القسم العلمى

تطبيقات الرياضيات

كتاب الطالب

الصف الثانى الثانوى

الفصل الدراسي الثانى

تأليف

أ/ كمال يونس كبشة

أ.د/ نبيل توفيق الضبع

أ/ سيرافيم إلياس إسكندر

مراجعة وتعديل

أ/ منال عزقول

د/ محمد محي الدين عبد السلام

أ/ شريف عاطف البرهامي

د/ أسامة عبد العظيم عبد السلام

أ/ ماجد محمد حسن

إشـــراف

د/ أكرم حسن

مساعد الوزير لشئون تطوير المناهج التعليمية

والمشرف على الإدارة المركزية لتطوير المناهج

Egyptian Knowledge Bank
بنك المعرفة المصري

٢٠٢٥-٢٠٢٦

غير مصرح بتداول هذا الكتاب خارج وزارة التربية والتعليم

المقدمة

بسم الله الرحمن الرحيم

يشهد عالم اليوم تطورًا علميًّا مستمرًا ، وجيل الغد يلزمه أن يتسلح بأدوات تطور عصر الغد؛ حتى يستطيع مواكبه الانفجار الهائل في العلوم المختلفة، وانطلاقًا من هذا المبدأ سعت وزارة التربية والتعليم إلى تطوير مناهجها عن طريق وضع المتعلم في موضع المستكشف للحقيقة العلمية بالإضافة إلى تدريب الطلاب على البحث العلمى في التفكير؛ لتصبح العقول هى أدوات التفكير العلمى وليست مخازن للحقائق العلمية.

ونحن نقدم هذا الكتاب « تطبيقات الرياضيات» للصف الثانى الثانوى؛ ليكون أداة مساعدة يستنير بها أبناؤنا على التفكير العلمى، ويحفزهم على البحث والاستكشاف .

وفى ضوء ما سبق روعى فى الكتاب « تطبيقات الرياضيات » مايلى:

- ★ **تقسيم الكتاب إلى جزأين الأول الديناميكا والثاني الاحتمال** ، وكل جزء مقسم إلى وحدات متكاملة ومترابطة، لكل منها مقدمة توضح مخرجات التعلم المستهدفة ومخططٌ تنظيمى لها، والمصطلحات الواردة بها باللغة العربية والإنجليزية، ومقسمة إلى دروس يوضَّح الهدف من تدريسها للطالب تحت عنوان (سوف تتعلم). ويبدأ كل درس من دروس كل وحدة بالفكرة الأساسية لمحتوى الدرس، وروعى عرض المادة العلمية من السهل إلى الصعب، ويتضمن الدرس مجموعة من الأنشطة التى تربطه بالمواد الأخرى والحياة العملية، والتى تناسب القدرات المختلفة للطلاب، وتراعى الفروق الفردية من خلال بند (اكتشف الخطأ لمعالجة بعض الأخطاء الشائعة لدى الطلاب)، وتؤكد على العمل التعاونى، وتتكامل مع الموضوع، كما يتضمن الكتاب بعض القضايا المرتبطة بالبيئة المحيطة وكيفية معالجتها.
- ★ كما قُدِّم فى كل درس أمثلة تبدأ من السهل إلى الصعب، وتشمل مستويات التفكير المتنوعة، مع تدريبات عليها تحت عنوان (حاول أن تحل)، وينتهى كل درس ببند «تمارين»، ويشمل مسائل متنوعة، تتناول المفاهيم والمهارات التى درسها الطالب فى الدرس.

وأخيرًا ..نتمنى أن نكون قد وفقنا فى إنجاز هذا العمل لما فيه خير لأولادنا، ولمصرنا العزيزة.

والله من وراء القصد، وهو يهدى إلى سواء السبيل

المحتويات

أولا: الديناميكا

مقدمة عن تطور علم الميكانيكا. ٢

الوحدة الأولى

الحركة المستقيمة

١ - ١ الحركة المستقيمة. ١٥

١ - ٢ الحركة المستقيمة ذات العجلة المنتظمة. ٢٦

١ - ٣ السقوط الحر. ٣٥

الوحدة الثانية

قوانين نيوتن للحركة

٢ - ١ كمية الحركة ٤٢

٢ - ٢ القانون الأول لنيوتن ٤٦

٢ - ٣ القانون الثاني لنيوتن ٥٣

٢ - ٤ القانون الثالث لنيوتن وتطبيقات قوانين نيوتن ٦١

الميكانيكا

مقدمة عن تطور علم الميكانيكا

الميكانيكا بالمفهوم العام هو العلم الذى يقوم بدراسة حركة أو اتزان الأجسام المادية، وذلك باستخدام القوانين الخاصة بها، فمثلًا هناك قوانين تَسري على دوران الأرض حول الشمس و إطلاق الصواريخ أو قذيفة المدفع أو غير ذلك. ويقصد بها التغير الذى يَحدث بمرور الزمن لمواضع الأجسام المادية فى الفراغ، والتأثير الميكانيكى المتبادل بين الأجسام هو التأثير الذى تتغير له حركة هذه الأجسام، طبقًا لتأثيرات القوى المختلفة عليها ، لذلك فإن المسألة الأساسية فى الميكانيكا هى دراسة القوانين العامة لحركة واتزان الأجسام المادية تحت تأثير القوى عليها.
ويمكن تقسيم الميكانيكا إلى قسمين هما:

الإستاتيكا ***Statics***

(**علم توازن الأجسام**) يبحث فى سكون الأجسام تحت تأثير مجموعة من المؤثرات تُسمى القوى ، وتوصف القوى التى لا تُغير من حالة الجسم بأنها متزنة، ويقال للجسم: إنه فى حالة توازن تحت تأثير هذه القوى.
وقد بدأت الدراسة العامة لاتزان الأجسام (الإستاتيكا) فى العصور القديمة نتيجة لمتطلبات الإنتاج البسيطة فى هذا الوقت (كالرافعة والبوابة والمستوى المائل وغيرها) وكان لمؤلفات أرشميدس دور مهم فى هذا الوقت لترسيخ علم الإستاتيكا.

الديناميكا ***Dynamics***

(**علم حركة الأجسام**) والتى تتضمن قوانين حركة الأجسام المادية تحت تأثير القوى ، وتنقسم الديناميكا إلى:
الكينماتيكا ***Kinematics*** وهى تبحث فى خصائص الحركة من الوجهة الهندسية (وصف الحركة وصفًا مجردًا دون التعرض للقوى المسببة لها)، و**الكيناتيكا** ***Kinetics*** وهى تبحث فى تأثير القوى المسببة أو المغيرة للحركة، وقد تلت الديناميكا فى دراستها الإستاتيكا بأمد طويل؛ نتيجة النهضة فى مجالات النقل والتجارة والصناعة والإنتاج وصناعة الأسلحة والاكتشافات الفلكية.

وهناك:

ميكانيكا النقطة المادية (أى الجسم الذى يمكن إهمال أبعاده عند بحث حركته أو اتزانه).

ميكانيكا الجسم الجاسئ ***Rigid Body*** (أى الجسم المكون من عدد كبير جدًّا من الجسيمات المترابطة مع بعضها البعض؛ بحيث إن المسافة بين أي جسيمين منها تكون ثابتة ولا تتأثر بأي مؤثر خارجي).

ميكانيكا الأجسام ذات الكتل المتغيرة (توجد لبعض الأنظمة والأجسام تَغيرات تَطرأ عليها تتغيَّر فيها الكتلة بتغير الزمن كأن يَنفصل عنها أو يتحد بها جُسيمات تَنقص أو تَزيد من كتلتها فى أثناء الحركة، ومن هذه الأجسام الصواريخ النفاثة وعربات المناجم التى تَتغير كتلتها نتيجة استهلاك الوقودِ وغيرها من الأنظمة المختلفة).

ميكانيكا الأجسام القابلة للتشكيل (المرونة Elasticity) هى خاصية الأجسام التى لها القدرة على الرجوع إلى شكلها و أبعادها الأصلية بعد تشكيلها، أما اللدونة Plasticity وهي عند تَعرُّض الأجسام إلى مؤثرات خارجيةتتغير أشكالها ولا تعود إلى حالتها الطبيعية عند زوال المؤثِّر الخارجي.

تطور علم الميكانيكا:

الميكانيكا الكلاسيكية *Classical machanics*

تعد أقدم فروع الميكانيكا حيث تهتم بدراسة القوى التى تؤثر على الأجسام ، كما تهتم بتفسير حركة الكواكب وتساعد كذلك فى العديد من التقنيات الحديثة (الهندسة الإنشائية والهندسة المدنية والملاحظة الفضائية ...).

ميكانيكا الكم *Quantum mechanics*

هي مجموعة من النظريات الفيزيائية التي ظهرت فى القرن العشرين، وذلك لتفسير الظواهر على مستوى الذرة والجسيمات، وقد دمجت بين الخاصية الجسيمية والخاصية الموجية ليظهر مصطلح ازدواجية (الموجة – الجسيم) ، وبهذا تُصبح ميكانيكا الكم مسئولة عن التفسير الفيزيائي على المستوى الذري، لذلك ميكانيكا الكم هي تعميم للفيزياء الكلاسيكية لإمكانية تطبيقها على المستويين الذري والعادي، وسبب تسميتها بميكانيكا الكم يعود إلى أهميّة الكم فى بنائها (وهو مصطلح فيزيائي يستخدم لوصف أصغر كمّية من الطاقة يُمكن تَبادلها بين الجسيمات، ويُستخدم للإشارة إلى كميات الطاقة المحددة التي تَنبعث بشكلٍ متقطعٍ، وليس بشكلٍ مُستمر).

ميكانيكا الموائع *Fluid* Mechanics

هى أحد فروع ميكانيكا الكم وهي تدرس أساسًا الموائع (السوائل والغازات)، ويدرس هذا التخصص السلوك الفيزيائى لهذه المواد، وتنقسم إلى إستاتيكا الموائع ودراستها فى حالة عدم الحركة وديناميكا الموائع ودراستها فى حالة الحركة

الميكانيكا الحيوية *Biomechanics*:

علم الميكانيكا الحيوية (البيوميكانيك) هو علم دراسة القوانين العامة فى حركة أى كائن حى والتحليل الميكانيكي لحركة الأجسام الحية من جميع النواحى (التشريحية - الفسيولوجية - البدنية - الميكانيكية ...)، والذى يتعامل مع القوة على الأجسام الحية سواء كانت فى حالة السكون أو الحركة، ومن أمثلة ذلك : حركة الأمعاء، وتدفق الدم فى الشرايين، وانتقال البويضة فى قناة فالوب، وانتقال السوائل فى الحالب من الكلية إلى المثانة، وعملية هضم الطعام وحركته، ومن خلال التحليل الميكانيكي يمكن التوصل إلى حالات جديدة وملائمة لتطوير مستوى الأداء.

النظرية النسبية العامة *General relativity theory*

النظرية النسبية لأينشتاين غيّرت الكثير من المفاهيم فيما يتعلق بالمصطلحات الأساسية فى الفيزياء: المكان، الزمان الكتلة والطاقة؛ حيث أحدثت نقلة نوعية فى الفيزياء النظرية وفيزياء الفضاء فى القرن العشرين.
قامت نظرية النسبية بتحويل مفهوم الحركة، حيث نَصَّت بأنَّ كل الحركة نسبية. ومفهوم الوقت تَغير من كونه ثابتًا ومحددًا، إلى كونه بُعدًا آخر غير مكاني. وجعلت الزمان والمكان شيئًا موحدًا بعد أن كان يتم التعامل معهما كشيئين مختلفين. وجعلت مفهوم الوقت يتوقَّف على سرعة الأجسام، وأصبح تقلص البعد وتَمدُّد الزمن مفهومًا أساسيًّا لفهم الكون. وبذلك تَغيرت كل الفيزياء الكلاسيكية النيوتونية.

نشاط

١ – استخدم الشبكة الدولية للمعلومات (الإنترنت) فى البحث عن دور علماء الرياضيات فى تطور علم الميكانيكا وإليك بعض نتائج البحث:

كان للعالم الإنجليزى **إسحق نيوتن** Isaac Newton الفضل فى تمهيد الطريق لعلم الميكانيكا الكلاسكية عن طريق قوانين الحركة التى فسرت الكثير من الظواهر الطبيعية والفلكية، كما كان للعالم الألماني **يوهانز كيبلر** johannes Kepler و**جاليليوجاليلي الإيطالى** Galileo Galilei دور عظيم فى وضع قوانين تصف حركة الكواكب؛ حيث بينت قوانين كيبلر أن هناك قوة تجاذب بينها، وبينت أيضًا حركة الكواكب حول الشمس وفق المنظور الجديد الذي يعتمد على مركزية الشمس بشكل أصبحت فيه الحسابات تطابق الأرصاد الفلكية إلى درجة كبيرة، وقد ظلت هذه القوانين سائدة منذ القرن السابع عشر حتى ظهور النظرية النسبية التى صاغها **أينشاتين** Einstein خلال السنوات ١٩٠٥ - ١٩١٦ وميكانيكا الكم التى اشترك فى صياغتها **ماكس بلانك** Max plank و**هينزبرج** Heyznberg و**شرودنجر** Schrodinger و**ديراك** Dirac فى بداية القرن العشرين.

كما ابتكر **الدكتور أحمد زويل** Dr. Ahmed Zewail نظام تصوير سريعًا للغاية، يعمل باستخدام الليزر، له القدرة على رصد حركة الجزيئات عند نشوئها وعند التحام بعضها ببعض، وقد سجل **أحمد زويل** فى قائمة الشرف بالولايات المتحدة الأمريكية والتى تضم **إلبرت أينشتاين** و**ألكسندر جراهام بيل**.

ولمزيد من المعلومات ابحث فى الموسوعة الحرة (ويكيبيديا) على الموقع: ***http: //ar.wikipedia.org***

وحدات القياس: *Measuring Units*

عندما يتقدم أحد الطلاب إلى الكليات العسكرية فإنه يقوم بإجراء بعض الفحوصات الطبية مثل قياس الطول، والوزن ، وضغط الدم، ومعدل ضربات القلب، ... فعملية القياس هى مقارنة مقدار بمقدار آخر من نفس النوع، وذلك لمعرفة عدد مرات احتواء المقدار الأول إلى المقدار الثانى، والنظام المستخدم فى معظم أنحاء العالم هو النظام الدولى للوحدات. International system of units (SI)

ويتضمن هذا النظام الدولى للوحدات (SI) سبع وحدات أساسية، وقد حُددت وحدات هذه الكميات الأساسية باستخدام القياس المباشر معتمدة على وحدات معيارية لكل من الطول والزمن والكتلة المحفوظة بدائرة الأوزان والمقاييس بفرنسا، أما الوحدات الأخرى فيمكن اشتقاقها من الوحدات الأساسية، وسنختص فى دراستنا بالكميات الآتية:

أولًا: الكميات الأساسية ووحدات قياسها فى نظام (SI) *Fundamental quantities*

الكمية الأساسية		الوحدة الأساسية		الرمز
الطول	length	متر	meter	م (m)
الكتلة	mass	كيلو جرام	kilogram	كجم (kg)
الزمن	time	ثانية	second	ث (s)

ومن مميزات استخدام وحدات النظام الدولي هو سهولة التحويل بين الوحدات

أضف إلى معلوماتك

١- الفيمتو ثانية *Femtosecond*

الفيمتو ثانية: هو جزء من مليون مليار جزء من الثانية، أي (عشرة مرفوعة للقوة (-١٥)) من الثانية والنسبة بين الثانية والفيمتو ثانية هي النسبة بين الثانية و٣٢ مليون سنة.

فى عام ١٩٩٠م تَمكَّن العالم المصرى أحمد زويل من تثبيت اختراعه المعروف بكيمياء الفيمتو، وذلك بعد جهد مضنٍ مع فريق بحثه القابع فى معهد كاليفورنيا للتقنية امتد منذ عام ١٩٧٩، ويتلخَّص اختراعه فى اختراع وحدة زمنيةً تخطَّت حاجز الزمن العادي إلى وحدة زمن الفيمتو ثانية، وتوصَّل هذا العالم إلى اكتشافه العلمي باستخدام نبضات ليزر قصيرة المدى وشعاع جزيئي داخل أمبوب مفرغ، وكاميرا رقمية ذات مواصفات فريدة، وذلك لتصوير حركة الجزيئات منذ ولادتها وقبل التحاقها بباقي الجزيئات الأخرى، وأصبح بالإمكان التدخل السريع ومباغتة التفاعلات الكيميائية عند حدوثها باستخدام نبضات الليزر كتليسكوب للمشاهدة، ومتابعة عمليات الهدم والبناء فى الخلية، وقد جعل هذا العالم العربي العملاق الباب مفتوحًا لاستخدام هذا الاكتشاف العلمي فى مجال الطب، والفيزياء، وأبحاث الفضاء وغيرها الكثير، وسُجِّلت باسمه مدرسة علمية جديدة عُرِفَت باسم كيمياء الفيمتو.

٢- مضاعفات الوحدات

الوحدة		الرمز	القياس
تيرا	tera	T	10^{12}
جيجا	giga	G	10^{9}
ميجا	mega	M	10^{6}
كيلو	kilo	K	10^{3}

كسور الوحدات

الوحدة		الرمز	القياس
ديسي	deci	d	10^{-1}
سنتي	centi	c	10^{-2}
مللي	milli	m	10^{-3}
ميكرو	micro	u	10^{-6}
نانو	nano	n	10^{-9}
بيكو	pico	p	10^{-12}
فمتو	femto	f	10^{-15}

وعلى ذلك يمكن تحويل كلٍّ من الوحدات التالية إلى الوحدات المناظرة لها:

١ ٢,٧٥ كم إلى م.

٢ ٦٣٥ مم إلى ديسم.

٣ ٧٥٠ كيلو هرتز إلى ميجا هرتز.

٤ ١٩٧٠ جم إلى كجم.

على النحو التالي:

١ ٢,٧٥ كم = ٢,٧٥ × ١٠٠٠ = ٢٧٥٠ م

٢ ٦٣٥ مم = ٦٣٥ × ١٠ $^{-٢}$ = ٦,٣٥ ديسم

٣ ٧٥٠ كيلو هرتز = ٧٥٠ × ١٠ $^{-٣}$ = ٠,٧٥ ميجا هرتز

٤ ١٩٧٠ جم = ١٩٧٠ × ١٠ $^{-٣}$ = ١,٩٧ كيلو جرام.

تذكر أن

كم = ١٠٠٠م

م = ١٠ ديسم

ديسم = ١٠ سم

سم = ١٠ مم

ثانيًا: الكميات المشتقة *Derived quantities*

١ وحدة قياس السرعة

تعرف السرعة بأنها معدل تغير المسافة بالنسبة للزمن.

وحدة قياس السرعة = وحدة قياس المسافة ÷ وحدة قياس الزمن

فإن السرعة تقاس بوحدة: متر / ثانية (م/ث).

هل تعلم

الثانية العيارية: هى الفترة الزمنية التى تستغرقها ذرة السيزيوم لتتذبذب بمقدار دورة كاملة.

٢ العجلة

تعرف العجلة بأنها معدل تغير السرعة بالنسبة للزمن ويكون:

وحدة قياس العجلة : مترًا / ثانية مربعة (م/ث^{٢}).

لاحظ أن

وحدات قياس الكميات المتجهة (السرعة، العجلة، القوة) تعامل من حيث مقاديرها فقط بصرف النظر عن الاتجاه.

وعلى ذلك يمكن تحويل كلٍّ من الوحدات التالية إلى الوحدات المناظرة لها:

١ ١ كم/س إلى م/ث.

٢ ١كم/س إلى سم/ ث.

٣ ١ كم /س /ث إلى م /ث^{٢}

٤ كم /س/ث إلى سم/ث^{٢}

على النحو التالي:

١ ١كم/س = $\frac{١ \times ١٠٠٠ م}{٦٠ \times ٦٠ ث}$ = $\frac{٥}{١٨}$ م/ث

تذكر أن

اليوم الشمسى المتوسط = ٢٤ ساعة .

الساعة = ٦٠ دقيقة.

الدقيقة = ٦٠ ثانية.

٢ ١ كم/س = $\frac{١ \times ١٠٠٠ \times ١٠٠ سم}{٦٠ \times ٦٠ ث}$ = $\frac{٢٥٠}{٩}$ سم/ث

٣ كم /س/ث = $\frac{١٠٠٠ م}{٦٠ \times ٦٠ ث \times ث}$ = $\frac{٥}{١٨}$ م/ث^{٢}

٤ كم/س/ث = $\frac{١٠٠٠ \times ١٠٠ سم}{٦٠ \times ٦٠ ث \times ث}$ = $\frac{٢٥٠}{٩}$ سم/ث^{٢}

تدريب

١ حول كلًّا من الوحدات التالية إلى الوحدات المناظرة لها:

أ ٧٢ كم/س إلى م/ث ب ١٠٠٠سم/ث إلى كم /س جـ ٣٦ كم/س/ث إلى سم/ث^{٢}

٣ القوة Force

تعرف القوة بأنها حاصل ضرب الكتلة (ك) في عجلة الحركة (جـ)

فإذا رمزنا للقوة بالرمز (ق) فإن ق = ك × جـ

وحدات قياس مقدار القوة

الوحدات المطلقة: مثل الداين والنيوتن حيث ١ نيوتن = $١٠^{٥}$ داين ويعرف النيوتن والداين على النحو التالي:

النيوتن: هو مقدار القوة التي إذا أثرت على كتلة تساوى ١ كيلو جرام أكسبتها عجلة مقدارها ١متر/ث^{٢}

الداين: هو مقدار القوة التي إذا أثرت على كتلة تساوى ١ جرام أكسبتها عجلة مقدارها ١ سم/ث^{٢}

الوحدات التثاقلية:

مثل: ثقل الجرام (ث جم) ، ثقل الكيلو جرام (ث كجم) حيث ١ ث كجم = $١٠^{٣}$ ث.جم

ويعرف ثقل الكيلو جرام وثقل الجرام على النحو التالي:

ثقل الكيلو جرام: هو مقدار القوة التي إذا أثرت على كتلة تساوى ١ كيلو جرام أكسبتها عجلة مقدار ٩,٨ متر/ث^{٢}

ثقل الجرام: هو مقدار القوة التي إذا أثرت على كتلة تساوى ١ جرام أكسبتها عجلة مقدارها ٩٨٠ سم/ث^{٢}

وتربط الوحدات التثاقلية بالوحدات المطلقة بالعلاقة: ١ث كجم = ٩,٨ نيوتن، ١ ث جم = ٩٨٠ داين

أضف إلى معلوماتك

جميع الأجسام (بغض النظر عن كتلتها) تسقط على سطح الأرض بتسارع (عجلة) منتظم يقع بين ٩,٧٨، ٩,٨٢ م/ث^{٢} اعتمادًا على دائرة العرض ولكننا سنعتبرها ٩,٨ م/ث^{٢} لسهولة الاستخدام ما لم تُحدد قيم أخرى لها.

وعلى ذلك يمكن تحويل كلٍّ من الوحدات الآتية إلى الوحدات المناظرة لها:

(١) ٣,١٤ نيوتن إلى داين

(٢) ٦,٧٥ × ١٠^٧ داين إلى نيوتن

على النحو التالى:

(١) ٣,١٤ نيوتن = ٣,١٤ × ١٠^٥ = ٣١٤٠٠٠ داين

(٢) ٦,٧٥ × ١٠^٧ داين = ٦,٧٥ × ١٠^٧ ÷ ١٠^٥ = ٦٧٥ نيوتن

تدريب

(٢) حول كلًّا من الوحدات التالية إلى الوحدات المناظرة لها:

(أ) $\frac{١}{٧}$ ث جم إلى داين

(ب) ٥,٣٦ × ١٢٥٠ داين إلى نيوتن

(جـ) ٢,٥٠ نيوتن إلى داين

يمكن وضع الكميات المشتقة فى جدول على النحو التالي:

الكمية المشتقة	علاقتها بالكميات الأخرى	وحدة القياس
السرعة (ع)(V)	المسافة ÷ الزمن	م/ث m/s
العجلة (جـ)(a)	السرعة ÷ الزمن	م/ث^{٢} m/s^2
القوة (ق)(F)	الكتلة × العجلة	نيوتن N

تحقق من فهمك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة:

١ تقاس الكتلة بوحدة:

أ الداين　ب النيوتن　ج الكيلو جرام　د ثقل الكيلو جرام

٢ من الكميات الأساسية فى النظام الدولى:

أ الكتلة　ب السرعة　ج العجلة　د القوة

٣ الملليمتر وحدة تعادل:

أ 10^{-3} متر　ب 10^{-3} متر مكعب　ج 10^{-2} سنتيمتر　د 10^{-4} ديسميتر

أجب عن الأسئلة الآتية:

٤ ماذا يطلق على القيم التالية:

أ 10^{-2} متر　ب 10^{-3} متر　ج ١٠٠٠ متر

٥ حول كلًّا ممايأتى إلى متر:

أ ٦٣,٤ سنتيمتر　ب ٥١٢,٦ ملليمتر　ج ٠,٥٣٤ ديسيمتر

٦ تفكير ناقد: احسب بوحدة الكيلوجرام كتلة الماء اللازمة لملء وعاء على شكل متوازى مستطيلات طوله ١,٦م وعرضه ٠,٦٥٠ م وارتفاعه ٣٦ سنتيمتر، علمًا بأن كثافة الماء تساوى ١جم/سم^3 مقربًا الناتج لأقرب عدد صحيح .

[إرشاد: الكتلة = الحجم × الكثافة]

الوحدة الأولى

الديناميكا
Dynamics

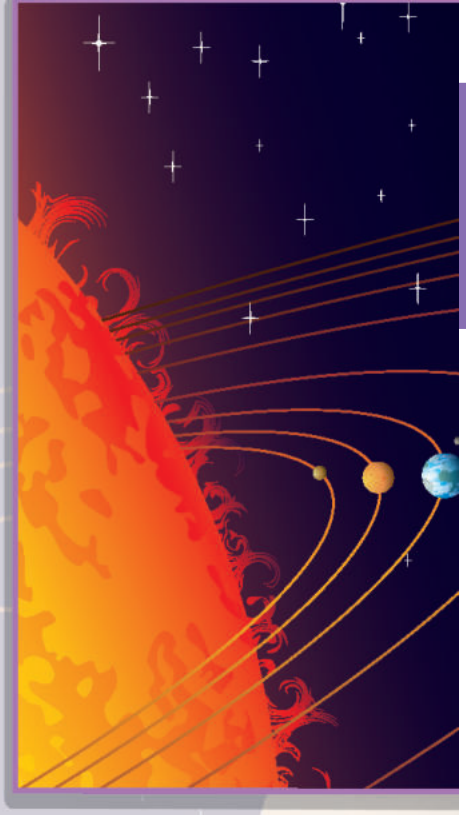
مقدمة الوحدة

يختص علم الديناميكا بدراسة حركة الأجسام, حيث ينقسم إلى الكينماتيكا والكيناتيكا وسوف نقتصر فى هذه الوحدة على دراسة الكينماتيكا kinematics ذلك العلم الذى يبحث فى حركة الأجسام من الوجهة الهندسية فقط دون الأخذ فى الاعتبار للقوى المؤثرة عليها، وجدير بالذكر أن الكينماتيكا لها أهميتها التطبيقية فى حياتنا العملية مثل انتقال الحركة فى الآلات ومتطلباتها، ومن هنا سنتناول فى هذه الوحدة دراسة حركة الأجسام والظواهر المصاحبة لهذه الحركة ومسبباتها.

