جامعة بغداد

كلية التربية للعلوم الصرفة (ابن الهيثم)

قسم الفيزياء / المرحلة الاولى

المادة: الميكانيك

Introduction المقدمة

تمثل الميكانيكا الكلاسيكية أحد أركان الفيزياء الأساسية وأكثرها متانةً وأهمية، فهي الإطار النظري الذي يحكم حركة الأجسام المادية في حياتنا اليومية، من سقوط تفاحة إلى دوران الكواكب في أفلاكها. ليست الميكانيكا الكلاسيكية مجرد نظرية فيزيائية فحسب، بل هي لغة رياضية رصينة لفهم القوى والحركة والطاقة في العالم من حولنا.

لوصف اية ظاهرة طبيعية، لابد من توفر قياسات لمختلف الكميات الطبيعية كالطول والكتلة والزمن. مجمل قوانين الفيزياء تشتق بدلالة علاقات رياضية مابين الكميات الفيزياوية المختلفة.

في عام 1960، اعدت المنظمة الدولية نظام قياسي للكميات الفيزياوية، اطلق عليه تسمية النظام الدولي SI . وتم تحديد الوحدات القياسية لكل من الكميات الطول length والكتلة mass والزمن time وهي (متر m، كيلوغرام kg، ثانية sec) على التوالي. وسميت هذه الكميات الثلاثة بالكميات الاساسية . اضافة الى هذه الكميات الثلاثة الاساسية تم تحديد الوحدات القياسية لعوامل فيزياوية اخرى، فعلى سبيل المثال، درجة الحرارة temperature تقاس بوحدة الكلفن kelvin والتيار الكهربائي current يقاس بوحدة الامبيرampere وكمية المادة تقاس بوحدة المول mole وغيرها من الكميات الفيزياوية الاخرى سنتطرق الى ذكرها في الدراسات القادمة.

في علم الميكانيك، تعد الكميات الطول والكتلة والزمن الكميات الاساسية وبقية الكميات الفيزياوية ممكن استنتاجها بدلالة هذه الكميات الاساسية. معظم الكميات المتغيرة، من الممكن استنتاجها بدلالة علاقات رياضية مترابطة مابين الكميات الاساسية. فعلى سبيل المثال، المساحة area ممكن التعبير عنها رياضيا بعلاقة حاصل ضرب عاملي طول، وكذلك السرعة velocity او الانطلاق speed لجسم ما ممكن التعبير عنها بعلاقة رياضية كحاصل قسمة الطول او المسافة على الزمن، وكثافة المادة density ρ ممكن التعبير عنها بعلاقة رياضية كحاصل قسمة كتلة المادة على حجم المادة volume.

$$\rho = \frac{m}{V}\ , \qquad {}^{kg}/_{m^3}\ or\ {}^{g}/_{cm^3}$$

مصطلحات مفيدة useful symbols

طول	كتلة	زمن	سرعة	تيار	درجة الحرارة	مساحة	كثافة
length	mass	time	Velocity	current	temperature	Area	Density

مصطلحات مفيدة *useful symbols*

تعجيل	مسار	مسافة	ابتدائي	نهائي	اكبر	اصغر
acceleration	path	distance	Initial	Finial	Greater	Smaller

Chapter One الفصل الاول

Motion in one dimension الحركة باتجاه واحد

الموقع (الموضع) Position : يعرف موقع او موضع الجسم x بأنه موضع الجسم بالنسبة الى نقطة مرجعية معينة تعتبر كنقطة اصل احداثيات النظام.

الازاحة Displacement : تعرف الازاحة Δx لجسم ما بالتغيير في موضع الجسم خلال فترة زمنية معينة. وعليه عندما تتحرك جسيمة من موضع ابتدائي x_i الى موضع نهائي x_f فالازاحة المقطوعة تعطى بالعلاقة الاتية

$$\Delta x = x_f - x_i \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1)$$

من العلاقة اعلاه ، نلاحظ ان ازاحة الجسم تكون موجبة positive اذا كانت x_f اكبر من x_i وتكون الازاحة سالبة negative اذا كانت x_f أصغر من x_i .

من المفيد والضروري ان نميز الفرق مابين الازاحة والمسافة المقطوعة

المسافة Distance: تعرف المسافة بأنها طول المسار الذي يسلكه الجسم . المسافة كمية موجبة بينما الازاحة قد تكون موجبة او سالبة .

