# المحاضرة التاسعة – ميكانيك هندسي

د.نزار عبد الرحمن

## مركز الجاذبية والمركز الهندسي -عزم العطالة

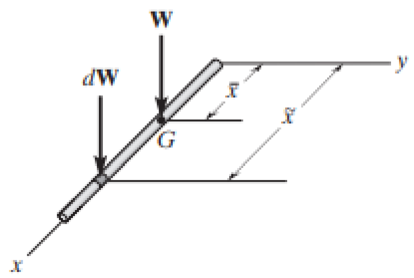
مركز الجاذبية هو النقطة التي تلتقي عندها محصلة الوزن للجسيمات التي يتألف منها الجسم.

يتألف الجسم من مجموعة لانهائية من الجسيمات ذات حجم تفاضلي ووزن

dw . تشكّل هذه الأوزان نظام من القوى المتوازية ،وتكون محصلة نظام القوى عبارة عن وزن الجسم الذي يمر بنقطة وحيدة "تدعى مركز الجاذبية "أو"مركز الثقل G "

من أجل تحديد موقع مركز الثقل ، نفرض قضيب بوزن dw مركزة في موقع غير محدد $\tilde{x}$ .

الوزن الكلي للقضيب يساوي مجموع الأوزان الجزئية لكافة الجسيمات التي يتألف منها .




(a)

$$+\downarrow F_R = \Sigma F_z; \qquad W = \int dW$$

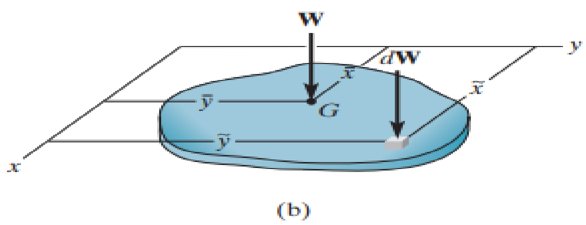
بفرض لدينا نظام مؤلف من عدد من الجزيئات ، محصلة الوزن يجب أن تساوي الوزن الكلي لكافة الجسيمات.

من أجل تحديد موقع مركز الثقل بالنسبة للمحور y ، نكتب معادلة العزوم للوزن W حول المحور y، الذي يكون مساويا لعزم كافة الجزيئات حول نفس المحور:

$$(M_R)_y = \Sigma M_y; \qquad \bar{x}W = \int \tilde{x}\,dW$$

$$\bar{x} = \frac{\int \tilde{x}\, dW}{\int dW}$$

بنفس الطريقة إذا كان الجسم عبارة عن صفيحة ( الشكل b)، نستطيع كتابة معادلات توازن العزوم حول المحورين x –y من أجل تحديد موقع المركز الثقل G(x,y)

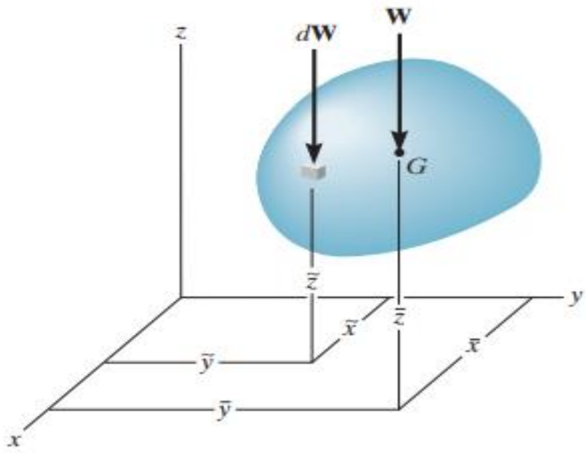



(b)

$$(M_R)_y = \Sigma M_y; \qquad \bar{x}W = \int \tilde{x}\,dW$$

$$\bar{x} = \frac{\int \tilde{x}\,dW}{\int dW}$$

أخيرا يمكن تعميم هذه النتيجة في الفراغ ثلاثي الأبعاد ( الشكل c) وكتابة معادلات العزوم حول محاور الاحداثيات الثلاث ، من أجل تحديد موقع مركز الثقل بالنسبة لأية محاور احداثيات




(c)

$$\bar{x} = \frac{\int \tilde{x}\,dW}{\int dW} \qquad \bar{y} = \frac{\int \tilde{y}\,dW}{\int dW} \qquad \bar{z} = \frac{\int \tilde{z}\,dW}{\int dW}$$

