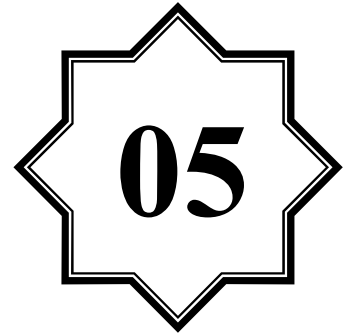


# عروض نظرية و تمارين

من التطورات الرتبة ٥

تطور جملة ميكانيكية



الشعب : علوم تجريبية  
رياضيات ، تقني رياضي

\*\*\*\*\*

[www.sites.google.com/site/faresfergani](http://www.sites.google.com/site/faresfergani)

السنة الدراسية : 2015/2014

## المحتوى المفاهيمي : 01

### مفاهيم أساسية في الميكانيك و الطاقة

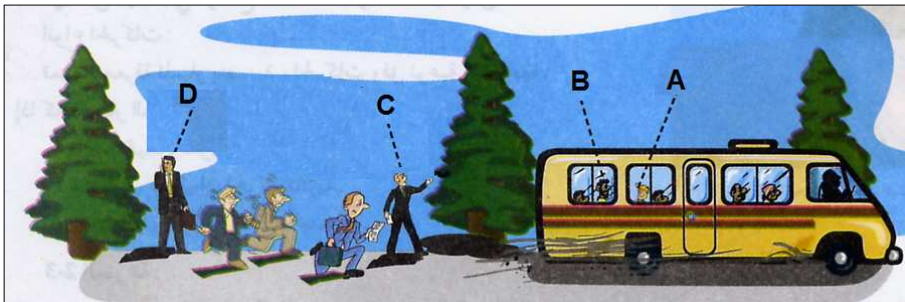
#### المرجع و المعلم

##### • نسبية الحركة :

- الحركة و السكون مفهومان نسبيان ، و لدراسة حركة أي جسم ، يقتضي اختيار مرجع تنسب إليه حركة هذا الجسم و هذا المرجع عادة ما يكون الأرض . أو جسم ساكن بالنسبة للأرض .

##### مثال :

يمثل الشكل التالي ، أربع مسافرين ، A ، B راكبين حافلة في حركة مستقيمة منتظمة ، و آخرين B و C ، واقفين على رصيف محطة المسافرين (الشكل) .

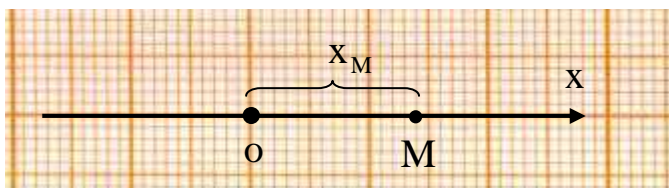


- نلاحظ أن كل مسافر يبدو متحركاً و ساكناً في آن واحد ، نستنتج أن الحركة و السكون مفهومان نسبيان .  
- عندما ننسب حركة أو سكون أي مسافر بالنسبة للشجرة ، مثلاً لا يمكن للمسافر A أن يبدو في حالة سكون بالنسبة للشجرة عندما يكون في حالة حركة بالنسبة إليها ، و لا يمكن للمسافر C أن يكون متحركاً بالنسبة للشجرة عندما

يكون ساكنًا بالنسبة لها . نستنتج أنه لدراسة حركة أو سكون جسم يجب نسب هذا الجسم إلى جسم ثابت بالنسبة للأرض ، يسمى مرجع .

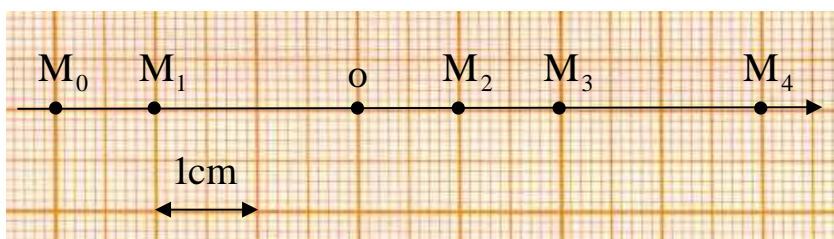
### • معلم المسافة و الفاصلة :

- معلم المسافة هو معلم مرتبط بالمرجع ، يرتكز على نقطة ثابتة (O) تدعى مبدأ المعلم ( أو مركز الإحداثيات ) ، يستعمل هذا النوع من المعالم في تعيين موضع المتحرك عند كل لحظة زمنية ، و هو يوجد على ثلاث أنواع : فضائي ، مستوي ، خطي .
- فاصلة الموضع M لمتحرك على مسار مستقيم في معلم خطي يوازي هذا المسار ، هو مقدار جبري يمثل بعد هذا الموضع عن مبدأ المعلم (الشكل) .



### مثال :

يمثل الشكل التالي الأوضاع التي يشغلها متحرك خلال أزمنة متساوية .

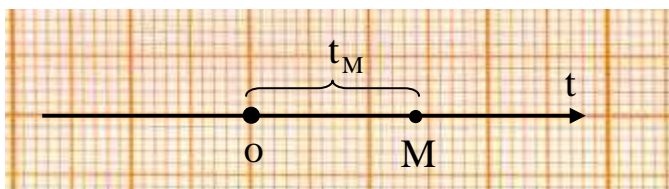


وفق تعريف الفاصلة ، تكون فواصل مواضع المتحرك  $M_4$  ،  $M_3$  ،  $M_2$  ،  $M_1$  ،  $M_0$  المبينة في الشكل بالاعتماد على سلم الرسم المرفق كما في الجدول التالي :

	$M_0$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$
x (m)	- 3	- 2	+ 1	+ 2	+ 4

### • معلم الأزمنة و اللحظة الزمنية :

- معلم الأزمنة هو معلم خطي موجه و موحد بوحدات زمنية ، مبدأه يكون كيفي و مختار .
- اللحظة الزمنية عند الموضع M هي مقدار جبري يمثل الفاصل الزمني بين لحظة بلوغ المتحرك النقطة M ، و مبدأ الأزمنة .

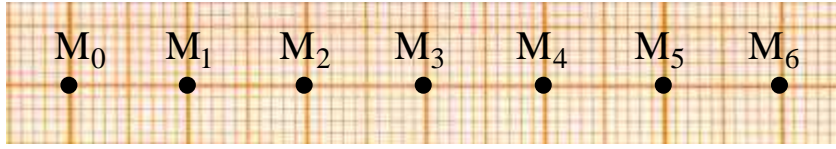


### ملاحظة :

يمكن للحظة الزمنية أن تكون سالبة .

### مثال :

يمثل الشكل التالي الأوضاع المتتالية التي يشغلها متحرك خلال أزمنة متساوية  $\tau = 2$  s .



يمثل الجدول التالي لحظات مرور المتحرك بالمواضع  $M_0$  ،  $M_1$  ، ..... ،  $M_6$  باعتبار مبدأ الأزمنة لحظة مرور المتحرك بالموضع  $M_2$  .

	$M_0$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$
t (s)	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4

### التمرين (1) :

جسم نقطي (S) يتحرك على مسار مستقيم ، يبدأ حركته من النقطة (A) باتجاه النقطة (B) ، فيقطع مسافة  $AB = 2 \text{ m}$  ، بعد  $2 \text{ s}$  من بدأ حركته ، ثم مسافة  $BC = 3 \text{ m}$  بعد  $1 \text{ s}$  من مروره بالنقطة (B) باتجاه نقطة أخرى (C) .

- في معلم خطي منطبق على مسار الحركة أوجد فواصل النقاط (A) ، (B) ، (C) ، و كذا لحظة مرور المتحرك بهذه النقاط في الحالات التالية :

- 1- مبدأ الأزمنة و الفواصل عند النقطة (A) .
- 2- مبدأ الأزمنة و الفواصل عند النقطة (B) .
- 3- مبدأ الأزمنة عند النقطة (B) و مبدأ الفواصل عند النقطة (A) .