تعد الازاحة كمية **متجهة vector quantity** كما هو الحال بالنسبة للموضع او السرعة او التعجيل . بصورة عامة الكمية المتجهة تتطلب **تحديد الاتجاه direction والمقدار magnitude** . بينما الكمية **العددية تحدد بالمقدار العددي فقط** .

المسافة(Distance)	***الإزاحة(Displacement)***
مقدار قياسي (المقدار فقط)	**كمية متجهة** (لها مقدار واتجاه)
تمثل الطول الكلي للمسار الذي يسلكه الجسم أثناء حركته	تمثل التغير في موقع الجسم من نقطة البداية إلى نقطة النهاية
قيمة دائماً **موجبة** ولا يمكن أن تكون سالبة	يمكن أن تكون **موجبة أو سالبة** حسب نظام الإحداثيات
تعرف المسافة بأنها طول المسار الذي يسلكه الجسم	تعرف الازاحة Δx لجسم ما بالتغيير في موضع الجسم خلال فترة زمنية معينة
وحدة القياس : المتر ***m***	**وحدة القياس : المتر** ***m***

معدل السرعة average velocity : تعرف معدل السرعة لجسم ما بانها الازاحة المقطوعة خلال فترة زمنية محددة .

$$v_{ave} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \ , \quad {}^{m}/_{sec} \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2)$$

معدل السرعة للجسم باتجاه واحد ممكن ان تكون موجبة او سالبة وتعتمد على اشارة الازاحة . اذا كانت سرعة الجسم ثابتة ، فيستخدم مصطلح السرعة الانية instantaneous velocity خلال لحظة زمنية معينة هي نفسها معدل السرعة

$$v_x = v_{x,ave} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\Delta x = x_f - x_i \;\rightarrow\rightarrow\rightarrow\; v_x = \frac{x_f - x_i}{\Delta t}$$

$$\text{or } x_f - x_i = v_x \cdot \Delta t \;\rightarrow\rightarrow\rightarrow\; x_f = x_i + v_x \cdot \Delta t$$

من الناحية العملية ، عادة مايكون الزمن الابتدائي مساويا للصفر $0 = x_i$ والزمن النهائئ $t = t_f$ وعليه

$$x_f = x_i + v_x \cdot t \;\; , \;\; v_x = constant \;\; \dots\dots\dots\dots (3)$$

معدل الانطلاق average speed : يعرف معدل الانطلاق لجسم ما بانه المسافة المقطوعة خلال فترة زمنية محددة

$$v_{ave} = \frac{d}{\Delta t} \;\; , \;\; {}^{m}/_{sec} \;\; \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (4)$$

من المفيد ان نوضح ان **الانطلاق ليس من الكميات المتجهة بل يعبر عنه بمقدار عددي موجب** .

الخاصية	الانطلاق *(speed)*	السرعة *(velocity)*
نوع الكمية	**مقدار قياسي** (**المقدار** فقط)	**كمية متجهة** (لها مقدار واتجاه)
الاعتماد على الاتجاه	**لا**	**نعم**
التمثيل الرياضي	قيمة دائماً **موجبة** ولا يمكن أن تكون سالبة	يمكن أن تكون **موجبة أو سالبة** حسب نظام الإحداثيات
يعتمد على	المسافة الكلية	الإزاحة (أقصر مسار)
مثال عملي	**كم/ساعة 50**	**50كم/ساعة شرقاً**
التعريف	هو المسافة المقطوعة خلال فترة زمنية محددة	هو الازاحة المقطوعة خلال فترة زمنية محددة
وحدة القياس	${}^{m}/_{sec}$	${}^{m}/_{sec}$

السرعة الانية والانطلاق الانى instantaneous velocity and instantaneous speed

يعبر عن السرعة الانية بالعلاقة الاتية

$$v_x = lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (5)$$

ولغرض الحساب ، يعبر عن هذه الغاية بالمشتقة وكمايلي

$$v_x = \frac{dx}{dt} \qquad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (6)$$

من المفيد ان نوضح ان السرعة الانية قد تكون موجبة ، سالبة ، صفر . اما مصطلح الانطلاق الاني فيعرف بانه السرعة الانية دون تحديد الاتجاه .

