



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة تكريت

كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة

الكينتك الزاوي

محاضرة في مادة البايوميكانيك
لطلبة الدراسة الأولية / المرحلة الثانية

اعداد التدريسي
م. د. وسام عوني صالح

الباب السادس

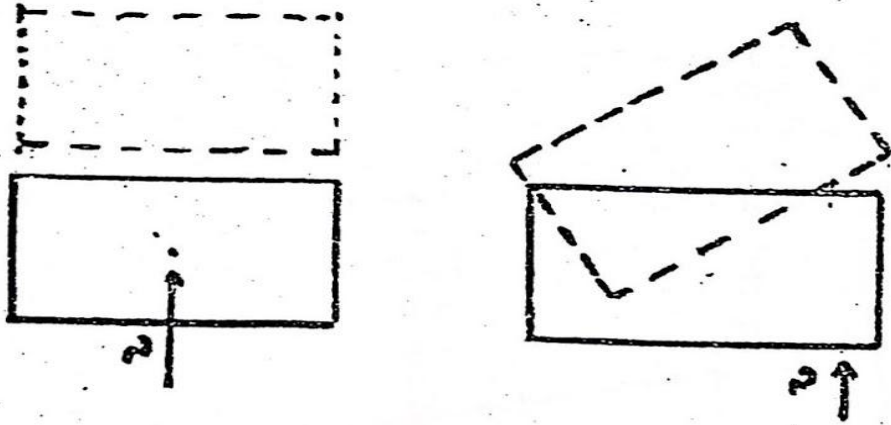
الكينتك الزاوي

- 1 القوى المزدوجة
- 2 الاتزان
- 3 مركز الثقل
- 4 الثبات
- 5 عزم القصور الذاتي
- 6 الزخم الزاوي
- 7 الطاقة الحركية الزاوية

الكينتك الزاوي Angular kinetics

تتضمن دراستنا للكينتك الزاوي ماهية القوى المسببة للحركات الدائرية التي تحدث حول محور معين. سبق ان ذكرنا الكميات الميكانيكية اثناء الحركات المستقيمة كالقوة والقصور الذاتي والزخم ولكن يعبر عن هذه الكميات اثناء الحركات الدائرية (الزاوية) بعزومها مثل عزم القرة، عزم القصور الذاتي

ان الفرق بين حدوث الحركة المستقيمة والدائرية يتمثل في موضع تأثير القوة المسببة للحركة فاذا كان خط عمل القوة ماراً بمركز ثقل الجسم المؤثر فيه تحدث الحركة الانتقالية، اما اذا كان خط عمل هذه القوة لا يمر بمركز الثقل عندئذ تحدث حركة دائرية وبالإضافة إلى ذلك تحدث حركة انتقال الجسم إلى موضع اخر في حالة عدم تثبيته من محور الدوران كما في الشكل



شكل (١٣)

فيتحدد بذلك مقدار تأثيرها فاذا كان موضع تأثير القوة قريباً من مركز الثقل فان كمية حركة الجسم تكون اقل مما لو كان موضع تأثيرها ابعد من ذلك لان القوة في الحركات الدائرية

تكون اقل ما لو كان موضع تأثيرها ابعد من ذلك لان القوة في الحركات الدائرية (الزاوية) لا يكون تأثيرها بمقدارها فقط وانما يبعدها عن محور الدوران نجد في الشكل (٩٢) أن القوة في نفسها مختلف مقدار تأثيرها.



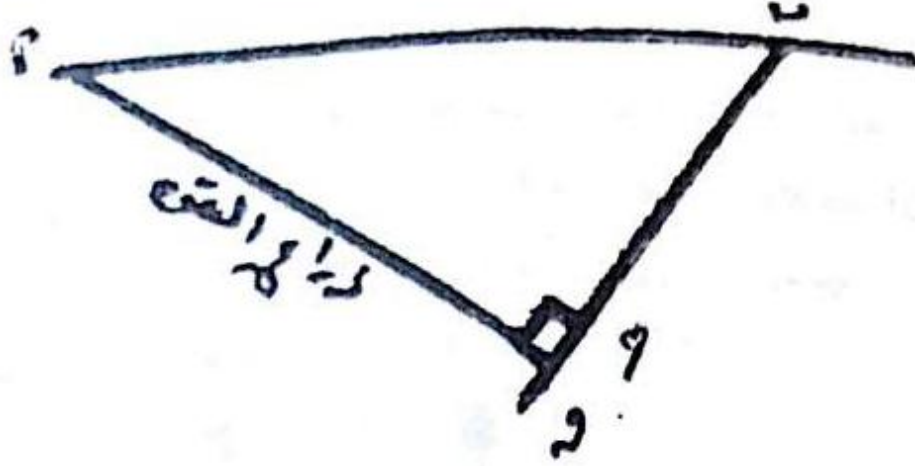
شكل (٩٤)

في الحالتين تبعا لبعدها العمودي عن محور الدوران حيث يطلق على القوة في بعدها العمودي (عزم القوة) على ضوء ذلك نجد أن تطبيق ذلك عمليا من خلال عملية التجديف فاذا كان الرياضي يستخدم قوة ٢٠٠ نيوتن مثلا لسحب المجذاف نقد يكون من الصعوبة عليه تحريكه عندما يكون موضع تأثير القوة في نقطة أ ولكن من الممكن أن تحدث حركة للمجذاف عندما تقع نقطة التأثير في ب اي ان عزم القوة في الحالة الأولى اقل من عزمها في الحالة الثانية



شكل (٩٥)

من الضروري جدا في الحركات الدائرية عند دراسة عزم القوة ان يؤخذ بنظر الاعتبار البعد العمودي بين خط عمل القوة والمحور أي يجب ان تكون الزاوية قائمة بين عملها وبعدها عن محور الدوران

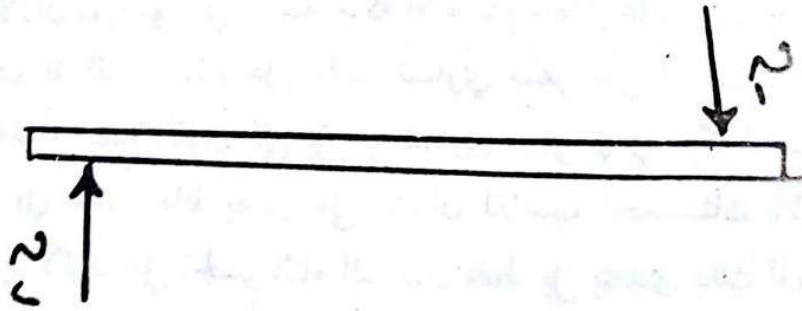


شكل (٩٦)

أي ان عزم القوة $Q = Q \times A$ ج

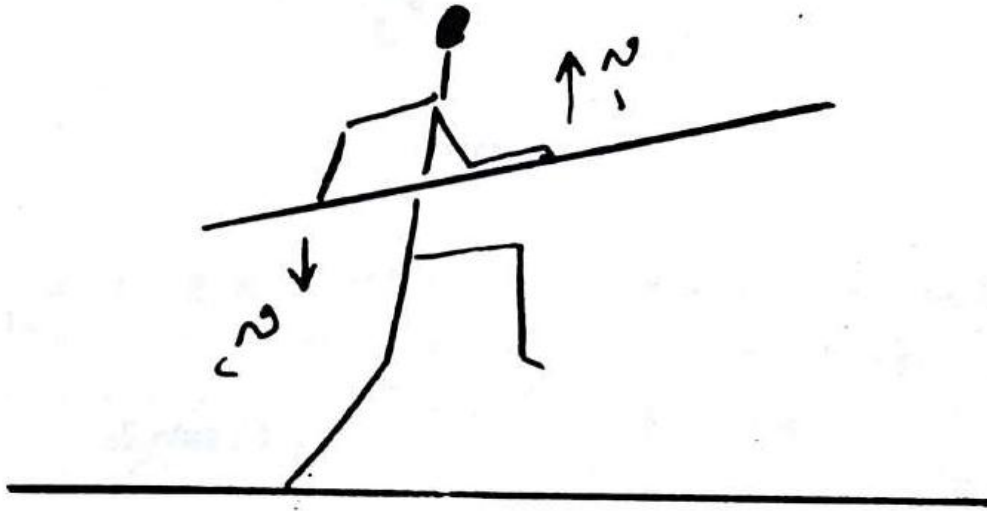
القوة المزدوجة Couple

يحدث في بعض الحركات الرياضية أن تؤثر أكثر من مرة واحدة في الجسم لحدوث الحركات فإذا أثرت قوتان في جسم ولا يمر خط عمل هذه القوى بمركز ثقل الجسم تحدث الحركة الدائرية وعادة ما يحدث ازدواج القوى في هذا النوع من الحركات، فمن الشكل



شكل (٩٧)

نجد ان القوتين ق1، ق2 تؤثران على العمود بالاتجاهات الموضحة في الشكل فاذا اثرت القوة ق1 بمفردها فانها تعمل على تحريك الجسم انتقاليا والى تدوير الى اسفل وكذلك القوة ق2 عندما تعمل بمفردها فهي تحاول تحريك الجسم انتقاليا الى الأعلى وتدويره بالاتجاه نفسه ، اما اذا اثرت القوتان المتساوية وتحدث بالوقت نفسه فان عملهما يتحدد في تدوير الجسم فقط . أن لاعب القفز بالزانة عند حمله للعمود اثناء الاقتراب نجد ان القوة التي تسلطها اليد اليمنى والتي تنتجه الى اسفل (على اعتبار ان القافز يحمل العمود على جهة اليمين) فأنها تعمل بعكس اتجاه عقرب الساعة ، اما اليد اليسرى فيكون خط عمل قوتها إلى الأعلى وعكس اتجاه عقرب الساعة ايضا ، وعادة اذا كانت هذه القوى متساوية في المقدار ولكنها متعاكسة في الاتجاه فأنها قوى مزدوجة .

