الدراسات العليا / الدكتوراة

مادة البايوميكانيك

المحاضرة الثالثة /

الدفع وكمية الحركة، قانون حفظ الزخم وكيفية استثمار الزخم في الحركات الخطية والزاوية ؟

إعداد

ا.د إنتصار كاظم عبد الكريم

1444هـ / 2023 م

❖ الدفع ، الزخم

الدفع :

هو قوة تؤثر على الجسم وتسبب تغييرًا في حركته ، ويعتبر من الكميّات الفيزيائيّة المتجهة والتي تقاس بوحدة النيوتن. ثانية ويتم تمثيلها بيانياً فى صورة دالة بين (القوة – الزمن)

ويعرفه البعض على انه قانون فيزيائي ينص على أن الدفع الذي يؤثر على جسم ما يتناسب طرديًا مع التغير في كمية الحركة لهذا الجسم .

وفي المجال الميكانيكي يصف الدفع ما يحدث عندما يتلامس جسمان مع بعضهما ، وأن مقدار واتجاه الدفع بين الأجسام المتصادمة في النظام المغلق متساوية ، ومختلفة في الاتجاه (قانون نيوتن3) ، أي ان الأجسام المتصادمة تؤثر في بعضها البعض بقوة متساوية بالمقدار خلال الفترة الزمنية نفسها ومختلفة في الاتجاه .

ومما تقدم يمكن ان نشير الى الدفع بانه رد فعل القوة المؤثرة على الجسم ما ، وتكسبه تسارع تتناسب طردي مع القوة المؤثرة وعكسيا مع الكتلة ؛ ويتم حساب الدفع من خلال المعادلة التالية :

$$\text{الدفع} = \text{القوة} \times \text{الزمن}$$

من خلال قانون نيوتن2 والذى ينص بان التعجيل يتناسب طردياً مع القوة وعكسياً مع الكتلة فانه لابد من ان نضع في الاعتبار زمن تأثير هذه القوة ومقدارها، ويمكن ملاحظة ذلك أنه كلما زاد التغير فى سرعة جسم معلوم الكتلة فإن ذلك يعنى زيادة طردية في الدفع حدثت ام بزيادة الزمن أو القوة، أي أن زيادة كل من المتغيرين القوة أو الزمن سوف يؤدى إلى نفس النتيجة، بمعنى آخر يمكن القول أن قوة كبيرة فى زمن صغير تعادل قوة صغيرة فى زمن كبير.

الزخم:

الزخم او كمية الحركة يعرف بانه مقدار الحركة التي يكتسبها الجسم نتيجة الدفع ، وتحسب بضرب الكتلة (كمية قياسية) في السرعة(كمية متجهة) ، وهو كمية متجهه يأخذ دائمًا نفس اتجاه سرعة حركة الجسم وحدة القياس كغم م/ ثا ، ويتم حساب الزخم من خلال المعادلة التالية :

$$\text{الزخم} = \text{الكتلة} \times \text{السرعة}$$

ومن خلال المعادلة نلاحظ بان الزخم يتناسب طرديا مع سرعة الجسم وكتلته ، كلما زاد احدهما او كلاهما تزداد كمية الزخم ؛ وعلى سبيل المثال : الجسم ذو الكتلة الكبيرة يحقق زخم اكبر من الجسم ذو الكتلة الصغيرة.

الزخم نوعان هما :

- **الزخم الخطي** : والذي يفسر من خلال حركة الجسم الخطية ويحسب من المعادلة اعلاه .
- **الزخم الزاوي** : والذي ينتج من خلال حركة الجسم بزاوية ما ويتم حسابه من خلال القانون ادناه .

الزخم الزاوي = عزم القصور الذاتى × السرعة الزاوية

العلاقة بين الدفع وكمية الحركة:

ان العلاقة بين الدفع والزخم (كمية الحركة) تفسر على أن القوة المؤثرة بزمن معين على جسم تؤدي الى اكسابه كمية حركية، ان مقدار هذه الكمية تعتمد على مقدار قوة الدفع لذلك فان تغيير كمية الحركة يمكن أن يتحقق من خلال التغيير في القوة المؤثرة ، أي كلما كانت هناك قوة أكبر كان هناك تسارع أكثر ، قانون نيوتن 2 (قانون التعجيل) .

