سلسلة دروس و تمارين مقترحة – ثالثة ثانوي – 2010/2009

إعداد الأستاذ : فرقاني فارس

عرض نظري

05

التطورات الرتيبة

تطور جملة ميكانيكية

Tel : 0771 998109
fares_fergani@yahoo.Fr

****

1 – دراسة توثيقية حول تاريخ 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 .

* نظام أرسطو (384 – 322 ق م) :
ينقسم نظام أرسطو إلى عالم تحت قمري ، و عالم فلكي مثالي ، أي عالم الأجرام ، خاضع إلى قوانين مختلفة تماما عن القوانين الأرضية ، اعتمد في تفسيره للحركات على النظام الجيومركزي الذي يعبر فيه أن الأرض هي المركز الهندسي للكون . كان وصفه مبنيا أساسا على الحدس ، عكس ما هو في العلم الحديث و هذا ما أعطاه قوة الديمومة .

* نموذج بطليموس (140 م) :
الوصف الدقيق و الكمي لحركة الأجرام ، الذي قام به العالم بطليموس المدون في كتابه المجستي (almageste) المشهور أعطى دعما لنظام أرسطو . اقترح هذا الأخير نظاما لحركة الأجرام مبنيا على فلك التدوير ، الدائرة الصغيرة التي يرسمها الجرم حول نفسه و هو يدور حول الأرض في الدائرة الكبيرة .

* كوبرنك (1473 – 1543 م)
أثار نظام بطليموس عدة إشكاليات ، و بقيت تساؤلات كثيرة مطروحة حول حركة الكواكب (مثل : لماذا لا يلاحظ عطارد و الزهرة إلا في بداية و نهاية الليل ، بينما يلاحظ طوال الليل كل من المريخ ، زحل و المشتري) . كل هذا دفع بكوبرنيك إلى البحث على نظام آخر يسمح بشرح حركة الكواكب ، و ضع عندها فرضية النظام الهيليومركزي .

* كبلر (1571 – 1630)
عملا بالنظام الهيليومركزي و بمساعدة تيكوبراهي ، حاول كبلر تحديد مسارات الكواكب بدقة ، لم يتقبل ظاهرة انحراف الكواكب عن الدائرة المثالية التي كان يجدها في حساباته الرياضية و أصبح يشكك في فكرة الحركة الدائرة المنتظمة ، و بفعل اتقانه و دقته ، نشر سنة 1609 قانونين هما :
- ترسم الكواكب مدارات إهليليجية لا دائرية .

- سرعتها ليست ثابتة .
عوض كبلر 48 دائرة متداخلة لكوبرنك بسبعة إهليلجات بسيطة (كل واحدة خاصة بكوكب) . وضع بعدها قانونه الثالث : مربع دور حركة الكواكب و مكعب المسافة بين الشمس ثابتة عند كل كواكب النظام الشمسي . كان لهذه القوانين الثلاثة دور أساسي في تطور الميكانيك .

* غاليلي (1564 – 1642 م)
كان غاليلي من أتباع نظام كوبرنيك ، كانت له شكوك حول المدارات الإهليليجية لكبلر ، صنع منظارا بعدستين فتمكن من اكتشاف الأقمار الرئيسية للمشتري و مشاهدة النجوم ، و بمراقبة أطوار كوكب الزهراء قدم غاليلي ، سنة 1632 بنشر أشهر كتاب له (الحوار حول أكبر النظامين المسيرين للعالم) .
درس غاليلي ميكانيكية و ديناميكية الأجسام في حالة الحركة و خاصة منها حركة القذائف و شرحه للسقوط الحر ، و بين أن التسارع ثابت في حقل الجاذبية الأرضية ، فوضع قانون العطالة . كما أنه فتح النقاش حول النسبية في الحركة .

* نيوتن (1642 – 1727 م)
اعتمادا على أفكار كربرنيك ، ملاحظات تيكوبراهي ، القوانين التجريبية لكبلر و قوانين الحركة لغاليلي ، طرح نيوتن نظرية على الحركات ، لقد استطاع ربط القوى المطبقة على جسم بتسارعه ، كان نيوتن السباق في فهم أن التفاحة التي تسقط من شجرة و القمر الذي يدور حول الأرض يخضعان لنفس القانون فقدم قانون التجاذب الكوني ، يفترض هذا القانون تزامن الفعلين المتبادلين ، فاستطاع نيوتن التوحيد بين الميكانيك الأرضية و الفلكية هي إذا تطبيق ميكانيك نيوتن على المبدأ الأساسي للتحريك و نتائجة المتمثلة في القوانين الثلاثة لنيوتن .

2– بعض المفاهيم الأساسية :

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

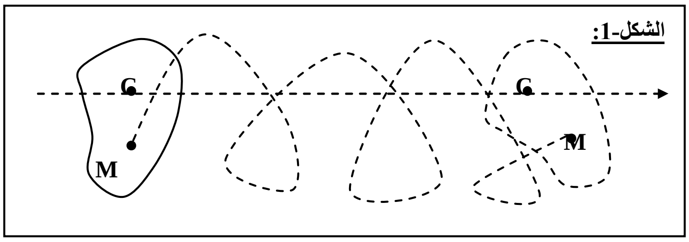
* القوى الداخلية و الخارجية :
- نقول عن قوة أنها داخلية إذا كانت ناتجة عن تأثير جسم من جملة ميكانيكية على جسم آخر من نفس الجملة الميكانيكية .
- نقول عن قوة أنها خارجية إذا كانت ناتجة عن :
- تأثير جسم من جملة ميكانيكية على جسم آخر من خارج الجملة الميكانيكية أو من جملة ميكانيكية أخرى .
- تأثير جسم من خارج جملة ميكانيكية على جسم آخر من داخل الجملة الميكانيكية .
- تأثير جسم خارج الجملة الميكانيكية على جسم أخر خارج الجملة الميكانيكية كذلك.

* 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 .

* 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 (C) وحيدة من هذا الجسم حركتها مستقيمة منتظمة ، ندعوها بمركز عطالة **الجسم الصلب**.

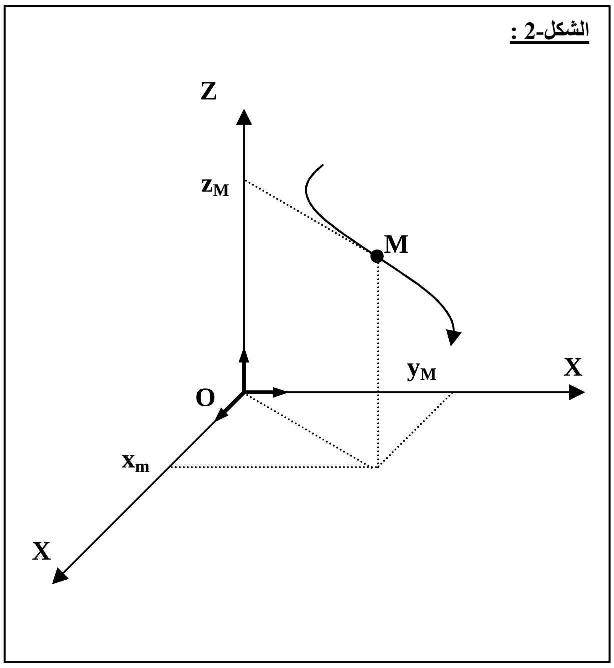


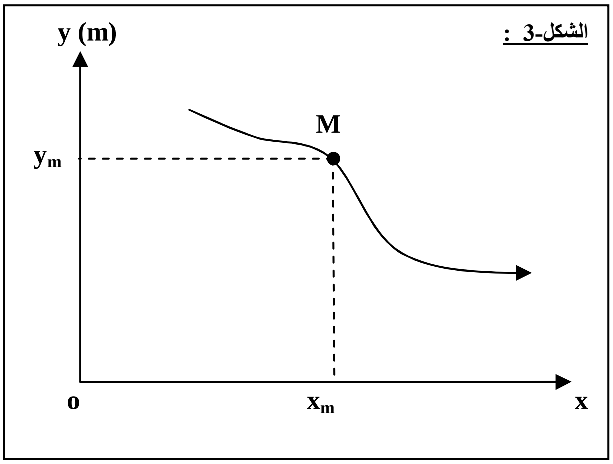
* تحديد مركز عطالة جملة :

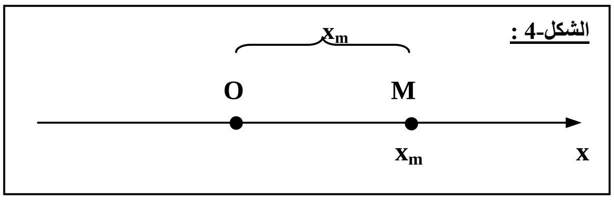
- في الميكانيك النيوتني، ينطبق مركز العطالة C دائما على مركز الكتلة G الذي يمثل مركز الأبعاد المتناسبة لمجموعة النقاط المادية (M_1 , M_2 , ... M_n) للجملة فهو يحقق العلاقة الشعاعية التالية :

$$\boxed{\overrightarrow{OG}\,\Sigma\, m_i = m_1\overrightarrow{OM}_1 + m\,\overrightarrow{OM}_2 + ... + m\,\overrightarrow{OM}_2}$$

* المرجع و المعلم :





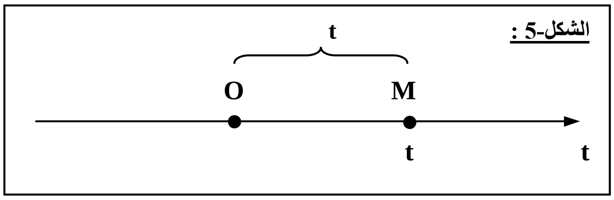


- لا يمكن دراسة جملة مادية دون تحديد مرجع لذلك .
- إن المرجع جسم صلب يرتبط دوما بمعلمين :

▪ 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 , $\vec{i}$) .

▪ 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.