### الأجوبة :

(1)

	A	B	C
t (s)	0	2	3
x (m)	0	2	5

(2)

	A	B	C
t (s)	-2	0	1
x (m)	-2	0	3

(3)

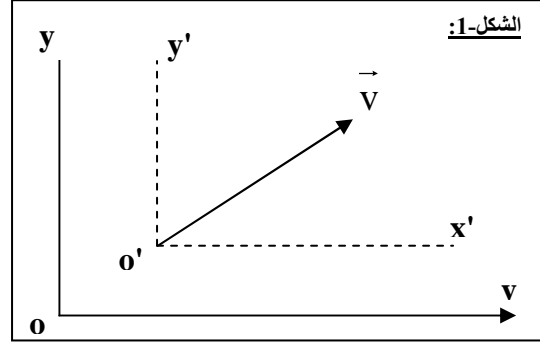
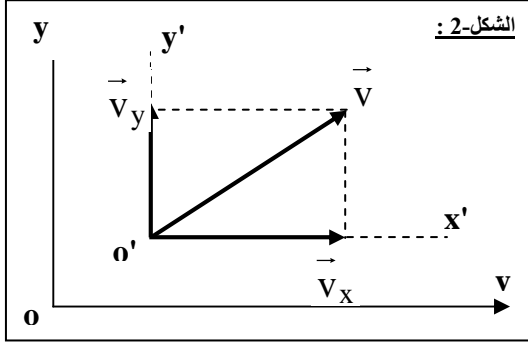
	A	B	C
t (s)	-2	0	1
x (m)	0	2	5

## تحليل الأشعة

### • كيفية تحليل شعاع إلى مركبتيه في معلم مستوي :

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-1) .
- 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  $\vec{v}_y$  الذي يمثل مركبة على الشعاع  $\vec{v}$  المحور ( $oy$ ) (الشكل-2)



### ملاحظة :

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

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

### • القيمة الجبرية لمركبة شعاع :

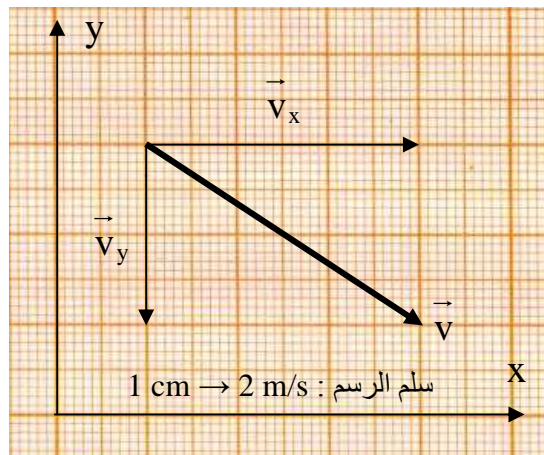
- القيمة الجبرية لمركبة شعاع وليكن  $\vec{v}_x$  ، التي يرمز لها بـ  $v_x$  ( بدون شعاع ) ، هي مقدار جبري يمثل طولية مركبة الشعاع بالموجب (+) عندما تكون مركبة الشعاع في الجهة الموجبة للمحور ، و طولية مركبة الشعاع بالسالب (-) إذا كانت مركبة الشعاع في الجهة السالبة (-) للمحور ( $ox$ ) ، أي :
- عندما يكون الشعاع  $\vec{v}_x$  في جهة المحور  $ox$  يكون :

$$v_x = + \parallel \vec{v}_x \parallel$$

- عندما يكون الشعاع  $\vec{v}_x$  عكس جهة المحور  $ox$  يكون :

$$v_x = - \parallel \vec{v}_x \parallel$$

### مثال :





- مركبة شعاع السرعة على المحور  $ox$  في الجهة الموجبة للمحور  $ox$  و عليه يكون :

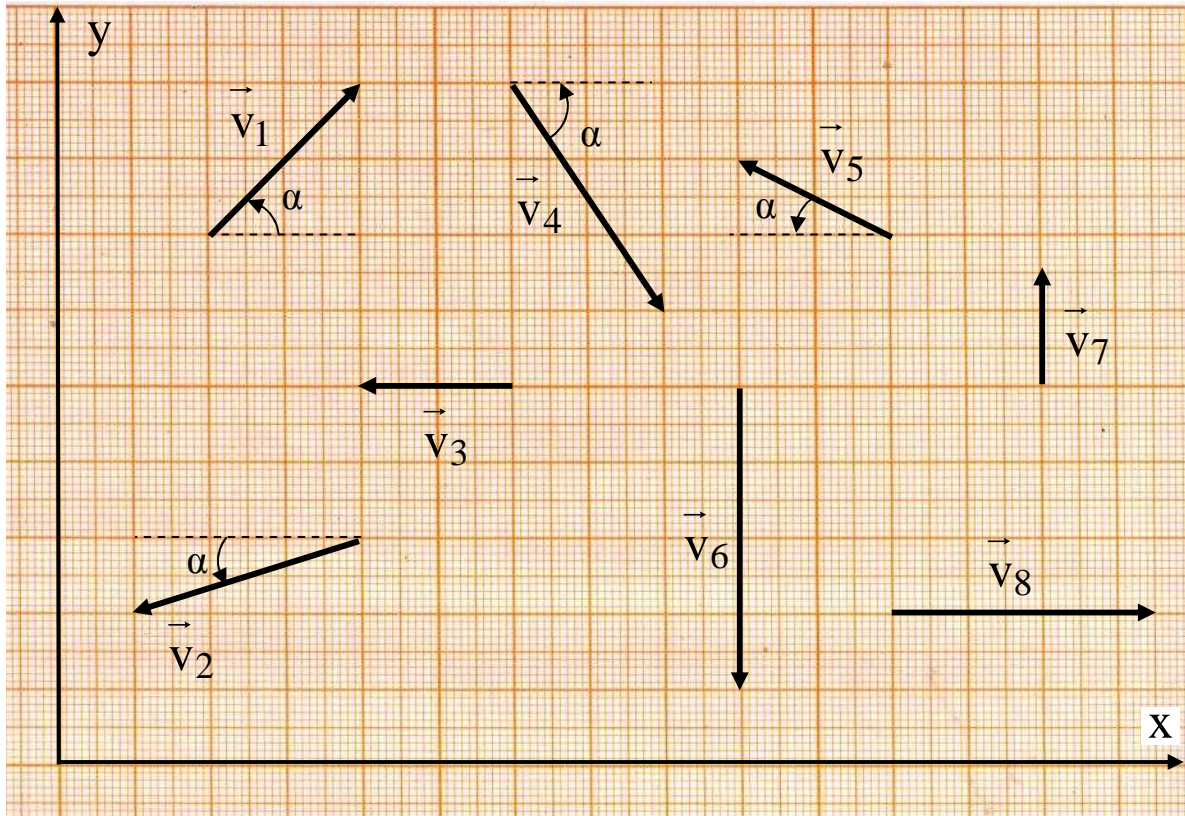
$$v_x = + \parallel \vec{v}_x \parallel = + (3 \cdot 2) = + 6 \text{ m/s}$$

- مركبة شعاع السرعة على المحور  $oy$  في الجهة السالبة للمحور  $oy$  و عليه يكون :

$$v_y = - \parallel \vec{v}_y \parallel = - (2 \cdot 2) = - 4 \text{ m/s}$$

## التمرين (2) :

1- يمثل الشكل التالي أشعة للسرعة في معلم مستوي  $(o,x,y)$  :



1- من خلال هذا الشكل و اعتمادا على سلم السرعة :  $1 \text{ cm} \rightarrow 2 \text{ m/s}$  أكتب عبارات أشعة السرعة على الشكل  $\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j}$ .

2- عبر عن مركبتي كل شعاع بدلالة طول شعاع السرعة  $v$  و الزاوية  $\alpha$  التي يصنعها شعاع السرعة مع المحور  $ox$ ,

## الأجوبة :

1- كتابة عبارات أشعة السرعة على الشكل  $\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j}$  :

$$\vec{v}_1 = +4\vec{i} + 4\vec{j} , \quad \vec{v}_2 = -6\vec{i} - 2\vec{j} , \quad \vec{v}_3 = -4\vec{i} , \quad \vec{v}_4 = +4\vec{i} - 6\vec{j}$$

$$\vec{v}_5 = -4\vec{i} + 2\vec{j} , \quad \vec{v}_6 = -8\vec{j} , \quad \vec{v}_7 = +3\vec{j} , \quad \vec{v}_8 = +7\vec{i} .$$