تتناسب الحركة طردياً مع مقدار القوة المسلطة ويكون أتجاه الحركة بأتجاه القوة

ولغرض الحفاظ على تلك القوة ومقدار الزخم المكتسب وعلى سبيل المثال عند تنفيذ الضربات الطويلة في ألعاب التنس الارضي ،من خلال مرجحة الذراع والمضرب وإكساب الكرة سرعة انطلاق عالية ، يجب أن تتم لحظة التماس بين الكرة والمضرب والتي تسمى بالدفع بأقل فترة زمنية ممكنة.

وادناه تحليل معادلة دفع القوة والتي تساوي التغير في كمية الحركة.

دفع القوة = القوة × الزمن

القوة = الكتلة × التعجيل

الدفع = الكتلة × التعجيل × الزمن

وحيث إن التعجيل = السرعة النهائية – السرعة الابتدائية / الزمن

فإن الدفع = ك × {(س$_2$ – س$_1$) / ن} × ن

الدفع= ك × (س$_2$ – س$_1$)

ق × ن= ك ×س$_2$– ك×س$_1$

اذن: قوة الدفع = التغير في كمية الحركة

ونرى من المعادلة أعلاه أن الدفع يتناسب طردياً مع فرق السرعة في حالة ثبوت الكتلة، وأن قوة الدفع يساوي التغير بالزخم (كمية الحركة) ، ولغرض تحقيق أثر فعال للقوة كما ذكرنا سابقا لابد من تنفيذها في أقل فترة زمنية ممكنة.

مثال1

قام لاعب بضرب قرص هوكي ساكن كتلته(0.115) كغم، فأثر فيه بقوة ثابته مقدارها(30) نيوتن في زمن قدره (0.16) ثانية. المطلوب حساب السرعة التي سيتجه بها القرص الى الهدف.

$\Delta p = ft$ | قوة الدفع = **التغير بالوخم**

$(v2 - v1) \times m = f \times t$ | قوة × الزمن = الكتلة × (السرعة النهائية ـ السرعة الابتدائية)

$(0 - v2)\quad m = f \times t$ | قوة × الزمن = الكتلة × (السرعة النهائية ـ صفر)

$0.115\ v2 = 0.16 \times 30$ | $0.16 \times 30 = 0.115 \times$ السرعة النهائية

$0.115 \div 0.16 \times 30 = v2$ | السرعة النهائية $= 0.16 \times 30 \div 0.115$

$= 41.74$ م / ثا

الزخم والقصور الذاتي :

من الضروري جدا معرفة المفاهيم والعلاقة بين الزخم والقصور الذاتي ؛ وكما ذكرنا سابقا ان مفهوم الزخم يتعلق بكمية الحركة التي يمتلكها الجسم نتيجة قوة الدفع التي يتعرض لها الجسم ، ويعتمد الزخم على وجود عامل السرعة في حسابه ومدى تأثير هذه السرعة المتغيرة في قيمة واتجاه زخم الجسم لها.

ويعبر القصور الذاتي في الحركات الخطية عن مقاومة الجسم للحركة او ميل الجسم الى البقاء في حالة السكون (قانون نيوتن1) ، مالم تؤثر عليه قوى خارجية تغير ذلك ويتوقف هذا على مقدار كتلة الجسم . وبالنسبة الى الحركات الدائرية يستخدم مصطلح عزم القصور الذاتي بدلا من القصور الذاتي ، وذلك لان مقاومة الجسم للحركة لا تعتمد على الكتلة فقط وانما عن بعده العمودي عن محور الدوران ؛ ونرى ذلك في الحركات والفعاليات الرياضية ذات التحرك الزاوي والذي يمكن من خلاله تحديد كمية الحركة الزاوية للجسم على سبيل المثال القلبات الهوائية في الجمناستك . وكيف ان في الحركات الزاوية، يمكن زيادة الزخم الزاوية عن طريق تغيير محور دوران الجسم أو بتغيير شكله (تقريب أجزاء الجسم من محور الدوران) والعكس صحيح.

