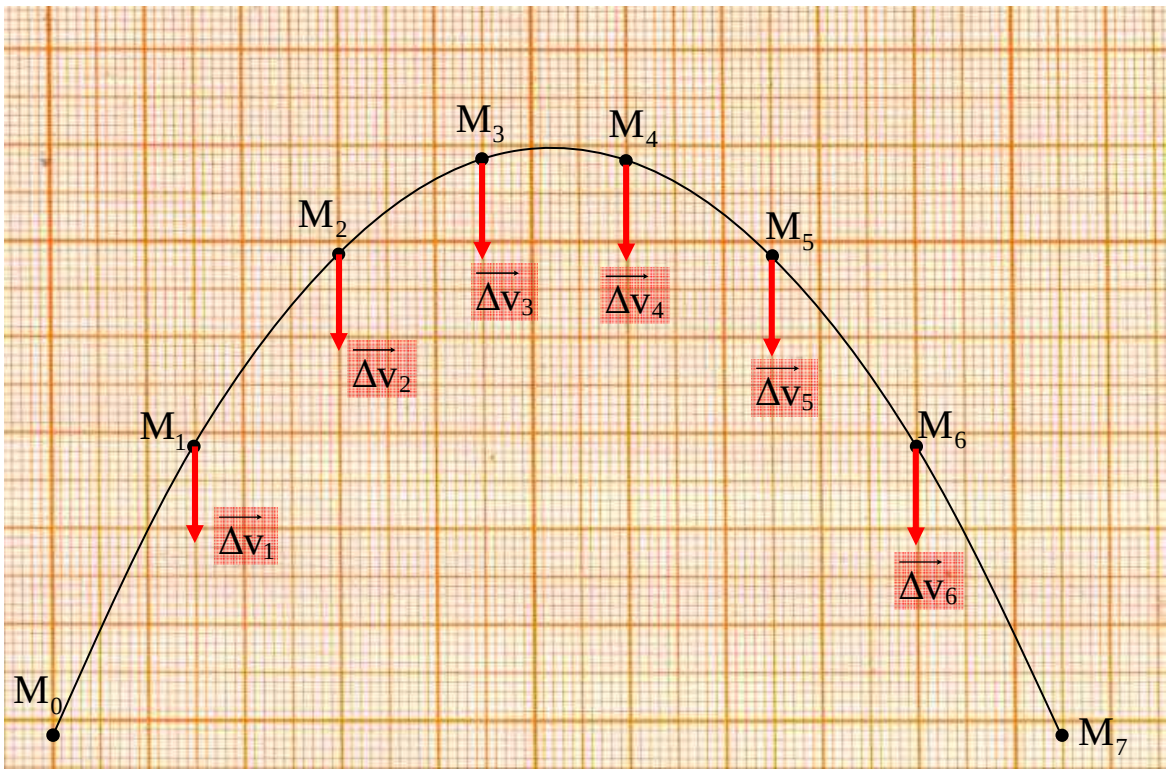
$$\vec{v}_{x0} = \vec{v}_{x1} = \vec{v}_{x2} = \vec{v}_{x3} = .....$$

- المركبة $\vec{v}_y$ لشعاع السرعة على المحور oy تكون ثابتة في المنحى و طويلتها تتناقص بانتظام في حالة الصعود و متزايدة تماما عند النزول .



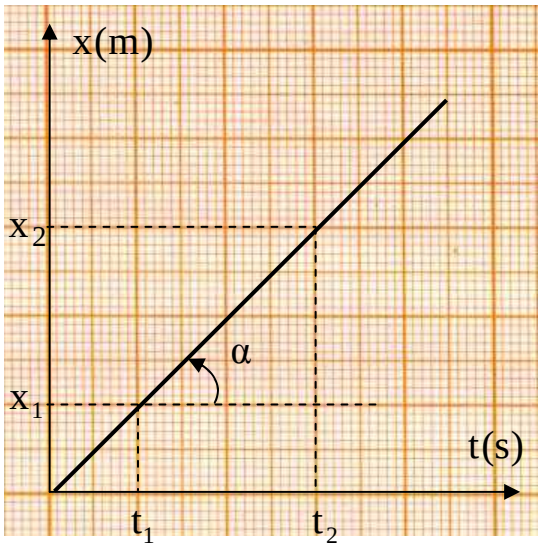

**● خصائص شعاع تغير السرعة :**

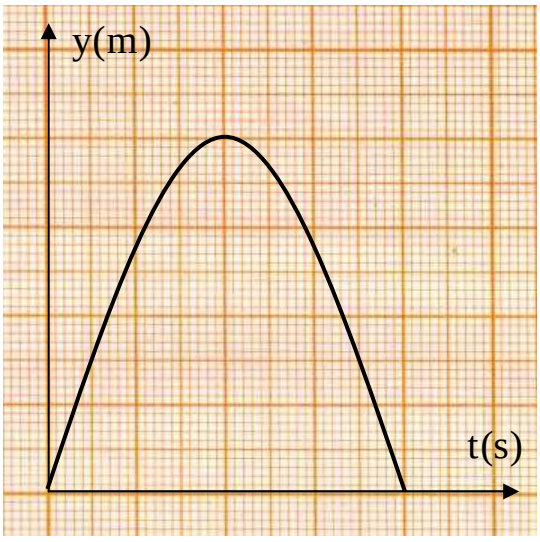
- شعاع تغير السرعة في حركة القذيفة يكون ثابت في القيمة و المنحى و الجهة و الطويلة و متجه نحو الأسفل في جميع المواضع . و بالتالي فالقذيفة أثناء حركتها تخضع إلى قوة ثابتة في المنحى و الجهة و الطويلة و متجهة نحو الأسفل هي نفسها خصائص قوة الثقل .




