

الرياضيات

للفيف السادس العلمي

المؤلفون

الدكتور رحيم يونس كرو

منعم حسين التميمي

جعفر رضا هاشم الزبيدي

الدكتور طارق شعبان رجب الحديشي

محمد عبد الغفور الجواهري

يوسف شريف المعمار

المشرف العلمي على الطبع : د. حسين صادق العلق
المشرف الفني على الطبع : ساره خليل ابراهيم

تصميم الكتاب: محمد سعدي عزيز



الموقع والصفحة الرسمية للمديرية العامة للمناهج

www.manahj.edu.iq

manahjb@yahoo.com

Info@manahj.edu.iq



[manahjb](https://www.facebook.com/manahjb)

[manahj](https://www.youtube.com/channel/UCmanahj)

استنادًا إلى القانون يوزع مجانًا ويمنع بيعه وتداوله في الاسواق

لقد ظهرت في الكثير من دول العالم المتقدم مناهج حديثة في الرياضيات، وطرائق جديدة لتناولها كانت سببا في حركة ديناميكية فعالة أثرت في العملية التعليمية في المدارس والجامعات، وأحدثت فيها تطورا جذريا، وعليه أصبح من الضروري أن يلتحق العراق بهذا الركب وأن يسارع في العمل لتطوير مناهج التعليم واساليبه وخاصة في الرياضيات التي تلعب دورا طليعيا في إرساء دعائم الحضارة والمدنية، فهناك علاقة طردية بين احتياجات التنمية الصناعية والزراعية والمدنية، والتكنولوجية والاقتصادية بصفة خاصة وبين مناهج الرياضيات في المؤسسات التعليمية بمختلف مستوياتها .

وفي ضوء خطة تطوير المناهج الدراسية عامة ومناهج الرياضيات خاصة تم تأليف هذا الكتاب الذي هو آخر حلقة من سلسلة الرياضيات قبل الجامعية، إذ تقع مادة هذا الكتاب في ستة فصول، تناول الفصل الأول الأعداد المركبة، والعمليات عليها وإيجاد الجذور وخواصها، وحل معادلات من الدرجة الثانية في مجموعة الأعداد المركبة، والاحداثيات القطبية وأخيرا مقياس العدد المركب وسعته وكتابته بدالتيهما .

أما الفصل الثاني فقد احتوى على القطوع المخروطية متضمنة القطوع المخروطية (المكافئ، الناقص، الزائد) والمعادلة القياسية لكل منها في حالات مختلفة، والاختلاف المركزي لكل قطع مخروطي .

واشتمل الفصل الثالث على المعدلات الزمنية والقيم العظمى والصغرى المحلية ومبرهنة رول ومبرهنة القيمة المتوسطة والتقريب باستخدامها، والتقعر والتحدب ورسم بيان بعض كثيرات الحدود والحدوديات النسبية، أما اشتقاق الدوال الاسية واللوغارتمية فقد عرضت في الفصل الرابع الذي احتوى على موضوع التكامل وتطبيقاته، إذ تم التطرق إلى التجزئة المنتظمة ومجموع ريمان لكن بصورة مبسطة وعن طريق الامثلة بهدف التوصل إلى المبرهنة الأساسية للتفاضل والتكامل.

ثم التركيز على إيجاد تكاملات الدوال الجبرية واللوغارتمية والاسية والدائرية وإيجاد المساحة بين منحنيين وبين منحنى ومحور السينات وحجوم المجسمات الدورانية واحتوى الفصل الخامس على موضوع المعادلات التفاضلية والذي اقتصر على المفاهيم الخاصة بالمعادلات التفاضلية (الرتبة، الدرجة، الحل).

ولم يركز عند حل المعادلات التفاضلية إلا على فصل المتغيرات، والمعادلات المتجانسة. أما الفصل الأخير فقد تضمن تكملة لما درسه الطالب في الصف الخامس العلمي من مادة الهندسة المجسمة والمتعلقة بالزاوية الزوجية والمستويات المتعامدة ومفاهيم الإسقاط العمودي والمبرهنات المتعلقة بهذه الموضوعات كما اشتمل هذا الفصل على مساحات وحجوم بعض المجسمات .

وقد روعي في هذا الكتاب وجود قدر كاف من التطبيقات الحياتية والفيزيائية والامثلة والمسائل والتمرينات المتنوعة، وتوخينا جهد امكاننا ان تترابط موضوعات هذا الكتاب مع كتب الرياضيات للصفوف التي سبقته ومع ما يدرسه الطلبة في دراستهم اللاحقة فضلا عن مراعاة الفروق الفردية بين الطلبة.

كما نشتمن جهود الخبيرين العلميين اللذين ساهما بانجاز هذا الكتاب وهما:

الدكتور نوري فرحان عذاب الدكتور علي يوسف عبد الله

أملين ان نكون قد وفقنا في ذلك كله، ومرحبين بكل نقد بناء من الطلبة وأولياء أمورهم أو مدرسيهم أو من ذوي الاختصاص والاهتمام لإثراء الكتاب وتطويره

والله ولي التوفيق

المحتويات

47	5	الفصل الاول (18) حصة	1
89	48	الفصل الثاني (18) حصة	2
147	90	الفصل الثالث (48) حصة	3
209	148	الفصل الرابع (36) حصة	4
223	210	الفصل الخامس (18) حصة	5
240	224	الفصل السادس (12) حصة	6

الفصل الأول

Chapter One

Complex Numbers الأعداد المركبة

المحااجة الى توسيع مجموعة الأعداد الحقيقية. [1-1]

العمليات على مجموعة الأعداد المركبة. [1-2]

مرافق العدد المركب. [1-3]

الجذور التربيعية للعدد المركب. [1-4]

حل المعادلة التربيعية في \mathbb{C} . [1-5]

الجذور التكعيبية للواحد الصحيح. [1-6]

التمثيل الهندسي للأعداد المركبة. [1-7]

الصيغة القطبية للعدد المركب. [1-8]

مبرهنة دي موافر. [1-9]

الرمز او العلاقة الرياضية	المصطلح
$R(z) = x = r \cos \theta$	الجزء الحقيقي للعدد Z
$I(z) = y = r \sin \theta$	الجزء التخيلي للعدد Z
$\arg(z) = \theta$	سعة العدد المركب Z
$r = z = \text{mod } z$	مقياس العدد المركب Z
LHS	الطرف الايسر
RHS	الطرف الايمن
w	الأعداد الكلية
N	الأعداد الطبيعية
Z	الأعداد الصحيحة
Q	الأعداد النسبية
R	الأعداد الحقيقية
\mathbb{C}	الأعداد المركبة

[1-1] الحاجة الى توسيع مجموعة الأعداد الحقيقية.

لقد درسنا في الصفوف السابقة حل المعادلة الخطية (Linear Equation)، وعرفنا انه يوجد حل واحد في مجموعة الأعداد الحقيقية لاية معادلة خطية.

وعند دراستنا للمعادلة التربيعية تبين أنه لنوع معين منها حل في مجموعة الأعداد الحقيقية، ونوع آخر لا يوجد لها حل في هذه المجموعة، مثل المعادلات: $(x^2 + 1 = 0)$ ، $(x^2 + 4x + 5 = 0)$ وكما تعلمت ان المعادلات التربيعية التي يكون مميزها $(b^2 - 4ac)$ عدداً سالباً لا يوجد لها حل في مجموعة الأعداد الحقيقية.

ان ظهور مثل هذه المعادلات في العديد من التطبيقات الفيزيائية والهندسية ادى الى الحاجة الى توسيع مجموعة الأعداد الحقيقية الى مجموعة اوسع منها هي مجموعة الأعداد المركبة والتي سوف تكون موضوع دراستنا في هذا الفصل.

إننا عندما نريد حل المعادلة $(x^2 + 1 = 0)$ أو $(x^2 = -1)$ لانجد عدداً حقيقياً مربعه يساوي (-1) لذلك نفترض وجود عدد يساوي $\sqrt{-1}$ وهو غير حقيقي ونرمز له بالرمز (i) ويسمى الوحدة التخيلية (Imaginary Unit) وهو ليس من الأعداد التي تفرن مع العد أو القياس.

إن العدد (i) يحقق الخواص الجبرية للأعداد الحقيقية ما عدا خاصية الترتيب، ولهذا نستطيع حساب قوى (i) كما في الأمثلة الآتية:

$$i^2 = -1$$

$$i^3 = i^2 \cdot i = (-1) \cdot i = -i$$

$$i^4 = i^2 \cdot i^2 = (-1)(-1) = 1$$

$$i^{27} = i^{26} \cdot i = (i^2)^{13} \cdot i = (-1)^{13} \cdot i = -i$$

$$i^{81} = i^{80} \cdot i = (i^2)^{40} \cdot i = (-1)^{40} \cdot i = 1 \cdot i = i$$

$$i^{-7} = (i)^{-8} \cdot i = (i^2)^{-4} \cdot i = (-1)^{-4} \cdot i = i$$

$$i^{-15} = i^{-16} \cdot i = (i^2)^{-8} \cdot i = (-1)^{-8} \cdot i = i$$

وبصورة عامة يكون

$$i^{4n+r} = i^r, \quad n \in \mathbb{w}, \quad r = 0, 1, 2, 3 \quad \text{حيث}$$

$$\text{whole Numbers} \quad \mathbb{w} = \{0, 1, 2, \dots\} \quad \text{حيث}$$

وهذا يعني انه عند رفع (i) لعدد صحيح موجب فالنتج يكون احد عناصر المجموعة { -i, i, -1, 1 }

حيث نقسم أس (i) على (4) والباقي هو الأس الجديد الى (i).

فمثلاً : $i^{25} = i$ لأن ناتج قسمة 25 على 4 يساوي 6 والباقي 1 .
 $i^{99} = i^3 = -i$ لأن ناتج قسمة 99 على 4 يساوي 24 والباقي 3 .

مثال - 1

اكتب ما يلي في أبسط صورة :

(a) i^{16} (b) i^{58} (c) i^{12n+93} (d) i^{-13}

الحل :

(a) $i^{16} = i^{4(4)+0} = i^0 = 1$

(b) $i^{58} = i^{4(14)+2} = i^2 = -1$

(c) $i^{12n+93} = (i^4)^{3n} \cdot i^{93} = (1)^{3n} i^{4(23)+1} = (1)(i) = i$

(d) $i^{-13} = \frac{1}{i^{13}} = \frac{i^{16}}{i^{13}} = i^3 = -i$

يمكننا كتابة الجذور التربيعية لأي عدد حقيقي سالب بدلالة i فمثلاً :

ملاحظة

$$\sqrt{-16} = \sqrt{16} \cdot \sqrt{-1} = 4i$$

$$\sqrt{-25} = \sqrt{25} \cdot \sqrt{-1} = 5i$$

$$\sqrt{-12} = \sqrt{12} \cdot \sqrt{-1} = 2\sqrt{3}i$$

$$\sqrt{-15} = \sqrt{15} \cdot \sqrt{-1} = \sqrt{15}i$$

وبصورة عامة يكون

$$\sqrt{-a} = \sqrt{a} \cdot \sqrt{-1} = \sqrt{a} i, \forall a \geq 0$$

والآن بعد أن تعرفنا على العدد التخيلي ماذا نسمي العدد $(a+bi)$ حيث a عدد حقيقي، b عدد حقيقي، $i = \sqrt{-1}$ ؟

العدد المركب

تعريف [1-1-1]

يقال للعدد $c = a+bi$ حيث a, b عدداً حقيقيين $i = \sqrt{-1}$ عدد مركب (Complex Number)، يسمى a جزؤه الحقيقي (Real Part) ويسمى b جزؤه التخيلي (Imaginary Part). ويرمز إلى مجموعة الأعداد المركبة بالرمز \mathbb{C} ويقال للصيغة $a+bi$ الصيغة العادية أو الجبرية للعدد المركب.

ان اي عدد مركب $c = a + bi$ يمكن جعله مناظراً للزوج المرتب الوحيد (a, b)

ملاحظة

اذ أن a, b عدداً حقيقيين، وبالعكس فالعدد الحقيقي a يمكن كتابته بالشكل $a+0i$ أو $(a, 0)$. وان العدد i (Imaginary Unit) حيث ان: $(0, 1) \Leftrightarrow i$ أو $i = 0+1i$.

يقال للعدد $bi \Leftrightarrow (0, b)$ عدد تخيلي بحت (pure Imaginary Number) والعدد

$a = a+0i \Leftrightarrow (a, 0)$ إنه عدد حقيقي بحت (Pure Real Number).

فالعدد $3i + 2$ عدد مركب، جزؤه الحقيقي 2 وجزؤه التخيلي 3

والعدد -2 عدد مركب، جزؤه الحقيقي -2 وجزؤه التخيلي 0

اما العدد $-3i$ فهي عدد مركب، جزؤه الحقيقي 0 وجزؤه التخيلي -3

اكتب الأعداد الآتية على صورة $a+bi$:

a) -5 b) $\sqrt{-100}$ c) $-1-\sqrt{-3}$ d) $\frac{1+\sqrt{-25}}{4}$

الحل:

a) $-5 = -5 + 0i$

b) $\sqrt{-100} = \sqrt{100}\sqrt{-1} = 10i = 0 + 10i$

c) $-1 - \sqrt{-3} = -1 - \sqrt{3}i$

d) $\frac{1+\sqrt{-25}}{4} = \frac{1}{4} + \frac{\sqrt{25}i}{4} = \frac{1}{4} + \frac{5}{4}i$

بما ان كل عدد حقيقي a يمكن كتابته بالشكل $a + 0i$ أو $(a, 0)$ اي يمكن كتابته على صورة عدد مركب جزؤه التخيلي صفر فان هذا يبين أن :

مجموعة الأعداد الحقيقية R هي مجموعة جزئية من مجموعة الأعداد المركبة \mathbb{C} اي ان $R \subset \mathbb{C}$.

ملاحظة

تساوي الأعداد المركبة

تعريف [1-1-2]

إذا كان : $c_1 = a_1 + b_1i$, $c_2 = a_2 + b_2i$

فإن : $c_1 = c_2 \Leftrightarrow a_1 = a_2$, $b_1 = b_2$

اي يتساوى العددين المركبان اذا تساوى جزءاهما الحقيقيان وتساوى جزءاهما التخيليان وبالعكس.

جد قيمة كل من x , y الحقيقيتين اللتين تحققان المعادلة في كل مما يأتي .

a) $2x - 1 + 2i = 1 + (y+1)i$.

b) $3x+4i = 2 + 8yi$

c) $(2y+1) - (2x-1)i = -8 + 3i$

الحل:

a) $\because 2x-1 + 2i = 1 + (y+1)i$

$$\therefore 2x - 1 = 1 \Rightarrow 2x = 2$$

$$\Rightarrow x = 1$$

$$2 = y+1 \Rightarrow y = 2-1$$

$$\therefore y = 1$$

b) $3x+4i = 2 + 8yi$

$$\therefore 3x = 2 , 4 = 8y \Rightarrow$$

$$x = \frac{2}{3} , y = \frac{4}{8} = \frac{1}{2}$$

c) $\because (2y+1) - (2x-1)i = -8 + 3i$

$$\therefore 2y+1 = -8 , -(2x-1) = 3 \Rightarrow$$

$$2y = -9 , -2x = 2 \Rightarrow$$

$$y = \frac{-9}{2} , x = -1$$

[1-2] العمليات على مجموعة الأعداد المركبة.

أولاً: عملية الجمع على مجموعة الأعداد المركبة :

جمع الأعداد المركبة

تعريف [1-2-1]

ليكن $c_1 = a_1 + b_1 i$, $c_2 = a_2 + b_2 i$ حيث $c_1, c_2 \in \mathbb{C}$ فإن
 $c_1 + c_2 = (a_1 + a_2) + (b_1 + b_2) i$
 وكما تعلم أن: $(a_1 + a_2) \in \mathbb{R}$, $(b_1 + b_2) \in \mathbb{R}$ لأن مجموعة الأعداد الحقيقية مغلقة
 تحت عملية الجمع .

$$\therefore (a_1 + a_2) + (b_1 + b_2) i \in \mathbb{C}$$

أي ان مجموعة الأعداد المركبة مغلقة تحت عملية الجمع .

مثال - 4

جد مجموع العددين المركبين في كل مما يأتي :

a) $3+4\sqrt{2}i$, $5-2\sqrt{2}i$

b) 3 , $2-5i$

c) $1-i$, $3i$

الحل :

$$\begin{aligned} \text{a) } (3+4\sqrt{2}i) + (5-2\sqrt{2}i) &= (3+5) + (4\sqrt{2}-2\sqrt{2})i \\ &= 8+2\sqrt{2}i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } (3) + (2-5i) &= (3+0i) + (2-5i) \\ &= (3+2) + (0-5)i = 5-5i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } (1-i) + 3i &= (1-i) + (0+3i) \\ &= (1+0) + (-1+3)i = 1+2i \end{aligned}$$

خواص عملية الجمع على مجموعة الأعداد المركبة

تتمتع عملية الجمع على الأعداد المركبة بالخواص الآتية:

$$\forall c_1, c_2, c_3 \in \mathbb{C}$$

فان:

$$(1) c_1 + c_2 = c_2 + c_1$$

* الخاصية الإبدالية. (Commutativity)

$$(2) c_1 + (c_2 + c_3) = (c_1 + c_2) + c_3$$

* الخاصية التجميعية. (Associativity)

(3)

* النظير الجمعي. (Additive Inverse)

$$\forall c \in \mathbb{C}, c = a + bi \exists z \in \mathbb{C} : c + z = z + c = 0 \Rightarrow z = -c = -a - bi$$

(4) $e = 0 = 0 + 0i \in \mathbb{C}$ العنصر المحايد الجمعي. Additive Identity يرمز له بالرمز e ويُعرف

ان طرح أي عدد مركب من آخر يساوي حاصل جمع العدد
المركب الاول مع النظير الجمعي للعدد المركب الثاني.

ملاحظة

جد ناتج:

مثال -5

$$(7-13i) - (9+4i)$$

الحل:

$$(7-13i) - (9+4i)$$

$$=(7-13i) + (-9-4i)$$

$$=(7-9) + (-13-4)i$$

$$= -2 - 17i$$

حل المعادلة:

$$(2-4i) + x = -5+i$$

حيث $x \in \mathbb{C}$

الحل:

$$(2-4i) + x = -5+i$$

بإضافة النظير الجمعي للعدد $(2-4i)$ للطرفين

$$(2-4i) + (-2+4i) + x = (-5+i) + (-2+4i)$$

$$\therefore x = (-5+i) + (-2+4i)$$

$$= (-5-2) + (1+4)i$$

$$x = -7+5i$$

ثانياً: عملية الضرب على مجموعة الأعداد المركبة:

لايجاد عملية ضرب عددين مركبين نقوم بضربهما بصفتهما مقدارين جبريين ونعوض بدلاً من i^2 العدد

(-1) كما يأتي:

إذا كان $c_1 = a_1 + b_1 i$ ، $c_2 = a_2 + b_2 i$ فإن

$$\begin{aligned} c_1 \cdot c_2 &= (a_1 + b_1 i)(a_2 + b_2 i) \\ &= a_1 a_2 + a_1 b_2 i + a_2 b_1 i + b_1 b_2 i^2 \\ &= a_1 a_2 + a_1 b_2 i + a_2 b_1 i - b_1 b_2 \\ &= (a_1 a_2 - b_1 b_2) + (a_1 b_2 + a_2 b_1) i \end{aligned}$$

فإن $c = a + b i$

إذا كان $m \in \mathbb{R}$ ،

$$m c = m a + m b i$$

ملاحظة

ضرب الأعداد المركبة

تعريف [1-2-2]

ليكن $c_1 = a_1 + b_1 i$, $c_2 = a_2 + b_2 i$ حيث $c_1, c_2 \in \mathbb{C}$ فإن :

$$c_1 \cdot c_2 = (a_1 a_2 - b_1 b_2) + (a_1 b_2 + a_2 b_1) i$$

وكما تعلم : $(a_1 a_2 - b_1 b_2) \in \mathbb{R}$ وان $(a_1 b_2 + a_2 b_1) \in \mathbb{R}$ لان

R مغلقة تحت عملية الضرب

لذلك فإن $c_1 \cdot c_2 \in \mathbb{C}$

أي ان مجموعة الأعداد المركبة مغلقة تحت عملية الضرب.

مثال -7

جد ناتج كلا مما يأتي :

a) $(2 - 3i)(3 - 5i)$

b) $(3 + 4i)^2$

c) $i(1 + i)$

d) $-\frac{5}{2}(4 + 3i)$

e) $(1 + i)^2 + (1 - i)^2$

الحل :

a) $(2 - 3i)(3 - 5i) = (6 - 15) + (-10 - 9)i$
 $= -9 - 19i$

او يمكن ايجاد حاصل الضرب بالتوزيع

$(2 - 3i)(3 - 5i) = 6 - 10i - 9i + 15i^2 = -9 - 19i$

b) $(3 + 4i)^2 = 9 + 24i + 16i^2$
 $= 9 + 24i - 16$
 $= -7 + 24i$

$(3 + 4i)^2 = (3 + 4i)(3 + 4i) = (9 - 16) + (12 + 12)i = -7 + 24i$ أو

c) $i(1 + i) = i + i^2 = -1 + i$

$$d) -\frac{5}{2}(4+3i) = -10 - \frac{15}{2}i$$

$$e) (1+i)^2 + (1-i)^2 = (1+2i+i^2) + (1-2i+i^2)$$

$$= 2i + (-2i) = 0$$

خواص عملية الضرب على مجموعة الأعداد المركبة

تتمتع عملية الضرب على الأعداد المركبة بالخواص الآتية:

$$\forall c_1, c_2, c_3 \in \mathbb{C}$$

$$(1) c_1 \times c_2 = c_2 \times c_1 \quad \text{* الخاصية الإبدالية. (Commutativity)}$$

$$(2) c_1 \times (c_2 \times c_3) = (c_1 \times c_2) \times c_3 \quad \text{* الخاصية التجميعية. (Associativity)}$$

$$(3) 1 = (1+0i) \quad \text{هو العنصر المحايد الضربي (Multiplicative Identity)}$$

$$\text{* النظير الضربي (Multiplicative Inverse)}$$

$$(4) \forall c \neq 0+0i, \exists z \neq 0+0i : c z = z c = 1 \Rightarrow z = \frac{1}{c}$$

أي أن لكل عدد مركب c عدا الصفر يوجد له نظير ضربي $\frac{1}{c}$ (يختلف عن الصفر) ينتمي إلى مجموعة الأعداد المركبة.

[1-3] مرافق العدد المركب Conjugate Number

تعريف [1-3-1] مرافق العدد المركب

$$\forall a, b \in \mathbb{R}, \quad \bar{c} = a - bi \quad \text{هو العدد المركب } c = a + bi \text{ مرافق العدد المركب}$$

فمثلاً: $3+i$ هو مرافق العدد $3-i$ وبالعكس، وكذلك مرافق i هو $(-i)$ وبالعكس.

وان $5-4i$ مرافق $5+4i$ وبالعكس، وكذلك مرافق العدد 7 هو 7 .

يتضح من تعريف المرافق أنه يحقق الخواص الآتية:

- 1) $\overline{c_1 \pm c_2} = \overline{c_1} \pm \overline{c_2}$
- 2) $\overline{c_1 \times c_2} = \overline{c_1} \times \overline{c_2}$
- 3) $\overline{\overline{c}} = c$
- 4) إذا كان $c = a + bi$ فإن $c \times \overline{c} = a^2 + b^2$
- 5) إذا كان $c \in \mathbb{R}$ فإن $\overline{c} = c$
- 6) $\overline{\left(\frac{c_1}{c_2}\right)} = \frac{\overline{c_1}}{\overline{c_2}}$, $c_2 \neq 0$

مثال - 8

إذا كان $c_1 = 1 + i$, $c_2 = 3 - 2i$ فتتحقق من :

(1) $\overline{c_1 \pm c_2} = \overline{c_1} \pm \overline{c_2}$ (2) $\overline{c_1 \times c_2} = \overline{c_1} \times \overline{c_2}$

الحل:

$$(1) \overline{c_1 + c_2} = \overline{(1+i) + (3-2i)}$$

$$= \overline{(4-i)} = 4+i$$

$$\overline{c_1} + \overline{c_2} = \overline{(1+i)} + \overline{(3-2i)}$$

$$= (1-i) + (3+2i) = 4+i$$

$$\therefore \overline{c_1 + c_2} = \overline{c_1} + \overline{c_2}$$

$$\overline{c_1 - c_2} = \overline{c_1} - \overline{c_2} \text{ تأكد بنفسك ان}$$

$$(2) \overline{c_1 \times c_2} = \overline{(1+i)(3-2i)}$$

$$= \overline{3-2i+3i-2i^2} = \overline{5+i} = 5-i$$

$$\overline{c_1} \times \overline{c_2} = \overline{(1+i)} \times \overline{(3-2i)} = (1-i) \times (3+2i)$$

$$= (3+2) + (2-3)i = 5-i$$

$$\therefore \overline{c_1 \times c_2} = \overline{c_1} \times \overline{c_2}$$

مثال - 9

جد النظير الضربي للعدد $c = 2 - 2i$ وضعه بالصيغة العادية للعدد المركب.

الحل:

النظير الضربي للعدد c هو $\frac{1}{c}$

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{2 - 2i}$$

$$= \frac{1}{2 - 2i} \times \frac{2 + 2i}{2 + 2i} = \frac{2 + 2i}{4 + 4} = \frac{2 + 2i}{8}$$

$$= \frac{1}{4} + \frac{1}{4}i$$

مثال - 10

إذا كان $\frac{3 - 2i}{i}$ ، $\frac{x - yi}{1 + 5i}$ مترافقان فجد قيمة كل من $x, y \in \mathbb{R}$

الحل:

$$\frac{3 - 2i}{i} = \left(\frac{x - yi}{1 + 5i} \right)$$

$$\frac{3 - 2i}{i} = \frac{x + yi}{1 - 5i}$$

$$xi + yi^2 = 3 - 15i - 2i + 10i^2$$

$$xi - y = -7 - 17i$$

$$\therefore x = -17$$

$$y = 7$$

مثال - 11

إذا كان $c_1 = 3 - 2i$ ، $c_2 = 1 + i$ فتتحقق من : $\overline{\left(\frac{c_1}{c_2} \right)} = \frac{\overline{c_1}}{\overline{c_2}}$

الحل:

$$\overline{\left(\frac{c_1}{c_2} \right)} = \overline{\left(\frac{3 - 2i}{1 + i} \right)}$$

$$= \overline{\left(\frac{3-2i}{1+i} \times \frac{1-i}{1-i} \right)} = \overline{\left(\frac{3-3i-2i+2i^2}{1+1} \right)}$$

$$= \overline{\left(\frac{1-5i}{2} \right)} = \frac{1}{2} - \frac{5}{2}i = \frac{1}{2} + \frac{5}{2}i$$

$$\frac{\overline{c_1}}{\overline{c_2}} = \frac{\overline{3-2i}}{1+i} = \frac{3+2i}{1-i}$$

$$= \frac{3+2i}{1-i} \times \frac{1+i}{1+i} = \frac{3+3i+2i+2i^2}{1+1}$$

$$= \frac{1+5i}{2} = \frac{1}{2} + \frac{5}{2}i$$

$$\therefore \overline{\left(\frac{c_1}{c_2} \right)} = \frac{\overline{c_1}}{\overline{c_2}}$$

لاجراء قسمة العدد المركب c_1 على العدد المركب c_2 حيث $c_2 \neq 0$ فإننا نضرب بسط ومقام المقدار $\frac{c_1}{c_2}$ بمرافق المقام فيكون:

ملاحظة

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{c_1}{c_2} \times \frac{\overline{c_2}}{\overline{c_2}}$$

مثال - 12

ضع كلاً مما يأتي بالصورة $a+bi$:

a) $\frac{1+i}{1-i}$

b) $\frac{2-i}{3+4i}$

c) $\frac{1+2i}{-2+i}$

$$a) \frac{1+i}{1-i} = \frac{1+i}{1-i} \times \frac{1+i}{1+i} = \frac{1+2i+i^2}{1+1} = \frac{2i}{2} = i = 0+i$$

$$b) \frac{2-i}{3+4i} = \frac{2-i}{3+4i} \times \frac{3-4i}{3-4i} = \frac{6-8i-3i+4i^2}{9+16} = \frac{2-11i}{25} = \frac{2}{25} - \frac{11}{25}i$$

$$c) \frac{1+2i}{-2+i} = \frac{1+2i}{-2+i} \times \frac{-2-i}{-2-i} = \frac{-2-i-4i-2i^2}{4+1} = \frac{-5i}{5} = -i = 0-i$$

يمكن تحليل x^2+y^2 الى حاصل ضرب عددين مركبين كل منهما من الصورة $a+bi$ وذلك :

$$x^2 + y^2 = x^2 - y^2 i^2 = (x-yi)(x+yi)$$

ملاحظة

مثال -13 حلل كلاً من العددين 10 ، 53 الى حاصل ضرب عاملين من صورة $a+bi$ حيث a, b عددين نسبيين .

الحل:

$$\bullet 10 = 9 + 1$$

او

$$10 = 1 + 9$$

$$= 9 - i^2$$

$$= 1 - 9i^2$$

$$= (3-i)(3+i)$$

$$= (1-3i)(1+3i)$$

$$\bullet 53 = 49 + 4$$

او

$$53 = 4 + 49$$

$$= 49 - 4i^2$$

$$= 4 - 49i^2$$

$$= (7-2i)(7+2i)$$

$$= (2-7i)(2+7i)$$

تمارين

1. ضع كلاً مما يأتي بالصيغة العادية للعدد المركب:

$$i^5, i^6, i^{124}, i^{999}, i^{4n+1} \quad \forall n \in \mathbb{W}, (2+3i)^2 + (12+2i)$$

$$(10+3i)(0+6i), (1+i)^4 - (1-i)^4, \frac{12+i}{i}, \frac{3+4i}{3-4i}$$

$$\frac{i}{2+3i}, \left(\frac{3+i}{1+i}\right)^3, \frac{2+3i}{1-i} \times \frac{1+4i}{4+i}, (1+i)^3 + (1-i)^3$$

2. جد قيمة كل من X و Y الحقيقيتين اللتين تحققان المعادلات الآتية:

$$a) y+5i = (2x+i)(x+2i)$$

$$b) 8i = (x+2i)(y+2i)+1$$

$$c) \left(\frac{1-i}{1+i}\right) + (x+yi) = (1+2i)^2$$

$$d) \frac{2-i}{1+i}x + \frac{3-i}{2+i}y = \frac{1}{i}$$

3. اثبت ان :

$$a) \frac{1}{(2-i)^2} - \frac{1}{(2+i)^2} = \frac{8}{25}i$$

$$b) \frac{(1-i)^2}{1+i} + \frac{(1+i)^2}{1-i} = -2$$

$$c) (1-i)(1-i^2)(1-i^3) = 4$$

4. حلل كلاً من الأعداد 85 ، 41 ، 125 ، 29 الى حاصل ضرب عاملين من الصورة $a+bi$ حيث a, b

عددان نسيان.

5- جد قيمة X, Y الحقيقيتين اذا علمت ان $\frac{3+i}{2-i}$ مترافقان .

[1-4] الجذور التربيعية للعدد المركب .

لقد تعلمت أنه إذا كان a عدداً حقيقياً موجباً فإنه يوجد عدداً حقيقيان هما $\pm\sqrt{a}$ يحقق كل منهما المعادلة $x^2 = a$ ويسمى $\pm\sqrt{a}$ الجذرين التربيعيين للعدد a . أما إذا كان $a = 0$ فإن له جذر واحد هو 0 . والآن سنتناول دراسة الجذور التربيعية للعدد المركب .

مثال -14

جد الجذور التربيعية للعدد $c = 8 + 6i$.

الحل:

نفرض ان الجذر التربيعي للعدد c هو $x + yi$

$$\therefore (x + yi)^2 = 8 + 6i \Rightarrow$$

$$x^2 + 2xyi + i^2y^2 = 8 + 6i \Rightarrow$$

$$(x^2 - y^2) + 2xyi = 8 + 6i \Rightarrow$$

$$x^2 - y^2 = 8 \dots\dots\dots(1)$$

$$2xy = 6 \Rightarrow y = \frac{3}{x} \dots\dots\dots(2)$$

من تعريف تساوي عددين مركبين

$$x^2 - \left(\frac{3}{x}\right)^2 = 8$$

وبالتعويض من المعادلة (2) في المعادلة (1) ينتج :

$$x^2 - \frac{9}{x^2} = 8 \Rightarrow$$

بضرب الطرفين في $x^2 \neq 0$ ينتج :

$$x^4 - 8x^2 - 9 = 0 \Rightarrow$$

$$(x^2 - 9)(x^2 + 1) = 0 \Rightarrow$$

$$x = \pm 3 \quad \text{او} \quad x^2 = -1$$

$$(x \in \mathbb{R} \text{ تهمل لان } x^2 = -1)$$

وبالتعويض في المعادلة (2) عن قيمة x نحصل على :

$$y = \frac{3}{\pm 3}$$

$$\therefore y = \pm 1$$

x	3	-3
y	1	-1

$$\therefore c_1 = 3 + i \quad \text{و} \quad c_2 = -3 - i$$

أي أن جذري العدد c هما $3 + i$, $-3 - i$

جد الجذور التربيعية للأعداد : $8i, -i, -17, -25$

الحل :

a) $c^2 = -25$ نفرض ان :

$$c = \pm\sqrt{-25} = \pm\sqrt{25}i = \pm 5i$$

b) $c^2 = -17$ نفرض ان :

$$c = \pm\sqrt{-17}$$

$$\Rightarrow c = \pm\sqrt{17}i$$

c) نفرض ان $(x+yi)$ هو الجذر التربيعي للعدد $-i$

$$\therefore (x+yi)^2 = -i \Rightarrow x^2 + 2xyi + y^2 i^2 = 0 - i$$

$$x^2 - y^2 = 0 \dots\dots(1)$$

$$2xy = -1$$

$$\therefore y = \frac{-1}{2x} \dots\dots(2)$$

وبالتعويض من المعادلة (2) بالمعادلة (1) ينتج :

$$x^2 - \frac{1}{4x^2} = 0 \Rightarrow$$

بضرب الطرفين في $4x^2 \neq 0$ ينتج :

$$4x^4 - 1 = 0 \Rightarrow$$

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

(يهمل لان $x \in \mathbb{R}$) $x^2 = -\frac{1}{2}$ اما

$\therefore y = -\left(\frac{1}{\pm(2)\frac{1}{\sqrt{2}}}\right)$ وبالتعويض في (2) عن قيمة x نجد : $x = \pm\frac{1}{\sqrt{2}}$ او

$$= \mp \frac{1}{\sqrt{2}}$$

x	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$
y	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$

∴ جذرا العدد $-i$ التربيعيان هما $\pm\left(\frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{\sqrt{2}}i\right)$

d) ∴ $(x+yi)^2 = 8i \Rightarrow$ نفرض ان $x+yi$ هو الجذر التربيعي للعدد $8i$

$$x^2 + 2xyi - y^2 = 0 + 8i$$

$$x^2 - y^2 = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$2xy = 8 \Rightarrow y = \frac{4}{x} \dots\dots\dots(2)$$

$$x^2 - \frac{16}{x^2} = 0$$

وبالتعويض من المعادلة (2) في المعادلة (1) ينتج :

وبضرب الطرفين في $x^2 \neq 0$ ينتج :

$$x^4 - 16 = 0 \Rightarrow$$

$$(x^2 - 4)(x^2 + 4) = 0 \Rightarrow$$

(يهمل لان $x \in \mathbb{R}$)

$$x^2 = -4$$

اما

$$x^2 = 4 \Rightarrow x = \pm 2$$

او

$$y = \frac{4}{\pm 2} = \pm 2$$

وبالتعويض في المعادلة (2) عن قيمة x ينتج :

x	2	-2
y	2	-2

∴ جذرا العدد $8i$ التربيعيان هما $\pm(2+2i)$

[1-5] حل المعادلة التربيعية في (\mathbb{C}) .

تعلمت من المرحلة المتوسطة ان للمعادلة $ax^2 + bx + c = 0$ حيث $a \neq 0$ وان $a, b, c \in \mathbb{R}$ حلين

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad \text{يمكن ايجادهما بالدستور :}$$

وعرفت أنه اذا كان المقدار المميز $b^2 - 4ac$ سالباً فإنه لا يوجد للمعادلة حلول حقيقية ولكن يوجد لها حلان في مجموعة الأعداد المركبة .

مثال -16

حل المعادلة $x^2 + 4x + 5 = 0$ في مجموعة الأعداد المركبة.

الحل:

حسب القانون (الدستور):

$$\begin{aligned} x &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-4 \pm \sqrt{16 - (4)(1)(5)}}{2(1)} \\ &= \frac{-4 \pm \sqrt{16 - 20}}{2} \\ &= \frac{-4 \pm \sqrt{-4}}{2} \\ &= \frac{-4 \pm 2i}{2} = -2 \pm i \end{aligned}$$

إذا مجموعة حل المعادلة هي: $\{-2 - i, -2 + i\}$

ملاحظة

من الدستور نعلم ان جذري المعادلة التربيعية $ax^2 + bx + c = 0$ التي معاملاتها حقيقية هما :

$$x_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad x_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

ومجموع الجذرين هو: $x_1 + x_2 = \frac{-b}{a}$ وحاصل ضرب الجذرين هو: $x_1 \cdot x_2 = \frac{c}{a}$

ويمكن الافادة من هذه الخواص كما يأتي :

اولاً : اذا كان $x + yi$ ($y \neq 0$) احد جذري المعادلة $ax^2 + bx + c = 0$, $a, b, c \in \mathbb{R}$, $a \neq 0$ فان $x - yi$ هو الجذر الآخر لها .

ثانياً : بقسمة طرفي المعادلة $ax^2 + bx + c = 0$ على $a \neq 0$ نحصل على $x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{c}{a} = 0$ والتي هي عبارة عن :

$$x^2 - (\text{مجموع الجذرين})x + (\text{حاصل ضرب الجذرين}) = 0$$

مثال - 17

جد المعادلة التربيعية التي جذراها $\pm (2+2i)$.

الحل :

$$(2+2i)(-2-2i) = (2-2) + (2-2)i = 0 \quad \text{مجموع الجذرين هو :}$$

$$\begin{aligned} (2+2i)(-2-2i) &= -(2+2i)^2 && \text{حاصل ضرب الجذرين هو :} \\ &= -(4 + 8i + 4i^2) \\ &= -8i \end{aligned}$$

∴ المعادلة التربيعية هي :

$$x^2 - 0x + (-8i) = 0 \Rightarrow$$

$$x^2 - 8i = 0 \Rightarrow x^2 = 8i$$

مثال - 18

كوّن المعادلة التربيعية التي معاملاتها حقيقية وأحد جذريها $3-4i$.

الحل :

بما أن معاملات المعادلة حقيقية وأحد جذريها $3-4i$

$3+4i$ ∴ الجذر الاخر هو المرافق له وهو

مجموع الجذرين = 6 وحاصل ضربهما = 25

∴ المعادلة هي :

$$x^2 - 6x + 25 = 0$$

تمارين

1. حل المعادلات التربيعية الآتية وبين أي منها يكون جذراها مترافقين؟

a) $z^2 = -12$

b) $z^2 - 3z + 3 + i = 0$

c) $2z^2 - 5z + 13 = 0$

d) $z^2 + 2z + i(2 - i) = 0$

e) $4z^2 + 25 = 0$

f) $z^2 - 2z + i + 3 = 0$

2. كون المعادلة التربيعية التي جذراها M, L حيث:

a) $M = 1 + 2i$

$L = 1 - i$

b) $M = \frac{3-i}{1+i}$, $L = (3-2i)^2$

3. جد الجذور التربيعية للأعداد المركبة الآتية:

a) $-6i$

b) $7 + 24i$

c) $\frac{4}{1 - \sqrt{3}i}$

4. ما المعادلة التربيعية ذات المعاملات الحقيقية وأحد جذريها هو:

a) i

b) $5 - i$

c) $\frac{\sqrt{2} + 3i}{4}$

5- إذا كان $3 + i$ هو أحد جذري المعادلة $x^2 - ax + (5 + 5i) = 0$ فما قيمة $a \in \mathbb{C}$ وما هو الجذر الآخر؟

[1-6] الجذور التكعيبية للواحد الصحيح.

ليكن z احد الجذور التكعيبية للواحد الصحيح :

$$z^3 - 1 = 0 \Rightarrow$$

فان $z^3 = 1$ ومنها :

$$(z-1)(z^2 + z + 1) = 0 \Rightarrow$$

$$z = 1 \text{ او } z^2 + z + 1 = 0 \text{ أما}$$

ولحل المعادلة $z^2 + z + 1 = 0$ نستخدم الدستور :

$$\begin{aligned} z &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-1 \pm \sqrt{1 - (4)(1)(1)}}{(2)(1)} \\ &= \frac{-1 \pm \sqrt{-3}}{2} \\ &= \frac{-1}{2} \pm \frac{\sqrt{3}}{2} i \end{aligned}$$

اي ان الجذور التكعيبية للواحد الصحيح الموجب هي :

$$1, \quad -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} i, \quad -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} i$$

ان مربع أي من الجذرين التخيليين يساوي الجذر التخيلي الاخر وهما مترافقان (تحقق من ذلك)

فاذا رمزنا لاحد الجذرين التخيليين بالرمز ω "ويقرأ أوميكا Omega" فان الجذر الآخر هو ω^2 .

ولذلك يمكن كتابة الجذور التكعيبية للواحد الصحيح على الصورة :

$$1, \omega, \omega^2$$

وهذه الجذور تحقق الخواص الآتية:

$$1) \quad 1 + \omega + \omega^2 = 0$$

$$2) \quad \omega^3 = 1$$

ومن الخاصية الأولى نحصل على الآتي:

$$1) \quad \omega + \omega^2 = -1 \quad (2) \quad 1 + \omega = -\omega^2 \quad (3) \quad 1 + \omega^2 = -\omega$$

$$4) \quad \omega = -1 - \omega^2 \quad (5) \quad \omega^2 = -1 - \omega \quad (6) \quad 1 = -\omega - \omega^2$$

ومن الخاصية الثانية يمكن التوصل الى النتائج الآتية:

$$\omega^4 = \omega^3 \cdot \omega = 1 \cdot \omega = \omega$$

$$\omega^{-4} = \frac{1}{\omega^4} = \frac{1}{\omega^3 \cdot \omega} = \frac{1}{\omega} = \frac{\omega^3}{\omega} = \omega^2$$

$$\omega^5 = \omega^3 \cdot \omega^2 = 1 \cdot \omega^2 = \omega^2$$

$$\omega^{-5} = \frac{1}{\omega^5} = \frac{1}{\omega^3 \cdot \omega^2} = \frac{1}{1 \cdot \omega^2} = \frac{\omega^3}{\omega^2} = \omega$$

$$\omega^6 = (\omega^3)^2 = (1)^2 = 1$$

$$\omega^{-6} = \frac{1}{\omega^6} = \frac{1}{1} = 1$$

وبالاستمرار على هذا النحو فان قوى (ω) لاعداد صحيحة تأخذ احدى القيم:

$$1, \omega, \omega^2$$

وتتكرر هذه القيم كلما زادت الاسس على التوالي بمقدار (3).

بمعنى أن:

$$\omega^{3n+r} = \omega^r$$

حيث n عدد صحيح ، $r = 0, 1, 2$

مثال -19

جد ناتج : ω^{33} ، ω^{25} ، ω^{-58}

الحل :

$$\omega^{33} = \omega^{3(11)+0} = \omega^0 = 1$$

$$\omega^{25} = \omega^{3(8)+1} = \omega^1 = \omega$$

$$\omega^{-58} = \omega^{3(-20)+2} = 1 \cdot \omega^2 = \omega^2$$

بمعنى أن :

باقي قسمة أس (ω) على (3) هو الاس الجديد الى ω

مثال -20

اثبت ان :

a) $\omega^7 + \omega^5 + 1 = 0$

b) $(5 + 3\omega + 3\omega^2)^2 = -4(2 + \omega + 2\omega^2)^3 = 4$

الحل :

a) LHS = $\omega^7 + \omega^5 + 1 = \omega^6 \cdot \omega + \omega^3 \cdot \omega^2 + 1$

$$= \omega + \omega^2 + 1 = 0 = \text{RHS} \quad (\text{حسب الخاصية الاولى})$$

b) المقدار الاول = $(5 + 3\omega + 3\omega^2)^2 = [5 + 3(\omega + \omega^2)]^2$
 $= [5 - 3]^2 = (2)^2 = 4$

كذلك

المقدار الثاني = $-4(2 + \omega + 2\omega^2)^3$

$$= -4[2(1 + \omega^2) + \omega]^3$$

$$= -4[-2\omega + \omega]^3 = -4[-\omega]^3$$

$$= -4(-1) = 4$$

$$\therefore (5 + 3\omega + 3\omega^2)^2 = -4(2 + \omega + 2\omega^2)^3 = 4$$

- a) $1-i\omega^2$, $1-i\omega$ كَوْن المعادلة التربيعية التي جذراها
 b) $\frac{2}{1-\omega}$, $\frac{2}{1-\omega^2}$

الحل :

a)

مجموع الجذرين

$$\begin{aligned} & (1-i\omega^2) + (1-i\omega) \\ &= 2-i(\omega^2+\omega) \\ &= 2+i \end{aligned}$$

حاصل ضرب الجذرين

$$\begin{aligned} & (1-i\omega^2)(1-i\omega) \\ &= 1-i\omega-i\omega^2+i^2\omega^3 \\ &= 1-i(\omega+\omega^2)+(-1)(1) \\ &= i \end{aligned}$$

$$x^2-(2+i)x+i=0$$

∴ المعادلة هي :

b)

مجموع الجذرين

$$\begin{aligned} & \frac{2}{1-\omega} + \frac{2}{1-\omega^2} \\ &= \frac{2-2\omega+2-2\omega^2}{1-\omega^2-\omega+\omega^3} \\ &= \frac{4-2(\omega+\omega^2)}{2-(\omega+\omega^2)} \\ &= \frac{6}{3} = 2 \end{aligned}$$

حاصل ضرب الجذرين

$$\begin{aligned} & \frac{2}{1-\omega} \cdot \frac{2}{1-\omega^2} \\ &= \frac{4}{1-\omega^2-\omega+\omega^3} \\ &= \frac{4}{3} \end{aligned}$$

$$x^2-2x+\frac{4}{3}=0$$

∴ المعادلة هي :

تمارين

1. اكتب المقادير الآتية في أبسط صورة:

a) ω^{64} b) ω^{-325} c) $\frac{1}{(1+\omega^{-32})^{12}}$ d) $(1+\omega^2)^{-4}$ e) ω^{9n+5} , $n \in \mathbb{w}$ حيث

2. كَوِّن المعادلة التربيعية التي جذراها:

a) $1+\omega^2$, $1+\omega$

b) $\frac{\omega}{2-\omega^2}$, $\frac{\omega^2}{2-\omega}$

c) $\frac{3i}{\omega^2}$, $\frac{-3\omega^2}{i}$

3. إذا كان $z^2 + z + 1 = 0$ فجد قيمة $\frac{1+3z^{10}+3z^{11}}{1-3z^7-3z^8}$

a) $\left(\frac{1}{2+\omega} - \frac{1}{2+\omega^2}\right)^2 = -\frac{1}{3}$

b) $\frac{\omega^{14} + \omega^7 - 1}{\omega^{10} + \omega^5 - 2} = \frac{2}{3}$ 4. اثبت ان :

c) $\left(1 - \frac{2}{\omega^2} + \omega^2\right) \left(1 + \omega - \frac{5}{\omega}\right) = 18$

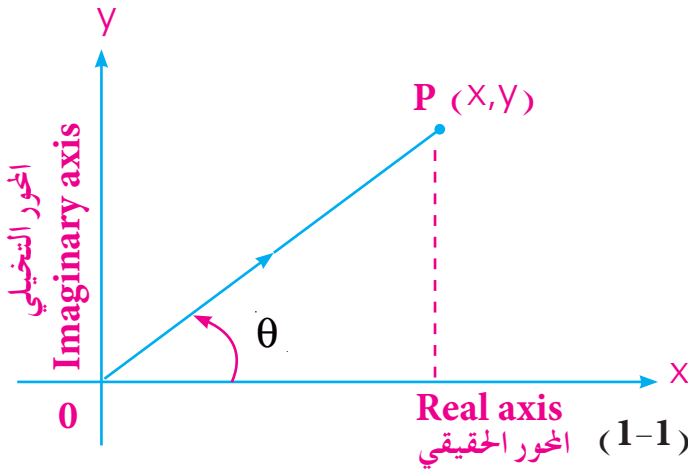
d) $(1+\omega^2)^3 + (1+\omega)^3 = -2$

[1-7] التمثيل الهندسي للأعداد المركبة.

Geometric Representation of Complex Numbers.

إذا كان E^2 (أو R^2) يمثل المستوي الاقليدي المتعامد المحورين. فإنه باقران كل عدد مركب $x+yi$ (حيث $x, y \in R$) بالنقطة (x, y) في E^2 نحصل على تطبيق تقابل من E الى R^2 . وفي هذا المستوي سنمثل هندسياً بعض العمليات الجبرية البسيطة في الجمع والطرح في E والتي تقابل هندسياً العمليات في E^2 (أو R^2).

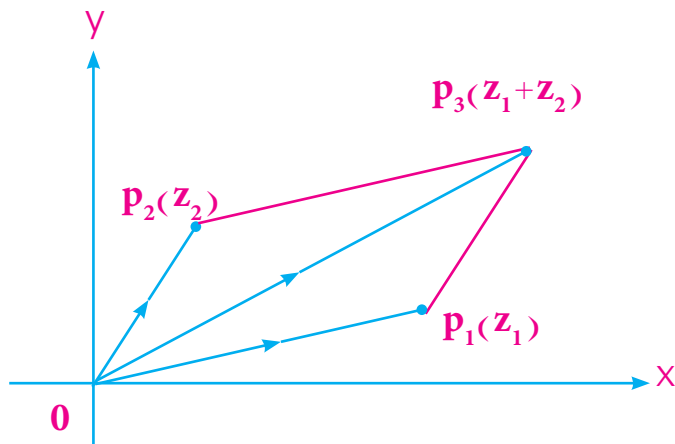
سوف نتناول في هذا البند والبند اللاحقة تمثيل بعض العمليات على الأعداد المركبة هندسياً والتي سنطلق على الأشكال التي تمثلها أشكال أرجانند نسبة الى العالم (J. R. Argand, 1768 – 1822) وسمي المستوي باسم العالم الألماني الشهير غاوس، بمستوي غاوس (C.F. Gauss 1777–1855) أو بشكل مبسط المستوي المركب (Complex Plane)



الشكل (1-1)

اذ يسمى المحور السيني (x-axis) بالمحور الحقيقي حيث يمثل عليه الجزء الحقيقي للعدد المركب اما المحور الصادي (y-axis) فيطلق عليه اسم المحور التخيلي والذي يمثل عليه الجزء التخيلي للعدد المركب. وبالتالي فإن العدد المركب

$x + yi$ يُمثل هندسياً بالنقطة (x, y) لاحظ الشكل (1-1)



الشكل (1-2)

لو كان $Z_1 = x_1 + y_1 i$ ، $Z_2 = x_2 + y_2 i$

عددان مركبان ممثلان بالنقطتين

$P_1(x_1, y_1)$ ، $P_2(x_2, y_2)$ فإن :

$$Z_1 + Z_2 = (x_1 + x_2) + (y_1 + y_2)i$$

ويمكن تمثيل $Z_1 + Z_2$ بالنقطة

$$P_3(x_1 + x_2, y_1 + y_2)$$

مستخدمين المعلومات المتعلقة بالمتجهات.

كما في الشكل (1-2) :

$$\vec{0p_1} + \vec{0p_2} = \vec{0p_3} \text{ اي ان}$$

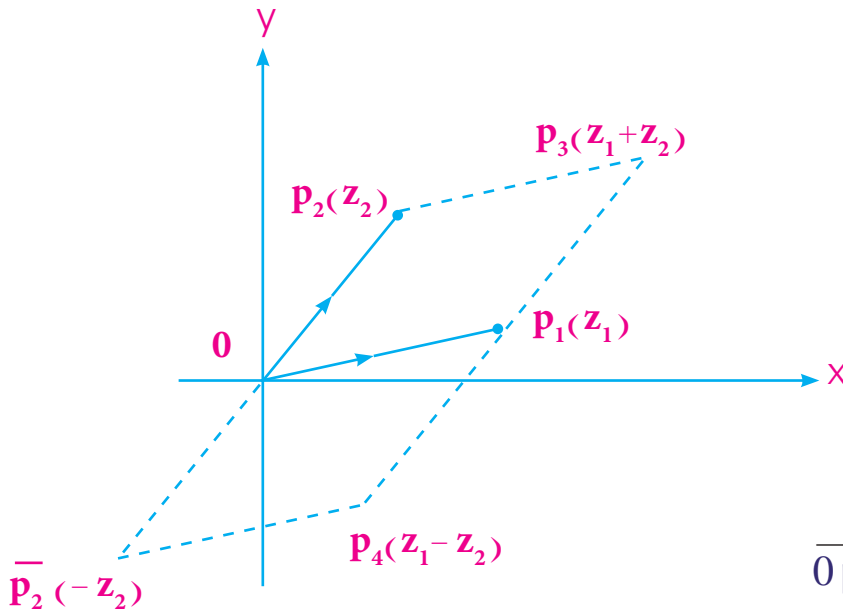
Complex Numbers الأعداد المركبة

ان العدد المركب $x + yi$ يمكن تمثيله بالمتجه \vec{op} وعليه يكون جمع عددين مركبين هو جمع متجهين.

اذا اعتبرنا \bar{p}_2 يمثل العدد المركب $-z_2$ فإن \bar{p}_2 هي ناتجة من دوران \vec{op}_2 حول 0 نصف دورة ، وعليه فإن :

$$z_1 - z_2 = z_1 + (-z_2)$$

والذي يقترن بالنقطة p_4 حيث $\vec{op}_1 p_4 \bar{p}_2$ يشابه متوازي الاضلاع $\vec{op}_1 p_3 p_2$ كما في الشكل (1-3).



$$\vec{op}_4 = \vec{p}_2 p_1 = \vec{op}_1 - \vec{op}_2 \text{ أي أن}$$

الشكل (1-3)

ملاحظة

(1) ليكن k عدد حقيقي لا يساوي الصفر . z عدد مركب فان النقطة التي تمثل kz يمكن الحصول عليها بواسطة التكبير الذي مركزه 0 ومعامله الثابت k .

(2) لكل عدد مركب z فان النقطة iz يمكن الحصول عليها من دوران ربع دورة عكس عقارب الساعة.

مثّل العمليات الآتية هندسياً في شكل ارجاند :

a) $(3+4i) + (5 + 2i)$

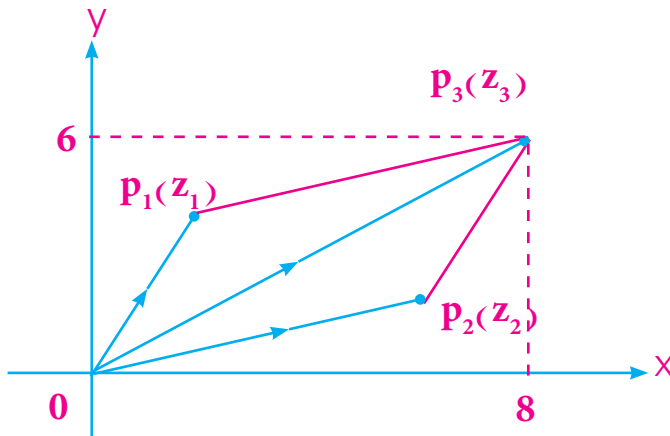
b) $(6 - 2i) - (2 - 5i)$

الحل :

a) $(3 + 4i) + (5 + 2i) = 8 + 6i$

$z_1 = 3 + 4i \Rightarrow p_1(z_1) = p_1(3, 4)$

$z_2 = 5 + 2i \Rightarrow p_2(z_2) = p_2(5, 2)$



الشكل (1-4)

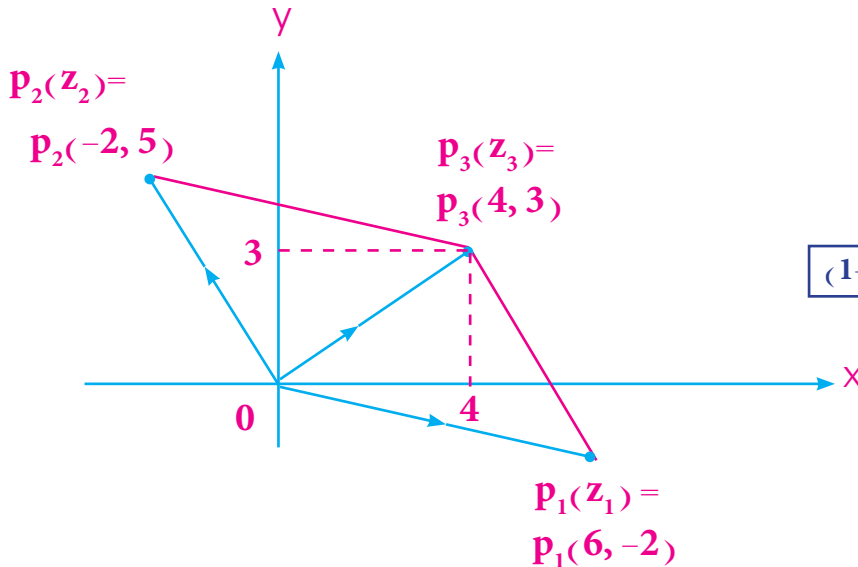
$z_1 + z_2 = z_3 = 8 + 6i \Rightarrow p_3(z_3) = p_3(8, 6)$

لاحظ : $\vec{0p_1} + \vec{0p_2} = \vec{0p_3}$
وهو مشابه الى جمع المتجهات .
ويكون $0p_1 p_3 p_2$ متوازي اضلاع قطره هو $\vec{0p_3}$

b) $(6 - 2i) - (2 - 5i) = (6 - 2i) + (-2 + 5i) = 4 + 3i$

$z_1 = 6 - 2i \Rightarrow p_1(z_1) = p_1(6, -2)$

$z_2 = -2 + 5i \Rightarrow p_2(z_2) = p_2(-2, 5)$



الشكل (1-5)

$z_3 = 4 + 3i \Rightarrow p_3(z_3) = p_3(4, 3)$

تمارين

1. اكتب النظير الجمعي لكل من الأعداد الآتية ثم مثل هذه الأعداد ونظائرها الجمعية على شكل ارجاند.

$$z_1 = 2 + 3i, \quad z_2 = -1 + 3i, \quad z_3 = 1 - i, \quad z_4 = i$$

2. اكتب العدد المرافق لكل من الأعداد الآتية ثم مثل الأعداد ومرافقاتها على شكل ارجاند.

$$z_1 = 5 + 3i, \quad z_2 = -3 + 2i, \quad z_3 = 1 - i, \quad z_4 = -2i$$

3. إذا كان $z = 4 + 2i$ فوضح على شكل ارجاند كلا من :

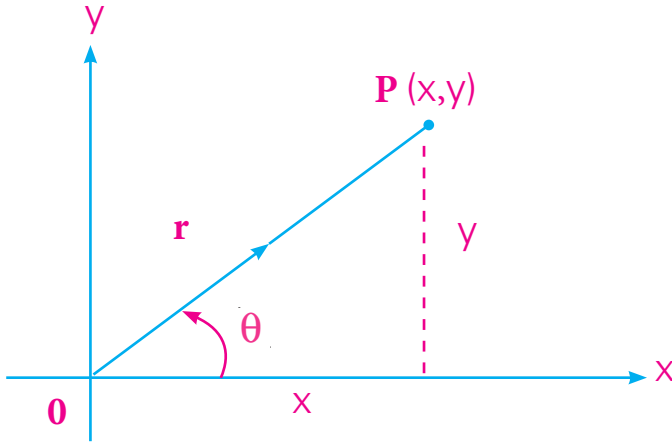
$$z, \bar{z}, -z$$

4. إذا كان $z_1 = 4 - 2i$, $z_2 = 1 + 2i$ فوضح على شكل ارجاند كلا من :

$$-3z_2, \quad 2z_1, \quad z_1 - z_2, \quad z_1 + z_2$$

[1-8] الصيغة القطبية Polar Form للعدد المركب.

في البنود السابقة درسنا العدد المركب بصيغته الجبرية $z = x + yi$ والديكارتية $z = (x, y)$ وفي هذا البند سندرس صيغة أخرى للعدد المركب تدعى بالصيغة القطبية. وتحويل أحدهما إلى الأخرى. فلو كان لدينا العدد المركب $z = x + yi$ ومثلناه بالنقطة $p(x, y)$ كما في الشكل (1-6) فإن:



الشكل (1-6)

(r, θ) هما الاحداثيان القطبيان للنقطة p حيث θ يمثل القطب و \vec{ox} يمثل الضلع الابتدائي، وهذا يعني أن:

$r = \|\vec{op}\|$ وان $\theta = m(\text{xop})$ ويكون قياس θ من \vec{ox} إلى \vec{op} باتجاه عكس عقارب الساعة إذا كان القياس موجباً، ومع اتجاه عقارب الساعة إذا كان القياس سالباً ويكون بالقياس الدائري وعليه فإن:

$$R(z) = x = r \cos \theta \dots (1)$$

$$I(z) = y = r \sin \theta \dots (2)$$

حيث $R(z)$ يرمز للجزء الحقيقي للعدد المركب z بينما $I(z)$ يرمز للجزء التخيلي للعدد المركب z

r يسمى مقياس العدد المركب z (**Modulus of Complex Number**)

وهو عدد حقيقي غير سالب ويقرأ "mod z" أو مقياس z ويرمز له $\|z\|$ حيث $r = \|z\| = \sqrt{x^2 + y^2}$ ومن العلاقتين (1) و (2) نحصل على:

$$\cos \theta = \frac{x}{r} = \frac{x}{\|z\|}$$

$$\sin \theta = \frac{y}{r} = \frac{y}{\|z\|}$$

أما θ فقياسها يسمى سعة العدد المركب (**Argument of Complex Number**)

واختصاراً تكتب بالشكل $\theta = \arg(z)$

يمكن ان تاخذ θ عدداً غير منته من القيم التي تختلف كل منها عن الأخرى بعدد صحيح من الدورات.

ملاحظة

فإذا كانت θ سعة عدد مركب فإن كلاً من الأعداد $\theta + 2n\pi$ حيث n عدد صحيح يكون أيضاً سعة لنفس العدد المركب.

أما إذا كانت $\theta \in [0, 2\pi)$ الدالة على سعة العدد المركب فيقال لها القيمة الأساسية لسعة العدد المركب (Principle Value).

مثال - 23

إذا كان $z = 1 + \sqrt{3}i$ فجد المقياس والقيمة الأساسية لسعة z .

الحل:

$$\begin{aligned} \text{mod } z = \|z\| &= \sqrt{x^2 + y^2} \\ &= \sqrt{1+3} = 2 \end{aligned}$$

$$\cos \theta = \frac{x}{\|z\|} = \frac{1}{2}$$

$$\sin \theta = \frac{y}{\|z\|} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

نستنتج ان θ في الربع الاول

$$\therefore \arg(z) = \frac{\pi}{3}$$

مثال - 24

إذا كان $z = -1 - i$ فجد المقياس والقيمة الأساسية لسعة z .

الحل:

$$\text{mod } z = \|z\| = \sqrt{1+1} = \sqrt{2}$$

$$\cos \theta = \frac{x}{\|z\|} = \frac{-1}{\sqrt{2}}$$

$$\sin \theta = \frac{y}{\|z\|} = \frac{-1}{\sqrt{2}}$$

نستنتج ان θ في الربع الثالث

$$\therefore \arg(z) = \pi + \frac{\pi}{4} = \frac{5\pi}{4}$$

ملاحظة

1) ان سعة العدد المركب $z = 0$ غير معرفة وذلك لان المتجه الصفري ليس له اتجاه.

