الفصل الثاني/ الحركة THE MOTIN

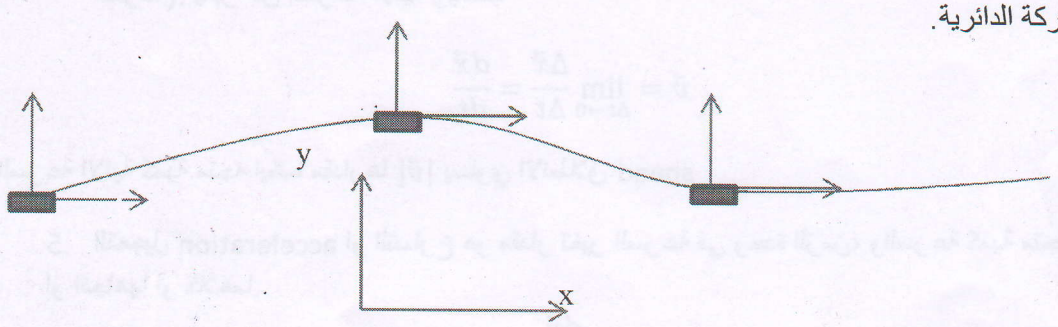
1.2 المقدمة Introduction

ان دراسة حركة الاجسام المادية تقسم بصورة عامة الى قسمين : الاول وصف مجرد للحركة يدعى Kinematics والثاني يصف الحركة من القوى المسببة لها ويدعى Dynamics وفي هذا الفصل سنقتصر على الحركة المجردة.

قبل الدخول في ميكانيكية الحركة لابد من التعريف بالآتي

1. **الحركة Motion** تغير موقع الجسم من مكان للآخر وتُقسم الحركة إلى اربعة أنواع بشكل عام:

- حركة انتقالية Translation motion اذا ثبتنا محاور جسم بالنسبة الى محاور اخرى مثبتة في الفضاء عندئذ يقال بان الحركة هي حركة انتقالية وليس ضروريا ان تكون على خط مستقيم. تشمل الحركة الانتقالية الحركة الخطية والحركة الدائرية.



- حركة دورانية Rotational motion وهي دوران الجسم حول محور ثابت يسمى محور الدوران. مثلًا دوران الأرض حول نفسها.
- حركة اهتزازية Oscillatory motion هي حركة ذهاب واياب حول نقطة معينة تسمى موضع الاستقرار كحركة البندول البسيط.
- الحركة الموجية Wave motion هي اضطراب ناتج عن مصدر طاقة كالموجات الناتجة عن طرق شوكة رنانة. وهي على نوعين: موجات ميكانيكية (وهي موجات تحتاج الى وسط مادي لانتقالها) وموجات كهرومغناطيسية (وهي موجات تنتقل في الفراغ بسرعة الضوء اما سرعة انتقالها في الاوساط المادية فيعتمد على خواص ذلك الوسط).
- يوجد أنواع أخرى من الحركة مثل المقذوفات والعجلات الثابتة والمتحركة (البكرة الثابتة والمتحركة) المقذوفات او القذائف تحدث هذه الحركة عندما تلقى كرة في زاوية معينة في الهواء وبسبب الجاذبية، تتعرض الكرة لتعجيل ثابت إلى الأسفل.

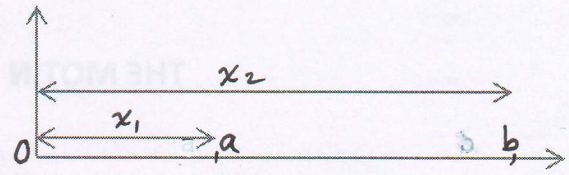
2. **السرعة velocity** تعرف السرعة بأنها الإزاحة المقطوعة خلال وحدة الزمن.