مثال(1): جسم يتحرك باتجاه المحور السيني x-axis . موضع الجسم يتغير مع الزمن وفق العلاقة الاتية

$x = -4t + 2t^2$.

1- احسب الازاحة المقطوعة للجسم خلال الفترة الزمنية من t=0 الى t=1 sec وكذلك للفترة الزمنية من t=1 sec الى t=3 sec .

الازاحة المقطوعة خلال الفترة الزمنية $t = 0 \rightarrow\rightarrow t = 1\ sec$

$$\Delta x = x_f - x_i = (-4(1) + 2(1)^2) - (-4(0) + 2(0)^2) = -2\ m$$

وخلال الفترة الزمنية من $t = 1\ sec \rightarrow\rightarrow t = 3\ sec$

$$\Delta x = x_f - x_i = (-4(3) + 2(3)^2) - (-4(1) + 2(1)^2) = 8\ m$$

2- احسب معدل السرعة خلال الفترتيين الزمنيتين اعلاه .

$$v_{x,ave} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-2}{(1-0)} = -2 \quad {}^{m}/_{sec}$$

$$v_{x,ave} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{8}{(3-1)} = 4 \quad {}^{m}/_{sec}$$

3- احسب السرعة الانية للجسم عندما t=2.5 sec

$$v_x = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}(-4t + 2t^2) = -4 + 4t = -4 + 4(2.5) = 6\ m/s$$

التعجيل Acceleration : عندما تتغير سرعة الجسم مع الزمن ، يقال بان الجسم في حالة تسارع . يعرف معدل التعجيل لجسم ما بانه التغيير بسرعة الجسم خلال فترة زمنية محددة .

$$a_{x,ave} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_{xf} - v_{xi}}{t_f - t_i} \qquad m/sec^2 \quad \dots\dots\dots\dots\dots (7)$$

يعبر عن **التعجيل الاني** بانه المشتقة الاولى لسرعة الجسم بالنسبة للزمن او المشتقة الثانية لموقع او موضع الجسم بالنسبة للزمن

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} \quad or \quad a_x = \frac{d}{dt}\left(\frac{dx}{dt}\right) \quad or \quad a_x = \frac{d^2x}{dt^2} \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

عندما تكون سرعة الجسم وتعجيله على طول خط مستقيم ، فاتجاه السرعة والتعجيل يحدد كمايلي . في حالة تشابه او توافق اتجاه السرعة والتعجيل للجسم ،عندئذ يقال ان الجسم في حالة تسارع speeding up . اما في حالة معاكسة سرعة الجسم لتعجيله ، عندئذ يقال ان الجسم في حالة تباطؤ slowing down .

مثال (2): تتغير سرعة جسم ما يتحرك على طول الاحداثي السيني *x-axis* مع الزمن وفق العلاقة الاتية $v_x = 40 - 5t^2$. احسب معدل التعجيل خلال الفترة الزمنية t=0 الى t=2 sec . احسب التعجيل في اللحظة الزمنية عندما t=2 sec .

$$v_{x1} = 40 - 5t^2 = 40 - 5(0)^2 = 40\ m/sec$$
$$v_{x2} = 40 - 5t^2 = 40 - 5(2)^2 = 20\ m/sec$$
$$a_{x,ave} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_{x2} - v_{x1}}{t_2 - t_1} = \frac{20 - 40}{2 - 0} = -10\ \ m/sec^2$$

الاشارة السالبة للتعجيل تعني ان الجسم في حالة تباطؤ slowing down او بمعنى اخر ان اتجاه السرعة للجسم معاكس لاتجاه تعجيل الجسم .

تعجيل الجسم خلال اللحظة الزمنية عندما t=2 sec .