## • مخططات الحركة :

### - مخططات المسافة x = f(t) ، y = g(t) :



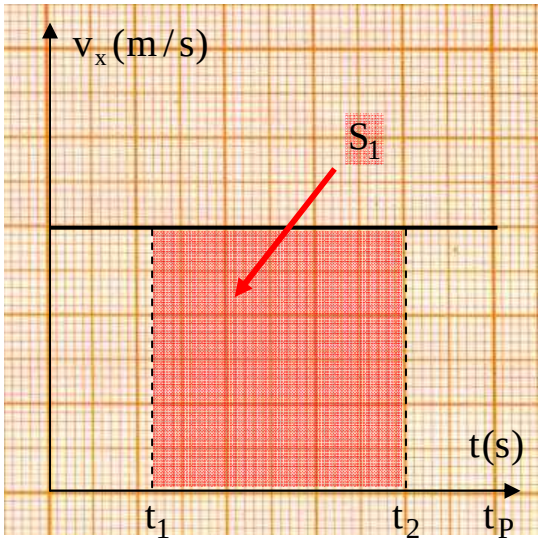



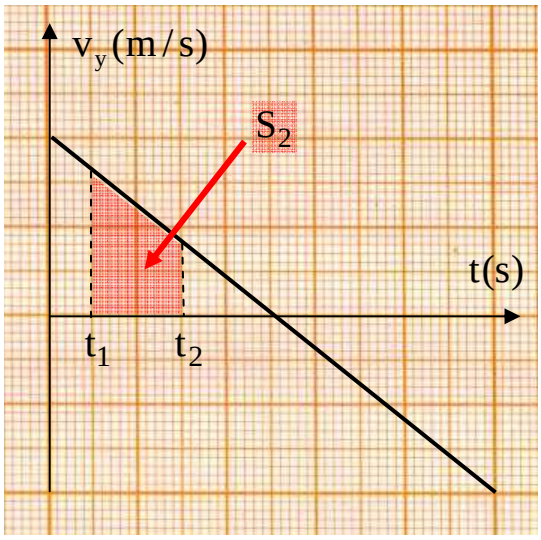

- يمثل ميل المنحنى x(t) ، سرعة المتحرك على المحور ox أي :

$$v_x = \tan\alpha = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

علما أن السرعة $v_x$ ثابتة كون مسقط حركة القذيفة على المحور ox مستقيمة منتظمة .

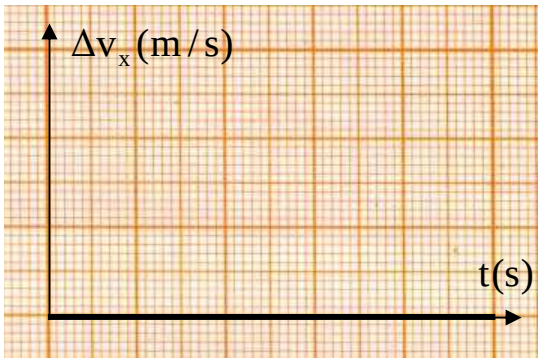
**- مخططات السرعة $v_x = f(t)$ ، $v_y = g(t)$ :**

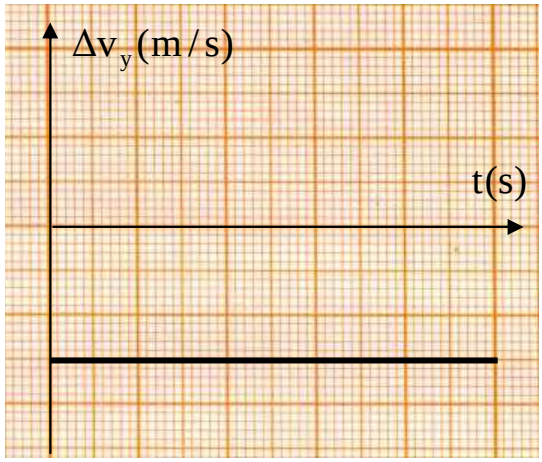



- تمثل المسافة $S_1$ المحصورة بين المنحنى $v_x(t)$ و محور الأزمنة و المستقيمين العموديين على $t_1$ ، $t_2$ المسافة الأفقية المقطوعة بين اللحظتين $t_1$ ، $t_2$ .
- تمثل المسافة $S_2$ المحصورة بين المنحنى $v_y(t)$ و محور الأزمنة و المستقيمين العموديين على $t_1$ ، $t_2$ المسافة الشاقولية المقطوعة بين اللحظتين $t_1$ ، $t_2$ .

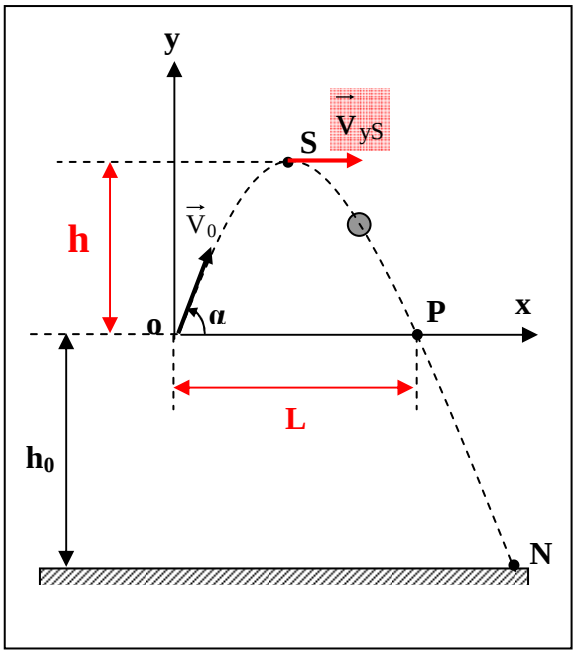
- **مخططات تغير السرعة $\Delta v_x = f(t)$ ، $\Delta v_y = g(t)$ :**