* المراجع الغاليلية (المراجع العطالية) :

- 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

* أمثلة عن المراجع الغاليلية :

▪ المرجع الهيليو مركزي (كوبرنيك) :

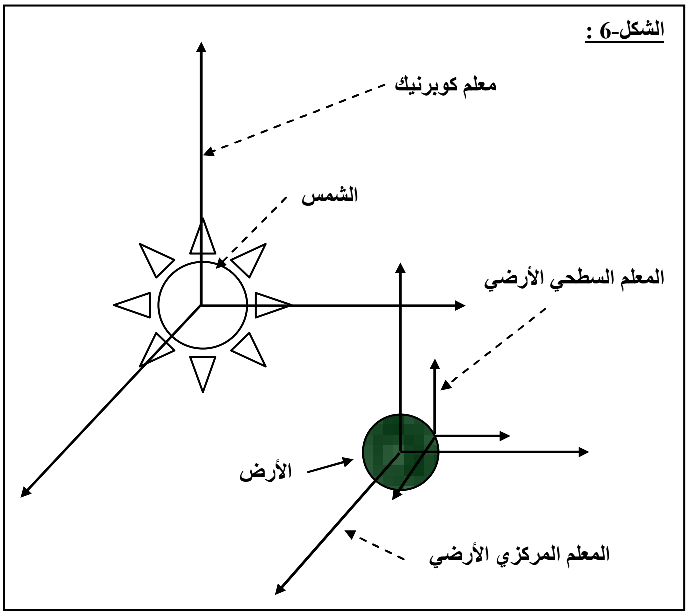
يرتبط بمعلم مبدأه يكون منطبق على مركز الشمس ، يعتمد عليه في دراسة حركة الأجسام التي تتحرك حول الشمس كالأرض و بقية الكواكب .

▪ المرجع المركزي الأرضي :

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

▪ المرجع السطحي الأرضي :

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

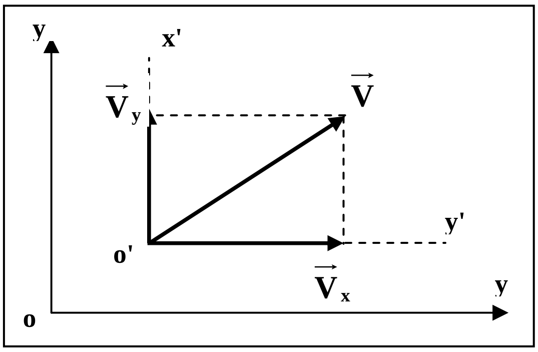


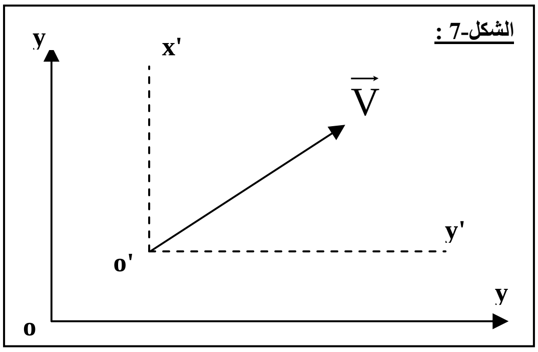
* تحليل شعاع إلى مركبتيه ، وفق المحورين ox ، oy و إيجاد القيم الجبرية لمركبته :

- 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) .

ثم 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 $\vec{V}_y$ ، $\vec{V}_x$ يحقق و بالتالي هو يحقق العلاقة :

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

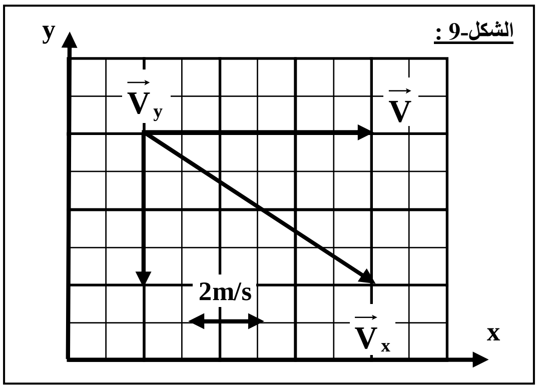
- يمكن كتابة شعاع بدلالة أشعة الوحدة للمعلم كما يلي :

$$\boxed{\vec{V} = V_x\,\vec{i} + V_y\,\vec{j}}$$

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 : $\|\vec{v}_x\| = +v_x$

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

<u>مثال :</u>



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

$$V_x = +\,\|\vec{V}_x\| = +\,(3\,.\,2) = +\,6\ m/s$$

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

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

و نكتب :

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

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

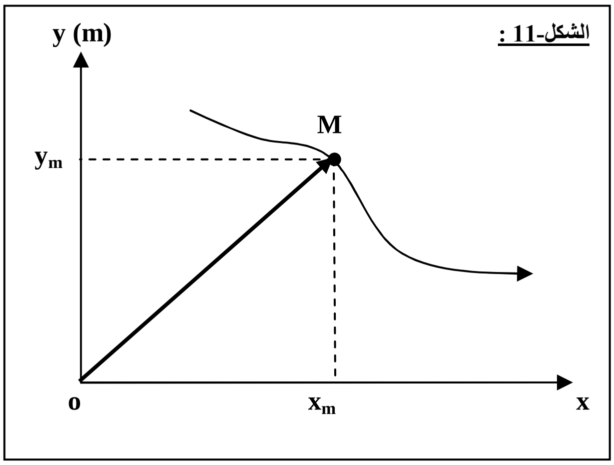
لتحديد قيمة السرعة اللحظية عمليا في موضع من مواضع المتحرك و ليكن M_2 (الشكل-10) ، نقيس المسافة M_1M_3 بين الموضعين M_1 ، M_3 المجاورين للموضع M_1 و اللذان تفصلهما مدة زمنية $\Delta t = 2\tau$ (سواء كان المسار مستقيم أو منحنى) . ثم نستنتج المسافة الحقيقية المقطوعة d بالإعتماد على سلم الرسم ، و تكون السرعة V_2 في كلتا الحالتين هي :

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

3– شعاعا السرعة و التسارع :

أ- شعاع الموضع - الإحداثيات الكارتيزية:

- 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 :



الشكل-11 :

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

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

- 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 :

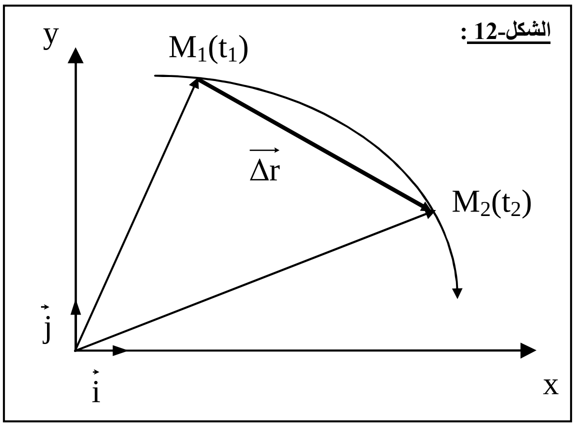
- إذا انتقلت النقطة المادية من الموضع M_1 عند اللحظة t_1 أين يكون شعاع موضعها $\vec{r}_1$ إلى الموضع M_2 عند اللحظة t_2 أين يكون شعاع موضعها $\vec{r}_2$ فإنه يعبر عن هذا الانتقال بشعاع يدعى **شعاع الانتقال** $\overrightarrow{\Delta r}$ يساوي التغير في شعاع الموضع بين اللحظتين t_1 ، t_2 و يكون :

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

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 .



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 :

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

أو :

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

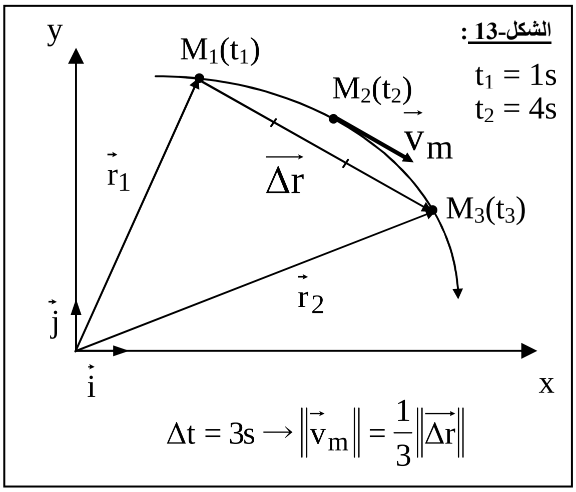
حيث :

$$v_{mx} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$
$$v_{my} = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1}$$

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

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

<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 :

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

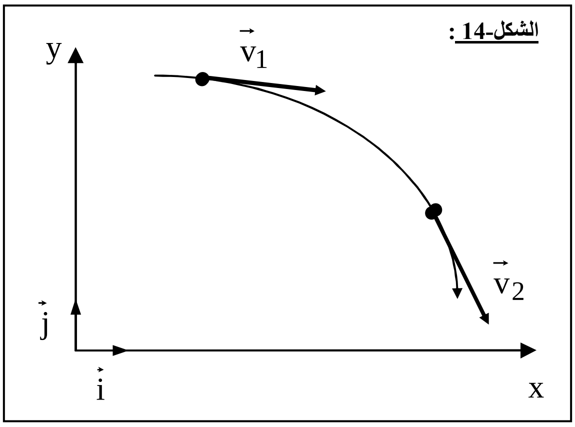
أو :

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

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 :

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

يكون :

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

أو :

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

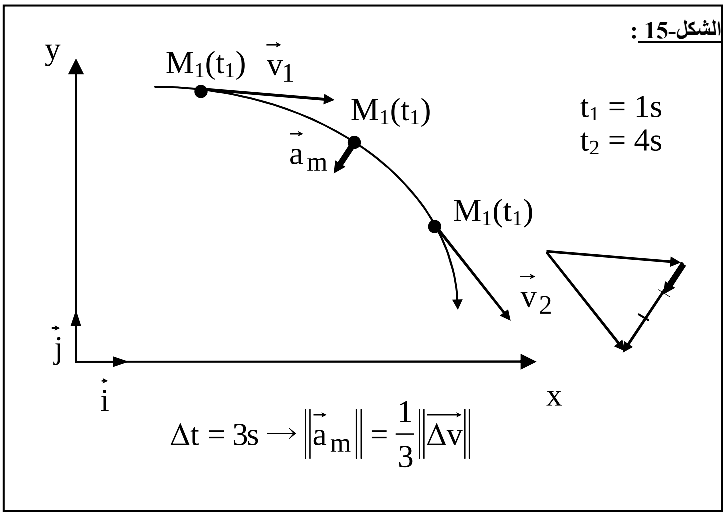
حيث :

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

- 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 :

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

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 $\vec{v}_G(t_0)$.