2) ممكن الافادة من المقياس والقيمة الاساسية لسعة العدد المركب بكتابة العدد المركب $z = x+yi$ بصورة اخرى تسمى الصيغة القطبية Polar Form وكما يأتي :

$$\therefore x = r \cos \theta , y = r \sin \theta$$

$$\therefore z = r \cos \theta + ir \sin \theta = r(\cos \theta + i \sin \theta)$$

$$z = \|z\| (\cos(\arg z) + i \sin(\arg z)) \quad \text{او}$$

حيث $\theta = \arg(z)$ ، $r = \text{mod } z = \|z\|$ هي سعة العدد المركب z

مثال - 25

عبر عن كل من الأعداد الآتية بالصيغة القطبية :

a) $-2+2i$ b) $2\sqrt{3}-2i$

الحل :

a) $z = -2+2i$

$$\text{mod } z = \|z\| = \sqrt{4+4} = 2\sqrt{2}$$

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

$$\sin \theta = \frac{2}{2\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\therefore \arg(z) = \pi - \frac{\pi}{4} = \frac{3\pi}{4}$$

θ تقع في الربع الثاني

الصيغة القطبية للعدد المركب Z هي :

$$z = r(\cos \theta + i \sin \theta)$$

$$z = 2\sqrt{2}(\cos \frac{3\pi}{4} + i \sin \frac{3\pi}{4})$$

$$b) z = 2\sqrt{3} - 2i$$

$$\text{mod } z = \sqrt{12+4} = \sqrt{16} = 4$$

$$\cos \theta = \frac{2\sqrt{3}}{4} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\sin \theta = \frac{-2}{4} = \frac{-1}{2}$$

θ تقع في الربع الرابع

$$\therefore \arg(z) = 2\pi - \frac{\pi}{6} = \frac{11\pi}{6}$$

\therefore الصيغة القطبية للعدد المركب z هي : $z = 4 \left(\cos \frac{11\pi}{6} + i \sin \frac{11\pi}{6} \right)$

عبر عن كل من الأعداد الآتية بالصيغة القطبية :

a) 1

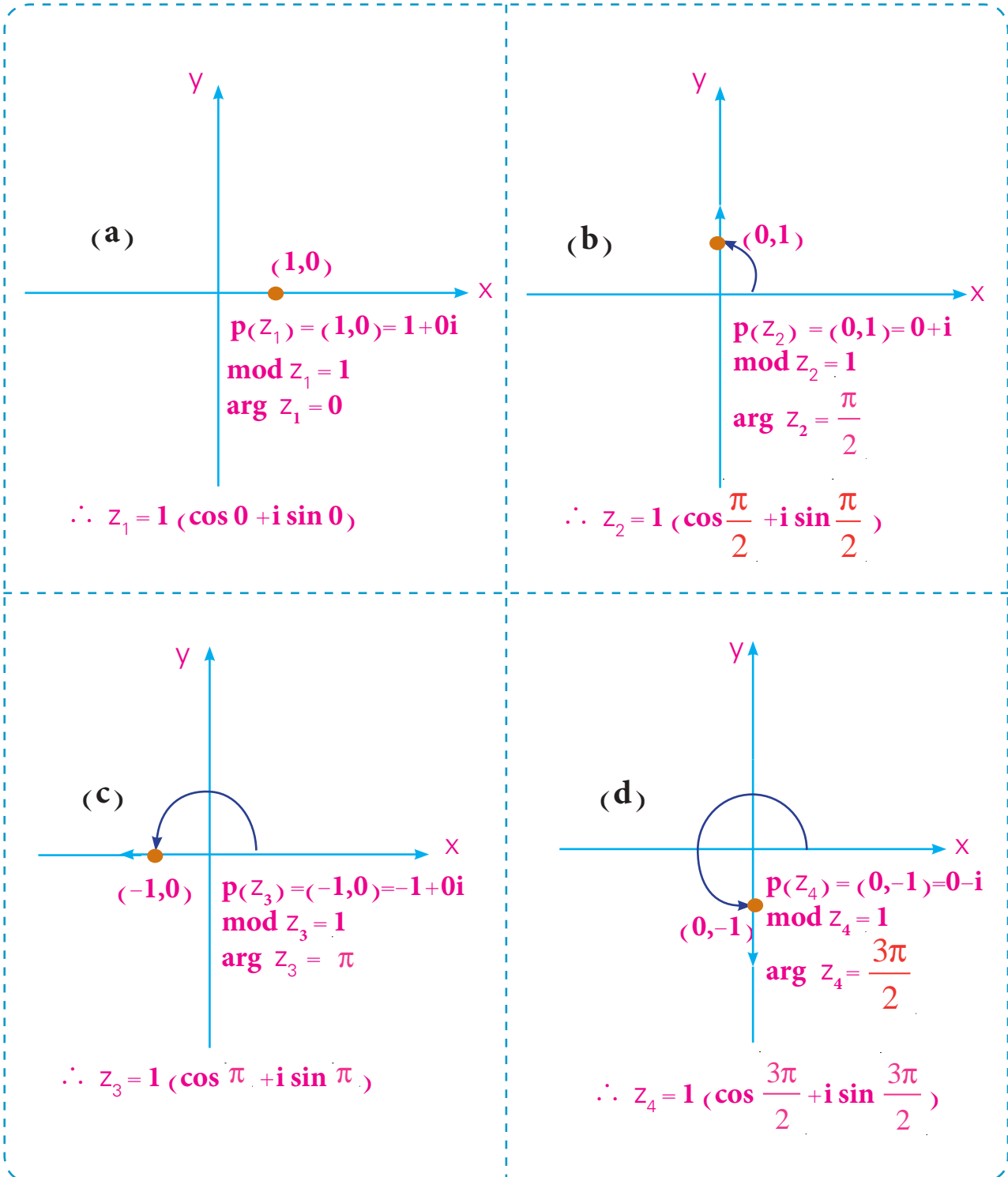
b) i

c) -1

d) -i

الحل :

لاحظ الأشكال الآتية :



الشكل (1-7)

من المثال السابق نستنتج الآتي :

$$1 = (\cos 0 + i \sin 0)$$

$$-1 = (\cos \pi + i \sin \pi)$$

$$i = \left(\cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2}\right)$$

$$-i = \left(\cos \frac{3\pi}{2} + i \sin \frac{3\pi}{2}\right)$$

و بتطبيق الاستنتاج السابق يمكن أن نضع :

$$3 = 3 \times 1 = 3(\cos 0 + i \sin 0)$$

$$-2 = 2 \times (-1) = 2(\cos \pi + i \sin \pi)$$

$$5i = 5 \times i = 5\left(\cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2}\right)$$

$$-7i = 7 \times (-i) = 7\left(\cos \frac{3\pi}{2} + i \sin \frac{3\pi}{2}\right)$$

[1-9] مبرهنة ديمواقر.

De Moivre's Theorem

z_1, z_2 يمكن ان تكتب بصورة: $z_1 = \cos \theta + i \sin \theta$, $z_2 = \cos \phi + i \sin \phi$

والان سنجد $z_1 \cdot z_2$ بالصيغة القطبية

$$z_1 \times z_2 = (\cos \theta + i \sin \theta)(\cos \phi + i \sin \phi)$$

$$= \cos \theta \cos \phi + i \cos \theta \sin \phi + i \sin \theta \cos \phi + i^2 \sin \theta \sin \phi$$

$$= [\cos \theta \cos \phi - \sin \theta \sin \phi] + i [\cos \theta \sin \phi + \sin \theta \cos \phi] = \cos(\theta + \phi) + i \sin(\theta + \phi)$$

ولو كان $(\phi = \theta)$ فان العلاقة تصبح $(\cos \theta + i \sin \theta)^2 = \cos 2\theta + i \sin 2\theta$

ويمكن برهنتها كما يأتي :

$$\text{LHS} = (\cos \theta + i \sin \theta)^2 = (\cos^2 \theta + 2i \sin \theta \cos \theta - \sin^2 \theta)$$

$$= (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) + i(2 \sin \theta \cos \theta)$$

$$= \cos 2\theta + i \sin 2\theta = \text{RHS}$$

وقد توصل العالم ديمواقر (1664-1754) الى تعميم العلاقة والتي سميت بمبرهنة ديمواقر.

De Moivre's Theorem

مبرهنة ديموافر

$$\text{لكل } \theta \in \mathbb{R}, n \in \mathbb{N} \text{ فإن}$$

$$(\cos\theta + i \sin\theta)^n = \cos n\theta + i \sin n\theta$$

البرهان: (للاطلاع فقط)

سنوصل الى برهان هذه المبرهنة بطريقة الاستقراء الرياضي وكما يأتي:

(1) لنعتبر $n = 1$ فان العلاقة تصبح:

$$(\cos\theta + i \sin\theta)^1 = \cos 1\theta + i \sin 1\theta \text{ وهي عبارة صحيحة.}$$

(2) لناخذ $k \geq 1$ ونفترض ان العلاقة صحيحة لكل $n = k$.

$$\text{أي ان } (\cos\theta + i \sin\theta)^k = \cos k\theta + i \sin k\theta \text{ صحيحة فرضاً.}$$

(3) يجب ان نثبت ان العلاقة صحيحة عندما $n = k + 1$

$$\begin{aligned} \therefore (\cos\theta + i \sin\theta)^{k+1} &= (\cos\theta + i \sin\theta)^1 (\cos\theta + i \sin\theta)^k \\ &= (\cos\theta + i \sin\theta)(\cos k\theta + i \sin k\theta) \\ &= \cos(\theta + k\theta) + i \sin(\theta + k\theta) \\ &= \cos(k+1)\theta + i \sin(k+1)\theta \end{aligned}$$

وعليه فاذا كانت العلاقة صحيحة عند $n = k, k \geq 1$ فهي كذلك صحيحة عند $n = k + 1$

وبواسطة الاستقراء الرياضي فان المبرهنة تعتبر صحيحة لجميع قيم n .

$$\left(\cos \frac{3}{8}\pi + i \sin \frac{3}{8}\pi\right)^4$$

احسب

مثال - 27

الحل:

$$\begin{aligned} & \left(\cos \frac{3}{8}\pi + i \sin \frac{3}{8}\pi\right)^4 \\ &= \cos \frac{3\pi}{2} + i \sin \frac{3\pi}{2} \\ &= 0 + i(-1) = -i \end{aligned}$$

بين انه لكل $n \in \mathbb{N}$, $\theta \in \mathbb{R}$ فان:

$$(\cos\theta - i\sin\theta)^n = \cos n\theta - i\sin n\theta$$

الحل:

$$\begin{aligned} \text{LHS} &= (\cos\theta - i\sin\theta)^n = [\cos\theta + (-i\sin\theta)]^n && \text{الطرف الايسر} \\ &= [\cos\theta + i\sin(-\theta)]^n \\ &= [\cos(-\theta) + i\sin(-\theta)]^n \end{aligned}$$

وبجعل $\phi = -\theta$ تصبح العلاقة

$$\begin{aligned} &= [\cos\phi + i\sin\phi]^n \\ &= \cos n\phi + i\sin n\phi \\ &= \cos(-n\theta) + i\sin(-n\theta) \\ &= \cos n\theta - i\sin n\theta \end{aligned}$$

الطرف الايمن

$$= \text{RHS} \quad (\text{و. ه. م})$$

نتيجة لمبرهنة دي موافر:

$$\begin{aligned} &\text{لكل } \theta \in \mathbb{R}, n \in \mathbb{Z}^+ \text{ فان} \\ \sqrt[n]{z} &= r^{\frac{1}{n}} \left[\cos \frac{\theta + 2\pi k}{n} + i \sin \frac{\theta + 2\pi k}{n} \right] \quad k = 0, 1, 2, \dots, n-1 \end{aligned}$$

احسب باستخدام مبرهنة دي موافر $(1+i)^{11}$

الحل:

$$z = 1 + i$$

$$|\text{mod } z = \sqrt{2}, \cos\theta = \frac{1}{\sqrt{2}}, \sin\theta = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \therefore \arg z = \frac{\pi}{4}$$

$$\therefore z = \sqrt{2} \left(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right)$$

$$\therefore (1+i)^{11} = (\sqrt{2})^{11} \left(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right)^{11}$$

$$= 2^{\frac{11}{2}} \left(\cos \frac{11\pi}{4} + i \sin \frac{11\pi}{4} \right)$$

$$= 2^{\frac{11}{2}} \left(\cos \frac{3\pi}{4} + i \sin \frac{3\pi}{4} \right)$$

$$= 2^{\frac{11}{2}} \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} + i \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = 2^5 \sqrt{2} \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} + i \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = 2^5 (-1+i) = 32(-1+i)$$

$$(\cos \theta + i \sin \theta)^{-1} = [\cos(-\theta) + i \sin(-\theta)] = (\cos \theta - i \sin \theta)$$

ملاحظة

ويمكن تعميم هذه العلاقة بالشكل الآتي :

$$(\cos \theta + i \sin \theta)^{-n} = \cos n \theta - i \sin n \theta$$

حل المعادلة

مثال - 30

$$x \in \mathbb{C} \text{ حيث } x^3 + 1 = 0$$

$$x^3 + 1 = 0 \Rightarrow$$

$$x^3 = -1$$

$$x^3 = \cos \pi + i \sin \pi$$

$$\therefore x = (\cos \pi + i \sin \pi)^{\frac{1}{3}}$$

$$\therefore x = \cos \frac{\pi + 2k\pi}{3} + i \sin \frac{\pi + 2k\pi}{3}$$

$$k = 0, 1, 2$$

لأنه جذر تكعيبي

حيث

الحل :

$$x_1 = \cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3}$$

بوضع $k=0$ يكون

$$x_1 = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i$$

$$x_2 = \cos \pi + i \sin \pi$$

$$= -1 + i(0)$$

بوضع $k=1$ يكون

$$x_2 = -1$$

$$x_3 = \cos \frac{5\pi}{3} + i \sin \frac{5\pi}{3}$$

بوضع $k=2$ يكون

$$x_3 = \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i$$

$$\left\{ \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i, -1, \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i \right\}$$

إذا مجموعة الحل للمعادلة هي :

مثال - 31 : اوجد الصيغة القطبية للمقدار $(\sqrt{3} + i)^2$ ثم جد الجذور الخمسة له

الحل : ليكن $z = \sqrt{3} + i$ نضع z بالصيغة القطبية :

$$\|z\| = \sqrt{3+1} = 2$$

$$\cos \theta = \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad \sin \theta = \frac{1}{2}$$

$$\therefore \theta = \frac{\pi}{6} \quad \arg(z) = \frac{\pi}{6}$$

$$\therefore z = 2 \left(\cos \frac{\pi}{6} + i \sin \frac{\pi}{6} \right) \Rightarrow z^2 = 2^2 \left(\cos \frac{\pi}{6} + i \sin \frac{\pi}{6} \right)^2$$

$$z^2 = 4 \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right)$$

$$\begin{aligned} \therefore (z^2)^{\frac{1}{5}} &= 4^{\frac{1}{5}} \left[\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right]^{\frac{1}{5}} \\ &= \sqrt[5]{4} \left[\cos \frac{\frac{\pi}{3} + 2k\pi}{5} + i \sin \frac{\frac{\pi}{3} + 2k\pi}{5} \right] \end{aligned}$$

حيث $k = 0, 1, 2, 3, 4$ لانه جذر خامس

$$Z_1 = \sqrt[5]{4} \left(\cos \frac{\pi}{15} + i \sin \frac{\pi}{15} \right) \quad \text{وبوضع } k=0 \text{ يكون}$$

$$Z_2 = \sqrt[5]{4} \left[\cos \frac{7\pi}{15} + i \sin \frac{7\pi}{15} \right] \quad \text{وبوضع } k=1 \text{ يكون}$$

$$Z_3 = \sqrt[5]{4} \left[\cos \frac{13\pi}{15} + i \sin \frac{13\pi}{15} \right] \quad \text{وبوضع } k=2 \text{ يكون}$$

$$Z_4 = \sqrt[5]{4} \left[\cos \frac{19\pi}{15} + i \sin \frac{19\pi}{15} \right] \quad \text{وبوضع } k=3 \text{ يكون}$$

$$Z_5 = \sqrt[5]{4} \left[\cos \frac{25\pi}{15} + i \sin \frac{25\pi}{15} \right] \quad \text{وبوضع } k=4 \text{ يكون}$$

$$Z_5 = \sqrt[5]{4} \left[\cos \frac{5\pi}{3} + i \sin \frac{5\pi}{3} \right]$$

تمارين

1. احسب ما يأتي:

a) $\left[\cos \frac{5}{24} \pi + i \sin \frac{5}{24} \pi \right]^4$

b) $\left[\cos \frac{7}{12} \pi + i \sin \frac{7}{12} \pi \right]^3$

2. احسب باستخدام مبرهنة دي موافر (او التعميم) ما يأتي:

a) $(1-i)^7$

b) $(\sqrt{3}+i)^9$

3. بسط ما يأتي:

a) $\frac{(\cos 2\theta + i \sin 2\theta)^5}{(\cos 3\theta + i \sin 3\theta)^3}$

b) $(\cos \theta + i \sin \theta)^8 (\cos \theta - i \sin \theta)^4$

Hint : $x^4 y^4 = (xy)^4$

4. جد الجذور التربيعية للعدد المركب $-1 + \sqrt{3}i$ باستخدام نتيجة مبرهنة دي موافر ثم الطريقة المعروضة في البند [1-4].

5. باستخدام نتيجة مبرهنة دي موافر جد الجذور التكعيبية للعدد $27i$.

6. جد الجذور الاربعة للعدد (-16) باستخدام نتيجة مبرهنة دي موافر.

7. جد الجذور الستة للعدد $(-64i)$ باستخدام نتيجة مبرهنة دي موافر.

الفصل الثاني

Chapter Two

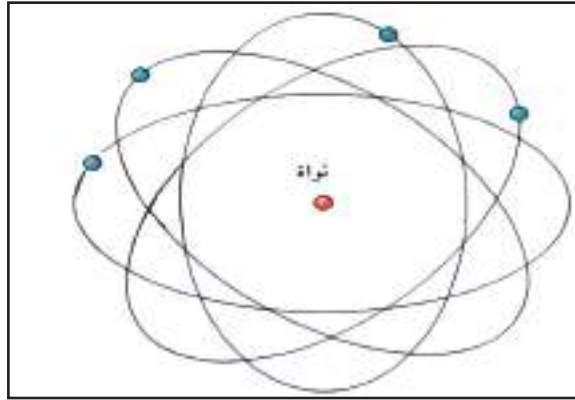
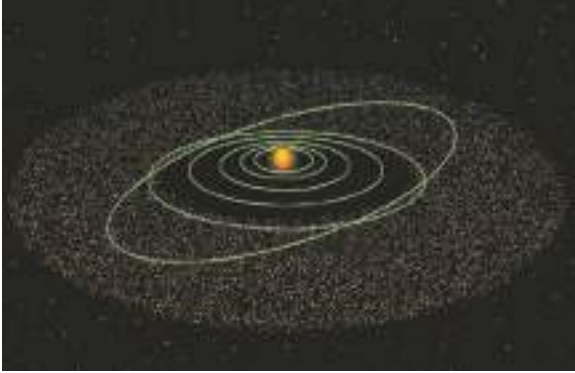
Conic Sections القطوع المخروطية

- تعريف القطع المخروطي. [2-1]
- القطع المكافئ. [2-2]
- انسحاب المحاور للقطع المكافئ. [2-3]
- القطع الناقص. [2-4]
- انسحاب المحاور للقطع الناقص. [2-5]
- القطع الزائد. [2-6]
- انسحاب المحاور للقطع الزائد. [2-7]

الرمز او العلاقة الرياضية	المصطلح
F	البؤرة قبل الانسحاب
\bar{F}	البؤرة بعد الانسحاب
$e = \frac{c}{a}$	الاختلاف المركزي
$2a$	العدد الثابت

القطوع المخروطية واهمية دراستها :

لنبحث اولاً عن وجود مثل هذه القطوع في الكون والطبيعة سوف ترى الكواكب والنجوم تتحرك على



مدارات اهليلجية . (اي المدارات تشبه القطع الناقص)

وفي الذرة والالكترونون يلاحظ المختصون بان

الالكترونونات تدور حول النواة على مدارات

اهليلجية ايضاً ، ومن التطبيقات الاخرى

للقطوع المخروطية استخدامها في انتشار

الصوت حيث نلاحظها في الات تكبير

الصوت الحديثة وكذلك تستخدم في انتشار

الضوء كما في ضوء السيارة فهو مجسم

مكافئ وضع في بؤرته مصباحاً . عندما

ينطلق شعاع ضوئي من المصباح ينعكس

هذا الشعاع على السطح المجسم وبصورة

افقية . وكذلك جميع الاشعة المنطلقة من

المصباح مما يؤدي الى اضاءة الطريق امام السيارة .

ومن التطبيقات الاخرى نلاحظها من خلال الصور

التالية :



نلاحظ مما سبق مدى اهمية القطوع المخروطية التي اصبحت دراستها محل اهتمام الرياضيين والفلكيين وعلماء الفضاء والميكانيكيين وكان للحضارة العربية الاسلامية دور هام في مواصلة هذه الدراسات بعد اطلاعهم على اعمال الرياضيين الاغريق امثال مينشم ، وابولتيوس ، وبابوس . ومن العلماء العرب الذين اهتموا بالقطع المخروطية ثابت بن قرة وابو جعفر الخازن ، واباسهل الكوهي ، وابن الهيثم وغيرهم كثيرون .

سبق وتعرفنا في الصف الخامس العلمي على كيفية تولد القطوع المخروطية: الدائرة - القطع المكافئ - القطع الناقص - القطع الزائد. حيث يتم الحصول على هذه القطوع هندسياً وكالاتي:

اذا قطع سطح المخروط الدائري القائم

* بمستو عمودي على محور المخروط الدائري القائم ولا يحوي رأس المخروط الدائري القائم فان المقطع

يمثل شكلاً هندسياً يسمى دائرة (Circle) .

* بمستو مواز لأحد مولداته فان المقطع يمثل شكلاً هندسياً يسمى القطع المكافئ "Parabola" .

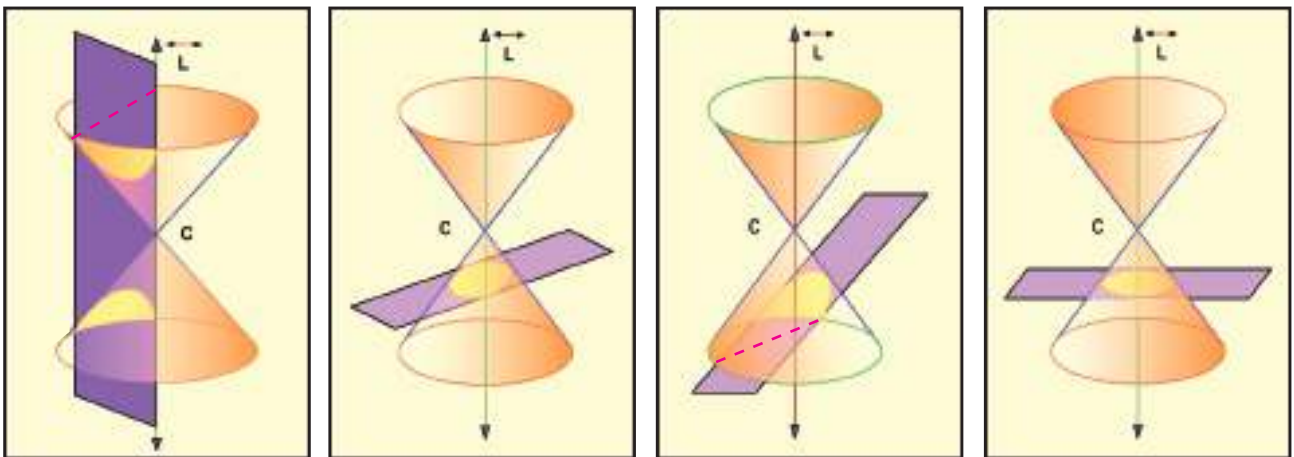
* بمستو غير مواز لقاعدته ولا يوازي احد مولداته فان المقطع يمثل شكلاً هندسياً يسمى القطع الناقص

"Ellipse".

* بمستو يوازي محور المخروط الدائري القائم ويقطع مولدين من مولدات المخروط الدائري القائم فان

المقطع يمثل شكلاً هندسياً يسمى القطع الزائد "Hyperbola" .

لاحظ الاشكال التالية للقطع المخروطية :



زائد

ناقص

مكافئ

دائرة

[2-1] القطع المخروطي:

لتكن (x_1, y_1) نقطة ثابتة في المستوي وليكن $ax + by + c = 0$ مستقيماً ثابتاً في المستوي نفسه، عندئذ مجموعة كل النقاط التي نسبة بُعد كل منها عن النقطة (x_1, y_1) الى بعدها عن المستقيم $ax + by + c = 0$ تساوي عدداً ثابتاً (e) تكون شكل هندسي يسمى بالقطع المخروطي .

مما سبق نلاحظ ان لكل قطع مخروطي (ما عدا الدائرة) ثلاثة مفاهيم اساسية يتعين بها هي :

- 1- النقطة الثابتة (x_1, y_1) تسمى بؤرة القطع المخروطي "Focus".
- 2- المستقيم الثابت $ax + by + c = 0$ يسمى دليل القطع المخروطي "Directrix".
- 3- النسبة (e) تسمى بالاختلاف المركزي "Eccentricity".

«Parabola»	في القطع المكافئ	$e = 1$
«Ellipse»	في القطع الناقص	$0 < e < 1$
«Hyperbola»	في القطع الزائد	$e > 1$

ملاحظة

[2-1-1] المعادلة العامة للقطع المخروطي:

من تعريف القطع المخروطي نستنتج المعادلة العامة وذلك كما يأتي :

لتكن (x, y) نقطة على القطع المخروطي ، عندئذ المسافة بين (x, y) والبؤرة (x_1, y_1) هي :

$$\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2}$$

$$\frac{|ax+by+c|}{\sqrt{a^2+b^2}}$$

والبعد بين (x, y) والدليل $ax+by+c=0$ هي :

وبموجب تعريف القطع المخروطي فان النسبة بين هاتين المسافتين تساوي (e) اي ان

$$\frac{\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2}}{\frac{|ax+by+c|}{\sqrt{a^2+b^2}}} = e$$

$$\Rightarrow \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} = e \cdot \frac{|ax+by+c|}{\sqrt{a^2+b^2}}$$

وبترتيب الطرفين نحصل على معادلة القطع

المخروطي العامة وهي معادلة من الدرجة

الثانية

$$(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 = e^2 \cdot \frac{(ax+by+c)^2}{a^2+b^2}$$

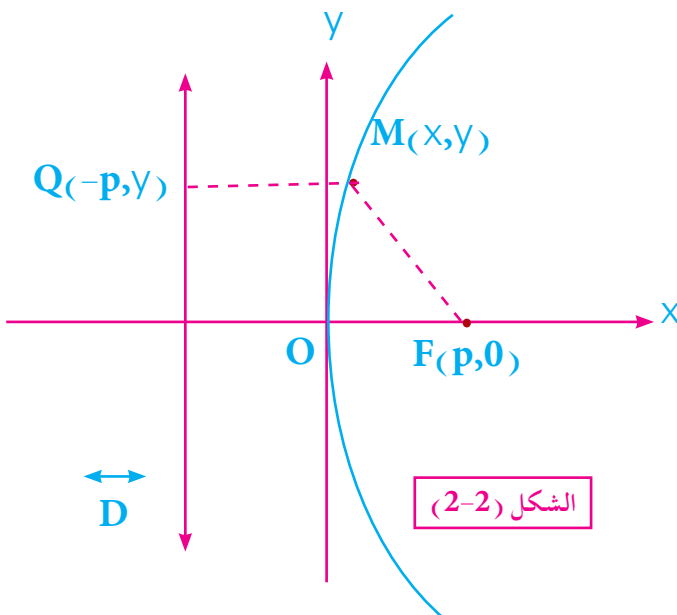
ملاحظة : سنطبق هذه المعادلة على القطع المكافئ لأنه قد تم تعريف الدليل

[2-2] القطع المكافئ: Parabola

القطع المكافئ هو مجموعة النقط $M(x, y)$ في المستوي والتي يكون بُعد كل منها عن نقطة ثابتة

$F(p, 0)$ تسمى البؤرة حيث $p > 0$ مساوياً دائماً لبُعدها عن مستقيم معلوم "D" يسمى الدليل لا

يحتوي البؤرة .



اي ان $MF = MQ$ لاحظ الشكل (2-2) :

وتسمى النقطة "O" برأس القطع

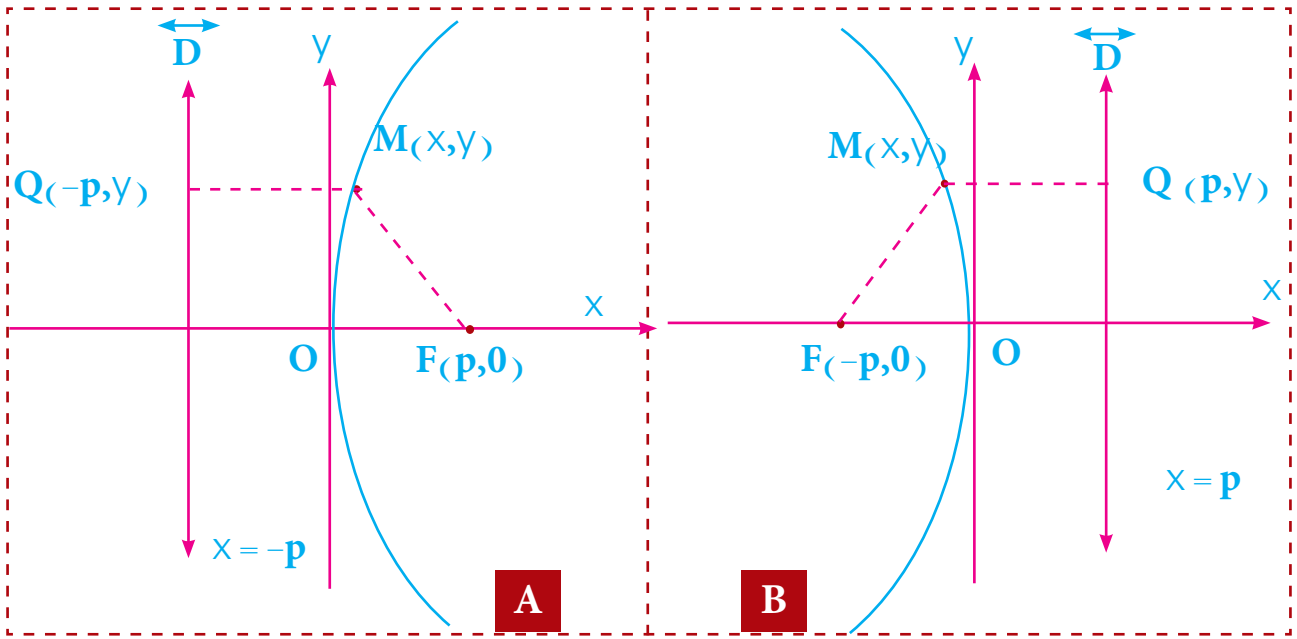
المكافئ "Vertex"

ويسمى المستقيم (x) المار

بالبؤرة والعمود على الدليل بمحور

القطع المكافئ. حيث لاحظ ان $e = 1$ $\frac{MF}{MQ}$

[2-2-1] معادلة القطع المكافئ الذي بؤرته تنتمي لمحور السينات (x -axis) والرأس في نقطة الأصل



الشكل (2-3)

في المستوي الديكارتي المتعامد المحورين وبناءً على تعريف القطع المكافئ يمكن إيجاد معادلة القطع المكافئ في أبسط صورة ممكنة وكما يأتي:

لتكن النقطة $F(p,0)$ هي بؤرة القطع المكافئ والمستقيم D هو دليل القطع المكافئ، والنقطة $Q(-p,y)$ نقطة على الدليل حيث \overline{MQ} عمودي على المستقيم D ، والنقطة $M(x,y)$ من نقط منحنى القطع المكافئ والرأس في نقطة الاصل $(0,0)$. كما في الشكل (2-3) (A). من تعريف القطع المكافئ.

$$MF = MQ$$

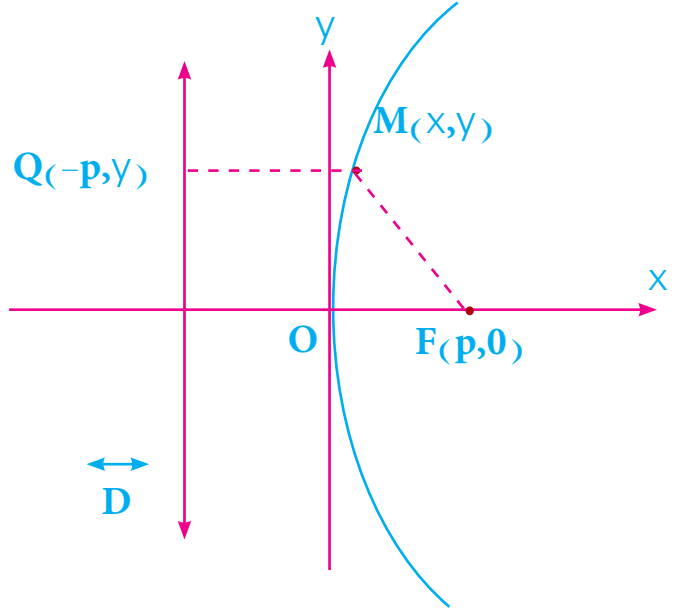
$$\sqrt{(x-p)^2 + (y-0)^2} = \sqrt{(x+p)^2 + (y-y)^2}$$

$$\sqrt{x^2 - 2px + p^2 + y^2} = \sqrt{x^2 + 2xp + p^2} \quad \text{بتربيع الطرفين}$$

$$x^2 - 2px + p^2 + y^2 = x^2 + 2xp + p^2 \quad \text{بالتبسيط}$$

(المعادلة القياسية للقطع المكافئ الذي رأسه نقطة الاصل وبؤرته تنتمي لمحور السينات) $y^2 = 4px, \forall p > 0$

ومعادلة الدليل $x = -p$



الشكل (2-4)

جد البؤرة ومعادلة دليل القطع المكافئ $y^2 = -8x$

مثال - 1

$$y^2 = -8x$$

بالمقارنة مع المعادلة القياسية $y^2 = -4px$

$$\Rightarrow 4p = 8 \Rightarrow p = \frac{8}{4} = 2 > 0$$

$$\therefore \boxed{p = 2}$$

$$F(-p, 0) = F(-2, 0)$$

معادلة الدليل $x = p$

$$\therefore \boxed{x = 2}$$

مثال - 2 -

جد معادلة القطع المكافئ اذا علم :

أ) بؤرته $(3,0)$ والرأس نقطة الاصل .

ب) معادلة الدليل $2x - 6 = 0$ ورأسه نقطة الاصل .

الحل

أ)

$$(p,0) = (3,0)$$

$$\Rightarrow p = 3$$

$$\therefore y^2 = 4px \quad (\text{المعادلة القياسية})$$

$$\Rightarrow y^2 = (4)(3)x = 12x$$

$$y^2 = 12x$$

$$2x - 6 = 0$$

$$2x = 6 \Rightarrow x = 3$$

$$\therefore p = 3 \quad (\text{بفضل التعريف})$$

بتطبيق المعادلة القياسية

$$y^2 = -4px$$

$$y^2 = (-4)(3)x = -12x \Rightarrow y^2 = -12x$$

ب) من معادلة الدليل

مثال - 3 -

جد بؤرة ومعادلة دليل القطع المكافئ $y^2 = 4x$ ثم أرسمه :

الحل

بالمقارنة مع معادلة القطع المكافئ :

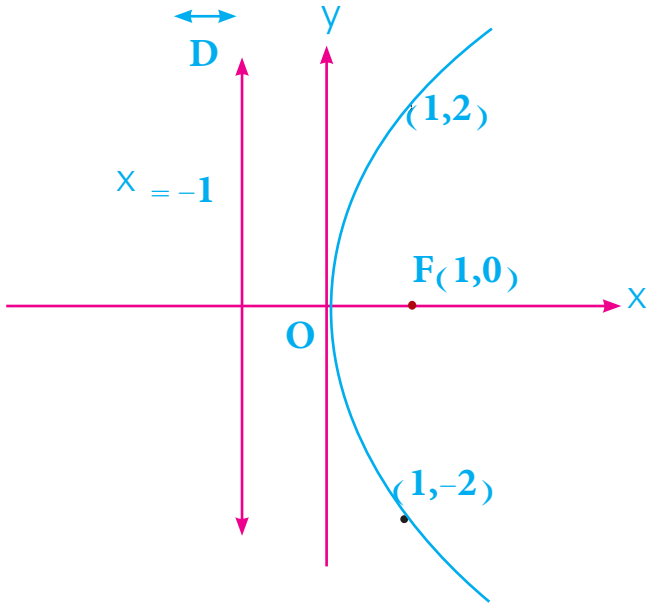
$$y^2 = 4px$$

$$\Rightarrow 4p = 4 \Rightarrow p = 1$$

البؤرة $F(1, 0)$

معادلة الدليل $x = -1$

$$y^2 = 4x \Rightarrow y = \pm 2\sqrt{x}$$



الشكل (2-5)

x	0	1	2
y	0	± 2	$\pm 2\sqrt{2}$

مثال -4-

باستخدام التعريف جد معادلة القطع المكافئ اذا علم ان بؤرته $(\sqrt{3}, 0)$ والرأس في نقطة الأصل.

الحل

البؤرة $F(\sqrt{3}, 0)$ ، ولتكن النقطة $M(x, y)$ من نقط منحنى القطع المكافئ، والنقطة $Q(-\sqrt{3}, y)$ هي نقطة تقاطع العمود المرسوم من M على الدليل \bar{D} ومن تعريف القطع المكافئ.

$$\sqrt{(x-\sqrt{3})^2 + (y-0)^2} = \sqrt{(x+\sqrt{3})^2 + (y-y)^2} \quad (\text{بتربيع الطرفين})$$

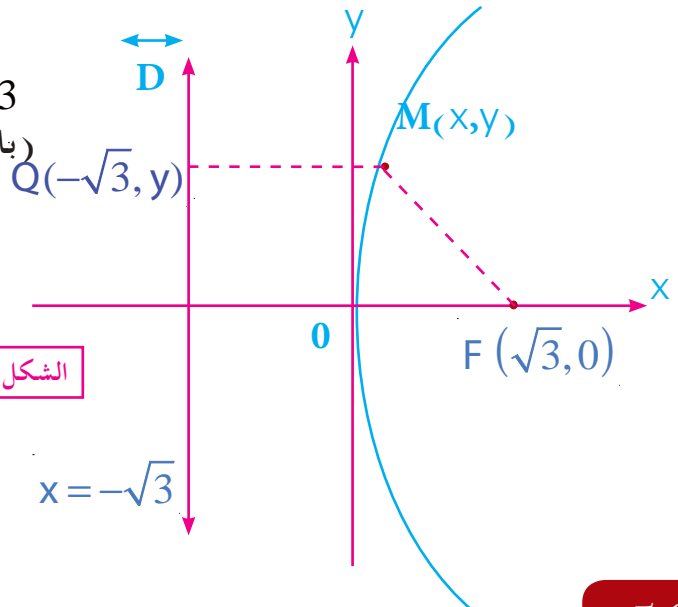
$$(x-\sqrt{3})^2 + y^2 = (x+\sqrt{3})^2$$

$$x^2 - 2\sqrt{3}x + 3 + y^2 = x^2 + 2\sqrt{3}x + 3$$

$$y^2 = 4\sqrt{3}x$$

(معادلة القطع المكافئ)

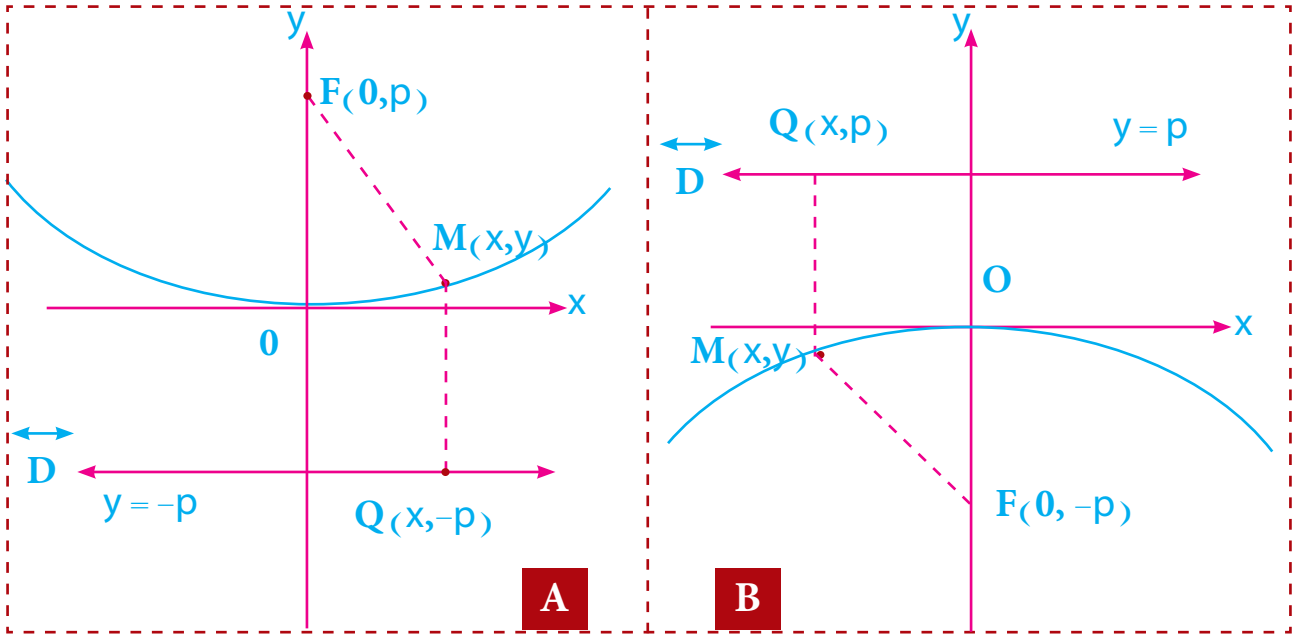
(بالتبسيط)



الشكل (2-6)

القطع المخروطية Conic Sections

[2-2-2] معادلة القطع المكافئ الذي بؤرته تنتمي لمحور الصادات (y -axis) والرأس في نقطة الأصل



الشكل (2-7)

في المستوي الديكارتي المتعامد المحورين لتكن النقطة $F(0, p)$ هي بؤرة القطع المكافئ ، والمستقيم D دليل القطع المكافئ والنقطة $Q(x, -p)$ هي نقطة تقاطع العمود المرسوم من M على الدليل ، والنقطة $M(x, y)$ من نقط منحنى القطع المكافئ والرأس في نقطة الاصل $(0, 0)$ كما في الشكل (2-7) A

وبناءً على تعريف القطع المكافئ فان $MF = MQ$

$$\Rightarrow \sqrt{(x-0)^2 + (y-p)^2} = \sqrt{(x-x)^2 + (y+p)^2} \quad (\text{بتربيع طرفي المعادلة})$$

$$\Rightarrow x^2 + (y-p)^2 = (y+p)^2$$

$$x^2 + y^2 - 2py + p^2 = y^2 + 2py + p^2 \quad (\text{بالتبسيط})$$

$$x^2 = 2py + 2py$$

$$x^2 = 4py, \quad \forall p > 0$$

المعادلة القياسية للقطع المكافئ

الجدول الاتي يمثل المعادلة القياسية للقطع المكافئ الذي رأسه في نقطة الاصل حيث $p > 0$

المعادلة	البؤرة	الدليل	المحور	فتحة القطع
$x^2 = 4py$	$(0, p)$	$y = -p$	y - axis	نحو الاعلى
$x^2 = -4py$	$(0, -p)$	$y = p$	y - axis	نحو الاسفل
$y^2 = 4px$	$(p, 0)$	$x = -p$	x - axis	نحو اليمين
$y^2 = -4px$	$(-p, 0)$	$x = p$	x - axis	نحو اليسار

مثال -5-

جد البؤرة ومعادلة دليل القطع المكافئ $3x^2 - 24y = 0$.

الحل

$$3x^2 - 24y = 0 \quad [\text{بقسمة طرفي المعادلة على (3)}]$$

$$x^2 = 8y$$

$$x^2 = 4py \quad \text{بالمقارنة مع المعادلة القياسية للقطع المكافئ}$$

$$\Rightarrow 4p = 8 \Rightarrow p = 2$$

ومن قيمة P نجد

البؤرة $F(0,2)$

معادلة الدليل $y = -2$

مثال -6-

جد معادلة القطع المكافئ اذا علم ان :-

أ) بؤرته $(0,5)$ ورأسه نقطة الاصل .

ب) معادلة الدليل $y = 7$ ورأسه نقطة الاصل .

الحل (أ)

$$F(0,5) \Rightarrow p = 5$$

$$x^2 = 4py \quad \text{المعادلة القياسية}$$

$$x^2 = 20y \quad \text{(معادلة القطع المكافئ)}$$

الحل (ب)

$$y = 7$$

$$p = 7$$

$$x^2 = -4py \quad \text{(المعادلة القياسية)}$$

$$x^2 = -28y$$

مثال -7-

جد معادلة القطع المكافئ الذي يمر بالنقطتين (2,4) ، (-4, 2) ورأسه نقطة الاصل.

الحل

النقطتان متناظرتان حول المحور السيني .

إذا المعادلة القياسية

$$y^2 = 4px , \quad \forall p > 0$$

نعوض احدى النقطتين اللتين تحققان المعادلة القياسية ولتكن النقطة (2,4)

$$16 = (4)(p)(2)$$

$$16 = 8p \Rightarrow p = \frac{16}{8} \Rightarrow p = 2$$

نعوض $p = 2$ في المعادلة القياسية

$$y^2 = (4)(2)x$$

$$y^2 = 8x$$

معادلة القطع المكافئ .

مثال -8-

جد معادلة القطع المكافئ الذي رأسه نقطة الاصل ويمر دليل القطع المكافئ بالنقطة

(3,-5)

الحل

يوجد احتمالين للمعادلة القياسية لعدم تحديد موقع البؤرة هما :

ثانياً : البؤرة تنتمي لمحور السينات

$$y^2 = 4px$$

$$x = 3 \quad \text{معادلة الدليل}$$

$$p = 3$$

$$y^2 = -4px \quad (\text{المعادلة القياسية})$$

$$y^2 = -12x$$

اولاً : البؤرة تنتمي لمحور الصادات

$$x^2 = 4py$$

$$y = -5 \quad \text{معادلة الدليل}$$

$$p = 5$$

$$x^2 = 4py$$

$$x^2 = 20y$$

[2-3] إنسحاب المحاور للقطع المكافئ :

[2-3-1] المعادلة القياسية للقطع المكافئ الذي محوره يوازي أحد المحورين الأحداثيين ورأسه النقطة (h,k)

في البنود السابقة تعرفنا على المعادلتين القياسيتين للقطع المكافئ وهما :

$$y^2 = 4px \dots\dots (1)$$

$$x^2 = 4py \dots\dots (2)$$

المعادلة الاولى : هي معادلة قطع مكافئ بؤرته تنتمي لمحور السينات ورأسه نقطة الاصل $(0,0)$.

المعادلة الثانية : معادلة قطع مكافئ بؤرته تنتمي لمحور الصادات ورأسه نقطة الاصل $(0,0)$.

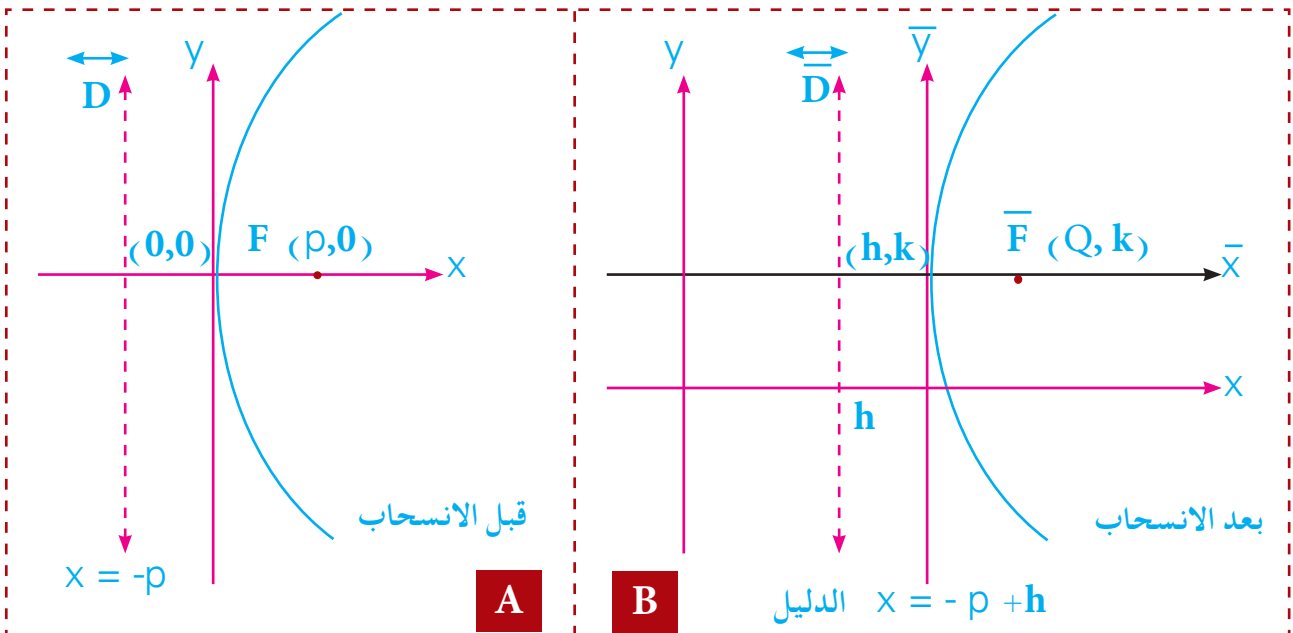
فاذا كان الرأس هو النقطة $\bar{O} (h, k)$ فان المعادلتين القياسيتين هما :

$$(y - k)^2 = 4p(x - h) \dots\dots (3)$$

$$(x - h)^2 = 4p(y - k) \dots\dots (4)$$

المعادلة الثالثة : تمثل المعادلة القياسية للقطع المكافئ الذي رأسه النقطة $\bar{O} (h, k)$ ومحوره يوازي محور

السينات . لاحظ في الشكل (2 - 8) الانسحاب لمكونات القطع المكافئ .



الشكل (2-8)

انسحاب $\bar{O}(h,k) \leftarrow O(0,0)$

انسحاب $\bar{F}(p+h,k) \leftarrow F(p,0)$

انسحاب $x = -p+h \leftarrow x = -p$

معادلة المحور $y = k$

حيث (p) في المعادلة (3) ، (4) هو البعد البؤري للقطع المكافئ ويساوي المسافة بين الرأس \bar{O}

والبؤرة \bar{F} ويساوي البعد بين الرأس ومعادلة الدليل اي ان $P = |Q - h|$

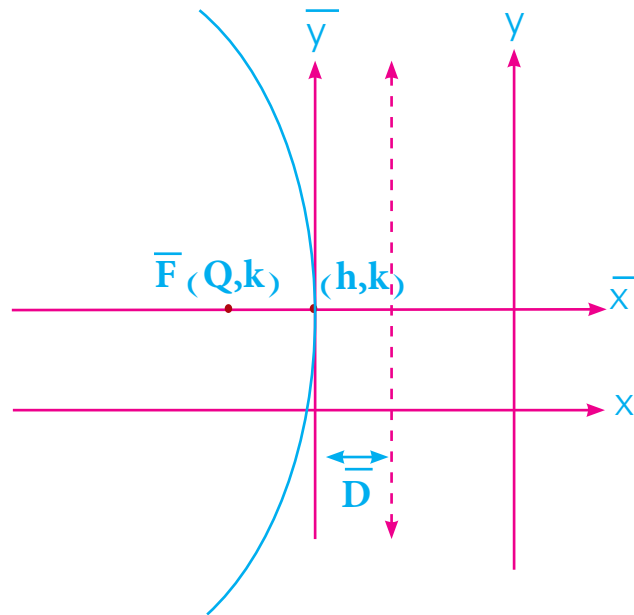
ويمكن ان تكون فتحة القطع المكافئ بالاتجاه السالب لمحور السينات كما في الشكل (9-2) :

$$(y - k)^2 = -4p(x - h)$$

البؤرة $(Q, k) = (h - p, k)$

معادلة الدليل $x = p + h$

معادلة المحور $y = k$



الشكل (9-2)

في البند [2 - 3] (انسحاب المحاور) سنكتفي فقط في ايجاد بؤرة ورأس القطع المكافئ ومعادلة الدليل ومعادلة المحور.

ملاحظة

مثال -9-

$$(y + 1)^2 = 4(x - 2)$$

من معادلة القطع المكافئ

عين الرأس ، البؤرة ، معادلة المحور ، معادلة الدليل .

الحل

بالمقارنة مع المعادلة القياسية للقطع المكافئ .

$$(y + 1)^2 = 4(x - 2)$$

$$(y - k)^2 = 4p(x - h)$$

$$\Rightarrow h = 2 , k = -1$$

$$\therefore (h, k) = (2, -1) \quad (\text{الرأس})$$

$$4p = 4$$

$$\Rightarrow p = 1$$

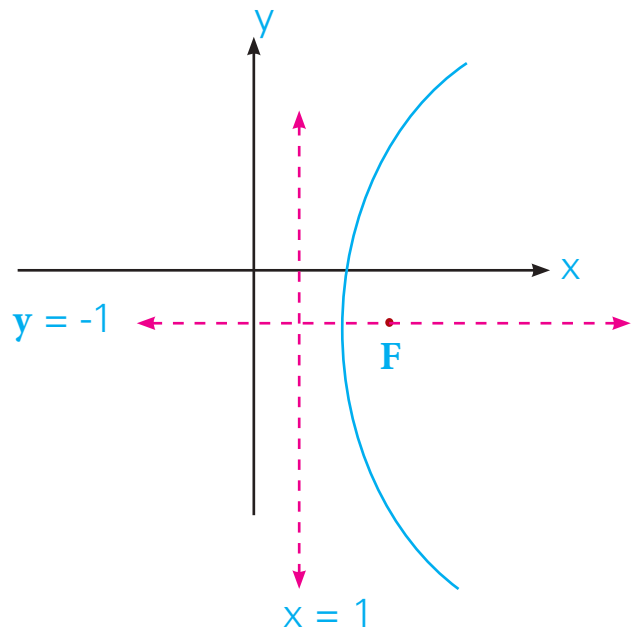
$$\therefore F(p + h, k) = F(1 + 2, -1) = F(3, -1) \quad (\text{البؤرة})$$

معادلة المحور $y = k$

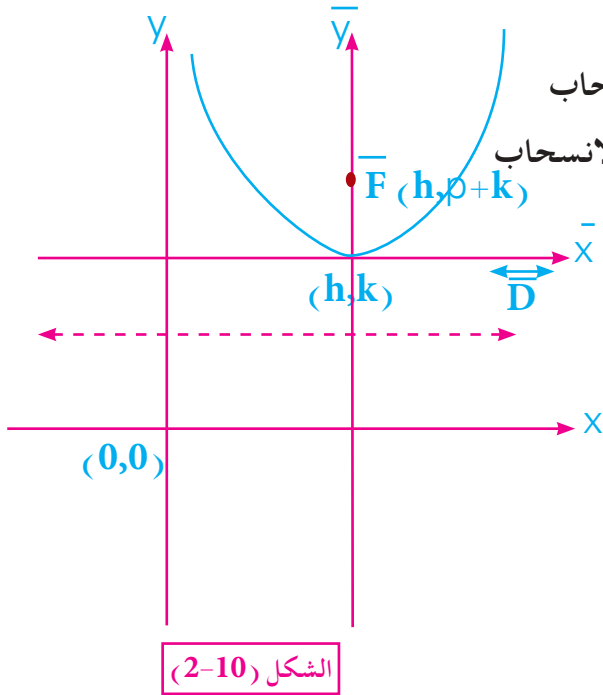
$$\therefore y = -1$$

$$x = -p + h$$

$$x = -1 + 2 = 1 \Rightarrow x = 1 \quad \text{معادلة الدليل}$$



المعادلة الرابعة: تمثل المعادلة القياسية للقطع المكافئ رأسه النقطة (h, k) ومحوره يوازي المحور الصادي لاحظ الانسحاب لمكونات القطع المكافئ. كما في الشكل (2-10).



انسحاب $O(0,0) \leftarrow \bar{O}(h,k)$ الرأس بعد الانسحاب

انسحاب $F(0,p) \leftarrow \bar{F}(h, Q)$ البؤرة بعد الانسحاب

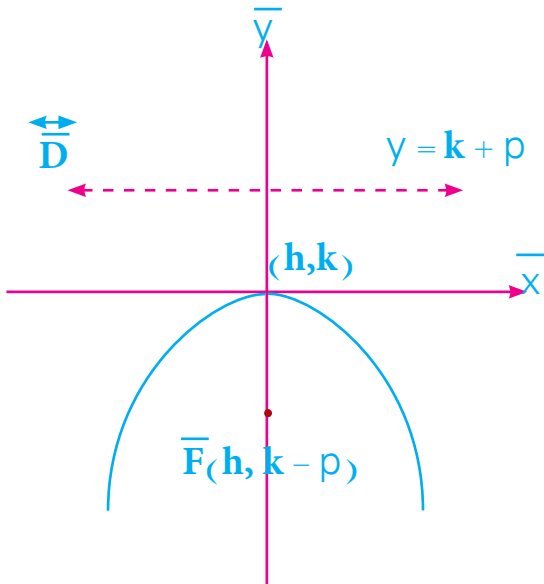
$$Q = p + k$$

$$\Rightarrow p = |Q - k| \quad (\text{البعد البؤري})$$

$$x = h \quad \text{معادلة المحور}$$

$$y = k - p \quad \text{معادلة الدليل}$$

الشكل (2-10)



$$(x - h)^2 = -4p(y - k)$$

$(h, k - p)$ البؤرة

$y = k + p$ معادلة الدليل

$x = h$ معادلة المحور

الشكل (2-11)

ناقش القطع المكافئ: $y = x^2 + 4x$

الحل

نضيف 4 الى طرفي المعادلة حتى نضع حدود x في شكل مربع كامل ، فنكتب :

$$y + 4 = x^2 + 4x + 4$$

$$y + 4 = (x+2)^2$$

هذه المعادلة من الشكل :

$$(x - h)^2 = 4p (y - k)$$

حيث

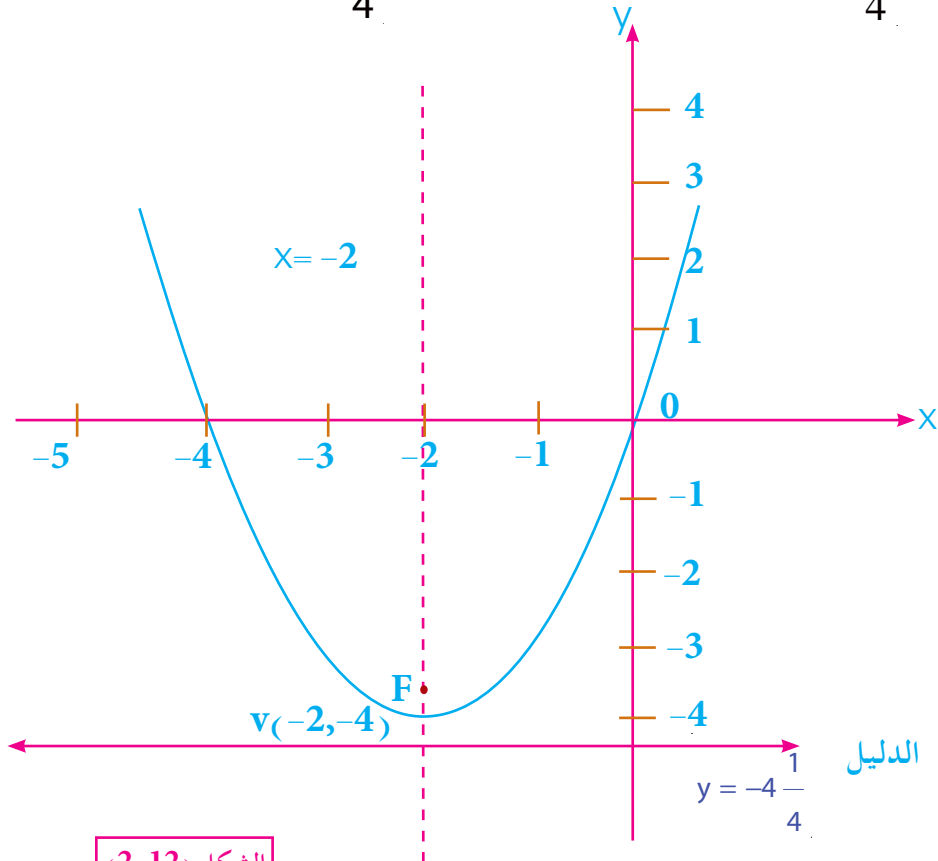
$$h = -2 , k = -4 \Rightarrow \text{الرأس } (-2, -4)$$

$$4p = 1 , p = \frac{1}{4}$$

هذا القطع المكافئ مفتوح الى الاعلى لان من اجل قيم x الحقيقية ولقيم $y \geq -4$ ورأسه

$v(-2, -4)$ تقع البؤرة على بعد $\frac{1}{4}$ وحدة من رأس القطع ونحو الاعلى ، اي عند $F(-2, -3\frac{3}{4})$ وان الدليل مواز

للمحور x ويبعد $4\frac{1}{4}$ وحدة من المحور x . ومعادلته هي $y = -4\frac{1}{4}$.



الشكل (2-12)

تمارين

1. جد المعادلة للمقطع المكافئ في كل مما يأتي ثم ارسم المنحني البياني لها .
- أ- البؤرة (5, 0) والرأس نقطة الاصل .
 - ب- البؤرة (0, -4) والرأس نقطة الاصل .
 - ج- البؤرة (0, $\sqrt{2}$) والرأس نقطة الاصل .
 - د- معادلة دليل القطع المكافئ $4y - 3 = 0$ والرأس نقطة الاصل .

2. في كل مما يأتي جد البؤرة والرأس ومعادلتى المحور والدليل للمقطع المكافئ :-

a) $x^2 = 4y$

b) $2x + 16y^2 = 0$

c) $y^2 = -4(x-2)$

d) $(x-1)^2 = 8(y-1)$

e) $y^2 + 4y + 2x = -6$

f) $x^2 + 6x - y = 0$

3. جد معادلة القطع المكافئ الذي يمر بالنقطتين (5, -2) ، (2, -5) والرأس في نقطة الاصل .

4. اذا كان دليل القطع المكافئ يمر بالنقطة (4, -3) والرأس في نقطة الاصل جد معادلته علماً ان بؤرته تنتمي لأحد المحورين .

5. قطع مكافئ معادلته $Ax^2 + 8y = 0$ يمر بالنقطة (2, 1) جد قيمة A ثم جد بؤرته ودليله و ارسم القطع .

6. باستخدام التعريف . جد معادلة القطع المكافئ

أ- البؤرة (7, 0) والرأس نقطة الاصل .

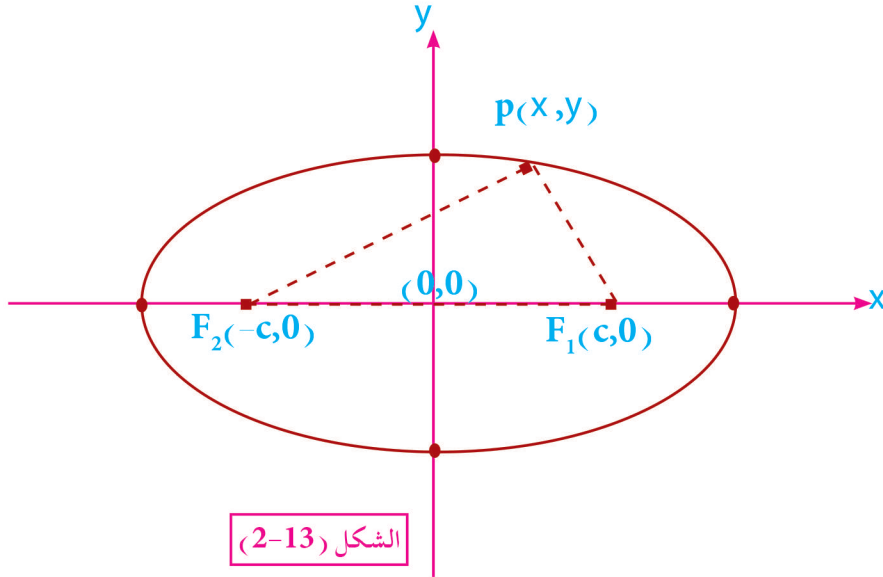
ب- معادلة الدليل $y = \sqrt{3}$ والرأس نقطة الاصل .

[2-4] القطع الناقص :Ellipse

تعريف [2-4-1]

القطع الناقص مجموعة من النقط في المستوي التي يكون مجموع بعديها عن نقطتين ثابتتين (البؤرتان) عدد ثابت .

[2-4-2] قطع ناقص بؤرتاه على محور السينات ومركزه نقطة الاصل .