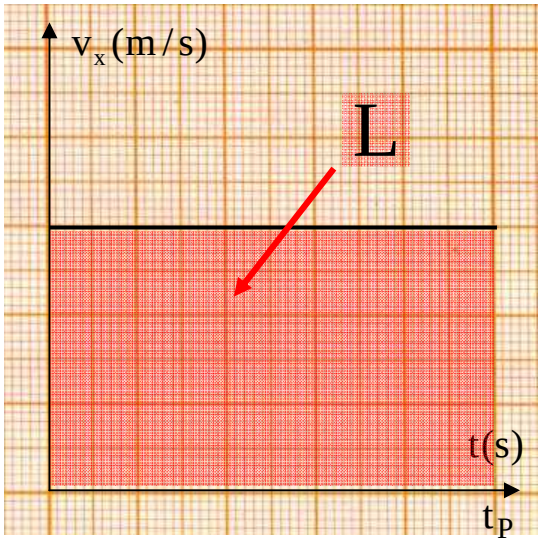



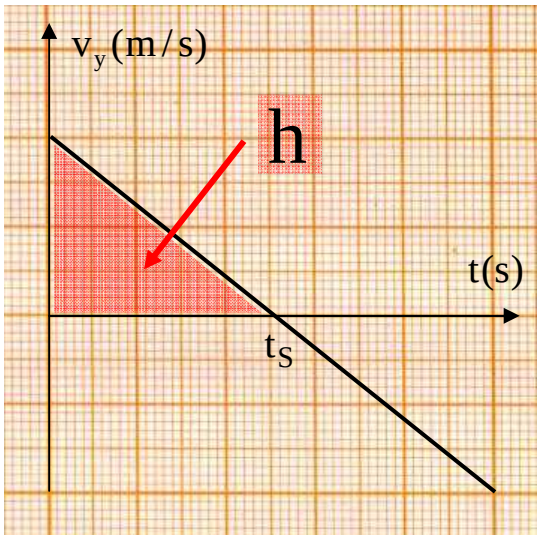

**• ذروة القذيفة و مداها :**

- الذروة هي الموضع الموافق لأقصى ارتفاع تبلغه القذيفة .
- عند بلوغ أقصى ارتفاع (الذروة) تنعدم مركبة شعاع السرعة على المحور oy أي $v_{yS} = 0$ ، و يكون عندئذ شعاع السرعة موازي للمحور ox (الشكل) .
- المدى الذي يرمز له بـ L و هو المسافة الأفقية بين موضع القذف و نقطة تقاطع مسار القذيفة مع المستوي الأفقي المار من موضع القذف (الشكل)



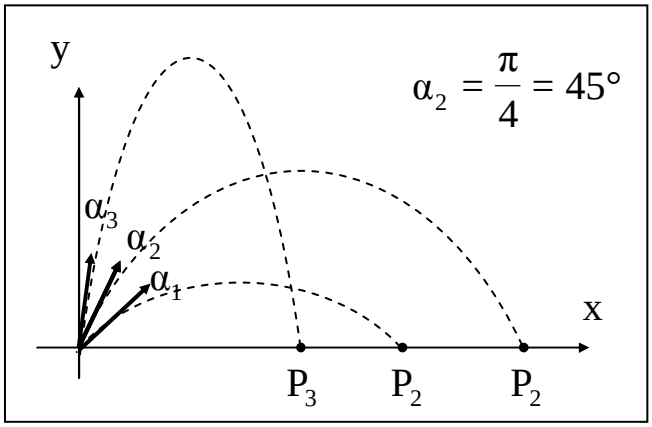

- يمكن حساب المدى L و أقصى ارتفاع h تبلغه القذيفة بالنسبة لمستوى القذف بالاعتماد على مخططي السرعة $v_x(t)$ ، $v_y(t)$ كما يلي :



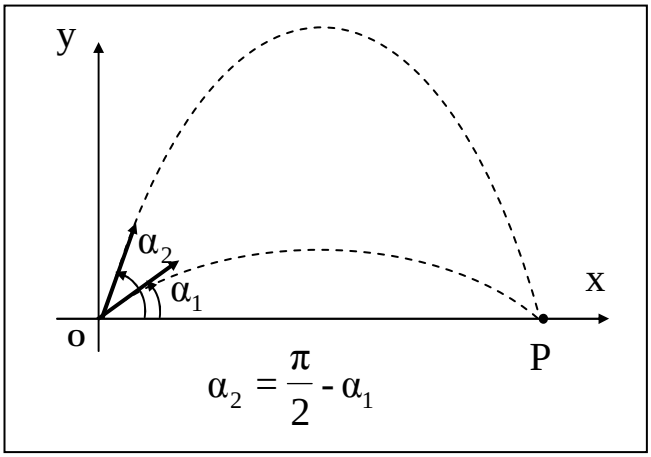

**ملاحظة-1 :**

- من أجل قيمة محددة للسرعة الإبتدائية $v_0$ ، يكون المدى أعظمي من أجل $\alpha = 45°$ (الشكل) .