أهداف الوحدة

فى نهاية الوحدة من المتوقع أن يكون الطالب قادرًا على أن:

- يَتعرَّف مفهوم الجسيم على أنه نقطة افتراضية.
- يتفهم المقصود بالحركة الانتقالية لجسيم من موضع لآخر.
- يدرك أن الحركة الانتقالية تحدث إذا كانت جميع نقاط الجسم المتحرك فى خطوط موازية لبعضها فى أثناء الحركة.
- يميز بين الإزاحة والمسافة.
- يتعرف مفهوم السرعة المنتظمة (متجه السرعة – الحركة المنتظمة – متجه السرعة المتوسطة – متجه السرعة اللحظية – السرعة النسبية – وحدات قياس السرعة).
- يتعرف مفهوم السرعة النسبية.
- يعبر عن كل من متجهى الموضع والسرعة بدلالة متجهى الوحدة $\overleftarrow{س}$ ، $\overleftarrow{ص}$.
- يتعرف الحركة المستقيمة ذات العجلة المنتظمة – وحدات قياس العجلة).
- يتعرف الحركة الرأسية تحت تأثير الجاذبية الأرضية.
- يستنتج قوانين الحركة بعجلة منتظمة (إذا تحرك جسيم بعجلة منتظمة وتغيرت سرعته من ع. إلى ع خلال فترة زمنية ن فإن: $ع = ع_{.} + جـ ن$ ، $ف = ع_{.} ن + \frac{1}{2} جـ ن^{2}$ ، $ع^{2} = ع_{.}^{2} + 2 جـ ف$
- يتعرف تطبيقات على قوانين الحركة المستقيمة ذات العجلة المنتظمة.
- يتعرف قوانين الحركة الرأسية تحت تأثير الجاذبية الأرضية فى حالة صعود الجسم أو هبوطه.
- يتعرف الجاذبية الأرضية
- يتعرف التمثيل البياني لمنحنى الإزاحة مع الزمن ، منحنى السرعة مع الزمن.
- يستخدم الآلة الحاسبة البيانية فى تمثيل العلاقة بين الإزاحة مع الزمن والسرعة مع الزمن فى صورة أنشطة.



المصطلحات الأساسية

Displacement	إزاحة	Rectilinear Motion	حركة مستقيمة
Uniform Velocity	سرعة منتظمة	Distance	مسافة
Instantaneous Velocity	سرعة لحظية	Vector Velocity	متجه سرعة
Position Vector	متجه موضع	Average Velocity	السرعة المتوسطة
Uniform Acceleration	عجلة منتظمة	Relative Velocity	السرعة النسبية
Gravity	جاذبية أرضية	Vertical Motion	حركة رأسية
		Average Speed	متوسط مقدار السرعة

الأدوات والوسائل

Graphical programs	برامج رسومية للحاسوب	Scientific calculator	آلة حاسبة علمية
		Graphical calculator	آلة حاسبة رسومية

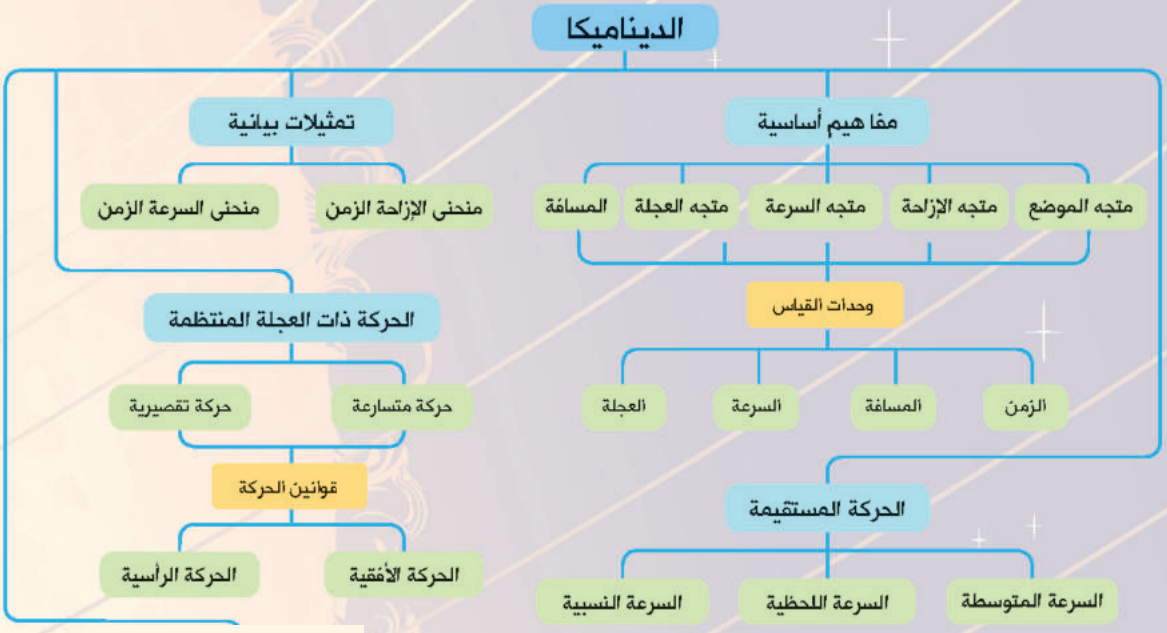
دروس الوحدة

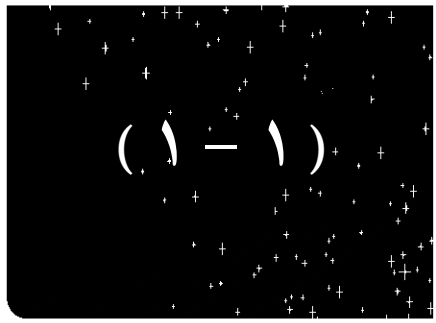
الدرس (١ – ١): الحركة المستقيمة.

الدرس (١ – ٢): الحركة المستقيمة ذات العجلة المنتظمة.

الدرس (١ – ٣): الحركة الرأسية تحت تأثير الجاذبية الأرضية.

مخطط تنظيمي للوحدة





الحركة المستقيمة
Rectilinear motion

سوف تتعلم

- العلاقة بين متجه الموضع ومتجه الإزاحة.
- السرعة المتوسطة.
- متوسط مقدار السرعة
- السرعة اللحظية.
- السرعة النسبية.

المصطلحات الأساسية

- حركة مستقيمة Rectilinear Motion
- نظام متري IS
- متجه إزاحة Displacement Vector
- متجه موضع Position Vector
- متجه سرعة Velocity Vector
- حركة منتظمة. Uniform motion
- سرعة متوسطة Average Velocity
- سرعة لحظية Instantaneous Velocity
- السرعة النسبية Relative Velocity
- متوسط مقدار السرعة Average Speed

الأدوات والوسائل

- ورق مربعات.
- آلة حاسبة علمية .
- برامج رسومية للحاسوب.

تقديم:

سبق أن تعرفت على بعض أنظمة القياس إلى أن تم اعتماد النظام العشرى الذي ابتكره الفرنسيون عام ١٧٩٠م ، واستمر حتى جاء النظام العالمي الموحد SI وهو مشتق من الكلمة International System Of Units و يتشكل هذا النظام من الكميات الأساسية فى علم الميكانيكا (الكتلة ، الطول ، الزمن)، وكذلك من الوحدات المشتقة التى تتشكل كحاصل ضرب قوى الوحدات الأساسية وفقًا لبعض العلاقات الجبرية (كالسرعة ، العجلة ، القوة).

الحركة *Motion*

السكون والحركة :

عندما يغير جسم ما موقعه بالنسبة لجسم آخر بمرور الزمن فإنه يقال إن الجسم الأول فى حالة حركة بالنسبة للجسم الثانى، أما إذا كان موقع الجسمين النسبى لايتغير بمرور الزمن فإن كلًّا منهما يكون فى حالة سكون بالنسبة للآخر.

فالسكون أو الحركة مفهومان نسبيان، فالأشجار والمنازل ساكنة ولكنها تبدو فى حالة حركة بالنسبة لقطار يتحرك بسرعة ما.

الحركة وأنواعها *Motion and its Types*

هناك أنواع عديدة للحركة كالحركة الانتقالية، والدورانية، والاهتزازية، فمثلًا: كرة القدم المقذوفة تنتقل من موضع إلى موضع آخر، وقد تدور حول نفسها فهى إذن تتحرك حركة انتقالية وأخرى دورانية فى الوقت نفسه، بينما نجد أن قطرات الماء المتساقط تتحرك حركة انتقالية وفى الوقت نفسه تكون فى حالة حركة اهتزازية وسوف نقوم بدراسة الحركة الانتقالية بصورة منفردة، و يتم ذلك بافتراض حركة جسم متناهٍ فى الصغر يسمى الجسيم، و يعامل الجسيم كنقطة هندسية من دون أبعاد تماشيًا للتعقيدات النظرية الناتجة عن الحركة الدورانية أو الاهتزازية والتى سنسجلها فى هذه الدراسة .

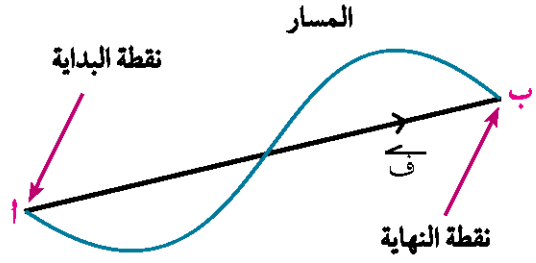
الحركة الانتقالية *Translational Motion*

الحركة الانتقالية يتحرك فيها الجسم بين نقطتين، تسمى الأولى نقطة البداية والثانية نقطة النهاية ومن أمثلتها حركة جسم فى خط مستقيم.

المسافة *Distance*

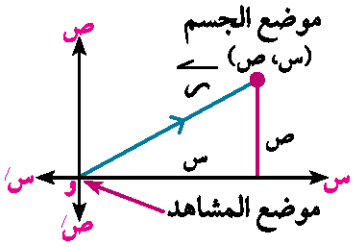
إذا تحرك قطار من مدينة القاهرة إلى مدينة المنصورة، فإنه سوف يقطع مسافة قدرها ١٢٦ كم، وتعتبر المسافة كمية قياسية إذ يجب معرفة مقدارها فقط، فإذا كان مقدار المسافة بين المدينتين ١٢٦كم فإن الرقم ١٢٦ يمثل القيمة العددية ، (كم) هى وحدة قياس المسافة.

متجه الإزاحة *Displacement vector*



هو المتجه الذى تمثله القطعة المستقيمة الموجهة $\overrightarrow{أب}$ التى نقطة بدايتها (أ) ونقطة نهايتها (ب) ويرمز لمتجه الإزاحة $\overrightarrow{أب}$ بالرمز $\overrightarrow{ف}$ ، ويرمز لمعيار متجه الإزاحة بالرمز $||\overrightarrow{أب}||$ وهو لا يساوى بالضرورة طول المسار الذى قطعه الجسيم فى أثناء الحركة.

متجه الموضع *Position vector*

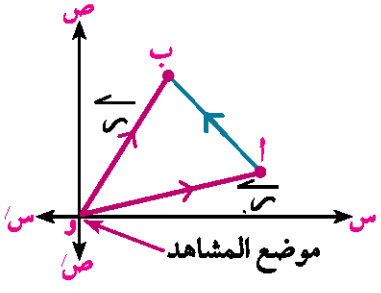


هو المتجه الذى تنطبق نقطة بدايته مع موضع المشاهد (و) ونقطة نهايته مع موضع الجسيم، ويرمز له بالرمز $\overrightarrow{ر}$ حيث $\overrightarrow{ر} = س\overrightarrow{س} + ص\overrightarrow{ص}$

$\overrightarrow{س}$ ، $\overrightarrow{ص}$ متجها وحدة متعامدين .

العلاقة بين متجه الموضع ومتجه الإزاحة:

Relation between position vector and displacement vector



إذا كانت (و) هى موضع المشاهد، أ(س١، ص١) ، ب (س٢، ص٢) هما موضعا الجسيم عند لحظتين متتاليتين فإن $\overrightarrow{أب}$ هو متجه الإزاحة للجسيم وليكن $\overrightarrow{ف}$.

فإذا رمزنا لمتجه الموضع عند اللحظة ن بالرمز $\overrightarrow{ر}$ ، متجه الموضع عند اللحظة (ن + هـ) بالرمز $\overrightarrow{ر}_{ن}$ فإن: $\boxed{\overrightarrow{ف} = \overrightarrow{ر}_{ن} - \overrightarrow{ر}}$

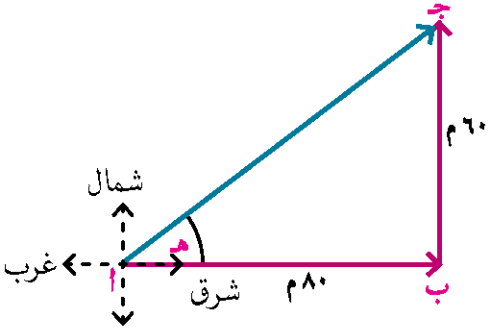
$\overrightarrow{ف} = (س_٢\overrightarrow{س} + ص_٢\overrightarrow{ص}) - (س_١\overrightarrow{س} + ص_١\overrightarrow{ص})$

$= (س_٢ - س_١)\overrightarrow{س} + (ص_٢ - ص_١)\overrightarrow{ص}$ ، $||\overrightarrow{ف}|| = \sqrt{(س_٢ - س_١)^٢ + (ص_٢ - ص_١)^٢}$

$\therefore \overrightarrow{ف} = ||\overrightarrow{ف}||\overrightarrow{ى}$ ، $\overrightarrow{ى}$ متجه وحدة فى اتجاه $\overrightarrow{ف}$ (اتجاه الحركة)

مثال

(١) تحرك عدّاء ٨٠ مترًا شرقًا، ثم تحرك بعد ذلك ٦٠ مترًا شمالاً . احسب المسافة والإزاحة التى قطعها العداء . ماذا تلاحظ ؟



الحل

المسافة الكلية التى قطعها العداء هو مجموع المسافتين من أ إلى ب ثم من ب إلى جـ.

المسافة = أ ب + ب جـ = ٨٠ + ٦٠ = ١٤٠ م

الإزاحة ممثلة بالقطعة المستقيمة الموجهة $\overrightarrow{أجـ}$

من فيثاغورث :

أجـ = $\sqrt{(٨٠)^{٢} + (٦٠)^{٢}}$ = $\sqrt{١٠٠٠٠}$ = ١٠٠ ، ظا هـ = $\frac{٦٠}{٨٠}$ ومنها هـ = ١٢ ″ ٥٢ ′ ٣٦ °

أى أن مقدار الإزاحة = ١٠٠ م وتعمل فى اتجاه ١٢ ″ ٥٢ ′ ٣٦ ° شمال الشرق.

نلاحظ أن:

- المسافة المقطوعة كمية قياسية (تتحدد بمعلومية مقدارها فقط) بينما الإزاحة كمية متجهة (تتحدد بمعلومية المقدار والاتجاه).
- معيار متجه الإزاحة ≥ المسافة المقطوعة.

حاول أن تحل

(١) تحرك راكب دراجة ٦ كم غربًا، ثم تحرك بعد ذلك ٨ كم بزاوية قياسها ٦٠ ° جنوب الغرب ، احسب المسافة و الإزاحة التي قطعها راكب الدراجة

(٢) تفكير ناقد: عندما تصعد نملة جدارًا ارتفاعه ٣ أمتار، ثم تعود إلى نفس نقطة البداية، أوجد المسافة المقطوعة والإزاحة المقطوعة.

مثال

(٢) يتحرك جسيم بحيث كان متجه موضعه $\overrightarrow{ر}$ يعطى كدالة فى الزمن بدلالة متجهى الوحدة الأساسيين $\overrightarrow{س}$ ، $\overrightarrow{ص}$ بالعلاقة: $\overrightarrow{ر}$ (ن) = (٣ن + ٢) $\overrightarrow{س}$ + (٤ن - ١) $\overrightarrow{ص}$ أوجد معيار متجه الإزاحة حتى اللحظة ن = ٤

الحل

$\overrightarrow{ر}$ (٠) = ٢ $\overrightarrow{س}$ - $\overrightarrow{ص}$ ، $\overrightarrow{ر}$ (٤) = (٣ × ٤ + ٢) $\overrightarrow{س}$ + (٤ × ٤ - ١) $\overrightarrow{ص}$ = ١٤ $\overrightarrow{س}$ + ١٥ $\overrightarrow{ص}$

∴ $\overrightarrow{ف}$ = $\overrightarrow{ر}$ (٤) - $\overrightarrow{ر}$ (٠)

= (١٤ - ٢) $\overrightarrow{س}$ + (١٥ + ١) $\overrightarrow{ص}$ = ١٢ $\overrightarrow{س}$ + ١٦ $\overrightarrow{ص}$

، || $\overrightarrow{ف}$ || = $\sqrt{١٤٤ + ٢٥٦}$ ، ف = ٢٠ وحدة طول

حاول أن تحل

(٣) فى المثال السابق : أوجد معيار متجه الإزاحة من ن = ١ إلى ن = ٣.

نشاط

منحنى (المسافة – الزمن):

الجدول التالى يبين العلاقة بين الزمن بالثوانى والمسافة بالأمتار لعدَّاء

الزمن بالثانية	صفر	٢	٤	٦	٨	١٠
المسافة بالمتر	صفر	١٠	٢٠	٣٠	٤٠	٥٠

١ فى ورقة الرسم البيانى حدد الزمن على محور السينات والمسافة على محور الصادات .

٢ مَثِّل بيانيًّا مواقع إحداثيات النقاط المبينة فى الجدول.

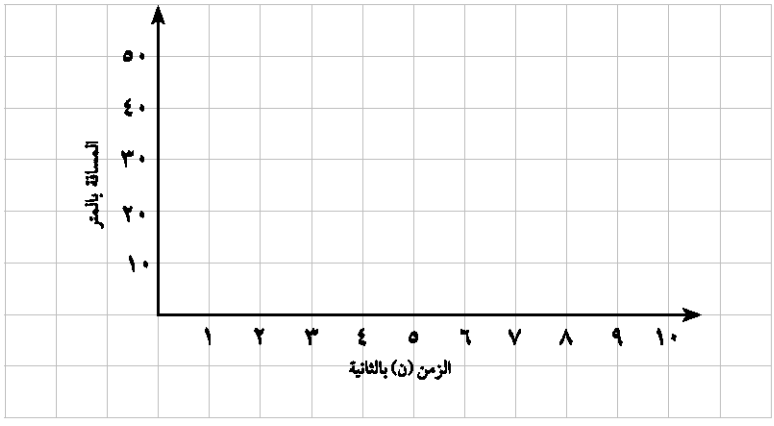
٣ استخدم المسطرة فى رسم أفضل خط مستقيم يمر بأغلب النقاط الموقعة فى الرسم.

٤ باستخدام الخط البياني الذي يبين العلاقة بين المسافة والزمن فى الأزمنة المبينة بالجدول، هل يمكنك إيجاد كل من :

أ المسافة التى قطعها العداء بعد مضى ٣ ثوان؟

ب الزمن الذى يستغرقه العداء فى قطع مسافة ٤٥ مترًا؟

٥ هل يمكنك إيجاد ميل الخط البياني المبين لنوع حركة العداء؟ وضح ذلك.



مقدار السرعة *Speed*

إذا تسابق عداءان فى فترة زمنية محددة فإن العداء الذى يقطع مسافة أطول يكون أسرع من العداء الذى يقطع مسافة أقل، ويمكن قياس السرعة بالمسافة المقطوعة خلال فترة زمنية محددة دون تحديد اتجاه حركتها ؛ فالعداد الموجود أمام سائق السيارة يحدد مقدار سرعة السيارة فقط دون تحديد اتجاه مسار هذه السيارة .

تذكر أن

١ كم / س = $\frac{٥}{١٨}$ م / ث

١ م / ث = $\frac{١٨}{٥}$ كم / س

حاول أن تحل

٤ أ حول ٩٠ كم / س إلى م / ث　　ب حول ١٥م / ث إلى كم / س

٥ أكمل الجدول الآتي:

١٨ كم / س	٥٤ كم / س	.... كم / س	٩٠ كم / س	... كم / س	١٨٠ كم / س	$\frac{٥}{١٨}\times$
٥ م / ث	...م / ث	٢٠م / ث	...م / ث	٣٠م / ث	...م / ث	$\frac{١٨}{٥}\times$

متجه السرعة *Velocity vector*

متجه سرعة جسيم هو المتجه الذي معياره يساوي مقدار السرعة وينطبق اتجاهه على اتجاه الحركة .

تعبير شفهي:

١- قارن بين مقدار السرعة ، متجه السرعة من حيث :

أ التعريف.　　ب نوع الكمية (قياسية أو متجهة) .

الحركة المنتظمة؛ والحركة المتغيرة *Uniform motion and variable motion*

الحركة المنتظمة: هى الحالة التى يكون فيها كل من معيار واتجاه متجه السرعة ثابتًا

وهنا نورد ملاحظتين هامتين على الحركة المنتظمة.

١ - **ثبات اتجاه متجه السرعة :** وهذا يعنى ان الجسم يتحرك فى اتجاه ثابت.

٢ - **ثبات معيار متجه السرعة :** وهذا يعنى ان الجسم يقطع في اتجاه حركته مسافات متساوية خلال فترات زمنية متساوية.

الحركة المتغيرة: إذا لم تكن الحركة منتظمة فإننا نسميها متغيرة. والحركة المتغيرة يتغير فيها متجه سرعة الجسم فى المقدار أو الاتجاه أو كليهما من لحظة إلى أخرى.

متوسط مقدار السرعة *average speed*

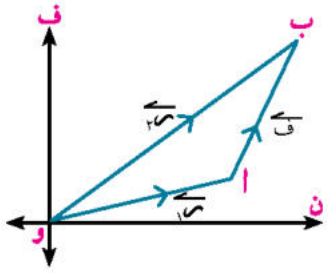
إذا قامت سيارة برحلة من مدينة القاهرة إلى مدينة الغردقة فإن المسافة بين المدينتين طبقًا لمسار السيارة يبلغ ٥١٠ كم، فإذا كانت السيارة تتحرك بسرعات متفاوتة بين المدينتين، وكان الزمن الكلى لتلك الرحلة ٦ ساعات فإنه لحساب متوسط مقدار السرعة للسيارة خلال هذه الرحلة نجد أن :

$$\text{متوسط مقدار السرعة } ع_م = \frac{\text{المسافة الكلية}}{\text{الزمن الكلى}} = \frac{٥١٠}{٦} = ٨٥ \text{ كم / س}$$

وعليه فإن :

متوسط مقدار السرعة هى المسافة الكلية المقطوعة خلال الرحلة ، مقسومًا على الزمن الكلي الذي استغرقته الرحلة.

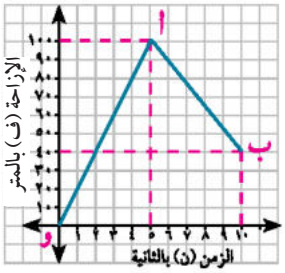
متجه السرعة المتوسطة *Vector of the average velocity*



إذا تحرك جسيم وتواجد عند لحظتين زمنيتين $ن_١$ ، $ن_٢$ عند الموضعين ا ، ب على الترتيب وكان $\overrightarrow{ف}$ هو متجه الإزاحة فى الفترة الزمنية $(ن_٢ - ن_١)$ فإن $\overrightarrow{ع_م}$ يعرف بمتجه السرعة المتوسطة لهذا الجسيم خلال تلك الفترة الزمنية و يكون:

$$\overrightarrow{ع_م} = \frac{\overrightarrow{ف}}{ن_٢ - ن_١} = \frac{\overrightarrow{ر_٢} - \overrightarrow{ر_١}}{ن_٢ - ن_١}$$

مثال



(٣) يبين الشكل المقابل العلاقة بين الإزاحة والزمن لحركة راكب دراجة ، فى خط مستقيم من نقطة (و) أوجد:

(أ) متجه السرعة المتوسطة. (ب) متوسط مقدار السرعة

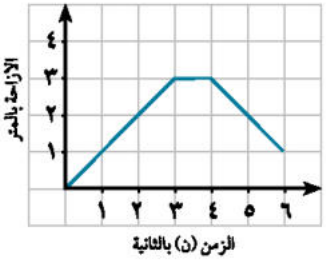
الحل

نوجد متجه السرعة المتوسطة باستخدام نقطتين على الخط البياني.

(أ) $\overrightarrow{ع_م} = \frac{٤٠\ \overrightarrow{ى}}{١٠} = ٤\ \overrightarrow{ى}$ ومعيارها ٤ م/ث حيث $\overrightarrow{ى}$ متجه وحدة فى اتجاه الحركة

(ب) $ع_م = \frac{١٠٠ + ٦٠}{١٠} = ١٦$ م/ث

حاول أنْ تحل

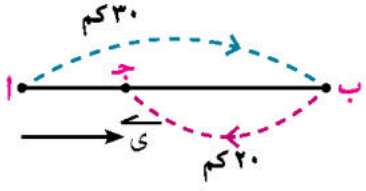


(٦) يبين الشكل التالى رسمًا بيانيًّا لمنحنى (الازاحة - الزمن) لفأر يهرب من قط. أعد رسم هذا الشكل إذا هرب الفأر من القط بضعف سرعته.

مثال
حساب متوسط مقدار السرعة ومتجه السرعة المتوسطة

(٤) قطع راكب دراجة ٣٠ كم على طريق مستقيم بسرعة ١٨ كم / س، ثم عاد على نفس الطريق فقطع ٢٠ كم فى الاتجاه المضاد بسرعة ١٥ كم / س أوجد متجه سرعته المتوسطة خلال الرحلة كلها، ثم أوجد متوسط مقدار سرعته خلال الرحلة كلها.

الحل



إذا بدأ راكب الدراجة الحركة من الموضع ا إلى الموضع ب فى المرحلة الأولى، ثم عاد من ب إلى جـ فى المرحلة الثانية وبفرض أنَّ $\overrightarrow{ى}$ هو متجه الوحدة فى اتجاه $\overrightarrow{ا ب}$.

زمن المرحلة الأولى $= \frac{ف}{ع_١}$ أى $ن_١ = \frac{٣٠}{١٨} = \frac{٥}{٣}$ ساعة،

زمن المرحلة الثانية $ن_٢ = \frac{٢٠}{١٥} = \frac{٤}{٣}$ ساعة.

الزمن الكلى للرحلة $= \frac{٥}{٣} + \frac{٤}{٣} = \frac{٩}{٣} = ٣$ ساعات

الإزاحة $\overrightarrow{ف} = ٣٠\overrightarrow{ى} - ٢٠\overrightarrow{ى} = ١٠\overrightarrow{ى}$

$\because \overrightarrow{ع_م} = \frac{\overrightarrow{ف}}{ن}$ $\therefore \overrightarrow{ع_م} = \frac{١٠\overrightarrow{ى}}{٣} = ٣\frac{١}{٣}\overrightarrow{ى}$

أى أنَّ متجه السرعة المتوسطة له نفس اتجاه $\overrightarrow{ى}$ أى فى اتجاه $\overrightarrow{أب}$ ومعياره يساوى $٣\frac{١}{٣}$ كم / س.