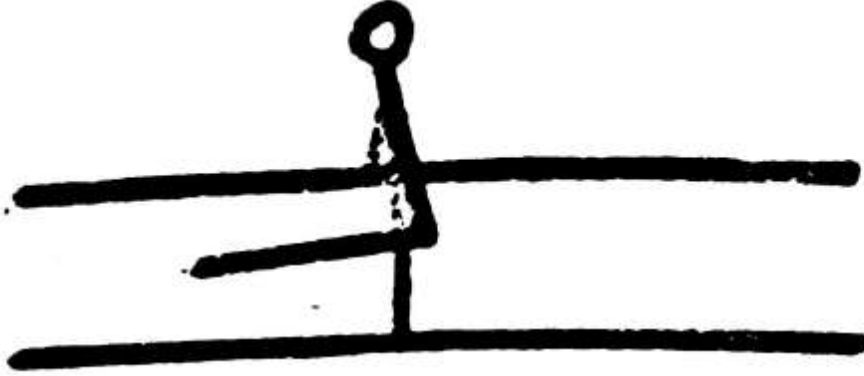


شكل (٩٨)

٢- الاتزان

يؤدي الاتزان دورا مهما في دراسة حركة الأجسام فيطلق على الجسم انه في حالة اتزان اذا كانت محصلة القوى المؤثرة على الجسم تساوي صفرا ومن الطبيعي اذا كان الجسم ساكنا فأن محصلة جميع القوى التي تؤثر فيه تساوي صفرا كما في حركة لاعب الجمناستك على المتوازي وفي هذه الحالة يطلق على الاتزان للاعب الجمناستك بالاتزان الثابت . لا يقتصر مفهوم الاتزان على الجسم اثناء السكون فقط بل يتعدى ذلك إلى الحركة ، فقد

يكون الجسم في حالة حرة ولكنه متزن ايضا، حيث أن المقصود بحركة الجسم هنا ان تكون بسرعة مستقيمة وزاوية ثابتة وهذا ممكن حدوثه فقط عندما يكون مجموع القوى المؤثرة فيه انتقالية وكذلك عزوم القوى التي تؤثر فيه ليتحرك حركة دائرية يساوي صفرا فالاتزان هنا يكون اتزانا متحركا . ان مثل هذا الاتزان اثناء الحركة قليل الحدوث ان لم يكن نادرا في فعاليتنا الرياضية بل يمكن تحقيق ذلك في بعض الرياضات الجوية



شكل (٩٩)

انطلاقا من ماهية الاتزان نجد أن الشخص اثناء الوقوف الاعتيادي في حالة اتزان وكذلك لاعب الجمناستك عند أدائه للميزان متزن وراقص الباليه عند وقوفه على اطراف اصابع رجل واحدة متزن ايضا ، أي أن الجميع في حالة اتزان ولكن لو قارنا درجة اتزان الحالات الثلاث بتأثير قوة خارجية لوجدنا أن مقاومة كل حالة تختلف عن الحالات الأخرى ، فالشخص الواقف اعتياديا تكون مقاومته اكبر للقوة الخارجية قياسا براقص الباليه بالقوة نفسها قد لا تؤثر في اتزان الشخص الواقف ولكنها تفقد راقص الباليه توازنه وبالتالي سقوطه على الأرض . نستنتج مما تقدم العلاقة بين الاتزان ودرجة المقاومة عند تأثير قوة خارجية يطلق عليها عادة درجة الثبات.



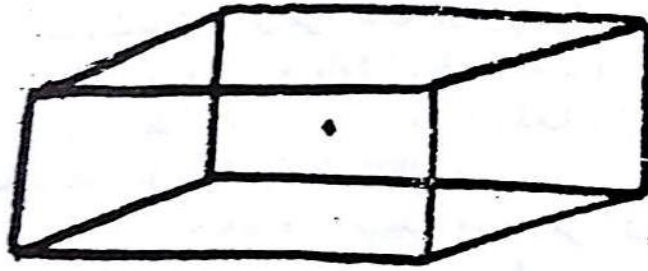
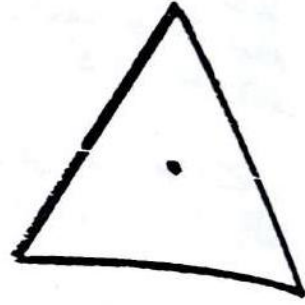
وقوف اعتيادي



باليه



شکل (۱۰۰)



شكل (١٠١)

ثلاثة اشكال هندسية منتظمة

3- مركز الثقل Center of gravity

تختلف الاجسام من حيث شكلها ومظهرها الخارجي وان كانت متساوية في الوزن وكما نعرف ان الجسم يتكون من عدد كبير جدا من الجزيئات ولتأثير قوة جذب الأرض على الأجسامي عادة اتجاه الجذب باتجاه مركز الأرض، فنجد ان محصلة جميع القوى المؤثرة في جميع الأجزاء التي يتكون منها الجسم تساوي وزن الجسم

اذا اردنا أن نستخرج محصلة هذه القوى المؤثرة في الجسم نجدها تتركز في نقطة واحدة من نقاطه تسمى هذه النقطة مركز ثقل الجسم، أي النقطة التي تتركز فيها قوة جذب الارض باتجاه المركز، وعلى هذا الأساس يمكننا تعريف مركز الثقل بانه (النقطة التي تظهر بأن جميع اوزان نقاط الجسم متركزة فيها)

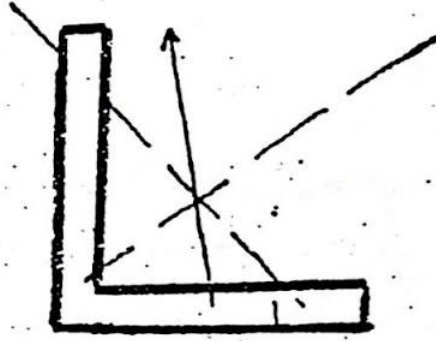
ذكرنا سابقا ان موضع نقطة مركز الثقل تختلف من جسم لآخر حسب شكله وتوزيع اجزائه في الفراغ وبناء على ذلك يمكننا التفريق بين التفريق بين نوعين من اشكال الاجسام

1- الاجسام منتظمة الأشكال

2- الأجسام غير منتظمة الأشكال.

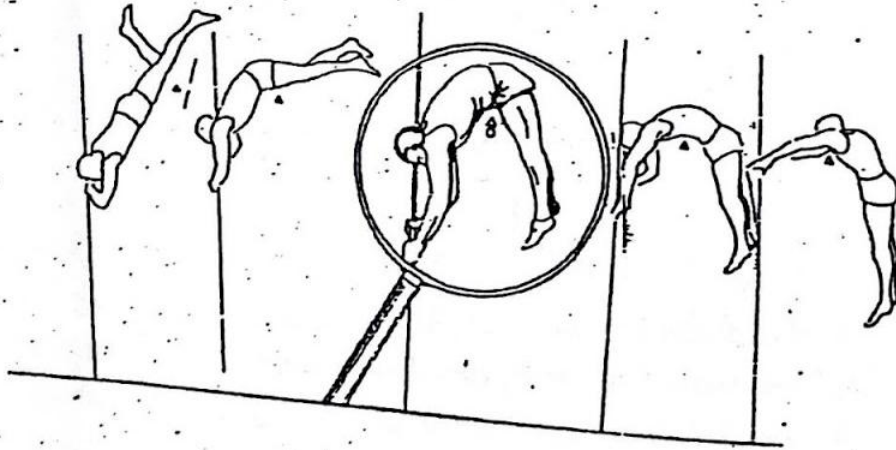
بالنسبة إلى الأجسام المنتظمة نجد أن مركز ثقلها يتركز في مركزها فنجد ان مركز ثقل الكرة المستديرة الشكل يقع في مركزها والاشكال الهندسية منتظمة الشكل يقع في وسطها ايضا، وقد سبق أن تطرقنا في موضوع المحاور والمسطحات الى ان نقطة تلاقي المسطحات بعضها مع بعض مثل تمثل نقطة مركز ثقل ذلك الجسم.