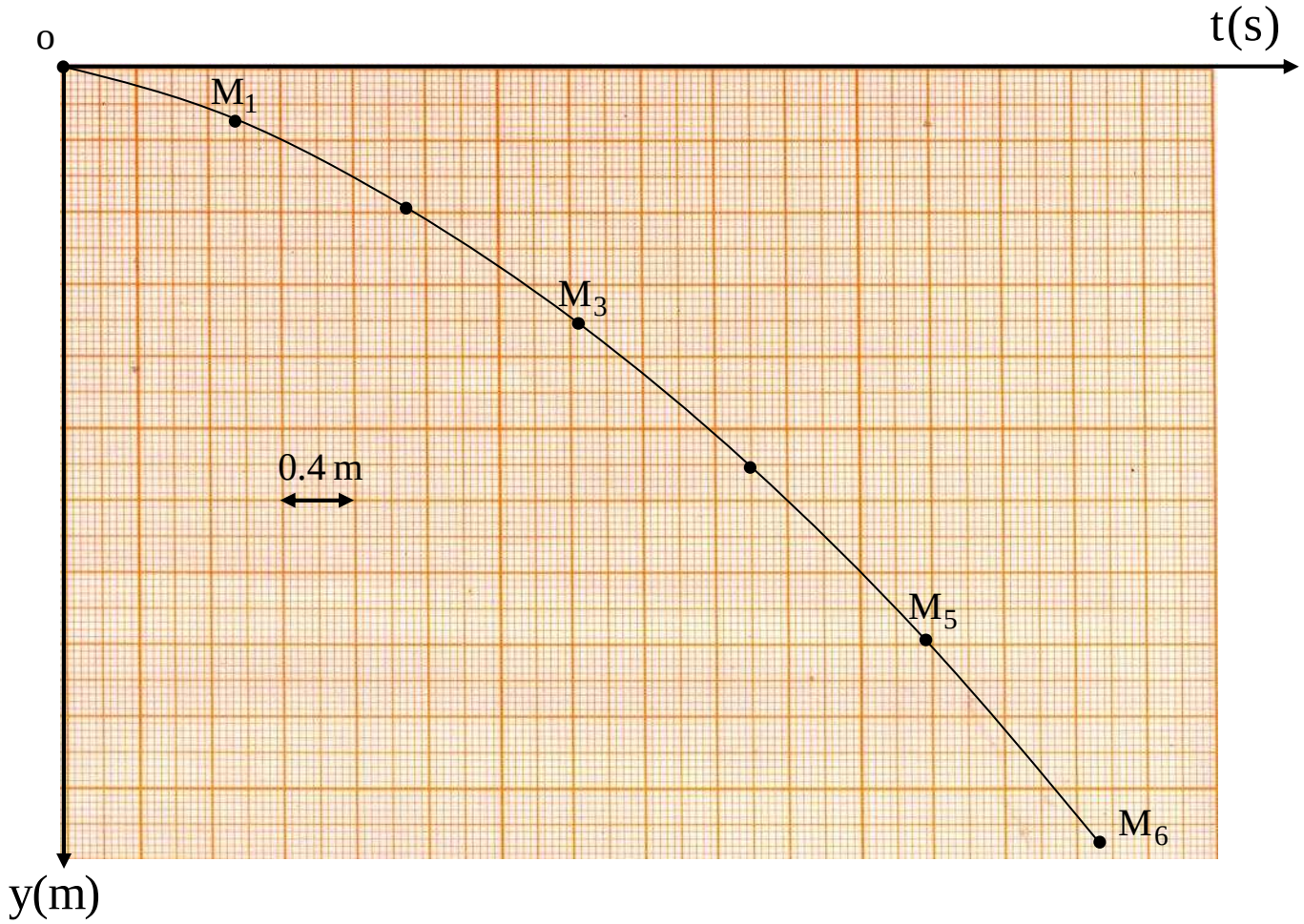
**ملاحظة-2 :**

- نحصل على نفس المدى من أجل الزاويتين $\alpha$ ، $\frac{\pi}{2} - \alpha$ (الشكل) .




**لتمرين (1) :** ( التمرين : 001 في بنك التمارين على الموقع )

ندفع كرة صغيرة على سطح طاولة أفقية ملساء ، فتتجه نحو الحافة لتنطلق في الهواء حتى تسقط على سطح الأرض وفق مسار منحني ، حصلنا بالتصوير المتعاقب على التسجيل الممثل في الوثيقة التالية :



1- أحسب سرعة الكرة عند المواضع $M_1$ ، $M_3$ ، $M_5$ ، ثم مثل شعاع السرعة $\vec{v}$ في هذه المواضع بأخذ سلم السرعة التالي : $1\ cm \rightarrow 5\ m/s$ .

2- مثل شعاع تغير السرعة $\overrightarrow{\Delta v}$ في المواضع $M_2$ ، $M_4$ ، ماذا تلاحظ ؟

3- استنتج خصائص شعاع القوة $\vec{F}$ المؤثرة على الكرة (S) خلال هذه الحركة ، بماذا تذكرك هذه الخصائص ؟

4- أسقط كل المواضع على المحورين ox ، oy .

5- استنتج طبيعة مسقط حركة الكرة على المحور ox مع التعليل .

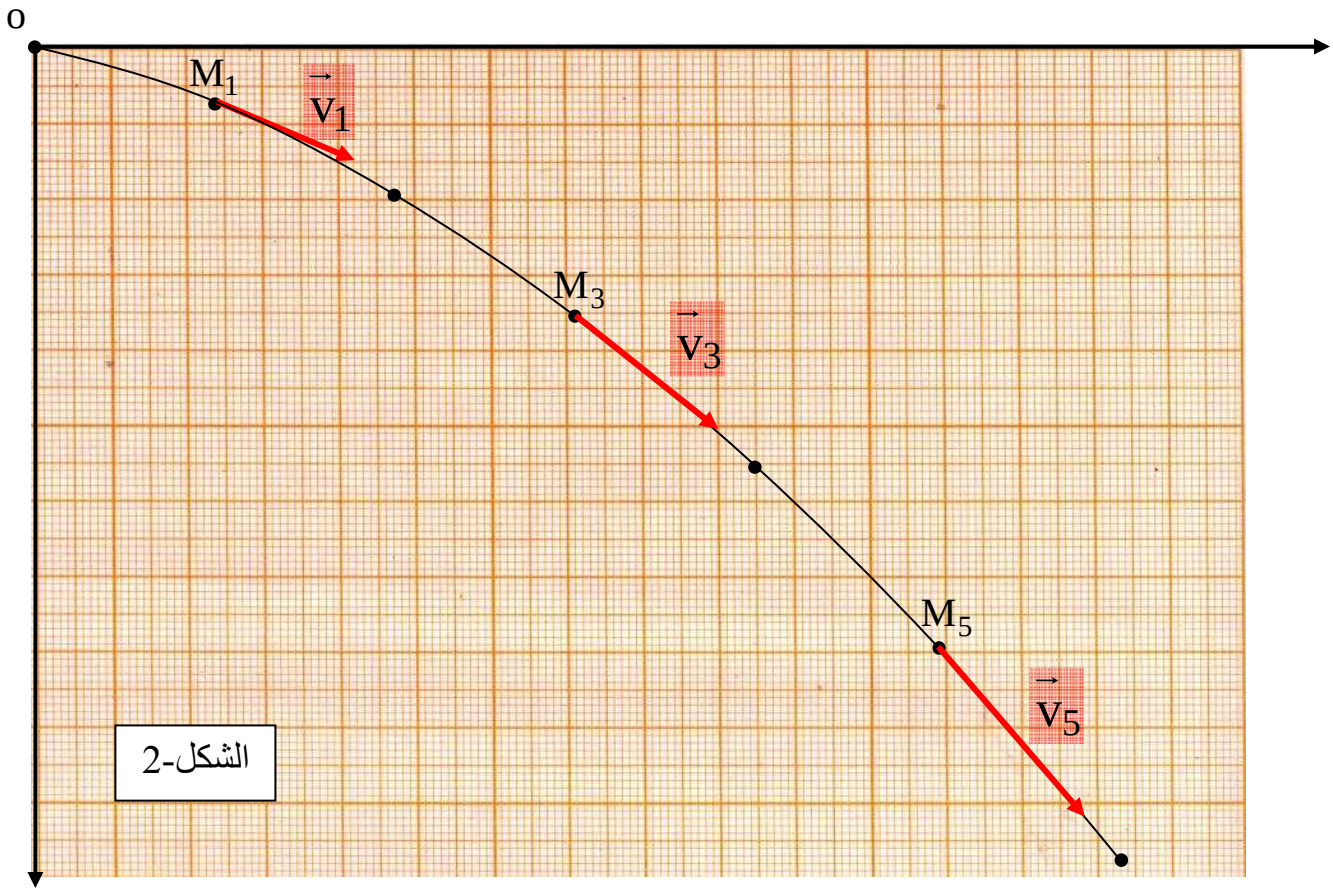
6- بناء على مسقط المواضع على المحور oy أكمل الجدول التالي :