متوسط مقدار السرعة = $\frac{\text{المسافة الكلية}}{\text{الزمن الكلى}} = \frac{٣٠+٢٠}{٣} = \frac{٥٠}{٣}$ كم/س

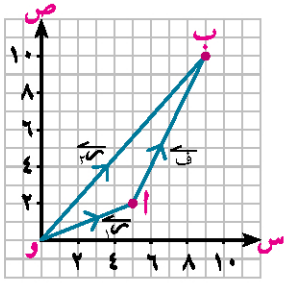
حاول أن تحل

(٧) قطع راكب دراجة مسافة ٢٥ كم على طريق مستقيم بسرعة ١٥ كم / س، ثم قطع مسافة ٧ كم فى نفس الاتجاه بسرعة ٧ كم / س. أوجد متجه السرعة المتوسطة خلال الرحلة كلها، متوسط مقدار السرعة خلال الرحلة كلها.

مثال

(٥) تواجد جسيم عند لحظتين زمنيتين ٣، ٧ ثوان عند الموضعين أ (٥ ، ٢) ، ب (٩ ، ١٠) على الترتيب، أوجد متجه السرعة المتوسطة للجسيم خلال هذه الفترة الزمنية، ثم أوجد معيار واتجاه هذه السرعة المتوسطة.

الحل



الشكل المقابل يمثل:

متجه الموضع الابتدائى $\overrightarrow{وأ}$ ($\overrightarrow{ر_١}$) ،

متجه الموضع النهائى $\overrightarrow{وب}$ ($\overrightarrow{ر_٢}$) ،

متجه الإزاحة $\overrightarrow{أب}$ ($\overrightarrow{ف}$)

حيث: $\overrightarrow{ف} = \overrightarrow{ر_٢} - \overrightarrow{ر_١}$

$\overrightarrow{ف} = (٩ ، ١٠) - (٥ ، ٢)$

$\overrightarrow{ف} = (٤ ، ٨)$

$\because \overrightarrow{ع_م} = \frac{\overrightarrow{ف}}{ن_٢ - ن_١}$

$\therefore \overrightarrow{ع_م} = \frac{١}{(٣-٧)} (٤\overrightarrow{س} + ٨\overrightarrow{ص})$

$\overrightarrow{ع_م} = \overrightarrow{س} + ٢\overrightarrow{ص}$ (الصورة المتجهة للسرعة المتوسطة)

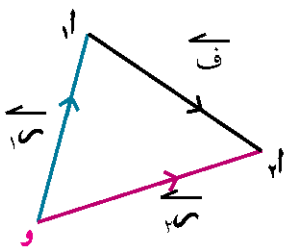
$|| \overrightarrow{ع_م} || = \sqrt{(١)^٢ + (٢)^٢} = \sqrt{٥}$ وحدة سرعة

وتصنع زاوية قطبية مع $\overleftarrow{وس}$ ظلها ٢ أي ٦٣° ٢٦′ ٦″ .

حاول أن تحل

(٨) تواجد جسيم عند لحظتين زمنيتين ٣، ٨ ثوان عند الموضعين أ(٧، ٢) ، ب (٤، ٦) على الترتيب أوجد متجه السرعة المتوسطة للجسيم خلال هذه الفترة الزمنية، ثم أوجد معيار واتجاه هذه السرعة.

متجه السرعة اللحظية *Instantaneous Velocity*



في الشكل المقابل

$$\because \overrightarrow{ع_م} = \frac{\overrightarrow{ف}}{ن_2 - ن_1} = \frac{\overrightarrow{ع_2} - \overrightarrow{ع_1}}{ن_2 - ن_1}$$

وإذا كانت الفترة الزمنية (ن٢ - ن١) صغيرة جدًا تتوسطها اللحظة ن فإن متجه السرعة في هذه الحالة يعرف بمتجه السرعة اللحظية عند اللحظة ن ويرمز لها بالرمز $\overrightarrow{ع}$

فكر وناقش

السرعة النسبية *Relative velocity*

ماذا تلاحظ؟

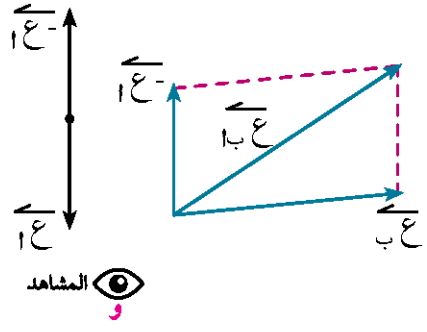
- إذا جلست في قطار يتحرك وأنت تشاهد من النافذة أعمدة الإنارة والأشجار على جانب الطريق.
- إذا ركبت سيارة تتحرك بسرعة في اتجاه ما، وأنت تشاهد السيارات الأخرى التي تتحرك في نفس اتجاه سيارتك.
- إذا كانت السيارات الأخرى تتحرك عكس اتجاه سيارتك.

نلاحظ مما سبق أن الحركة مفهوم نسبي يختلف من مشاهد لآخر في موضع آخر، وفي جميع الحالات فإن المشاهد يرصد حركات الأجسام الأخرى باعتباره ساكنًا حتى ولو كان غير ذلك، فيرى هذه الأجسام تتحرك بسرعات ليست هي السرعات الفعلية لها، ولكنها سرعات نسبية.

مفهوم السرعة النسبية:

السرعة النسبية لجسيم (ب) بالنسبة لجسيم آخر (أ) هي السرعة التي يبدو أن الجسيم (ب) يتحرك بها لو اعتبرنا الجسيم (أ) في حالة سكون.

متجه السرعة النسبية:



باعتبار أن $\overrightarrow{ع_أ}$ ، $\overrightarrow{ع_ب}$ هما متجها سرعة لجسمين أ، ب بالنسبة للمشاهد (و) وأن $\overrightarrow{ع_{ب أ}}$ هو متجه سرعة ب بالنسبة إلى أ.

بإضافة ($-\overrightarrow{ع_أ}$) إلى كل من المتجهين $\overrightarrow{ع_أ}$ ، $\overrightarrow{ع_ب}$ للجسمين أ، ب حيث يصبح أ ساكنًا ويصبح متجه سرعة ب بالنسبة إلى أ هي ($\overrightarrow{ع_ب} - \overrightarrow{ع_أ}$) أي أن:

$$\overrightarrow{ع_{ب أ}} = \overrightarrow{ع_ب} - \overrightarrow{ع_أ}$$

تفكير ناقد: إذا كان $\overrightarrow{ع_{ب أ}}$ هو متجه سرعة ب بالنسبة إلى أ، $\overrightarrow{ع_{أ ب}}$ متجه سرعة أ بالنسبة إلى سرعة ب فاكتب العلاقة بين $\overrightarrow{ع_{ب أ}}$ ، $\overrightarrow{ع_{أ ب}}$

مثال

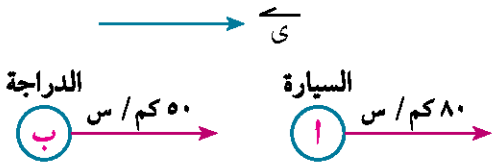
٦ تتحرك سيارة على طريق مستقيم بسرعة ٨٠ كم/س. فإذا تحركت فى نفس اللحظة على نفس الطريق دراجة بخارية بسرعة ٥٠ كم / س. أوجد السرعة النسبية للدراجة البخارية بالنسبة للسيارة عندما تكون:

أ الدراجة تتحرك فى نفس اتجاه حركة السيارة.

ب الدراجة تتحرك عكس اتجاه حركة السيارة.

الحل

نرمز للسيارة بالرمز أ وللدراجة بالرمز ب وبفرض أن $\overrightarrow{ى}$ متجه وحدة فى اتجاه حركة السيارة.



أ عندما تتحرك الدراجة فى نفس اتجاه حركة السيارة تكون:

$\overrightarrow{ع_{ب}} = ٥٠\ \overrightarrow{ى}$ ، $\overrightarrow{ع_{أ}} = ٨٠\ \overrightarrow{ى}$ ، سرعة الدراجة بالنسبة للسيارة $\overrightarrow{ع_{ب أ}} = ؟$

$\because \overrightarrow{ع_{ب أ}} = \overrightarrow{ع_{ب}} - \overrightarrow{ع_{أ}}$ $\therefore \overrightarrow{ع_{ب أ}} = ٥٠\ \overrightarrow{ى} - ٨٠\ \overrightarrow{ى} = -٣٠\ \overrightarrow{ى}$

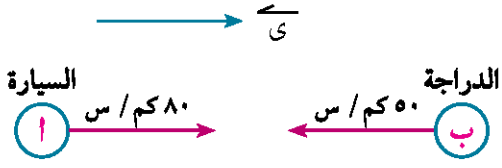
أى أنَّ الدراجة تبدو لراكب السيارة وكأنها متحركة مبتعدة عن السيارة بسرعة مقدارها ٣٠ كم / س فى عكس اتجاه $\overrightarrow{ى}$.

ب عندما تتحرك الدراجة فى عكس اتجاه السيارة:

$\overrightarrow{ع_{ب}} = -٥٠\ \overrightarrow{ى}$ ، $\overrightarrow{ع_{أ}} = ٨٠\ \overrightarrow{ى}$ ،

$\because \overrightarrow{ع_{ب أ}} = \overrightarrow{ع_{ب}} - \overrightarrow{ع_{أ}}$

$\therefore \overrightarrow{ع_{ب أ}} = -٥٠\ \overrightarrow{ى} - ٨٠\ \overrightarrow{ى} = -١٣٠\ \overrightarrow{ى}$



أى أنَّ الدراجة تبدو لراكب السيارة وكأنها متحركة نحوه بسرعة ١٣٠ كم/ س.

حاول أن تحل

٩ تتحرك سيارة على طريق مستقيم بسرعة ٧٢ كم/ س. فإذا تحركت على الطريق نفسه دراجة بخارية بسرعة ٢٨ كم / س. فأوجد السرعه النسبية للدراجة البخارية بالنسبة للسيارة عندما:

أ الدراجة تتحرك فى نفس اتجاه حركة السيارة.

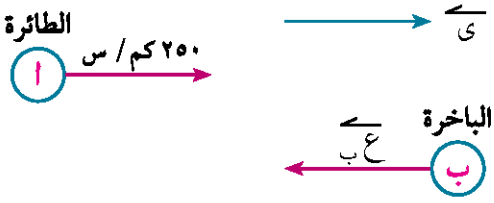
ب الدراجة تتحرك فى عكس اتجاه حركة السيارة.

مثال

٧ تتحرك باخرة فى مسار مستقيم نحو ميناء، ولما صارت على مسافة ١٠٠ كم منه مرت فوقها طائرة حراسة فى الاتجاه المضاد بسرعة ٢٥٠ كم / س، ورصدت حركة الباخرة، فبدت لها متحركة بسرعة ٣٠٠ كم / س، احسب الزمن الذى يمضى من لحظة الرصد حتى وصول الباخرة إلى الميناء.

الحل

نرمز للباخرة بالرمز ب وللطائرة بالرمز ا ونفرض أن $\overrightarrow{ي}$ متجه وحدة له نفس اتجاه حركة الطائرة.



وأن السرعة الفعلية للباخرة $\overrightarrow{ع_ب}$ (فى اتجاه مضاد لحركة الطائرة).

$\therefore \overrightarrow{ع_ا} = ٢٥٠ \overrightarrow{ي}$ ، $\overrightarrow{ع_{ب ا}} = -٣٠٠ \overrightarrow{ي}$

$\because \overrightarrow{ع_{ب ا}} = \overrightarrow{ع_ب} - \overrightarrow{ع_ا}$ $\therefore -٣٠٠ \overrightarrow{ي} = \overrightarrow{ع_ب} - ٢٥٠ \overrightarrow{ي}$

أى أنَّ $\overrightarrow{ع_ب} = -٥٠ \overrightarrow{ي}$

أى أنَّ السرعة الفعلية للباخرة مقدارها ٥٠ كم / س وتعمل فى الاتجاه المضاد لحركة الطائرة.

$\because \overrightarrow{ف} = \overrightarrow{ع} ن$ $\therefore ١٠٠ = ٥٠ ن$

أى أنَّ ن = ٢ ساعة

حاول أن تحل

(١٠) تتحرك سيارة رادار لمراقبة السرعة على الطريق الصحراوى بسرعة ٤٠ كم / س، راقبت هذه السيارة حركة سيارة نقل قادمة فى الاتجاه المضاد، فبدت وكأنها تتحرك بسرعة ١٢٠ كم / س فما هى السرعة الفعلية لسيارة النقل؟

تمـارين (ا - ا)

أكمل مايأتى:

(١) ٢٠م / ث = ... كم / س

(٢) ٩٠ كم / س = ... م / ث

(٣) تتحرك سيارة بسرعة منتظمة مقدارها ٧٢ كم / س لمدة ربع ساعة فإن المسافة المقطوعة = ... كم.

(٤) إذا كان $\overrightarrow{ع_ا} = ١٥ \overrightarrow{س}$ ، $\overrightarrow{ع_ب} = ٢٢ \overrightarrow{س}$ فإن $\overrightarrow{ع_{ب ا}}$ = ...

(٥) إذا كان $\overrightarrow{ع_{ب ا}} = ٦٥ \overrightarrow{ي}$ ، $\overrightarrow{ع_ا} = ٥٠ \overrightarrow{ي}$ فإن $\overrightarrow{ع_ب}$ = ...

(٦) يتحرك راكب دراجة ا على طريق مستقيم بسرعة ١٥ كم / س ويتحرك فى نفس الاتجاه راكب آخر ب بسرعة ١٢ كم / س فإن سرعة ب بالنسبة إلى ا تساوى ..... كم / س.

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة:

(٧) إذا تحركت سيارة بسرعة منتظمة مقدارها ٧٥ كم / س لمدة ٢٠ دقيقة فإن المسافة المقطوعة بـ كم تساوى:

أ ١٥ ب ٢٠ جـ ٢٥ د ٣٠

(٨) الزمن بالساعة الذي تستغرقه سيارة تتحرك بسرعة منتظمة ٢٠ متر / ث فى قطع مسافة ١٨٠ كم يساوى:

أ $١\frac{١}{٢}$ ب - ٢ جـ $٢\frac{١}{٢}$ د ٣

(٩) إذا كان $\overrightarrow{ع_{أ}} = ١٥\ \overrightarrow{س}$ ، $\overrightarrow{ع_{١}} = ٣٥\ \overrightarrow{س}$ فإن $\overrightarrow{ع_{ب}}$ تساوى:

أ $-٥٠\ \overrightarrow{س}$ ب $-٢٠\ \overrightarrow{س}$ جـ $٢٠\ \overrightarrow{س}$ د $٥٠\ \overrightarrow{س}$

(١٠) إذا كان متجه موضع جسيم يتحرك فى خط مستقيم من نقطة و يعطى كدالة فى الزمن ن (ثانية) بالعلاقة:

$\overrightarrow{ر} = (٢ن^{٢} + ٣)\ \overrightarrow{ى}$ فإن معيار متجه الإزاحة $\overrightarrow{ف}$ بعد ٢ ثانية حيث معيار $\overrightarrow{ر}$ بالمتر يساوى:

أ ٤ متر ب ٦ متر جـ ٨ متر د ١١ متر

(١١) **الربط بالفلك:** إذا كان الضوء يصل من الشمس إلى الأرض فى ٨,٣ دقيقة، وكان بعد الأرض عن الشمس $١,٤٩٤ \times ١٠^{١١}$ متر فأوجد سرعة الضوء.

(١٢) تحركت سيارتان فى وقت واحد من بنها متجهتان إلى القاهرة بسرعة ثابتة لكل منهما، فإذا كانت سرعة الأولى ٧٠ كم/س، وسرعة الثانية ٨٤ كم/س . ما الزمن الذى سينتظره قائد السيارة الثانية حتى يلحق به قائد السيارة الأولى فى نهاية الرحلة التى يبلغ طولها ٤٩ كم؟

(١٣) دخل قطار طوله ١٥٠ مترًا نفقًا مستقيمًا طوله ف متر، فاستغرق عبوره بالكامل من النفق فى زمن قدره ١٥ ثانية، أوجد طول النفق إذا كانت سرعة القطار منتظمة وتساوى ٩٠ كم / س.

(١٤) قطع راكب دراجة ٣٠ كم على طريق مستقيم بسرعة ١٥ كم / س ثم عاد فقطع ١٠ كم فى الاتجاه المعاكس بسرعة ١٠ كم / س، أوجد متجه سرعته المتوسطة خلال الرحلة كلها.

(١٥) سار رجل على طريق مستقيم فقطع ٨٠٠ متر بسرعة ٩ كم / س ، وقطع مسافة مساوية لها فى نفس الاتجاه بسرعة ٤,٥ كم / س، أوجد متوسط مقدار السرعة للرجل خلال الرحلة كلها.

(١٦) مدينتان أ ،ب على الطريق الساحلى المسافة بينهما ١٢٠ كم، تحركت سيارة من المدينة أ متجهة إلى المدينة ب بسرعة منتظمة ٨٨ كم / س، وفى نفس اللحظة قامت سيارة أخرى من المدينة ب متجهة إلى المدينة أ بسرعة منتظمة ٧٢ كم / س أوجد متى وأين تتقابل السيارتان؟

(١٧) تتحرك سيارة أ على طريق مستقيم بسرعة منتظمة ٦٠ كم / س وتتحرك سيارة ب على نفس الطريق بسرعة منتظمة ٩٠ كم / س. أوجد سرعة السيارة أ بالنسبة للسيارة ب إذا كانت:

أ السيارتان تتحركان فى اتجاهين متضادين. ب السيارتان تتحركان فى اتجاه واحد.

(١٨) قامت سيارة شرطة متحركة بسرعة منتظمة على طريق أفقى بقياس السرعة النسبية لشاحنة تتحرك أمامها وفى نفس الاتجاه فوجدتها ٦٠ كم / س، ولما زيدت سرعة سيارة الشرطة إلى الضعف، وأعادت القياس فبدت الشاحنة وكأنها ساكنة. أوجد السرعة الفعلية لكل من سيارة الشرطة والشاحنة.

(١ - ٢)

الحركة منتظمة التغير فى خط مستقيم

Rectilinear motion with Uniform accelerated

سوف تتعلم

- التسارع.
- منحنى السرعة - الزمن.
- الحركة منتظمة التغير.
- العلاقة بين السرعة - الزمن.
- العلاقة بين المسافة - الزمن.
- العلاقة بين السرعة - المسافة.

المصطلحات الأساسية

- تسارع Acceleration
- حركة منتظمة التغير Uniform variable motion
- عجلة منتظمة Uniform acceleration
- تقصير منتظم Uniform deceleration

الأدوات والوسائل

- ورق مربعات
- آلة حاسبة علمية
- برامج رسومية للحاسوب

تمهيد:

سبق أن درست الحركة المنتظمة فى خط مستقيم، ومن الملاحظ أن عددًا قليلًا من الأجسام يتحرك بهذه الطريقة لوقت طويل، فمن الملاحظ أن كل سيارة يوجد بها ثلاث أدوات تتحكم فى سرعتها، وهى دواسة الوقود ودواسة الفرامل، ثم عجلة القيادة التى تتحكم فى اتجاه حركتها، كذلك نلاحظ التغير فى سرعة الأجسام فى أثناء سقوطها وفى أثناء قذفها إلى أعلى.

تعلم

تعريف

الحركة منتظمة التغير فى خط مستقيم (Rectilinemvariablemotion-nonvariablemotion):

هى الحركة التى يحدث فيها تغير مقدار السرعة بانتظام بمرور الزمن، ويسمى بالتسارع (العجلة) حيث:

$$\text{العجلة (جـ)} = \frac{\text{السرعة النهائية - السرعة الابتدائية}}{\text{الزمن}}$$

ووحدات قياسه = م / ث^{٢} **أو** سم / ث^{٢} **أو** كم / س^{٢}

كما يلاحظ أن:

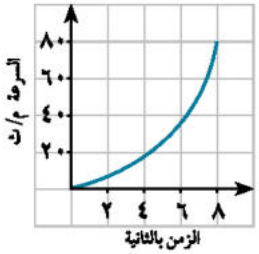
إذا كان التغير فى السرعة عند لحظة زمنية محددة فيسمى التسارع اللحظي.

منحنى (السرعة - الزمن) *Velocity-Time curve*

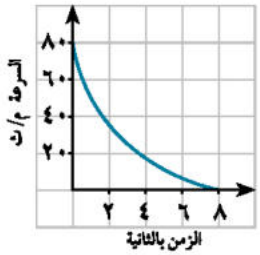
يرتبط مفهوم التسارع بتغير السرعة فإذا ازدادت السرعة مع الزمن نقول: إن الحركة متسارعة، ويكون التسارع (العجلة) موجبًا (باعتبار السرعة موجبة) كما فى شكل (١).

وإذا تناقصت السرعة مع الزمن فنقول: إن الحركة تقصيرية، ويكون التسارع (العجلة) سالبًا كما فى شكل (٢).

وإذا بقيت السرعة ثابتة مع الزمن نقول: إن الحركة منتظمة.



شكل (١)



شكل (٢)

الحركة منتظمة التغير: *Uniformly accelerated motion*

يقال إن الجسيم يتحرك حركة منتظمة التغير أو بتسارع (عجلة) منتظم إذا كان متجه العجلة ثابتًا مقدارًا واتجاهًا لجميع الأزمنة.

تعبير شفهي: ماذا تعنى كل من العبارات الآتية:

أ مقدار سرعة جسيم يزداد فى أثناء حركته زيادة منتظمة بمعدل ٤م / ث^{٢}.

ب مقدار سرعة جسيم يتناقص فى أثناء حركته تناقص منتظم بمعدل ٢٤ كم / س^{٢}.

مثال

١ إذا تغيرت بانتظام سرعة سيارة تتحرك فى خط مستقيم من ٥٠ كم / س إلى ٦٨ كم / س خلال عشر ثوان، وتحركت سيارة نقل من السكون؛ حتى أصبحت سرعتها ١٨ كم / س خلال هذه المدة. أيهما يتحرك بتسارع أكبر ؟ فسر إجابتك.

الحل

يتضح من بيانات المسألة أن كلًّا من السيارة ، سيارة النقل قد حدث لهما زيادة فى السرعة بمقدار ١٨ كم / س (أى ٥م / ث) خلال فترة زمنية قدرها ١٠ ثوان؛ لذلك يكون التسارع متساويًا لكل منهما .

أىْ أنَّ التسارع الذى تتحرك به كل منهما هو:

$$\because \text{جـ} = \frac{\text{التغير فى السرعة}}{\text{الفترة الزمنية}} = \frac{٥}{١٠} = \frac{١}{٢} \text{ م / ث}^{٢}$$

حاول أنْ تحل

١ إذا تغيرت بانتظام سرعة سيارة (أ) تتحرك فى خط مستقيم من ٢٤ كم / س إلى ٣٦ كم / س خلال ٥ ثوان، وتغيرت بانتظام سرعة سيارة (ب) تتحرك فى نفس الخط المستقيم من ١٢ كم / س إلى ٣٠ كم / س خلال نفس المدة الزمنية. أيهما يتحرك بتسارع أكبر ؟ فسِّر إجابتك.

معادلات الحركة منتظمة التغير في خط مستقيم *Equations of the uniform variable motion*

توجد ثلاث معادلات أساسية تربط بين القياسات الجبرية لمتجهات الازاحة ، والسرعة، والعجلة، والزمن فى حالة الحركة بتسارع منتظم وهى:

أولًا: العلاقة بين السرعة والزمن:

إذا تحرك جسيم فى خط مستقيم بمتجه سرعة ابتدائية $\overleftarrow{ع_{.}}$ ومتجه عجلة ثابتة $\overleftarrow{جـ}$ وأصبح متجه سرعته $\overleftarrow{ع}$ بعد فترة زمنية (ن) فإن:

$$\overleftarrow{جـ} = \frac{\overleftarrow{ع} - \overleftarrow{ع_{.}}}{ن}$$

أىْ أنَّ: $\boxed{\overleftarrow{ع} = \overleftarrow{ع_{.}} + \overleftarrow{جـ}\, ن}$

بأخذ القياس الجبري تكون. $\boxed{ع = ع_{.} + جـ\, ن}$

لاحظ أن:

- العلاقة تربط بين أربعة مجاهيل يمكن إيجاد إحداها بمعلومية الثلاثة الآخرين.
- إذا بدأ الجسم حركته من سكون فإن ع. = ٠ وتكون ع = جـ ن
- إذا كان جـ = ٠ فإن ع = ع. أيْ أنَّ الجسم يتحرك بسرعة منتظمة.

مثال

(٢) بدأ جسيم حركته فى اتجاه ثابت بسرعة ٩سم / ث وبعجلة منتظمة قدرها ٣سم / ث^{٢} تعمل فى نفس اتجاه السرعة الابتدائية. أوجد:

أ سرعة الجسيم بعد ٥ ثوان من بدء الحركة.

ب الزمن الذى يمضى من بدء الحركة حتى تصبح سرعته ٥٤ سم / ث.

الحل

أ نفرض أن الاتجاه الموجب هو اتجاه حركة الجسيم.

من بيانات المسألة: ع. = ٩سم / ث ، جـ = ٣سم / ث^{٢} ، ن = ٥ ثوان.

∵ ع = ع. + جـ ن ∴ ع = ٩ + ٣ × ٥ ∴ ع = ٢٤ سم / ث.

ب ∵ ع = ع. + جـ ن ∴ ٥٤ = ٩ + ٣ ن ∴ ن = ١٥ ثانية.

حاول أنْ تحل

(٢) بدأ جسيم حركته فى اتجاه ثابت بسرعة ٢٠سم / ث وبعجلة منتظمة ٥سم / ث^{٢} تعمل فى نفس اتجاه متجه السرعة الابتدائية. أوجد:

أ سرعته فى نهاية دقيقة واحدة من بدء الحركة.

ب الزمن الذى يمضى من بدء الحركة حتى تصبح سرعته ١٨ كم / س.

مثال

(٣) يتحرك جسيم فى خط مستقيم فتغيرت سرعته من ٥٤ كم / س الى ٣ م / ث فى زمن قدره نصف دقيقة. أوجد مقدار عجلة الحركة. هل يمكن لهذا الجسيم أن يسكن لحظيًّا؟ فسِّر إجابتك.

الحل

لتحويل سرعة الجسم من كم/س إلى م/ث : ٥٤ كم / س = ٥٤ × $\frac{٥}{١٨}$ = ١٥ م / ث

"من بيانات المسألة" ع. = ١٥ م / ث ، ع = ٣م / ث ، ن = ٣٠ ثانية .

∵ ع = ع. + جـ ن ∴ ٣ = ١٥ + ٣٠ جـ

أىْ أنَّ: ٣٠ جـ = - ١٢ ∴ جـ = - ٠,٤ م / ث^{٢}

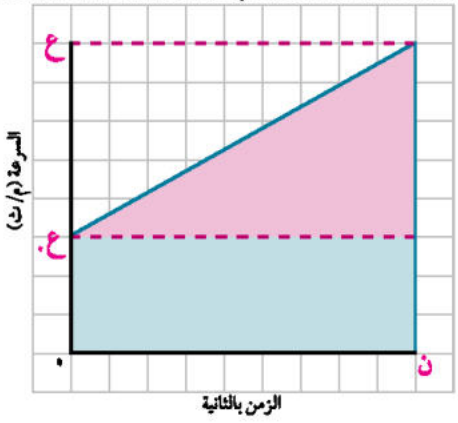
∵ جـ < ٠ يمكن لهذا الجسيم أن يسكن لحظيًّا؛ لأنه يتحرك حركة تقصيرية.

