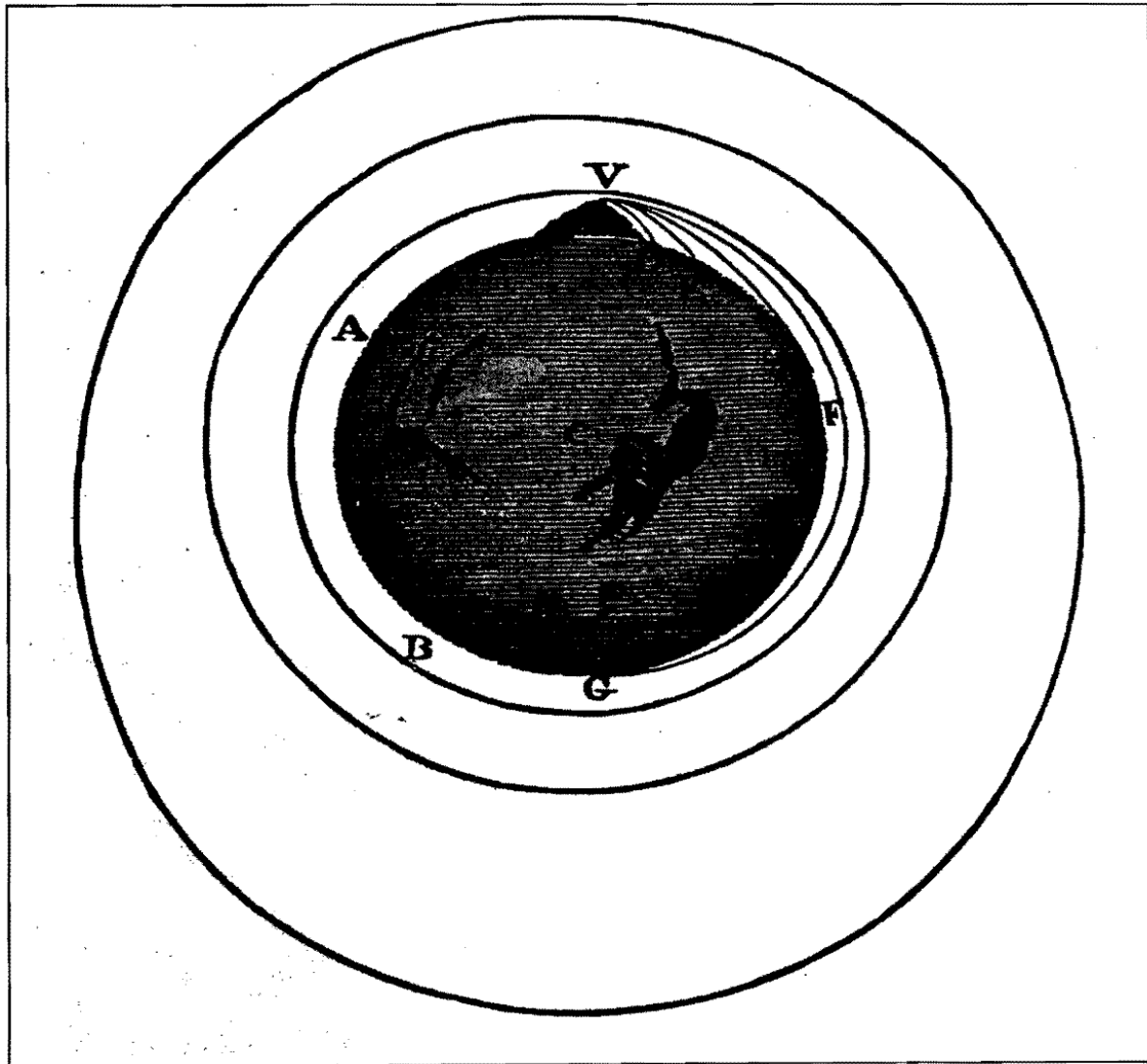


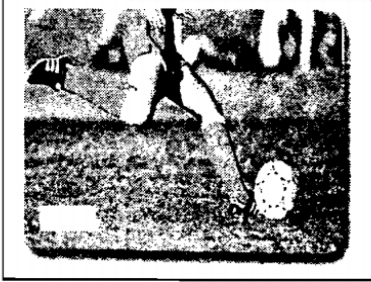
## 2. القوى و الحركات المنحنية

### ◆ الكفاءات المستهدفة

- يرسم شعاع السرعة في الحركات المنحنية
- يوظف مبدأ العطالة للكشف عن وضعيات و تفسيرها بواسطة القوة المؤثرة
- يكشف عن مميزات القوة المؤثرة على متحرك بمقارنتها مع شعاع تغير السرعة
- يعرف ما هو الفرق بين السقوط الحر لجسم و حركة قذيفة و ما هي القوة المطبقة على المتحرك في كل حالة
- يعرف ما طبيعة القوة المطبقة على كل متحرك
- يعرف لماذا لا يسقط القمر على الأرض
- يعرف كيف ترسل الأقمار الاصطناعية إلى الفضاء



## القوى و الحركات المنحنية



### الحركة المنحنية : Mouvement Curviline

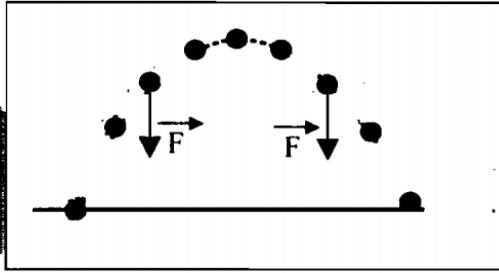
#### 1- نشاطات أولية

1- يقذف لاعب كرة برجله ، كما توضحه الصورة .

ما هو حسب رأيك ، مسار الكرة ؟

الكرة تصعد متبعة مسار منحنى مسافة معينة ثم تنزل متبعة مسار منحنى إلى الأرض .

2- اقترح تصويرا متعاقبا لأوضاع الكرة خلال حركتها .



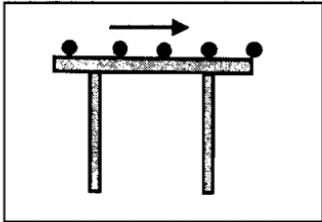
هل تخضع الكرة لقوة خلال حركتها ؟

حسب مبدأ العطالة ، الكرة حتما خاضعة لقوة لأن المسار ليس مستقيماً .

عمل بشعاع كيفي في موضعين مختلفين هذه القوة إن وجدت

مسار من المسار مرحلتين : الصعود و النزول . فالفكرة لم تواصل صعودها دليل على وجود قوة مؤثرة تجذبها نحو الأسفل أي

هنا حركتها أما خلال النزول فوجود هذه القوة بديهي و جهتها نحو الأسفل .



2- ندفع كرة معدنية صغيرة على طاولة أفقية ملساء ، فتنتقل في اتجاه حافة الطاولة .

عمل التصوير المتعاقب لحركة الكرة قبل مغادرة الطاولة .

ما هو نوع حركة الكرة على الطاولة ؟ لماذا ؟

حركة الكرة على الطاولة مستقيمة منتظمة لأن المسافات المتتالية المقطوعة في نفس

المجالات الزمنية متساوية أي الحركة مستقيمة منتظمة و حسب مبدأ العطالة فالفكرة

من شبه معزولة .

ما هو مسارها بعد مغادرة الطاولة ؟

بعد مغادرة الطاولة يكون مسار الكرة منحنى .

عمل التصوير المتعاقب لحركة الكرة بعد مغادرة الطاولة .

هل هناك قوة مطبقة عليها فوق الطاولة ؟

نعم ، هناك قوتين تؤثران على الكرة وهي قوة جذب الأرض للأجسام و يرمز لها

بـ  $\vec{F}_{T/C}$  و قوة رد فعل الطاولة  $\vec{R}$  و هي قوة تعاكس قوة جذب الأرض و يكون لهاتين

قوتين نفس الحامل و نفس الشدة .

هل هناك قوة مطبقة عليها بعد مغادرة الطاولة ؟ علل .

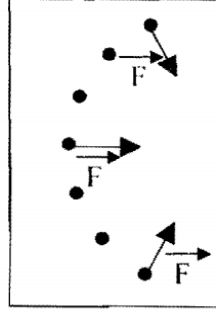
نعم ، بعد مغادرة الطاولة هناك قوة تؤثر على الكرة وهي قوة جذب الأرض للأجسام و يرمز لها بـ  $\vec{F}_{T/C}$  و الدليل على ذلك

المسار ليس مستقيماً و المسافات المتتالية المقطوعة في نفس المجالات الزمنية ليست متساوية أي الحركة ليست منتظمة و حسب

مبدأ العطالة فالفكرة حتما خاضعة لقوة .

مثل بشعاع كيفي ، في موضعين مختلفين ، هذه القوة إن وجدت .

### 1-3 تقطع سيارة منعطفًا دائريًا بسرعة ثابتة .



1- مثل الأوضاع المتتالية لنقطة من السيارة خلال حركتها.

2- في رأيك كيف تكون القوة المطبقة على هذه النقطة المتحركة ناقش.