| | $M_0'$ | $M_1'$ | $M_2'$ | $M_3'$ | $M_4'$ | $M_5'$ | $M_6'$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $v_y(m/s)$ | | | | | | | |
| $\Delta v_y(m/s)$ | | | | | | | |

ماذا تلاحظ فيما يخص قيمة $\Delta v_x$ في المواضع $M_2'$ ، $M_3'$ ، $M_4'$ ، استنتج طبيعة مسقط حركة الكرة على المحور oy

**الأجوبة :**

1- حساب و تمثيل سرعة الكرة عند المواضع $M_1$ ، $M_3$ ، $M_5$ : (الشكل-2)




الشكل-2

- $v_1 = \dfrac{M_0M_2}{2\tau} = \dfrac{5.15.0.4}{2\ .0.1} = 10.3\ m/s$

عندما نأخذ بعين الإعتبار سلم رسم السرعات ، توافق $v_1$ القيمة : 2.06 cm .

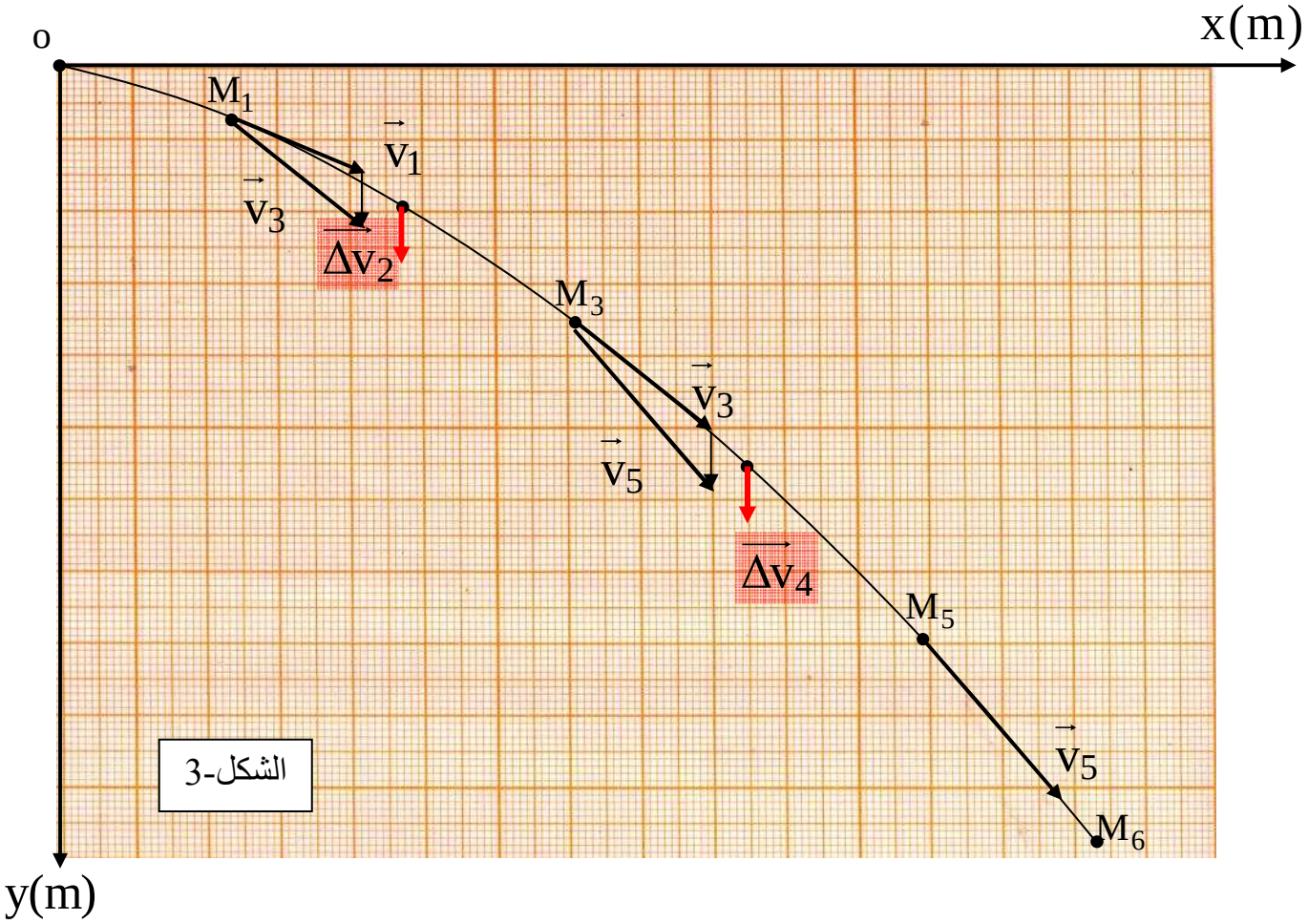
- $v_3 = \frac{M_2M_4}{2\tau} = \frac{6.00 \cdot 0.4}{2 \cdot 0.1} = 12.0\ m/s$