اما بالنسبة إلى الأجسام غير المنتظمة فان طريقة تحديد مركز ثقلها ثقلها يتحدد من خلال اسس مختلفة، لايجاد مركز ثقل جسم شكله غير منتظم تقوم بتعليقه من عدة نقاط، وتؤشر الخط الرأسي النازل من تلك النقطة باتجاه جذب الارض في عدة حالات عند ذلك تؤشر نقطة تقاطع هذه الخطوط الممثلة لخطوط الجذب الارضي نقطة مركز الثقل كما في الشكل



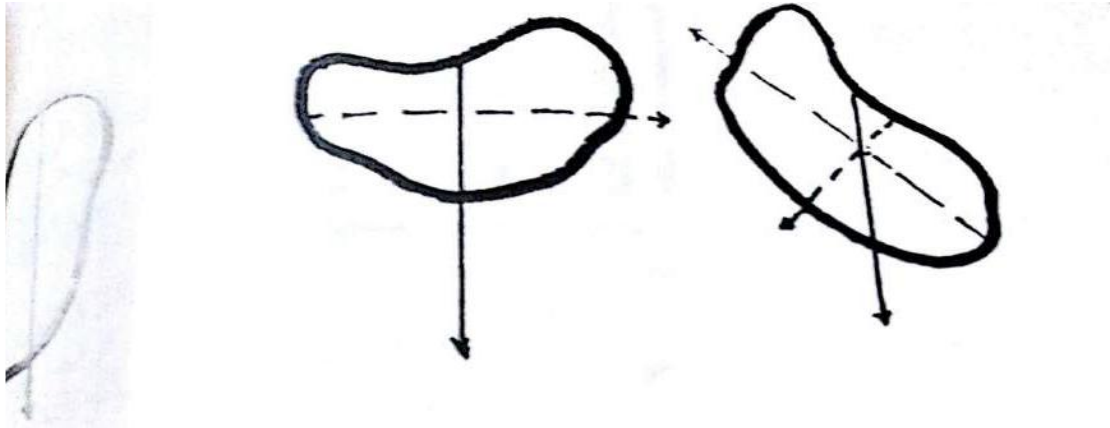
شكل (١٠٢)

للاستفادة من هذا المبدأ في الفعاليات الرياضية، نجد انه في كثير منها يتحدد موضع مركز ثقل جسم الرياضي طبقاً لتكنيك الفعالية المعنية او المسار الذي يرسمه الجسم اثناء الأداء وبالتالي تباعد الأجزاء او تقاربها بعضها مع بعض، فلو اخذنا على سبيل المثال . حركة القافز بالزانة اثناء عبوره العارضة فان مركز ثقل جسمه يمكن ملاحظة موضعه . من خلال الشكل التالي

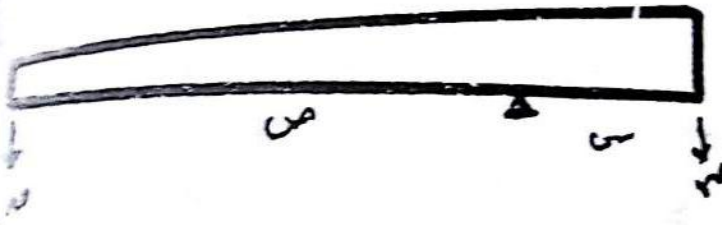


شكل (١٠٣)

تمثل النائرة الصغيرة اسفل العارضة مركز ثقل الجسم



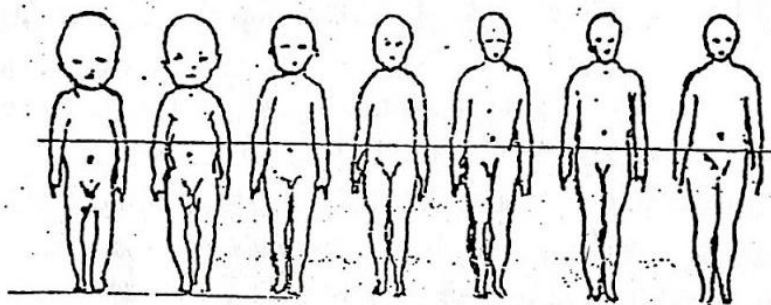
شكل (١٠٤)



شكل (١٠٥)

لتحديد مركز ثقل قضيب غير منتظم الشكل نجد ان النقطة التي يرتكز
مركز ثقله ويتم ذلك من خلال حساب عزوم القوى المؤثرة عليه، ففي
عزم القوة ق1 أي ق1س = عزم القوة ق2 أي ق2ص، فعند تساوي العزوم
في حالة اتزان، أي يرتكز على النقطة التي تمثل مركز ثقله. نظرا لان
الجسم يحدد نقطة مركز ثقله نجد في بعض الأجسام ان النقطة التي تمثل
بالضرورة على الجسم (اي تقع خارجة عنه) كما في الشكل

ان جسم الانسان يتكون من اجزاء عديدة (الرأس والرقبة، الجذع، الأطراف العليا، الأطراف السفلى) وان هذه الأجزاء تختلف فيما بينها من حيث اوزانها التي تشكل بالتالي الوزن النهائي للجسم. لو اخذنا مثلا وضع الجسم اثناء الوقوف الاعتيادي فأن هناك عوامل عديدة تؤثر في ارتفاع نقطة مركز الثقل، فعند تتبعنا لشكل جسم الانسان اثناء مراحل السنية المختلفة نجد ان موضع مركز الثقل يتغير بتقدم السن اي بتغيير مقياس الفرد الأنثروبومترية (الجسمية). ان الطفل في المراحل الأولى من عمره تقع نقطة مركزه مرتفعة قياسا بالمراحل اللاحقة من العمر كما يوضح ذلك الشكل الآتي



شكل (١٠٦)

اختلاف موضع مركز ثقل الجسم منذ الطفولة وحتى سن البلوغ

لقد درس كثير من العلماء مركز ثقل الجسم، فمن الذين درسوا هذه الناحية العالم الفيزيائي الايطالي بوريللي (1608 - 1679) الذي وضع الاسس العلمية لذلك ثم تبعه كثير من العلماء منهم . عالمان المانيان وجدا خلال دراستها ان ارتفاع المسطح المرضي لمركز ثقل الجسم يقع على ارتفاع 56.8% من طول الشخص مقاسا من اسفل الكعب

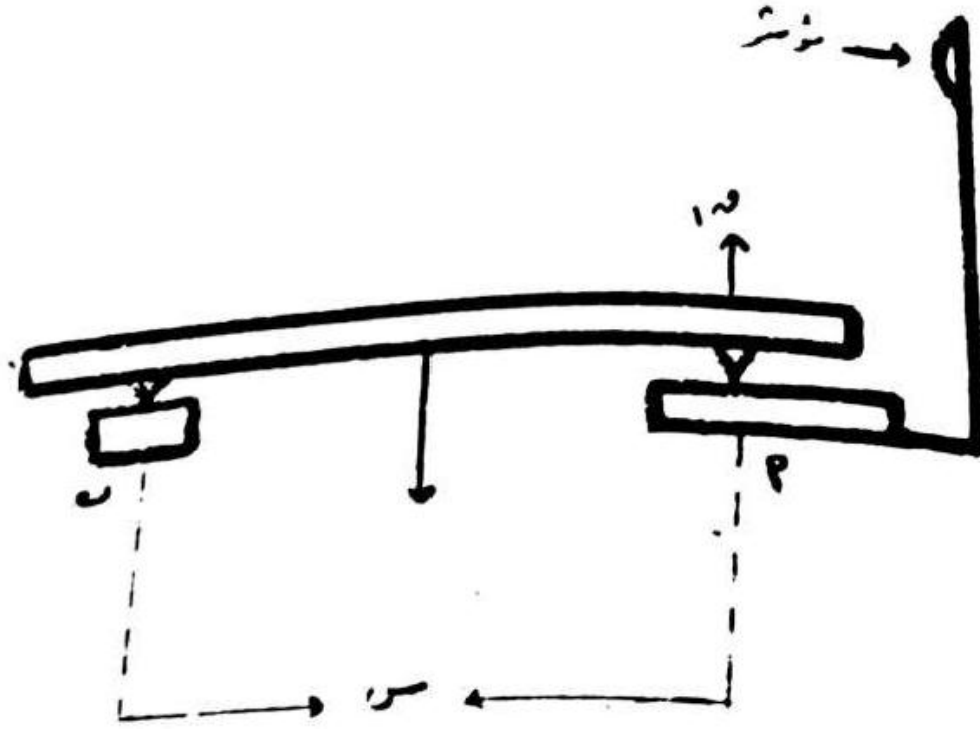
في أواخر القرن التاسع عشر وجد العالمان براون ، وفيشر نتيجة لدراستهما ان ارتفاع نقطة مركز الثقل 54.8% من طول الشخص مقاسا من اسفل القدم . من الضروري الإشارة الى ان نقطة مركز ثقل الجسم تختلف بين الجنسين، فنتيجة للتكوين الجسمي المختلف بين الرجال والنساء والذي يتمثل في الكتفين مثلا التي تكون عند الرجال اكبر منها عند النساء او عرض الحوض عن النساء عنه عند الرجال نلاحظ بشكل عام ان موضع مركز الثقل عند الرجال اعلى منه عند النساء ، حيث وجد العالم كروسكي ومن شاركه العمل عام ١٩١٢ ان المسطح العرضي لمركز ثقل الجسم عند الرجال اعلى قليلا من النساء حيث كان متوسط الارتفاع عند الرجال ١٨,56 % بينما بلغ المتوسط عند النساء 55.44 % . اجري العالم (بالمر) دراسته التي استمرت فترة طويلة من الزمن وكانت عينة دراسته 596 ولدا ، و 576 بنتا من يوم ميلادهم حتى بلوغهم العشرين من العمر وذلك على ثماني عشرة جثة جنين فوجد بشكل عام ان ارتفاع مركز الثقل بصرف النظر عن العمر والجنس يساوي

0.557 من الطول + 1.4 سم مقاسا من اسفل القدم

أن طبيعة الاختلاف في ارتفاع مركز الثقل لا تكمن في اختلاف الجنس فقط بل هنالك عوامل عديدة تؤثر في ذلك ، فعلى سبيل المثال نجد أن لاعب كرة القدم الذي يتميز بارجل ضخمة ينخفض مركز ثقله عن لاعب الجمناستك الذي يتميز بضخامة الجزء العلوي من جسمهم ولنفس الجسم يختلف موضع تلك النقطة في اوضاع مختلفة فمن وضع الوقوف والذراعان جانبا يكون مركز الثقل اوطا مما لو كانت الذراعين عاليا.