ويمكن قياس السرعة بوحدات كأن نقول **كم/ساعة**، أو **ميل/ساعة**، أو **متر/ثانية** ولان الازاحة كمية اتجاهية فان السرعة كمية اتجاهية ايضا. ويحسب **معدل السرعة** average of velocity رياضيا كلآتي:

$$\Delta\vec{x} = \vec{x}_2 - \vec{x}_1$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{x}}{\Delta t} = \frac{\vec{x}_2 - \vec{x}_1}{t_2 - t_1}$$



3. **معدل الانطلاق** average speed هو معدل المسافة المقطوعة في وحدة الزمن ولأن المسافة كمية عددية فمعدل الانطلاق كمية عددية ايضا. معدل الانطلاق يمثل المقدار العددي لمعدل السرعة. يقاس بوحدات كم/ساعة أو متر/ثانية.

4. **السرعة الانية** instantaneous velocity هي سرعة الجسم في اية نقطة من مساره (في اي وقت من اوقات الحركة). يعبر عن السرعة الانية رياضيا

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} = \frac{d\vec{x}}{dt}$$

السرعة الانية كمية متجه ايضا مقدارها $|\vec{v}|$ يساوي الانطلاق speed

5. **التعجيل** acceleration او التسارع هو مقدار تغير السرعة في وحدة الزمن، والسرعة كمية متجهة قد يتغير مقدارها او اتجاهها او كلاهما.

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

اذا زادت السرعة او نقصت بمقدار ثابت في فترات زمنية متساوية يدعى التعجيل منتظما متزايدا او متباطئا. واذا كانت السرعة ثابتة المقدار والاتجاه دائما فتعجيل الحركة يساوي صفر وتدعى بالحركة المنتظمة.

2.2 قوانين نيوتن في الحركة الخطية

قانون نيوتن الاول Newton's first low

صاغ نيوتن استنتاجات جاليليو صياغة موجزة عرفت باسم قانون نيوتن الأول. هذا القانون يصف لنا الذي يحدث لجسم ما عند عدم تأثير قوة عليه ، أو عندما تكون محصلة القوى المؤثرة عليه تساوي صفر. نص قانون نيوتن الأول.:"كل جسم يحتفظ بحالته من السكون أو الحركة ما لم تؤثر فيه قوة خارجية."

$$\sum_{i=0}^{n} \vec{F_i} = 0$$

أي أن الجسم الساكن يبقى ساكنا ما لم تؤثر عليه قوة خارجية فتحركه، والجسم المتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم يبقى على هذه الحالة ما لم تؤثر عليه قوة خارجية فتغير الحالة الحركية له.ويسمى أيضا هذا القانون بقانون القصور الذاتي (الجسم قاصر (عاجز) عن تغيير حالته بنفسه).

قانون نيوتن الثاني Newton's second low

وهو يصف ما يحدث للجسم عندما تؤثر عليه قوة او مجموعة قوى غير متوازنة ، كما إنه يبين العلاقة بين القوة المؤثرة على الجسم والحركة التي يكتسبها الجسم. وينص على (التعجيل الذي يكتسبه جسم نتيجة قوة دفع ما يتناسب طردياً مع مقدار هذه القوة ويكون في إتجاهها، كما يتناسب عكسياً مع كتلة الجسم.

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

هذا بالنسبة لنظام ثابت الكتلة.

اما بالنسبة لنظام متغير الكتلة لنظام المتغير الكتلة مثل الصاروخ الحارق للوقود وتخرج في صورة غازات هو نظام ليس مغلق ولا يمكن جعل الكتلة دالة في الزمن فقط في القانون الثاني ، العلاقة الآتيه خاطئة

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = m\frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{v}\frac{dm}{dt} \ \ldots\ldots\ wrong$$

الشئ الخاطئ في هذه العلاقة هي أنها لا تأخذ في اعتبارها إطار غاليلي المرجعي: جسم متغير الكتلة ولا يؤثر عليه قوة (F = 0)في إطار ما إذا نظرنا إليه من إطار مرجعي آخر سنجد أن القوة لا تساوي صفر.