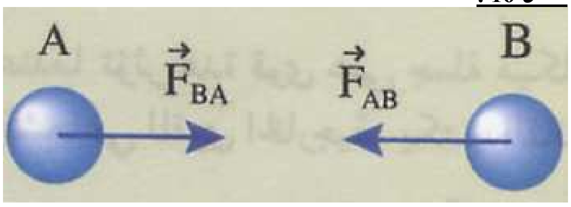
جـ- القانون الثالث لنيوتن:

- 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 :



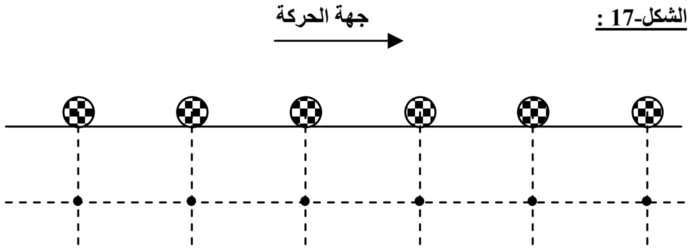
في الميكانيك النيوتونية, يكون التأثير المتبادل بين الجمل متزامنا, أي أن الفعلين المتبادلين يطبقان على الجملتين في آن واحد.

5– خصائص بعض الحركات :

أ- الحركة المستقيمة المنتظمة :

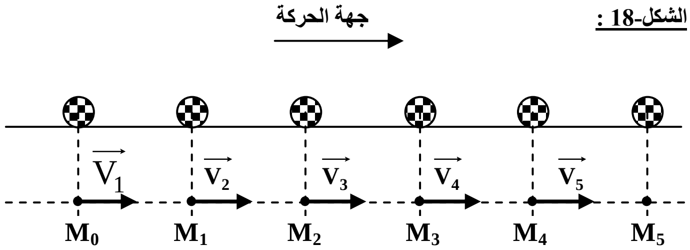
- الحركة المستقيمة المنتظمة حركة تتميز بمسار مستقيم يقطع فيها المتحرك مسافات متساوية خلال أزمنة متساوية تظل قيمة السرعة ثابتة خلال الحركة .

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 تكون ثابتة تكون أيضا طويلته ثابته ، و عليه يمكن القول أن شعاع السرعة في الحركة المستقيمة المنتظمة يكون ثابت طيلة الحركة (الشكل-18) .

الشكل-18 :

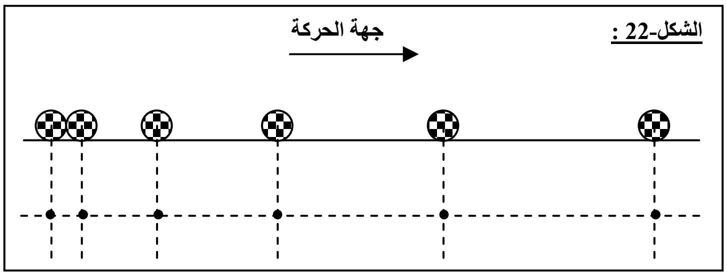


- في الحركة المستقيمة المنتظمة يكون شعاع السرعة المتوسطة ثابت (في المنحى و الجهة و الطويلة) و يساوي شعاع السرعة اللحظية ، كما يكون شعاع التسارع معدوم .

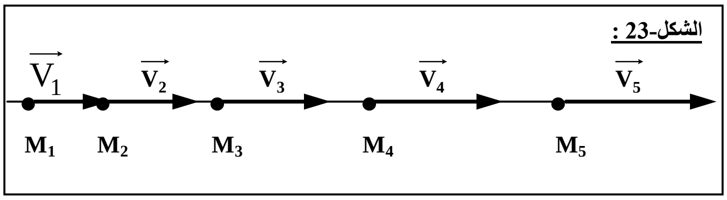
- حسب القانون الأول لنيوتن (مبدأ العطالة) المجموع الشعاعي للقوى الخارجية الذي يخضع لها متحرك في حركة مستقيمة منتظمة يكون معدوم ، و حسب القانون الثاني لنيوتن الذي يبرز العلاقة الطردية بين شعاع التسارع و المجموع الشعاعي للقوى الخارجية يمكن القول أن شعاع التسارع $\vec{a}$ في الحركة المستقيمة المنتظمة يكون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

ب- الحركة المستقيمة المتسارعة بانتظام :

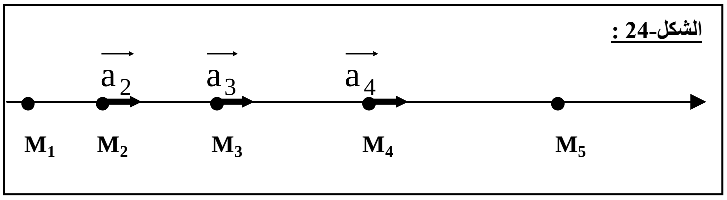
- في الحركة المستقيمة المتسارعة بانتظام تتزايد بانتظام المسافات المقطوعة خلال أزمنة متساوية τ (الشكل-22) .



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

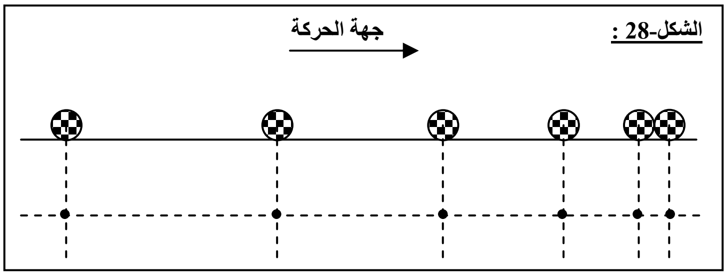


- في الحركة المستقيمة المتسارعة بانتظام يخضع المتحرك إلى قوة $\vec{F}$ في جهة الحركة و ثابتة (في المنحى و الجهة و الطويلة) ، و حسب القانون الثاني لنيوتن يمكن القول أن في الحركة المستقيمة المتسارعة بانتظام يكون شعاع التسارع $\vec{a}$ في جهة الحركة و ثابت (في المنحى و الجهة و الطويلة) (الشكل-24) .



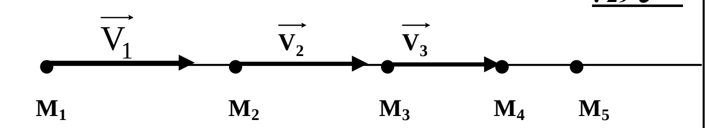
- في الحركة المستقيمة المتسارعة بانتظام لا يكون شعاع السرعة المتوسطة ثابت ، و الذي يكون ثابت هو شعاع التسارع المتوسط ، كما يكون هذا الأخير (شعاع التسارع المتوسط) مساوي لشعاع التسارع اللحظي في أي لحظة .
- في الحركة المستقيمة المتسارعة بانتظام يكون لشعاعي السرعة اللحظية $\vec{V}$ و التسارع اللحظي $\vec{a}$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

د- الحركة المستقيمة المتباطئة بانتظام :



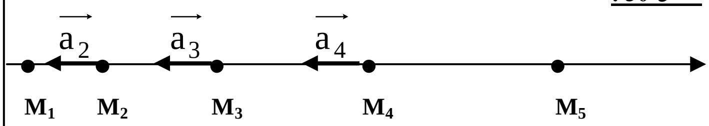
- في الحركة المستقيمة المتباطئة بانتظام تتناقص بانتظام المسافات المقطوعة خلال أزمنة متساوية τ (الشكل-28) .
- في الحركة المستقيمة المتباطئة بانتظام يكون شعاع السرعة اللحظية $\vec{V}$ ثابت في المنحى و الجهة بينما تتناقص طويلته بانتظام .

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 :

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

و يعبر عنها أيضا بالعلاقة التالية :

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

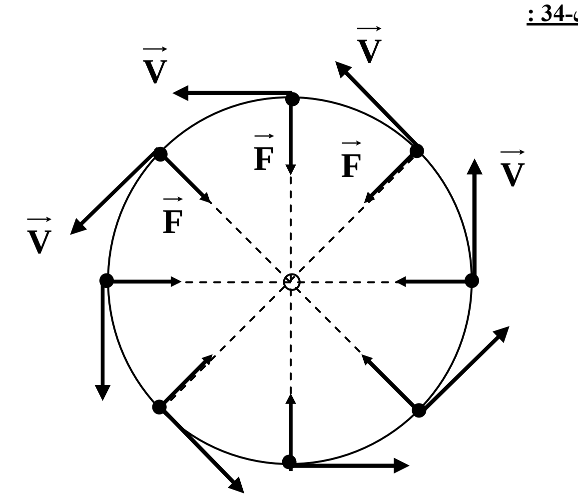
- تتحقق العلاقتين التاليتين :

$$\boxed{\begin{array}{l} V_{x2} - v_{x1} = \Delta t\, a \\ V_{x2}{}^2 - v_{x1}{}^2 = 2\Delta x\, a \end{array}}$$

هـ- الحركة الدائرية المنتظمة :

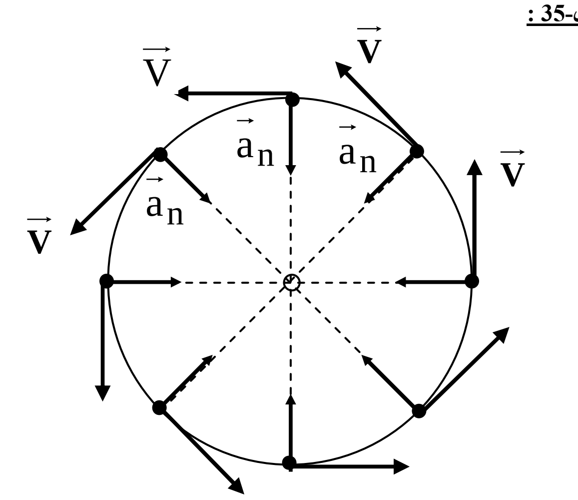
- الحركة الدائرية المنتظمة هي حركة مسارها دائري و سرعتها ثابتة .
- تكون حركة جملة مادية حركة دائرية منتظمة إذا كانت سرعتها الابتدائية غير معدومة ، و كانت خاضعة لمحصلة قوى $\vec{F}$ ثابتة ناظمية (متجهة دوما نحو مركز المسار) .
- في الحركة الدائرية المنتظمة تكون طويلة شعاع السرعة ثابتة في كل لحظة و مماسي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

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

- من عبارة التسارع الناظمي السابقة : $v^2 = a_n r$ ، بالتعويض في عبارة الدور بعد تربيعها نجد :

$$\boxed{T^2 = \frac{4\pi^2 r}{a_n}}$$

6- حركة الكواكب و الأقمار الصناعية :

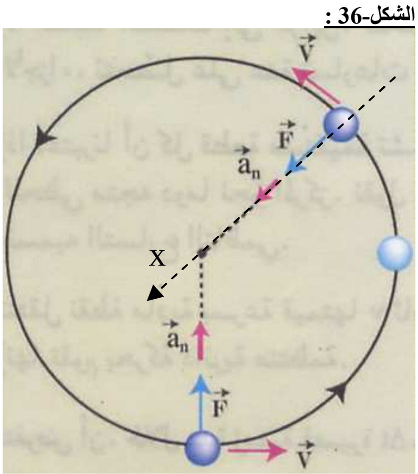
أ- تفسير حركة الكواكب و الأقمار الإصطناعية باستعمال القانون الثاني لنيوتن :

- 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 :

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

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

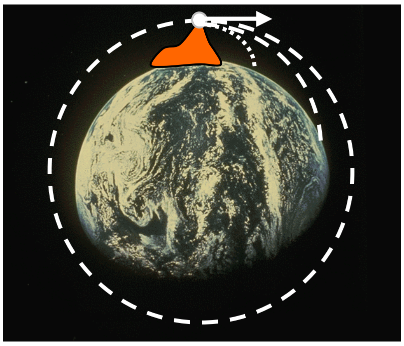
هذا يعني أن الكواكب و الأقمار الصناعية تخضع إلى قوة جاذبة مركزية (ناظمية) تكون هي السبب في جعل الكواكب و الأقمار الصناعية في حركة دائرية منتظمة .