كما في الشكل (2-13)

الشكل (2-13)

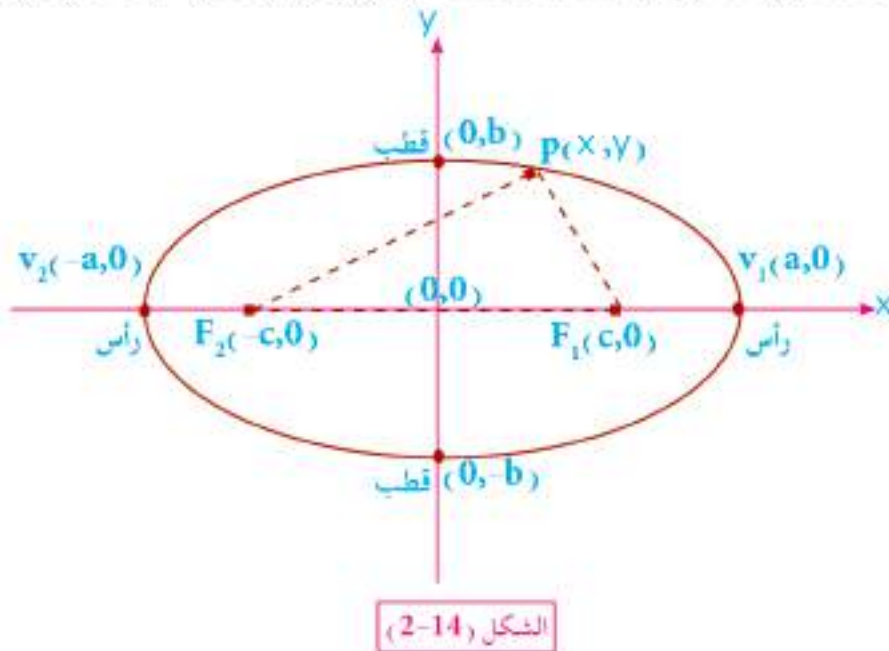
بؤرتا القطع الناقص هما $F_1(c, 0)$ ، $F_2(-c, 0)$ والعدد الثابت هو $2a$ ، $c > 0$ ، $a > 0$

تسمى النقطة التي تقع في منتصف القطعة المستقيمة الواصلة بين البؤرتين بمركز القطع الناقص (Center) ، ويسمى المستقيم المار بالبؤرتين بالمحور البؤري (Focal axis) ويقطع القطع الناقص في نقطتين تسميان رأسا القطع وتسمى قطعة المستقيم الواصلة بين الرأسين بالمحور الكبير (Major axis) وطولها $(2a)$ ايضاً ويساوي مجموع بعدي اي نقطة $P(x, y)$ من نقاط القطع الناقص عن البؤرتين اي ان :

$$pF_1 + pF_2 = 2a$$

وتسمى القطعة المستقيمة الواصلة بين نقطتي تقاطع المستقيم العمود على المحور الكبير من مركز القطع الناقص

مع القطع الناقص بالمحور الصغير (Minor axis) وطولها $(2b)$ حيث $b > 0$ ونهاياته تسميان القطبين.



[2-4-3] معادلة القطع الناقص الذي بؤرتاه على محور السينات ومركزه نقطة الاصل.

$$\therefore PF_1 + PF_2 = 2a$$

لاحظ الشكل (2-14)

$$\Rightarrow \sqrt{(x-c)^2 + (y-0)^2} + \sqrt{(x+c)^2 + (y-0)^2} = 2a$$

$$\Rightarrow \sqrt{(x-c)^2 + y^2} + \sqrt{(x+c)^2 + y^2} = 2a$$

$$\Rightarrow \sqrt{(x-c)^2 + y^2} = 2a - \sqrt{(x+c)^2 + y^2}$$

(بتربيع طرفي المعادلة)

$$\Rightarrow (x-c)^2 + y^2 = 4a^2 - 4a\sqrt{(x+c)^2 + y^2} + (x+c)^2 + y^2$$

$$\Rightarrow x^2 - 2cx + c^2 + y^2 = 4a^2 - 4a\sqrt{(x+c)^2 + y^2} + x^2 + 2cx + c^2 + y^2$$

$$\Rightarrow 4a\sqrt{(x+c)^2 + y^2} = 4a^2 + 4cx$$

(بقسمة طرفي المعادلة على 4)

$$\Rightarrow a\sqrt{(x+c)^2 + y^2} = a^2 + cx$$

(بتربيع طرفي المعادلة)

$$a^2 [x^2 + 2cx + c^2 + y^2] = a^4 + 2a^2cx + c^2x^2$$

$$a^2x^2 + 2a^2cx + a^2c^2 + a^2y^2 = a^4 + 2a^2cx + c^2x^2$$

بالتبسيط

$$a^2x^2 - c^2x^2 + a^2y^2 = a^4 - a^2c^2$$

$$\boxed{x^2(a^2 - c^2) + a^2y^2 = a^2(a^2 - c^2)} \dots\dots\dots(1)$$

بما ان $a > c$ دائماً فإن $a^2 - c^2 > 0$ وبفرض ان $b^2 = a^2 - c^2$ حيث $b > 0$

$$\Rightarrow \boxed{b^2 = a^2 - c^2} \dots\dots\dots(2)$$

نعوض 2 في 1

$$\Rightarrow x^2 b^2 + a^2 y^2 = a^2 b^2$$

بقسمة طرفي المعادلة على $a^2 b^2$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1}$$

تمثل المعادلة القياسية للقطع الناقص الذي بؤرتاه على محور السينات ومركزه نقطة الاصل .
وتسمى النسبة $\frac{c}{a}$ بالاختلاف المركزي .
أي ان $e = \frac{c}{a}$ ويكون دائماً اقل من الواحد .

[3-4-2] معادلة القطع الناقص الذي مركزه نقطة الاصل والبؤرتان تنتميان لمحور الصادات .

لاحظ الشكل (15 - 2)

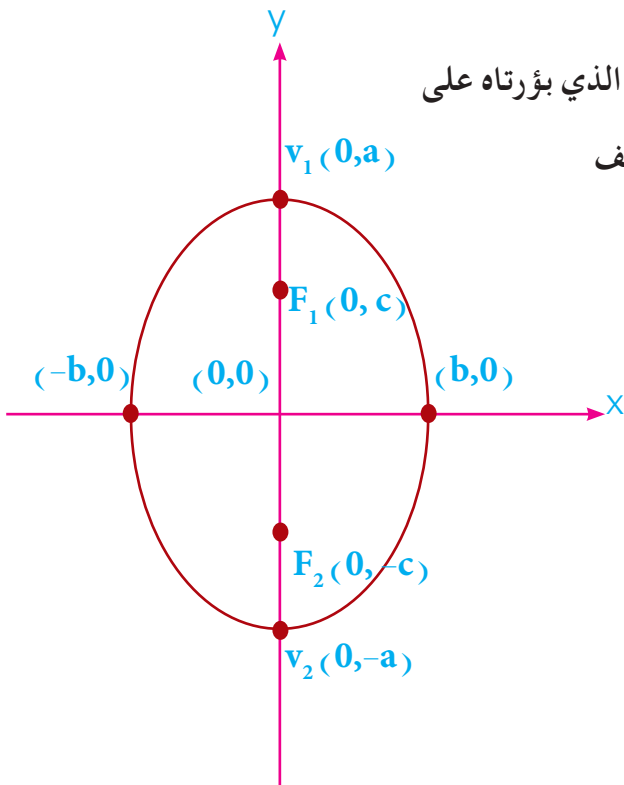
بنفس خطوات الاشتقاق السابق لمعادلة القطع الناقص الذي بؤرتاه على محور السينات ومركزه نقطة الاصل وباستخدام التعريف

نحصل على المعادلة :

$$\boxed{\frac{x^2}{b^2} + \frac{y^2}{a^2} = 1}$$

حيث البؤرتان على محور الصادات والمركز في نقطة الاصل .

نلخص ما سبق بالجدول الآتي :



الشكل (15-2)

قطع ناقص بؤرتاه على محور

السينات ومركزه نقطة الاصل .

قطع ناقص بؤرتاه على محور

الصادات ومركزه نقطة الاصل .

$$1) \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$2) F_1(c,0) , F_2(-c,0)$$

$$3) V_1(a,0) , V_2(-a,0)$$

$$4) c = \sqrt{a^2 - b^2}$$

$$5) a > c , a > b$$

$$6) 2a = \text{طول المحور الكبير}$$

$$7) 2b = \text{طول المحور الصغير}$$

$$8) 2c = \text{المسافة بين البؤرتين}$$

$$9) A = ab\pi :$$

مساحة منطقة القطع الناقص ويرمز لها A (Area)

$$10) P = 2\pi \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}} , \pi = \frac{22}{7} \text{ (Perimeter) } P \text{ محيط القطع الناقص ويرمز له}$$

$$11) e = \frac{c}{a} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} , (e < 1) \text{ "e" الاختلاف المركزي ويكون دائماً اقل من الواحد}$$

مثال - 11 -

في كل مما يأتي جد طول كل من المحورين واحداثي كل من البؤرتين والرأسين

والاختلاف المركزي .

$$1) \frac{x^2}{25} + \frac{y^2}{16} = 1$$

$$2) 4x^2 + 3y^2 = \frac{4}{3}$$

بالمقارنة مع المعادلة القياسية $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ حيث $a > b$

$\Rightarrow a^2 = 25 \Rightarrow a = 5 \Rightarrow 2a = 10$ وحدة طول المحور الكبير

$b^2 = 16 \Rightarrow b = 4 \Rightarrow 2b = 8$ وحدة طول المحور الصغير

$c = \sqrt{a^2 - b^2} = \sqrt{25 - 16} = \sqrt{9} = 3$

$\therefore c = 3$

$\therefore F_1(3,0)$, $F_2(-3,0)$ البؤرتان

$V_1(5,0)$, $V_2(-5,0)$ الرأسان

$e = \frac{c}{a} = \frac{3}{5} < 1$ (الاختلاف المركزي)

$4x^2 + 3y^2 = \frac{4}{3}$

بضرب طرفي المعادلة بـ $\frac{3}{4}$

$3x^2 + \frac{9y^2}{4} = 1$

$\frac{x^2}{\frac{1}{3}} + \frac{y^2}{\frac{4}{9}} = 1$

$\Rightarrow a^2 = \frac{4}{9} \Rightarrow a = \frac{2}{3} \Rightarrow 2a = \frac{4}{3}$ وحدة طول المحور الكبير

$b^2 = \frac{1}{3} \Rightarrow b = \frac{1}{\sqrt{3}} \Rightarrow 2b = \frac{2}{\sqrt{3}}$ وحدة طول المحور الصغير

$c = \sqrt{a^2 - b^2} \Rightarrow c = \sqrt{\frac{4}{9} - \frac{1}{3}} = \sqrt{\frac{1}{9}} = \frac{1}{3}$

$F_1\left(0, \frac{1}{3}\right)$, $F_2\left(0, -\frac{1}{3}\right)$ البؤرتان

$V_1\left(0, \frac{2}{3}\right)$, $V_2\left(0, -\frac{2}{3}\right)$ الرأسان

$\therefore e = \frac{c}{a} = \frac{\frac{1}{3}}{\frac{2}{3}} = \frac{1}{2} < 1$ (الاختلاف المركزي)

جد معادلة القطع الناقص الذي بؤرتاه $F_1(3,0)$ ، $F_2(-3,0)$ ورأساه النقطتان $V_1(5,0)$ ، $V_2(-5,0)$ ومركزه نقطة الاصل.

الحل

البؤرتان والرأسان يقعان على محور السينات والمركز في نقطة الاصل:

$$\therefore \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$\Rightarrow c = 3 \Rightarrow c^2 = 9$$

$$\Rightarrow a = 5 \Rightarrow a^2 = 25$$

$$\Rightarrow c^2 = a^2 - b^2 \Rightarrow b^2 = a^2 - c^2 = 25 - 9 = 16$$

$$\frac{x^2}{25} + \frac{y^2}{16} = 1$$

معادلة القطع الناقص

جد معادلة القطع الناقص الذي مركزه نقطة الاصل وينطبق محوره على المحورين الاحداثيين ويقطع من محور السينات جزءاً طوله 8 وحدات ومن محور الصادات جزءاً طوله 12 وحدة، ثم جد المسافة بين البؤرتين ومساحة منطقتة ومحيطه.

الحل

$$2b = 8 \Rightarrow b = 4 \Rightarrow b^2 = 16$$

$$2a = 12 \Rightarrow a = 6 \Rightarrow a^2 = 36$$

$$\frac{x^2}{16} + \frac{y^2}{36} = 1$$

$$c = \sqrt{a^2 - b^2} = \sqrt{36 - 16} = 2\sqrt{5}$$

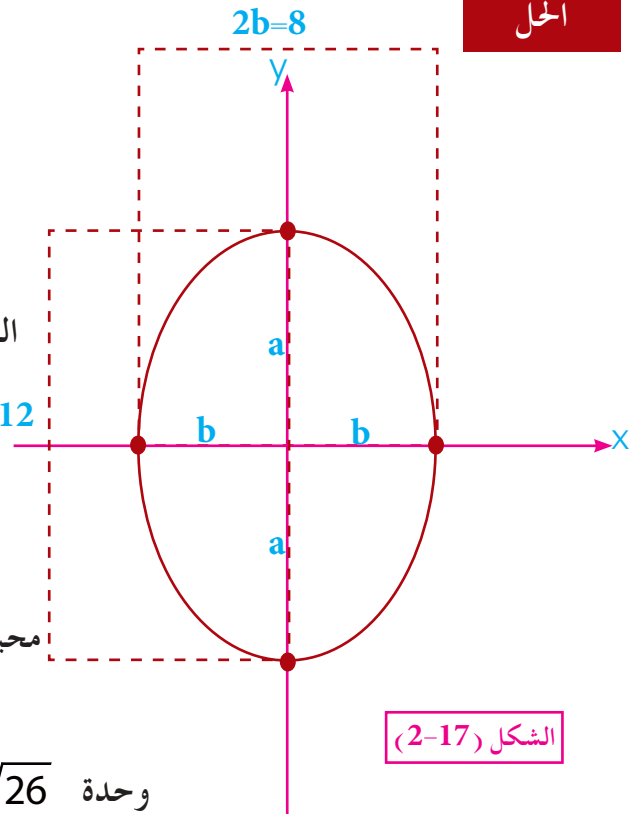
$$\Rightarrow 2c = 4\sqrt{5} \text{ وحدة المسافة بين البؤرتين}$$

مساحة منطقة القطع الناقص $A = ab\pi$

$$A = (6)(4)\pi = 24\pi \text{ (وحدة مربعة)}, \pi = \frac{22}{7}$$

$$\therefore P = 2\pi \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}}$$

$$P = 2\pi \sqrt{\frac{36 + 16}{2}} = 2\pi \sqrt{\frac{52}{2}} = 2\pi \sqrt{26} \text{ وحدة}$$



مثال -14-

لتكن $kx^2 + 4y^2 = 36$ معادلة قطع ناقص مركزه نقطة الاصل واحدى بؤرتيه $(\sqrt{3}, 0)$ جد قيمة $k \in \mathbb{R}$.

الحل

$$kx^2 + 4y^2 = 36 \quad [\div 36]$$

$$\frac{x^2}{\frac{36}{k}} + \frac{y^2}{9} = 1$$

من البؤرة $(\sqrt{3}, 0)$

$$\Rightarrow c = \sqrt{3} \Rightarrow c^2 = 3$$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad \text{وبالمقارنة مع المعادلة القياسية}$$

$$\Rightarrow a^2 = \frac{36}{k}, \quad b^2 = 9, \quad c^2 = 3 \dots (1)$$

$$c^2 = a^2 - b^2 \dots (2)$$

بالتعويض عن (1) في (2)

$$3 = \frac{36}{k} - 9 \Rightarrow k = 3$$

مثال -15-

جد معادلة القطع الناقص الذي مركزه في نقطة الاصل وبؤرتاه على محور السينات والمسافة بين البؤرتين (6) وحدات ، والفرق بين طولي المحورين يساوي (2) وحدة.

الحل

$$2c = 6 \Rightarrow c = 3$$

$$2a - 2b = 2 \quad \div 2$$

$$a - b = 1 \Rightarrow a = 1 + b \dots (1)$$

$$\therefore c^2 = a^2 - b^2$$

$$\therefore 9 = (1+b)^2 - b^2 \quad \text{بالتعويض}$$

$$9 = 1 + 2b + b^2 - b^2$$

$$9 = 1 + 2b$$

$$b = 4 \dots (2)$$

$$a = 1 + 4 = 5$$

تعويض (2) في (1)

$$a^2 = 25$$

$$\frac{x^2}{25} + \frac{y^2}{16} = 1 \quad \text{معادلة القطع الناقص}$$

مثال -16

جد معادلة القطع الناقص الذي مركزه نقطة الاصل واحدى بؤتيه بؤرة القطع المكافئ $y^2 - 12x = 0$, وطول محوره الصغير يساوي (10) وحدات .

الحل

$$y^2 - 12x = 0$$

$$y^2 = 12x$$

$$y^2 = 4px \quad (\text{بالمقارنة مع المعادلة القياسية})$$

$$4p = 12 \Rightarrow p = 3$$

بؤرتا القطع الناقص هما : $F_1(3,0)$, $F_2(-3,0)$

$$\Rightarrow c = 3 \Rightarrow c^2 = 9$$

$$2b = 10$$

$$b = 5 \Rightarrow b^2 = 25$$

$$\therefore c^2 = a^2 - 25$$

$$\therefore 9 = a^2 - 25$$

$$a^2 = 34$$

$$\frac{x^2}{34} + \frac{y^2}{25} = 1 \quad \text{معادلة القطع الناقص}$$

باستخدام التعريف ، جد معادلة القطع الناقص الذي بؤرتاه :

$$F_1(2,0) , F_2(-2,0) \text{ والعدد الثابت } = 6$$

الحل

$\forall P(x,y)$ تنتمي للقطع الناقص :

$$\Rightarrow PF_1 + PF_2 = 2a$$

$$\sqrt{(x-2)^2 + y^2} + \sqrt{(x+2)^2 + y^2} = 6$$

$$\sqrt{(x-2)^2 + y^2} = 6 - \sqrt{(x+2)^2 + y^2} \quad \text{بتربيع الطرفين}$$

$$(x-2)^2 + y^2 = 36 - 12\sqrt{(x+2)^2 + y^2} + (x+2)^2 + y^2$$

$$x^2 - 4x + 4 + y^2 = 36 - 12\sqrt{(x+2)^2 + y^2} + x^2 + 4x + 4 + y^2$$

$$12\sqrt{(x+2)^2 + y^2} = 36 + 8x \quad \text{بالقسمة على 4}$$

$$3\sqrt{(x+2)^2 + y^2} = 9 + 2x \quad \text{بتربيع الطرفين}$$

$$9[x^2 + 4x + 4 + y^2] = 81 + 36x + 4x^2$$

$$9x^2 + 36x + 36 + 9y^2 = 81 + 36x + 4x^2$$

$$5x^2 + 9y^2 = 81 - 36$$

$$5x^2 + 9y^2 = 45$$

$$\frac{x^2}{9} + \frac{y^2}{5} = 1 \quad \text{معادلة القطع الناقص}$$

[2-4-5] طريقة رسم القطع الناقص Graph The Ellipse .

لتكن $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ معادلة قطع ناقص بؤرتاه تنتميان لمحور السينات ولرسم هذا القطع :

1. نعين النقطتين $V_1(a, 0)$ ، $V_2(-a, 0)$

2. نعين النقطتين $M_1(0, b)$ ، $M_2(0, -b)$

3. نصل بين النقاط الاربعة $V_1 M_1 V_2 M_2$ على الترتيب بمنحني متصل .

4. نعين البؤرتين $F_1(c, 0)$ ، $F_2(-c, 0)$

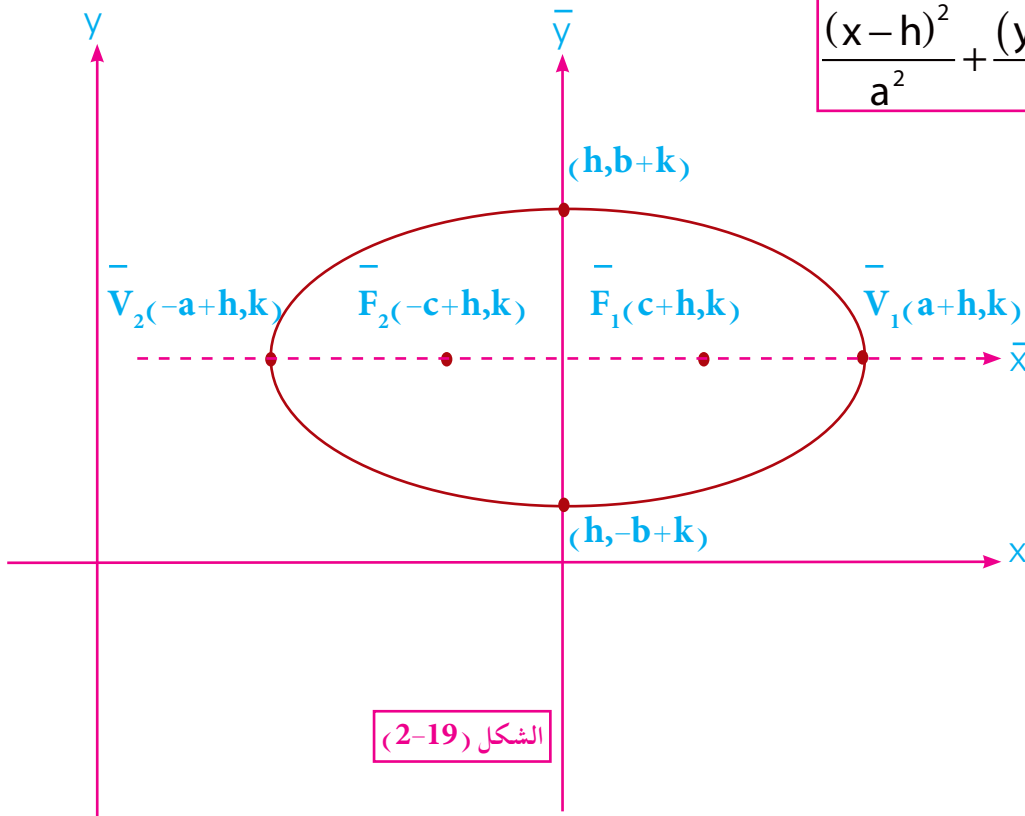
[2-5] انسحاب المحاور للقطع الناقص.

تبيننا ان مركز القطع الناقص بانه نقطة تقاطع محوري تناظره ، فاذا كان المركز عند النقطة (h,k) والمحوران يوازيان المحورين الاحداثيين فاننا نحصل على معادلة القطع الناقص في الاحداثيات الجديدة كما يأتي :

[2-5-1] المعادلة القياسية للقطع الناقص الذي محوره الاكبر يوازي المحور السيني ومركزه النقطة (h, k) .

عند انسحاب مركز القطع الناقص الذي مركزه نقطة الاصل $(0,0)$ على محور السينات بمقدار h من الوحدات وبمقدار k من الوحدات على محور الصادات ، تصبح المعادلة القياسية للقطع الناقص بالصورة

الاتية:
$$\frac{(x-h)^2}{a^2} + \frac{(y-k)^2}{b^2} = 1$$



الشكل (2-19)

لاحظ من الشكل (2-19) ان المحور الكبير يوازي محور السينات وطوله $(2a)$ ومعادلته $y = k$ والمحور الصغير يوازي محور الصادات وطوله $(2b)$ ومعادلته $x = h$ اما البؤرتان بعد الانسحاب فتصبحان $\bar{F}_1(c+h, k)$ ، $\bar{F}_2(-c+h, k)$ والرؤسان للقطع الناقص هما $\bar{V}_1(a+h, k)$ ، $\bar{V}_2(-a+h, k)$

[2-5-2] المعادلة القياسية للقطع الناقص الذي محوره الاكبر يوازي محور الصادات ومركزه النقطة (h, k) .

بنفس الاسلوب السابق لمعادلة القطع الناقص الذي محوره الاكبر يوازي محور السينات ومركزه النقطة (h, k) يمكن التعرف على المعادلة القياسية للقطع الناقص الذي محوره الاكبر يوازي محور الصادات

ومركزه النقطة (h, k) وهي:
$$\frac{(x-h)^2}{b^2} + \frac{(y-k)^2}{a^2} = 1$$
 لاحظ الشكل (2-20)

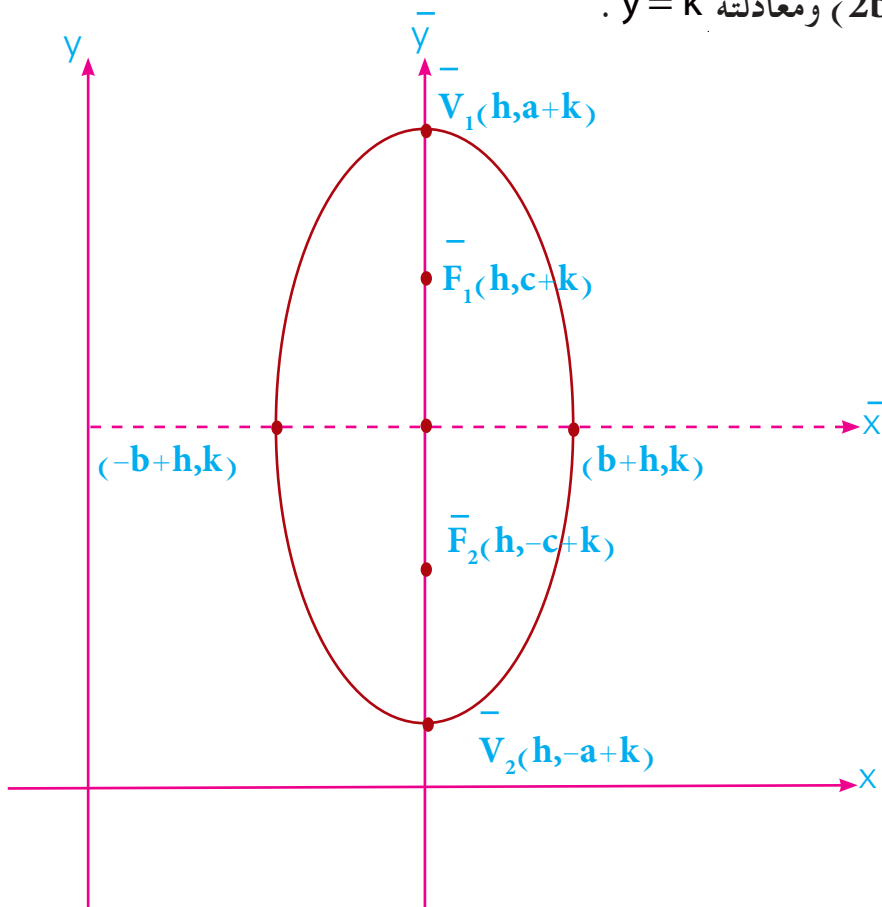
حيث البؤرتان هما $\bar{F}_1(h, c+k)$, $\bar{F}_2(h, -c+k)$

والرؤسان $\bar{V}_1(h, a+k)$, $\bar{V}_2(h, -a+k)$

والمحور الكبير يوازي محور الصادات وطوله $(2a)$

ومعادلته $x = h$ اما المحور الصغير فانه يوازي محور

السينات وطوله $(2b)$ ومعادلته $y = k$.



الشكل (2-20)

سنقتصر في البند [2 - 5] على إيجاد مركز القطع الناقص، والبؤرتان والرأسان والقطبان، وطول المحورين ومعادلة كل من المحورين فقط.

مثال -18

جد البؤرتين والرأسين والقطبين وطول ومعادلة كل من المحورين للقطع الناقص ثم جد قيمة e .

$$\frac{(X-2)^2}{9} + \frac{(y-1)^2}{25} = 1$$

الحل

$$\frac{(X-h)^2}{b^2} + \frac{(y-k)^2}{a^2} = 1$$

بالمقارنة مع المعادلة القياسية للقطع الناقص.

$$\Rightarrow (h, k) = (2, 1)$$

$$\Rightarrow a^2 = 25 \Rightarrow a = 5 \Rightarrow 2a = 10 \quad \text{وحدة طول المحور الكبير}$$

$$b^2 = 9 \Rightarrow b = 3 \Rightarrow 2b = 6 \quad \text{وحدة طول المحور الصغير}$$

$$c = \sqrt{a^2 - b^2} \Rightarrow c = \sqrt{25 - 9} = \sqrt{16} = 4 \quad \text{القطبان } (-b + h, k), (b + h, k)$$

$$\overline{F}_1(h, c+k), \quad \overline{F}_2(h, -c+k) \quad \text{البؤرتان } (-1, 1), (5, 1)$$

$$\overline{F}_1(2, 5), \quad \overline{F}_2(2, -3)$$

$$\overline{V}_1(h, a+k), \quad \overline{V}_2(h, -a+k) \quad \text{الرأسان}$$

$$\overline{V}_1(2, 6), \quad \overline{V}_2(2, -4)$$

$\therefore x = 2$ معادلة المحور الكبير

$y = 1$ معادلة المحور الصغير

$$e = \frac{c}{a} = \frac{4}{5} < 1 \quad \text{(الاختلاف المركزي)}$$

تمارين

1. عين كل من البؤرتين والرأسين والقطبين والمركز ثم جد طول ومعادلة كل من المحورين والاختلاف المركزي للقطع الناقصة المبينة معادلتها في كل مما يأتي:

a) $x^2 + 2y^2 = 1$

b) $9x^2 + 13y^2 = 117$

c) $\frac{(x-4)^2}{81} + \frac{(y+1)^2}{25} = 1$

d) $\frac{(x+3)^2}{9} + \frac{(y+2)^2}{25} = 1$

e) $9x^2 + 16y^2 - 72x - 96y + 144 = 0$ f) $x^2 + 25y^2 + 4x - 150y + 204 = 0$

2. جد المعادلة القياسية للقطع الناقص الذي مركزه في نقطة الاصل في كل مما يأتي ثم أرسمه:

أ. البؤرتان هما النقطتان $(5, 0)$ و $(-5, 0)$ وطول محوره الكبير يساوي (12) وحدة.

ب. البؤرتان هما $(0, \pm 2)$ ويتقاطع مع محور السينات عند $x = \pm 4$.

ج. احدى بؤرتيه تبعد عن نهايتي محوره الكبير بالعددين 1 ، 5 وحدة على الترتيب.

د. الاختلاف المركزي $-\frac{1}{2}$ وطول محوره الصغير (12) وحدة طولية.

هـ. المسافة بين بؤرتيه تساوي (8) وحدات، ونصف محوره الصغير يساوي (3) وحدة.

3. باستخدام التعريف جد معادلة القطع الناقص اذا علم:

أ. بؤرتاه النقطتان $(0, \pm 2)$ ورأساه النقطتان $(0, \pm 3)$ ومركزه نقطة الاصل.

ب. المسافة بين البؤرتين (6) وحدة والعدد الثابت (10) والبؤرتان تقعان على محور السينات ومركزه نقطة الاصل.

4. جد معادلة القطع الناقص الذي مركزه نقطة الاصل واحدى بؤرتيه هي بؤرة القطع المكافئ الذي

معادلته $y^2 + 8x = 0$ علماً بان القطع الناقص يمر بالنقطة $(\sqrt{3}, 2\sqrt{3})$.

5. جد معادلة القطع الناقص الذي مركزه نقطة الاصل وبؤرتاه على محور السينات ويمر بالنقطتين $(6, 2)$, $(3, 4)$.

6. جد معادلة القطع الناقص الذي مركزه نقطة الاصل وبؤرتاه نقطتا تقاطع المنحني $x^2 + y^2 - 3x = 16$ مع محور الصادات ويمس دليل القطع المكافئ $y^2 = 12x$.

7. جد معادلة القطع الناقص الذي بؤرتاه تنتميان الى محور السينات ومركزه في نقطة الاصل وطول محوره الكبير ضعف طول محوره الصغير ويقطع القطع المكافئ $y^2 + 8x = 0$ عند النقطة التي احداثيها السيني يساوي (-2) .

8. قطع ناقص معادلته $hx^2 + ky^2 = 36$ ومركزه نقطة الاصل ومجموع مربعي طوليه محوريه يساوي (60) ، واحدى بؤرتيه هي بؤرة القطع المكافئ الذي معادلته $y^2 = 4\sqrt{3}x$ ما قيمة كل من $h, k \in \mathbb{R}$ ؟

9. جد معادلة القطع الناقص الذي مركزه نقطة الاصل واحدى بؤرتيه هي بؤرة القطع المكافئ $x^2 = 24y$ ومجموع طوليه محوريه (36) وحدة .

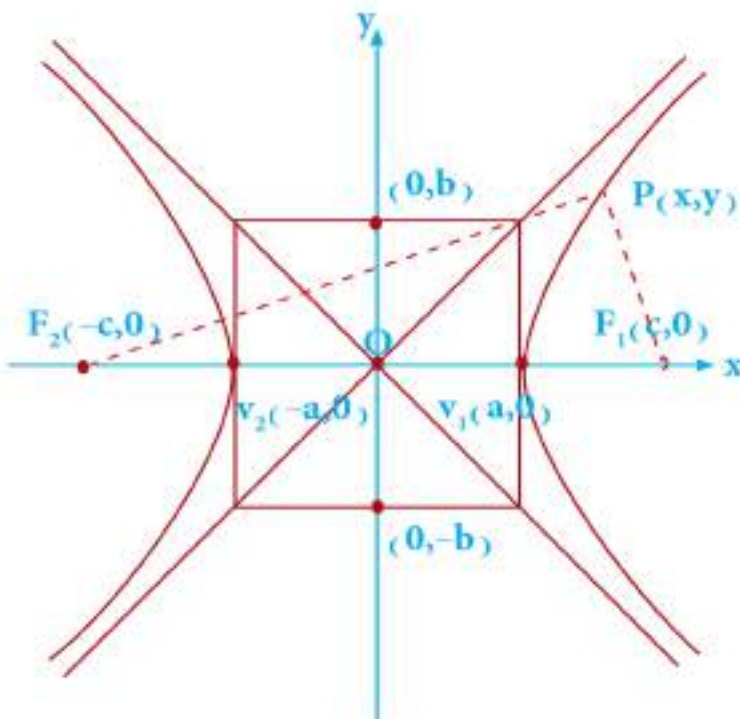
10. جد معادلة القطع الناقص الذي بؤرتيه $F_1(4,0)$ ، $F_2(-4,0)$ والنقطة Q تنتمي للقطع الناقص بحيث ان محيط المثلث QF_1F_2 يساوي (24) وحدة .

[2-6] القطع الزائد Hyperbola .

تعريف [2-6-1]

القطع الزائد هو مجموعة النقط في المستوي التي تكون القيمة المطلقة لفرق بعدي اي منها عن نقطتين ثابتتين (البؤرتان) يساوي عدداً ثابتاً .

كما في الشكل (2-22)



الشكل (2-22)

البؤرتان هما $F_1(c, 0)$, $F_2(-c, 0)$
 الرأسان هما $V_1(a, 0)$, $V_2(-a, 0)$
 والنقطة $P(x, y)$ من نقاط منحنى
 القطع الزائد ومن التعريف [2-6]

$$|PF_1 - PF_2| = 2a$$

حيث $2a$ عدداً ثابتاً يمثل طول المحور الحقيقي للقطع الزائد الذي تقع عليه البؤرتين والرأسين وكل من PF_1 , PF_2 يسميان طولاً نصفياً القطرين البؤريين المرسومين من نقطة (P) والمسافة $F_1 F_2$ هي البعد بين البؤرتين وتساوي $2c$ وطول المحور المرافق او التخيلي هو $(2b)$ (وهو المحور العمودي على المحور الحقيقي والمار بمركز القطع) .

[2-6-2] معادلة القطع الزائد الذي بؤرتاه على محور السينات ومركزه نقطة الاصل .

من الشكل (2-22) وتبعاً لتعريف القطع الزائد :

$$|PF_1 - PF_2| = 2a$$

$$\Rightarrow PF_1 - PF_2 = \pm 2a$$

$$\Rightarrow \sqrt{(x-c)^2 + y^2} - \sqrt{(x+c)^2 + y^2} = \pm 2a$$

$$\Rightarrow \sqrt{(x-c)^2 + y^2} = \pm 2a + \sqrt{(x+c)^2 + y^2}$$

وبتربيع الطرفين والتبسيط كما مر في معادلة القطع الناقص الذي مركزه نقطة الاصل والبؤرتان على

محور السينات نحصل على المعادلة :

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2 - c^2} = 1$$

من الشكل (2-22) فان : $c > 0, a > 0, c > a$

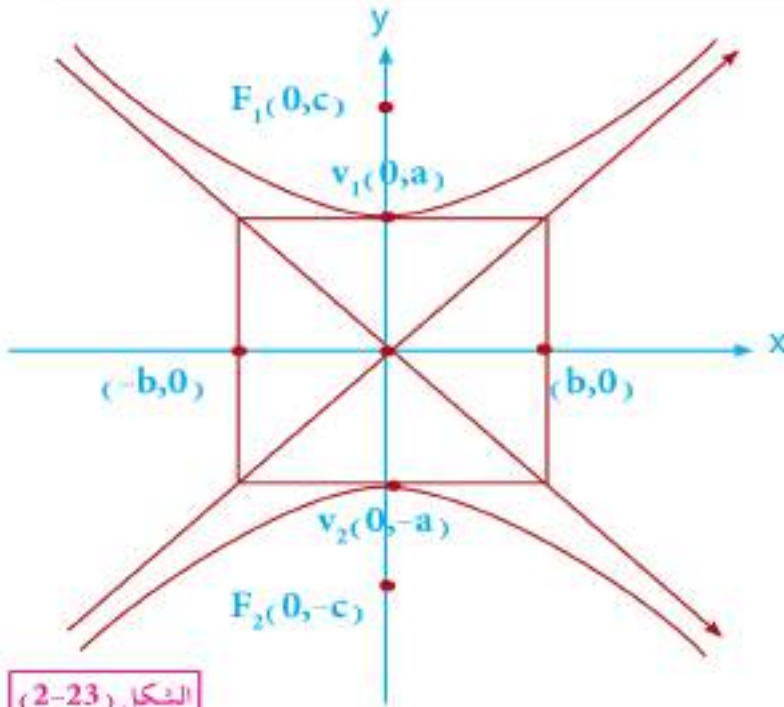
$$c^2 - a^2 > 0$$

$$b^2 = c^2 - a^2 \quad \text{وبفرض ان}$$

وبتعويض عن $a^2 - c^2 = -b^2$ في المعادلة القياسية السابقة نحصل على :

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

[2-6-3] معادلة القطع الزائد الذي بؤرتاه على محور الصادات ومركزه نقطة الاصل .



الشكل (2-23)

إذا كانت البؤرتان على محور الصادات ومحور السينات هو العمود على $F_1 F_2$ من نقطة الاصل كما في الشكل (2-23) وبنفس الطريقة السابقة نجد المعادلة القياسية للقطع الزائد .

$$\frac{y^2}{a^2} - \frac{x^2}{b^2} = 1 \quad \text{وهي}$$

الاختلاف المركزي e للقطع الزائد يكون أكبر من واحد أي

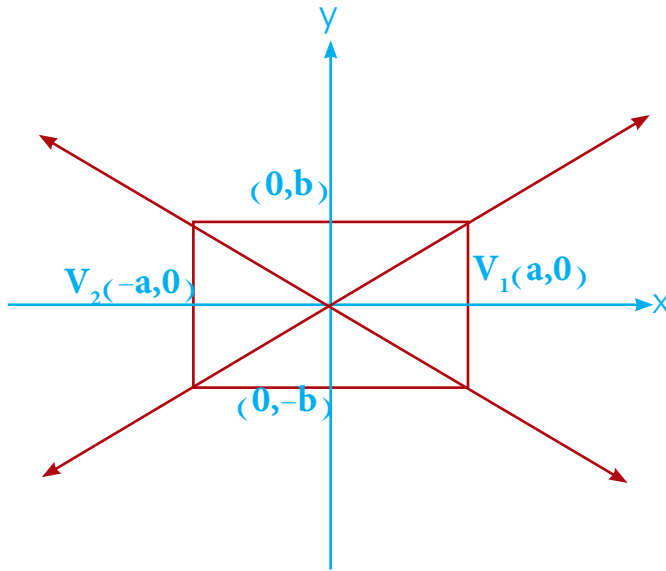
$$e = \frac{c}{a} > 1$$

ملاحظة

[2-6-4] طريقة رسم القطع الزائد **Graph The Hyperbola** .

لتكن $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ معادلة قطع زائد بؤرتاه تنتميان لمحور السينات ولرسم هذا القطع :

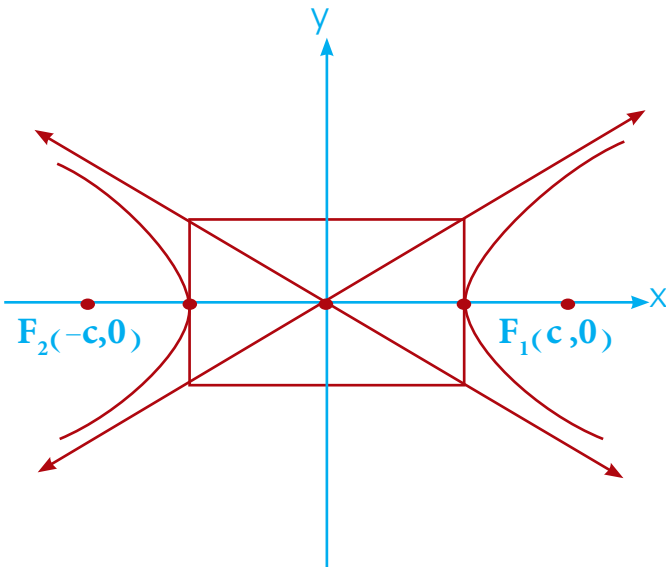
1. نعين النقطتين $(a, 0)$, $(-a, 0)$.
2. نعين النقطتين $(0, b)$, $(0, -b)$.
3. نكون مستطيلاً من هذه النقط أضلاعه متوازي المحاورين كما في الشكل (2-24) .



الشكل (2-24)

4. نرسم قطري المستطيل
كما في الشكل (2 - 24) فهما يمثلان
المستقيمين المحاذيين لمنحني القطع
الزائد .

5. نعين البؤرتين $F_1(c, 0)$, $F_2(-c, 0)$ ثم نرسم ذراعي القطع الزائد كما في الشكل (2 - 25) .



الشكل (2-25)

مثال -19-

عين البؤرتين والرأسين وطول كل من المحورين الحقيقي والمرافق للقطع الزائد ثم

$$\frac{x^2}{64} - \frac{y^2}{36} = 1$$

أرسمه.

الحل

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

بالمقارنة مع المعادلة القياسية

$$\Rightarrow a^2 = 64 \Rightarrow a = 8 \Rightarrow 2a = 16 \text{ وحدة}$$

طول المحور الحقيقي

$$\Rightarrow b^2 = 36 \Rightarrow b = 6 \Rightarrow 2b = 12 \text{ وحدة}$$

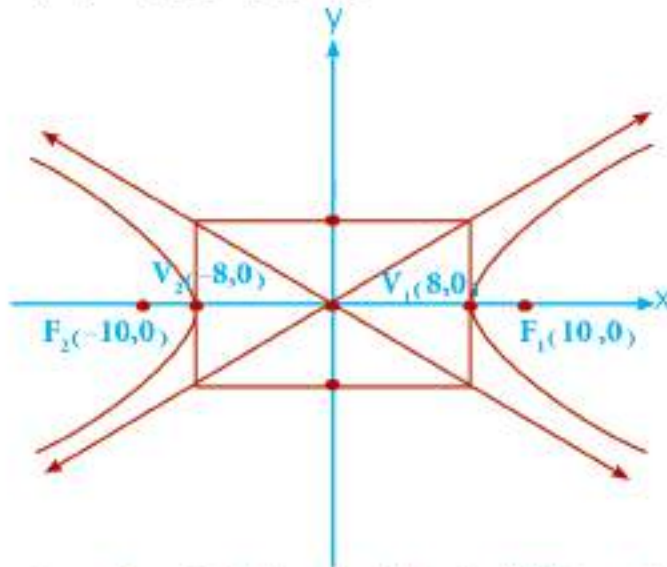
طول المحور المرافق

$$c^2 = a^2 + b^2 \Rightarrow c^2 = 64 + 36$$

$$\Rightarrow c^2 = 100 \Rightarrow c = 10$$

رأسا القطع الزائد هما $V_1(8, 0)$, $V_2(-8, 0)$

والبؤرتان هما $F_1(10, 0)$, $F_2(-10, 0)$



الشكل (2-26)

مثال -20-

جد معادلة القطع الزائد الذي مركزه نقطة الاصل وطول محوره الحقيقي - 6 وحدات

والاختلاف المركزي يساوي (2) والبؤرتان على محور السينات.

الحل

$$2a = 6 \Rightarrow a = 3 \Rightarrow a^2 = 9$$

$$\therefore e = \frac{c}{a} \Rightarrow 2 = \frac{c}{3} \Rightarrow c = 6$$

$$\therefore c^2 = a^2 + b^2 \Rightarrow 36 = 9 + b^2$$

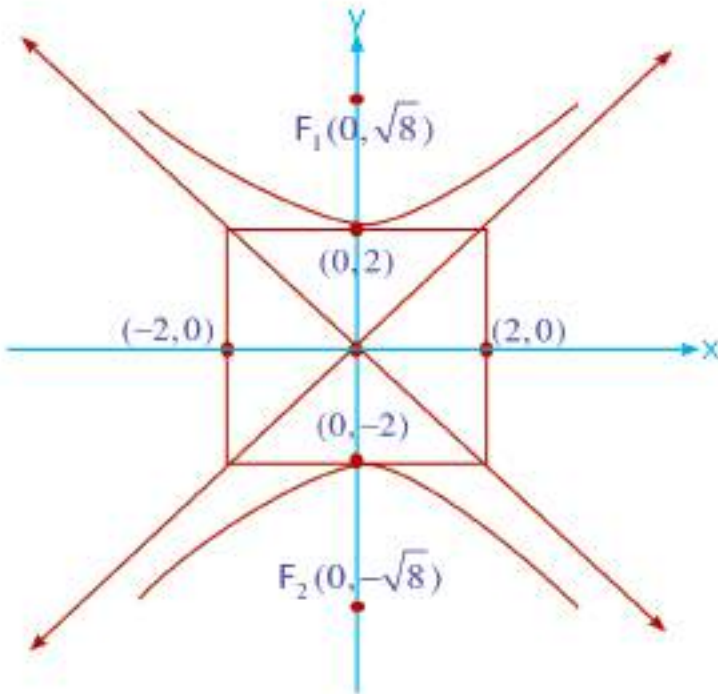
$$\Rightarrow b^2 = 36 - 9 \Rightarrow b^2 = 27$$

$$\therefore \frac{x^2}{9} - \frac{y^2}{27} = 1 \text{ معادلة القطع الزائد القياسية}$$

جد معادلة القطع الزائد الذي مركزه نقطة الاصل وطول محوره المرافق 4 وحدات وبؤرتاه هما النقطتان: $F_1(0, \sqrt{8})$, $F_2(0, -\sqrt{8})$

بما ان البؤرتين على محور الصادات فمعادلته القياسية $\frac{y^2}{a^2} - \frac{x^2}{b^2} = 1$

الحل



الشكل (2-27)

$$\begin{aligned} 2b &= 4 \Rightarrow b = 2 \Rightarrow b^2 = 4 \\ c &= \sqrt{8} \Rightarrow c^2 = 8 \\ c^2 &= a^2 + b^2 \\ \therefore 8 &= a^2 + 4 \\ a^2 &= 4 \\ \frac{y^2}{4} - \frac{x^2}{4} &= 1 \end{aligned}$$

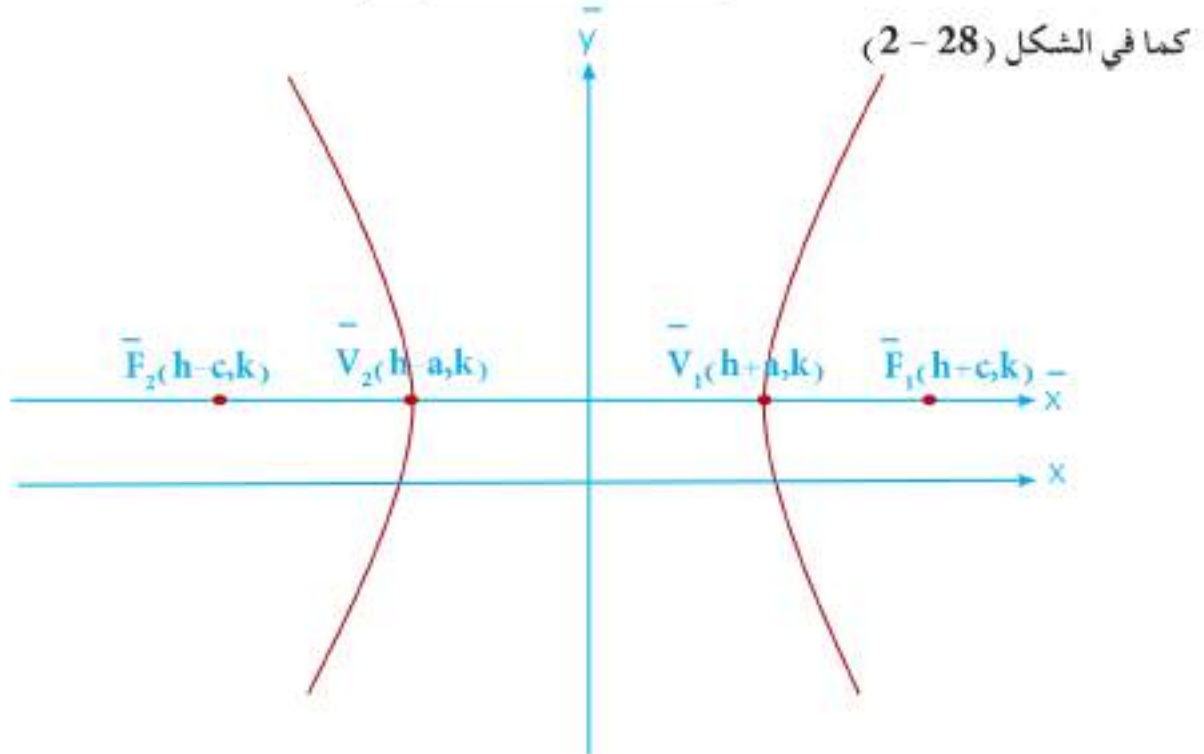
في هذا المثال طول المحور الحقيقي مساوٍ الى طول المحور المرافق مثل هذا النوع من القطوع الزائدة يدعى بالقطع الزائد القائم او (المتساوي الاضلاع) لان النقاط الاربعة تشكل رؤوس مربع وفيه يكون الاختلاف المركزي (e) مقدار ثابت قيمته $(\sqrt{2})$.

[2-7] انسحاب محاور القطع الزائد :

[2-7-1] معادلة القطع الزائد الذي مركزه النقطة (h, k) ومحوراه يوازيان المحورين المتعامدين.

أولاً: عند انسحاب مركز القطع الزائد بمقدار (h) من الوحدات على محور السينات وبمقدار (k) من الوحدات على محور الصادات والمحور الحقيقي يوازي محور السينات تصبح المعادلة.

$$\frac{(x-h)^2}{a^2} - \frac{(y-k)^2}{b^2} = 1$$



الشكل (2-28)

حيث المحور الحقيقي يوازي محور السينات

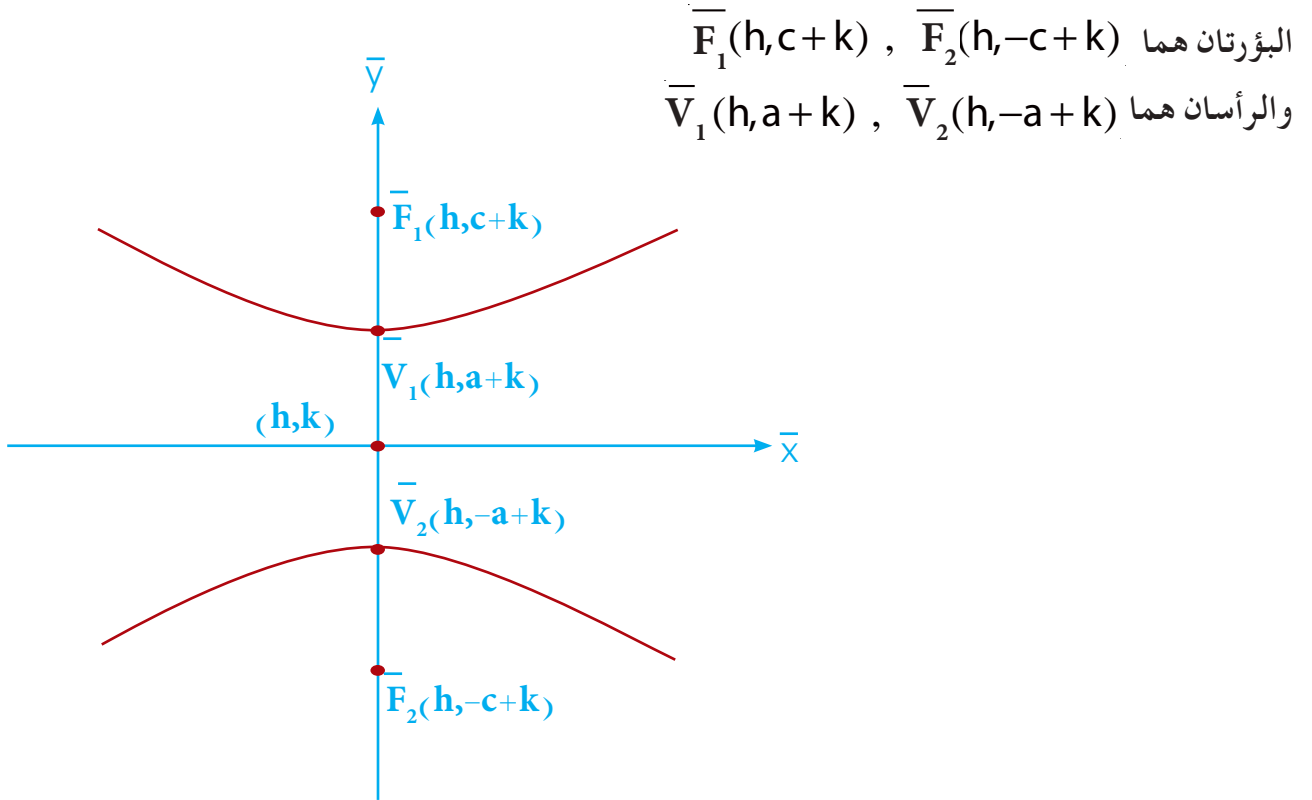
والبؤرتان هما $\bar{F}_1(c+h, k)$, $\bar{F}_2(-c+h, k)$
والرأسان هما $\bar{V}_1(a+h, k)$, $\bar{V}_2(-a+h, k)$

ثانياً: يمكن الحصول على معادلة القطع الزائد الذي محوره الحقيقي يوازي محور الصادات ومركزه نقطة (h,k) .

في هذه الحالة تكون المعادلة للقطع الزائد هي :

$$\frac{(y-k)^2}{a^2} - \frac{(x-h)^2}{b^2} = 1$$

وكما في الشكل (2-29)



الشكل (2-29)

سنقتصر في البند [7 - 2] على إيجاد مركز القطع الزائد وبؤرتاه ورأساه وطول المحورين.

ملاحظة

جد احداثيا المركز والبؤرتين والرأسين وطول المحورين والاختلاف المركزي للقطع الزائد الذي معادلته :

$$\frac{(x+2)^2}{9} - \frac{(y-1)^2}{4} = 1$$

الحل

$$\frac{(x+2)^2}{9} - \frac{(y-1)^2}{4} = 1 \quad \text{بمقارنة هذه المعادلة :}$$

$$\boxed{\frac{(x-h)^2}{a^2} - \frac{(y-k)^2}{b^2} = 1}$$

بالمعادلة القياسية

نجد :

$$\Rightarrow a^2 = 9 \Rightarrow a = 3 \Rightarrow 2a = 6 \quad \text{وحدة طول المحور الحقيقي}$$

$$\Rightarrow b^2 = 4 \Rightarrow b = 2 \Rightarrow 2b = 4 \quad \text{وحدة طول المحور المرافق}$$

$$\Rightarrow h = -2, k = 1$$

$$\therefore (h, k) = (-2, 1) \quad \text{المركز}$$

$$c^2 = a^2 + b^2 \Rightarrow c^2 = 9 + 4 = 13 \Rightarrow c = \sqrt{13}$$

$$\therefore \bar{F}_1(c+h, k), \bar{F}_2(-c+h, k) \quad \text{لان المحور الحقيقي يوازي محور السينات}$$

$$\Rightarrow \bar{F}_1(\sqrt{13}-2, 1), \bar{F}_2(-\sqrt{13}-2, 1) \quad \text{البؤرتان}$$

$$\bar{V}_1(a+h, k), \bar{V}_2(-a+h, k)$$

$$\bar{V}_1(1, 1), \bar{V}_2(-5, 1) \quad \text{الرأسان}$$

$$\therefore e = \frac{c}{a} = \frac{\sqrt{13}}{3} > 1 \quad \text{(الاختلاف المركزي)}$$

تمارين

1. عين كل من البؤرتين والرأسين ثم جد طول كل من المحورين والاختلاف المركزي للقطع الزائدة
 a) $12x^2 - 4y^2 = 48$ b) $16x^2 - 9y^2 = 144$ الاتية :
 c) $2(y+1)^2 - 4(x-1)^2 = 8$ d) $16x^2 + 160x - 9y^2 + 18y = 185$
2. اكتب معادلة القطع الزائد في الحالات الاتية ثم ارسم القطع :
 أ. البؤرتان هما النقطتان $(\pm 5, 0)$ ويتقاطع مع محور السينات عند $x = \pm 3$ ومركزه نقطة الاصل.
 ب. طول محوره الحقيقي (12) وحدة وطول محوره المرافق (10) وحدات وينطبق محوره على المحورين الاحداثيين ومركزه نقطة الاصل.
 ج. مركزه نقطة الاصل وبؤرتاه على محور الصادات وطول محوره المرافق $2\sqrt{2}$ وحدة واختلافه المركزي يساوي (3).
3. جسد باستخدام تعريف معادلة القطع الزائد الذي مركزه نقطة الاصل وبؤرتيه $(-2\sqrt{2}, 0)$, $(2\sqrt{2}, 0)$ وينطبق محوره على المحورين الاحداثيين والقيمة المطلقة للفرق بين بعدي اية نقطة عن بؤرتيه يساوي (4) وحدات.
4. قطع زائد طول محوره الحقيقي (6) وحدات واحدى بؤرتيه هي بؤرة القطع المكافئ الذي رأسه نقطة الاصل ويمر بالنقطتين $(1, 2\sqrt{5})$, $(1, -2\sqrt{5})$. جد معادلتى القطع المكافئ الذي رأسه نقطة الاصل والقطع الزائد الذي مركزه نقطة الاصل.
5. قطع زائد مركزه نقطة الاصل ومعادلته $hx^2 - ky^2 = 90$ وطول محوره الحقيقي $(6\sqrt{2})$ وحدة وبؤرتاه تنطبقان على بؤرتي القطع الناقص الذي معادلته $9x^2 + 16y^2 = 576$ جد قيمة كل من h , k التي تنتمي الى مجموعة الاعداد الحقيقية.
6. اكتب معادلة القطع الزائد الذي مركزه نقطة الاصل اذا علمت ان احد راسيه يبعد عن البؤرتين بالعدد 9 , 1 وحدات على الترتيب وينطبق محوره على المحورين الاحداثيين.
7. جد معادلة القطع الناقص الذي بؤرتاه هما بؤرتا القطع الزائد الذي معادلته $x^2 - 3y^2 = 12$ والنسبة بين طولي محوريه $= \frac{5}{3}$ ومركزه نقطة الاصل.
8. النقطة $P(6, L)$ تنتمي الى القطع الزائد الذي مركزه نقطة الاصل ومعادلته $x^2 - 3y^2 = 12$ جد كلاً من :
 أ. قيمة L . ب. طول نصف القطر البؤري للقطع المرسم في الجهة اليمنى من النقطة P .
9. جد معادلة القطع الزائد الذي بؤرتاه هما بؤرتي القطع الناقص $\frac{x^2}{9} + \frac{y^2}{25} = 1$ ويمس دليل القطع المكافئ $x^2 + 12y = 0$.

الفصل الثالث

Chapter Three

تطبيقات التفاضل

- المعدلات المرتبطة [3-1]
- مبرهنتا رول والقيمة المتوسطة [3-2]
- اختبار التزايد والتناقص للدالة باستخدام المشتقة الاولى [3-3]
- النهاية العظمى والنهاية الصغرى المحلية [3-4]
- تقعر وتحدب المنحنيات ونقط الانقلاب [3-5]
- اختبار المشتقة الثانية لنقط النهايات العظمى والصغرى المحلية [3-6]
- رسم المخطط البياني للدالة [3-7]
- تطبيقات عملية على القيم العظمى او الصغرى. [3-8]

الرمز او العلاقة الرياضية	المصطلح
$hf'(a), h = b - a$	التغير التقريبي عند a

تمهيد : لقد سبق أن تعلمت في الصف الخامس العلمي متى تكون الدالة قابلة للاشتقاق وتعرفت على قواعد ايجاد مشتقات الدوال الجبرية والدائرية والتفسير الهندسي والفيزيائي للمشتقة وفي هذا الفصل سنتناول بعض المفاهيم الاخرى وبعض استعمالات وتطبيقات حساب التفاضل

Related Rates المعدلات المرتبطة [3-1]

إذا وجد أكثر من متغير بحيث تتوقف قيمة كل من هذه المتغيرات على متغير واحد يسمى (بارامتر) ومثالهُ الزمن فتتغير كل المتغيرات تبعاً لتغيره وحيث أن العلاقة هي ارتباط فإننا نسمي المعدلات الزمنية هذه بالمعدلات الزمنية المرتبطة وأحياناً بالمعدلات المرتبطة أو المعدلات الزمنية فقط ، فمثلاً إذا كان

$$y = g(t), x = f(t)$$

فالمتغيران X, Y متغيرين تابعين كل منهما مرتبط بالمتغير المستقل t ، فمن الممكن ربط المتغيرين ببعضهما، ويمكن أن نجد معدل تغير كل منهما وكما يأتي: $\frac{dx}{dt} = f'(t), \frac{dy}{dt} = g'(t)$ والنتيجة يمثّلان المعدلين الزمنيين لتغير كل من Y, X

وقد يتوافر الربط بين المتغيرين في مسألة ما بمعادلة وفي هذه الحالة نشق الطرفين بالنسبة للزمن t فعلى سبيل المثال من المعادلة $x^2 + y^2 - 4y + 6x = 0$ يمكن إيجاد المعدل الزمني لتغير كل من X, Y وكما يلي:

$$\frac{d}{dt}(x^2 + y^2 - 4y + 6x) = \frac{d}{dt}(0) \Rightarrow$$

$$2x \frac{dx}{dt} + 2y \frac{dy}{dt} - 4 \frac{dy}{dt} + 6 \frac{dx}{dt} = 0$$

فيكون: المعدل الزمني لتغير Y يساوي $\frac{dy}{dt}$

والمعدل الزمني لتغير X يساوي $\frac{dx}{dt}$

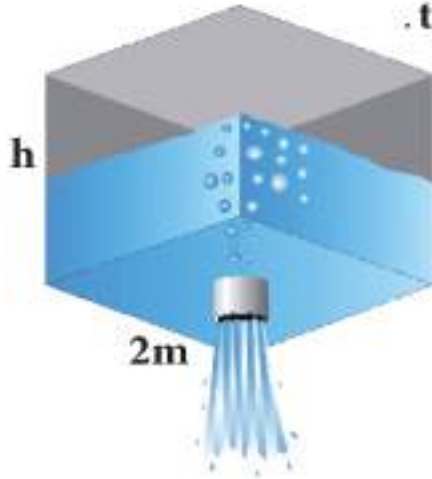
حل أي سؤال يتعلق بالمعدلات المرتبطة حاول إتباع ما يلي إن أمكن:

ملاحظة

- 1) ارسم مخططاً للمسألة (أن احتجت الى ذلك) وحدد المتغيرات والثوابت وضع لها الرموز وحدد العلاقة الرئيسية في حل السؤال .
 - 2) حاول إيجاد علاقة أخرى بين المتغيرات لكي تقلل من عدد المتغيرات .
 - 3) نشق الطرفين بالنسبة للمتغير (الزمن) t .
 - 4) عوض معطيات السؤال من المتغيرات بعد الاشتقاق .
- والامثلة التالية توضح ذلك :

مثال -1-

خزان مملوء بالماء على شكل متوازي سطوح مستطيلة قاعدته مربعة طول ضلعها 2m يتسرب منه الماء بمعدل $0.4 \text{ m}^3 / \text{h}$ جد معدل تغير انخفاض الماء في الخزان عند أي زمن t .



الحل

ليكن حجم الماء في الخزان عند أي زمن t هو $v(t)$

(تسرب) $\Rightarrow \frac{dv}{dt} = -0.4$ (الإشارة السالبة تعني نقصان)

وليكن ارتفاع الماء في الخزان عند أي زمن هو h والمطلوب إيجاد $\frac{dh}{dt}$
أن الماء يأخذ شكل متوازي سطوح مستطيلة قاعدته مربعة

$\therefore V = Ah$ ، $A =$ مساحة القاعدة

$$V = (2)(2)h \Rightarrow V = 4h$$

$$\Rightarrow \frac{dv}{dt} = 4 \frac{dh}{dt}$$

$$-0.4 = 4 \frac{dh}{dt} \Rightarrow \frac{dh}{dt} = -0.1 \text{ m / s}$$

معدل تغير انخفاض الماء في الخزان 0.1 m / s

مثال -2-

صفيحة مستطيلة من المعدن مساحتها تساوي 96 cm^2 . يتمدد طولها بمعدل 2 cm / s بحيث تبقى مساحتها ثابتة، جد معدل النقصان في عرضها وذلك عندما يكون عرضها 8 cm .

