١.١ 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 علم القياس Science of measurements. يقول العالم الشهير كلفن "عندما تستطيع قياس ما تتكلم عنه وتعبر عنه بالأرقام فإنك إذاً تعرف شيئاً عنه، ولكنها عندما لا تستطيع التعبير عنه بالأرقام فإن معرفتك في هذه الحالة غير كافية ولكن تعتبر البداية".

١.٢ Physical Quantity

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

.

تسمى هذه الطريقة من التعريف بالتعريف الإجرائي.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.الكميات الأساسية في علم الميكانيكا الزمنTime الطول Length الكتلة Mass .

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 غرفة الدراسة أو قياس مسافة عرض الشارع فإنه يمكن استخدام وحدات مشتقة مثل المتر أو السنتمتر أو الميليمتر، أما في حالة قياس مسافات ذرية فإننا نستخدم وحدات أصغر مثل الأنجستروم. 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 كبيرة نسبة لما نقوم بقياسه من كميات فيزيائية لذا فقد تم تسمية وحدات عملية أخري موضحة في الجدول

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

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,18.

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

[Speed] = L/T = LT^{-1}
[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 صحيحه.

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

$x = \frac{1}{2} at^2$

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 $v = vo + at$ is dimensionally correct, where v and vo 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

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

$k = 1$

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

1.6 Vector and Scalar

جميع الكميات الفيزيائية (أساسية أو مشتقة) يمكن تقسيمها إلـــى نـــوعين، الأول الكميـــة القياسية *scalar* والثانية الكمية المتجهة *vector*. **الكمية القياســـية** يمكـــن تحديـــدها 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 متحركـــاً، ولتحديد موقع هذا الجسم فإننا نستعين بما يعرف بالإحـــداثيات *Coordinates*، وهنـــاك نوعان من الإحداثيات التي سوف نستخدمها في هـــذا الكتـــاب وهمـــا *Rectangular coordinates* و *polar coordinates*.

1.7 Coordinate system

نحتاج في حياتنا العملية إلى تحديد موقع جسم ما في الفراغ سواءً كان ساكناً أم متحركـــاً، ولتحديد موقع هذا الجسم فإننا نستعين بما يعرف بالإحــداثيات *Coordinates*، و هنـــاك نوعان من الإحداثيات التي سوف نستخدمها في هــذا الكتـــاب و همـــا *Rectangular coordinates* و *polar coordinates*.

1.7.2 The polar coordinates

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

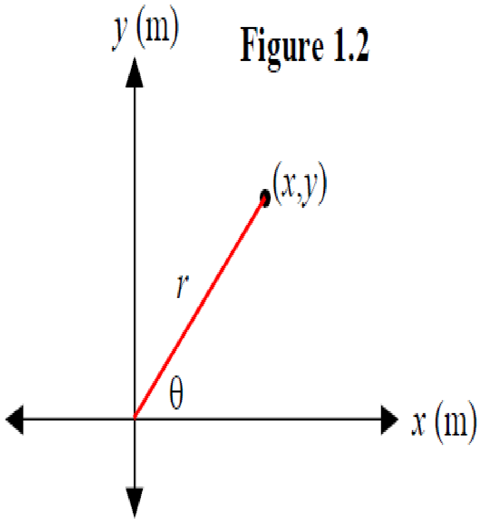


Figure 1.2

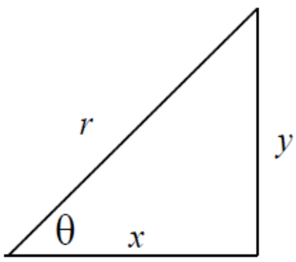
1.7.3 The relation between coordinates

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

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

And

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



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

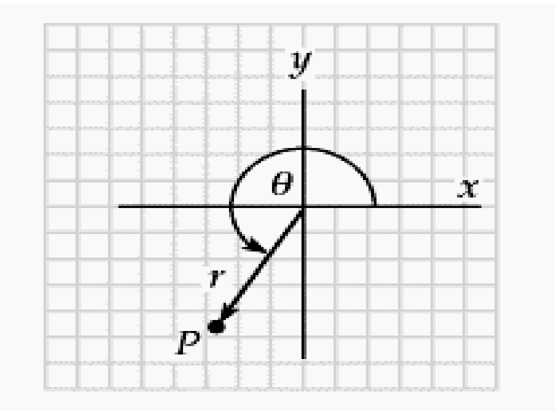
$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \qquad (1.3)$$

Dividing equation (1.1) and (1.2) we get

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

Example 1.4

The polar coordinates of a point are *r* = 5.5m and *Θ* =240°. What are the Cartesian coordinates of this point?