## مركز الكتلة :

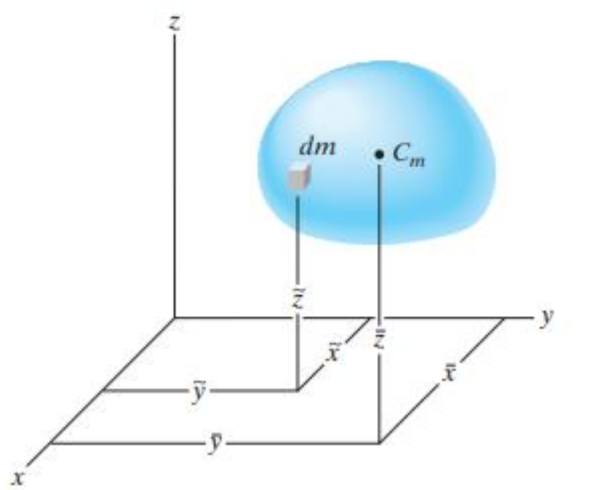
عند دراسة المسائل المتعلقة بحركة الأجسام تحت تأثير القوى ( علم الديناميك)

،من الضروري تحديد نقطة تسمى " مركز الكتلة "بوضع علاقة الوزن والكتلة

$$\mathbf{dW = m.g}$$

في المعادلة السبقة ينتج لدينا العلاقة :

$$\bar{x} = \frac{\int \tilde{x}\, dm}{\int dm} \qquad \bar{y} = \frac{\int \tilde{y}\, dm}{\int dm} \qquad \bar{z} = \frac{\int \tilde{z}\, dm}{\int dm} \qquad (9\text{–}2)$$



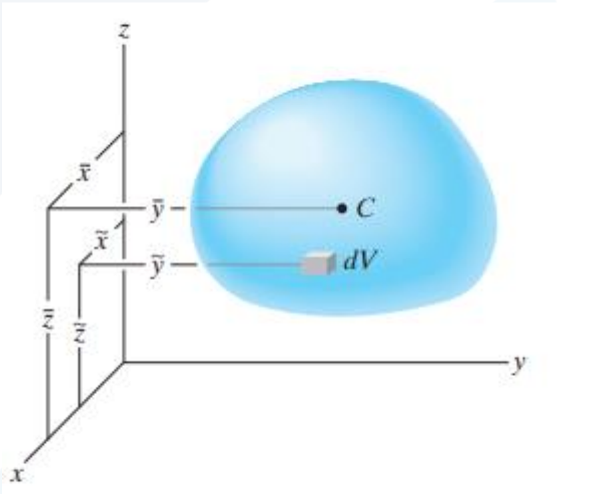

## المركز الهندسي :

المركز الهندسي هو النقطة التي تعرّف  مركز الجسم ويعتمد على هندسية الجسم

ونميز ثلاث حالات  :

المركز الهندسي للحجم : عندما يتألف الجسم من مادة متجانسة ، تكون الكثافة ثابتة $dm = \rho dv$

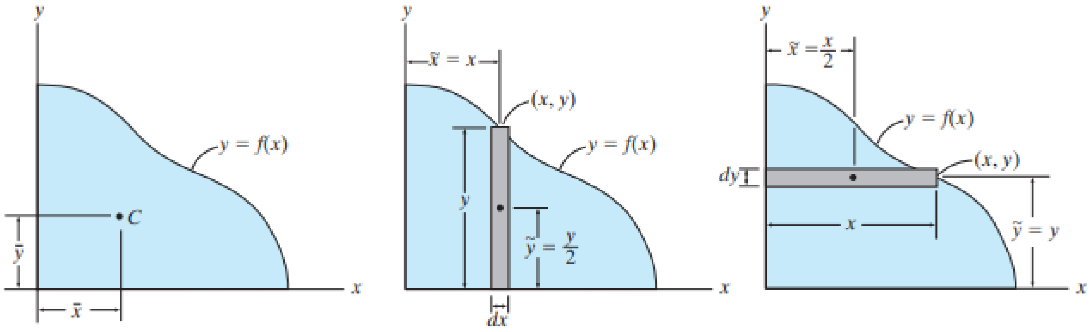
نحصل على العلاقات التي تحدد المركز الهندسي للجسم :




$$\bar{x} = \frac{\int_V \tilde{x}\, dV}{\int_V dV} \qquad \bar{y} = \frac{\int_V \tilde{y}\, dV}{\int_V dV} \qquad \bar{z} = \frac{\int_V \tilde{z}\, dV}{\int_V dV}$$

