سلسلة دروس و تمارين مقترحة – ثالثة ثانوي – 2011/2010

إعداد الأستاذ : فرقاني فارس

تمارين مقترحة

05

التطورات الرتيبة

تطور جملة ميكانيكية

Tel : 0771 998109
fares_fergani@yahoo.Fr

****

تاريخ آخر تحديث : 2011/03/11

1– نبذة تاريخية حول ميكانيك نيوتن :

- من الأفعال المتبادلة الأساسية الأربعة (الكهرومغناطيسية ، الجاذبة ، النووية القوية و الضعيفة) تحتل قوة الجذب أقدم مكانة في التاريخ .

- منذ الفيزياء الأكثر حسية لأرسطو إلى غاية الفيزياء النسبية و تنبؤات أنشتاين ، كان لفهم حركات الأجسام و الفعل الجاذبي أثر كبير على الفكر تمخضت عنه ثلاث ثورات على الأقل ، فلقد شهد تاريخ الميكانيك تطورا في المفاهيم و النظريات ، أبرز التحولات فيها كانت الانتقال من النظام المركزي الأرضي لأرسطو إلى النظام الشمسي لكوبرنك و تفسير غاليلي و نيوتن للحركات .

2– بعض المفاهيم الأساسية :

* الجملة الميكانيكية :

الجملة الميكانيكية هي الجسم أو مجموعة الأجسام التي تكون محل الدراسة الفيزيائية .

* القوى الداخلية و الخارجية :

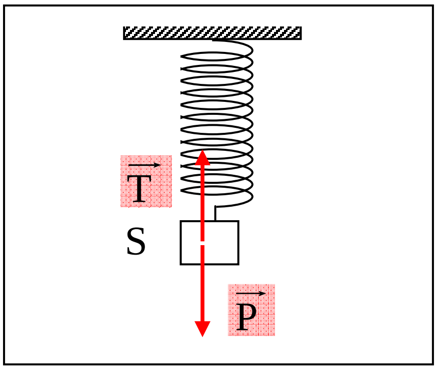
- نقول عن قوة أنها داخلية إذا كانت ناتجة عن تأثير جسم من جملة ميكانيكية على جسم آخر من نفس الجملة الميكانيكية .

- نقول عن قوة أنها خارجية إذا كانت ناتجة عن :

- تأثير جسم من جملة ميكانيكية على جسم آخر من خارج الجملة الميكانيكية أو من جملة ميكانيكية أخرى .
- تأثير جسم من خارج جملة ميكانيكية على جسم آخر من داخل الجملة الميكانيكية .
- تأثير جسم خارج الجملة الميكانيكية على جسم أخر خارج الجملة الميكانيكية كذلك.

مثال :

في الشكل المقابل يخض الجسم S إلى تأثير قوتين الأولى قوة الثقل $\vec{P}$ ناتجة عن تأثير الأرض عليه و الثانية توتر النبض $\vec{T}$ ناتجة عن تأثير النابض عليه ، يمكن للقوتين المذكورتين أن تكون داخلية أو خارجية و ذلك حسب الجملة المختارة كما يبينه الجدول التالي :



الجملة	قوة الثقل $\vec{P}$	قوة التوتر $\vec{T}$
(جسم)	خارجية	خارجية
(نابض)	خارجية	خارجية
(أرض)	خارجية	خارجية
(جسم + أرض)	داخلية	خارجية
(جسم + نابض)	خارجية	داخلية
(جسم + نابض + أرض)	داخلية	داخلية

* الجملة الميكانيكية المعزولة و شبه المعزولة :

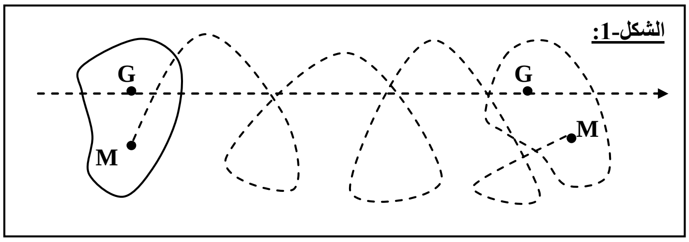
- نقول عن جملة ميكانيكية أنها جملة معزولة إذا كانت لا تخضع لقوى خارجية .
- نقول عن جملة ميكانيكية أنها جملة شبه معزولة إذا كانت تخضع لقوى خارجية مجموعها الشعاعي معدوم .
- نقول عن جملة ميكانيكية أنها جملة غير معزولة إذا كانت تخضع لقوى خارجية مجموعها الشعاعي غير معدوم .
- في المثال السابق يمكن اعتبار الجملة (جسم + نابض + أرض) جملة معزولة .

* مفهوم النقطة المادية و الجسم الصلب :

- الجسم الصلب هو الجملة التي لا يتغير شكلها أثناء قيامها بحركة ، أي أن المسافة بين نقطتين كيفيتين من هذه الجملة تبقى ثابتة أثناء الحركة .
- النقطة المادية هي كل جسم ذو أبعاد مهملة أمام المرجع الذي يدرس بالنسبة إليه هذا الجسم ، و كتلة النقطة المادية هي كتلة هذا الجسم .

* مفهوم مركز العطالة :

- عندما يكون جسم صلب معزولا أو شبه معزول في مرجع غاليلي ، ويتحرك بحركة كيفية (الشكل-1) فإنه توجد نقطة (G) وحيدة من هذا الجسم حركتها مستقيمة منتظمة ، ندعوها بمركز عطالة **الجسم الصلب**.



* تحديد مركز عطالة جملة :

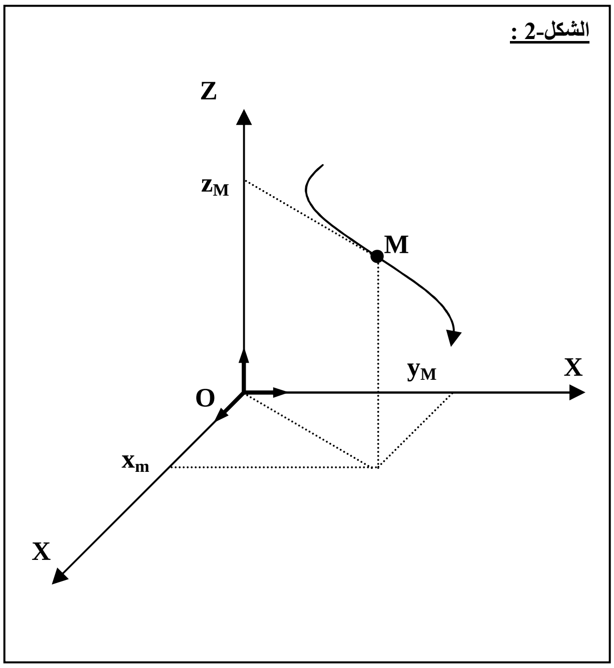
- في الميكانيك النيوتني، ينطبق مركز العطالة G دائما على مركز الكتلة الذي يمثل مركز الأبعاد المتناسبة لمجموعة النقاط المادية (M_1 , M_2 , ... M_n) للجملة فهو يحقق العلاقة الشعاعية التالية :

$$\overrightarrow{OG} \times \sum m_i = m_1\overrightarrow{OM_1} + m\,\overrightarrow{OM_2} + \ldots + m\,\overrightarrow{OM_2}$$

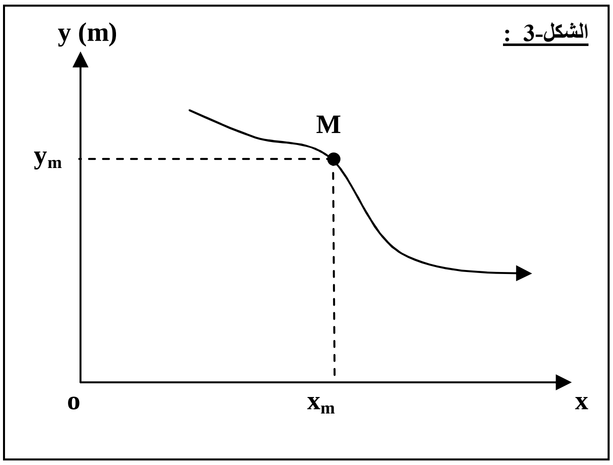
* المرجع و المعلم :

- لا يمكن دراسة جملة مادية دون تحديد مرجع لذلك .
- إن المرجع جسم صلب يرتبط دوما بمعلمين :

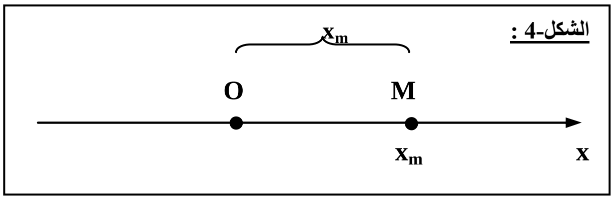
▪ معلم المسافة وهو معلم مرتبط بالمرجع ، يرتكز على نقطة ثابتة (O) ندعوها مركز المعلم (أو مركز الإحداثيات) . يستعمل هذا النوع من المعالم في تعيين موضع المتحرك عند كل لحظة زمنية ، و هو يوجد على ثلاث أنواع : فضائي $(O , \vec{i} , \vec{j} , \vec{k})$, مستوي $(O , \vec{i} , \vec{j})$ ، خطي $(O , \vec{i})$.



الشكل-2 :



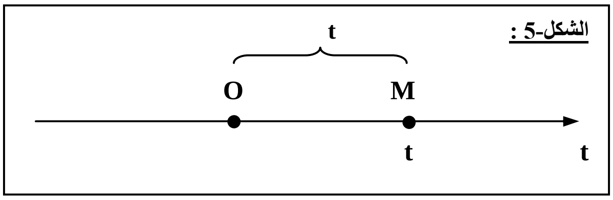
الشكل-3 :



الشكل-4 :

▪ معلم للزمن و هو معلم خطي موجه (الشكل-5) ، وموحد بوحدات زمنية مبدأه يكون كيفي . وهو يستعمل في تمثيل تطور الحادثة الفيزيائية ، كما تدعى الأزمنة الممثلة فوقه باللحظات الزمنية .

- مبدأ الأزمنة يختار عادة بحيث يتطابق مع لحظة بداية الحركة.



الشكل-5 :

* <u>المراجع الغاليلية (المراجع العطالية) :</u>

- المرجع الغاليلي هو كل مرجع يتحقق فيه مبدأ العطالة .

- كل مرجع في إزاحة مستقيمة منتظمة ، بالنسبة لمرجع غاليلي هو كذلك مرجع غاليلي .

- قبل حل مسألة في الميكانيك ، يجب التأكد من أن المرجع المختار لدراسة حركة مركز عطالة جملة هو مرجع غاليلي .

* <u>أمثلة عن المراجع الغاليلية :</u>

▪ <u>المرجع الهيليو مركزي (كوبرنيك) :</u>

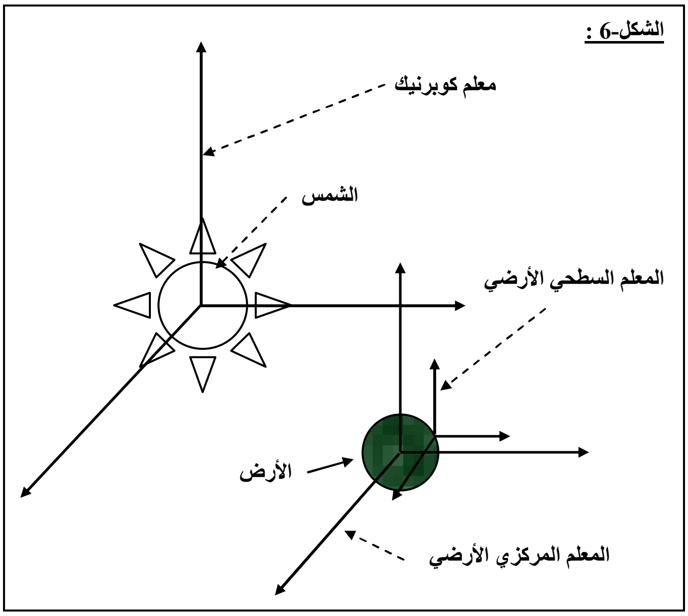
يرتبط بمعلم مبدأه يكون منطبق على مركز الشمس ، يعتمد عليه في دراسة حركة الأجسام التي تتحرك حول الشمس كالأرض و بقية الكواكب .

▪ <u>المرجع المركزي الأرضي :</u>

يرتبط بمعلم مبدأه يكون منطبق على مركز الأرض ، يعتمد عليه في دراسة حركة الأجسام التي تتحرك حول الأرض مثل الأقمار الاصطناعية .

▪ <u>المرجع السطحي الأرضي :</u>

يرتبط بمعلم مبدأه يكون منطبق على سطح الأرض ، يعتمد عليه في دراسة حركة الأجسام التي تتحرك على سطح الأرض .



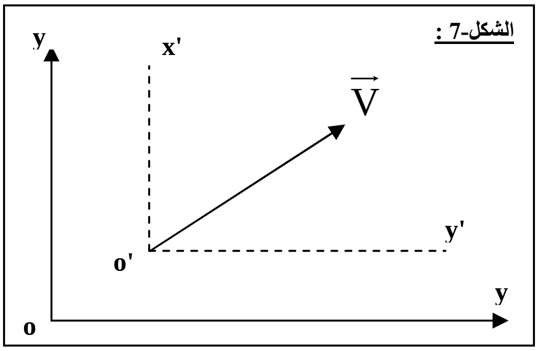
الشكل-6 :

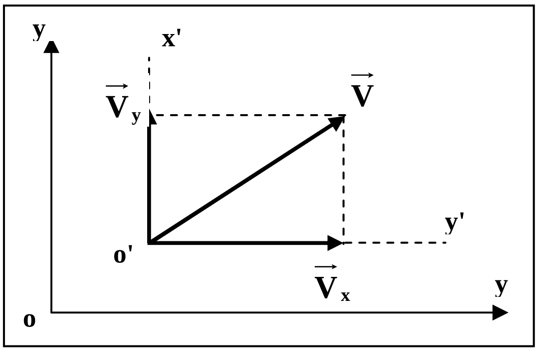
* <u>تحليل شعاع إلى مركبتيه ، وفق المحورين ox ، oy و إيجاد القيم الجبرية لمركبته :</u>

- لتحليل شعاع و ليكن شعاع السرعة $\vec{v}$ إلى مركبتيه $\vec{v}_x$ وفق المحور ox و $\vec{v}_y$ وفق المحور oy نقوم بما يلي :

• نرسم مستقيمين مارين بمبدأ الشعاع $\vec{v}$ الأول (o'x') يوازي المحور (ox) و الثاني (o'y') يوازي المحور (oy) (الشكل-7) .

• نسقط عموديا الشعاع $\vec{v}$ على المستقيمين (o'x') ، (o'y') فنحصل على الشعاع $\vec{v}_x$ الذي يمثل مركبة الشعاع $\vec{v}$ على المحور (ox) و على الشعاع $\vec{v}_y$ على المحور (oy) (الشكل-8) .