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

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

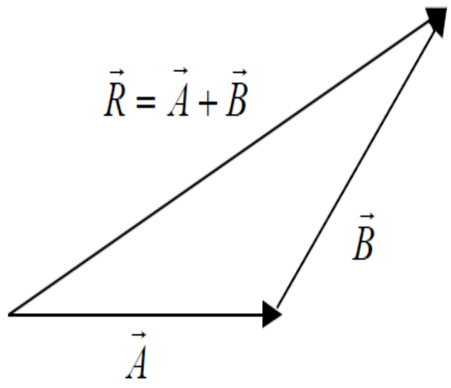


Figure 1.5

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

A+B=B+A ***(1.6)***

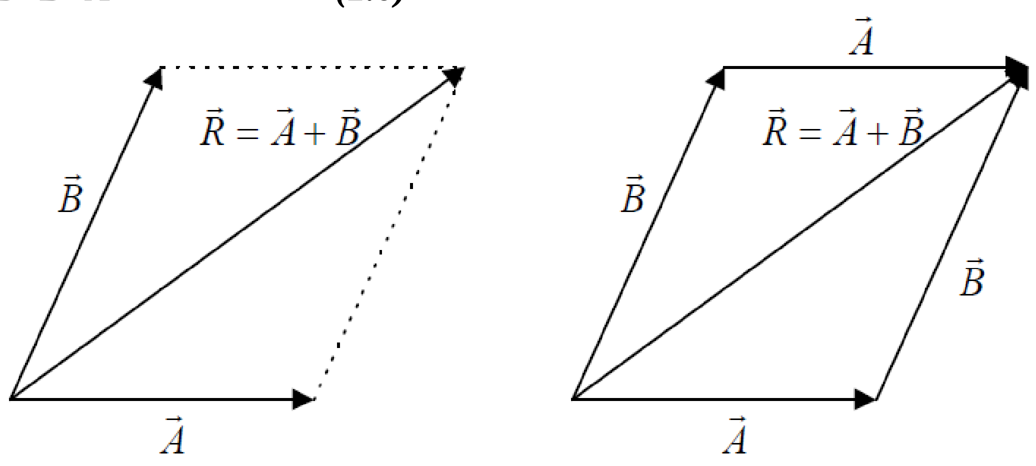


Figure 1.6

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

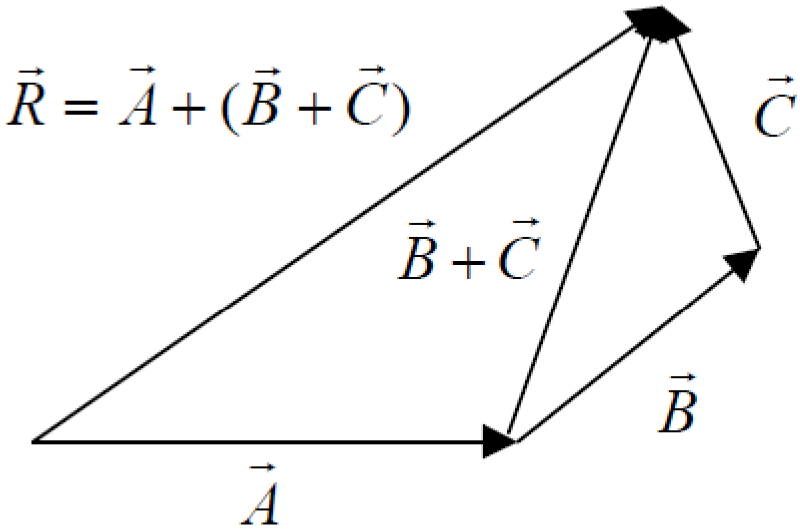


Figure 1.7

1.8.2 Vector subtraction

The vector subtraction $\vec{A} - \vec{B}$ is evaluated as the vector subtracti

$$A - B = A + (-B) \qquad (1.8)$$

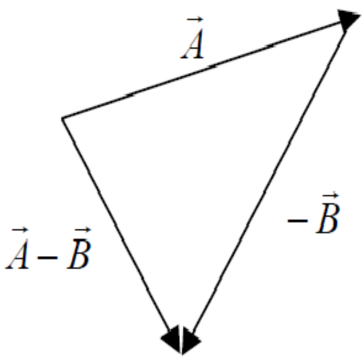


Figure 1.8

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

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

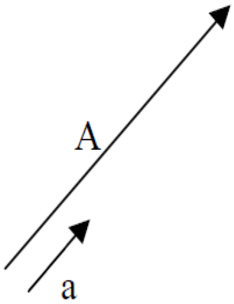


Figure 1.9

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

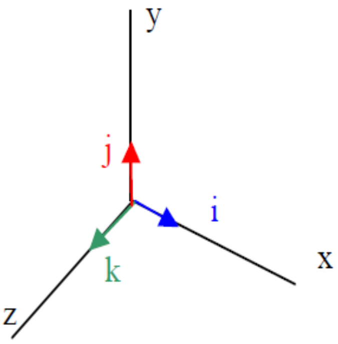


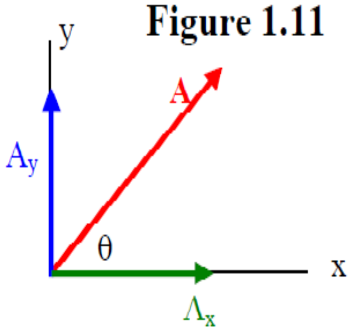
Figure 1.10

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 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

Figure 1.11



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

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