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d}{dt}(40 - 5t^2) = -10t = -10(2) = -20\ \ m/sec^2$$

مثال (3): **تحرك جسم في خط مستقيم وفقا للعلاقة $x = 5t - 4t^4$ احسب معدل التعجيل خلال الفترة الزمنية من t=0 s الى t=2 s . احسب التعجيل في اللحظة الزمنية عندما t=2 s .**

$$\boldsymbol{x = 5t - 4t^4}$$
$$\boldsymbol{v = 5 - 16t^3}$$
$$v_{x1} = 5 - 16t^3 = 5 - 16(0)^3 = 5\ m/sec$$
$$v_{x2} = 5 - 16t^3 = 5 - 16(2)^3 = -123\ m/sec$$
$$a_{x,ave} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_{x2} - v_{x1}}{t_2 - t_1} = \frac{-123 - 5}{2 - 0} = -64\ \ m/sec^2$$

تعجيل الجسم خلال اللحظة الزمنية عندما t=2 sec

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d}{dt}(5 - 16t^3) = -48t^2 = -48(2)^2 = -192\ \ m/sec^2$$

الاشارة السالبة للتعجيل تعني ان الجسم في حالة تباطؤ slowing down او بمعنى اخر ان اتجاه السرعة للجسم معاكس لاتجاه تعجيل الجسم .

التعجيل الثابت Constant acceleration : حركة الجسم بتأثير تعجيل يتغيير مع الزمن تكون معقدة التحليل ، لذا افتراض او تصور حركة جسم ما باتجاه واحد وبتعجيل ثابت constant acceleration تكون سهلة التحليل . في هذه الحالة ، يعبر عن معدل التعجيل خلال فترة زمنية معينة بدلالة التعجيل الاني في لحظة زمنية واقعة ضمن الفترة بالاضافة الى تغير

السرعة بمعدل ثابت خلال الحركة . هذه الخاصية يعبر عنها ب " الحركة تحت تأثير تعجيل ثابت " motion under constant acceleration .

من المعادلة (7) ، وباحلال a_x بدلا من $a_{x,ave}$ واعتبار $t_i=0$ و t_f هو الزمن المستغرق .

$$a_x = \frac{v_{xf} - v_{xi}}{t - 0}$$

معادلة السرعة بدلالة الزمن $v_{xf} = v_{xi} + a_x \cdot t$ ..... (9)

بالامكان استنتاج معدل السرعة لجسم يتحرك بتعجيل ثابت خلال فترة زمنية معينة وكمايلي

$$v_{x,ave} = \frac{(v_{xi} + v_{xf})}{2} \quad , \quad a: constant \quad \text{..... (10)}$$

بالامكان الان استخدام المعادلات (1) و (2) و(10) لايجاد موقع او موضع الجسم كدالة للزمن . حيث

$$\Delta x = x_f - x_i \ \ and \ \ \Delta t = t_f - t_i = t - 0$$

$$x_f - x_i = v_{x,ave} \cdot t = \frac{1}{2}(v_{xi} + v_{xf})t$$

$$\boldsymbol{x_f = x_i + \frac{1}{2}(v_{xi} + v_{xf})t} \quad \text{..... (11)}$$

المعادلة (11) اعلاه , تحدد الموقع النهائي للجسم فيالزمن t بدلالة سرعته الابتدائية والنهائية . بالامكان الحصول او استنتاج علاقة مفيدة تحدد موقع الجسم بدلالة سرعته وتعجيله الثابت بالاستفادة من المعادلة (9) وتعويضها في المعادلة (11) . وعليه

$$x_f = x_i + \frac{1}{2}(v_{xi} + (v_{xi} + a_x \cdot t))t \quad \text{..... (11)}$$

$$\boldsymbol{x_f = x_i + v_{xi}\, t + \frac{1}{2} a_x\, t^2} \quad \text{..... (12)}$$

المعادلة (12) ، تحدد موضع الجسم عند الزمن t بدلالة موقعه الابتدائي وسرعته الابتدائية والتعجيل الثابت. واخيرا بالامكان استنتاج علاقة للسرعة النهائية لجسم ما خالية من عامل الزمن من تعويض قيمة الزمن في المعادلة (9) في المعادلة (11)