## المركز الهندسي للمساحة :

يتم تقسيم المساحة الى مساحات جزئية وحساب العزوم حول كافة محور الاحداثيات

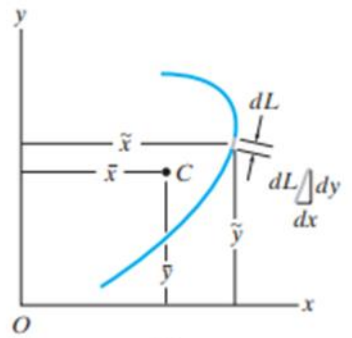



(a) (b) (c)

$$\bar{x} = \frac{\int_A \tilde{x}\, dA}{\int_A dA} \qquad \bar{y} = \frac{\int_A \tilde{y}\, dA}{\int_A dA}$$

## الخط :

نعتبر عنصر التفاضل ونحسب العزوم حول محاور الاحداثيات.

| | |
|---|---|
|  (a) | $\bar{x} = \frac{\int_L \tilde{x}\, dL}{\int_L dL} \qquad \bar{y} = \frac{\int_L \tilde{y}\, dL}{\int_L dL}$ |

$$dL = \sqrt{\left(\frac{dx}{dx}\right)^2 dx^2 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 dx^2}$$

$$= \left(\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}\right) dx$$

or

$$dL = \sqrt{\left(\frac{dx}{dy}\right)^2 dy^2 + \left(\frac{dy}{dy}\right)^2 dy^2}$$

$$= \left(\sqrt{\left(\frac{dx}{dy}\right)^2 + 1}\right) dy$$

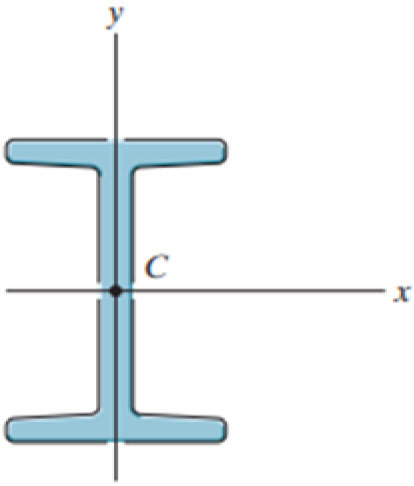
## نقاط هامة :

- يمثل المركز الهندسي للجسم النقطة التي يتطابق فيها مركز الكتلة أو مركز الثقل عندما يكون الجسم متجانس .

- المعادلة المستخدمة لتحديد مركز الثقل أو المركز الهندسي عبارة عن موازنة معادلات العزوم لكافة الجسيمات التي يتألف منها الجسم ،وعزم المحصلة لنظام القوى .

- في بعض الحالات يقع المركز الهندسي للجسم خارج الجسم ( من أجل حلقة مثلا ).

- إذا كان الجسم يمتلك محورا تناظريا .فإن المركز الهندسي يقع على هذا المحور.




**الأجسام المركبة :**

من الممكن أن يتألف الجسم من مجموعة من الأشكال ( مستطيل ، مثلث ، نصف دائرة ...)، عندها نستطيع تقسيم الجسم إلى مجموعة من الأجسام وحساب المركز من أجل كل قسم، بدلا من حساب علاقات التكامل نستطيع استخدام العلاقات التالية :

$$\bar{x} = \frac{\sum \tilde{x} W}{\sum W} \qquad \bar{y} = \frac{\sum \tilde{y} W}{\sum W} \qquad \bar{z} = \frac{\sum \tilde{z} W}{\sum W}$$

حيث :

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ احداثيات مركز الثقل للجسم المركب .

$\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z}$ - احداثيات مركز الثقل لكل جزء من الجسم .

$\sum W$ - مجموع الأوزان الجزئية لكافة الأجزاء التي يتألف منها الجسم .

## نظرية PAPPUS-GULDINUS:

تستخدم لحساب مساحة وحجم أي جسم دوراني

وضعت النظريتين لأول مرة من قبل الرياضي "بابوس" في القرن الرابع ميلادي في الاسكندرية . وطوّرت من قبل الرياضي السويسري "غولدينوس " في القرن العاشر. واستخدمتا من أجل حساب مساحة السطح والحجم للأجسام الدورانية .

### مساحة السطح :

إذا قمنا بتدوير منحني مستوي حول محور لايتقاطع مع المنحني ، فإن المنحني سيشكّل سطح دوراني .

