LECTURES IN GENERAL PHYSICS

Part One

Mechanics

Principles and Applications

Dr. Ammar Nadal Shareef

Assistant Professor of Physics
AlMuthanna University –
Science Dept.

أهمية علم الفيزياء

إن تطور علم الفيزياء هو نتيجة طبيعية لحاجة الإنسان إلى إيجاد تفسير للظواهر الطبيعية وفهم سلوكها والقوى المؤثرة عليها من خلال استنباط قوانين ترتبط ببعضها. إن التطور التكنولوجي الملحوظ في جميع المجالات سواء في الطب أو الهندسة أو الفضاء أو الاتصالات أو الكمبيوتر وغيرها ما هو إلا تطبيقات لنتائج أبحاث واكتشافات فيزيائية. فعلى سبيل المثال علم الفيزياء هو علم أساسي في مجال الطب يستخدم في تشخيص المرض سواء كان باستخدام أشعة اكس أو النظائر المشعة أو الرنين المغناطيسي أو الأمواج فوق الصوتية حيث تعتبر جميعها تطبيقات لأبحاث واكتشافات فيزيائية ولا يمكن أن يكون هناك علاج بدون تشخيص فكلما تطورت وسائل التشخيص أمكن القضاء على أمراض كانت فتاكة، أما الهندسة بجميع فروعها ومجالاتها فهي تطبيق عملي لعلم الفيزياء فمثلا تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية أساسها قوانين فيزيائية استخدمها المهندسون الميكانيكيون في تصميم وسيلة النقل والمحرك منذ زمن بعيد. أما بالنسبة لمجال الاتصالات فقد شهد تطورا ملحوظا مع تطور الاكتشافات الفيزيائية فقد أدى اكتشاف الكهرباء وفهم قوانينها إلى استخدامها كوسيلة للاتصالات عن طريق إرسال المعلومات على شكل نبضات كهربائية خلال الأسلاك النحاسية. وبعد اكتشاف الفيزيائيين لأشعة الليزر والألياف الضوئية تحولت تكنولوجيا الاتصالات من استخدام الكهرباء إلى استخدام الضوء لما في ذلك من ميزات تفوق سابقتها بكثير. أما بالنسبة إلى علم الكمبيوتر فهو مثال واضح للتطبيقات الفيزيائية فبعد فهم طبيعة المواد وخواصها الكهربية ومن ثم اكتشاف أشباه الموصلات أصبحت هذه المواد البنية الأساسية للدوائر الإلكترونية للكمبيوتر، ولا شك أن التقدم الملحوظ في تكنولوجيا صناعة الكمبيوتر هو نتيجة للتقدم في الأبحاث والاكتشافات الفيزيائية فمثلا احتلت الشاشات التي تستخدم البلورات السائلة محل الشاشات التقليدية فأصبح الكمبيوتر بكل إمكاناته بحجم كتاب صغير.

من هذه الأمثلة ندرك أن علم الفيزياء هو علم أساسي لفهم باقي العلوم وتطويرها وقد أدركت الدول المتقدمة أهمية علم الفيزياء فشجعت على دراسته وأولته اهتماما كبيرا من حيث دعم الأبحاث العلمية وتشجيعها في مختلف المجالات الفيزيائية.

INTRODUCTION: PHYSICS AND MEASUREMENTS

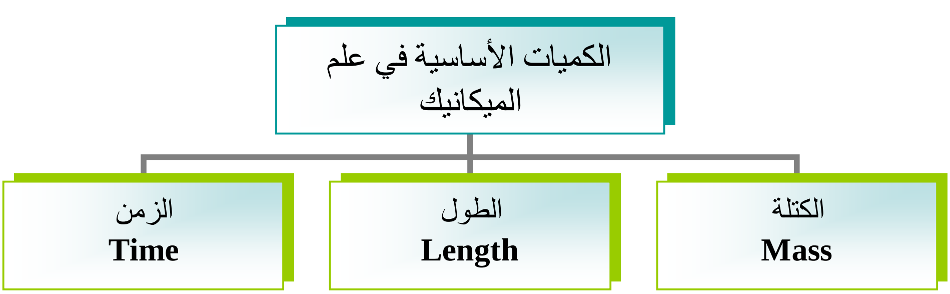
1.1 Physics and Measurements

علم الفيزياء هو علم تجريبي يهتم بكشف أسرار الطبيعة، فكل شيء نعرفه عن هذا الكون وعن القوانين التي تحكمه تم التوصل إليها عن طريق القياسات والملاحظات لأي ظاهرة طبيعية. ويعرف علم الفيزياء أيضاً بأنه علـــم القيـــاس ***Science of measurements*** يقول العالم الشهير كلفن "عندما تستطيع قياس ما تتكلم عنه وتعبر عنه بالأرقام فإنـــك إذاً تعرف شيئاً عنه، ولكنها عندما لا تستطيع التعبير عنه بالأرقام فإن معرفتك في هذه الحالة غير كافية ولكن تعتبر البداية".

1.2 Physical Quantity

لتعريف الكمية الفيزيائية *Physical Quantity* فإنه يجب أولا أن نعرف طريقة قيـــاس هذه الكمية أو طريقة حسابها رياضياً من كميات أخرى. فعلى سبيل المثال يمكن تعريـــف المسافة والزمن بواسطة وصف الطريقة التي يمكن أن نقيس كلاً منهما، وبالتـــالي يمكـــن تعريف سرعة جسم متحرك بواسطة حساب حاصل قسمة المسافة على الزمن. في هـــذه الحالة فإن كلاً من المسافة والزمن هما كميتان فيزيائيتان أساسيتان بينما السرعة فهي كمية فيزيائية مشتقة *Derived Physical Quantity*.

تسمى هذه الطريقة من التعريـــف بـــالتعريف الإجرائـــي *Operational Definition*. وبالتالي تعتمد على وصف طريقة القياس لأية كمية فيزيائية. هناك كميات فيزيائية كثيرة تعتمد على هذه الطريقة من التعريف وهذه هي الكميات الأساسية فمثلاً في علم الميكانيكا فإن الكميات الأساسية التي سنستخدمها هي الكتلة والطول والزمن.



1.3 Unit systems

Two systems of units are widely used in the world, the metric and the British systems. The metric system measures the length in meters whereas the British system makes use of the foot, inch, ….. The metric system is the most widely used. Therefore the metric system will be used in this book.

By international agreement the metric system was formalized in 1971 into the *International System of Units* (SI). There are seven basic units in the SI as shown in table 1.3. "*For this book only three units are used, the meter, kilogram, and second*".

Quantity	Name	Symbol
Length	meter	m
Mass	kilogram	kg
Time	second	s
Temperature	kelvin	K
Electric current	ampere	A
Number of particles	mole	mol
Luminous intensity	candela	cd

Mass

The SI unit of mass is the *Kilogram*, which is defined as the mass of a specific platinum-iridium alloy cylinder.

Time

The SI unit of time is the *Second*, which is the time required for a cesium-133 atom to undergo 9192631770 vibrations.

Length

The SI unit of length is Meter, which is the distance traveled by light is vacuum during a time of 1/2999792458 second.

1.3.1 Units of Length

تعتبر وحدة قياس المسافة (الكيلومتر) كبيرة في بعض الأحيان فمثلاً لقياس طول غرفـــة الدراسة أو قياس مسافة عرض الشارع فإنه يمكن استخدام وحدات مشتقة مثل المتـــر أو

السنتمتر أو الميليمتر، أما في حالة قياس مسافات ذرية فإننا نستخدم وحدات أصغر مثـل الأنجسترم. الجدول التالي يوضح قيمة وحدات المسافة المشتقة بالمتر.

1	kilometer	(km)	$=10^{3}$m
1	decimeter	(dm)	$=10^{-1}$m
1	centimeter	(cm)	$=10^{-2}$m
1	millimeter	(mm)	$=10^{-3}$m
1	micrometer	(μm)	$=10^{-6}$m
1	nanometer	(nm)	$=10^{-9}$m
1	angstrom	(Å)	$=10^{-10}$m
1	picometer	(pm)	$=10^{-12}$m
1	femtometer	(fm)	$=10^{-15}$m

1.3.2 Power of ten prefixes

كثيراً ما تكون الوحدات الأساسية (الكيلومتر والكيلوجرام والثانية) إما صغيرة أو كبيـرة نسبة لما نقوم بقياسه من كميات فيزيائية لذا فقد تم تسمية وحدات عملية أخري موضـحة في الجدول التالي:

number	prefix	Abbreviation
10^{18}	exa-	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera-	T
10^{9}	giga-	G
10^{6}	mega-	M
10^{3}	kilo-	K
10^{-2}	centi-	C
10^{-3}	milli-	M
10^{-6}	micro-	μ
10^{-9}	nano-	N
10^{-12}	pico-	P
10^{-15}	femto-	F
10^{-18}	atto-	A

1.4 Derived quantities

All physical quantities measured by physicists can be expressed in terms of the three basic unit of length, mass, and time. For example,

speed is simply length divided by time, and the ***force*** is actually mass multiplied by length divided by time squared.

$$[\text{Speed}] = L/T = LT^{-1}$$

$$[\text{Force}] = ML/T^2 = MLT^{-2}$$

where [Speed] is meant to indicate the unit of speed, and M, L, and T represents mass, length, and time units.

1.5 Dimensional Analysis

The word dimension in physics indicates the physical nature of the quantity. For example the distance has a dimension of ***length***, and the speed has a dimension of ***length/time***.

The dimensional analysis is used to check the formula, since the dimension of the left hand side and the right hand side of the formula must be the same.

تستخدم تحليل الأبعاد Dimensional Analysis في التأكد من صحة المعادلات والعلاقات الرياضية المشتقة في الفيزياء حيث أن وحدة الطرف الأيمن للمعادلة يجب أن يساوي وحدة الطرف الأيسر للمعادلة، وإلا فإن المعادلة غير صحيحة.

Example 1.1

Using the dimensional analysis check that this equation $x = ½\, at^2$ is correct, where x is the distance, a is the acceleration and t is the time.

Solution

$$x = ½\, at^2$$

الطرف الأيسر للمعادلة له بعد طول، ولكي تكون المعادلة صحيحة فإن الطرف الأيمن يجب أن يكون له بعد طول أيضاً، وللتحقق من صحة المعادلة نستخدم تحليل الأبعاد لطرفي المعادلة.

$$L = \frac{L}{T^2} \times T^2 = L$$

This equation is correct because the dimension of the left and right side of the equation have the same dimensions.

Example 1.2

Show that the expression $v = v_o + at$ is dimensionally correct, where v and v_o are the velocities and a is the acceleration, and t is the time

Solution

The right hand side

$$[v] = \frac{L}{T}$$

The left hand side

$$[at] = \frac{L}{T^2} \times T = \frac{L}{T}$$

Therefore, the expression is dimensionally correct.

Example 1.3

Suppose that the acceleration of a particle moving in circle of radius r with uniform velocity v is proportional to the r^n and v^m. Use the dimensional analysis to determine the power n and m.

Solution

Let us assume a is represented in this expression

$$a = k\, r^n v^m$$

Where k is the proportionality constant of dimensionless unit.

The right hand side

$$[a] = \frac{L}{T^2}$$

The left hand side

$$[k\ r^n\ v^m] = L^n \left(\frac{L}{T}\right)^m = \frac{L^{n+m}}{T^m}$$

therefore

$$\frac{L}{T^2} = \frac{L^{n+m}}{T^m}$$

hence

n+m=1 and m=2

Therefore. n =-1 and the acceleration a is

$$a = k\, r^{-1} v^2$$

k = 1

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

جامعة المثنى

كلية التربية الأساسية

قسم العلوم/ المرحلة الأولى

الفيزياء العامة/ المحاضرة الأولى

م.م زيد سعود رزاق

القياسات في الفيزياء

إن أفضل من عبر عن أهمية القياس الدقيق في الفيزياء هو العالم البريطاني اللورد كلفن في رأي مأثور له نقتطف منه : (غالبا ما أقول إنك عندما تستطيع قياس ما تتحدث عنه وتعبر عنه بالأرقام ، فإنك تعلم شيئا عنه ، لكن عندما لا تستطيع أن تعبر عنه بالأرقام ، فإن معرفتك تكون من النوع الضئيل غير المرضي ، ويمكن أن يكون ذلك بداية المعرفة ، لكنك مهما يكن الأمر فنادرا ماتكون قد تقدم في أفكارك إلى مرحلة العلم) . في الفيزياء لا ينبغي فقط أن نكون قادرين على وصف الأشياء بل يجب أن نعبر عنها بالأرقام والوحدات المناسبة . وفي الواقع إن علم الفيزياء لم يكن ليصل إلى ما وصل إليه من دور ريادي في تحقيق الانجازات العلمية والتكنولوجية لو لم يكن علما مضبوطا ، وهذا لا يأتي إلا من القياسات الدقيقة . وفي الحقيقة إن القياسات الدقيقة كانت السبب الرئيسي في دعم أو دحض النظريات كما أنها كانت العامل الأساس في العديد من الاكتشافات العلمية . وهكذا تتضح أهمية القياسات في الفيزياء . إن جميع المسائل النظرية والعملية في الفيزياء تحتم التعامل مع كميات مقاسة ، لذلك يجب على الطالب إدراك أهمية القياسات الدقيقة واستيعاب دلالاتها إن قياس أي شيء يعني التعبير عنه بدلالة رقم ووحدة قياس مناسبة ومتفق عليها ، وهذه الوحدة القياسية يجب أن تكون من نفس نوع الشيء المطلوب قياسه . فمثلا المسافة بين نقطتين يجب أن تقاس بوحدة المسافة أو وحدة طول مناسبة . والفترة الزمنية بين حدثين يجب أن تقاس بوحدة زمن مناسبة . وهنالك نظم قياس عديدة إلا أن أهمها على الأطلاق هو النظام الدولي للوحدات الذي اتفق عليه عالميا في عام 1960 ومنذ ذلك الحين أصبح هذا النظام معتمدا دوليا لجميع الأغراض العلمية والتكنولوجية والصناعية والتجارية - وفق هذا النظام هنالك ست وحدات أساسية ، وهي مبينة في الجدول (1)

بالأضافة لهذه الوحدات هنالك وحدتان مكملتان هما الزاوية المستوية والزاوية المجسمة . ومن الوحدات الأساسية والمكملة يمكن اشتقاق جميع وحدات القياس في الفيزياء . وقد روعي عند وضع هذه الوحدات أن تكون لها مضاعفات وأجزاء وفق النظام العشري ليسهل ربطها بعلاقات بسيطة ولكي تكون الحسابات سهلة. والمضاعفات والأجزاء المعتمدة في النظام الدولي للوحدات هي مبينة في الجدول . (4)

وسنقتصر في هذا الفصل على استخدام الوحدات الأساسية للطول والكتلة والزمن لأنها تسد حاجة هذا الفصل ، أما الوحدات الأخرى فسنتطرق لها عند الحاجة في الفصول اللاحقة أن كل كمية في الفيزياء تقاس بدلالة واحدة فقط من هذه الوحدات تعتبر كمية أساسية . مثال ذلك المسافة بين نقطتين تقاس بالمتر وكتلة الجسم تقاس بالكيلو غرام وطول النهار يقاس بالثانية . ويفضل دائما اختيار وحدة القياس التي لاتختلف كثيرا عن الشيء المطلوب قياسه . ولهذا الغرض يمكن الاستفادة من أجزاء ومضاعفات الوحدات القياسية المبينة في الجدول (2) . فعلى سبيل المثال لا يفضل قياس طول القلم بل بأجزاء المتر كالسنتيمتر (1 متر = 100 سنتمتر) وكذلك المسافة بين مدينتين لا يفضل أن تقاس بوحدة المتر بل بمضاعفات المتر كالكيلومتر (1 كيلومتر = 1000 متر) وكذلك يفضل قياس طول النهار بالساعات وليس بالثواني (24 ساعة = 86400 ثانية) . إن كل كمية تقاس بدلالة أكثر من وحدة واحدة من الوحدات الأساسية تعتبر كمية مشتقة مثال ذلك المساحة السطحية لأي جسم تقاس بالمتر المربع لأنها ناتجة من حاصل ضرب وحدة الطول في نفسها ، وسرعة الجسم تقاس بالمتر لكل ثانية وهي كمية مشتقة لأنها ناتجة عن قسمة وحدة الطول على وحدة الزمن . وكثافة المادة تقاس بالكيلو غرام لكل متر مكعب وهي لذلك كمية مشتقة أيضا لأنها ناتجة من قسمة وحدة الكتلة على وحدة الحجم وهكذا يمكن استنتاج أن جميع الكميات غير الأساسية هي كميات مشتقة لقد كان واضحا أن الوحدة المستخدمة للقياس سواء كانت أساسية أو مشتقة تدل على طبيعة الكمية المقاسة ، وعليه فإن أي مقدار رقمي مالم يكن متبوعا بوحدة قياس مناسبة فإنه يبقى رقم مجرد مجهول الهوية ، إن لم يذكر سبب ذلك . ولذلك أن يكون هناك قاعدة عامة لدى كل طالب أن يهتم بالوحدات بنفس اهتمامه بالأرقام التي تمثل الكميات التي يتعامل معها في أي مسألة يعالجها نظريا أو عمليا وفيما يأتي توضيح مفصل للوحدات الأساسية و المشتقة من الوحدات الأساسية .

جدول الوحدات الفيزيائية

وحدات القياس

النظام الدولي للوحدات

System International Unites

الوحدات العالمية (S I Units)

يتألف النظام الدولي للوحدات من:

- وحدات أساسية (جدول1)
- وحدات مكملة (جدول 2)
- وحدات مشتقة (جدول 3 أ)
- وحدات مشتقة أطلق على بعضها أسماء خاصة (جدول 3 ب,ج)
- بادئات لتكوين المضاعفات والأجزاء العشرية (جدول4)
- وحدات من خارج النظام الدولي للوحدات أجيز استخدامها (جدول5)
- وحدات تستخدم مع النظام الدولي للوحدات ولا ينصح باستخدامها

*حسب المواصفة الدولية
(ايزو) رقم 1000 لعام 1992 أصبحت الوحدتان المكملتان (الراديان والستيراديان).