2- عبارتي  $v_x$  ،  $v_y$  بدلالة  $\alpha$  ، :

$$\vec{v}_1 \begin{cases} v_{1x} = +v_1 \cos\alpha \\ v_{1y} = +v_1 \sin\alpha \end{cases}$$

$$\vec{v}_2 \begin{cases} v_{2x} = -v_2 \cos\alpha \\ v_{2y} = -v_2 \sin\alpha \end{cases}$$

$$\vec{v}_3 \begin{cases} v_{3x} = -v_3 \\ v_{3y} = 0 \end{cases}$$

$$\vec{v}_4 \begin{cases} v_{4x} = +v_4 \cos\alpha \\ v_{4y} = -v_4 \sin\alpha \end{cases}$$

$$\vec{v}_5 \begin{cases} v_{5x} = -v_5 \cos\alpha \\ v_{5y} = +v_5 \sin\alpha \end{cases}$$

$$\vec{v}_6 \begin{cases} v_{6x} = 0 \\ v_{6y} = -v_6 \end{cases}$$

$$\vec{v}_7 \begin{cases} v_{7x} = +0 \\ v_{7y} = +v_7 \end{cases}$$

$$\vec{v}_8 \begin{cases} v_{8x} = +v_8 \\ v_{8y} = 0 \end{cases}$$

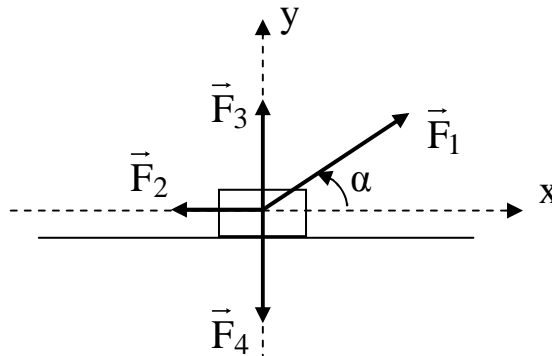
### • تحليل علاقة شعاعية بالنسبة في معلم مستوي :

- يعتمد مبدأ تحليل علاقة شعاعية على مبدأ تحليل شعاع كما يلي :

$$\vec{A} = \alpha \vec{B} \rightarrow A_x \vec{i} + A_y \vec{j} = \alpha B_x \vec{i} + \alpha B_y \vec{j} \rightarrow \begin{cases} A_x = \alpha B_x \\ A_y = \alpha B_y \end{cases}$$

### التمرين (3) :

نعتبر جسم (S) خاضع إلى تأثير مجموعة من القوى كما مبين في الشكل التالي :



حل العلاقة الشعاعية التالية وفق المحورين  $ox$  ،  $oy$  :

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = m\vec{a}$$

حيث  $m$  كتلة الجسم و الشعاع  $\vec{a}$  هو شعاع يميز حركة الجسم .

**الأجوبة :**

- تحليل العلاقة الشعاعية :

$$\begin{cases} F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} = m.a_x \\ F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y} = m.a_y \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_1.\cos\alpha - F_2 + 0 + 0 = m.a_x \\ F_1.\sin\alpha + 0 + F_3 - F_4 = m.a_y \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_1.\cos\alpha - F_2 = m.a_x \\ F_1.\sin\alpha + F_3 - F_4 = m.a_y \end{cases}$$

## المراجع الغاليلية

**• نص مبدأ العطالة :**

- مبدأ العطالة هو أحد القوانين الأساسية التي صاغها العالم نيوتن فهو ينص على ما يلي :

" يحافظ كل جسم على سكونه أو حركته المستقيمة المنتظمة إذا لم تتدخل قوة لتغيير حالته الحركية".

**• استنتاجات من مبدأ العطالة :**

يمكن من خلال مبدأ العطالة قول ما يلي :

- إذا لم يخضع جسم إلى تأثير أي قوة يكون إما ساكنا أو في حركة مستقيمة منتظمة .

- إذا خضع جسم إلى تأثير قوة لا يكون ساكنا و لا في حركة مستقيمة منتظمة بمعنى يمكن أن يكون في حركة مستقيمة متسارعة أو في حركة مستقيمة متباطئة أو في حركة منحنية أو في حركة دائرية منتظمة.....

- كل جسم ليس ساكنا و ليس في حركة مستقيمة منتظمة ( مستقيمة متسارعة أو مستقيمة متباطئة أو منحنية ) هو حتما خاضع إلى قوة .

- كل جسم في حركة مستقيمة منتظمة أو ساكنا يكون غير خاضع إلى أي قوة ، و إذا كان هذا الجسم خاضع إلى تأثير قوة معلومة و مؤكدة فهو حتما خاضع إلى قوة أخرى أو عدة قوى أخرى بحيث يكون في النهاية المجموع الشعاعي لكل القوى معدوم .

**• تعريف المرجع الغاليلي :**

- المرجع الغاليلي هو كل مرجع يتحقق فيه مبدأ العطالة ، و كل مرجع في إزاحة مستقيمة منتظمة مع مرجع غاليلي هو كذلك مرجع غاليلي .

- لتعريف المراجع الغاليلية نبحث عن مرجع ساكن أصلا ، لذلك اختير مركز الشمس الذي يعتبر ثابت بالنسبة لكل الأجسام الموجود في الفضاء .

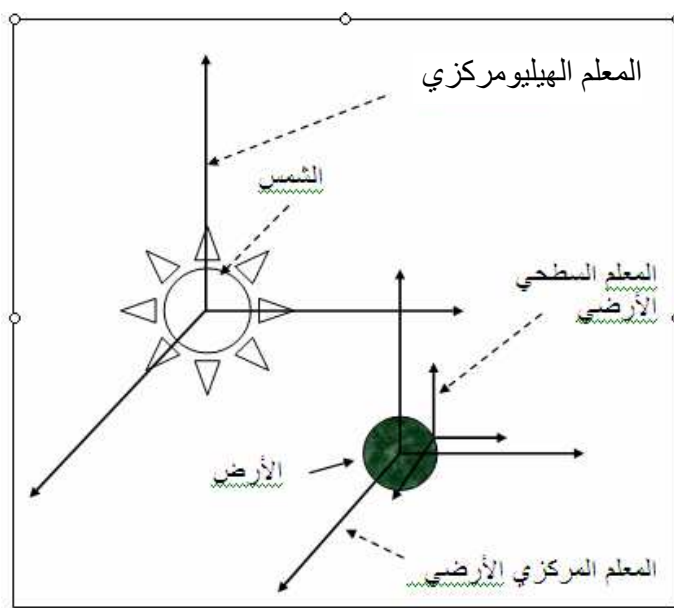
**• أمثلة عن المراجع الغاليلية :**

المرجع الهيليومركزي :

- مبدأ معلمه يكون منطبق على مركز الشمس ، و محاوره الثلاثة متجهة نحو نجوم جد بعيدة تعتبر ثابتة بالنسبة لمركز الشمس (الشكل) .

- يعتبر المرجع الهيليومركزي غاليليا إلى حد كبير .

- يعتمد على هذا المرجع في دراسة حركة الأجسام التي تتحرك حول الشمس كالأرض و بقية الكواكب .



المرجع المركزي الأرضي (المرجع الجيومركزي) :  
- مبدأ معلمه يكون منطبق على مركز الأرض ومحاوره الثلاثة تكون متجهة نحو ثلاث نجوم جد بعيدة ثابتة بالنسبة لمركز الأرض (الشكل) .

- في الحقيقة إن المرجع المركزي الأرضي ليس غاليليا بالمعنى الدقيق ، لكون مبدأ معلمه له مسار إهليلجي حول الشمس ، غير أنه بالنسبة للتجارب التي تدوم وقتا قصيرا مقارنة مع مدة دوران مركز الأرض حول الشمس يمكن اعتبار هذا المرجع غاليلي إذ أن حركة مركز الأرض حول الشمس في هذا المجال الزمني (زمن التجربة القصير) تكون مستقيمة منتظمة تقريبا مع المرجع الهيليومركزي الغاليلي .

- يعتمد على هذا المرجع في دراسة حركة الأجسام التي تتحرك حول الأرض ، مثل الأقمار الاصطناعية .

#### المرجع السطحي الأرضي :

- مبدأ معلمه يكون منطبق على نقطة من سطح الأرض ومحاوره الثلاثة تكون متجهة نحو ثلاث نجوم جد بعيدة تعتبر ثابتة بالنسبة لنقطة من سطح الأرض (الشكل) .

- في الحقيقة إن المرجع السطحي الأرضي ليس غاليليا بالمعنى الدقيق ، لكون مبدأ معلمه له مسار دائري بسبب دوران الأرض حول نفسها ، غير أنه بالنسبة للتجارب التي تدوم وقتا قصيرا مقارنة مع مدة دوران الأرض حول نفسها يمكن اعتبار هذا المرجع غاليلي إذ أن حركة مركز الأرض حول نفسها في هذا المجال الزمني (زمن التجربة القصير) تكون مستقيمة منتظمة تقريبا مع المرجع الهيليومركزي الغاليلي .