مثلا تتشكّل مساحة السطح المبيّن في الشكل عن طريق تدوير المنحني بطول L حول المحور الأفقي .

من أجل حساب مساحة السطح ، نفرض أولا عنصر تفاضلي بطول dL

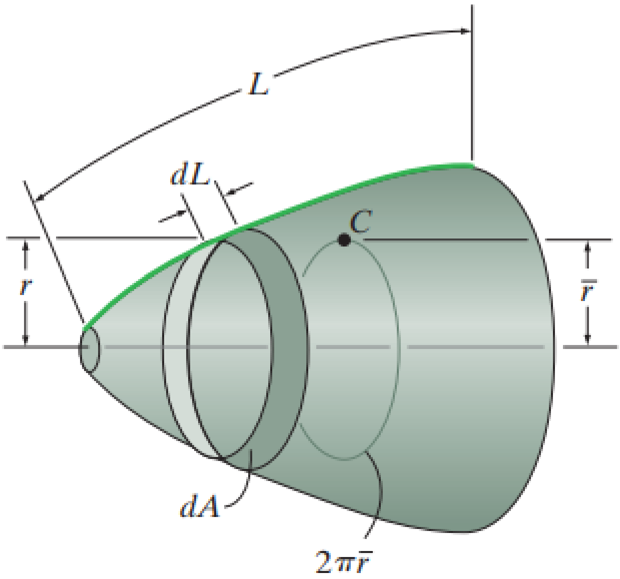
إذا قمنا بتدوير العنصر بزاوية $2\pi$ راديان حول المحور الأفقي .

مساحة الحلقة المتشكّلة : $dA = 2\pi \int \bar{r} . dL$

$$A = 2\pi . \bar{r} . L$$

إذا دار المنحني بزاوية $\theta$ :

$$A = \theta . \bar{r} . L$$




مساحة السطح : مساحة السطح الدوراني تساوي : جداء منحني التشكيل مع المسافة المقطوعة من قبل المركز الهندسي للمنحني خلال تشكيل مساحة السطح.

$$\boxed{A = \theta r . L}$$

$A$ - مساحة السطح الدوراني .

$\theta$- زاوية الدوران مقاسة بالراديان .

$r$- المسافة العمودية من محور الدوران إلى مركز المنحني المشكّل.

$L$- طول منحني التشكيل .

الحجم : حجم الجسم الدوراني يساوي جداء مساحة التشكيل ، مع المسافة المقطوعة من قبل المركز الهندسي للمساحة خلال تشكيل الحجم.

$$V = \theta r.A$$

$V$ − حجم الدوران .

$\theta$- زاوية الدوران مقاسة بالراديان .

$r$- المسافة العمودية من محور الدوران إلى مركز مساحة التشكيل.

$A$- مساحة التشكيل .

الأشكال المركبة :

مساحة السطح الكلي أو الحجم المتشكل يساوي مساحات السطوح أو الأحجام المتشكلة من قبل كل جزء .

$$A = \theta \sum (r.L)$$

$$V = \theta \sum (r.A)$$

# عزم العطالة ( القصور الذاتي)

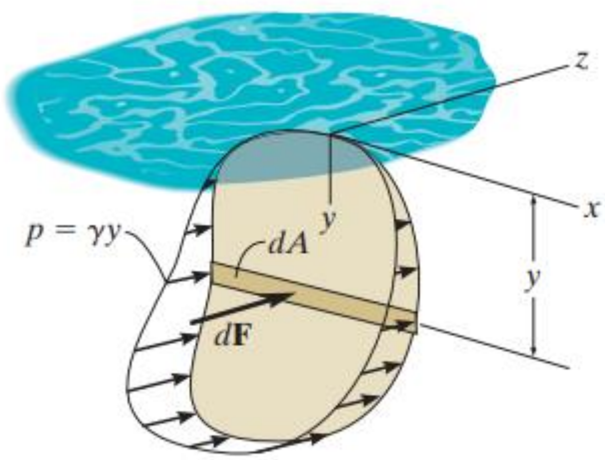
من أجل توضيح مفهوم عزم العطالة ، نفرض صفيحة مغمورة بالمياه معرضة لضغط P ، ويتغير الضغط خطيا حسب العمق حيث :

$$P = \gamma . Y$$

$\gamma$ - الوزن النوعي للماء

مقدار القوة المؤثرة على الصفيحة:

$$dF = P . dA = (\gamma Y) . dA$$




عزم هذه القوة حول المحور X:

$$dM = y . dF = \gamma . y^2 . dA$$

تكامل $dM$ من أجل كامل المساحة :

$$M = \gamma \int y^2 \, dA$$

يسمّى التكامل $\int y^2 \, dA$ بعزم العطالة للمساحة ، أو" عزم القصور الذاتي ".