جدول (1): الوحدات الأساسية

Symbol	الرمز	SI unit	الوحدة	Quantity	الكمية
m	م	meter	متر	Length	الطول
kg	كجم	kilogram	كيلو غرام	Mass	الكتلة
s	ث	second	ثانية	Time	الزمن
A	أ	ampere	أمبير	Electric current	التيار الكهربائي
K	ك	kelvin	كلفن	Thermodynamic temperature	درجة الحرارة
mol	مول	mole	مول	Amount of substance	كمية المادة
cd	قد	candela	قنديلة	Luminous	شدة الإضاءة

جدول (2): الوحدات المكملة

Symbol	الرمز	SI unit	الوحدة	Quantity	الكمية
rad	راد	radian	راديان	Plane angle	الزاوية المستوية
sr	سر	steradian	ستراديان	Solid angle	الزاوية المجسمة

* تكتب الوحدة بعد ترك مسافة واحدة بينها وبين مقدار الكمية المقاسة . مثال: ل = 10 م , (L = 10 m)

جدول (3- أ): الوحدات المشتقة

Symbol	الرمز	SI unit	الوحدة	Quantity	الكمية
m^2	م^2	square meter	متر مربع	Area	المساحة
m^3	م^3	cubic meter	متر مكعب	Mass	الحجم
Kg/m^3	كجم/م^3	Kilogram/cubic meter	كيلوجرام/ المتر المكعب	Mass density	الكثافة
m/s rad/s	م/ث ر	meter/second rad/second	متر/ثانية راد/ثانية	Velocity Angular velo.	السرعة الخطية السرعة الزاوية
m/s^2	م/ث^2	Meter/second^2	متر/ثانية^2	Acceleration	العجلة

الكميات الأساسية تكتب بالمعادلة كرمز, هذا الرمز اختياري وقد تكتب بالمعادلة بما هو متعارف عليه **ولكن __رموز__ __الكميات__ يجب أن تكتب كما هو موضح بالمقال دون عمل أي تغيير أو تعديل.**

مثال:

حجم الغرفة يساوي 60 متر مربع, ح أو س أو.... = 60 **م^2**, (V or v or …. = 60 **m^2**)

جدول (3- ب): الوحدات المشتقة الأسمية (ذات الأسماء الخاصة)

Symbol	الرمز	SI unit	الوحدة	Quantity	الكمية
Hz	هز	hertz	هرتز	Frequency	التردد
N	ن	newton	نيوتن	Force, Weight	القوة, الوزن
Pa	با	pascal	باسكال	Pressure Stress	الضغط الإجهاد
J	ج	joule	جول	Energy, Work, Heat	الطاقة, الشغل, كمية الحرارة
W	و	watt	وات	Force,	القدرة
C	كل	coulomb	كولوم	Electric charge	الشحنة الكهربائية
V	ف	volt	فولت	Electric potential, Elect. pot. difference, electromotive force	الجهد الكهربائي, فرق الجهد, القوة الدافعة
F	فر	farad	فاراد	Capacitance	السعة الكهربائية
Ω	أوم	ohm	أوم	Electrical resistance	المقاومة الكهربائة
Wb	فب	weber	فيبر	Magnetic flux	التدفق المغناطيسي
T	ت	tesla	تسلا	Magnetic flux density	كثافة التدفق المغناطيس
H	هـ	henry	هنري	Inductance	الحث
lm	لم	lumen	لومن	Luminous flux	التدفق الضوئي
lx	لك	lux	لكس	Luminous emittance	شدة الإضاءة

العزم (Torque) = ن م (N m)

جدول (3- جـ): مكونات الوحدات الأساسية للوحدات المشتقة الأسمية (ذات الأسماء الخاصة)

الكمية	الوحدةالمستخدمة	الوحدة المستخدمة بالوحدات الأساسية
التردد	هرتز	1 هز = **1/ث**
	hertz	1 Hz = **1/s**
القوة	نيوتن	1 ن = 1 ج/م = **1 كجم م/ث^2**
	newton	1 N = 1 J/m = **1 kg m/s^2**
الضغط, الأجهاد	باسكال	1 با = 1 ن/م^2 = **1 كجم/م ث^2**
	pascal	1 Pa = 1 N/m^2= **1 kg/m s^2**
الطاقة, الشغل, كمية الحرارة	جول	1ج = 1 ن م = **1 كجم م^2/ث^2**
	joule	1 J = 1 N m = **1 kg m^2/s^2**
القدرة	وات	1 و = 1 ج/ث = 1 ن م/ ث = **1 كجم م^2/ث^3** 1 و = 1 ف أ = 1 ف^2/أوم = 1 أ^2 أوم
	watt	1 W = 1 J/s = 1 N m/s = **1 kg m^2/s^3** 1 W = 1 V A = 1 V^2/Ω = 1A^2 Ω
الجهد الكهربائي, فرق الجهد, القوة الدافعة	فولت	1 ف = 1 أ أوم = 1 و/أ = **1 كجم م^2/أ ث^3**
	volt	1 V = 1 A Ω = 1 W/A = **1kg m^2/A s^3**
الشحنةالكهربائية	كولوم	1 كل = **1 أ ث**
	coulomb	1 C = **1 A s**
السعة الكهربائية	فاراد	1 فر = 1 أ ث/ف = 1 و ث/ف^2 = 1 كل/ف =1 ث/أوم = **1 ث^4 أ^2/م^2 كجم**
	farad	1 F = 1 A s/V = 1 W s/V^2 = 1 C/V = 1 s/Ω = **1 s^4 A^2/m^2 kg**
المقاومةالكهربائية	أوم	1 أوم = 1 ف/أ = **1 كجم م^2/ث^3 أ^2**
	ohm	1 Ω = 1 V/A = **1 kg m^2/s^3 A^2**
التدفق المغناطيسي	فيبر	1 فب = 1 ف ث = 1 ت م^2 = **1 كج م^2/ث^2 أ**
	weber	1 Wb = 1 V s = 1 T m^2 = **1 kg m^2/s^2 A**
كثافة التدفق المغناطيسي	تسلا	1 ت = 1فب/م^2 = 1 ف ث/م^2 = **1 كجم/أ ث^2**
	tesla	1 T = 1 Wb/m^2 = 1 V s/m^2 = **1 kg/A s^2**
الحث	هنري	1 هـ = 1 فب/أ = 1 ف ث/أ = 1 أوم ث = **1 م^2 كجم/ث^2 أ^2**
	henry	1 H = 1 Wb/A = 1 s^2/F = 1 Ω s = **1m^2 kg/s^2 A^2**
التدفق الضوئي	لومن	**1 لم = 1 قد سر**
	lumen	**1 lm = 1 cd sr**
شدة الإضاءة	لكس	1 لكس = 1 لم/م^2 = **1 قد سر/م^2**
	lux	1 lx = 1 lm/m^2 = **1 cd sr/m^2**

جدول (4): بادئات النظام الدولي SI unit prefixes

الرمز		أسم البادئه		العامل	القيمة
الدولي	العربي	الدولي	العربي		
T	تـ	tera	تيرا	$(10^3)^4 = 10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$	ترليون
G	جـ	giga	جيجا	$(10^3)^3 = 10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$	مليار
M	مجـ	mega	ميجا	$(10^3)^2 = 10^6 = 1\ 000\ 000$	مليون
k	كـ	kilo	كيلو	$(10^3) = 10^3 = 1\ 000$	ألف
h	هـ	hecto	هكتو	$10^2 = 100$	مائة
da	دا	deca	ديكا	10	عشرة
				1	واحد
d	د	deci	ديسي	$10^{-1} = 0.1$	جزء من عشرة
c	سـ	centi	سنتي	$10^{-2} = 0.01$	جزء من مائة
m	مـ	milli	ملي	$10^{-3} = 0.001$	جزء من ألف
μ	مكـ	micro	ميكرو	$(10^{-3})^2 = 10^{-6} = 0.000\ 001$	جزء من مليون
n	نـ	nano	نانو	$(10^{-3})^3 = 10^{-9} = 0.000\ 000\ 001$	جزء من بليون
p	بـ	pico	بيكو	$(10^{-3})^4 = 10^{-12} = 0.000\ 000\ 000\ 001$	جزء من ترليون

* اسم البادئة هو رمز يكتب قبل الوحدة الدولية سواء كانت أساسية أو مشتقة أو مشتقة أسمية , تكتب دون ترك مسافة بينها وبين رمز الوحدة الذي يليها.

أمثلة:

1كيلومتر = 1000متر,وتكتب 1 كم (1 km)

1 ميجا بسكال = 1 000 000 بسكال, وتكتب 1 مجبا (1 MPa)

1 سنتي متر = 0.01 متر, وتكتب 1 سم (1 cm)

جدول (5): وحدات من خارج النظام الدولي ويسمح باستخدامها مع الوحدات العالمية

Symbol	الرمز	SI unit	الوحدة	Quantity	الكمية
min	د	minute	دقيقة	Time	الزمن
h	سا	hour	ساعة		
O	O	degree	درجة	Angle	الزاوية المستوية
'	'	minute	دقيقة		
"	"	second	ثانية		
L, l	ل	liter	لتر	Volume	الحجم
t	طن	tonne	طن متري	Mass	الكتلة
rev/min	لفة/د	rev/min	دورة/دقيقة	Angular velocity	السرعة الزاوية
bar	بار	bar	بار	Pressure	الضغط
*atm	جوي	atm	جوي		

* 1 atm pressure = 1.01325 bar = 1.01325 x 10^5 Pa = 1.01325 x 10^5 N/m

* 1 Pa = 1 N/m^2 = 10^{-5} bar = 10.197×10^{-6} at = 9.8692×10^{-6} atm

وحدات تستخدم مع الوحدات العالمية ولا ينصح باستخدامها

السرعة الزاوية: rpm والبديل هو استخدام rev/min

الحجم: cc والبديل هو استخدام cm^3

وحدات بمجالات متخصصة

استهلاك الوقود (Fuel consumption): L/100 km

الاستهلاك النوعي للوقود (Specific fuel consumption): kg/kW h

الحرارة النوعية (Specific heat capacity): J/kg K

الوزن النوعي (Specific weight): N/m^3

1.6 Vector and Scalar

جميع الكميات الفيزيائية (أساسية أو مشتقة) يمكن تقسيمها إلى نوعين، الأول الكمية القياسية ***scalar*** والثانية الكمية المتجهة ***vector***. **الكمية القياسية** يمكن تحديدها بمقدارها فقط، مثل أن تقول أن كتلة جسم 5kg. أما **الكمية المتجهة** تحتاج إلى أن تحدد اتجاهها بالإضافة إلى مقدارها، مثل سرعة الرياح 10km/h غرباً.

في الجدول التالي قائمة ببعض الكميات القياسية والكميات المتجهة.

Vector Quantity	Scalar Quantity
Displacement	Length
Velocity	Mass
Force	Speed
Acceleration	Power
Field	Energy
Momentum	Work

1.7 Coordinate system

نحتاج في حياتنا العملية إلى تحديد موقع جسم ما في الفراغ سواءً كان ساكناً أم متحركاً، ولتحديد موقع هذا الجسم فإننا نستعين بما يعرف بالإحداثيات ***Coordinates***، وهناك نوعان من الإحداثيات التي سوف نستخدمها في هذا الكتاب وهما ***Rectangular coordinates*** و ***polar coordinates***.

1.7.1 The rectangular coordinates

The rectangular coordinate system in two dimensions is shown in Figure 1.1. This coordinate system is consist of a fixed reference point (0,0) which called the origin. A set of axis with appropriate scale and label.

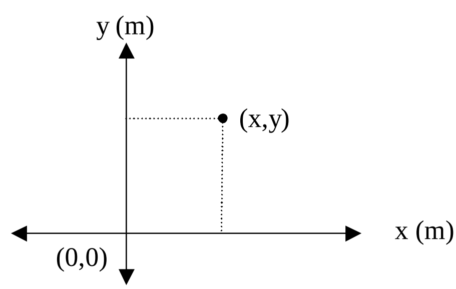


Figure 1.1

1.7.2 The polar coordinates

Sometimes it is more convenient to use the polar coordinate system (r,q), where r is the distance from the origin to the point of rectangular coordinate (x,y), and q is the angle between r and the x axis.

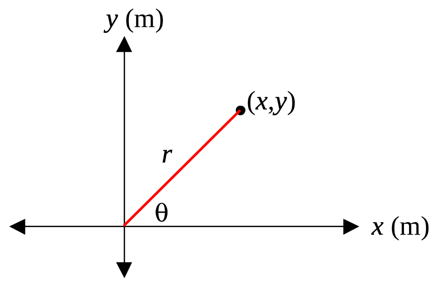


Figure 1.2

1.7.3 The relation between coordinates

The relation between the rectangular coordinates (x,y) and the polar coordinates (r,q) is shown in Figure 1.3, where,

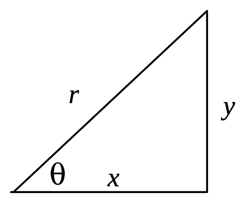


Figure 1.3

$$x = r\cos q \qquad (1.1)$$

And

$$y = r\sin q \qquad (1.2)$$

Squaring and adding equations (1.1) and (1.2) we get

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \qquad (1.3)$$

Dividing equation (1.1) and (1.2) we get

$$\tan q = \frac{x}{y} \qquad (1.4)$$

Example 1.4

The polar coordinates of a point are r = 5.5m and q =240^{o}. What are the Cartesian coordinates of this point?

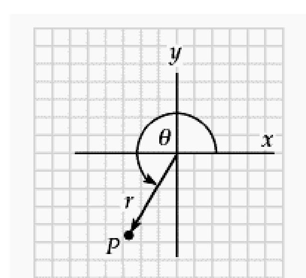


Figure 1.4

Solution

$x = r \cos \theta = 5.5 \times \cos 240^{o} = -2.75$ m

$y = r \sin \theta = 5.5 \times \sin 240^{o} = -4.76$ m

1.8 Properties of Vectors

1.8.1 Vector addition

Only vectors representing the same physical quantities can be added. To add vector $\vec{A}$ to vector $\vec{B}$ as shown in Figure 1.5, the resultant vector $\vec{R}$ is

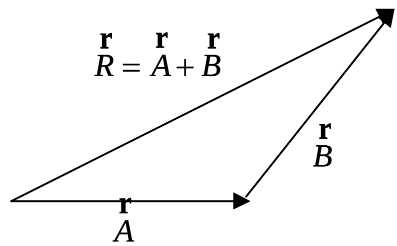


Figure 1.5

$$\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} \qquad (1.5)$$

Notice that the vector addition obeys the commutative law, *i.e.*

$$\vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A} \qquad (1.6)$$

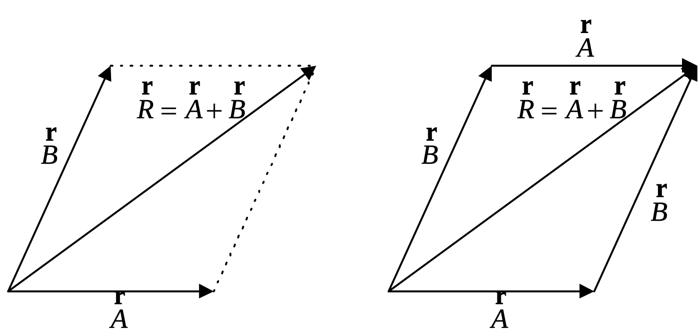


Figure 1.6

Notice that the vector addition obeys the associative law, *i.e.*

$$\vec{A} + (\vec{B} + \vec{C}) = (\vec{A} + \vec{B}) + \vec{C} \qquad (1.7)$$

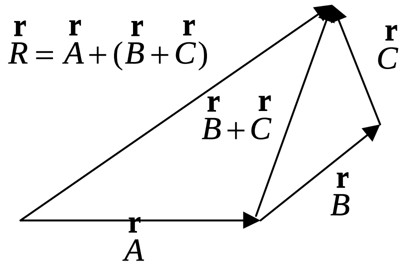


Figure 1.7

1.8.2 Vector subtraction

The vector subtraction $\vec{A} - \vec{B}$ is evaluated as the vector subtraction ***i.e.***

$$\vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B}) \qquad (1.8)$$

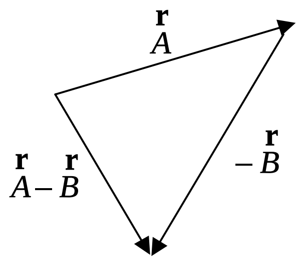


Figure 1.8

where the vector $-\vec{B}$ is the negative vector of $\vec{B}$

$$\vec{B} + (-\vec{B}) = 0 \qquad (1.9)$$

1.9 The unit vector

A unit vector is a vector having a magnitude of unity and its used to describe a direction in space.

المتجه $\vec{A}$ يمكن تمثيله بمقدار المتجه A ضرب متجه الوحدة $\boldsymbol{a}$ كالتالي

$$\vec{A} = \boldsymbol{a}\, A \qquad (1.10)$$

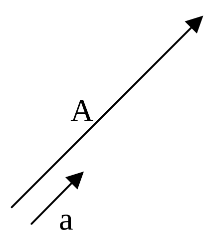


Figure 1.9

كذلك يمكن تمثيل متجهات وحدة (i, j, k) لمحـــاور الإســـناد المتعامـــدة rectangular coordinate system (x, y, z) كما في الشكل التالي:-

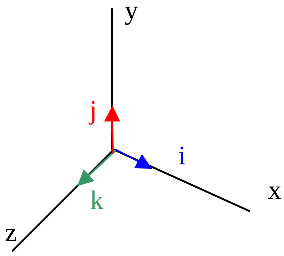


Figure 1.10

i ≡ a unit vector along the *x*-axis
j ≡ a unit vector along the *y*-axis
k ≡ a unit vector along the *z*-axis

1.10 Components of a vector

Any vector $\vec{A}$ lying in *xy* plane can be resolved into two components one in the *x*-direction and the other in the *y*-direction as shown in Figure 1.11

$$A_x = A\cos\theta \qquad (1.11)$$

$$A_y = A\sin\theta \qquad (1.12)$$

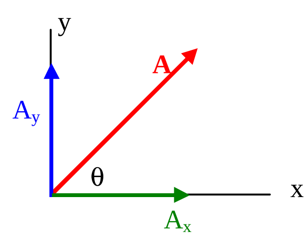


Figure 1.11

عند التعامل مع عدة متجهات فإننا نحتاج إلى تحليل كل متجه إلى مركباته بالنســـبة إلـــى محاور الإسناد (*x*,*y*) مما يسهل إيجاد المحصلة بدلاً من استخدام الطريقة البيانية لإيجـــاد المحصلة.

The magnitude of the vector $\vec{A}$

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} \qquad (1.13)$$

The direction of the vector to the *x*-axis

$$q = \tan^{-1} \frac{A_y}{A_x} \qquad (1.14)$$

A vector $\vec{A}$ lying in the *xy* plane, having rectangular components A_x and A_y can be expressed in a unit vector notation

$$\vec{A} = A_x i + A_y j \qquad (1.15)$$

ملاحظة: يمكن استخدام طريقة تحليل المتجهات في جمع متجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ كما في الشكل التالي:

$$\vec{A} = A_x i + A_y j$$
$$\vec{B} = B_x i + B_y j$$

$$\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} = (A_x + B_x)i + (A_y + B_y)j$$

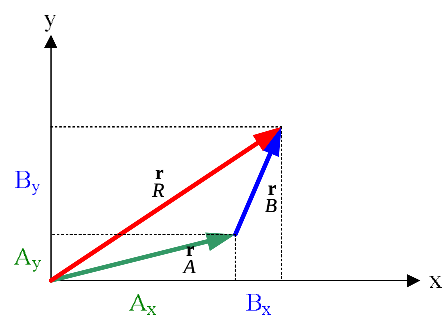


Figure 1.12

Example 1.5

Find the sum of two vectors $\vec{A}$ and $\vec{B}$ given by

$\vec{A} = 3i + 4j$ and $\vec{B} = 2i - 5j$

Solution

Note that A_x=3, A_y=4, B_x=2, and B_y=-5

$$\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} = (3+2)i + (4-5)j = 5i - j$$

The magnitude of vector $\vec{R}$ is

$$R = \sqrt{R_x^{\ 2} + R_y^{\ 2}} = \sqrt{25+1} = \sqrt{26} = 5.1$$

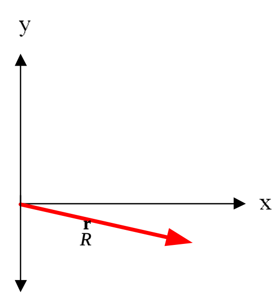


Figure 1.13

The direction of $\vec{R}$ with respect to x-axis is

$$\theta = \tan^{-1}\frac{R_y}{R_x} = \tan^{-1}\frac{-1}{5} = -11^o$$

Example 1.6

The polar coordinates of a point are r=5.5m and θ=240°. What are the rectangular coordinates of this point?