عزم القصور الذاتى = الكتلة × نق^2

حفظ الزخم والكتلة

تعتبر قوانين حفظ الكتلة والزخم من المبادئ الأساسية للفيزياء وهما مفاهيم فيزيائية مختلفة ؛ حيث يتعلق حفظ الزخم بالحركة والتصادم بين الأجسام ، بينما يتعلق حفظ الكتلة بالكمية المادية للجسم . وان من الخصائص المهمة لكلاهما هو أنهم كميات محفوظة وثابتة أي إجمالي الكتلة والزخم ستظل ثابتة في النظام المغلق .

- **حفظ الكتلة :**

ينص على أن المادة لا يمكن ان تفنى او تستحدث، ولكنها تتحول فقط من شكل إلى آخر ، على سبيل المثال في التفاعلات الفيزيائية والكيمياوية للمواد في نظام معزول على سبيل المثال في التفاعلات الفيزيائية (مثل تحويل السائل إلى غاز او الثلج الى سائل) لا يحصل تغير في كمية الكتلة .وفي المجال الرياضي تلعب الكتلة دور مهم في بعض الرياضات مثل كرة القدم الامريكية وفي الحركات الزاوية فان مقدار عزم القصور الذاتي يعتمد على شكل وتوزيع الكتلة حول محور الدوران

- **حفظ الزخم:**

ان مقدار الزخم للأجسام الساكنة(أي سرعتها صفر) تكون صفر ما لم تؤثر عليه قوة خارجية وتحركه. ينص قانون حفظ الزخم على أن كمية الحركة الكلية للأجسام المتصادمة تبقى محفوظة وثابته لا تتغير قبل وبعد التصادم في نظام مغلق طالما لا توجد قوى خارجية تؤثر على النظام ؛ فاذا تصادم جسمان معًا ضمن نظام مغلق، فإن مجموع زخمي الجسمين قبل التصادم يساوي مجموع زخمي الجسمين بعد التصادم ، أي أن النقص في زخم أحد الجسمين يساوي الكسب في الزخم للجسم الآخر وبالتالي فان الزخم الكلي للنظام هو نفسه دائمًا ، بغض النظر عن التغييرات التي يمر بها النظام. ومن الأمثلة البسيطة عن حفظ الزخم في التصادم المرن، هي كرات البلياردِ ، اذ يبقى الزخم محفوظًا قبل وبعد اصطدام الكرتين ، أي ان إجمالي الكمية الحركية تبقى ثابتة ومثال اخر على التصادم الغير مرن هو عندما تصطدم كرتان من الثلج لتشكلا كتلة واحدة .

مثال 2

تحركت كرة على طاولة البلياردِ بسرعة 0.11 م بالثانية وتصادمت مع كرة ثانية ساكنة وكان مقدار كتلة كلا الكرتين متساوي قيمته(0.4) كغم ، وسكنت الكرة الأولى بعد التصادم .أحسبي مقدار سرعة الكرة الثانية ؟

الزحم قبل :

الزخم قبل التصادم = الزخم بعد التصادم

$$p_{f2} + p_{f1} = P_{i2} + P_{i1}$$

$$m\times v_{f2} + m\times v_{f1} = m\times v_{i2} + m\times v_{i1}$$

$$m\times v_{f2} + 0 = 0 + m\times v_{i1}$$

$m\times v_{f2} = m\times v_{i1}$ بما ان الكرتين لها نفس الكتلة

اذن:

$$v_{f2} = v_{i1}$$

$$0.4\times 0.11 = 0.4\times 0.11$$

$$0.044 = 0.044$$

مثال3

اثرت قوة مقدارها (186) نيوتن في كرة بولنك كتلتها(7.3) خلال فترة زمنية(0.40)؛ احسبي التغير الحاصل في زخم الكرة ؟ وما هو التغير في سرعتها المتجهة ؟