• إذا كان المعلم خطي ox يكون لأي شعاع مركبة واحدة $\vec{v}_x$ تكون منطبقة على الشعاع الأصلي أي :

$$\boxed{\vec{v} = \vec{v}_x}$$

• الشعاع $\vec{v}$ هو محصلة الشعاعين $\vec{v}_x$ ، $\vec{v}_y$ يحقق و بالتالي هو يحقق العلاقة :

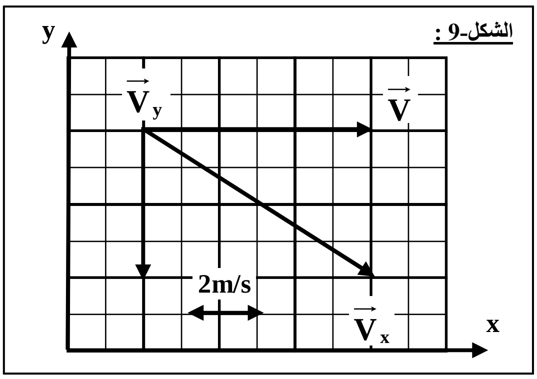
$$\boxed{\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y}$$

- يمكن كتابة شعاع بدلالة أشعة الوحدة للمعلم كما يلي :

$$\boxed{\vec{v} = v_x\,\vec{i} + v_y\,\vec{j}}$$

v_x ، v_y هي قيم جبرية تكون موجبة إذا كان الشعاع في جهة المحور و سالبة إذا كان الشعاع عكس جهة المحور فمثلا عندما يكون الشعاع $\vec{V}_x$ في جهة المحور ox يكون : $\left\| \vec{v}_x \right\| = +v_x$

و عندما يكون الشعاع $\vec{V}_x$ في جهة المحور ox يكون : $\left\| \vec{v}_x \right\| = -\,v_x$



<u>مثال :</u>

- مركبة شعاع السرعة على المحور ox في الجهة الموجبة للمحور ox و عليه تكون القيمة الجبرية الموافقة للشعاع هي :

$$v_x = +\left\| \vec{v}_x \right\| = +\,(\,3\,.\,2\,) = +\,6\ m/s$$

- مركبة شعاع السرعة على المحور oy في الجهة السالبة للمحور oy و عليه تكون القيمة الجبرية الموافقة للشعاع هي :

$$V_y = -\left\| \vec{V}_y \right\| = -\,(\,2\,.\,2\,) = -\,4\ m/s$$

و نكتب :

$$\vec{V} = 6\vec{i} - 4\vec{j}$$

<u>* حساب السرعة اللحظية عند موضع M :</u>

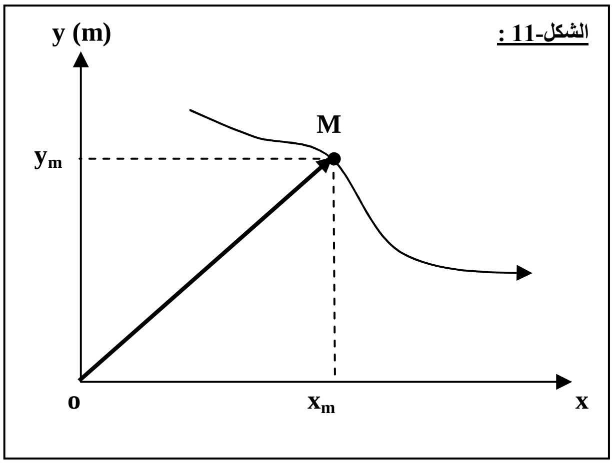
لتحديد قيمة السرعة اللحظية عمليا في موضع من مواضع المتحرك و ليكن M_2 (الشكل-10) ، نقيس المسافة M_1M_3 بين الموضعين M_1 ، M_3 المجاورين للموضع M_2 و اللذان تفصلهما مدة زمنية $\Delta t = 2\tau$ (سواء كان المسار مستقيم أو منحنى) . ثم نستنتج المسافة الحقيقية المقطوعة d بالإعتماد على سلم الرسم ، و تكون السرعة v_2 في كلتا الحالتين هي :

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

<u>3– شعاعا السرعة و التسارع :</u>

<u>أ- شعاع الموضع - الإحداثيات الكارتيزية:</u>

- تجري دراسة الحركة في معالم ثابتة قد تكون هذه المعالم فضائية أو مستوية أو خطية ، و ذلك حسب ما تقتضيه نوع كل حركة .
- إذا اعتبرنا الدراسة في معلم مستوي كما في (الشكل-11) التالي :



فإن موضع المتحرك (M) في اللحظة الزمنية (t) يتعين بشعاع يسمى شعاع الموضع ، يرمز له بـ $\vec{r}$ و هو يعطى بالعلاقة الشعاعية التالية :

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j}$$

- تسمى المقادير الجبرية x ، y **بالإحداثيات الكارتيزية** لشعاع الموضع $\vec{r}$.
- إذا كانت النقطة المادية (M) ثابتة تكون الإحداثيات الكارتيزية x ، y مستقلة عن الزمن (ثابتة) .
- إذا كانت النقطة المادية (M) في حالة حركة تكون الإحداثيات الكارتيزية x ، y دوال في الزمن (ذات المتغير t) .

و تكتب في هذه الحالة الإحداثيات x ، y على شكل دوال ذات المتغير t كما يلي :

$$\begin{cases} x = f_1(t) \\ y = f_2(t) \end{cases}$$

تسمى هذه العلاقات الزمنية و التي تعبر عن الإحداثيات الكارتيزية بدلالة الزمن **بالمعادلات الزمنية** للحركة .
- المسار هو مجموعة النقط التي يشغلها المتحرك في كل لحظة ، و عند إيجاد علاقة تربط بين الإحداثيات الكارتيزية للمتحرك نحصل على ما يسمى **معادلة المسار** .

ب- شعاع الانتقال :

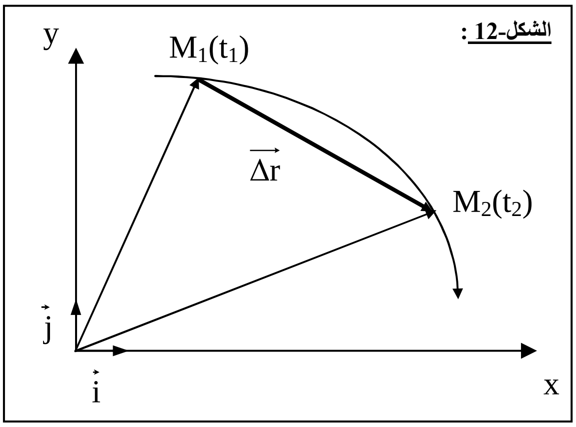
- إذا انتقلت النقطة المادية من الموضع M_1 عند اللحظة t_1 أين يكون شعاع موضعها $\vec{r}_1$ إلى الموضع M_2 عند اللحظة t_2 أين يكون شعاع موضعها $\vec{r}_2$ فإنه يعبر عن هذا الانتقال بشعاع يدعى **شعاع الانتقال** $\overrightarrow{\Delta r}$ يساوي التغير في شعاع الموضع بين اللحظتين t_1 ، t_2 و يكون :

$$\boxed{\overrightarrow{\Delta r} = \vec{r}_2 + \vec{r}_1}$$

و إذا كان : $\vec{r}_1 = x_1\vec{i} + y_1\vec{j}$ ، $\vec{r}_2 = x_2\vec{i} + y_2\vec{j}$ يكون :

$$\boxed{\overrightarrow{\Delta r} = \Delta x\vec{i} + \Delta y\vec{j}}$$

- تكون جهة شعاع الإنتقال في نفس جهة الحركة كما موضح في (الشكل-12) .
- في حالة مسار مستقيم يكون شعاع الإنتقال محمولا على المسار .



الشكل-12 :

ج- شعاع السرعة المتوسطة :

- شعاع السرعة المتوسطة الذي يرمز له بـ $\vec{v}_m$ بين لحظتين t_1 ، t_2 هو النسبة بين شعاع الإنتقال $\overrightarrow{\Delta r}$ بين هاتين اللحظتين و المجال الزمني $\Delta t = t_2 - t_1$ أي :

$$\boxed{\vec{v}_m = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{t_2 - t_1}}$$

و إذا كان :

$$t = t_1 \rightarrow \vec{r}_1 = x_1\vec{i} + y_1\vec{j}$$
$$t = t_2 \rightarrow \vec{r}_2 = x_2\vec{i} + y_2\vec{j}$$

يكون :

$$\vec{v}_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}\vec{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t}\vec{j}$$

أو :

$$\vec{v}_m = v_{mx}\,\vec{i} + v_{my}\,\vec{j}$$

حيث :

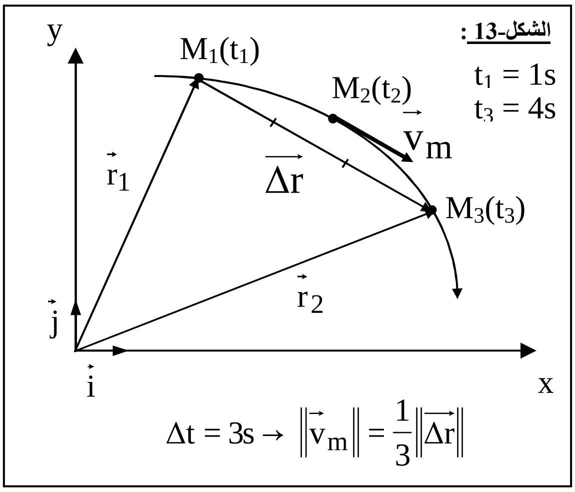
$$v_{mx} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

$$v_{my} = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1}$$

- يكون شعاع السرعة المتوسطة موازي لشعاع الانتقال و في نفس جهته كما يكون :

$$\|\vec{v}_m\| = \frac{1}{\Delta t}\|\overrightarrow{\Delta r}\|$$

<u>مثال :</u>



د- شعاع السرعة اللحظية :

- شعاع السرعة اللحظية الذي يرمز له بـ $\vec{v}$ عند لحظة t هو مشتق شعاع الموضع $\vec{r}$ بالنسبة للزمن أي :

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

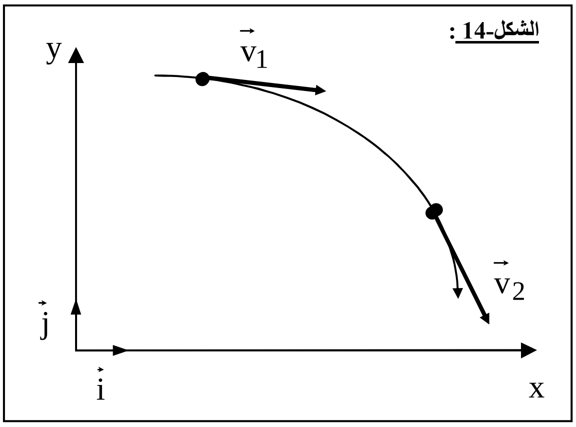
و إذا كان : $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j}$ يكون :

$$\vec{v} = \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j}$$

أو :
$$\vec{v} = v_x\,\vec{i} + v_y\,\vec{j}$$

حيث :
$$v_x = \frac{dx}{dt} \quad , \quad v_y = \frac{dy}{dt}$$

- يكون شعاع السرعة اللحظية مماسي للمسار في كل موضع عند كل لحظة و دوما في جهة الحركة (الشكل-14)



- قيمة السرعة في معلم كارتيزي مستوي هي :

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

- وحدة السرعة هي : $m.s^{-1}$.

هـ- شعاع التسارع المتوسط :

- شعاع التسارع المتوسط الذي يرمز له بـ $\vec{a}_m$ بين لحظتين t_1 ، t_2 هو النسبة بين شعاع تغير السرعة $\overrightarrow{\Delta v}$ بين هاتين اللحظتين و المجال الزمني $\Delta t = t_2 - t_1$ أي :

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

و إذا كان :

$$t = t_1 \longrightarrow \vec{v}_1 = v_{x1}\vec{i} + v_{y1}\vec{j}$$
$$t = t_2 \longrightarrow \vec{v}_2 = v_{x2}\vec{i} + v_{y2}\vec{j}$$

يكون :

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}\vec{i} + \frac{\Delta v_y}{\Delta t}\vec{j}$$

أو :
$$\vec{a}_m = a_{mx}\,\vec{i} + a_{my}\,\vec{j}$$

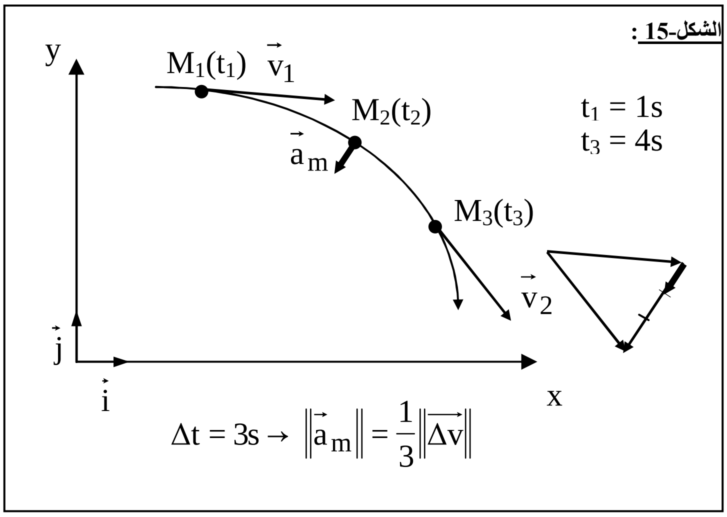
حيث :

$$a_{mx} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_{x2} - v_{x1}}{t_2 - t_1}$$
$$a_{my} = \frac{\Delta v_y}{\Delta t} = \frac{v_{y2} - v_{y1}}{t_2 - t_1}$$

- يكون شعاع التسارع المتوسط موازي لشعاع تغير السرعة و في نفس جهته كما يكون :

$$\left\|\vec{a}_m\right\| = \frac{1}{\Delta t}\left\|\overrightarrow{\Delta v}\right\|$$

مثال :



و- شعاع التسارع اللحظي :

- شعاع التسارع اللحظي الذي يرمز له بـ $\vec{a}$ عند لحظة t هو مشتق شعاع السرعة $\vec{v}$ بالنسبة للزمن أي :

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

و إذا كان : $\vec{v} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j}$ يكون :

$$\vec{a} = \frac{dv_x}{dt}\vec{i} + \frac{dv_y}{dt}\vec{j}$$

أو :

$$\vec{a} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j}$$

حيث :

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} \quad , \quad a_y = \frac{dv_y}{dt}$$

- قيمة التسارع اللحظي في معلم كارتيزي مستوي هي :

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$

- وحدة التسارع هي : m/s^2 .

4- القوانين الثلاثة لنيوتن :

أ- القانون الأول لنيوتن (مبدأ العطالة) :

ينص على ما يلي :

" في المعالم العطالية أو الغاليلية ، يحافظ كل جسم على سكونه أو حركته المستقيمة المنتظمة إذا لم تتدخل قوة لتغير حالته الحركية ".

ب- القانون الثاني لنيوتن:

- ينص على ما يلي :

" في معلم غاليلي ، المجموع الشعاعي $\sum \vec{F}_{ext}$ للقوى الخارجية المطبقة على جملة مادية، يساوي في كل لحظة، جداء كتلتها في شعاع تسارع مركز عطالتها "

- يكتب القانون الثاني لنيوتن كما يلي :

$$\boxed{\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G}$$

- تعطى المركبات الثلاث للمعادلة الشعاعية في المعلم الكارتيزي :

$$\boxed{\sum F_x = ma_x \,, \sum F_y = ma_y \,, \sum F_z = ma_z}$$

- إذا خضعت جملة مادية بين لحظتين t_1 و t_2 إلى تأثيرات بحيث يكون المجموع الشعاعي $\sum \vec{F}_{ext}$ للقوى الخارجية المطبقة عليها ثابتا ، فإن شعاع تسارع مركز عطالتها $\vec{a}_G$ في معلم غاليلي يكون ثابتا خلال هذه المدة الزمنية $(\Delta t = t_2 - t_1)$. و تكون حركة مركز العطالة متغيرة بانتظام (متسارعة بانتظام أو متباطئة بانتظام) .

- لتكن t_0 اللحظة الإبتدائية و t لحظة ما من حركة مستقيمة متغيرة بانتظام ، و بما أن التسارع ثابت ، فالتسارع اللحظي هو التسارع المتوسط نفسه ، يمكن إذًا كتابة :

$$\vec{a}_G = \frac{\vec{v}_G(t) - \vec{v}_G(t_0)}{t - t_0}$$

و عليه يمكن كتابة :

$$\boxed{\vec{v}_G(t) - \vec{v}_G(t_0) = a\,\Delta t}$$

هذه العبارة تسمح لنا بتحديد شعاع السرعة في اللحظة t انطلاقا من معرفة $\vec{a}_G$ و $\vec{v}_G(t_0)$.

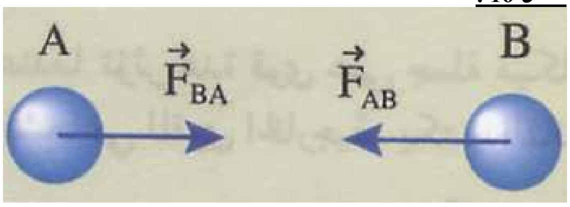
جـ- القانون الثالث لنيوتن:

- ينص على ما يلي :

"إذا أثرت جملة A على جملة B بقوة $\vec{F}_{A/B}$ فإن الجملة B تؤثر على الجملة A بقوة $\vec{F}_{B/A}$,تساويها في الشدة و لها نفس الحامل و تعاكسها في الجهة "

- نعبر عن ذلك بالعلاقة الشعاعية : $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$.