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

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

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

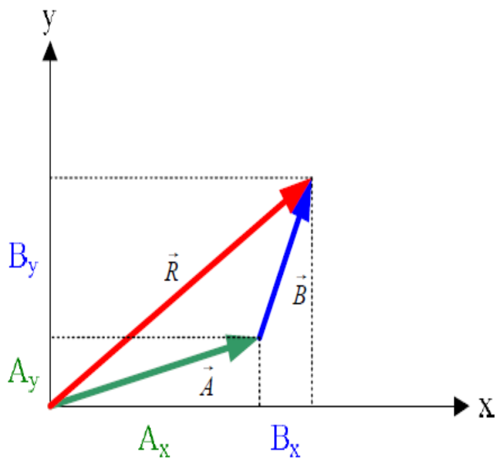
$$\vec{A} = A_x\mathrm{i} + A_y\mathrm{j} \qquad (1.15)$$

ملاحظة: يمكـن اسـتخدام طريقـة تحليـل المتجهات في جمع متجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ كما في الشكل التالي:

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

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

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



Example 1.5

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

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

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

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

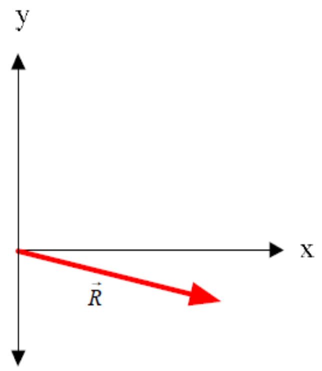


Figure 1.13

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

$x = r\cos\theta = 5.5 \times \cos 240 = -2.75$ m

$y = r\sin\theta = 5.5 \times \sin 240 = -4.76$ 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

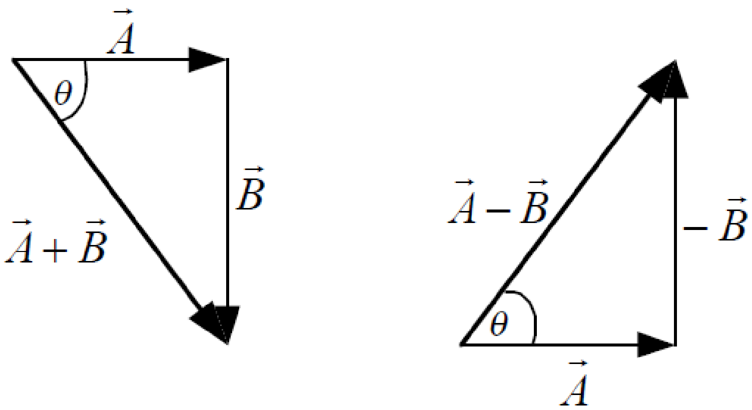


Figure 1.14

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 $|\vec{A}-\vec{B}|$.

