

الفصل الخامس

عزم الدوران

يعد العزم من القوانين الفيزيائية المهمة ويطلق عليه تسمية عزم الدوران او عزم القوة الدورانية , ويعرف عزم الدوران بانه كمية فيزيائية ذو قيمة اتجاهية تعبر على قابلية القوة المسلطة على جسم ما لتدويره حول محور الدوران , حيث ان عزم الدوران يساوي مقدار المركبة العمودية للقوة المسلطة مع متجه سطح محور الدوران مضروبة باقصر مسافة بين المحور ومتجه القوة والتي تسمى بطول الذراع كما يمكن ان يكون اتجاه تسليط القوة في مستوي مواز لمحور الدوران .

انواع عزم الدوران

هناك نوعان لعزم الدوران هما عزم الدوران الديناميكي والذي يتسبب بحركة الجسم حول محور الدوران والذي ينتج عنه تسارع زاوي اثناء الحركة ومن امثلة التسارع الديناميكي الحركة الدورانية لعمود دوران عجلات سيارات السباق والذي ينتج عنه تسارع زاوي لان السيارة تبقى في حالة تسارع من بداية السباق حتى اخره.

عزم دوران ثابت لا ينتج عن هذا النوع حركة في الجسم الذي سلطت عليه القوة ولا ينتج عنه تسارع زاوي ومن الامثلة التوضيحية لهذا النوع دفع باب مغلق بقوة معينة لا ينتج هذه القوة حركة للباب حول محور دورانها وكذلك استخدام دواسات الدوران للدراجة بسرعة ثابتة بحيث لا يحدث تسارع .

ان عزم القوة يعتمد على عاملين الاول هو القوة ويعتبر البعد العمودي بين خط عمل القوة (F) ومحور الدوران الذي يسمى ذراع عزم القوة العامل الثاني.

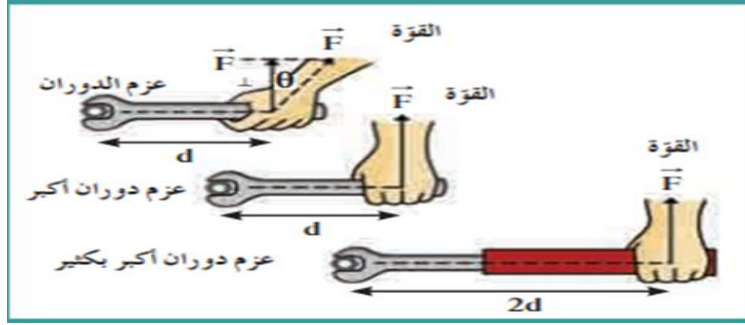
عزم القوة : مدى مقدرة القوة على إحداث دوران لجسم حول محور ثابت، وتساوي حاصل الضرب الاتجاهي بين بُعد نقطة تأثير القوة عن محور الدوران والقوة.

ويمكن حساب عزم القوة رياضيا من العلاقة الآتية :

$$\vec{\tau} = \vec{F}_{\perp} \times \vec{d}$$

حيث $\vec{\tau}$ تمثل عزم القوة , $\vec{F}_{\perp}$ تمثل القوة العمودية و $\vec{d}$ يمثل ذراع القوة العمودية.

فعندما لا تصنع القوة زاوية عمودية مع ذراع الرافعة، فإن مركبة القوة العمودية F هي التي تسهم في عمل عزم القوة فحسب, ان استخدام ذراع للقوة ذو طول اكبر يؤدي إلى بذل جهد أقل وفعل رافعة اكبر وكما واضح في الشكل (1). ان المسافة العمودية من محور الدوران إلى نقطة تأثير القوة تسمى ذراع القوة .

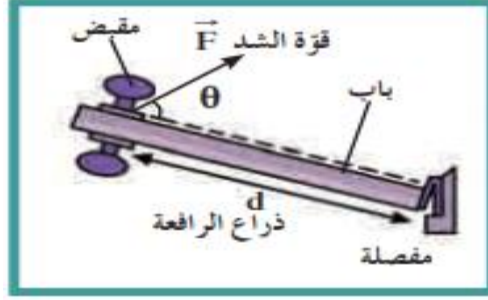


الشكل (1)

اما اذا كانت القوة تصنع زاوية θ مع المحور الأفقي كما في الشكل (2) فنجد ان الأثر الدوراني للجسم ينتج عن تأثير المركبة العمودية على المحور الذي يصل بين نقطة تأثير القوة ونقطة الدوران, وتكتب معادلة عزم الدوران على النحو الاتي

$$\tau = F \times d \times \sin \theta$$

حيث إن θ هي الزاوية بين القوة وذراعها .