الشكل-16 :



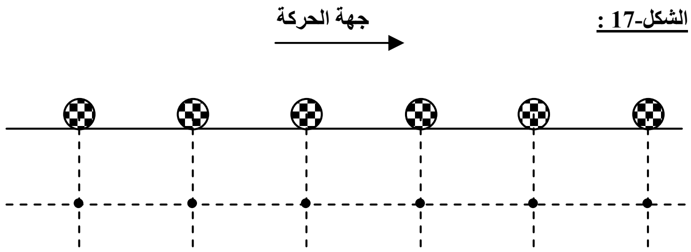
في الميكانيك النيوتونية ، يكون التأثير المتبادل بين الجمل متزامنا ، أي أن الفعلين المتبادلين يطبقان على الجملتين في آن واحد .

5- خصائص بعض الحركات :

أ- الحركة المستقيمة المنتظمة :

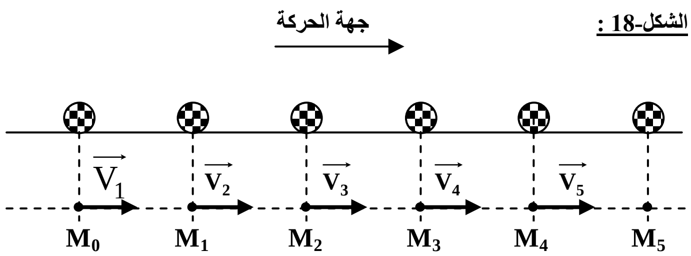
- الحركة المستقيمة المنتظمة حركة تتميز بمسار مستقيم يقطع فيها المتحرك مسافات متساوية خلال أزمنة متساوية تظل قيمة السرعة ثابتة خلال الحركة .

الشكل-17 :



- في الحركات المستقيمة بصفة عامة يكون منحى السرعة و جهته ثابتة طيلة الحركة ، و في الحركة المستقيمة المنتظمة إضافة إلى أن منحى و جهة شعاع السرعة يكونان ثابتين تكون أيضا طويلته ثابته ، و عليه يمكن القول أن شعاع السرعة في الحركة المستقيمة المنتظمة يكون ثابت في المنحى و الجهة و الطويلة طيلة الحركة (الشكل-18) .

الشكل-18 :

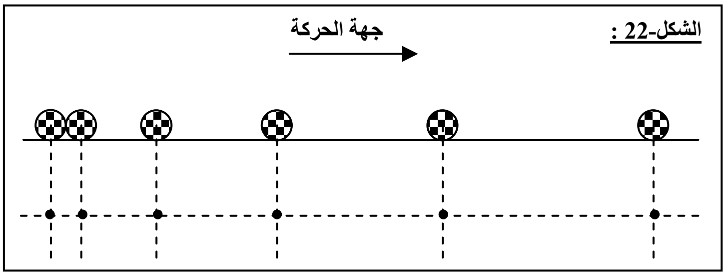


- في الحركة المستقيمة المنتظمة يكون شعاع السرعة المتوسطة ثابت (في المنحى و الجهة و الطويلة) و يساوي شعاع السرعة اللحظية ، كما يكون شعاع التسارع معدوم .

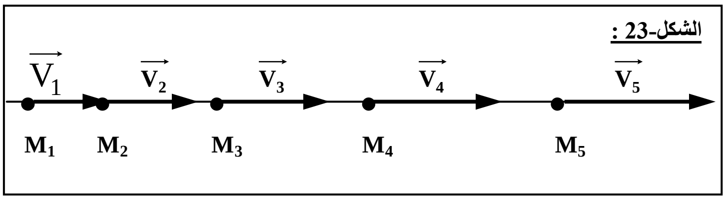
- حسب القانون الأول لنيوتن (مبدأ العطالة) المجموع الشعاعي للقوى الخارجية الذي يخضع لها متحرك في حركة مستقيمة منتظمة يكون معدوم ، و حسب القانون الثاني لنيوتن الذي يبرز العلاقة الطردية بين شعاع التسارع و المجموع الشعاعي للقوى الخارجية يمكن القول أن شعاع التسارع $\vec{a}$ في الحركة المستقيمة المنتظمة يكون معدوم .

ب- الحركة المستقيمة المتسارعة بانتظام :

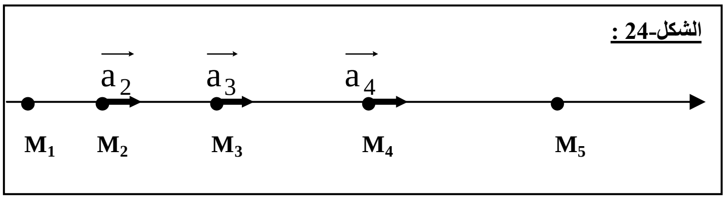
- في الحركة المستقيمة المتسارعة بانتظام تتزايد بانتظام المسافات المقطوعة خلال أزمنة متساوية τ (الشكل-22) .



- في الحركة المستقيمة المتسارعة بانتظام يكون شعاع السرعة اللحظية $\vec{V}$ ثابت في المنحى و الجهة بينما تتزايد طويلته بانتظام .



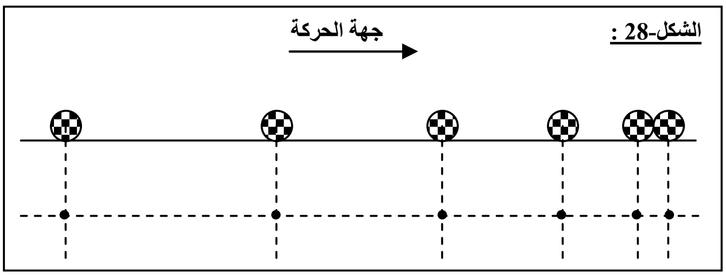
- في الحركة المستقيمة المتسارعة بانتظام يخضع المتحرك إلى قوة $\vec{F}$ في جهة الحركة و ثابتة (في المنحى و الجهة و الطويلة) ، و حسب القانون الثاني لنيوتن يمكن القول أن في الحركة المستقيمة المتسارعة بانتظام يكون شعاع التسارع $\vec{a}$ في جهة الحركة و ثابت (في المنحى و الجهة و الطويلة) (الشكل-24) .



- في الحركة المستقيمة المتسارعة بانتظام لا يكون شعاع السرعة المتوسطة ثابت ، و الذي يكون ثابت هو شعاع التسارع المتوسط ، كما يكون هذا الأخير (شعاع التسارع المتوسط) مساوي لشعاع التسارع اللحظي في أي لحظة .
- في الحركة المستقيمة المتسارعة بانتظام يكون لشعاعي السرعة اللحظية $\vec{V}$ و التسارع اللحظي $\vec{a}$ نفس الجهة عند كل لحظة .

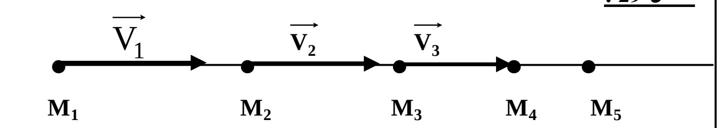
د- الحركة المستقيمة المتباطئة بانتظام :

- في الحركة المستقيمة المتباطئة بانتظام تتناقص بانتظام المسافات المقطوعة خلال أزمنة متساوية τ (الشكل-28) .



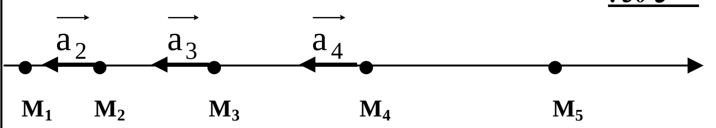
- في الحركة المستقيمة المتباطئة بانتظام يكون شعاع السرعة اللحظية $\vec{V}$ ثابت في المنحى و الجهة بينما تتناقص طويلته بانتظام .

الشكل-29 :



- في الحركة المستقيمة المتباطئة بانتظام يخضع المتحرك إلى قوة $\vec{F}$ في عكس جهة الحركة و ثابتة (في المنحى و الجهة و القيمة) ، و حسب القانون الثاني لنيوتن يمكن القول أن في الحركة المستقيمة المتباطئة بانتظام يكون شعاع التسارع $\vec{a}$ عكس جهة الحركة و ثابت (في المنحى و الجهة و الطويلة) . (الشكل-30)

الشكل-30 :



- في الحركة المستقيمة المتباطئة بانتظام لا يكون شعاع السرعة المتوسطة ثابت ، و الذي يكون ثابت هو شعاع التسارع المتوسط ، كما يكون هذا الأخير (شعاع التسارع المتوسط) مساوي لشعاع التسارع اللحظي في أي لحظة .

- في الحركة المستقيمة المتباطئة بانتظام يكون شعاعي السرعة اللحظية $\vec{V}$ و التسارع اللحظي $\vec{a}$ متعاكسين الجهة عند كل لحظة .

* اذا انتقل في معلم خطي في الجهة الموجبة جسم من موضع M_1 عند اللحظة t_1 إلى موضع آخر M_2 عند اللحظة t_2 و كانت حركته عندئذ مستقيمة متغيرة بانتظام تسارعها a (متسارعة بانتظام $a > 0$ ، أو متباطئة بانتظام $a < 0$) ، إذا كانت x_1 ، v_{x1} هي الفاصلة و القيمة الجبرية للسرعة عند الموضع M_1 و كانت x_2 ، v_{x2} هي الفاصلة و القيمة الجبرية للسرعة عند الموضع M_2 فإنه يمكن قول ما يلي :

- المدة الزمنية المستغرقة أثناء الانتقال من الموضع M_1 إلى الموضع M_2 يعبر عنها بالعلاقة .

$$\boxed{\Delta t = t_2 - t_1}$$

- المسافة المقطوعة أثناء هذا الانتقال يعبر عنها بالعلاقة :

$$\boxed{d = |\Delta x| = |x_2 - x_1|}$$

- يعبر عن الانتقال Δx أيضا بالعلاقة التالية :

$$\boxed{\Delta x = \frac{1}{2} a \,\Delta t^2 + v_{x1}\Delta t}$$

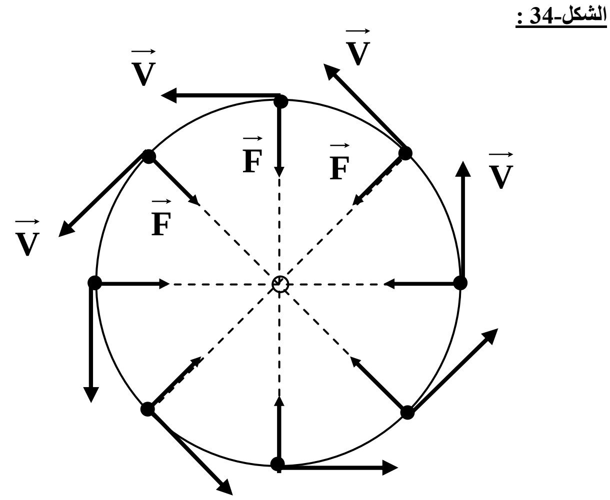
- تتحقق العلاقتين التاليتين :

$$\boxed{\begin{aligned} v_{x2} - v_{x1} &= \Delta t\, a \\ v_{x2}^2 - v_{x1}^2 &= 2\Delta x\, a \end{aligned}}$$

هـ- الحركة الدائرية المنتظمة :

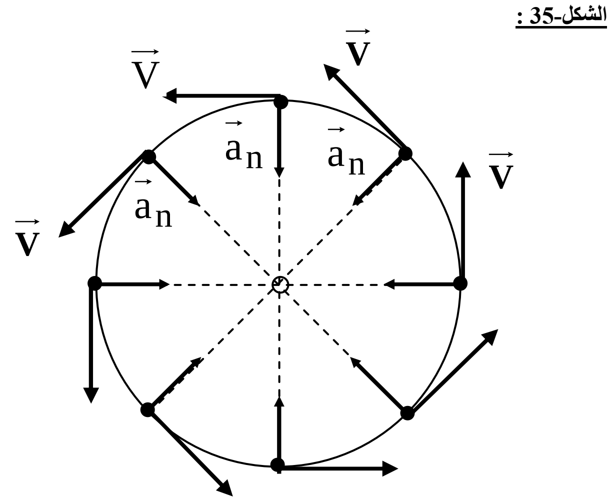
- الحركة الدائرية المنتظمة هي حركة مسارها دائري و سرعتها ثابتة .
- تكون حركة جملة مادية حركة دائرية منتظمة إذا كانت سرعتها الابتدائية غير معدومة ، و كانت خاضعة لمحصلة قوى $\vec{F}$ ثابتة ناظمية (متجهة دوما نحو مركز المسار) .
- في الحركة الدائرية المنتظمة تكون طويلة شعاع السرعة ثابتة في كل لحظة و مماسي للمسار (الشكل-34) .

الشكل-34 :



- في الحركة الدائرية المنتظمة يكون شعاع التسارع $\vec{a}$ ثابت في القيمة و متجه نحو مركز المسار عند كل لحظة و يساوي شعاع آخر يدعى شعاع التسارع الناظمي الذي يرمز له بـ $\vec{a}_n$ (الشكل-35) .

الشكل-35 :



- قيمة التسارع الناظمي يعبر عنها بالعلاقة :

$$\boxed{a_n = \frac{v^2}{r}}$$

حيث v سرعة المتحرك ، r نصف قطر المسار الدائري .

- الدور الذي يرمز له بـ T و وحدته الثانية (s) هو المدة اللازمة لإنجاز دورة واحدة ، أي المدة اللازمة قطع مسافة قيمتها $2\pi r$ ، و بالتالي يعبر عنه بالعلاقة :

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

6- حركة الكواكب و الأقمار الصناعية :

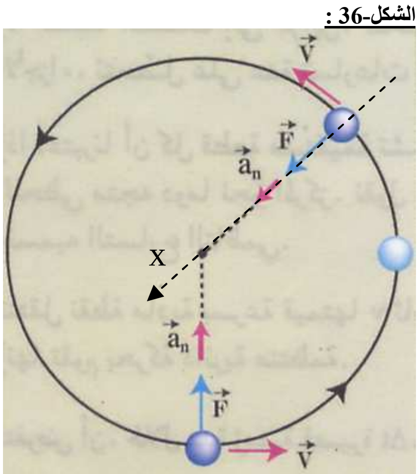
أ- تفسير حركة الكواكب و الأقمار الإصطناعية باستعمال القانون الثاني لنيوتن :

- علمنا سابقا أن حركة نقطة مادية بسرعة ثابتة v على مسار دائري نصف قطره r ، يكسبها تسارعا ناظميا قدره :

$$a_n = \frac{v^2}{r}$$

و نعلم أن التسارع الناظمي دائما متجه نحو مركز الدائرة.

الشكل-36 :



- بتطبيق القانون الثاني لنيوتن وفق محور(ox) متجه نحو مركز الأرض نجد :

$$\sum \vec{F}_x = m\,\vec{a}_n$$

$$\sum F_x = m\,a_n \rightarrow \sum F_x = \frac{mv^2}{r}$$

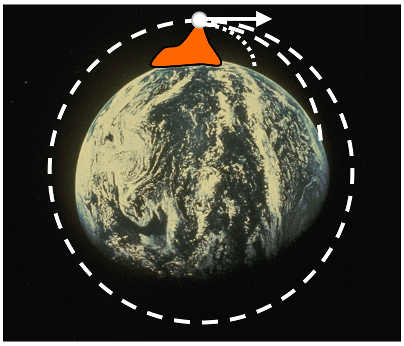
هذا يعني أن الكواكب و الأقمار الصناعية تخضع إلى قوة جاذبة مركزية (ناظمية) تكون هي السبب في جعل الكواكب و الأقمار الصناعية في حركة دائرية منتظمة .