القوة المطبقة على هذه النقطة المتحركة تكون في جهة استقرار السيارة أي تجعل السيارة تحافظ على مسارها الذي نلاحظه أنه دائري فجهة القوة يكون نحو المركز إذ بدون هذه القوة فالسيارة تنزلق إلى خارج الطريق .

3- مثل بشعاع كيفي هذه القوة في موضعين مختلفين .

### الحركة المنحنية

مقدمة :

واضح من خلال النشاطات السابقة أننا بصدد دراسة نوع آخر من الحركات ألا وهي الحركة المنحنية.

تعريف

نقول عن حركة جسم أنها منحنية إذا كان مسارها منحنى و شعاع سرعة المتحرك متغير المنحني خلال الحركة .

من دراستنا لأثر شعاع السرعة في الحركات المستقيمة ، وجدنا أن شعاع القوة و شعاع السرعة منطبقان و يؤدي ذلك إلى تغير في قيمة السرعة . أما في الحركات المنحنية فشعاع القوة كما لاحظناه في النشاطات السابقة يتغير .

— لدراسة أثر شعاع السرعة في الحركات المنحنية لا بد أن نعرف أولاً كيفية تحديد و تمثيل شعاع السرعة و شعاع تغير السرعة في هذا النوع من الحركات.

### 1- تحديد السرعة اللحظية في الحركات المنحنية :

لحساب قيمة السرعة اللحظية في الحركات المنحنية نعتمد على تعريف السرعة المتوسطة  $V_m = d / \Delta t$  ،

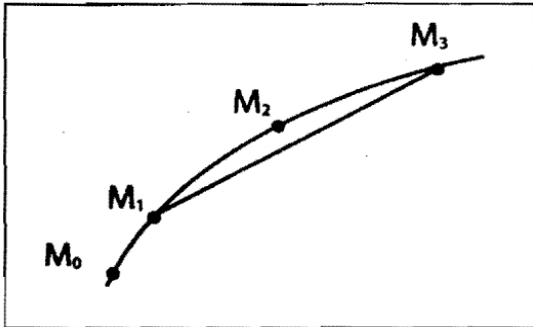
حيث  $d$  هي المسافة المقطوعة من طرف المتحرك بين الموضعين المعبرين و  $\Delta t$  الفاصل الزمني المستغرق لقطع هذه المسافة.

#### 1-1 تحديد قيمة السرعة المتوسطة بيانيا

لتحديد قيمة السرعة المتوسطة بيانيا في حركة منحنية نعتمد على مثال :  
نعتبر التسجيل الممثل في الشكل المقابل ، الممثل لحركة منحنية كيفية ،  
حيث مواضع المتحرك تفصلها مجالات زمنية متساوية  $\tau$  .  
السرعة المتوسطة بين الموضعين  $M_1$  و  $M_3$  مثلاً هي :

$$V_m = d / \Delta t = M_1 M_3 / \Delta t$$

لأن المسافة  $d$  المقطوعة من طرف المتحرك بين لحظتي مرور المتحرك



من  $M_1$  إلى  $M_3$  هي القوس  $\widehat{M_1 M_3}$  و باعتبار  $\Delta t$  صغيراً جداً ، نقبل أن القوس والوتر بين الموضعين يكونان منطبقين تقريباً ، أي في مثالنا هذا ، نقبل أن :

$$\widehat{M_1 M_3} = \overline{M_1 M_3}$$

في هذه الحالة يمكن أن نكتب السرعة المتوسطة بين  $M_1$  و  $M_3$  على الشكل الذي اعتدناه في الحركة المستقيمة :

$$V_m = V_{1-3} = M_1 M_3 / \Delta t = M_1 M_3 / 2\tau$$

بهذه الطريقة يمكن تحديد بيانيا قيمة السرعة المتوسطة  $V_m$  بين موضعين يفصلهما مجال زمني  $\Delta t$

بقياس طول الوتر الواصل بين هذين الموضعين مباشرة على التسجيل ثم قسمته على  $\Delta t$  . في مثالنا هذا :

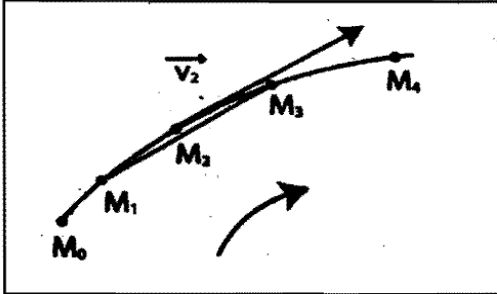
1- نقيس بالمسطرة طول الوتر  $M_1 M_3$  ثم نحوله إلى الطول الحقيقي بالإعتماد على سلم الرسم.

2- نحسب قيمة السرعة المتوسطة بالعلاقة :  $V_{1-3} = M_1 M_3 / 2\tau$

## 2- تحديد و تمثيل السرعة اللحظية في الحركة المنحنية

بالمقارنة مع حساب السرعة اللحظية في الحركة المستقيمة و بما أن المجال الزمني  $\Delta t$  المستعمل لحساب السرعة المتوسطة قصير جدا ، يمكن اعتبار أن قيمة السرعة المتوسطة هنا تساوي قيمة السرعة اللحظية في منتصف المجال الزمني ، أي في مثالنا ، عند الموضع  $M_2$  ، يمكن أن نكتب :

$$V_2 = V_{1-3} = M_1M_3 / 2\tau$$



و نمثلها بشعاع  $\vec{V}_2$  خواصه :

- مبداه  $M_2$  ،
- حامله مماسي للمسار في  $M_2$
- جهته هي جهة الحركة
- قيمته :  $V_2 = M_1M_3 / 2\tau$  باستعمال سلم رسم مناسب .

## 2- تحديد و تمثيل شعاع تغير السرعة $\Delta \vec{V}$ في الحركة المنحنية

### أ- تحديد شعاع تغير السرعة $\Delta \vec{V}$ في الحركة المنحنية

لتحديد ، عمليا ، شعاع تغير السرعة  $\Delta \vec{V}$  في الحركات المنحنية ، نستخدم نفس الخطوات المتبعة في حالة الحركات المستقيمة. فنعين بالتسجيل الممثل في الشكل المقابل ، حيث مواضع المتحرك تفصلها مجالات زمنية متساوية  $\tau$ .

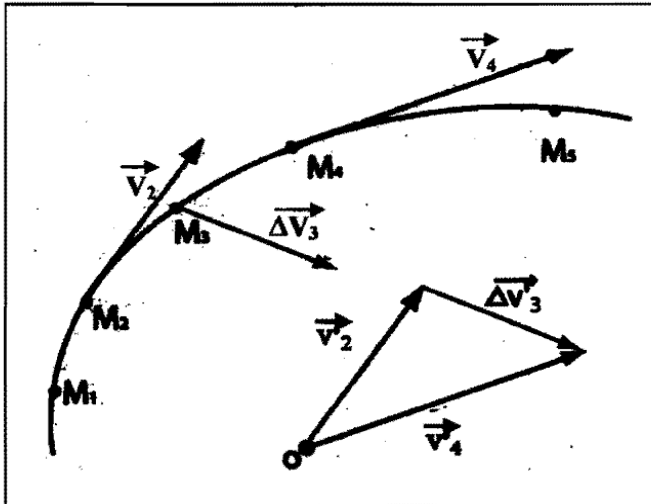
لتحديد شعاع تغير السرعة  $\Delta \vec{V}$  في الموضع  $M_3$  ، نتبع الخطوات التالية :

• نعتبر الموضعين  $M_2$  و  $M_4$  المجاورين للموضع المعتبر  $M_3$  و نمثل فيهما شعاعي السرعة اللحظية  $\vec{V}_2$  و  $\vec{V}_4$  ، على الترتيب ، باستعمال سلم تمثيل السرعة.

• نعتبر أن شعاع تغير السرعة  $\Delta \vec{V}$  في الموضع  $M_3$  يساوي الفرق الشعاعي بين شعاعي السرعة  $\vec{V}_4$  و  $\vec{V}_2$  ،

$$\Delta \vec{V}_3 = \vec{V}_4 - \vec{V}_2$$

• - تمثيل شعاع تغير السرعة  $\Delta \vec{V}$  في الحركة المنحنية :



نختار نقطة كيفية O خارج التسجيل

- انطلاقا من هذه النقطة O نرسم شعاعا  $\vec{V}_2'$  مساويا للشعاع  $\vec{V}_2$

- انطلاقا من هذه النقطة O نرسم شعاعا  $\vec{V}_4'$  مساويا للشعاع  $\vec{V}_4$

- نرسم الشعاع  $\Delta \vec{V}_3'$  ، بحيث تكون بدايته في نهاية  $\vec{V}_2'$

- نهائيه في نهاية  $\vec{V}_4'$  ، بهذا الترتيب ،  $\Delta \vec{V}_3' = \vec{V}_4' - \vec{V}_2'$

- بما أن  $\vec{V}_2'$  و  $\vec{V}_4'$  يساويان  $\vec{V}_2$  و  $\vec{V}_4$  على الترتيب ،

فإن  $\Delta \vec{V}_3'$  يساوي  $\Delta \vec{V}_3$ .