$f\,\Delta t = \Delta p$

$t \times f = \Delta p$

$\Delta p = 0.40 \times 186 = 74.4$ كغم .م /ثا مقدار التغير بالزمن

$\Delta p = m\ \Delta v$

اذن :

$\Delta v = \Delta p \div m$

$\Delta v = 74.4 \div 7.3$

$\Delta v = 10.191$ م/ ثا

التغير في الزخم = قوة الدفع

التغير في الزخم = القوة × الزمن

التغير في الزخم = 186 × 0.40 = 74.4 كغم .م /ثامقدار التغير بالزخم

التغير في الزخم = الكتلة × التغير بالسرعة

التغير بالسرعة = التغير بالزخم ÷ الكتلة

التغير بالسرعة = 74.4 ÷ 7.3

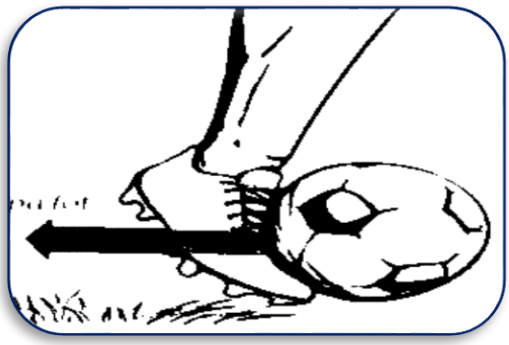
التغير بالسرعة = 10.191 م/ ثا

.

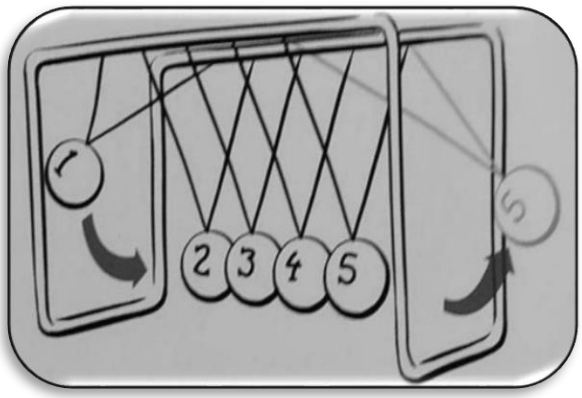
ونرى القوة في الحركات الرياضية غير ثابتة المقدار، متغيرة دائماً من حيث زمن تأثيرها ديناميكياً ووفقاً لمتطلبات كل أداء وان إمكانية زيادة الدفع يمكن ان تتم إما بزيادة القوة كما في فعاليات الوثب والتي تنفذ بوقت قصير او تمديد الوقت والذي يعد في حركات معينة ميزة (على سبيل المثال ، الرميات بأنواعها المختلفة، حيث يتم زيادة الوقت عن طريق زيادة نطاق لو مجال الحركة أثناء الرمي) ، كما، فلاعب الرمح يحاول أن يحرك الذراع الرامية فى أقصى مدى حركى ممكن حتى يقع الرمح تحت تأثير القوة لأطول زمن ممكن قبل انطلاقه، كما أن لاعب المطرقة يلجأ إلى لف المطرقة وتبعيدها عن المحور الأصلى للجسم قدر الإمكان فى المرحلة السابقة للرمى فيجعل المطرقة تحت تأثير دفع القوة لأطول زمن ممكن لأن القوة المطلوبة لإحداث تغير معلوم فى السرعة فى زمن محدد تتناسب مع كتلة الجسم، ويمكن ملاحظة ذلك أنه كلما زاد التغير فى سرعة جسم معلوم الكتلة فإن ذلك يعنى زيادة الدفع طردياً بزيادة أي من الزمن أو القوة، أي أن زيادة كل من المتغيرين القوة أو الزمن سوف يؤدى إلى نفس النتيجة، بمعنى آخر يمكن القول أن قوة كبيرة فى زمن صغير تعادل قوة