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

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

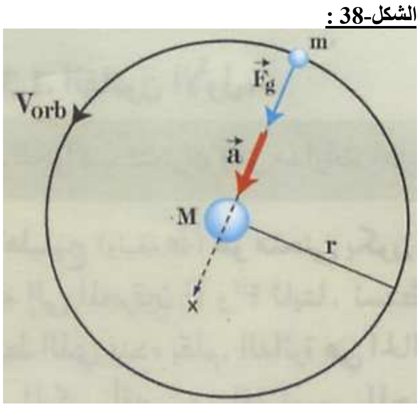
ب- تفسير حركة الكواكب و الأقمار الإصطناعية باستعمال قانون الجذب العام :

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) .

الشكل-38 :



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

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

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 :

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

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 :

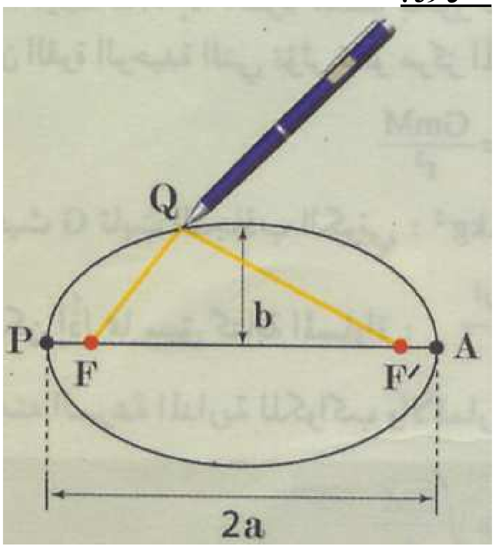
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM_T}} = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T + z)^3}{GM_T}}$$

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

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 :

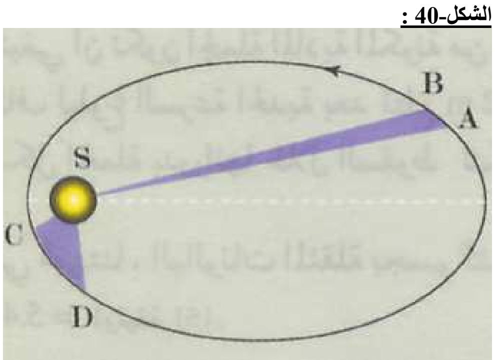
- ينص على ما يلي :

" 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 تتغير 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 :

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

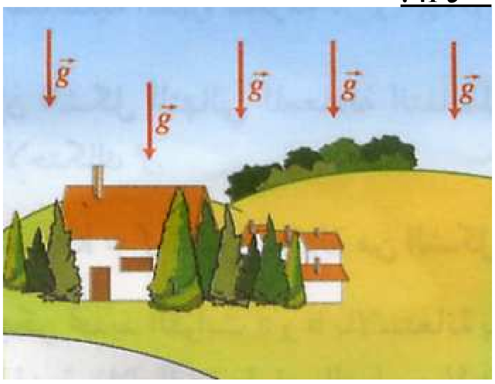
K : ثابت صالح لكل الكواكب و مستقل عن كتلة الكواكب.

7– السقوط الشاقولي لجسم صلب في الهواء)

أ- شعاع حقل الجاذبية الأرضية :

- حقل الجاذبية الأرضية هو حيز من الفراغ يحيط بالكرة الأرضية ، لو يوضع فيه أي جسم كتلته 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 : $n.m^{-1}$.

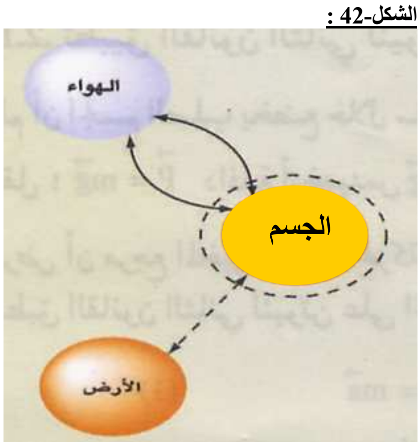
الشكل-41 :



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 :

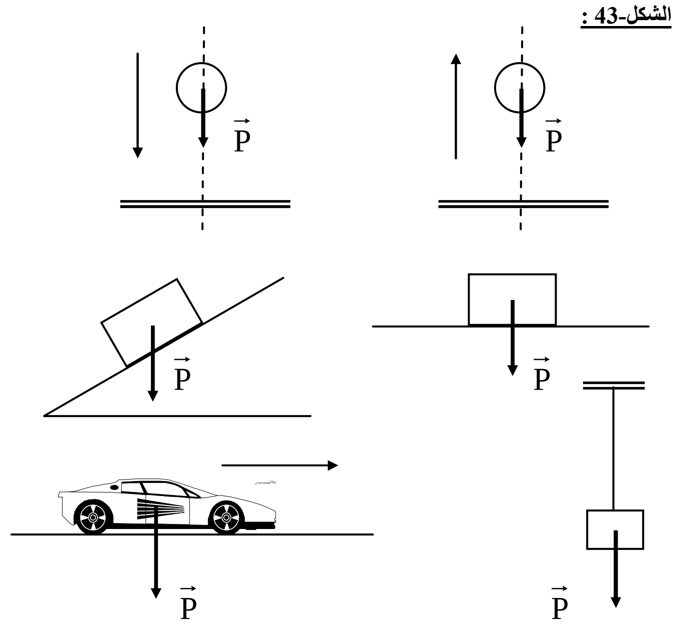
قوة الثقل :

- 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 :

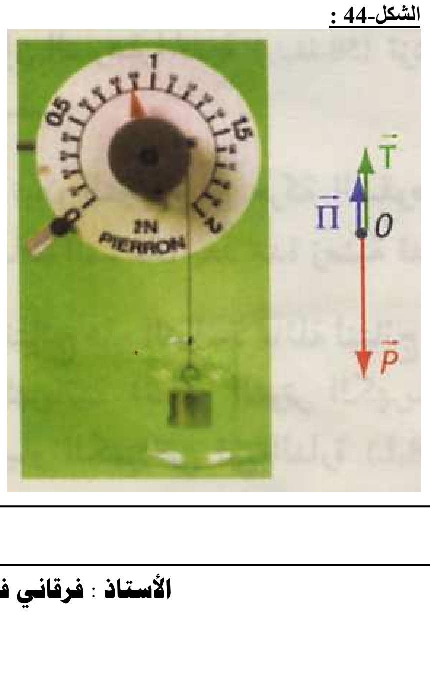
$$\boxed{\vec{\Pi} = -\rho V \vec{g}}$$

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

V : حجم الجسم الصلب m^3.

g : تسارع الجاذبية $m.s^{-2}$.

الشكل-44 :



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 $\vec{v}$.

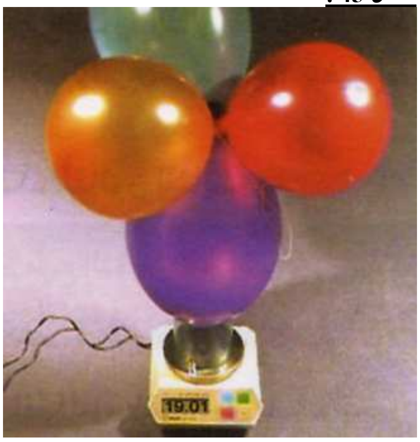
ملاحظة :

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

جـ- دراسة حركة السقوط الحقيقي لجسم صلب في الهواء :

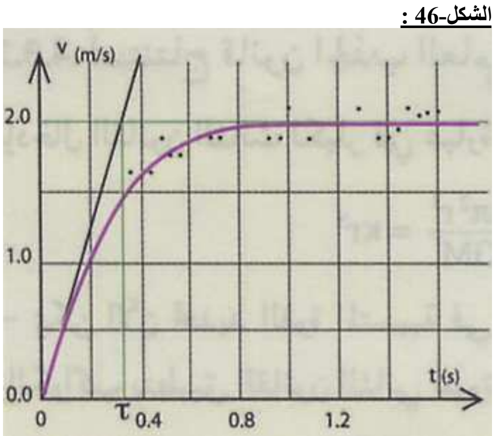
- نعتبرجملة مادية مكونة من أربعة بالونات خفيفة مثقلة بجسم كثيف لها كتلة $m = 19g$ و حجم $v = 5.41$. و ذات حجم كاف لبلوغ السرعة الحدية بعد قطع 2m تقريبا من السقوط , و أن لا يسمح شكل الجملة بدورانها خلال السقوط لتكون الحركة انسحابية شاقولية.

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 المميز للسقوط τ :

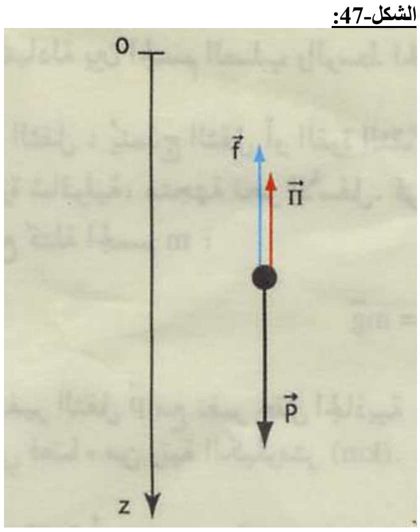
- الزمن المميز للسقوط هو الزمن الموافق للمرور من نمط إلى آخر.