Solution

x=r cosθ = 5.5 × cos240 = -2.75 m

y=r sinθ = 5.5 × sin 240 = -4.76 m

Example 1.7

Vector $\vec{A}$ is 3 units in length and points along the positive x axis. Vector $\vec{B}$ is 4 units in length and points along the negative y axis. Use graphical methods to find the magnitude and direction of the vector (a) $\vec{A}+\vec{B}$, (b) $\vec{A}-\vec{B}$

Solution

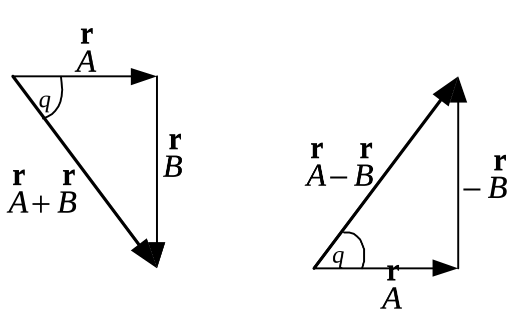


Figure 1.14

$|\vec{A}+\vec{B}| = 5$ $\qquad$ $|\vec{A}-\vec{B}| = 5$

$\theta = -53^{o}$ $\qquad$ $\theta = 53^{o}$

Example 1.8

Two vectors are given by $\vec{A} = 3i - 2j$ and $\vec{B} = -i - 4j$. Calculate (a) $\vec{A}+\vec{B}$, (b) $\vec{A}-\vec{B}$, (c) $|\vec{A}+\vec{B}|$, (d) $|\vec{A}-\vec{B}|$, and (e) the direction of $\vec{A}+\vec{B}$ and $|\vec{A}-\vec{B}|$.

Solution

(a) $\vec{A}+\vec{B} = (3i-2j)+(-i-4j) = 2i-6j$

(b) $\vec{A}-\vec{B} = (3i-2j)-(-i-4j) = 4i+2j$

(c) $|\vec{A}+\vec{B}| = \sqrt{2^2+(-6)^2} = 6.32$

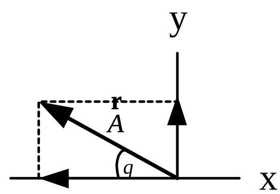
(d) $|\vec{A}-\vec{B}| = \sqrt{4^2+2^2} = 4.47$

(e) For $\vec{A}+\vec{B}$, $\theta = \tan^{-1}(-6/2) = -71.6^{o} = 288^{o}$

For $\vec{A}-\vec{B}$, $\theta = \tan^{-1}(2/4) = 26.6^{o}$

Example 1.9

A vector $\vec{A}$ has a negative x component 3 units in length and positive y component 2 units in length. (a) Determine an expression for $\vec{A}$ in unit vector notation. (b) Determine the magnitude and direction of $\vec{A}$. (c) What vector $\vec{B}$ when added to $\vec{A}$ gives a resultant vector with no x component and negative y component 4 units in length?



Solution

A_x = -3 units & A_y = 2 units

(a) $\vec{A} = A_x i + A_y j = -3i+2j$ units

(b) $\left|\vec{A}\right| = \sqrt{A_x^{\,2} + A_y^{\,2}} = \sqrt{(-3)^2 + (2)^2} = 3.61\ units$

$\theta = \tan^{-1}(2/-3) = 33.7^o$ (relative to the –x axis)

(c) $R_x = 0$ & $R_y = -4$; since $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B},\ \ \vec{B} = \vec{R} - \vec{A}$

$B_x = R_x - A_x = 0-(-3) = 3$

$B_y = R_y - A_y = -4-2 = -6$

Therefore,

$$\vec{B} = B_x i + B_y j = (3i - 6j)\ \ units$$

Example 1.10

A particle moves from a point in the *xy* plane having rectangular coordinates (-3,-5)m to a point with coordinates (-1,8)m. (a) Write vector expressions for the position vectors in unit vector form for these two points. (b) What is the displacement vector?

Solution

(a) $\vec{R}_1 = x_1 i + y_1 j = (-3i - 5j)m$

$\vec{R}_2 = x_2 i + y_2 j = (-i + 8j)m$

(b) Displacement = $\Delta\vec{R} = \vec{R}_2 - \vec{R}_1$

$$\Delta\vec{R} = (x_2 - x_1)i + (y_2 - y_1)j = -i - (-3i) + 8j - (-5j) = (2i + 13j)m$$

1.11 Product of a vector

There are two kinds of vector product the first one is called scalar product or dot product because the result of the product is a scalar quantity. The second is called vector product or cross product because the result is a vector perpendicular to the plane of the two vectors.

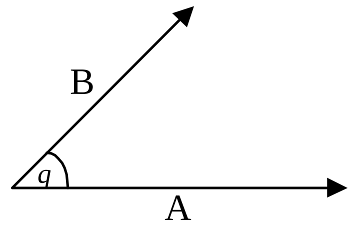


Figure 1.15

ينتج من الضرب القياسي كمية قياسية وينتج من الضرب الإتجاهي كمية متجهة

1.11.1 The scalar product

يعرف الضرب القياسي scalar product بالضرب النقطي dot product وتكون نتيجة الضرب القياسي لمتجهين كمية قياسية، وتكون هذه القيمة موجبة إذا كانت الزاوية المحصورة بين المتجهين بين 0 و 90 درجة وتكون النتيجة سالبة إذا كانت الزاوية المحصورة بين المتجهين بين 90 و 180 درجة وتساوي صفراً إذا كانت الزاوية 90.

$$\vec{A}.\vec{B} = +\text{ve when } 0 \geq \theta > 90^o$$

$$\vec{A}.\vec{B} = -\text{ve when } 90^o < \theta \leq 180^o$$

$$\vec{A}.\vec{B} = \text{zero when } \theta = 0$$

يعرف الضرب القياسي لمتجهين $\vec{A}, \vec{B}$ بحاصل ضرب مقدار المتجه الأول $\vec{A}$ في مقدار المتجه الثاني $\vec{B}$ في جيب تمام الزاوية المحصورة بينهما.

$$\vec{A}.\vec{B} = |A||B|\cos\theta \qquad (1.16)$$

يمكن إيجاد قيمة الضرب القياسي لمتجهين باستخدام مركبات كل متجه كما يلي:

$$\vec{A} = A_x i + A_y j + A_z k \qquad (1.17)$$

$$\vec{B} = B_x i + B_y j + B_z k \qquad (1.18)$$

The scalar product is

$$\vec{A}.\vec{B} = (A_x i + A_y j + A_z k).(B_x i + B_y j + B_z k) \qquad (1.19)$$

بضرب مركبات المتجه $\vec{A}$ في مركبات المتجه $\vec{B}$ ينتج التالي:

$$\begin{aligned}\vec{A}.\vec{B} = (&A_x i.B_x i + A_x i.B_y j + A_x i.B_z k \\ &+ A_y j.B_x i + A_y j.B_y j + A_y j.B_z k \\ &+ A_z k.B_x i + A_z k.B_y j + A_z k.B_z k)\end{aligned} \qquad (1.20)$$

Therefore

$$\therefore \vec{A}.\vec{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z \qquad (1.21)$$

The angle between the two vectors is

$$\cos\theta = \frac{\vec{A}.\vec{B}}{|A||B|} = \frac{A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z}{|A||B|} \qquad (1.22)$$

Example 1.11

Find the angle between the two vectors

$$\vec{A} = 2i + 3j + 4k \,, \quad \vec{B} = i - 2j + 3k$$

Solution

$$\cos\theta = \frac{A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z}{|A||B|}$$

$$A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z = (2)(1)+(3)(-2)+(4)(3)=8$$

$$|A| = \sqrt{2^2 + 3^2 + 4^2} = \sqrt{29}$$

$$|B| = \sqrt{1^2 + (-2)^2 + 3^2} = \sqrt{14}$$

$$\cos\theta = \frac{18}{\sqrt{29}\sqrt{14}} = 0.397 \Rightarrow \theta = 66.6^o$$

1.11.2 The vector product

يعرف الضرب الاتجاهي *vector product* بـــ *cross product* وتكون نتيجة الضرب الاتجاهي لمتجهين كمية متجهة. قيمة هذا المتجه $\vec{C}=\vec{A}\times\vec{B}$ واتجاهه عمودي على كل من المتجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ وفي اتجاه دوران بريمة من المتجه $\vec{A}$ إلى المتجه $\vec{B}$ كما فـــي الشكل التالي:

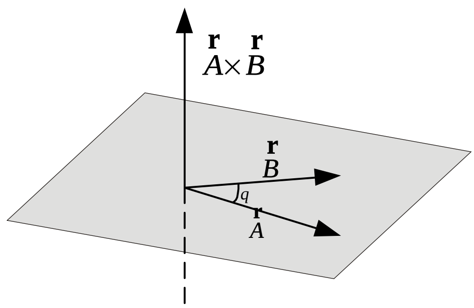


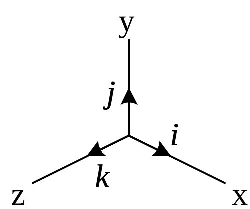
Figure 1.16

$$\vec{A}\times\vec{B}=AB\sin\theta \tag{1.23}$$

$$\vec{A}\times\vec{B}=\left(A_x i+A_y j+A_z k\right)\times\left(B_x i+B_y j+B_z k\right) \tag{1.24}$$

To evaluate this product we use the fact that the angle between the unit vectors *i*, *j* , *k* is 90°.

$$\begin{array}{lll} i\times i=0 & i\times j=k & i\times k=-j \\ j\times j=0 & j\times k=i & j\times i=-k \\ k\times k=0 & k\times i=j & k\times j=-i \end{array}$$



$$\vec{A}\times\vec{B}=\left(A_yB_z-A_zB_y\right)i+\left(A_zB_x-A_xB_z\right)j+\left(A_xB_y-A_yB_x\right)k \tag{1.25}$$

If $\vec{C}=\vec{A}\times\vec{B}$, the components of $\vec{C}$ are given by

$$C_x=A_yB_z-A_zB_y$$
$$C_y=A_zB_x-A_xB_z$$
$$C_z=A_xB_y-A_yB_x$$

Example 1.12

If $\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B}$, where $\vec{A} = 3i - 4j$, and $\vec{B} = -2i + 3k$, what is $\vec{C}$?

Solution

$$\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B} = (3i - 4j) \times (-2i + 3k)$$

which, by distributive law, becomes

$$\vec{C} = -(3i \times 2i) + (3i \times 3k) + (4j \times 2i) - (4j \times 3k)$$

Using equation (123) to evaluate each term in the equation above we get

$$\vec{C} = 0 - 9j - 8k - 12i = -12i - 9j - 8k$$

The vector $\vec{C}$ is perpendicular to both vectors $\vec{A}$ and $\vec{B}$.

1.12 Problems

[1] Show that the expression $x=vt+1/2at^2$ is dimensionally correct, where x is a coordinate and has units of length, v is velocity, a is acceleration, and t is time.

[2] Which of the equations below are dimensionally correct?

(a) $v = v_o+at$

(b) $y = (2\text{m})\cos(kx)$,

where $k = 2\ \text{m}^{-1}$.

[3] Show that the equation $v^2 = v_o^2 + 2at$ is dimensionally correct, where v and v_o represent velocities, a is acceleration and x is a distance.

[4] The period T of simple pendulum is measured in time units and given by

$$T = 2p\sqrt{\frac{l}{g}}$$

where l is the length of the pendulum and g is the acceleration due to gravity. Show that the equation is dimensionally correct.

[5] Suppose that the displacement of a particle is related to time according to the expression $s = ct^3$. What are the dimensions of the constant c?

[6] Two points in the xy plane have Cartesian coordinates (2, -4) and (-3, 3), where the units are in m. Determine (a) the distance between these points and (b) their polar coordinates.

[7] The polar coordinates of a point are r = 5.5m and q = 240°. What are the cartisian coordinates of this point?

[8] A point in the xy plane has cartesian coordinates (-3.00, 5.00) m. What are the polar coordinates of this point?

[9] Two points in a plane have polar coordinates (2.5m, 30°) and (3.8, 120°). Determine (a) the cartisian coordinates of these points and (b) the distance between them.

[10] A point is located in polar coordinate system by the coordinates r = 2.5m and q =35°. Find the x and y coordinates of this point, assuming the two coordinate system have the same origin.

[11] Vector $\overset{r}{A}$ is 3.00 units in length and points along the

positive x axis. Vector $\vec{B}$ is 4.00 units in length and points along the negative y axis. Use graphical methods to find the magnitude and direction of the vectors (a) $\vec{A} + \vec{B}$, (b) $\vec{A} - \vec{B}$.

[12] A vector has x component of -25 units and a y component of 40 units. Find the magnitude and direction of this vector.

[13] Find the magnitude and direction of the resultant of three displacements having components (3,2) m, (-5, 3) m and (6, 1) m.

[14] Two vector are given by $\vec{A} = 6i - 4j$ and $\vec{B} = -2i+5j$. Calculate (a) $\vec{A}+\vec{B}$, (b) $\vec{A}-\vec{B}$, $|\vec{A}+\vec{B}|$, (d) $|\vec{A}-\vec{B}|$, (e) the direction of $\vec{A}+\vec{B}$ and $\vec{A}-\vec{B}$.

[15] Obtain expressions for the position vectors with polar coordinates (a) 12.8m, 150^o; (b) 3.3cm, 60^o; (c) 22cm, 215^o.

[16] Find the x and y components of the vector $\vec{A}$ and $\vec{B}$ shown in Figure 1.17. Derive an expression for the resultant vector $\vec{A}+\vec{B}$ in unit vector notation.

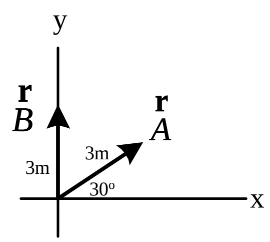


Figure 1.17

[17] A vector $\vec{A}$ has a magnitude of 35 units and makes an angle of 37^o with the positive x axis. Describe (a) a vector $\vec{B}$ that is in the direction opposite $\vec{A}$ and is one fifth the size of $\vec{A}$, and (b) a vector $\vec{C}$ that when added to $\vec{A}$ will produce a vector twice as long as $\vec{A}$ pointing in the negative y direction.

[18] Find the magnitude and direction of a displacement vector having x and y components of -5m and 3m, respectively.

[19] Three vectors are given by $\vec{A}$=6i, $\vec{B}$=9j, and $\vec{C}$=(-3i+4j). (a) Find the magnitude and direction of the resultant vector. (b) What vector must be added to these three to make the resultant vector zero?

[20] A particle moves from a point in the xy plane having Cartesian coordinates (-3.00, -5.00) m to a point with coordinates (-1.00, 8.00) m. (a)

Al-Muthanna University
College Of Basic Education
Science Dept.

الوحدات والأبعاد

الوحدات و الأبعاد
Units and Dimensions

تتحدد أي كمية طبيعية بعاملين اثنين هما العدد والوحدة . أي أنه لا يمكن ذكر أعداد أو أرقام مجردة دون تحديد الوحدة التي تقاس بها تلك الكمية.

فمثلاً لتحديد كتلة جسم نقول أن كتلته تساوي ٢٠كيلوجرام و لكي نقول أن الكتلة تساوي ٢٠٠٠٠ جرام يجب أن يكون هناك علاقة بين الكيلوجرام و الجرام و هي ١كجم = ١٠٠٠جرام.

١-١ الكميات الفيزيائية Physical quantities

هي التي تبني هيكل الفيزياء و بها نكتب المعادلات و القوانين الفيزيائية ، من هذه الكميات : القوة – الزمن – السرعة – الكثافة – درجة الحرارة – الشحنة و غير ذلك.

و تنقسم الكميات الفيزيائية إلى:

- **كميات أساسية:** هي الكتلة و الطول و الزمن و يرمز لها (T , L , M) على الترتيب.
- **كميات مشتقه:** هي كميات مشتقة من الكميات الأساسية مثل الحجم و السرعة و العجلة و غير ذلك من الكميات.

١-٢ وحدات الكميات الفيزيائية Units of physical quantities

أي كمية فيزيائية يجب أن يكون لها وحدة قياس إلى جانب قيمتها العددية إذ أنه لا معنى لقولنا أن المسافة بين مدينة غزة ومدينة القدس هي ٨٠ (دون ذكر وحدة القياس) لأن ٨٠ كيلو متر تختلف عن ٨٠ متر تختلف عن ٨٠ ميل حيث أن الكيلو متر والمتر والميل هي وحدات قياس الطول.

أنظمة القياس

- النظام الدولي ISU: متر – كيلوجرام – ثانيه (M K S system) و أحياناً يسمى بالنظام الفرنسي المطلق أو سنتيمتر – جرام – ثانيه (C G S system).
- النظام البريطاني: قدم – باوند – ثانيه (F B S).

الجدول (١-١) يبين وحدات القياس الأساسية والجدول (١-٢) يبين بعض وحدات القياس المشتقة.

جدول (١-١) وحدات القياس الأساسية

الكمية	الوحدة بالنظام الدولي (ISU)	الوحدة بالنظام البريطاني (FBS)
الكتلة (Mass)	كيلوجرام (*Kg*)	باوند
الطول أو المسافة (Length)	متر (*M*)	قدم
الزمن (Time)	ثانية (*S*)	ثانية

جدول (١-٢) وحدات القياس المشتقة

الكمية	الوحدة بالنظام الدولي (ISU)	الوحدة بالنظام البريطاني (FBS)
المساحه	متر^٢ (m^2)	قدم^٢
الحجم	متر^٣ (m^3)	قدم^٣
الكثافة = الكتلة / الحجم	Kg/m^3	باوند / قدم^٣

قوة	نيوتن (N)	ثقل باوند (LB)
الضغط = قوة / مساحة	N/m^3 (باسكال)	ثقل باوند / قدم٢

١-٣ أبعاد الكميات الفيزيائية Dimensions of physical quantities

بُعد أي كمية فيزيائية يحدِد طبيعة هذه الكمية فيما إذا كانت كتلة Mass أو طول Length أو زمن Time وتكتب أبعاد أي كمية طبيعيه بدلالة الكتلة (M) والطول (L) والزمن (T) والجدول (١-٣) يوضح أبعاد بعض الكميات الفيزيائية.