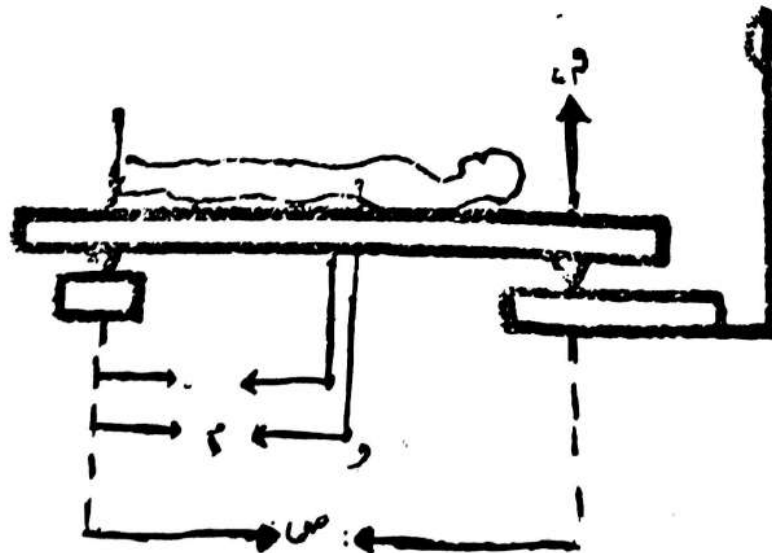
ان الذي يهمنا في هذا المجال هو كيفية تحديد ارتفاع مركز ثقل جسم الانسان في وضعه الاعتيادي (وضع الثبات) ، أما عن كيفية استخراج مركز الثقل اثناء الحركات الرياضية فسيتم تناوله تفصيليا في موضع آخر من الكتاب .

من الطرق الميكانيكية المستخدمة لتحديد موضع مسطح مركز الثقل هي طريقة لوح الثقل النوعي ويرجع الفضل في ابتكار هذه الطريقة إلى العالمين الأمريكيين رينولدز ولوفت حيث تتلخص هذه الطريقة باستعمال لوح طوله 2.50 وعرضه 1م ويرتكز على حافتين حادثتين كما في الشكل .



شكل (١٠٧)

تثبت احدى الحافتين في أ على ميزان والحافة ب على لوح خشبي بحيث تكون اللوحة الافقية تماما وان وزن اللوحة يكون موزعا على نقطتي الارتكاز أ ، ب تسجل قراءة الميزان أي ق1 ثم يستلقي الشخص على اللوحة



شكل (١٠٨)

تسجل قراءة الميزان الثانية ق2 عندئذ يمكن حساب المسافة الافقية بين الخط النازل من مركز ثقل الجسم ونقطة ب التي تمثل اسفل القدمين من خلال المعادلة الاتية :-

$$\frac{\text{(القراءة الثانية - القراءة الاولى) (المسافة بين الحافتين)}}{\text{الوزن}} = \text{البعد بين اسفل القدمين ومسطح مركز الثقل}$$

$$م = \frac{\text{(ق2 - ق1) س}}{\text{و}} \dots \dots \dots (42)$$

مثال:-

شخص وزنه ٨٠٠ نيوتن وكانت قراءة الميزان في الحالة الأولى من الثانية 500 نيوتن احسب البعد بين مسطح مركز الثقل واسفل القدمين علما ان المسافة بين حافتي اللوح ٢م؟

الحل / طبق المعادلة رقم (42)

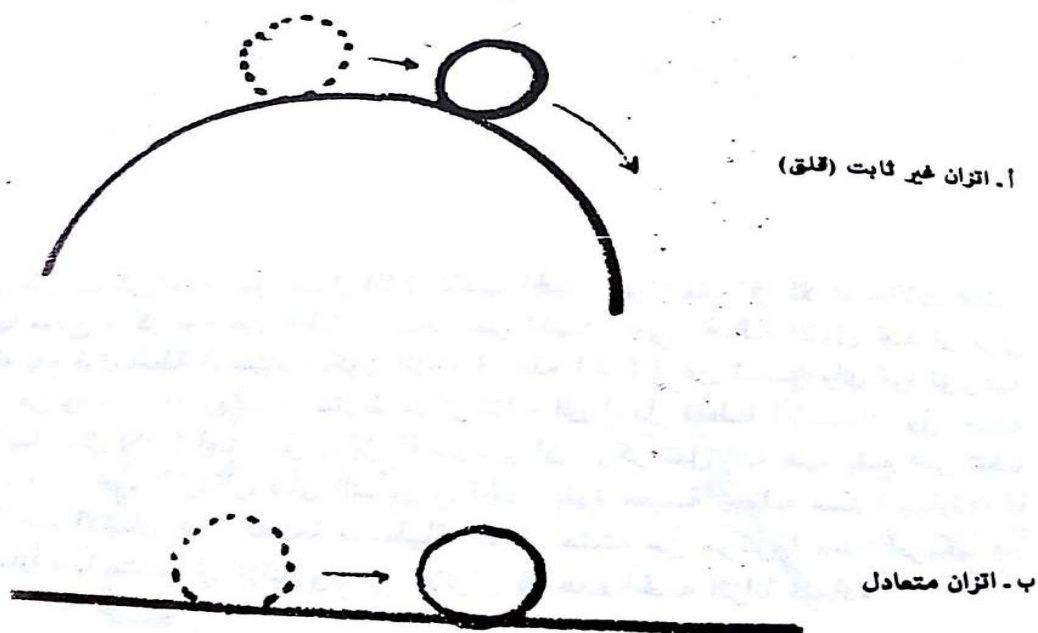
$$م = \frac{2 (80 - 500)}{800}$$

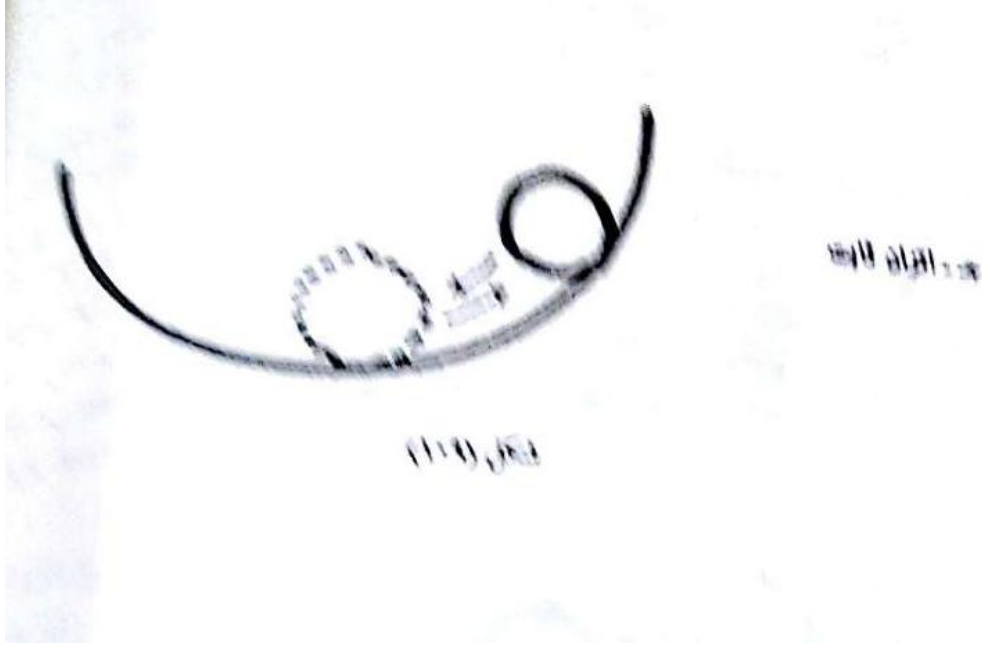
$$= 1.05 \text{ متر البعد بين اسفل القدمين ومسطح مركز الثقل}$$

4- الثبات Stabilization

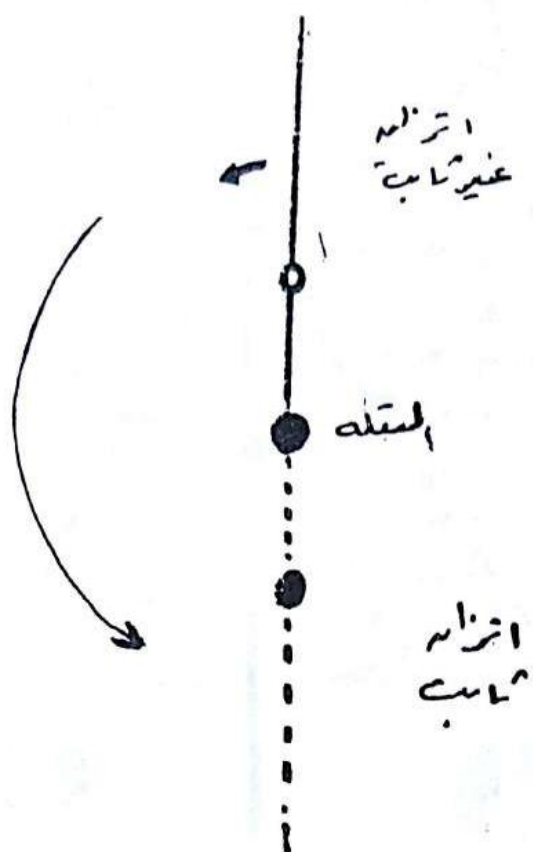
اوضحنا فيما سبق ولو بشي من الايجاز العلاقة بين الاتزان والثبات، فثبات اى جسم هو مقدار قصوره الذاتي ازاء القوى الخارجية المؤثرة، فالجسم المتزن الذي يسقط نتيجة تاثير قوة مقدارها 50 نيوتن مثلا هو اقل ثباتا من الجسم الذي لاتمكن تلك القوة من التغلب على قصوره الذاتي. لتوضيح العلاقة بشكل أدق بين اتزان الجسم ودرجة ثباته، تدرس حالة الكرة الموضوعة على ثلاثة سطوح مختلفة في الحالة التي يكون السطح محدبا