$$x_f = x_i + \frac{1}{2}(v_{xi} + v_{xf})t$$

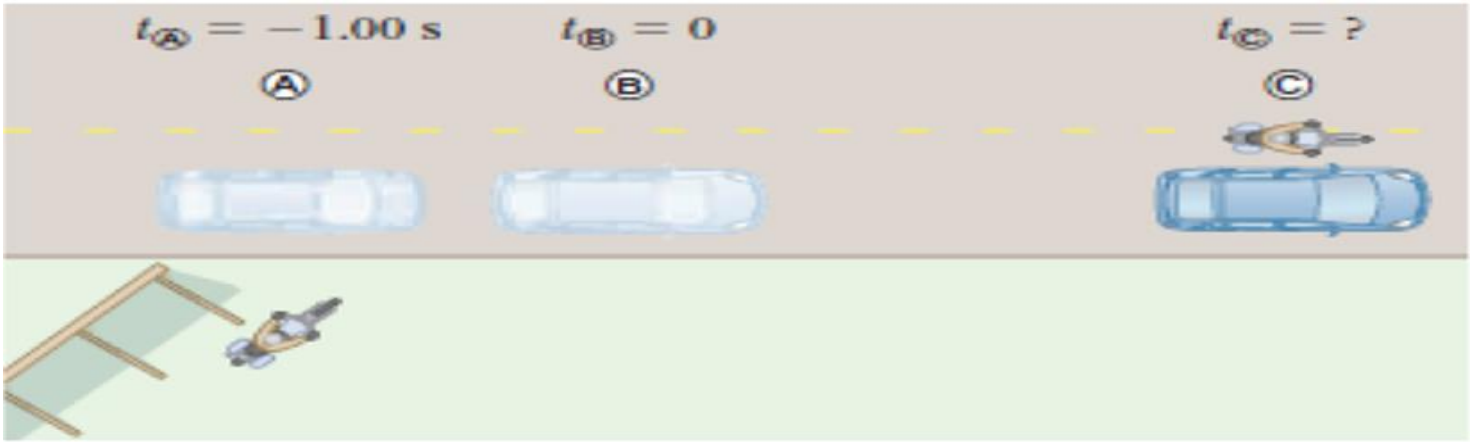
$$x_f = x_i + \frac{1}{2}(v_{xi} + v_{xf})(\frac{v_{xf} - v_{xi}}{a_x})$$

$$x_f = x_i + \left(\frac{{v^2}_{xf} - {v^2}_{xi}}{2a_x}\right)$$

$$\boldsymbol{v_{xf}^2 = v_{xi}^2 + 2a_x(x_f - x_i)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

المعادلة اعلاه تحدد السرعة النهائية لجسم ما بدلالة سرعته الابتدائية والتعجيل الثابت وموقع الجسم الابتدائي.
في حالة عدم وجود تعجيل ثابت فيكون تعجيل الجسم مساوي للصفر ، وعليه تكون سرعته ثابتة وموقع الجسم يتغيير بصورة خطية مع الزمن (علاقة خط مستقيم) .
المعادلات (9) و (11) و (12) و (13) ، يطلق عليها بمعادلات الحركة المجردة kinematic equations لجسم يتحرك تحت تأثير تعجيل ثابت .

مثال (4): عجلة سيارة تتحرك بأنطلاق ثابت قدره 45 m/sec ، تجتاز دراجة مرور غير ظاهرة لها واقفة بجانب لوحة مرورية . بعد مرورثانية واحدة من الزمن ،أنطلق رجل المرور بدراجته لايقاف العجلة وبتعجيل قدره $3\ m/sec^2$.
احسب الفترة الزمنية التي يستغرقها رجل المرورلايقاف العجلة ؟



نفترض النقطة A تمثل موقع وقوف شرطي المرور عند لوحة المرور

نفترض النقطة B تمثل موقع تزامن وصول الدراجة المتحركة مع العجلة المتحركة .

$t_A=0$ ، بعد زمن قدره ثانية واحدة ، تكون العجلة قطعت مسافة قدرها 45 m ، حيث

$$x = v \cdot t = 45\ m/\sec \cdot 1\ sec = 45\ m$$

وعليه فان الموقع الابتدائي للعجلة هو $x_A = 45\ m$

موقع العجلة في اية لحظة زمنية t ، يحسب من المعادلة الاتية

$$x_{car} = x_A + v_{x,car} \cdot t$$

دراجة رجل المرور انطلقت من موقع السكون A وبتعجيل قدره $3\ m/sec^2$ بعيدا عن موقع السكون

$$x_f = x_i + v_{xi}\,t + \frac{1}{2}a_x\,t^2$$

$$x_{trooper} = 0 + 0\,t + \frac{1}{2}a_x\,t^2 = \frac{1}{2}a_x\,t^2$$

بمساواة موقع الدراجة النهائي مع موقع العجلة (نقطة الالتقاء C) $x_{trooper}=x_{car}$

