كيناتيكا الحركة الدورانية أو الكيناتيكا الزاوية

معظم حركات الجسم البشري تتم حول محاور دوران مراكزها مفاصل الجسم المختلفة، وعليه سوف نتطرق في هذا المبحث إلى الكنيتيك الزاوي أو ببحث في تأثير القوى المسببة للحركة الدورانية وتغييرها. وكذا العلاقات التي تربط الكيناتيكا الخطية بالكيناتيكا الزاوية.(

القوى والعزوم في الحركة الدورانية (جيمس، 2007، 117، 122)

1-القوة اللامركزية Excentric Force: إذا أثرنا على جسم بقوة دفع أو سحب محركة من مركز ثقله، فإن الجسم سينتج حركة انتقالية. وكلما ابتعدت نقطة تأثير القوة عن مركز ثقل الجسم انتقالية دورانية، وهذه القوة التي نقطة قوة تأثيرها بعيدة عن مركز الجسم تسمى القوة اللامركزية.

2-قوى الجذب والطرد المركزية

قوة الجذب المركزية Centripetal Force: عندما يقوم الجسم بالحركة الدورانية حول محور ثابت فإنه يتعرض لقوة تجذبه باتجاه مستقيم نحو مركز محور الدوران، وتسمى هذه القوة بقوة الجذب المركزية. ومعادلة هذه القوة كالأتي: $Fc = mv^2/r$ ، حيث: **Fc** : قوة الجذب المركزية، و **m** : كتلة الجسم المتحرك، **v** : السرعة المماسية للجسم التحرك في لحظة معينة، و **r** : نصف قطر محور الدوران.

ومعادلتها بمصطلحات السرعة الزاوية كما يلي: $Fc = m\ r\ \omega^2$ ؛ **حيث: Fc** : قوة الجذب المركزية، و **m** : كتلة الجسم المتحرك، و **r** : نصف قطر محور الدوران، و **ω** : السرعة الزاوية للجسم.

ويظهر من هذين المعادلتين أن العامل الأكثر تأثير على مقدار قوة الجدب هي السرعة.

قوة الطرد المركزية Centrifugal Force: وكما جاء في القنون الثالث لنيوتن فإن قوة الجذب المركزي تتولد عنها قوة معاكسة في الاتجاه ومساوية لها في المقدار، تسمى قوة الطرد المركزية. ورياضة رمي المطرقة تمثل مثالا مناسبا للتعرف على هذه القوى سواء قوة الجذب نحو اللاعب وسواء قوة الطرد المعاكسة لها نحو مجال الرمي.

3-العزم المزدوج Couple: عند التأثير على جسم بقوة (دفع أو سحب محركة) بعيدا عن مركز ثقله، وفي ذات الوقت التأثير عليه بنفس القوة (دفع أو سحب محركة)بالاتجاه المعاكس، وبنفس البعد عن مركز ثقله بالجهة المقابلة؛ فإن الجسم سينتج حركة دورانية. أي أن القوتان تعملان معا مما يسهل انتاج الحركة الدورانية أكثر، أي أن القوتان تؤثران بعزم مزدوج؛ ومثال ذلك حركة الكتفين عند تدوير الجذع على المحور الرأسي للجسم.

4-عزم القوة Torque: وهو عزم دوران الجسم؛ فنقطة تأثير قوة الدفع أو السحب لجسم من نقطة بعيدة عن مركز ثقل كتلته يسبب في تحرك الجسم حركة دورانية، وهذه القوة تسمة بعزم التدوير أو عزم القوة. ويرمز لعزم القوة بالرمز **T** ووحدة قياسه هي النيوتن . المتر. وذكرنا معادلتها سابقا.

قوانين نيوتن في الحركة الدورانية (الزاوية)

ذكر نيوتن ثلاث قوانين أساسية للحركة سواء اللانتقاية الخطية أو للحركة الزاوية، وهي:

1-قانون القصور الذاتي في الحركة الدورانية(جيمس، 2007، 153)

في الحركة الدورانية يميل الجسم إلى البقاء في حالة دوران، بكمية حركة زاوية ما لم يؤثر عليه عزم قوة خارجية تلزمه تغيير حالته. وهذه الخاصية تسمى بعزم القصور الذاتي أو عزم عطالة الجسم والتي تتأثر بكتلته وبمربع بعد (نصف قطر) الجسم المتحرك عن محورالدوران، وتتناسب معها طرديا، وبعبارة أخرى فإن عزم القصور الذاتي للجسم هو حاصل كتلة الجسم ضرب بعد مركز ثقل الجسم عن محور الدوران. ويعبر عنها بالمعادلة التالية: ط = ك . نق² أو $I = m . r^2$ ؛ حيث **I** : عزم القصور الذاتي للجسم المتحرك، و **m** : كتلة الجسم المتحرك، **r**: نصف القطر(بعد مركز كتلة الجسم التحرك عن محور الدوران).