المعادلة الصحيحة لنظام متغير الكتلة إما عن طريق طردها أو إدخالها للنظام

$$\vec{F} + \vec{u}\frac{dm}{dt} = m\frac{d\vec{v}}{dt}$$

السرعة $\vec{u}$ هي السرعة النسبية للكتلة الداخلة أو الخارجة من النظام بالنسبة للجسم . الكمية $\vec{u}\frac{dm}{dt}$ التي تمثل كمية التحرك يمكن تعريفها كقوة تؤثر على الجسم عن طريق تغير الكتلة مثل خرج الصاروخ من الغازات التي تمثل قوة دفع للصاروخ ويتم إضافتها في كمية القوى F وبالتالي يمكن اختصارها في المعادلة F=ma

قانون نيوتن الثالث Newton's third low

ويعرف أحيانا باسم قانون الفعل ورد الفعل. هذا القانون يتحدث عن القوى المتبادلة بين الأجسام وليس عن حركة الأجسام أو سكونها. وينص على (لكل فعل رد فعل يساويه فى المقدار ويعاكسه فى الاتجاه، يؤثران على جسمين مختلفين ويقعان على نفس خط تأثير القوة): فمثلا إذا وجد جسم A يؤثر بقوة F_A على جسم آخر B فان B يؤثر بقوة F_B على الجسم A والقوتين متساويتان في المقدار ومتضادتان في الاتجاه $F_A = -F_B$ يعني القانون الثالث أن القوة المؤثرة هي قوى متبادلة على الاجسام المختلفة.

ملاحظات

1. هذا القانون يحتاج في تطبيقه إلى جسمين بخلاف القانون الأول والثاني اللذان ينطبقان على جسم واحد.
2. القوى المتبادلة (زوج القوى) تؤثر على جسمين مختلفين لا على جسم واحد، ولذ فإنهما لا تلغيان بعضهما ، أي لا يمكن أن نقول بأن محصلتهما تساوي صفر.
3. لا توجد في الكون قوة مفردة لوحدها، بل جميع القوى عبارة عن أزواج متبادلة من القوى بين الأجسام.
4. ينطبق هذا القانون على أي جزأين من نظام ما بغض النظر عن كونهما مرتبطين ماديا أم لا، مثل تجاذب الكواكب.

$$F_2 = -F_1 = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Linear motion equations معادلات الحركة الخطية

$$a = \frac{dv}{dt}$$

$$\int_{v_0}^{v} dv = \int_{t_0}^{t} a\,dt$$

$$v - v_0 = a(t - t_0) \quad , \text{when } t_0 = 0 \quad \text{شروط ابتدائية}$$

$$v = v_0 + at \qquad \text{------(1)}$$

$$v = \frac{dx}{dt}$$

$$\int_{x_0}^{x} dx = \int_{t_0}^{t} v\,dt = \int_{t_0}^{t} (v_0 + at)\,dt$$

شروط ابتدائية

$$x - x_0 = v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t^2 - t_0^2) \quad , t_0 = 0 \ , x_0 = 0$$

$$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \qquad \text{------(2)}$$

$$a = \frac{dv}{dt}\cdot\frac{dx}{dx} = \frac{dv}{dx}\cdot\frac{dx}{dt} = v\frac{dv}{dx}$$

$$a\,dx = v\,dv$$

$$\int_{v_0}^{v} v\,dv = \int_{x_0}^{x} a\,dx$$

شروط ابتدائية

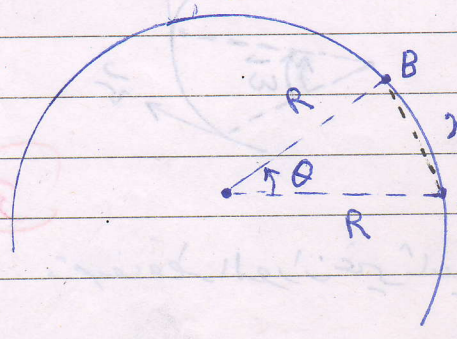
$$\frac{1}{2}(v^2 - v_0^2) = a(x - x_0) \quad , \ t_0 = x_0 = 0$$

$$v^2 = v_0^2 + 2ax \qquad \text{--------(3)}$$

3-2

Circular motion & angular velocity الحركة الدائرية والسرعة الزاوية

اذا قطع جسم مسافة x من النقطة A الى B على محيط الدائرة وكانت الزاوية بين هاتين النقطتين θ فإن



$$\sin\theta = \frac{x}{R}$$

$$x = R\sin\theta \quad (\text{for small angle } \sin\theta \approx \theta)$$

الإزاحة الخطية = الإزاحة الزاوية × نصف قطر المسار

$\therefore x = R\theta$

$\boxed{\theta = \frac{x}{R}}$

أو الإزاحة الزاوية = الإزاحة الخطية / نصف قطر المسار الدائري

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}(R\theta) = R\frac{d\theta}{dt} = R\omega$$