- 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 المعتبرة : بالونات .

• 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 :

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

$$\vec{P} + \vec{\Pi} + \vec{f} = m\vec{a}$$

بتحليل العلاقة الشعاعية على محور (Oz) :

$$P - \Pi - f = m\,a_z$$

و حيث أن : $a = \frac{dv_z}{dt}$ ، $\Pi = \rho_{air} Vg$ ، $P = mg$ ، نحصل على المعادلة التفاضلية المميزة للحركة :

$$\boxed{m\frac{dv_z}{dt} = mg - \rho Vg - f}$$

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

▪ عند $f = kv$:

تكون المعادلة من الشكل $y' + ay = b$.

يمكن تحديد الثوابت a و b بالإستعانة بالتجربة و من ثم استنتاج عبارة السرعة الحدية خلال السقوط في الهواء :

$$v_L = \frac{g}{k}(\rho - \rho_{air})V$$

▪ عند $f = kv^2$:

تكون المعادلة من الشكل $y' + ay^2 = b$

في هذه الحالة تكون عبارة السرعة الحدية :

$$v_L = \sqrt{\frac{g}{k'}(\rho - \rho_{air})V}$$

ملاحظة :

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

السرعة الحدية $(m.s^{-1})$	الجسم
85	مظلي في سقوط حر في وضعية شاقولية
6,5	مظلي (المظلة مفتوحة)
7	كرة تنس الطاولة
30	كرة الغولف
80	كرية فولاذية نصف قطرها 2 cm
30	حجر نصف قطره 1 cm
10	قطرة ماء

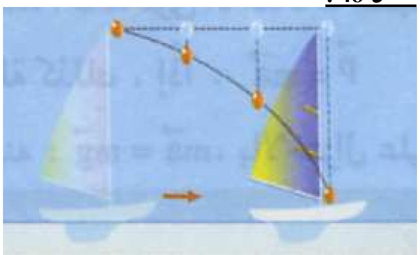
- تبين التجربة أن حركة السقوط في الهواء تبلغ مرحلة الإنتظام (ثبات السرعة) بعد مدة زمنية قدرها 5τ (5 مرات الزمن المميز).

- 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 :

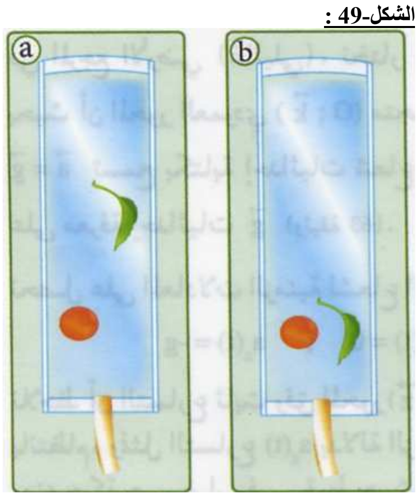
- شكل سقوط الأجسام موضوع تساؤل الكثير من العلماء منذ القدم , خصوصا بعد مجئ العالم غاليلي الذي صرح بما يلي :
« ينبغي على الأجسام أن تكون لها نفس حركة السقوط , لكن يمكن لهذه الحركة أن تتغير مع طبيعة الوسط الذي يحدث فيه السقوط ».

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 :

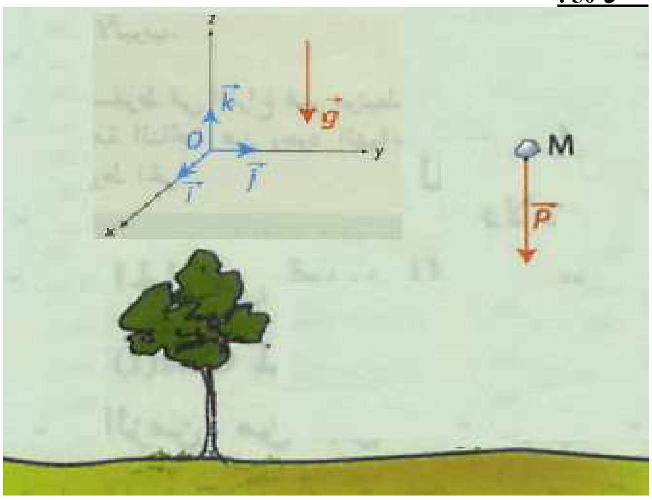


- يلاحظ من التجربة أن الريشة و الكرية رغم تباعدهما في الكتلة يصلان مع بعض إلى قعر الأنبوب ، في حين لا يتحقق ذلك إذا كان الأنبوب مملوء بالهواء . هذا يدل على أن السقوط الحر في الفراغ غير مرتبط بالكتلة و عليه كل الأجسام تسقط بالتسارع نفسه مهما كان حجمها و كتلتها .
- يصلح هذا التعبير أيضا للأقمار الإصطناعية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

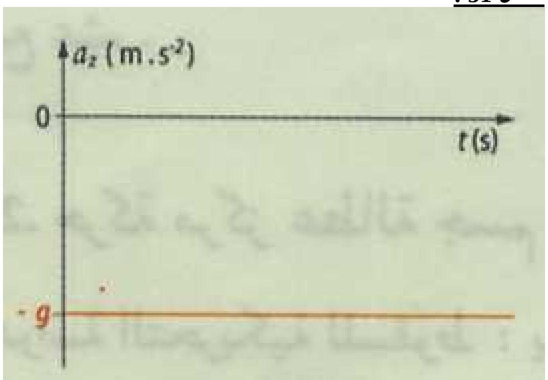
شعاع التسارع :

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

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

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

الشكل-51 :



شعاع السرعة اللحظية :

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

لدينا سابقا :

$$\begin{cases} a_x = 0 \rightarrow \dfrac{dv_x}{dt} = 0 \\ a_y = 0 \rightarrow \dfrac{dv_y}{dt} = 0 \\ a_z = -g \rightarrow \dfrac{dv_z}{dt} = -g \end{cases}$$

Erreur ! Liaison incorrecte.

بالتكامل نجد :

$$\begin{cases} \dfrac{dv_x}{dt} = 0 \rightarrow v_x = C_1 \\ \dfrac{dv_y}{dt} = 0 \rightarrow v_y = C_2 \\ \dfrac{dv_z}{dt} = 0 \rightarrow v_z = -g\,t + C_3 \end{cases}$$

مما سبق لدينا :

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

بالتعويض في معادلات شعاع السرعة نجد :

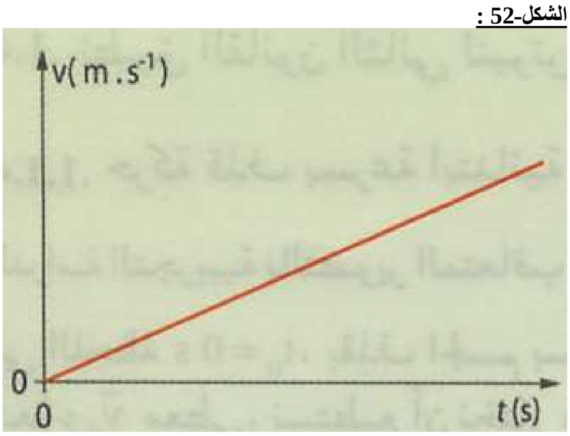
$$\begin{cases} 0=C_1 \rightarrow C_1=0 \\ 0=C_2 \rightarrow C_2=0 \\ 0=-\ g\,(0)+C_3 \rightarrow C_3=0 \end{cases}$$

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 :



شعاع الموضع :

$$\vec{r}\ \begin{cases} x=f_1(t) \\ y=f_2(t) \\ z=f_3(t) \end{cases}$$

لدينا سابقا :

$$\begin{cases} v_x=0 \rightarrow \dfrac{dx}{dt}=0 \\ v_y=0 \rightarrow \dfrac{dy}{dt}=0 \\ v_z=0 \rightarrow \dfrac{dz}{dt}=-\,g\,t \end{cases}$$

Erreur ! Liaison incorrecte.

بالتكامل نجد :

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = 0 \rightarrow x = C_1 \\ \dfrac{dy}{dt} = 0 \rightarrow y = C_2 \\ \dfrac{dz}{dt} = -g\,t \rightarrow z = -\dfrac{1}{2} g\,t^2 + C_3 \end{cases}$$

مما سبق لدينا :

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

بالتعويض في معادلات شعاع الموضع نجد :

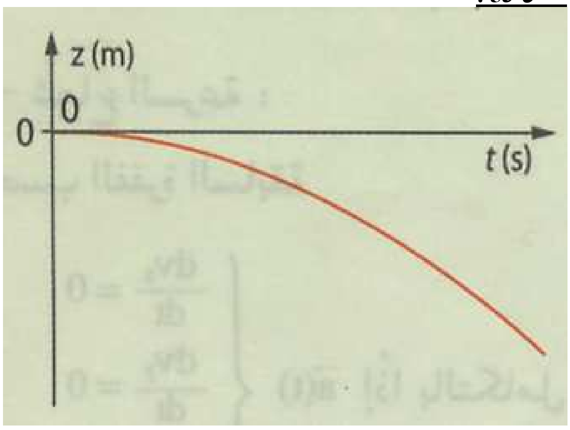
$$\begin{cases} 0 = C_1 \rightarrow C_1 = 0 \\ 0 = C_2 \rightarrow C_2 = 0 \\ 0 = -\dfrac{1}{2} g\,(0)^2 + C_3 \rightarrow C_3 = 0 \end{cases}$$

ومنه يصبح :

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

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

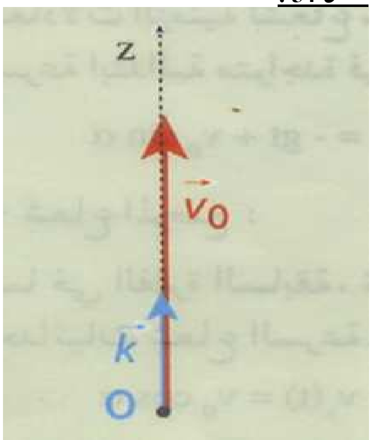
الشكل-53 :



* 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 :

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

شعاع السرعة اللحظية :

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

شعاع الموضع :