- مما سبق : $v^2 = 4\,\pi^2\,r$ ومنه يصبح :

$$\boxed{\sum F_x = \frac{m \times 4\pi^2 r}{T^2}}$$

ب- تفسير حركة الكواكب و الأقمار الإصطناعية باستعمال قانون الجذب العام :

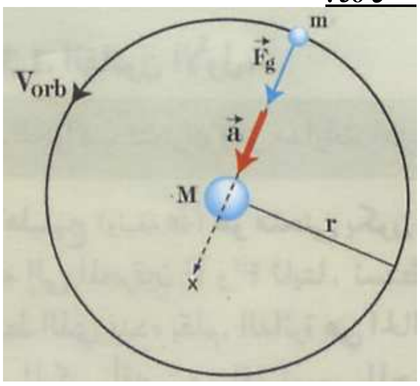
الشكل-37 :



- إن نيوتن هو أول من وصف العلاقة بين المسارات ذات المدى القصير و الحركة المدارية. حيث تصور مدفعا موجود على قمة جبل عال, يقذف كريات بسرعات ابتدائية مماسية لسطح الأرض (الشكل-37) .
- إذا أخذت الكرية سرعة ابتدائية ضعيفة, تأخذ مسار قطع مكافئ (لو أهملنا مقاومة الهواء) باتجاه الأرض .
- إذا كانت سرعة الكرية كافية بحيث لا تسقط على سطح الأرض ، تستطيع عندئذ الكرية القيام بدورة حول الأرض والعودة إلى نقطة البداية ، فالكرية في سقوط حر دائم على الأرض من دون أن تسقط على سطح الأرض .
- يصلح الإستدلال الأخير في المدارات الدائرية فقط , التي تشكل حالة خاصة من المدارات الإهليليجية.
- إذا فرضنا بأن M هي كتلة الجسم المركزي المتمثل الشمس (أو الأرض) هي أكبر بكثير من كتلة الجسم m الدائرة المتمثل في الكوكب (أو القمر الصناعي), يمكننا اعتبار الجسم المركزي ساكنا ، نهمل في دراساتنا قوى الإحتكاك الناتجة عن جو الأرض .
- حسب قانون الجذب الكواكب يخضع الكوكب (أو القمر الصناعي) إلى قوة الجذب العام الناتج عن جذبه من طرف الشمس (أو الأرض) .

هذه القوة مارة بمركز الجسم المركزي و الذي هو مركز الدوران ، شدة هذه القوة :

الشكل-38 :



$$\boxed{F_g = \frac{GmM}{r^2}}$$

حيث G ثابت التجاذب الكوني : $G=6.67\times10^{-11}N.m^2.kg^{-2}$

هذا يعني أن الكواكب و الأقمار الصناعية تخضع إلى قوة جاذبة مركزية (ناظمية) تكون هي السبب في جعل الكواكب و الأقمار الصناعية في حركة دائرية منتظمة .

- يمكن مما سبق كتابة المساواة : $\frac{GmM}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$

و منه السرعة المدارية للكواكب و الأقمار الإصطناعية :

$$\boxed{v_{orb} = \sqrt{\frac{GM}{r}}}$$

دور الحركة الدائرية هو : $T = \frac{2\pi r}{v_{orb}}$ ومنه :

$$\boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}}$$

ملاحظة :

- في حالة قمر الصناعي يبعد عن سطح الأرض بعلو Z ، فإن نصف قطر مساره هو $r = R_T + Z$ ، حيث R هو نصف قطر الأرض ، تكتب عبارة السرعة المدارية و الدورعندئذ كما يلي :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM_T}} = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T + z)^3}{GM_T}}$$

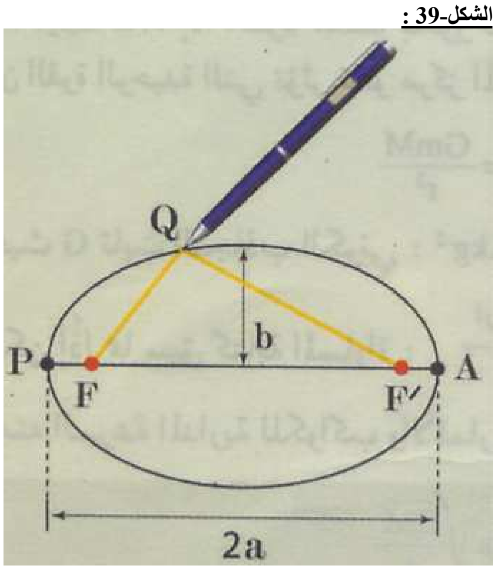
$$v = \sqrt{\frac{GM_T}{r}}$$

حيث M_T : يمثل كتلة الأرض.

- إن كتلة الكواكب أو الأقمار الإصطناعية لا تؤثر على السرعة المدارية و الدور.

* خواص الإهليليج :

الشكل-39 :



- الإهليليج هو منحنى يكون فيه دائما مجموع المسافتين من نقطة منه إلى المحرقين F و 'F ثابتا.
- نستطيع رسم اهليج بربط نقطتين بواسطة خيط الذي نمدده بقلم. الدائرة هي الحالة الخاصة التي يتطابق فيها المحرقان في المركز.
- أقصر مسافة تسمى المحور الصغير طولها 2b ؛ أطول مسافة تسمى المحور الكبير طولها 2a .
- نسمي نقطة المدار الأقرب من الشمس(الموجودة عند النقطة F) نقطة الرأس الأقرب(périhélie) الممثلة بالنقطة P .
- نسمي النقطة الأبعد بنقطة الرأس الأبعد(aphélie) الممثلة بالنقطة A.

جـ- قوانين كبلر :

القانون الأول :

- ينص على ما يلي :

" إن الكواكب تتحرك وفق مدارات اهليلجية تمثل الشمس إحدى محرقيها "

القانون الثاني :

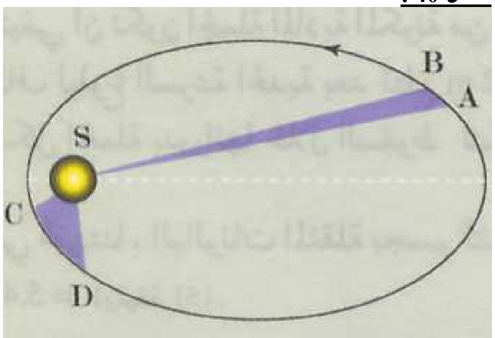
- ينص على ما يلي :

" إن المستقيم الرابط بين الشمس و كوكب يمسح مساحات متساوية خلال مجالات زمنية متساوية "

مثال :

إذا فرضنا أن خلال مجال زمني معين ، ينتقل كوكب من النقطة A إلى النقطة B و ينتقل من C إلى D خلال مجال زمني آخر.

الشكل-40 :



حسب القانون الثاني ، المساحتانSAB و SCD متساويتان إذا كان المجالين الزمنيين متساويين. و هذا دليل على تغير قيمة سرعة الكوكب على مداره.

القانون الثالث :

- ينص على ما يلي :

" إن مربع الدور لمدار كوكب يتناسب مع مكعب البعد المتوسط للكوكب عن الشمس أي : $T^2 = k\,r^2$ "

- المسافة المتوسطة تساوي نصف المحور الكبيرa و عليه يعبر عن النص بالعلاقة :

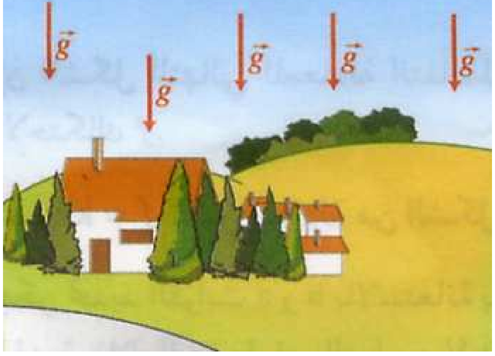
$$k = \frac{T^2}{a^3} \quad \text{أي} \quad T^2 = ka^3$$

K : ثابت صالح لكل الكواكب و مستقل عن كتلة الكواكب.

7– السقوط الشاقولي لجسم صلب في الهواء)

أ- شعاع حقل الجاذبية الأرضية :

الشكل-41 :



- حقل الجاذبية الأرضية هو حيز من الفراغ يحيط بالكرة الأرضية ، لو يوضع فيه أي جسم كتله m يخضع إلى قوة تجذبه باتجاه الأرض .

- يتميز حقل الجاذبية الأرضية في كل نقطة من نقاطه بشعاع يدعى شعاع حقل الجاذبية الأرضية يرمز له بـ $\vec{g}$ يكون متجه دوما نحو مركز الأرض .

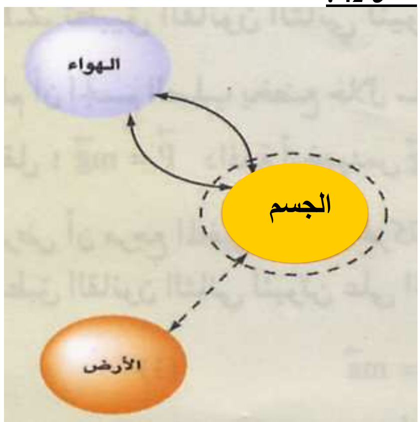
- يمكن اعتبار $\vec{g}$ ثابتا في فضاء من رتبة الكيلومتر(km).

- تقدر قيمة g في جملة الوحدات الدولية بـ : $n.m^{-1}$.

ب- القوى المؤثرة على جسم صلب يسقط في الهواء :

- أثناء سقوط جسم صلب في الهواء تحدث تأثيرات متبادلة بين هذا الجسم الصلب و الوسط الخارجي متمثل في الهواء ، الأرض ، ..... . (الشكل-42) .

الشكل-42 :



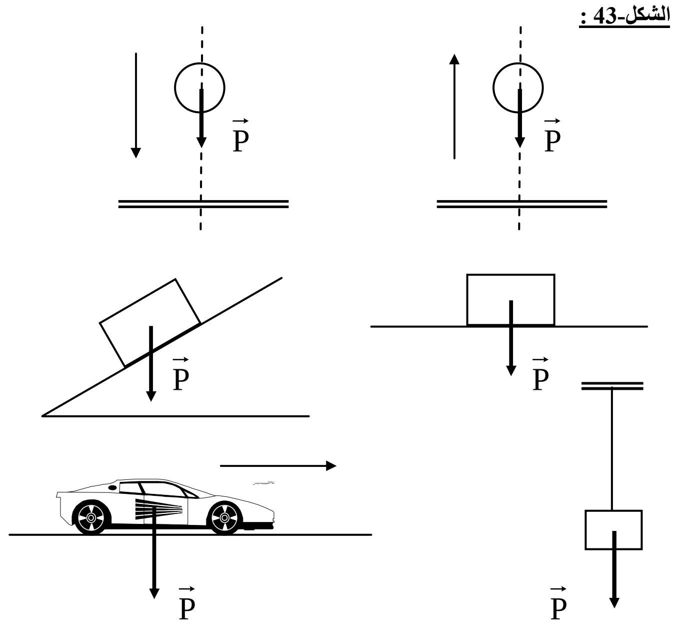
و ينتج عن هذه التأثيرات خضوع الجسم الصلب إلى قوى أهمها :

قوة الثقل :

- يرمز لها بـ $\vec{P}$ ناتجة عن تأثير الأرض على الجسم الصلب .
- تتناسب قوة الثقل $\vec{P}$ مع شعاع حقل الجاذبية $\vec{g}$ وفق العلاقة الشعاعية : $\vec{P} = m\,\vec{g}$.
- بجوار سطح الأرض أين يكون شعاع حقل الجاذبية ثابت و عمودي على سطح الأرض (الشكل-43) تكون قوة الثقل ثابتة و متجهة عموديا نحو سطح الأرض في كل نقطة من حقل الجاذبية الأرضية

مثال :

الشكل-43 :



- شدة قوة ثقل جسم صلب كتلته m موجود في نقطة من حقل الجاذبية الأرضية شدته g عند هذه النقطة يعطى بالعبارة :

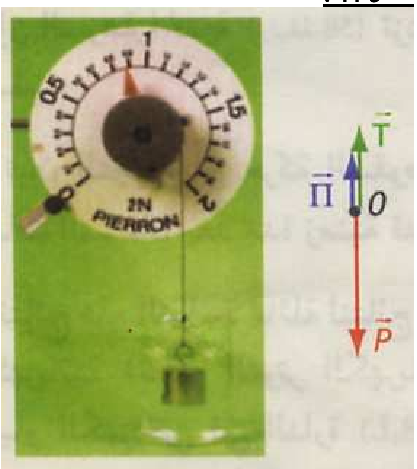
$$\boxed{P = m\,g}$$

دافعة أرخميدس :

- كل جسم صلب مغمور في مائع (هواء أو سائل) يخضع لفعل ميكانيكي يدعى دافعة أرخميدس.

- دافعة أرخميدس منمذجة بقوة شاقولية يرمز لها بـ $\vec{\Pi}$ متجهة نحو الأعلى قيمتها تساوي ثقل المائع المزاح و عليه يعبر عنها بالعلاقة :

الشكل-44 :



$$\boxed{\vec{\Pi} = -\rho V\vec{g}}$$

حيث : ρ : الكتلة الحجمية للمائع $kg.m^{-3}$.

V : حجم الجسم الصلب m^3.

g : تسارع الجاذبية $m.s^{-2}$.

قوة الإحتكاك :

- يخضع كل جسم صلب يتحرك في مائع لعدة قوى موزعة على سطحه ، تتعلق بطبيعة المائع و شكل الجسم الصلب و كذا خشونة السطح .

- تزداد قيمة هذه القوى بتزايد السرعة.

- يمكن نمذجة المجموع الشعاعي لهذه القوى التلامسية بقوة شاقولية ، معاكسة لجهة الحركة ، تدعى قوة الإحتكاك.

- التعبير عن قوة الاحتكاك بدلالة السرعة معقد ماعدا في الحالتين التاليتين :

- عندما تكون السرعة ضعيفة تكون قيمة القوة متناسبة مع قيمة السرعة : $f = kv$
- عندما تكون قيمة السرعة كبيرة تكون قيمة القوة متناسبة مع مربع قيمة السرعة : $f = kv^2$

في كلتي الحالتين ، الشعاع $\vec{f}$ معاكس للشعاع $\vec{v}$.

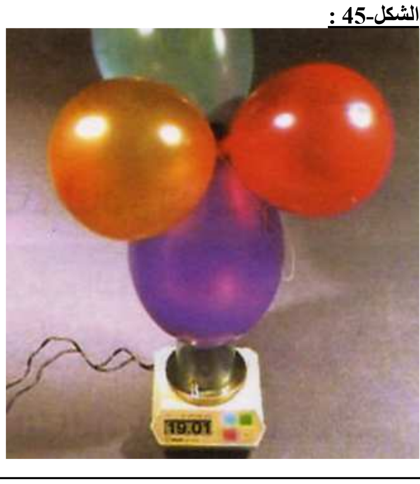
ملاحظة :

سقوط الأجسام الصلبة في السوائل يشبه سقوط الأجسام الصلبة في الهواء.

جـ- دراسة حركة السقوط الحقيقي لجسم صلب في الهواء :

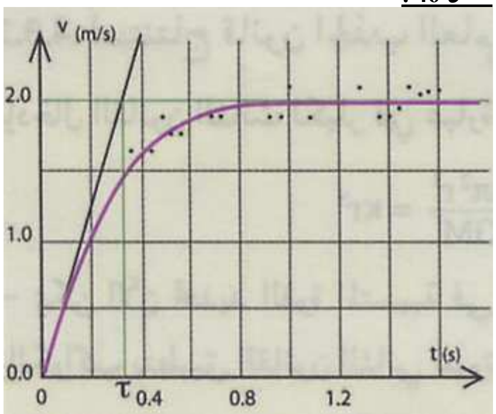
- نعتبرالجملة (S) المكونة من أربعة بالونات خفيفة مثقلة بجسم صلب صغير و ذات الحجم V_S و الكتلة m_S و ذات حجم كاف لبلوغ السرعة الحدية بعد قطع 2m تقريبا من السقوط ، و أن لا يسمح شكل الجملة بدورانها خلال السقوط لتكون الحركة انسحابية شاقولية .

الشكل-45 :



- البيان المقابل يمثل تطور سرعة البالونات بدلالة الزمن .