- تكون إذا خصائص الشعاع  $\Delta \vec{V}_3'$  هي :

- بدايته : الموضع المعتبر  $M_3$

- حامله : موازي لحامل  $\Delta \vec{V}_3'$

- جهته : هي جهة  $\Delta \vec{V}_3'$

- قيمته : تساوي طولية  $\Delta \vec{V}_3'$  المقاسة بيانيا على الرسم باعتماد سلم تمثيل السرعات.

### التمرين :

الشكل الآتي تسجيل حركة منحنية لنقطة متحركة M ، الأوضاع المتتالية للنقطة M تفصلها مجالات زمنية متساوية  $\tau$

حيث  $\tau = 0,04 \text{ s}$  ، سلم تمثيل المسافات في الصورة هو :  $1 \text{ cm} \rightarrow 0,05 \text{ m}$

حدد شعاع تغير السرعة  $\Delta V_2$  في الموضع  $M_2$  :

(1) نقيس طول الوتر  $M_0M_2$  فنجد :  $M_0M_2 = 2,4 \text{ cm}$  على الوثيقة و باستعمال سلم المسافات :

$$1 \text{ cm} \rightarrow 0,05 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \rightarrow 0,05 \text{ m} \\ 2,4 \text{ cm} \rightarrow X \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow X = (0,05 \times 2,4) / 1 = 0,12 \text{ m} .$$

جدد 0,12 m في الحقيقة .



نقيس طول الوتر  $M_2M_4$  فنجد:  $M_2M_4 = 4,5 \text{ cm}$  على الوثيقة و باستعمال سلم المسافات :  
 $1 \text{ cm} \rightarrow 0,05 \text{ m}$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \rightarrow 0,05 \text{ m} \\ 4,5 \text{ cm} \rightarrow x \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow x = (0,05 \times 4,5)/1 = 0,22 \text{ m} .$$

نجد  $0,22 \text{ m}$  في الحقيقة .

(2) نحسب سرعتين  $V_1$  و  $V_3$  في الموضعين  $M_1$  و  $M_3$  المجاورين للنقطة  $M_2$

$$V_1 = M_0M_2 / 2\tau = 0,12 / 0,08 = 1,5 \text{ m/s} : \text{ حساب } V_1$$

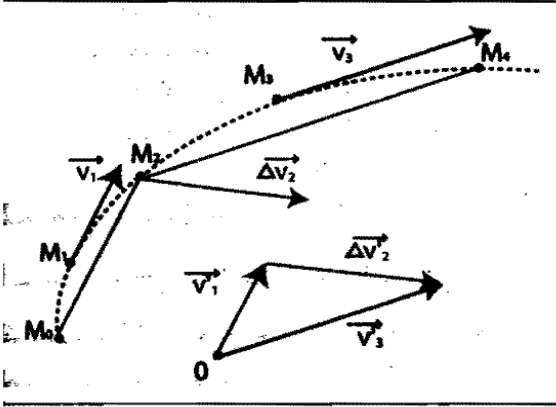
$$V_3 = M_2M_4 / 2\tau = 0,22 / 0,08 = 2,75 \text{ m/s} : \text{ حساب } V_3$$

(3) تمثيل أشعة السرعة :

- نرسم أشعة السرعة  $\vec{V}_1$  و  $\vec{V}_3$  باختيار السلم التالي :  $1 \text{ cm} \rightarrow 1 \text{ m/s}$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \rightarrow 1 \text{ m/s} \\ x \text{ cm} \rightarrow 1,5 \text{ m/s} \end{array} \right\} \Rightarrow x = (1,5 \times 1)/1 = 1,5 \text{ cm} .$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \rightarrow 1 \text{ m/s} \\ x \text{ cm} \rightarrow 2,75 \text{ m/s} \end{array} \right\} \Rightarrow x = (2,75 \times 1)/1 = 2,75 \text{ cm} .$$



إذن : طول  $\vec{V}_1$  على الرسم هو :  $1,5 \text{ cm}$

و طول  $\vec{V}_3$  على الرسم هو  $2,75 \text{ cm}$

(4) نرسم شعاع تغير السرعة  $\Delta \vec{V}_2$  باتباع الطريقة المذكورة سابقا ثم نقيس طولها بالمسطرة على الرسم فنجد  $2,2 \text{ cm}$

(5) نرسم شعاع تغير السرعة  $\Delta \vec{V}_2$  مسائرا لـ  $\Delta \vec{V}_2$  و باعتماد سلم السرعات السابق :  $1 \text{ cm} \rightarrow 1 \text{ m/s}$

نستنتج قيمة  $\Delta V_2$  :  $\Delta V_2 = 2,2 \text{ m/s}$

تنبيه :

في الحركات المنحنية ، حوامل أشعة السرعة ليست منطبقة و بالتالي قيمة  $\Delta V_2$  لا نجد لها من العلاقة الشعاعية  $\Delta \vec{V}_2 = \vec{V}_3 - \vec{V}_1$  أي لا تقاس بطرح قيمتي  $V_1$  و  $V_3$  ، بل تحدد قيمة  $\Delta V_2$  بقياس بيانيا على الرسم طول الشعاع  $\Delta \vec{V}_2$  و استنتاج قيمتها بالإعتماد على سلم السرعات .

3- دراسة تطور (تغيرات) شعاع تغير السرعة خلال الحركة

رأينا في الفقرة السابقة كيف نحدد بيانيا خصائص شعاع تغير السرعة (الحامل ، الجهة والقيمة) في موضع من مواضع الحركة. سنتطرق هنا إلى كيفية إبراز تطور شعاع تغير السرعة بيانيا خلال الحركة. نعتمد لذلك على مثال كفي.

مثال :

نعتبر التسجيل المقابل ، أين مواضع المتحرك تفصلها مجالات زمنية متساوية .

- نرقم المواضع وفق الترتيب الزمني ثم نمثل في كل موضع أشعة السرعة اللحظية

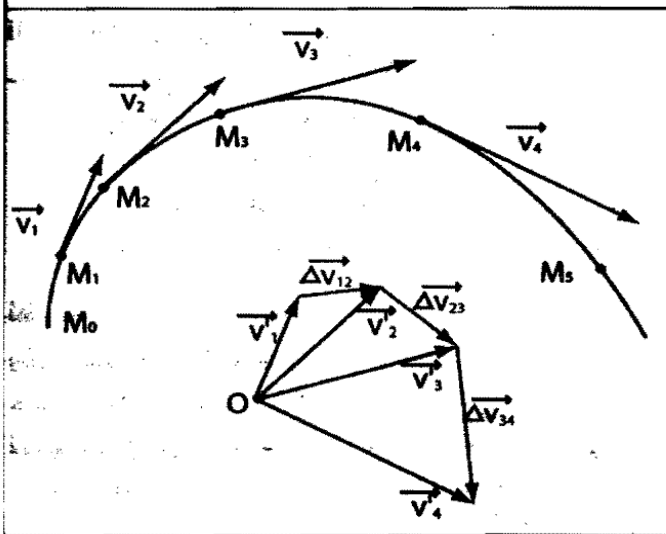
- نختار نقطة كفية 0 خارج التسجيل

- نرسم من هذه النقطة أشعة مسائرة لأشعة السرعة وفق الترتيب الزمني.

- نوصل بين نهايات الأشعة منثنى منثنى على الترتيب بخطوط مستقيمة ونوجهها دائما من الشعاع الأول نحو الشعاع الذي يليه، وفق الترتيب الزمني لأشعة السرعة .

- تمثل كل من هذه الأشعة ، أشعة تغير السرعة بين المواضع التي يشغلها المتحرك على الترتيب من  $M_2$  إلى  $M_4$  .

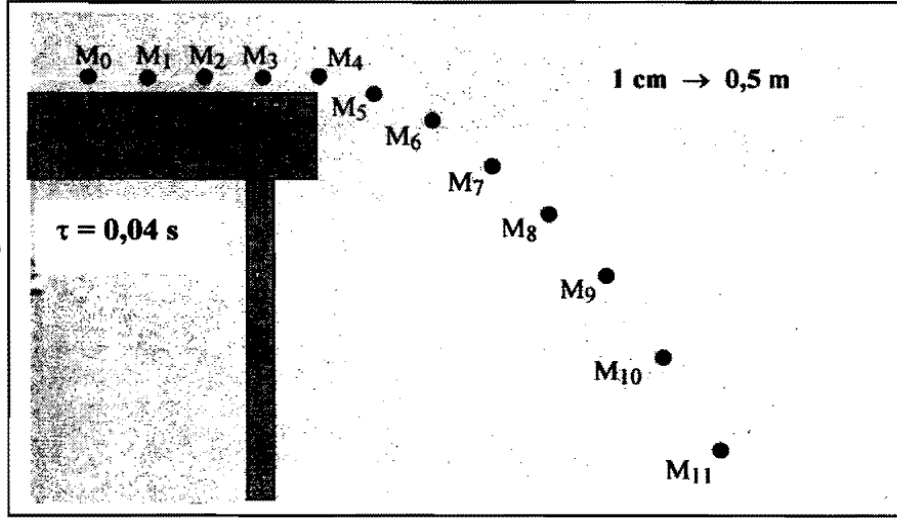
يسمح لنا هذا التمثيل تتبع تغيرات شعاع تغير السرعة خلال الحركة ، حاملا ، جهة و قيمة .