إن مصطلح " عزم العطالة للمساحة " لامعنى فيزيائي له ، ولكنه مصطلح مستخدم بشكل أساسي في ميكانيك الموائع ، ومقاومة المواد ، والانشاءات الهندسية والتصميم الميكانيكي .

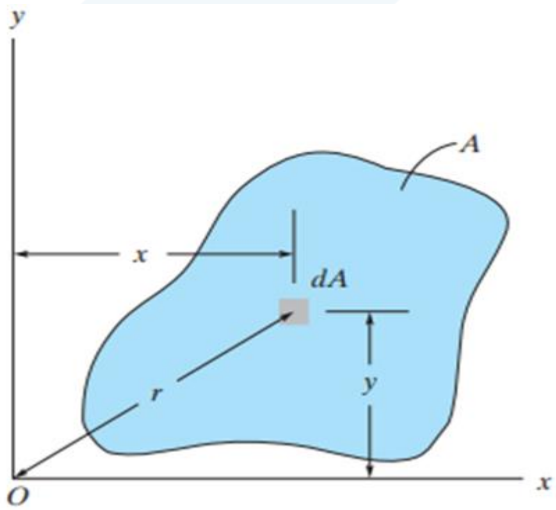
## عزم العطالة :

يتم تحديد مركز الثقل للمساحة عن طريق العزم الأول للمساحة حول محور.

التكامل الثاني للعزم يمثل عزم القصور الذاتي للمساحة .

عزم العطالة من أجل عنصر المساحة حول المحاور x ,y

$$I_x = y^2 . dA \,, \qquad dI_y = x^2 . dA$$



من أجل كامل المساحة يتم تحديد عزم العطالة عن طريق علاقات التكامل :

$$I_x = \int_A y^2\, dA$$
$$I_y = \int_A x^2\, dA$$

أيضا يمكننا كتابة العزم الثاني للمساحة حول القطب أو المحور،

يسمى عزم العطالة القطبي ويستخدم لحساب عزم الفتل في الأعمدة

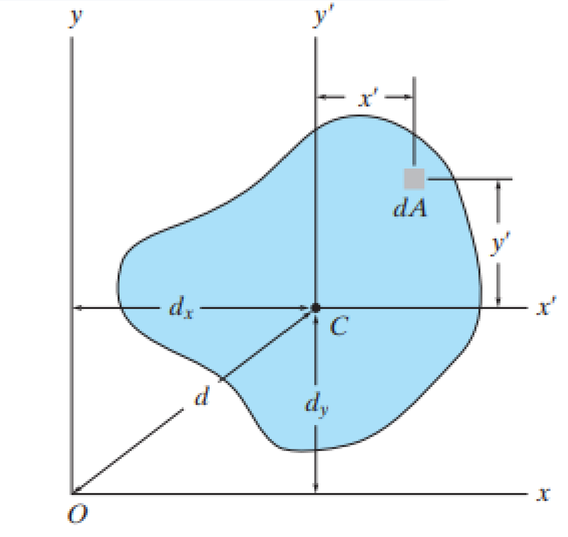
$$J_O = \int_A r^2\, dA = I_x + I_y$$

r- المسافة العمودية من القطب ( المحور) إلى عنصر المساحة

## نظرية المحاور المتوازية :

عزم القصور الذاتي للمساحة حول محور يساوي عزم القصور الذاتي حول محور يمر بمركز الثقل + المساحة مضروبة بمربع المسافة بين المحورين .أي أن :

$$I_x = I_{x'} + Ad_y^2$$
$$I_y = I_{y'} + Ad_x^2$$
$$J_O = I_C + Ad^2$$




## نصف قطر التدويم :

يستخدم عادة في تصميم الأعمدة في الانشاءات الميكانيكية ،بفرض أن المساحة وعزم القصور معروفين :

$$k_0 = \sqrt{\frac{J_0}{A}} \quad , \quad k_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad , \quad k_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