- يعتمد على هذا المرجع في دراسة حركة الأجسام التي تتم على الأرض مثل حركة قذيفة ، حركة جسم على مستوي مائل ، حركة نواس ..... .

### التمرين (4) :

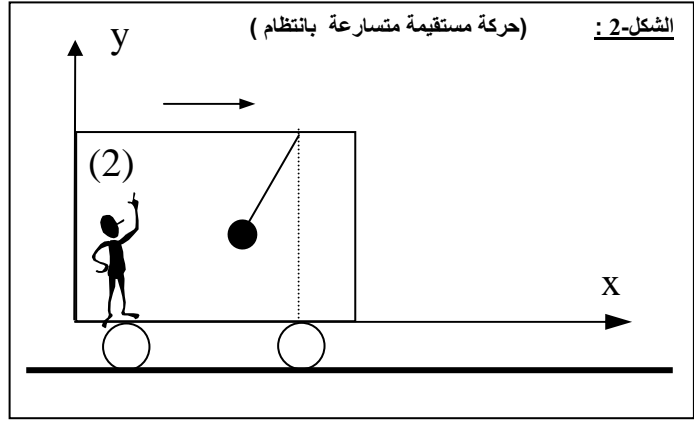
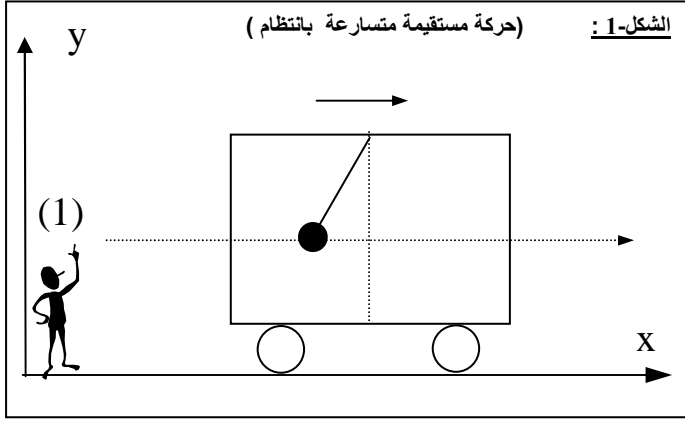
1- هل مبدأ العطالة محقق في الحالات التالية :

- جسم (S) خاضع إلى قوة و هو في حركة مستقيمة منتظمة .
  - جسم (S) خاضع إلى قوة و هو في حركة مستقيمة متسارعة بانتظام .
  - جسم (S) غير خاضع إلى أي قوة ، و هو في حركة مستقيمة متباطئة بانتظام .
- 2- في نقطة من سقف عربة نعلق خيط ينتهي كرية صغيرة (b) . تنطلق العربة بحركة مستقيمة متسارعة بانتظام ، نلاحظ انحراف الخيط عن المحور الشاقولي بزاوية  $\alpha$  ، مما يدل على أن الكرية (b) خاضعة إلى تأثير ميكانيكي أدى بها إلى انزياح الخيط عن الشاقول .

نعتبر المرجعين التاليين :

- مرجع (1) : مرتبط بالأرض (الشكل-1) .
- مرجع (2) : مرتبط بالعربة (الشكل-2) .





- أ- كيف تبدو الكرة (b) بالنسبة لملاحظ مرتبط بالمرجع (1) ، و كيف تبدو بالنسبة لملاحظ مرتبط بالمرجع (2) .  
 ب- هل المرجع (1) غاليلي أم لا ، و كذلك المرجع (2) . علل .  
 3- هل يكون المرجع (2) غاليلي إذا أصبحت حركة العربة مستقيمة منتظمة . كيف يكون الخيط في هذه الحالة ؟

### الأجوبة :

#### 1- تحقق مبدأ العطالة :

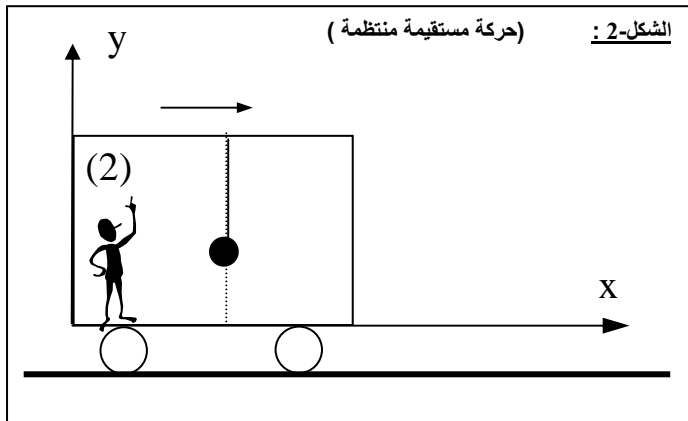
يكون مبدأ العطالة محقق في الحالتين :

- جسم غير خاضع إلى أي قوة و يكون ساكن أو في حركة مستقيمة منتظمة .
- جسم خاضع إلى قوة و لا يكون في حركة مستقيمة منتظمة ( مستقيمة متسارعة ، مستقيمة متباطئة ، منحنية ، دائرية ) و على هذا الأساس يكون :
- (الحالة- أ) ← مبدأ العطالة غير محقق .
- (الحالة- ب) ← مبدأ العطالة محقق .
- (الحالة- ج) ← مبدأ العطالة غير محقق .

2-أ- تبدو الكرة في حركة مستقيمة متسارعة (نفس حركة العربة) بالنسبة لملاحظ مرتبط بالمرجع (1) في حين تبدو ساكنة بالنسبة لملاحظ مرتبط بالمرجع (2) .

ب- المرجع (1) غاليلي لأن مبدأ العطالة فيه محقق حيث تبدو الكرة في حركة مستقيمة متسارعة (حركة العربة) وهي خاضعة إلى تأثير ميكانيكي (قوة) أدى إلى انزياح الخيط مع الكرة ، أما المرجع (2) ليس غاليلي لأن مبدأ العطالة فيه غير محقق إذا تبدو الكرة ساكنة و هي خاضعة إلى تأثير ميكانيكي (قوة) أدى إلى انزياح الخيط مع الكرة .

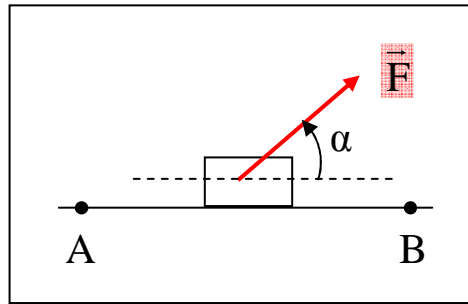
3- إذا أصبحت حركة العربة مستقيمة منتظمة يكون المرجع (2) غاليلي لأنه أصبح في حركة مستقيمة منتظمة مع المرجع السطحي الأرضي الذي نعتبره غاليلي ، و الخيط في هذه الحالة يكون شاقوليا كما لو كانت العربة متوقفة .



## العمل و الطاقة

### • عمل قوة ثابتة :

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

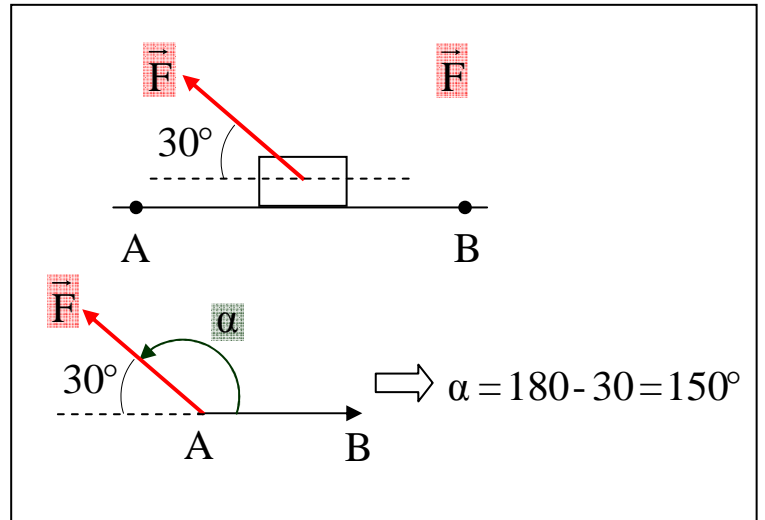
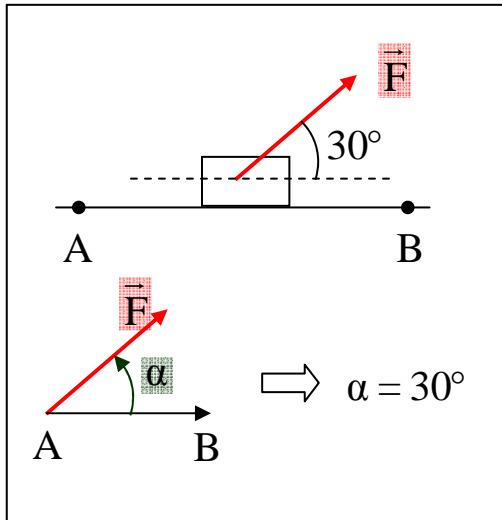