جدول (١-٣) حساب أبعاد بعض الكميات الفيزيائية

الكمية الفيزيائية	بُعد الكمية الفيزيائية
الكثافة (ρ) = $\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$	$[\rho]=\frac{M}{L^3}=ML^{-3}$
السرعة الخطية (v) = $\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$	$[v]=\frac{L}{T}=LT^{-1}$
السرعة الزاوية (ω) = $\frac{\text{السرعة الخطية}}{\text{نصف قطر الدوران}}$	$[\omega]=\frac{LT^{-1}}{L}=T^{-1}$
العجلة (a) = $\frac{\text{السرعة الخطية}}{\text{الزمن}}$	$[a]=\frac{LT^{-1}}{T}=LT^{-2}$
القوة (F) = الكتلة x العجلة	$[F]=M\times LT^{-2}=MLT^{-2}$
الشغل (W) = القوة x المسافة	$[W]=MLT^{-2}\times L=ML^2T^{-2}$
القدرة (P) = $\frac{\text{الشغل}}{\text{الزمن}}$	$[P]=\frac{ML^2T^{-2}}{T}=ML^2T^{-3}$

نظرية الأبعاد و تطبيقاتها:

تحتم نظرية الأبعاد على أن يكون طرفا المعادلات الرياضية متجانسين من حيث الأبعاد. لذلك نجد أن من فوائد الأبعاد ما يلي:

أ- التحقق من صحة القوانين الفيزيائية.

ب- اشتقاق وحدات الثوابت التي تعتمد عليها العلاقات الرياضية المختلفة.

ج- التحويل من وحدات النظام الدولي (النظام الفرنسي) إلى النظام البريطاني (النظام الإنجليزي).

اختبار صحة القوانين

لإثبات صحة أي معادلة يجب أن تكون أبعاد الطرف الأيسر تساوي أبعاد الطرف الأيمن ، فمثلاً قانون البندول البسيط هو:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \qquad (1\text{-}1)$$

فإذا كتبنا معادلة الأبعاد لهذا القانون فإننا نعتبر 2π عدد لا يعتمد على أي من الوحدات الأساسية و على ذلك فليس له وجود في معادلة الأبعاد.

أبعاد الطرف الأيمن هي:

$$\sqrt{\frac{L}{LT^{-2}}} = \sqrt{T^2} = T \qquad (1\text{-}2)$$

أي أن أبعاد الطرف الأيمن تساوي أبعاد الطرف الأيسر وعلى ذلك يكون القانون صحيحاً.

مسائل على الفصل الأول

١- جد أبعاد كل من السرعة (v) و العجلة (a) و القوة (F) و الشغل (W) و الكثافة (ρ) و الضغط (P).

٢- أثبت صحة العلاقة التالية من حيث الأبعاد.

$$v = v_0 + at$$

حيث v ، a ، t تمثل السرعة الخطية والعجلة والزمن على الترتيب.

٣- حدد ما إذا كانت العلاقة التالية صحيحة من حيث الأبعاد أم لا.

$$v^2 = {v_0}^2 + 2a$$

****

الفصل الثاني

المتجهات

المتجهات

Vectors

٢-١ الكميات القياسية والكميات المتجهة Scalars and vectors

الكميات الفيزيائية نوعان:

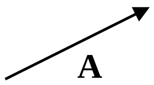
أ- **الكميات القياسية:** هي كميات فيزيائية غير متجهة يتم تعيينها تماماً إذا عرف مقدارها فقط .

ومن أمثلة الكميات الغير متجهه الكتلة ، الزمن ، الطول ، درجة الحرارة والطاقة وجميعها كميات قياسية.

ب- **الكميات المتجهة:** هي كميات فيزيائية متجهة يتم تعيينها تماماً إذا عرف مقدارها واتجاهها.

يمكن تمييز الكمية المتجهة عن الكمية القياسية وذلك بكتابة المتجه بخط عريض **A** كما هو مستخدم في الكتب أو بوضع إشارة سهم أعلى الرمز A كما هو الحال في الكتابة اليدوية $\vec{A}$. أما الكمية القياسية أو ما يُعرف بقيمة المتجه **A** مثلا فيعبر عنه بالرمز A أو |**A**| أو $|\vec{A}|$.

ومن الأمثلة على الكميات المتجهة الإزاحة والسرعة والعجلة والقوة وكمية الحركة . ويلزم تحديد اتجاه الإزاحة والسرعة والقوة بالإضافة لعدد الوحدات في كل مقدار لكي تتعرف تماماً . وتستخدم عادةً الطرق الهندسية في تمثيل الكمية المتجهة حيث يمثّل المتجه بيانياً بسهم يتناسب طوله طردياً مع مقدار المتجه واتجاهه يمثل اتجاه المتجه شكل (٢-١) .

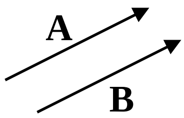


شكل (٢-١) سهم يمثل المتجه

خواص المتجهات:

- **تساوي المتجهات:**

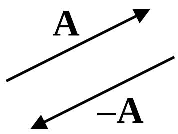
إن المتجهين **A** ، **B** متساويان إذا كان لهما نفس المقدار ونفس الاتجاه (ونفس الوحدة إن وجدت) ، أي أن **B** = **A** إذا كان مقدار **A** يساوي مقدار **B** وكان السهم الممثل للمتجه **A** يوازي السهم الممثل للمتجه **B** شكل (٢-٢) .



شكل (٢-٢) تساوي المتجهات

- **سالب المتجه:**

إذا أعطينا المتجه **A** فإن **A**– هو متجه مساوٍ له في المقدار ويعاكسه في الاتجاه شكل (٢-٣) .



شكل (٢-٣) سالب المتجه

- **جمع المتجهات:**

عند جمع المتجهات يجب أن تكون هذه المتجهات من نفس النوع فلا يمكن مثلا أن نجمع متجه قوة إلى متجه سرعة لاختلافهما في الأبعاد. وذلك ينطبق أيضا عند جمع الكميات القياسية.

إيجاد محصلة مجموعة من المتجهات:

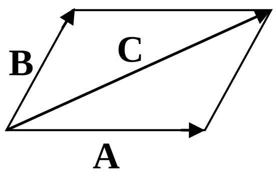
١- إذا كانت جميعها تعمل على خط واحد فإنها تجمع جبرياً بإشاراتها وذلك بعد اختيار اتجاهاً معيناً يكون موجباً .

وإذا تساوى مقدار متجهين وتضادا اتجاهاً كان محصلتهما تساوي صفر.

٢- إذا لم يكن خط تأثير المتجهات واحداً فإننا نوجد محصلتها بإحدى طريقتين:

أ- **طريقة متوازي الأضلاع:**

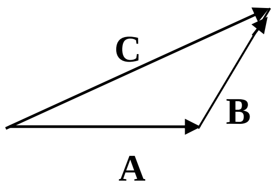
حاصل جمع المتجهين **A** و **B** هو متجه **C** ، ويسمى عادةً بالمحصلة (Resultant) . ولإجراء عملية الجمع نقوم برسم أحد المتجهين أولاً وليكن **A** بمقياس رسم مناسب ، ثم من بداية المتجه **A** نرسم المتجه **B** بنفس مقياس الرسم ثم نكمل رسم متوازي الأضلاع فتكون المحصلة هي قطر متوازي الأضلاع الذي ضلعاه المتجاوران هما المتجهان **A** و**B**. كما هو موضح في الشكل (٢-٤).



شكل (٢-٤) محصلة متجهين بطريقة متوازي الأضلاع

ب- طريقة المثلث:

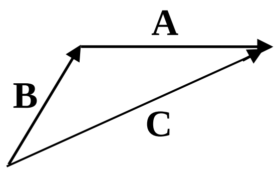
لإجراء عملية الجمع بطريقة المثلث نقوم برسم أحد المتجهين أولاً وليكن **A** بمقياس رسم مناسب ، ثم من رأس المتجه **A** نرسم المتجه **B** فتكون المحصلة **C** هي المتجه الذي يبدأ من بداية المتجه **A** وينتهي عند رأس المتجه **B** كما في الشكل (٢-٥) .



شكل (٢-٥) محصلة متجهين **A+B** بطريقة المثلث

ويمكن التعبير رياضياً عن عملية الجمع في كلتي الطريقتين بالمعادلة (2-1).

$$\boldsymbol{C} = \boldsymbol{A} + \boldsymbol{B} \qquad (2\text{-}1)$$



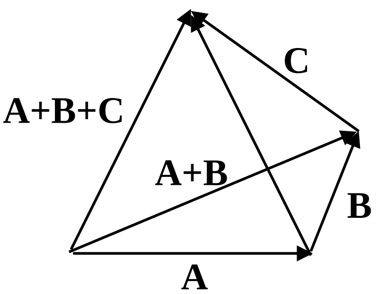
شكل (٢-٦) محصلة متجهين **B+A** بطريقة المثلث

لنفرض أننا بدأنا عملية الجمع بأخذ المتجه **B** أولاً ثم جمعنا إليه المتجه **A** أي قمنا بعملية الجمع **B+A** يتضح من الشكل (٢-٦) أننا نحصل على نفس المتجه **C** وبذلك نستطيع أن نكتب :

$$\mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{B} + \mathbf{A} \qquad (2\text{-}2)$$

وتسمي هذه النتيجة بقانون التبادل للجمع .

يمكن تطبيق طريقة المثلث لجمع أكثر من متجهين ، فمثلاً المتجهات الثلاث **A** و **B** و **C** يمكن جمعها كما هو مبين في الشكل (٢-٧).



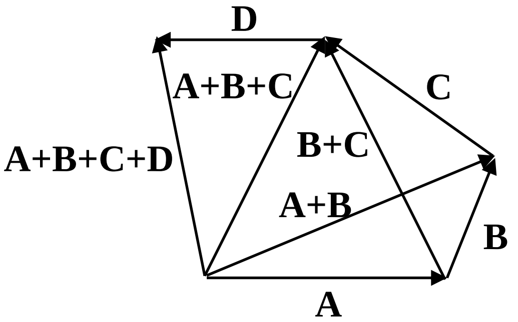
شكل (٢-٧) محصلة ثلاث متجهات بطريقة المثلث

ويمكن التعبير عن هذه النتيجة رياضياً بالمعادلة

$$(2\text{-}3) \qquad (\mathbf{A} + \mathbf{B}) + \mathbf{C} = \mathbf{A} + (\mathbf{B} + \mathbf{C})$$

وتسمى هذه المعادلة بقانون الترافق للجمع .

كذلك يمكن تعميم طريقة المثلث للجمع لتشمل أكثر من ثلاث متجهات فإذا فرضنا أن هناك أربع متجهات **A** و **B** و **C** و **D** فإننا نرسم الواحد تلو الآخر كما في الشكل (٢-٨)، وبتطبيق قاعدة المثلث للجمع ثلاث مرات متتالية نجد أن المحصلة هي:



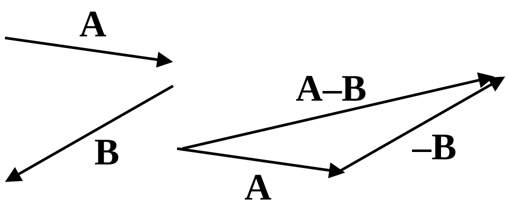
شكل (٢-٨) محصلة عدة متجهات بطريقة المثلث

$$\mathbf{R} = \mathbf{A} + \mathbf{B} + \mathbf{C} + \mathbf{D} \qquad (2\text{-}4)$$

و تبدأ من بداية المتجه **A** وتنتهي عند رأس المتجه **D** أي أن المحصلة هي الضلع الذي يقفل المضلع ولكن بالاتجاه المعاكس لدورة المتجهات الأربعة.

- **طرح المتجهات:**

إن عملية طرح المتجهات شبيهة بعملية جمع المتجهات ، فمثلاً **A – B** هو متجه جديد **C** ولتحديد المتجه **C** نقوم برسم المتجه **A** أولاً ومن رأس هذا المتجه نرسم سهماً موازياً ومعاكساً في الاتجاه للمتجه **B**. إن هذا السهم يمثل المتجه **B –** ، وبذلك تكون المحصلة **C** هي المتجه الذي يبدأ من بداية المتجه **A** وينتهي عند رأس المتجه **B –** شكل (٢-٩). تمثل هذه العملية رياضياً بالمعادلة (2-5) **.**



شكل (٢-٩) طرح المتجهات

$$\mathbf{C} = \mathbf{A} - \mathbf{B} \qquad (2\text{-}5)$$

- **ضرب المتجهات:**

يمكن ضرب المتجه بكمية قياسية فمثلاً $2\mathbf{A}$ تعني متجه جديد مقداره $2A$ واتجاهه هو نفس اتجاه **A**. وبصورة عامة فإن ضرب المتجه **A** بالكمية القياسية c يعطي المتجه $c\mathbf{A}$ و اتجاهه هو نفس اتجاه **A** إذا كانت الكمية القياسية c موجبة. وعكس اتجاه **A** إذا كانت الكمية القياسية c سالبة.

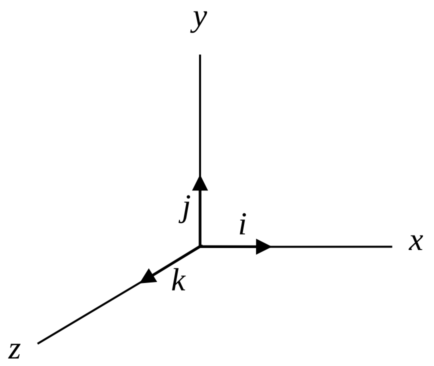
من الأمثلة الفيزيائية على ضرب المتجه بكمية قياسية الزخم الخطي (كمية التحرك الخطية) **P** وهو حاصل ضرب الكتلة m في متجه السرعة **v** ويعطي بالعلاقة (2-6).

$$\mathbf{P} = m\,\mathbf{v} \qquad (2\text{-}6)$$

٢-٢ متجهات الوحدة Unit vectors

متجه الوحدة هو متجه له اتجاه معين وقيمته هي الوحدة (Unity) ، وليس له وحدة قياس أو بُعد.

يوجد ثلاث متجهات وحدة في نظام الإحداثيات الكارتيزية (الديكارتية) هي $\boldsymbol{i}$ و $\boldsymbol{j}$ و $\boldsymbol{k}$ (يدويا تكتب $\hat{i}$ ، $\hat{j}$ ، $\hat{k}$) حيث أن هذه المتجهات تشير إلى الاتجاه الموجب للمحاور x و y و z على الترتيب كما هو موضح في الشكل (٢-١٠) ، فمثلا إذا كان المتجه **A** يتجه باتجاه x الموجب وقيمته A و **B** يتجه باتجاه y الموجب وقيمته B و **C** باتجاه z الموجب وقيمته C فإن هذا المتجهات تكتب على الترتيب بالصورة الاتجاهية التالية :



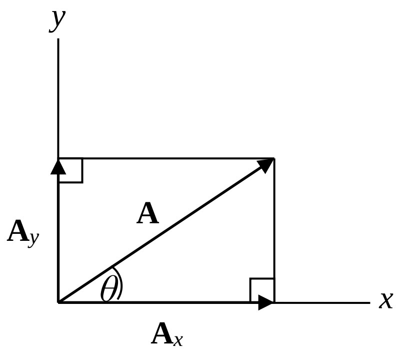
شكل (٢-١٠) متجهات الوحدة $\boldsymbol{i}$ و $\boldsymbol{j}$ و $\boldsymbol{k}$ تتجه في الاتجاه الموجب للمحاور الثلاثة x و y و z على الترتيب

$$\mathbf{A} = A\,\boldsymbol{i}\,,\ \ \mathbf{B} = B\,\boldsymbol{j}\,,\ \ \mathbf{C} = C\,\boldsymbol{k} \qquad (2\text{-}7)$$

ملاحظة : وجود الإشارة السالبة أمام أي متجه وحدة يدل على الاتجاه المعاكس فمثلا $-\boldsymbol{i}$ تشير إلى الاتجاه السالب لمحور x .

٢-٣ تحليل المتجهات Analysis of vectors

يمكن تحليل أي متجه **A** واقع في المستوى xy إلى متجهين متعامدين ، الأول موازي لمحور x $(\mathbf{A}_x)$ والآخر موازي لمحور y $(\mathbf{A}_y)$ وتكون محصلتهما هي نفس المتجه **A** :



شكل (٢-١١) تحليل المتجه **A** إلى مركبتين متعامدتين

$$\boxed{\mathbf{A} = A_x\,\boldsymbol{i} + A_y\,\boldsymbol{j}} \qquad (2\text{-}7)$$

فإذا كان المتجه **A** يصنع زاوية مقدارها θ مع الاتجاه الموجب لمحور x كما هو بالشكل (٢-١١) وأسقطنا من رأس المتجه **A** عمودين على المحورين x و y فإن الكميتين $\mathbf{A}_x$ و $\mathbf{A}_y$ هما مركبتا المتجه **A** ومن الشكل نجد أن :

$$\boxed{A_x = A\cos\theta\,,\ \ A_y = A\sin\theta} \qquad (2\text{-}8)$$

- إن المركبتين A_x و A_y أرقام يمكن أن تكون موجبه أو سالبه (أو صفر) و تسمى عملية إيجادهما بتحليل المتجه إلى مركباته .
- إن المركبتين A_x و A_y تشكلان ضلعين من مثلث قائم الزاوية بينما يشكل A وتر هذا المثلث و بتطبيق نظرية فيثاغورث نجد أن قيمة المتجه **A** تعطى كما في المعادلة (2-9) :

$$\mathrm{A}^2 = A_x^{\,2} + A_y^{\,2}$$

ومن الشكل (٢-١١) نجد أن

$$\tan\theta = \frac{A_y}{A_x} \qquad (2\text{-}10)$$

وعند حلها لإيجاد قيمة θ فإننا نكتب

$$\boxed{A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}} \qquad (2\text{-}9)$$

$$\boxed{\theta = \tan^{-1}\frac{A_y}{A_x}} \qquad (2\text{-}11)$$

A_x سالبة A_y موجبة	A_x موجبة A_y موجبة
A_x سالبة A_y سالبة	A_x موجبة A_y سالبة

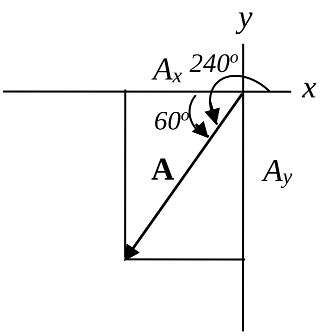
شكل (٢-١٢) إشارة المركبات حسب الربع الذي يقع فيه المتجه

المعادلة (2-11) تقرأ θ تساوي الزاوية التي ظلها $\frac{A_y}{A_x}$ ، وتعتبر قيمه θ المسئولة عن تحديد إشارات المركبات A_y و A_x لأن الزاوية θ تحدد الربع الذي يقع فيه المتجه **A** . الشكل (٢-١٢) يلخص إشارات المركبات في كل ربع.