الحل

في أية لحظة ما نفرض طول المستطيل x

وعرض المستطيل y

$$\text{معدل تغير الطول} \quad \frac{dx}{dt} = 2 \text{ cm / s}$$

معدل تغير العرض $\frac{dy}{dt} = ?$

$$A = xy$$

$$\therefore 96 = xy.$$

$$\therefore y = 8 \Rightarrow x = 12$$

$$\frac{d}{dt}(96) = \frac{d}{dt}(xy)$$

نشتق طرفي العلاقة بالنسبة الى t

$$0 = x \cdot \frac{dy}{dt} + y \cdot \frac{dx}{dt}$$

$$0 = 12 \frac{dy}{dt} + 8(2)$$

$$\Rightarrow \frac{dy}{dt} = \frac{-16}{12} = \frac{-4}{3} \text{ cm/s}$$

∴ العرض يتناقص بمعدل $\frac{4}{3} \text{ cm/s}$ في تلك اللحظة

مثال - 3 مكعب صلد طول حرفه 8cm مغطى بطبقة من الجليد بحيث شكله يبقى مكعباً، فإذا بدأ الجليد بالذوبان بمعدل $6 \text{ cm}^3/\text{s}$ فجد معدل النقصان بسمك الجليد في اللحظة التي يكون فيها هذا السمك 1cm.

الحل

نفرض سمك الجليد في أية لحظة = X والمطلوب حساب $\frac{dx}{dt}$ عندما X=1
حجم الجليد = حجم المكعب المغطى بالجليد - حجم المكعب الأصلي

$$V = (8 + 2X)^3 - 8^3$$

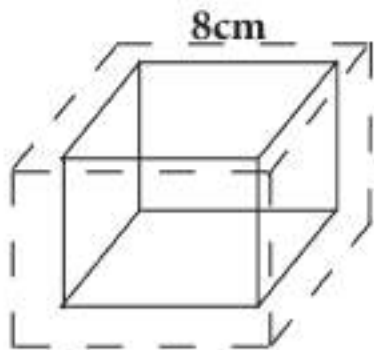
$$\frac{dv}{dt} = 3(8 + 2x)^2 (2) \frac{dx}{dt} - 0$$

وبالتعويض عن القيم المعطاة نحصل على:

$$-6 = 3(8 + (2)(1))^2 \cdot 2 \frac{dx}{dt}$$

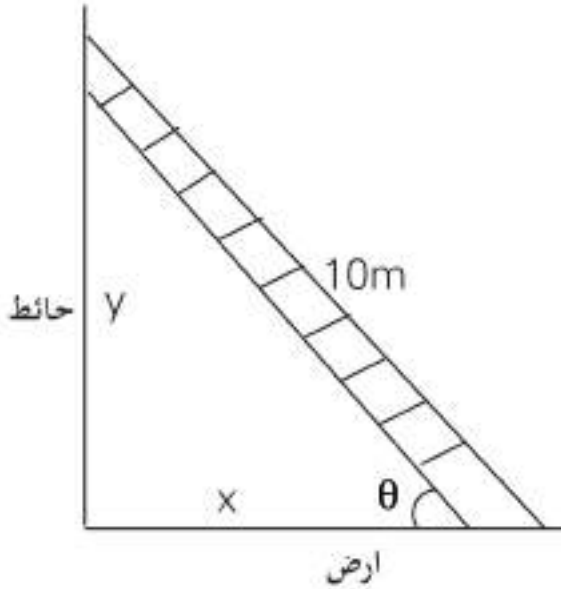
$$\frac{dx}{dt} = -0.01 \text{ cm/s}$$

∴ معدل نقصان سمك الجليد = 0.01 cm/s



مثال -4-

سلم طوله 10m يستند طرفه الأسفل على أرض أفقية وطرفه العلوي على حائط رأسي ، فإذا انزلق الطرف الأسفل مبتعداً عن الحائط بمعدل 2m/s عندما يكون الطرف الأسفل على بعد 8m عن الحائط جد :



1) معدل انزلاق الطرف العلوي .

2) سرعة تغير الزاوية بين السلم والأرض .

الحل

نفرض عند أية لحظة :

بعد الطرف الاسفل عن الحائط = x , $\frac{dx}{dt} = 2$

بعد الطرف الأعلى عن الأرض = y .

قياس الزاوية بين السلم والأرض = θ (نصف قطرية)

بتطبيق مبرهنة فيثاغورس نحصل على :

$$1) \quad x^2 + y^2 = 100$$

$$\therefore \quad x = 8 \Rightarrow y = 6$$

$$\frac{d}{dt}(x^2 + y^2) = \frac{d}{dt}(100) \Rightarrow 2x \frac{dx}{dt} + 2y \frac{dy}{dt} = 0$$

وبالتعويض عن القيم المعلومة نحصل على :

$$(2)(8)(2) + (2)(6) \frac{dy}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{dy}{dt} = \frac{-8}{3} \text{ m/s}$$

معدل انزلاق الطرف العلوي $\frac{8}{3} \text{ m/s}$

$$2) \quad \sin \theta = \frac{y}{10} \Rightarrow \frac{d}{dt} (\sin \theta) = \frac{d}{dt} \left(\frac{y}{10} \right) \Rightarrow \cos \theta \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{10} \frac{dy}{dt}$$

$$\frac{x}{10} \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{10} \frac{dy}{dt} \quad \text{ينتج} \quad \cos \theta = \frac{x}{10} \quad \text{وبالتعويض عن}$$

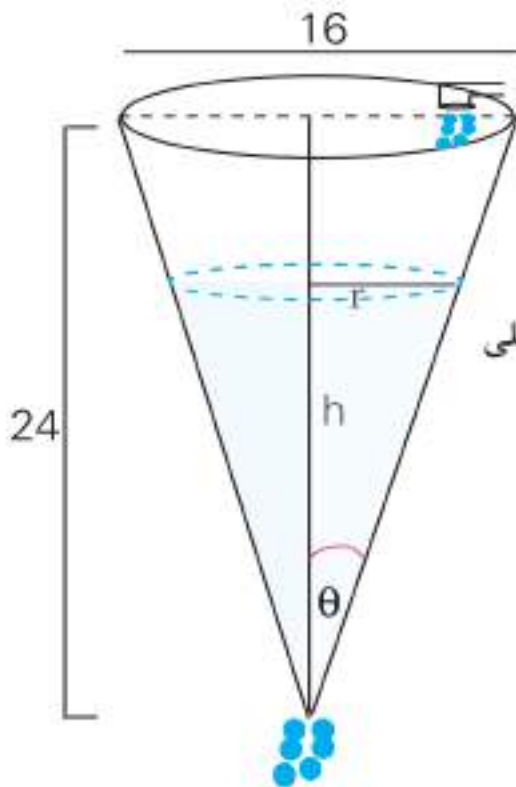
$$\text{ومن التعويض بقيمة } x=8 \text{ وعن قيمة } \frac{dy}{dt} = \frac{-8}{3} \text{ نحصل على:}$$

$$\frac{8}{10} \frac{d\theta}{dt} = \left(\frac{1}{10} \right) \left(\frac{-8}{3} \right)$$

$$\therefore \frac{d\theta}{dt} = \frac{-1}{3} \text{ rad/s} \quad \text{سرعة تغير الزاوية}$$

مثال -5-

مرشح مخروطي قاعدته أفقية ورأسه للأسفل، ارتفاعه يساوي 24cm وطول قطر قاعدته 16cm يصب فيه سائل بمعدل $5\text{cm}^3/\text{s}$ بينما يتسرب منه السائل $1\text{cm}^3/\text{s}$ ، جد معدل تغير عمق السائل في اللحظة التي يكون فيها عمق السائل 12cm .



الحل

نفرض يعدي المخروط المائي

(نصف القطر = r والارتفاع = h) عند أية لحظة

نفرض حجم السائل عند أية لحظة $v(t)$

في الشكل المجاور من استعمال $\tan \theta$ أو من تشابه مثلثين نحصل على

$$\tan \theta = \frac{r}{h} = \frac{8}{24} \Rightarrow r = \frac{1}{3} h$$

$$v = \frac{1}{3} \pi r^2 h \Rightarrow$$

$$v = \frac{1}{3} \pi \left(\frac{1}{3} h \right)^2 h = \frac{1}{27} \pi h^3$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{9} \pi h^2 \frac{dh}{dt} \dots (1)$$

معدل تغير حجم السائل في المخروط = معدل الصب - معدل التسرب .

$$\frac{dv}{dt} = 5 - 1 = 4 \text{ cm}^3/\text{s}$$

وبالتعويض في (1) ينتج

$$4 = \frac{1}{9} \pi (12)^2 \frac{dh}{dt}$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{4\pi} \text{ cm/s}$$

مثال -6- لتكن M نقطة متحركة على منحنى القطع المكافئ $y^2 = 4x$ بحيث يكون معدل

ابتعادها عن النقطة $(7,0)$ يساوي 0.2 unit/s ، جد المعدل الزمني لتغير الاحداثي السيني للنقطة M عندما يكون $x=4$.

لتكن $M(x,y)$ ولتكن $N(7,0)$ ولتكن المسافة MN تساوي S

الحل

$$S = \sqrt{(x-7)^2 + (y-0)^2} \Rightarrow S = \sqrt{x^2 - 14x + 49 + y^2}$$

وبالتعويض عن $y^2 = 4x$ ينتج

$$\Rightarrow S = \sqrt{x^2 - 10x + 49}$$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{2x-10}{2\sqrt{x^2-10x+49}} \cdot \frac{dx}{dt} \Rightarrow 0.2 = \frac{8-10}{10} \cdot \frac{dx}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{dx}{dt} = -1 \text{ unit/s}$$

تمارين

1. سلم يستند طرفه الأسفل على أرض أفقية وطرفه الأعلى على حائط رأسي فاذا أنزلت الطرف الأسفل مبتعداً عن الحائط بمعدل 2m/s ، فجد معدل انزلاق الطرف العلوي عندما يكون قياس الزاوية بين السلم والأرض تساوي $\frac{\pi}{3}$.
2. عمود طوله 7.2m في نهايته مصباح ، يتحرك رجل طوله 1.8m مبتعداً عن العمود وبسرعة 30m/min ، جد معدل تغير طول ظل الرجل .
3. لتكن M نقطة تتحرك على القطع المكافئ $y=x^2$ ، جد احداثيي النقطة M عندما يكون المعدل الزمني لأبتعادها عن النقطة $(0, \frac{3}{2})$ يساوي ثلثي المعدل الزمني لتغير الاحداثي الصادي للنقطة M .
4. جد النقط التي تنتمي للدائرة $x^2 + y^2 + 4x - 8y = 108$ والتي عندها يكون المعدل الزمني لتغير x يساوي المعدل الزمني لتغير y بالنسبة للزمن t .
5. متوازي سطوح مستطيلة أبعاده تتغير بحيث تبقى قاعدته مربعة الشكل ، يزداد طول ضلع القاعدة بمعدل 0.3cm/s ، وارتفاعه يتناقص بمعدل 0.5cm/s ، جد معدل تغير الحجم عندما يكون طول ضلع القاعدة 4cm والارتفاع 3cm .

[3-2] مبرهنتا رول والقيمة المتوسطة Rolles and Mean Value Theorems

قبل أن نتعرف في هذا البند الى مبرهنتي رول والقيمة المتوسطة نذكر بعض التعاريف والمبرهنة التي تمهد لهاتين المبرهنتين: (للاطلاع)

تعريف (3-2-1)

إذا كانت f دالة معرفة على الفترة المغلقة $[a, b]$ فإن:

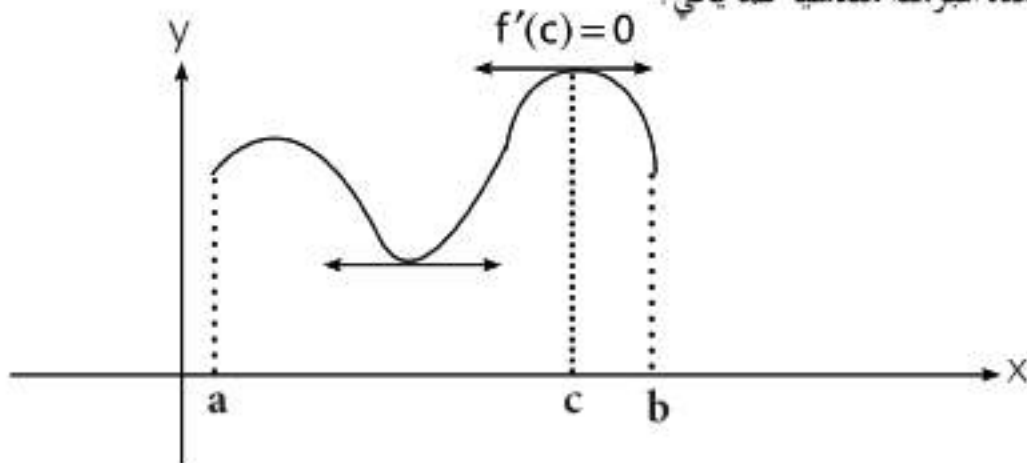
1) f تأخذ قيمة عظمى عند c حيث $c \in [a, b]$ اذا فقط اذا
 $f(c) \geq f(x)$ لكل $x \in [a, b]$

2) f تأخذ قيمة صغرى عند c حيث $c \in [a, b]$ اذا فقط اذا
 $f(c) \leq f(x)$ لكل $x \in [a, b]$

مبرهنة (3-2-2)

إذا كانت f دالة معرفة على الفترة المغلقة $[a, b]$ وكان:
 للدالة f قيمة عظمى أو صغرى عند c حيث $c \in (a, b)$ وأن $f'(c)$ موجودة
 فإن $f'(c) = 0$

وسنكتفي بتوضيح هذه المبرهنة هندسياً كما يأتي:



عند النقطة c المختلفة عن a, b والتي تأخذ عندها الدالة قيمة عظمى أو صغرى يكون المماس للمنحني البياني للدالة أفقياً (أي موازي لمحور السينات) والآن يمكن أن تفكر في اجابة للسؤال الاتي:
 إذا كان للدالة f قيمة عظمى أو قيمة صغرى عند c حيث $c \in (a, b)$ فهل يشترط أن يكون $f'(c) = 0$ ؟
 وللاجابة على السؤال اليك المثال الاتي:

مثال -1-

$$f : [-1, 1] \rightarrow \mathbb{R}, f(x) = |x|$$

وكما تلاحظ في الشكل أدناه فإن

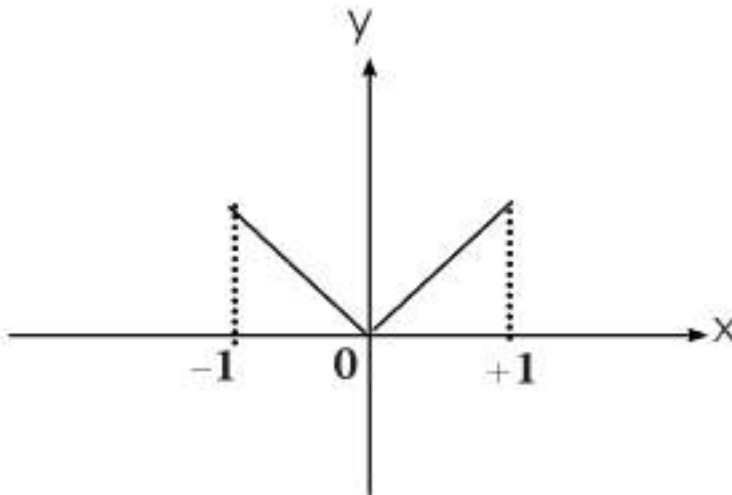
الدالة f تمتلك اعظم قيمة عند كل من $x = 1$ ، $x = -1$

وتمتلك اصغر قيمة عند $x = 0$

وانت تعلم من دراستك السابقة أن الدالة f غير قابلة للاشتقاق عند $x = 0$

أي ان $f'(0)$ غير موجودة .

∴ لا يشترط أن يكون $f'(c) = 0$



تعريف (3-2-3)

لتكن الدالة f معرفة عند العدد c . يقال عن العدد c بأنه عدد حرج (Critical Number) إذا كان $f'(c) = 0$ او ان الدالة غير قابلة للاشتقاق في c وتسمى النقطة $(c, f(c))$ بالنقطة الحرجة

ففي المثال السابق : $f : [-1, 1] \rightarrow \mathbb{R} \in f(x) = |x|$

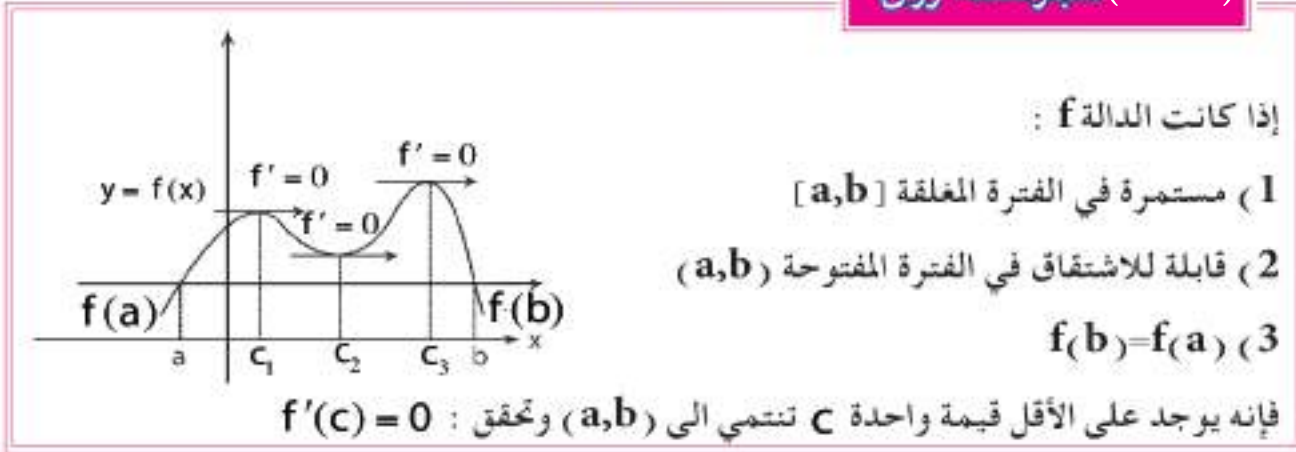
تلاحظ أن الدالة معرفة عند صفر ، وان $f'(0)$ غير موجودة

لذا يقال أن العدد "صفر" هو العدد الحرج للدالة f وان النقطة $(0, f(0))$ هي النقطة الحرجة .

مبرهنة رول Rolle's Theorem

مبرهنة رول : لقد وضع العالم الفرنسي (متشل رول) مبرهنة مبسطة لإيجاد نقط تمثل نقاطاً حرجة للدالة في الفترة المعطاة وسميت هذه المبرهنة باسمه .

Rolle's Theorem (3-2-4) مبرهنة رول



مثال -2- بين هل أن مبرهنة رول تتحقق لكل من الدوال التالية؟ وجد قيمة c الممكنة :

a) $f(x) = (2-x)^2$, $x \in [0, 4]$

b) $f(x) = 9x + 3x^2 - x^3$, $x \in [-1, 1]$

c) $f(x) = \begin{cases} x^2 + 1 & , x \in [-1, 2] \\ -1 & , x \in [-4, -1) \end{cases}$

d) $f(x) = k$, $x \in [a, b]$

a) $f(x) = (2-x)^2$, $x \in [0, 4]$

الحل

الشرط الاول : الدالة مستمرة على الفترة المغلقة $[0, 4]$ لأنها كثيرة الحدود .

الشرط الثاني : الدالة قابلة للاشتقاق على الفترة المفتوحة $(0, 4)$ لأنها كثيرة الحدود .

الشرط الثالث : $f(0) = (2-0)^2 = 4$

$f(4) = (2-4)^2 = 4 \Rightarrow f(0) = f(4)$

∴ الدالة ضمن الفترة المعطاة تحقق مبرهنة رول .

$$f'(x) = -2(2-x)$$

$$f'(c) = -2(2-c)$$

$$f'(c) = 0 \Rightarrow -2(2-c) = 0$$

$$\therefore c = 2 \in (0,4)$$

$$b) f(x) = 9x + 3x^2 - x^3, \quad x \in [-1,1]$$

الحل

الشرط الاول : الدالة مستمرة على الفترة المغلقة $[-1,1]$ لأنها كثيرة الحدود .

الشرط الثاني : الدالة قابلة للاشتقاق على الفترة المفتوحة $(-1,1)$ لأنها كثيرة الحدود .

$$f(-1) = -9 + 3 + 1 = -5 \quad \text{الشرط الثالث :}$$

$$f(1) = 9 + 3 - 1 = 11 \Rightarrow f(-1) \neq f(1)$$

لا تتحقق مبرهنة رول لأن الشرط الثالث لم يتحقق .

$$c) f(x) = \begin{cases} x^2 + 1 & x \in [-1,2] \\ -1 & x \in [-4,-1) \end{cases}$$

الحل

مجال الدالة = $[-4,2]$

$$\begin{cases} \lim_{x \rightarrow (-1)^+} (x^2 + 1) = 2 = L_1 \\ \lim_{x \rightarrow (-1)^-} (-1) = -1 = L_2 \end{cases}$$

الشرط الاول :

الدالة ليست مستمرة لأن $L_1 \neq L_2$ في الفترة $[-4,2]$

∴ لا تتحقق مبرهنة رول

$$d) f(x) = k, \quad x \in [a,b]$$

الحل

الشرط الاول : الدالة مستمرة على $[a,b]$ لأنها دالة ثابتة .

الشرط الثاني : الدالة قابلة للاشتقاق على الفترة (a,b) .

$$f(a) = f(b) = k \quad \text{الشرط الثالث :}$$

∴ الدالة تحقق مبرهنة رول . وان قيمة c يمكن ان تكون اي قيمة ضمن الفترة (a, b) .

The Mean Value Theorem

[3-2-5] مبرهنة القيمة المتوسطة

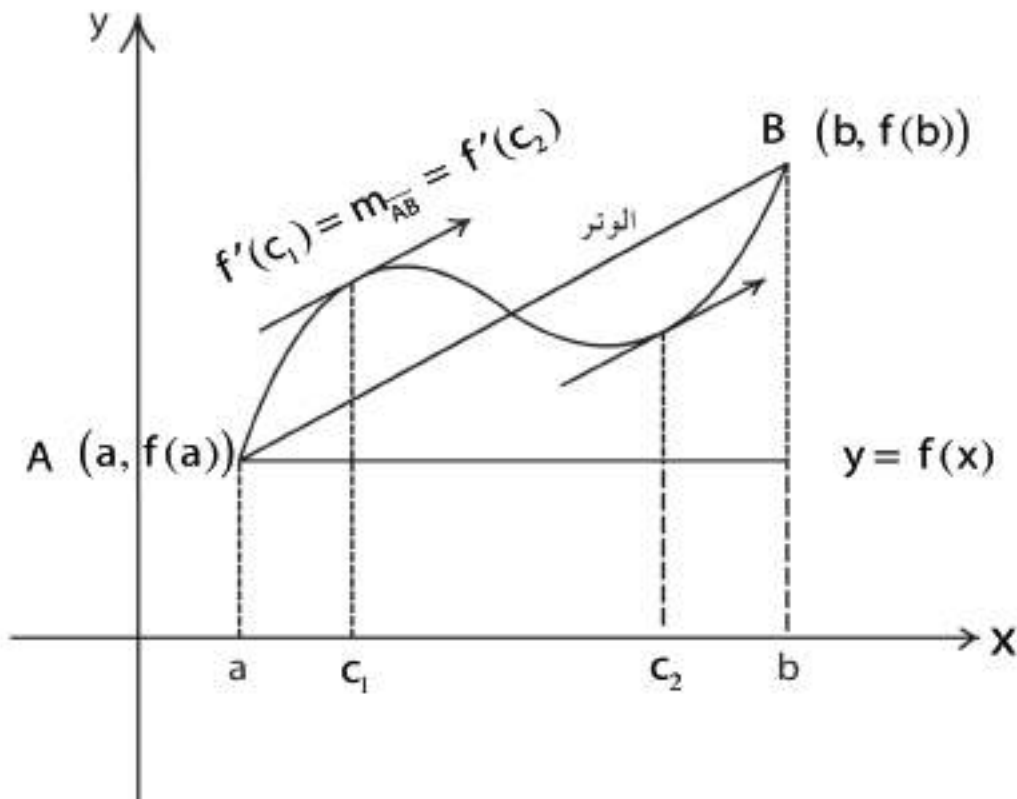
إذا كانت f دالة مستمرة في الفترة المغلقة $[a, b]$ وقابلة للاشتقاق على الفترة المفتوحة (a, b) فإنه يوجد على الأقل قيمة واحدة c ينتمي الى (a, b) وتحقق:

$$f'(c) = \frac{f(b) - f(a)}{b - a}$$

أو $f(b) - f(a) = f'(c)(b - a)$

والمخطط التالي يعطي التفسير الهندسي لمبرهنة القيمة المتوسطة:

المماس يوازي الوتر \overline{AB}



$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{f(b) - f(a)}{b - a}$$

ميل الوتر المار بالنقطتين A, B يساوي

ميل المماس للمنحني عند $c =$ المشتقة الاولى للدالة f عند c , $(f'(c))$

لكن المماس والوتر متوازيان لذا يتساوى ميلاهما $f'(c) = \frac{f(b) - f(a)}{b - a}$

أن مبرهنة رول هي حالة خاصة من مبرهنة القيمة المتوسطة ففي مبرهنة رول يجب توافر شرط ثالث هو:

$$f(a) = f(b)$$

أي أن الوتر والمماس يوازيان محور السينات

أي فرق الصادات -0 لذا يصبح الميل -0 فنحصل على : $f'(c) = 0$

مثال -3

برهن ان الدوال الاتية تحقق شروط مبرهنة القيمة المتوسطة واوجد قيم c :

a) $f(x) = x^2 - 6x + 4, x \in [-1, 7]$

b) $f(x) = \sqrt{25 - x^2}, x \in [-4, 0]$

الحل

a) $f(x) = x^2 - 6x + 4, x \in [-1, 7]$

الشرط الأول يتحقق : الدالة مستمرة في الفترة $[-1, 7]$ لأنها كثيرة الحدود.

الشرط الثاني يتحقق : الدالة قابلة للاشتقاق على الفترة $(-1, 7)$ لأنها دالة كثيرة الحدود.

$$f'(x) = 2x - 6 \Rightarrow f'(c) = 2c - 6$$

ميل المماس

$$\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = \frac{f(7) - f(-1)}{7 + 1} = \frac{11 - 11}{8} = 0$$

ميل الوتر

ميل المماس = ميل الوتر

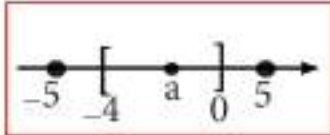
$$0 = 2c - 6 \Rightarrow c = 3 \in (-1, 7)$$

b) $f(x) = \sqrt{25 - x^2}$, $x \in [-4, 0]$

الحل

مجال f = مجموعة حل المتباينة $25 - x^2 \geq 0$ اي $[-5, 5]$

(1) استمرارية f في $[-4, 0]$: نثبت الاستمرارية اولاً في الفترة المفتوحة $I = (-4, 0)$ بعدها عن طرفي الفترة .



لتكن $a \in I \iff f(a) = \sqrt{25 - a^2} \in \mathbb{R}$ لان a ضمن مجال الدالة

$$\lim_{x \rightarrow a} f(x) = \lim_{x \rightarrow a} \sqrt{25 - x^2} = \sqrt{25 - a^2} \Rightarrow f(a) = \lim_{x \rightarrow a} f(x)$$

\therefore مستمرة في $(-4, 0)$

$$\lim_{x \rightarrow -4^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow -4^+} \sqrt{25 - x^2} = \sqrt{25 - 16} = 3 = f(-4)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0^-} \sqrt{25 - x^2} = \sqrt{25 - 0} = 5 = f(0)$$

$\therefore f$ مستمرة عند طرفي الفترة $[-4, 0] \iff f$ مستمرة على الفترة المغلقة $[-4, 0]$

$$f'(x) = \frac{-x}{\sqrt{25 - x^2}}$$

(2) قابلية الاشتقاق : مجال $f' = (-5, 5) \iff f$ قابلة للاشتقاق في الفترة $(-4, 0)$ لانها محتواة

كلياً في مجال مشتقة f

(3) ميل المماس

$$f'(x) = \frac{-x}{\sqrt{25 - x^2}} \Rightarrow f'(c) = \frac{-c}{\sqrt{25 - c^2}}$$

$$\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = \frac{f(0) - f(-4)}{0 + 4} = \frac{5 - 3}{4} = \frac{1}{2}$$

ميل الوتر

$$\frac{1}{2} = \frac{-c}{\sqrt{25 - c^2}}$$

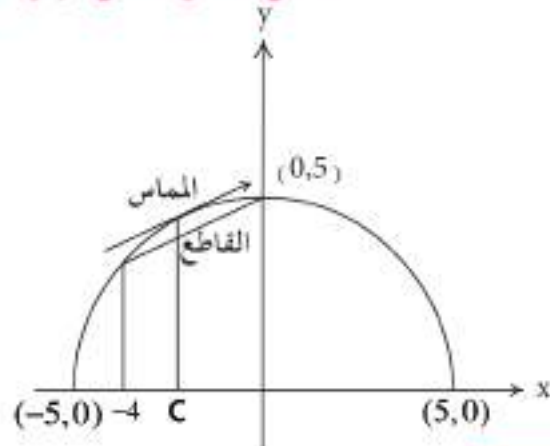
$$\sqrt{25 - c^2} = -2c \Rightarrow$$

$$25 - c^2 = 4c^2 \Rightarrow c^2 = 5 \Rightarrow c = \pm\sqrt{5}$$

$$c = \sqrt{5} \notin (-4, 0)$$

$$c = -\sqrt{5} \in (-4, 0)$$

ميل المماس = ميل الوتر



مثال -4

إذا كانت $f : [0, b] \rightarrow \mathbb{R}$, $f(x) = x^3 - 4x^2$

وكانت f تحقق مبرهنة القيمة المتوسطة عند $c = \frac{2}{3}$ فجد قيمة b .

الحل

$$f'(x) = 3x^2 - 8x \Rightarrow f'(c) = 3c^2 - 8c \Rightarrow f'\left(\frac{2}{3}\right) = \frac{4}{3} - \frac{16}{3} = -4 \text{ ميل المماس}$$

$$\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = \frac{f(b) - f(0)}{b - 0} = \frac{b^3 - 4b^2 - 0}{b} = b^2 - 4b \text{ ميل الوتر}$$

ميل المماس = ميل الوتر

$$\therefore b^2 - 4b = -4 \Rightarrow b^2 - 4b + 4 = 0 \Rightarrow (b - 2)^2 = 0 \Rightarrow b = 2$$

[3-2-6] نتيجة مبرهنة القيمة المتوسطة

إذا كانت f دالة مستمرة ومعروفة على $[a, b]$ وقابلة للاشتقاق في (a, b) ولو اعتبرنا $h = b - a$ فإن $b = a + h$ حيث $h \neq 0, h \in \mathbb{R}$ فإنه بموجب مبرهنة القيمة المتوسطة نحصل على:

$$f'(c) = \frac{f(a+h) - f(a)}{h}$$

$$\Rightarrow f(a+h) = f(a) + hf'(c)$$

وعندما يكون اقتراب b من a قريباً كافياً تكون في هذه الحالة h صغيرة ويصبح الوتر صغيراً ونهايته قريبتان من a أي أن المماس عند c سيكون مماساً للمنحني عند نقطة قريبة جداً من النقطة حيث $x = a$

$$f(a+h) \approx f(a) + hf'(a) \quad \text{ولذلك يصبح:}$$

يقال للمقدار $hf'(a)$ التغير التقريبي للدالة.

التقريب باستخدام نتيجة مبرهنة القيمة المتوسطة

ملاحظة: - سوف نقتصر في حل تمارين التقريب باستخدام نتيجة مبرهنة القيمة المتوسطة فقط

مثال -5- جد باستخدام نتيجة مبرهنة القيمة المتوسطة تقريباً مناسباً للعدد $\sqrt{26}$

الحل لتكن

$$y = f(x) = \sqrt{x} \dots \text{الدالة } x \geq 0$$

نفرض $a = 25$ (اقرب مربع كامل من العدد 26)

$$h = b - a = 1$$

$$f(a) = f(25) = \sqrt{25} = 5$$

$$f'(x) = \frac{1}{2\sqrt{x}}$$

$$f'(a) = \frac{1}{10} = 0.1$$

$b = 26$ $a = 25 \dots$ القيمة السهلة... <hr/> $h = 1 = b - a$
--

$$f(b) \cong f(a) + (b - a)f'(a)$$

ومن النتيجة:

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & & \downarrow \\ f(a+h) \cong & f(a) + hf'(a) \end{array}$$

$$\sqrt{26} = f(25+1) \cong f(25) + (1)f'(25)$$

$$\therefore \sqrt{26} \cong 5 + 1 \times (0.1) = 5.1$$

مثال -6-

إذا كان $f(x) = x^3 + 3x^2 + 4x + 5$ فجد بصورة تقريبية

$f(1.001)$

الحل

$$f(1) = 1 + 3 + 4 + 5 = 13$$

$$f'(x) = 3x^2 + 6x + 4$$

$$f'(1) = 3 + 6 + 4 = 13$$

$$f(a+h); f(a) + hf'(a)$$

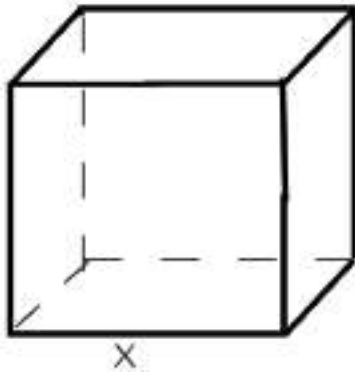
$$\begin{aligned} f(1.001) &= f(1) + (0.001)f'(1) \\ &= 13 + (0.001)(13) \\ &= 13.013 \end{aligned}$$

$$b = 1.001$$

$$a = 1$$

$$h = b - a = 0.001$$

مثال -7- مكعب طول حرفه 9.98cm جد حجمه بصورة تقريبية باستخدام نتيجة مبرهنة القيمة المتوسطة.



ليكن V حجم المكعب الذي طول حرفه (x)

الحل

$$b = 9.98$$

$$a = 10$$

$$h = b - a = -0.02$$

أي إن الدالة تكون على الصيغة

$$v(x) = x^3$$

$$x \in [9.98, 10]$$

$$v(10) = 10^3 = 1000$$

$$v'(x) = 3x^2 \Rightarrow v'(10) = 3(10)^2 = 300$$

$$v(9.98) \cong 1000 + (-0.02)(300) \cong 994 \text{ cm}^3$$

مثال -8- لتكن $f(x) = \sqrt[3]{x^2}$ فاذا تغيرت x من 8 إلى 8.06 فما مقدار التغير التقريبي للدالة؟

الحل

الدالة : $f(x) = \sqrt[3]{x^2}$ ، $f : [8, 8.06] \rightarrow \mathbb{R}$

$$b = 8.06$$

$$a = 8 = 2^3$$

$$h = b - a = 0.06$$

$$f'(x) = \frac{2}{3\sqrt[3]{x}} \quad \text{المشتقة:}$$

$$f'(a) = f'(8) = \frac{2}{3\sqrt[3]{8}} = \frac{1}{3} = 0.333$$

$$hf'(8) \cong (0.06) \frac{1}{3} = 0.02 \text{ التغير التقريبي}$$

مثال -9- يراد طلاء مكعب طول ضلعه 10cm فاذا كان سمك الطلاء 0.15cm اوجد حجم الطلاء بصورة تقريبية وباستخدام نتيجة مبرهنة القيمة المتوسطة .

الحل

$$b = 10.3$$

$$a = 10$$

$$h = b - a = 0.3$$

$$v(x) = x^3$$

$$v'(x) = 3x^2$$

$$v'(a) = v'(10) = (3)(10)^2 = 300$$

$$hv'(10) \cong (0.3)(300) = 90\text{cm}^3 \quad \text{حجم الطلاء بصورة تقريبية}$$

مثال 10

باستخدام نتيجة مبرهنة القيمة المتوسطة جد وبصورة تقريبية ومقرباً لثلاث مراتب

عشرية

a) $\sqrt[5]{(0.98)^3} + (0.98)^4 + 3$

b) $\sqrt[3]{7.8}$ على الاقل كلاً من :

c) $\sqrt{17} + \sqrt[4]{17}$

d) $\sqrt[3]{0.12}$

الحل

a) $\sqrt[5]{(0.98)^3} + (0.98)^4 + 3$

$$f'(x) = \frac{3}{5}x^{-\frac{2}{5}} + 4x^3$$

$f(x) = x^{\frac{3}{5}} + x^4 + 3$: الدالة
: المشتقة

$$f(a) = f(1) = 1^{\frac{3}{5}} + 1^4 + 3 = 5$$

تعويض بالدالة :

$$f'(a) = f'(1) = \left(\frac{3}{5}\right)(1)^{-\frac{2}{5}} + (4)(1)^3 = 4.6$$

تعويض بالمشتقة :

تعويض بالقانون

$$f(a+h) \cong f(a) + hf'(a)$$

$$f(0.98) = f(1) + (-0.02) \cdot f'(1)$$

$$f(0.98) = 5 + (-0.02) \cdot (4.6)$$

$$f(0.98) = 5 - 0.092 = 4.908$$

$$\therefore \sqrt[5]{(0.98)^3} + (0.98)^4 + 3 \cong 4.908$$

$$b = 0.98$$

$$a = 1$$

$$h = b - a = -0.02$$

b) $\sqrt[3]{7.8}$

الحل

$$\begin{array}{l} b = 7.8 \\ a = 8 = 2^3 \\ \hline h = b - a = -0.2 \end{array}$$

الدالة: $f(x) = \sqrt[3]{x}$

المشتقة: $f'(x) = \frac{1}{3\sqrt[3]{x^2}}$

$f(a) = f(8) = \sqrt[3]{8} = 2$

التعويض بالدالة :

$f'(a) = f'(8) = \frac{1}{3\sqrt[3]{8^2}} = \frac{1}{12} = 0.083$

التعويض بالمشتقة :

نحصل على $f(a+h) \cong f(a) + hf'(a)$

وبالتعويض بالقانون :

$$\begin{aligned} f(7.8) &= f(8) + (-0.2)f'(8) \cong 2 - (0.2)(0.083) \\ &= 2 - 0.0166 = 1.9834 \end{aligned}$$

$\therefore \sqrt[3]{7.8} \cong 1.9834$

c) $\sqrt{17} + \sqrt[4]{17}$

الحل

الدالة: لتكن $f(x) = x^{\frac{1}{2}} + x^{\frac{1}{4}}$

$f'(x) = \frac{1}{2}x^{-\frac{1}{2}} + \frac{1}{4}x^{-\frac{3}{4}}$

المشتقة :

$f(16) = (2^4)^{\frac{1}{2}} + (2^4)^{\frac{1}{4}} = 4 + 2 = 6$

$$\begin{array}{l} b = 17 \\ a = 16 \\ \hline h = b - a = 17 - 16 = 1 \end{array}$$

تعويض بالدالة :

تعويض بالمشتقة :

$$f'(16) = \frac{1}{2}(2^4)^{-\frac{1}{2}} + \frac{1}{4}(2^4)^{-\frac{3}{4}} = \frac{1}{2}(2^{-2}) + \frac{1}{4}(2^{-3}) = 0.5\left(\frac{1}{2}\right)^2 + 0.25\left(\frac{1}{2}\right)^3$$

$$f'(16) = (0.5)(0.5)^2 + (0.25)(0.5)^3 = (0.5)(0.25) + (0.25)(0.125) \\ = 0.125 + 0.031 = 0.156$$

التعويض بالقانون نحصل على

$$f(a+h) \cong f(a) + hf'(a)$$

$$f(17) \cong f(16) + (1)f'(16)$$

$$f(17) \cong 6 + (1)(0.156)$$

$$\therefore \sqrt{17} + \sqrt[4]{17} \cong 6.156$$

d) $\sqrt[3]{0.12}$

الحل

$$f(x) = x^{\frac{1}{3}} \quad \text{الدالة}$$

المشتقة

$$f'(x) = \frac{1}{3} x^{-\frac{2}{3}}$$

$$f(0.125) = ((0.5)^3)^{\frac{1}{3}} = 0.5$$

تعويض بالدالة

$$f'(0.125) = \frac{1}{3} [(0.5)^3]^{-\frac{2}{3}} = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{2}\right)^{-2} = \frac{1}{3} (2)^2 = \frac{4}{3} = 1.333$$

تعويض بالمشتقة

وبالتعويض بالقانون نحصل على :

$$f(a+h) \cong f(a) + h \cdot f'(a)$$

$$f(0.12) \cong f(0.125) + (-0.005) \cdot (1.333)$$

$$f(0.12) \cong 0.5 - 0.006665$$

$$f(0.12) \cong 0.493335$$

$$\therefore \sqrt[3]{0.12} \cong 0.493335$$

$b = 0.120$ $a = 0.125$ <hr/> $h = b - a = -0.005$
--

تمارين

1. اوجد قيمة c التي تعينها مبرهنة رول في كل مما يأتي :
- a) $f(x) = x^3 - 9x$, $x \in [-3, 3]$
- b) $f(x) = 2x + \frac{2}{x}$, $x \in \left[\frac{1}{2}, 2\right]$
- c) $f(x) = (x^2 - 3)^2$, $x \in [-1, 1]$
2. جد تقريباً لكل مما يلي باستخدام نتيجة مبرهنة القيمة المتوسطة :
- a) $\sqrt{63} + \sqrt[3]{63}$ b) $(1.04)^3 + 3(1.04)^4$
- c) $\frac{1}{\sqrt[3]{9}}$ d) $\frac{1}{101}$ e) $\sqrt{\frac{1}{2}}$
3. كرة نصف قطرها 6cm طليت بطلاء سمكه 0.1cm جد حجم الطلاء بصورة تقريبية باستخدام نتيجة مبرهنة القيمة المتوسطة .
4. كرة حجمها $84\pi \text{ cm}^3$ ، جد نصف قطرها بصورة تقريبية باستخدام نتيجة القيمة المتوسطة .
5. مخروط دائري قائم ارتفاعه يساوي طول قطر قاعدته فإذا كان ارتفاعه يساوي 2.98cm فجد حجمه بصورة تقريبية باستخدام نتيجة مبرهنة القيمة المتوسطة .
6. بين أن كل دالة من الدوال التالية تحقق مبرهنة رول على الفترة المعطاة ازاء كل منها ثم جد قيمة c :
- a) $f(x) = (x-1)^4$, $[-1, 3]$
- b) $h(x) = x^3 - x$, $[-1, 1]$
- c) $g(x) = x^2 - 3x$, $[-1, 4]$
- d) $f(x) = \cos 2x + 2\cos x$, $[0, 2\pi]$
7. اختبر امكانية تطبيق القيمة المتوسطة للدوال التالية على الفترة المعطاة ازاءها مع ذكر السبب وإن تحققت المبرهنة ، جد قيم c الممكنة .
- a) $f(x) = x^3 - x - 1$, $[-1, 2]$
- b) $h(x) = x^2 - 4x + 5$, $[-1, 5]$
- c) $g(x) = \frac{4}{x+2}$, $[-1, 2]$
- d) $B(x) = \sqrt[3]{(x+1)^2}$, $[-2, 7]$

[3-3] اختبار التزايد والتناقص للدالة باستخدام المشتقة الاولى.

The First Derivative Test For Increasing And Decreasing of a Function

[3-3-1] نتيجة

ان من النتائج المهمة لمبرهنة القيمة المتوسطة هي النتيجة الاتية :
 لتكن f مستمرة في الفترة المغلقة $[a, b]$ وقابلة للاشتقاق في الفترة المفتوحة (a, b) فإذا كانت

$$1) f'(x) > 0, \forall x \in (a, b) \Rightarrow f \begin{pmatrix} \text{Increasing} \\ \text{متزايدة} \end{pmatrix}$$

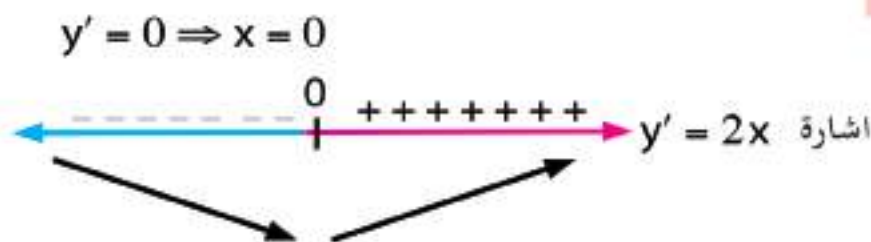
$$2) f'(x) < 0, \forall x \in (a, b) \Rightarrow f \begin{pmatrix} \text{Decreasing} \\ \text{متناقصة} \end{pmatrix}$$

أما بقية الحالات فسوف لانتطرق لها في هذه المرحلة.

مثال -1- لتكن $y = f(x) = x^2$. جد مناطق التزايد والتناقص

$$y = f(x) = x^2 \Rightarrow y' = 2x$$

الحل



$$\therefore f'(x) > 0, \forall x > 0$$

$\therefore \{x : x > 0\}$ f متزايدة في

$$\therefore f'(x) < 0, \forall x < 0$$

$\therefore \{x : x < 0\}$ f متناقصة في

مثال - 2

جد مناطق التزايد والتناقص لكل من الدالتين الآتيتين:

a) $f(x) = 9x + 3x^2 - x^3$

b) $f(x) = \sqrt[3]{x^2}$

الحل

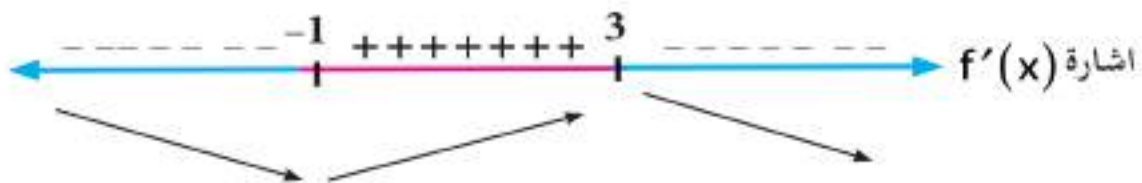
a) $f(x) = 9x + 3x^2 - x^3 \Rightarrow f'(x) = 9 + 6x - 3x^2$

$0 = 9 + 6x - 3x^2$

$0 = -3(x^2 - 2x - 3)$

$0 = (x-3)(x+1) \Rightarrow x = 3, x = -1$

نختبر على خط الأعداد إشارة المشتقة الأولى بالتعويض بقيم مجاورة للعددين : $x = 3, x = -1$

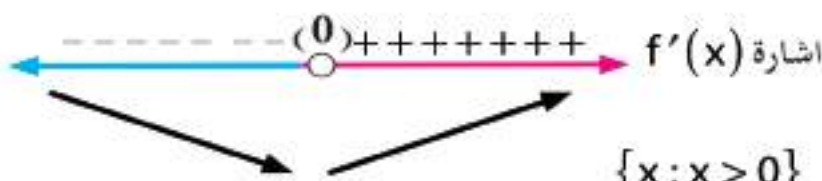
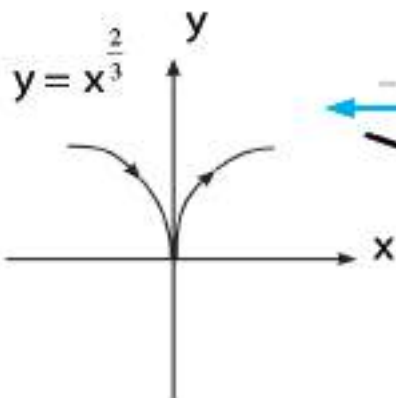


f متناقصة : في $\{x : x < -1\}, \{x : x > 3\}$
 f متزايدة : في الفترة المفتوحة $(-1, 3)$

الحل

b) $f(x) = \sqrt[3]{x^2} \Rightarrow f'(x) = \frac{2}{3\sqrt[3]{x}}$

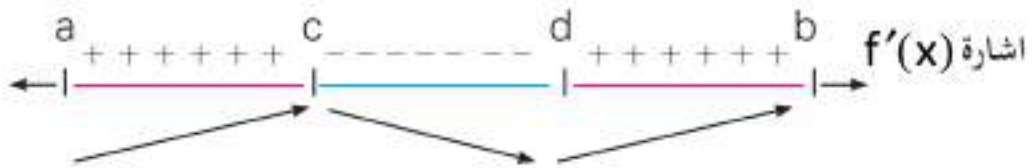
$f'(x)$ غير معرفه اذا كانت $x = 0$, اي $x = 0$ عدد حرج



f متزايدة في $\{x : x > 0\}$
 f متناقصة في $\{x : x < 0\}$

[3-4] النهاية العظمى والنهاية الصغرى المحلية

لاحظ في الشكل أدناه أن الدالة $y = f(x)$ متزايدة على الفترة (a, c) لأن $f'(x) > 0$ ، ومتناقصة على الفترة (c, d) لأن $f'(x) < 0$ ثم تتزايد في الفترة (d, b) . كما أن $f' = 0$ عند كل من $x = c, x = d$. تسمى نقطة $(c, f(c))$ نقطة نهاية عظمى محلية وإن $f(c)$ هي النهاية العظمى المحلية (Local Maximum) وتدعى النقطة $(d, f(d))$ نقطة نهاية صغرى محلية وإن $f(d)$ هي النهاية الصغرى المحلية (Local Minimum).



تعريف [3-4-1]

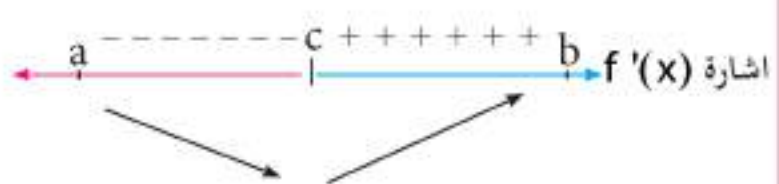
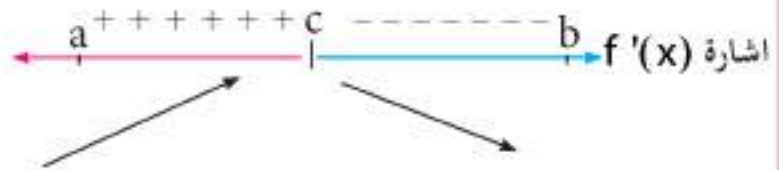
لتكن f دالة مستمرة على الفترة $[a, b]$ وقابلة للاشتقاق عند $x = c$ التي تنتمي إلى الفترة المفتوحة (a, b) فإذا كانت:

1) $f'(x) < 0; \forall x \in (c, b)$
 $f'(x) > 0; \forall x \in (a, c)$
 $f'(c) = 0$

فإن $f(c)$ نهاية عظمى محلية

2) $f'(x) > 0; \forall x \in (c, b)$
 $f'(x) < 0; \forall x \in (a, c)$
 $f'(c) = 0$

فإن $f(c)$ نهاية صغرى محلية



ملاحظة

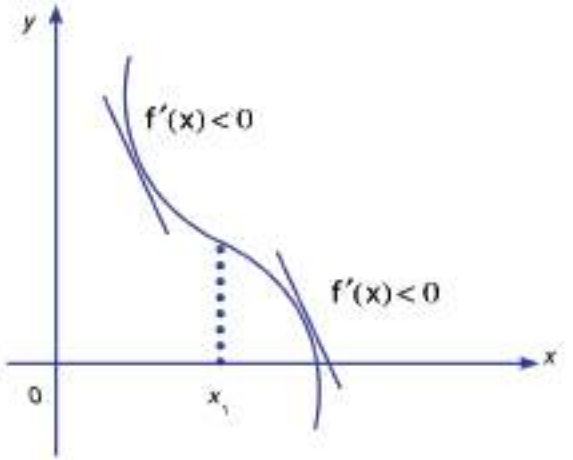
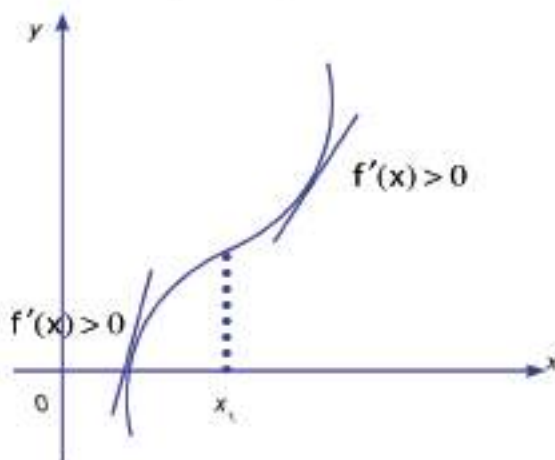
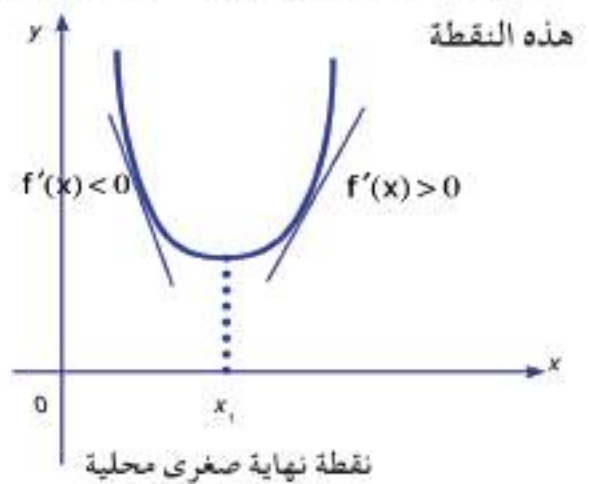
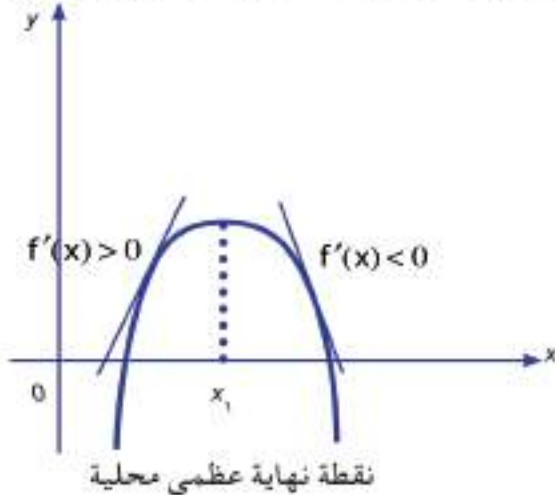
لكي نختبر القيمة العظمى والصغرى المحلية للدالة f بواسطة المشتقة الاولى للدالة f نتبع الخطوات الاتية:

- نجد الاعداد الحرجة وذلك بحل المعادلة $f'(x) = 0$ * وليكن $x = x_1$ هو أحد هذه الأعداد الحرجة
- نختبر إشارة $f'(x)$ بجوار $x = x_1$ فإذا كانت إشارة $f'(x)$ موجبة $\forall x < x_1$ وسالبة $\forall x > x_1$

فهذا يعني أن النقطة $(x_1, f(x_1))$ نقطة نهاية عظمى محلية
 أما إذا كانت إشارة $f'(x)$ سالبة $\forall x < x_1$ وموجبة $\forall x > x_1$

فهذا يعني أن $(x_1, f(x_1))$ نقطة نهاية صغرى محلية

أما إذا كانت إشارة $f'(x)$ لا تتغير قبل وبعد x_1 فلا يكون للدالة نقطة نهاية عظمى ولا صغرى عند



لا توجد نهايات

* سنقتصر في بحثنا على الدوال القابلة للاشتقاق.

جد نقط النهايات العظمى والصغرى المحلية للدالة f في حالة وجودها اذا علمت أن:

a) $f(x) = 1 + (x - 2)^2$

b) $f(x) = 1 - (x - 2)^2$

c) $f(x) = x^3 - 9x^2 + 24x$

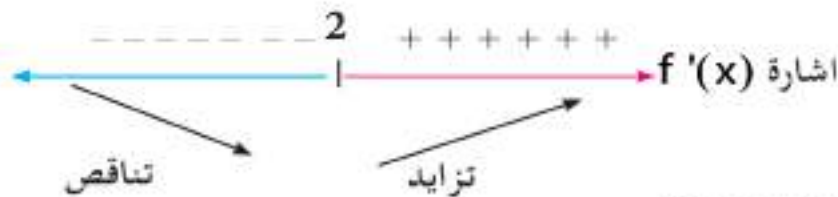
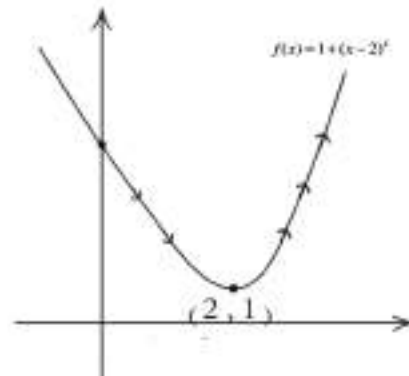
الحل

a) $f(x) = 1 + (x - 2)^2$

$\Rightarrow f'(x) = 2(x - 2)$

$f'(x) = 0 \Rightarrow 2(x - 2) = 0 \Rightarrow x = 2$

$f(2) = 1 + (2 - 2)^2 = 1$



$\{x : x > 2\}$ f متزايدة في

$\{x : x < 2\}$ f متناقصة في

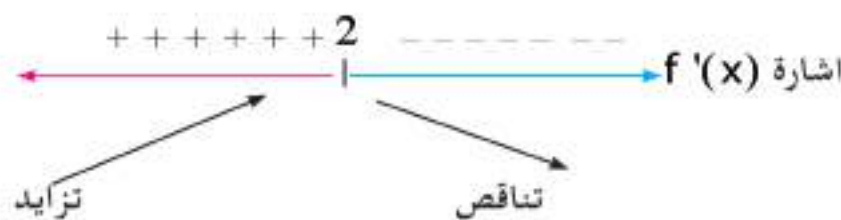
\therefore النقطة $(2, 1) = (2, f(2))$ تمثل نقطة نهاية صغرى محلية .

b) $f(x) = 1 - (x - 2)^2$

$\Rightarrow f'(x) = -2(x - 2)$

$f'(x) = 0 \Rightarrow x = 2$

$f(2) = 1 - (2 - 2)^2 = 1$



$\{x : x < 2\}$ متزايدة في f
 $\{x : x > 2\}$ متناقصة في f

∴ النقطة $(2, 1)$ تمثل نقطة نهاية عظمى محلية

$$c) f(x) = x^3 - 9x^2 + 24x$$

$$\Rightarrow f'(x) = 3x^2 - 18x + 24$$

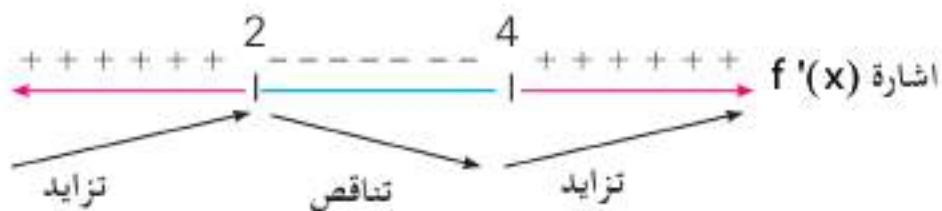
$$f'(x) = 0$$

$$\Rightarrow 3(x^2 - 6x + 8) = 0$$

$$\Rightarrow 3(x - 4)(x - 2) = 0$$

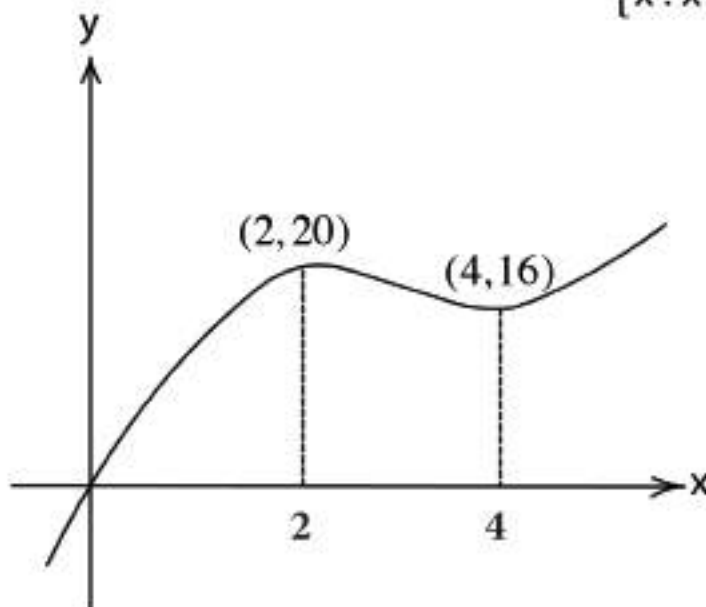
$$\Rightarrow x = 4, \quad x = 2$$

$$f(4) = 16, \quad f(2) = 20$$



$\{x : x < 2\}$, $\{x : x > 4\}$ متزايدة في f

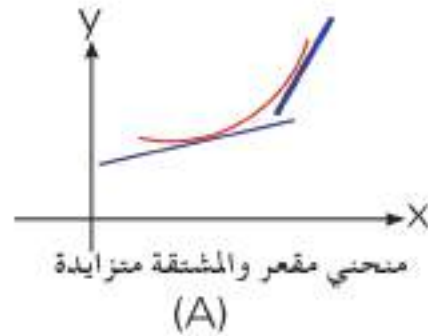
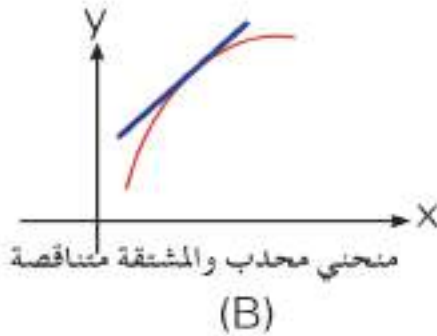
f متناقصة في الفترة المفتوحة $(2, 4)$



$(2, 20)$ نقطة النهاية العظمى المحلية

$(4, 16)$ نقطة النهاية الصغرى المحلية

[3-5] تقعر وتحذب المنحنيات ونقط الانقلاب



تعريف [3-5-1]

إذا كانت f دالة قابلة للاشتقاق في الفترة المفتوحة (a, b) فيقال عن الدالة f بأنها محدبة إذا كانت f' متناقصة خلال تلك الفترة وتسمى مقعرة إذا كانت f' متزايدة خلال تلك الفترة.

ملاحظة

المنحني مقعر في (a, b) (Concave up) \Leftrightarrow المنحني يقع فوق جميع مماساته في (a, b)
والمنحني محدب في (a, b) (Concave down) \Leftrightarrow المنحني يقع تحت جميع مماساته في (a, b) لاحظ الشكلين (A)، (B)

مبرهنة [3-5-2]

إذا كانت f معرفة في $[a, b]$ ولها مشتقة أولى وثانية على (a, b) فإنها تكون مقعرة على (a, b) إذا حققت الشرط الآتي :

$$f''(x) > 0 \text{ لكل } x \in (a, b)$$

تكون محدبة على (a, b) إذا حققت الشرط الآتي :

$$f''(x) < 0 \text{ لكل } x \in (a, b)$$

إدرس تقعر وتحذب كل من الدالتين:

a) $f(x) = x^2$

b) $f(x) = x^3$

الحل

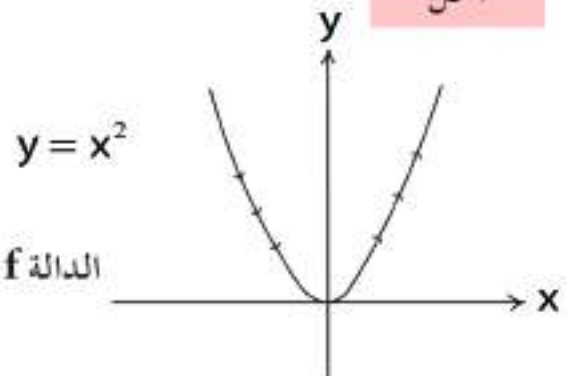
a) $f(x) = x^2$

$f'(x) = 2x$

$f''(x) = 2$

$\therefore f''(x) > 0, \forall x \in \mathbb{R} \Rightarrow$

الدالة f مقعرة على \mathbb{R}



b) $f(x) = x^3$

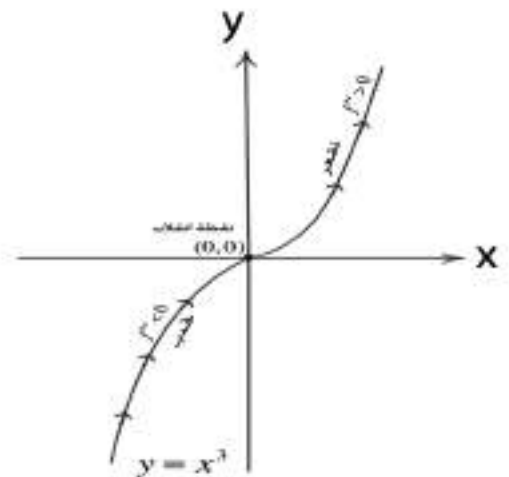
$f'(x) = 3x^2$

$f''(x) = 6x$

$f''(x) = 0 \Rightarrow 6x = 0$

$\therefore x = 0$

$f(0) = 0$



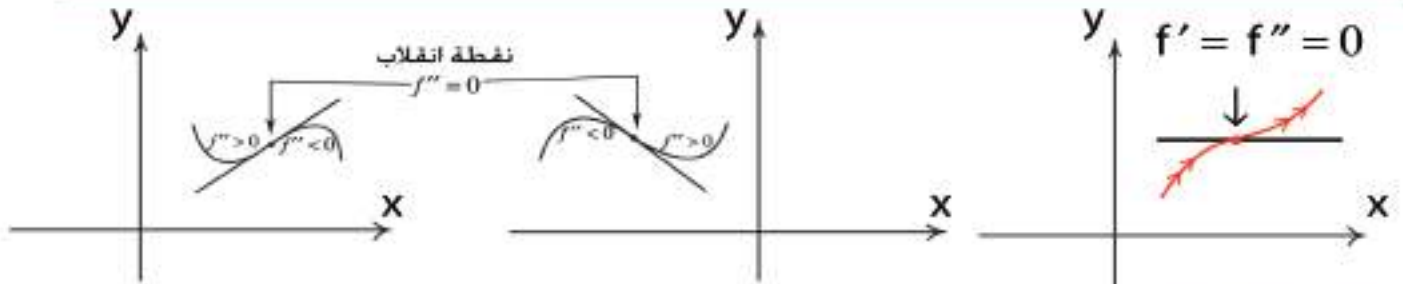
في هذا المثال (b) لاحظ أن المنحني في $\{x: x < 0\}$ محدب وفي $\{x: x > 0\}$ مقعر.