و بما أن خصائص  $\Delta \vec{V}_2$  تخبرنا عن خصائص القوة المطبقة على الجسم المتحرك ، فإن هذا التمثيل يسمح لنا باستنتاج خصائص هذه القوة خلال الحركة .

## 1-2 دراسة حركة كرة مقذوفة أفقيا : Mouvement D'un projectile

نقع كرة صغيرة على سطح طاولة أفقية ملساء ، فنتجه نحو الحافة لتنتقل في الهواء حتى تسقط على سطح الأرض وفق مسار منحنى . يمثل الشكل الآتي تسجيلا للأوضاع المتتالية لمركز الكرة خلال حركتها .  
نقل على ورق شفاف هذا التسجيل .



حركة الكرة على الطاولة :

ما هو نوع حركة الكرة على الطاولة ؟

بواسطة المسطرة نقيس المسافات بين كل موضعين متتاليين فنجد أنها متساوية .  
حركة الكرة على الطاولة مستقيمة منتظمة .

نمثل شعاع السرعة اللحظية في الموضع  $M_1$  باختيار سلم مناسب .

نقيس طول المسافة  $M_0M_2$  فنجد :  $M_2M_4 = 1,5 \text{ cm}$  على الوثيقة و باختيار سلم المسافات :  
 $1 \text{ cm} \rightarrow 0,5 \text{ m}$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \rightarrow 0,5 \text{ m} \\ 1,5 \text{ cm} \rightarrow X \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow X = (0,5 \times 1,5)/1 = 0,75 \text{ m} .$$

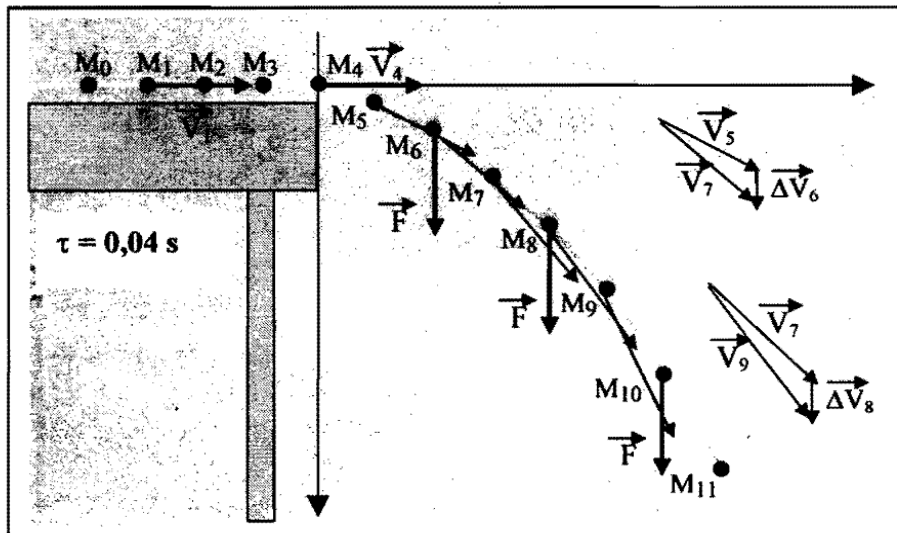
نحسب السرعة  $V_1$  في الموضع  $M_1$

$$\text{حساب } V_1 : V_1 = M_0M_2 / 2\tau = 0,75 / 0,08 = 9,37 \text{ m/s}$$

تمثيل شعاع السرعة اللحظية في الموضع  $M_1$  باختيار السلم التالي :  $1 \text{ cm} \rightarrow 7 \text{ m/s}$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \rightarrow 7 \text{ m/s} \\ X \text{ cm} \rightarrow 9,37 \text{ m/s} \end{array} \right\} \Rightarrow X = (9,37 \times 1)/7 = 1,33 \text{ cm} .$$

نرسم شعاع السرعة اللحظية في الموضع  $M_1$  بطول  $1,33 \text{ cm}$  على الرسم .



2- ما هي خصائص شعاع السرعة اللحظية في الموضع  $M_4$  الذي يوافق لحظة مغادرتها الطاولة ؟ مثله على الرسم .  
خصائص شعاع السرعة اللحظية في الموضع  $M_4$  الذي يوافق لحظة مغادرتها الطاولة هي نفس خصائص شعاع السرعة اللحظية في الموضع  $M_1$  لأن في الحركة المستقيمة المنتظمة يكون لشعاع السرعة اللحظية نفس الخصائص في جميع النقاط.

$$\vec{V}_1 = \vec{V}_4$$

— حركة الكرة بعد مغادرتها الطاولة :

— الدراسة الشعاعية للحركة :

1- احسب قيم السرعة اللحظية  $V$  في المواضع  $M_5$  ،  $M_7$  ،  $M_9$  .  
نستعين بطريقة تحديد السرعة اللحظية في الحركة المنحنية المذكورة سابقا و نملأ الجدول التالي :

$$1 \text{ cm} \rightarrow 0,5 \text{ m}$$

$$1 \text{ cm} \rightarrow 7 \text{ m/s}$$

مواضع النقاط	$M_4$	$M_5$	$M_6$	$M_7$	$M_8$	$M_9$	$M_{10}$	$M_{11}$
المجال		$M_4M_6$	$M_5M_7$	$M_6M_8$	$M_7M_9$	$M_8M_{10}$	$M_9M_{11}$	
المسافة المقاسة ( cm )		1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	
المسافة الحقيقية ( m )		0,80	0,85	0,95	1,05	1,15	1,3	
السرعة $V$		$V_5$	$V_6$	$V_7$	$V_8$	$V_9$	$V_{10}$	
السرعة ( m/s )		10.	10,62	11,87	13,12	14,37	16,25	
طول الشعاع $V$ على الشكل		1,42	1,51	1,69	1,87	2,05	2,32	
تغير السرعة $\Delta V$			0,52	0,53	0,52	0,51		

2- مثل أشعتها على الرسم ، باستعمال نفس السلم السابق . ماذا تلاحظ ؟

نرسم أشعة السرعة من خلال أطوالها المحسوبة في الجدول :  
نلاحظ أن أشعة السرعة قيمتها تزداد و كذا جهتها تتغير و تنحني تدريجيا في اتجاه حركة السقوط .

3- حدد بيانات أشعة تغير السرعة  $\Delta \vec{V}$  في المواضع  $M_6$  ،  $M_8$  ،  $M_{10}$  ، و مثلها على الرسم . ماذا تلاحظ ؟ قارن خصائصها.  
نحصل على قيم أشعة تغير السرعة  $\Delta V$  بقياس طولها على الشكل .  
نلاحظ أن قيم أشعة تغير السرعة  $\Delta V$  تقريبا متساوية ، حواملها كلها شاقولية و لها نفس الجهة و كلها تتجه نحو الأرض .

4- ماذا تستنتج عن القوة المطبقة على الكرة ؟

بما أن خصائص شعاع تغير السرعة  $\Delta \vec{V}$  مطابقة لخصائص شعاع القوة  $\vec{F}$  فإن :  
— لشعاع القوة  $\vec{F}$  و شعاع تغير السرعة  $\Delta \vec{V}$  نفس الحامل و هو شاقولي  
— لشعاع القوة  $\vec{F}$  و شعاع تغير السرعة  $\Delta \vec{V}$  نفس الجهة و هي نحو مركز الأرض  
— قيمة  $\Delta V$  ثابتة  $\Leftarrow$  قيمة  $F$  ثابتة

5- مثلها بلون آخر على نفس الرسم في المواضع  $M_6$  ،  $M_8$  ،  $M_{10}$

نمثل على الشكل السابق أشعة القوة المطبقة بسهم حامله شاقولي موجه نحو مركز الأرض و بأطوال متساوية .

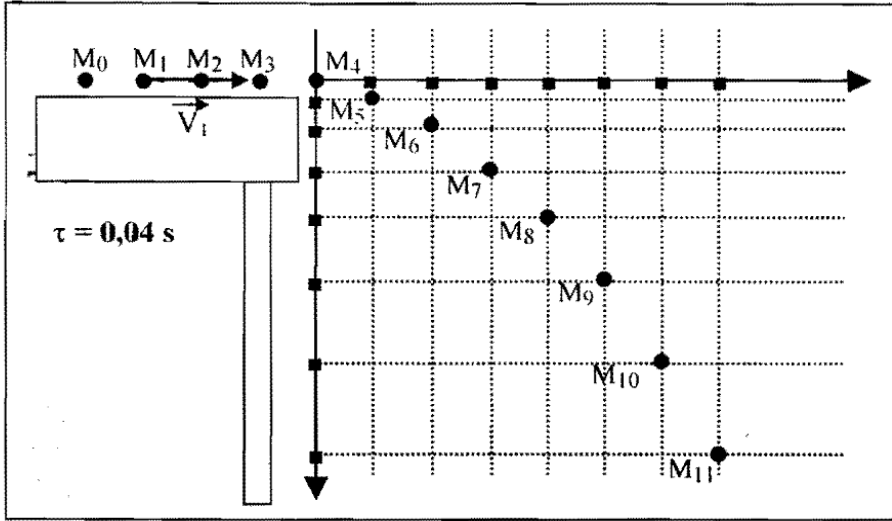
6- ما هو مصدر هذه القوة ؟ اشرح.