## حساب عزم العطالة للمساحة عن طريق التكامل :

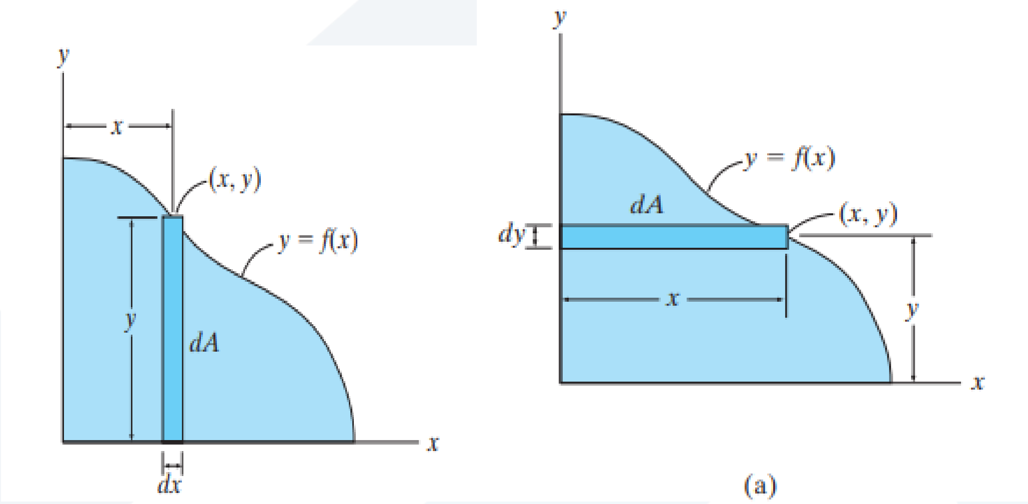
في معظم الحالات يمكن حساب عزم القصورعن طريق تكامل أحادي .

عندما يعطى المنحني المحدد للمساحة عن طريق تابع رياضي $y=f(x)$،

عندها يتم اختيار عنصرتفاضلي للمساحة بطول محدد وعرض تفاضلي .

عادة يمكن اختيارطول العنصربشكل موازللمحور المراد حساب عزم العطالة عنده ، من أجل الشكل (a) حيث يراد حساب العزم حول المحور x يمتلك العنصرسماكة dy، عندها يكون لكافة أجزاء العنصر نفس الذراع y بالنسبة للمحورx .

من أجل الشكل ( b) يقع العنصر التفاضلي على نفس المسافة x بالنسبة للمحورy.




b

**عزم عطالة الكتلة :**

خاصية للجسم تقيس مقاومة الجسم للتسارع الزاوي ، تستخدم في علم الديناميك من أجل دراسة الحركة الدورانية .

نعرّف عزم القصور الذاتي للجسم حول محور Z

عن طريق العلاقة $$I = \int_m r^2 \, dm$$

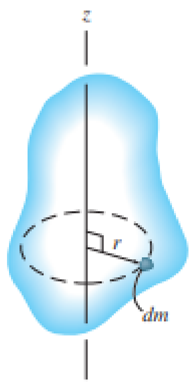
الواحدات: $kg.m^2$

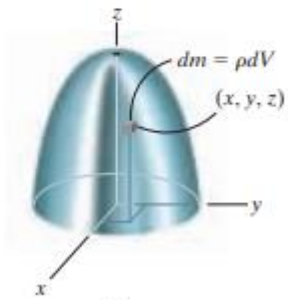
إذا كان الجسم الصلب يمتلك قيما مختلفة للكثافة عندها يمكن التعبير عن عنصر الكتلة وفق قيم الكثافة للحجم $dm = \rho dv$

$$I = \int_v r^2 \rho . dv$$

من أجل قيم ثابتة للكثافة :

$$I = \rho \int_{v} r^2 dv$$




(a)

نظرية المحاور المتوازية :

عندما يكون عزم القصور الذاتي لجسم حول محور يمر بمركز الكتلة معروفا ، عندها يمكننا حساب عزم القصور الذاتي للجسم حول أي محور آخر موازيا للمحور السابق .

عزم القصور الذاتي للكتلة حول محور يساوي عزم القصور حول محور يمر بمركز الثقل مضافا إليه الكتلة مضروبة بمربع المسافة بين المحورين

$$\boxed{I = I_G + md^2}$$

$I$ - عزم العطالة للكتلة حول محور ما

$I_G$ عزم العطالة للكتلة حول محور يمر بمركز الثقل.

m-كتلة الجسم

d - المسافة بين المحورين .

الأجسام المركبة :

من أجل حساب عزم القصور الذاتي لجسم مؤلف من عدد من الأجسام البسيطة حول محور، نقوم بحساب الجمع الجبري لعزوم القصورلكل جزء حول نفس المحور.