$$\frac{1}{2}a_x\,t^2 = x_A + v_{x,car}\cdot t$$

$$\frac{1}{2}a_x\,t^2 - x_A - v_{x,car}\cdot t = 0$$

$$\frac{1}{2}(3)t^2 - 45t - 45 = 0$$

$$(3)t^2 - 90t - 90 = 0$$

$$t^2 - 30t - 30 = 0$$

المعادلة اعلاه تحل بطريقة الدستور المعروفة رياضيا ، فنحصل على t=31 sec

السقوط الحر للاجسام Freely falling objects

يعرف السقوط الحر لجسم ما بانه حركة الجسم الساقط تحت تأثير الجاذبية الارضية فقط دون وجود مقاومة الهواء أو أي قوى أخرى.

شروط السقوط الحر:

- الجسم يتحرك تحت تأثير الجاذبية فقط
- إهمال مقاومة الهواء
- جميع الأجسام تسقط بنفس التسارع بغض النظر عن كتلته

ملاحظات هامة

في الفراغ (بدون هواء): ريشة ومطرقة يسقطان بنفس السرعة
في الهواء :الأجسام الثقيلة تسقط أسرع بسبب أقل تأثير لمقاومة الهواء
الاتجاه :عادة نعتبر الاتجاه للأسفل موجباً

ملاحظة: القفز بالمظلات :في البداية سقوط حر ثم تفتح المظلة لمقاومة الهواء

يرمز لتعجيل الجسم الساقط حرا بالرمز g وقيمته العددية تتناقص مع زيادة الاتساع او الارتفاع عن مستوى سطح الارض قيمة التعجيل الارضي هي $9.8\ m/sec^2$ لابد ان تكون حركة الاجسام بالاتجاه العمودي او الشاقولي vertical (*y*-axis) وليس بالاتجاه الافقي horizontal (x-axis) .

قيمة التعجيل $g = -9.8\ m/sec^2$ ، الاشارة السالبة تعني او تؤشر بان تعجيل الجسم الساقط حرا نحو الاسفل

$$g = 9.8\ m/\sec^2 \quad for\ upword\ motion$$

$$g = -9.8\ m/sec^2 \quad for\ downword\ motion$$

<u>مثال (5)</u> : سقط جسم من ارتفاع 45 متراً. كم يستغرق من الوقت ليصل إلى الأرض؟ ما سرعة الجسم عند وصوله للأرض

$$y_f = y_i + v_i t + \frac{1}{2}gt^2$$

$$y_i = 0 \text{ و } v_i = 0$$

$$y_f = \frac{1}{2}gt^2 \qquad 45 = \frac{1}{2} * 9.8 * t^2 \qquad t^2 = \left(\frac{2*45}{9.8}\right) = 9.18 \quad t = 3.03sec$$

$$v_f = v_i + g \cdot t \qquad v_i = 0 \qquad v_f = g \cdot t = 9.8 * 3 = 29.7\ m/sec$$

<u>مثال (6)</u> : قذف حجر من قمة بناية وبسرعة ابتدائية قدرها 20 m/sec نحو الاعلى . تبعد قمة البناية مسافة قدرها 50 m عن مستوى الارض . احسب مايأتي:

1- الزمن اللازم لوصول الحجر اعلى ارتفاع ؟
2- اعلى ارتفاع يصله الحجر؟
3- سرعة الحجر عند وصوله نقطة انطلاقه او قذفه اثناء النزول ؟
4- سرعة الحجر وموقع الحجر بعد زمن قدره t=5 sec ؟