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

$\theta = -53^\circ$ $\qquad$ $\theta = 53^\circ$

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

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

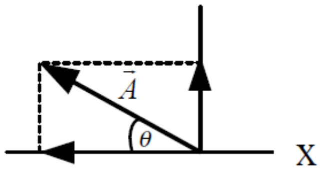
(c) $\left|\vec{A}+\vec{B}\right| = \sqrt{2^2+(-6)^2} = 6.32$

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

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

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

Solution



$A_x = -3$ units & $A_y = 2$ units

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

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

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

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

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

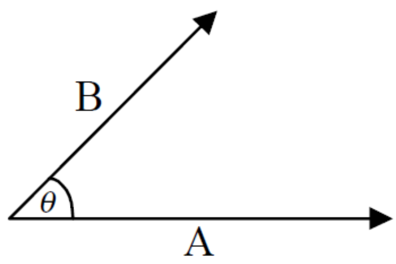
$\vec{R}_2 = x_2 i + y_2 j = (-i + 8j)m$

(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.



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.

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

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

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

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

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

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

The angle between the two vectors is

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

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:

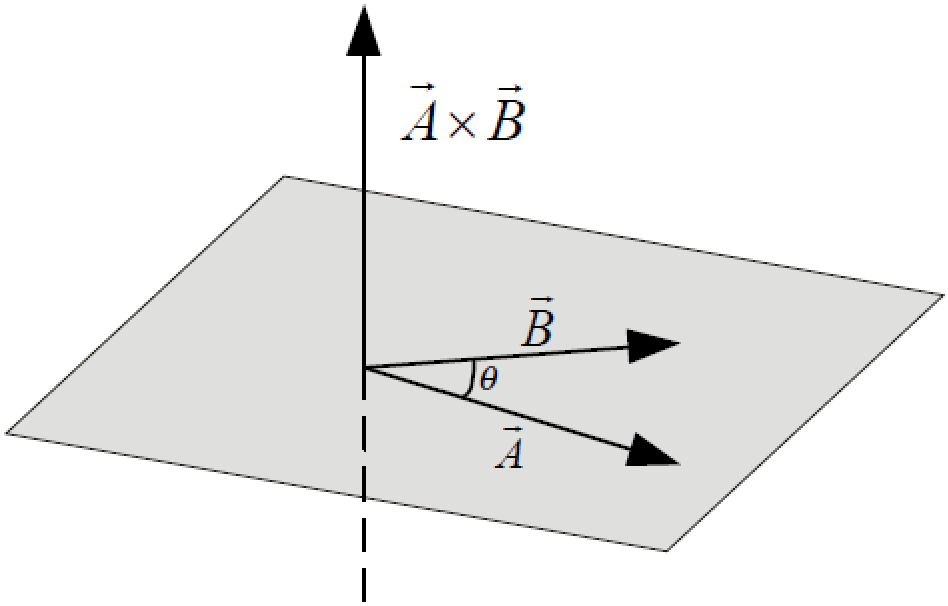


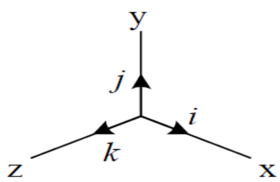
Figure 1.16

$$\vec{A}\times\vec{B} = AB\sin\theta \qquad (1.23)$$

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

To evaluate this product we use the fact that the angle between the unit vectors i, j , k is 90^{o}.

$i\times i = 0$	$i\times j = k$	$i\times k = -j$
$j\times j = 0$	$j\times k = i$	$j\times i = -k$
$k\times k = 0$	$k\times i = j$	$k\times j = -i$



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

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 $\vec{B}$.