$\boxed{\omega = \frac{v}{R}}$

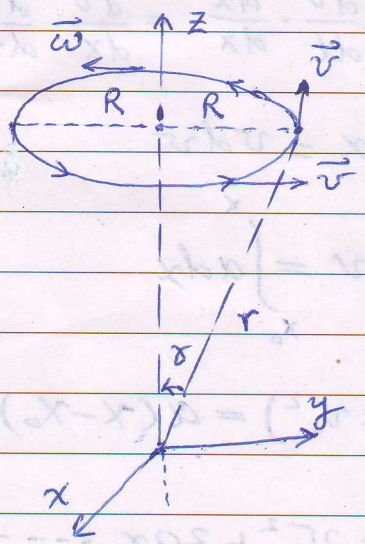
السرعة الزاوية = السرعة الخطية / نصف القطر

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(R\omega) = R\frac{d\omega}{dt} = R\alpha$$

$\boxed{\alpha = \frac{a}{R}}$

التعجيل الزاوي = التعجيل الخطي / نصف القطر

واذا مثلنا الحركة الدائرية بالشكل التالي حيث R هو نصف قطر الدائرة
r المسافة بين مركز الاحداثيات ونقطة على محيط الدائرة.



$\sin\gamma = \frac{R}{r}$

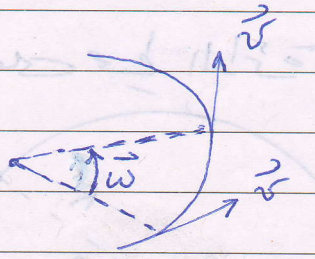
$R = r\sin\gamma$

$v = \omega R$

$= \omega r\sin\gamma$

$= |\vec{\omega} \times \vec{r}|$

$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$



يمكن تعريف الحركة الدائرية بانها حركة جسم على محيط دائرة وتكون له نوعين اما منتظمة أو غير منتظمة

تحمل المنتظمة اذا كانت نصف قطر الدوران ثابت والانطلاقة ثابت، وتكون غير منتظمة اذا كانت نصف قطر الدوران غير ثابت او الانطلاقة غير ثابتة او كلاهما.

السرعة الزاوية هي معدل تغير الزاوية مع الزمن

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

ولدورة كاملة

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

حيث T زمن الدورة

وبذلك يكون زمن الدورة الواحدة

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

وتقاس السرعة الزاوية (أو الدائرية) بوحدات (rad/sec) أو دورة/ثا Cycle/sec , cycle per second , c/s , cps

ان القوة التي تغير اتجاه الحركة باستمرار وتحافظ على دوران الجسم في مساره الدائري تدعى القوة المركزية .

$$F_N = m a_N$$

F_N = القوة المركزية ، a_N = التعجيل المركزي

اما سرعة تحرك الجسم حول محيط الدائرة (نصف قطر الدائرة R)

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

ويبلغ عدد الدورات في الثانية الواحدة

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

وفي الحركة الاهتزازية يمثل التردد f عدد الاهتزازات (الترددات) الكاملة في وحدة الزمن

$$\omega = 2\pi f \quad , \quad f = \frac{1}{T}$$

$$\boxed{f = \frac{\omega}{2\pi}}$$

تمثل العلاقة بين التردد f والتردد الزاوي (السرعة الزاوية) ω

وقياس التردد بوحدات هرتز Hz

معادلات الحركة الخطية	معادلات الحركة الدائرية
$v = v_0 + at$	$\omega = \omega_0 + \alpha t$
$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$	$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$
$v^2 = v_0^2 + 2ax$	$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$
$v = \frac{dx}{dt}$, $a = \frac{dv}{dt}$	$\omega = \frac{d\theta}{dt}$, $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$
$v_{ave} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x}{t}$	$\omega_{ave} = \frac{d\theta}{t}$

مركبات التعجيل (Components of acceleration)