فان الكرة وان كانت في حالة اتزان على السطح المحدب نجد ان اقل قوة تستطيع تغيير وضعها وتستمر في حركتها لتغيير وضع اتزانها الأصلي. وكما هو معلوم ان القوى التي تؤثر بها الكرة في السطح نتيجة وزنها بفعل الجذب الأرضي والقوة المعاكسة المتمثلة برد فعل السطح على الكرة . في الحالة أ نجد ان قوة رد فعل السطح على الكرة يكاد يكون متعامدا وبذلك تتحرك الكرة بفعل وزنها الى الأسفل، أما في الحالة ب فنجد أن الكرة وهي على سطح مستو فان قوة رد فعل السطح على الكرة يساوي دائما وزن الكرة على السطح فلو اثرا فيها بقوة فسوف تستمر في حركتها بما يتناسب وكمية القوة المؤثرة لحين توقفها عن الحركة بينما في الحالة ج على سطح مقعر فعند تحريكها نتيجة تأثير قوة فانها ستتتحرك باتجاه تأثير القوة ولكنها ماتلبث أن تعود الى وضعها الأصلي، وعلى هذا الأساس نطلق على اتزان الكرة في الحالة الأولى (اتزان غير ثابت) بينما في الحالة الثانية على (اتزان متعادل) وفي الحالة الثالثة (اتزان ثابت).

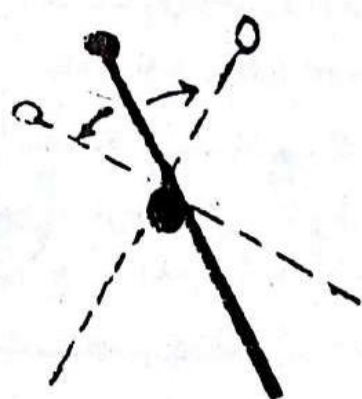
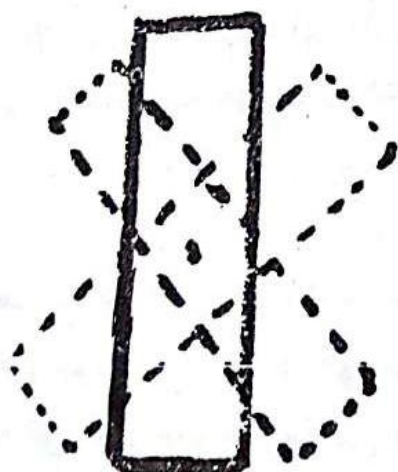




في الحركات الرياضية وعلى سبيل المثال لاعب الجمباز على العقلة في ثلاث حالات يختلف فيها موضع مركز ثقله عن نقطة استناده على الجهاز ففي الحالة الأولى نجد ان مركز ثقله يقع فوق نقطة استناده فيكون اتزانها في هذه الحالة غير ثابت واي قوة تؤثر فيه تغير من وضع جسمه وبالتالي سقوط مركز ثقله الى اسفل نقطة الاستناد . وفي الحالة الثانية شكل (109) تجد (على سبيل الافتراض) ان مركز ثقل اللاعب يقع ضمن نقطة الاستناد او (محور الارتكاز) فان التأثير في الجسم بقوة معينة يجعله مستمرا بتوازنه . اذا مثلنا جسم الانسان مجازا كقطعة مستطيلة الشكل مثبتة من مركزها فعند تحريكها يمينا ويسارا فانها ستستمر في اتزانها ويسمى الاتزان في هذه الحالة اتزاناً متعادلاً .

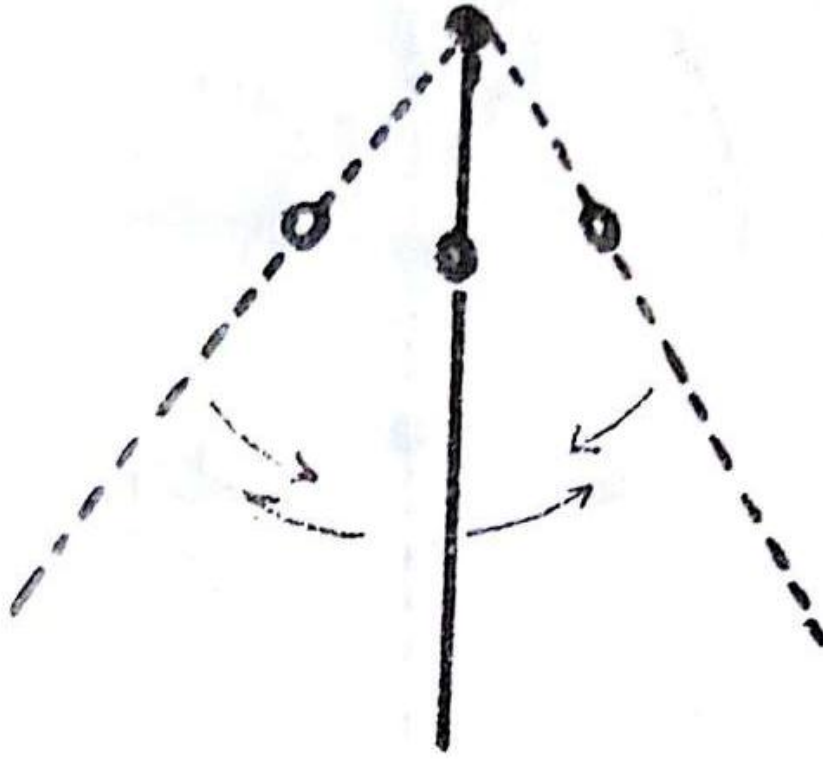


شکل (۱۱۰)



شکل (۱۱۱)

اما الحالة الثالثة وعندما يكون مركز ثقل اللاعب اسفل نقطة الاستناد كما في الشكل (١١٠)، عند التأثير فيه بقوة معينة بأي اتجاه فلا يلبث ان يعود الى وضعه الأصلي بعد استنفاده لكمية الحركة نتيجة تأثير القوة ويسمى اتزانه في هذه الحالة اتزاناً ثابتاً .



شكل (١١٢)

ان الاستفادة من هذا المبدأ يتجلى في كثير من الحركات في الحياة الاعتيادية والرياضية فللمحافظة على اتزان الشخص الراكب في حافلة بعد توقفه فجأة يحاول تثبيت جسمه من خلال تقديم احدى رجليه لتوسيع قاعدة الاستناد وذلك لاحد من سقوطه أو فقدان توازنه. يحدث عادة عند تأثير قوة خارجية في الجسم فان محاولة ومن الطبيعي أن نجد ان هناك تناسباً طردياً بين اتساع قاعدة استناد الجسم ودرجة ثباته وعلى ضوء هذه المتغيرات التي تؤثر في درجة ثبات الجسم يمكننا أن نحدد العوامل الأساسية التي تحدد هذه الدرجة من الثبات، وهي:-

١- وزن الجسم

٢. مساحة قاعدة الاستناد

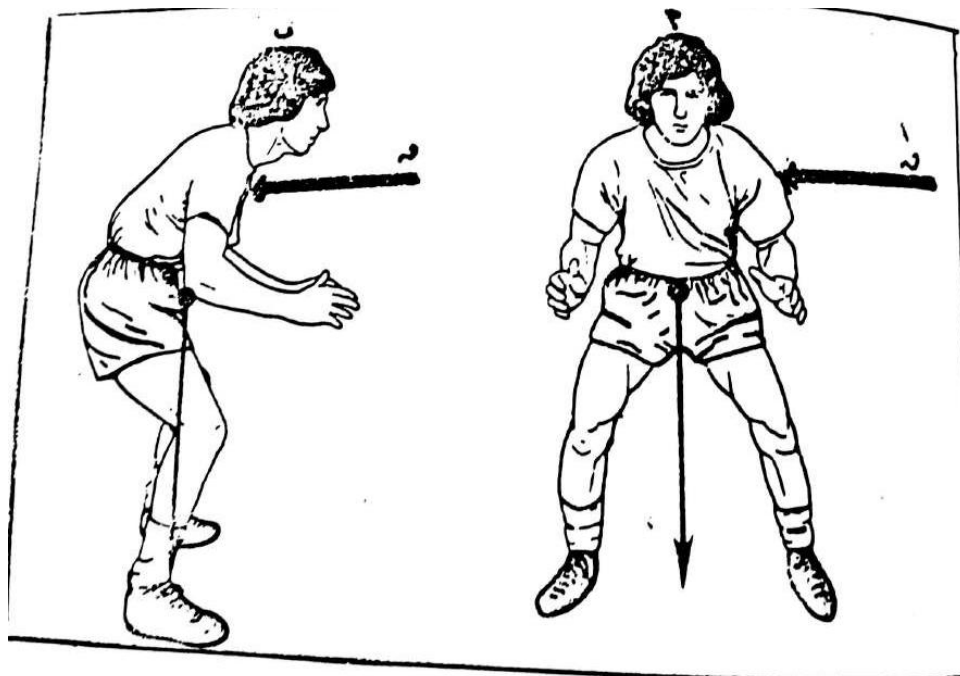
3. ارتفاع مركز الثقل

4. زاوية السقوط.