أي قبل النقطة $(0, f(0)) = (0, 0)$ المنحني محدب وبعدها مقعر.

تسمى هذه النقطة نقطة انقلاب (Point of Inflection)

تعريف [3-5-3]

تدعى النقطة التي تنتمي لمنحني دالة والتي يتغير عندها منحني الدالة (من تقعر الى تحدب) أو بالعكس (من تحدب الى تقعر) بنقطة انقلاب لهذا المنحني.



جد نقطة الانقلاب للمنحني: $f(x) = 2x^3 - 3x^2 - 12x + 1$

مثال -2

الحل

$$f(x) = 2x^3 - 3x^2 - 12x + 1$$

$$f'(x) = 6x^2 - 6x - 12$$

$$f''(x) = 12x - 6$$

$$f''(x) = 0$$

$$12x - 6 = 0 \Rightarrow x = \frac{1}{2}$$

$$f\left(\frac{1}{2}\right) = -\frac{11}{2}$$



لندرس الآن اشارة $f''(x)$ في جوار $x = \frac{1}{2}$

∴ النقطة $\left(\frac{1}{2}, -\frac{11}{2}\right)$ هي نقطة انقلاب.

$\left\{ \begin{array}{l} \text{نلاحظ عن يمين } \frac{1}{2} \text{ تكون } f''(x) \text{ موجبة} \\ \text{وعن يسار } \frac{1}{2} \text{ تكون } f''(x) \text{ سالبة} \end{array} \right.$

جد مناطق التحدب والتقعير ونقط الانقلاب إن وجدت للدوال التالية :

a) $f(x) = 4x^3 - x^4$

b) $f(x) = x + \frac{1}{x}, x \neq 0$

c) $h(x) = 4 - (x+2)^4$

d) $f(x) = 3 - 2x - x^2$

e) $f(x) = x^4 + 3x^2 - 3$

الحل

a) $f(x) = 4x^3 - x^4$

$f'(x) = 12x^2 - 4x^3$

$f''(x) = 24x - 12x^2$

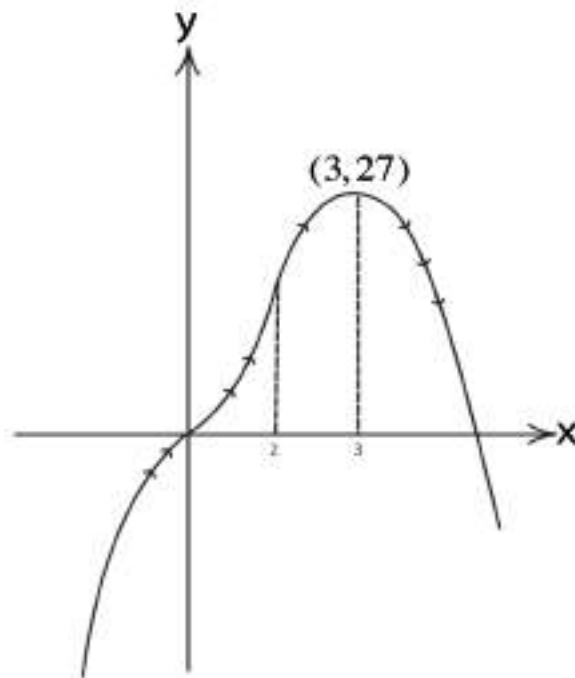
$f''(x) = 0$

$0 = 12x(2 - x) \Rightarrow$

$x = 0, x = 2$

$f(0) = 0, f(2) = 16$

$(0,0), (2,16)$



∴ نقطتا الانقلاب هما : $(0,0), (2,16)$ $\left\{ \begin{array}{l} f \text{ محدبة في } \{x: x < 0\} \text{ و } \{x: x > 2\} \\ f \text{ مقعرة في الفترة المفتوحة } (0,2) \end{array} \right.$

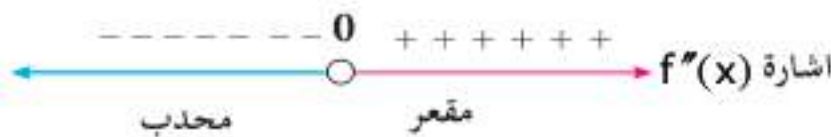
b) $f(x) = x + \frac{1}{x}, x \neq 0$

الحل

$$f'(x) = 1 - \frac{1}{x^2}$$

$$f''(x) = \frac{2}{x^3}$$

$f''(0)$ غير معرفة



f محدبة : في $\{x: x < 0\}$

f مقعرة : في $\{x: x > 0\}$

لا توجد نقطة انقلاب لأن 0 لا ينتمي لمجال الدالة.

c) $h(x) = 4 - (x+2)^4$

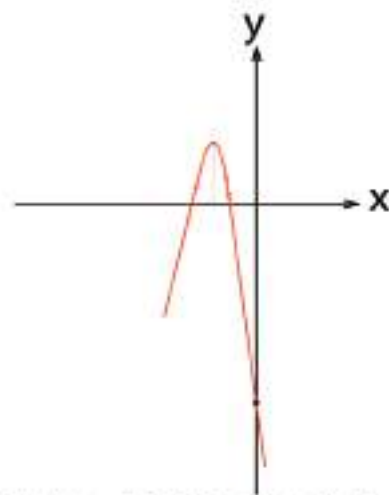
الحل

$$h'(x) = -4(x+2)^3$$

$$h''(x) = -12(x+2)^2$$

$$h''(x) = 0 \Rightarrow$$

$$0 = -12(x+2)^2 \Rightarrow x = -2$$



يمكن للطالب بالرجوع الى اختبار المشتقة الاولى ليجد ان للدالة نقطة نهاية عظمى محلية عند $(-2, 4)$



الدالة h محدبة في $\{x: x < -2\}$ و $\{x: x > -2\}$

لا توجد نقطة انقلاب عند $x = -2$ لأن الدالة محدبة على جهتيها

$$d) f(x) = 3 - 2x - x^2$$

الحل

$$f'(x) = -2 - 2x$$

$$f''(x) = -2 < 0$$

∴ f الدالة محدبة في R لذا لا توجد نقطة انقلاب .

$$e) f(x) = x^4 + 3x^2 - 3$$

$$f'(x) = 4x^3 + 6x \Rightarrow f''(x) = 12x^2 + 6 > 0, x \in R \text{ لجميع قيم}$$

الحل

الدالة f مقعرة في R . لذا لا توجد نقطة انقلاب

[3-6] اختبار المشتقة الثانية لنقط النهايات العظمى والصغرى المحلية

بدلاً من ملاحظة كيفية تغير إشارة f' عند المرور بالنقطة الحرجة حيث $f'(x) = 0$ فإنه بإمكاننا استخدام الاختبار التالي لنقرر فيما إذا كانت النقطة الحرجة تمثل نقطة نهاية عظمى أو نهاية صغرى محلية . وذلك باستخدام اختبار المشتقة الثانية وكما يأتي :

(1) إذا كان $f'(c) = 0$ وإن $f''(c) < 0$ فإن f تمتلك نهاية عظمى محلية عند $x=c$.

(2) إذا كان $f'(c) = 0$ وإن $f''(c) > 0$ فإن f تمتلك نهاية صغرى محلية عند $x=c$.

(3) إذا كانت $f''(c) = 0$ أو $f''(c)$ غير معرفة فلا يصح هذا الاختبار (ويعاد الاختبار باستخدام المشتقة الأولى) .

باستخدام اختبار المشتقة الثانية ان أمكن، جد النهايات المحلية للدوال الآتية :

a) $f(x) = 6x - 3x^2 - 1$ c) $f(x) = x^3 - 3x^2 - 9x$

b) $f(x) = x - \frac{4}{x^2}, x \neq 0$ d) $f(x) = 4 - (x+1)^4$

الحل

a) $f(x) = 6x - 3x^2 - 1$

$$f'(x) = 6 - 6x$$

$$f'(x) = 0$$

$$0 = 6 - 6x \Rightarrow x = 1$$

$$f''(x) = -6 \Rightarrow f''(1) = -6 < 0$$

بما أن : $f'(1) = 0$ و $f''(1) < 0$. اذاً توجد نهاية عظمى محلية عند $x = 1$

∴ النهاية العظمى المحلية هي : $f(1) = 6 - 3 - 1 = 2$

b) $f(x) = x - \frac{4}{x^2}, x \neq 0$

$$f'(x) = 1 + \frac{8}{x^3}$$

$$f'(x) = 0$$

$$0 = 1 + \frac{8}{x^3} \Rightarrow x^3 + 8 = 0 \Rightarrow x = -2$$

$$\therefore f'(x) = 1 + \frac{8}{x^3}$$

$$\therefore f''(x) = \frac{-24}{x^4}$$

$$f''(-2) = -\frac{24}{16} < 0$$

بما أن : $f'(-2) = 0$ و $f''(-2) < 0$ \Leftrightarrow توجد نهاية عظمى محلية عند النقطة $x = -2$
 \therefore النهاية العظمى المحلية هي : $f(-2) = -2 - 1 = -3$

$$c) f(x) = x^3 - 3x^2 - 9x$$

$$f'(x) = 3x^2 - 6x - 9$$

$$f'(x) = 0$$

$$0 = 3(x^2 - 2x - 3) \Leftrightarrow 0 = 3(x - 3)(x + 1)$$

$$\Rightarrow x = 3 \text{ او } x = -1$$

$$f''(x) = 6x - 6$$

$$\Rightarrow f''(3) = 18 - 6 = 12 > 0 \text{ فان } x = 3 \text{ عندما}$$

\therefore توجد نهاية صغرى محلية هي $f(3) = 27 - 27 - 27 = -27$

$$\Rightarrow f''(-1) = -6 - 6 = -12 < 0 \text{ وعندما } x = -1 \text{ فان}$$

\therefore توجد نهاية عظمى محلية هي $f(-1) = 5$

$$d) f(x) = 4 - (x+1)^4$$

$$f'(x) = -4(x+1)^3$$

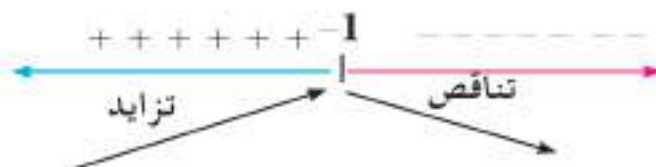
$$f'(x) = 0$$

$$0 = -4(x+1)^3 \Rightarrow x = -1$$

$$f''(x) = -12(x+1)^2$$

$$f''(-1) = 0$$

هذه الطريقة لا تصح نعود الى ملاحظة تغير اشارة f' بجوار $x = -1$



اشارة $f'(x)$

وبما أن f متزايدة في $\{x: x < -1\}$

ومتناقصة في $\{x: x > -1\}$

∴ توجد نهاية عظمى محلية هي :

$$f(-1) = 4 - (-1+1)^2 = 4$$

مثال -2

$$f(x) = x^2 + \frac{a}{x}, x \neq 0, a \in \mathbb{R} \text{ لتكن}$$

فجد قيمة a علماً أن الدالة تمتلك نقطة انقلاب عند $x = 1$ ، ثم بين أن الدالة f لا تمتلك نهاية عظمى محلية.

الحل

$$f(x) = x^2 + \frac{a}{x} \Rightarrow f'(x) = 2x - \frac{a}{x^2} \Rightarrow f''(x) = 2 + \frac{2a}{x^3}$$

$$f''(1) = 2 + \frac{2a}{(1)^3} = 0$$

$$\Rightarrow 2 + 2a = 0 \Rightarrow a = -1$$

$$\therefore f(x) = x^2 - \frac{1}{x}$$

$$\Rightarrow f'(x) = 2x + \frac{1}{x^2}$$

$$\Rightarrow f'(x) = 0 \Rightarrow 2x + \frac{1}{x^2} = 0$$

$$\Rightarrow 2x^3 = -1 \Rightarrow x^3 = -\frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow x = -\sqrt[3]{\frac{1}{2}}$$

$$f''(x) = 2 - \frac{2}{x^3} \Rightarrow f''(x) = 2 - \frac{2}{-\frac{1}{2}} \Rightarrow f''(x) = 6 > 0, \forall x \in \mathbb{R}$$

∴ توجد نهاية صغرى محلية عند $x = -\sqrt[3]{\frac{1}{2}}$

∴ لا تمتلك f نهاية عظمى محلية

مثال -3

عين قيمتي الثابتين a, b لكي يكون لمنحني الدالة $y = x^3 + ax^2 + bx$ نهاية عظمى محلية عند $x = -1$ ، ونهاية صغرى محلية عند $x = 2$ ثم جد نقطة الانقلاب .

الحل

$$y = x^3 + ax^2 + bx$$

$$\Rightarrow \frac{dy}{dx} = 3x^2 + 2ax + b$$

$$\therefore \frac{dy}{dx} = 0$$

بما أن للدالة نهاية عظمى محلية عند $x = -1$

$$0 = 3(-1)^2 + 2a(-1) + b \Rightarrow 0 = 3 - 2a + b \dots (1)$$

بما أن للدالة نهاية صغرى محلية عند $x = 2$

$$\therefore \frac{dy}{dx} = 0$$

$$0 = 3(2)^2 + 2a(2) + b \Rightarrow 0 = 12 + 4a + b \dots (2)$$

وبحل المعادلتين (1) و (2) آتياً نجد ان :

$$a = -\frac{3}{2}, b = -6$$

$$\therefore y = x^3 - \frac{3}{2}x^2 - 6x$$

$$\Rightarrow \frac{dy}{dx} = 3x^2 - 3x - 6$$

$$\Rightarrow \frac{d^2y}{dx^2} = 6x - 3$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = 0 \Rightarrow 6x - 3 = 0$$

$$\Rightarrow x = \frac{1}{2}$$

$$\therefore f\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{-26}{8} = \frac{-13}{4}$$



$$\left\{x : x < \frac{1}{2}\right\} \text{ ومحدبة في}$$

$$\left\{x : x > \frac{1}{2}\right\} \text{ فما أن } f \text{ مقعرة في}$$

\therefore نقطة انقلاب $\left(\frac{1}{2}, \frac{-13}{4}\right)$

إذا كان منحنى الدالة : $f(x) = ax^3 + bx^2 + c$

مقعر في $\{x : x < 1\}$ ومحدب في $\{x : x > 1\}$

ويمس المستقيم : $y + 9x = 28$ عند النقطة $(3, 1)$ فجد قيم الأعداد الحقيقية c, b, a .

الحل

∵ الدالة مستمرة لأنها كثيرة الحدود، مقعرة في $\{x : x < 1\}$ ومحدبة في $\{x : x > 1\}$ فهي تمتلك نقطة انقلاب عند $x = 1$

$$\therefore f'(x) = 3ax^2 + 2bx$$

$$f''(x) = 6ax + 2b$$

$$f''(1) = 0 \Rightarrow 6a + 2b = 0 \quad \div 2$$

$$3a + b = 0 \Rightarrow b = -3a \quad \dots(1)$$

ميل المماس $y + 9x = 28$ هو $\frac{dy}{dx} = -9$

$f'(3)$ هو ميل المماس لمنحنى الدالة f عند $x = 3$

$$f'(3) = 27a + 6b$$

$$-9 = 27a + 6b \quad +3$$

$$\Rightarrow -3 = 9a + 2b \quad \dots(2)$$

النقطة $(3, 1)$ تحقق معادلة منحنى الدالة $y = f(x) = ax^3 + bx^2 + c$

$$\therefore 1 = 27a + 9b + c \dots (3)$$

وبالتعويض من (1) في (2) ينتج:

$$-3 = 9a + 2(-3a) \Rightarrow a = -1 \Rightarrow b = -3(-1) = 3$$

وبالتعويض في المعادلة (3) ينتج:

$$1 = -27 + 27 + c \Rightarrow c = 1$$

إذا كان للدالة $f(x) = ax^3 + 3x^2 + c$ نهاية عظمى محلية تساوي 8، ونقطة

مثال -5-

انقلاب عند $x = 1$ فجد قيمة $a, c \in \mathbb{R}$.

الحل

عند $x = 1$ توجد نقطة انقلاب

$$f''(1) = 0$$

$$f'(x) = 3ax^2 + 6x$$

$$f''(x) = 6ax + 6 \Rightarrow f''(1) = 0$$

$$\therefore 0 = 6a + 6 \Rightarrow a = -1$$

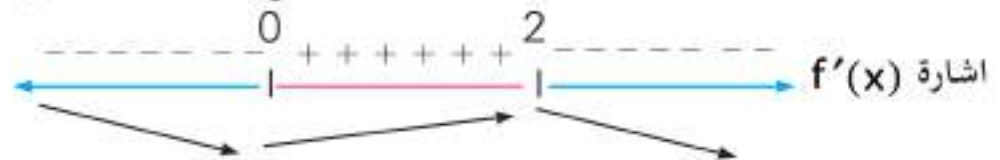
$$f(x) = -x^3 + 3x^2 + c$$

$$f'(x) = -3x^2 + 6x$$

$$f'(x) = 0 \Rightarrow$$

$$-3x^2 + 6x = 0 \Rightarrow$$

$$-3x(x - 2) = 0 \Rightarrow x = 0, x = 2 \quad \text{حرجتان}$$



$\therefore f$ تمتلك نهاية عظمى محلية عند $x = 2$

\therefore النقطة $(2, 8)$ نهاية عظمى محلية و تحقق معادلة منحنى الدالة :

$$f(x) = -x^3 + 3x^2 + c$$

$$\therefore 8 = -8 + 12 + c \Rightarrow c = 4$$

تمارين

1. لتكن $f(x) = ax^2 - 6x + b$ حيث ان $a \in \{-4, 8\}, b \in \mathbb{R}$ جد قيمة a اذا كانت :
(أ) الدالة f محدبة (ب) الدالة f مقعرة .
2. اذا كانت $(2, 6)$ نقطة حرجة لمنحني الدالة $f(x) = a - (x - b)^4$ فجد قيمة $a, b \in \mathbb{R}$ وبين نوع النقطة الحرجة .
3. اذا كان $g(x) = 1 - 12x, f(x) = ax^3 + bx^2 + cx$ وكان كل من g, f متماسان عند نقطة انقلاب المنحني f وهي $(1, -11)$ فجد قيمة الثوابت $a, b, c \in \mathbb{R}$.
4. اذا كانت 6 تمثل نهاية صغرى محلية لمنحني الدالة $f(x) = 3x^2 - x^3 + c$ فجد قيمة $c \in \mathbb{R}$ ثم جد معادلة مماس المنحني في نقطة انقلابه .
5. اذا كان $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx$ وكانت f مقعرة $\forall x > 1$ ومحدبة $\forall x < 1$ وللدالة f نقطة نهاية عظمى محلية هي $(-1, 5)$ فجد قيمة الثوابت $a, b, c \in \mathbb{R}$.
6. لتكن $f(x) = x^2 - \frac{a}{x}, a \in \mathbb{R} / \{0\}, x \neq 0$ برهن أن الدالة f لا تمتلك نهاية عظمى محلية .
7. المستقيم $3x - y = 7$ يمس المنحني $y = ax^2 + bx + c$ عند $(2, -1)$ وكانت له نهاية محلية عند $x = \frac{1}{2}$ جد قيمة $a, b, c \in \mathbb{R}$ وما نوع النهاية .

Graphing Function رسم المخطط البياني للدالة [3-7]

ولكي نرسم المخطط البياني لدالة معطاة نتبع الخطوات الآتية :

1 (نحدد أوسع مجال للدالة :

فإذا كانت الدالة حدودية (Polynomial) فإن أوسع مجال لها هو \mathbb{R}
 أما إذا كانت دالة نسبية $f(x) = \frac{g(x)}{h(x)}$ فإن أوسع مجال لها هو $\{x \in \mathbb{R} : h(x) \neq 0\}$

2 (نبين نوع التناظر للمنحني هل هو مع محور الصادات أم مع نقطة الاصل ؟

(i) $f : A \rightarrow B$ متناظر حول محور الصادات \Leftrightarrow

$$\forall x \in A \exists (-x) \in A \Rightarrow f(-x) = f(x)$$

(ii) $f : A \rightarrow B$ متناظر حول نقطة الاصل \Leftrightarrow

$$\forall x \in A \exists (-x) \in A \Rightarrow f(-x) = -f(x)$$

3 (نبين إن كان منحني الدالة يقطع المحورين أم لا ؟

اي نجعل $x=0$ ونجد قيمة y (ان امكن) فجد بذلك نقط التقاطع مع محور الصادات .

ونجعل $y=0$ ونجد قيمة أو قيم x (ان امكن) فجد بذلك نقط التقاطع مع محور السينات

4 (نجد المستقيمات الخاذية الأفقية والعمودية في الدوال النسبية إن وجدت :

(i) فإذا كانت $y = \frac{g(x)}{h(x)}$ نجعل $h(x) = 0$ ونجد قيم x

ولتكن $x=a$ فهي تمثل معادلة المستقيم الخاذي العمودي (Vertical Asymptote)

(ii) وإذا كانت $x = \frac{n(y)}{m(y)}$ نجعل $m(y) = 0$ ونجد قيمة y (ان امكن) ولتكن $y=b$ فهي تمثل الخاذي الافقي

(Horizontal Asymptote)

5 (نجد $f'(x)$, $f''(x)$ ومنهما نجد مناطق التزايد والتناقص والنقاط الخرجة ونوعها ومناطق التقعر

والتحدب ونقط الانقلاب إن وجدت .

6 (نجد نقط اضافية إن احتجنا الى ذلك ثم نرسم منحني الدالة .

ارسم بالاستعانة بمعلوماتك في التفاضل منحنى الدالة : $f(x)=x^5$

(1) اوسع مجال R

الحل

(2) $(0,0)$ نقطة التقاطع مع المحورين الإحداثيين.

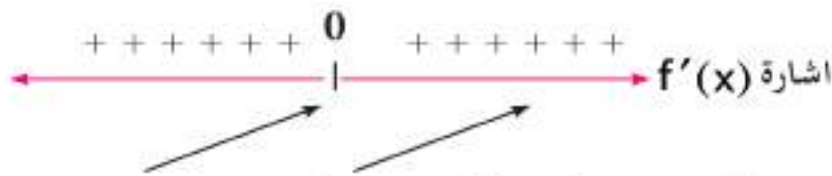
(3) المنحنى متناظر حول نقطة الاصل لأن :

$$\begin{aligned} \forall x \in R, \exists (-x) \in R &\Rightarrow f(-x) = (-x)^5 \\ &= -x^5 \\ f(-x) &= -f(x) \end{aligned}$$

(4) المحاذيات : لا توجد لأن الدالة ليست نسبية.

$$f'(x) = 5x^4 \tag{5}$$

$$f'(x) = 0 \Rightarrow x = 0 \Rightarrow (0,0)$$



f متزايدة في كل من $\{x : x < 0\}$, $\{x : x > 0\}$

$(0,0)$ نقطة حرجة لا تمثل نقطة نهاية.

$$f''(x) = 20x^3$$

$$f''(x) = 0 \Rightarrow x = 0$$

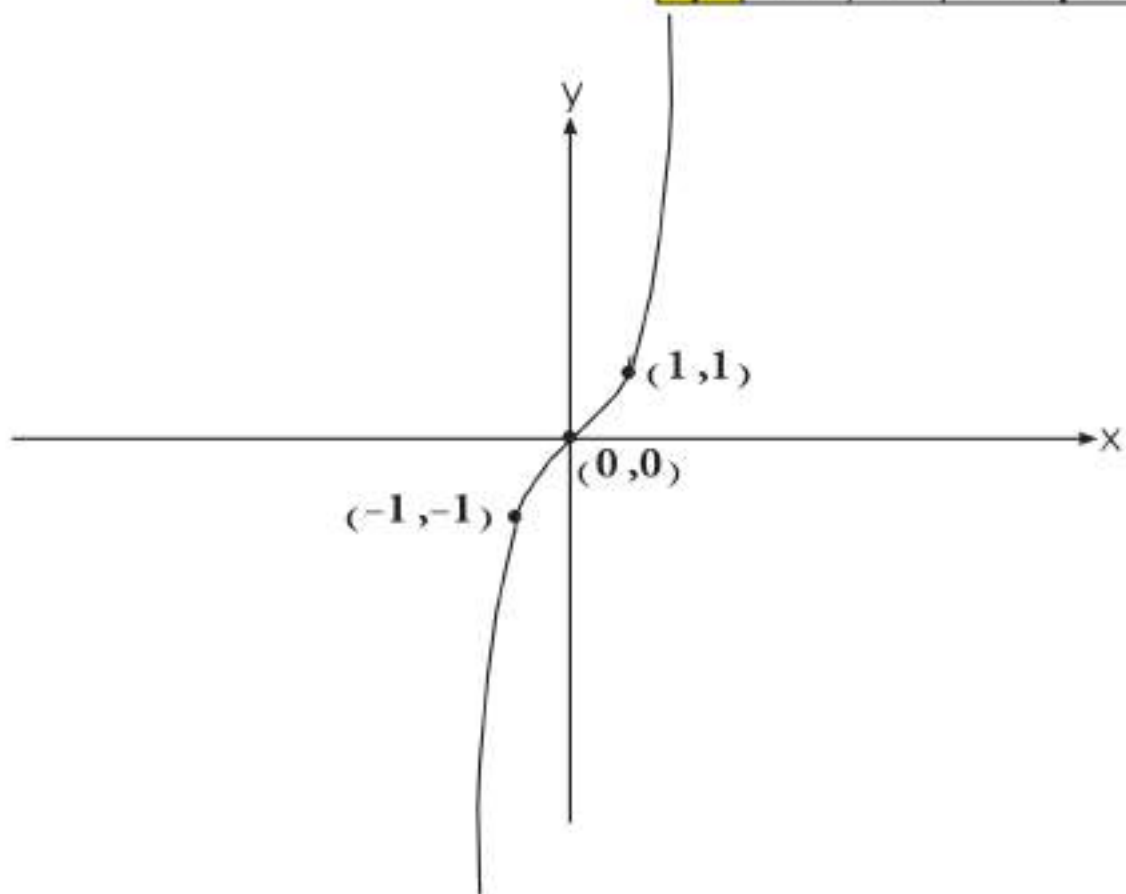


f مقعرة في $\{x : x > 0\}$

f محدبة في $\{x : x < 0\}$

$\therefore (0,0)$ نقطة الانقلاب

x	0	1	-1	2	-2
y	0	1	-1	32	-32



مثال - 2 ارسم بالاستعانة بالتفاضل منحنى الدالة : $y = x^3 - 3x^2 + 4$

الحل

(1) اوسع مجال R

$$x = 0 \Rightarrow y = 4 \Rightarrow (0, 4)$$

(2) التقاطع مع محور الصادات

(3) التناظر

$$\forall x \in R, \exists (-x) \in R \Rightarrow f(-x) = (-x)^3 - 3(-x)^2 + 4$$

$$= -x^3 - 3x^2 + 4 \neq f(x)$$

لا يوجد تناظر مع محور الصادات او نقطة الاصل لأن $f(-x) \neq -f(x)$, $f(x) \neq f(-x)$

(4) المحاذيات لا توجد لأن الدالة ليست نسبية .

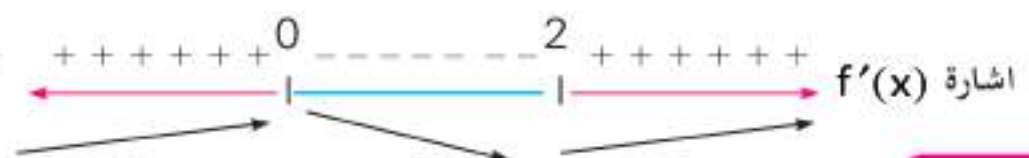
$$f(x) = x^3 - 3x^2 + 4 \Rightarrow f'(x) = 3x^2 - 6x$$

(5)

$$f'(x) = 0 \Rightarrow 3x^2 - 6x = 0 \Rightarrow x = 0 , x = 2$$

$$f(0) = 4 \Rightarrow (0, 4)$$

$$f(2) = 0 \Rightarrow (2, 0)$$



f متزايدة في كل من $\{x : x < 0\}$, $\{x : x > 2\}$
 f متناقصة في الفترة $(0, 2)$

$\therefore (0, 4)$ نقطة نهاية عظمى محلية ، $(2, 0)$ نقطة نهاية صغرى محلية .

$$f''(x) = 6x - 6$$

$$f''(x) = 0 \Rightarrow 6x - 6 = 0 \Rightarrow x = 1$$

$$f(1) = 2 \Rightarrow (1, 2)$$



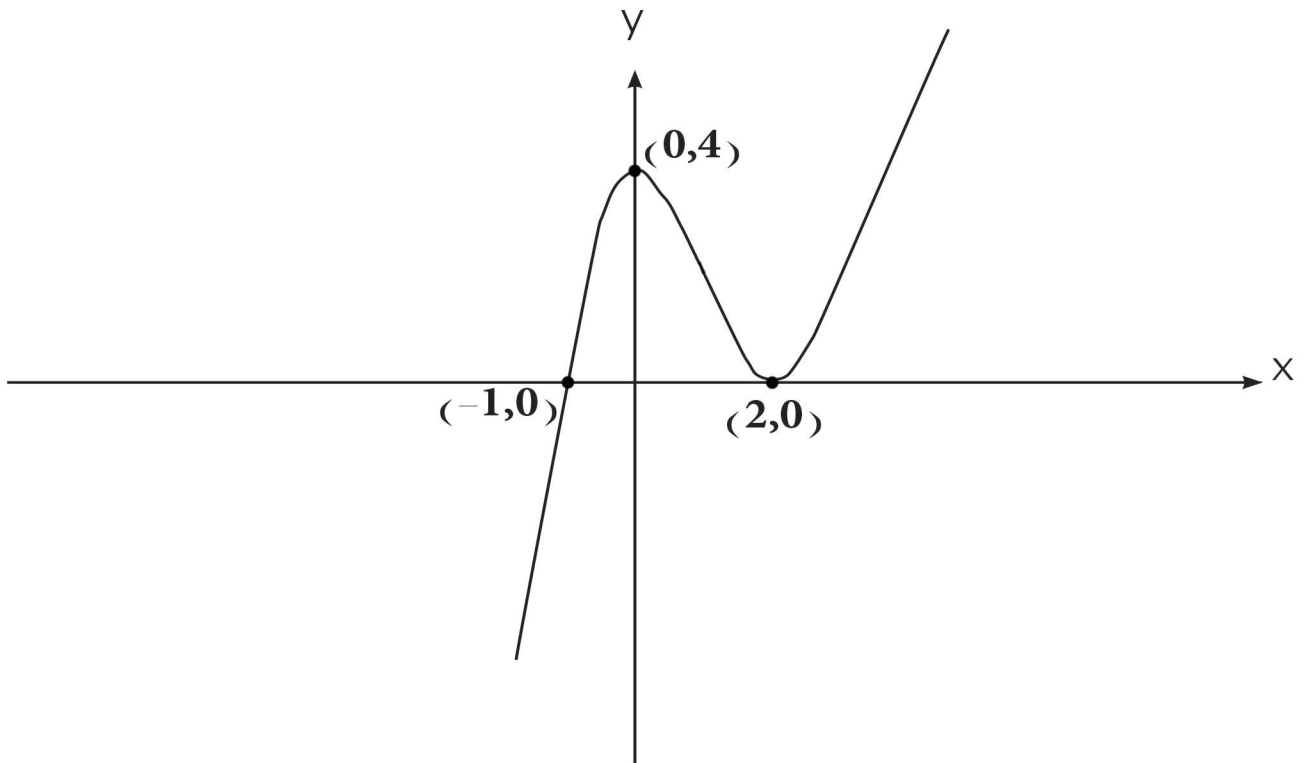
f مقعرة في $\{x : x > 1\}$

f محدبة في $\{x : x < 1\}$

$\therefore (1, 2)$ نقطة انقلاب .

6) الجدول

x	0	1	2	3	-1
y	4	2	0	4	0



مثال-3-

$$f(x) = \frac{3x-1}{x+1}$$

بالاستعانة بالتفاضل ارسم منحنى الدالة :

الحل

(1) اوسع مجال للدالة : $x+1=0 \Rightarrow x=-1$

∴ اوسع مجال للدالة هو $R - \{-1\}$

- (2) بما أن 1 ينتمي الى مجال الدالة لكن (-1) لا ينتمي الى مجال الدالة لذلك فالمنحنى غير متناظر مع محور الصادات وغير متناظر مع نقطة الاصل .
- (3) نقاط التقاطع مع المحورين الاحداثيين :

$$x=0 \Rightarrow y=-1 \Rightarrow (0,-1),$$

$$y=0 \Rightarrow \frac{3x-1}{x+1} = 0 \Rightarrow x = \frac{1}{3} \Rightarrow (\frac{1}{3}, 0)$$

هما نقطتا التقاطع مع المحورين

$$x+1=0 \Rightarrow x=-1$$

(4) المستقيم المماسي الشاقولي

$$f(x) = y = \frac{3x-1}{x+1} \Rightarrow$$

$$yx+y=3x-1 \Rightarrow yx-3x=-1-y$$

$$x(y-3)=-1-y \Rightarrow x = \frac{-1-y}{y-3}$$

المستقيم المماسي الافقي $y=3$

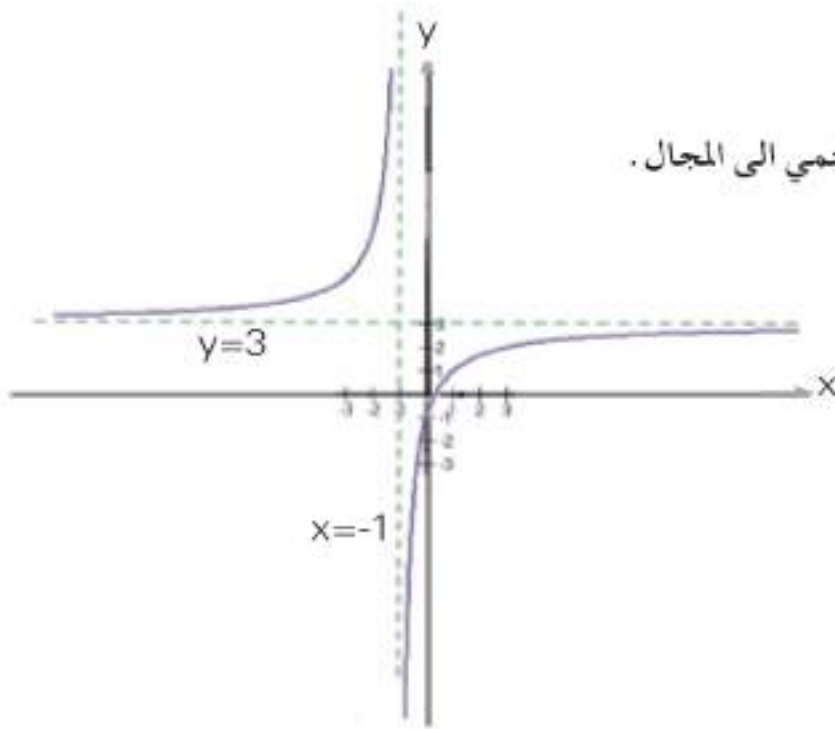
$$f'(x) = \frac{(x+1)(3) - (3x-1)(1)}{(x+1)^2} \quad (5)$$

$$= \frac{3x+3-3x+1}{(x+1)^2} = \frac{4}{(x+1)^2}$$

$$\forall x \in R - \{-1\} , f'(x) > 0$$

الدالة متزايدة في $\{x : x < -1\}$, $\{x : x > -1\}$ ولا توجد نقاط حرجة .

$$f'(x) = 4(x+1)^{-2} \Rightarrow f''(x) = -8(x+1)^{-3}(1) = \frac{-8}{(x+1)^3}$$



الدالة مقعرة في $\{x: x < -1\}$

الدالة محدبة في $\{x: x > -1\}$

الدالة لا تمتلك نقطة انقلاب لان (-1) لا ينتمي الى المجال.

بمثال -4 باستخدام معلوماتك في التفاضل ارسم المنحني :

$$f(x) = \frac{x^2}{x^2 + 1}$$

الحل

1) اوسع مجال للدالة $R =$

2) نقاط التقاطع مع المحورين : عندما $x=0$ فإن $y=0$ وبالعكس.

∴ نقطة التقاطع مع المحورين $(0, 0)$.

3) التناظر :

$$\forall x \in R, \exists (-x) \in R$$

$$f(-x) = \frac{(-x)^2}{(-x)^2 + 1} = \frac{x^2}{x^2 + 1} = f(x)$$

∴ المنحني متناظر حول محور الصادات

لذلك لا يوجد محاذي عمودي

$$x^2 + 1 \neq 0$$

$$f(x) = y = \frac{x^2}{x^2 + 1} \Rightarrow yx^2 + y = x^2$$

$$x^2(y - 1) = -y \Rightarrow x^2 = \frac{-y}{y - 1}$$

$$y - 1 = 0 \Rightarrow y = 1$$

∴ المستقيم المحاذي الافقي

(5)

$$f'(x) = \frac{(x^2 + 1)(2x) - x^2(2x)}{(x^2 + 1)^2} = \frac{2x}{(x^2 + 1)^2}$$

$$f'(x) = 0 \Rightarrow \frac{2x}{(x^2 + 1)^2} = 0 \Rightarrow x = 0 \Rightarrow f(0) = 0 \Rightarrow (0, 0)$$



$f(x)$ متزايدة في $\{x : x > 0\}$

$f(x)$ متناقصة في $\{x : x < 0\}$

(0,0) نقطة نهاية صغرى محلية

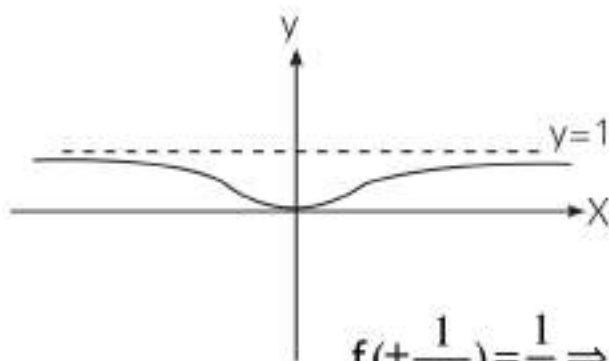
$$f''(x) = \frac{(x^2 + 1)^2(2) - 2x(2)(x^2 + 1)(2x)}{(x^2 + 1)^4}$$

$$= \frac{2x^2 + 2 - 8x^2}{(x^2 + 1)^3} = \frac{2 - 6x^2}{(x^2 + 1)^3} = 0 \Rightarrow x = \pm \frac{1}{\sqrt{3}}$$



$f(x)$ محدبة في $\{x : x < -\frac{1}{\sqrt{3}}\}, \{x : x > \frac{1}{\sqrt{3}}\}$

$f(x)$ مقعرة في الفترة المفتوحة $(-\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}})$



$$f\left(\pm \frac{1}{\sqrt{3}}\right) = \frac{1}{4} \Rightarrow \left(\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{4}\right), \left(-\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{4}\right)$$

نقطتنا الانقلاب هما :

تمارين

أرسم باستخدام معلوماتك في التفاضل الدوال التالية :

1) $f(x) = 10 - 3x - x^2$

2) $f(x) = x^2 + 4x + 3$

3) $f(x) = (1 - x)^3 + 1$

4) $f(x) = 6x - x^3$

5) $f(x) = \frac{1}{x}$

6) $f(x) = \frac{x-1}{x+1}$

7) $f(x) = (x+2)(x-1)^2$

8) $f(x) = \frac{x^2-1}{x^2+1}$

9) $f(x) = 2x^2 - x^4$

10) $f(x) = \frac{6}{x^2+3}$

[3-8] تطبيقات عملية على القيم العظمى او الصغرى.

ظهرت في القرن السابع عشر الكثير من الاسئلة دفعت الى تطور حساب التفاضل والتكامل ومن امثلة ذلك المسائل التي وردت في بحوث الفيزياء مثل اقصى ارتفاع تصله قذيفة اطلقت بزوايا مختلفة ، او اقصى ارتفاع يصله جسم مقذوف شاقولياً الى اعلى او اقل زمن وأقل كلفة ومسائل من الصناعات مثل أقل مساحة وأكبر حجم وأقل محيط ، ... الخ .
 وحل هذه المسائل تتبع الخطوات الآتية :

- 1 . نرسم مخططاً للمسألة (إن امكن) ونعين عليه الأجزاء المهمة في المسألة .
- 2 . نكوّن الدالة المراد ايجاد قيمتها العظمى او الصغرى ونحدد مجالها على ان تكون في متغير واحد .
- 3 . اذا كان المجال فترة مغلقة نجد الاعداد الحرجة وقيم الدالة في اطراف الفترة وفي الاعداد الحرجة .
 فأياًها اكبر هي القيمة العظمى وأياًها أصغر هي القيمة الصغرى .

مثال - I -

جد العدد الذي اذا اضيف الى مربعه يكون الناتج اصغر ما يمكن .

الحل

ليكن العدد x

∴ مربع العدد x^2

ولتكن $f(x) = x + x^2$

$$f'(x) = 1 + 2x, f''(x) = 2 > 0$$

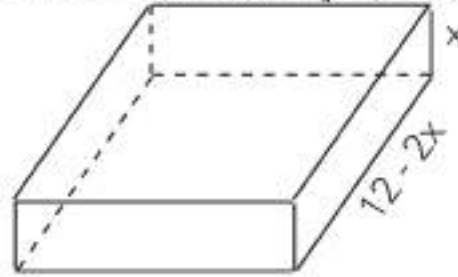
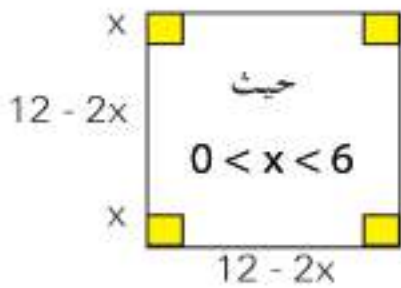
$$f'(x) = 0 \Rightarrow x = -\frac{1}{2}$$

$$f''(-\frac{1}{2}) = 2 > 0$$

∴ توجد نهاية صغرى محلية عند $x = -\frac{1}{2}$

∴ العدد هو $(-\frac{1}{2})$.

صنع صندوق مفتوح من قطعة من النحاس مربعة الشكل طول ضلعها 12cm وذلك بقص أربعة مربعات متساوية الأبعاد من أركانها الأربعة ثم ثني الأجزاء البارزة منها. ما هو الحجم الأعظم لهذه العلبة؟



الحل

نفرض طول ضلع المربع المقطوع يساوي x cm

∴ أبعاد الصندوق هي: x ; $12 - 2x$; $12 - 2x$

الحجم = حاصل ضرب أبعاده الثلاثة:

$$v = (12 - 2x)(12 - 2x)(x)$$

$$V = f(x) = x(144 - 48x + 4x^2)$$

$$V = f(x) = 144x - 48x^2 + 4x^3$$

$$\frac{dv}{dx} = f'(x) = 144 - 96x + 12x^2 \Rightarrow \frac{dv}{dx} = 0 \Rightarrow 0 = 12(12 - 8x + x^2) \Rightarrow 12(6 - x)(2 - x) = 0$$

$$x = 2, \quad x = 6 \quad \text{النقط الحرجة}$$

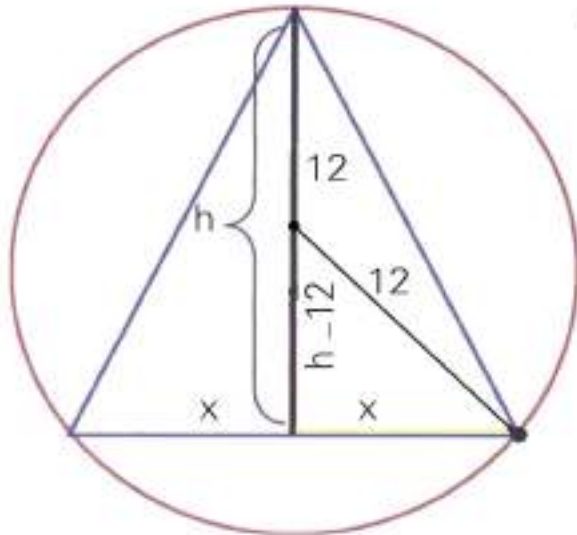
لاحظ من الشكل أن 6 يهمل لأنه غير معقول

$$v = f(2) = 2(12 - 4)^2 = 128 \text{ cm}^3 \quad \text{عند } 2 \text{ توجد نهاية عظمى للحجم وتساوي}$$

جد بعدي أكبر مثلث متساوي الساقين يمكن أن يوضع داخل دائرة نصف قطرها 12cm

ثم برهن أن نسبة مساحة المثلث إلى مساحة الدائرة كنسبة $\frac{3\sqrt{3}}{4\pi}$

الحل



نفرض بعدي المثلث : h , $b = 2x$ قاعدة المثلث (المتغيرات)

لنجد علاقة بين المتغيرات :

$$\text{مبرهنة فيثاغورس : } x^2 + (h-12)^2 = 144$$

$$x^2 + h^2 - 24h + 144 = 144$$

$$x^2 = 24h - h^2$$

$$x = \sqrt{24h - h^2}$$

الدالة : (مساحة المثلث)

$$A = \frac{1}{2} (b)(h)$$

$$A = \frac{1}{2} (2x)(h) = hx$$

$$A = f(h) = h\sqrt{24h - h^2}$$

التعويض :

لاحظ المجال : $0 \leq h \leq 24$ وهذا يعني أن h موجبة فيمكن توحيد الجذر

$$A = f(h) = \sqrt{h^2(24h - h^2)}$$

$$A = f(h) = \sqrt{24h^3 - h^4}$$

$$\frac{dA}{dh} = f'(h) = \frac{72h^2 - 4h^3}{2\sqrt{24h^3 - h^4}}$$

المشتقة

نجد النقطة الحرجة لدالة المساحة

$$f'(h) = 0 \Rightarrow 72h^2 - 4h^3 = 0$$

وعندما

$$4h^2(18 - h) = 0 \Rightarrow h = 18\text{cm}$$

∴ الارتفاع $h=18\text{ cm}$

$$x = \sqrt{24h - h^2} \Rightarrow x = \sqrt{24(18) - 18^2}$$

$$x = \sqrt{18(24 - 18)} = \sqrt{18(6)} = 6\sqrt{3}\text{ cm}$$

طول القاعدة $b = 2x = 12\sqrt{3}\text{ cm}$

$$A_1 = \pi r^2 \Rightarrow A_1 = \pi(12)^2 = 144\pi \text{ cm}^2$$

مس الدائرة:

$$A_2 = \frac{1}{2}bh \Rightarrow A_2 = 6\sqrt{3}(18) = 108\sqrt{3}\text{ cm}^2$$

مس المثلث:

$$\frac{\text{مساحة المثلث}}{\text{مساحة الدائرة}} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{108\sqrt{3}}{144\pi} = \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}$$

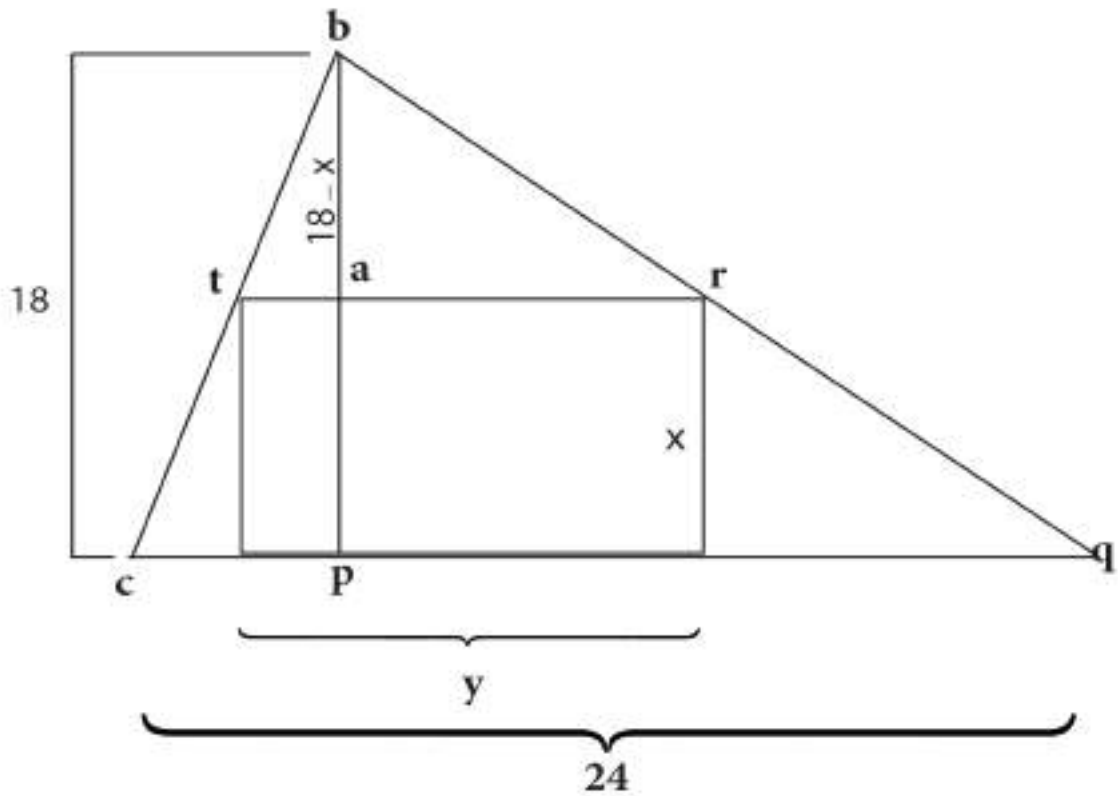
جد بعدي أكبر مستطيل يمكن أن يوضع داخل مثلث طول قاعدته 24 cm وارتفاعه

مثال - 4

18 cm بحيث أن رأسين متجاورين من رؤوسه تقعان على القاعدة والرأسين الباقيين تقعان على ساقيه .

الحل

- نفرض طول كل من بعدي المستطيل : $x, y \text{ cm}$



العلاقة بين المتغيرات : المثلثان btr , bcq متشابهان لتساوي زواياهما المتناظرة لذا تناسب أضلاعهما المتناظرة وكذلك ارتفاعاهما .

$$\frac{tr}{cq} = \frac{ba}{bp} \Rightarrow \frac{y}{24} = \frac{18-x}{18}$$

$$\Rightarrow y = \frac{24}{18}(18-x) \Rightarrow y = \frac{4}{3}(18-x)$$

$$A = xy \leftarrow$$

الدالة : مساحة المستطيل = حاصل ضرب بعديه

$$A = x \frac{4}{3}(18-x)$$

التحويل بدلالة متغير واحد :

$$f(x) = A = \frac{4}{3}(18x - x^2)$$

التبسيط قبل المشتقة :

$$f'(x) = \frac{4}{3}(18-2x)$$

نجد النقط الحرجة :

$$f'(x) = 0 \Rightarrow x = 9$$

$$f''(x) = \frac{4}{3}(-2) = -\frac{8}{3}$$

$$f''(9) = -\frac{8}{3} < 0$$

وهذا يعني لدالة المساحة نهاية عظمى محلية عند $x = 9 \text{ cm}$ ويمثل أحد البعدين .

$$y = \frac{4}{3}(18 - x) \Rightarrow y = \frac{4}{3}(18 - 9) = 12 \text{ cm}$$

البعد الآخر

مثال -5-

مجموع محيطي دائرة ومربع يساوي 60 cm أثبت أنه عندما يكون مجموع مساحتي الشكلين أصغر ما يمكن فإن طول قطر الدائرة يساوي طول ضلع المربع .

الحل

الفرضية: نفرض نصف قطر الدائرة $r \text{ cm}$ ونفرض طول ضلع المربع $x \text{ cm}$

العلاقة: محيط المربع + محيط الدائرة = 60 cm

$$\therefore 60 = 4x + 2\pi r \Rightarrow$$

$$r = \frac{1}{\pi}(30 - 2x)$$

الدالة هي: مساحة الدائرة + مساحة المربع

$$A = x^2 + \pi \left[\frac{1}{\pi}(30 - 2x) \right]^2$$

التحويل لمتغير واحد :

$$A = f(x) = x^2 + \frac{1}{\pi}(900 - 120x + 4x^2)$$

$$f'(x) = 2x + \frac{1}{\pi}(-120 + 8x)$$

نشتق :

$$f'(x) = 0 \Rightarrow 0 = 2x + \frac{1}{\pi}(-120 + 8x)$$

وعندما

$$0 = \pi x + 4x - 60 \Rightarrow 60 = \pi x + 4x$$

$$x(\pi + 4) = 60 \Rightarrow x = \frac{60}{\pi + 4} \text{ cm}$$

$$\therefore r = \frac{1}{\pi} \left(30 - \frac{120}{\pi + 4} \right) \Rightarrow r = \frac{30}{\pi + 4} \text{ cm} \Rightarrow x = 2r$$

$$f''(x) = 2 + \frac{1}{\pi}(8) > 0$$

الدالة تمتلك نهاية صغرى محلية (و. ه. م.)

جد نقطة أو نقاط تنتمي للقطع الزائد $y^2 - x^2 = 3$ بحيث تكون أقرب ما يمكن

مثال -6-

للمنطقة (0,4)

الحل

نفرض أن النقطة $P(X, Y)$ هي من نقط المنحني $y^2 - x^2 = 3$ فتحقق معادلته .

$$\therefore x^2 = y^2 - 3 \quad \dots (1)$$

$$s = \sqrt{(x-0)^2 + (y-4)^2}$$

$$\therefore s = \sqrt{x^2 + y^2 - 8y + 16} \quad \dots (2)$$

بالتعويض من المعادلة 1 في 2 ينتج :

$$s = f(y) = \sqrt{2y^2 - 8y + 13}$$

$$f'(y) = \frac{4y - 8}{2\sqrt{2y^2 - 8y + 13}}$$

$$f'(y) = 0 \Rightarrow 4y - 8 = 0 \Rightarrow y = 2$$

$$\therefore x^2 = y^2 - 3$$

$$\therefore x^2 = 4 - 3 = 1 \Rightarrow x = \pm 1$$

$$\Rightarrow (1, 2), (-1, 2)$$

تمارين

1. جد عددين موجبين مجموعهما 75 وحاصل ضرب أحدهما في مربع الآخر أكبر ما يمكن.
2. جد ارتفاع أكبر اسطوانة دائرية قائمة توضع داخل كرة نصف قطرها $4\sqrt{3}\text{cm}$.
3. جد بعدي أكبر مستطيل يوضع داخل نصف دائرة نصف قطرها $4\sqrt{2}\text{cm}$.
4. جد أكبر مساحة لمثلث متساوي الساقين طول كل من ساقيه $8\sqrt{2}\text{cm}$.
5. جد أقل محيط ممكن للمستطيل الذي مساحته 16 cm^2 .
6. جد حجم أكبر مخروط دائري قائم يمكن وضعه داخل كرة نصف قطرها 3 cm .
7. جد معادلة المستقيم الذي يمر من النقطة $(6,8)$ والذي يصنع مع المحورين في الربع الأول أصغر مثلث.
8. جد بعدي أكبر مستطيل يوضع داخل المنطقة المحددة بالدالة $f(x) = 12 - x^2$ ومحور السينات، رأسان من رؤوسه على المنحني والرأسان الآخران على محور السينات ثم جد محيطه.
9. جد أبعاد أكبر اسطوانة دائرية قائمة توضع داخل مخروط دائري قائم ارتفاعه 8cm وطول قطر قاعدته 12cm .
10. جد أكبر حجم لمخروط دائري قائم ناتج من دوران مثلث قائم الزاوية طول وتره $6\sqrt{3}\text{ cm}$ دورة كاملة حول أحد ضلعيه القائمين.
11. علبه اسطوانية الشكل مفتوحة من الأعلى سعتها $(125\pi)\text{ cm}^3$ جد أبعادها عندما تكون مساحة المعدن المستخدم في صنعها أقل ما يمكن.
12. خزان على شكل متوازي سطوح مستطيلة طول قاعدته ضعف عرضها فإذا كانت مساحة المعدن المستخدم في صناعته 108 m^2 جد أبعاد الخزان لكي يكون حجمه أكبر ما يمكن علماً أن الخزان ذو غطاء كامل.

الفصل الرابع

Chapter Four

Integration التكامل

- المناطق المحددة بمنحنيات [4-1]
- المجاميع العليا والمجاميع السفلى. [4-2]
- تعريف التكامل. [4-3]
- النظرية الأساسية للتكامل - الدالة المقابلة. [4-4]
- خواص التكامل المحدد. [4-5]
- التكامل غير المحدد. [4-6]
- اللوغاريتم الطبيعي. [4-7]
- إيجاد مساحة منطقة مستوية. [4-8]
- الحجوم الدوانية. [4-9]

الرمز او العلاقة الرياضية	المصطلح
$\sigma = (x_0, x_1, x_2, \dots, x_n)$	جزئة الفترة $[x_0, x_n]$
$L(\sigma, f)$	المجموع الاسفل
$U(\sigma, f)$	المجموع الاعلى
Σ	المجموع
σ	سيكما

[4-1] المناطق المحددة بمنحنيات .

Regions Bounded by Curves.

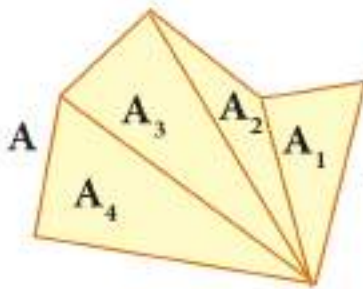
تعرفت من دراستك السابقة على مناطق مستوية مختلفة مثل الذي تراه في الشكل (4-1) :



الشكل (4-1)

حيث A_1 منطقة مستطيلة و A_2 منطقة مثلثة و A_3 منطقة شبه منحرف و A_4 منطقة دائرية ولا شك أنك تعرف إيجاد مساحات هذه المناطق .

أما المنطقة A كما في الشكل (4-2) والتي تسمى منطقة مضلعة فيمكنك حساب مساحتها بتقسيمها الى مناطق مثلثة .

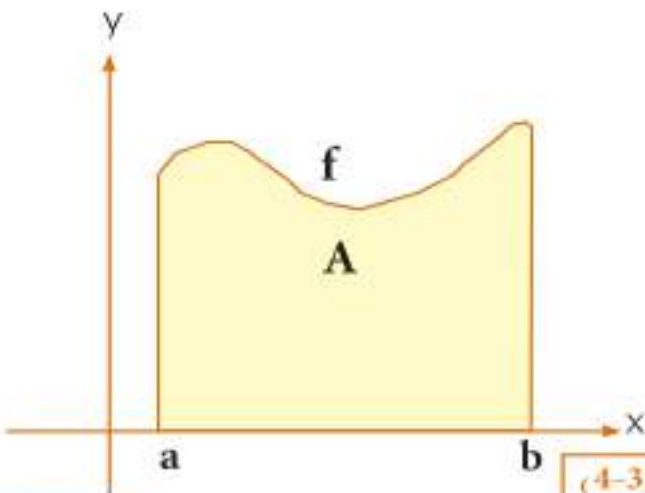


$$A_1, A_2, A_3, A_4$$

وتكون مساحتها تساوي مساحة A_1 + مساحة A_2 + مساحة A_3 + مساحة A_4

الشكل (4-2)

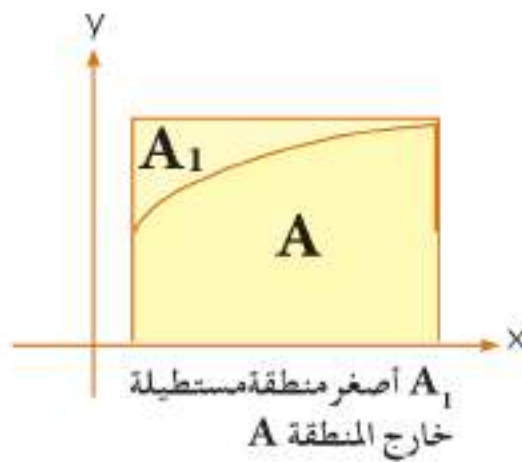
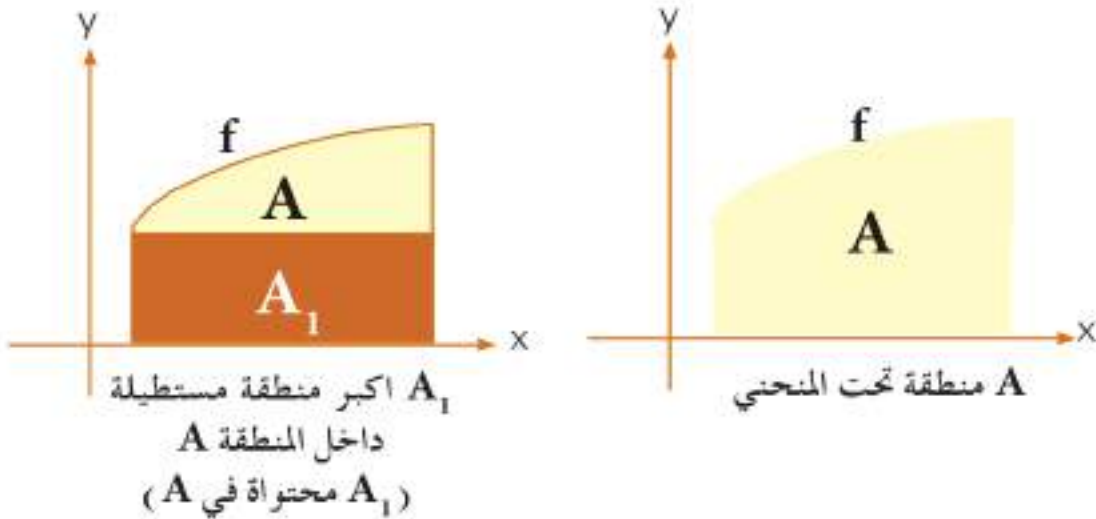
وبالطريقة نفسها يمكننا إيجاد مساحة اي منطقة مضلعة بعد أن نقسمها الى مناطق مثلثة أو مربعة أو مستطيلة ،



الشكل (4-3)

أما المنطقة A في الشكل (4-3) والتي تسمى منطقة تحت المنحني f وهي مجموعة النقاط المحصورة بين المنحني (بيان الدالة f) والمستقيمين $x = a$ ، $x = b$ ومحور السينات فلا يمكن تقسيمها الى مناطق معلومة لديك مثل (مثلث ، مربع ، مستطيل ، دائرة ، ...) فكيف يمكنك حساب مساحتها ؟

تسميات:



الشكل (4-4)

1. مساحة أي منطقة مستوية هي عدد حقيقي غير سالب .
2. إذا كانت $A' \subseteq A$ فإن مساحة المنطقة $A' \geq$ مساحة المنطقة A .