$a_T = \frac{dv}{dt}$ التعجيل المماسي Tangent tangential acceleration

$a_N = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$ التعجيل المركزي Normal Central acceleration

$\alpha = \frac{a_T}{R}$ التعجيل الزاوي angular acceleration

4.2 الاجسام حرة السقوط (Freely falling bodies)

ان سقوط الاجسام بفعل جاذبية الارض يكسبها تعجيلا منتظما ثابت المقدار يسمى التعجيل الارضي وقيمته $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$

وان هذه القيمة تتغير تغيرا طفيفا من موضع الى آخر على سطح الكرة الارضية لان التعجيل الارضي يعتمد على بعد الجسم عن مركز الارض وباختلاف دورات الارض تختلف باختلافها.

يقصد بالاجسام حرة السقوط تلك التي تهمل عندها مقاومة الهواء. اي اذا سقطت اجسام مختلفة الاوزان والتركيب من ارتفاع معين تصل جميعها الى سطح الارض في وقت واحد.

أما سبب ما لاحظناه اليومية التي قال عادة كسقوط الحجارة اسرع من ريشة الطير فهو مقاومة الهواء التي تعيق حركة الحجارة.

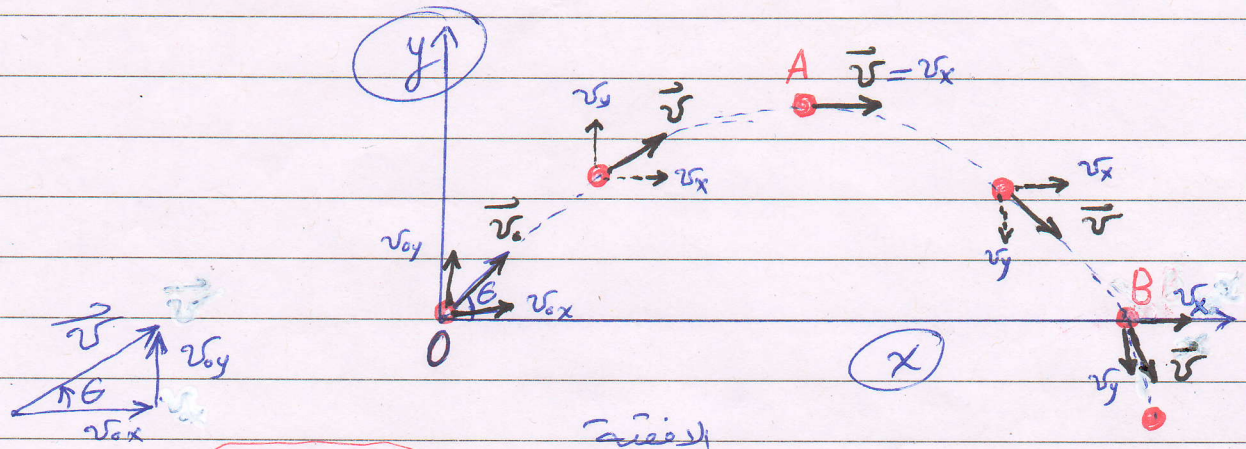
ويقصد بالسقوط الحر Free fall هو سقوط الجسم باتجاه مركز الارض دون التأثير عليه بقوة اخرى غير القوة الجاذبية الارضية تتسارع بسرعة تقريبا $9.81 \, m/s^2$ ثابت تلك الاجسام قرب سطح الارض دون تأثير للكتلة.

5.2 القذائف "projectiles"

تعني هذا الموضوع بدراسة أجسام المقذوفة في الهواء. هناك عاملين يؤثران على حركة القذيفة هما مقاومة الهواء والتجاذب الأرضي.

وعندما أهملت مقاومة الهواء فإن القذيفة تتحرك متأثرة بالتجاذب الأرضي (الحركة المقذوفة فقط).