الشكل (2)

تُقاس F , بحسب النظام الدولي للوحدات بوحدة (N) والمسافة بوحدة (m) وبالتالي يقاس عزم القوة بوحدة (N.m) وهي ذاتها وحدة قياس الطاقة (ال جول) الا ان وحدة عزم القوة لا تساوي (ال جول) لان الجول ناتج عن الضرب النقطي فالطاقة كمية عددية في حين ان عزم قوة الدوران كمية اتجاهية .

اتجاه عزم القوة :

العلاقة الرياضية التي تمثل عزم القوة $\tau = F \times d \times \sin \theta$ والتي يمكن كتابتها بالشكل الاتي

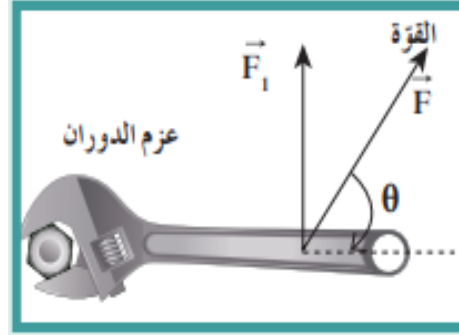
$$\vec{\tau} = \vec{F}_{\perp} \times \vec{d}$$

ان عزم القوة هو كمية متجهة ويمكن تحديد اتجاهها باستخدام قاعدة اليد اليمنى ، بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه عزم القوة بعد تدوير الأصابع باتجاه دوران الجسم .

إذا كان عزم القوة على مفتاح الربط في الشكل (3) يؤدي إلى دورانه عكس اتجاه عقارب الساعة . فإن اتجاه عزم القوة مفتاح الربط ، بتطبيق قاعدة اليد اليمنى ، يكون عمودي على الصفحة نحو الخارج ، وقد اصطلح في هذه الحالة أن يكون اتجاه عزم القوة موجبا.

اما إذا كان عزم القوة يؤدي إلى دوران الجسم مع اتجاه عقارب الساعة فيكون اتجاه عزم القوة عموديا على الصفحة نحو الداخل ، وقد اصطلح في هذه الحالة أن يكون اتجاه عزم القوة سالبا.

وعليه ان اتجاه عزم القوة يكون موجبا عندما يؤدي الى الدوران عكس اتجاه حركة عقارب الساعة ،وسالبا اذا ادى الى الدوران مع اتجاه عقارب الساعة.



الشكل (3)

واجب بيئي / ما الفرق بين الشغل وعزم القوة ؟

العزوم المتزنة :

يتحقق الاتزان إذا كان عزم القوة الذي يسبب دوراننا مع اتجاه عقارب الساعة بواسطة القوة الاقل مقدارا مساويا لعزم القوة الذي يسبب دوراننا معاكسا لاتجاه عقارب الساعة بواسطة القوة الاكبر مقدارا

من هنا نستنتج أنّ الشرط الضروري لتحقيق الاتزان الدوراني هو أن محصلة جمع العزوم تساوي صفراً:

$$\sum \vec{\tau} = 0$$

أي أنّ المجموع الجبري للعزوم مع اتجاه عقارب الساعة = المجموع الجبري للعزوم عكس اتجاه عقارب الساعة ويمكن صياغة ذلك رياضياً كما يلي:

$$\sum \tau_{C,W} = \sum \tau_{A,C,W}$$

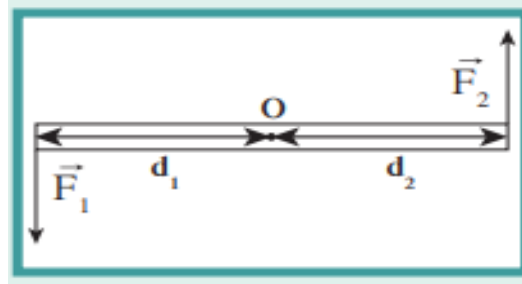
ونستنتج بعد أن تعلّمنا شرط الاتزان الدوراني أنّه لاتّزان جسم مادّي تؤثر فيه مجموعة من القوى لا بدّ من توافر شرطي الاتّزان التاليين:

$$\begin{aligned} \sum \vec{F} &= 0 \\ \sum \vec{\tau} &= 0 \end{aligned}$$

عزم الازدواج :

عندما تقوم بفتح صنوبر ماء أو إغلاقه، يؤثر كل من إصبع الإبهام وإصبع السبابة في مقبض الصنوبر بقوتين متساويتين مقداراً ومتعاكستين اتجاهًا، يشكلان ما يعرف بعزم الازدواج الذي يرمز له بالرمز C ، ويسببان دوران مقبض الصنوبر.