الشكل-46 :



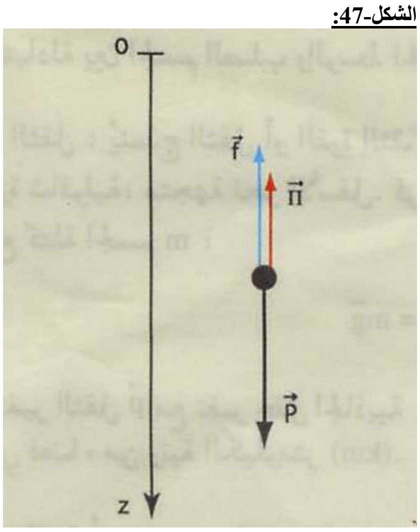
- من البيان يتضح وجود نظامين :
- نظام إنتقالي : تكون فيه قيمة السرعة متزايدة بشكل سريع في البداية و أقل فأقل مع مرور الزمن. حركة البالونات متسارعة في هذه المرحلة.
- نظام دائم : تكون فيه قيمة السرعة ثابتة حيث تبلغ قيمتها الحدية $v_L = 2.0$ m/s في هذه المرحلة و تصبح حركة البالونات منتظمة.

الزمن المميزللسقوط τ :

- الزمن المميز للسقوط هو الزمن الموافق للمرور من نمط إلى آخر.
- هندسيا يمثل الزمن المميز السقوط فاصلة نقطة تقاطع الخط المقارب $v = v_L$ مع مماس المنحنى المار بالمبدأ ، نرمز له بـ τ ووحدته الثانية s .
- من البيان السابق الزمن المميز لسقوط الجملة المادية هو تقريبا : $\tau = 0.32$ s .

ابراز المعادلة التفاضلية :

الشكل-47:



- الجملة المدروسة : (S) .
- مرجع الدارسة : سطحي أرضي نعتبره غاليليا .
- القوى الخارجية المؤثرة على الجملة : الثقل $\vec{P} = m\vec{g}$ ؛ دافعة أرخميدس $\vec{\Pi} = -\rho V\vec{g}$ و قوة الإحتكاك $\vec{f}$.

• بتطبيق القانون الثاني لنيوتن :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m_S\, \vec{a}_G$$

$$\vec{P} + \vec{\Pi} + \vec{f} = m_S\, \vec{a}$$

بتحليل العلاقة الشعاعية على محور (Oz) :

$$P - \Pi - f = m_S\, a$$

و حيث أن : $a = \frac{dv_z}{dt}$ ، $\Pi = \rho_{air} V_{air} g$ ، $P = m_S\, g$ يكون :

$$m\, g - \rho_{air} V_{air} g - f = m \frac{dv}{dt}$$

$$m \frac{dv}{dt} + f = m\, g - \rho_{air} V_{air} g$$

$$\boxed{\frac{dv}{dt} + \frac{1}{m} f = \frac{m\, g - \rho_{air} V_{air} g}{m}}$$

- إن الشكل النهائي للمعادلة التفاضلية له علاقة بشكل قيمة قوة الإحتكاك f.

▪ عند $f = kv$:

تكون المعادلة من الشكل :

$$\boxed{\frac{dv}{dt} + \frac{K}{m} v = \frac{m\, g - \rho_{air} V_{air} g}{m}}$$

و هي معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى حلها من الشكل :

$$\boxed{v = v_\ell\, (1 - e^{-t/\tau})}$$

حيث $\tau = \frac{m}{K}$ هو الزمن المميز للسقوط و هندسيا يحسب من خلال تقاطع مماس البيان $v = f(t)$ عند اللحظة $t = 0$ مع محور المستقيم المقارب في النظام الدائم .

- في النظام الدائم أين يكون $\frac{dv}{dt} = 0$ و تبلغ السرعة قيمتها الحدية v_ℓ يكون بالتعويض في المعادلة التفاضلية :

$$\frac{K}{m} v_\ell = \frac{m\, g - \rho_{air} V_{air} g}{m}$$

$$K v_\ell = m\, g - \rho_{air} V_{air} g$$

$$K v_\ell = \rho_S V_S\, g - \rho_{air} V_{air} g$$

حجم المائع (الهواء) المنزاح هو نفسه حجم الجملة S بمعنى $V_{air} = V_S$ ومنه يصبح :

$$K v_\ell = \rho_S V_S\, g - \rho_{air} V_S g$$

$$K v_\ell = V_S . g(\rho_S - \rho_{air})$$

$Kv_{\ell} = V_S.g(\rho_S - \rho_{air})$

$$\boxed{v_{\ell} = \frac{V_S.g}{K}(\rho_S - \rho_{air})}$$

▪ عند $f = kv^2$:

تتكون المعادلة من الشكل :

$$\boxed{\frac{dv}{dt} + \frac{K}{m}v = \frac{m\,g - \rho_{air}V_{air}g}{m}}$$

في النظام الدائم أين يكون $\frac{dv}{dt} = 0$ و تبلغ السرعة قيمتها الحدية v_{ℓ} يكون بالتعويض في المعادلة التفاضلية :

$$\frac{K}{m}v_{\ell}^2 = \frac{m\,g - \rho_{air}V_{air}g}{m}$$

$$Kv_{\ell}^2 = \rho_S V_S\,g - \rho_{air}V_{air}g$$

$$Kv_{\ell}^2 = \rho_S V_S\,g - \rho_{air}V_S g$$

$$Kv_{\ell}^2 = V_S.g(\rho_S - \rho_{air})$$

$$Kv_{\ell}^2 = V_S.g(\rho_S - \rho_{air})$$

$$\boxed{v_{\ell} = \sqrt{\frac{V_S.g}{K}(\rho_S - \rho_{air})}}$$

ملاحظة :

- إن السرعة الحدية تزداد بازدياد الكتلة الحجمية للجسم الصلب و الجدول التالي يحدد قيمة السرعة الحدية لبعض الحركات :

الجسم	السرعة الحدية v_{ℓ} m/s
مظلي في سقوط حر في وضعية شاقولية	85
مظلي (المظلة مفتوحة)	6.5
كرة تنس الطاولة	7
كرية فولاذية نصف قطرها 2cm	80
حجر نصف قطره 1cm	30
قطرة ماء	10

- تبين التجربة أن حركة السقوط في الهواء تبلغ مرحلة الإنتظام (ثبات السرعة) بعد مدة زمنية قدرها 5τ (5 مرات الزمن المميز).

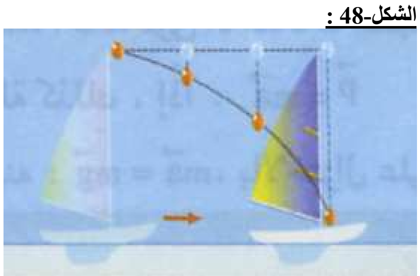
- نتائج هذه الدراسة مماثلة لنتائج الدراسة المحصل عليها في الظواهر الكهربائية (تطور التوتر الكهربائي في الدارة (R,C) و تطور شدة التيار الكهربائي في الدارة (R,L)) و في التحولات النووية (قانون التناقص في النشاط الإشعاعي(N(t)) : إنها تتطور كلها بشكل رتيب و تتميز عن بعضها بالطبيعة و بثابت الزمن τ.

د- تجربة نيوتن للسقوط الشاقولي لجسم صلب في الهواء بإهمال قوى الاحتكاك و دافعة أرخميدس :

- شكّل سقوط الأجسام موضوع تساؤل الكثير من العلماء منذ القدم ، خصوصا بعد مجئ العالم غاليلي الذي صرح بما يلي :

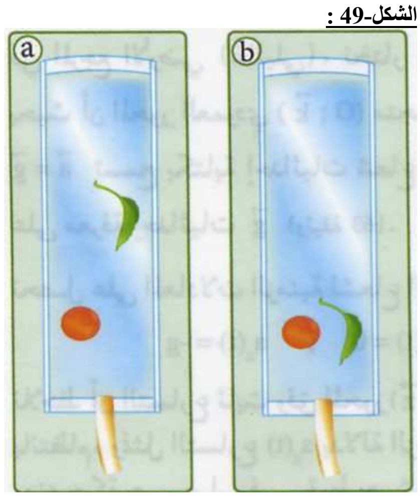
« ينبغي على الأجسام أن تكون لها نفس حركة السقوط , لكن يمكن لهذه الحركة أن تتغير مع طبيعة الوسط الذي يحدث فيه السقوط ».

الشكل-48 :



جاء نيوتن فيما بعد ليؤكد ما صرح به غاليلي بإنجاز بعض التجارب ، نذكر منها تجربة الأنبوب الشفاف و المفرغ من الهواء و الحاوي على كرية و ريشة في قعر الأنبوب (الشكل-49) .

الشكل-49 :

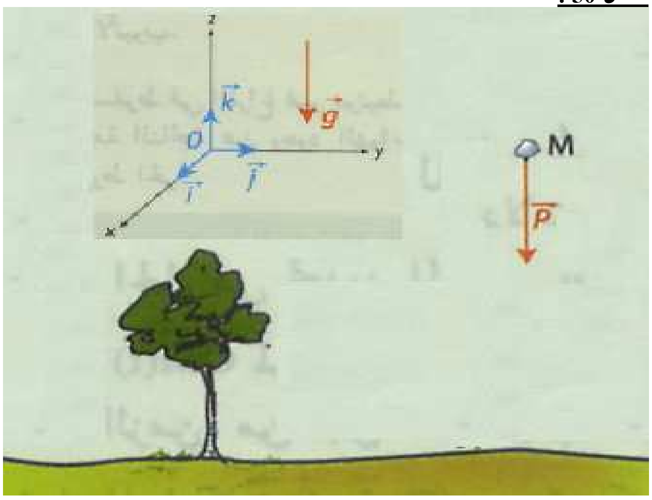


- يلاحظ من التجربة أن الريشة و الكرية رغم تباعدهما في الكتلة يصلان مع بعض إلى قعر الأنبوب ، في حين لا يتحقق ذلك إذا كان الأنبوب مملوء بالهواء . هذا يدل على أن السقوط الحر في الفراغ غير مرتبط بالكتلة و عليه كل الأجسام تسقط بالتسارع نفسه مهما كان حجمها و كتلتها .
- يصلح هذا التعبير أيضا للأقمار الإصطناعية في مدارها حول الأرض و للأجسام التي تنتقل من الأعلى إلى الأسفل و العكس (من الأسفل إلى الأعلى).

هـ- دراسة حركة السقوط الشاقولي لجسم صلب في الهواء بإهمال قوى الاحتكاك و دافعة أرخميدس :

- نعتبر جسم صلب في الهواء يتحرك شاقوليا تحت تأثير ثقله مع إهمال قوى الاحتكاك و دافعة أرخميدس .

الشكل-50 :



- باعتبار مبدأ الفواصل و الأزمنة عند موضع ترك الجسم و أن الجسم ترك بدون سرعة ابتدائية تكون الشروط الابتدائية كما يلي :

$$t = 0 \rightarrow \quad \vec{r} \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \\ z_0 = 0 \end{cases} \qquad t = 0 \rightarrow \quad \vec{v} \begin{cases} v_{x0} = 0 \\ v_{y0} = 0 \\ v_{z0} = 0 \end{cases}$$

كما يكون :

$$\vec{g} \begin{cases} g_x = 0 \\ g_y = 0 \\ g_{y0} = -g \end{cases}$$

دراسة طبيعة الحركة :

- الجملة المعتبرة : جسم صلب .
- مرجع الدراسة : سطحي أرضي نعتبره غاليليا خلال مدة السقوط .
- القوى الخارجية المؤثرة على الجملة : ثقل الجسم الصلب $\vec{P}$.
- بتطبيق القانون الثاني لنيوتن :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$$
$$\vec{P} = m\vec{a}$$
$$m\vec{g} = m\vec{a}$$
$$\vec{a} = \vec{g}$$

كون أن $\vec{g}$ بجوار الأرض ثابت (في المنحى و الجهة و الشدة) ، يكون $\vec{a}$ ثابت أيضا و عليه حركة جسم صلب في سقوط شاقولي هي مستقيمة متغيرة بانتظام.

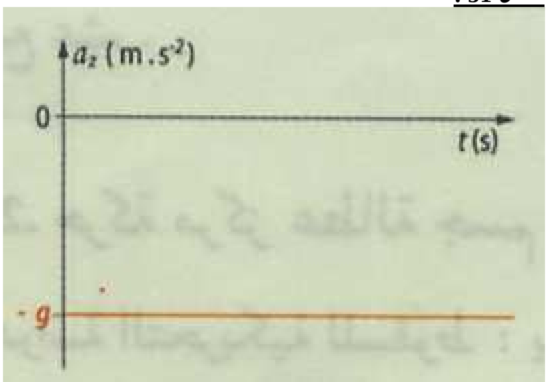
شعاع التسارع :

- بتحليل العبارة الشعاعية $\vec{a} = \vec{g}$ نجد :

$$\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = 0 \\ a_z = -g \end{cases} \rightarrow \vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = 0 \\ a_z = -g \end{cases}$$

- البيان $a_z(t)$ يكون عبارة عن مستقيم يوازي محور الأزمنة (الشكل-51) .

الشكل-51 :



شعاع السرعة اللحظية :

لدينا :

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = 0 \\ a_z = -g \end{cases}$$

نكامل الطرفين بالنسبة للزمن :

$$\vec{v} \begin{cases} v_x = C_1 \\ v_y = C_2 \\ v_z = -g\,t + C_3 \end{cases}$$

من الشروط الابتدائية :

$$t = 0 \rightarrow \vec{v} \begin{cases} v_x = 0 \\ v_y = 0 \\ v_z = 0 \end{cases}$$

بالتعويض في عبارة $\vec{v}$ نجد :

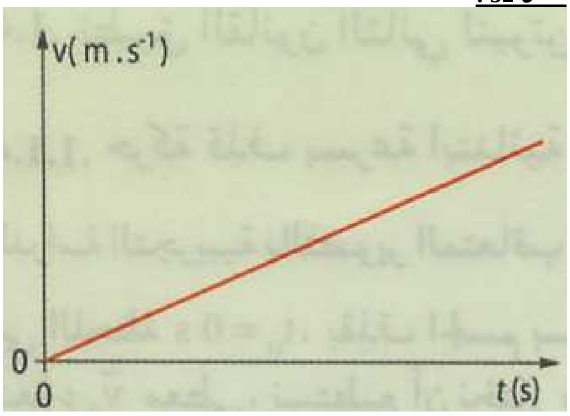
$$\begin{cases} 0 = C_1 \rightarrow C_1 = 0 \\ 0 = C_2 \rightarrow C_2 = 0 \\ 0 = -g\,(0) + C_3 \rightarrow C_3 = 0 \end{cases}$$

ومنه يصبح :

$$\vec{v}\begin{cases} v_x = 0 \\ v_y = 0 \\ v_z = -g\,t \end{cases}$$

- البيان $v_z(t)$ يكون عبارة عن مستقيم يمر من المبدأ معادلته من الشكل $v = a\,t$ (الشكل-52) .

الشكل-52 :



<u>شعاع الموضع :</u>

لدينا :

$$\vec{v}\begin{cases} v_x = 0 \\ v_y = 0 \\ v_z = -g\,t \end{cases}$$

نكامل الطرفين بالنسبة للزمن فنجد :

$$\vec{r}\begin{cases} x = C_1' \\ y = C_2' \\ z = -\dfrac{1}{2}g\,t^2 + C_3' \end{cases}$$

من الشروط الابتدائية :

$$t = 0 \;\rightarrow\; \vec{r}\begin{cases} x = 0 \\ y = 0 \\ z = 0 \end{cases}$$

بالتعويض في عبارة $\vec{r}$ نجد :

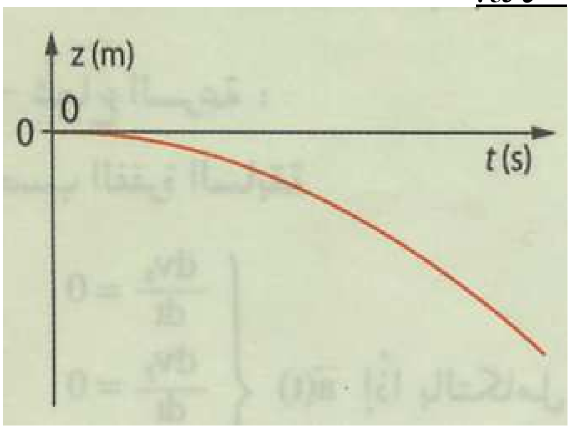
$$\begin{cases} 0 = C_1' \rightarrow C_1' = 0 \\ 0 = C_2' \rightarrow C_2' = 0 \\ 0 = -\dfrac{1}{2}g\,(0)^2 + C_3' \rightarrow C_3' = 0 \end{cases}$$

ومنه يصبح :

$$\vec{r}\begin{cases} x = 0 \\ y = 0 \\ z = -\dfrac{1}{2} g\, t^2 \end{cases}$$

- البيان $z(t)$ يكون عبارة عن خط منحني يمر من المبدأ (الشكل-53) .