مثال (١)

احسب المركبتين السينية والصادية للمتجهات التالية :

أ- متجه **A** قيمته *6* وحدات ويصنع زاوية مقدارها 240^o مع الاتجاه الموجب لمحور x



الحل:

$A_x = A\cos 240 = 6 \times (-1/2) = -3$

$A_y = A\sin 240\ ) = -5.2 \quad \frac{\sqrt{3}}{2} = 6 \times (-$

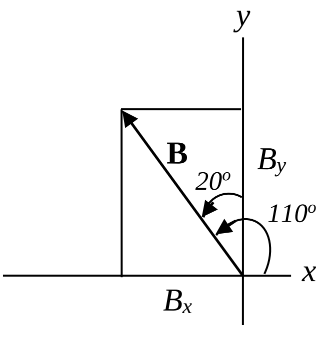
حل آخر:

$A_x = -A\cos 60 = -6 \times (1/2) = -3$

$A_y = -A\sin 60\ ) = -5.2\frac{\sqrt{3}}{2} = -6 \times ($

ب- متجه **B** قيمته *5* وحدات و يصنع زاوية مقدارها 110^0 مع الاتجاه الموجب لمحور x

الحل:



$B_x = B \cos 110 = -1.7$

$By = B \sin 110 = 4.7$

حل آخر:

$B_x = -B \sin 20 = -1.7$

$By = B \cos 20 = 4.7$

٢-٤ محصلة المتجهات Resultant of vectors

تستخدم طريقه تحليل المتجهات لإيجاد محصلة مجموعة منها فإذا فرضنا مثلاً ثلاثة متجهات **A** و **B** و **C** في مستوى واحد و تصنع الزوايا θ_1 ، θ_2 ، θ_3 مع الاتجاه السيني على الترتيب فإن مركبات هذه المتجهات في الاتجاه السيني هي:

$$A_x = A \cos \theta_1 \quad , \quad B_x = B \cos \theta_2 \quad , \quad C_x = C \cos \theta_3$$

وتكون محصله هذه المركبات في الاتجاه السيني هي:

$$R_x = A_x + B_x + C_x = A \cos \theta_1 + B \cos \theta_2 + C \cos \theta_3$$

بالمثل بالنسبة للمركبات العمودية في الاتجاه الصادي تكون محصلتها

$$R_y = A_y + B_y + C_y = A \sin \theta_1 + B \sin \theta_2 + C \sin \theta_3$$

قيمة محصلة مجموعة المتجهات تكون هي نفسها محصله المركبات السينية و الصادية و تعطي بالمعادلة

$$\boxed{R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}} \qquad (2\text{-}12)$$

ويمكن إيجاد اتجاه المحصلة أي الزاوية θ التي تصنعها مع المحور السيني من المعادلة

$$\boxed{\theta = \tan^{-1} \frac{R_y}{R_x}} \qquad (2\text{-}13)$$

ويمكن كتابة محصلة مجموعة من المتجهات بصورتها الاتجاهية كما يلي**:**

$$\boxed{\mathbf{R} = \mathbf{A} + \mathbf{B} + \mathbf{C} = (A_x + B_x + C_x)\,\boldsymbol{i} + (A_y + B_y + C_y)\,\boldsymbol{j} + (A_z + B_z + C_z)\,\boldsymbol{k}} \qquad (2\text{-}14)$$

الفصل الأول

المتجهات (Vectors)

((1))

الفصل الأول

المتجهات (Vectors)

1-1 الكميات الفيزيائية (Physical Quantities)

بصورة عامة تُقسم الكميات الفيزيائية إلى نوعين هما :-

أ- الكميات القياسية (Scalar Quantities)

وهي الكميات التي تُعرّف من خلال مقدارها (Magnitude) فقط ، ومن أمثلتها الشغل والزمن والكتلة ، ويُمكن أن تخضع لعمليات الجبر الإعتيادية عند الجمع والطرح .

ب- الكميات الإتجاهية (Vector Quantities)

وهي الكميات التي تُعرّف من خلال مقدارها (Magnitude) وإتجاهها (Direction) معاً ، ومن أمثلتها السرعة والقوة والتعجيل ، وهذه الكميات لا تخضع للعمليات الجبرية البسيطة بل تخضع للجبر الاتجاهي عند جمعها وطرحها وضربها .

2-1 المتجهات (Vectors)

1-2-1 متجه الوحدة (Unit Vector)

يُعرّف متجه الوحدة $(\hat{u}_{\vec{A}})$ في إتجاه المتجه $(\vec{A})$ كالتالي :-

$$\boxed{\hat{u}_{\vec{A}} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|} \quad ....(1-1)}$$

حيث أن :-

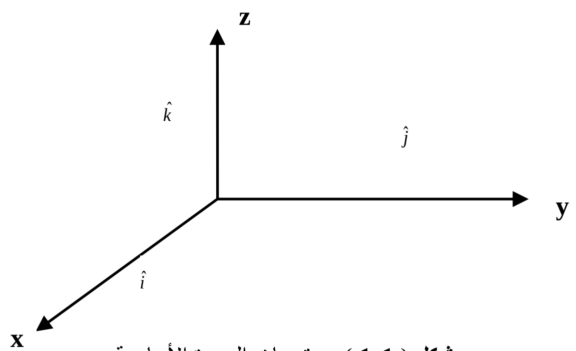
$\hat{u}_{\vec{A}}$:- متجه الوحدة في إتجاه المتجه $(\vec{A})$.

$\vec{A}$:- المتجه $(\vec{A})$.

$|\vec{A}|$:- مقدار المتجه $(\vec{A})$.

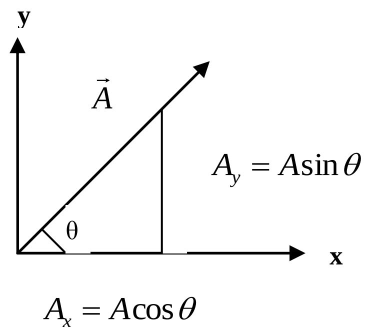
2-2-1 متجهات الوحدة الأساسية ($\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$) (Basic Unit Vectors)

وهي متجهات مقدارها الوحدة وتعمل في الإتجاهات الموجبة للمحاور (x, y, z) على الترتيب وكما موضح في الشكل (1-1) وعليه فإن هذه المتجهات الثلاثة تكون متعامدة .



شكل (1-1) : متجهات الوحدة الأساسية

والآن لإيجاد مقدار المتجه في حالة المتجه ذات بعدين وكما موضح في الشكل (2-1) .



شكل (2-1) : متجه ذات بعدين

من الشكل (2-1) يتضح لنا أن :-

$$\boxed{|\vec{A}| = \sqrt{A_x^{\,2} + A_y^{\,2}} \;...(2-1)}$$

حيث أن :-

$$A_x = A\cos\theta$$
$$A_y = A\sin\theta$$

θ :- هي الزاوية التي يعملها المتجه مع محور (x) الموجب ، وتُحسب من المعادلة الآتية :

$$\boxed{\theta = \tan^{-1}\frac{A_y}{A_x} \;...(3-1)}$$

والآن يُمكن تعميم ذلك على المتجه في الفضاء (ذات ثلاثة أبعاد) كالتالي :-

$$\boxed{|\vec{A}| = \sqrt{A_x^{\,2} + A_y^{\,2} + A_z^{\,2}} \;...(4-1)}$$

مثال 1 - 1 :- إذا كان $\vec{A} = 3\hat{i} + 4\hat{j}$

1- إحسب مقدار المتجه ($\vec{A}$) ؟

2- ما هو متجه الوحدة في إتجاه ($\vec{A}$) ؟

الحل :-

1 - من المعادلة (2-1) :

$$\left|\vec{A}\right| = \sqrt{A_x^{\ 2} + A_y^{\ 2}} ...(2-1)$$

حيث أن :

$$A_x = 3$$

$$A_y = 4$$

إذن :

$$\left|\vec{A}\right| = \sqrt{(3)^2 + (4)^2}$$

$$\left|\vec{A}\right| = \sqrt{9+16}$$

$\boxed{\left|\vec{A}\right| = 5 \ \text{units}}$ ($\vec{A}$) مقدار المتجه

2 - من المعادلة (1-1) :

$$\hat{u}_{\vec{A}} = \frac{\vec{A}}{\left|\vec{A}\right|} ....(1-1)$$

$$\hat{u}_{\vec{A}} = \frac{1}{5}(3\hat{i} + 4\hat{j})$$

$$\hat{u}_{\vec{A}} = \frac{3}{5}\hat{i} + \frac{4}{5}\hat{j}$$

$\boxed{\hat{u}_{\vec{A}} = 0.6\hat{i} + 0.8\hat{j}}$ ($\vec{A}$) متجه الوحدة في إتجاه

3-2-1 جمع وطرح المتجهات (Addition and Subtraction of Vectors)

يمكن جمع أو طرح المتجهات بإحدى الطريقتين :-

1-3-2-1 طريقة الرسم (Graphical Method)

في هذه الطريقة نرسم المتجه الأول بمقياس رسم مناسب ، ومن نهاية المتجه الأول نرسم المتجه الثاني وبنفس مقياس الرسم ، وهكذا نكرّر ذلك بالنسبة لبقية المتجهات .

إن محصلة (Resultant) هذه المتجهات يُمثلها مقداراً وإتجاهاً المتجه الواصل من نقطة البداية للمتجه الأول إلى نقطة النهاية للمتجه الأخير .

2-3-2-1 الطريقة التحليلية (Analytic Method)

بالرجوع إلى الشكل (1-1) نجد أن المتجه ($\vec{A}$) ذات بعدين يمكن كتابته بدلالة مركباته كالآتي :-

$$\boxed{\vec{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} ...(5-1)}$$

وبتعميم ذلك على المتجه في الفضاء (ذات ثلاثة أبعاد) فإن المتجه ($\vec{A}$) يمكن كتابته على الشكل التالي :-

$$\boxed{\vec{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k} ...(6-1)}$$

وبالمثل بالنسبة للمتجه ($\vec{B}$) :-

$$\boxed{\vec{B} = B_x \hat{i} + B_y \hat{j} + B_z \hat{k} ...(7-1)}$$

بالتالي ومن المعادلتين (6-1) و (7-1) يمكن كتابة معادلة جمع المتجهين ($\vec{A}$) و ($\vec{B}$) وكالآتي :

$$\boxed{\vec{A} + \vec{B} = (A_x + B_x)\hat{i} + (A_y + B_y)\hat{j} + (A_z + B_z)\hat{k} ...(8-1)}$$

أما معادلة طرح المتجهين ($\vec{A}$) و ($\vec{B}$) فتكون كالآتي :

$$\boxed{\vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B}) = (A_x - B_x)\hat{i} + (A_y - B_y)\hat{j} + (A_z - B_z)\hat{k} ...(9-1)}$$

يتّضح من هذه الطريقة (التحليلية) إنه قبل إجراء عملية جمع أو طرح المتجهات يجب إتباع ما يلي :-

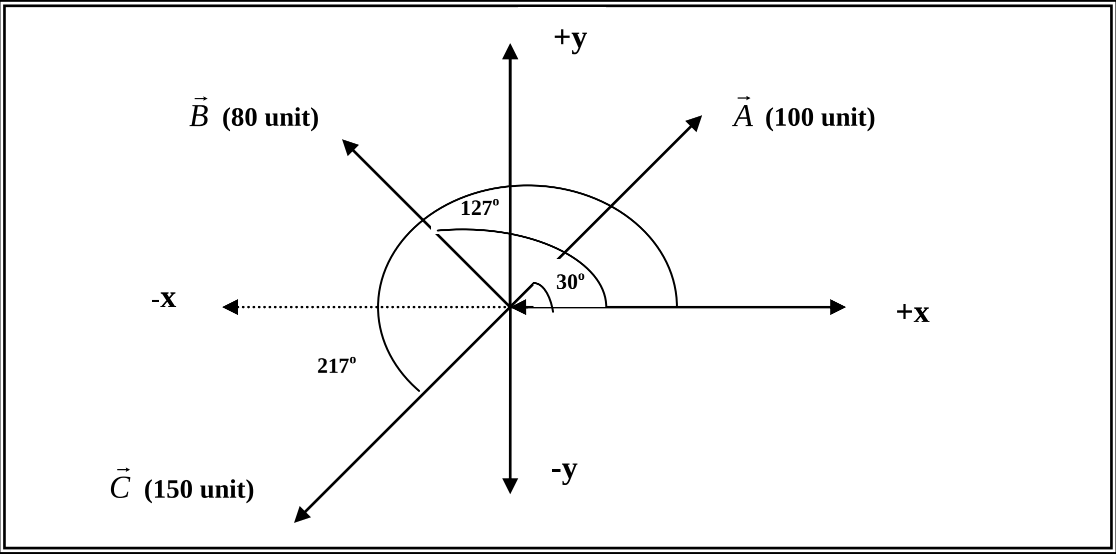
1- كتابة كل متجه بدلالة مركباته .

2- جمع أو طرح المُركبات المُتقابلة للمتجه.

مثال 1 – 2 :- من الشكل الآتي ، إحسب مقدار المتجه ($\vec{R}$) والزاوية التي يعملها مع محور (x) الموجب في كل من الحالتين الآتيتين وبإستخدام طريقة التحليل :-

1- $\vec{R}1 = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$

2- $\vec{R}2 = \vec{A} - \vec{B} + \vec{C}$



الحل :-

أولا : نكتب المتجهات $\vec{C}, \vec{B}, \vec{A}$ بدلالة مُركباتها .

بالنسبة للمتجه ($\vec{A}$) :

$$\vec{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j}$$

$$\vec{A} = 100\cos 30\hat{i} + 100\sin 30\hat{j}$$

$$\boxed{\vec{A} = 86.6\hat{i} + 50\hat{j}}$$

بالنسبة للمتجه ($\vec{B}$) :

$$\vec{B} = B_x \hat{i} + B_y \hat{j}$$

$$\vec{B} = 80\cos 127\hat{i} + 80\sin 127\hat{j}$$

$$\boxed{\vec{B} = -48\hat{i} + 64\hat{j}}$$

بالنسبة للمتجه ($\vec{C}$) :

$$\vec{C} = C_x \hat{i} + C_y \hat{j}$$

$$\vec{C} = (150\cos 217\hat{i}) + (150\sin 217\hat{j})$$

$$\boxed{\vec{C} = -120\hat{i} - 90\hat{j}}$$

ثانيا : نجمع أو نطرح المُركبات المُتقابلة للمتجه .

1 - بالنسبة للحالة الأولى : $\vec{R}1 = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$

من خلال تطبيق المعادلة (1-8) ولثلاثة متجهات ينتج :

$$\vec{A}+\vec{B}+\vec{C} = (A_x + B_x + C_x)\hat{i} + (A_y + B_y + C_y)\hat{j} + (A_z + B_z + C_z)\hat{k}$$

$$\vec{R}1 = \vec{A}+\vec{B}+\vec{C} = (86.6 + (-48) + (-120))\hat{i} + (50 + 64 + (-90))\hat{j} + (0+0+0)\hat{k}$$

$$\vec{R}1 = \vec{A}+\vec{B}+\vec{C}$$

$$\boxed{\therefore \vec{R}1 = -81.4\hat{i} + 24\hat{j}}$$

من المعادلة (1-2) نحسب مقدار ($\vec{R}1$) :

$$\left|\vec{A}\right| = \sqrt{A_x^{\ 2} + A_y^{\ 2}} \ldots(2-1)$$

$$\left|\vec{R}1\right| = \sqrt{(-81.4)^2 + (24)^2}$$

مقدار المتجه ($\vec{R}\,1$) $\boxed{\left|\vec{R}1\right| = 84.8 \ \ \text{units}}$

من المعادلة (1-3) نحسب (θ) وهي الزاوية التي يعملها المتجه ($\vec{R}1$) مع محور (x) الموجب :

$$\theta = \tan^{-1}\frac{A_y}{A_x} \ldots(3-1)$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{24}{-81.4}$$

الزاوية التي يعملها المتجه ($\vec{R}1$) مع محور (x) الموجب $\boxed{\theta = 163.6^\circ}$

2 - بالنسبة للحالة الثانية : $\vec{R}2 = \vec{A} - \vec{B} + \vec{C}$

$$\vec{A} - \vec{B} + \vec{C} = (A_x - B_x + C_x)\hat{i} + (A_y - B_y + C_y)\hat{j} + (A_z - B_z + C_z)\hat{k}$$

$$\vec{R}2 = \vec{A} - \vec{B} + \vec{C} = (86.6 - (-48) + (-120))\hat{i} + (50 - 64 + (-90))\hat{j} + (0 + 0 + 0)\hat{k}$$

$$\vec{R}2 = \vec{A} - \vec{B} + \vec{C}$$

$$\therefore \vec{R}2 = 14.6\hat{i} - 104\hat{j}$$

من المعادلة (2-1) نحسب مقدار ($\vec{R}2$) :

$$\left|\vec{A}\right| = \sqrt{{A_x}^2 + {A_y}^2} \ldots (2-1)$$

$$\left|\vec{R}2\right| = \sqrt{(14.6)^2 + (-104)^2}$$

مقدار المتجه ($\vec{R}2$) $\boxed{\left|\vec{R}2\right| = 105 \text{ units}}$

من المعادلة (3-1) نحسب (θ) وهي الزاوية التي تعملها المحصلة ($\vec{R}2$) مع محور (x) الموجب :

$$\theta = \tan^{-1}\frac{A_y}{A_x} \ldots (3-1)$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{-104}{14.6}$$

الزاوية التي تعملها المحصلة ($\vec{R}2$) مع محور (x) الموجب $\boxed{\theta = 278^\circ}$

4-2-1 تساوي المتجهات (Equality of Vectors)

إذا كان :

$$\vec{A} = \vec{B}$$

فإن :

$$\vec{A} - \vec{B} = 0$$

أي أن :

$$(A_x - B_x)\hat{i} + (A_y - B_y)\hat{j} + (A_z - B_z)\hat{k} = 0$$

أي أن :

$$A_x - B_x = 0$$
$$A_y - B_y = 0$$
$$A_z - B_z = 0$$

وبذلك فإن :

$$A_x = B_x$$
$$A_y = B_y$$
$$A_z = B_z$$

مما سبق نستنتج بأنه يُمكن أن يتساوى المتجهان إذا كانت مُركباتهما المتقابلة متساوية .

مثال 1 - 3 : أوجد قيم كل من x , y , z والتي تجعل المتجهين الآتيين متساويين :

$$\vec{A} = \hat{i} + 2\hat{j} + 3z\hat{k}$$
$$\vec{B} = (x-3)^2\hat{i} + y\hat{j} + \hat{k}$$

الحل :-

بما أنه المطلوب أن يتساوى المتجهان أي أن :

$$\vec{A} = \vec{B}$$

وأن :

$$\hat{i} + 2\hat{j} + 3z\hat{k} = (x-3)^2\hat{i} + y\hat{j} + \hat{k}$$

وبالتالي يتساوى المركبات المتقابلة للمتجهين :

$$1 = (x-3)^2$$
$$2 = y$$
$$3z = 1$$

وعليه فإن :

$$\boxed{x = 4}$$
$$\boxed{y = 2}$$
$$\boxed{z = \frac{1}{3}}$$

5-2-1 ضرب المتجهات (Multiplication of Vectors)

يُوجد هُناك نوعان من ضرب المتجهات وهما : -

1-5-2-1 الضرب القياسي للمتجهات (Dot or Scalar product of Vectors)

يعرّف الضرب القياسي كالتالي :

$$\boxed{\vec{A}.\vec{B} = |A||B|\cos\theta ...(10-1)}$$

حيث أن :-

$|A|$: مقدار المتجه $\vec{A}$.