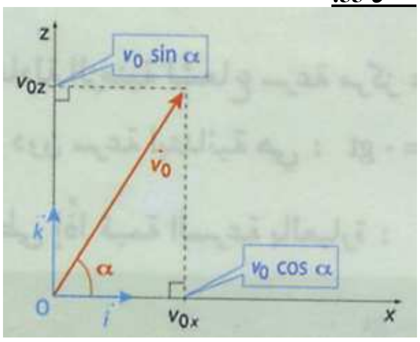
$$\begin{cases} x = 0 \\ y = 0 \\ z = -\frac{1}{2} g\,t^2 + v_0\,t \end{cases}$$

8- تطبيقات القانون الثاني لنيوتن :

أ- حركة قذف بسرعة ابتدائية غير شاقولية :

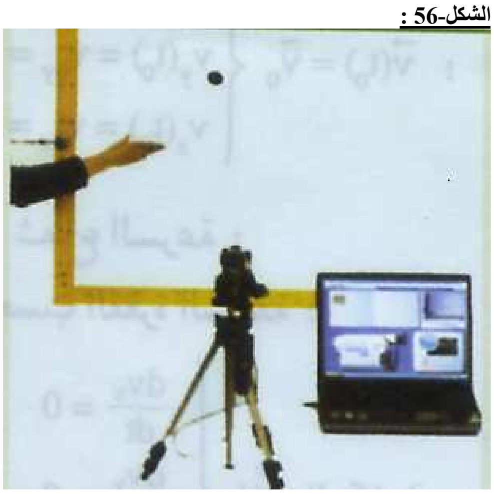
- نقذف من نقطة O عند اللحظة $t = 0$ جسم صلب بسرعة ابتدائية $\vec{v}(t_0) = \vec{v}_0$ يصنع شعاعها الزاوية α مع المحور (ox) .
- نختار معلما $(O , \vec{i} , \vec{j} , \vec{k})$ بحيث الشعاع $\vec{v}_0$ يتواجد في المستوي (xOz) .

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 :

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

كما يكون :

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

<u>دراسة طبيعة الحركة :</u>

- 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 :

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

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

<u>شعاع السرعة اللحظية :</u>

$$\begin{cases} \\ \\ \\ \end{cases}$$

لدينا سابقا :

$$\begin{cases} a_x = 0 \rightarrow \dfrac{dv_x}{dt} = 0 \\ a_y = 0 \rightarrow \dfrac{dv_y}{dt} = 0 \\ a_z = -g \rightarrow \dfrac{dv_z}{dt} = -g \end{cases}$$

بالتكامل نجد :

$$\begin{cases} \dfrac{dv_x}{dt} = 0 \rightarrow v_x = C_1 \\ \dfrac{dv_y}{dt} = 0 \rightarrow v_y = C_2 \\ \dfrac{dv_z}{dt} = 0 \rightarrow v_z = -g\,t + C_3 \end{cases}$$

مما سبق لدينا :

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

بالتعويض في معادلات شعاع السرعة نجد :

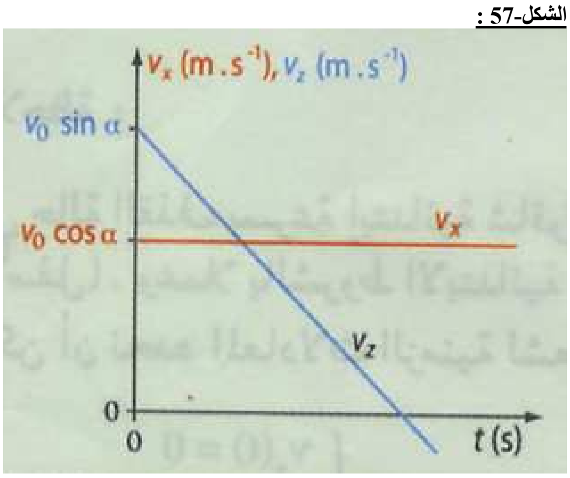
$$\begin{cases} v_0 \cos\alpha = C_1 \rightarrow C_1 = v_0 \cos\alpha \\ 0 = C_2 \rightarrow C_2 = 0 \\ v_0 \sin\alpha = -\ g\,(0) + C_3 \rightarrow C_3 = v_0 \sin\alpha \end{cases}$$

ومنه يصبح :

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

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

الشكل-57 :



شعاع الموضع :

$$\vec{r}\begin{cases} x = f_1(t) \\ y = f_2(t) \\ z = f_3(t) \end{cases}$$

لدينا سابقا :

$$\begin{cases} v_x = 0 \rightarrow \dfrac{dx}{dt} = v_0 \cos\alpha \\ v_y = 0 \rightarrow \dfrac{dy}{dt} = 0 \text{ Erreur ! Liaison incorrecte.} \\ v_z = 0 \rightarrow \dfrac{dz}{dt} = - g\, t + v_0 \sin \end{cases}$$

بالتكامل يكون :

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = v_0 \cos\alpha \rightarrow x = v_0 \cos\alpha\, t + C_1 \\ \dfrac{dy}{dt} = 0 \rightarrow y = C_2 \\ \dfrac{dz}{dt} = - g\, t + v_0 \sin\alpha \rightarrow x = -\dfrac{1}{2} g\, t^2 + v_0\, t + C_3 \end{cases}$$

مما سبق لدينا :

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

بالتعويض في معادلات شعاع الموضع نجد :

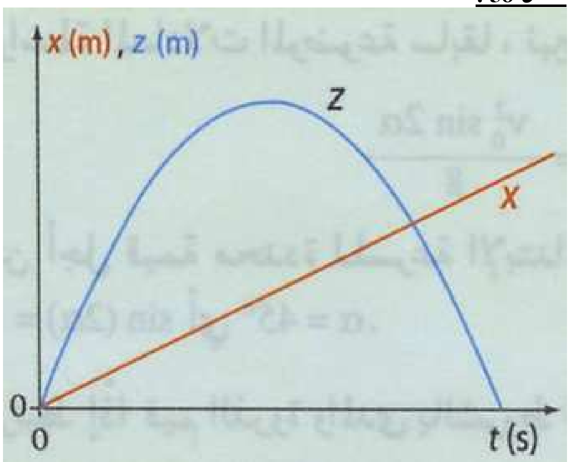
$$\begin{cases} 0 = C_1 \rightarrow C_1 = 0 \\ 0 = C_2 \rightarrow C_2 = 0 \\ 0 = -\dfrac{1}{2} g\,(0)^2 + v_0 \sin\alpha + C_3 \rightarrow C_3 = v_0 \sin\alpha \end{cases}$$

ومنه يصبح :

$$\vec{r}\begin{cases} x = v_0 \cos\alpha \\ y = 0 \\ z = -\dfrac{1}{2} g\, t^2 + v_0 \sin\alpha\, t \end{cases}$$

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

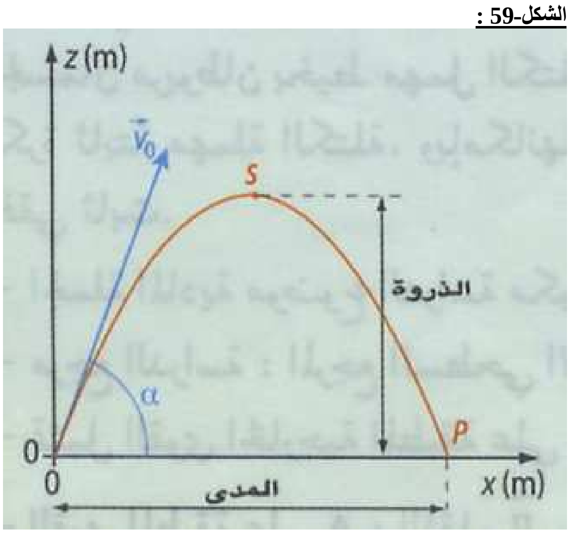
- من المعادلة $x(t)$ يكون : $t = \dfrac{x}{v_0 \cos\alpha}$ بالتعويض في المعادلة $y(t)$ نجد :

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

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

- معادلة المسار هي معادلة قطع مكافئ ، و عليه مسار مركز عطالة جسم مقذوف بسرعة ابتتدائية 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 :

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

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

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

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

- 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 :

$$0 = -\frac{g}{2v_0^2\cos^2\alpha}x_P^2 + \tan\alpha\, x_P$$

$$\frac{g}{2v_0^2\cos^2\alpha}x_P^2 = \tan\alpha\, x_P$$

$$\frac{g}{2v_0^2\cos^2\alpha}x_P = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$$

$$g\, x_P = 2\, v_0^2 \cos^2\alpha \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$$

$$g\, x_P = 2\, v_0^2 \cos\alpha \sin\alpha$$

$$g\, x_P = v_0^2\, (\, 2 \cos\alpha \sin\alpha\,)$$

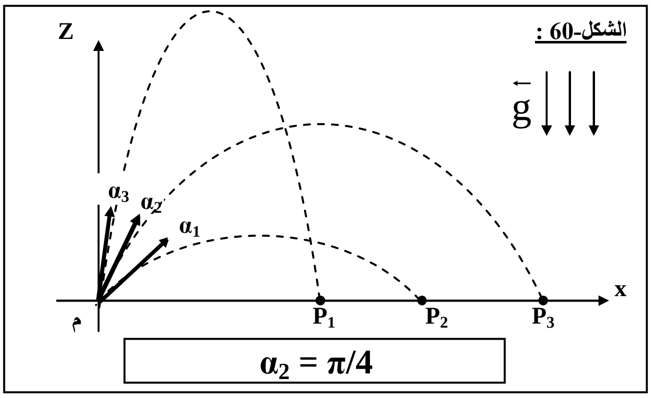
و حيث أن : $2 \cos\alpha \sin\alpha = \sin 2\alpha$ يكون :

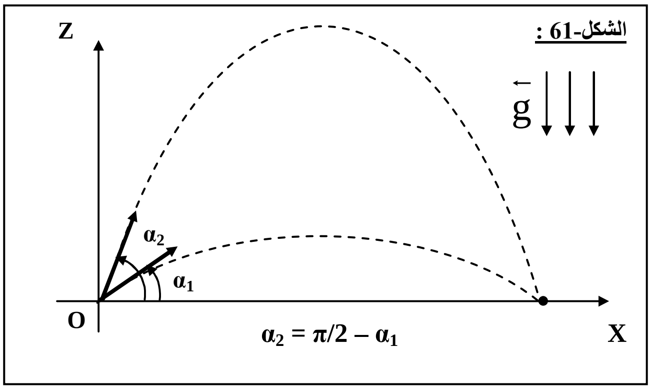
$$g\, x_P = v_0^2 \sin 2\alpha$$

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

- 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) .