عندما نأخذ بعين الإعتبار سلم رسم السرعات ، توافق $v_3$ القيمة : 2.40 cm .

- $v_5 = \frac{M_4M_6}{2\tau} = \frac{7.15 \cdot 0.4}{2 \cdot 0.1} = 14.3\ m/s$

عندما نأخذ بعين الإعتبار سلم رسم السرعات ، توافق $v_5$ القيمة : 2.86 cm .

2- تمثيل شعاع تغير السرعة $\overrightarrow{\Delta v}$ في المواضع $M_2$ ، $M_4$ : (الشكل-3)



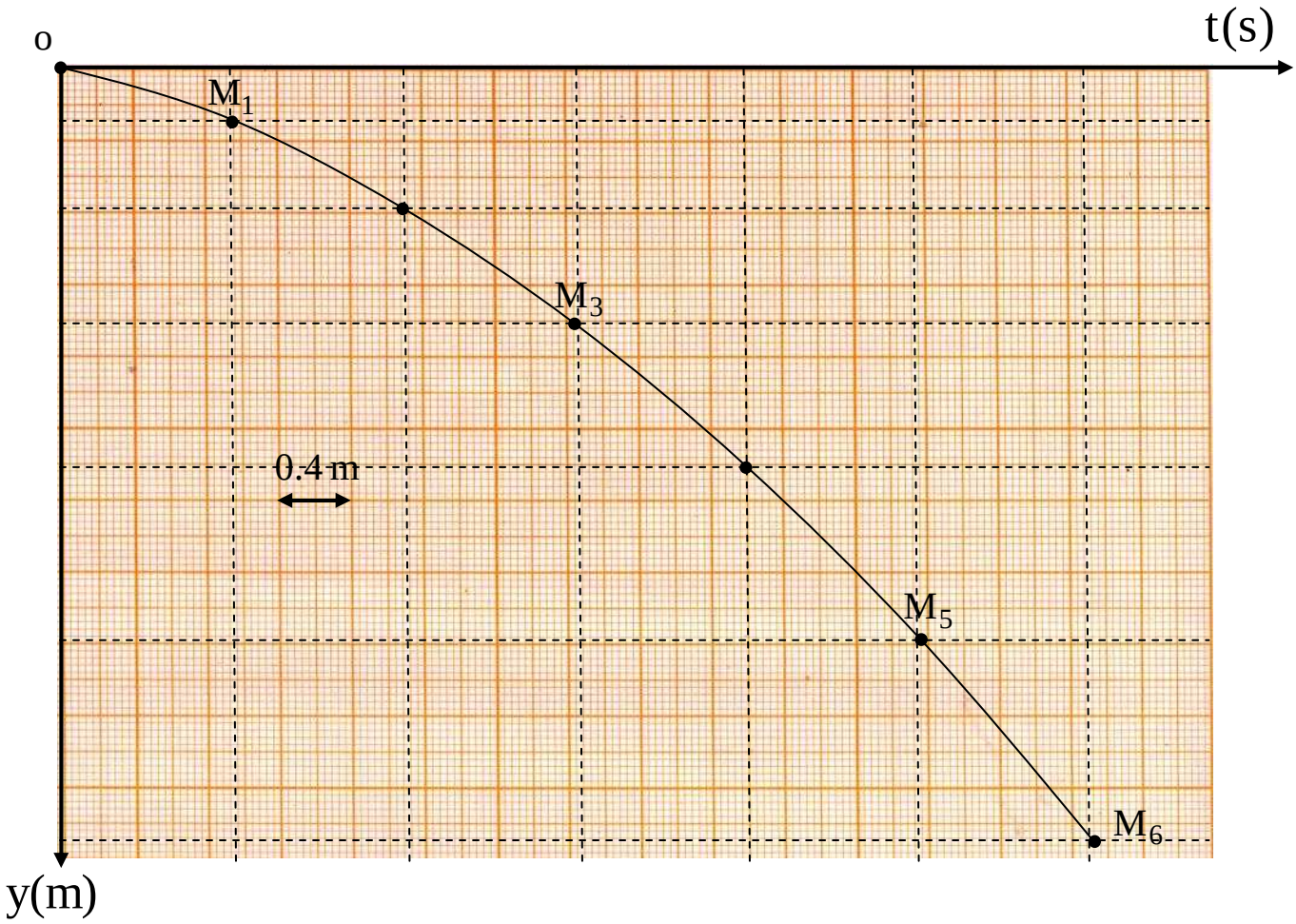
الشكل-3

- نلاحظ أن $\overrightarrow{\Delta v}$ ثابت (في المنحى و الجهة و الطويلة) و متجه نحو الأسفل .

3- خصائص شعاع القوة $\vec{F}$ المؤثرة على الكرة (S) خلال هذه الحركة :

اعتمادا على خصائص $\overrightarrow{\Delta v}$ نستنتج أن القوة $\vec{F}$ هي أيضا ثابتة (في المنحى و الجهة و الطويلة) و متجهة نحو الأسفل ، هذه الخصائص تذكرنا بخصائص قوة الثقل .