نعلم من حياتنا اليومية أن سقوط كرة في أي موضع من سطح الأرض بدون سرعة ابتدائية يكون شاقوليا ، و نعلم أن شاقول المكان يمر من مركز الأرض ، إذن القوة المطبقة على الكرة متجهة دوما نحو مركز الأرض و نسمي هذه القوة قوة جذب الأرض للكرية ، أو قوة تأثير الأرض على كرية و نرمز لها بالرمز  $F_{T/C}$  .  
— شعاع القوة هو نفسه قيمة و جهة في كل المواضع لأن مصدرها هو نفسه و هو الأرض .  
في مثالنا ، المسار منحني و ليس شاقولي لأنه توجد سرعة ابتدائية أفقية. فتكون قوة جذب الأرض هي التي سببت في تغيير منحى شعاع السرعة .



## الدراسة البيانية للحركة :

الرسم بمعلم (O . X . Y) متعامد و متجانس و لتسهيل الدراسة اختر مبداء منطبقا مع أول موضع للكرة عند مغادرتها الطاولة . أسقط كل المواضع على المحورين OX و OY .



## الحركة وفق المحور OX

القرن المسافات المتتالية المقطوعة

وفق المحور OX ، ماذا تلاحظ ؟ ماذا تستنتج

بالنسبة لقيمة السرعة وفق هذا المحور ؟

لاحظ على الشكل أن المسافات المتتالية

المقطوعة وفق المحور OX كلها متساوية بعد

العلماء بالمسطرة و علما أنها قطعت خلال

مجالات زمنية متساوية فرضا فيمكننا أن نقول

السرعة ثابتة و منه نستنتج أن وفق المحور

OX تكون الحركة مستقيمة منتظمة .

## القرن قيمة السرعة وفق المحور OX

قيمة سرعة الكرة فوق الطاولة .

ماذا تستنتج ؟

لاحظ على الشكل أن المسافات المتتالية المقطوعة وفق المحور OX كلها متساوية و مساوية للمسافات المتتالية المقطوعة على الطاولة و علما أنها قطعت خلال مجالات زمنية متساوية كلها و منه يمكن القول أن قيمة السرعة وفق المحور OX تساوي قيمة سرعة الكرة فوق الطاولة و منه نستنتج أن الكرة تواصل حركتها وفق المحور OX بحركة مستقيمة منتظمة .

ما هو أثر القوة المطبقة على الكرة على حركتها وفق المحور OX ؟ علل .

أن الحركة مستقيمة منتظمة وفق المحور OX فإن ، حسب مبدأ العطالة ، الكرة غير خاضع لأي قوة .

وفق المحور OX تأثير القوة المطبقة على الكرة يكون معدوما .

## الحركة وفق المحور OY

القرن المسافات المتتالية المقطوعة وفق المحور OY ، ماذا تلاحظ ؟ ماذا تستنتج بالنسبة لقيمة السرعة وفق هذا المحور ؟

لاحظ على الشكل أن المسافات المتتالية المقطوعة وفق المحور OY متزايدة بانتظام بعد قياسها بالمسطرة و علما أنها قطعت

مجالات زمنية متساوية فرضا فيمكننا أن نقول أن السرعة متزايدة بانتظام و منه نستنتج أن وفق المحور OY تكون الحركة

حركة متسارعة بانتظام .

حدد قيمة تغير السرعة وفق هذا المحور . ماذا تلاحظ ؟

حدد قيمة تغير السرعة وفق المحور OY نحسب أولا قيم المسافات على هذا المحور التي تسمح بحساب قيم السرعة اللحظية ثم

نحسب قيم تغير السرعة وفق المحور OY .

بطريقة تحديد السرعة اللحظية في الحركات المستقيمة المذكورة سابقا و نملا الجدول التالي :

$$1 \text{ cm} \rightarrow 7 \text{ m/s} , \quad 1 \text{ cm} \rightarrow 0,5 \text{ m}$$

مواضع النقاط	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>	M <sub>10</sub>	M <sub>11</sub>
المجال		M <sub>4</sub> M <sub>5</sub>	M <sub>5</sub> M <sub>6</sub>	M <sub>6</sub> M <sub>7</sub>	M <sub>7</sub> M <sub>8</sub>	M <sub>8</sub> M <sub>9</sub>	M <sub>9</sub> M <sub>10</sub>	M <sub>10</sub> M <sub>11</sub>
المسافة المقاسة ( cm ) x		0,64	0,94	1,22	1,5	1,78	2,06	
المسافة الحقيقية ( m ) d		0,32	0,47	0,61	0,75	0,89	1,03	
السرعة V		V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>9</sub>	V <sub>10</sub>	
السرعة V ( m/s )		4,06	5,93	7,63	9,43	11,2	12,93	
تغير السرعة ΔV			0,51	0,50	0,51	0,50		

القرن هذه القيمة مع طويلة شعاع تغير السرعة المحددة سابقا في الدراسة الشعاعية .

لاحظ أن قيمة تغير شعاع السرعة وفق المحور OY تساوي تقريبا قيمة طويلة شعاع تغير السرعة المحددة سابقا



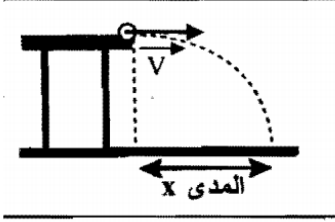
في الدراسة الشعاعية و يعود سبب وجود الفرق الطفيف بينهما إلى أخطاء ناجمة عن طريقة القياس و أجهزة القياس إلخ.....

نتيجة

- دراسة حركة كرة مقذوفة أفقيا تتم على محورين OX و OY :
- وفق المحور OX : الحركة مستقيمة منتظمة و تأثير القوة المطبقة على الكرة يكون معدوما.
- وفق المحور OY : الحركة مستقيمة متسارعة بانتظام و يخضع الجسم لقوة ثابتة وهي قوة جذب الأرض للأجسام.

## 2-2 علاقة المدى بالشروط الابتدائية : La portée

نسمي "مدى القذف" البعد الأفقي الذي يفصل موضع القذف عن موضع سقوط الكرة على الأرض .

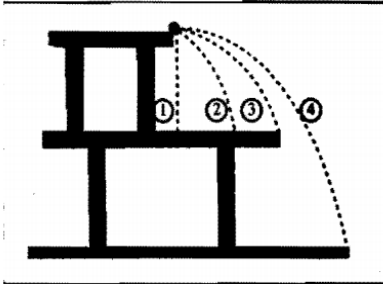


- حقق عمليا التجربة المدروسة سابقا في الشكل المقابل بدفع كرة بالأصبع على طاولة أفقية .
- راقب حركة الكرة منذ مغادرتها الطاولة. أعد العملية ثلاث مرات مغيرا كيفية الدفع لتنتقل الكرة على الطاولة بسرعة مختلفة القيمة في كل مرة .

(أ) مقارنة الحركات

1- مثل كيفيا على نفس الرسم شكل مسار الكرة في حالات تغير السرعة الابتدائية

مع تعليم المواضع المتتالية لمركز الكرة بنقاط على هذه المسارات باعتبار فترة زمنية كيفية  $\tau$  متساوية . ماذا تلاحظ ؟



نضع فوق الطاولة الأولى طاولة أخرى صغيرة لنقذف منها الكرة . نمثل المسارات المختلفة للكرة حسب قيمة سرعة قذفها ، حيث نلاحظ :

- الحالة ① : السرعة الابتدائية للكرة معدومة  $V_{01} = 0$  ، تكون في حالة سقوط حر .
- الحالات ② ③ ④ : يكون للكرة سرع ابتدائية أفقية متفاوتة القيمة  $V_{04} > V_{03} > V_{02}$  .
- نلاحظ أن مدى القذف في هذه الحالة يتزايد إلى أن تسقط الكرة خارج حدود الطاولة وهي في كل الحالات خاضعة لقوة جذب الأرض لها فهي تتجه دوما نحو الأرض.

3- بماذا يتعلق المدى في هذه التجربة ؟

يتعلق المدى في هذه التجربة فقط بالسرعة الابتدائية حيث عند انعدام السرعة الابتدائية ينعدم المدى فنحصل على حركة سقوط حر .

في رأيك هل الكرة خاضعة لنفس القوة في الحالات الأربع.

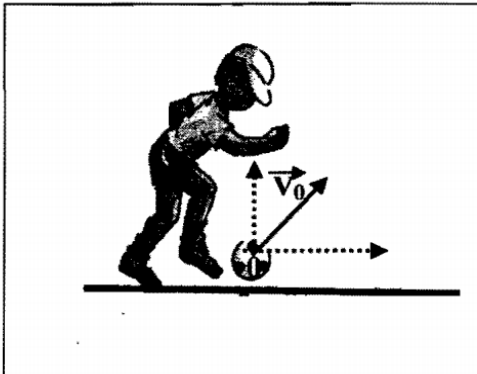
- نعم الكرة خاضعة لنفس القوة في الحالات الأربع : حيث في الحالة الأولى ① عند انعدام السرعة الابتدائية تكون الحركة هي حركة سقوط حر التي درسناها سابقا حيث يكون المسار شاقولي و القوة المطبقة وجدناها هي قوة جذب الأرض أما الحالات ② ③ ④ : للكرة سرع ابتدائية أفقية متفاوتة القيمة  $V_{04} > V_{03} > V_{02}$  حركتها كذلك درسناها سابقا (دراسة حركة كرة مقذوفة أفقيا) و وجدنا أن القوة المطبقة هي قوة جذب الأرض.