حاول أن تحل

(٣) تتحرك سيارة فى خط مستقيم فتناقصت سرعتها من ٦٣ كم / س إلى ٣٦ كم / س فى زمن قدره نصف دقيقة. أوجد العجلة التى تتحرك بها السيارة والزمن الذى يمضى بعد ذلك؛ حتى تسكن لحظيًّا.

ثانيًا : العلاقة بين الإزاحة والزمن

The relation between displacement and time



المساحة تحت منحنى (السرعة - الزمن) تساوى إزاحة الجسم.

فى الشكل المقابل الجسم يتحرك بعجلة منتظمة مبتدئًا بسرعة ابتدائية ع. وبعد زمن ن ثانية أصبحت سرعته النهائية ع

المساحة تحت المنحنى يمكن حسابها عن طريق تقسيمها إلى مستطيل ومثلث.

المساحة (ف) = مساحة المستطيل + مساحة المثلث

$= ع_{.} ن + \frac{1}{2} ن (ع - ع_{.})$

ف $= ع_{.} ن + \frac{1}{2} ن (ع_{.} + جـ ن - ع_{.})$ (وذلك بالتعويض من القانون الأول: ع = ع. + جـ ن)

$$ف = ع_{.} ن + \frac{1}{2} جـ ن^{2}$$

حيث ف ، ع ، جـ هى القياسات الجبرية للإزاحة والسرعة والعجلة.

تعبير شفهى:

١- اكتب صيغة قانون (الإزاحة – الزمن) عندما يبدأ الجسم حركته من سكون.

٢- اكتب صيغة القانون السابق عندما جـ = ٠ ، وبم تفسر نوع الحركة فى هذه الحالة؟

مثال

(٤) سيارة تتحرك بسرعة ٩٠ كم / س ، ضغط السائق على دواسة الفرامل، بحيث تناقصت السرعة بمعدل ثابت حتى توقفت السيارة بعد مرور ٥ ثوان. احسب:

أ عجلة السيارة خلال تناقص السرعة.

ب المسافة التى قطعتها السيارة؛ حتى توقفت حركتها تمامًا.

لاحظ أن

عندما يقف الجسم فإن ع = ٠

الحل

أ لتحويل السرعة من كم/س إلى متر / ث : ٩٠ كم / س = $٩٠ \times \frac{٥}{١٨}$ = ٢٥ م / ث

بالتطبيق فى القانون: ع = ع. + جـ ن حيث ع. = ٢٥ م / ث ، ع = ٠ ، ن = ٥ ثوان

∴ ٠ = ٢٥ + ٥ جـ **أى أنَّ** جـ = - ٥ م / ث^{٢}

أىْ أنَّ السيارة تتحرك بتقصير منتظم مقداره ٥م / ث^{٢}.

ب ∵ ف = ع. ن + $\frac{1}{2}$ جـ ن^{2} بالتعويض عن : ع. = ٢٥م/ث، ن = ٥ث ، جـ = - ٥م/ن^{2}

∴ ف = ٢٥ × ٥ + $\frac{1}{2}$ (- ٥) × ٢٥ = ٦٢,٥ مترًا.

حاول أن تحل

٤ قذفت كرة صغيرة بسرعة ٢٠م/ث أفقيًّا، فتحركت فى خط مستقيم حركة تقصيرية بعجلة منتظمة $\frac{1}{2}$ م/ث^{2}. عين موضع الكرة، وسرعتها بعد مرور ٢ ثانية من بدء الحركة.

ثالثًا: العلاقة بين السرعة والإزاحة *The relation between the displacement and velocity*

نعلم أن: ع = ع. + جـ ن (١) ف = ع. ن + $\frac{1}{2}$ جـ ن^{2} (٢)

بتربيع المعادلة الأولى: ع^{2} = ع.^{2} + ٢ ع. جـ ن + جـ^{2} ن^{2}

∴ ع^{2} = ع.^{2} + ٢ جـ (ع. ن + $\frac{1}{2}$ جـ ن^{2}) بالتعويض من المعادلة (٢) عن قيمة ف

$$ع^{2} = ع.^{2} + ٢ جـ ف$$

مثال

٥ أطلقت رصاصة بسرعة ٢٠٠م/ث فى اتجاه عمودى على حائط رأسى سمكه ١٤سم، فخرجت منه بسرعة ١٥٠م/ث. أوجد مقدار العجلة التقصيرية ، و إذا أطلقت الرصاصة بنفس السرعة على حائط رأسى آخر له نفس المقاومة، فأوجد المسافة التى تغوصها حتى تسكن.

الحل

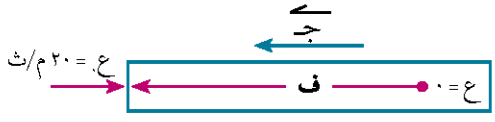
نفرض أن الاتجاه الموجب هو اتجاه حركة الرصاصة.

الحالة الأولى: ع. = ٢٠٠م / ث، ع = ١٥٠ م / ث ، ف = ٠,١٤ م

∵ ع^{2} = ع.^{2} + ٢ جـ ف ∴ (١٥٠)^{2} = (٢٠٠)^{2} + ٢ × جـ × ٠,١٤

وبالتبسيط: جـ = - ٦٢٥٠٠ م / ث^{2}

الحالة الثانية:



ع. = ٢٠٠م / ث ، ع = ٠ جـ = - ٦٢٥٠٠ م / ث^{2}

∵ ع^{2} = ع.^{2} + ٢ جـ ف ∴ ٠ = (٢٠٠)^{2} - ٢ × ٦٢٥٠٠ ف

∴ ف = ٠,٣٢ متر **أىْ أنَّ** الرصاصة تغوص فى الحائط مسافة ٣٢ سم حتى تسكن.

حاول أن تحل

٥ نقصت سرعة سيارة بانتظام من ٤٥ كم / س إلى ١٨ كم / س بعد أن قطعت مسافة ٦٢٥ مترًا. أوجد المسافة التى تقطعها بعد ذلك حتى تسكن.

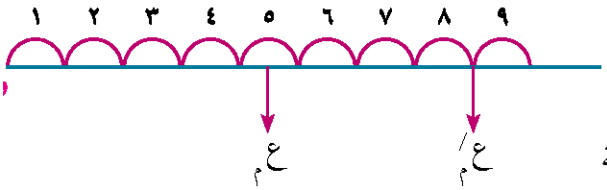
٦ أطلقت رصاصة أفقيًّا على كتلة خشبية بسرعة ١٠٠م / ث فغاصت فيها مسافة ٥٠سم. أوجد العجلة التى تتحرك

بها الرصاصة إذا علم أن العجلة منتظمة ، و إذا تم إطلاقها على كتلة خشبية أخرى مماثلة للأولى سمكها ١٨سم.
فما هى السرعة التى تخرج بها الرصاصة من الكتلة الخشبية؟

مثال **السرعة المتوسطة خلال الثانية النونية:** ***The average velocity within n^{th} second***

٦ بدأ جسيم حركته فى اتجاه ثابت بسرعة ١٠سم/ث وعجلة منتظمة ٤سم/ث^{٢} فى اتجاه سرعته . احسب:
أولاً: المسافة التى يكون الجسيم قد قطعها خلال الثانية الخامسة فقط.
ثانيًا: المسافة التى يكون الجسيم قد قطعها خلال الثانيتين الثامنة والتاسعة معًا.

الحل



نعتبر الاتجاه الموجب هو اتجاه السرعة
∴ ع. = ١٠ سم/ث ، جـ = ٤سم/ث^{٢}
أولاً: نوجد السرعة المتوسطة ع م خلال الثانية الخامسة = السرعة فى منتصف هذه الفترة الزمنية أى تساوى السرعة بعد $\frac{١}{٢}$ ٤ ثانية.
∵ ع م = ع . + جـ ن ∴ ع م = ١٠ + ٤ × $\frac{١}{٢}$ ٤ = ٢٨سم/ث.
المسافة المقطوعة فى الثانية الخامسة = السرعة المتوسطة × الزمن = ٢٨ × ١ = ٢٨ سم.
ثانيًا: نوجد السرعة المتوسطة ع م/ خلال الثانيتين الثامنة والتاسعة = السرعة فى منتصف الفترة الزمنية أى تساوى السرعة بعد مضى ٨ ثوان من بدء الحركة .
∵ ع م/ = ع . + جـ ن ∴ ع م/ = ١٠ + ٤ × ٨ = ٤٢ سم/ث
المسافة المقطوعة فى الثانيتين الثامنة والتاسعة = السرعة المتوسطة × الزمن = ٤٢ × ٢ = ٨٤ سم

فكر:
حاول حل المثال السابق بطرق أخرى.

حاول أن تحل

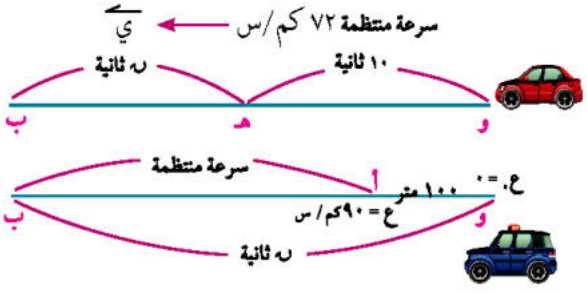
٧ بدأ جسيم حركته فى اتجاه ثابت بسرعة ٣٠سم / ث، وعجلة منتظمة ٦سم / ث^{٢} فى نفس اتجاه سرعته. احسب:
أ المسافة المقطوعة بعد ٥ ثوان من بدء الحركة.
ب المسافة المقطوعة فى الثانية الخامسة فقط.

٨ تحرك جسيم بسرعة ابتدائية ما فى اتجاه ثابت وبعجلة منتظمة، فإذا قطع فى الثانية الثالثة من حركته مسافة ٢٠مترًا ، ثم قطع فى الثانيتين الخامسة والسادسة معًا مسافة ٦٠ مترًا. احسب العجلة التى تحرك بها الجسيم وسرعته الابتدائية.

٩ يتحرك مترو الأنفاق فى خط مستقيم بين محطتين ا ، ب المسافة بينهما ٧٠٠ متر، حيث يبدأ من المحطة ا من السكون بعجلة منتظمة ٢م/ث^{٢} لمدة ١٠ ثوان، ثم يسير بعد ذلك بسرعة منتظمة فترة من الزمن، ثم يقطع مسافة ٦٠ مترًا الأخيرة من حركته بتقصير منتظم؛ حتى يقف فى المحطة ب. أوجد الزمن الذى يستغرقه فى قطع المسافة بين المحطتين.

مثال تطبيقات على قوانين الحركة بعجلة منتظمة

(٧) تتحرك سيارة بسرعة منتظمة ٧٢ كم / س. مرت بسيارة شرطة ساكنة فبدأت سيارة الشرطة فى متابعتها بعد ١٠ ثوان من مرورها متحركة بعجلة منتظمة مسافة ١٠٠ متر حتى بلغت سرعتها ٩٠ كم / س ، ثم سارت بهذه السرعة حتى لحقت بالسيارة الأولى. أوجد الزمن الذى استغرقته عملية المطاردة منذ لحظة تحرك سيارة الشرطة والمسافة التى قطعتها هذه السيارة.



الحل

نعتبر الاتجاه الموجب هو اتجاه الحركة، وأن سيارة الشرطة كانت ساكنة عند نقطة و ، ثم قطعت مسافة ١٠٠ متر، حتى وصلت إلى أ حيث أصبحت سرعتها ٩٠ كم / س ثم سارت بها بانتظام حتى لحقت بالسيارة الأولى عند ب.

٧٢ كم/س = $\frac{٥}{١٨}$ × ٧٢ = ٢٠ متر/ث ، ٩٠ كم/س = $\frac{٥}{١٨}$ × ٩٠ = ٢٥ متر/ث

بالنسبة لسيارة الشرطة فى الفترة من و ⟵ أ

ع٠ = ٠ ، ع = ٢٥ م / ث ، ف = ١٠٠ متر ع^{٢} = ع$_{٠}^{٢}$ + ٢ حـ ف

٢٥ × ٢٥ = ٢ × حـ × ١٠٠ ∴ حـ = $\frac{٢٥}{٨}$ م / ث^{٢}

ع = ع$_{٠}$ + حـ ن ∴ ٢٥ = $\frac{٢٥}{٨}$ ن ∴ ن = ٨ ثوانٍ

∴ المسافة التي تتحركها سيارة الشرطة بسرعة منتظمة = ٢٥ (ن - ٨) متر

، تكون السيارة المطاردة قطعت المسافة و ب فى زمن قدره = (ن + ١٠) ثانية

، تكون سيارة الشرطة قطعت نفس المسافة و ب فى زمن قدره = ن ثانية

∴ ٢٠ (ن + ١٠) = ١٠٠ + ٢٥ (ن - ٨) أى أن ن = ٦٠ ثانية

المسافة المقطوعة = ٢٠ × ٧٠ = ١٤٠٠ متر

حاول أن تحل

(١٠) تتحرك سيارة بسرعة ٥٤ كم/س، مرت على سيارة شرطة ساكنة فبدأت سيارة الشرطة فى متابعتها بعد ٣٠ ثانية من مرورها متحركة بعجلة منتظمة مسافة ٢٠٠ متر؛ حتى بلغت سرعتها ٧٢ كم/س ثم سارت بهذه السرعة حتى لحقت بالسيارة الأولى. أوجد الزمن الذي استغرقته عملية المطاردة من لحظة تحرك سيارة الشرطة و المسافة التي قطعتها هذه السيارة.

تمـاريـن (١ - ٢)

(١) أكمل مايأتي:

(أ) يتحرك جسيم فى خط مستقيم من السكون بعجلة منتظمة مقدارها ٤م / ث^{٢} فإن سرعته بعد ٦ ثوان من بدء الحركة = ... م / ث.

(ب) المسافة التى يقطعها جسيم يتحرك فى اتجاه ثابت من السكون بعجلة مقدارها ٥سم / ث^{٢} فى زمن قدره ٤ ثوان = ... سم.

(جـ) السرعة المتوسطة لجسيم يتحرك بسرعة ابتدائية ع. وعجلة منتظمة جـ خلال الثانية السادسة من حركته = ...

(د) السرعة المتوسطة لجسيم يتحرك بسرعة ابتدائية ع٠ وعجلة منتظمة جـ خلال الثوانى السابعة والثامنة والتاسعة = ...

(هـ) يتحرك جسيم من السكون فى خط مستقيم بعجلة منتظمة فقطع ٢٤ مترًا فى الثوانى الأربع الأولى من حركته ، فإن مقدار عجلته = ...

(و) بدأ جسيم حركته من السكون فى خط مستقيم بعجلة منتظمة مقدارها ٢سم / ث^{٢} فقطع مسافة ٢٥سم ، فإن سرعته فى نهاية تلك المسافة = ... سم / ث.

(٢) انطلقت سيارة من السكون بتسارع مقداره ٤م / ث^{٢}. ما المسافة التى تقطعها السيارة عندما تصبح سرعتها ٢٤م / ث؟

(٣) تسير سيارة سباق فى الحلبة بسرعة ٤٤م / ث ثم تناقصت سرعتها بمعدل ثابت، حتى أصبحت ٢٢م / ث خلال ١١ ثانية. أوجد المسافة التى قطعتها السيارة خلال هذا الزمن.

(٤) يتحرك جسم فى خط مستقيم بعجلة منتظمة فزادت سرعته من ١٥م / ث إلى ٢٥م / ث بعد أن قطع مسافة ١٢٥ مترًا ، أوجد الزمن اللازم لذلك.

(٥) يتحرك راكب دراجة بعجلة منتظمة حتى صارت سرعته ٧,٥ م / ث خلال ٤,٥ ثانية. فإذا كانت إزاحة الدراجة خلال فترة التسارع تساوى ١٩ مترًا. أوجد السرعة الابتدائية للدراجة.

(٦) يتدرب كريم على ركوب الدراجة، يدفعه والده فيكتسب تسارعًا ثابتًا مقداره $\frac{١}{٢}$م / ث^{٢} لمدة ٦ ثوان، وبعد ذلك يقود كريم الدراجة بمفرده بالسرعة التى اكتسبها لمدة ٦ ثوان أخرى قبل أن يسقط أرضًا. أوجد مقدار المسافة التى يقطعها كريم.

(٧) هبط راكب دراجة من قمة تل منحدرًا بعجلة ثابتة مقدارها ٢م / ث^{٢} وعندما وصل إلى قاعدة التل بلغت سرعته ١٨م / ث ثم استخدم الفرامل؛ حتى يحافظ على هذه السرعة لمدة دقيقة واحدة. أوجد المسافة الكلية التى قطعها راكب الدراجة.

(٨) قائد سيارة يتحرك بسرعة ثابتة مقدارها ٢٤م / ث ، شاهد فجأة طفلًا يمر فى الشارع ، فإذا كان الزمن اللازم لاستجابة الفرامل هو $\frac{١}{٢}$ ثانية ثم تحركت السيارة بتقصير منتظم مقداره ٩,٦م / ث^{٢} حتى وقفت. أوجد المسافة الكلية التى تحركتها السيارة قبل أن تقف مباشرة.

(٩) بدأ جسم حركته من السكون فى خط مستقيم أفقى بعجلة منتظمة مقدارها ٤سم / ث^{٢} لمدة ٣٠ ثانية، ثم تحرك بالسرعة التى اكتسبها لمدة ٤٠ ثانية أخرى فى نفس الاتجاه. أوجد متوسط مقدار السرعة .

(١٠) يتحرك جسم فى خط مستقيم بعجلة منتظمة على مستوى أفقى أملس فقطع ٢٦ مترًا خلال الثانية الرابعة من بدء الحركة ، ٥٦ مترًا خلال الثانية التاسعة، أوجد سرعته الابتدائية ومقدار عجلته.

(١١) س ، ص نقطتان على طريق مستقيم أفقى بدأت سيارة أ الحركة من س نحو ص من السكون وبعجلة منتظمة ١٠م / ث^{٢} وفى نفس اللحظة كانت تتحرك سيارة أخرى ب من ص نحو س بسرعة منتظمة مقدارها ٥٤ كم / س ، فإذا كانت السرعة النسبية للسيارة أ بالنسبة للسيارة ب لحظة التقائهما تساوى ١٦٢ كم / س. أوجد الزمن الذى تأخذه كل من السيارتين من لحظة تحركهما معًا حتى لحظة التقائهما.

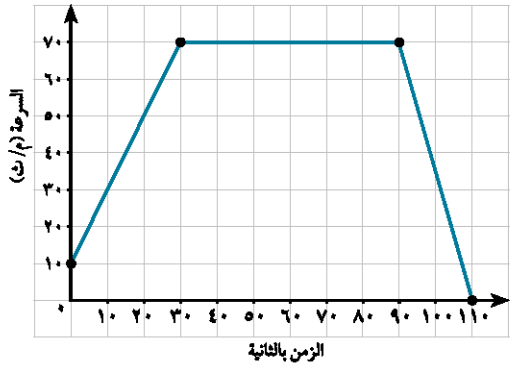
نشاط

(١٢) الشكل المقابل يمثل منحنى (السرعة - الزمن) لجسم بدأ التحرك بسرعة ابتدائية مقدارها ١٠م / ث وحتى سكن بعد زمن قدره ١١٠ ثانية. أوجد:

أ عجلة التسارع.

ب مقدار التقصير المنتظم للجسم حتى يسكن.

جـ المسافة الكلية التى تحركها الجسم.

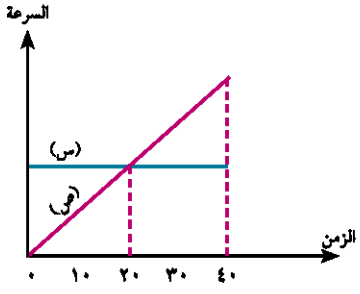


تفكير إبداعى:

(١٣) مصعد ساكن بقاع منجم ، أخذ المصعد فى الارتفاع بعجلة مقدارها ١٢٠سم/ث^{٢} مسافة ٥٤٠سم، ثم بسرعة منتظمة مسافة ٣٦٠ سم، ثم بتقصير منتظم مسافة ٧٢٠سم؛ حتى سكن عند فوهة المنجم. احسب الزمن الذى استغرقه المصعد فى الصعود من قاع المنجم إلى فوهته.

تفكير إبداعى:

(١٤) الشكل المقابل يمثل منحنى (السرعة - الزمن) لحركة سيارتين س ، ص أوجد الزمن الذى تتقابل فيه السيارتان (فسر إجابتك).



(١ - ٣)

السقوط الحر
Free Fall

سوف تتعلم

- قوانين الحركة الرأسية.
- دراسة حركة الأجسام الساقطة أو المقذوفة لأسفل.
- دراسة حركة الأجسام المقذوفة لأعلى.

المصطلحات الأساسية

- سقوط حر Free fall
- عجلة الجاذبية الأرضية Acceleration of gravity

الأدوات والوسائل

- آلة حاسبة علمية.

تمهيد

ما الذى يحدث عندما تسقط برتقالة من شجرة؟

➢ تتحرك البرتقالة من سكون ، ثم تكتسب سرعة فى أثناء سقوطها سقوطًا حرًّا نتيجة تأثير جاذبية الأرض عليها فبعد ١ ثانية ستكون سرعتها ٩,٨ م/ث لأسفل، وبعد ثانية أخرى ستصبح سرعتها ١٩,٦ م/ث لأسفل وهكذا...

لاحظ أن: سرعة البرتقالة تتناسب طرديًّا مع الزمن.

إن التسارع الذى تسقط به الأجسام سقوطًا حرًّا (مع إهمال مقاومة الهواء) يساوى ٩,٨ م/ث^{٢} تقريبًا ويرمز له بالرمز (ى) ويختلف باختلاف خط العرض فيقل عند خط الاستواء ويزداد قليلًا كلما اتجهنا نحو القطبين، ويعتبر التسارع موجبًا أو سالبًا حسب النظام الإحداثي الذي يتم اتخاذه ، فإذا كان الجسيم ساقطًا أو مقذوفًا نحو سطح الأرض فنعتبر (ى) ، موجبة ، أما إذا كان مقذوفًا إلى أعلى فتعتبر (ى) سالبة.

قوانين الحركة الرأسية للأجسام:

تخضع الحركة الرأسية لنفس قوانين الحركة المستقيمة ذات العجلة المنتظمة مع استخدام الرمز (ى) الدالة على **التسارع الذى تسقط به الأجسام سقوطًا حرًّا** بدلًا من الرمز (جـ) وبذلك تأخذ القوانين الصورة الآتية:

$ع = ع_{.} + ى ن$ ، $ف = ع_{.} ن + \frac{١}{٢} ى ن^{٢}$ ، $ع^{٢} = ع_{.}^{٢} + ٢ ى ف$

حيث ع، ى ، ف هى القياسات الجبرية لمتجهات السرعة والعجلة والازاحة

ولذلك عند تطبيق القوانين بالصورة السابقة يجب مراعاة ع ، $ع_{.}$ ، ى ، ف تبعًا لما يأتى.

أولًا: إذا كان الجسم ساقطًا أو مقذوفًا نحو سطح الأرض

يعتبر الاتجاه الموجب هو الاتجاه الرأسى إلى أسفل فتكون كل من $ع_{.}$ ، ع ، ى ، ف موجبة.

مثال

(١) أسقط عامل بناء قطعة خرسانية من سقالة (منصة) عالية.

(أ) ما سرعة قطعة البناء بعد نصف ثانية؟

(ب) ما المسافة التى تقطعها كتلة البناء خلال هذا الزمن؟

الحل

أ **صيغة القانون:** ع = ع$_{ب}$ + ى ن

بالتعويض عن ع$_{ب}$ = ٠ ، ى = ٩,٨ م/ث^{٢} ، ن = $\frac{١}{٢}$ ثانية.

ع = ٠ + ٩,٨ × $\frac{١}{٢}$ = ٤,٩ م/ث

ب صيغة القانون: ف = ع$_{ب}$ ن + $\frac{١}{٢}$ ى ن^{٢}

بالتعويض عن ع$_{ب}$ = ٠ ، ى = ٩,٨ م/ث^{٢} ، ن = $\frac{١}{٢}$ ثانية.

ف = ٠ + $\frac{١}{٢}$ × ٩,٨ × $\frac{١}{٤}$ = $\frac{٩}{٤٠}$ ١ متر.

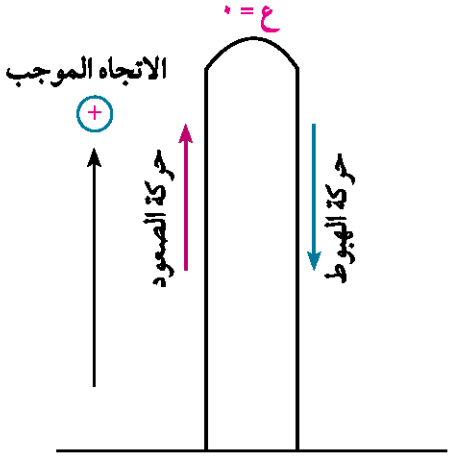
حاول أن تحل

(١) سقطت تفاحة من شجرة، وبعد ثانية واحدة ارتطمت بالأرض.

أ احسب سرعة التفاحة لحظة ارتطامها بسطح الأرض، ثم احسب السرعة المتوسطة خلال زمن سقوطها.

ب ما بُعد التفاحة عن سطح الأرض لحظة بداية سقوطها؟

ثانيًا: إذا كان الجسم مقذوفًا إلى أعلى



نشاط

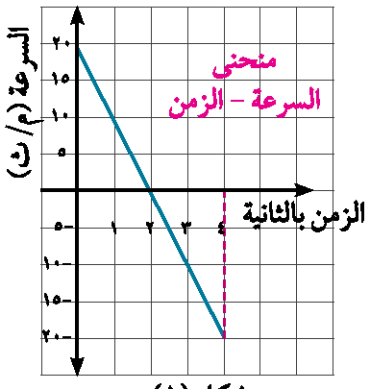
قذفت كرة رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ابتدائية مقدارها ١٩,٦ م/ث^{٢}، باعتبار أن الاتجاه الرأسي لأعلى هو الاتجاه الموجب فتكون السرعة الابتدائية موجبة تبعًا لذلك، أما التسارع فيكون سالبًا - **لماذا؟**

- استخدم برنامج (geogebra) فى رسم العلاقة بين (السرعة-الزمن) حيث **ع = ١٩,٦ - ٩,٨ ن** عندما ن ∈ [٠ ، ٤]

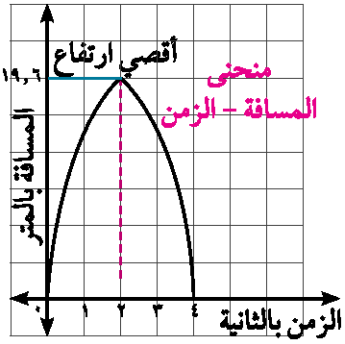
ماذا تلاحظ؟

- استخدم نفس البرنامج فى رسم العلاقة بين (**المسافة - الزمن**):

حيث ف = ١٩,٦ ن - ٤,٩ ن^{٢}، **ماذا تلاحظ؟**



شكل (١)



شكل (٢)

نلاحظ من الشكل البيانى أن:

- سرعة الجسم فى أثناء الصعود تكون موجبة، وفى أثناء الهبوط تكون سالبة.