من الشكل الموضح ادناه ، نستنتج مايلي

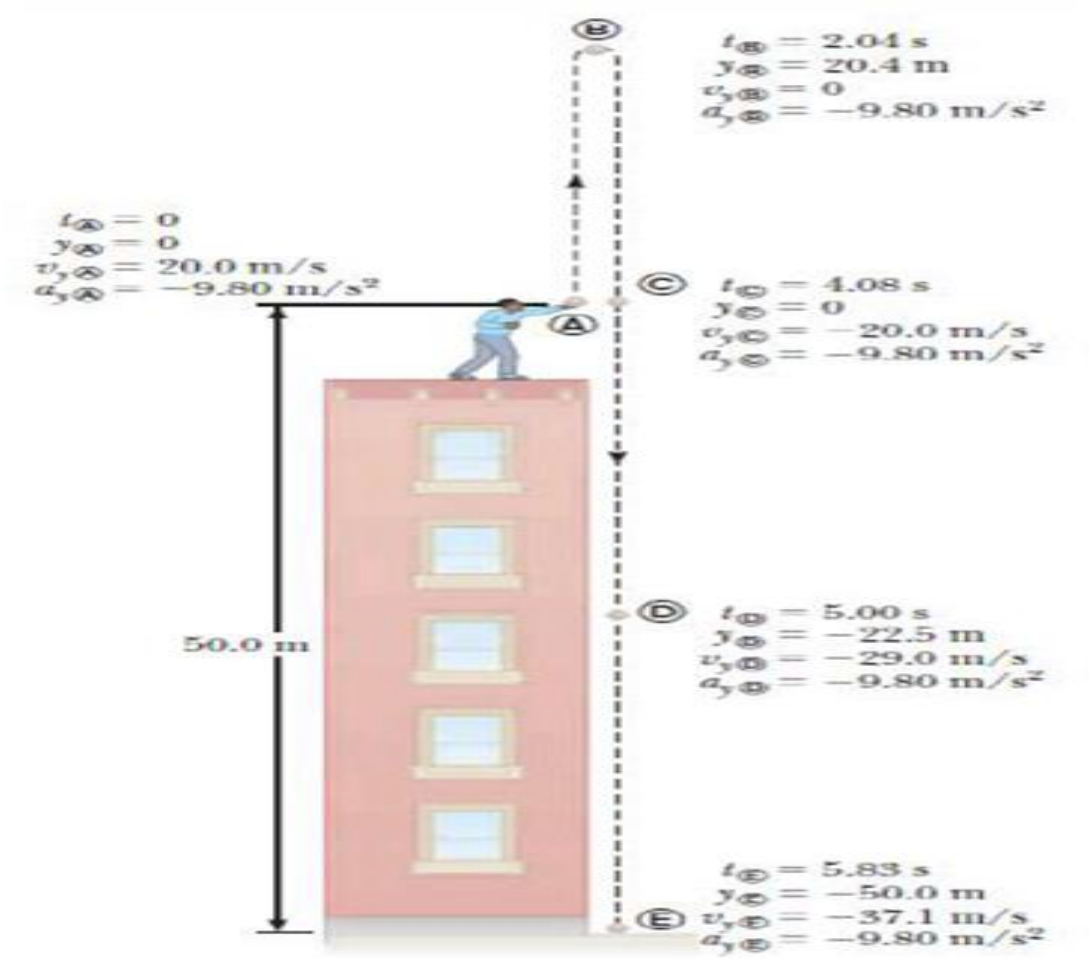
$$t_A = 0\ , \qquad v_y = 20\frac{m}{\sec}, \qquad y_A = 0\ , \qquad g = -9.8\ m/sec^2$$

لحساب الزمن اللازم لوصول الحجر اعلى ارتفاع ؟

$$v_{yf} = v_{yi} + g \cdot t$$

من العلاقة اعلاه ، نستنتج الزمن لوصول الحجر اعلى ارتفاع

$$t = \frac{v_{yf} - v_{yi}}{g} = t_B = \frac{0 - 20}{-9.8} = 2.04\ sec$$



لحساب اعلى ارتفاع يصله الحجر

$$y_{max} = y_B = y_A + v_{yA} \cdot t + \frac{1}{2} g t^2 = 0 + (20)(2.04) + \frac{1}{2}(-9.8)(2.04^2) = 20.4\ m$$

لحساب سرعة الحجر عند وصوله نقطة قذفه

$$v_{yC}^2 = v_{yA}^2 + 2g(y_C - y_A) = (20)^2 + 2(-9.8)(0 - 0) = 400 \frac{m^2}{sec^2}$$

$$v_{yC} = -20\ m/sec$$

تم اختيار القيمة السالبة للجذر لان الحركة نحو الاسفل

لحساب سرعة وموقع الحجر بعد زمن قدره t=5sec

$$v_{yD} = v_{yA} + g \cdot t = 20 + (-9.8)(5) = -29\ m/sec$$

$$y_D = y_A + v_{yA} \cdot t + \frac{1}{2} g t^2 = 0 + (20)(5) + \frac{1}{2}(-9.8)(5^2) = -22.5\ m$$