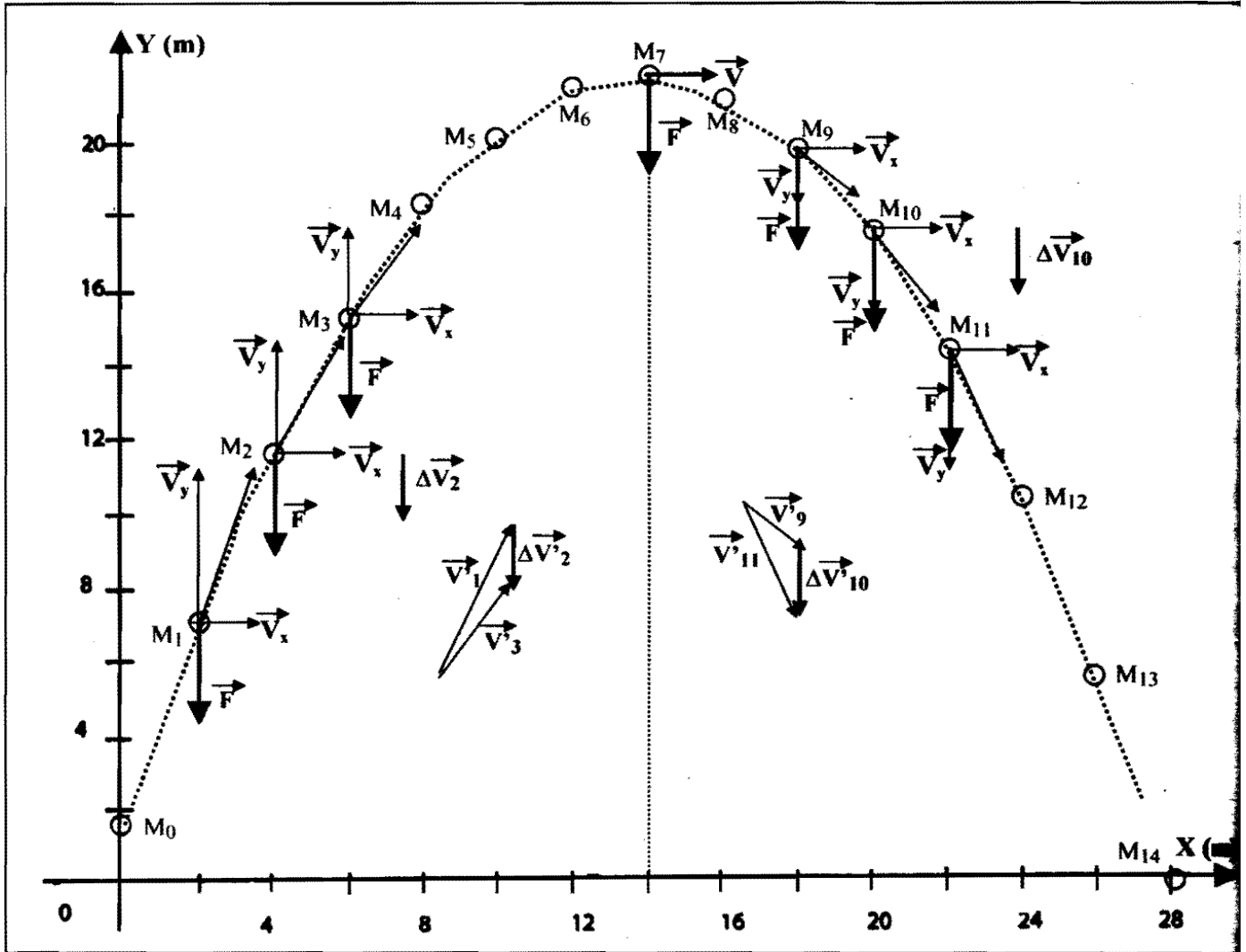
نتيجة :

- كل جسم يقذف بسرعة ابتدائية أفقية من ارتفاع  $h$  عن سطح الأرض يسقط متبعا مسارا منحنيا، تحت تأثير قوة ثابتة شاقولية الحامل و موجهة نحو سطح الأرض ، و هي قوة جذب الأرض للكرة.
- يتعلق مدى القذف  $x$  في هذه الظروف بقيمة السرعة الابتدائية للكرة.

## 2-2 دراسة حركة كرة مقذوفة كيفيا

- نريد دراسة حركة كرة يقذفها لاعب برجله ، حيث تنطلق بسرعة ابتدائية  $\vec{V}_0$  ،
- نعطي في الشكل المقابل التسجيل الممثل لمواضع الكرة خلال فترات زمنية متساوية  $\tau = 0,2 \text{ s}$  .





وصف الحركة

كيف يتغير شعاع السرعة اللحظية من موضع لآخر؟ مثله في ثلاثة مواضع متتالية من مرحلة الصعود، ثم في ثلاثة مواضع متتالية من مرحلة النزول.

لحساب قيم السرعة اللحظية  $\vec{V}$  في المواضع  $M_1, M_2, M_3, M_9, M_{10}, M_{11}$ .  
تعيين بطريقة تحديد السرعة اللحظية في الحركة المنحنية المذكورة سابقا و نملاً الجدول التالي:  $\tau = 0,2 \text{ s}$

1 cm  $\rightarrow$  0,5 m

1 cm  $\rightarrow$  3 m/s

مواضع النقاط	$M_0$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_9$	$M_{10}$	$M_{11}$	$M_{12}$
المجال		$M_0M_2$	$M_1M_3$	$M_2M_4$	$M_8M_{10}$	$M_9M_{11}$	$M_{10}M_{12}$	
المسافة المقاسة (cm) x		5,7	4,7	4,1	2,7	3,6	4,3	
المسافة الحقيقية (m) d		2,85	2,35	2,05	1,35	1,8	2,15	
السرعة V		$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_9$	$V_{10}$	$V_{11}$	
السرعة (m/s) v		7,12	5,87	5,12	3,37	4,5	5,37	
طول الشعاع $\vec{V}$ على الشكل		2,37	1,95	1,70	1,12	1,5	1,79	
تغير السرعة $\Delta V$			2,71	2,7	2,69	2,7		

2- مثل أشعتها على الرسم ، باختيار لسلم مناسب . ماذا تلاحظ ؟

نرسم أشعة السرعة من خلال أطوالها المحسوبة في الجدول :  
نلاحظ أن أشعة السرعة قيمتها تتناقص في مرحلة الصعود و كذا جهتها تتغير أما في مرحلة النزول فقيمتها تزداد و حواملها تتحني تدريجيا في اتجاه حركة السقوط .

3- ما نوع الحركة في مرحلة الصعود و ما نوعها في مرحلة النزول ؟ علل .

مرحلة الصعود : حركة منحنية متباطئة لأن السرعة قيمتها تتناقص .  
مرحلة النزول : حركة منحنية متسارعة لأن السرعة قيمتها تزداد .

4- ارسم مسار الكرة و استنتج أعلى موضع تبلغه . هل هذا الموضع ممثل في الوثيقة ؟ ناقش .  
مسار الكرة ممثل على الشكل السابق و أعلى موضع تبلغه هو  $M_7$  ممثل في الوثيقة عند هذه النقطة تصبح الكرة و كأنها مقذوفة بسرعة اتدائية أفقية يمكن أن نسميها ذروة المسار و توافق أعلى ارتفاع تبلغه الكرة .

5- حدد خصائص شعاع تغير السرعة في المرحلتين . ماذا تستنتج ؟

نحصل على قيم أشعة تغير السرعة  $\Delta \vec{v}$  بقياس طولها على الشكل . و نلاحظ في المرحلتين أن قيم أشعة تغير السرعة  $\Delta v$  تقريبا متساوية ، حواملها كلها شاقولية و لها نفس الجهة و كلها تتجه نحو الأرض .

ب - تحديد القوة المطلقة على الكرة

1- ما هي القوة المطبقة على الكرة خلال حركتها ؟ مثلها كيفيا في كل المواضع التي مثل فيها شعاع السرعة . علل .  
القوة المطبقة على الكرة متجهة دوما نحو مركز الأرض .  
نسمي هذه القوة قوة جذب الأرض للكرة ، أو قوة تأثير الأرض على الكرة ونرمز لها بالرمز  $\vec{F}_T/C$  .  
- شعاع القوة هو نفسه قيمة و جهة في كل المواضع لأن مصدرها هو نفسه و هو الأرض .

2- قارن حامل القوة مع حامل شعاع السرعة في كل هذه المواضع . ماذا تستنتج ؟

حامل شعاع القوة مختلف عن حامل شعاع السرعة في كل هذه المواضع . تستنتج أن للقوة تأثير على منحى مسار الحركة .

3- قارن جهتها مع جهة شعاع السرعة في كل هذه المواضع . ماذا تستنتج ؟

جهة القوة مختلف عن جهة شعاع السرعة في كل هذه المواضع . تستنتج أن للقوة تأثير على جهة الحركة .