فمثلًا: عندما ن ∈ [٠ ، ٢[**نلاحظ أن سرعة** ع > ٠ ، **عندما** ن ∈]٢ ، ٤] **فان** ع < ٠

- سرعة الجسم عند أقصى ارتفاع تساوى صفرًا.
- زمن الصعود للجسم يساوى زمن الهبوط.
- مقدار سرعة الجسم التى يعود بها إلى نقطة القذف تساوى مقدار سرعة القذف بإشارة مخالفة.

لاحظ أن

$$\text{زمن أقصى ارتفاع} = \frac{ع_{.}}{ق}$$

$$\text{أقصى ارتفاع} = \frac{ع_{.}^{٢}}{٢ق}$$

- إزاحة الجسم خلال فترة زمنية ما ليست بالضرورة أن تكون مساوية للمسافة التى قطعها الجسم خلال هذه الفترة.

تفكير ناقد:

١ - إذا قذف جسم رأسيًّا لأعلى بسرعة ابتدائية ($ع_{.}$) فبلغت سرعته النهائية (ع) فى زمن قدره (ن) **فأوجد.**

أ زمن وصول الجسم إلى أقصى ارتفاع.

ب مسافة أقصى ارتفاع يصل إليه الجسم.

مثال

(٢) قذف جسيم رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ٤٩م/ث. أوجد زمن وصوله إلى أقصى ارتفاع والمسافة التى وصل إليها.

الحل

باعتبار أن الاتجاه الرأسى لأعلى هو الاتجاه الموجب فإن :

$ع_{.}$ = ٤٩م/ث ، ق = -٩,٨ م/ث^{٢} ، ع = ٠ (عند أقصى ارتفاع)

أ لإيجاد زمن أقصى ارتفاع:

∵ ع = $ع_{.}$ + ق ن ∴ ٠ = ٤٩ - ٩,٨ ن.

∴ ن = ٥ ثوان.

ب لإيجاد مسافة أقصى ارتفاع:

∵ $ع^{٢}$ = $ع_{.}^{٢}$ + ٢ق ف ∴ ٠ = (٤٩)^{٢} - ٢ × ٩,٨ × ف

∴ ف = ١٢٢,٥ مترًا

فكر:

١ - هل يمكنك استخدام قوانين أخرى لإيجاد مسافة أقصى ارتفاع؟ **وضِّح ذلك.**

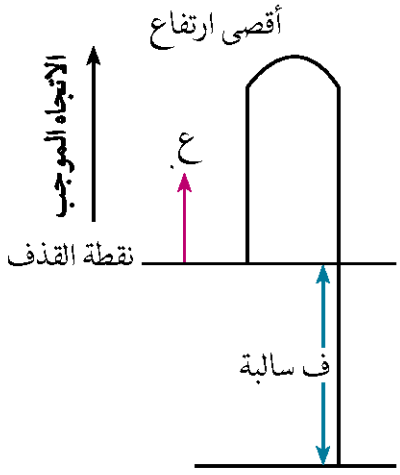
حاول أن تحل

(٢) قذف جسيم رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ٣٩,٢ م/ث. أوجد زمن أقصى ارتفاع والمسافة التى وصل إليها.

مثال

(٣) قذف جسم رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ١٦م/ث. أوجد الزمن الذى يأخذه الجسم؛ حتى يصل إلى ٣٣٠ مترًا أسفل نقطة القذف.

الحل



نعتبر الاتجاه الرأسى إلى أعلى هو الاتجاه الموجب

ع. = ١٦م/ث لأنها نفس اتجاه القذف.

ﺟ = - ٩,٨ **لأنها عكس اتجاه عجلة الجاذبية الأرضية .**

ف = - ٣٣٠ **لأنها أسفل نقطة القذف.**

ف = ع. ن + $\frac{1}{2}$ ﺟ ن^{2}

- ٣٣٠ = ١٦ن - $\frac{1}{2}$ × ٩,٨ن^{2} **بالتبسيط** ٤٩ن^{2} - ١٦ن - ٣٣٠ = ٠

بالتحليل المقدار الثلاثى: (ن - ١٠) (٤٩ن + ٣٣٠) = ٠

ن = ١٠ ، ن = - $\frac{٣٣٠}{٤٩}$ **(مرفوض)**

فكر:

١- هل توجد لديك حلول أخرى؟ وضِّح ذلك.

حاول أن تحل

٣ قذفت كرة صغيرة رأسيًّا إلى أعلى من نافذة أحد المنازل، وشوهدت الكرة وهى هابطة أمام النافذة بعد ٣ ثوان من قذفها ، ثم وصلت إلى سطح الأرض بعد ٤ ثوان من لحظة القذف. أوجد ارتفاع هذه النافذة عن سطح الأرض.

تمـــارين (١ - ٣)

١ طفل يُسقط كرة من نافذة ترتفع ٣,٦م عن الرصيف. ما سرعتها لحظة ملامستها الرصيف؟

٢ سقطت كرة رأسيًّا إلى أسفل. ما سرعتها بعد ٦ ثوان من لحظة سقوطها؟

٣ سقط جسم رأسيًّا لأسفل من ارتفاع ٤٩٠م عن سطح الأرض أوجد:

أ زمن الوصول إلى سطح الأرض.

ب سرعته بعد ٥ ثوان من بدء الحركة.

٤ سقطت كرة من المطاط من ارتفاع ١٠ أمتار، فاصطدمت بالأرض وارتدت رأسيًّا إلى أعلى مسافة ٢$\frac{1}{2}$متر. احسب سرعة الكرة قبل وبعد اصطدامها بالأرض مباشرة.

٥ يتدرب طالب على ركل كرة القدم رأسيًّا إلى أعلى فى الهواء، ثم تعود الكرة أثر كل ركلة فتصدم بقدمه، فإذا استغرقت الكرة من لحظة ركلها وحتى اصطدامها بقدمه ٠,٣ ثانية. أوجد :

أ السرعة الابتدائية.

ب الارتفاع الذى وصلت إليه الكرة بعد أن ركلها الطالب.

(٦) من أعلى تل ارتفاعه ٩,٨ أمتار قذف جسم رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ٤,٩ م/ث أوجد:
(أ) سرعة الجسم عند لحظة وصوله إلى أسفل التل.
(ب) الزمن الذى استغرقه للوصول إلى أسفل التل.

(٧) قُذف حجر فى بئر بسرعة ٤ م/ث رأسيًّا لأسفل فوصل إلى قاع البئر بعد ٢ ثانية. أوجد:
(أ) عمق البئر.
(ب) سرعة الحجر عند تصادمه بقاع البئر.

(٨) قذف جسيم رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ١٤ م/ث من نقطة على ارتفاع ٣٥٠م عن سطح الأرض. أوجد الزمن الذى يأخذه الجسم؛ حتى يصل إلى سطح الأرض.

(٩) قذفت كرة رأسيًّا إلى أعلى من نافذة فوصلت إليها بعد ٤ ثوان من لحظة القذف ووصلت إلى سطح الأرض بعد ٥ ثوان من لحظة القذف. أوجد
(أ) سرعة قذف الكرة.
(ب) أقصى ارتفاع وصلت إليه الكرة من نقطة القذف.
(ج) ارتفاع النافذة عن سطح الأرض.

(١٠) من قمة برج ارتفاعه ٨٠,٥ مترًا قذف جسم رأسيًّا لأعلى بسرعة ٨,٤ م/ث. أوجد :
(أ) أقصى ارتفاع يصل إليه الجسم من نقطة القذف.
(ب) الزمن الذى يستغرقه الجسم وهو هابط حتى تصبح سرعته ١١,٢م/ث.
(ج) زمن وصول الجسم إلى نقطة القذف.
(د) زمن وصول الجسم إلى سطح الأرض.

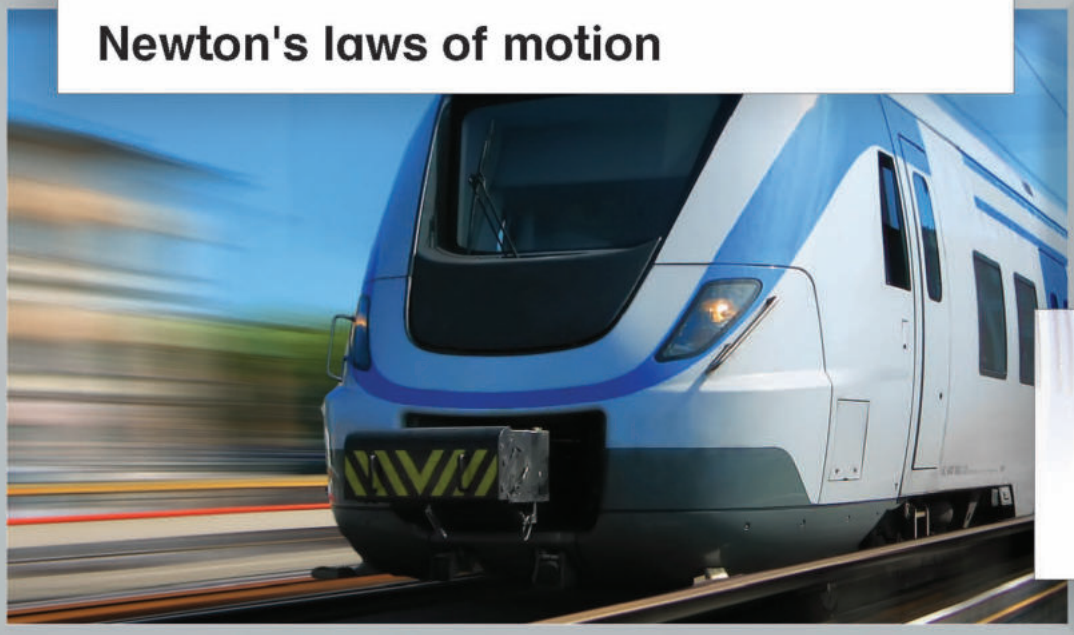
(١١) من أعلى تل ارتفاعه ١٤٠م قذفت كرة رأسيًّا إلى أعلى ، فوجد أنها قطعت فى الثانية الثالثة مسافة ١٠,٥ أمتار. أوجد:
(أ) السرعة التى قذفت بها الكرة.
(ب) أقصى ارتفاع وصلت إليه الكرة.
(ج) الزمن الذى استغرقته الكرة فى الوصول إلى سطح الأرض.

تفكير ابداعى:

(١٢) سقط جسم من ارتفاع ٦٠ مترًا من سطح الأرض، وفى نفس اللحظة قذف جسم آخر رأسيًّا لأعلى من سطح الأرض بسرعة ٢٠م / ث فتقابل الجسمان بعد فترة زمنية. أوجد هذا الزمن، ثم أوجد المسافة التى قطعها كل من الجسمين خلال هذه الفترة الزمنية، ثم اذكر هل الجسمان لحظة التقابل متحركان فى اتجاهين متضادين أم فى نفس الاتجاه؟

قوانين نيوتن للحركة

Newton's laws of motion



الوحدة

٢

مقدمة الوحدة

يعود الفضل فى اكتشاف قانون الجذب العام إلى العالم الإنجليزى إسحق نيوتن (١٦٤٢ - ١٧٢٧) الذى يعد أحد رموز الثورة العلمية فى مجال علم الميكانيكا الحديث ، ثم جاء العالم الألمانى يوهان كبلر (١٥٧١ - ١٦٣٠) ومن قبله فوضع بعض القواعد الرياضية التى تحكم حركة الكواكب حول الشمس ، بناء على ارصاد العلماء المسلمين التى ترجمت واجريت خلال القرون السابقة وقد أسس العالم الإيطالى جاليليو جاليلى (١٥٦٤م - ١٦٤٢م) علم الحركة، حيث أجرى الكثير من التجارب على الأجسام الساقطة أو المقذوفة، كذلك الأجسام المتحركة أفقيًا، وقد اكتشف من خلال تجاربه الكثير من الخصائص المهمة لحركتها، ويرجع له الفضل فى اكتشاف أن الأجسام التى تتحرك على سطوح أفقية بدون مقاومة تستمر فى حركتها بسرعة منتظمة ، ويُعتقد أن جاليليو كان قد توصل من خلال تجاربه إلى القانون الأول والثانى من قوانين الحركة لنيوتن. ولقد جمع إسحق نيوتن مجمل أبحاثه فى كتابه اسماه "برنسبيا" أى المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية، ويعد هذا الكتاب من أهم الكتب العلمية التى ظهرت فى العصر الحديث، وفيه صاغ نيوتن قوانينه الثلاثة. ولقد أوضح نيوتن مفهوم أن القوة يمكن أن تحدث تأثيرًا عن بُعد ، فالأجسام تجذب بعضها البعض حتى وإن لم تكن متلامسة، فعلى سبيل المثال تجذب الأرض الأجسام بقوة تسمى " قوة الوزن" .

أما بشأن الكتلة فنلاحظ أن تعريفها الاستاتيكى لا يسمح بتعيين كتل الأجسام ، ولكن فقط بمقارنة الكتل فيما بينها عن طريق مقاومة أوزانها، كما يمكن إعطاء تعريف ديناميكى للكتلة عن طريق دراسة حركة الاجسام وتتناول هذه الوحدة دراسة الكتلة، وكمية الحركة، وقوانين نيوتن للحركة، مع تطبيقات على هذه القوانين تتناول الحركة على المستوى الأملس والخشن.

مخرجات التعلم

بعد دراسة هذه الوحدة وتنفيذ الأنشطة فيها يتوقع من الطالب أن:

- يتعرف مفهوم كمية الحركة ووحدات قياسها - التغير فى كمية الحركة.
- يتعرف على قوانين نيوتن (الأول - الثانى - الثالث).
- يتعرف العلاقة بين القوة والعجلة: $ق = ك \times جـ$ (حيث ك ثابتة ، جـ ثابتة)
- يطبق قوانين نيوتن للحركة فى مواقف حياتية مختلفة.
- حركة جسم على مستوى أملس (أفقى - مائل).
- يتعرف الحركة على مستوى خشن (أفقى - مائل)

المصطلحات الأساسية

Momentum	كمية الحركة	Newton's second law	القانون الثانى لنيوتن.	Inclined plane	مستوى مائل
linear momentum	كمية الحركة الخطية	Equation of motion	معادلة الحركة	Smooth plane	مستوى أملس
Mass	كتلة	weight	الوزن	Rough plane	مستوى خشن
Velocity	متجه السرعة	Newtons third law	القانون الثالث لنيوتن	Kinetic friction	احتكاك ديناميكي
Change of momentum	التغير فى كمية الحركة	Pressure	الضغط	static friction	احتكاك استاتيكي
Newton's first law	القانون الأول لنيوتن	Reaction	رد الفعل		
Inertia	القصور الذاتى				
Inertia principle	مبدأ القصور الذاتى				
Force	القوة				

دروس الوحدة

(٢ - ١): كمية الحركة.

(٢ - ٢): القانون الأول لنيوتن

(٢ - ٣): القانون الثانى لنيوتن

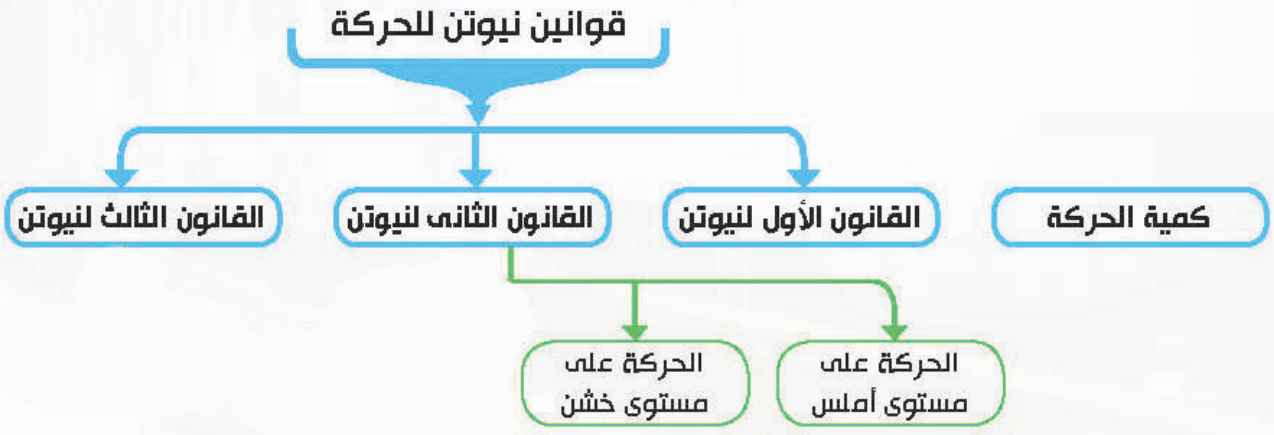
(٢ - ٤): القانون الثالث لنيوتن وتطبيقات قوانين نيوتن

(حركة جسم على مستوى مائل أملس – حركة جسم على مستوى خشن)

الأدوات والوسائل

آلة حاسبة علمية - برامج رسومية للحاسوب.

مخطط تنظيمى للوحدة



الوحدة الثانية

٢ - ١

كمية الحركة

Momentum

فكر و ناقش

١ ما تأثير وضع حجر كبير على سقف منزل؟ وما تأثير انطلاق رصاصة من فوهة بندقية على هذا السطح؟

٢ ما تأثير وضع حبة رمل على كف يدك؟ وما تأثير هذه الحبة من الرمل إذا تحركت فى عاصفة تجاه سيارة تتحرك مسرعة نحو هذه العاصفة؟

لاحظ من هذه الأمثلة أن:

١ – إطلاق الرصاصة رغم صغر كتلتها على سقف المنزل ستغوص فيه لمسافة ما لأن سرعة الرصاصة أكبر بكثير من سرعة الحجر .

٢ – حبة الرمل رغم صغر كتلتها يمكن أن تخدش زجاج السيارة لأنها اكتسبت كمية حركة بالنسبة للسيارة، وأن متجه كمية حركتها أصبح كبيرًا جدًّا نتيجة كِبر متجه سرعتها النسبية.

تعلم

كمية الحركة *Momentum*

كمية حركة جسم متحرك هى كمية متجهة لها نفس اتجاه سرعة هذا الجسم ومقدارها عند لحظة ما يُقدر بحاصل ضرب كتلة هذا الجسم فى سرعته عند هذه اللحظة و يُرمز لمتجه كمية الحركة بالرمز $\overrightarrow{م}$.

$$\overrightarrow{م} = ك \overrightarrow{ع}$$

وفى حالة الحركة الخطية يكون كل من $\overrightarrow{م}$ ، $\overrightarrow{ع}$ موازيًا للخط المستقيم الذى تحدث عليه الحركة، و يمكن التعبير عن كل من $\overrightarrow{م}$ ، $\overrightarrow{ع}$ بدلالة القياس الجبرى لكل منهما:

$$م = ك ع$$

حيث م ، ع هما القياسان الجبريان لمتجهى كمية الحركة والسرعة على الترتيب.

وحدات قياس كمية الحركة *Units of momentum*

وحدة معيار كمية الحركة = وحدة كتلة × وحدة سرعة

وفى النظام الدولى للوحدات يُقاس معيار كمية الحركة بوحدة كجم. م/ث

أى أن: م (كجم. م / ث) = ك (كجم) × ع (م/ث).

سوف تتعلم

- مفهوم كمية الحركة.
- وحدات قياس كمية الحركة.
- التغير فى كمية الحركة.

المصطلحات الأساسية

- كمية الحركة *Momentum*
- كمية الحركة الخطية *linear momentum*
- كتلة *Mass*
- متجه السرعة *Velocity*
- التغير فى كمية الحركة *Change of momentum*

الأدوات المستخدمة

- آلة حاسبة علمية.

لاحظ أن: عند ثبوت كتلة الجسم يتناسب مـ مع ع وتكون العلاقة بينهما خطية؛ لذلك تسمى كمية الحركة فى هذه الحالة بكمية الحركة الخطية.

مثال
تعريف كمية الحركة

(١) احسب كمية حركة دراجة كتلتها ٣٥ كجم تتحرك بسرعة ثابتة قدرها ١٢ م/ث فى اتجاه الشرق.

شكل (١)

الحل

∵ م = ك ع

∴ م = ٣٥ × ١٢ = ٤٢٠ كجم . م/ث

كمية حركة الدراجة = ٤٢٠ كجم . م/ث فى اتجاه الشرق.

حاول أن تحل

(١) احسب كمية حركة قطار كتلته ٤٠ طنًا يتحرك فى اتجاه الشمال بسرعة ثابتة قدرها ٧٢ كم/س.

(٢) احسب كمية حركة سيارة كتلتها ٨٠٠ كجم تتحرك فى اتجاه الجنوب الغربى بسرعة ثابتة قدرها ١٢٦ كم/س.

التغير فى كمية الحركة
The change of momentum

إذا كان متجها سرعة جسم متحرك عند لحظتين زمنيتين متتاليتين ن١ ، ن٢ على الترتيب هما $\overrightarrow{ع_1}$ ، $\overrightarrow{ع_2}$ فإن التغير فى كمية حركة الجسم يتحدد بالعلاقة:

$$\Delta \overrightarrow{م} = ك \cdot \Delta \overrightarrow{ع}$$

حيث ك كتلة الجسم المتحرك، $\Delta \overrightarrow{ع}$ التغير الحادث فى قيمة سرعته

∴ التغير فى كمية حركة الجسم Δ مـ = ك $(\overrightarrow{ع_2} - \overrightarrow{ع_1})$

مثال
التغير فى كمية الحركة

(٢) سقطت كرة من المطاط كتلتها ٢٠٠جم من ارتفاع ٩٠سم على سطح أفقى فارتدت إلى ارتفاع ٤٠سم. احسب بوحدة كجم.م/ث مقدار التغير فى كمية حركة الكرة نتيجة للتصادم.

الحل

نعتبر $\overrightarrow{ى}$ متجه وحدة فى اتجاه الحركة رأسيًا لأسفل.

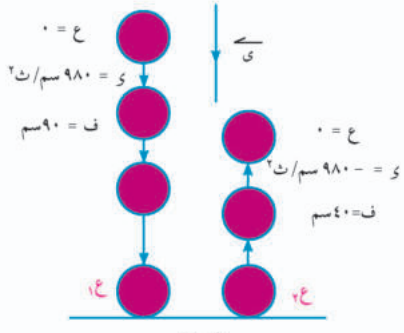
دراسة حركة الكرة فى مرحلة السقوط.

∵ $ع_2^2 = ع_1^2 + 2ى ف$

∴ $ع_1^2 = ٠ + ٢ \times ٩٨٠ \times ٩٠$

$ع_1 = ٤٢٠$ سم / ث

∴ $\overrightarrow{ع_1} = ٤٢٠ \overrightarrow{ى}$



شكل (٣)

دراسة حركة الكرة فى مرحلة الارتداد.

∵ $ع_2^2 = ع_1^2 + 2ى ف$

∴ $ع_2^2 = ٠ - ٢ \times ٩٨٠ \times ٤٠$

$ع_2 = ٢٨٠$ سم / ث

∴ $\overrightarrow{ع_2} = -٢٨٠ \overrightarrow{ى}$

التغير فى كمية الحركة $\Delta \overrightarrow{م} = ك(\overrightarrow{ع_٢} - \overrightarrow{ع_١})$

$= \frac{٢٠٠}{١٠٠٠}(-٢,٨ - ٤,٢)\overrightarrow{ي} = -١,٤\overrightarrow{ي}$

∴ مقدار التغير فى كمية الحركة = ١,٤ كجم.م/ث

حاول أن تحل

(٣) حجر كتلته ٨٠٠ جم يسقط من السكون لمدة ثانيتين ثم يصطدم بسطح بركة، ويغوص فى الماء بسرعة منتظمة فيقطع ١٢ مترًا فى ٣ ثوانٍ ، أوجد التغير فى كمية حركة الحجر نتيجة لتصادمه بسطح الماء.

تمـاريـن ٢ - ١

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة فى كل مما يأتى:

(١) كمية حركة رصاصة كتلتها ١٠٠جم تتحرك بسرعة ٢٤٠م/ث.

أ) ٢٤ × ١٠$^{-٣}$ جم.م/ث
ب) ٢٤ كجم.م/ث
ج) ٢٤ × ١٠^{٣} جم.م/ث
د) ٢٤ × ١٠^{٣} كجم.م/ث

(٢) كمية حركة سيارة كتلتها ٢ طن تتحرك فى خط مستقيم بسرعة ٥٤ كم/ س.

أ) ١٠٨ طن.م/ث
ب) ٣٠٠٠ كجم.م/ث
ج) ٣٠٠٠٠ كجم.م/ث
د) ١٠٨٠٠٠ كجم.م/ث

(٣) جسم كتلته ٥٠٠جم يسقط من ارتفاع ٤,٩ أمتار عن سطح الأرض، كمية حركة الجسم لحظة وصوله للأرض.

أ) ٢,٤٥ كجم.م/ث
ب) ٤,٩ كجم.م/ث
ج) ٢٤٥٠ كجم.م/ث
د) ٤٩٠٠ كجم.م/ث

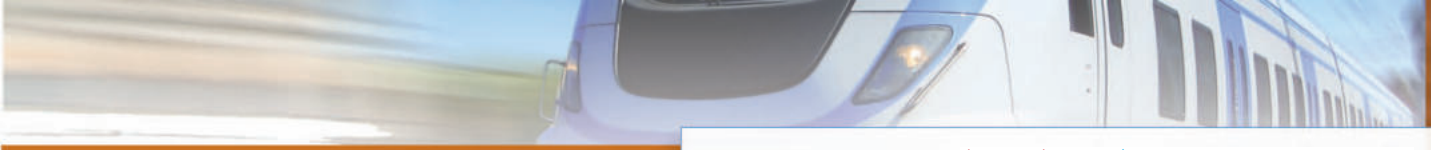
(٤) قذيفة كتلتها ١ كجم تنطلق بسرعة ٧٢٠ كم/س نحو دبابة كتلتها ٥٠ طن تتحرك نحو المدفع بسرعة ٢٠م/ث فإن:

(١) مقدار كمية حركة القذيفة بالنسبة للدبابة:

أ) ٢٠٠ كجم.م/ث
ب) ٢٢٠ كجم.م/ث
ج) ١٠^{٧} كجم.م/ث
د) ١,١ × ١٠^{٧} كجم.م/ث

(٢) مقدار كمية حركة الدبابة بالنسبة للقذيفة:

أ) ٢٠٠ كجم.م/ث
ب) ٢٢٠ كجم.م/ث
ج) ١٠^{٧} كجم.م/ث
د) ١,١ × ١٠^{٧} كجم.م/ث



أجب عن الأسئلة الآتية:

(٥) كرة كتلتها ٢٠٠جم تتحرك أفقيًّا بسرعة ثابتة قدرها ٤٠ م/ث، اصطدمت بحائط رأسى وكان مقدار التغير فى كمية حركة الكرة نتيجة التصادم ١٢ كجم.م/ث، احسب سرعة ارتداد الكرة.

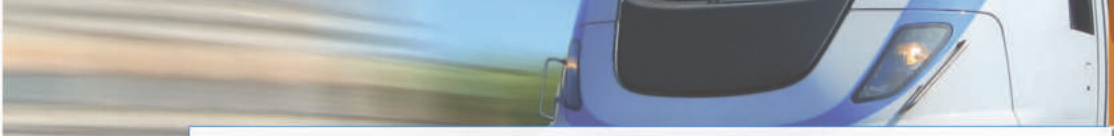
(٦) سقط جسم كتلته ٩٠جم وبعد ٣ ثوانٍ من سقوطه اصطدم بسطح سائل لزج فغاص فيه بسرعة منتظمة فقطع ٢,٢ متر فى نصف ثانية احسب التغير فى كمية الحركة نتيجة للتصادم.