من ابسط الأسس الميكانيكية ان التغلب على القصور الذاتي لجسم يتوقف على مقدار وزنه فكلما كان الوزن كبيرا يتطلب الأمر قدرا كبيرا من القوة فلاسقاط مصارع وزنه ١٠٠٠ نيوتن يتطلب قدرا كبيرا من القوة لذلك بينما تكون القوة المملوكة اقل من ذلك اذا كان وزنه مثلا 600 نيوتن (في حالة تكافؤ بقية العوامل)

لمساحة القاعدة التي يستند عليها الجسم تأثير كبير في درجة ثباته فالجسم الذي يستند على مساحة واسعة تكون درجة ثباته اكبر من ثبات نفس الجسم اذا كانت قاعدة استناده ضيقة من هذا المنطلق نجد أن المصارع يحاول دائما توسيع القاعدة بين رجليه لتقليل تأثير قوة الخصم

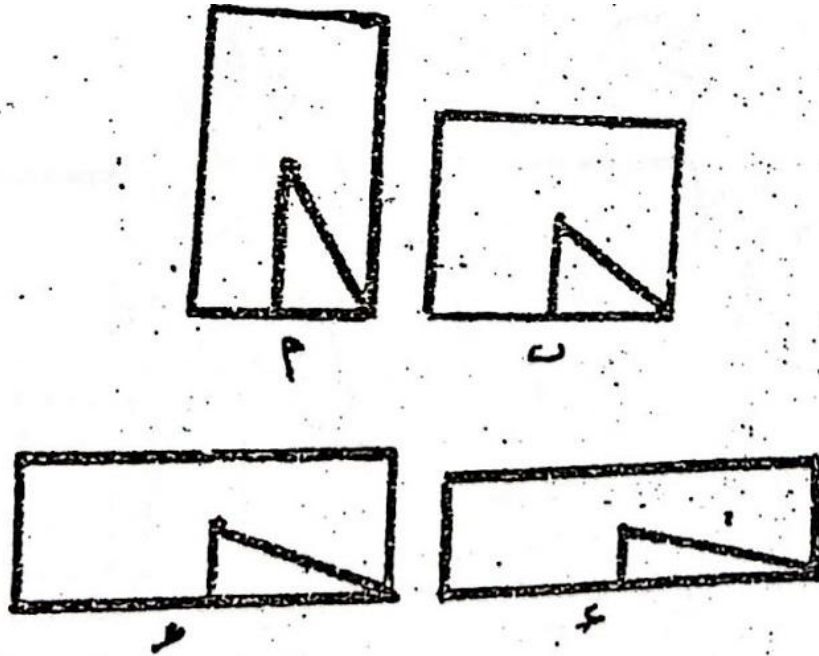
ذكرنا قبل قليل أن العلاقة بين قاعدة الاستناد واتجاه القوة المؤثرة يجب ان يأخذها الرياضي بنظر الاعتبار، فمساحة قاعدة استناد الرياضي في الوضع الاعتيادي هي المسافة المحصورة بين قدميه فعند محاولة التأثير فيه بقوة من الجانب ينبغي ان يكون اتجاه قاعدة الاستناد باتجاه القوة المؤثرة نفسه عندئذ يكون تأثير القوة اقل مما لو كانت عكس الاتجاه.



شكل (١١٣)

يكون الجسم عادة في حالة اتزان عندما يكون الخط النازل من مركز ثقله ضمن قاعدة الاستناد، ففي حالة تحريك الجسم نتيجة قوة معينة ولازال هذا الخط واقعا ضمن القاعدة فانه يستمر في اتزانه اما اذا خرج عن قاعدة الاستناد فذلك يؤدي إلى سقوط الجسم ويتعلق هذا بارتفاع مركز ثقل الجسم. لو فرضنا ان جسما يستند على قاعدة مساحتها 40 سنتمترا مربعا فإن درجة ثباته تتوقف على ارتفاع نقطة مركز ثقله فيكون ثباته اكبر عندما تكون هذه النقطة في وضع منخفض عما لو كانت مرتفعة فنجد ذلك في تصميم سيارات السباق التي يكون مركز ثقلها منخفضا الأمر الذي يزيد من ثباتها وخاصة في السرعات العالية او عند استدارتها في المنحنيات

ان العلاقة بين أتباع مساحة قاعدة الاستناد وارتفاع مركز ثقل الجسم يحدد الزاوية التي يسقط عندها الجسم والتي يطلق عليها زاوية السقوط فهناك علاقة طردية بين درجة ثبات الجسم ومقدار زاوية السقوط حيث تكون درجة الثبات كبيرة كلما كبرت زاوية السقوط والعكس بالعكس أنظر شكل (١١٢). أن الجسم في الحالة أ هو اقل ثباتا من درجة ثباته في ب وهكذا حيث تبلغ أعلى درجات الثبات في د اي عندما تكون الزاوية المبينة في الشكل اكبر مايمكن



شكل (١١٢)

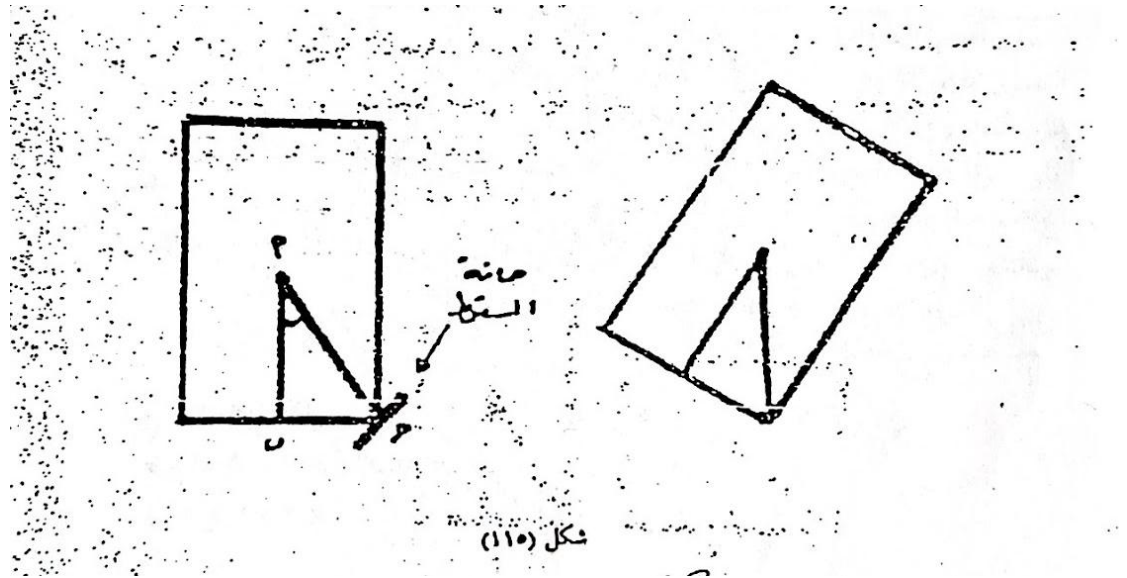
لقياس درجة ثبات الاجسام يمكننا تحديد ثلاثة مقاييس كالاتي

- 1- المقياس الهندسي
- 2- المقياس الديناميكي
- 3- مقياس الطاقة

المقياس الهندسي :-

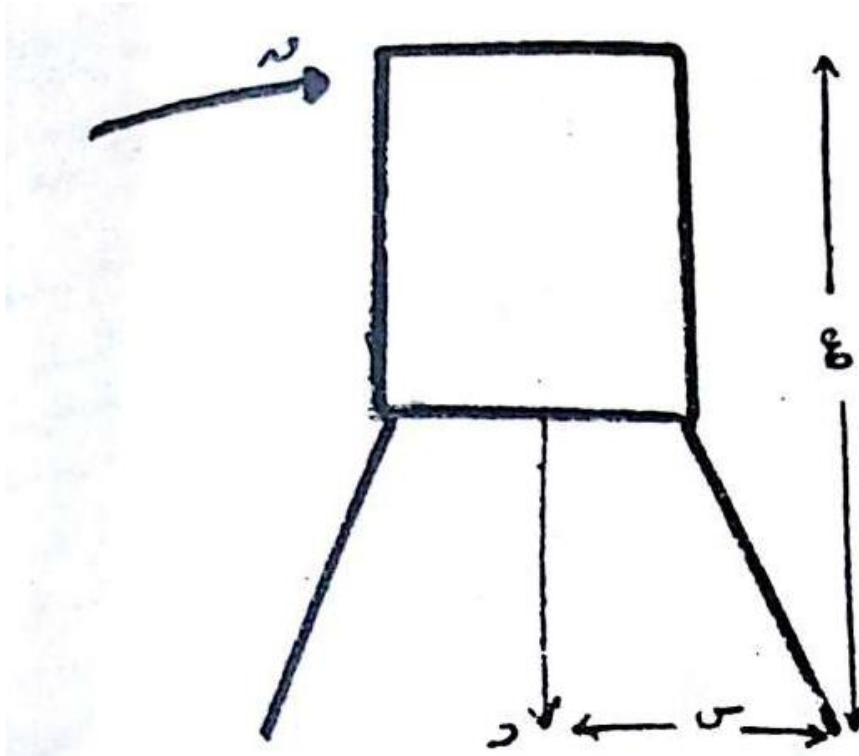
يمكن الاستدلال على درجة ثبات الجسم من خلال زاوية السقوط التي تعرف بظلها أي معرفة طول الخط النازل من مركز ثقل الجسم باتجاه قاعدة الاستناد وبين المسافة الافقية بين موقع خط مركز الثقل وحافة السقوط حيث يساوي ظل الزاوية

$\frac{ب ج}{أ ب}$



المقياس الديناميكي :-

تقاس درجة ثبات الاجسام رياضيا من خلال مقارنة عزم القوة المؤثرة مع عزم وزن الجسم ففي حالة توازن الجسم يكون مجموع عزوم القوى المؤثرة فيه صفرا اما اذا كان عزم القوة المؤثرة اكبر من عزم الوزن فذلك يؤدي الى اختلال في اتزان الجسم وبالتالي التأثير في ثباته كما في الشكل



شكل (١١٦)

في حالة اتزان الجسم فأن
عزم القوة ق = عزم الوزن و
ق × ع = و × س

مقياس الطاقة

يقصد به مقدار الطاقة المصروفة للتغلب على ثبات الجسم ويتوقف هذا على مقدار الشغل الذي تنجزه القوة المؤثرة، ولمعرفة مقدار الشغل المنجز ينبغي تحديد المسافة التي يقطعها مركز ثقل الجسم (ارجع الى الشغل) كي يصل فوق او يخرج عن حافة السقوط فاذا كانت المسافة التي يقطعها الجسم اكبر ويحدث هذا في حالة اتساع قاعدة الاستناد وانخفاض مركز الثقل كان الشغل المبذول اكبر مما لو كانت قاعدة الاستناد ضيقة ومركز الثقل مرتفعاً.