4- ما هي الزاوية التي يصنعها حامل شعاع القوة و حامل شعاع السرعة في المواضع المدروسة (منفرجة - حادة - قائمة) ؟  
مرحلة الصعود : حامل القوة يصنع مع حامل شعاع السرعة في كل هذه المواضع زاوية منفرجة .  
عند الذروة : حامل القوة يصنع مع حامل شعاع السرعة زاوية قائمة .  
مرحلة النزول : حامل القوة يصنع مع حامل شعاع السرعة في كل هذه المواضع زاوية حادة .

5- كيف تتغير هذه الزاوية خلال الحركة ؟

تتغير هذه الزاوية خلال الحركة ابتداء من منفرجة ثم قائمة ثم تصبح حادة .

ج - دراسة أثر شعاع القوة على شعاع السرعة

1- حل في المواضع السابقة ، باستعمال الألوان ، شعاع السرعة  $\vec{v}$  إلى مركبتين : الأفقية  $\vec{v}_x$  و الشاقولية  $\vec{v}_y$  ، بحيث تكون دائما :  $\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y$

2- قارن حامل شعاع القوة المطبقة على الكرة مع حاملتي المركبتين  $\vec{v}_x$  و  $\vec{v}_y$  في كل لحظة .

مرحلة الصعود أو النزول : - حامل شعاع القوة المطبقة على الكرة عمودي على حامل المركبة  $\vec{v}_x$  في كل لحظة .  
- حامل شعاع القوة المطبقة على الكرة منطبق على حامل المركبة  $\vec{v}_y$  في كل لحظة .

3- كيف تتغير قيمة المركبتين  $\vec{v}_x$  و  $\vec{v}_y$  في مرحلتين الصعود والنزول ؟

مرحلة الصعود : - المركبة  $v_x$  دائما ثابتة و في كل لحظة و  $v_y$  متناقصة .

مرحلة النزول : - المركبة  $v_x$  دائما ثابتة و  $v_y$  متزايدة .

هل تتغير جهة المركبتين في مرحلة الصعود ؟ و في مرحلة النزول ؟  
 رحلة الصعود : — جهة المركبة  $\vec{V}_x$  لا تتغير و في كل لحظة و جهة المركبة  $\vec{V}_y$  كذلك لا تتغير و هي نحو الأعلى .  
 رحلة النزول : — جهة المركبة  $\vec{V}_x$  لا تتغير و في كل لحظة و جهة المركبة  $\vec{V}_y$  كذلك لا تتغير و هي نحو الأسفل .

ماذا تستنتج عن أثر القوة على المركبة  $\vec{V}_y$  خلال الصعود ؟  
 القوة على المركبة  $\vec{V}_y$  خلال الصعود : تغير قيمة السرعة دون تغير المنحى .

ماذا تستنتج عن أثر القوة على المركبة  $\vec{V}_y$  خلال النزول ؟  
 القوة على المركبة  $\vec{V}_y$  خلال النزول : تغير قيمة السرعة دون تغير المنحى .

ماذا تستنتج عن أثر القوة على المركبة  $\vec{V}_x$  خلال المرحلتين ؟  
 القوة على المركبة  $\vec{V}_x$  خلال المرحلتين : ليس لها أثر ، لا على قيمتها و لا على منحائها .

ماذا يحدث للمركبة  $\vec{V}_y$  إثر مرور الكرة من أعلى موضع تشغله ؟ هل تتغير جهتها ؟  
 مرور الكرة من أعلى موضع تشغله تتعدم المركبة  $\vec{V}_y$  و بعدها تغير جهتها .

استنتج شعاع السرعة في أعلى موضع تبلغه الكرة و مثله .  
 شعاع السرعة في أعلى موضع تبلغه الكرة حامله منطبق على المحور OX أي أفقي و تمثيله ( انظر الشكل) .  
 شعاع السرعة في أعلى موضع تبلغه الكرة منطبق على المركبة  $\vec{V}_x$  لأن  $\vec{V}_y$  تكون معدومة .

ماذا تستنتج عن أثر شعاع القوة على شعاع السرعة عندما يكون حاملهما متعامدين دوما ؟ (في كل لحظة)  
 ما طبيعة الحركة في هذه الحالة و ما نوعها ؟  
 وجد أثر لشعاع القوة على قيمة شعاع السرعة و تغير جهتها فقط عندما يكون حاملهما متعامدين دوما ؟ (في كل لحظة) و في الحالة طبيعة الحركة تكون منتظمة و بما أن المسار منحنى ( لأن الجهة تتغير ) فنقول عن الحركة أنها دائرية منتظمة .

ماذا تستنتج عن أثر القوة المطبقة على تغيرات السرعة اللحظية حسب الزاوية  $\alpha$  بين شعاعيهما ؟  
 القوة المطبقة على تغيرات السرعة اللحظية حسب الزاوية  $\alpha$  بين شعاعيهما هو :  
 ما  $\alpha = 0$  أو  $\alpha = \pi$  : تغير قيمة السرعة دون تغير المنحى .  
 دائما  $\alpha = \pi/2$  : تغير في المنحى دون التغير في القيمة .  
 نتج أن لزاوية القذف تأثير على الحركة :

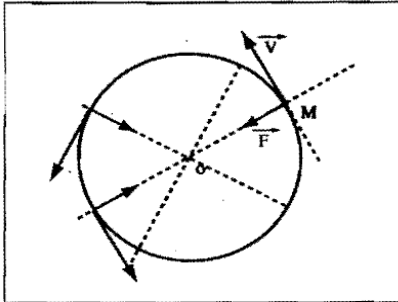
$\alpha$  منفرجة : تغير منحى شعاع السرعة مع تناقص طويلته .  
 $\alpha$  حادة : تغير منحى شعاع السرعة مع تزايد طويلته .

هذه الدراسة حالة الحركة الدائرية المنتظمة أين الزاوية بين شعاعي القوة و السرعة تساوي دائما  $\alpha = \pi/2$  .

## الحركة الدائرية المنتظمة : Mouvement Circulaire Uniforme

### تعريف الحركة الدائرية المنتظمة

ل عن حركة جسم أنها دائرية منتظمة إذا كان مسارها دائريا و سرعة المتحرك ثابتة القيمة ومتغيرة المنحى خلال الحركة ،  
 أن شعاع السرعة  $\vec{V}$  ، في الحركة الدائرية المنتظمة ، يحافظ على قيمته و يتغير منحاه و جهته في كل لحظة .

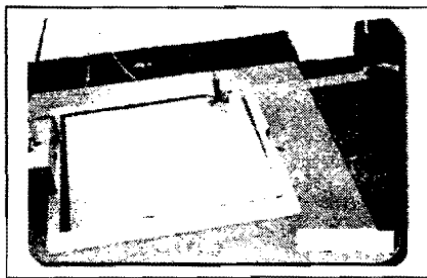


مواصفات شعاع السرعة و شعاع القوة في الحركة الدائرية المنتظمة  
 شعاع القوة  $\vec{F}$  يكون في كل لحظة عموديا على شعاع السرعة  $\vec{V}$  و موجها نحو مركز الدائرة . أي أن شعاع القوة يكون عموديا على المماس للمسار في كل لحظة ، أي أنه منطبق في كل لحظة على نصف قطر الدائرة و متجها نحو مركزها (لأن نصف قطر دائرة عمودي على المماس) .



## نشاط تجريبي

للتأكد تجريبيا من خصائص القوة في الحركة الدائرية المنتظمة ، نقوم بتسجيل الحركة التالية :



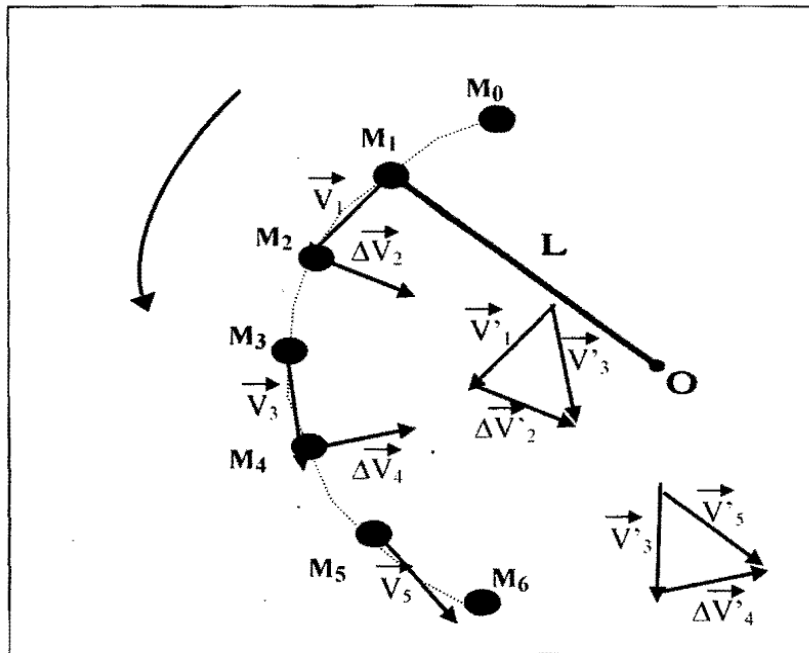
— نستعمل "جسما محولا ذاتيا" وهو قرص تحتوي قاعدته السفلية ثقباً صغيرة ويبيت فيه هواء مضغوط من الأعلى بحيث خروج الهواء المضغوط من الأسفل يكون "وسادة هوائية" بينه وبين الطاولة الأفقية التي تحمله . ذلك ما يسمح له بالتحرك دون احتكاك عليها .