$|B|$: مقدار المتجه $\vec{B}$.

θ : الزاوية الصغرى بين المتجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ أو إمتدادهما وتُحسب من العلاقة الآتية :

$$\boxed{\theta = \cos^{-1}\frac{\vec{A}.\vec{B}}{|A||B|}...(11-1)}$$

لإيجاد الضرب القياسي $\vec{A}.\vec{B}$ بدلالة مركباتهما فإننا نُعوض عن $\vec{A}$ و $\vec{B}$ كما يلي :

$$\vec{A}.\vec{B} = (A_x\hat{i} + A_y\hat{j} + A_z\hat{k}).(B_x\hat{i} + B_y\hat{j} + B_z\hat{k})$$

$$\boxed{\vec{A}.\vec{B} = A_xB_x\hat{i}.\hat{i} + A_xB_y\hat{i}.\hat{j} + A_xB_z\hat{i}.\hat{k} + A_yB_x\hat{j}.\hat{i} + A_yB_y\hat{j}.\hat{j} + A_yB_z\hat{j}.\hat{k} + A_zB_x\hat{k}.\hat{i} + A_zB_y\hat{k}.\hat{j} + A_zB_z\hat{k}.\hat{k}...(12-1)}$$

وبتطبيق تعريف الضرب القياسي على متجهات الوحدة الأساسية نجد أن :

$$\hat{i}.\hat{i} = \hat{j}.\hat{j} = \hat{k}.\hat{k} = 1$$

بينما

$$\hat{i}.\hat{j} = \hat{i}.\hat{k} = \hat{j}.\hat{i} = \hat{j}.\hat{k} = \hat{k}.\hat{i} = \hat{k}.\hat{j} = 0$$

وعليه فإن المعادلة (12 -1) تأخذ الصيغة التالية :

$$\boxed{\vec{A}.\vec{B} = A_xB_x + A_yB_y + A_zB_z...(13-1)}$$

ملاحظة :- يتضح لنا بأنه في حالة الضرب القياسي :

$$\boxed{\vec{A}.\vec{B} = \vec{B}.\vec{A}}$$

مثال 1 – 4 : إذا كان :

$$\vec{A} = \hat{i} + 2\hat{j} - 2\hat{k}$$

$$\vec{B} = 3\hat{i} - 4\hat{k}$$

إحسب : -

1- $\vec{A}.\vec{B}$ ؟

2- مقدار $\vec{A}$ ومقدار $\vec{B}$ ؟

3- الزاوية بين المتجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ ؟

الحل :-

1 – إيجاد حاصل الضرب القياسي للمتجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$:

بإستخدام المعادلة (1- 13) :

$$\vec{A}.\vec{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z ...(13-1)$$

$$\vec{A}.\vec{B} = (1)(3) + (2)(0) + (-2)(-4)$$

$$\boxed{\vec{A}.\vec{B} = 11}$$

2 – إيجاد مقدار كل متجه :

بإستخدام المعادلة (1- 4) :

بالنسبة للمتجه $\vec{A}$:

$$\left|\vec{A}\right| = \sqrt{A_x{}^2 + A_y{}^2 + A_z{}^2}$$

$$\left|\vec{A}\right| = \sqrt{(1)^2 + (2)^2 + (-2)^2}$$

$$\boxed{\left|\vec{A}\right| = 3 units}$$

أما بالنسبة للمتجه $\vec{B}$:

$$\left|\vec{B}\right| = \sqrt{B_x^{\ 2} + B_y^{\ 2} + B_z^{\ 2}}$$

$$\left|\vec{B}\right| = \sqrt{(3)^2 + (0)^2 + (-4)^2}$$

$$\boxed{\left|\vec{B}\right| = 5 units}$$

3 - إيجاد مقدار الزاوية بين المتجهين :

بإستخدام المعادلة (1- 11) :

$$\theta = \cos^{-1}\frac{\vec{A}.\vec{B}}{|A||B|} \ldots (11-1)$$

$\vec{A}.\vec{B} = 11$ من خلال الفقرة (1)

$\therefore \left|\vec{A}\right|\left|\vec{B}\right| = 15 units$ من خلال الفقرة (2)

وبتعويض القيم الناتجة أعلاه في المعادلة (1 – 11) نحصل على :

$$\theta = \cos^{-1}\frac{11}{15}$$

$\boxed{\therefore \theta = 42.8^\circ}$ قيمة الزاوية بين المتجهين

2-5-2-1 الضرب الإتجاهي للمتجهات (Cross or Vector product of Vectors)

يُعرّف الضرب الإتجاهي كالتالي :

$$\boxed{\vec{A}x\vec{B} = |A||B|\sin\theta ...(14-1)}$$

حيث أن :-

$|A|$: مقدار المتجه $\vec{A}$.

$|B|$: مقدار المتجه $\vec{B}$.

θ : الزاوية الصغرى بين المتجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ أو إمتدادهما .

لإيجاد الضرب الإتجاهي $\vec{A}x\vec{B}$ بدلالة مركباتهما فإننا نعوّض عن $\vec{A}$ و $\vec{B}$ كما يلي :

$$\vec{A}x\vec{B} = (A_x\hat{i} + A_y\hat{j} + A_z\hat{k})x(B_x\hat{i} + B_y\hat{j} + B_z\hat{k})$$

$$\boxed{\vec{A}x\vec{B} = A_xB_x\hat{i}x\hat{i} + A_xB_y\hat{i}x\hat{j} + A_xB_z\hat{i}x\hat{k} + A_yB_x\hat{j}x\hat{i} + A_yB_y\hat{j}x\hat{j} + A_yB_z\hat{j}x\hat{k} + A_zB_x\hat{k}x\hat{i} + A_zB_y\hat{k}x\hat{j} + A_zB_z\hat{k}x\hat{k} ...(15-1)}$$

وبتطبيق تعريف الضرب التقاطعي (مع الإتجاه) على متجهات الوحدة الأساسية نجد أن :

$$\hat{i}x\hat{i} = \hat{j}x\hat{j} = \hat{k}x\hat{k} = 0$$

بينما

$$\hat{i}x\hat{j} = \hat{k} \quad \hat{j}x\hat{k} = \hat{i} \quad \hat{k}x\hat{i} = \hat{j}$$

و

$$\hat{i}x\hat{k} = -\hat{j} \quad \hat{k}x\hat{j} = -\hat{i} \quad \hat{j}x\hat{i} = -\hat{k}$$

وعليه فإن المعادلة (1- 15) تأخذ الصيغة التالية :

$$\boxed{\vec{A}x\vec{B} = (A_yB_z - A_zB_y)\hat{i} + (A_zB_x - A_xB_z)\hat{j} + (A_xB_y - A_yB_x)\hat{k} ...(16-1)}$$

ملاحظة :- يتضح لنا بأنه في حالة الضرب الإتجاهي :

$$\boxed{\vec{A}x\vec{B} = -\vec{B}x\vec{A}}$$

مثال 1 - 5 : إذا كان :

$$\vec{A} = 2\hat{i} + 3\hat{j} + \hat{k}$$

$$\vec{B} = \hat{i} - 2\hat{j} + 2\hat{k}$$

إحسب كل من :-

1 - $2\vec{A} - 3\vec{B}$ ؟

$$2\vec{A} - 3\vec{B} = 2(2\hat{i} + 3\hat{j} + \hat{k}) - 3(\hat{i} - 2\hat{j} + 2\hat{k})$$

$$2\vec{A} - 3\vec{B} = 4\hat{i} + 6\hat{j} + 2\hat{k} - 3\hat{i} + 6\hat{j} - 6\hat{k}$$

$$\boxed{2\vec{A} - 3\vec{B} = \hat{i} + 12\hat{j} - 4\hat{k}}$$

2 - مقدار $\vec{A}$ ومقدار $\vec{B}$ ؟

$$|\vec{A}| = \sqrt{A_x{}^2 + A_y{}^2 + A_z{}^2}$$

$$|\vec{A}| = \sqrt{(2)^2 + (3)^2 + (1)^2}$$

$$\boxed{\therefore |\vec{A}| = \sqrt{14} units}$$

$$|\vec{B}| = \sqrt{B_x{}^2 + B_y{}^2 + B_z{}^2}$$

$$|\vec{B}| = \sqrt{(1)^2 + (-2)^2 + (2)^2}$$

$$\boxed{\therefore |\vec{B}| = 3 units}$$

3 - الزاوية بين المتجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ ؟

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\vec{A}.\vec{B}}{|A||B|} \quad ...(11-1)$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z}{|A||B|}$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{(2)(1) + (3)(-2) + (1)(2)}{3\sqrt{14}}$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{-2}{3\sqrt{14}}$$

$$\boxed{\therefore \theta = 100.3^\circ}$$

4 - $\vec{A}x\vec{B}$ ؟

$$\vec{A}x\vec{B} = (A_yB_z - A_zB_y)\hat{i} + (A_zB_x - A_xB_z)\hat{j} + (A_xB_y - A_yB_x)\hat{k} ...(16-1)$$

$$\vec{A}x\vec{B} = [(3)(2)-(1)(-2)]\hat{i} + [(1)(1)-(2)(2)]\hat{j} + [(2)(-2)-(3)(1)]\hat{k}$$

$$\boxed{\vec{A}x\vec{B} = 8\hat{i} - 3\hat{j} - 7\hat{k}}$$

5 - متجه الوحدة في الإتجاه $\vec{A}x\vec{B}$ ؟

$$\hat{u}_{\vec{A}x\vec{B}} = \frac{\vec{A}x\vec{B}}{\left|\vec{A}x\vec{B}\right|}$$

$$\hat{u}_{\vec{A}x\vec{B}} = \frac{8\hat{i} - 3\hat{j} - 7\hat{k}}{\sqrt{(8)^2 + (-3)^2 + (-7)^2}}$$

$$\boxed{\hat{u}_{\vec{A}x\vec{B}} = \frac{8\hat{i} - 3\hat{j} - 7\hat{k}}{\sqrt{122}}}$$

6 - متجه الوحدة في الإتجاه $\vec{B}x\vec{A}$ ؟

$$\vec{A}x\vec{B} = -\vec{B}x\vec{A}$$

$$\hat{u}_{\vec{A}x\vec{B}} = -\hat{u}_{\vec{B}x\vec{A}}$$

$$\boxed{\hat{u}_{\vec{B}x\vec{A}} = -\frac{8\hat{i} - 3\hat{j} - 7\hat{k}}{\sqrt{122}}}$$

مثال 1 - 6 :- إحسب قيمة (x) التي تجعل المتجهيين التاليين متعامدين :

$$\vec{A} = 2\hat{i} + 3\hat{j} + x\hat{k}$$

$$\vec{B} = -\hat{i} - 2\hat{j} + 2\hat{k}$$

الحل :-

بما أن المطلوب أن يكون المتجهان متعامدين فالزاوية بينهما تساوي ($\frac{\pi}{2} = 90^\circ$) .

$$\vec{A}.\vec{B} = |A||B|\cos\theta ...(10-1)$$

$$\vec{A}.\vec{B} = A_xB_x + A_yB_y + A_zB_z = 0$$

$$(2)(-1) + (3)(-2) + 2x = 0$$

$$2x = 8$$

قيمة (x) التي تجعل المتجهيين متعامدين $\boxed{\therefore x = 4}$

مسائل الفصل الأول

المتجهات (Vectors)

((1))

س1 : إذا كان :

$$\vec{C} = 4\hat{i} + 3\hat{j} + 2\hat{k} \quad و \quad \vec{B} = -2\hat{i} + 2\hat{j} + 3\hat{k} \quad و \quad \vec{A} = 5\hat{i} + 4\hat{j} - 6\hat{k}$$

1- إحسب مقدار كل من المتجهات $(\vec{A})$ و $(\vec{B})$ و $(\vec{C})$ ؟

2- إحسب مقدار $3\vec{A} - 2\vec{B}$ ؟

الإجابة : $\boxed{|\vec{A}| = \sqrt{77} units}$ $\boxed{|\vec{B}| = \sqrt{17} units}$ $\boxed{|\vec{C}| = \sqrt{29} units}$ $\boxed{3\vec{A} - 2\vec{B} = 19\hat{i} + 8\hat{j} - 24\hat{k}}$

س2 : إذا كانت مركبات المتجهين $(\vec{A})$ و $(\vec{B})$ هي :

$$A_x = 3 \text{ ، } A_y = 1.5 \quad B_x = 0.5 \text{ ، } B_y = 2$$

إحسب الزاوية بين المتجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ ؟

الإجابة : $\boxed{\theta = 49.45^\circ}$

س3 : إذا كان :

$$\vec{B} = 9\hat{i} + 20\hat{j} + 12\hat{k} \quad و \quad \vec{A} = 2\hat{i} - \hat{j} + 2\hat{k}$$

1- ما هو متجه الوحدة في إتجاه $(\vec{A})$ ؟

2- ما هو متجه الوحدة في إتجاه $(\vec{B})$ ؟

الإجابة : $\boxed{\hat{u}_{\vec{A}} = 0.6\hat{i} - 0.3\hat{j} + 0.6\hat{k}}$ $\boxed{\hat{u}_{\vec{B}} = 0.36\hat{i} + 0.8\hat{j} + 0.48\hat{k}}$

س4 : إذا كان :

$$\vec{B} = 4\hat{i} + x\hat{j} \quad و \quad \vec{A} = 2\hat{i} - \hat{j}$$

أوجد قيمة (x) والتي تجعل المتجهين متعامدين مع بعضهما البعض ؟

الإجابة : $\boxed{x = 8}$

س5 : إذا كان :

$$\vec{B} = \hat{i} - 3\hat{j} - \hat{k} \quad و \quad \vec{A} = 3\hat{i} - \hat{j} + \hat{k}$$

إحسب المتجه $(\vec{C})$ بحيث أن $\vec{A} - \vec{B} + \vec{C} = 0$ ؟

الإجابة : $\boxed{\vec{C} = -2\hat{i} - 2\hat{j} - 2\hat{k}}$

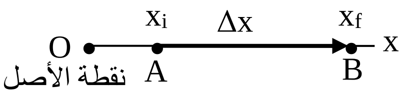
الفصل الثالث

الحركة الخطية المنتظمة

الحركة الخطية المنتظمة
Linear Motion

تعتبر الحركة من المواضيع الهامة التي يتحتم علينا دراستها ابتداءً من حركه الجسيمات الصغيرة إلى كرة القدم و السيارة وانتهاءً بحركة النجوم والكواكب. ويسمى العلم الذي يبحث في حركة الجسيمات بعلم الميكانيكا . في هذا الفصل سندرس حركة الجسيمات في خط مستقيم ومن خلاله أيضا سنتعرف على مفاهيم الإزاحة والسرعة والتسارع وعلاقتها ببعضها البعض ومع الزمن أيضا.

٣-١ الإزاحة Displacement



شكل (٣-١) Δx تمثل إزاحة الجسم على خط مستقيم من الموضع A إلى الموضع B

نعرف إزاحة الجسم بأنها التغير في موضعه بالنسبة إلى نقطه إسناد (مرجع) معينة وهي كمية متجهة تعتمد على نقطة البداية ونقطة النهاية بغض النظر عن المسار الذي يتبعه الجسم في تحركه.

عندما يتحرك جسم على خط مستقيم و ليكن محور x فإن اتجاه حركته يكون محدداً على هذا المحور. أي أن إزاحة الجسم هي Δx فإذا كانت موجبة فإن ذلك يعني أنها باتجاه محور x الموجب و إذا كانت سالبة فيعني أنها باتجاه محور x السالب. يبين الشكل (٣-١) جسماً ينتقل على محور x من الموضع الابتدائي A عند زمن t_i إلى الموضع النهائي B عند زمن t_f. إزاحة الجسم تعطى حسب الصيغة التالية:

$$\boxed{\Delta x = x_f - x_i} \qquad (3\text{-}1)$$

ملاحظة/ يجب التفريق بين المسافة distance والإزاحة displacement حيث أن المسافة تمثل الطول الفعلي للمسار الذي يقطعه الجسم وهي كمية قياسية ، أما الإزاحة فتمثل أقصر مسافة بين نقطة البداية ونقطة النهاية وهي كمية متجهة.

٣-٢ السرعة (الاتجاهية) المتوسطة Average velocity

نعلم أن حركة جسم ما من موضع عند زمن ابتدائي t_i إلى موضع آخر عند زمن نهائي t_f تستغرق فترة زمنية Δt. تعرّف السرعة المتوسطة بأنها نسبة الإزاحة إلى الزمن واتجاهها هو اتجاه الإزاحة وتعطى بالعلاقة :

$$\boxed{\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}} \qquad (3\text{-}2)$$

٣-٣ السرعة (الاتجاهية) اللحظية Instantaneous velocity

تعرف على أنها معدل تغير متجه الموضع بالنسبة للزمن وهي تعبر عن سرعة الجسم عند لحظة معينة

وتعطى حسب العلاقة :

$$\boxed{v = \frac{dx}{dt}} \tag{3-3}$$

٣-٤ السرعة القياسية المتوسطة Average speed

نعرف متوسط السرعة القياسية لجسم ما بأنها نسبة المسافة الكلية التي يقطعها الجسم للزمن الكلي ، وإذا رمزنا للسرعة القياسية بالرمز **s** إن :

$$\boxed{s = \frac{d}{t}} \tag{3-4}$$

حيث d المسافة الكلية المقطوعة خلال زمن مقداره t.

٣-٥ التسارع المتوسط Average acceleration

عندما يتحرك جسم ما بسرعة معينة على خط مستقيم و تزداد سرعته نقول بأنه يتسارع وإذا تناقصت سرعته فنقول أن تسارعه سالب أي أنه يتباطأ وبشكل عام نعرف متوسط التسارع (العجلة المتوسطة) a بأنه نسبة تغير السرعة اللحظية للزمن.

$$\boxed{\overline{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}} \tag{3-5}$$

٣-٦ التسارع اللحظي Instantaneous acceleration

يعرف على أنه معدل تغير السرعة اللحظية بالنسبة للزمن وتعطى حسب العلاقة :

$$a = \frac{dv}{dt} \tag{3-8}$$

مثال (٣-١)

يتحرك جسم من نقطة الأصل شرقاً مسافة 40m في ست ثواني ، ثم غرباً مسافة 20m في أربع ثواني ، و أخيراً شرقاً مسافة 60m في عشر ثواني . أوجد

أ) إزاحة الجسم

ب) متوسط سرعته المتجهة

ج) متوسط سرعته المتجهة خلال الفترة الزمنية الثانية .

د) المسافة الكلية التي يقطعها

هـ) متوسط سرعته القياسية.