تكثر في حياتنا اليومية الأمثلة على عزم الازدواج. فعندما تقود دراجتك الهوائية على المنعطف، تبذل بيديك قوتين متوازيتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه على المقود. فتصنع هاتان القوتان عزم ازدواج يؤدي إلى التفاف المقود، كذلك عندما يستخدم ميكانيكي السيارات المفتاح الرباعي لفك صواميل إطار السيارة، فهو يدير الصواميل بتأثير عزم ازدواج الذي يساوي مقداره محصلة عزم القوتين F_1 و F_2 المتساويتين في المقدار والمتعاكستين في الاتجاه واللتان تؤديان إلى دوران الجسم في الاتجاه نفسه، أي الشكل (4)



شكل (4)

$$\vec{C} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2$$

$$\vec{C} = \vec{F}_1 \times \vec{d}_1 + \vec{F}_2 \times \vec{d}_2$$

الازدواج يتكوّن من قوتين متساويتين في المقدار ومتوازيتين وتعملان في اتجاهين متضادين وليس لهما خطّ عمل واحد. ولكن $F_1 = F_2 = F$ فتصبح $C = F(d_1 + d_2)$. وحيث إنّ: $d_1 + d_2 = d$ وهي المسافة العمودية بين القوتين، يُحسب مقدار عزم الازدواج:

$$\vec{C} = \vec{F} \times d$$

يساوي عزم الازدواج حاصل ضرب مقدار إحدى القوتين بالمسافة العمودية بينهما.

العتلات وانواعها:

العتلة جسم صلب يدور حول محور ثابت (يمر بنقطة عادة تسمى بنقطة الارتكاز او المحور) وهي من الالات البسيطة التي استخدمها منذ القدم لرفع وتحريك الاثقال وللعتلة ثلاث نقاط هي

1: نقطة المحور او المرتكز 2: نقطة القوة او الجهد 3 : نقطة المقاومة او الحمل

وللعتلات ثلاث انواع هي:

-النوع الاول : Class I Levers

تقع نقطة الارتكاز (المثلث الوردي) بين المقاومة (الكتلة المرفوعة باللون الاصفر) والجهد (الموضحة بالقبان الحزوني) يعمل النوع الاول من العتلات على زيادة القوة والحصول على مدى واسع للحركة ويكون فيه :

ذراع القوة = ذراع المقاومة (وهو حالة الاتزان Equilibrium or Balance)

$$d_e = d_r$$

والعزم الناتج :

$$F_e d_e = F_r d_r$$

وعند عدم تحقق اتزان ميكانيكي فان النظام يدور باتجاه " العزم الاكبر (Higher Torque) .

وكمثال لهذا النوع من العتلات هو المطرقة والمقص .

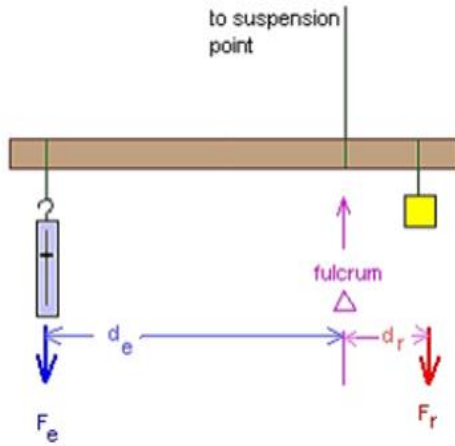
اما **الفائدة الميكانيكية** (Mechanical Advantage)

فهي النسبة بين قوة المقاومة والقوة المبذولة :

$$MA = \frac{F_r}{F_e} = \frac{d_e}{d_r}$$

وهي كمية خالية من الوحدات ، وتحدد قيمتها كالآتي :

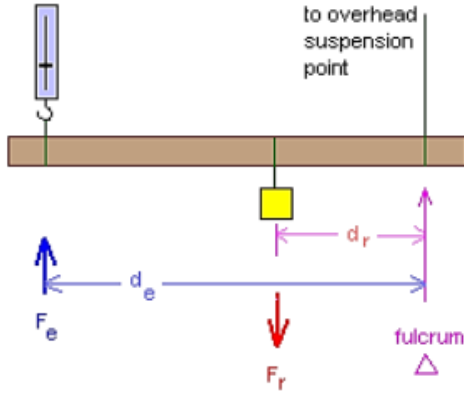
1. الفائدة الميكانيكية = 1 ، عندما تكون قوة المقاومة = القوة المبذولة .
2. الفائدة الميكانيكية > 1 ، عندما تكون قوة المقاومة > القوة المبذولة .
3. الفائدة الميكانيكية < 1 ، عندما تكون قوة المقاومة < القوة المبذولة .