(٧) جسم من المطاط كتلته ١٠٠جم يتحرك أفقيًّا بسرعة ١٢٠سم/ث عندما اصطدم بحائط رأسى وارتد فى اتجاه عمودى على الحائط بعد أن فقد ثلثى مقدار سرعته. احسب التغير فى كمية حركة الجسم المطاطى نتيجة التصادم.

(٨) من نقطة أسفل سقف حجرة بمسافة ٢٤٠سم قُذفت كرة كتلتها ٤٠جم بسرعة ٩٨٠سم/ث رأسيًّا إلى أعلى فاصطدمت بالسقف وتغيرت لذلك كمية حركتها بمقدار ٠,٤ كجم. م/ث، أوجد سرعة ارتداد الكرة.

(٩) سقطت كرة من المطاط كتلتها $\frac{1}{2}$ كجم من ارتفاع ٨,١ أمتار عن أرض أفقية فارتدت الكرة رأسيًّا لأعلى إلى ارتفاع ٣,٦ أمتار بعد اصطدامها بالأرض. احسب التغير فى كمية حركة الكرة نتيجة للتصادم بالأرض.

(١٠) عربة سكة حديد كتلتها ١٥ طنًّا تتحرك أفقيًّا بسرعة مقدارها ٤٠م/ث اصطدمت بالحاجز فى نهاية الخط فارتدت للخلف بسرعة ٣٠م/ث. احسب التغير فى كمية حركتها.



الوحدة الثانية

٢ - ٢

القانون الأول لنيوتن

Newton's first law

مقدمة :

نتعامل فى حياتنا اليومية مع العديد من أنواع القوى المختلفة التى قد تؤثر على الأجسام المتحركة فتغير من سرعتها مثل شخص يدفع عربة أو يسحبها أو أن تؤثر القوة على الأجسام الساكنة لتبقيها ساكنة مثل الكتاب الموضوع على المكتب أو الصور المعلقة على الحائط، ويكون تأثير القوة مباشر Contact force مثل سحب زنبرك أو دفع صندوق، ويمكن أن يكون تأثير القوة عن بعد Action -at - a distance مثل تنافر أو تجاذب قطبى مغناطيسى، ويُعرف الجسيم الساكن بأنه فى حالة اتزان equilibrium عندما تكون محصلة القوى المؤثرة عليه تساوى صفرًا .

يوجد العديد من أنواع القوة الموجودة فى الطبيعة وهى أما أن تكون ميكانيكية أو جاذبية أو كهربية أو مغناطيسية أو نووية، وسندرس فى هذه الوحدة النوع الأول والثانى فقط.

ولدراسة القوى الميكانيكية سنبدأ بدراسة قوانين نيوتن للحركة

القانون الأول لنيوتن *Newton's first law*

وصف نيوتن من خلال هذا القانون ما الذى يحدث لجسم عندما تكون محصلة القوى المؤثرة عليه تساوى صفر.

كل جسيم يحتفظ بحالته من حيث السكون أو الحركة المنتظمة فى خط مستقيم ما لم تؤثر عليه قوة خارجية تغير من حالته.

نلاحظ من القانون الأول لنيوتن الآتى :

(١) الجسم الساكن يظل ساكنًا ما لم تؤثر عليه قوة تحاول تحريكه، والجسم المتحرك حركة منتظمة يظل متحركًا بها ما لم تؤثر عليه قوة تغير من حركته.

(٢) يقصد بتعبير "القوة" فى صياغة القانون محصلة جميع القوى المؤثرة على الجسم، وتقاس القوة بوحدة النيوتن تخليدًا لذكراه.

(٣) يضع القانون حالتى السكون والحركة المنتظمة فى خط مستقيم فى وضع متكافئ، وتمثل كلتاهما" الحالة الطبيعية" للجسم، عندما تكون محصلة القوى المؤثر عليه مساوية للصفر.

سوف تتعلم

- القانون الأول لنيوتن.
- مبدأ القصور الذاتى.

المصطلحات الأساسية

- القانون الأول لنيوتن *Newton's first law*
- القصور الذاتى *Inertia*
- مبدأ القصور الذاتى *Inertiaprinciple*
- القوة *Force*

الأدوات المستخدمة

- آلة حاسبة علمية.
- برامج رسومية للحاسب.

(٤) يبين القانون أن الجسم الساكن أو المتحرك حركة منتظمة فى خط مستقيم (أى عندما يكون فى حالته الطبيعية) لا يمكنه تغيير حالته هذه تلقائيًّا ، بل لابد أن تؤثر عليه قوة فتخرجه من هذه الحالة . ولهذا السبب سمى القانون الأول لنيوتن" قانون القصور الذاتى ".

القصور الذاتى *Inertia*

من القانون الأول لنيوتن يمكن استنتاج أن الأجسام لها ميل طبيعى للمحافظة على حالتها من حيث السكون أو الحركة المنتظمة فى خط مستقيم وتعرف هذه الممانعة والمقاومة للتغيير بالقصور الذاتى.

مبدأ القصور الذاتى:

كل جسم قاصر أو عاجز بذاته عن تغيير حالته من حيث السكون أو الحركة المنتظمة فى خط مستقيم.

نشاط
العلاقة بين الكتلة والقصور الذاتى

شكل (٥)

١ يبين النشاط التالى أن الكتلة هى مقياس لكمية القصور الذاتى.

٢ أحضر كرتين إحداهما كرة جولف تزن حوالى ٥٠٠ ث جم، وكرة بولينج وزنها تقريبًا ٥ ث كجم.

٣ أى من الكرتين تحتاج قوة أكبر لتتحرك؟

٤ دون شك تحتاج كرة البولينج إلى قوة أكبر لتبدأ الحركة من القوة التى تحتاجها كرة الجولف.

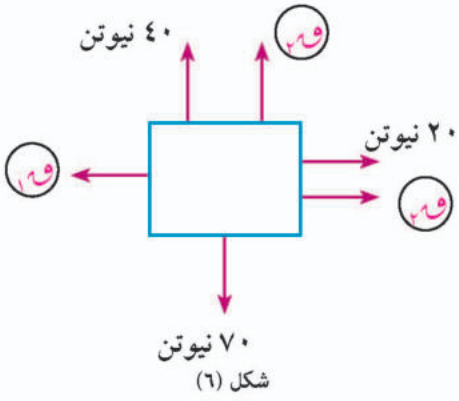
٥ يرجع ذلك إلى ميل كرة البولينج للحفاظ على وضع السكون، أى أن قصورها الذاتى كبير نظرًا لكتلتها الكبيرة التى تقدر بعشرة أضعاف كتلة كرة الجولف.

القوة *Force*

يتضمن القانون الأول لنيوتن تعريفًا للقوة بأنها المؤثر الذى يغير أو يعمل على تغيير حالة الجسم من سكون أو حركة منتظمة فى خط مستقيم.

مثال
(الجسم فى حالة سكون)

(١) يوضح الشكل المقابل جسم ساكن تؤثر عليه مجموعة القوى. أوجد $ق_1$ ، $ق_2$.



شكل (٦)

الحل

∵ الجسم فى حالة سكون ∴ القوى الرأسية متزنة

∴ $ق_2$ + ٤٠ = ٧٠

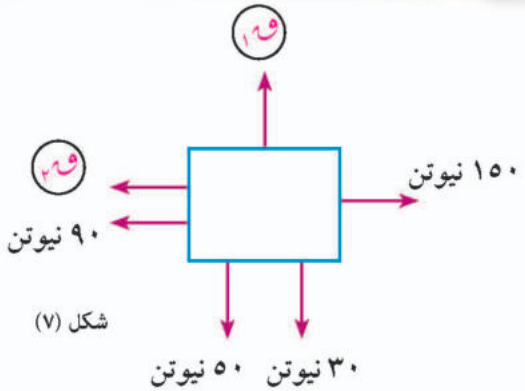
∴ $ق_2$ = ٣٠ نيوتن

∵ القوى الأفقية متزنة ∴ $ق_1$ = ٢٠ + $ق_2$

∴ $ق_1$ = ٥٠ نيوتن

حاول أن تحل

(١) يوضح الشكل المقابل جسمًا ساكنًا تؤثر عليه مجموعة من القوى. أوجد $\overrightarrow{ق}_1$ ، $\overrightarrow{ق}_2$.

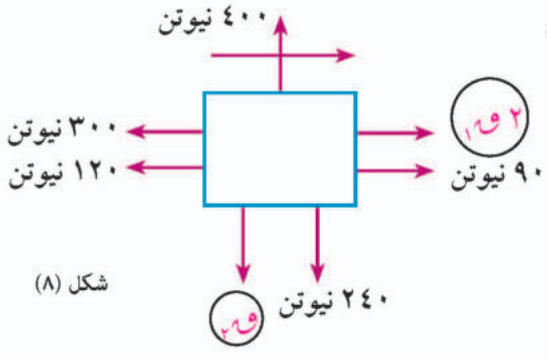


شكل (٧)

مثال

(الجسم فى حالة حركة)

(٢) يوضح الشكل المقابل جسمًا يتحرك أفقيًّا فى الاتجاه الموضح بسرعة ثابتة قدرها ٨م/ث ، أوجد $\overrightarrow{ق}_1$ ، $\overrightarrow{ق}_2$.



شكل (٨)

الحل

∵ الجسم فى حالة حركة منتظمة

∴ القوى الأفقية متزنة

∴ $٢\overrightarrow{ق}_1$ + ٩٠ = ٣٠٠ + ١٢٠

∴ $\overrightarrow{ق}_1$ = ١٦٥ نيوتن

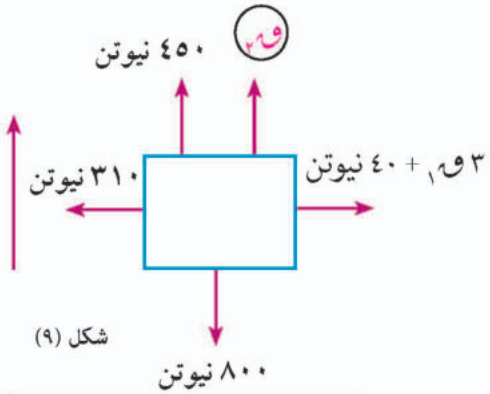
∵ القوى الرأسية متزنة

∴ ٢٤٠ + $\overrightarrow{ق}_2$ = ٤٠٠

∴ $\overrightarrow{ق}_2$ = ١٦٠ نيوتن

حاول أن تحل

(٢) يوضح الشكل المقابل جسمًا متحركًا رأسيًا لأعلى بسرعة ثابتة تؤثر عليه مجموعة من القوى. أوجد $\overrightarrow{ق}_1$ ، $\overrightarrow{ق}_2$.



شكل (٩)

مثال

(٣) قطار كتلته ٢٠٠ طن، يتحرك تحت تأثير مقاومة تتناسب مع مربع سرعته. فإذا كانت هذه المقاومة ٩,٦ ث. كجم لكل طن من كتلة القطار عندما كانت سرعة القطار ٧٢ كم / ساعة. فأوجد أقصى سرعة للقطار إذا كانت القاطرة تجره بقوة ثابتة مقدارها ٤,٣٢ ث طن.

معطيات

$م_1$ = ٩,٦ × ٢٠٠

= ١٩٢٠ ث كجم

$ع_1$ = ٧٢ كم / س

شكل (١٠)

الحل

نفرض أن المقاومة = $م_1$ عندما تكون سرعة القطار $ع_1$.

المقاومة = $م_2$ عندما تكون سرعة القطار $ع_2$.

∵ المقاومة تتناسب مع مربع السرعة

$$\therefore \frac{م_١}{م_٢} = \frac{ع_١^٢}{ع_٢^٢}$$

يبلغ القطار أقصى سرعة له عندما تكون المقاومة مساوية تمامًا لقوة جَرِّ القطار

فإذا كانت $ع_٢$ أقصى سرعة للقطار فإن $م_٢ = ٤,٣٢$ ث طن $\quad \therefore م_٢ = ٤٣٢٠$ ث كجم

$$\therefore \frac{م_١}{م_٢} = \frac{ع_١^٢}{ع_٢^٢} \qquad \frac{١٩٢٠}{٤٣٢٠} = \frac{٧٢ \times ٧٢}{ع_٢^٢} \qquad \therefore ع_٢ = ١٠٨ \text{ كم/ساعة.}$$

حاول أن تحل

(٣) قطار كتلته ٢٤٠ طنٌّ تجره قاطرة بقوة ثابتة مقدارها ١٢ ث طن، فإذا كانت المقاومة لحركة القطار تتناسب مع مربع سرعته، وكانت المقاومة ٨ ث كجم لكل طن من الكتلة المتحركة عندما كانت سرعة القطار ٤٥ كم/ س. احسب أقصى سرعة للقطار.

مثال

(٤) يهبط أحد جنود المظلات رأسيًّا ومظلته مفتوحة، فإذا كان وزن الجندى ومعداته ٩٠ ث كجم، وكانت مقاومة الهواء تتناسب مع مربع سرعته، وكانت أقصى سرعة هبوط للجندى ١٥ كيلومتر/ ساعة فأوجد مقاومة الهواء للجندى عندما كانت سرعته ١٠ كيلو متر / ساعة.

الحل

يبلغ الجندى أقصى سرعة هبوط عندما تكون المقاومة مساوية لوزن الجندى ومعداته.

إذا كانت $م_١$ هى مقاومة الهواء عندما كانت سرعة الجندى $ع_١$

$\therefore م_١ = ٩٠$ ث كجم عندما $ع_١ = ١٥$ كم/ س

واذا كانت $م_٢$ هى مقاومة الهواء عندما كانت سرعة الجندى $ع_٢$

$\therefore م_٢ = ؟$ عندما $ع_٢ = ١٠$ كم /س

∵ المقاومة تتناسب مع مربع السرعة

$$\therefore \frac{م_١}{م_٢} = \frac{ع_١^٢}{ع_٢^٢} \qquad \frac{٩٠}{م_٢} = \frac{١٥ \times ١٥}{١٠ \times ١٠} \text{ ، } م_٢ = ٤٠ \text{ث كجم}$$

شكل (١١)

حاول أن تحل

(٤) رجل مربوط إلى مظلة نجاة يهبط هو والمظلة رأسيًّا، فإذا كانت مقاومة الهواء تتناسب طرديًّا مع مربع سرعته ومقاومة الهواء تساوى $\frac{٤}{٩}$ من وزن الجندى ومعداته عندما كانت سرعته ١٢ كم /س . أوجد أقصى سرعة هبوط للجندى.

تمـارين ٢ - ٢

اختر الإجابة الصحيحة من بين الاجابات المعطاة فى كل مما يأتى:

(١) سيارة كتلتها ٤ أطنان تتحرك على طريق أفقى بسرعة منتظمة، إذا كانت قوة المحرك ١٢٠ ث كجم فإن مقاومة الحركة لكل طن من الكتلة.

أ ٤ ث طن　　ب ٣٠ ث كجم　　ج ١٢٠ كجم　　د ٤٨٠ ث كجم

(٢) إذا كان جسم وزنه ٢٠ ث كجم يهبط بسرعة منتظمة على مستوى مائل على الأفقى بزاوية قياسها ٣٠ فإن مقاومة المستوى بثقل الكيلو جرام:

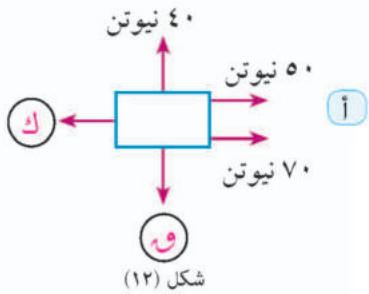
أ صفر　　ب ١٠　　ج $١٠\sqrt{٣}$　　د ٢٠

(٣) جندى مظلات يهبط رأسيًّا وكانت مقاومة الهواء لحركته تتناسب مع مربع سرعته وكانت $ع_١$ سرعته عندما كانت مقاومة الهواء له تعادل $\frac{٩}{٢٥}$ من وزنه، $ع_٢$ أقصى سرعة هبوط للجندى. احسب $ع_١ : ع_٢$

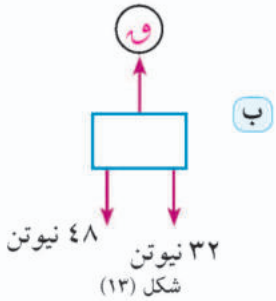
أ ٩ : ٢٥　　ب ٢٥ : ٩　　ج ٣ : ٥　　د ٥ : ٣

أجب عن الأسئلة الآتية:

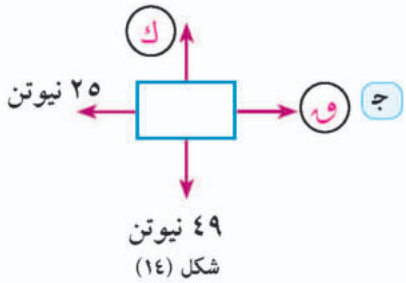
(٤) فى كل من المواقف الآتية الجسم فى حالة سكون تحت تأثير مجموعة من القوى.



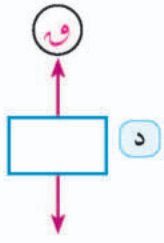
شكل (١٢)



شكل (١٣)



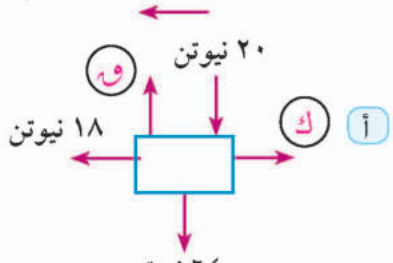
شكل (١٤)



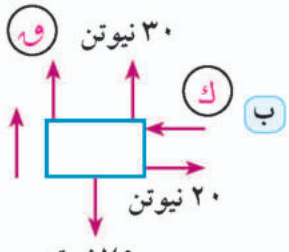
شكل (١٥)

أوجد مقدار القوة المجهولة فى كل حالة.

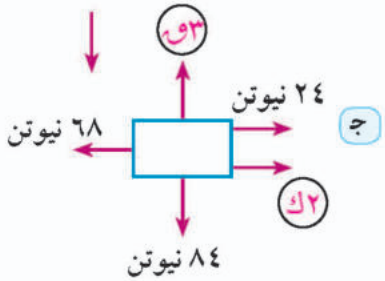
٥ فى كل من المواقف الآتية: الجسم متحرك بسرعة منتظمة ع تحت تأثير مجموعة من القوى.



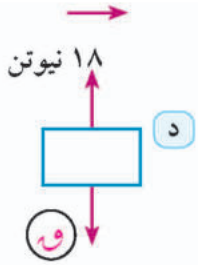
شكل (١٦)



شكل (١٧)



شكل (١٨)



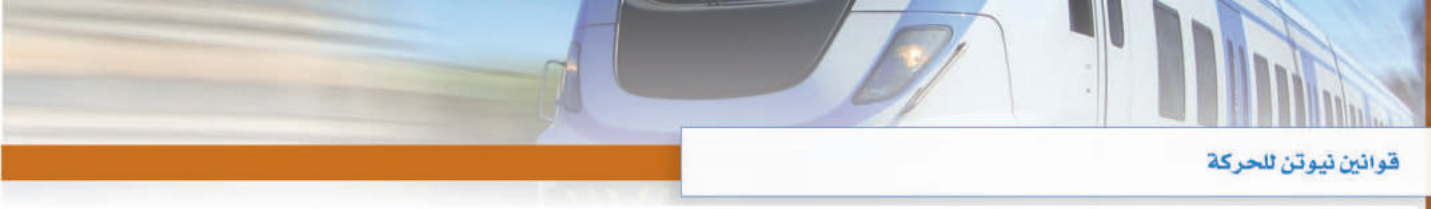
شكل (١٩)

أوجد مقدار القوة المجهولة فى كل حالة.

٦ سيارة كتلتها ٨ أطنان تتحرك بسرعة منتظمة تحت تأثير مقاومة ثابتة مقدارها ٦ ث كجم لكل طن من كتلة السيارة. فما قوة محرك السيارة؟

٧ قطار كتلته ٢٤٠ طنًّا يتحرك بسرعة منتظمة، وكانت قوة محرك القطار ٤ ث طن ، أوجد مقدار المقاومة لكل طن من كتلة القطار؟

٨ سيارة كتلتها ٣ أطنان تتحرك تحت تأثير مقاومة تتناسب مع سرعة السيارة ، فإذا كانت هذه المقاومة ٨ ث كجم لكل طن من كتلة السيارة عندما كانت سرعتها ٣٦ كم/س ، فأوجد أقصى سرعة للسيارة إذا كانت قوة آلات جر السيارة ١٢٠ ث كجم.



(٩) قطار كتلته ٢٠٠ طن يتحرك تحت تأثير مقاومة تتناسب مع مربع سرعته، فإذا كانت هذه المقاومة ٨ث كجم لكل طن من كتلة القطار عندما كانت سرعة القطار ٧٠ كم/س. فأوجد أقصى سرعة للقطار إذا كانت القاطرة تجره بقوة ثابتة مقدارها ٦,٤ ث طن.

(١٠) قطار كتلة ٣٠٠ طن تجره قاطرة بقوة ثابتة مقدارها ٨١٠ ث كجم تحت تأثير مقاومة تتناسب مع مربع السرعة، فإذا كانت أقصى سرعة للقطار تساوى ٣٠ م/ث. فأوجد معدل المقاومة لكل طن من كتلة القطار عندما تكون سرعة القطار ٩٠ كم/س.

(١١) وزن جندى مظلات ومعداته ٨٠ ث كجم ، ومقاومة الهواء لحركته تتناسب مع مربع سرعته، فإذا كانت هذه المقاومة تساوى ٤٥ ث كجم عندما كانت سرعة الجندى ٤,٥ كم/س فأوجد أقصى سرعة يكتسبها الجندى أثناء هبوطه.

(١٢) وزن جندى ومعداته ٩٠ ث كجم ، ومقاومة الهواء لحركته تتناسب مع مربع سرعته، فإذا كانت أقصى سرعة هبوط للجندى ١٢ كم /س، فأوجد مقاومة الهواء عندما كانت سرعته ٨ كم /س.

الوحدة الثانية

٢ - ٣

القانون الثانى لنيوتن

Newton's second law

فكر و ناقش

نعلم من القانون الأول لنيوتن أن محصلة القوى المؤثرة على جسم متحرك بسرعة منتظمة تنعدم، أما إذا كانت محصلة القوى المؤثرة على الجسم لا تساوى صفرًا، فإن الجسم سيتحرك بعجلة .

- هل توجد علاقة بين مقدار القوة المحصلة المؤثرة على الجسم ومقدار عجلة الحركة؟
- هل يمكنك استنتاج هذه العلاقة؟

تعلم

١ - القانون الثانى لنيوتن *Newton's second law*

معدل التغير فى كمية الحركة يتناسب مع القوة المحدثة له، ويحدث فى اتجاه القوة

$\frac{د}{د ن}$ (ك $\overrightarrow{ع}$) ∝ $\overrightarrow{ق}$ أى أن $\frac{د}{د ن}$ (ك $\overrightarrow{ع}$) = أ $\overrightarrow{ق}$ (حيث أ ثابت التناسب)

وعند ثبوت كتلة الجسم أثناء الحركة فإن :

ك $\frac{د \overrightarrow{ع}}{د ن}$ = أ $\overrightarrow{ق}$ (حيث أ ثابت التناسب)

وتكون ك $\overrightarrow{جـ}$ = أ $\overrightarrow{ق}$

وإذا عرفنا وحدة القوى بأنها القوة التى إذا أثرت على جسم كتلته وحدة الكتل لأكسبته وحدة العجلات، وبالتعويض فى المعادلة السابقة **نجد أن**:

١ = أ × ١ × ١ ∴ أ = ١

ونأخذ المعادلة السابقة الصورة ك $\overrightarrow{جـ}$ = $\overrightarrow{ق}$

وتسمى هذه المعادلة **بمعادلة الحركة لجسم ثابت الكتلة**، وتعتبر المعادلة الأساسية لعلم الديناميكا. إذ يمكن تطبيقها على جميع الأجسام المتحركة ثابتة الكتلة باعتبار هذه الأجسام نقطًا مادية.

من معادلة الحركة السابقة نجد أن كل من $\overrightarrow{ق}$ ، $\overrightarrow{جـ}$ لهما نفس الاتجاه، فإذا قيست $\overrightarrow{جـ}$ فى اتجاه معين لزم قياس $\overrightarrow{ق}$ فى الاتجاه نفسه ؛ لذلك من الأنسب كتابة معادلة الحركة فى الصورة :

ك $\overrightarrow{جـ}$ = $\overrightarrow{ق}$

سوف تتعلم

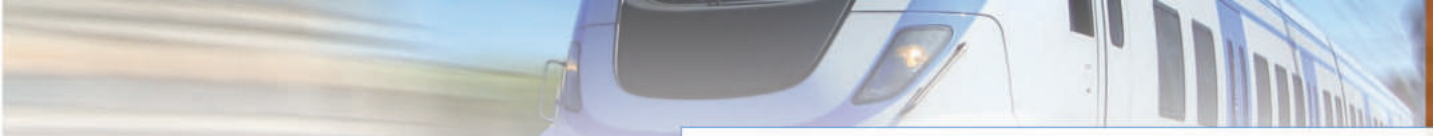
- القانون الثانى لنيوتن.
- وحدات القوة.
- الوزن والكتلة.

المصطلحات الأساسية

- القانون الثانى لنيوتن. *newton's second law*
- معادلة الحركة *Equation of motion*
- القوة *force*
- الكتلة *mass*
- الوزن *weight*

الأدوات المستخدمة

- آلة حاسبة علمية.



وإذا كانت جـ ، وهـ تعبر عن القياس الجبرى لكل من $\overrightarrow{جـ}$ ، $\overrightarrow{وهـ}$ على الترتيب،
فإن معادلة الحركة لجسم ثابت الكتلة تأخذ الصورة:

$$ك\ \overrightarrow{جـ} = \overrightarrow{وهـ}$$

حيث ك كتلة الجسم المتحرك، جـ عجلة الحركة، وهـ تعبر عن القياس الجبرى لمحصلة مجموعة القوى المؤثرة على الجسم، أى أن:

$$ك\ \overrightarrow{جـ} = \Sigma \overrightarrow{وهـ}$$

وحدات القوة والكتلة

units of force and units of mass

عند استنتاج معادلة الحركة لجسم متحرك اخترنا وحدات محددة لكل من القوة والكتلة والعجلة، حتى يكون ثابت التناسب مساويًا للواحد الصحيح، وتصبح معادلة الحركة على الصورة ك جـ = وهـ، لذلك عند استخدام معادلة الحركة، فإننا نستخدم الوحدات المطلقة للقوة مثل النيوتن، الداين

ك × جـ = وهـ
١ كجم × ١ م/ ث^{٢} = ١ نيوتن
١ جم × ١ سم/ ث^{٢} = ١ داين

تذكر أن

١ ث كجم = ٩,٨ نيوتن
١ ث جم = ٩٨٠ داين

الوزن والكتلة

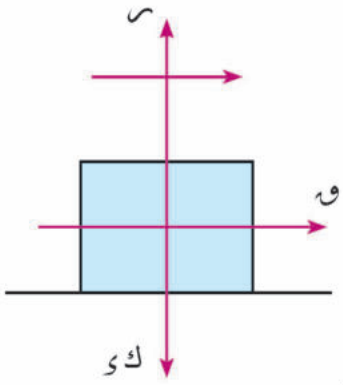
the weight and the mass

وزن الجسم هو قوة جذب الأرض للجسم، فإذا كان لدينا جسم كتلته ١ كجم، فإن وزنه طبقًا لمعادلة الحركة يساوى ١ ث كجم

∵ ك جـ = وهـ ∴ ١ × ٩,٨ = وهـ وهـ = ٩,٨ نيوتن = ١ ث كجم

مثال

(١) أثرت قوة مقدارها ١٠ نيوتن على جسم ساكن كتلته ٨ كجم، فحركته فى اتجاهها بعجلة منتظمة، احسب المسافة المقطوعة بعد ١٢ ث وسرعته عندئذ.