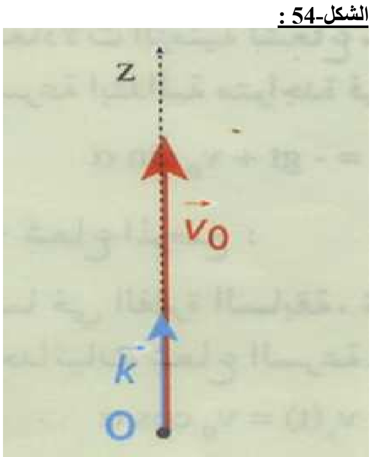
الشكل-53 :



* تعميم القذف الشاقولي :

في حالة القذف بسرعة ابتدائية شاقولية نحو الأعلى (أو نحو الأسفل). و عملا بالشروط الإبتدائية المختارة و بالإستدلال السابق نفسه، يمكن أن نحدد المعادلات الزمنية لشعاع الموضع و شعاع السرعة كما يلي :

الشكل-54 :



شعاع التسارع :

$$\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = 0 \\ a_z = -g \end{cases}$$

شعاع السرعة اللحظية :

$$\vec{v}\begin{cases} v_x = 0 \\ v_y = 0 \\ v_z = -g\,t \end{cases}$$

شعاع الموضع :

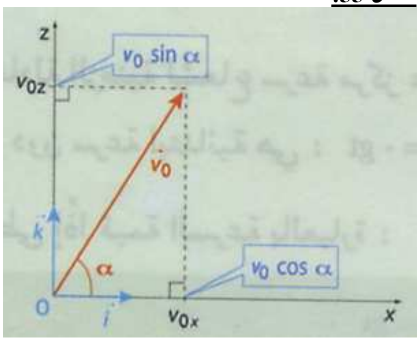
$$\begin{cases} x = 0 \\ y = 0 \\ z = -\frac{1}{2} g\,t^2 + v_0\,t \end{cases}$$

8- تطبيقات القانون الثاني لنيوتن :

أ- حركة قذف بسرعة ابتدائية غير شاقولية :

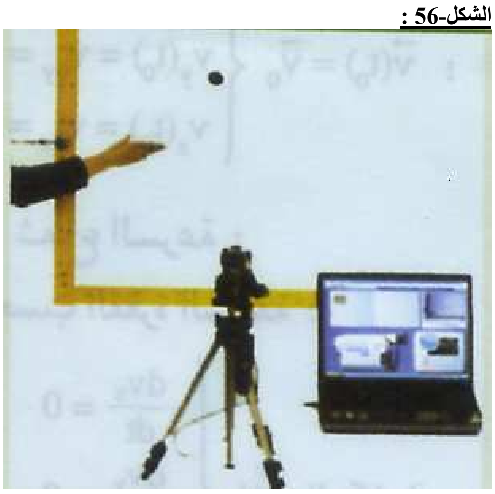
- نقذف من نقطة O عند اللحظة $t = 0$ جسم صلب بسرعة ابتدائية $\vec{v}_0$ يصنع شعاعها الزاوية α مع المحور (ox) .
- نختار معلما $(O , \vec{i} , \vec{j} , \vec{k})$ بحيث الشعاع $\vec{v}_0$ يتواجد في المستوي (xOz) .

الشكل-55:



- الدراسة التجريبية بالتصوير المتعاقب تبين أن الحركة منحنية (الشكل-56) .

الشكل-56 :



- باعتبار مبدأ الفواصل و الأزمنة عند موضع ترك الجسم و أن الجسم ترك بدون سرعة ابتدائية تكون الشروط الابتدائية كما يلي :

$$t = 0 \rightarrow \quad \vec{r} \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \\ z_0 = 0 \end{cases} \qquad t = 0 \rightarrow \quad \vec{v} \begin{cases} v_{x0} = v_0 \cos\alpha \\ v_{y0} = 0 \\ v_{z0} = v_0 \sin\alpha \end{cases}$$

كما يكون :

$$\vec{g} \begin{cases} g_x = 0 \\ g_y = 0 \\ g_{y0} = -g \end{cases}$$

دراسة طبيعة الحركة :

- الجملة المعتبرة : جسم صلب .
- مرجع الدراسة : سطحي أرضي نعتبره غاليليا خلال مدة السقوط .
- القوى الخارجية المؤثرة على الجملة : ثقل الجسم الصلب $\vec{P}$.
- بتطبيق القانون الثاني لنيوتن :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$$
$$\vec{P} = m\vec{a}$$
$$m\vec{g} = m\vec{a}$$
$$\vec{a} = \vec{g}$$

- بتحليل العبارة الشعاعية $\vec{a} = \vec{g}$ نجد :

$$\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = 0 \\ a_z = -g \end{cases}$$

- $a_x = 0$ و عليه مسقط حركة الجسم الصلب المقذوف على المحور ox هي حركة مستقيمة منتظمة .
- $a_z = -g$ (ثابت) و عليه مسقط حركة الجسم الصلب المقذوف على المحور oz هي حركة مستقيمة متغيرة بانتظام (متباطئة بانتظام) .

شعاع السرعة اللحظية :

لدينا :

$$\vec{r} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = 0 \\ a_z = -g \end{cases}$$

نكامل الطرفين بالنسبة للزمن فنجد :

$$\vec{v}\begin{cases} v_x = C_1 \\ v_y = C_2 \\ v_z = -\ g\,t + C_3 \end{cases}$$

من الشروط الابتدائية :

$$t = 0 \ \rightarrow \begin{cases} v_x = v_0\cos\alpha \\ a_y = 0 \\ a_z = v_0 \sin\alpha \end{cases}$$

بالتعويض في عبارة $\vec{v}$ نجد :

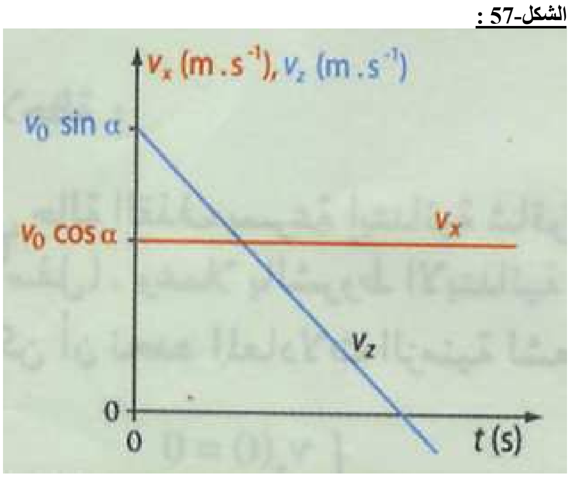
$$\vec{v}\begin{cases} v_0\cos\alpha = C_1 \rightarrow \ C_1 = v_0 \cos\alpha \\ 0 = C_2 \\ v_0\sin\alpha = -\ g\,(0) + C_3 \rightarrow \ C_3 = v_0\sin\alpha \end{cases}$$

بالتعويض في عبارة شعاع السرعة نجد :

$$\boxed{\vec{v}\begin{cases} v_x = v_0 \cos\alpha \\ v_y = 0 \\ v_z = -\ g\,t + v_0\sin\alpha \end{cases}}$$

- البيان $v_x(t)$ يكون عبارة عن مستقيم يوازي محور الأزمنة ، البيان $v_y(t)$ عبارة عن مستقيم معادلته من الشكل $v_z = a\,t + b$ (الشكل-12) .

الشكل-57 :



شعاع الموضع :

لدينا :

$$\vec{v}\begin{cases} v_x = v_0 \cos\alpha \\ v_y = 0 \\ v_z = -\ g\,t + v_0\sin\alpha \end{cases}$$

نكامل الطرفين بالنسبة للزمن فنجد :

$$\vec{r}\begin{cases} x = v_0\cos\alpha\, t + C_1' \\ v_y = C_2' \\ v_z = -\frac{1}{2}g\, t^2 + v_0\sin\alpha\, t + C_3' \end{cases}$$

من الشروط الابتدائية :

$$t = 0 \rightarrow \begin{cases} x = 0 \\ y = 0 \\ z = 0 \end{cases}$$

بالتعويض في عبارة $\vec{r}$ نجد :

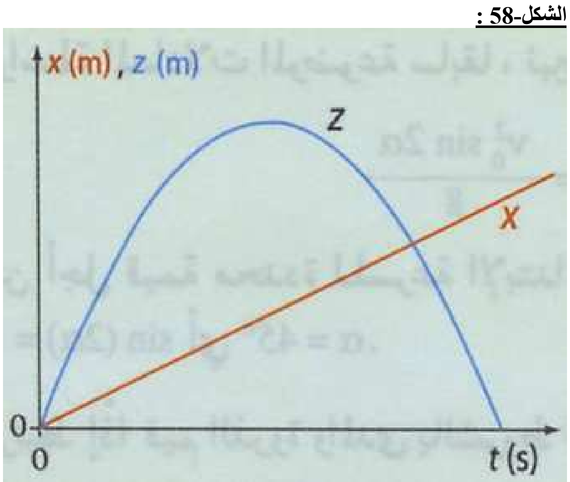
$$\vec{r}\begin{cases} 0 = v_0\cos\alpha\, t + C_1' \rightarrow C_1' = 0 \\ 0 = C_2' \rightarrow C_2' = 0 \\ 0 = -\frac{1}{2}g\,(0)^2 + v_0\sin\alpha\,(0) + C_3' \rightarrow C_3' = 0 \end{cases}$$

ومنه يصبح :

$$\boxed{\vec{r}\begin{cases} x = v_0\cos\alpha\, t \\ v_y = 0 \\ v_z = -\frac{1}{2}g\, t^2 + v_0\sin\alpha\, t \end{cases}}$$

- البيان $x(t)$ يكون عبارة عن مستقيم يمر من المبدأ ، البيان $z(t)$ عبارة عن خط منحني يمر من المبدأ .

الشكل-58 :



معادلة المسار :

- بما أن الحركة تقع في المستوي (xOz), علينا كتابة z بدلالة x بحذف t .

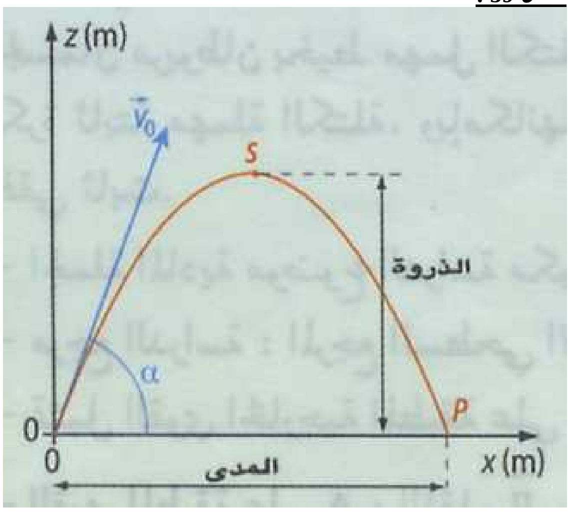
- من المعادلة $x(t)$ يكون : $t = \frac{x}{v_0 \cos\alpha}$ بالتعويض في المعادلة $y(t)$ نجد :

$$z = -\frac{1}{2} g \left(\frac{x}{v_0 \cos\alpha}\right)^2 + v_0 \sin\alpha \left(\frac{x}{v_0 \cos\alpha}\right)$$

$$\boxed{z = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha} x^2 + \tan\alpha \, x}$$

- معادلة المسار هي معادلة قطع مكافئ ، و عليه مسار مركز عطالة جسم مقذوف بسرعة ابتدائية في حقل الجاذبية الأرضية هو جزء من قطع مكافئ المكافئ في المستوي الشاقولي الذي يضم $\vec{v}_0$.

الشكل-59 :



▪ الذروة و المدى :

- الذروة هي أعظم ارتفاع يبلغه الجسم الصلب (النقطة S). و التي يكون عندها شعاع السرعة أفقيا أي أنه يتحقق :

$$\boxed{v_z = \frac{dz}{dt} = 0}$$

لدينا سابقا :

$v_z = -g\,t + v_0 \sin\alpha$

$t = t_S \rightarrow v_{zs} = 0$

بالتعوض نجد :

$0 = -g\,t_S + v_0 \sin\alpha$

$g\,t_S = v_0 \sin\alpha$

$$\boxed{t_S = \frac{v_0 \sin\alpha}{g}}$$

و هو الزمن اللازم لبلوغ الذروة . بالتعويض في المعادلة z(t) نجد :

$$z_S = -\frac{1}{2} g\, t_S^{\,2} + v_0 \sin\alpha\, t_S$$

$$z_S = -\frac{1}{2} g \frac{v_0^{\,2} \sin\alpha^2}{g^2} + v_0 \sin\alpha \frac{v_0 \sin\alpha}{g}$$

$$z_S = -\frac{v_0^{\,2} \sin\alpha^2}{2g} + \frac{v_0^{\,2} \sin\alpha^2}{g}$$

$$\boxed{z_S = \frac{v_0^{\,2} \sin\alpha^2}{2g}}$$

- المدى هو أقصى مسافة يقطعها الجسم الصلب ، أي المسافة بين نقطة القذف O و نقطة التصادم P على المستوي الأفقي الذي يضم O ، أي أنه يحقق :

$$\boxed{z = 0}$$

لدينا سابقا :

$$z = -\frac{g}{2v^2_0 \cos^2\alpha} x^2 + \tan\alpha\, x$$

$$x = x_P \rightarrow z = z_P = 0$$

بالتعويض في معادلة المسار نجد :

$$0 = -\frac{g}{2v^2_0 \cos^2\alpha} x_P^{\,2} + \tan\alpha\, x_P$$

$$\frac{g}{2v^2_0 \cos^2\alpha} x_P^{\,2} = \tan\alpha\, x_P$$

$$\frac{g}{2v^2_0 \cos^2\alpha} x_P = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$$

$$g\, x_P = 2\, v^2_0 \cos^2\alpha \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$$

$$g\, x_P = 2\, v^2_0 \cos\alpha \sin\alpha$$

$$g\, x_P = v^2_0 \,(\, 2 \cos\alpha \sin\alpha\,)$$

و حيث أن : $2 \cos\alpha \sin\alpha = \sin 2\alpha$ يكون :

$$g\, x_P = v^2_0 \sin 2\alpha$$

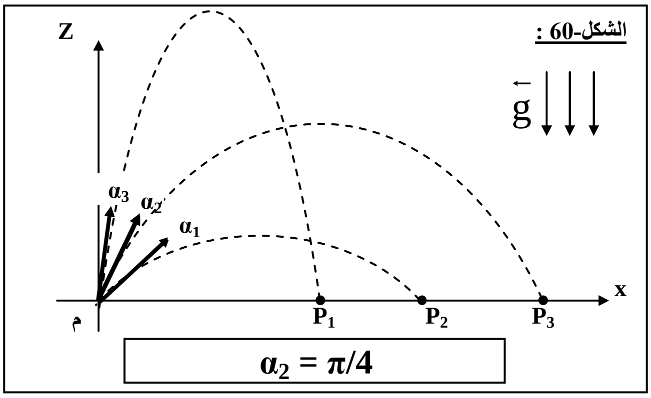
$$\boxed{x_P = \frac{v^2_0 \sin 2\alpha}{g}}$$

- من أجل قيمة محددة للسرعة الإبتدائية v_0 , يكون المدى أعظميا لما $\sin(2\alpha) = 1$ أي $\alpha = 45°$ (الشكل-3) .

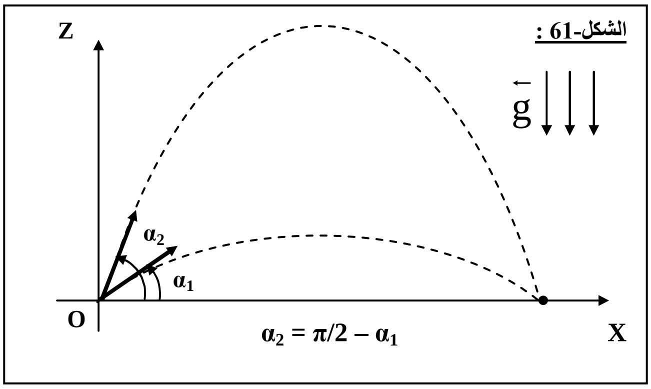
ترتبط إذًا قيم الذروة والمدى بالشروط الإبتدائية للحركة.