الحل:

أ) بما أن الجسم يتحرك من نقطه الأصل على خط مستقيم فتكون إزاحة الجسم

$$\Delta x = x_1 + x_2 + x_3$$

وحيث أن الإزاحة كمية متجهة فإنه يجب الأخذ بعين الاعتبار إشارة الإزاحات الثلاثة وعليه فإن الإزاحة الكلية

$$\Delta x = 40m - 20m + 60m = 80m$$

وحيث أن الإزاحة موجبة فإنها تكون باتجاه الشرق.

ب) متوسط السرعة المتجهة

$$\bar{V} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{80m}{6s + 4s + 10s} = 4\,{}^{m}\!/_{s}$$

وبما أنها موجبه فهي أيضاً في اتجاه الشرق.

ج) في الفترة الزمنية الثانية كانت

التغير في المسافة = $\Delta x = (20 - 40)m = -20m$

التغير في الزمن = $\Delta t = 4s$

$$\bar{v} = \frac{-20m}{4s} = -5\,{}^{m}\!/_{s}$$

و بما أنها سالبه تكون باتجاه الغرب.

د) المسافة الكلية التي يقطعها الجسم

المسافة = $d = 40m + 20m + 60m = 120m$

ه) معدل سرعته القياسية

$$s = \frac{d}{t} = \frac{120m}{6s + 4s + 10s} = 6\,{}^{m}\!/_{s}$$

و تختلف عن متوسط سرعة الجسم المتجهة و التي مقدارها $4\ m/s$.

٣-٧ الحركة الخطية بعجله منتظمة Linear motion with constant acceleration

عندما يتحرك جسم ما بسرعة متزايدة أو متناقصة بمعدل ثابت فإن حركته تكون بعجله منتظمة a تعرف بأنها السرعة بالنسبة للزمن.

دعنا نفترض أن جسماً ما يسير بسرعة $v_1 = v_0$ عند بداية الحركة $t_1=0$ و بعد زمن معين $t_2 = t$ أصبحت سرعته $v_2 = v$ فإن التسارع (عجلة الجسم)

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{V - V_0}{t - 0} \qquad (3\text{-}9)$$

وتتلخص قوانين الحركة الخطية ذات العجلة المنتظمة فيما يأتي:

أولاً: إذا كان الجسم يتحرك بسرعة ابتدائية v_0 وبعجلة منتظمة a ، فمن المعادلة (3-9) تكون سرعته v عند الزمن t هي

$$v = v_0 + at \qquad (3\text{-}10)$$

ثانياً: إذا كانت المسافة التي يقطعها الجسم خلال الزمن t هي x فإن:

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \qquad (3\text{-}11)$$

وهذه العلاقة تربط بين المتغيرات الثلاث t و a و x

ثالثاً : من تعريف العجلة

$$a = \frac{V - V_0}{t} \qquad \therefore \; t = \frac{V - V_0}{a}$$

إذا عوضنا في العلاقة (3-11) عن قيمه t نحصل على**:**

$$\boxed{V^2 = V_0^2 + 2ax} \qquad (3\text{-}12)$$

مثال (٣-٢)

يتحرك جسم من السكون بتسارع منتظم $5\ m/s^2$. جد سرعته بعد مضي ثلاث ثوان على حركته.

الحل:

$$v_0 = 0 \quad , t = 3\ s \quad , a = 5\ m/s^2$$

$$v = v_0 + at$$

$$v = 0 + (5)(3) = 15\ m/s$$

مثال (٣-٣)

تتسارع طائرة بدءا من السكون إلى أن تصل سرعتها إلى $360\ Km/hr$ وهي السرعة اللازمة للإقلاع . جد التسارع اللازم لذلك إذا كان طول المدرج $1200\ m$.

الحل:

$$v_0 = 0 \quad , \quad v = 360\ Km/hr = 360 \times 10^3 / 60 \times 60 = 100\ m/s$$

$$x = 1200\ m$$

$$v^2 = v_0^2 + 2ax$$

$$(100)^2 = 0 + 2\,(a)\,(1200) \Rightarrow 10000 = 2400\,(a)$$

$$a = 10000 / 2400 = 4.16\ m/s^2$$

مثال (٣-٤)

تتحرك سيارة من السكون على خط مستقيم بتسارع منتظم مقداره $2.5\ m/s^2$. جد

أ) الزمن اللازم حتى تقطع مسافة $50\ m$.

ب) سرعتها في نهاية هذه الفترة.

الحل:

$$v_0 = 0 \quad , \quad a = 2.5\ m/s^2 \quad , \quad x = 50\ m$$

$$v^2 = v_0^2 + 2ax$$

أ)

$$x = v_0t + 1/2\ at^2 \Rightarrow 50 = (0)\,(t) + 1/2\,(2.5)\,t^2$$

$$50 = (2.5 / 2)\,t^2 = 1.25\,t^2$$

$$t^2 = 50 / 1.25 = 40$$

$$t = (40)^{1/2} = 6.32\ s$$

ب)

$$v = v_0 + at \Rightarrow v = 0 + (2.5)\,(6.32) = 15.8\ m/s.$$

مثال (٣-٥)

كانت حافلة تسير على خط مستقيم بسرعة $45\ km/hr$ ، عندما شاهد سائقها حائطا أمامه استعمل الفرملة لإيقاف الحافلة ، ولكنه اصطدم بالحائط بعد أربع ثوان من بداية استعمال الفرملة. فإذا كان الحائط على بعد $40\ m$ من مقدمة الحافلة جد:

أ) تسارع (تباطؤ) السيارة قبل التصادم.

ب) سرعة السيارة لحظة التصادم.

الحل:

أ) لدينا المعلومات التالية

$$t = 4\ sec$$

$$v_0 = 45\ km/hr = 45\ (1000\ m / 60 \times 60\ sec) = 12.5\ m/s$$

$$x = 40\ m$$

$$x = v_0 t + 1/2\ at^2$$

$$40 = (12.5)\ (4) + (1/2)\ a\ (4)^2$$

$$a = -1.5\ m/s^2$$

نلاحظ ظهور إشارة سالب وهذا يعني أن تسارع السيارة كان بالاتجاه المعاكس لحركتها (تباطؤ).

ب) أصبحت لدينا جميع المتغيرات معلومة ما عدا السرعة النهائية لحظة التصادم ، وبالتالي:

$$v = v_0 + at \Rightarrow v = 12.5 + (-1.25)\ (4) = 7.5\ m/s.$$

٣-٨ قوانين نيوتن للحركة Newton's law of motion

وضع نيوتن ثلاثة قوانين أساسية للحركة هي :

القانون الأول:

يظل الجسم الساكن في حالة سكون ما لم تؤثر عليه قوة تغير من حالته . و كذلك الجسم المتحرك بسرعة منتظمة في خط مستقيم يظل على حركته ما لم تؤثر عليه قوى تغير من حالته .

و يوضح هذا القانون خاصية القصور للأجسام . فالجسم الساكن يقاوم أي تغير في حالة سكونه و كذلك الجسم المتحرك بسرعة منتظمة يقاوم أي تغير في حالة حركته. وهذا هو ما يعرف بالقصور الذاتي للأجسام.

القانون الثاني:

إذا أثرنا بقوة F على جسم ما فإنها تحدث أو تحاول أن تحدث تغيراً في حالة الجسم عن حالة سكونه أو حركته الخطية بسرعة منتظمة. وعندما تتغير حالة الجسم تحدث عجلة تسارع a يكون اتجاهها في نفس اتجاه القوة المؤثرة.

و قد وجد نيوتن أن النسبة بين القوة المؤثرة إلى العجلة الناتجة تكون دائماً ثابتة للجسم الواحد و تساوي كمية المادة بداخله أي كتلته.

$$\boxed{F = m\ .\ a} \qquad (3\text{-}13)$$

إذا كان زمن تأثير القوة هو t و كان مقدار التغير في سرعة الجسم في تلك الفترة هو Δv فمن تعريف العجلة

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

$\therefore$ معادلة القوة (3-13) تكون

$$F = m\frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$F \,.\, \Delta t = m\,\Delta v = m\,(v_2 - v_1) = mv_2 - mv_1$$

حيث v_2 , v_1 هما سرعتا الجسم عند البدء وعند الانتهاء من تأثير القوة أو على طرفي الفترة الزمنية Δt.

الكمية mv تعرف بكمية الحركة ويرمز لها بالرمز P وتقاس بوحدة $Kg.m/sec$ وتعطى حسب العلاقة

$$\boxed{P = mv} \qquad (3\text{-}14)$$

ولما كان حاصل ضرب القوة × الزمن يساوي دفع القوة (Impulse)

$$\boxed{I = F \,.\, \Delta t}$$

حيث I هي الدفع ، فإنه يمكن بذلك كتابة القانون التالي:

$$\boxed{I = \Delta P = P_2 - P_1 = mv_2 - mv_1} \qquad (3\text{-}15)$$

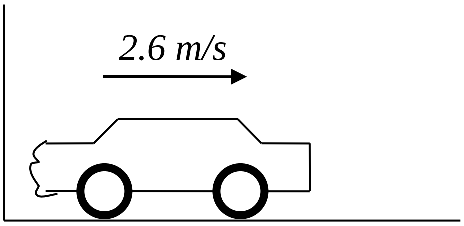
بمعنى أن التغير في كمية حركة جسم يساوي دفع القوة المؤثرة والمسببة لهدا التغير، ووحدة قياس الدفع هي نفس وحدة قياس كمية التحرك ($Kg.m/sec$).

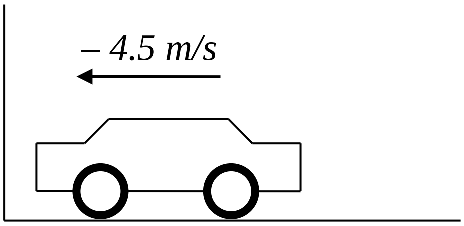
مثال (٣-٦)

سيارة كتلتها $1500\ kg$ تصطدم بجدار كما هو موضح بالشكل (٣-٢). السرعة الابتدائية للسيارة $v_i = 4.5\ m/s$ باتجاه اليسار والسرعة النهائية $v_f = 2.6\ m/s$ باتجاه اليمين.

أ) جد الدفع الناشيء عن التصادم.

ب) إذا كان متوسط القوة المبذولة على السيارة هي $F = 1.76 \times 10^5\ N$ جد زمن التصادم Δt.





بعد التصادم　　　　شكل (٣-٢)　　　　قبل التصادم

الحل:

أ) نعتبر أن الاتجاه الموجب هو الاتجاه إلى اليمين والسالب إلى اليسار.

$$I = \Delta P = P_2 - P_1 = mv_2 - mv_1$$

$$I = m\,(v_2 - v_1) = 1500\,\{2.6 - (-4.5)\}$$

$$I = 1500\,\{2.6 + 4.5\} = 1.07 \times 10^4\ kg\ .\ m/s$$

ب)

$$I = F\ .\ \Delta t$$

$$\Delta t = I / F = 1.07 \times 10^4 / 1.76 \times 10^5$$

$$\Delta t = 60.5 \times 10^{-3}\ sec$$

الكتلة والوزن Mass & Weight

الكتلة: هي مقدار ما يحتويه الجسم من مادة.

الوزن: هو قوة جذب الأرض للجسم.

فإذا كانت كتلة الجسم هي m وعجلة الجاذبية الأرضية هي $\boldsymbol{g}$ فإن وزن الجسم $\boldsymbol{W}$ يُعطى حسب العلاقة التالية:

$$\boxed{\boldsymbol{W} = m\,\boldsymbol{g}} \qquad (3\text{-}16)$$

ويلاحظ هنا أن وزن الجسم كمية متجهة أما كتلة الجسم فهي كمية غير متجهة.

القانون الثالث:

إذا أثر جسم بقوة ما على جسم آخر فإن هذا الجسم الثاني يؤثر بقوة مساوية في المقدار و مضادة في الاتجاه للقوة الأولى . أي أن لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار و مضاد له في الاتجاه.

٣-٩ قانون بقاء كمية الحركة Law of conservation of momentum

إذا تصادم جسمان تتغير كمية حركة كلٍ منهما و لذلك يؤثر كلٍ منهما بقوة على الآخر. إذا لم يؤثر على أيٍ منهما أثناء التصادم قوى خارجية ، أي أنهما يكونان مجموعه معزولة فإن كمية الحركة الكلية للجسمين قبل التصادم تساوي تماماً كمية الحركة للجسمين بعد التصادم و يسمى هذا القانون بقانون بقاء كمية الحركة.

و يمكن إثباته رياضياً باعتبار تصادم كرتين كتلتيهما m_1 ، m_2 تتحركان بسرعتين ابتدائيتين $\boldsymbol{v}_1$ ، $\boldsymbol{v}_2$ على الترتيب. عندما تتصادم الكرتان تؤثر الكرة الأولى على الثانية بقوة $\boldsymbol{F}_2$ وتؤثر الثانية على الأولى بقوة $\boldsymbol{F}_1$ بحيث $\boldsymbol{F}_1 = -\boldsymbol{F}_2$. وذلك حسب قانون نيوتن الثالث. وإذا كان زمن التصادم هو Δt وتغيرت سرعتي الكرتين بعد التصادم إلى $\boldsymbol{v}_1'$ ، $\boldsymbol{v}_2'$ فبتطبيق قانون نيوتن الثاني على كل من الكرتين نجد أن:

$$\boldsymbol{F}_1 = m_1\,(\boldsymbol{v}_1' - \boldsymbol{v}_1) / \Delta t$$

$$\boldsymbol{F}_2 = m_2\,(\boldsymbol{v}_2' - \boldsymbol{v}_2) / \Delta t$$

وحيث أن

$$\boldsymbol{F}_1 = -\boldsymbol{F}_2$$

$$m_1\,(\boldsymbol{v}_1' - \boldsymbol{v}_1) / \Delta t = -\,m_2\,(\boldsymbol{v}_2' - \boldsymbol{v}_2) / \Delta t$$

$$\boxed{\therefore\ m_1\,\boldsymbol{v}_1 + m_2\,\boldsymbol{v}_2 = m_1\,\boldsymbol{v}_1' + m_2\,\boldsymbol{v}_2'} \qquad (3\text{-}17)$$

وهذا يثبت عدم تعير كمية الحركة الكلية قبل وبعد التصادم وهذا ما يُعرف بقانون بقاء كمية الحركة.

أما إذا التحم الجسمين المتصادمين ليُكونا جسما واحدا بعد التصادم سرعته v' فإن

$$v_1' = v_2' = v'$$

وعليه فإن قانون بقاء كمية الحركة يكتب على الصورة التالية:

$$\boxed{\therefore\ m_1\,\boldsymbol{v}_1 + m_2\,\boldsymbol{v}_2 = (m_1 + m_2)\,\boldsymbol{v}'} \qquad (3\text{-}18)$$

مثال (٣-٧)

أطلقت رصاصه كتلتها $2gm$ على كتله خشبية كتلتها $600gm$ معلقه بخيط خفيف فإذا كانت سرعة الرصاصة $28000\ cm/s$ أوجد السرعة التي تكتسبها كتلة الخشب علماً بأن الرصاصة استقرت في الخشب.

الحل:

يلاحظ أن السرعة الابتدائية لكتلة الخشب $v_2 = 0$

والسرعة النهائية للرصاصة v_1' هي نفس السرعة النهائية لكتلة الخشب v_2' حيث أنهما أصبحتا جسماً واحداً وعليه يمكن كتابة

$$m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 = (m_1 + m_2)\, \mathbf{v}'$$

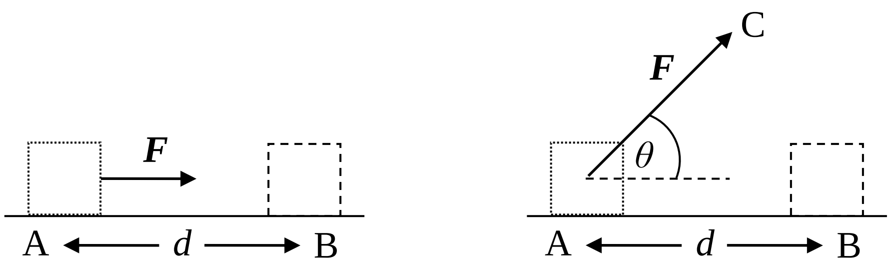
$$2\,(28000) + 0 = (2 + 600)\, v'$$

$$v' = 56000 / 602 = 93.3\ cm/sec$$

٣-١٠ الشغل والطاقة Work and energy

تُحدث القوة شغلاً على جسم ما إذا غيرت من موضع هذا الجسم . و تعريف الشغل هو حاصل ضرب الإزاحة التي يتحركها الجسم في مركبة القوة باتجاه الإزاحة. فمثلاً إذا أثرت قوة $\boldsymbol{F}$ في الاتجاه من الموضع A إلى الموضع B ، ثم تحرك الجسم مسافة d في هذا الاتجاه كما بالشكل (٣-٣) يكون الشغل المبذول هو

$$W = F.d \tag{3-19}$$



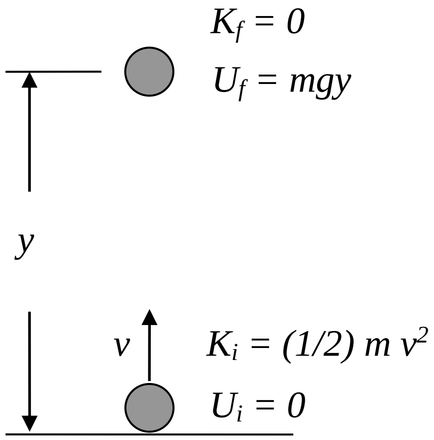
شكل (٣-٣)

أما إذا كان اتجاه القوة $\boldsymbol{F}$ بالاتجاه من A إلى C فإن الشغل المبذول يكون

$$W = (F \cos\theta)\, d$$

$$\boxed{W = F\, d \cos\theta} \tag{3-19}$$

حيث مقدار الإزاحة التي تحركتها الكتلة هي d و($F\cos\theta$) هي مركبة القوة $\boldsymbol{F}$ في اتجاه الإزاحة $\boldsymbol{d}$. يتضح من القانون السابق أن الشغل يكون موجبا إذا كانت القوة باتجاه الإزاحة لأن ($\cos 0 = 1$)، ويكون سالبا إذا كانت القوة معاكسة لاتجاه الإزاحة لأن ($\cos 180^0 = -1$).



شكل ٣-٤

وحدة قياس الشغل هي داين.سم (إرج erg) أو نيوتن.متر (جول *joule*) وهو وحدة كبيرة حيث

١ جول = ١٠^٧ (داين.سم) = ١٠^٧ إرج.

ومن الملاحظ دائماً أنه كلما بذل شغل في مجموعه معزولة من الأجسام التي تؤثر عليها قوى يحدث تغيرات في الطاقة الداخلية لها . فمثلاً الشغل المبذول لرفع جسم ما يزيد من الطاقة الكامنة فيه بفضل موضعه وتسمى هذه الطاقة بطاقة الوضع ويرمز لها بالرمز U كما بالشكل (٣-٤). أيضاً الشغل المبذول في التغلب على قوى الاحتكاك يرفع من الطاقة الحرارية للجسم . وهكذا... نستخلص القانون الآتي:

قانون الشغل والطاقة

" التغير في طاقة وضع جسم أو مجموعة أجسام معزولة يساوي تماماً مقدار الشغل المبذول عليها "

الشغل المبذول = التغير في طاقة الجسم

$$W = -\Delta U$$

الإشارة السالبة للشغل تعني أنه حصل فقد لطاقة حركة الجسم، فمثلا إذا قذف جسم لأعلى فإن طاقة حركته ستقل وتتحول إلى طاقة وضع (انظر الشكل ٣-٤).