شكل (٢٠)

الحل

و = ١٠ نيوتن ، ع. = ٠

ك = ٨ كجم ن = ١٢ ث

معادلة حركة الجسم

ك جـ = و ∴ ٨ جـ = ١٠

جـ = $\frac{٥}{٤}$ م/ث

∵ ع = ع. + جـ ن ∴ ع = ٠ + $\frac{٥}{٤}$ × ١٢ = ١٥ م/ث

∵ ف = ع. ن + $\frac{١}{٢}$ جـ ن^{٢} ∴ ف = ٠ + $\frac{١}{٢}$ × $\frac{٥}{٤}$ × ١٤٤ = ٩٠ متر

حاول أن تحل

شكل (٢١)

(١) فصلت العربة الأخيرة من قطار سكة حديد وكتلتها ٢٤,٥ طنًّا، عندما كانت سرعتها ٥٤ كم/ س، فتحركت بتقصير منتظم وتوقفت بعد ١٢٥ مترًا، أوجد مقدار المقاومة التى أثرت على العربة المنفصلة بثقل الكيلوجرام.

مثال

(٢) سقط جسم كتلته ٣ كجم من ارتفاع ١٠ أمتار على أرض رملية فغاص فيها مسافة ٥سم، أوجد مقاومة الرمل للجسم بثقل الكيلو جرام علمًا بأن الجسم تحرك بعجلة منتظمة داخل الرمل

الحل

مرحلة السقوط الحر

ع^{٢} = ع^{٢}. + ٢ى ف

ع^{٢} = ٠ + ٢ × ٩,٨ × ١٠

ع = ١٤ م/ث

مرحلة الغوص فى الرمل

ع^{٢} = ع^{٢} + ٢جـ ف

٠ = (١٤)^{٢} + ٢جـ × ٠,٠٥

جـ = - ١٩٦٠ م/ث^{٢}

معادلة الحركة

ك جـ = ك ى - م

٣ × - ١٩٦٠ = ٣ × ٩,٨ - م

∴ م = ٣ × ٩,٨ + ٣ × ١٩٦٠

م = ٥٩٠٩,٤ نيوتن

م = ٦٠٣ ث كجم

حاول أن تحل

(٢) صندوق كتلته ١٠٠ كجم، يُرفع رأسيًّا لأعلى بحبل بعجلة منتظمة قدرها ٢٥ سم /ث^{٢}. أوجد قوة الشد فى الحبل مع إهمال المقاومة.

مثال

(٣) قطار كتلته ٢٢٠ طن، يتحرك فى طريق أفقى مستقيم بسرعة منتظمة مقدارها ٢٩,٤ م/ث ، وأثناء حركته انفصلت منه العربة الأخيرة وكتلتها ٢٤ طنًّا ، وتحركت بتقصير منتظم فوقفت بعد دقيقة واحدة من لحظة انفصالها، أوجد:

شكل (٢٣)

أولًا: مقدار المقاومة لكل طن من كتلة القطار بفرض ثبوتها.

ثانيًا: مقدار قوة آلة جر القطار.

ثالثًا: المسافة بين الجزء الباقى من القطار والعربة المنفصلة لحظة سكون العربة المنفصلة علمًا بأن باقى القطار تحرك بعجلة منتظمة.

الحل

أولًا: دراسة حركة العربة المنفصلة من قوانين الحركة فى خط مستقيم:

ع = ع. + جـ ن | ك = ٢٤ طن | ع. = ٢٩,٤ م/ث

٠ = ٢٩,٤ + ٦٠ جـ | ع = ٠ | ن = ٦٠ ث

∴ جـ = - ٠,٤٩ م/ث^{٢}

من معادلة حركة العربة المنفصلة

ك جـ = - م ٢٤ × ١٠٠٠ × - ٠,٤٩ = - م

م = ١١٧٦٠ نيوتن. ∴ م = ١٢٠٠ ث كجم

م = ٥٠ ث كجم /طن

المسافة التى تحركتها العربة المنفصلة خلال دقيقة واحدة بعد الانفصال

ف = ع. ن + $\frac{١}{٢}$ جـ ن^{٢}

= ٢٩,٤ × ٦٠ - $\frac{١}{٢}$ × ٠,٤٩ × (٦٠)^{٢}

ف = ٨٨٢ متر

ثانيًا: دراسة حركة القطار قبل الانفصال

∵ القطار كان متحركًا بسرعة منتظمة قبل الانفصال ك = ٢٢٠ طن

∴ القوة المحركة = المقاومات الكلية المقاومة/ طن = ٥٠ ث كجم

∴ ق = ٥٠ × ٢٢٠ = ١١٠٠٠ ث كجم

ثالثًا: دراسة حركة باقى القطار بعد انفصال العربة الأخيرة

معادلة الحركة

ك جـ = ق - م

١٩٦ × ١٠٠٠ جـ = (١١٠٠٠ - ٥٠ × ١٩٦) × ٩,٨

جـ = $\frac{٣}{٥٠}$ م/ث^{٢}

ك = ١٩٦ طن

ق = ١١٠٠٠ ت كجم

المقاومة/طن = ٥٠ ث كجم

من قوانين الحركة

ف = ع ن + $\frac{١}{٢}$ جـ ن^{٢}

= ٢٩,٤ × ٦٠ + $\frac{١}{٢}$ × $\frac{٣}{٥٠}$ × (٦٠)^{٢}

ف = ١٨٧٢ متر

المسافة بين باقى القطار والعربة المنفصلة لحظة سكونها

= ١٨٧٢ - ٨٨٢

= ٩٩٠ متر

٩ حاول أن تحل

شكل (٢٤)

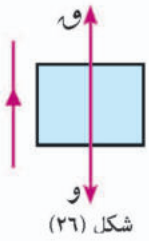
(٣) منطاد كتلته ١٠٥ كجم، يتحرك رأسيًّا لأسفل بعجلة منتظمة مقدارها ٩٨ سم/ث^{٢}. أوجد مقدار قوة رفع الهواء المؤثرة على المنطاد بثقل الكيلو جرام، وإذا سقط من منطاد جسم كتلته ٣٥ كجم، عندما كانت سرعة المنطاد ٤٩٠ سم/ث، أوجد المسافة بين المنطاد والجسم المنفصل عنه بعد $\frac{٢٠}{٧}$ ثانية من لحظة الانفصال.

تمـــاريـن ٢ – ٣

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة فى كل مما يأتي:

(١) جسم كتلته ٥ كجم يكون وزنه:

أ $\frac{٢٥}{٤٩}$ نيوتن. ب ٥ نيوتن ج ٤٩ نيوتن د ٤٩ ث كجم



شكل (٢٦)

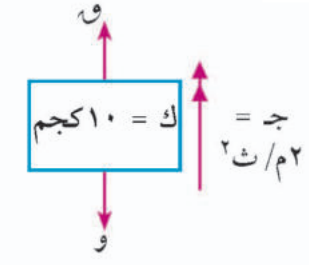
(٢) جسم كتلته ٨ كجم يتحرك رأسيًّا لأعلى بعجلة منتظمة جـ تحت تأثير قوة تعمل فى اتجاه الحركة مقدارها ١٢ ت كجم. فإن جـ بوحدة م/ ث^{٢}:

أ $\frac{١}{٢}$ ب $\frac{٣}{٢}$ ج ٤,٩ د ١٤,٧

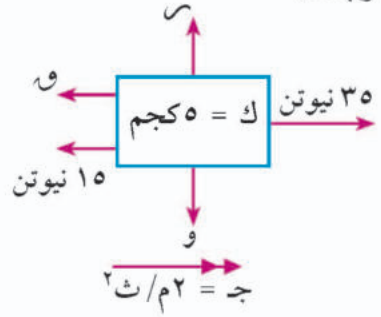
(٣) أُطلقت رصاصة كتلتها ٧ جم أفقيًّا من فوهة مسدس بسرعة ٢٤٥ م/ث على حاجز رأسى من الخشب فغاصت فيه ١٢,٢٥ سم قبل أن تسكن. احسب مقاومة الخشب للرصاصة علمًا بأنها تحركت بتقصير.

أ ١٧،١٥ نيوتن ب ١٧٥ نيوتن ج ١٧٥ ث كجم د ١٧١٥ ث كجم

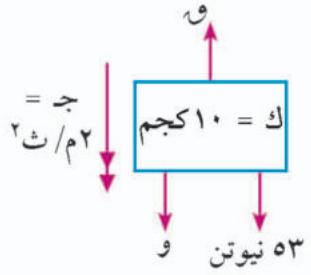
(٤) فى كل من الحالات الآتية، القوة و تؤثر على الجسم الذى كتلته ك كجم، وتكسبه عجلة حركة منتظمة موضحة بالشكل مقدارًا واتجاهًا، أوجد و



شكل (٢٧)

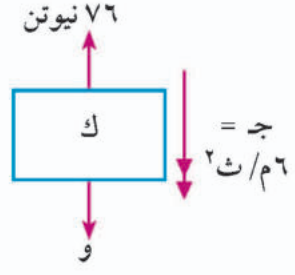


شكل (٢٨)

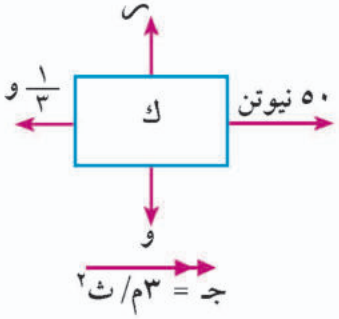


شكل (٢٩)

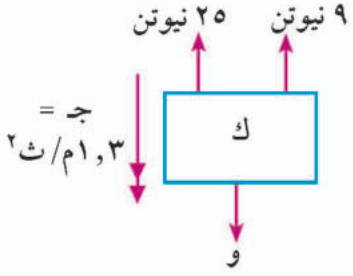
(٥) فى كل من الحالات الآتية القوة ق تؤثر على الجسم الذى كتلته ك كجم، وتكسبه عجلة حركة منتظمة موضحة بالشكل مقدارًا واتجاهًا، أوجد ك



شكل (٣٠)

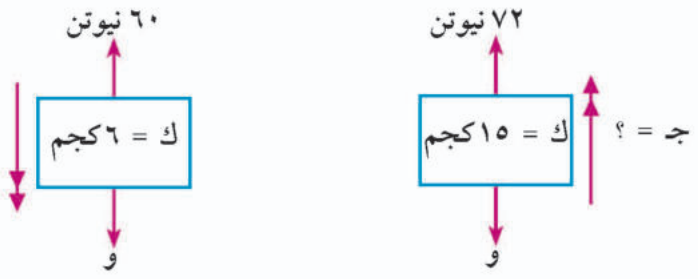


شكل (٣١)



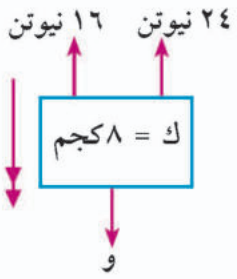
شكل (٣٢)

٦ فى كل من الحالات الآتية، القوة و تؤثر على الجسم الذى كتلته ك كجم، وتكسبه عجلة منتظمة جـ مقاسة بوحدة م/ث^{٢}، أوجد جـ



شكل (٣٣)

شكل (٣٤)



شكل (٣٥)

٧ جسم كتلته ١٥٠ جم، أثرت عليه قوة مقدارها ٤٥٠٠ داين، أوجد العجلة الناتجة.

٨ كتلة مقدارها ٢٠ كجم موضوعة على مستوى أفقى أملس، أثرت عليها قوة أفقية مقدارها و فحركتها بعجلة منتظمة مقدارها ٤٩ م/ث، أوجد ق.

٩ سيارة ساكنة كتلتها ٤,٩ طن، أثرت عليها قوة فأصبحت سرعتها ٢٧ كم/ س خلال دقيقة واحدة، أوجد القوة التى أثرت على السيارة بثقل الكجم.

١٠ إذا كانت قوة آلة قاطرة تساوى ٢,٥ ث طن، وكانت كتلة القطار والقاطرة ٢٠٠ طن، وبدأ القطار يتحرك من السكون، أوجد سرعة القطار بعد نصف دقيقة.

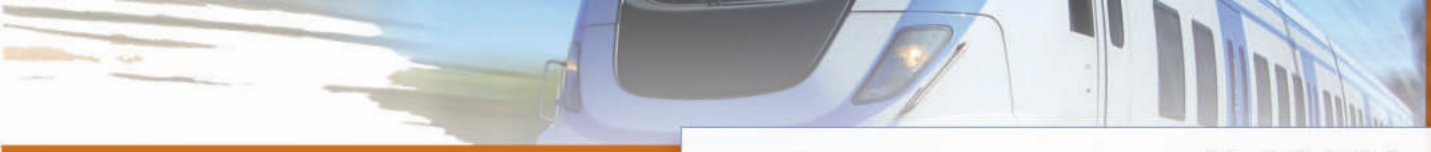
١١ أوجد قوة مقاومة الفرامل لحركة قطار مقدرة بثقل الكيلوجرام لكل طن من كتلته، إذا كانت سرعته ٧٢ كم/س وأوقفته الفرامل بعد أن قطع ٢٥٠ مترًا، أوجد الزمن اللازم لذلك.

١٢ دفع رجل سيارة ساكنة كتلتها ٩٨٠ كجم بقوة ثابتة، فأصبحت سرعتها ٤٥ سم/ث بعد ٥ ثوانٍ، أوجد بثقل الكيلوجرام القوة التى دفع بها الرجل السيارة إذا كانت المقاومة ٥٠ ث كجم.

١٣ أوجد القوة الأفقية التى تُشد بها قاطرة قطار كتلته ٢٤٥ طنًا لتزيد سرعته إلى ١٨ كم/س بعد أن قطع مسافة كيلومتر واحد على طريق أفقية إذا كانت قوة المقاومة ٤ ت كجم/ طن.

١٤ أثرت قوة أفقية ثابتة مقدارها ١ ث طن على سيارة كتلتها ٤ أطنان تسير على طريق أفقى، فإذا بدأت السيارة حركتها من السكون وبلغت سرعتها ٤,٩ م/ث فى ١٠ ثوانٍ، أوجد مقدار المقاومة التى أثرت على السيارة.

١٥ أوجد أقل عجلة ينزلق بها رجل كتلته ٧٥ كيلوجرامًا على حبل النجاة من الحريق إذا كان الحبل لا يتحمل شدًّا يزيد عن ٥٠ ثقل كيلوجرام، ثم أوجد سرعة الرجل بعد أن يهبط ٣٠ مترًا، علمًا بأن عجلة الحركة منتظمة.



(١٦) رصاصة كتلتها ٢٠ جرامًا اصطدمت بحاجز ثابت من الخشب عندما كانت سرعتها ٧٠٠ متر/ ثانية، فغاصت فيه مسافة ٥ سم. احسب بثقل الكيلوجرام مقاومة الخشب بفرض أنها ثابتة.

(١٧) سقط جسم كتلته ٢ كجم من ارتفاع ١٠ أمتار نحو أرض رملية، فغاص فيها مسافة ٥ سم، احسب بثقل الكيلوجرام مقاومة الرمل بفرض ثبوتها.

(١٨) قطار كتلته ٢٤٥ طنًا (بمافى ذلك القاطرة) يتحرك بعجلة منتظمة مقدارها ١٥سم/ث^{٢} على طريق مستقيم أفقى فإذا كانت مقاومة الهواء والاحتكاك ٧٥ث. كجم لكل طن من كتلة القطار فأوجد بثقل الكيلو جرام قوة آلات القاطرة . و إذا انفصلت العربة الأخيرة وكتلتها ٤٩ طنًا بعد أن تحرك القطار من السكون لمدة ٤,٩ دقيقة فأوجد الزمن الذى تأخذه العربة المنفصلة حتى تقف.

الوحدة الثانية

٢ - ٤

القانون الثالث لنيوتن وتطبيقات قوانين نيوتن

Newton's third law and Application on Newton's Laws

سوف تتعلم

- الضغط ورد الفعل.
- حركة جسم على مستوى مائل
- الحركة على مستوى خشن.

المصطلحات الأساسية

- القانون الثالث لنيوتن Newtons third law
- الضغط pressare
- رد الفعل reaction
- مستوى مائل inclined plane
- مستوى أملس Smooth plane
- مستوى خشن Rough plane
- احتكاك ديناميكي Kinetic friction
- احتكاك استاتيكي static friction

الأدوات المستخدمة

- آلة حاسبة علمية.

عمل تعاونى

قم مع زميل لك بإحضار ميزان ضغط وضعه فى أرضية مصعد، ثم قف على الميزان والمصعد ساكن، ودع زميلك يسجل قراءة الميزان لدى وقوفك على ميزان الضغط، واجعل المصعد يتحرك لأعلى وزميلك يسجل أى تغير يحدث فى قراءة الميزان، ثم أوقف المصعد وسجل القراءة مرة أخرى، ثم اجعل المصعد يهبط لأسفل وزميلك يسجل قراءة الميزان عند حدوث أى تغير فى القراءة، ثم كرر التجربة بالتبادل مع زميلك.

شكل (٣٦)

سجل قراءة الميزان حال وقوف كل منكما على الميزان فى كل مرحلة من مراحل سكون المصعد أو الحركة لأعلى أو الحركة لأسفل.

بماذا تفسر اختلاف قراءة الميزان فى كل الحالات؟

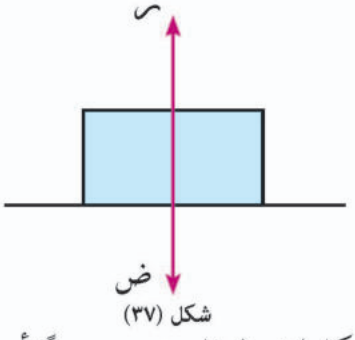
تعلم

١ - القانون الثالث لنيوتن: *Newtns third law*

لكل فعل رد فعل مساوٍ له فى المقدار ومضاد له فى الاتجاه.

٢ - الضغط ورد الفعل: *pressure and reaction*

عندما نضع جسمًا كتلته ك على مستوى أفقى ساكن، فإن الجسم يؤثر على المستوى بقوة ضغط تساوى فى هذه الحالة وزن الجسم، وتنشأ عن ذلك قوة رد فعل للمستوى تؤثر على الجسم وهى تساوى تمامًا ضغط الجسم على المستوى والقوتان متضادتان فى الاتجاه، ولكنهما متساويتان فى المقدار تمامًا ، ويتغير ضغط الجسم على المستوى كلما تحرك المستوى صعودًا أو هبوطًا، ويعرف الضغط فى هذه الحالة بالوزن الظاهري.



شكل (٣٧)

حركة جسم على مستوى مائل أملس

Motion of a body on a smooth inclined plane

فكر و ناقش

إذا وُضع جسم كتلته ك كجم على مستوى مائل أملس يميل على الأفقى بزاوية قياسها هـ، وأثرت عليه قوة مقدارها و نيوتن فى اتجاه خط أكبر ميل لأعلى المستوى، فحدد اتجاه حركة الجسم وعلى ما يتوقف اتجاه الحركة؟

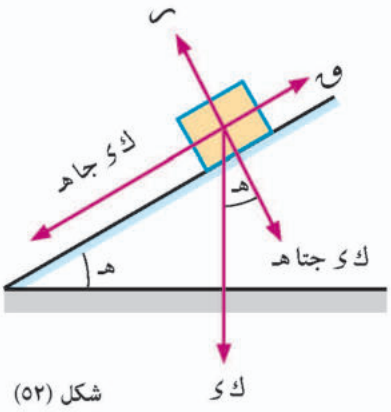
حركة جسم على مستو مائل أملس

إذا فرضنا أن جسمًا كتلته ك يتحرك على مستو أملس يميل على الأفقى بزاوية قياسها هـ تحت تأثير قوة مقدارها و تعمل فى اتجاه خط أكبر ميل للمستوى إلى أعلى فإننا نلاحظ أن الجسم يكون واقعًا تحت تأثير القوى الثلاث الآتية:

١ - القوة المعلومة وتؤثر فى اتجاه خط أكبر ميل للمستوى إلى أعلى ومقدارها و.

٢ - وزن الجسم ويؤثر رأسيًّا إلى أسفل ومقداره ك ى.

٣ - رد فعل المستوى ويؤثر فى اتجاه عمودى على المستوى إلى أعلى ومقداره ر



شكل (٥٢)

وبتحليل الوزن إلى مركبتين إحداهما فى اتجاه المستوى لأسفل والأخرى فى الاتجاه العمودى عليه.

المركبة فى اتجاه المستوى = ك ى جا هـ

المركبة فى الاتجاه العمودى على المستوى = ك ى جتا هـ

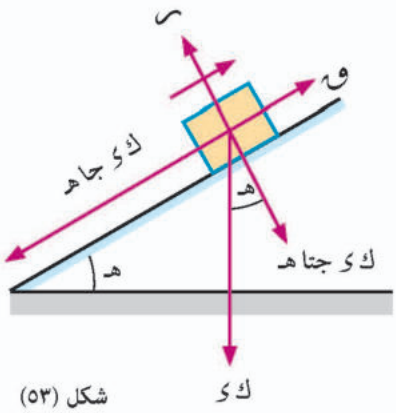
وتكون لدينا ثلاث حالات تعتمد على المقارنة بين و ، ك ى جا هـ بنفس الوحدة .

الحالة الأولى : إذا كانت و > ك ى جا هـ

فإن الجسم يتحرك بعجلة منتظمة جـ لأعلى المستوى ، وتكون معادلة حركته

ك جـ = و - ك ى جا هـ

وإذا أُبطل عمل القوة و بعد مرور زمن ن من بداية الحركة فإن الجسم يتحرك لأعلى المستوى (نفس اتجاهه السابق) ولكن بعجلة تقصيرية جـ/ حيث جـ/ = - ى جا هـ



شكل (٥٣)

ويصل الجسم حتمًا إلى سكون لحظى ثم يغير اتجاه حركته لأسفل المستوى بعجلة تزايدية قدرها ك جا هـ.

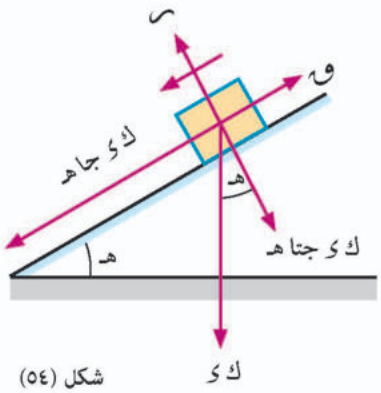
الحالة الثانية : إذا كانت و < ك ك جا هـ

فإن الجسم يتحرك بعجلة منتظمة جـ لأسفل المستوى ، وتكون معادلة حركته

ك جـ = ك ك جا هـ - و

الحالة الثالثة : إذا كانت و = ك ك جا هـ

فإن الجسم يظل محتفظًا بحالة السكون على المستوى ، أما إذا أكسب الجسم سرعة منتظمه ع فى اتجاه المستوى لأعلى أو لأسفل فإن الجسم يتحرك على المستوى فى اتجاه $\overleftarrow{ع}$ بسرعة منتظمة طبقًا للقانون الأول لنيوتن.

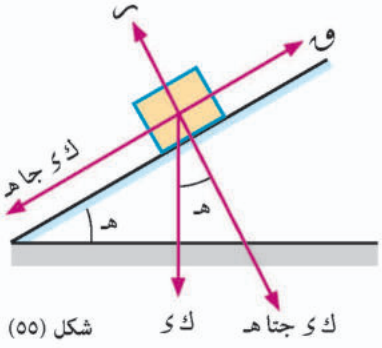


شكل (٥٤)

مثال

(١) جسم كتلته ١٢ كجم موضوع على مستوى أملس يميل على الأفقى بزاوية قياسها ٣٠°، أثرت قوة مقدارها ٨٨,٨ نيوتن فى اتجاه خط أكبر ميل لأعلى المستوى، أوجد سرعة هذا الجسم بعد ١٤ ثانية من بدء الحركة، إذا أوقفت القوة المؤثرة على الجسم عند هذه اللحظة، أوجد المسافة التى يتحركها الجسم على المستوى بعد ذلك حتى يسكن

الحل



شكل (٥٥)

∵ و = ٨٨,٨ نيوتن

∵ ك ك جا هـ = $\frac{1}{2}$ × ٩,٨ × ١٢

= ٥٨,٨ نيوتن

و > ك ك جا هـ

∴ الجسم يتحرك لأعلى المستوى بعجلة منتظمة جـ

معادلة الحركة:

ك جـ = و - ك ك جا هـ

١٢ جـ = ٨٨,٨ - ٥٨,٨

جـ = ٢,٥ م/ث^{٢}

∵ ع = ع$_{٠}$ + جـ ن = ٠ + ٢,٥ × ١٤ = ٣٥ م/ث

بعد إيقاف تأثير القوة يتحرك الجسم فى نفس اتجاهه السابق بتقصير منتظم جـ′

معادلة الحركة:

ك جـ′ = - ك ك جا هـ

جـ′ = - ٩,٨ × $\frac{1}{2}$ = - ٤,٩ م/ث^{٢}

يقطع الجسم مسافة ف حتى يصل لسكون لحظى حيث

ع^{٢} = ع$_{٠}^{٢}$ + ٢ جـ′ ف

٠ = (٣٥)^{٢} - ٢ × ٤,٩ ف

ف = ١٢٥ متر

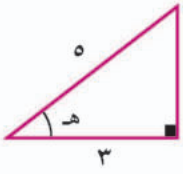
حاول أن تحل

(١) جسم كتلته ٣٢,٥ كجم موضوع على مستوى أملس يميل على الأفقى بزاوية قياسها هـ، حيث جتا هـ = $\frac{١٢}{١٣}$، أثرت عليه قوة مقدارها ٨٣,٥ نيوتن فى اتجاه خط أكبر ميل للمستوى لأعلى، أوجد مقدار واتجاه عجلة الحركة، ثم أوجد سرعة الجسم بعد ٨ ثواني من بدء الحركة.

مثال

(٢) وُضع جسم كتلته ٢٥ كجم على مستوى أملس يميل على الأفقى بزاوية قياسها هـ، حيث ظا هـ = $\frac{٤}{٣}$، أثرت عليه قوة أفقية نحو المستوى مقدارها ٣٠ ث كجم، ويقع خط عملها فى المستوى الرأسى المار بخط أكبر ميل للمستوى. أوجد العجلة الناشئة ومقدار قوة رد فعل المستوى.