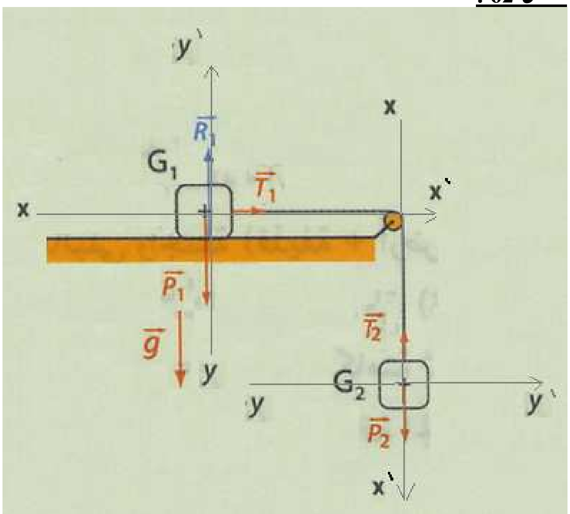


ب- الحركة على مستوي :

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

- الجسمان مربوطـان بخـيط مهمل الكتلـة و غير قابل للإمتطـاط , و يمر علـى بكـرة ثابتـة مهملـة الكتلـة , و بإمكانـها الدوران دون احتكاك حول محور أفقي ثابت.

الشكل-62 :



دراسة طبيعة حركة الجملة :

• كون الخيط غير قابل للإمتطاط و مهمل الكتلـة و كـون البكـرة مهملـة الكتلـة أيضا يكـون 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) :

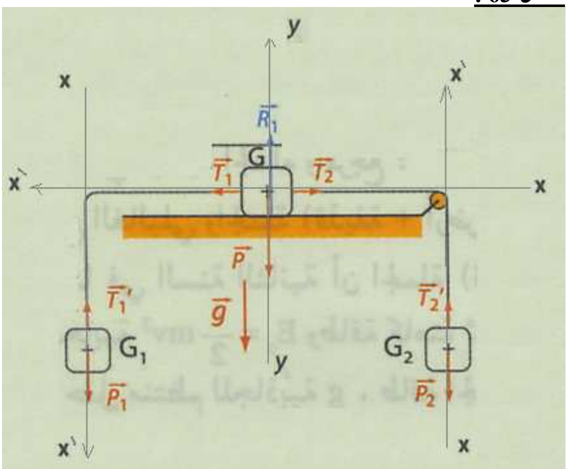
$$m_2 g - T = m_2 a$$
$$m_2 g + m_2 a = T$$
$$T = m_2 g + m_2 a$$

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

و كل من العلاقتين يؤدي إلى نفس النتيجة .

ملاحظة :

الشكل-63 :



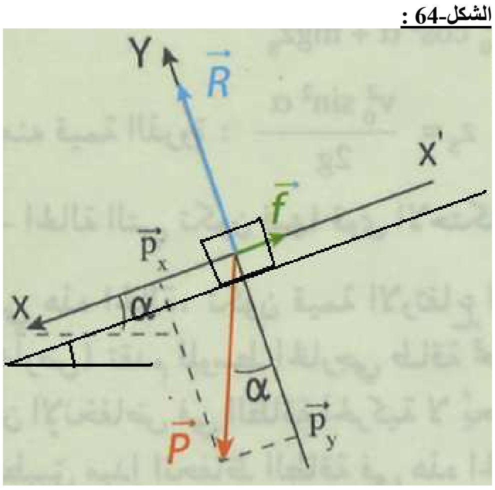
في حالة احتواء الجملة على 3 أجسام كما في الشكل السابق نستعمل نفس الطريقة لتحديد عبارة التسارع حيث نجد :

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

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 $(o,\vec{i},\vec{j})$:

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

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

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

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- 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 :

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

ب- طاقة الجملة (قذيفة + أرض) في الحالة التي تكون فيها قوى الإحتكاك مهملة :

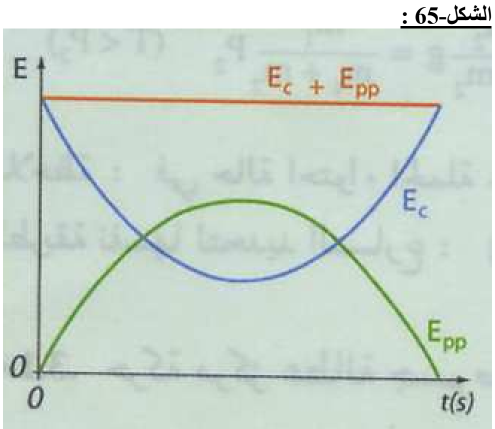
- إذا كانت القذيفة لا تخضع إلى قوى خارجية كقوى الاحتكاك مثلا نقول عن الجملة (قذيفة + أرض) أنها جملة معزولة و في هذه الحالة تكون طاقة الجملة محفوظة أي تأخذ نفس القيمة في أي موضع من الحركة و السبب في ذلك يعود إلى أن الإنخفاض في الطاقة الحركية يحول كليا إلى طاقة كامنة ثقالية .

- إذا انتقلت القذيفة من الموضع M_1 عند اللحظة t_1 إلى الموضع M_2 عند اللحظ t_2 ، و كانت E_1 هي طاقة الجملة (قذيفة + أرض) في الموضع M_1 عند اللحظة t_1 و E_2 هي طاقتها في الموضع M_2 عند اللحظة t_2 فإنه بعبر عن مبدأ انحفاظ الطاقة بالعبارة :

$$\boxed{E_1 = E_2 \rightarrow E_{C1} + E_{pp1} = E_{c2} + E_{pp2}}$$

- 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-65)

الشكل-65 :



جـ طاقة الجملة (قذيفة + أرض) في الحالة التي تكون فيها قوى الإحتكاك غير مهملة :

- إذا كانت القذيفة تخضع إلى قوى احتكاك نقول عن الجملة (قذيفة + أرض) أنها جملة غير معزولة و في هذه الحالة تكون طاقة الجملة غير محفوظة أي أنها متغيرة ، و السبب في ذلك يعود إلى أن الإنخفاض في الطاقة الحركية لا يحول كليا إلى طاقة كامنة ثقالية .

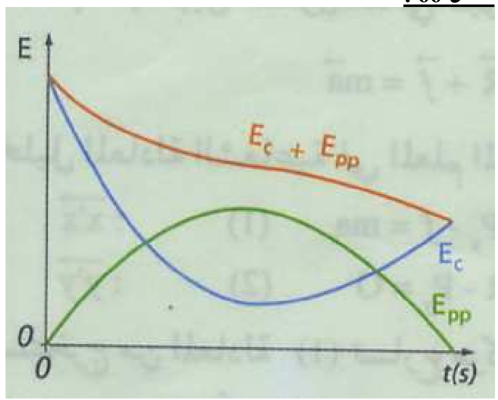
- إذا انتقلت القذيفة من الموضع M_1 عند اللحظة t_1 إلى الموضع M_2 عند اللحظ t_2 ، و كانت E_1 هي طاقة الجملة (قذيفة + أرض) في الموضع M_1 عند اللحظة t_1 و E_2 هي طاقتها في الموضع M_2 عند اللحظة t_2 فإنه بعبر عن مبدأ انحفاظ الطاقة بالعبارة :

$$\boxed{E_2 = E_1 + W_m}$$

حيث : W_m هو عمل قوى الاحتكاك .

- 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-2) .

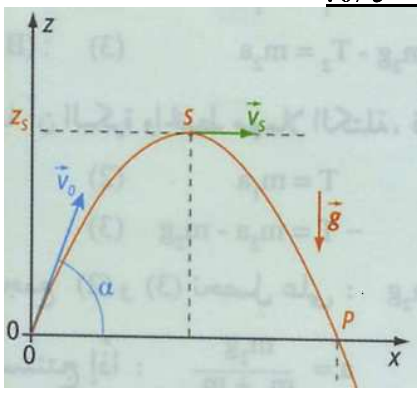
الشكل-66 :



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.

الشكل-67 :



- 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 .

- 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) :

$E_{PP0} = m\,g\,z = 0 \quad (z = 0)$

$$E_C = \frac{1}{2} m v^2{}_0$$

$$E_0 = \frac{1}{2} m v^2{}_0$$

و عند الإرتفاع الأعظمي S (الذروة) يكون :

$E_{PP0} = m\,g\,z_S$

$$E_C = \frac{1}{2} m v^2{}_S$$

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

و حيث أن :

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

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 :

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

من مبدأ انحفاظ الطاقة يكون :

$E = E_0$

$E_{PP0} = m\, g\, z = 0 \;\; (z = 0)$

$$E_C = \frac{1}{2} m v^2{}_0$$

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

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

$\cos\alpha^2 + \sin\alpha^2 = 1 \rightarrow 1 - \sin\alpha^2 = \cos\alpha^2$

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

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

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

10- حدود ميكانيك نيوتن :

* النسبية من غاليلي إلى أنشتاين :

من بين المفاهيم التي تمتاز بحدسية كبيرة مع أنها الأكثر تعقيدا, الحركة, الذي يدخل في آن واحد الفضاء و الزمن. بصفة شاملة, يمكن وصف الحركة بواسطة المسار (فكرة الفضاء) و بالكيفية التي يقطع بها هذا المسار (فكرة الزمن). فالحركة إذًا تتميز بالمسار لأنها تحمل معلومة إضافية حول السرعة.
بينما كان مفهوم الزمن غائبا عن مفهوم الحركة عند أرسطو, كون الحركة عنده خاصية للأجسام؛ أصبحت الحركة عند غاليلي خاصية نسبية للأجسام ,فظهرت كل من السرعة اللحظية (أي تغير الموقع بالنسبة للزمن) و التسارع (تغير السرعة بالنسبة للزمن).
و بعد إنجازه لعدة تجارب, لاحظ غاليلي بأن أجساما ذات كتل مختلفة تسقط بنفس الكيفية (على عكس ما كان يظنه أرسطو) و توصل إلى تكميم التطور الزمني لهذا السقوط حيث وصفه « بالمتسارع بانتظام ». و توصل بتجاربه إلى إعطاء نص مبدأ العطالة النسبية الغاليلية.
أصبح للحركة طابع نسبي, حيث لا توجد الحركة إلا بالنسبة لشيء (المرجع).