عزم القصور الذاتي Torque

عند دراستنا لقوانين نيوتن للحركة وضحنا ماهية القانون الاول اي القصور الذاتي للجسم في الحركة المستقيمة اي مقاومته للحركة ويتوقف هذا على مقدار كتلة الجسم. لكي ندرس هذه الناحية اثناء الحركات الدائرية فلا نكتفي بمصطلح القصور الذاتي بل يقال عزم القصور الذاتي، وذلك لان مقاومة الجسم للحركة الدائرية لا يتوقف على كتلته فقط وانما على بعده العمودي عن محور الدوران.

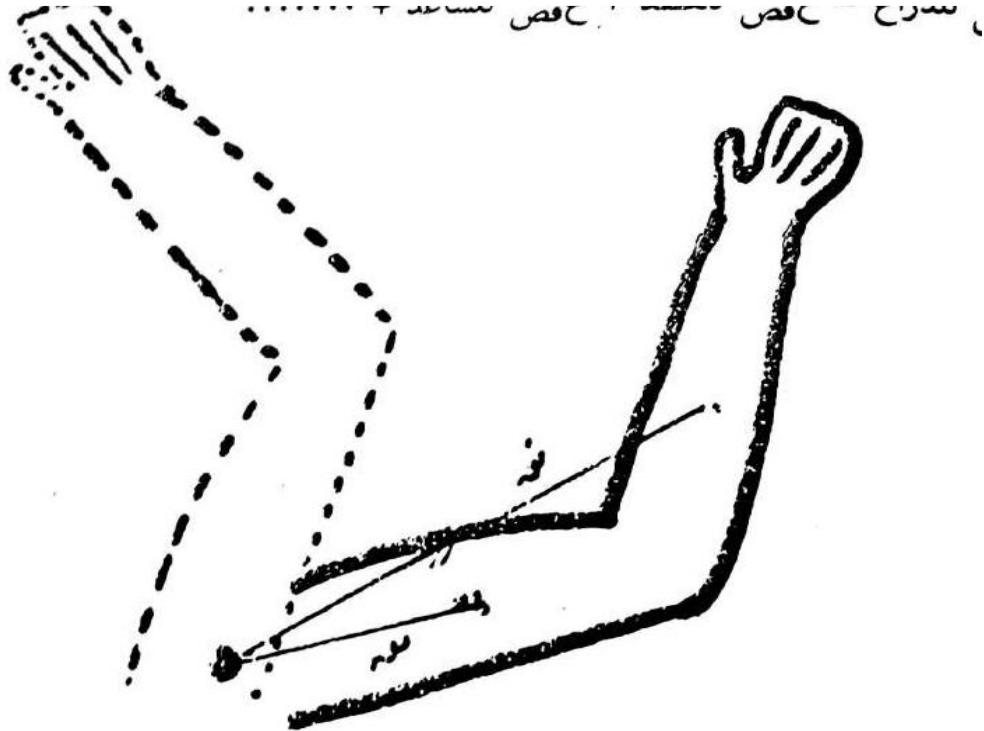
ان جسم الانسان يتكون من عدة اجزاء ولكل منها قصوره الذاتي وان عزم القصور الذاتي للجسم بأكمله هو عبارة عن مجموع القصور الذاتي لأجزائه، لو أردنا معرفة عزم الذاتي للذراع مثلاً عند دورانه حول مفصل الكتف فيمكن ذلك من حساب عزم القصور الذاتي للأجزاء حيث يكون العزم للجزء يساوي

$$\text{عزم القصور الذاتي} = \text{الكتلة} \times (\text{نصف، القطر})^2$$

فلو رمزنا لعزم القصور الذاتي ع قص = ك × نق² (43)

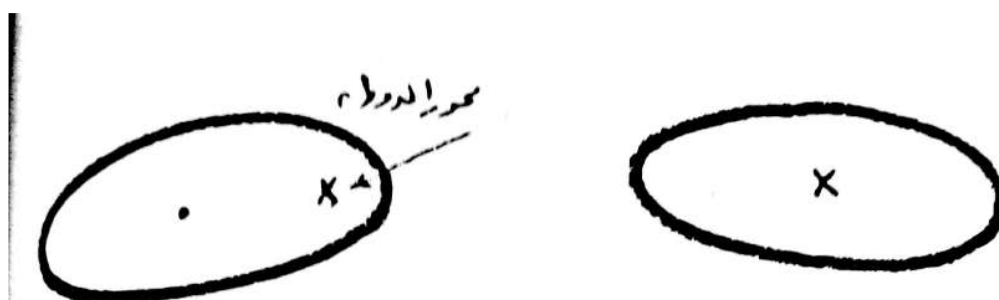
وبالتالي يكون عزم القصور الذاتي للذراع هو عبارة عن

$$\text{ع قص للذراع} = \text{ع قص للعضد} + \text{ع قص للساعد} + \dots$$

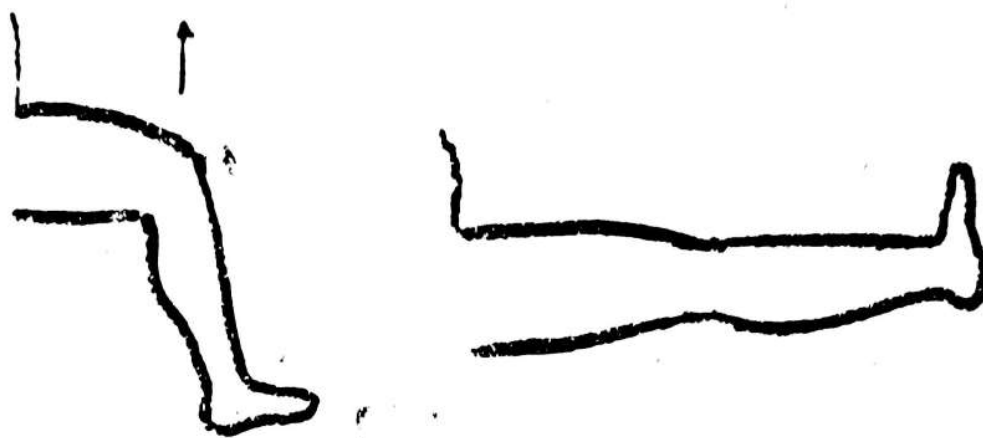


شكل (١١٧)

إذا كان الجسم الدائر يقع محور دورانه في نقطة مركز ثقله فان عزم القصور الذاتي لذلك الجسم يكون اقل من عزمه عندما لا يمر محور الدوران بمركز الثقل وعلى هذا الأساس يمكننا ان نستنتج ان دوران الجسم الذي يبعد قليلا عن محور الدوران اكبر من دوران الجسم الذي يبعد اكثر عن المحور لذلك يمكننا تفسير سهولة رفع الرجل الى الأعلى وهي مثنية عنها وهي ممدودة .



شكل (١١٨)

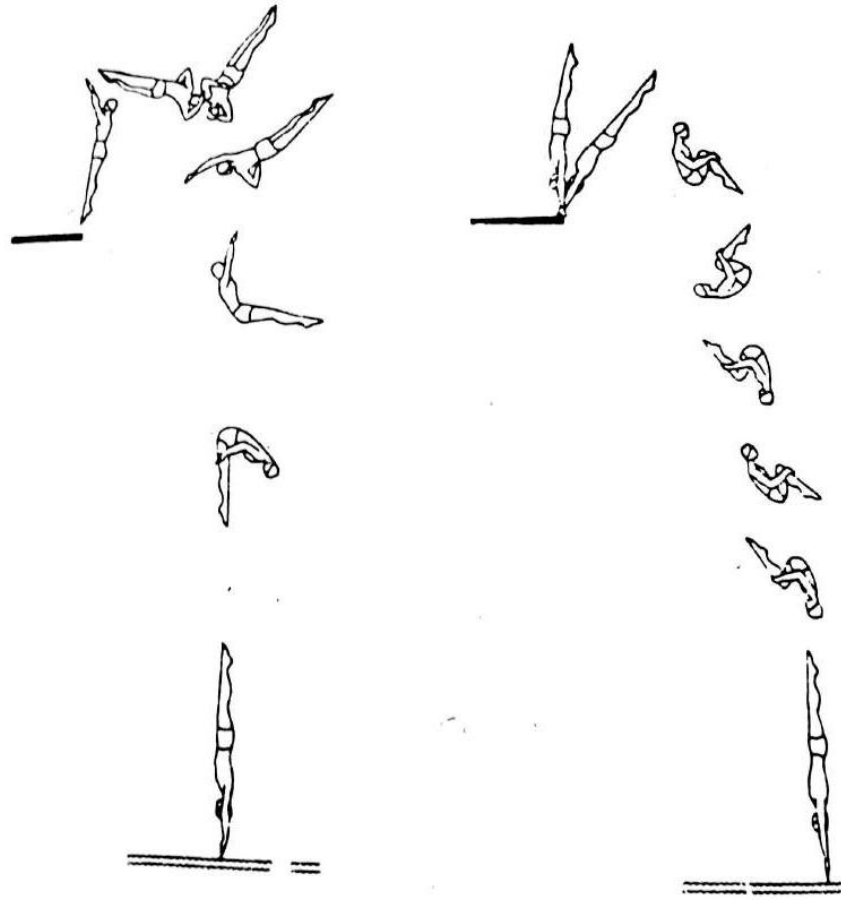


شكل (١١٩).