— نشد القرص بخيط رفيع عديم الامتصاص طوله  $L$  إلى نقطة  $O$  على حافة الطاولة ثم نفذفه بمسطرة . يرفق القرص و الطاولة بتجهيز يترك آثار مواضع القرص على ورقة خلال فترات زمنية متساوية و محددة.

— نعطي في الشكل الآتي تسجيلاً لآثار مركز القرص  $M$  خلال حركته .

— تحليل تجربة

— اعتماداً على هذا التسجيل برهن أن الحركة دائرية منتظمة .



1— ارسم أشعة السرعة في المواضع  $M_5$  ،  $M_3$  ،  $M_1$  (باختيار سلم كيفي ملائم).

— لحساب قيم السرعة اللحظية  $V$  في المواضع  $M_5$  ،  $M_3$  ،  $M_1$  .

نستعين بطريقة تحديد السرعة اللحظية في الحركة المنحنية المذكورة سابقاً و نملاً الجدول التالي :  $\tau = 0,2 \text{ s}$

$$1 \text{ cm} \rightarrow 2 \text{ m/s} , \quad 1 \text{ cm} \rightarrow 0,5 \text{ m}$$

مواضع النقاط	$M_0$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$
المجال		$M_0M_2$	$M_1M_3$	$M_2M_4$	$M_3M_5$	$M_4M_6$	
المسافة المقاسة ( cm )		2,5	2,5	2,4	2,6	2,5	
المسافة الحقيقية ( m )		1,25	1,25	1,20	1,3	1,25	
السرعة $V$		$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	
السرعة ( m/s )		3,12	3,12	3	3,25	3,12	
طول الشعاع $V$ على الشكل		1,56	1,56	1,5	1,62	1,56	
تغير السرعة $\Delta V$			2,6	2,6	2,6	2,6	

2- مثل أشعتها على الشكل ، باختيار سلم مناسب . ماذا تلاحظ ؟

رسم أشعة السرعة من خلال أطوالها المحسوبة في الجدول : نلاحظ أن أشعة السرعة ثابتة القيمة و متغيرة المنحى .

3- حدد خصائص شعاع تغير السرعة  $\Delta V$  في موضعين ملائمين . برهن أن القوة المطبقة على القرص من طرف الخيط ثابتة الشدة محمولة على نصف القطر و موجهة نحو مركز الدائرة .

تلاحظ في الشكل أن شعاع تغير السرعة  $\Delta V$  يكون في كل لحظة عموديا على شعاع السرعة  $V$  و موجهة نحو مركز الدائرة أي أن شعاع القوة يكون عموديا على شعاع السرعة  $V$  و موجهة نحو مركز الدائرة في كل نقطة و في كل لحظة ، أي أنه منطبق في كل لحظة على نصف قطر الدائرة و متجهها نحو مركزها .

4- كيف تكون حركة هذا القرص المقذوف في حالة غياب الخيط ؟ علل .

ما هي حركة القرص إذا انقطع الخيط فجأة ؟ علل

في حالة غياب الخيط أو انقطاعه فجأة فإن القرص يصبح غير خاضع لأي قوة ، أي معزول ، فحسب مبدأ العطالة ، القرص يصل حركته بحركة مستقيمة منتظمة بنفس السرعة التي كان يملكها لحظة انقطاع الخيط .

#### 4- تطبيقات الحركة الدائرية :

لماذا لا يسقط القمر على الأرض ؟

ل من فسر دوران القمر حول الأرض العالم إسحاق نيوتن (Isaac Newton) ،  
حي بنى نظرية الجذب العام من ملاحظاته الحركة الكواكب واعتمادا على أعمال أسلافه  
غاليليو و كيبلر Kepler . إذا يحكى أن الفكرة التي سمحت له بربط حركة  
جسام على الأرض بحركة الكواكب هو سقوط تفاحة من شجرة كان جالسا بجوارها .  
بحث عن تفاصيل أسطورة تفاحة نيوتن في الانترنت) . يقال أن نيوتن تساءل عن سبب  
سقوط التفاحة على الأرض وعدم سقوط القمر عليها . فوصل إلى نتيجة أن التفاحة تسقط  
لارتفاع معين بدون سرعة ابتدائية ، فتكون حركتها مستقيمة متسارعة نحو الأرض ،  
ت تأثير قوة جذب الأرض لها ، أما القمر فهو أيضا يخضع لقوة جذب الأرض و لكنه  
تترك بسرعة معينة فهو في حالة سقوط دائم نحو الأرض مثل التفاحة ، لكن سرعته  
عمودية على منحى شعاع القوة تكسبه حركة دائرية منتظمة .

— من القذيفة إلى القمر الاصطناعي : Satellite

ف يمكن أن نجعل من كرتنا قمرا اصطناعيا يدور حول الأرض ؟

لجل ذلك نتخيل كما فعله نيوتن في عهده ، أننا نقذف من أعلى جبل

الكرية بسرعه أفقية متفاوتة القيمة ، مثلما حققناه في التجربة السابقة .

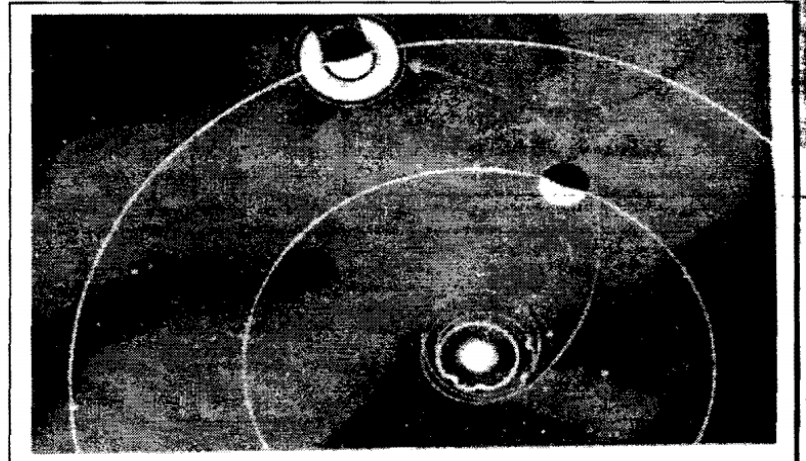
كانت سرعة القذف كافية بحيث تكون لها حركة دائرية نصف قطرها أكبر من

نصف قطر الأرض لتصبح قمرا اصطناعيا يدور حولها .

حركة القمر حول الأرض :

يسقط القمر على الأرض لأن له سرعة كافية للمحافظة على مداره . يقال عن

أنه في سقوط دائم على الأرض دون لمسها .



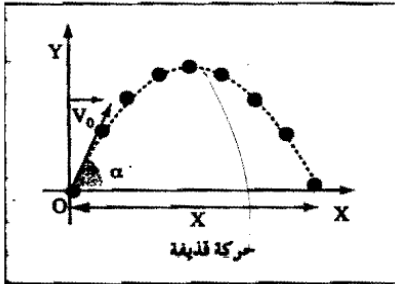
## الخلاصة

### 1- الحركة المنحنية

- إذا تحرك جسم وفق مسار منحني فإنه :
- يكون حتما خاضعا لقوة (حسب مبدأ العطالة).
- يكون شعاع السرعة خلال الحركة مماسي للمسار في الموضع المعتبر.
- يكون لشعاع تغير السرعة  $\Delta \vec{V}$  و شعاع القوة  $\vec{F}$  دوما نفس الحامل و نفس الجهة و يتجهان نحو تقعر المسار .

### 2- حركة القذيفة

- إذا قذف جسم بسرعة ابتدائية  $\vec{V}$  تصنع زاوية  $\alpha$  مع الأفق فإن :
- لشعاع تغير السرعة  $\Delta \vec{V}$  قيمة ثابتة خلال الحركة و يتجه نحو مركز الأرض .
- الجسم يخضع لقوة تأثير الأرض عليه و هي قوة ثابتة القيمة ، الجهة و المنحى .
- سرعة الجسم وفق المحور الأفقي OX ثابتة أي حركة منتظمة .
- سرعة الجسم وفق المحور الشاقولي OY متغيرة بانتظام .
- "مدى القذف" يتعلق بالشروط الابتدائية .



### 3- في الحركة الدائرية المنتظمة

- يكون مسار الحركة دائريا و شعاع سرعة المتحرك ثابت القيمة و متغير المنحى .
- يخضع الجسم لقوة  $\vec{F}$  ثابتة القيمة تتجه نحو مركز الدائرة ، نقول عن القوة في هذه الحالة أنها مركزية .
- في الحركة الدائرية المنتظمة تغير القوة  $\vec{F}$  منحى شعاع السرعة  $\vec{V}$  دون تغيير قيمته .
- يكون شعاع تغير السرعة  $\Delta \vec{V}$  منطبقا دوما مع شعاع القوة  $\vec{F}$  ، يتجه نحو مركز الدائرة و له قيمة ثابتة .