$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB}$$

و هذا العلاقة تكافئ العلاقة التالية :

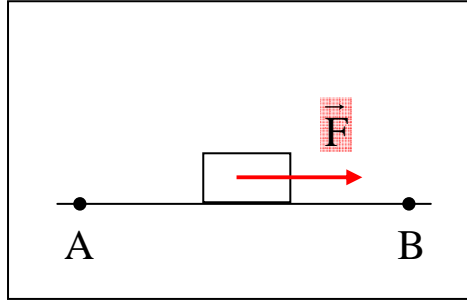
$$W_{AB}(\vec{F}) = F AB \cos\alpha$$

حيث  $\alpha$  هي الزاوية التي يصنعها الشعاع  $\overrightarrow{AB}$  مع شعاع القوة  $\vec{F}$  ، كما مبين في المثالين التاليين :

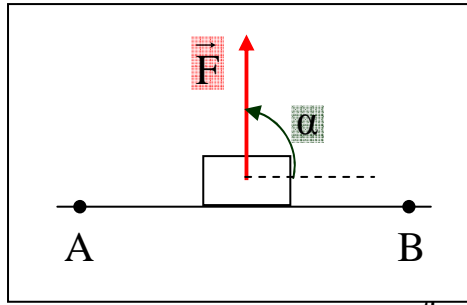


- تقدر المسافة AB بالمتر (m) و شدة القوة  $\vec{F}$  بالنيوتن (N) و العمل W بالجول (J) .

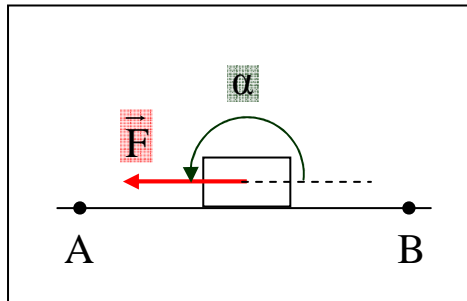
حالات خاصة :

■ القوة  $\vec{F}$  توازي شعاع الانتقال و في جهة حركته :- في هذه الحالة يكون :  $\cos \alpha = 1 \rightarrow \alpha = 0$  . ومنه تصبح عبارة العمل كما يلي :

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

■ القوة  $\vec{F}$  عمودية على شعاع الانتقال :- في هذه الحالة يكون :  $\cos \alpha = 0 \rightarrow \alpha = \frac{\pi}{2}$  . ومنه تصبح عبارة العمل كما يلي :

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

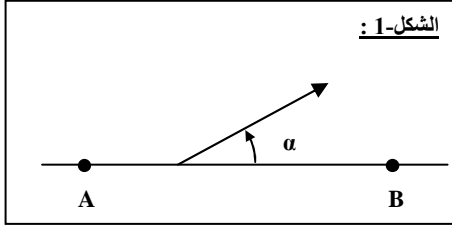
■ القوة  $\vec{F}$  توازي شعاع الانتقال و معاكسة لجهة حركته :- في هذه الحالة يكون :  $\cos \alpha = -1 \rightarrow \alpha = \pi$  . ومنه تصبح عبارة العمل كما يلي :

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

**ملاحظة :**

عمل قوة  $\vec{F}$  أثناء انتقال من موضع A إلى الموضع B مروراً بمواضع أخرى  $A_1$  ،  $A_2$  ، .....  $A_n$  مساوي لمجموع الأعمال لكل الانتقالات أي :

$$W_{AB}(\vec{F}) = W_{AA_1}(\vec{F}) + W_{A_1A_2}(\vec{F}) + W_{A_2A_3}(\vec{F}) + \dots + W_{A_nB}(\vec{F})$$

**التمرين (5) :**

الشكل-1 :

يتحرك جسم  $M$  كتلته  $m$  ، أفقياً من موضع A إلى موضع B على مسار مستقيم تحت تأثير قوة  $\vec{F}$  تصنع زاوية  $\alpha$  مع شعاع الانتقال شدتها  $F = 20$  N (الشكل-1). أحسب عمل القوة  $\vec{F}$  عندما ينتقل الجسم  $M$  مسافة  $d = 5$  m من الموضع A إلى الموضع B في الحالات التالية :

1- القوة  $\vec{F}$  تصنع زاوية  $\alpha = 60^\circ$  مع شعاع الانتقال في الإتجاه الموافق لجهة الحركة .

2- القوة  $\vec{F}$  موازية للمسار و في جهة الحركة .

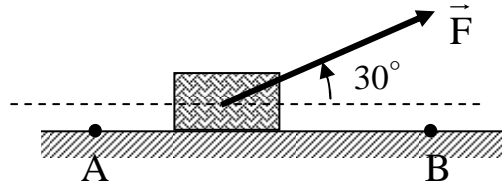
3- القوة  $\vec{F}$  موازية للمسار و معاكسة لجهة الحركة .

4- القوة  $\vec{F}$  عمودية على المسار .

**الأجوبة :**

■ عمل القوة  $\vec{F}$  :

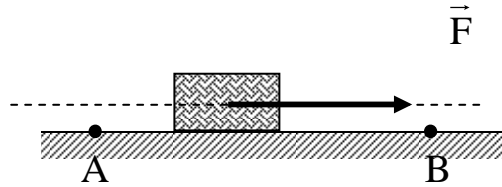
1- القوة  $\vec{F}$  تصنع الزاوية  $\alpha = 60^\circ$  في جهة الحركة :



$$W_{A-B}(\vec{F}) = F \cdot AB \cos 60^\circ$$

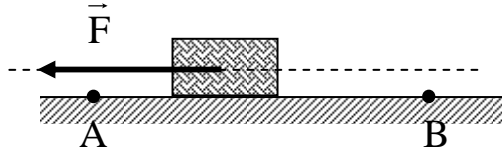
$$W_{A-B}(\vec{F}) = 20 \cdot 5 \cdot 0.5 = 50 \text{ J}$$

2- القوة  $\vec{F}$  موازية للمسار و في جهة الحركة :



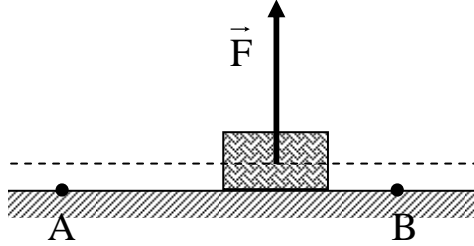
$$W_{A-B}(\vec{F}) = F \cdot AB$$

$$W_{A-B}(\vec{F}) = 20 \cdot 5 = 100 \text{ J}$$

3- القوة  $\vec{F}$  موازية للمسار و معاكسة لجهة الحركة :

$$W_{A-B}(\vec{F}) = -F \cdot AB$$

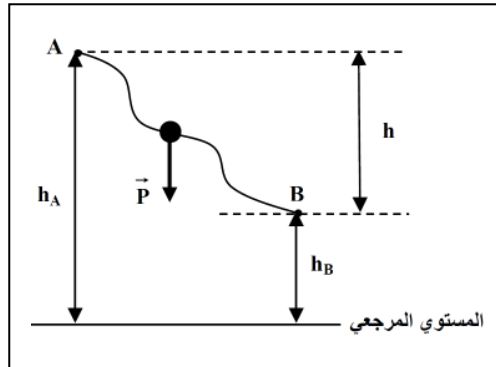
$$W_{A-B}(\vec{F}) = -20.5 = -100 \text{ J}$$