4- اسقاط كل المواضع على المحورين ox ، oy :




**لتمرين (2) :** ( التمرين : 004 في بنك التمارين على الموقع )

من موضع $M_0$ نقذف بسرعة ابتدائية $v_0$ يصنع شعاعها زاوية $\alpha$ مع الأفق كرة (S) نعتبرها نقطية ، الشكل التالي يمثل التصوير المتعاقب لحركة هذه الكرة حيث $\tau = 0.2\ s$ .

1- أحسب سرعة الكرة عند المواضع $M_1$ ، $M_3$ ، $M_5$ ، $M_7$ ، ثم مثل شعاع السرعة عند هذه المواضع و كذا شعاع تغير السرعة عند المواضع $M_2$ ، $M_4$ ، $M_6$ بأخذ السلم: $1\ cm \rightarrow 4\ m/s$ .

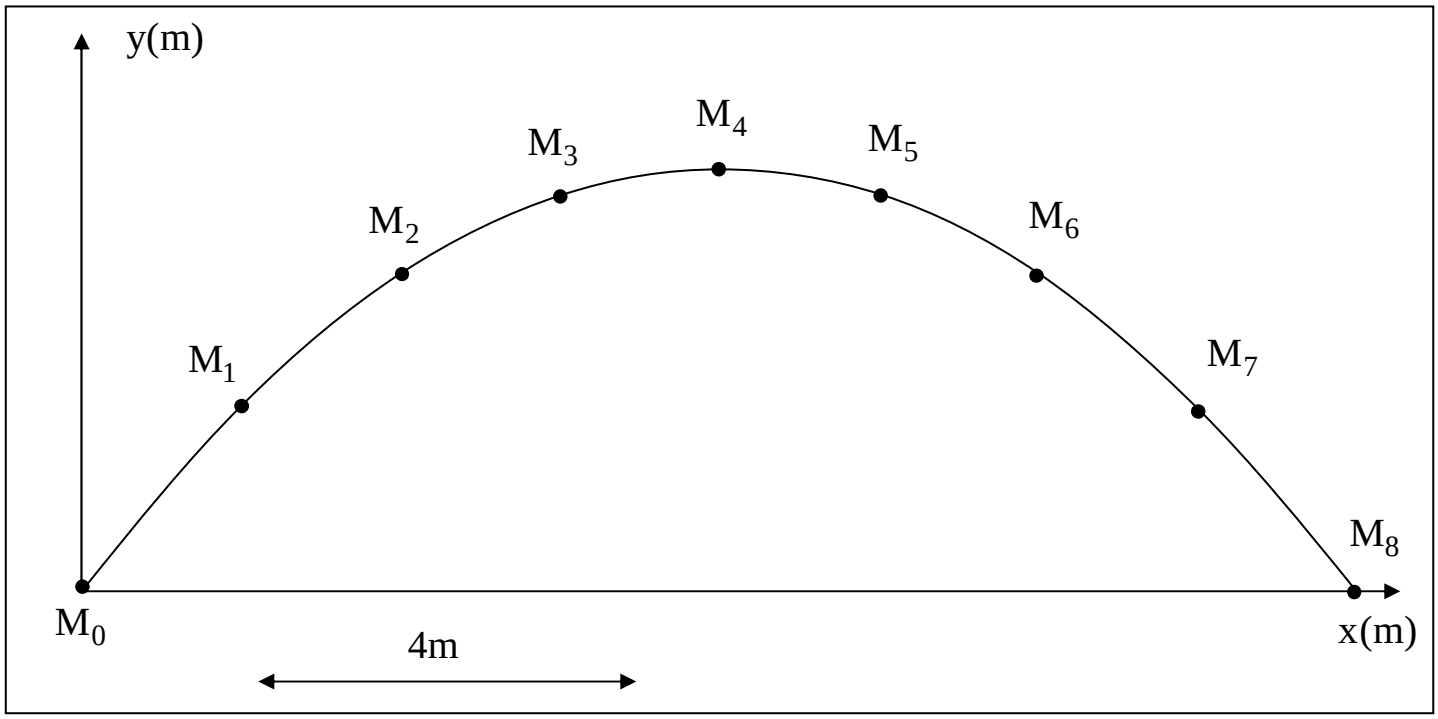
2- ماذا يمكن قوله عن شعاع القوة المؤثرة $\vec{F}$ المؤثرة على الكرة (S) .

3- مثل مركبتي شعاع السرعة $\vec{v}_x$ ، $\vec{v}_y$ عند المواضع $M_1$ ، $M_3$ ، $M_5$ ، $M_7$ . ماذا تستنتج فيما يخص مسقط مسقط حركة الكرة على المحور ox .

4- أوجد h أقصى ارتفاع تبلغه الكرة بالنسبة للمحور ox و الزمن اللازم لذلك .

5- عرف المدى ، حدد قيمته L و حدد الزمن اللازم لبلوغه .

6- قارن زمن بلوغ المدى بزمن بلوغ الذرة , ماذا تستنتج ؟




**الأجوبة :**

1- سرعة الكرة عند المواضع $M_1$ ، $M_3$ ، $M_5$ ، $M_7$ :