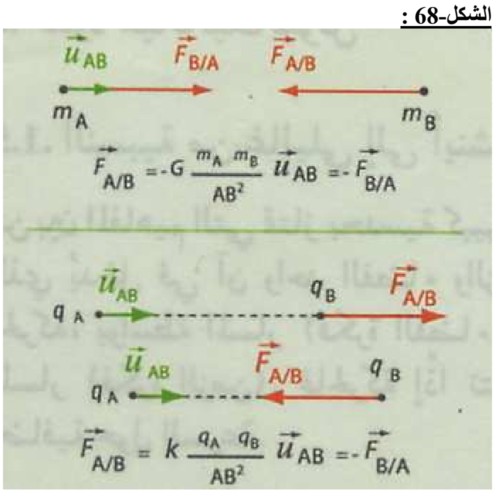
ميكانيك نيوتن :

إن أساس فيزياء نيوتن هو افتراضه وجود فضاء مطلق, فضاء ثلاثي الأبعاد, يحقق خواص هندسة إقليدس, فكانت نظريته الميكانيكية كاملة و فعالة من أجل وصف الظواهر القابلة للملاحظة, إلى أن اخترعت الهندسة غير الإقليدية, حيث توصل العلماء إلى أن تصريح نيوتن ليس بحقيقة مطلقة, بل هو مسلمة لوصف الشيء الرياضي الذي ينمذج الفضاء.
و حاول نيوتن تعريف "الزمن المطلق و الكوني الذي يسيّر نظام الأشياء".و أهم كلمة في هذه الجملة هي "مطلق" , حيث بالنسبة لنيوتن, الفضاء و الزمن هما نفسهما بالنسبة للجميع, و لا يمكن أن يتأثرا بأي شيء.
إن من بين نجاحات نيوتن الكبرى, توصل كل من أدامس(Adams) و لو فيريي(Le Verrier) من توقع وجود, مع إعطاء المكان المحدد, كوكب جديد و هذا بسبب عدم احترام أورانوس لقوانين نيوتن, و هكذا تم اكتشاف نبتون, و لهذا, عندما لوحظ عدم احترام عطارد لهذه القوانين, تم تفسيره أيضا بوجود جسم فلكي متسبب في ذلك, و لم يتم فك اللغز إلا عند ظهور النظرية النسبية لأينشتاين.
إن مجال صلاحية النظرية الميكانيكية لنيوتن محدود على المستويين اللا متناهيين في الكبر و في الصغر حيث تعتمد على خاصية التزامن, أي أن زمن ملاحظة ظاهرة يوافق زمن حدوثها و يقتضي هذا أن المعلومة تنتقل آنيا من التركيبة المدروسة إلى الملاحظ, غير أنها تنتقل بسرعة انتشار الضوء, ما يفند صلاحية ميكانيك نيوتن لدراسة الحركات ذات السرعة القريبة من سرعة انتشار الضوء.

* التطور الكمي :

- رغم التشابه بين الفعل المتبادل الجاذبي و الفعل المتبادل الكهرومغناطيسي الذي يوحي بوجود تشابه بين النظامين الكوكبي و الذري , إلا أن الحقيقة غير ذلك .
- تجانس الأنظمة الذرية التي لها نفس التركيب : لا يمكن وصف الذرة بطريقة كلاسيكية , في نهاية القرن XIX ,اكتُشف العديد من الظواهر الفيزيائية التي لم تشرح بواسطة الميكانيك الموضوعة منذ نيوتن و من بين هذه الظواهر : إشعاع الجسم الأسود و الفعل الكهروضوئي.
لشرح هذه الظواهر عرف القرن العشرون تطورا حقيقيا للعمل التجريبي الذي صنع أساس ما يسمى الفيزياء الكمية. خاصة منها التحقيق التجريبي لفرنك و هرتز في 1914 .

الشكل-68 :



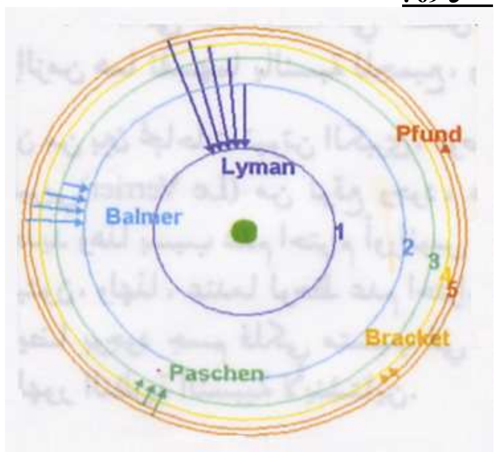
طاقة الجملة (كوكب – قمر اصطناعي) :

عندما يكون قمر اصطناعي في مدار ما, تمتلك الجملة (كوكب – قمر اصطناعي) طاقة محددة, أكبر كلما تواجد القمر الاصطناعي بعيدا عن الكوكب. بما أن جميع الإرتفاعات و جميع السرعات محتملة, فإن كل قيم الطاقة ممكنة, أي يمكن أن تأخذ طاقة هذه الجملة أي مقدار و منه يمكنها التغير بصفة مستمرة, هذا حال الجملة (بروتون - إلكترون) في نموذج ذرة الهيدروجين مثلا.

طاقة الجملة (بروتون - إلكترون) لذرة الهيدروجين :

نلاحظ طيف خطوط خاص بذرة الهيدروجين(الشكل-69) .

الشكل-69 :



في الواقع, رأينا, في السنة الأولى ثانوي, أنه يمكن التعرف على عنصر كيميائي انطلاقا من طيفه. للحصول على هذا الطيف, يوضع الهيدروجين في حبابة زجاجية, تحت ضغط منخفض, ثم تقدم طاقة للذرات, فيحدث تغير في حالة كل ذرة.

تكتسب الذرات طاقة زائدة, فتصبح نشطة و غير مستقرة. و عندما تعود إلى حالتها, الأكثر استقرارا, تنخفض طاقتها بإصدارها لطاقة ضوئية.

إننا نلاحظ طيف خطوط, وليس طيفا مستمرا, وهذا يعني أن تواتر الإشعاعات الصادرة لا يأخذ إلا قيما خاصة لذا نقول أن التوتر مكمم.

الفوتون و فرضية بور :

في سنة 1900, حدد ماكس بلانك الطاقة المنقولة من طرف الموجات الكهرومغناطيسية. كما استنتج أن تحويل الطاقة الكهرومغناطيسية لا يحدث إلا بقيم معينة و هي « كمات».

في سنة 1905 , اقترح أينشتاين الفكرة بأن الكم الطاقوي محمول من طرف جسيمات معدومة الكتلة و الشحنة , سرعتها في الفراغ $c \approx 3\times10^{8}\ m.s^{-1}$

في سنة 1913, قدم بور فرضيته, التي تفسر طيف ذرة الهيدروجين :

- تغير طاقة الذرة وكمم.
- لا يمكن للذرة أن تتواجد إلا في بعض حالات طاقة معرّفة جيدا , ومميزة بمستوى طاقوي E_n .
- يصدر فوتون تواتره υ عندما تنتقل الذرة من مستوى E_p إلى مستوى طاقة منخفض E_n حيث : $E_p - E_n = h \times \upsilon$.

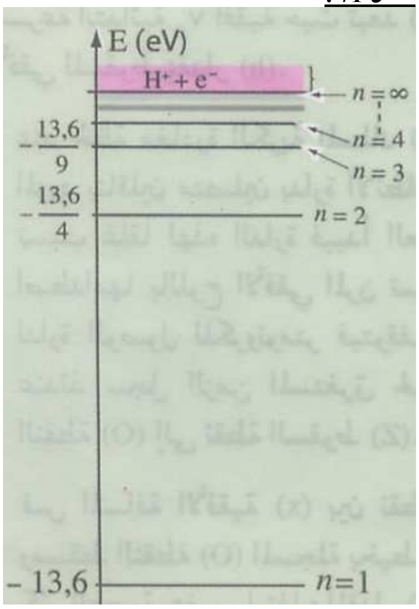
الشكل-70:

رأينا سابقا, أن التواترات غير مستمرة بل هي مكممة. نستنتج من عبارة بور أن التغير $E_p - E_n$ هو أيضا مكمم. بما أن المستوى الأساسي للطاقة مثبت, طاقة الذرة مكممة. عكس طاقة الجملة (كوكب - قمر), طاقة ذرة الهيدروجين لا تأخذ إلا قيما متفرقة. إذن النظام الكوكبي للذرة مرفوض.

يبين البيان الطاقوي المبسط لذرة الهيدروجين (الشكل-71)

المستوى المرجعي, المأخوذ يساوي الصفر, يمثل حالة التنشيط الأعظم : هو للذرة المشردة (بروتون و إلكترون غير متحركين, مفصولان بمسافة لا متناهية). من هذا, نستنتج أن طاقة المستويات الأخرى سالبة و هذا غير مهم لأننا نحسب دائما تغيرات في الطاقة.

الشكل-71 :



*** النتائج :**

- الضوء و تحديد الكمية : أكد أينشتاين في سنة 1905, أن الضوء مكمم, مكون من « كمات (quanta) من الإشعاعات », جسيمات تملك طاقة لها علاقة بتواتر الضوء. هذه الجسيمات بدون كتلة سميت فوتونات (photons) في سنة1926 .
- المادة و تحديد الكمية : يعود الفضل للدنماركي نيلس بور في اقتراح النموذج الذري المتوافق مع الأفكار الجديدة لتحديد الكمية : صرح في سنة 1913, أن طاقات الذرات لا تأخذ إلا قيما متفرقة (عكس القيم المستمرة) .

إن مستوى طاقتها مكمم : لكل مستوى طاقة محددة, خاصية الفرد معرفة بواسطة عدده الكمي n الذي يأخذ المقادير $n = 1, 2, 3, ...$.

- المستوى الموافق لـ$n = 1$ يسمى المستوى الأساسي, يمثل المستوى الأدنى للطاقة .

نتيجة :

- إن الذرات, الجزيئات و النواة تمتلك مستويات طاقة متفرقة.
- أثناء تحويل طاقوي, يمكن لطاقة الذرة الإنتقال من مستوى طاقوي E_i إلى مستوى طاقوي E_j حيث $E_j > E_i$ و العكس.
- يجب أن تحقق الطاقة المحولة E علاقة بور :

$E = E_j - E_i$ مع $E_i < E_j$ حيث E, E_i و E_j بالجول (j) .

خلاصة :

لا تسمح ميكانيك نيوتن بدراسة الحركات ذات السرعة القريبة من سرعة انتشار الضوء فهي محدودة التفسير على المستويين اللامتناهيين في الكبر و في الصغر .

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