يمكننا ملاحظة ذلك في كثير من الفعاليات كالرقص على الجليد والبالية فعندما يحاول الرياضي الدوران اسرع ما يمكن حول محوره الطولي يقوم بتقريب أجزاء جسمه

وذلك لتقليل عزم تصورها الذاتي وبالتالي زيادة سرعتها الزاوية نظرا لطبيعة العلاقة العكسية بين عزم القصور الذاتي والسرعة الزاوية .

ويمكن ملاحظة ذلك اثناء حركة الغطس الى الماء فعند مد أجزاء الجسم وابعادها بعضها عن بعض يزداد عزم قصورها الذاتي وبالتالي تقل السرعة الزاوية للجسم، بينما في حالة تكوره تزداد سرعة الجسم الزاوية نظرا لقلّة عزم القصور الذاتي كما في الشكل



ب
عزم لقصور ذاتي كبير
اجزاء الجسم بعيدة عن بعضها

ا
عزم لقصور ذاتي قليل
اجزاء الجسم قريبة من بعضها

6. الزخم الزاوي Angular momentum

ان كمية الحركة (الزخم) الذي يمتلكه الجسم اثناء الحركة المستقيمة هو عبارة عن كتلة الجسم في سرعته بينما تتكون كمية حركة الجسم اثناء الحركات الدائرية من حاصل ضرب عزم القصور الذاتي في سرعته اي أن

الزخم الزاوي = عزم القصور الذاتي $\times$ السرعة الزاوية

فاذا رمزنا للزخم الزاوي بالرمز X_z

$X_z = I \omega$ (44)

انطلاقاً من قانون نيوتن الثالث (الفعل ورد الفعل) اذا اثر جسم بزخم معين في جسم آخر فإن الجسم المؤثر فيه يرد على الجسم الأول بكمية الزخم نفسها وبعكس اتجاهها وهذا ما يطلق عليه قانون حفظ الزخم الزاوي، فعند الجلوس على كرسي دوار والذراع إلى الجانب، فان الزخم الزاوي للشخص والكرسي يساوي صفراً اما اذا حرك الشخص ذراعه الى جهة اليسار فان حركة الفعل هذه يتولد عنها حركة رد فعل من الجزء السفلي من الجسم إلى جهة اليمين، وهاتان الحركتان تبطل احدهما الأخرى ليبقى مقدار الزخم الزاوي ثابتاً كما في الشكل



شكل (١٢١)
الزخم النواوي للجسم

7. الطاقة الحركية للزاوية Angular Kinetic energy

انطلاقاً من أهمية مفهوم الطاقة الحركية في الفعاليات الرياضية وما ينبغي على الرياضي أن يأخذه بنظر الاعتبار لما لها من علاقة وثيقة بطبيعة الأداء حيث تناولنا الطاقة الحركية بشكل عام وكانت معادلتها

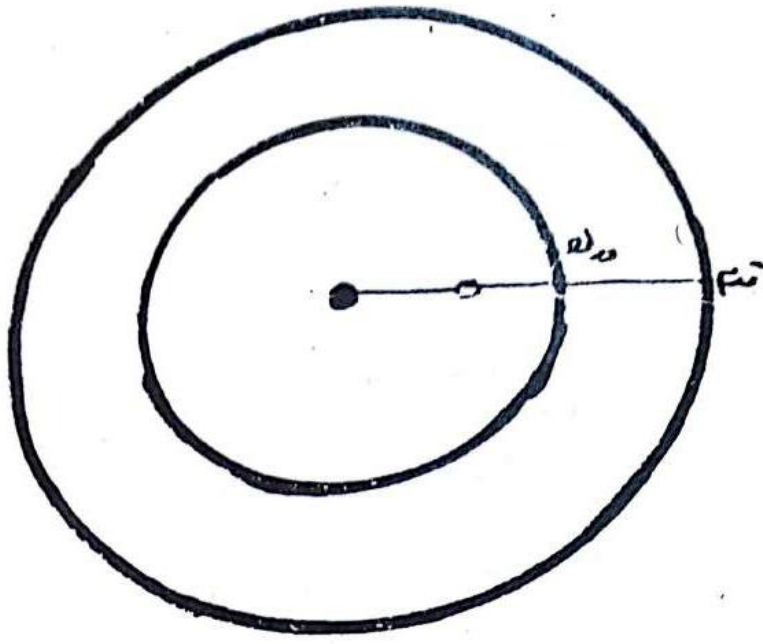
$$\text{طح} = \frac{1}{2} \times \text{ك} \times \text{س}^2 \dots\dots\dots (38)$$

ان الذي يهمنا في هذا الخصوص هو دراسة الفرق بين الطاقة الحركية التي يمتلكها اللاعب اثناء الحركة الانتقالية (المستقيمة) وبين الحركة الدائرية (الزاوية) فلو اخذنا على سبيل المثال حركة المتزحلق على الجليد الذي تكون حركته انتقالية فان سرعة كل جزء من اجزاء جسمه يتحرك بسرعة اجزاء الجسم الأخرى وبما أن الطاقة الحركية للجسم كله تساوي مجموع الطاقات الحركية للاجزاء، فاذا رمزنا للاجزاء بالارقام 1،2،3،4،، الخ

$$\text{فأن الطاقة الحركية الكلية طح كلية} = \text{طح ح} 1 + \text{طح ح} 2 + \text{طح ح} 3 + \text{طح ح} 4 \dots\dots$$

اما في الحركات الدائرية فنجد ان اجزاء الجسم تختلف في سرعتها فيما بينها نظرا للاختلاف بعدها عن محور الدوران ففي حركة دوران اللاعب حول العقلة نجد ان سرعة دوران الورك اسرع من الكتف على الرغم من أن حركتهما بسرعة زاوية واحدة وكذلك سرعة دوران الركبة اسرع من الورك، أما القدم فتكون اكثر اجزاء الجسم سرعة نظرا لطول نصف قطر الدائرة التي تدور حولها القدم، أي أن سرعة اجزاء الجسم المحيطية تختلف فيما بينها وبما أن

$$\text{سم} = \text{س} \times \text{ز} \times \text{نق} \dots\dots\dots (18)$$



شكل (١٢٢)

إذا عوضنا عن قيمة س م في المعادلة 18 بما يساويها في المعادلة 38 يصبح قانون الطاقة الحركية في الحركة الزاوية كالآتي

$$\text{ط ح} = \frac{1}{2} \text{ك} (\text{س ز} \times \text{نق})^2 \dots\dots\dots (45)$$

$$\text{ط ح} = \frac{1}{2} \text{ك} \text{س ز} \times \text{ك نق}^2$$

$$\text{اذن عزم القصور الذاتي} = \text{ك نق}^2$$

لذا من الممكن القول ان هناك تناسباً طردياً بين مقدار الطاقة الحركية التي يبذلها الرياضي وبين مقدار عزم القصور الذاتي للجسم أثناء أدائه للحركة الدائرية .

اسئلة للمراجعة

- 1- ماذا يحدث عندما يمر خط عمل القوة بمركز ثقل الجسم المؤثر فيه ماذا
- 2- كيف حدث الحركة الدورانية ؟
- 3- ماذا يطلق على القوة في الحركات الدائرية ؟
- 4- ماذا يقصد بالاتزان ؟
- 5- ماهي العوامل المؤثرة في الاتزان ؟
- 6- كيف يمكنك تحديد موضع مركز ثقل عمود غير منتظم الشكل
- 7- هل يتغير موضع مركز ثقل الجسم باختلاف المقاييس الجسمية
- 8- ماهي العلاقة بين الاتزان والثبات من الجانب الميكانيكي
- 9- ماهي العوامل التي تؤثر في الثبات ؟
- 10- ماهي العلاقة بين اتجاه القوة المؤثرة واتجاه قاعدة الاستناد ؟
- 11- ماهي زاوية السقوط ؟
- 12- عدد مقاييس درجة ثبات الأجسام
- 13- ماذا يقصد بالمقياس الديناميكي ؟
- 14- ماذا يقصد بعزم القصور الذاتي؟
- 15- اذكر قانون عزم القصور الذاتي
- 16- في الوثب العالي ترفع الرجل الحرة مثنية اسهل من رفعها ممدودة
اثناء النهوض علل ذلك
- 17- اذكر قانون الزخم الزاوي
- 18- ما الفرق بين الطاقة الحركية للجسم بين الحركة المستقيمة
والحركة الدائرية ؟
- 19- اضرب مثلا للطاقة الحركية الزاوية في الفعاليات الرياضية.
- 20- ماهي العلاقة بين الطاقة الحركية، والقصور الذاتي للجسم اثناء
الحركات الدائرية