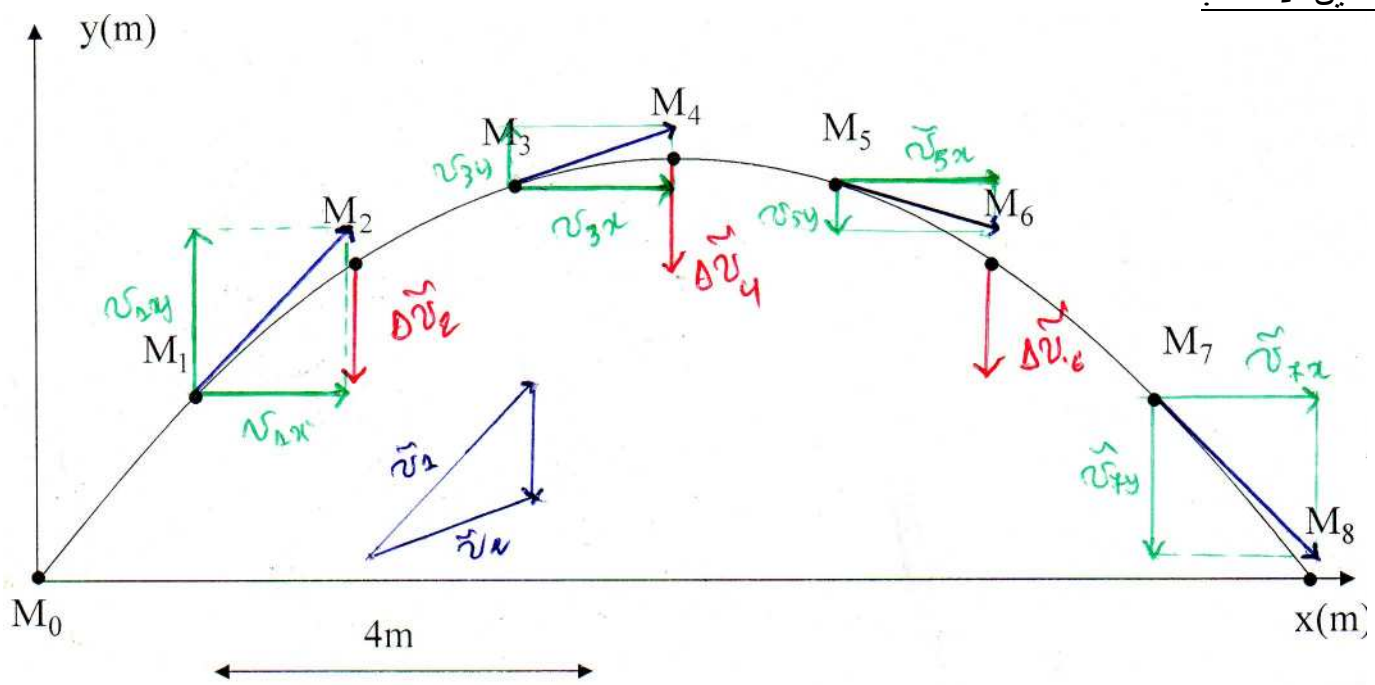
نحدد أولا سلم الرسم :

$$\begin{cases} 5\ cm \rightarrow 4\ cm \\ 1\ cm \rightarrow x \end{cases} \qquad \rightarrow \quad x = \frac{1\ .\ 4}{5} = 0.8m$$

إذن سلم الرسم للمسافة هو : $1\ cm \rightarrow 0.8\ m$ .

- $v_1 = \frac{M_0M_2}{2\tau} = \frac{5.9\ .\ 0.8}{2\ .0.2} = 11.8\ m/s \qquad (2.95\ cm)$
- $v_3 = \frac{M_2M_4}{2\tau} = \frac{4.4\ .\ 0.8}{2\ .0.2} = 8.8\ m/s \qquad (2.20\ cm)$
- $v_5 = \frac{M_4M_6}{2\tau} = \frac{4.4\ .\ 0.8}{2\ .0.2} = 8.8\ m/s \qquad (2.20\ cm)$
- $v_7 = \frac{M_6M_8}{2\tau} = \frac{5.9\ .\ 0.8}{2\ .0.2} = 11.8\ m/s \qquad (2.95\ cm)$

- تمثيل الأشعة :




2- نلاحظ أن شعاع تغير السرعة $\overrightarrow{\Delta v}$ ثابت في المنحى و الجهة و الطويلة و متجه شاقوليا نحو الأسفل ، نستنتج أن شعاع القوة $\vec{F}$ هو أيضا ثابت في المنحى و الجهة و الطويلة و متجه شاقوليا نحو الأسفل .

3- طبيعة مسقط حركة الكرة على المحور ox :

نلاحظ أن الشعاع $\vec{v}_x$ مسقط شعاع السرعة $\vec{v}$ على المحور ox ثابت في المنحى و الجهة و الطويلة ، نستنتج أن مسقط حركة الكرة على المحور ox هي حركة مستقيمة منتظمة .

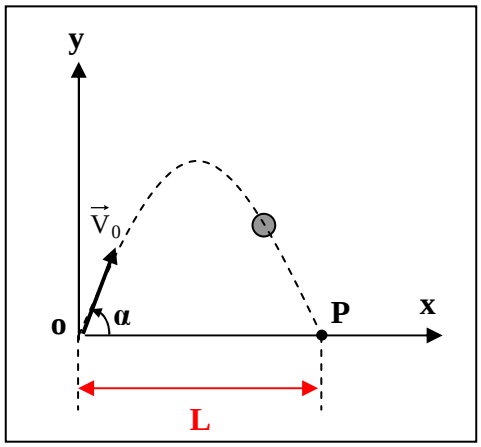
4- أقصى إرتفاع تبلغ الكرة :

من الوثيقة ، أقصى ارتفاع تبلغه الكرة بالنسبة للمحور ox يمثل ارتفاع الموضع $M_4$ على المحور ox و بأخذ سلم الرسم بعين الاعتبار نجد :

$h = 5.5 \ . \ 0.8 = 4.4 \ m$

5- تعريف المدى L :

المدى L هو المسافة الأفقية بين موضع قذف الكرة و موضع سقوط الكرة على المستوى الأفقي المار من موضع القذف كما مبين في الشكل التالي :



- قيمة المدى :

من الوثيقة و بأخذ سلم الرسم بعين الإعتبار :

$L = 16.8 \ . 0.8 \ = \ 13.44 \ m$

- زمن بلوغ المدى :

$t_8 = 8\tau = 8 \ . 0.2 \ = 1.6 \ s$

6- المقارنة بين زمن بلوغ المدى و زمن بلوغ الذرة :

مما سبق :

- $t_4 = 0.08 \ s$
- $t_8 = 0.16 \ s \quad \rightarrow \quad \frac{t_8}{t_4} = \frac{0.16}{0.08} = 2 \quad \rightarrow \ t_8 = 2 \ t_4$

نستنتج أن زمن بلوغ المدى ضعف زمن بلوغ الذروة .