4- القوة  $\vec{F}$  عمودية على المسار :

$$W_{A-B}(\vec{F}) = 0$$

## ● عمل قوة الثقل :

عندما ينتقل مركز ثقل جسم من نقطة A الموجودة على ارتفاع  $z_A$  في معلم معين إلى نقطة B الموجودة على ارتفاع  $z_B$  في نفس المعلم ، فإن عمل ثقل هذا الجسم أثناء الانتقال من الموضع A إلى الموضع B يعبر عنه بالعلاقة :



$$W_{A-B}(\vec{P}) = m \cdot g (z_A - z_B)$$

أو بإحدى العلاقتين :

$$W_{A-B}(\vec{P}) = + m \cdot g \cdot h \quad (\text{عمل الثقل محرك ، الجسم نازل})$$

$$W_{A-B}(\vec{P}) = - m \cdot g \cdot h \quad (\text{عمل الثقل مقاوم ، الجسم صاعد})$$

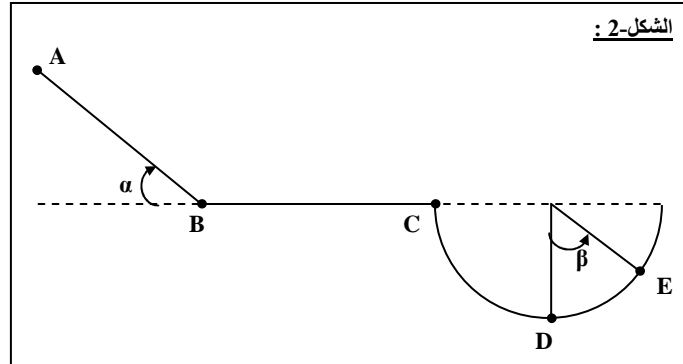
## ملاحظة :

عمل الثقل لا يتعلق بالمسار و إنما يتعلق بالموضعين الابتدائي و النهائي فقط .



**التمرين (6) :**

يتحرك جسم (S) كتلته  $m = 2 \text{ kg}$  بدون احتكاك على المسار ABCDEF الموضح في (الشكل-2) التالي :

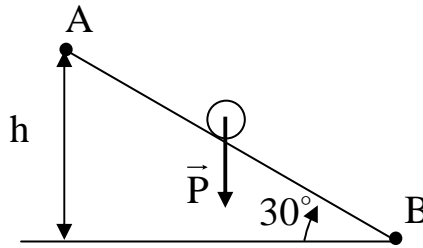


الشكل-2 :

- 1- أحسب عمل قوة الثقل في الحالات التالية :
    - عند الانتقال من الموضع A إلى الموضع B .
    - عند الانتقال من الموضع B إلى الموضع C .
    - عند الانتقال من الموضع C إلى الموضع D .
    - عند الانتقال من الموضع D إلى الموضع E .
  - 2- استنتج عمل الثقل أثناء الانتقال من الموضع A إلى الموضع E .
- يؤخذ :  $\beta = 60^\circ$  ،  $\alpha = 30^\circ$  ،  $g = 10 \text{ N/m}$  ،  $R = 8 \text{ m}$  ،  $AB = 10 \text{ m}$  .

**الأجوبة :****1- عمل الثقل :**

- الانتقال ( A → B ) :



$$W_{A-B}(\vec{P}) = m g h$$

من الشكل :

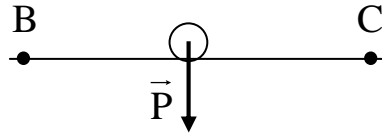
$$\sin \alpha = \frac{h}{AB} \rightarrow h = AB \sin \alpha$$

و منه :

$$W_{A-B}(\vec{P}) = m g AB \sin \alpha$$

$$W_{A-B}(\vec{P}) = 2 \cdot 10 \cdot 10 \cdot \sin 30^\circ = 100 \text{ J}$$

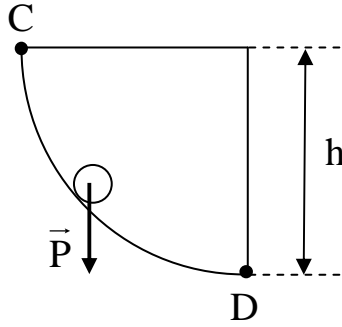
■ الانتقال (B → C) :



في هذه الحالة قوة الثقل  $\vec{P}$  عمودية على شعاع الانتقال و بالتالي يكون :

$$W_{B-C}(\vec{P}) = 0$$

■ الانتقال (C → D) :



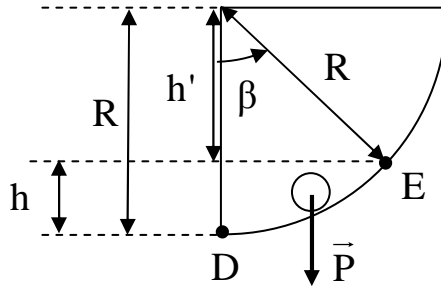
$$W_{C-D}(\vec{P}) = m g h$$

من الشكل :  $h = R$  و منه :

$$W_{C-D}(\vec{P}) = m g R$$

$$W_{C-D}(\vec{P}) = 2 \cdot 10 \cdot 8 = 160 \text{ J}$$

■ الانتقال (D → E) :



$$W_{D-E}(\vec{P}) = - m g h$$

من الشكل :

$$\begin{cases} h = R - h' \\ \cos \beta = \frac{h'}{R} \rightarrow h' = R \cos \beta \rightarrow h = R - R \cos \beta \rightarrow h = R (1 - \cos \beta) \end{cases}$$

و منه تصبح عبارة عمل الثقل :

$$W_{D-E}(\vec{P}) = - m g R (1 - \cos \beta)$$

$$W_{D-E}(\vec{P}) = - 2 \cdot 10 \cdot 8 (1 - \cos 60^\circ) = - 80 \text{ J}$$

**• الطاقة الحركية الانسحابية :**

- عندما ينسحب جسم ذو كتلة  $m$  بسرعة  $v$  فإن طاقته الحركية  $E_c$  مقدرة بالجلول عند كل لحظة تعطى بالعلاقة التالية :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

**• ملاحظة :**

الطاقة الحركية لجملة تتكون من عدة أجسام ( $S_1$ ) ، ( $S_2$ ) ..... مساوية لمجموع الطاقات الحركية لهذه الأجسام أي :

$$E_c = E_c(S_1) + E_c(S_2) + \dots\dots$$

**• معادلة انحفاظ الطاقة في الجملة الميكانيكية :**

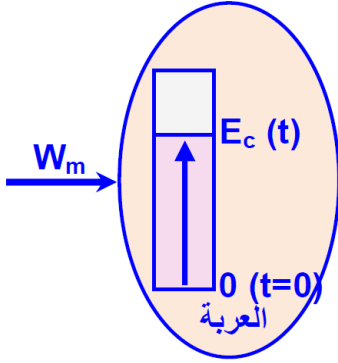
إذا كانت طاقة جملة ميكانيكية الابتدائية هي  $E_1$  ثم حدث تغير في طاقتها بسبيل ميكانيكي  $W_m$  لتصبح  $E_2$  .

يمكن كتابة معادلة انحفاظ الطاقة كما يلي :

$$E_1 + W_m = E_2$$

$W_m$  يمثل مجموع أعمال القوى الخارجية أي :  $W_m = \sum W(\vec{F}_{ext})$  و منه يمكن كتابة معادلة انحفاظ الطاقة كما يلي :

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

**التمرين (7) :**

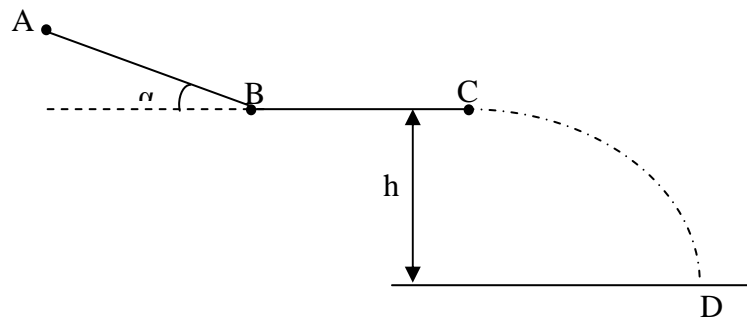
جسم ( $S$ ) نعتبره نقطي (أبعاده مهملة) كتلته  $m = 1 \text{ Kg}$  يتحرك على المسار ABCD (الشكل) حيث :

AB : مستوي مائل طوله  $AB = 2 \text{ m}$  و يميل على الأفق بزاوية  $\alpha = 30^\circ$  به الاحتكاك مهمل .

BC : مسار مستقيم أفقي طوله  $BC = 2 \text{ m}$

يخضع الجسم ( $S$ ) على المسار BC لقوة احتكاك  $\vec{f}$  شدتها ثابتة .