فعندما يتم رمي كرة يد أو رمح أو كرة طبية مسافة ما فإن سرعة اليد الرامية تختلف من فعالية إلى أخرى ، ويمكن أن تصل في كرة اليد الى (22 م / ث) ، وفي رمي الرمح قد تصل إلى (30 م / ثا) ، وبالنسبة للكرة الطبية ممكن في أفضل الأحوال أن تصل سرعة اليد الى (12 م / ثا) ، وفي فعاليات أخرى والتي يستخدم فيها أداة مثل ألعاب المضرب عندما تضرب الكرة في المضرب فنرى غالبا ما تتحرك الكرة أسرع مما هو عليه في الحالات الأولى الذي يتم فيها ضرب الكرة مباشرة في اليد ، فقد تصل سرعة مضرب الكولف إلى (50 م / ثا) وقد تضيف سرعة للكرة قد تصل الى (70 م / ثا) ، وفي كرة القدم عندما يضرب اللاعب الكرة وتكون سرعة قدمه (20 م / ثا) ، يمكن أن يضيف سرعة للكرة ينتج عنها سرعة انطلاق قدرها (30 م / ثا) .

إن ما يحدث على سبيل المثال في ضربة كرة القدم هوان بعد أن تصطدم القدم بالكرة بفترة زمنية تقدر بأجزاء من الثانية تنطلق الكرة بعيدا عن القدم بسرعة تتجاوز سرعة القدم ، وان مقدار تلك السرعة أو النتيجة النهائية للسرعة تعتمد على عوامل عده منها (كتلة الكرة والقدم الضاربة وكذلك مرونة الكرة والقدم لحظة التلامس) ، إذ أن غالبا ما ينتج ضربة قوية بكاحل القدم الممدود نتيجة شد الكاحل إضافة الى أن القدم يعمل على مقاومة القوة الناتجة من التلامس من أجل المحافظة على مقدار ناتج القوة .



ومن خلال القوانين الميكانيكية نستطيع فهم وتعديل أشياء معينة من أجل الحصول على ما نرغب به من نتيجة. ومن المثال التالي سوف نوضح كيف تنتقل القوة بين الأجسام المتلامسة وهل يحدث تغير في مقدار القوة عند انتقالها من جسم الى اخر ؟ لاحظ الصورة ادناه ، عند سحب الكرة الفولاذية رقم واحد الى الأعلى ومن ثم تركها لتضرب صف من الكرات الفولاذية الأخرى سنلاحظ انها ستنتقل بسرعتها الى الكرة الثانية وتحل محلها وكذلك ستنتقل الكرة الثانية بسرعتها وتحل محل الكرة الثالثة وهكذا بالنسبة الى الكرة الثالثة والرابعة، اما فيما يخص الكرة الخامسة سوف تخرج من النسق بسبب عدم وجود كرة فولاذية تأتي بعدها لمقاومة مقدار سرعة الكرة الفولاذية التي انتقلت الى الكرة الخامسة وبالتالي سوف تندفع إلى الخارج بنفس السرعة التي جاءت بها الكرة الفولاذية الأولى مع فقدان قليل من السرعة ، ويعود سبب ذلك إلى أن الكرات الفولاذية يحدث فيها تغيراً بسيطاً في سرعتها لحظة التصادم والأنتقال من مقاومة إلى مقاومة أخر .



إن الكرة الفولاذية التي تحركت باتجاه الكرات الفولاذية المعلقة سوف تعمل على دفع الكرة الفولاذية الأخيرة خارج نسق الكرات المعلقة وبنفس الارتفاع تقريباً التي انطلقت منه الكرة الأولى ، ويمكن أن يكون هناك فرق قليل بالارتفاع قد يصل إلى (6 -7 %) وهذا يمكن أن يحدث بسبب نوع الفولاذ المصنوعة منه الكرات ، وفي الحالة التي يتم فيها التلامس أو التصادم بين جسمين مختلفين في الصلابة وكذلك في مقدار الكتلة سوف يكون من الصعب التنبؤ بما سيحدث لحظة التلامس ، ومن هنا يبدئ التكهن في أن كرة التنس يمكن أن تصل سرعتها الى (40 م / ثا) عندما تكون سرعة المضرب (30 م / ثا) عند الإرسال .