ملاحظة

لاحظ الشكل (4-5)



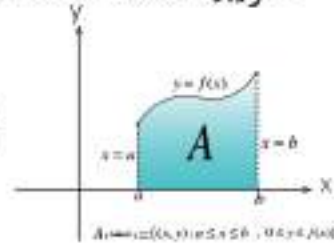
الشكل (4-5)

[4-1-1] إيجاد قيمة تقريبية لمساحة منطقة مستوية :

مثال -1-

في الشكل (6-4) ، هي المنطقة تحت منحنى الدالة المستمرة f ، أوجد قيمة تقريبية لمساحة هذه المنطقة حيث :

$$A = \{(x, y) : 2 \leq x \leq 5, y \leq \sqrt{x-1}\} \text{ (المنطقة)}$$



الحل

نحدد داخل المنطقة A أكبر منطقة مستطيلة $(abcd)$ بحيث تكون قاعدتها من $x=2$ إلى $x=5$

ولتكن $A_1 \subseteq A$ حيث A_1 وعليه تكون مساحة هذه المنطقة $A_1 = ab \times ad = (5-2) \times 1 = 3 \text{ unit}^2$ كذلك نحدد خارج المنطقة أصغر منطقة مستطيلة $(abc'd')$ ولتكن A'_1 حيث

$A \subseteq A'_1$ بحيث تكون قاعدتها من $x=2$ إلى $x=5$ فتكون مساحة A'_1 تساوي:

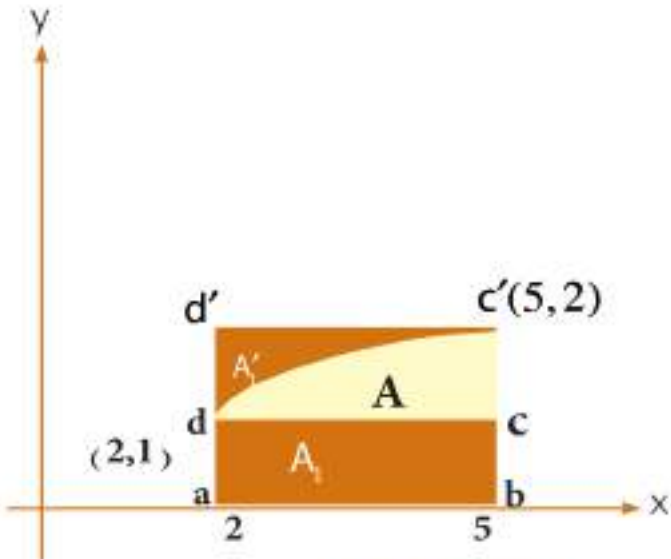
$$A'_1 = ab \times ad' = (5-2) \times 2 = 6 \text{ unit}^2$$

بما أن $A_1 \subseteq A \subseteq A'_1$

∴ مساحة $A_1 \geq$ مساحة $A \geq$ مساحة A'_1

$3 \geq$ مساحة المنطقة $A \geq 6$

فتكون القيمة التقريبية الأولى لمساحة المنطقة A تساوي

$$\frac{3+6}{2} = 4\frac{1}{2} \text{ unit}^2$$


الشكل (6-4)

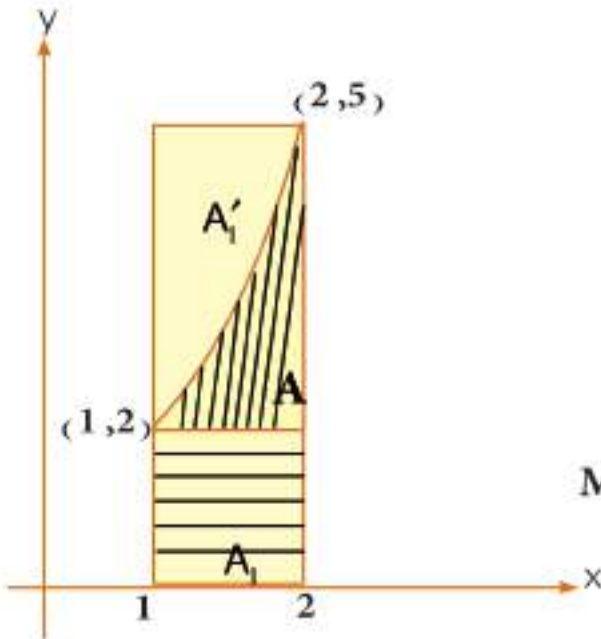
ملاحظة

لاحظ في المثال 1 ان A_1 هي المنطقة المستطيلة التي ارتفاعها (ad) يساوي اصغر قيمة للدالة في $[2, 5]$ وسنرمز لها بالرمز (m) اما A'_1 فهي المنطقة المستطيلة التي ارتفاعها ad' يساوي اكبر قيمة للدالة في $[2, 5]$ وسنرمز لها (M) وكما تعرفت في فصل التفاضل فان (m) (اصغر قيمة للدالة المستمرة على $[a, b]$) وكذلك (M) (اكبر قيمة للدالة المستمرة على $[a, b]$) نبحث عنهما عند احد طرفي الفترة $[a, b]$ أو عند النقطة الحرجة ان وجدت .

$$A = \{(x, y) : 1 \leq x \leq 2, y = x^2 + 1\}$$

مثال -2-

اوجد قيمة تقريبية لمساحة المنطقة A .



الشكل (4-7)

الحل

A_1 اكبر منطقة مستطيلة داخل A (محتواة في A)

قاعدتها من $x=1$ الى $x=2$ وارتفاعها $m = 2$

$$A_1 = 2(2-1) = 2 \text{ unit}^2 \text{ هي}$$

A'_1 اصغر منطقة مستطيلة خارج A (تحتوي A)

قاعدتها ايضاً من $x=1$ الى $x=2$ وارتفاعها $M = 5$

$$A'_1 = 5(2-1) = 5 \text{ unit}^2$$

بما ان $A_1 \subseteq A \subseteq A'_1$

∴ مساحة المنطقة $A_1 \leq$ مساحة منطقة A \leq مساحة منطقة A'_1

$$\therefore 2 \leq \text{مساحة } A \leq 5$$

فتكون القيمة التقريبية لمساحة A تساوي $3\frac{1}{2} \text{ unit}^2$

$$\frac{A_1 + A'_1}{2} = \frac{2+5}{2} = 3\frac{1}{2}$$

[4-1-2] مساحة منطقة مستوية بدقة أكبر:

تمهيد: لنفرض ان مع مهند 19000 ديناراً وأراد حسام ان يعرف هذا المبلغ فكان الحوار الاتي بينهما:
حسام: كم معك من الدينانير؟

مهند: قدّر المبلغ بنفسك علماً بأنه بين عشرة آلاف وعشرين ألفاً.

حسام: أتوقع ان يكون معك 15000 ديناراً أي $15000 = \frac{20000 + 10000}{2}$

مهند: اقتربت قليلاً ولكن ألمع لك اكثر فالمبلغ الذي معي بين 15000 ، 20000 دينار.

حسام: اذاً في حدود 17500 دينار اي $17500 = \frac{20000 + 15000}{2}$

مهند: هذه القيمة اكثر دقة من القيمة الاولى لان القيمة الصحيحة 19000 دينار .

من هذا المثال نستنتج الأتي :

في المحاولة الاولى : $10000 > \text{المبلغ} > 20000$ وكان الخطأ في القيمة التقريبية الاولى :

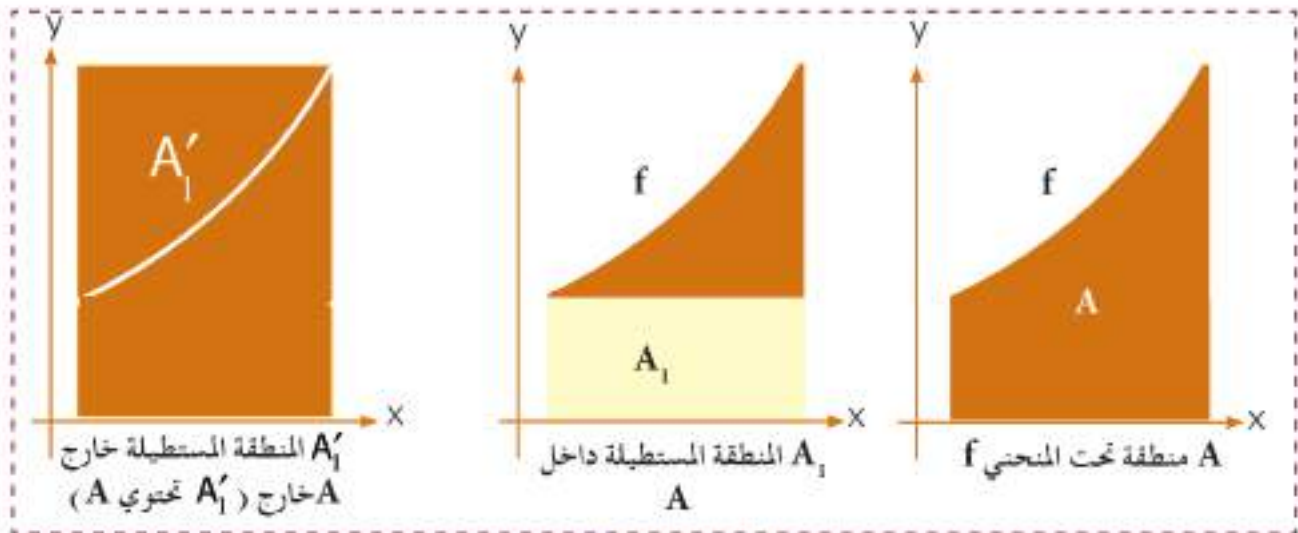
$$19000 - 15000 = 4000$$

في المحاولة الثانية: $15000 > \text{المبلغ} > 20000$ كانت القيمة التقريبية اكثر دقة ومقدار الخطأ :

$$19000 - 17500 = 1500$$

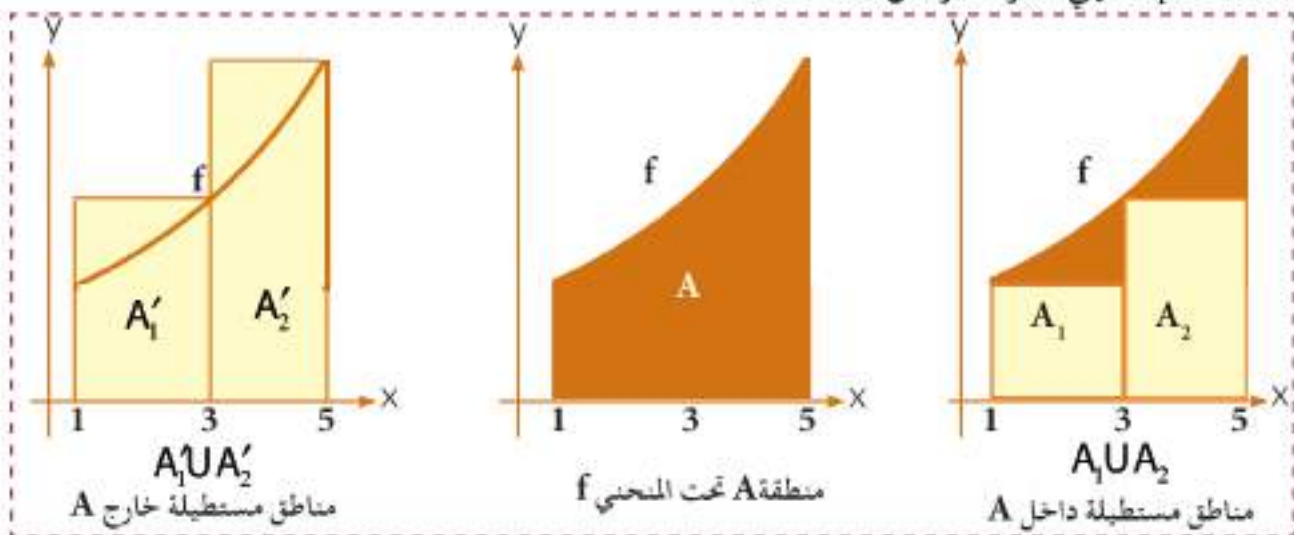
إذا كلما استطعنا ان نجعل الفرق بين الحدين الاعلى والادنى اقل كانت القيمة التقريبية اكثر دقة ، وهكذا لحساب مساحة منطقة A بدقة اكبر نحاول ان نجعل مقدار هذه المساحة بين حدين بحيث يكون الفرق بينهما اقل ما يمكن .

والحدين الاعلى والادنى هما مجموع مساحات المناطق المستطيلة الداخلية (المحتواة في A) ، ومجموع مساحات المناطق المستطيلة خارج A والاشكال (4-8) ، (4-9) ، (4-10) توضح هذه الفكرة.



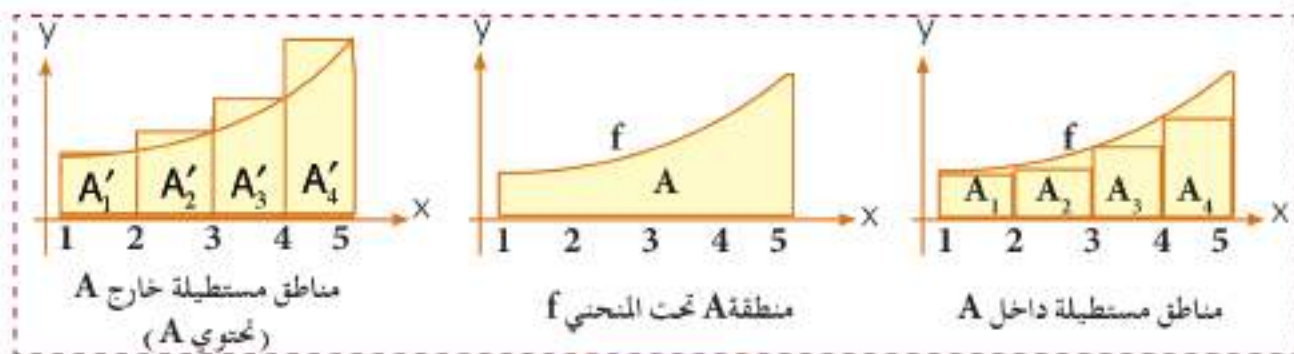
الشكل (4-8)

لاحظ ان هناك فرقاً واضحاً بين مساحة A_1 ومساحة A_1' حيث مساحة A_1 اصغر بكثير من مساحة A ,
 اما مساحة A_1' فهي اكبر كثيراً من مساحة A .



الشكل (4-9)

في الشكل (4-10) تجزأت القاعدة [1, 5] الى أربعة فترات جزئية .



الشكل (4-10)

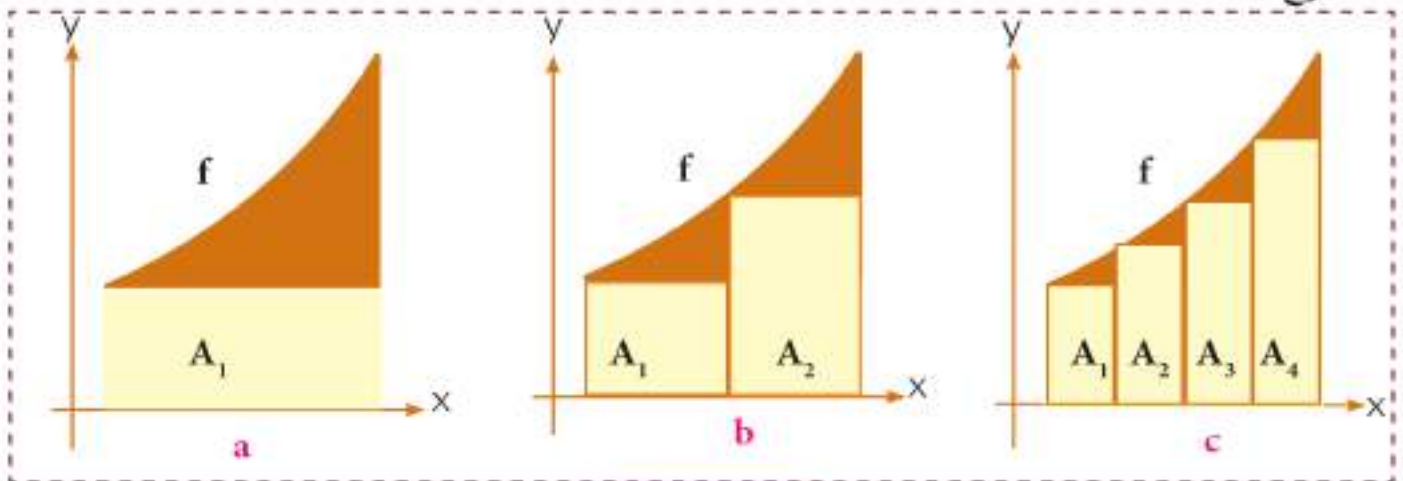
(1) ملاحظة
في الشكل (9 - 4) تجزأت الفترة الى فترتين جزئيتين هما $[1, 3]$, $[3, 5]$, في مثل هذه الحالة تسمى الثلاثية المرتبة (5, 3, 1) تجزئياً (partition) للفترة $[1, 5]$ ويرمز لها بالرمز $\sigma = (1, 3, 5)$

وبصورة عامة اذا كانت لدينا $[a, b]$ وارادنا ان نجزئها الى n من الفترات المنتظمة فان طول الفترة حيث

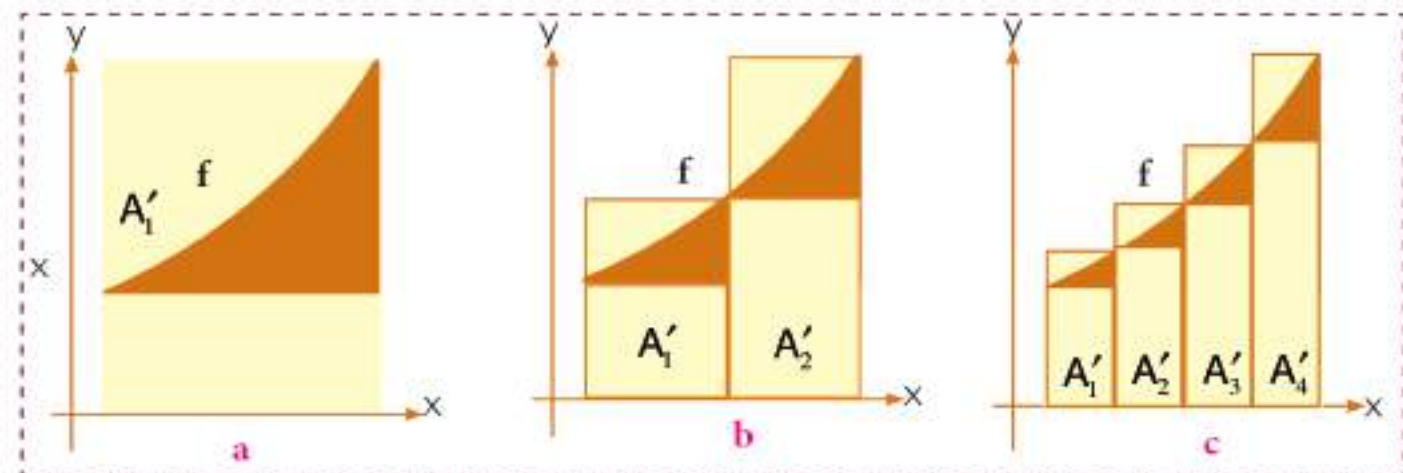
$$h = \frac{b-a}{n}$$

(2) ملاحظة
انظر الى الشكلين (11 - 4) ، (12 - 4) تجد أنه كلما زادت نقاط التجزئـة فان الفرق بين مجموع مساحات المناطق المستطيلة داخل A ومجموع مساحات المناطق المستطيلة خارج A يقل تدريجياً. وبالتالي فان القيمة التقريبية لمساحة المنطقة A تصبح أكثر دقة.

∴ مجموع مساحات المناطق المستطيلة داخل $A \geq$ مساحة $A \geq$ مجموع مساحات المناطق المستطيلة خارج A .



الشكل (4-11)



الشكل (4-12)

أوجد قيمة تقريبية لمساحة المنطقة الآتية :

$$A = \{(x, y) : 2 \leq x \leq 5, y = x^2 + 1\}$$

وذلك باستخدام التجزئة

- a) $\sigma_1 = (2, 3, 5)$
 b) $\sigma_2 = (2, 3, 4, 5)$

الحل

a) $\sigma_1 = (2, 3, 5)$

ان تجزئة $\sigma_1 = (2, 3, 5)$ يعني ان الفترة $[2, 5]$ تجزأت الى الفترات الجزئية $[2, 3], [3, 5]$.

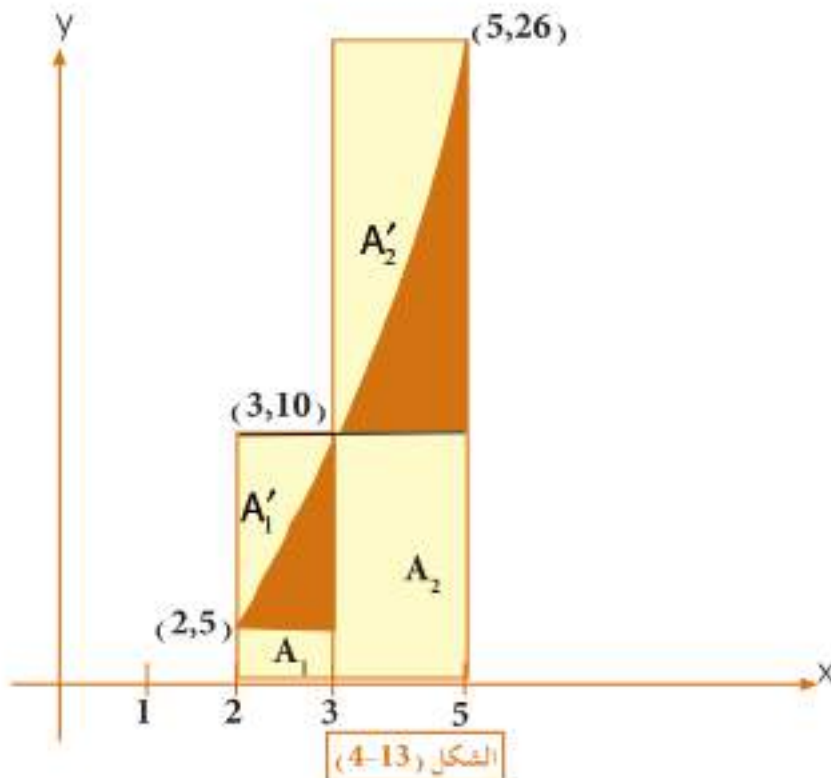
$$A_1 + A_2 = 1 \times 5 + 2 \times 10 = 25 \text{ unit}^2$$

كذلك

$$A'_1 + A'_2 = 1 \times 10 + 2 \times 26 = 62 \text{ unit}^2$$

بما ان مجموع مساحات المنطقة المستطيلة داخل A > مجموع مساحات المناطق المستطيلة خارج A

$$\therefore 25 \leq A \leq 62 \Rightarrow A = \frac{25+62}{2} = 43\frac{1}{2} \text{ unit}^2$$
 القيمة التقريبية لمساحة A



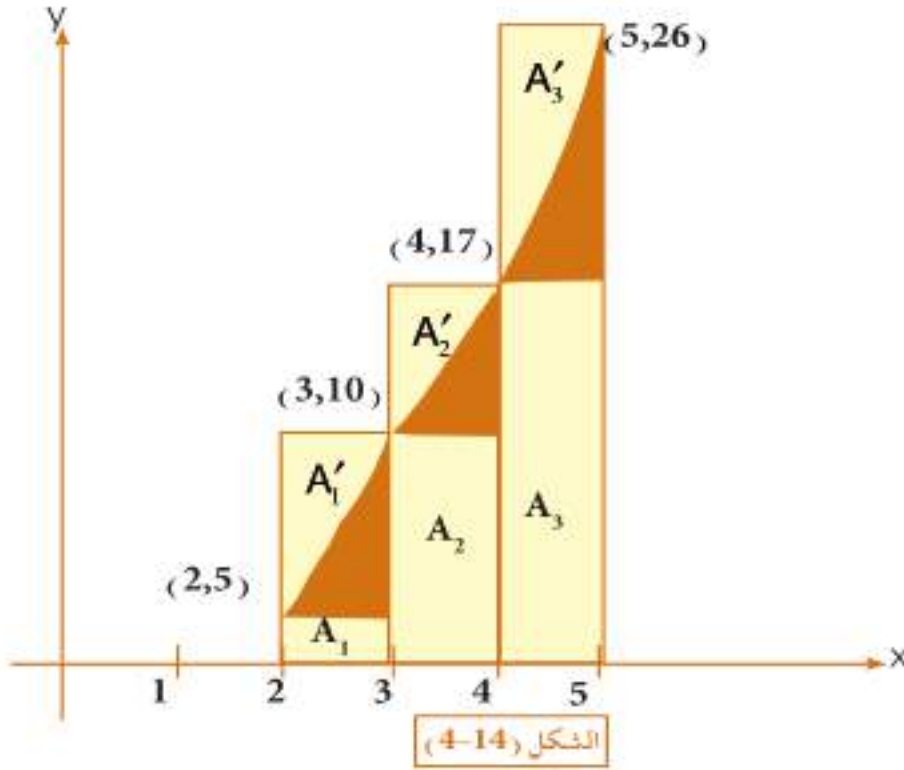
b) $\sigma_2 = (2, 3, 4, 5)$

ان تجزئة $\sigma_2 = (2, 3, 4, 5)$ يعني ان الفترة $[2, 5]$ تجزأت الى الفترات الجزئية $[2, 3], [3, 4], [4, 5]$

$$\therefore A_1 + A_2 + A_3 = 1 \times 5 + 1 \times 10 + 1 \times 17 = 32 \text{unit}^2$$

$$\therefore A'_1 + A'_2 + A'_3 = 1 \times 10 + 1 \times 17 + 1 \times 26 = 53 \text{unit}^2$$

$$\therefore A = \frac{32 + 53}{2} = 42 \frac{1}{2} \text{unit}^2$$



كما اوضحنا أنه كلما زادت عدد النقاط التجزئية فان الفرق بين مجموع مساحات المناطق المستطيلة داخل A ومجموع مساحات المناطق المستطيلة خارج A يقل تدريجياً.

ملاحظة

$$62 - 25 = 37$$

ففي المثال السابق عندما كانت التجزئة $(2, 3, 5)$ كان الفرق :

$$53 - 32 = 21$$

وعندما كان تجزئة $(2, 3, 4, 5)$ كان الفرق :

[4-2] المجاميع العليا والمجاميع السفلى.

تعلمت في البند السابق إيجاد مجموع مساحات المناطق المستطيلة الداخلية ومجموع مساحات المناطق المستطيلة الخارجية، وفي هذا البند سوف نعتبر الدالة : $f : [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$

مستمرة على $[a, b]$ ونجد مجموع مساحات المستطيلات داخل المنطقة A (Lower Rectangles) ثم مجموع مساحة المستطيلات خارج المنطقة A (Upper Rectangles) (حيث المنطقة تحت المنحني f).

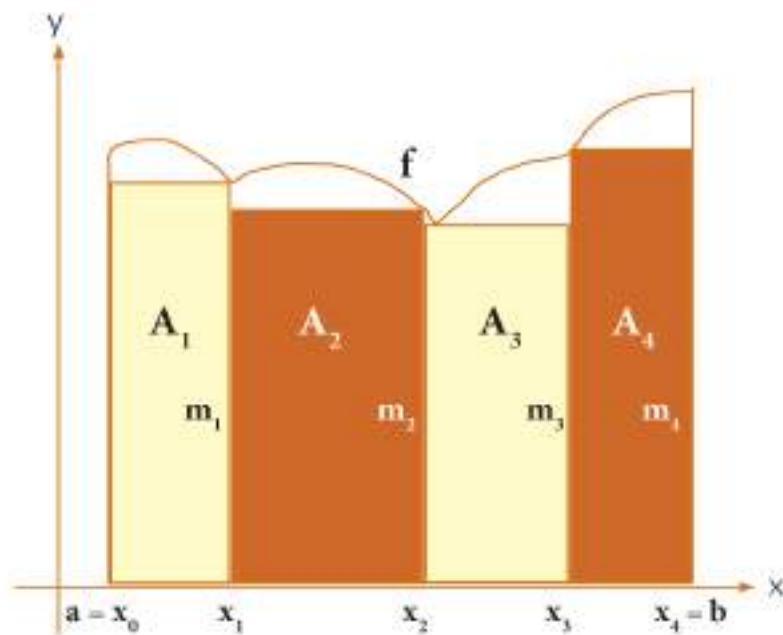
أولاً : نفرض أن : $f(x) \geq 0, \forall x \in [a, b]$

حيث $\sigma = (x_0, x_1, x_2, x_3, x_4)$

فتكون مساحة المنطقة المستطيلة A_1 التي قاعدتها محصورة في الفترة $[x_0, x_1]$ وارتفاعها m_1 تساوي $m_1(x_1 - x_0)$ حيث m_1 (اصغر قيمة للدالة في هذه الفترة) .

وبالمثل مساحة المنطقة المستطيلة A_2 والتي قاعدتها محصورة في الفترة $[x_1, x_2]$ وارتفاعها m_2 تساوي $m_2(x_2 - x_1)$ وهكذا

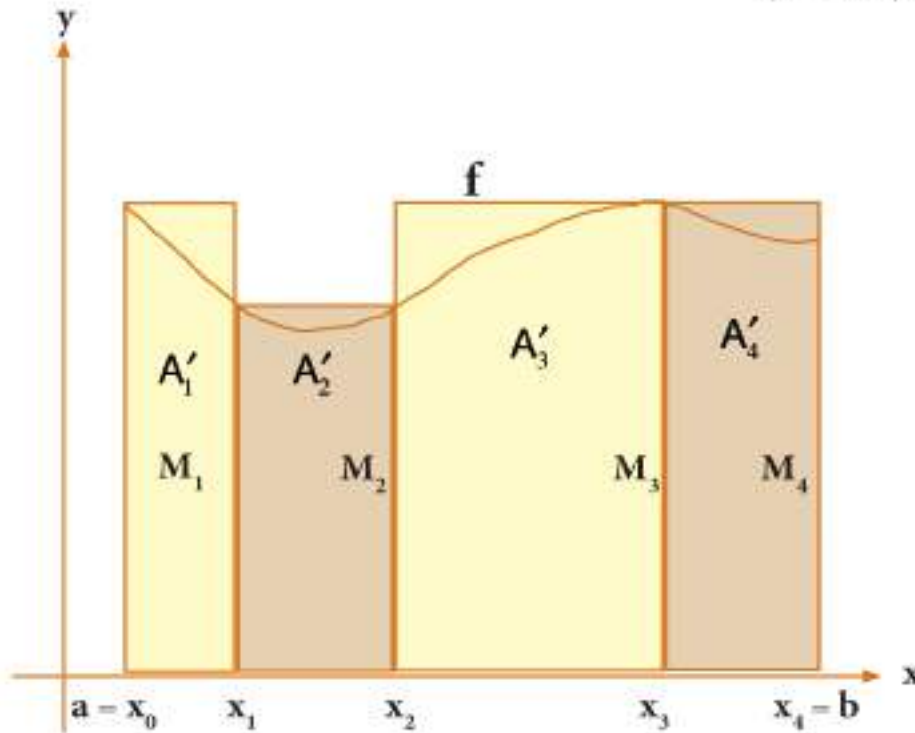
وبالتالي يكون مجموع مساحات المناطق المستطيلة داخل A والتي سنرمز لها بالرمز $L(\sigma, f)$ تساوي $L(\sigma, f) = m_1(x_1 - x_0) + m_2(x_2 - x_1) + m_3(x_3 - x_2) + m_4(x_4 - x_3)$.



الشكل (4-15)

لاحظ أن : $A \geq L(\sigma, f)$ مساحة

كذلك في الشكل (16-4)



الشكل (16-4)

مساحة المنطقة A'_1 التي قاعدتها محصورة في الفترة $[x_0, x_1]$ تساوي $M_1(x_1 - x_0)$ حيث M_1 أكبر قيمة للدالة في الفترة $[x_0, x_1]$ ومساحة المنطقة المستطيلة A'_2 التي قاعدتها محصورة في الفترة $[x_1, x_2]$ تساوي $M_2(x_2 - x_1)$ وهكذا

فيكون مجموع مساحات المناطق المستطيلة خارج A تساوي والتي سنرمز لها بالرمز $U(\sigma, f)$ تساوي

$$U(\sigma, f) = M_1(x_1 - x_0) + M_2(x_2 - x_1) + M_3(x_3 - x_2) + M_4(x_4 - x_3).$$

لاحظ أن : $U(\sigma, f) \geq L(\sigma, f)$

$$L(\sigma, f) \leq \text{مساحة } A \leq U(\sigma, f)$$

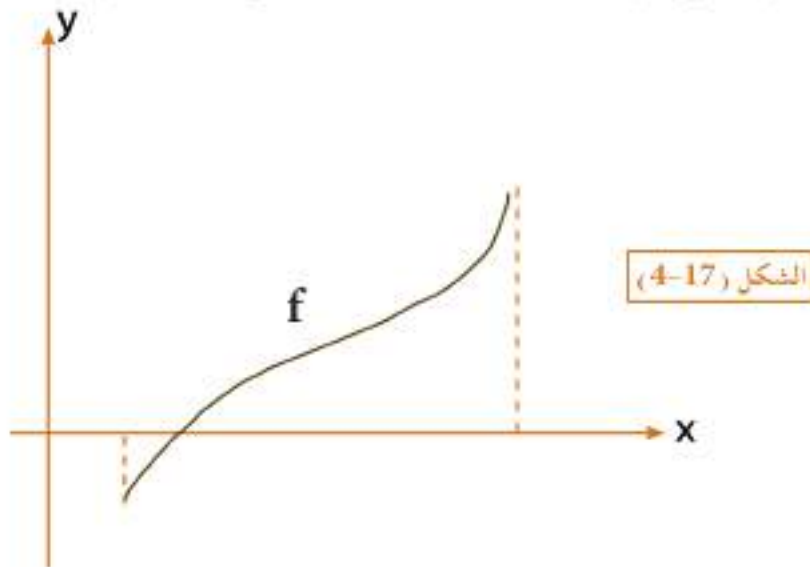
∴ أول قيمة تقريبية لمساحة A وفق التجزئة σ تساوي $\frac{L(\sigma, f) + U(\sigma, f)}{2}$.

ثانياً: عندما لا نشترط ان تكون $f(x) \geq 0$ ، $\forall x \in [a, b]$ كما في الشكل (17-4) فانه من الممكن ان يكون m (اصغر قيمة ممكنة للدالة) عدداً سالباً أو موجباً أو صفراً وبالتالي فانه من المتوقع ان تكون $L(\sigma, f)$ عدداً سالباً أو موجباً أو صفراً .

وبالمثل $U(\sigma, f)$ عدد موجباً أو سالباً أو صفراً وبما ان العدد السالب لا يقيس مساحة لهذا فاننا نسمي:

$L(\sigma, f)$ المجموع الاسفل

$U(\sigma, f)$ المجموع الاعلى



مثال - 4 -

لتكن $f : [1, 4] \rightarrow \mathbb{R}$, $f(x) = 5 + 2x$

جد المجموع الاسفل $L(\sigma, f)$ والمجموع الاعلى $U(\sigma, f)$

الحل

نجزيء الفترة $[1, 4]$ الى ثلاثة فترات منتظمة فيكون .

$$h = \frac{b-a}{n} = \frac{4-1}{3} = 1 \Rightarrow \sigma = (1, 2, 3, 4)$$

∴ الفترات هي : $[1, 2]$, $[2, 3]$, $[3, 4]$ $f(x) = 5 + 2x \Rightarrow f'(x) = 2 > 0$

∴ لا توجد نقاط حرجة والدالة متزايدة في مجالها . فنجد قيمة الدالة في طرفي الفترات ولايجاد

$L(\sigma, f)$, $U(\sigma, f)$ نعمل الجدول الآتي : فأيهما أصغر فهو m_i وايهما اكبر فهو M_i

الفترة الجزئية	طول الفترة	m_i	M_i	$h_i m_i$	$h_i M_i$
$[a, b]$	h				
$[1, 2]$	1	$m_1 = 5+2=7$	$M_1 = 5+4=9$	7	9
$[2, 3]$	1	$m_2 = 5+4=9$	$M_2 = 5+6=11$	9	11
$[3, 4]$	1	$m_3 = 5+6=11$	$M_3 = 5+8=13$	11	13
				$\sum h_i m_i = 27$	$\sum h_i M_i = 33$

$$\therefore \sum h_i m_i = L(\sigma, f) = 27 , \quad \sum h_i M_i = U(\sigma, f) = 33$$

إذا كانت $f : [0, 4] \rightarrow \mathbb{R}$ ، $f(x) = 3x - x^2$

أوجد كل من $L(\sigma, f)$ ، $U(\sigma, f)$ مستخدماً أربعة تجزيات منتظمة

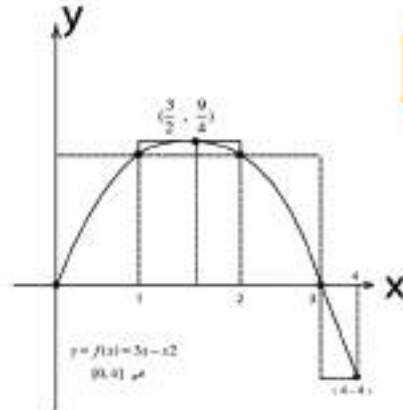
الحل

$$h = \frac{b-a}{n} = \frac{4-0}{4} = 1 \Rightarrow \sigma = (0, 1, 2, 3, 4)$$

$$[0, 1] , [1, 2] , [2, 3] , [3, 4]$$

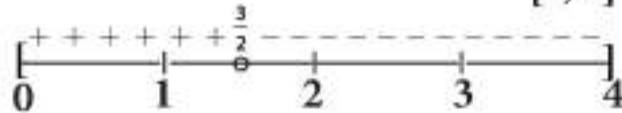
$$f(x) = 3x - x^2 \Rightarrow f'(x) = 3 - 2x$$

$$f'(x) = 0 \Rightarrow x = \frac{3}{2} \in [1, 2]$$



أي ان العدد الحرج يوجد في الفترة $[1, 2]$

اشارة $f'(x)$



الفترة الجزئية	طول الفترة	m_i	M_i	$h_i m_i$	$h_i M_i$
$[a, b]$	h				
$[0, 1]$	1	0	2	0	2
$[1, 2]$	1	2	$\frac{9}{4}$	2	$\frac{9}{4}$
$[2, 3]$	1	0	2	0	2
$[3, 4]$	1	-4	0	-4	0
				$\sum h_i m_i = -2$	$\sum h_i M_i = 6\frac{1}{4}$

$$\therefore \sum h_i m_i = L(\sigma, f) = -2 \quad , \quad \sum h_i M_i = U(\sigma, f) = 6\frac{1}{4}$$

لاحظ ان $L(\sigma, f) \leq U(\sigma, f)$

ملاحظة في حل تمارين (1-4)

1 - نجزم الفترة المعطاة $[a, b]$ الى فترات جزئية بأيجاد h حيث $h = \frac{b-a}{n}$

n عدد الجزئات منها نجد σ

2 - نجد $f'(x)$ ومنها نجد النقطة الحرجة بجعل $f'(x) = 0$

3 - نعمل جدول كما في الامثلة السابقة لتحديد M_i, m_i (لاحظ التزايد، التناقص) ومنه نجد

$$U(\sigma, f) \quad , \quad L(\sigma, f)$$

تمارين

اوجد كل من $U(\sigma, f)$ ، $L(\sigma, f)$ لكل مما يأتي :

1. $f : [-2, 1] \rightarrow \mathbb{R}$ ، $f(x) = 3 - x$

a) $\sigma = (-2, 0, 1)$

b) تقسيم الفترة $[-2, 1]$ الى ثلاث فترات جزئية منتظمة

2. $f : [0, 4] \rightarrow \mathbb{R}$ ، $f(x) = 4x - x^2$

$\sigma = (0, 1, 2, 3, 4)$ اذا كان

3. $f : [1, 4] \rightarrow \mathbb{R}$ ، $f(x) = 3x^2 + 2x$

a) $\sigma = (1, 2, 4)$

b) استخدم ثلاث تجزئات متساوية

[4-3] تعريف التكامل .

لاحظت في البند السابق أنه إذا كانت :

$$f : [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$$

دالة مستمرة على الفترة $[a, b]$ فإنه وفقاً للتجزئة σ يكون $U(\sigma, f) \geq L(\sigma, f)$

والآن نسال السؤال الآتي : هل يوجد عدد k بحيث : $L(\sigma, f) \leq k \leq U(\sigma, f)$

لأي تجزئة للفترة $[a, b]$ ؟

والجواب : هو ما تنص عليه المبرهنة التالية :

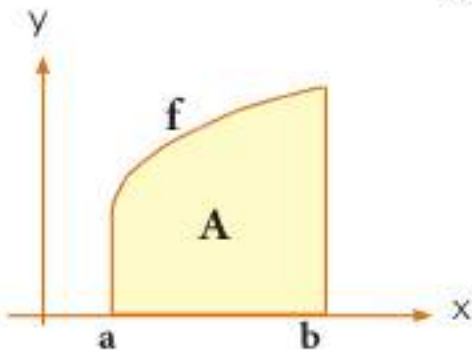
مبرهنة [4-3-1]

إذا كانت : $f : [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$ دالة مستمرة على الفترة $[a, b]$ فإنه يوجد عدد وحيد k بحيث لأي تجزئة σ للفترة $[a, b]$ فإن $L(\sigma, f) \leq k \leq U(\sigma, f)$ نسمي العدد k التكامل المحدد للدالة f على $[a, b]$ ونرمز له $\int_a^b f(x) dx$ ويقرأ التكامل من a إلى b للدالة f ونسمي b, a حدي التكامل

ملاحظات

1. إذا كانت f دالة مستمرة على $[a, b]$ فإن : $L(\sigma, f) \leq \int_a^b f(x) dx \leq U(\sigma, f)$

وتكون القيمة التقريبية للتكامل $\frac{L(\sigma, f) + U(\sigma, f)}{2} = \int_a^b f(x) dx$



2. إذا كانت : $f(x) \geq 0, \forall x \in [a, b]$

فإن $\int_a^b f(x) dx$ يعطي مساحة المنطقة A تحت

منحنى f وهو عدد غير سالب .

حيث dx تشير إلى أن حدي التكامل b, a قيمتان للمتغير x

الشكل (4-19)

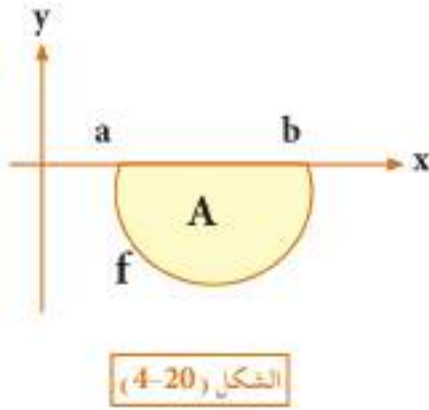
3. إذا كانت $\forall x \in [a, b], f(x) \leq 0$ فإن:

$$\int_a^b f(x) dx \leq 0$$

وهذا لا يدل على المساحة، أما مساحة

المنطقة A الموضحة في الشكل (20-4) فهي تساوي

$$-\int_a^b f(x) dx = \left| \int_a^b f(x) dx \right|$$



4. إن قيمة $\int_a^b f(x) dx$ تتوقف على الفترة $[a, b]$ وعلى الدالة $f(x)$

مثال -1-

لتكن $f: [1, 3] \rightarrow \mathbb{R}$ حيث $f(x) = x^2$

أوجد قيمة تقريبية للتكامل $\int_1^3 x^2 dx$ إذا جزئت الفترة $[1, 3]$ إلى جزئيتين .

$$f(x) = x^2$$

الحل

f دالة مستمرة على الفترة $[1, 3]$ كثيرة حدود.

$$\therefore f'(x) = 2x, \quad f'(x) = 0 \Rightarrow x = 0$$

أي أن النقطة الحرجة عند $x = 0$ وأن $0 \notin [1, 3]$

$$h = \frac{b-a}{n} = \frac{3-1}{2} = \frac{2}{2} = 1$$

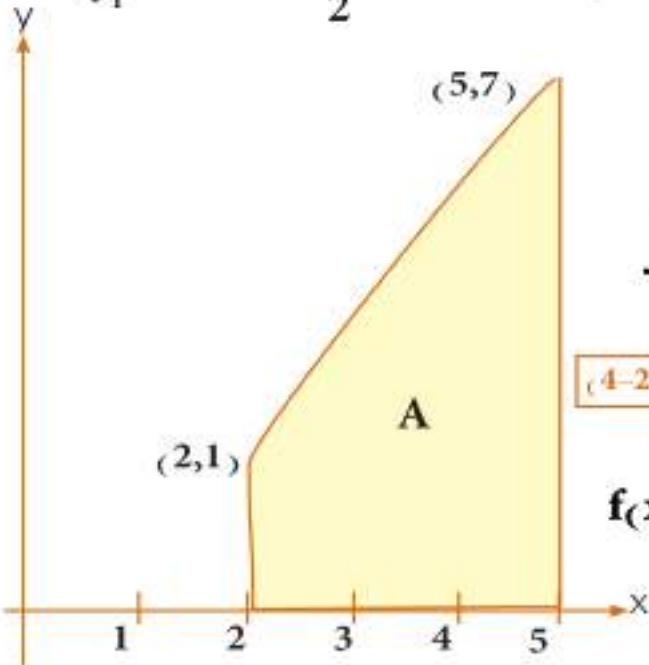
الفترات الجزئية $[a, b]$	طول الفترة $b - a$	h, m_i	h, M_i
$[1, 2]$	1	1	4
$[2, 3]$	1	4	9

∴ أعظم قيمة وأصغر قيمة للدالة تكون عند طرفي كل فترة جزئية أي عند طرفي كل من $[1,2]$ ، $[2,3]$

$$L(\sigma, f) = (1 \times 1) + (1 \times 4) = 1 + 4 = 5$$

$$U(\sigma, f) = (1 \times 4) + (1 \times 9) = 4 + 9 = 13$$

$$\therefore \int_1^3 x^2 dx = \frac{5+13}{2} = 9 \quad \text{تقريباً}$$



لتكن $f : [2,5] \rightarrow \mathbb{R}$ مثال -2-

$$\int_2^5 f(x) dx \quad \text{حيث } f(x) = 2x - 3 \text{ أوجد}$$

الشكل (4-21)

لاحظ ان $f(x) > 0 \quad \forall x \in [2,5]$ الخ

∴ يمكن إيجاد $\int_2^5 f(x) dx$ من مساحة A وهي منطقة شبه منحرف

∴ مساحة المنطقة $A = \frac{1}{2} \times \text{مجموع طولي القاعدتين المتوازيتين} \times \text{طول الارتفاع}$

$$\therefore A = \frac{1}{2} [1+7](3) = \frac{1}{2} (8)(3) = 12 \text{ Unit}^2$$

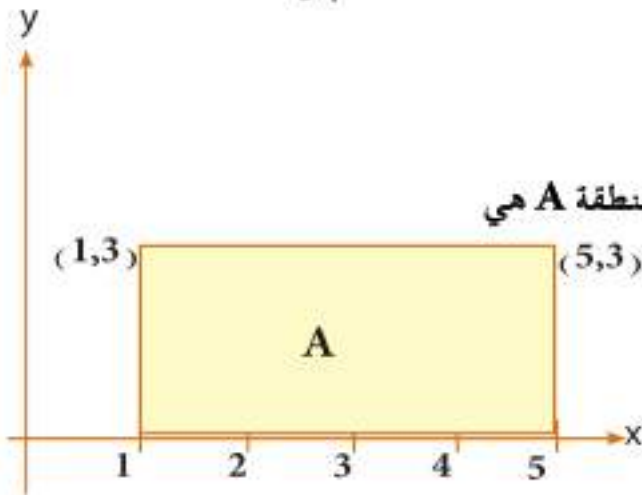
$$\therefore \int_2^5 f(x) dx = 12$$

أو يمكن إيجاد $\int_2^5 f(x) dx$ بالطريقة السابقة وكما يأتي:

فترة التجزئة [a,b]	طول الفترة $h_i = b - a$	M_i	m_i	$h_i M_i$	$h_i m_i$
[2,3]	1	3	1	3	1
[3,5]	2	7	3	14	6
				$\sum h_i M_i = 17$	$\sum h_i m_i = 7$

$$\int_2^5 (2x-3) dx = \frac{17+7}{2} = \frac{24}{2} = 12 \text{ Unit}^2$$

لكن $f: [1,5] \rightarrow \mathbb{R}$, $f(x) = 3$ أوجد $\int_1^5 f(x)dx$



من الشكل (22 - 4) نلاحظ ان المنطقة A هي

الحل

منطقة مستطيلة طول قاعدتها =

$$4 = (5 - 1) \text{ وعرضها } 3 =$$

$$\therefore A = (4)(3) = 12 \text{ unit}^2$$

الشكل (22-4)

$$\therefore \int_1^5 f(x)dx = 12 \text{ unit}^2$$

طريقة ثانية:

فترة التجزئة [a,b]	طول الفترة $h_i = b - a$	M_i	m_i	$h_i m_i$	$h_i M_i$
[1,3]	2	3	3	6	6
[3,5]	2	3	3	6	6
				$\sum h_i m_i = 12$	$\sum h_i M_i = 12$

$$L(\sigma, f) = \sum h_i m_i = 12, \quad U(\sigma, f) = \sum h_i M_i = 12$$

$$\int_1^5 3dx = \frac{12+12}{2} = \frac{24}{2} = 12 \text{ Unit}^2$$

تمارين

1. أوجد قيمة تقريبية للتكامل $\int_1^3 \frac{3}{x} dx$ باستخدام التجزئة $\sigma = (1, 2, 3)$.

2. لتكن $f : [1, 4] \rightarrow \mathbb{R}$ ، $f(x) = 3x - 3$

أوجد قيمة التكامل $\int_1^4 f(x) dx$ باستخدام التجزئة $\sigma = (1, 2, 3, 4)$ ثم تحقق هندسياً بحساب مساحة المنطقة تحت منحنى f .

3. أوجد قيمة تقريبية للتكامل $\int_2^4 (3x^2 - 3) dx$ باستخدام التجزئة $\sigma = (2, 3, 4)$.

4. أوجد قيمة التكامل $\int_{-3}^2 f(x) dx$ حيث $f(x) = -4$

5. أوجد قيمة تقريبية للتكامل $\int_1^5 x^3 dx$ باستخدام أربعة تجزئات منتظمة.

[4-4] النظرية الأساسية للتكامل - الدالة المقابلة:

لقد تعلمنا فيما سبق طريقة إيجاد قيمة للتكامل المحدد $\int_a^b f(x)dx$ حيث f دالة مستمرة على الفترة المغلقة $[a,b]$ كما وجدنا في بعض الحالات الخاصة قيمة دقيقة لهذا التكامل المحدد (باستخدام المساحة).

والمبرهنة الآتية تساعدنا في إيجاد قيمة التكامل المحدد .

مبرهنة [4-4-1]

إذا كانت f دالة مستمرة على الفترة $[a,b]$ فإنه توجد دالة F مستمرة على الفترة $[a,b]$ بحيث :

$$F'(x) = f(x) \quad , \quad \forall x \in (a,b)$$

$$\int_a^b f(x)dx = F(b) - F(a) \quad \text{ويكون}$$

تسمى F الدالة المقابلة للدالة f (**Antiderivative of The Function**) على الفترة $[a,b]$

$$f : [1,2] \rightarrow \mathbb{R} \quad , \quad f(x) = 2x \quad \text{فمثلاً : إذا كانت}$$

$$F : [1,2] \rightarrow \mathbb{R} \quad , \quad F(x) = x^2 \quad \text{فإن}$$

$$F'(x) = 2x = f(x) \quad , \quad \forall x \in (1,2)$$

وعليه فإن :

$$\int_1^2 f(x)dx = F(2) - F(1)$$

$$= 4 - 1 = 3$$

$$[F(x)]_1^2$$

$F(2) - F(1)$ تكتب بالصورة

نشير إلى أن

ملاحظة

مثال - 1 -

إذا كانت $f(x)$ دالة مستمرة على الفترة $[1,5]$ بحيث $F(x) = 3x^2$ دالة مقابلة للدالة f فجد $\int_1^5 f(x) dx$.

الحل

$$\int_1^5 f(x) dx = F(5) - F(1) = 3(25) - 3(1) = 75 - 3 = 72$$

ويمكن ان نكتب ذلك بالصورة الآتية :

$$\int_1^5 f(x) dx = [F(x)]_1^5 = [3x^2]_1^5 = 75 - 3 = 72$$

مثال - 2 -

إذا كانت f دالة مستمرة على الفترة $[0, \frac{\pi}{2}]$ وإن الدالة المقابلة للدالة f هي :

$$F(x) = \sin x, \quad F : [0, \frac{\pi}{2}] \rightarrow \mathbb{R}$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} f(x) dx \text{ فأوجد :}$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} f(x) dx = [F(x)]_0^{\frac{\pi}{2}} = F\left(\frac{\pi}{2}\right) - F(0) = \sin \frac{\pi}{2} - \sin 0 = 1 - 0 = 1$$

الحل

مثال - 3 -

أثبت فيما إذا كانت $F(x) = x^3 + 2$ ، $F : [1,3] \rightarrow \mathbb{R}$

هي دالة مقابلة للدالة : $f(x) = 3x^2$

الحل

∴ $F(x) = x^3 + 2$ دالة مستمرة وقابلة للاشتقاق على \mathbb{R}

(لأنها دالة كثيرة الحدود)

∴ F مستمرة على $[1,3]$ وقابلة للاشتقاق على $(1,3)$.

$$\therefore F'(x) = 3x^2 = f(x), \quad \forall x \in (1,3)$$

∴ F هي دالة مقابلة للدالة f على $[1,3]$.

أثبت أن الدالة : $F(x) = \frac{1}{2} \sin 2x$ ، $F : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ هي دالة مقابلة للدالة

$$f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} , f(x) = \cos 2x$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \cos 2x \, dx \text{ ثم اوجد}$$

الحل

$$f(x) = \cos 2x , f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

هي دالة مستمرة وقابلة للاشتقاق على \mathbb{R} كما تعلمنا في الصف الخامس العلمي كذلك فان :

$$F(x) = \frac{1}{2} \sin 2x$$

هي دالة مستمرة وقابلة للاشتقاق على \mathbb{R}

$$\therefore F'(x) = \frac{1}{2} (\cos 2x)(2) = \cos 2x = f(x) , \forall x \in \mathbb{R}$$

$\therefore F$ هي دالة مقابلة للدالة f .

$$\therefore \int_a^b f(x) \, dx = F(b) - F(a)$$

حسب المبرهنة (2-4)

$$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \cos 2x \, dx = \left[\frac{1}{2} \sin 2x \right]_{x=0}^{x=\frac{\pi}{4}} = \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \sin 0 = \frac{1}{2} \times 1 - 0 = \frac{1}{2}.$$

وفي ما يلي جدول مساعد يبين الدالة f والدالة المقابلة لها F في حالات خاصة . وبإمكانك عزيزي الطالب أن تتحقق من صحة ذلك بإثبات أن :

$$F'(x) = f(x)$$

وفيما يلي جدول مساعد يبين الدالة f والدالة المقابلة لها F

الدالة $f(x)$	الدالة المقابلة لها $F(x)$
a	ax
x^n , $n \neq -1$	$\frac{x^{n+1}}{n+1}$
ax^n , $n \neq -1$	$\frac{ax^{n+1}}{n+1}$
$[f(x)]^n \cdot f'(x)$, $n \neq -1$	$\frac{[f(x)]^{n+1}}{n+1}$
$\sin(ax+b)$	$-\frac{1}{a} \cos(ax+b)$
$\cos(ax+b)$	$\frac{1}{a} \sin(ax+b)$
$\sec^2(ax+b)$	$\frac{1}{a} \tan(ax+b)$
$\csc^2(ax+b)$	$-\frac{1}{a} \cot(ax+b)$
$\sec ax \tan ax$	$\frac{1}{a} \sec ax$
$\csc ax \cot ax$	$-\frac{1}{a} \csc ax$

مجموعة الدوال المقابلة لاية دالة f كما في الجدول هي $F + C$ حيث C عدد ثابت حقيقي

$$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \sec^2 x \, dx \quad \text{أوجد}$$

مثال - 5

$$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \sec^2 x \, dx = [\tan x]_0^{\frac{\pi}{4}} = \tan \frac{\pi}{4} - \tan 0 = 1 - 0 = 1$$

الحل

$$\int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} \csc^2 x \, dx \quad \text{أوجد}$$

مثال - 6

$$\int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} \csc^2 x \, dx = [-\cot x]_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} = -\cot \frac{\pi}{2} + \cot \frac{\pi}{4} = 0 + 1 = 1$$

الحل

$$\int_0^{\frac{\pi}{3}} \sec x \tan x \, dx \quad \text{أوجد}$$

مثال - 7

$$\int_0^{\frac{\pi}{3}} \sec x \tan x \, dx = [\sec x]_0^{\frac{\pi}{3}} = \sec \frac{\pi}{3} - \sec 0 = 2 - 1 = 1$$

الحل

$$\int_1^3 x^3 \, dx \quad \text{جد}$$

مثال - 8

$$\int_1^3 x^3 \, dx = \left[\frac{x^4}{4} \right]_1^3 = \frac{3^4}{4} - \frac{1}{4} = \frac{81}{4} - \frac{1}{4} = \frac{80}{4} = 20$$

الحل

[4-5] خواص التكامل المحدد:

أولاً:

1. f دالة مستمرة على $[a, b]$ فإذا كانت :

$$\int_a^b f(x) dx \geq 0 \text{ فإن } f(x) \geq 0, \forall x \in [a, b]$$

فمثلاً :

a) $f(x) = x^2 \geq 0, \forall x \in [-1, 2]$ لأن $\int_{-1}^2 x^2 dx \geq 0$

b) $f(x) = 3 > 0, \forall x \in [-2, 3]$ لأن $\int_{-2}^3 3 dx > 0$

c) $f(x) = (x+1) > 0, \forall x \in [2, 3]$ لأن $\int_2^3 (x+1) dx > 0$

2. f دالة مستمرة على $[a, b]$ فإذا كانت: $f(x) \leq 0, \forall x \in [a, b]$ فإن $\int_a^b f(x) dx \leq 0$

فمثلاً:

a) $f(x) = -2, f(x) < 0, \forall x \in [1, 2]$ لأن $\int_1^2 (-2) dx < 0$

b) $f(x) = x, f(x) < 0, \forall x \in [-2, -1]$ لأن $\int_{-2}^{-1} x dx < 0$

ثانياً:

$\int_a^b c \cdot f(x) dx = c \int_a^b f(x) dx$: c عدداً حقيقياً ثابتاً فإن f دالة مستمرة على $[a, b]$ ،

مثال - 9

إذا كان $\int_2^5 f(x) dx = 8$ فأوجد $\int_2^5 5f(x) dx$.

الحل

$$\int_2^5 5f(x) dx = 5 \int_2^5 f(x) dx = 5(8) = 40$$

ثالثاً:

إذا كانت الدالتان f_1, f_2 مستمرتين على الفترة $[a, b]$ فإن: $\int_a^b (f_1 + f_2) = \int_a^b f_1 + \int_a^b f_2$

ويمكننا تعميم هذه الخاصية على مجموع أي عدد محدد من الدوال المستمرة على $[a, b]$

مثال - 10 - إذا كانت $\int_1^3 f_1(x) dx = 15$ ، $\int_1^3 f_2(x) dx = 17$ فأوجد كلاً من:

$$\int_1^3 (f_1(x) + f_2(x)) dx \text{ ، } \int_1^3 (f_1(x) - f_2(x)) dx$$

الحل

$$\int_1^3 (f_1(x) + f_2(x)) dx = \int_1^3 f_1(x) dx + \int_1^3 f_2(x) dx = 15 + 17 = 32$$

$$\int_1^3 (f_1(x) - f_2(x)) dx = \int_1^3 f_1(x) dx - \int_1^3 f_2(x) dx = 15 - 17 = -2$$

مثال - 11 - إذا كانت $f(x) = 3x^2 + 2x$ فأوجد $\int_1^2 f(x) dx$

الحل

$$\begin{aligned} \int_1^2 f(x) dx &= \int_1^2 (3x^2 + 2x) dx = \int_1^2 3x^2 dx + \int_1^2 2x dx \\ &= [x^3]_1^2 + [x^2]_1^2 = (8 - 1) + (4 - 1) = 7 + 3 = 10 \end{aligned}$$

رابعاً:

إذا كانت $f(x)$ دالة مستمرة على الفترة $[a, b]$ وكانت $c \in (a, b)$ فإن:

$$\int_a^b f(x) dx = \int_a^c f(x) dx + \int_c^b f(x) dx$$

مثال - 12 - إذا كانت $\int_1^3 f(x) dx = 5$ ، $\int_3^7 f(x) dx = 8$ فأوجد $\int_1^7 f(x) dx$

الحل

$$\int_1^7 f(x) dx = \int_1^3 f(x) dx + \int_3^7 f(x) dx = 5 + 8 = 13$$

مثال - 13

لتكن $f(x) = |x|$ اوجد $\int_{-3}^4 f(x) dx$

الحل

f دالة مستمرة على $[-3, 4]$ ولها قاعدتان هما :

$$f(x) = \begin{cases} x, & \forall x \geq 0 \\ -x, & \forall x < 0 \end{cases}$$

$$\therefore \int_{-3}^4 f(x) dx = \int_{-3}^0 (-x) dx + \int_0^4 x dx = \left[\frac{-x^2}{2} \right]_{-3}^0 + \left[\frac{x^2}{2} \right]_0^4$$

$$= \left[0 + \frac{9}{2} \right] + \left[\frac{16}{2} - 0 \right] = \frac{9}{2} + \frac{16}{2} = \frac{25}{2}$$

فأوجد $f(x) = \begin{cases} 2x+1, & \forall x \geq 1 \\ 3, & \forall x < 1 \end{cases}$

مثال - 14

إذا كانت :

$$\int_0^5 f(x) dx$$

الحل

f مستمرة على الفترة $[0, 5]$ وذلك لأنها :

مستمرة عند $x = 1$ لأن :

(i) معرفة $f(1) = 2(1) + 1 = 3$

(ii) $\lim_{x \rightarrow 1} f(x) = \begin{cases} \lim_{x \rightarrow 1^+} (2x+1) = 3 = L_1 \\ \lim_{x \rightarrow 1^-} 3 = 3 = L_2 \end{cases}$

$$\therefore L_1 = L_2$$

$$\therefore \lim_{x \rightarrow 1} f(x) = 3 \text{ موجودة} \Rightarrow \lim_{x \rightarrow 1} f(x) = f(1)$$

كذلك الدالة مستمرة على كل من $\{x : x > 1\}$ ، $\{x : x < 1\}$. وبما ان الدالة مستمرة على $[0,5]$

$$\begin{aligned} \therefore \int_0^5 f(x) dx &= \int_0^1 f(x) dx + \int_1^5 f(x) dx \\ &= \int_0^1 3 dx + \int_1^5 (2x+1) dx = [3x]_0^1 + [x^2 + x]_1^5 \\ &= [3-0] + [25+5] - [2] = 3+28 = 31 \end{aligned}$$

$$\text{a) } \int_a^a f(x) dx = 0 \quad \text{b) } \int_a^b f(x) dx = -\int_b^a f(x) dx$$

خامساً:

مثلاً:

$$\text{a) } \int_3^3 x dx \Rightarrow \left[\frac{x^2}{2} \right]_3^3 = \frac{9}{2} - \frac{9}{2} = 0$$

او اختصاراً وحسب القاعدة

$$\int_3^3 x dx = 0$$

$$\begin{aligned} \text{b) } \int_3^2 3x^2 dx &= -\int_2^3 3x^2 dx \\ &= -[x^3]_2^3 \\ &= -[27] + [8] = -19 \end{aligned}$$

تمارين

1. احسب كلاً من التكاملات الآتية:
- a) $\int_{-2}^2 (3x-2)dx$ b) $\int_1^2 (x^{-2} + 2x+1)dx$
- c) $\int_1^3 (x^4 + 4x)dx$ d) $\int_0^2 |x-1|dx$
- e) $\int_{-\frac{\pi}{2}}^0 (x+\cos x)dx$ f) $\int_3^2 \frac{x^3-1}{x-1} dx$ g) $\int_1^3 \frac{2x^3-4x^2+5}{x^2} dx$

2. أثبت أن $F(x)$ هي دالة مقابلة للدالة $f(x)$ حيث

$$F(x) = \sin x + x \quad \text{حيث } F : [0, \frac{\pi}{6}] \rightarrow \mathbb{R}$$

$$f(x) = 1 + \cos x \quad \text{حيث } f : [0, \frac{\pi}{6}] \rightarrow \mathbb{R} \quad \text{ثم احسب } \int_0^{\frac{\pi}{6}} f(x)dx$$

3. أوجد كلاً من التكاملات الآتية:

- a) $\int_1^4 (x-2)(x+1)^2 dx$ b) $\int_{-1}^1 |x+1| dx$
- c) $\int_2^3 \frac{x^4-1}{x-1} dx$ d) $\int_0^1 \sqrt{x}(\sqrt{x}+2)^2 dx$

4. إذا كانت $\int_1^4 f(x)dx$ جد $f(x) = \begin{cases} 2x, & \forall x \geq 3 \\ 6, & \forall x < 3 \end{cases}$

5. إذا كانت $\int_{-1}^3 f(x)dx$ جد $f(x) = \begin{cases} 3x^2, & \forall x \geq 0 \\ 2x, & \forall x < 0 \end{cases}$

Indefinite Integral : [4-6] التكامل غير المحدد :

عرفنا في النظرية الاساسية للتكامل أنه إذا كانت f دالة مستمرة على الفترة $[a, b]$ فإنه توجد دالة
مقابلة F مستمرة على $[a, b]$ بحيث أن: $F'(x) = f(x)$, $\forall x \in (a, b)$:
فمثلاً :

• $f(x) = 2x$ هي دالة مقابلة للدالة $F(x) = x^2$ ، $F : [1, 3] \rightarrow \mathbb{R}$ ،
ولكن هل $F(x) = x^2$ دالة مقابلة وحيدة للدالة $F'(x) = 2x$ ؟
وقبل الاجابة عن هذا السؤال نتأمل الدوال الآتية :

- 1) $F_1 : [1, 3] \rightarrow \mathbb{R}$, $F_1(x) = x^2 + 1$
- 2) $F_2 : [1, 3] \rightarrow \mathbb{R}$, $F_2(x) = x^2 + \frac{1}{2}$
- 3) $F_3 : [1, 3] \rightarrow \mathbb{R}$, $F_3(x) = x^2 - \sqrt{2}$
- 4) $F_4 : [1, 3] \rightarrow \mathbb{R}$, $F_4(x) = x^2 - 5$

اننا نلاحظ أن كلاً من F_1, F_2, F_3, F_4 لها صفات F نفسها أي أن كلاً منها :

- (i) مستمرة على $[1, 3]$
- (ii) قابلة للاشتقاق على $(1, 3)$
- (iii) $F_1'(x) = F_2'(x) = F_3'(x) = F_4'(x) = 2x$, $\forall x \in (1, 3)$

وبناءً على ذلك يمكن القول بان كلاً من: F_1, F_2, F_3, F_4 دالة مقابلة الى f .