من خلال هذه المعادلة فإن قوة القصور الذاتي للجسم البشري أو لأحد أجزائه تختلف في الحركة حسب محاور دوران الحركة التي تتم حولها، فمثلا قوة القصور الذاتي للجسم أو لأجزاء الجسم على محور الدوران الرأسي أقل من قوة القصور على المحور السهمي أو الجانبي.

2-الزخم الزاوي :Angular Momentum

وحسب نيوتن فكمية الحركة الزاوية أو الزخم الزاوي Angular Momentum تتأثر بالسرعة الزاوية وبعزم قصوره الذاتي ، فكلما زادت خاصية الجسم في مقاومة الحركة والمتمثلة في عزم القصور(أي يتأثر بموضع الكتلة من محور الدوران)، أو إذا زادت سرعته زادت كمية حركته أيضا.

لذا فالزخم الزاوي (مى) هو حاصل ضرب عزم القصور الذاتي في السرعة الزاوية.

أي مى = ط . ى أو $M\alpha = I . \omega$

عزم القصور الذاتي=الكتلة x مربع الطول أو نصف القطر مربع؛ حيث يمثل الطول هنا طول الجسم (كالمرجحة على العمود الثابت) أو أحد أجزائه(كثني الذراع ومدها)، أي نصف قطر الدوران حول المحاور المختلفة (مفاصل الجسم). ويمكن الاستفادة من هذه الظاهرة عند تعليم الحركات الرياضية لتحقيق مبدأ الاقتصاد في الجهد. فمثلا في حركات التعلق بالعمود الثابت للتغلب على قوة جذب الأرض عند المرجحة، فإن اللاعب سيعمل على إطالة نصف قطر الحركة (ممثلة في الطول الجسم) إلى الأسفل لزيادة

سرعة الجسم المحيطية (الخطية) أو الزاوية، بينما يعمل على تقليل نصف القطر عند اتجاهه للأعلى محافظا بذلك على سرعته الزاوية، وهذا ما يسمي بالزخم الزاوي.

العلاقة بين الزخم الزاوي والزخم الخطي:

كما في المعادلة التالية: الزخم الزاوي=عزم القصورالقصور الذاتي . السرعة الزاوية

الزخم الزاوي= ك . نق² . ى

وبما أن السرعة الزاوية (ى) = ع / نق

فإن الزخم الزاوي (مى) = ك . نق² . (ع /نق) أو مى = ك . ع . نق

ولما كان الزخم الخطي (م) = ع . ك

فإن الزخم الزاوي (مى) = نق . الزخم الخطي أي مى = م . ك أو $M\alpha = M \cdot r$

3-قانون التعجيل أو التسارع في الحركة الدورانية

وحسب نيوتن كما في خاصية القصور الذاتي، فإن معدل التغير في كمية الحركة الزاوية للجسم (التسارع الزاوي) في تناسب طردي مع عزم القوة الخارجي المؤثر عليه أو عزم التدوير Torque، وفي تناسب عكسي مع عزم قصوره الذاتي. كما تبينه المعادلة التالية:

التعجيل = عزم القوة / عزم القصور الذاتي:

أي $\alpha = T / I$ ، أو $T = I \cdot \alpha$. ؛ حيث : α : التسارع الزاوي لحركة الجسم، **T** : عزم التدوير الخارجي، و**I** : عزم أو قوة القصور الذاتي للجسم المتحرك.

وهذه المعادلة حول الزخم الزاوي تخص الأجسام الصلبة، بينما جسم الأنسان المركب من عدة وصلات أو أجزاء مترابطة، فالزخم الزاوي لعضو أو جزء معين من أجزاء الجسم يعتمد على الزخم الزاوي للعضو حول مركز ثقله إضافة إل زخمه الزاوي حول مركز ثقل الجسم الكلي.

4-قانون رد الفعل في الحركة الدورانية

لكل عزم مؤثر من جسم لأخر هناك عزم آخر مساوي له في المقدار ومضاد له في الاتجاه. وهذا يعني أن تأثير جسم على جسم أخر بعزم ما، فإن هذا الأخير يؤثر على الجسم الأول بمقدار مماثل من العزم المضاد، تسمى هذه القوة بقوة رد الفعل، فمثلا عند قيام لاعب الكرة الطائرة بسحق الكرة، فإن ذراعه الساحقة عند ضرب الكرة تنتج عزم فعل في مقابل إنتاج الرجلين لعزم مضاد كرد للجسم. (جيمس، 2007، 163، 166).