-النوع الثاني : Class II Levers

تقع المقاومة أو الحمل في هذا النوع الثاني من العتلات بين نقطة الارتكاز والجهد حيث تكون نهاية العتلة في هذه المرة مستندة الى نقطة الارتكاز ، بينما تكون المقاومة واقعة في منتصف المسافة على العتلة ، أما الشخص الذي يقوم برفع العتلة (الجهد) فإنه يقف في الجهة المقابلة لنقطة الارتكاز.

$$-F_e d_e = F_r d_r$$



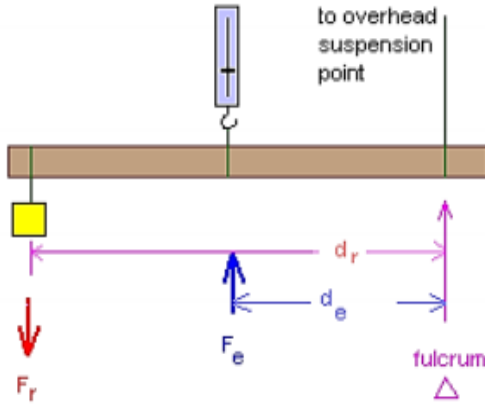
ولأن الحركة الكبيرة الناتجة عن الجهد تقوم بتحريك الحمل لمسافة أقصر ، فإن قيمة العزم تصبح أكبر .
كمثال عن هذا النوع من العتلات عربة اليد (بدولاب واحد) وكسارة البندق.

ملاحظة :

تقوم العتلتان من النوع الاول والثاني بتحويل الجهد القليل الى عزم اكبر من اجل تحريك ونقل الحمل ، لذا ستتحرك العتلة عندئذ مسافة كبيرة .

-النوع الثالث : Class III Levers

يعمل هذا النوع من العتلات على زيادة الحركة بدلا من العزم حيث تكون إحدى نهايتي العتلة مستندة الى نقطة الارتكاز كما هو الحال في النوع الثاني ، ويكن الحمل أو المقاومة واقعا في الطرف الثاني من العتلة . أما الشخص الذي يقوم بتسليط الجهد فيكون بين نقطة الارتكاز والمقاومة ، وتكون قيمة العزم قليلة .



يعد هذا النوع من العتلات مثاليا لرفع الانوات التي تحتاج الى التحكم والمعالجة الدقيقة وكمثال عليه هو الملقط .

مثال (1): يدفع شخص باب بقوة (10 نيوتن)، تؤثر عمودياً عند نقطة تبعد (80 سم) من مفصل الباب ما مقدار عزم هذه القوة ؟

$$1\text{m} = 100\text{ cm}$$

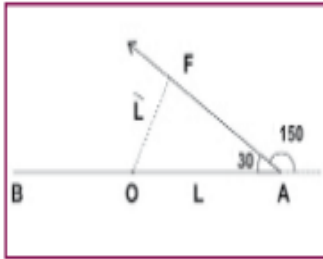
$$80\text{ cm} = 0.8\text{m}$$

$$\tau = F \times d \times \sin \theta$$

$$T = 10 \times 0.8 \times \sin 90$$

$$T = 8\text{ N.m}$$

مثال (2): لوح (AB) طوله (3 m) قابل للدوران حول محور عمودي، يمرّ بمنتصفه (O)، أثرت في طرفه (A) قوة (F= 20 N)، في الاتجاه المبين في الشكل المجاور، احسب عزم القوة مقداراً واتجهاً حول محور الدوران.

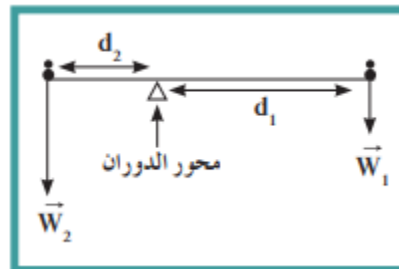


الحل:

$$|\tau| = LF \sin \theta = 1.5 \times 20 \times \sin (150^\circ) = 15\text{ N m}$$

واتجاه الدوران عكس عقارب الساعة، وهذا يعني أن العزم موجب (نحو الخارج).

مثال (3): يجلس طفلان وزن احدهما (300 نيوتن) ووزن الاخر (450 نيوتن) على طرفي ارجوحة طولها (3 متر) مهملة الكتلة كما في الشكل ادناه حدد موقع محور الدوران بالنسبة الى احدهما والذي يجعل النظام في حالة اتزان دوراني.



$$T=W *d *\sin 90$$

$$T1=W1 *d1 *\sin 90$$

$$T1=300 *d1 \dots\dots\dots(1)$$

$$T2=W2 *d2 *\sin 90$$

$$T2=450 *d2 \dots\dots\dots(2)$$

$$\sum \tau_{C,W} = \sum \tau_{A,C,W}$$

$$, d1+d2=3m$$

$$. d2=3-d1$$

$$300 d1=450 (3-d1)$$

$$.d1=1.8 m , d2=1.2m$$