أي انه توجد اكثر من دالة مقابلة للدالة المستمرة على $[1, 3]$ والفرق بين أي دالتين مقابلتين للدالة f
يساوي عدداً ثابتاً لاحظ أن :

$$F_1(x) - F_2(x) = (x^2 + 1) - (x^2 + \frac{1}{2}) = \frac{1}{2}$$

$$F_1(x) - F_4(x) = (x^2 + 1) - (x^2 - 5) = 6 \quad \text{وهكذا}$$

وبصورة عامة

إذا كانت للدالة f المستمرة على $[a, b]$ دالة مقابلة F فإن يوجد عدد لانهايتي من الدوال المقابلة للدالة f ، كل منها تكون من الصورة: $F + C$ حيث C عدداً ثابتاً والفرق بين أي إثنين منها يساوي عدداً ثابتاً.

تسمى مجموعة الدوال المقابلة التي على الصورة $F + C$ بالتكامل غير المحدد للدالة f المستمرة على $[a, b]$ ويرمز لها بالرمز $\int f(x)dx$ إذا كان رمز المتغير x . كما يصطلح على كتابة التكامل غير المحدد على الصورة:

$$\int f(x)dx = F(x) + C, C \in \mathbb{R}$$

عدد ثابت $C \in \mathbb{R}$

مثال - 1 أوجد $\int f(x)dx$ إذا علمت أن:

- a) $f(x) = 3x^2 + 2x + 1$
 b) $f(x) = \cos x + x^{-2}$
 c) $f(x) = x + \sec x \tan x$
 d) $f(x) = \sin(2x + 4)$

الحل

$$a) \int (3x^2 + 2x + 1)dx = \frac{3x^3}{3} + \frac{2x^2}{2} + x + c = x^3 + x^2 + x + c$$

$$b) \int (\cos x + x^{-2})dx = \sin x + \frac{x^{-1}}{-1} + c = \sin x - \frac{1}{x} + c$$

$$c) \int (x + \sec x \tan x)dx = \frac{x^2}{2} + \sec x + c$$

$$d) \int \sin(2x + 4)dx = -\frac{1}{2} \cos(2x + 4) + c$$

جد التكاملات لكل مما يأتي :

a. $\int (x^2 + 3)^2 (2x) dx$

$$f(x) = x^2 + 3$$

$$\therefore f'(x) = 2x$$

لنفرض أن

الحل

$$\begin{aligned} \int (x^2 + 3)^2 (2x) dx &= \int [f(x)]^2 f'(x) dx = \frac{1}{3} [f(x)]^3 + c \\ &= \frac{1}{3} (x^2 + 3)^3 + c \end{aligned}$$

b. $\int (3x^2 + 8x + 5)^6 (3x + 4) dx$

$$f(x) = 3x^2 + 8x + 5 \Rightarrow f'(x) = 6x + 8$$

نفرض أن :

$$\therefore \int (3x^2 + 8x + 5)^6 (3x + 4) dx = \frac{1}{2} \int (3x^2 + 8x + 5)^6 (6x + 8) dx$$

$$\frac{1}{2} \int [f(x)]^6 f'(x) dx = \frac{1}{2} \times \frac{[f(x)]^7}{7} + c = \frac{1}{14} (3x^2 + 8x + 5)^7 + c$$

c. $\int \sin^4 x \cos x dx$

$$f(x) = \sin x \Rightarrow f'(x) = \cos x$$

نفرض أن :

$$\therefore \int \sin^4 x \cos x dx = \int [f(x)]^4 \cdot f'(x) dx = \frac{[f(x)]^5}{5} + c = \frac{1}{5} \sin^5 x + c$$

d. $\int \tan^6 x \sec^2 x dx$

$$f(x) = \tan x \Rightarrow f'(x) = \sec^2 x$$

نفرض أن :

$$\therefore \int \tan^6 x \sec^2 x dx = \int [f(x)]^6 f'(x) dx = \frac{[f(x)]^7}{7} + c = \frac{1}{7} \tan^7 x + c$$

[4-6-1] تكامل الدوال المثلثية التربيعية

$$1. \int \sec^2 \theta \, d\theta = \tan \theta + c$$

$$2. \int \csc^2 \theta \, d\theta = -\cot \theta + c$$

$$3. \int \tan^2 \theta \, d\theta = \int (\sec^2 \theta - 1) d\theta = \int \sec^2 \theta \, d\theta - \int d\theta = \tan \theta - \theta + c$$

$$4. \int \cot^2 \theta \, d\theta = \int (\csc^2 \theta - 1) d\theta = -\cot \theta - \theta + c$$

$$5. \int \sin^2 \theta \, d\theta = \int \frac{1 - \cos 2\theta}{2} d\theta = \frac{1}{2} \int d\theta - \frac{1}{4} \int \cos 2\theta (2) d\theta$$

$$= \frac{1}{2} \theta - \frac{1}{4} \sin 2\theta + c$$

$$6. \int \cos^2 \theta \, d\theta = \int \frac{1 + \cos 2\theta}{2} d\theta = \frac{1}{2} \theta + \frac{1}{4} \sin 2\theta + c$$

أمثلة

جد تكاملات كل مما يأتي :

$$1. \int 9 \sin 3x \, dx = 3 \int 3 \sin 3x \, dx = -3 \cos 3x + c$$

$$2. \int x^2 \sin x^3 \, dx = \frac{1}{3} \int 3x^2 \sin x^3 \, dx = -\frac{1}{3} \cos x^3 + c$$

$$3. \int \sqrt{1 - \sin 2x} \, dx = \int \sqrt{\sin^2 x - 2 \sin x \cos x + \cos^2 x} \, dx = \int \sqrt{(\sin x - \cos x)^2} \, dx$$

$$= \pm \int (\sin x - \cos x) \, dx = \pm (\cos x + \sin x) + c$$

$$4. \int \sin^4 x \, dx = \int \frac{(1 - \cos 2x)^2}{4} \, dx = \frac{1}{4} \int dx - \frac{1}{4} \int 2 \cos 2x \, dx + \frac{1}{4} \int \cos^2 2x \, dx$$

$$= \frac{1}{4} \int dx - \frac{1}{4} \int 2 \cos 2x \, dx + \frac{1}{8} \int dx + \frac{1}{32} \int 4 \cos 4x \, dx$$

$$= \frac{1}{4} x - \frac{1}{4} \sin 2x + \frac{1}{8} x + \frac{1}{32} \sin 4x + c = \frac{3}{8} x - \frac{1}{4} \sin 2x + \frac{1}{32} \sin 4x + c$$

$$5. \int (\sin x - \cos x)^7 (\cos x + \sin x) dx = \frac{(\sin x - \cos x)^8}{8} + c$$

$$6. \int \frac{1 + \tan^2 x}{\tan^3 x} dx = \int \tan^{-3} x \sec^2 x dx = \frac{\tan^{-2} x}{-2} + c = \frac{-1}{2 \tan^2 x} + c$$

$$7. \int \cos^3 x dx = \int \cos x (1 - \sin^2 x) dx = \int \cos x dx - \int \sin^2 x \cos x dx \\ = \sin x - \frac{\sin^3 x}{3} + c$$

$$8. \int \frac{\tan x}{\cos^2 x} dx = \int \tan x \sec^2 x dx = \frac{\tan^2 x}{2} + c$$

$$9. \int \sin 6x \cos^2 3x dx = \int (2 \sin 3x \cos 3x) \cos^2 3x dx = 2 \int \cos^3 3x \sin 3x dx \\ = \frac{-2}{3} \times \frac{\cos^4 3x}{4} + c = -\frac{1}{6} \cos^4 3x + c$$

$$10. \int \frac{\cos 4x}{\cos 2x - \sin 2x} dx = \int \frac{\cos^2 2x - \sin^2 2x}{\cos 2x - \sin 2x} dx \\ = \int \frac{(\cos 2x - \sin 2x)(\cos 2x + \sin 2x)}{\cos 2x - \sin 2x} dx \\ = \int (\cos 2x + \sin 2x) dx = \frac{1}{2} \sin 2x - \frac{1}{2} \cos 2x + c$$

$$11. \int \sin^2 3x dx = \frac{1}{2} \times -\frac{1}{12} \sin 6x + c$$

$$12. \int \cot^2 5x dx = -\frac{1}{5} \cot 5x - x + c$$

$$13. \int \tan^2 7x dx = \frac{1}{7} \tan 7x - x + c$$

تمارين

جد تكاملات كل مما يلي ضمن مجال الدالة :

$$1. \int \frac{(2x^2 - 3)^2 - 9}{x^2} dx$$

$$3. \int \frac{\cos^3 x}{1 - \sin x} dx$$

$$5. \int \frac{x}{(3x^2 + 5)^4} dx$$

$$7. \int \sin^3 x dx$$

$$9. \int (3x^2 + 1)^2 dx$$

$$11. \int (1 + \cos 3x)^2 dx$$

$$13. \int \csc^2 2x dx$$

$$15. \int \frac{\sqrt{\cot 2x}}{1 - \cos^2 2x} dx$$

$$17. \int \sin^2 8x dx$$

$$2. \int \frac{(3 - \sqrt{5x})^7}{\sqrt{7x}} dx$$

$$4. \int \csc^2 x \cos x dx$$

$$6. \int \sqrt[3]{x^2 + 10x + 25} dx$$

$$8. \int \frac{\cos \sqrt{1-x}}{\sqrt{1-x}} dx$$

$$10. \int \frac{\sqrt{\sqrt{x} - x}}{\sqrt[4]{x^3}} dx$$

$$12. \int \sec^2 4x dx$$

$$14. \int \tan^2 8x dx$$

$$16. \int \cos^2 2x dx$$

$$18. \int \cos^4 3x dx$$

The Natural Logarithmic [4-7] اللوغارتم الطبيعي

درسنا دوالاً مألوفة نوعاً ما . فكثيرات الحدود والدوال النسبية وغيرها من الدوال الجبرية تنتج عن عمليات مألوفة في الحساب والجبر ، ويمكن مطابقة قيم الدوال المثلثية باحداثيات نقط على دائرة الوحدة . اما الان فندرس دالة اللوغارتم الطبيعي التي تعتمد على حساب التفاضل والتكامل حتى في تعريفها .

تعريف [4-7-1]

يُعرّف لوغارتم x الطبيعي ، ويرمز له بـ $(\ln x)$ بأنه :

$$\ln x = \int_1^x \frac{1}{t} dt \quad ; \quad \forall x > 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$



يمثل هذا التكامل لكل x اكبر من 1 ، المساحة المحدودة من الاعلى بالمنحني $y = \frac{1}{t}$ ومن الاسفل باخوار t ،

ومن اليسار بالمستقيم $t = 1$ ومن اليمين بالمستقيم $t = x$

اي اذا كان $x = 1$ ، تطابق الحدان الايمن واليسر للمساحة واصبحت المساحة صفراً .

$$\ln 1 = \int_1^1 \frac{1}{t} dt = 0 \quad \left(\int_a^a f(x) dx = 0 \right)$$

اما اذا كانت x اصغر من 1 واكبر من الصفر فعندئذ يكون الحد اليسر هو المستقيم $t = x$ ، والحد الايمن هو $t = 1$ وفي هذه الحالة يكون التكامل :

$$\ln x = \int_1^x \frac{1}{t} dt = - \int_x^1 \frac{1}{t} dt$$

مساويا للقيمة السالبة للمساحة تحت المنحني بين x و 1 .

* ينسب اول اكتشاف اللوغارتم الطبيعي الى النيبيل الاسكتلندي John Napier (1550 - 1617)

وفي كل الحالات ، x عدداً موجباً ، فإنه يمكن حساب قيمة التكامل المحدد في المعادلة (1) الى اي عدد نرغب فيه من الارقام العشرية كما مر بنا في حساب المساحة تحت المنحني بالتقريب .
وبما ان الدالة $F(x) = \ln x$ معرفة بالتكامل

$$F(x) = \int_1^x \frac{1}{t} dt , \quad \forall x > 0$$

فانه من المبرهنة الاساسية لحساب التكامل في البند (4-4) نعلم ان : $F'(x) = \frac{1}{x}$

$$\boxed{\frac{d}{dx}(\ln x) = \frac{1}{x}} \quad \text{اي ان :}$$

كما يمكننا الحصول على صيغة أعم عندما يكون لدينا $\ln u$ حيث u دالة موجبة قابلة للاشتقاق بالنسبة لـ x

فقاعدة السلسلة للمشتقات (Chain Rule) تعطينا :

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx}(\ln u) &= \frac{d(\ln u)}{du} \cdot \frac{du}{dx} \\ \therefore \frac{d}{dx}(\ln u) &= \frac{1}{u} \frac{du}{dx} \Rightarrow d(\ln u) = \frac{1}{u} du \end{aligned}$$

مثال - 1 - إذا كان $y = \ln(3x^2 + 4)$ فاوجد $\frac{dy}{dx}$

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= \frac{1}{3x^2 + 4} \cdot \frac{d(3x^2 + 4)}{dx} \\ &= \frac{6x}{3x^2 + 4} \end{aligned}$$

الحل

ان الصيغة $d(\ln u) = \frac{1}{u} du$ تقودنا الى $\int \frac{du}{u} = \ln u + c$ وبشرط ان تكون u موجبة

$$\int \frac{\cos \theta d\theta}{1 + \sin \theta} \quad \text{جد مثال - 2}$$

الحل
نفرض

$$u = 1 + \sin \theta$$

$$\frac{du}{d\theta} = \cos \theta \Rightarrow du = \cos \theta d\theta$$

$$\begin{aligned} \therefore \int \frac{\cos \theta d\theta}{1 + \sin \theta} &= \int \frac{du}{u} = \ln|u| + c \\ &= \ln|1 + \sin \theta| + c \end{aligned}$$

[4-7-2] دالة اللوغارتم الطبيعي.

$$y = \ln x$$

لتكن

$$\{(x, y) : y = \ln x, x > 0\}$$

لو ابدلنا x و y في مجموعة الأزواج المرتبة:

$$\begin{aligned} x &= \ln^{-1}(y) \quad , \quad y > 0, \quad x \in \mathbb{R} \\ x &= e^y \end{aligned}$$

لحصلنا على دالة ترمز لها

ويكون مجال $\ln^{-1}(y)$ هو مدى $\ln(x)$

نتيجة: الدالة الأسية e^x (أساس e) هي عكس دالة اللوغارتم الطبيعي ونستنتج جميع خواصها من هذه الحقيقة.

مبرهنة [4-7-3]

$$\frac{d}{dx}(e^x) = e^x$$

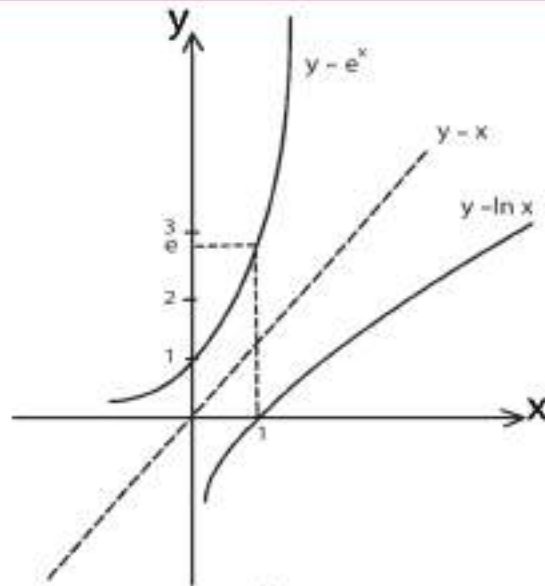
$$y = e^x$$

$$\therefore x = \ln y \Rightarrow$$

$$1 = \frac{1}{y} \cdot \frac{dy}{dx} \Rightarrow$$

$$\frac{dy}{dx} = y = e^x$$

$$\frac{d}{dx}(e^u) = e^u \cdot \frac{du}{dx}$$



البرهان

لتكن

وبصورة عامة

$$\frac{dy}{dx} \text{ فجد } y = e^{\tan x}$$

لتكن

مثال - 3 -

$$\frac{d(e^{\tan x})}{dx} = e^{\tan x} \cdot \frac{d(\tan x)}{dx} \Rightarrow \frac{dy}{dx} = e^{\tan x} \cdot \sec^2 x$$

الحل

ملاحظة

ان صيغة التفاضل $d(e^u) = e^u \frac{du}{dx}$ تقودنا الى صيغة التكامل : $\int e^u du = e^u + c$

$$\int x e^{x^2} dx \text{ جد}$$

مثال - 4 -

$$x^2 = u \Rightarrow 2x dx = du$$

نفرض ان :

$$\therefore \int e^{x^2} x dx = \frac{1}{2} \int e^u du = \frac{1}{2} e^u + c = \frac{1}{2} e^{x^2} + c$$

الحل

تعريف [4-7-4]

اذا كان a عددا موجياً ، فان $a^u = e^{u \ln a}$

مبرهنة [4-7-5]

$$\frac{da^u}{dx} = a^u \cdot \frac{du}{dx} \ln a$$

$$\frac{da^u}{dx} = \frac{d}{dx} (e^{u \ln a})$$

البرهان :

$$= e^{u \ln a} \cdot \frac{d}{dx} (u \ln a)$$

$$\therefore \frac{da^u}{dx} = a^u \cdot \frac{du}{dx} \cdot \ln a$$

جد $\frac{dy}{dx}$ لكل مما يأتي :

مثال - 5

a) $y = 3^{2x-5}$ b) $y = 2^{-x^2}$ c) $y = 5^{\sin x}$

الحل

$$\begin{aligned} \text{a) } y = 3^{2x-5} &\Rightarrow \frac{dy}{dx} = 3^{2x-5} (2) \cdot \ln 3 \\ &= (2 \ln 3) 3^{2x-5} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } y = 2^{-x^2} &\Rightarrow \frac{dy}{dx} = 2^{-x^2} (-2x) \cdot \ln 2 \\ &= (-2x \ln 2)(2^{-x^2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } y = 5^{\sin x} &\Rightarrow \frac{dy}{dx} = 5^{\sin x} \cdot \cos x (\ln 5) \\ &= (\ln 5) \cdot 5^{\sin x} \cdot \cos x \end{aligned}$$

تمارين

- 1 - جد $\frac{dy}{dx}$ لكل مما يأتي :
- a) $y = \ln 3x$ b) $y = \ln\left(\frac{x}{2}\right)$
- c) $y = \ln(x^2)$ d) $y = (\ln x)^2$
- e) $y = \ln\left(\frac{1}{x}\right)^3$ f) $y = \ln(2 - \cos x)$
- g) $y = e^{-5x^2 + 3x + 5}$ h) $y = 9^{\sqrt{x}}$
- i) $y = 7^{\frac{-x}{4}}$ j) $y = x^2 e^x$

- 2 - جد التكاملات الآتية :
- a) $\int_0^3 \frac{1}{x+1} dx$ b) $\int_0^4 \frac{2x}{x^2+9} dx$
- c) $\int_{\ln 3}^{\ln 5} e^{2x} dx$ d) $\int_0^{\ln 2} e^{-x} dx$
- e) $\int_0^1 (1+e^x)^2 e^x dx$ f) $\int_0^1 \frac{3x^2+4}{x^3+4x+1} dx$
- g) $\int_1^4 \frac{e^{\sqrt{x}} dx}{2\sqrt{x}}$ h) $\int_{-\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{4}} \frac{\sec^2 x}{2+\tan x} dx$
- i) $\int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos x}{\sqrt{\sin x}} dx$ j) $\int \cot^3 5x dx$
- k) $\int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{\cos x} \sin x dx$ l) $\int_1^2 x e^{-\ln x} dx$

$$a) \int_1^8 \frac{\sqrt{\sqrt[3]{x}-1}}{\sqrt[3]{x^2}} dx = 2$$

$$b) \int_{-2}^4 |3x-6| dx = 30$$

4- $f(x)$ دالة مستمرة على الفترة $[-2, 6]$ فاذا كان $\int_1^6 f(x) dx = 6$ وكان

$$\int_{-2}^6 [f(x)+3] dx = 32 \quad \text{فجد} \quad \int_{-2}^1 f(x) dx$$

5- جد قيمة $a \in \mathbb{R}$ اذا علمت أن $\int_1^a (x + \frac{1}{2}) dx = 2 \int_0^{\frac{\pi}{4}} \sec^2 x dx$

6- لتكن $f(x) = x^2 + 2x + k$ حيث $k \in \mathbb{R}$ ، دالة نهايتها الصغرى تساوي (-5) جد $\int_1^3 f(x) dx$

7- إذا كان للمنحني $f(x) = (x-3)^3 + 1$ نقطة انقلاب (a, b) جد القيمة العددية للمقدار

$$\int_0^b f'(x) dx - \int_0^a f''(x) dx$$

[4-8] إيجاد مساحة المنطقة المستوية.

Plane Area by Definite Integral

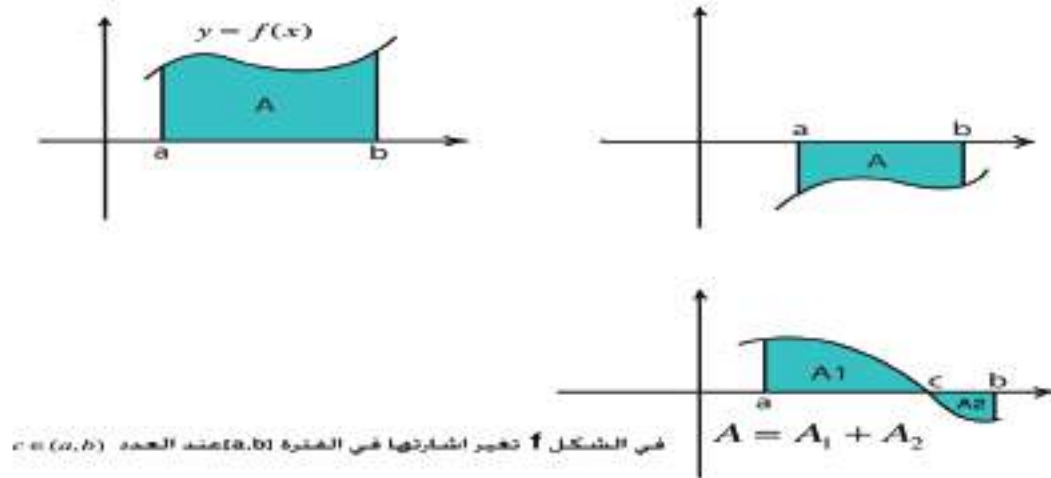
[4-8-1] مساحة المنطقة المستوية المحددة بمنحني ومحور السينات

The area between a Curve and the x-axis

لتكن $y = f(x)$ دالة مستمرة على الفترة $[a, b]$ ولتكن A مساحة المنطقة التي يحدها منحني الدالة ومحور السينات والمستقيمين $x = a, x = b$:

إذا كانت $f(x) > 0$ فإن المساحة A تساوي : $A = \int_a^b f(x)dx$

إذا كانت $f(x) < 0$ فإن المساحة A تساوي : $A = -\int_a^b f(x)dx$



الشكل (4-23)

وعندما يقطع منحني الدالة $y = f(x)$ محور السينات في $x = a, x = b$ نتبع الخطوات الآتية :

خطوات إيجاد المساحة عندما f تمتلك قيم موجبة وقيم سالبة على الفترة $[a, b]$:

1. نجد النقاط عندما $f(x) = 0$.
2. نستخدم قيم x التي تجعل $f(x) = 0$ كموقع على $[a, b]$ لتحصل على فترات جزئية من $[a, b]$.
3. نجري عملية التكامل على كل فترة جزئية.
4. نجمع القيم المطلقة للتكاملات في الخطوة (3).

جد مساحة المنطقة المحددة بمنحني الدالة $f(x) = x^3 - 4x$ ومحور السينات وعلى الفترة $[-2, 2]$.

الحل

الخطوة الاولى : نجعل

$$f(x) = 0$$

$$\therefore x^3 - 4x = 0$$

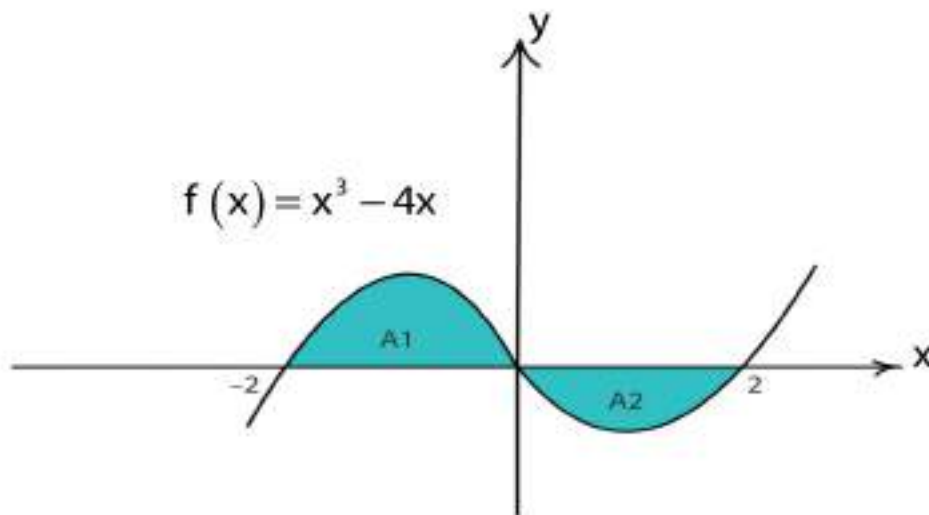
$$x(x^2 - 4) = 0$$

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

$$\therefore x = 0, \quad x = 2, \quad x = -2$$

الخطوة الثانية : فترات التكامل هي : $[-2, 0]$ ، $[0, 2]$

الخطوة الثالثة :



$$A_1 = \int_{-2}^0 (x^3 - 4x) dx = \left[\frac{x^4}{4} - 2x^2 \right]_{-2}^0 = 0 - [4 - 8] = 4$$

$$A_2 = \int_0^2 (x^3 - 4x) dx = \left[\frac{x^4}{4} - 2x^2 \right]_0^2 = [4 - 8] - 0 = -4$$

الخطوة الرابعة : جمع القيم المطلقة للتكاملات

$$A = |A_1| + |A_2| \Rightarrow A = |4| + |-4| = 4 + 4 = 8 \quad \text{وحدة مربعة}$$

مثال - 2 -

جد مساحة المنطقة التي يحدها مخطط الدالة $y = x^2$ ومحور السينات والمستقيمان $x = 1$, $x = 3$.

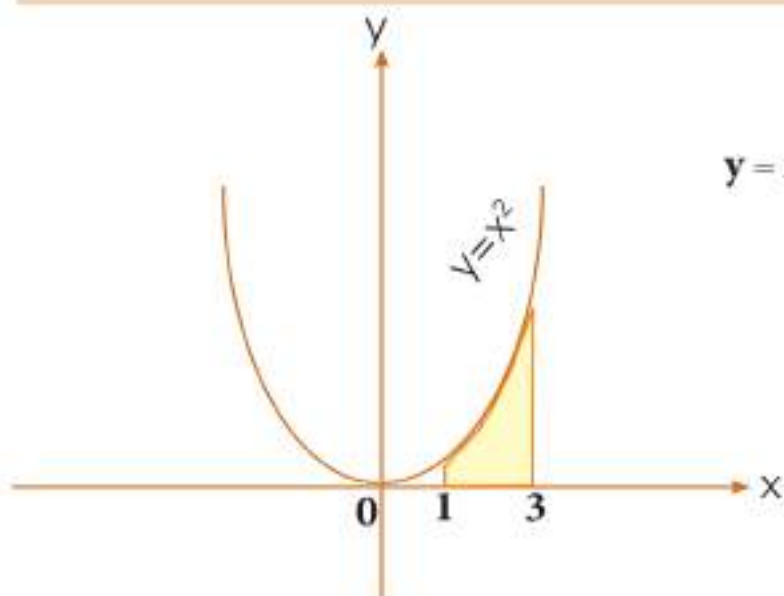
الحل

نقاطع الدالة مع محور السينات بجعل $y = 0$
 $\therefore x^2 = 0 \Rightarrow x = 0 \notin [1, 3]$

\therefore لا تجزئة لفترة التكامل

$\therefore f(x) \geq 0, x \in [1, 3]$

$$A = \int_1^3 x^2 dx = \left[\frac{x^3}{3} \right]_1^3 = \frac{27}{3} - \frac{1}{3} = \frac{26}{3} = 8 \frac{2}{3} \text{ وحدة مساحة}$$



الشكل (4-24)

مثال - 3 -

جد المساحة المحددة بمنحني الدالة $f(x) = x^3 - 3x^2 + 2x$ ومحور السينات.

الحل

نبحث عن نقاط التقاطع مع محور السينات أي عندما $y = 0$

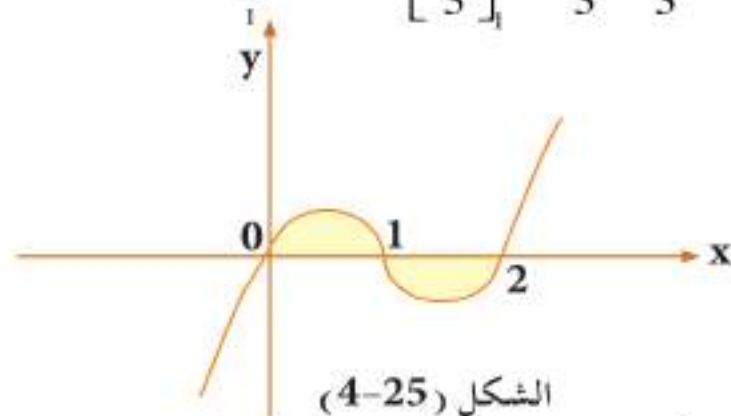
$$\therefore x^3 - 3x^2 + 2x = 0 \Rightarrow x(x-1)(x-2) = 0$$

$$\therefore x = 0, x = 1, x = 2$$

\therefore فترات التكامل هنا: $[0, 1]$, $[1, 2]$

$$A_1 = \int_0^1 (x^3 - 3x^2 + 2x) dx = \left[\frac{x^4}{4} - x^3 + x^2 \right]_0^1$$

$$A_1 = \left(\frac{1}{4} - 1 + 1 \right) - (0) = \frac{1}{4}$$



الشكل (4-25)

$$A_2 = \int_1^2 (x^3 - 3x^2 + 2x) dx = \left[\frac{x^4}{4} - x^3 + x^2 \right]_1^2$$

$$A_2 = (4 - 8 + 4) - \left(\frac{1}{4} - 1 + 1 \right) = -\frac{1}{4}$$

$$A = |A_1| + |A_2|$$

$$\therefore A = \left| \frac{1}{4} \right| + \left| -\frac{1}{4} \right| = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \text{ وحدة مساحة}$$

مثال - 4

جد مساحة المنطقة المحددة بالمنحنى $f(x) = x^2 - 1$ ومحور السينات وعلى الفترة $[-2, 3]$.

الحل

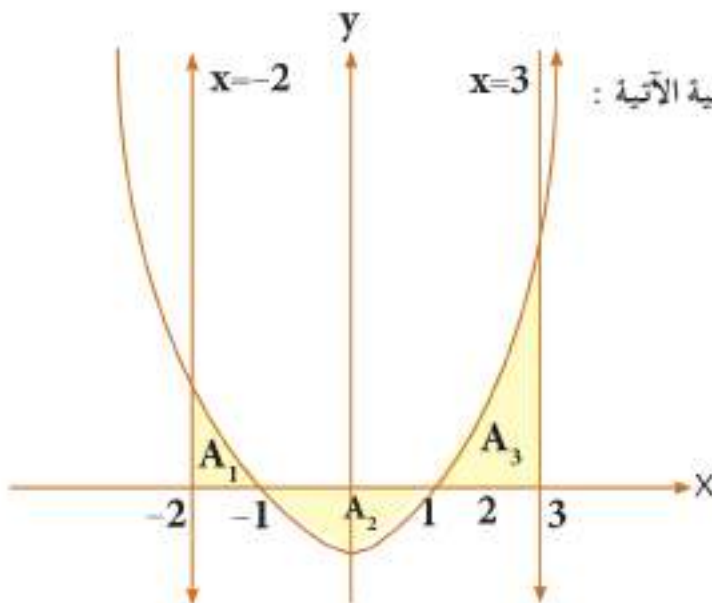
نجد تقاطع المنحنى مع محور السينات

$$x^2 - 1 = 0$$

$$\therefore x = \pm 1 \in [-2, 3]$$

\therefore نجزي فترة التكامل الى الفترات الجزئية الآتية :

$$[-2, -1], [-1, 1], [1, 3]$$



الشكل (4-26)

$$A_1 = \int_{-2}^1 (x^2 - 1) dx = \left[\frac{x^3}{3} - x \right]_{-2}^1$$

$$A_1 = \left[-\frac{1}{3} + 1 \right] - \left[-\frac{8}{3} + 2 \right] = \frac{2}{3} + \frac{2}{3} = \frac{4}{3}$$

$$A_2 = \int_{-1}^1 (x^2 - 1) dx = \left[\frac{x^3}{3} - x \right]_{-1}^1$$

$$A_2 = \left[\frac{1}{3} - 1 \right] - \left[-\frac{1}{3} + 1 \right] = -\frac{2}{3} - \frac{2}{3} = -\frac{4}{3}$$

$$A_3 = \int_1^3 (x^2 - 1) dx = \left[\frac{x^3}{3} - x \right]_1^3$$

$$A_3 = [9 - 3] - \left[\frac{1}{3} - 1 \right] = 6 + \frac{2}{3} = \frac{20}{3}$$

$$A = |A_1| + |A_2| + |A_3|$$

نجمع القيم المطلقة للتكاملات :

$$\therefore A = \left| \frac{4}{3} \right| + \left| -\frac{4}{3} \right| + \left| \frac{20}{3} \right| = 9 \frac{1}{3} \quad \text{وحدة مساحة}$$

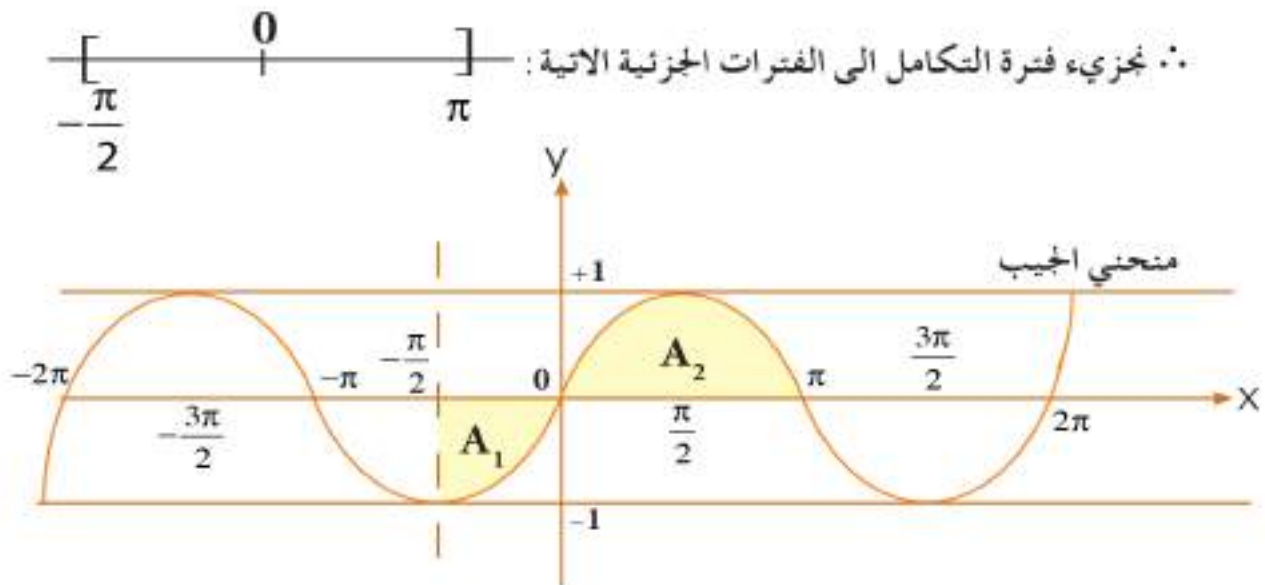
جد مساحة المنطقة المحددة بمنحني الدالة $y = \sin x$ ومحور السينات وعلى الفترة $\left[-\frac{\pi}{2}, \pi\right]$

نجد نقاط تقاطع الدالة مع محور السينات وعلى الفترات $\left[-\frac{\pi}{2}, \pi\right]$.

الحل

$$\therefore \sin x = 0 \Rightarrow x = 0 + n\pi, n \in \mathbb{Z}$$

$$\begin{aligned} \therefore n = 0 &\Rightarrow x = \begin{cases} 0 \in \left[-\frac{\pi}{2}, \pi\right] \\ \pi \in \left[-\frac{\pi}{2}, \pi\right] \\ 2\pi \notin \left[-\frac{\pi}{2}, \pi\right] \\ -\pi \notin \left[-\frac{\pi}{2}, \pi\right] \\ -2\pi \notin \left[-\frac{\pi}{2}, \pi\right] \end{cases} \end{aligned}$$



الشكل (4-27)

$$A_1 = \int_{-\frac{\pi}{2}}^0 \sin x \, dx = [-\cos x]_{-\frac{\pi}{2}}^0 = -\cos(0) + \cos(-\frac{\pi}{2}) \quad \text{ثم نجد التكامل كما يأتي :}$$

$$A_1 = -1 + 0 = -1$$

$$A_2 = \int_0^{\pi} \sin x \, dx = [-\cos x]_0^{\pi} = -\cos \pi + \cos 0$$

$$A_2 = 1 + 1 = 2$$

$$A = |A_1| + |A_2|$$

$$\therefore A = |-1| + |2| \Rightarrow A = 3 \quad \text{وحدة مساحة}$$

مثال - 6

جد مساحة المنطقة المحددة بمنحني الدالة $y = \cos x$ ومحور السينات وعلى الفترة $[-\pi, \pi]$

الحل

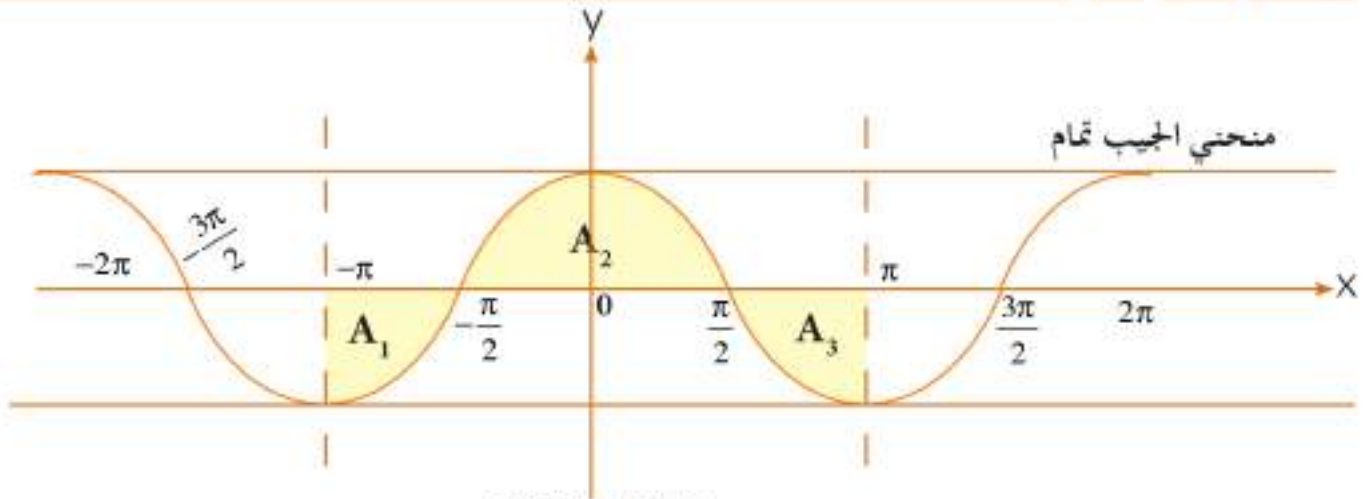
نجد نقاط تقاطع الدالة مع محور السينات :

$$\cos x = 0 \Rightarrow x = \frac{\pi}{2} + n\pi, \quad n \in \mathbb{Z}$$

$$\therefore \begin{array}{l} n = 0 \Rightarrow x = \frac{\pi}{2} \in [-\pi, \pi] \\ n = -1 \Rightarrow x = -\frac{\pi}{2} \in [-\pi, \pi] \\ n = 1 \Rightarrow x = \frac{3\pi}{2} \notin [-\pi, \pi] \\ n = -2 \Rightarrow x = -\frac{3\pi}{2} \notin [-\pi, \pi] \end{array}$$

نجزئ فترة التكامل الى الفترات الجزئية الآتية

$$\left[-\pi, -\frac{\pi}{2}\right], \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right], \left[\frac{\pi}{2}, \pi\right]$$



الشكل (4-28)

نجد التكاملات :

$$A_1 = \int_{-\pi}^{-\frac{\pi}{2}} \cos x \, dx = [\sin x]_{-\pi}^{-\frac{\pi}{2}}$$

$$A_1 = \sin\left(-\frac{\pi}{2}\right) - \sin(-\pi) = -\sin\frac{\pi}{2} + \sin\pi = -1 + 0 = -1$$

$$A_2 = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos x \, dx = [\sin x]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} = \sin\frac{\pi}{2} - \sin\left(-\frac{\pi}{2}\right) = 1 + 1 = 2$$

$$A_3 = \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \cos x \, dx = [\sin x]_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} = \sin\pi - \sin\frac{\pi}{2} = 0 - 1 = -1$$

$$A = |A_1| + |A_2| + |A_3| \quad \text{نجد مجموع القيم المطلقة للتكاملات :}$$

$$A = |-1| + |2| + |-1| = 1 + 2 + 1 = 4 \quad \text{وحدة مساحة}$$

[4-8-2] مساحة المنطقة المحددة بمنحنيين

سبق وأن درسنا كيفية إيجاد المساحة بين منحنى دالة ومحور السينات ومستقيمين والآن سندرس كيفية إيجاد مساحة المنطقة المحصور بين منحنيين :

لتكن $f(x)$, $g(x)$ دالتين مستمرتين على الفترة $[a, b]$ فان مساحة المنطقة A المحصورة بين المنحنيين نجدها كما يأتي :

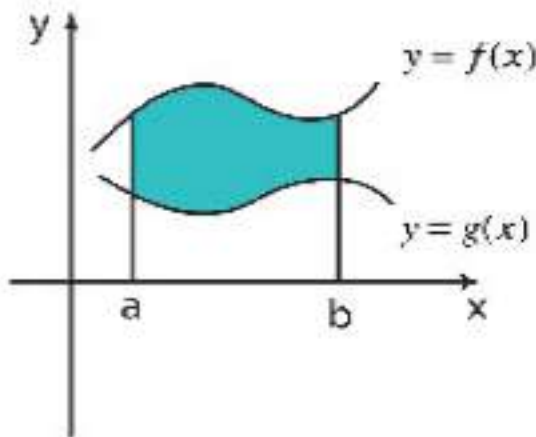
1) اذا كان $f(x) > g(x)$ في الفترة $[a, b]$ فالمساحة A هي

$$A = \int_a^b [f(x) - g(x)] dx$$

2) اذا كانت $f(x) < g(x)$ في الفترة $[a, b]$ فالمساحة A هي

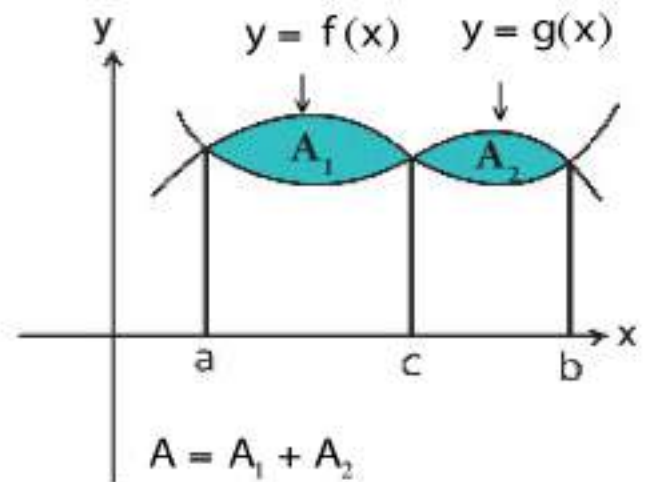
$$A = -\int_a^b [f(x) - g(x)] dx$$

3) اذا تقاطع المنحنيان بين $[a, b]$ نجد نقاط التقاطع وذلك بجعل $f(x) = g(x)$ ثم نجد قيم x التي تنتمي الى (a, b) ونجزئة $[a, b]$ الى فترات جزئية ثم نجد تكامل الفرق بين الدالتين في كل فترة جزئية ثم بعد ذلك نجد مجموع مطلق التكاملات والتي تمثل المساحة المطلوبة .



$f(x) > g(x)$ في الفترة $[a, b]$

$$A = \int_a^b [f(x) - g(x)] dx$$



$$A = A_1 + A_2$$

$$A = \int_a^c [f(x) - g(x)] dx + \int_c^b [g(x) - f(x)] dx$$

مثال - 1

جد مساحة المنطقة المحددة بالمنحنى $y = \sqrt{x}$ والمستقيم $y = x$

الحل

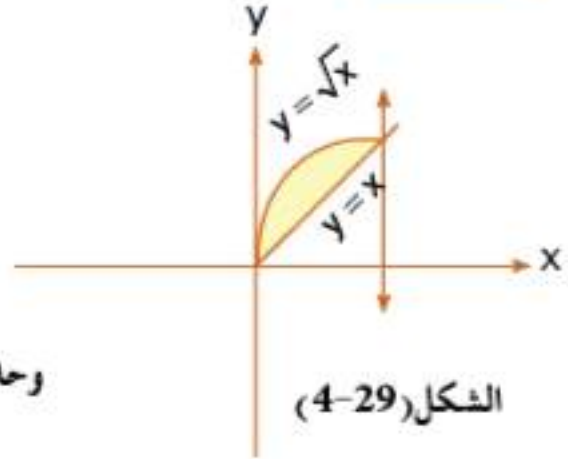
نجد تقاطع المنحنيين: $\sqrt{x} = x$

$$\therefore x = x^2 \Rightarrow x(x-1) = 0$$

$$\therefore x = 0, x = 1 \Rightarrow x \in [0, 1]$$

$$A = \left| \int_0^1 (\sqrt{x} - x) dx \right| = \left| \left[\frac{2}{3} \sqrt{x^3} - \frac{x^2}{2} \right]_0^1 \right|$$

$$= \left| \left[\frac{2}{3} - \frac{1}{2} \right] - [0] \right| = \frac{1}{6} \quad \therefore A = \left| \frac{1}{6} \right| = \frac{1}{6} \text{ وحدة مساحة}$$



مثال - 2

جد مساحة المنطقة المحصورة بين المنحنى $y = x^3$ والمستقيم $y = x$

الحل

تقاطع الدالتين

$$x^3 = x$$

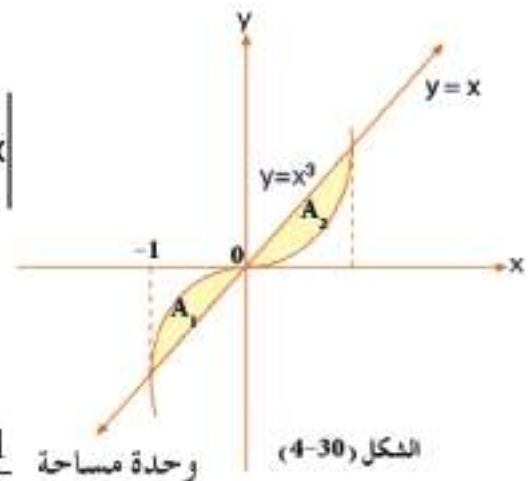
$$x^3 - x = 0 \Rightarrow x(x-1)(x+1) = 0$$

$$x = 0, x = 1, x = -1 \Rightarrow [-1, 0], [0, 1]$$

$$A = |A_1| + |A_2| = \left| \int_{-1}^0 (x^3 - x) dx \right| + \left| \int_0^1 (x^3 - x) dx \right|$$

$$= \left| \left[\frac{x^4}{4} - \frac{x^2}{2} \right]_{-1}^0 \right| + \left| \left[\frac{x^4}{4} - \frac{x^2}{2} \right]_0^1 \right|$$

$$= \left| 0 - \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{2} \right) \right| + \left| \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{2} \right) - (0) \right| = \left| \frac{1}{4} \right| + \left| -\frac{1}{4} \right| = \frac{1}{2}$$

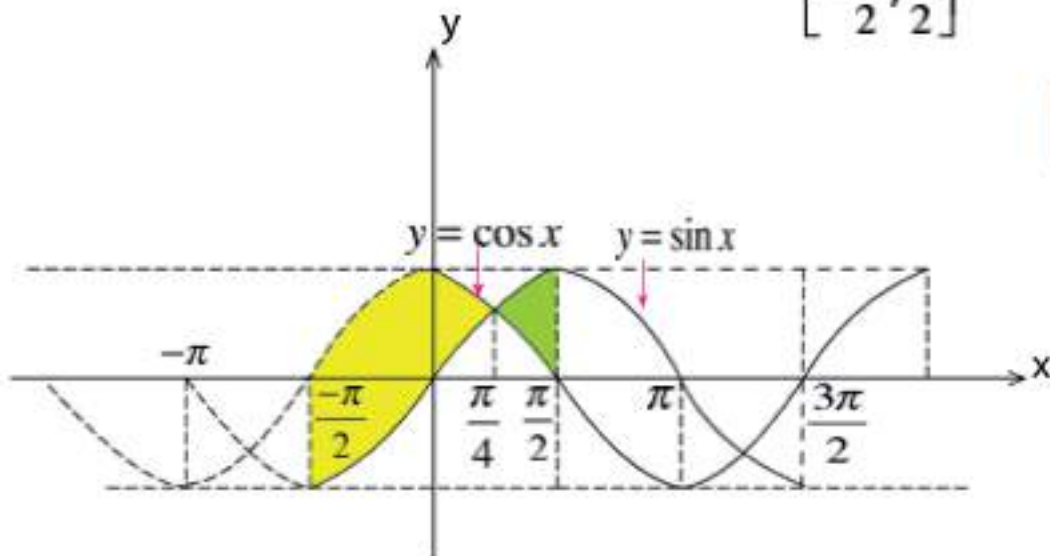


جد مساحة المنطقة المحددة بالمنحنيين $f(x) = \cos x$ و $g(x) = \sin x$ وعلى الفترة

مثال - 3

$$\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$$

الحل



نقاط الدالتين $\sin x = \cos x \Rightarrow \tan x = 1$

$$\therefore x = \begin{cases} \frac{\pi}{4} \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] \\ \frac{5\pi}{4} \notin \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] \end{cases}$$

$$\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{4}\right], \left[\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}\right] \quad \therefore \text{نجزئ التكامل}$$

$$A = |A_1| + |A_2|$$

$$\therefore A = \left| \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{4}} (\cos x - \sin x) dx \right| + \left| \int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} (\cos x - \sin x) dx \right|$$

$$= \left| \left[\sin x + \cos x \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{4}} \right| + \left| \left[\sin x + \cos x \right]_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} \right|$$

$$= \left| \left(\sin \frac{\pi}{4} + \cos \frac{\pi}{4} \right) - \left(\sin \left(-\frac{\pi}{2}\right) + \cos \left(-\frac{\pi}{2}\right) \right) \right| + \left| \left(\sin \frac{\pi}{2} + \cos \frac{\pi}{2} \right) - \left(\sin \frac{\pi}{4} + \cos \frac{\pi}{4} \right) \right|$$

$$A = |\sqrt{2} + 1| + |1 - \sqrt{2}| = \sqrt{2} + 1 + \sqrt{2} - 1 = 2\sqrt{2} \quad \text{وحدة مساحة}$$

The Distance المسافة [4-8-3]

لتكن $V(t)$ سرعة جسم يتحرك على خط مستقيم وفي مستوٍ فإن المسافة المقطوعة في الفترة الزمنية

$$d = \left| \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt \right|$$

هي $[t_1, t_2]$:

حيث d تمثل المسافة، المسافة كمية غير متجهة أما الإزاحة s والسرعة v والتعجيل a فإن كلاً منها كمية متجهة لذا فإن :

$$S = \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt \quad \text{و} \quad v = \int a(t) dt$$

مثال - 1 -

جسم يتحرك على خط مستقيم بسرعة $V(t) = 2t - 4 \text{ m/s}$

فجد :

- (a) المسافة المقطوعة في الفترة $[1,3]$
- (b) الإزاحة المقطوعة في الفترة $[1,3]$
- (c) المسافة المقطوعة في الثانية الخامسة
- (d) بعده بعد مضي (4) ثواني من بدء الحركة.

الحل

a) من الواضح أن الجسم يغير اتجاهه

$$\therefore 2t - 4 = 0 \Rightarrow t = 2 \in [1,3] \Rightarrow [1,2], [2,3]$$

$$\begin{aligned} \therefore d &= \left| \int_1^2 (2t - 4) dt \right| + \left| \int_2^3 (2t - 4) dt \right| = \left| [t^2 - 4t]_1^2 \right| + \left| [t^2 - 4t]_2^3 \right| \\ &= |(4 - 8) - (1 - 4)| + |(9 - 12) - (4 - 8)| = 1 + 1 = 2\text{m} \end{aligned}$$

$$b) s = \int_1^3 (2t-4)dt = [t^2 - 4t]_1^3 = [9-12] - [1-4] = 0$$

$$c) d = \left| \int_4^5 (2t-4)dt \right| = |[t^2 - 4t]_4^5| = |[25-20] - [16-16]| = 5m$$

$$d) s = \int_0^4 (2t-4)dt = [t^2 - 4t]_0^4 = [16-16] - [0] = 0$$

مثال - 2

جسم يتحرك على خط مستقيم بتعجيل قدره $(18) m/s^2$ فإذا كانت سرعته قد أصبحت $(82) m/s$ بعد مرور 4 ثواني من بد الحركة جد :
 a) المسافة خلال الثانية الثالثة
 b) بعده عن نقطة بدء الحركة بعد مرور 3 ثواني

$$a) V = \int a(t)dt \Rightarrow V = \int 18dt$$

$$\therefore V = 18t + c$$

$$V = 82, t = 4$$

$$82 = (18 \times 4) + c \Rightarrow c = 10$$

$$\therefore V = 18t + 10$$

$$18t + 10 > 0 \Rightarrow V > 0$$

$$\therefore d = \int_2^3 (18t + 10) dt = \left[9t^2 + 10t \right]_2^3 = [81 + 30] - [36 + 20] = 55m$$

$$b) S = \int_0^3 (18t + 10) dt = \left[9t^2 + 10t \right]_0^3 = [81 + 30] - [0] = 111m$$

الحل

بما أن

تمارين

1. جد المساحة المحددة بالمنحني $y = x^4 - x$ ومحور السينات والمستقيمين $x=1$, $x=-1$.

2. جد المساحة المحددة بالدالة $f(x) = x^4 - 3x^2 - 4$ وعلى الفترة $[-2, 3]$ ومحور السينات.

3. جد المساحة المحددة بالدالة $f(x) = x^4 - x^2$ ومحور السينات.

4. جد المساحة المحددة بالمنحني $y = \sin 3x$ ومحور السينات وعلى الفترة $\left[0, \frac{\pi}{2}\right]$.

5. جد المساحة المحددة بالمنحني $y = 2\cos^2 x - 1$ ومحور السينات وعلى الفترة $\left[0, \frac{\pi}{2}\right]$.

6. جد المساحة المحددة بالدالتين $y = \frac{1}{2}x$, $y = \sqrt{x-1}$ وعلى الفترة $[2, 5]$.

7. جد المساحة المحددة بالدالتين $y = x^2$, $y = x^4 - 12$.

8. جد المساحة المحددة بالدالتين $f(x) = \sin x$, $g(x) = \sin x \cos x$ حيث $x \in [0, 2\pi]$.

9. جد المساحة المحددة بالدالتين $f(x) = 2\sin x + 1$, $g(x) = \sin x$ حيث $x \in \left[0, \frac{3\pi}{2}\right]$.

10. جد المساحة المحددة بالدالة $y = x^3 + 4x^2 + 3x$ ومحور السينات.

- 11.** جسم يتحرك على خط مستقيم بسرعة $v(t) = (3t^2 - 6t + 3) \text{ m/s}$ احسب :
 (a) المسافة المقطوعة في الفترة $[2, 4]$
 (b) الازاحة في الفترة $[0, 5]$

- 12.** جسم يتحرك على خط مستقيم بتعجيل قدره $(4t + 12) \text{ m/s}^2$ وكانت سرعته بعد مرور (4) ثواني تساوي 90 m/s احسب :
 (a) السرعة عندما $t = 2$
 (b) المسافة خلال الفترة $[1, 2]$
 (c) الازاحة بعد (10) ثواني من بدء الحركة

- 13.** تتحرك نقطة من السكون وبعد t ثانية من بدء الحركة أصبحت سرعتها $(100t - 6t^2) \text{ m/s}$ أوجد الزمن اللازم لعودة النقطة الى موضعها الاول الذي بدأت منه، ثم احسب التعجيل عندها

Volumes of Revolution: [4-9] الحجوم الدورانية:

1. لحساب حجم الشكل المتولد من دوران المنطقة المحددة بين منحنى الدالة $y = f(x)$ المستمرة من $x=a$ الى $x=b$ حول محور السينات

$$V = \pi \int_a^b y^2 dx$$

نطبق العلاقة التالية

2. لحساب حجم الشكل المتولد من دوران المنطقة المحددة بين منحنى الدالة $x = f(y)$ المستمرة من $y=a$ الى $y=b$ حول محور الصادات

$$V = \pi \int_a^b x^2 dy$$

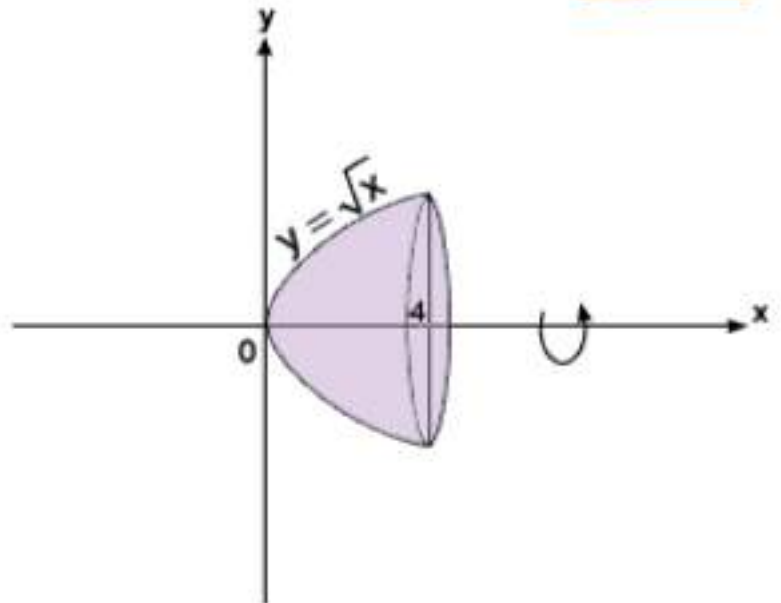
نطبق العلاقة التالية:

مثال - 1 -

المنطقة المحددة بين المنحنى $y = \sqrt{x}$ ، $0 \leq x \leq 4$ ومحور السينات ، دارت حول محور السينات ، جد حجمها .

الحل

$$\begin{aligned} v &= \int_a^b \pi y^2 dx \\ &= \int_0^4 \pi (\sqrt{x})^2 dx = \int_0^4 \pi x dx \\ &= \left[\pi \frac{x^2}{2} \right]_0^4 = 8\pi - 0 = 8\pi \end{aligned}$$



مثال - 2-

المنطقة المحددة بين المنحني $x = \frac{1}{\sqrt{y}}$ ، $1 \leq y \leq 4$ دارة حول محور الصادات . جد حجمها .

الحل

$$v = \int_1^4 \pi x^2 dy = \int_1^4 \frac{\pi}{y} dy = [\pi \ln y]_1^4 = \pi \ln 4 - 0 = 2\pi \ln 2 \text{ وحدة مكعبة}$$

مثال - 3-

أوجد الحجم الناتج من دوران المساحة المحددة بالقطع المكافئ الذي معادلته $y^2 = 8x$ والمستقيمين $x=0$ ، $x=2$ حول المحور السيني .

الحل

$$v = \pi \int_a^b y^2 dx = \pi \int_0^2 8x dx = 4\pi [x^2]_0^2 = 16\pi \text{ وحدة مكعبة}$$

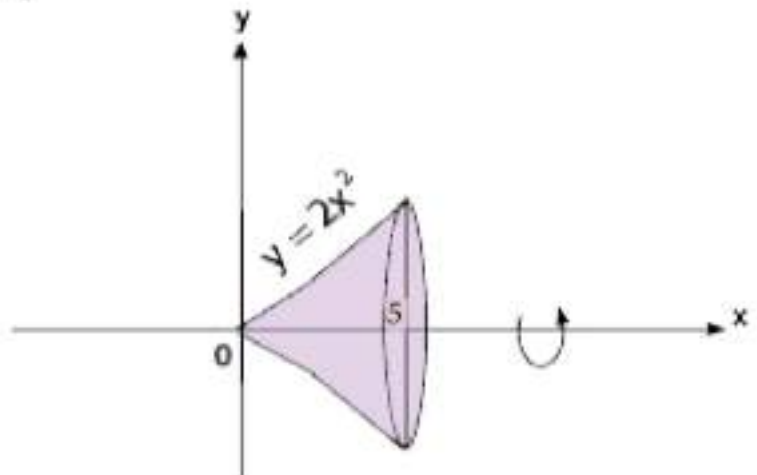
مثال - 4-

أوجد الحجم الناتج من دوران المساحة المحددة بالقطع المكافئ الذي معادلته $y = 2x^2$ والمستقيم $x=0$ ، $x=5$ حول المحور السيني .

الحل

$$v = \pi \int_a^b \pi v^2 dx = \pi \int_0^5 4x^4 dx = \frac{4\pi}{5} [x^5]_0^5$$

$$= \frac{4\pi}{5} \times 3125 = 2500\pi \text{ وحدة مكعبة}$$



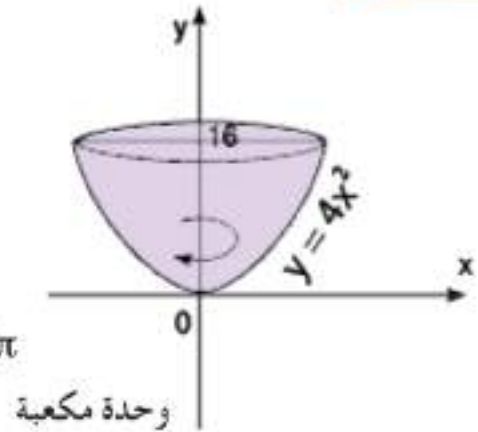
مثال - 5

أوجد الحجم الناتج من دوران المساحة المحددة بالقطع المكافئ $y = 4x^2$ والمستقيمين $y=0$, $y=16$ حول المحور الصادي.