فإذا انطلقت القذيفة من النقطة "O" في الزمن $t_0=0$ وبسرعة $\vec{v}_0$ وبزاوية θ_0 فإن:



* عند النقطة O مركبة السرعة الابتدائية الأفقية $v_{0x}=v_0\cos\theta$
ومركبة السرعة الشاقولية الابتدائية $v_{0y}=v_0\sin\theta$

* مركبتا السرعة في أي زمن هما:

$$v_x=v_{0x}=v_0\cos\theta_0$$

$$v_y=v_{0y}-gt$$

وسرعة السرعة في أي لحظة:

$$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$$

والزاوية التي تصنعها هي $\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}$ والإزاحة المقطوعة

لا يوجد تعجيل باتجاه المركبة الأفقية $x=v_{0x}t+\frac{1}{2}\cancel{a}t^2$

$$x=v_{0x}t=v_0t\cos\theta_0$$

$$y=v_{0y}t+\frac{1}{2}at^2$$ (ولا ننسى تقع تحت تأثير التجاذب الأرضي فقط)

$$y=v_{0y}t-\frac{1}{2}gt^2$$ (الإشارة السالبة لأن التجاذب باتجاه الأسفل)

* ولكي نحصل على الزمن اللازم حتى تصل القذيفة الى اعلى نقطة (A)

$v_y = v_{oy} - gt$, $(v_y = 0$ عند النقطة A$)$

$v_{oy} - gt = 0 \rightarrow t = \frac{v_{oy}}{g} = \frac{v_o \sin\theta_o}{g}$

$y = v_{oy}t - \frac{1}{2}gt^2$, $(y = y_{max}$ when $t = \frac{v_{oy}}{g})$

$y_{max} = \frac{v_{oy}^2}{g} - \frac{1}{2}g\frac{v_{oy}^2}{g^2} = \frac{1}{2}\frac{v_{oy}^2}{g}$

$$y_{max} = \frac{v_{oy}^2}{2g}$$

* اما الزمن اللازم لكي تعود القذيفة الى نفس مستوى نقطة القذف (النقطة B) فيسمى زمن الطيران Time flight وهو يساوي ضعف الزمن اللازم للوصول الى اعلى نقطة (النقطة A).

$$T = 2t = \frac{2v_{oy}}{g}$$

ويمكن حساب بطريقة ثانية عندما تكون y_o و y عند النقطة B يساوي الارتفاع عن

$y = v_{oy}t - \frac{1}{2}gt^2$, $(y = 0$ when $t = T)$

$0 = v_{oy}T - \frac{1}{2}gT^2$

$$T = \frac{2v_{oy}}{g}$$

والمسافة الكلية الافقية المقطوعة خلال زمن الطيران (المسافة OB) تسمى المدى ويرمز لها R حيث

$x = v_{ox}t$, $(x = R$ when $t = T)$

$R = v_{ox}T$

$= v_{ox} \cdot \frac{2v_{oy}}{g} = \frac{2v_{ox}v_{oy}}{g} = \frac{2(v_o\cos\theta_o)(v_o\sin\theta_o)}{g}$

$$R = \frac{2}{g} v_0^2 (\sin\theta_0 \cos\theta_0) = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{g}$$

$$R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{g} \qquad \sin 2\theta = \frac{\sin\theta \cos\theta}{2}$$ لأن

مثال 1 أطلقت رصاصة من بندقية بسرعة 200 m/s وبزاوية 40° مع الأفق ما سرعة وموضع الرصاصة بعد 20 sec ؟

Sol

$v_0 = 200$ m/s , $\theta_0 = 40°$, $t = 20$ sec

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cos\theta_0 = 200 \cos(40) = 153.2 \text{ m/s}$$

$$v_y = v_{0y} - gt \;, \quad v_{0y} = v_0 \sin\theta$$

$$= 200 \sin(40) - (9.8)(20) = -67.4 \text{ m/s}$$

الإشارة السالبة تعني القذيفة في حالة هبوط

$$v = (v_x^2 + v_y^2)^{\frac{1}{2}} = 167.4 \text{ m/s}$$

أما موضع القذيفة (x, y) :

$$x = v_{0x} t = (153.2 \text{ m/s})(20\text{s}) = 3064 \text{ m}$$

$$y = v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2, \quad v_{0y} = v_0 \sin\theta_0 = 200 \sin(40) = 128.6 \text{ m/s}$$

$$= (128.6)(20) - \frac{1}{2}(9.8)(20)^2$$

$$= 612 \text{ m}$$