يندفع الجسم ( $S$ ) من الموضع (A) بسرعة ابتدائية قدرها  $v_A = 4 \text{ m/s}$  . يعطى :  $g = 10 \text{ m/s}^2$  .

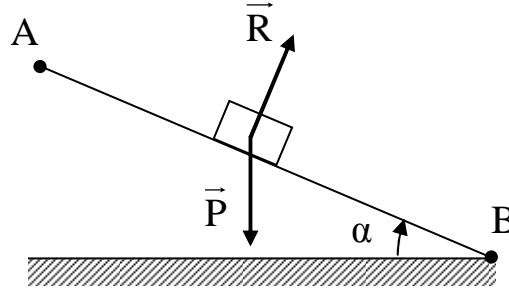


1 - أحسب سرعة الجسم ( $S$ ) عند الموضع (B) أسفل المستوي المائل .

- 2 - إذا علمت أن الجسم (S) يصل إلى الموضع C بسرعة قدرها 4 m/s ، أوجد شدة قوة الاحتكاك f .
- 3 - عند وصول الجسم (S) إلى النقطة C التي تبعد عن سطح الأرض بمقدار h = 1.65 m ، يندفع الجسم في الهواء و يسقط تحت تأثير ثقله حتى يصطدم بالأرض في الموضع D . أحسب سرعة الجسم (S) عند الموضع (D) ( تهمل كل قوى الاحتكاك و دافعة أرخميدس ) .

### الأجوبة :

1- السرعة  $v_B$  عند B :



- الجملة المدروسة : جسم (S) .
- مرجع الدراسة : سطحي أرضي نعتبره غاليلي .
- القوى الخارجية المؤثرة : الثقل  $\vec{P}$  ، قوة رد الفعل  $\vec{R}$  .
- بتطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة بين الموضعين A و B :

$$E_A + E_{\text{مكتسبة}} - E_{\text{مقدمة}} = E_B$$

$$E_{CA} + W_{A-B}(\vec{P}) + W_{A-B}(\vec{R}) = E_{CB}$$

$$\blacksquare E_{CA} = \frac{1}{2} m v_A^2$$

$$\blacksquare W_{A-B}(\vec{P}) = m g h = m g AB \sin \alpha$$

$$\blacksquare W_{A-B}(\vec{R}) = 0 \quad (\vec{R} \perp \vec{AB})$$

$$\blacksquare E_{CB} = \frac{1}{2} m v_B^2$$

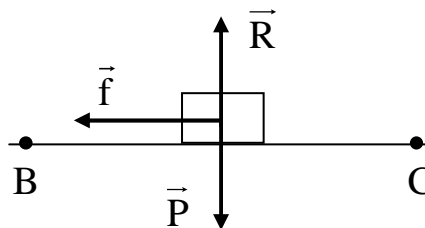
$$\frac{1}{2} m v_A^2 + m g AB \sin \alpha = \frac{1}{2} m v_B^2$$

$$\frac{1}{2} v_A^2 + g AB \sin \alpha = \frac{1}{2} v_B^2$$

$$v_A^2 + 2 g AB \sin \alpha = v_B^2 \rightarrow v_B = \sqrt{v_A^2 + 2 g AB \sin \alpha}$$

$$v_B = \sqrt{(4)^2 + (2 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 0.5)} = 6 \text{ m/s}$$

2- قيمة f :



- الجملة المدروسة : جسم (S) .
- مرجع الدراسة : سطحي أرضي نعتبره غاليلي .
- القوى الخارجية المؤثرة : الثقل  $\vec{P}$  ، قوة رد الفعل  $\vec{R}$  ، قوة الاحتكاك  $\vec{f}$  .
- بتطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة بين الموضعين B و C :

$$E_A + E_{\text{مكتسبة}} - E_{\text{مقدمة}} = E_B$$

$$E_{CB} + W_{B-C}(\vec{P}) + W_{B-C}(\vec{R}) + W_{B-C}(\vec{f}) = E_{CC}$$

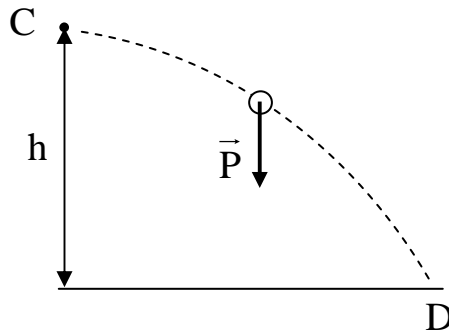
$$\frac{1}{2} m v_B^2 + 0 + 0 - f \cdot BC = \frac{1}{2} m v_C^2$$

$$m v_B^2 - 2 f \cdot BC = m v_C^2$$

$$m v_B^2 - m v_C^2 = 2 f \cdot BC \rightarrow f = \frac{m (v_B^2 - v_C^2)}{2 \cdot BC}$$

$$f = \frac{1 (6^2 - 4^2)}{2 \cdot 2} = 5 \text{ N}$$

3- سرعة الجسم (S) عند اصطامه بالأرض :



- الجملة المدروسة : جسم (S) .
- مرجع الدراسة : سطحي أرضي نعتبره غاليلي .
- القوى الخارجية المؤثرة : الثقل  $\vec{P}$  .
- بتطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة بين الموضعين C و D حيث :

$$E_C + E_{\text{مكتسبة}} - E_{\text{مقدمة}} = E_D$$

$$E_{CC} + W_{C-D}(\vec{P}) = E_{CD}$$

$$\frac{1}{2} m v_C^2 + m g h = \frac{1}{2} m v_D^2$$

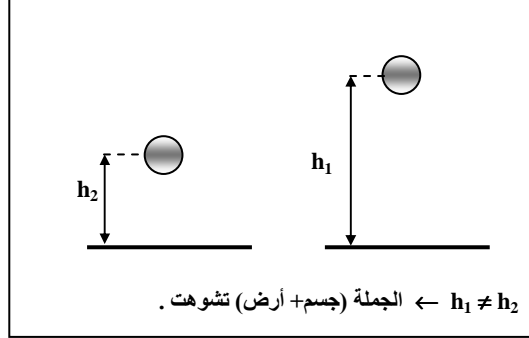
$$v_C^2 + 2 g h = v_D^2 \rightarrow v_D = \sqrt{v_C^2 + 2 g h}$$

$$v_D = \sqrt{(4)^2 + 2 \cdot 10 \cdot 1.65} = 7 \text{ m/s}$$

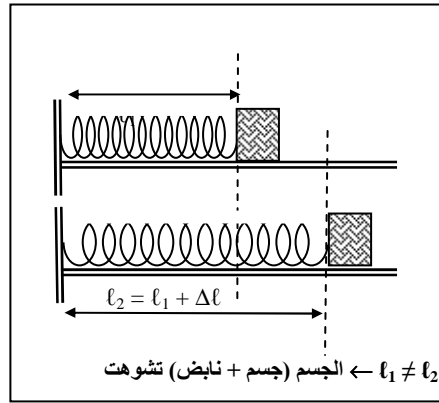


### • الجملة القابلة للتشوه و الطاقة الكامنة

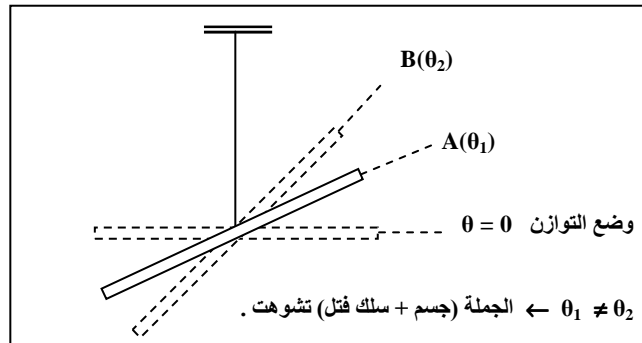
- نقول عن جملة أنها قابلة للتشوه ، إذا تغيرت المسافة بين مختلف أجزائها و مختلف النقاط المادية المكونة لها ، و بتشوه الجملة تكتسب هذه الأخيرة طاقة تدعى طاقة كامنة يرمز لها بـ  $E_p$  و وحدتها الجول (J) .
- أهم الجمل الميكانيكية القابلة للتشوه و التي ستكون محول الدراسة في برنامجنا هي :  
الجملة (جسم + أرض) :



- تتشوه الجملة (جسم + أرض) إذا تغير البعد بين الجسم و الأرض .
- عندما تتشوه الجملة (جسم + أرض) تخزن طاقة كامنة ثقالية يرمز لها بـ  $E_{pp}$  .  
الجملة (جسم + نابض)