الحل

$$v = \pi \int_a^b x^2 dy$$

$$v = \pi \int_0^{16} \frac{y}{4} dy = \frac{\pi}{8} [y^2]_0^{16} = \frac{\pi}{8} [16 \times 16] = 32\pi$$



مثال - 6

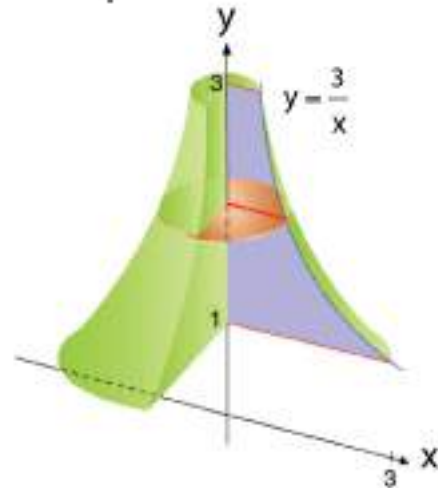
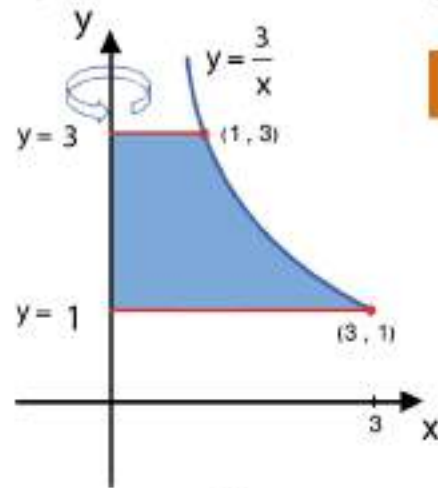
أوجد الحجم الناشئ من دوران المنطقة المحصورة بين محور الصادات ومنحنى الدالة $y = \frac{3}{x}$ ، دورة كاملة حول المحور الصادي . $1 \leq y \leq 3$

الحل

$$v = \pi \int_a^b x^2 dy$$

$$v = \pi \int_1^3 \left[\frac{3}{y} \right]^2 dy = 9\pi \left[\frac{-1}{y} \right]_1^3$$

$$= 9\pi \left[\frac{-1}{3} + 1 \right] = 6\pi \text{ Unit}^3$$



تمارين

1. اوجد الحجم الدوراني المتولد من دوران المساحة المحددة بالقطع المكافئ $y = x^2$ والمستقيمين $x = 1, x = 2$ حول المحور السيني.
2. اوجد الحجم الناتج من دوران المساحة المحصورة بين منحنى الدالة $y = x^2 + 1$ والمستقيم $y = 4$ حول المحور الصادي.
3. احسب الحجم المتولد من دوران المساحة المحصورة بين المنحنى $y^2 + x = 1$ والمستقيم $x = 0$ حول المحور الصادي.
4. احسب الحجم المتولد من دوران المساحة المحصورة بين المنحنى $y^2 = x^3$ والمستقيمان $x = 0, x = 2$ حول المحور السيني.

الفصل الخامس

Chapter Five

المعادلات التفاضلية الاعتيادية

- مقدمة. [5-1]
- حل المعادلة التفاضلية. [5-2]
- الحل الخاص والعام للمعادلة التفاضلية الاعتيادية. [5-3]
- المعادلات التفاضلية الاعتيادية من المرتبة الاولى والدرجة الاولى. [5-4]
- بعض طرق حل المعادلات التفاضلية. [5-5]

الرمز او العلاقة الرياضية	المصطلح
O . D . E	المعادلة التفاضلية الاعتيادية
$y = f\left(\frac{y}{x}\right)$	المعادلة المتجانسة

[5-1] مقدمة

يعتبر موضوع المعادلات التفاضلية من المواضيع الاساسية في الرياضيات التطبيقية لكثرة ظهورها في المسائل العلمية والهندسية. في هذا الفصل سنتطرق وبشكل مبسط للمعادلة التفاضلية وكيفية حلها.

Definition

تعريف [5-1-1]

المعادلة التفاضلية (Differential Equation) هي المعادلة التي تحتوي على مشتقة واحدة او أكثر للدالة المجهولة في المعادلة (اي للمتغير التابع في المعادلة)

ملاحظة

المعادلة التفاضلية الاعتيادية هي علاقة بين متغير مستقل (Independent Variable) وليكن (x) ودالته غير المعروفة (y) (Dependt Variabile) وبعض مشتقات (y) بالنسبة الى (x) ويرمز لها O . D . E والتي هي مختصر الى (Ordinary Differential Equation)

مثلاً:

$$1) \frac{dy}{dx} = 3y - 4x$$

$$4) y' + x^2 y + x = y$$

$$2) x^2 y'' + 5xy' - x^3 y = 0$$

$$5) (y'')^3 + 2y' + x^2 \ln x = 5$$

$$3) \frac{d^3 y}{dx^3} + \frac{dy}{dx} = y - 4$$

$$6) y^{(4)} + \cos y + x^2 y y' = 0$$

كلها معادلات تفاضلية اعتيادية لان المتغير y يعتمد فقط على المتغير x

المرتبة او (الرتبة) **Order** : تعرف رتبة المعادلة التفاضلية بانها رتبة اعلى مشتقة .
الدرجة **Degree** : تعرف درجة المعادلة التفاضلية بأنها : اكبر قوة (أس) مرفوعة له اعلى مشتقة في المعادلة التفاضلية .

مثلاً :

1) $\frac{dy}{dx} + x - 7y = 0$ من الرتبة الاولى والدرجة الاولى

2) $\frac{d^2y}{dx^2} = 5x - 3xy + 7$ من الرتبة الثانية والدرجة الاولى

3) $(y''')^3 + y' - y = 0$ من الرتبة الثالثة والدرجة الثالثة

4) $y'' + 2y(y')^3 = 0$ من الرتبة الثانية والدرجة الاولى

5) $(\frac{dy}{dx})^4 = x^3 - 5$ من الرتبة الاولى والدرجة الرابعة

6) $x^2(\frac{dy}{dx})^4 + (\frac{d^3y}{dx^3})^2 + 2\frac{d^2y}{dx^2} = 0$ من الرتبة الثالثة والدرجة الثانية

7) $y^{(4)} + \cos y + x^2y' = 0$ فهي من الرتبة الرابعة والدرجة الاولى

ملاحظة

درجة المعادلة التفاضلية التي تكون جبرية في مشتقاتها هي الدرجة الجبرية للمشتقة ذات اعلى رتبة تظهر في المعادلة . فمثلا المعادلة

$$(y'')^2 = \sqrt{1+(y')^2}$$

التفاضلية : من الرتبة الثانية لان اعلى مشتقة فيها y''

حيث يمكن ازالة الجذور او الاسس الكسرية ونحصل على : $(y'')^4 = 1+(y')^2$ وبذلك تكون درجة المعادلة التفاضلية الرابعة

[5-2] حل المعادلة التفاضلية الاعتيادية Solution of an Ordinary Differential Equation

ان الغاية من دراسة المعادلات التفاضلية هي كيفية إيجاد حلولاً لها ، ويتم ذلك بإيجاد علاقة بين المتغير التابع (غير المستقل) y والمتغير المستقل x بحيث تكون العلاقة خالية من الاشتقاقات وان تحقق المعادلة التفاضلية عند التعويض

تعريف [5-2-1] للمعادلة التفاضلية

حل المعادلة التفاضلية هو اية علاقة بين متغيرات المعادلة التفاضلية بحيث ان هذه العلاقة :

- أ) خالية من المشتقة
- ب) معرفة على فترة معينة
- ج) تحقق المعادلة التفاضلية

اي ان الحل للمعادلة التفاضلية الاعتيادية هو اي دالة لمجهول (المتغير التابع) بدلالة المتغير المستقل تحقق المعادلة التفاضلية .

مثال - 1 -

بين ان العلاقة $y = x^2 + 3x$ حلاً للمعادلة التفاضلية $xy' = x^2 + y$

الحل

$y = x^2 + 3x$ نجد y' فيكون :

$$y = x^2 + 3x \quad \dots (1) \Rightarrow y' = 2x + 3 \quad \dots (2)$$

نعرض (1) و (2) في الطرف الايمن والايسر للمعادلة التفاضلية وكما يلي :

$$\text{LHS} = xy'$$

$$= x(2x + 3) = 2x^2 + 3x$$

$$\text{RHS} = x^2 + y = x^2 + x^2 + 3x$$

$$= 2x^2 + 3x = \text{LHS}$$

إذا العلاقة المعطاة هي حل للمعادلة التفاضلية اعلاه

[3 - 5] الحل الخاص والعام للمعادلة التفاضلية الاعتيادية:

ان حل المعادلة التفاضلية الاعتيادية كما اسلفنا هو اي علاقة بين y, x تحقق المعادلة ، غير ان الحل العام لاي معادلة تفاضلية هو الحل المشتمل على عدد من الثوابت الاختيارية مساو لرتبة المعادلة ، فاذا كانت المعادلة من الرتبة الاولى وجب ان يكون حلها العام مشتملاً على ثابت اختياري واحد هو ثابت التكامل الذي يظهر عند اجراء خطوة التكامل الوحيدة لمعادلات الرتبة الاولى . اما اذا كانت المعادلة من الرتبة الثانية وجب اشتغال حلها على ثابتي تكامل نظراً لاجراء خطوتي تكامل عند حل معادلة الرتبة الثانية وهكذا ...

فعلى سبيل المثال : $\frac{dy}{dx} - 5y = 0$

تعتبر معادلة تفاضلية من الرتبة الاولى ويحققها الحل الخاص $y = e^{5x}$ كما يبدو من التعويض في المعادلة التفاضلية غير ان حلها العام يجب ان يشتمل على ثابت اختياري واحد c ، فيكون $y = ce^{5x}$ اما المعادلة التفاضلية $\frac{d^2y}{dx^2} + y = 0$ فهي من الرتبة الثانية وتحققها الحلول الخاصة : $y = \sin x, y = \cos x$ غير ان حلها العام يجب ان يشتمل على ثابتي تكامل اختياريين ، كان يكونا A, B ويصبح الحل العام عندئذ بالصورة $y = A \sin x + B \cos x$

مثال - 2

اثبت ان $y = x \ln |x| - x$ احد حلول المعادلة :

$$x \frac{dy}{dx} = x + y, \quad x > 0 \dots (1)$$

الحل

ان المعادلة $y = x \ln |x| - x$ خالية من المشتقات ومعرفة في $x > 0$ ولكي نثبت انها احد حلول المعادلة التفاضلية (1) نقوم بالتعويض المباشر في (1)

$$\text{LHS} = x \frac{dy}{dx} = x \left(x \cdot \frac{1}{x} + \ln |x| (1) - 1 \right)$$

$$= x \cdot (1 + \ln |x| - 1) = x \ln |x|$$

$$\text{RHS} = x + y = x + x \ln |x| - x = x \ln |x|$$

إذا الدالة المعطاة هي احد الحلول الخاصة للمعادلة التفاضلية (1) .

مثال - 3 -

بين ان $\ln y^2 = x + a$ ، $a \in \mathbb{R}$ ، حلاً للمعادلة $2y' - y = 0$

الحل

$$\begin{aligned} \ln y^2 = x + a &\Rightarrow 2 \ln|y| = x + a \Rightarrow 2 \frac{1}{y} (y') = 1 \\ &\Rightarrow 2y' = y \Rightarrow 2y' - y = 0 \end{aligned}$$

$\therefore \ln y^2 = x + a$ حلاً للمعادلة اعلاه

مثال - 4 -

هل $y = x^3 + x - 2$ حلاً للمعادلة التفاضلية $\frac{d^2y}{dx^2} = 6x$ ؟

الحل

$$y = x^3 + x - 2 \Rightarrow \frac{dy}{dx} = 3x^2 + 1 \Rightarrow \frac{d^2y}{dx^2} = 6x$$

وعليه $y = x^3 + x - 2$ هو حلاً للمعادلة $\frac{d^2y}{dx^2} = 6x$

برهن ان $y = 3 \cos 2x + 2 \sin 2x$ هو حلاً للمعادلة التفاضلية $y'' + 4y = 0$.

الحل

$$\therefore y = 3 \cos 2x + 2 \sin 2x \quad \dots (1)$$

$$\therefore y' = -6 \sin 2x + 4 \cos 2x$$

$$y'' = -12 \cos 2x - 8 \sin 2x \quad \dots (2)$$

بالتعويض عن (1)، (2) في الطرف الايسر للمعادلة التفاضلية ينتج:

$$\text{LHS} = (-12 \cos 2x - 8 \sin 2x) + 4(3 \cos 2x + 2 \sin 2x) \Rightarrow$$

$$\cancel{-12 \cos 2x} - 8 \sin 2x + \cancel{12 \cos 2x} + 8 \sin 2x = 0 \quad \text{الطرف الايمن}$$

$$= \text{RHS}$$

وعليه فان $y = 3 \cos 2x + 2 \sin 2x$ هو حلاً للمعادلة اعلاه.

هل $y^2 = 3x^2 + x^3$ هو حلاً للمعادلة $yy'' + (y')^2 - 3x = 5$ ؟

الحل

$$\therefore y^2 = 3x^2 + x^3 \Rightarrow 2yy' = 6x + 3x^2 \Rightarrow$$

$$2y(y'') + y'(2)y' = 6 + 6x$$

بالقسمة على 2

$$yy'' + (y')^2 = 3 + 3x \Rightarrow \text{LHS} = yy'' + (y')^2 - 3x = 3 \neq 5 \quad \text{الطرف الايمن}$$

$$\neq \text{RHS}$$

وعليه فان $y^2 = 3x^2 + x^3$ ليس حلاً للمعادلة اعلاه

بين ان $y = e^{2x} + e^{-3x}$ هو حلاً للمعادلة التفاضلية $y'' + y' - 6y = 0$.

الحل

$$\because y = e^{2x} + e^{-3x} \Rightarrow y' = 2e^{2x} - 3e^{-3x} \Rightarrow y'' = 4e^{2x} + 9e^{-3x}$$

وبالتعويض في الطرف الايسر للمعادلة

$$\text{LHS} = y'' + y' - 6y$$

$$= (4e^{2x} + 9e^{-3x}) + (2e^{2x} - 3e^{-3x}) - 6(e^{2x} + e^{-3x})$$

$$= 4e^{2x} + 9e^{-3x} + 2e^{2x} - 3e^{-3x} - 6e^{2x} - 6e^{-3x}$$

$$= 0 \quad \text{الطرف الايمن}$$

$$= \text{RHS}$$

وعليه يكون $y = e^{2x} + e^{-3x}$ حلاً للمعادلة اعلاه

تمارين

1. بين رتبة ودرجة كل من المعادلات التفاضلية الآتية:

a) $(x^2 - y^2) + 3xy \frac{dy}{dx} = 0$

b) $\frac{d^2y}{dx^2} + x \frac{dy}{dx} - 5y = 7$

c) $(y''')^3 - 2y' + 8y = x^3 + \cos x$

d) $\left(\frac{d^3y}{dx^3}\right)^2 - 2\left(\frac{dy}{dx}\right)^5 + 3y = 0$

2. برهن ان $y = \sin x$ هو حل للمعادلة $y'' + y = 0$

3. برهن ان العلاقة $s = 8 \cos 3t + 6 \sin 3t$ هي حل للمعادلة $\frac{d^2s}{dt^2} + 9s = 0$

4. هل ان $y = x + 2$ حلاً للمعادلة $y'' + 3y' + y = x$ ؟

5. هل $y = \tan x$ حلاً للمعادلة $y'' = 2y(1 + y^2)$ ؟

6. هل $2x^2 + y^2 = 1$ حلاً للمعادلة $y^3 y'' = -2$ ؟

7. هل $yx = \sin 5x$ حلاً للمعادلة $xy'' + 2y' + 25yx = 0$ ؟

8. بين ان $y = ae^{-x}$ هو حلاً للمعادلة $y' + y = 0$ حيث $a \in \mathbb{R}$

9. بين ان $\ln|y| = x^2 + c$ ، $c \in \mathbb{R}$ هو حلاً للمعادلة $y'' = 4x^2y + 2y$

[4-5] المعادلات التفاضلية الاعتيادية من المرتبة الاولى والدرجة الاولى

مقدمة :

ان حل المعادلة التفاضلية هو عمل معاكس لعملية التفاضل ، أي يقوم على عمليات التكامل ، ومن المعروف انه لا يمكن ايجاد عكس تفاضل (الصورة المباشرة) لكل دالة . اي لا نتوقع ان يكون لكل معادلة تفاضلية حل عام بدلالة الدوال الاولى المعروفة . وعليه فالمعادلات التفاضلية التي يمكن حلها تقسم الى انواع متعددة حسب طريقة الحصول على حلها العام .

وفي هذا الفصل سوف نستعرض المعادلات التفاضلية من الرتبة الاولى والدرجة الاولى بمتغيرين x, y . ومع ان هذا النوع من المعادلات التفاضلية قد تبدو بسيطة إلا أنه ليس من الممكن ايجاد حل عام لاي منها بصورة عامة ، ولا توجد طريقة عامة للحل . وعليه فسوف نقسم هذه المعادلات والتي يمكن ايجاد حلها بطريقة مباشرة الى عدة انواع ، اهمها :

1. المعادلات التي تنفصل متغيراتها .
2. معادلات تفاضلية من النوع المتجانس .
3. معادلات تفاضلية تامة .
4. معادلات تفاضلية خطية - معادلة برنولي .

وفي هذا الفصل سنقتصر على النوعين (1) و (2) وطرائق حلّيهما .

فمثلاً تأخذ المعادلة التفاضلية من المرتبة الاولى والدرجة الاولى الشكلين الاتيين :

$$1) \frac{dy}{dx} = F(x, y)$$

$$2) M(x, y) dx + N(x, y) dy = 0$$

حيث $N(x, y) \neq 0$, $M(x, y) \neq 0$

فالمعادلة التفاضلية : مثلاً $\frac{dy}{dx} = \frac{3xy}{x+y}$

$$(3xy) dx = (x+y) dy$$

يمكن ان تكتب بالشكل

$$(3xy).dx - (x+y).dy=0$$

$$M = 3xy , N = (x+y)$$

حيث ان

في البند اللاحق سندرس بعض طرق حل المعادلة التفاضلية .

[5-5] بعض طرق حل المعادلات التفاضلية

المعادلات التي تنفصل متغيراتها Separation of Variables

في هذا النوع من المعادلات وكما يظهر من اسمها نستطيع ان نعزل كل الحدود التي تحتوي على x فقط مع dx في جانب والحدود التي تحتوي على y فقط مع dy في الجانب الاخر فنحصل على:

$$f(x).dx = g(y)dy \dots (1)$$

ثم نكامل طرفي المعادلة (1) فيكون

$$\int g(y)dy = \int f(x)dx + c$$

حيث c ثابت اختياري (Arbitrary Constant)

حل المعادلة $\frac{dy}{dx} = 2x + 5$

مثال - 1

الحل

$$\frac{dy}{dx} = 2x + 5 \Rightarrow dy = (2x + 5) dx$$

$$\int dy = \int (2x + 5)dx \Rightarrow y = x^2 + 5x + c$$

حل المعادلة $\frac{dy}{dx} = \frac{x-1}{y}$

مثال - 2

الحل

نجعل المعادلة بالصورة $g(y)dy = f(x)dx$

$$ydy = (x - 1)dx$$

اي:

$$\int ydy = \int (x - 1)dx$$

باخذ التكامل للطرفين :

$$\frac{1}{2}y^2 = \frac{1}{2}x^2 - x + c$$

$$y^2 = x^2 - 2x + 2c \Rightarrow y = \pm(x^2 - 2x + 2c)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \pm(x^2 - 2x + c_1)^{\frac{1}{2}}$$

(لكون c ثابت اختياري فان $2c$ ثابت اختياري ايضاً اسمناه c_1)

مثال - 3

حل المعادلة التفاضلية $dy = \sin x \cos^2 y dx$ حيث $y \neq (2n+1)\frac{\pi}{2}, \cos y \neq 0$

الحل

نجعل المعادلة بالشكل $g(y)dy = f(x)dx$

$$\frac{1}{\cos^2 y} dy = \sin x dx \quad \text{أي:}$$

$$\sec^2 y dy = \sin x dx$$

$$\Rightarrow \int \sec^2 y dy = \int \sin x dx \quad \text{باخذ التكامل}$$

$$\tan y = -\cos x + C \quad \text{حيث } C \text{ ثابت اختياري}$$

مثال - 4

اوجد حل المعادلة التفاضلية $y' - x\sqrt{y} = 0$ عندما $x=2, y=9$

الحل

$$y' - x\sqrt{y} = 0 \Rightarrow \frac{dy}{dx} - xy^{\frac{1}{2}} = 0 \Rightarrow \frac{dy}{dx} = xy^{\frac{1}{2}}$$

$$y^{\frac{1}{2}} dy = x dx \Rightarrow \int y^{\frac{1}{2}} dy = \int x dx \Rightarrow 2\sqrt{y} = \frac{1}{2}x^2 + c$$

$$2\sqrt{9} = \frac{1}{2}(2)^2 + c \Rightarrow 6 = 2 + c \Rightarrow c = 4$$

بالتعويض عن $x=2, y=9$ ينتج

∴ الحل هو

$$2\sqrt{y} = \frac{1}{2}x^2 + 4 \Rightarrow y = \left(\frac{1}{4}x^2 + 2\right)^2$$

حل المعادلة $\frac{dy}{dx} = e^{2x+y}$ حيث $y=0$ عندما $x=0$

الحل

$$\frac{dy}{dx} = e^{2x} \cdot e^y \Rightarrow e^{-y} dy = e^{2x} dx$$

$$-\int e^{-y} (-1) dy = \frac{1}{2} \int e^{2x} (2) dx$$

$$-e^{-y} = \frac{1}{2} e^{2x} + c \quad \text{بالتعويض عن } y=0 \text{ ، } x=0 \text{ ينتج}$$

$$\Rightarrow -e^0 = \frac{1}{2} e^0 + c \Rightarrow -1 = \frac{1}{2} + c \Rightarrow c = -\frac{3}{2}$$

اذن الحل هو :

$$-e^{-y} = \frac{1}{2} e^{2x} - \frac{3}{2} \Rightarrow e^{-y} = \frac{1}{2} (3 - e^{2x})$$

$$\frac{1}{e^y} = \frac{3 - e^{2x}}{2}$$

$$e^y = \frac{2}{3 - e^{2x}}$$

$$\Rightarrow y = \ln \left| \frac{2}{3 - e^{2x}} \right| \quad \text{وبأخذ In للطرفين ينتج :}$$

جد الحل العام للمعادلة التفاضلية : $(x+1) \frac{dy}{dx} = 2y$

الحل

$$\frac{dy}{y} = 2 \frac{dx}{x+1} \Rightarrow \int \frac{dy}{y} = 2 \int \frac{dx}{x+1}$$

$$\ln|y| = \ln(x+1)^2 + c \Rightarrow$$

$$\ln|y| - \ln(x+1)^2 = c$$

$$\ln \frac{|y|}{(x+1)^2} = c \Rightarrow \frac{|y|}{(x+1)^2} = e^c$$

حيث $C_1 = e^c$ ثابت اختياري .

$$|y| = e^c (x+1)^2$$

$$\therefore y = \pm C_1 (x+1)^2$$

تمارين

1 - حل المعادلات التفاضلية الآتية بطريقة فصل المتغيرات :

a) $y' \cos^3 x = \sin x$

b) $\frac{dy}{dx} + xy = 3x$, $x=1, y=2$

c) $\frac{dy}{dx} = (x+1)(y-1)$

d) $(y^2 + 4y - 1)y' = x^2 - 2x + 3$

e) $yy' = 4\sqrt{(1+y^2)^3}$

f) $e^x dx - y^3 dy = 0$

g) $y' = 2e^x y^3$, $x=0, y=\frac{1}{2}$

2 - جد الحل العام للمعادلات التفاضلية الآتية :

a) $xy \frac{dy}{dx} + y^2 = 1 - y^2$

b) $\sin x \cos y \frac{dy}{dx} + \cos x \sin y = 0$

c) $x \cos^2 y dx + \tan y dy = 0$

d) $\tan^2 y dy = \sin^3 x dx$

e) $\frac{dy}{dx} = \cos^2 x \cos^2 y$

f) $\frac{dy}{dx} = \frac{\cos x}{3y^2 + e^y}$

g) $e^{x+2y} + y' = 0$

الفصل السادس

Chapter Six

Space Geometry الهندسة الفضائية

تمهيد

[6-1]

الزاوية الزوجية والمستويات المتعامدة.

[6-2]

الاسقاط العمودي على مستوي.

[6-3]

الرمز او العلاقة الرياضية	المصطلح
$(x) - \overleftrightarrow{AB} - (y)$	الزاوية الزوجية بين (x) و (y)
$L - A$	المساحة الجانبية
$T - A$	المساحة الكلية
(x)	المستوي x

[6-1] تمهيد.

سبق وان علمنا أن كلاً من المستقيم والمستوي مجموعة غير منتهية من النقط وأن كل نقطتين تعينان مستقيماً واحداً وواحداً فقط وكل ثلاث نقط ليست على استقامة واحدة تعين مستوياً واحداً فقط، وكل اربعة نقط لا تقع في مستوي واحد تعين فضاء. اي أن المستقيم يحتوي على نقطتين على اقل تقدير، والمستوي يحتوي على ثلاث نقط على اقل تقدير لا يحتويها مستقيم واحد، والفراغ يحتوي على اربع نقط على اقل تقدير ليست جميعها في مستوي واحد.

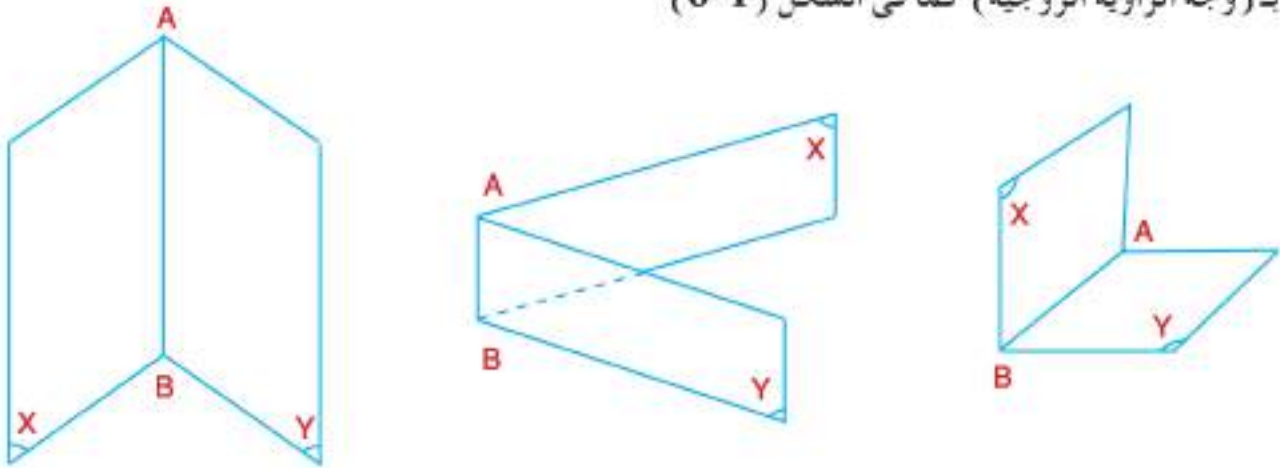
كما تعرفنا في الصف الخامس العلمي على علاقات بين المستقيمت والمستويات وبرهنا بعض المبرهنات التي يمكن الاستفادة منها في مبرهنات جديدة ستتعرف عليها في هذا الفصل. ولكي نتمكن من التواصل معنا وتتعرف على علاقات جديدة بين المستقيمت والمستويات، والمستويات والمستويات وتكتسب مفاهيم جديدة وتبرهن مبرهنات اخرى ما عليك الا الرجوع الى مراجعة ما درسته في هذا الموضوع في السنة السابقة.

[6-2] الزاوية الزوجية والمستويات المتعامدة.

تعريف [6-2-1]

الزاوية الزوجية: اتحاد نصفي مستويين لهما حافة (Edge) مشتركة.

تسمى الحافة المشتركة بـ (حرف الزاوية الزوجية Edge of Dihedral) ويسمى كل من نصفي المستويين بـ (وجه الزاوية الزوجية) كما في الشكل (6-1)



الشكل (6-1)

حيث \overleftrightarrow{AB} هو حرف الزاوية الزوجية، (X) و (Y) هما وجهها

ويعبر عن الزاوية الزوجية بالتعبير: $(X) - \overleftrightarrow{AB} - (Y)$

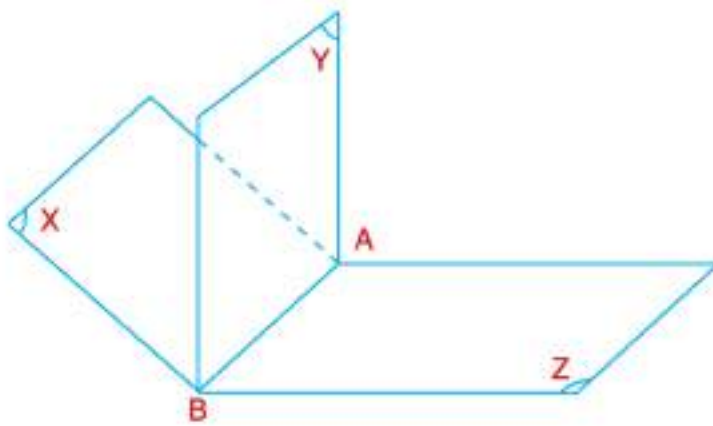
وقد يعبر عنها بحرف الزاوية الزوجية ان لم يكن مشتركاً مع زاوية اخرى.
مثلاً:

الزاوية الزوجية

$$(X) - \overleftrightarrow{AB} - (Z)$$

$$(X) - \overleftrightarrow{AB} - (Y)$$

$$(Y) - \overleftrightarrow{AB} - (Z)$$

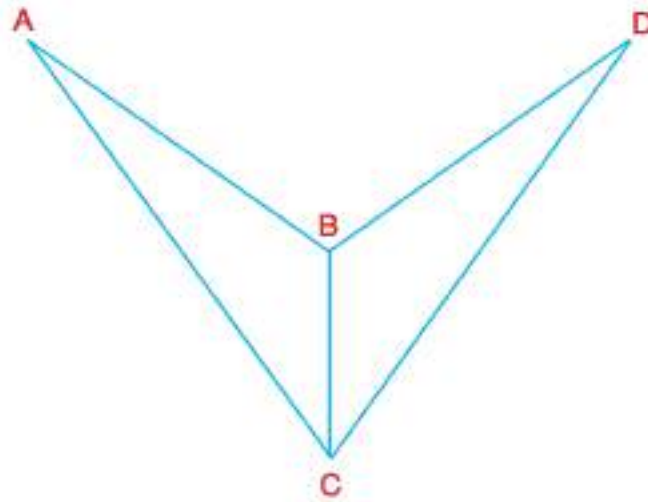


الشكل (6-2)

ولا يمكن ان تكذب الزاوية الزوجية بشكل \overleftrightarrow{AB} في هذا المثال لأن الحرف \overleftrightarrow{AB} مشترك في اكثر من زاوية زوجية.

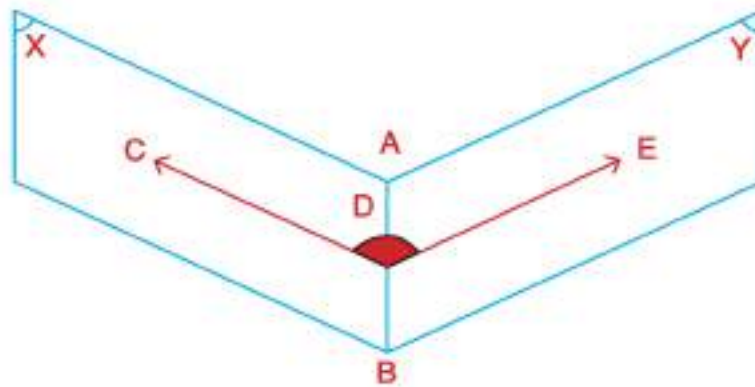
ملاحظة

عندما تكون اربع نقاط ليست في مستوي واحد، نكتب
 الزاوية الزوجية $A - \overleftrightarrow{BC} - D$ او الزاوية الزوجية
 بين المستويين (ABC) , (DBC) . كما في الشكل (6-3)



الشكل (6-3)

وتقاس الزاوية الزوجية كالآتي: نأخذ نقطة D على الحافة المشتركة \overleftrightarrow{AB} ونرسم من D العمود \overleftrightarrow{DC} في (X) والعمود \overleftrightarrow{DE} في (Y) على الحرف \overleftrightarrow{AB} فيكون قياس الزاوية الزوجية بين المستويين هو قياس الزاوية CDE وتسمى الزاوية العائدة للزاوية الزوجية. (كما في الشكل (6-4))



الشكل (6-4)

بعبارة اخرى لدينا الزاوية الزوجية

$$(X) - \overleftrightarrow{AB} - (Y)$$

$$\overrightarrow{DC} \subset (X), \overrightarrow{DE} \subset (Y)$$

$$\overrightarrow{DC} \perp \overleftrightarrow{AB}, \overrightarrow{DE} \perp \overleftrightarrow{AB}$$

$\angle CDE$ \therefore هي الزاوية العائدة للزاوية الزوجية \overleftrightarrow{AB} او $(X) - \overleftrightarrow{AB} - (Y)$.

تعريف [6-2-2]

الزاوية المستوية العائدة لزاوية زوجية: هي الزاوية التي ضلعاها عموديان على حرف الزاوية الزوجية من نقطة تنتمي اليه وكل منهما في أحد وجهي الزاوية الزوجية أو هي اتحاد شعاعين عموديين على حرف الزاوية الزوجية من نقطة تنتمي اليه وكل منهما في احد وجهي الزاوية الزوجية

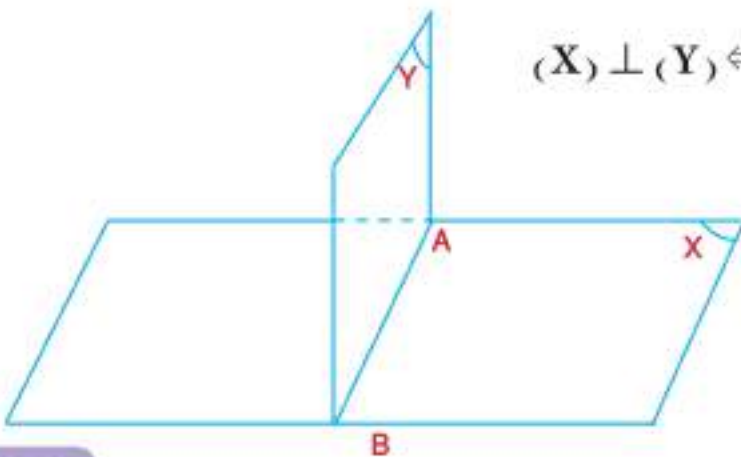
ومن تعريف الزاويتين العائدة والزوجية يمكن استنتاج الآتي

- (1) قياس زاوية عائدة لزاوية زوجية ثابت
- (2) قياس الزاوية الزوجية يساوي قياس الزاوية العائدة لها وبالعكس.

تعريف [6-2-3]

إذا كانت الزاوية الزوجية قائمة فان المستويين متعامدان وبالعكس

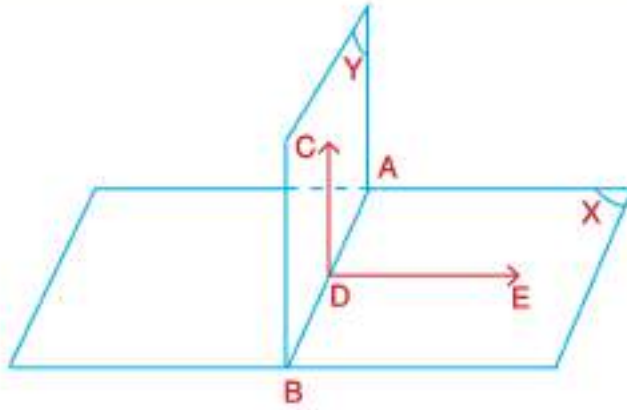
$$(X) \perp (Y) \Leftrightarrow (X) - \overleftrightarrow{AB} - (Y) = 90^\circ$$



الشكل (6-5)

مبرهنة (7):

إذا تعامد مستويان فالمستقيم المرسوم في أحدهما والعمودي على مستقيم التقاطع يكون عمودياً على المستوي الآخر



أي أنه:

إذا كان $(X) \perp (Y)$

$(X) \cap (Y) = \overleftrightarrow{AB}$

$\overleftrightarrow{CD} \subset (Y), \overleftrightarrow{CD} \perp \overleftrightarrow{AB}$

في D

فإن $\overleftrightarrow{CD} \perp (X)$

المعطيات:

$(X) \perp (Y), (X) \cap (Y) = \overleftrightarrow{AB}, \overleftrightarrow{CD} \subset (Y), \overleftrightarrow{CD} \perp \overleftrightarrow{AB}$ في نقطة D

المطلوب اثباته:

$\overleftrightarrow{CD} \perp (X)$

البرهان:

في (X) نرسم $\overleftrightarrow{DE} \perp \overleftrightarrow{AB}$ (في المستوي الواحد يمكن رسم مستقيم وحيد عمودي على مستقيم فيه من نقطة معلومة)

(معطى)

$\overleftrightarrow{CD} \subset (Y), \overleftrightarrow{CD} \perp \overleftrightarrow{AB}$

$\therefore \angle CDE$ عائدة للزاوية الزوجية $(Y) - \overleftrightarrow{AB} - (X)$ (تعريف الزاوية العائدة)

$\therefore m \angle CDE = 90^\circ$ (قياس الزاوية الزوجية يساوي قياس الزاوية العائدة لها وبالعكس)

إذا كان قياس الزاوية بين مستقيمين 90° فإن المستقيمين متعامدان وبالعكس

$\therefore \overleftrightarrow{CD} \perp \overleftrightarrow{DE}$

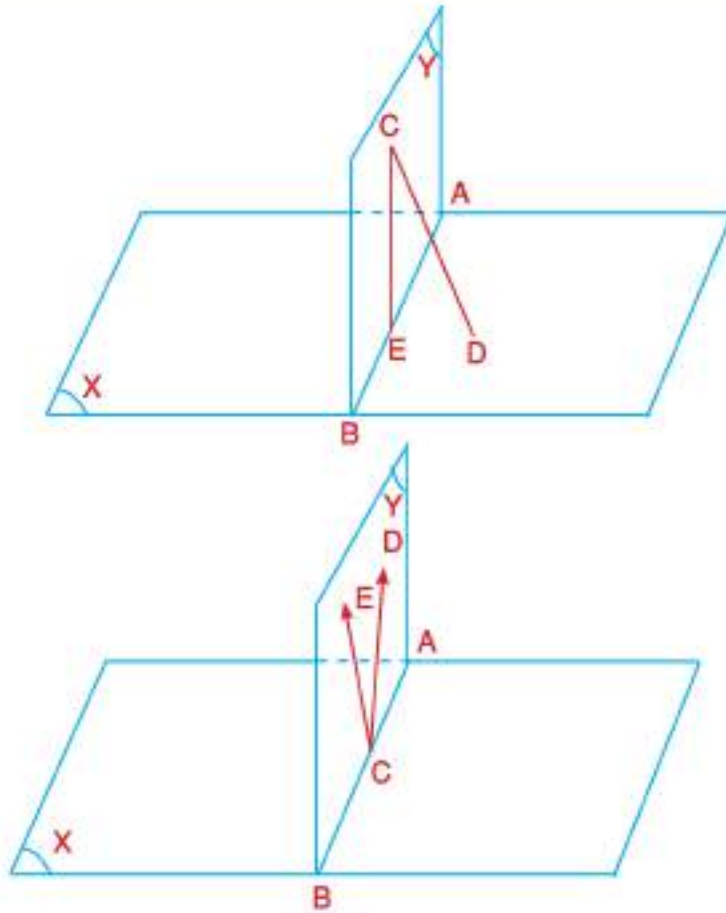
(المستقيم العمودي على مستقيمين متقاطعين من نقطة تقاطعهما يكون عمودياً على مستويهما)

$\therefore \overleftrightarrow{CD} \perp (X)$

نتيجة مبرهنة (7):

إذا تعامد مستويان فالمستقيم المرسوم من نقطة في احدهما عمودياً على المستوي الآخر يكون محتوي فيه.

اي انه:



$$\vec{CD} \perp (X), C \in (Y), (Y) \perp (X) \Rightarrow \vec{CD} \subset (Y)$$

مبرهنة (8):

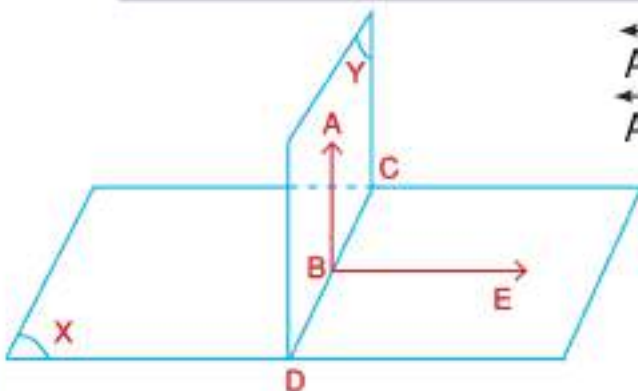
كل مستوٍ مارٍ بمستقيم عمودي على مستوٍ آخر يكون عمودياً على ذلك المستوي أو يتعامد المستويان إذا احتوى احدهما على مستقيم عمودي على الآخر

اي انه:

$$\left. \begin{array}{l} \vec{AB} \perp (X) \\ \vec{AB} \subset (Y) \end{array} \right\} \Rightarrow (Y) \perp (X)$$

المعطيات:

$$\left. \begin{array}{l} \vec{AB} \perp (X) \\ \vec{AB} \subset (Y) \end{array} \right\}$$



المطلوب اثباته:

ايجاد مستوٍ وحيد يحوي \overleftrightarrow{AB} وعمودي على (X)

البرهان:

من نقطة (A) نرسم $\overleftrightarrow{AC} \perp (X)$ (يوجد مستقيم وحيد عمودي على مستوٍ معلوم من نقطة لا تنتمي اليه)

$\therefore \overleftrightarrow{AB}, \overleftrightarrow{AC}$ متقاطعان

\therefore يوجد مستوٍ وحيد مثل (Y) يحويهما (لكل مستقيمين متقاطعين يوجد مستوٍ وحيد يحويهما)
 $\therefore (Y) \perp (X)$ (مبرهنة 8)

ولبرهنة الوجدانية:

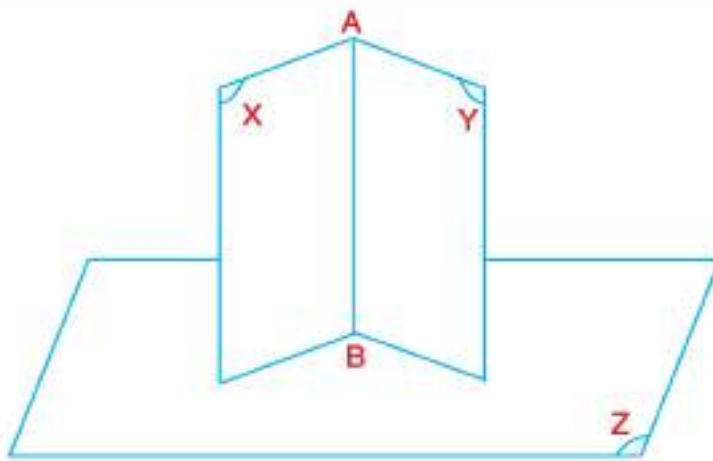
ليكن (Z) مستوي اخر يحوي \overleftrightarrow{AB} وعمودي على (X)
 $\therefore \overleftrightarrow{AC} \perp (X)$ (بالبرهان)

$\therefore \overleftrightarrow{AC} \subset (Z)$ (نتيجة مبرهنة 7)

$\therefore (Y) = (Z)$ (لكل مستقيمين متقاطعين يوجد مستوٍ وحيد يحويهما) **و.ه.م**

نتيجة مبرهنة (9):

اذا كان كل من مستويين متقاطعين عمودياً على مستوٍ ثالث فان مستقيم تقاطعهما يكون عمودياً على المستوي الثالث.



المعطيات:

$(X) \cap (Y) = \overleftrightarrow{AB}$

$(X), (Y) \perp (Z)$

المطلوب اثباته:

$\overleftrightarrow{AB} \perp (Z)$

البرهان:

ان لم يكن \overleftrightarrow{AB} عمودياً على (Z)

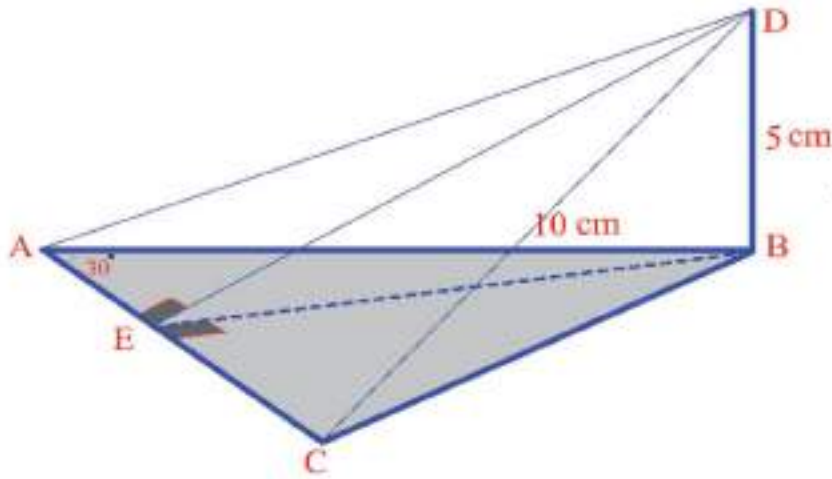
لما وجد اكثر من مستوي يحوي \overleftrightarrow{AB} وعمودي على (Z) (مبرهنة 9)

و.ه.م

$\therefore \overleftrightarrow{AB} \perp (Z)$

نشاط: توجد طرق اخرى لبرهان هذه المبرهنة ، حاول ذلك.

مثال - 1 -



في $\triangle ABC$

$\overline{BD} \perp (ABC)$, $m \angle A = 30^\circ$

$AB = 10 \text{ cm}$, $BD = 5 \text{ cm}$

جد قياس الزاوية الزوجية $D - \overline{AC} - B$

المعطيات:

$\overline{BD} \perp (ABC)$, $m \angle BAC = 30^\circ$, $AB = 10 \text{ cm}$, $BD = 5 \text{ cm}$

المطلوب اثباته:

ايجاد قياس الزاوية الزوجية $D - \overline{AC} - B$

البرهان:

في المستوي (ABC) نرسم $\overline{BE} \perp \overline{AC}$ في نقطة E (في المستوي الواحد يوجد مستقيم وحيد عمودي على آخر من نقطة معلومة)

$\overline{BD} \perp (ABC)$: (معطى)

$\therefore \overline{DE} \perp \overline{AC}$ (مبرهنة الاعمدة الثلاثة)

$\angle DEB \leftarrow$ عائدة للزاوية الزوجية \overline{AC} (تعريف الزاوية العائدة)

$\overline{DB} \perp \overline{BE}$ (المستقيم العمودي على مستوي يكون عموديا على جميع المستقيمات المحتواة في المستوي والمارة من اثره)

$\triangle DBE \leftarrow$ قائم الزاوية في B

في $\triangle BEA$ القائم الزاوية في E

$$\sin 30^\circ = \frac{BE}{BA} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{BE}{10} \Rightarrow BE = 5 \text{ cm}$$

$$\tan (BED) = \frac{5}{5} = 1$$

في $\triangle DBE$ القائم الزاوية في B :

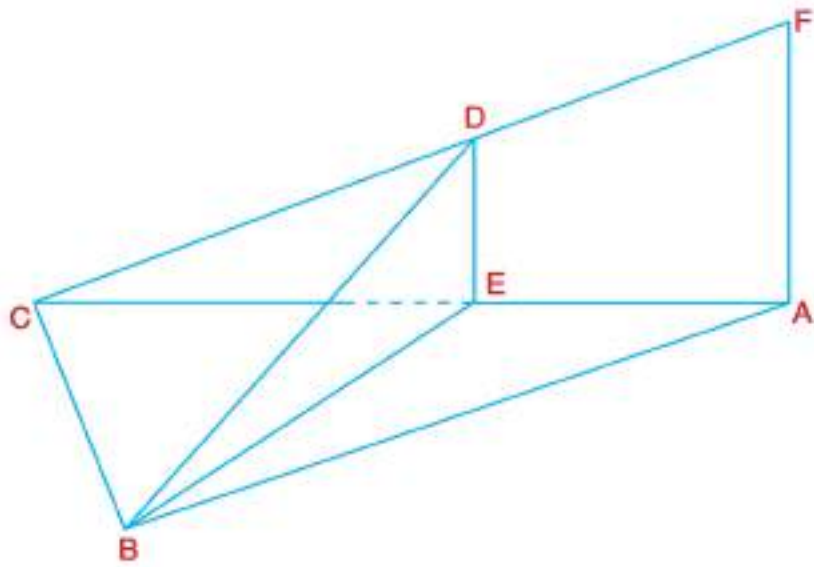
\therefore قياس $m \angle BED = 45^\circ$

\therefore قياس الزاوية الزوجية $D - \overline{AC} - B = 45^\circ$ (قياس الزاوية الزوجية هو قياس الزاوية العائدة

ها وبالعكس)

و. ه. م

مثال - 2 -



ليكن ABC مثلثاً وليكن

$$\begin{aligned} \overline{AF} &\perp (ABC) \\ \overline{BD} &\perp \overline{CF} \\ \overline{BE} &\perp \overline{CA} \end{aligned}$$

برهن ان:

$$\begin{aligned} \overline{BE} &\perp (CAF) \\ \overline{ED} &\perp \overline{CF} \end{aligned}$$

المعطيات:

$$\overline{AF} \perp (ABC), \overline{BE} \perp \overline{CA}, \overline{BD} \perp \overline{CF}$$

المطلوب اثباته:

$$\overline{DE} \perp \overline{CF}, \overline{BE} \perp (CAF)$$

البرهان:

$$\overline{AF} \perp (ABC) \quad \because \text{(معطى)}$$

$\therefore (CAF) \perp (ABC)$ (مبرهنة 8: يتعامد المستويان اذا احتوى احدهما على مستقيم عمودي على

الآخر)

$$\overline{BE} \perp \overline{CA} \quad \because \text{(معطى)}$$

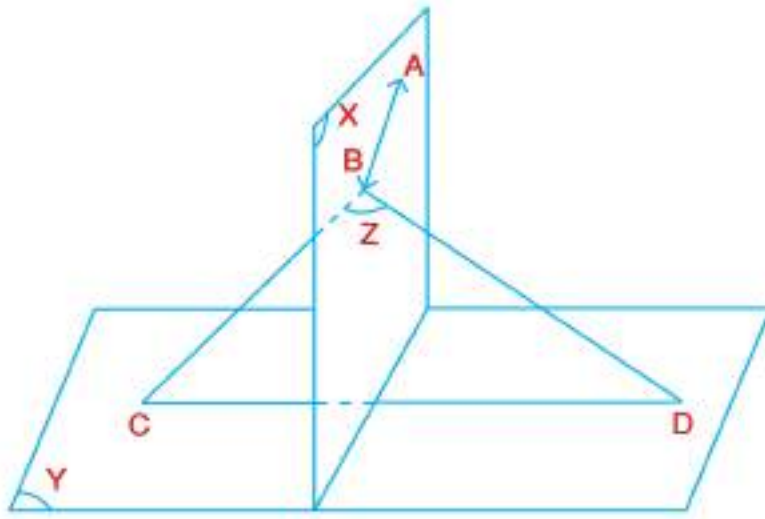
$\therefore \overline{BE} \perp (CAF)$ (مبرهنة 7: اذا تعامد مستويان فالمستقيم المرسوم في احدهما والعمودي على

مستقيم التقاطع يكون عمودياً على الآخر)

$$\overline{BD} \perp \overline{CF} \quad \because \text{(معطى)}$$

$$\therefore \overline{ED} \perp \overline{CF} \quad \text{(نتيجة مبرهنة الاعمدة الثلاثة)}$$

و.ه.م



(X), (Y) مستويان متعامدان

$$\overleftrightarrow{AB} \subset (X)$$

$$\overleftrightarrow{AB} \perp \overleftrightarrow{BC}, \overleftrightarrow{BD}$$

ويقطعان (Y) في C, D على الترتيب

برهنه انت:

$$\overleftrightarrow{CD} \perp (X)$$

المعطيات:

إن (X) \perp (Y)، $\overleftrightarrow{AB} \subset (X)$ ، \overleftrightarrow{BC} ، \overleftrightarrow{BD} عموديين على \overleftrightarrow{AB} ويقطعان (Y) في C, D على الترتيب

المطلوب اثباته:

$$\overleftrightarrow{CD} \perp (X)$$

البرهان:

ليكن (Z) مستوي المستقيمين المتقاطعين \overleftrightarrow{BC} ، \overleftrightarrow{BD} (لكل مستقيمين متقاطعين يوجد مستويًا وحيداً

يحيوئهما)

بما ان $\overleftrightarrow{AB} \perp \overleftrightarrow{BC}$ ، \overleftrightarrow{BD} (معطى)

$$\therefore \overleftrightarrow{AB} \perp (Z)$$

(المستقيم العمودي على مستقيمين متقاطعين من نقطة تقاطعهما يكون عمودياً على مستويهما)

$$\therefore \overleftrightarrow{AB} \subset (X) \text{ (معطى)}$$

$\therefore (X) \perp (Z)$ (يتعامد المستويان اذا احتوى احدهما على مستقيم عمودي على الآخر)

$$\therefore (X) \perp (Y) \text{ (معطى)}$$

ولما كان $(Z) \cap (Y) = \overleftrightarrow{CD}$ (لانه محتوى في كل منهما)

$$\therefore \overleftrightarrow{CD} \perp (X)$$

(اذا كان كل من مستويين متقاطعين عمودياً على مستوي ثالث فان مستقيم تقاطعهما يكون عمودياً على

المستوي الثالث)

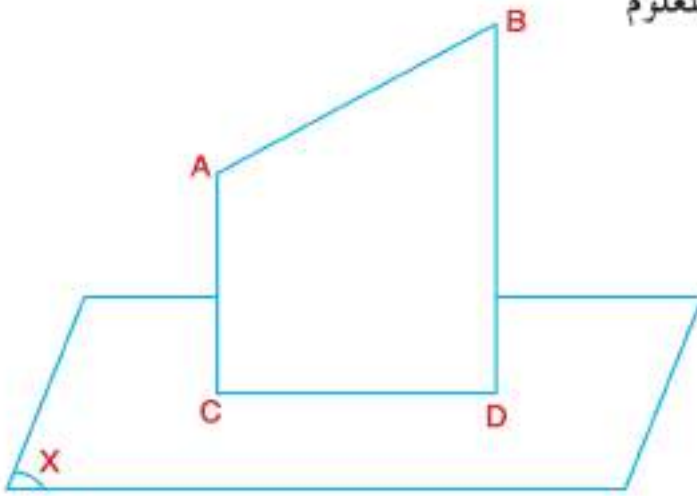
تمارين

1. برهن ان مستوي الزاوية المستوية العائدة لزاوية زوجية يكون عمودياً على حرفها .
2. برهن انه اذا وازى مستقيم مستوياً وكان عمودياً على مستوٍ آخر فان المستويين متعامدان .
3. برهن ان المستوي العمودي على احد مستويين متوازيين يكون عمودياً على الآخر ايضاً .
4. A, B, C, D اربع نقاط ليست في مستوٍ واحد بحيث $AB = AC$, $E \in \overline{BC}$ فاذا كانت $\angle AED < \angle A$ عائدة للزاوية الزوجية $A - \overline{BC} - D$ برهن ان $CD = BD$.
5. برهن انه اذا وازى كل من مستقيمين متقاطعين مستوياً معلوماً وكانا عموديين على مستويين متقاطعين فان مستقيم تقاطع المستويين المتقاطعين يكون عمودياً على المستوي المعلوم .
6. دائرة قطرها \overline{AB} , \overline{AC} عمودي على مستويها ، D نقطة تنتمي للدائرة . برهن ان (CDA) عمودي على (CDB) .

(3-6) الإسقاط العمودي على مستوي

The Orthogonal Projection on a Plane

- (1) **مسقط نقطة على مستوي:** هو أثر العمود المرسوم من تلك النقطة على المستوي .
- (2) **مسقط مجموعة نقط على مستوي:** لتكن I مجموعة من نقاط في الفراغ فان مسقطها هو مجموعة كل اثار الاعمدة المرسومة من نقاطه على المستوي .
- (3) **مسقط قطعة مستقيم غير عمودية على مستوي معلوم:** هو قطعة المستقيم المحددة بأثري العمودين المرسومين من نهايتي القطعة على المستوي المعلوم



ليكن \overline{AB} غير عمودي على (X) وليكن

$\overline{AC} \perp (X)$ ← مسقط A على (X) هو C

$\overline{BD} \perp (X)$ ← مسقط B على (X) هو D

∴ مسقط \overline{AB} على (X) هو \overline{CD}

ملاحظة اذا كان $\overline{AB} \parallel (X)$

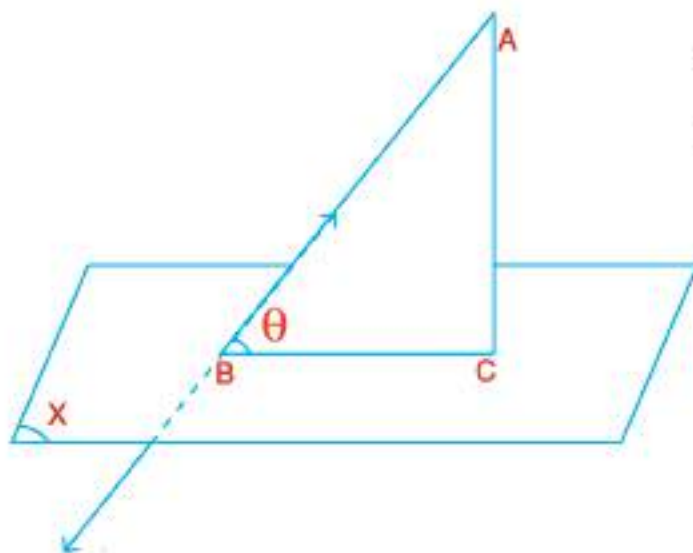
فان $AB = CD$

(4) **الستقيم المائل (Inclined Line) على مستوي:** هو المستقيم غير العمودي على المستوي وقاطع له

(5) **زاوية الميل (Angle of Inclination):** هي الزاوية المحددة بالمائل ومسقطه على المستوي .

ليكن \overleftrightarrow{AB} مائلاً على (X) في B

وليكن $\overline{AC} \perp (X)$ في C



$\therefore C$ مسقط A على (X) حيث $A \notin (X)$

كذلك B مسقط نفسها حيث $B \in (X)$

$\Leftarrow \overline{BC}$ مسقط \overline{AB} على (X)

اي ان $0 < \theta < 90^\circ$

$\theta \in (0, 90^\circ)$

(6) طول السقط

طول مسقط قطعة مستقيم على مستوي = طول المائل \times جيب تمام زاوية الميل .

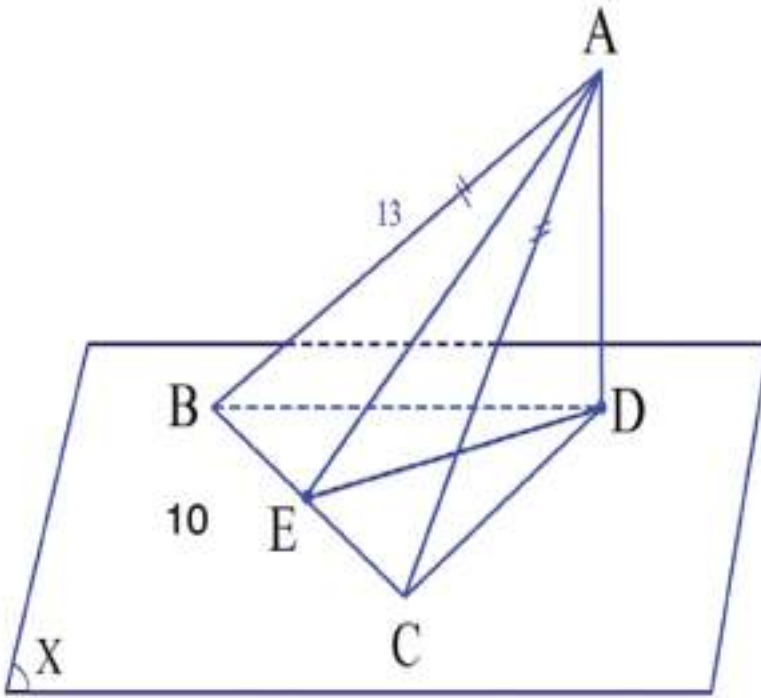
فعندما تكون \overline{AB} مائلاً على (X) وزاوية ميله θ ومسقطه \overline{BC} فان $\boxed{BC = AB \cos \theta}$

(7) مسقط مستوي مائل (Inclined Plane) على (X)

زاوية ميل مستوي على مستوي معلوم هو قياس الزاوية المستوية العائدة للزاوية الزوجية بينهما
مساحة مسقط منطقة مائلة على مستوي معلوم = مساحة المنطقة المائلة \times جيب تمام زاوية الميل

لتكن A مساحة المنطقة المائلة ، A' مساحة المسقط ، θ قياس زاوية الميل $\boxed{A' = A \cdot \cos \theta}$

مثال - 4 -



$\overline{BC} \subset (X)$ ، مثلث ABC

والزاوية الزوجية بين مستوي المثلث

ABC والمستوي (X)

قياسها 60° فإذا كان

$AB = AC = 13\text{cm}, BC = 10\text{cm}$

جد مسقط المثلث (ABC) على (X)

ثم جد مساحة مسقط $\triangle ABC$ على (X)

المعطيات:

$\triangle ABC, \overline{BC} \subset (X)$

قياس $(ABC) - \overline{BC} - (X) = 60^\circ$

$AB = AC = 13, BC = 10$

المطلوب اثباته:

ايجاد مسقط $\triangle ABC$ على (X) وايجاد مساحة مسقط $\triangle ABC$ على (X)

البرهان:

نرسم $\overline{AD} \perp (X)$ في D

(يمكن رسم عمود على مستوي من نقطة معلومة)

(مسقط قطعة مستقيم على مستوي معلوم هو القطعة المحددة بأثري

العمودين المرسومين على المستوي من طرفي القطعة المستقيمة)

$$\left\{ \begin{array}{l} \overline{CD} \text{ مسقط } \overline{AC} \\ \overline{BD} \text{ مسقط } \overline{AB} \\ \overline{BC} \text{ مسقط نفسه على } (X) \end{array} \right.$$

$\therefore \triangle BCD$ مسقط $\triangle ABC$ على (X)

في (ABC) نرسم $\overline{BC} \perp \overline{AE}$ في E (في المستوي الواحد يمكن رسم مستقيم عمود على آخر من

نقطة معلومة)

وبما أن $AC = AB$ (معطى)

$\therefore EC = BE = 5\text{cm}$ (العمود النازل من راس مثلث متساوي الساقين على القاعدة ينصفها)

(نتيجة مبرهنة الاعمدة الثلاثة)

$$\overline{ED} \perp \overline{BC} \quad \therefore$$

(تعريف الزاوية العائدة)

$$\overline{BC} \text{ عائدة للزوجية } \angle DEA \quad \therefore$$

(معطى)

$$60^\circ = \overline{BC} \text{ لكن قياس الزاوية الزوجية}$$

في القائم في E : $\triangle AEB$

$$AE = \sqrt{169 - 25} = \sqrt{144} = 12\text{cm}$$

في القائم في D : $\triangle AED$

$$\cos 60^\circ = \frac{ED}{AE} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{ED}{12} \Rightarrow ED = 6\text{cm}$$

$$\text{مساحة المثلث BCD} = \frac{1}{2} \times 10 \times 6 = 30\text{cm}^2$$

و.ه.م

ملاحظة

لو طلب مساحة المسقط فقط فيمكن ايجاده كالآتي:

$$\text{مساحة BCD} = \text{مساحة } ABC \times \cos 60^\circ$$

$$= \frac{1}{2} \times (12 \times 10 \times \frac{1}{2}) = 30\text{cm}^2$$

و.ه.م

تمارين

1. برهن أن طول قطعة المستقيم الموازي لمستو معلوم يساوي طول مسقطه على المستوي المعلوم ويوازيه .
2. برهن أنه إذا قطع مستويان متوازيان بمستقيم فإن ميله على أحدهما يساوي ميله على الآخر .
3. برهن على أن للمستقيمتان المتوازيتان المائلتان على مستو الميل نفسه
4. برهن على أنه إذا رسم مائلان مختلفان في الطول من نقطة لا تنتمي إلى مستو معلوم فإن أطولهما تكون زاوية ميله على المستوي أصغر من زاوية ميل الآخر عليه .
5. برهن على أنه إذا رسم مائلان من نقطة ما إلى مستو فأصغرهما ميلاً هو الأطول .
6. برهن على أن زاوية الميل بين المستقيم ومسقطه على مستو أصغر من الزاوية المحصورة بين المستقيم نفسه وأي مستقيم آخر مرسوم من موقعه ضمن ذلك المستوي .