مثال (٣-٨)

جسم كتلته 2Kg يتحرك تحت تأثير قوة ($F=20N$) تصنع زاوية مقدارها 37^0 كما بالشكل (٣-٥). فإذا تحرك الجسم مسافة مقدارها ($d=4m$) على سطح أملس، احسب الشغل المبذول بواسطة القوة F.

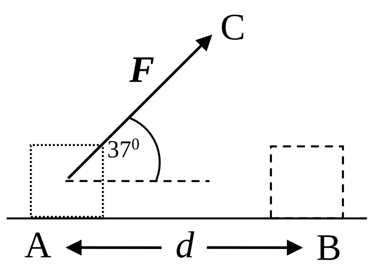
الحل:

حيث أن القوة تصنع مع الإزاحة زاوية θ فنستخدم العلاقة

$$W = F\, d\cos\theta$$

بالتعويض نجد أن

$$W = (20)\,(4)\,(\cos 37^0) = 63.9\ J$$



شكل (٣-٥)

مثال (٣-٩)

قذفت كرة كتلتها $2Kg$ إلى أعلى مسافة مقدارها $(d=4m)$. احسب الشغل المبذول بواسطة قوة الجاذبية الأرضية.

الحل:

حيث أن الجسم قذف إلى أعلى فإن الإزاحة تكون إلى أعلى في حين أن القوة المؤثرة على الجسم وهي قوة الجاذبية الأرضية إلى أسفل، أي أن القوة تصنع مع الإزاحة زاوية مقدارها 180^0.

$$W = F\,d\cos\theta$$

بالتعويض نجد أن

$$W = (20)\,(4)\,(\cos 180^0) = -\,80\ J$$

الإشارة السالبة تعني أنه قد حصل فقد لطاقة حركة الكرة.

ملاحظة/ لو أن الجسم سقط من أعلى إلى أسفل بنفس المسافة d فإن الشغل المبذول بواسطة الجاذبية سيكون موجبا وقيمته $80J$ والإشارة الموجبة تعني أن هناك زيادة في طاقة الحركة.

٣-١١ طاقة الوضع وطاقة الحركة Potential and kinetic energy

عند قذف جسم كتلته m إلى أعلى فإن القوة المؤثرة عليه تساوي وزن الجسم أي أن:

$$F = mg$$

حيث g عجلة الجاذبية الأرضية، وحسب قانون الشغل والطاقة تكون الزيادة في طاقة الجسم – عند رفعه مسافة رأسية y – مساوية للشغل الذي تبذله القوة، أي أن:

$$\Delta U = -\,W = -\,(-\,Fy) = mgy$$

حيث $(\Delta U = U_f - U_i)$ هي التغير في طاقة الوضع. وإذا اعتبرنا أن الجسم بدأ بطاقة وضع ابتدائية $(U_i = 0)$ وانتهى عند طاقة وضع نهائية $(U_f = U)$ فإن

$$\boxed{U = mgy} \tag{3-20}$$

هذه الزيادة في طاقة الوضع للجسم هي التي اكتسبها برفعه المسافة العمودية y، ومن الجدير بالذكر هنا أن الزيادة في طاقة الوضع هذه لا تتوقف على المسار الذي يتحرك فيه الجسم عند رفعه.

عندما يتحرك جسم ما فإنه يكتسب طاقة بفضل تلك الحركة ويمكن إيجاد مقدار هذه الطاقة باستخدام قانون الحركة الخطية تحت تأثير عجلة الجاذبية الأرضية g:

$$v^2 = v_0^2 - 2ax$$

فعندما تؤثر قوةعلى جسم متحرك بحيث تغير سرعته من v_0 إلى v فإنها تبذل شغلا يمكن حسابه من المعادلة السابقة كما يلي:

$$\frac{1}{2}\left(v^2 - v_0^2\right) = -gy \qquad (3\text{-}21)$$

حيث تم استبدال التسارع a بعجلة الجاذبية g والمسافة x بالمسافة الرأسية y، وبضرب طرفي المعادلة (3-21) في الكتلة m نحصل على:

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -mgy = W$$

الكمية $\frac{1}{2}mv^2$ تعرف بطاقة حركة الجسم ويرمز لها بالرمز K، أي أن:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (3\text{-}21)$$

وعليه فإن

$$\boxed{K_f - K_i = \Delta K = W} \qquad (3\text{-}22)$$

الكمية W هي الشغل الذي بذلته القوة ويساوي طاقة حركة الجسم النهائية مطروحا منها طاقة حركته الابتدائية وتعرف طاقة حركة الجسم بنصف حاصل ضرب كتلة الجسم في مربع سرعته.

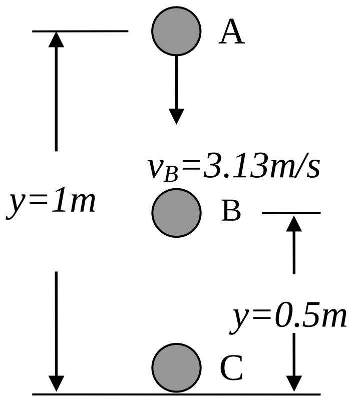
مثال (٣-١٠)

سقطت كرة كتلتها $1Kg$ من السكون من ارتفاع $1m$ عند النقطة A فوصلت النقطة B - والتي تقع على ارتفاع $0.5m$ من سطح الأرض - بسرعة مقدارها $3.13m/s$ كما بالشكل (٣-٦). احسب كل من

أ) طاقة الوضع وطاقة الحركة عند النقطة A.

ب) طاقة الوضع وطاقة الحركة عند النقطة B.

ت) طاقة الوضع وطاقة الحركة عند وصول الكرة إلى سطح الأرض.



شكل ٣-٦

الحل:

أ) عند النقطة A تكون الكرة على ارتفاع $y=1m$ لذلك فإن طاقة وضعها تساوي

$$U_A = mgy = (1)\ (9.8)\ (1) = 9.8\ J$$

أما طاقة حركتها عند A فتساوي صفرا ($K_A=0$) لأنها بدأت حركتها من السكون ($v_A=0$).

ب) طاقة الوضع عند النقطة B

$$U_B = mgy = (1)\ (9.8)\ (0.5) = 4.9\ J$$

طاقة الحركة عند النقطة B تساوي

$$K_B = (1/2)\ m\ v^2$$

$$K_B = (1/2)\ (1)\ (3.13)^2 = 4.9\ J$$

ت) طاقة الوضع عند سطح الأرض تساوي صفرا ($U=0$) لأن $y=0$.

لحساب طاقة حركتها عند سطح الأرض يجب حساب سرعتها أولا لحظة وصولها للأرض وذلك باستخدام معادلات الحركة في خط مستقيم.

$$v^2 = v_0^2 + 2ay$$

$$v^2 = (0)^2 + 2\ (9.8)\ (1) = 19.6\ m^2/s^2$$

$$K = (1/2)\ m\ v^2 = (1/2)\ (1)\ (19.6) = 9.8\ J$$

۳-۱۲ قانون بقاء الطاقة Law of conservation of energy

يعتبر قانون بقاء الطاقة من القوانين الهامة جدا في الفيزياء وينص على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من عدم ويمكن أن تأخذ صورة أخرى، أي تتحول من نوع إلى آخر. فمثلا إذا سقط جسم من حالة السكون في مجال الجاذبية الأرضية فإنه يكتسب طاقة حركة تساوي تماما ما يفقده من طاقة وضع.

يمكن استنتاج قانون بقاء الطاقة من العلاقة السابقة حيث أن

$$K_f - K_i = W = -\Delta U = -(U_f - U_i) = -U_f + U_i$$

أو أن

$$\boxed{K_f + U_f = K_i + U_i} \qquad (3\text{-}23)$$

وبصورة أخرى

$$\boxed{E_f = E_i} \qquad (3\text{-}24)$$

حيث أن الكمية

$$\boxed{E = K + U} \qquad (3\text{-}24)$$

تسمى بالطاقة الميكانيكة وهي عبارة عن حاصل جمع طاقة الحركة وطاقة الوضع.

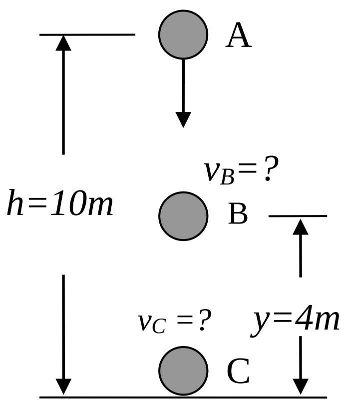
وأنواع الطاقة كثيرة، فبالإضافة إلى الطاقة الميكانيكية التي تشتمل طاقة الحركة وطاقة الوضع يوجد الطاقة الحرارية والكهربائية والمغناطيسية والطاقة الضوئية.

مثال (۳-۱۱)

جسم صغير كتلته $m=2Kg$ أسقط من ارتفاع $h=10m$ فوق سطح الأرض كما بالشكل (۳-۷). مستخدما مبدأ حفظ الطاقة احسب ما يلي:

أ) سرعة الجسم على ارتفاع $y=4m$ من سطح الأرض.

ب) سرعة الجسم لحظة وصوله لسطح الأرض.



شكل ۳-۷

الحل:

أ) باستخدام مبدأ حفظ الطاقة بين النقطتين A و B نحصل على

$$K_A + U_A = K_B + U_B$$

$$0 + mgh = (1/2)\, m\, v_B^2 + mgy$$

$$2g\,(h - y) = v_B^2$$

$$v_B^2 = (2)\,(9.8)\,(10 - 4) = 117.6$$

$$v_B = 10.8\ m/s$$

ب) باستخدام مبدأ حفظ الطاقة بين النقطتين A و C نحصل على

$$K_A + U_A = K_C + U_C$$

$$0 + mgh = (1/2)\, m\, v_C^2 + 0$$

$$2g\,h = v_C^2$$

$$v_C^2 = (2)\,(9.8)\,(10\ ) = 196$$

$$v_C = 14\ m/s.$$

٣-١٣ الحركة الدائرية المنتظمة Uniform circular motion

إذا تحرك جسم على مسار دائري نقول بأن حركته دائرية. مثال ذلك حركة جسم مربوط في خيط ويدور حول حامله، وحركة سيارة على منعطف دائري، كذلك يمكن اعتبار حركة الأرض حول الشمس دائرية تقريبا.

إذا اعتبرنا حركة نقطة مادية بسرعة منتظمة v على محيط دائرة نصف قطرها r كما بالشكل (٣-٨) فإن اتجاه سرعتها يكون دائما باتجاه المماس للدائرة. إذا انتقلت النقطة المادية من الموضع A إلى الموضع B في زمن قدره Δt فإن قوس الدائرة يصنع زاوية $\Delta\theta$ عند المركز O.

السرعة الزاوية للحركة: تعرّف السرعة الزاوية ω بالمعادلة التالية

$$\omega = \Delta\theta / \Delta t$$

وعندما تكون Δt صغيرة جدا فإن قيمة ω تصبح السرعة الزاوية اللحظية للنقطة المتحركة حول المركز O ووحدتها زاوية نصف قطرية لكل ثانية (rad/sec).

السرعة المماسية للحركة: هي السرعة الخطية لنقطة متحركة على مسار دائري عند أي موضع ويكون اتجاهها باتجاه المماس ويرمز لها بالرمز v (انظر الشكل ٣-٨) ووحدتها هي m/s.

العلاقة التي تربط بين السرعتين الزاوية والمماسية هي:

$$\boxed{v = r\,\omega} \tag{3-25}$$

حيث r هو نصف قطر الدوران.

إذا كان T هو الزمن الدوري (أي زمن الدورة الكاملة) فإن:

$$\boxed{\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n} \tag{3-26}$$

حيث n هو التردد (أي عدد الدورات خلال الثانية الواحدة) ويعطى حسب العلاقة

$$\boxed{n = \frac{1}{T}} \tag{3-27}$$

من المعادلتين (3-25) و (3-26) نجد أن:

$$v = r\omega = r\left(\frac{2\pi}{T}\right)$$

$$\boxed{v = \frac{2\pi r}{T}} \tag{3-28}$$

أي أن السرعة = محيط الدائرة / الزمن الدوري.

وحيث أن السرعة v في الحركة الدائرية تكون متغيرة الاتجاه باستمرار، فإن هذا التغير في الاتجاه يتسبب في تسارع الجسم باتجاه المركز ويسمى التسارع هنا **بالتسارع المركزي** ويرمز له بالرمز a_r ويعطى حسب العلاقة التالية:

$$\boxed{a_r = \frac{v^2}{r}} \tag{3-29}$$

مثال (٣-١١)

يدور القمر حول الأرض بمسار دائري نصف قطره $3.85\times10^5 Km$ ويكمل دورة كاملة خلال 27.3 يوم. احسب

أ) التسارع المركزي للقمر باتجاه الأرض.

ب) سرعته الزاوية.

الحل:

أ) زمن الدورة الواحد (الزمن الدوري) يساوي

$$T = 27.3 \times 24 \times 60 \times 60 = 2.36 \times 10^6\ sec$$

يمكن حساب سرعة القمر كالتالي

$$v = 2\,\pi r / T$$

$$v = 2\,\pi (3.85 \times 10^5 \times 10^3) / 2.36 \times 10^6 = 1026\ m/s$$

من هنا نجد أن التسارع المركزي يساوي

$$a_r = v^2 / r = (1026)^2 / 3.85 \times 10^8 = 2073 \times 10^{-3}$$

ب) السرعة الزاوية تعطى حسب العلاقة

$$\omega = 2\,\pi / T = 2\,\pi / 2.36 \times 10^6$$

$$\omega = 2.6 \times 10^{-6}\ rad/sec$$

ويمكن استخدام العلاقة

$$\omega = v / r = 1026 / 3.85 \times 10^8 = 2.6 \times 10^{-6}\ rad/sec$$

مسائل على الفصل الثالث

١ - إذا كنت تقود سيارة بسرعة *100km/hr* ونظرت جانبا لمدة ثانيتين، ما هي المسافة التي تقطعها السيارة خلال هذه الفترة.

٢- يتحرك جسم على خط مستقيم بسرعة *10m/s* مسافة *200m* ثم بسرعة *20m/s* مسافة *140m* في نفس الاتجاه.

أ) جد متوسط سرعة الجسم المتجهة خلال هذه الرحلة.

ب) احسب متوسط سرعته القياسية أيضا.

٣- يتحرك جسم على خط مستقيم بسرعة *10m/s* مسافة *200m* ثم بسرعة *20m/s* مسافة *140m* في الاتجاه المعاكس. جد متوسط سرعة الجسم المتجهة خلال هذه الرحلة ثم احسب متوسط سرعته القياسية أيضا.

٤- تسير عربة على منحدر بسرعة *10m/s* وتعود إلى حيث بدأت بسرعة *2m/s* . جد متوسط السرعة المتجهة خلال الرحلة بأكملها.

٥- سيارة تبدأ حركتها من السكون بتسارع منتظم، وبعد مضي *12* ثانية أصبحت سرعتها *120m/s* . احسب:

أ) تسارع السيارة.

ب) المسافة المقطوعة خلال هذه الفترة.

٦- جسم كان يتحرك بسرعة ثابتة قيمتها *6.4m/s* . إذا تسارع الجسم بعجلة منتظمة مقدارها $3.5m/s^2$ *لمدة 2.8sec* فما هي سرعته النهائية بعد هذه الفترة.

٧- قطار يتحرك بتسارع منتظم فقطع مسافة *60m* خلال *6* ثواني، إذا كانت سرعته النهائية بانتهاء هذه الفترة هي *15m/s* فاحسب ما يلي:

أ) تسارع القطار.

ب) سرعته الابتدائية.

٨- احسب قيمة القوة المؤثرة على سيارة كتلتها *1800kg* وتسارعها $8m/s^2$.

٩- أثرت قوة قيمتها $50N$ على جسم كتلته $5kg$. ما هي العجلة التي ستحرك بها الجسم؟

١٠- احسب كمية تحرك جسم كتلته $3kg$ وسرعته $5m/s$.

١١- كرة كتلتها $1kg$ اصطدمت رأسيا بسطح الأرض بسرعة $20m/s$. إذا ارتدت الكرة لأعلى بسرعة $8m/s$ ، احسب :

أ) كمية تحرك الكرة قبل اصطدامها بالأرض.

ب) التغير في كمية تحرك الكرة.

ج) الدفع الناشئ على الكرة خلال تلامسها بالأرض.

د) إذا كان زمن التلامس بالأرض هو $0.02sec$ فما هي متوسط القوة المبذولة على الكرة؟

١٢- سيارة كتلتها $1500kg$ تسير بسرعة $30m/s$ اصطدمت بشاحنة كتلتها $800kg$ تسير بسرعة $20m/s$ في نفس الاتجاه. إذا تحركت السيارة والشاحنة معا كجسم واحد

أ) احسب السرعة النهائية لهما.

ب) هل كمية التحرك محفوظة قبل التصادم وبعده؟ وضح ذلك بالحساب.

١٣- أثرت قوة أفقية قيمتها $3N$ على كتلة خشبية فأزاحتها مسافة $10m$ أفقيا. احسب مقدار الشغل المبذول على الكتلة.

١٤- جسم كتلته 2Kg يتحرك تحت تأثير قوة ($F=20N$) تصنع زاوية مقدارها 37^0 كما بالشكل (٣-٥). فإذا تحرك الجسم مسافة مقدارها ($d=4m$) على سطح أملس، احسب الشغل المبذول بواسطة القوة F.

١٥- جسم كتلته $2kg$ يسقط من ارتفاع $5m$ تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية، احسب الشغل الناتج عن تأثير وزنه.

١٦- قذفت كرة إلى أعلى بسرعة ابتدائية $10m/s$ ، فإذا تباطأت الكرة بعجلة تقصيرية $a= -10m/s^2$ احسب

أ) أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة.

ب) إذا كانت كتلة الكرة $0.5kg$ فاحسب الطاقة الميكانيكية للكرة لحظة انطلاقها وكذلك عند وصولها أقصى ارتفاع. فسر النتائج التي حصلت عليها تفسيرا فيزيائيا.

١٧- يتحرك جسيم في مسار دائري بسرعة ثابتة مقدارها $6m/s$ ، إذا كان قطر المسار الدائري يساوي $3m$ ، احسب تسارع الجسيم.

١٨- يتحرك جسيم بسرعة ثابتة في مسار دائري نصف قطره $0.6m$ ، إذا كان الجسيم يعمل 6 دورات في الثانية الواحدة احسب

أ) السرعة الزاوية للجسيم.

ب) سرعته الخطية.

ج) تسارع الجسيم.

****