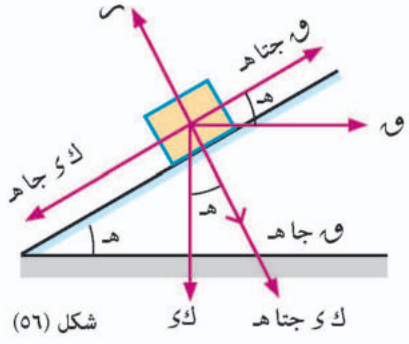
الحل



و جتا هـ = ٣٠ × $\frac{٣}{٥}$ = ١٨ ث كجم و جا هـ = ٢٥ × $\frac{٤}{٥}$ = ٢٠ث كجم

∵ و جتا هـ < و جا هـ

∴ الجسم يتحرك لأسفل المستوى بعجلة منتظمة جـ حيث



شكل (٥٦)

ك جـ = ك ﺟ جا هـ - و جتا هـ

٢٥ جـ = (٢٠ - ١٨) × ٩,٨

جـ = $\frac{٩٨}{١٢٥}$ م/ث^{٢}

ر = و جا هـ + ك ﺟ جتا هـ

= ٣٠ × $\frac{٤}{٥}$ + ٢٥ × $\frac{٣}{٥}$ = ٣٩ ث كجم

حاول أن تحل

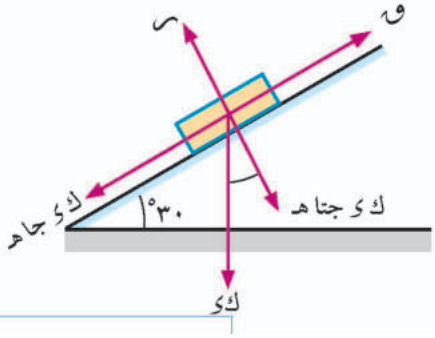
(٢) يتحرك جسم كتلته ٢ كجم على خط أكبر ميل لمستوى أملس يميل على الأفقى بزاوية ٦٠° تحت تأثير قوة مقدارها ١ ث كجم موجهة نحو المستوى، وتصنع مع الأفقى زاوية قياسها ٣٠° لأعلى، أوجد مقدار قوة رد فعل المستوى على الجسم، وكذلك عجلة الحركة.

مثال

(٣) يتحرك جسم كتلته ٣٠ كجم إلى أعلى مستوى مائل املس يميل على الأفقى بزاوية قياسها ٣٠° تحت تأثير قوة مقدارها و نيوتن فى اتجاه خط اكبر ميل لأعلى بعجلة مقدارها ١,٥ م/ث^{٢}. أوجد العجلة التى يتحرك بها هذا الجسم على نفس المستوى تحت تأثير قوة مقدارها $\frac{١}{٢}$ و وتؤثر فى اتجاه خط اكبر ميل لأعلى .

الحل

معادلة الحركة فى الحالة الأولى



ك جـ = و - ك ﺟ جا هـ

∴ ٣٠ × ١,٥ = و - ٣٠ × ٩,٨ × $\frac{١}{٢}$

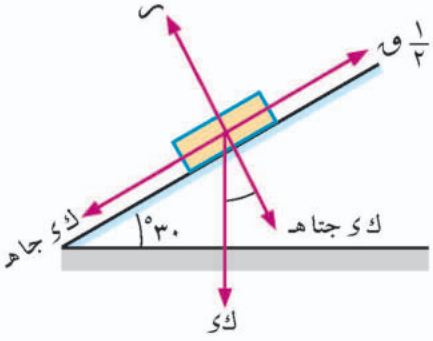
ومنها و = ١٩٢ نيوتن

معادلة الحركة فى الحالة الثانية

ك جـ = $\frac{1}{2}$ و - ك ء جا هـ

∴ ٣٠ جـ = ٩٦ - ٣٠ × ٩,٨ × $\frac{1}{2}$

∴ جـ = -١,٧ م/ث^{2}



حاول أن تحل

(٣) يتحرك جسم كتلته ٢٠٠ كجم اعلى مستوى مائل املس يميل على الأفقى بزاوية قياسها ٣٠° تحت تأثير قوة مقدارها نيوتن فى اتجاه خط اكبر ميل لأعلى بعجلة مقدارها ٢م/ث^{2} وإذا نقصت هذه القوة إلى النصف فإن الجسم يتحرك لأسفل المستوى بعجلة مقدارها ١,٤٥م/ث^{2} أوجد مقدار ق .

حركة جسم على مستوى خشن

Motion of a body on a rough plane

مقدمة:

علمت من دراستك السابقة لدرس الاحتكاك أنه عند محاولة تحريك جسم على مستوى خشن تظهر قوة الاحتكاك كقوة مقاومة، تعمل فى اتجاه مضاد للاتجاه الذى يميل الجسم إلى الحركة فيه، وتظل مساوية تمامًا للقوة المماسية التى تعمل على تحريك الجسم، وكلما ازدادت القوة المماسية التى تعمل على تحريك الجسم تزداد قوة الاحتكاك حتى تظل مساوية لها، إلى أن تصل إلى حد لا تتعداه، وتصل إلى أقصى قيمة لها وعندئذ يصبح الجسم على وشك الحركة، فإذا ازدادت القوة المماسية التى تعمل على تحريك الجسم، واستطاعت تحريك الجسم تغيرت قوة الاحتكاك عندئذ، ونقصت قيمتها حال حركة الجسم، وتسمى قوة الاحتكاك عندئذ بالاحتكاك الحركى، ويكون معامل الاحتكاك فى هذه الحالة هو معامل الاحتكاك الحركى.

تعلم

الحركة على مستوى خشن *Motion on a rough plane*

إذا كان الجسم متزنًا على مستوى خشن تحت تأثير قوة تعمل على تحريكه فإن قوة الاحتكاك هى قوة الاحتكاك السكونى ، ومعامل الاحتكاك فى هذه الحالة هو معامل الاحتكاك السكونى $م_س$ ، أما إذا تحرك الجسم على مستوى خشن، فإن قوة الاحتكاك عندئذ هى قوة الاحتكاك الحركى ومعامل الاحتكاك عندئذ هو معامل الاحتكاك الحركى $م_ك$.

مثال

(١) مستوى مائل خشن طوله ٢٥٠ سم، وارتفاعه ١٥٠ سم، وُضع عليه جسم فى حالة سكون فانزلق الجسم إلى أسفل المستوى، وكانت عجلة الحركة تساوى ١٩٦ سم/ث^{٢}، أوجد معامل الاحتكاك الحركى، ثم أوجد سرعة الجسم بعد أن يقطع ٢٠٠ سم على المستوى.

الحل

$\because$ الجسم يتحرك لأسفل بعجلة منتظمة

$$\text{ر} = \text{ك ء جتا هـ} = \frac{٤}{٥}\text{ك ء}$$

$$\text{ك جـ} = \text{ك ء جا هـ} - \text{م}_{ك}\text{ ر}$$

$$١٩٦\text{ ك} = \frac{٣}{٥}\text{ك ء} - \text{م}_{ك} \times \frac{٤}{٥}\text{ك ء}$$

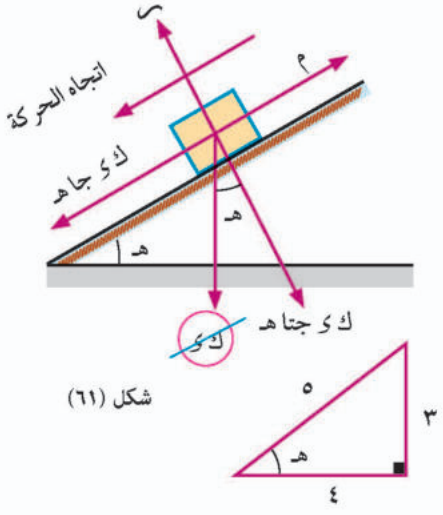
$$١٩٦ = \frac{٣}{٥} \times ٩٨٠ - \text{م}_{ك} \times \frac{٤}{٥} \times ٩٨٠$$

$$\therefore \text{م}_{ك} = \frac{١}{٢}$$

$\because$ $\text{ع}^{٢} = \text{ع}_{٠}^{٢} + ٢\text{ جـ ف}$

$$\text{ع}^{٢} = ٠ + ٢ \times ١٩٦ \times ٢٠٠$$

$\therefore$ ع $= ٢٨٠$ سم/ث



شكل (٦١)

حاول أن تحل

(١) تنقل الصناديق فى أحد المصانع بانزلاقها على مستوى مائل طوله ١٥ مترًا، وارتفاعه ٩ أمتار، أوجد سرعة الصندوق الذى بدأ حركته من السكون عند قمة المستوى، وذلك عند قاعدة المستوى إذا كان المستوى خشنًا، ومعامل الاحتكاك الحركى يساوى $\frac{١}{٤}$.

مثال

(٢) جسم كتلته ١٢ كجم، موضوع على مستوى أفقى خشن، معامل الاحتكاك السكونى بين الجسم والمستوى يساوى $\frac{\sqrt{٣}}{٣}$ بينما معامل الاحتكاك الحركى يساوى $\frac{\sqrt{٣}}{٤}$ احسب القوة التى تجعل الجسم على وشك الحركة، ثم أوجد القوة التى تجعله يتحرك بعجلة قدرها $\frac{٧\sqrt{٣}}{٢٠}$ م/ث^{٢} إذا كانت القوة تميل على الأفقى بزاوية قياسها ٣٠°.

الحل

أولًا: القوة تجعل الجسم على وشك الحركة

$$\text{ر} + \text{و جا ٣٠} = \text{و}$$

$$\text{ر} = (١٢ - \frac{١}{٢}\text{و})\text{ ث كجم}$$

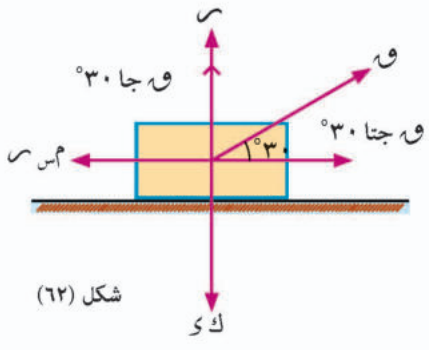
$\because$ و جتا ٣٠ $= \text{م}_{س}$ ر

$\therefore$ $\frac{\sqrt{٣}}{٢}$ و $= \frac{\sqrt{٣}}{٣}(١٢ - \frac{١}{٢}\text{و})$

$$٣\text{ و} = ٢٤ - \text{و}$$

$$٤\text{ و} = ٢٤$$

$$\text{و} = ٦\text{ ث كجم}$$



شكل (٦٢)

ثانيًا: القوة تحرك الجسم بعجلة قدرها $\frac{\sqrt{٣٤٩}}{٢٠}$ م/ث^{٢}

∵ ر = ك ؤ - و جا ٣٠ أى أن ر = (١٢ × ٩,٨ - $\frac{١}{٢}$ و) نيوتن

∵ ك جـ = و جتا ٣٠ - م$_{ك}$ ر

$\frac{\sqrt{٣٤٩}}{٢٠}$ × ١٢ = و × $\frac{\sqrt{٣}}{٢}$ - $\frac{\sqrt{٣}}{٤}$ (١٢ × ٩,٨ - $\frac{١}{٢}$ و)

$\frac{\sqrt{٣٤٩}}{٢٠}$ × ١٢ = $\frac{\sqrt{٣٠٥}}{٨}$ و - $\sqrt{٣}$ × ٩,٨

و = ٩٤,٠٨ نيوتن

حاول أن تحل

(١) فى المثال السابق احسب مقدار القوة و إذا كانت القوة المؤثرة على الجسم أفقية.

مثال

(٢) جسم وزنه ٨٠٠ نيوتن، موضوع على مستوى مائل خشن يميل على الأفقى بزاوية قياسها ٢٥°، وكان معامل الاحتكاك السكونى بين الجسم والمستوى يساوى ٠,٣٥، ومعامل الاحتكاك الحركى يساوى ٠,٢٥

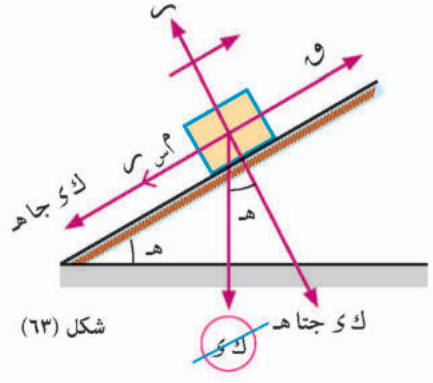
أوجد القوة ق فى كل من الحالات الآتية:

أ) و تجعل الجسم على وشك الحركة لأعلى المستوى.

ب) و أقل قوة تحرك الجسم لأعلى المستوى.

جـ) و تمنع الجسم من الانزلاق.

حيث و تؤثر فى اتجاه خط أكبر ميل لأعلى المستوى.



شكل (٦٣)

الحل

أ) ∵ الجسم على وشك الحركة لأعلى المستوى

، ر = ك ؤ جتا هـ

و = م$_{س}$ ر + ك ؤ جا هـ

= ٠,٣٥ × ك ؤ جتا هـ + ك ؤ جا هـ

= ٠,٣٥ × ٨٠٠ جتا ٢٥ + ٨٠٠ جا ٢٥

= ٥٩١,٨٦ نيوتن

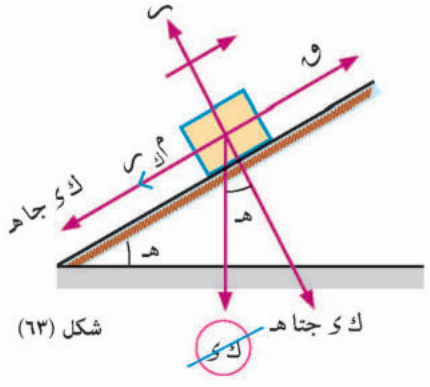
ب) أقل قوة تحرك الجسم لأعلى المستوى

و = م$_{ك}$ ر + ك ؤ جا هـ

= ٠,٢٥ × ك ؤ جتا هـ + ك ؤ جا هـ

= ٠,٢٥ × ٨٠٠ جتا ٢٥ + ٨٠٠ جا ٢٥

≃ ٥١٩,٣٦ نيوتن



شكل (٦٣)

ج القوة و تمتع الجسم من الانزلاق

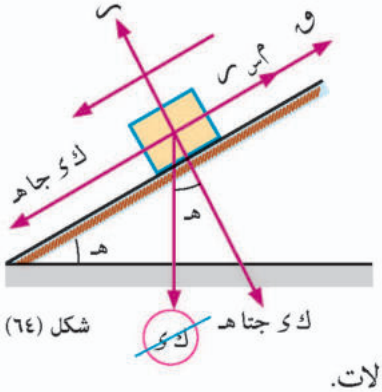
ر = ك ع جتا هـ

و + م ر = ك ع جا هـ

و + ٠,٣٥ × ك ع جتا هـ = ك ع جا هـ

و = ٨٠٠ جا ٢٥ - ٠,٣٥ × ٨٠٠ جتا ٢٥

و = ٨٤,٣٣ نيوتن



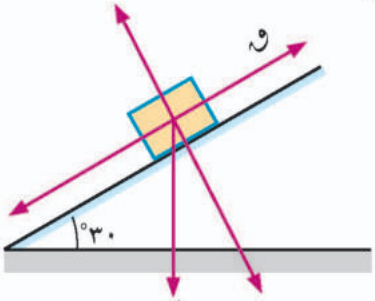
شكل (٦٤)

٩ حاول أن تحل

٢ في المثال السابق احسب مقدار القوة و إذا كانت أفقية في جميع الحالات.

تمـــارين ٢ - ٤

أكمل كلاً مما يأتي:



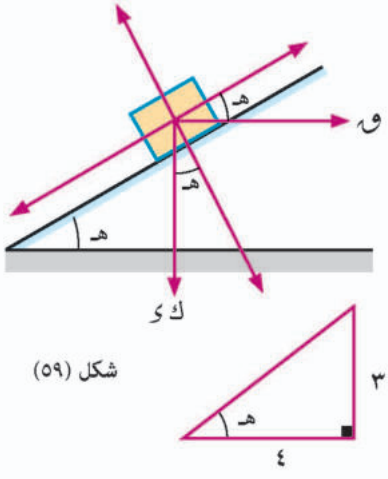
شكل (٥٨)

١ في الشكل المرسوم: الجسم الموضوع على المستوى الأملس كتلته ٢ كجم، بدأ حركته من السكون تحت تأثير القوة و التي مقدارها ١,٥ ث كجم

أ عجلة الحركة = ... م/ ث^{٢} واتجاهها .....

ب سرعة الجسم بعد ٤ ثوانٍ من بدء الحركة

ج رد فعل المستوى = ... ث كجم.



شكل (٥٩)

٢ في الشكل المرسوم: الجسم الموضوع على المستوى الأملس كتلته ك = ١٢ كجم، بدأ حركته من السكون تحت تأثير القوة و التي مقدارها ٨ ث كجم.

أ عجلة الحركة = ... م/ث، واتجاهها .....

ب المسافة التي يقطعها الجسم على المستوى في ٣ ثوانٍ من بدء الحركة ..... متر

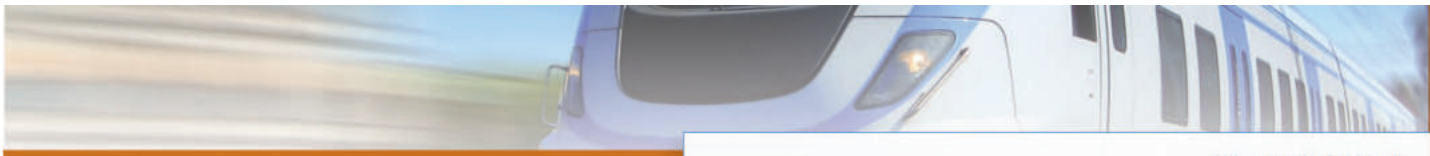
ج رد فعل المستوى = ... ث كجم

اختر من بين الإجابات الإجابة الصحيحة :

٣ يسير راكب دراجة كتلته هو والدراجة ٨٥ كجم بعجلة منتظمة مقدارها ٠,٥ م/ث^{٢} فإن القوة التي يستخدمها لاحداث هذه العجلة هي :

أ ٤٢,٥/ ث كجم ب ٤٢,٥ نيوتن

ج ١٧٠ ث كجم د ١٧٠ نيوتن.

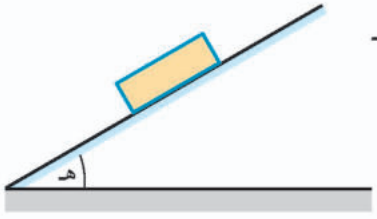


(٤) تسير سيارة على طريق مهمل المقاومات بعجلة مقدارها ١,٤٧ م/ث^{٢} فإذا كانت قوة المحرك ١٥٠ ث كجم فإن كتلة السيارة تساوى :

أ ١٠٢ كجم　　ب ١٠٠ كجم

جـ ١٠٠٠ كجم　　د ٢٢٠,٥ كجم.

(٥) إذا تحرك جسم على مستوى مائل املس يميل على الأفقى بزاوية قياسها هـ تحت تأثير وزنه فقط فإن عجلة حركته تساوى :



أ ى　　ب ى جتا هـ

جـ ى جا هـ　　د صفر.

(٦) إذا تحرك جسم على مستوى مائل أملس تحت تأثير وزنه فقط فإن عجلته تتوقف على :

أ كتلته　　ب وزنه　　جـ زاوية ميل المستوى　　د رد فعل المستوى.

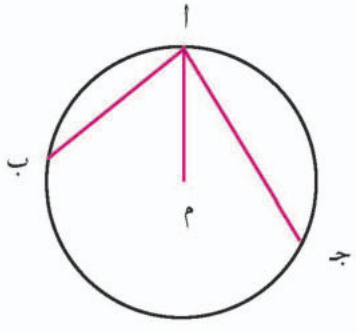
أجب عن الأسئلة الآتية:

(٧) وُضع جسم كتلته ١٠ كجم على مستوى أملس، يميل على الأفقى بزاوية جيبها $\frac{٣}{٥}$ ، أثرت قوة مقدارها ٨٠ نيوتن فى اتجاه خط أكبر ميل إلى أعلى. أوجد مقدار واتجاه العجلة الناشئة ومقدار رد الفعل العمودي.

(٨) وضع جسم كتلته ١ كجم على مستوى أملس، يميل على الأفقى بزاوية قياسها ٣٠°، أثرت عليه قوة مقدارها ١٠ نيوتن فى اتجاه خط أكبر ميل للمستوى لأعلى، أوجد عجلة الحركة ورد فعل المستوى على الجسم.

(٩) وضع جسم كتلته ١٦ كجم على مستوى أملس، يميل على الأفقى بزاوية قياسها ٤٥°، أثرت قوة أفقية نحو المستوى ومقدارها ٢٤ نيوتن، ويقع خط عملها فى المستوى الرأسى المار بخط أكبر ميل للمستوى، أوجد مقدار عجلة الحركة ورد فعل المستوى.

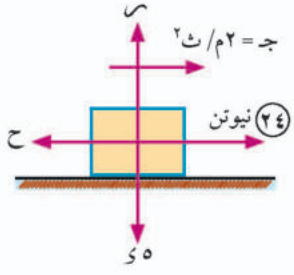
(١٠) **تفكير ابداعى :**



فى الشكل المقابل : $\overline{ام}$ نصف قطر رأسى $\overline{اب}$ ، $\overline{اجـ}$ وتران يمثلان طريقين أملسين فى الدائرة حيث ا جـ < ا ب انزلقت خرزتان من السكون من نقطة ا احدهما على الوتر $\overline{اب}$ فوصلت ب بعد زمن ن$_{١}$ والأخرى على الوتر $\overline{اجـ}$ فوصلت جـ بعد زمن ن$_{٢}$ أوجد قيمة النسبة ن$_{١}$: ن$_{٢}$.

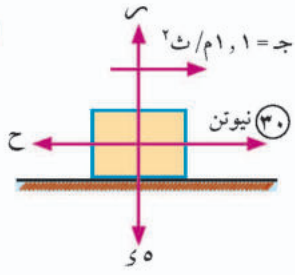
(١١) فى كل من الأشكال الآتية جسم كتلته ٥ كجم موضوع على مستوى أفقى خشن، معامل الاحتكاك الحركى بينه وبين الجسم م$_ك$، احسب م$_ك$ فى كل حالة، ح قوة الاحتكاك.

أ



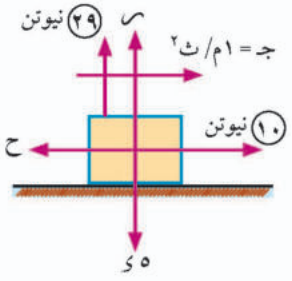
شكل (٦٥)

ب



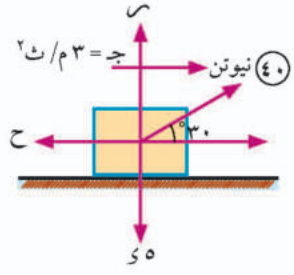
شكل (٦٦)

جـ



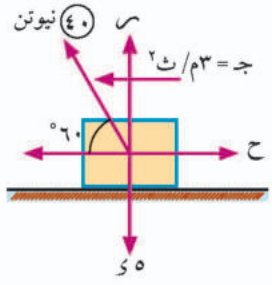
شكل (٦٧)

د



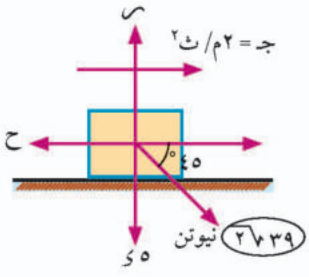
شكل (٦٨)

هـ



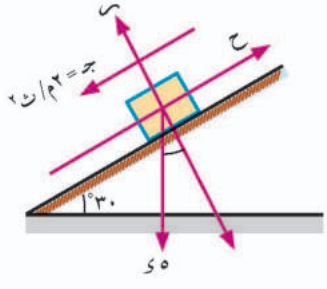
شكل (٦٩)

و



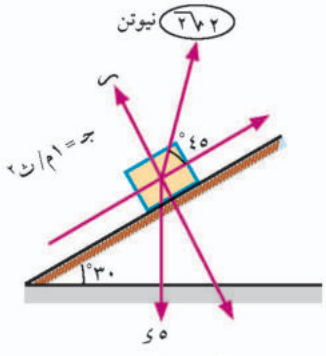
شكل (٧٠)

ز

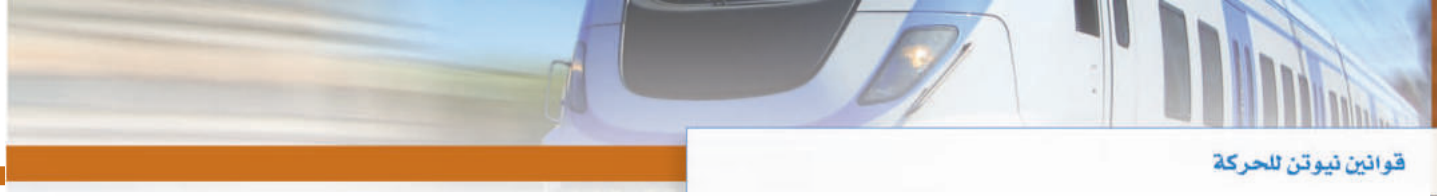


شكل (٧١)

ح



شكل (٧٢)



(١٢) يراد سحب جسم كتلته ١ طن على مستوى خشن يميل على الأفقى بزاوية قياسها هـ حيث ظا هـ = $\frac{٣}{٤}$ بواسطة قوة توازى المستوى فى اتجاه خط أكبر ميل لأعلى، أوجد معامل الاحتكاك الحركى بين الجسم والمستوى إذا كانت أقل قوة تحرك الجسم على المستوى مقدارها ١٤٠٠ ث كجم.

(١٣) جسم كتلته ٢ كجم موضوع على مستوى أفقى خشن، معامل الاحتكاك الحركى بين الجسم والمستوى $\frac{١}{٢}$، أوجد القوة الأفقية التى تجعله يتحرك بعجلة منتظمة جـ حيث:

(أ) جـ = ٥م/ث^{٢} (ب) جـ = ١م/ث^{٢}

(١٤) جسم وزنه ١٠ ث كجم موضوع على مستوى أفقى خشن، أثرت عليه قوة قدرها ٣٧ نيوتن، فحركته على المستوى الأفقى بعجلة منتظمة قدرها $\frac{٥}{٤}$ م/ث^{٢}، أوجد معامل الاحتكاك الحركى بين الجسم والمستوى.

(١٥) جسم كتلته ٢ كجم موضوع على مستوى مائل خشن، يميل على الأفقى بزاوية قياسها ٣٠°، أثرت عليه قوة أفقية مقدارها ٢٠ نيوتن نحو المستوى، فتحرك الجسم بسرعة منتظمة، أوجد معامل الاحتكاك الحركى بين الجسم والمستوى.

(١٦) ينزلق جسم على مستوى خشن يميل على الأفقى بزاوية قياسها ٤٥°، فإذا كان معامل الاحتكاك الحركى بين الجسم والمستوى يساوى $\frac{٣}{٤}$. أثبت أن الزمن الذى يقطع فيه الجسم أى مسافة يساوى ضعف الزمن الذى يقطع فيه نفس المسافة لو أن المستوى كان أملسًا ، وبفرض أن الجسم بدأ الانزلاق من السكون فى الحالتين.