- تتشوه الجملة (جسم + نابض) عندما يتغير طول النابض (استطالة أو انضغاط) .
- عندما تتشوه الجملة (جسم + نابض) تخزن طاقة كامنة مرونية يرمز لها بـ  $E_{pe}$  .  
الجملة (جسم + سلك فتل)



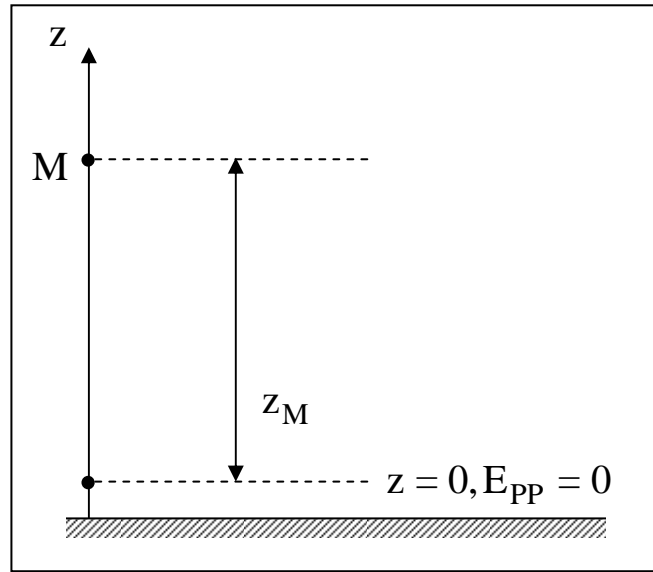
- تتشوه الجملة (جسم + سلك فتل) عندما يفتل السلك بزاوية معينة  $\theta$  .
- عندما تتشوه الجملة (جسم + سلك فتل) تخزن طاقة كامنة فتلية  $\theta$  يرمز لها بـ  $E_{pe}$  .

**ملاحظة :**

- في الحقيقة الطاقة الكامنة لجملة مادية هي مقدار موجب ، لكننا نتعامل معها كمقدار جبري ، تقاس بالنسبة لمرجع نعتبر عنده الطاقة الكامنة معدومة . علما أن التغير في الطاقة الكامنة لا يتغير بتغير المرجع .
- بالنسبة للطاقة الكامنة المرونية و الطاقة الكامنة الفتلية عادة نعتبر وضع التوازن مرجعا لحساب الطاقة الكامنة المرونية ( $x = 0$ ) و الطاقة الكامنة الفتلية ( $\theta = 0$ ) .

**• عبارة الطاقة الكامنة الثقالية :**

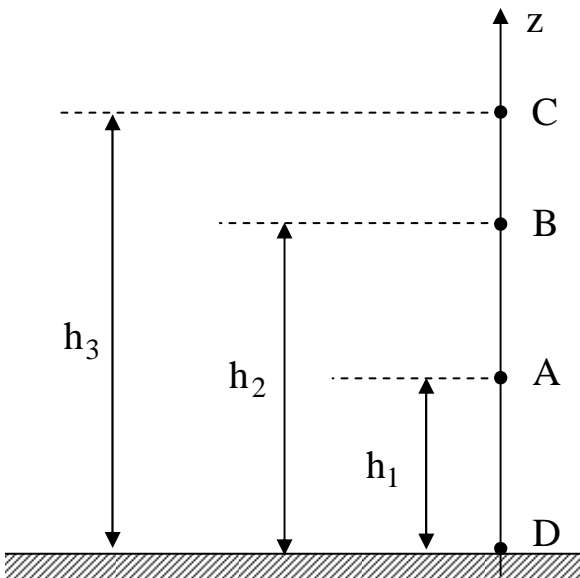
عندما يكون جسم (S) على ارتفاع  $z$  من مستوي مرجعي فإن الجملة (جسم S + أرض) تمتلك طاقة كامنة ثقالية يعبر عنها بالعلاقة :



$$E_{pp} = m \cdot g \cdot z$$

**التمرين (8) :**

من موضع A يقع على ارتفاع  $h_1 = 1.2 \text{ m}$  من سطح الأرض ، يقذف طفل كرة كتلتها  $m = 400 \text{ g}$  شاقوليا نحو الأعلى بسرعة  $v_A = 4 \text{ m/s}$  ، تمر بالموضع B الذي يرتفع عن سطح الأرض بمقدار  $h_2 = 1.5 \text{ m}$  ، ثم بالموضع C التي يبعد عن سطح الأرض بمقدار  $h_3$  و الذي تغير فيه الكرة جهة حركتها راجعة باتجاه الأرض ، تمر مرة ثانية من موضع القذف A لتسقط في النهاية على سطح الأرض في الموضع D .



1- أحسب الطاقة الكامنة الثقالية للجملة (كرة + أرض) عند المواضع A ، B ، D ، باعتبار الوضع المرجعي لحساب الطاقة الكامنة :

أ- منطبق على الأرض .

ب- منطبق على المستوي الأفقي المار من النقطة A .

( نعتبر  $g = 10 \text{ m/s}^2$  ) .

2- نعتبر الجملة ( كرة + أرض ) كما نعتبر المستوي المرجعي لحساب الطاقة الكامنة منطبق على سطح الأرض .  
 بإهمال تأثير الهواء على الكرة و بتطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة أوجد أقصى ارتفاع تبلغه الكرة بالنسبة للأرض .

### الاجوبة :

1- حساب الطاقة الكامنة :

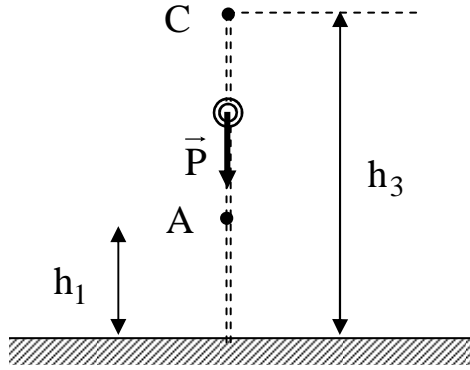
أ- المستوي المرجعي لحساب الطاقة الكامنة يكون منطبق على سطح الأرض (مار من D) :

- $E_{PPA} = m g z_A = m g h_1 = 0.4 \cdot 10 \cdot 1.2 = 4.8 \text{ J}$
- $E_{PPB} = m g z_B = m g h_2 = 0.4 \cdot 10 \cdot 1.5 = 6 \text{ J}$
- $E_{PPD} = m g z_D = 0$  (المستوى المرجعي)

ب- المستوي المرجعي لحساب الطاقة الكامنة يكون مار من A :

- $E_{PPA} = m g z_A = 0$  (المستوي المرجعي)
- $E_{PPB} = m g z_B = m g (h_2 - h_1) = 0.4 \cdot 10 \cdot (1.5 - 1.2) = 1.2 \text{ J}$
- $E_{PPD} = m g z_D = m g (-h_1) = 0.4 \cdot 10 \cdot (-1.2) = -4.8 \text{ J}$

2- أقصى ارتفاع تبلغه الكرة بالنسبة للأرض :



- الجملة المدروسة : ( كرة + أرض ) .

- مرجع الدراسة : سطحي أرضي نعتبره غاليلي .

- لا توجد قوى خارجية مؤثرة على الجملة .

- نعتبر سطح الأرض مرجعا لحساب الطاقة الكامنة الثقالية .

- بتطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة بين الموضع A و الموضع C حيث A موضع القذف و C موضع الكرة عند بلوغها أقصى ارتفاع .

$$E_A + E_{\text{مكتسبة}} - E_{\text{مقدمة}} = E_C$$

$$E_{CA} + E_{PPA} + 0 = E_{CC} + E_{PPC}$$

$$\square E_{CA} = \frac{1}{2} m v_A^2$$

$$\square E_{PPA} = m g h_1$$

$$\square E_{CC} = 0 \quad (v_C = 0)$$

$$\square E_{PPC} = m g h_3$$

يصبح لدينا :

$$\frac{1}{2} m v_A^2 + m g h_1 = 0 + m g h_3$$

$$\frac{1}{2} v_A^2 + g h_1 = 0 + g h_3$$

$$v_A^2 + 2 g h_1 = 2 g h_3$$

$$h_3 = \frac{v_A^2 + 2 g h_1}{2 g}$$

$$h_3 = \frac{(4)^2 + 2 \cdot 10 \cdot 1.2}{2 \cdot 10} = 2 \text{ m}$$