- نحصل على نفس المدى من أجل الزاويتين α ، $(\frac{\pi}{2} - \alpha)$ (الشكل-4) .

الشكل-60 :



الشكل-61 :

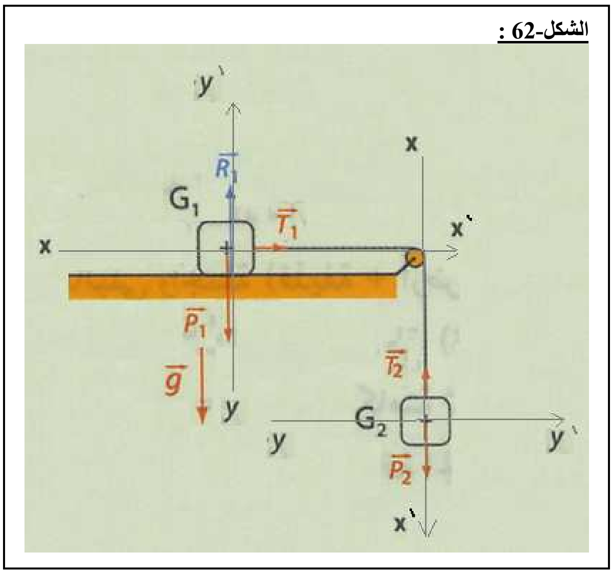


ب- الحركة على مستوي :

- يتحرك جسم (A) كتلته m_1 و مركز عطالته G_1 ابتداءا من السكون على مستوي أفقي بتأثير السقوط الشاقولي لجسم (B) كتلته m_2 و مركز عطالته G_2.

- الجسمان مربوطان بخيط مهمل الكتلة و غير قابل للإمتطاط ، و يمر على بكرة ثابتة مهملة الكتلة ، و بإمكانها الدوران دون احتكاك حول محور أفقي ثابت.

الشكل-62 :



دراسة طبيعة حركة الجملة :

• كون الخيط غير قابل للإمتطاط و مهمل الكتلة و كون البكرة مهملة الكتلة أيضا يكون للجسمين (A) ، (B) نفس السرعة و التسارع في كل لحظة كما يكون شدة التوتر نفسها في كل نقاط الخيط أي :

$a_1 = a_1 = a$
$T_1 = T_2 = T$

• الجملة المعتبرة : الجسم A .
• مرجع الدراسة : سطحي أرضي نعتبره غاليليا .
• القوى الخارجية المؤثرة على الجملة : الثقل $\vec{P}_1$, توتر الخيط $\vec{T}_1$, فعل المستوى $\vec{R}$.
• بتطبيق القانون الثاني لنيوتن :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$$
$$\vec{P} + \vec{R}_1 + \vec{T}_1 = m_1\vec{a}_1$$

بتحليل العلاقة الشعاعية بالنسبة للمعلم $(o, \vec{i}, \vec{j})$:

$$\begin{cases} P_x + R_x + T_{1x} = m_1\, a_x \\ P_y + R_y + T_{1y} = m_1\, a_y \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0 + 0 - T_1 = m_1\, a_{1x} \\ - P_1 + R + 0 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} T = m_1\, a \\ - P_1 + R = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} T = m_1\, a \text{ .... } (1) \\ - m_1\, g + R = 0 \text{ .... } (2) \end{cases}$$

• الجملة المعتبرة : الجسم B .
• مرجع الدراسة : سطحي أرضي نعتبره غاليليا .
• القوى الخارجية المؤثرة على الجملة : الثقل $\vec{P}_2$, توتر الخيط $\vec{T}_2$
• بتطبيق القانون الثاني لنيوتن :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$$
$$\vec{P}_2 + \vec{T}_2 = m_2\vec{a}_2$$

بتحليل العلاقة الشعاعية بالنسبة للمعلم $(o, \vec{i}, \vec{j})$:

$$\begin{cases} P_{2x} + T_{2x} = m_2\, a_{2x} \\ P_{2y} + T_{2y} = m_2\, a_{2y} \end{cases}$$

$$\begin{cases} P_2 - T_2 = m_2\, a_{2x} \\ 0 - 0 + 0 = 0 \end{cases}$$

$$m_2\, g - T = m_2\, a \text{ .... } (3)$$

بجمع العلاقتين (1) ، (3) طرف إلى طرف نجد :

$$T + m_2\, g - T = m_1\, a + m_2\, a$$

$m_2 g = (m_1 + m_2) a$

$$\boxed{a = \frac{m_2 g}{m_1 + m_2}}$$

و عليه فإن كلا من تسارع مركز عطالة الجسم (A) و مركز عطالة الجسم (B) ثابت خلال الزمن ، إذن مركزي عطالة الجسمين (A) ، (B) لهما حركة مستقيمة متسارعة بانتظام.

توتر الخيط :

من العلاقة (1) يكون :

$$T = m_1 a = m_1 \frac{m_2 g}{m_1 + m_2}$$

$$\boxed{T = \frac{m_1 m_2 g}{m_1 + m_2}}$$

أو من العلاقة (3) :

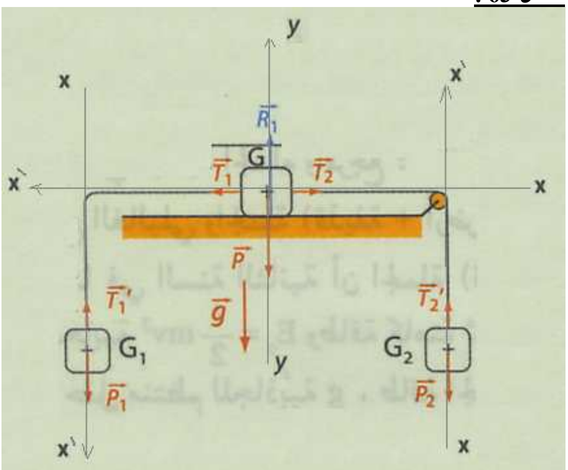
$m_2 g - T = m_2 a$
$m_2 g + m_2 a = T$
$T = m_2 g + m_2 a$

$$\boxed{T = m_2 (g + a)}$$

و كل من العلاقتين يؤدي إلى نفس النتيجة .

ملاحظة :

الشكل-63 :



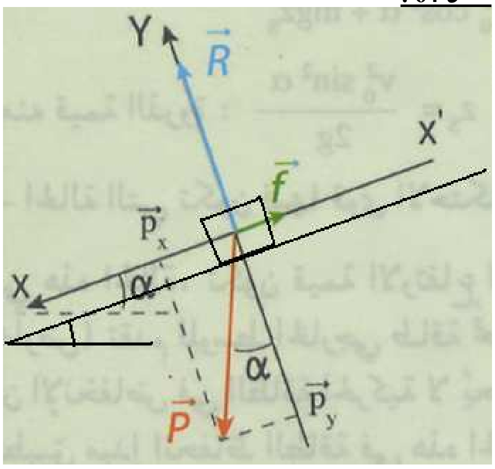
في حالة احتواء الجملة على 3 أجسام كما في الشكل السابق نستعمل نفس الطريقة لتحديد عبارة التسارع حيث نجد :

$$\boxed{a = \frac{m_2 - m_1}{m + m_1 + m_2} g}$$

جـ- حركة مركز عطالة جسم صلب على مستوي مائل:

- يتحرك جسم صلب كتلته m و مركز عطالته G ابتداءا من السكون على طول خط الميل الأعظم لمستوي مائل يصنع مع الأفق زاوية α. نفرض أن قوى الإحتكاك تكافئ قوة ثابتة $\vec{f}$ توازي المستوي و تعاكس جهة الحركة.

الشكل-64 :



دراسة طبيعة الحركة :

- الجملة المعتبرة : الجسم A .
- مرجع الدراسة : سطحي أرضي نعتبره غاليليا .
- القوى الخارجية المؤثرة على الجملة : الثقل $\vec{P}$, فعل المستوى على الجسم (A) : $\vec{R}$ ، $\vec{f}$.
- بتطبيق القانون الثاني لنيوتن :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$$
$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{f} = m\,\vec{a}$$

بتحليل العلاقة الشعاعية بالنسبة للمعلم $(o,\vec{i},\vec{j})$:

$$\begin{cases} P_x + R_x + T_{1x} = m_1\, a_x \\ P_y + R_y + T_{1y} = m_1\, a_y \end{cases}$$

$$\begin{cases} P\sin\alpha + 0 - f = m\,a \\ -P\cos\alpha + R + 0 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} m\,g\sin\alpha - f = m\,a \quad \text{........ (1)} \\ -m\,g\cos\alpha + R = 0 \quad \text{........ (2)} \end{cases}$$

من العلاقة (1) يكون :

$$a = \frac{m\,g\sin\alpha - f}{m}$$

$$\boxed{a = g\sin\alpha - \frac{f}{m}}$$

ملاحظة :

في غياب الإحتكاكات $(f = 0)$, تكون عبارة التسارع كما يلي :

$$\boxed{a = g\sin\alpha}$$

9- تطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة :

أ- تذكير بأهم المفاهيم في العمل و الطاقة :

• مفهوم عمل القوة :

- نقول عن قوة أنها قامت بعمل إذا انتقلت نقطة تطبيقها من موضع إلى موضع آخر .

- عمل قوة $\vec{F}$ أثناء انتقال من موضع A إلى موضع B الذي يرمز له بـ $W_{AB}(\vec{F})$ وو حدته الجول هو مقدار جبري يكون موجب إذا كانت القوة $\vec{F}$ في جهة الحركة و يقال عنه **عمل محرك** بينما يكون سالبا إذا كانت القوة $\vec{F}$ معاكسة لجهة الحركة و يقال عنه في هذه الحالة **عمل مقاوم** .

• عمل قوة ثابتة في حالة حركة انسحابية مستقيمة :

- عمل قوة $\vec{F}$ ثابتة عندما تنتقل نقطة تطبيقها وفق مسار مستقيم AB هو الجداء السلمي بين شعاع القوة $\vec{F}$ و شعاع الإنتقال $\overrightarrow{AB}$ أي :

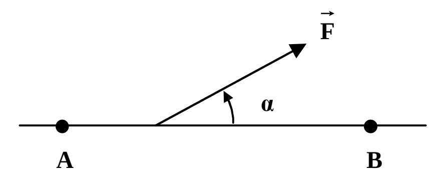
$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} . \overrightarrow{AB}$$

و هذا العلاقة تكافئ العلاقة التالية :

$$W_{AB}(\vec{F}) = F\ AB \cos\alpha$$

حيث α هي الزاوية التي يصنعها الشعاع $\overrightarrow{AB}$ مع شعاع القوة $\vec{F}$ (الشكل-4) ، F شدة القوة $\vec{F}$

الشكل-65 :

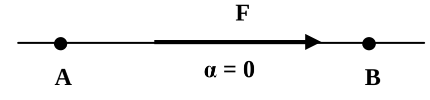


- تقدر المسافة AB بالمتر (m) و شدة القوة $\vec{F}$ بالنيوتن (N) و العمل W بالجول (J) .

حالات خاصة :

* القوة $\vec{F}$ أفقية في جهة الحركة(الشكل-66) :

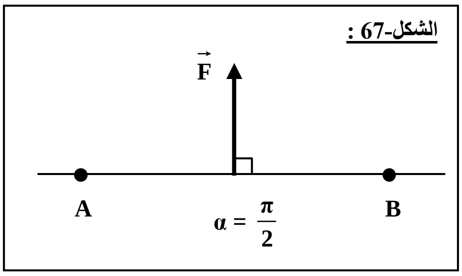
الشكل-66 :



- في هذه الحالة يكون : $\alpha = 0 \rightarrow \cos\alpha = 1$. ومنه تصبح عبارة العمل كما يلي :

$$W_{AB}(\vec{F}) = F\ AB$$

* القوة $\vec{F}$ عمودية على محور الحركة (الشكل-67) :

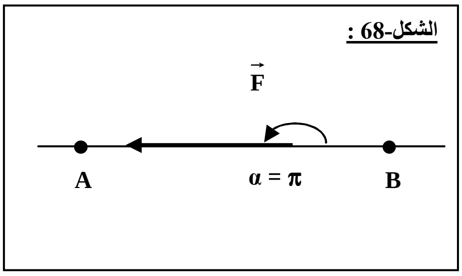


- في هذه الحالة يكون : $\alpha = \frac{\pi}{2} \rightarrow \cos\alpha = 0$. ومنه تصبح عبارة العمل كما يلي :

$$\boxed{W_{AB}(\vec{F}) = 0}$$

- نقول عن القوة في هذه الحالة أنها لا تعمل .

* القوة $\vec{F}$ أفقية و معاكسة لجهة الحركة (الشكل-68) :

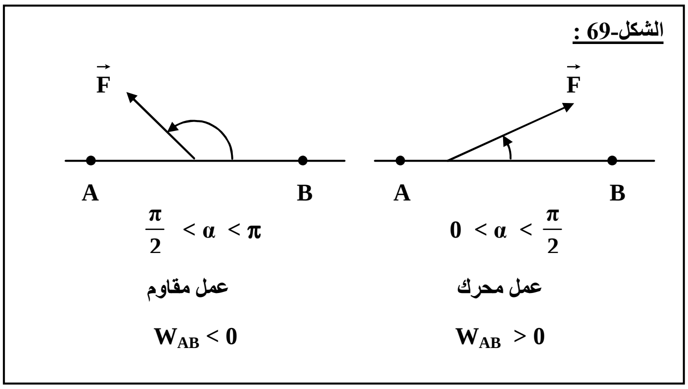


- في هذه الحالة يكون : $\alpha = \pi \rightarrow \cos\alpha = -1$.
ومنه تصبح عبارة العمل كما يلي :

$$\boxed{W_{AB}(\vec{F}) = -\ F\ AB}$$

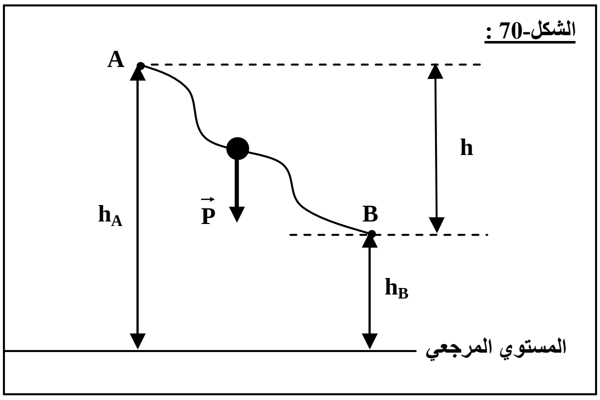
ملاحظة :

- إذا كانت القوة المطبقة على متحرك في اتجاه الحركة ، أي $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$ تكون إشارة عمل هذه القوة موجبة $W > 0$، و نقول عن العمل هذه الحالة أنه **محرك** .
- إذا كانت القوة المطبقة على متحرك في الإتجاه المعاكس للحركة ، أي $\frac{\pi}{2} < \alpha < \pi$ تكون إشارة عمل هذه القوة سالبة $W < 0$، و نقول عن العمل هذه الحالة أنه **مقاوم** .



• عمل الثقل :

- عمل الثقل لا يتعلق بالطريق المتبع من طرف المتحرك بل يتعلق فقط بقوة الثقل و التغير في الارتفاع h بين الموضع الإبتدائي و الموضع النهائي .



- عمل قوة الثقل لجسم صلب كتلته m أثناء الإنتقال من الموضع A الموافق للارتفاع h_A بالنسبة لمستوي مرجعي إلى الموضع B الموافق للارتفاع h_B بالنسبة لنفس المستوي المرجعي يعطى بالعبارة التالية :

$$\boxed{W_{AB}(\vec{P}) = m\,g\,(h_A - h_B)}$$

- يمكن كتابة هذه العبارة إذا كانت حركة الجسم نحو الأسفل (عمل محرك) كما يلي :

$$\boxed{W_{AB}(\vec{P}) = m\,g\,h}$$

حيث h هو الفرق في الإرتفاع بين الموضع A و الموضع B .