وفي المجال الرياضي يمكن ان نرى من خلال الكثير من الامثلة كيف تلعب قوة الدفع او الزخم دورا مؤثر في العديد من الأنشطة والرياضات المختلفة .

- يمكن استثمار الزخم في الحركات الرياضية الخطية والزاوية بعدة طرق. في الحركات الخطية ، يمكن زيادة الزخم عن طريق زيادة كتلة الجسم أو سرعته، وهذا يمكن تحقيقه عن طريق استخدام أدوات أثقل أو بزيادة سرعة الجسم. في الحركات الزاوية، يمكن زيادة الزخم عن طريق تغيير محور دوران الجسم أو بتغيير شكله .على سبيل المثال ، يستطيع المتزلجون على الجليد تغيير شكلهم لتقليل محصلة العزم وبالتالي زيادة سرعة دورانهم .
- رمي القرص **:** يستخدم الزخم في رياضة رمي القرص لزيادة مسافة رميه لذا يتطلب من تسليط قوة دفع كبيرة على القرص لزيادة سرعته وإسقاطه في مكان أبعد.
- رفع الأثقال : يستخدم الزخم في رياضة رفع الأثقال للحصول على نتائج أفضل عندما يحرك المتسابقون الأثقال ، تسلط قوة على هذه الأثقال لزيادة سرعتها وارتفاعها .
- الملاكمة والفنون القتالية : يستخدم الملاكمون واللاعبون في هذه الرياضات مقدار الزخم لزيادة قوّة ضرباتهم .عندما يحرك الملاكم أو المقاتل ذراعه أثناء ضرب خصمه، يُطبق قوّة دفع على جسده لزيادة سرعة ضربته وإصابته بشكل أكبر .
- عندما نسبح، نضغط على الماء بأيدينا وأقدامنا (أي نؤثر عليه بقوة)، إذن، رد الفعل المنطقي للماء هو بدفعنا للأمام، ولكن بعكس اتجاه القوة المسلطة من الذراع .
- في رياضة التنس :تستخدم قوة الدفع في رياضة التنس لتحقيق سرعة أكبر للكرة اذ يقوم اللاعب بأرجحه المضرب إضافة الى قوة الضربة (الدفع)على الكرة لزيادة سرعتها .
- لاعبة الجمباز التي تؤدي قلبة هوائية حول المحور العرضي حتى يتم الدوران بشكل أسرع تعمل على تقريب أجزاء الجسم من محور الدوران وذلك لتقليل المسافة بين مراكز ثقل الجسم(نق) ومحور الدوران ،لغرض تقليل القصور الذاتي ، مما يسهل عليها الدوران بشكل أسرع

- الدوران حول المحور العمودي، تعمل اللاعبة على تقريب أجزاء الجسم من محور الدوران العمودي عندما(سحب او تقريب ذراعيها ورجليها من المحور) لتصغير انصاف الأقطار والتي تسبب تقليل القصور الذاتي وزيادة سرعة الدوران.

- لماذا قد يكون للاعب الأثقل وزنًا ميزة في الاصطدام بلاعب أخف وزنًا ؟ أذ يتمتع اللاعب الأثقل وزنًا بكتلة أكبر، مما يعني أن لديه زخمًا أكبر من اللاعب الأخف وزنًا الذي يتحرك بنفس السرعة عندما يتصادم اللاعبان يقوم اللاعب الأثقل بنقل المزيد من زخمه إلى اللاعب الأخف ، مما يؤدي إلى زيادة سرعة اللاعب الاخف وزنا كما في حالات الاحتكاك التي تحصل في بعض الألعاب.