- أما إذا كانت حركة الجسم نحو الأعلى (عمل مقاوم) فإنه يمكن كتابة عبارة العمل كما يلي :

$$\boxed{W_{AB}(\vec{P}) = -\,m\,g\,h}$$

• <u>الطاقة الحركية :</u>

- عندما ينسحب جسم ذي كتلة M بسرعة v فإن طاقته الحركية Ec مقدرة بالجول عند كل لحظة تعطى بالعبارة التالية :

$$\boxed{Ec = \frac{1}{2}mv^2}$$

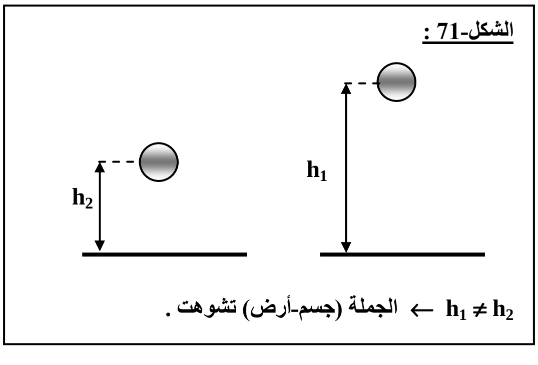
• <u>الجملة القابلة للتشوه و الطاقة الكامنة الثقالية :</u>

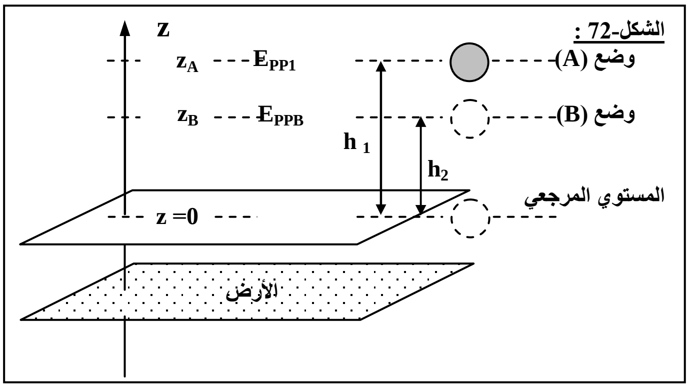
- نقول عن جملة أنها قابلة للتشوه ، إذا تغيرت المسافة بين مختلف أجزائها و مختلف النقاط المادية المكونة لها .

- عنما تتشوه جملة ميكانيكية تملك نتيجة ذلك طاقة تسمى **طاقة كامنة ثقالية .**

- عندما يكون جسم صلب على ارتفاع معين من سطح الأرض تكون الجملة (جسم-أرض) مشوهة و بالتالي تملك الجملة (جسم -أرض) في هذه الحالة طاقة كامنة تدعى **طاقة كامنة ثقالية .**(الشكل-71) .

- في الحقيقة الطاقة الكامنة لجملة مادية هي مقدار موجب ، لكننا نتعامل





الشكل-72 :

مع الطاقة الكامنة كمقدار جبري ، وذلك عند قياسها بالنسبة لمرجع نعتبر عنده الطاقة الكامنة معدومة . علما أن التغير في الطاقة الكامنة لا يتغير بتغير المرجع .
- الطاقة الكامنة الثقالية للجملة (جسم- أرض) ، في وضع يكون فيه الجسم على بعد z (الفاصلة على المحور oz) من الوضع المرجعي تعطى بالعبارة التالية :

$$\boxed{E_{PP} = m\,g\,z}$$

حيث : m ← كتلة الجسم .
z ← هو بعد الجسم عن المستوي المرجعي لحساب الطاقة الكامنة ، أو هي الفاصلة الشاقولية لمركز الجسم على المحور (oz) الموجه نحو الأعلى ، و مبدأه عند المستوي المرجعي .

• مبدأ انحفاظ الطاقة :

نص مبدأ انحفاظ الطاقة :

الطاقة لا تستحدث و لا تزول ، إذا اكتسبت جملة ما طاقة أو فقدتها ، فإن هذه الطاقة تكون بالضرورة قد أخذتها من جملة (أو جمل) أخرى قدمتها لها .

معادلة انحفاظ الطاقة :

- عندما تنتقل جملة معينة من الحالة (1) في اللحظة t_1 إلى الحالة (2) في اللحظة t_2 يمكن لطاقتها أن تتغير ، يكون هذا التغير ناتج عن تحويلات طاقوية مع الوسط الخارجي .
- اعتمادا على مبدأ انحفاظ الطاقة تكتب معادلة انحفاظ الطاقة على النحو التالي :

الطاقة الإبتدائية للجملة + الطاقة المكتسبة– الطاقة المقدمة = الطاقة النهائية للجملة

و نكتب :

$$\boxed{E_1 + E_{\text{مكتسبة}} - E_{\text{مقدمة}} = E_2}$$

ملاحظات :

- الطاقة المستقبلة هي الطاقة التي تستقبلها الجملة خلال التحويل .
- الطاقة المقدمة هي الطاقة التي تفقدها الجملة خلال التحويل .
- في حالة التحويل الميكانيكي يساوي المجموع الجبري للطاقات المقدمة و المكتسبة لمجموع أعمال القوى الخارجية التي تخضع لها الجملة و بالتالي يمكن كتابة معادلة إنحفاظ الطاقة في حالة الجملة الميكانيكية كما يلي :

$$\boxed{E_1 + \sum W(\vec{F}_{ext}) = E_2}$$

- اعتمادا على القوى الخارجية المؤثرة على الجملة الميكانيكية يمكن أيضا تمثيل الحصلية الطاقوية ، حيث يوافق عمل قوة خارجية في جهة الحركة طاقة مكتسبة و عمل قوة خارجية في جهة الحركة طاقة مقدمة .

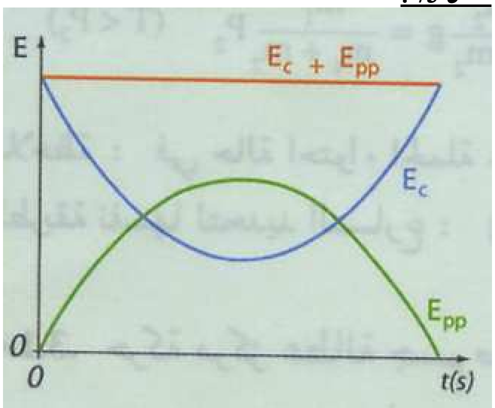
ب- طاقة قذيفة :

- طاقة الجملة (قذيفة + أرض) في مرجع سطحي أرضي نعتبره غاليليا تتضمن طاقة حركية انسحابية $E_c=\frac{1}{2}mv^2$ و طاقة كامنة ثقالية $E_{PP}=mgz$ ، ففي حقل منتظم للجاذبية g , طاقة الجملة (قذيفة + أرض) هي :

$$\boxed{E=\frac{1}{2}mv^2+mgz}$$

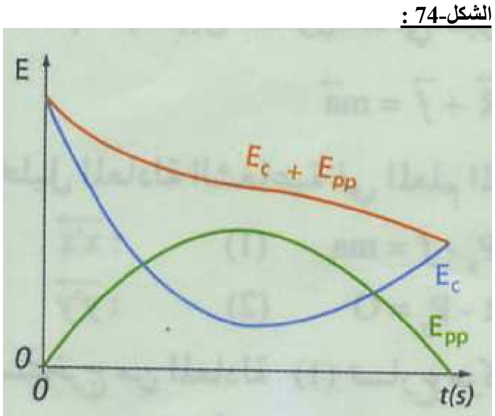
- الدراسة التجريبية لتطور كل من الطاقة الحركية E_C و الطاقة الكامنة E_P و كذا الطاقة الكلية $E=E_C+E_P$ للجملة (قذيفة + أرض) في الحالة التي تكون فيها قوى الإحتكاك مهملة أعطت البيانات الموضحة في (الشكل-73)

الشكل-73 :



- الدراسة التجريبية لتطور كل من الطاقة الحركية E_C و الطاقة الكامنة E_P و كذا الطاقة الكلية $E=E_C+E_P$ للجملة (قذيفة + أرض) في الحالة التي تكون فيها قوى الإحتكاك مهملة أعطت البيانات الموضحة في (الشكل-74)

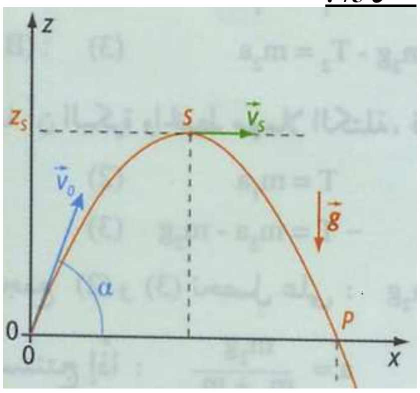
الشكل-74 :



د- تحديد ذروة مسار قذيفة بتطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة :

- نقذف جسم صلب (قذيفة) كتلته m نحو الأعلى من سطح الأرض بسرعة ابتدائية $\vec{v}_0$ و بزاوية α بالنسبة للأفق.
- الجملة المعتبرة : (قذيفة + أرض)
- مرجع الدراسة : سطحي أرض نعتبره غاليلي .
- باهمال الاحتكاك مع الهواء و دافعة أرخميدس ، لا يخضع الجسم المقذوف إلى قوى خارجية فالجملة (جسم + أرض) جملة معزولة و عليه تكون طاقتها محفوظة .

الشكل-75 :



- باعتبار المستوي المرجعي لحساب الطاقة الكامنة هو منطبق على المستوي المار من نقطة القذف و أن z = 0 كذلك عن نقطة القذف ، تكون طاقة الجملة عند الوضعية الإبتدائية (لحظة القذف) .
- بتطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة بين موضع القذف و موضع بلوغ الذروة :

$$E_O + \underbrace{E_{\text{مكتسبة}} - E_{\text{مقدمة}}}_{0} = E_S$$

$$E_{CO} + E_{PPO} = E_{CS} + E_{PPS}$$

• $E_{CO} = \dfrac{1}{2} m\, v_0^2$

• $E_{PPO} = 0 \quad (z_0 = 0)$

• $W_{O\text{-}S}(\vec{P}) = m\, g\, z_S$

• $E_{CS} = \dfrac{1}{2} m v_S^2$

• $E_{PPS} = m\, g\, z_S$

بالتعويض في معادلة انحفاظ الطاقة نجد :

$$\frac{1}{2} m\, v_0^2 = m\, g\, z_S + \frac{1}{2} m\, v_S^2$$

سرعة القذيفة عند بلوغ الذروة يعبر عنها بالعلاقة :

$$v_S = \sqrt{v_{xS}^2 + v_{yS}^2}$$

لدينا سابقا :

$$v_{xS} = v_{0x} = v_0 \cos\alpha$$
$$v_{yS} = 0$$

و عليه يكون :

$$v_S = \sqrt{(v_0 \cos\alpha)^2 + 0} = v_0 \cos\alpha$$

بالتعويض في عبارة الطاقة نجد :

$$\frac{1}{2} m\, v_0^2 = m\, g\, z_S + \frac{1}{2} m\, (v_0 \cos\alpha)^2$$

$$\frac{1}{2}m\,v_0^2 = m\,g\,z_S + \frac{1}{2}m\,v_0^2\cos\alpha^2$$

و حيث أن $(\cos\alpha^2 = 1 - \sin\alpha^2)$ يصبح :

$$\frac{1}{2}m\,v_0^2 = m\,g\,z_S + \frac{1}{2}m\,v_0^2\,(1 - \sin\alpha^2)$$

$$\frac{1}{2}m\,v_0^2 = m\,g\,z_S + \frac{1}{2}m\,v_0^2 - \frac{1}{2}m\,v_0^2\sin\alpha^2$$

$$m\,g\,z_S - \frac{1}{2}m\,v_0^2\sin\alpha^2 = 0$$

$$m\,g\,z_S = \frac{1}{2}m\,v_0^2\sin\alpha^2$$

$$g\,z_S = \frac{1}{2}\,v_0^2\sin\alpha^2$$

$$\boxed{z_S = \frac{v_0^2\sin\alpha^2}{2g}}$$

10– حدود ميكانيك نيوتن :

- إن ميكانيك نيوتن عاجز على تفسير النظام المجهري الشبيه باالنظام الشمسي (ذرة – نواة) .
- عندما ينتهي ميكانيك نيوتن عند حدود معينة يظهر الميكانيك النسبي و ميكانيك الكم .
- عندما يتبدد الضوء الأبيض بواسطة موشور مثلا نتحصل على جملة تتكون من عدد لا متناهي من الإشعاعات نقول عنها وحيدة اللون ، ومنها إشعاعات مرئية (ترى بالعين) و إشعاعات غير مرئية .
- إضافة إلى كل إشعاع مرئي يتميز بلون ، يتميز أيضا بمقدار فيزيائي يدعى طول الموجة يرمز له بـ λ وحدته المتر

أ- فرضية بلاك - أنشتاين :

- بين العالم بلاك عام 1900 إن الطاقة المحمولة على الموجات الضوئية تكون بشكل (كمات) منفصلة . و فسر انشتاين في عام 1905 إن هذه الكمات من الطاقة تكون محمولة من طرف جسيمات دقيقة سماها الفوتونات و هذا يقودنا إلى فرضية (بلانك-أنشتاين) التالية :

" إن الضوء ذو طبيعة (جسيمية – موجية) فالضوء وحيد اللون يتكون من حبيبات ديقية تدعى الفوتونات ، و الفوتون الواحد يحمل طاقة قدرها :

$$\boxed{E = h\,.\,\nu = \frac{h\,.\,C}{\lambda}}$$

h : ثابت بلانك حيث يساوي $h = 6.62\;.\;10^{-34}$ J.s .

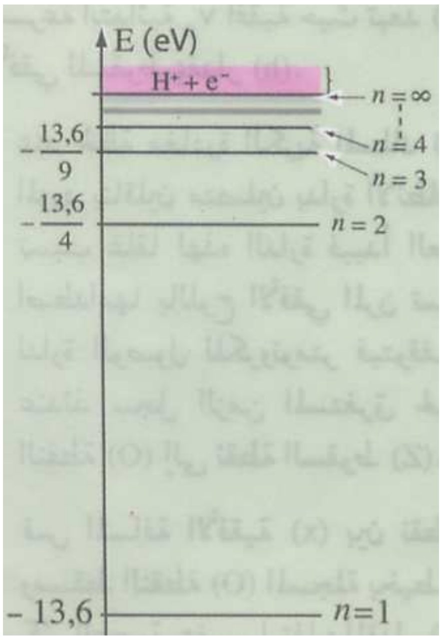
ν : تواتر الإشعاع و يقدر بالهرتز (Hz) .

λ : طول الموجة و يقدر بالمتر .

- طول موجة و تواتر الفوتون هو نفسه طول موجة و تواتر الإشعاع الحاوي هذا الفوتون .

ب- فرضية بور – سويات الطاقة :

- بعد دراسات معمقة لأطياف الإنبعاث من طرف العالم نيلز بوهر ، وضع سنة 1913 المسلمات التالية :



- إن طاقة الذرة لا تأخذ إلا بعض القيم لذا يقال عنها **مكممة** و تسمى حالات الذرة الموافقة لهذه القيم المميزة من الطاقة ، **سويات الطاقة** .
- إن انتقال الإلكترون من سوية طاقة لأخرى يصاحبه امتصاص أو فقدان طاقة على شكل إشعاعات ضوئية وحيدة اللون أي على شكل فوتون و طاقة هذا الفوتون مساوية للفرق بين طاقتي السويتين أي :

$$\boxed{E = E_2 - E_1 = h\,\nu}$$

- من خلال هذه المسلمات يتبين لنا أن الذرة تكون في حالتها الرئيسية من أجل طاقة أقل و عند امتصاص طاقة خارجية تتحول إلى سويات طاقة أعلى ، نقول عندها أن الذرة تحولت إلى حالة مثارة .
- يعطي الشكل المقابل سويات طاقة ذرة الهيدروجين .

** الأستاذ : فرقاني فارس **
ثانوية مولود قاسم نايت بلقاسم
الخروب - قسنطينة
Fares_Fergani@yahoo.Fr
Tel : 0771998109

نرجو إبلاغنا عن طريق البريد الإلكتروني بأي خلل في الدروس أو التمارين و حلولها . وشكرا مسبقا

لتحميل نسخة من هذا الدرس و للمزيد . أدخل موقع الأستاذ :

sites.google.com/site/faresfergani