الفصل الرابع

الحركة الدورانية وقوانين نيوتن

Rotational Motion and Newton's Laws

الفصل الرابع

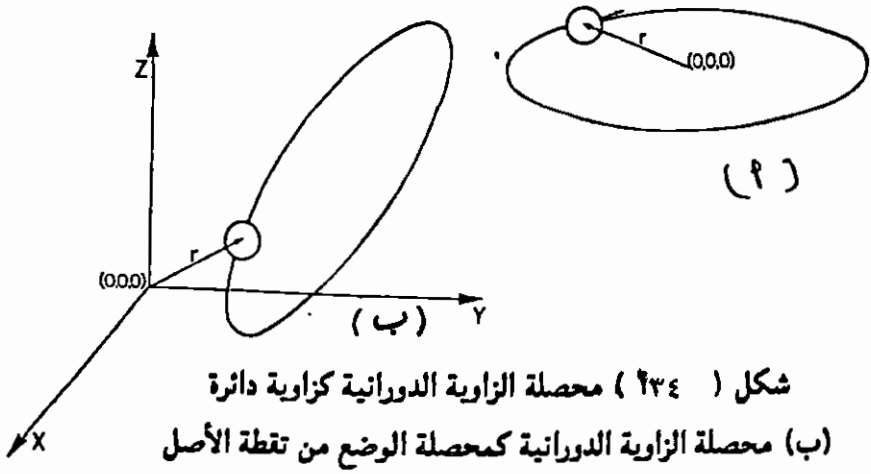
الحركة الدورانية وقوانين نيوتن

Rotational Motion and Newton,s Laws

المتطلبات الاساسية :

ارتبط التحليل للفصل السابق بالحركة المستقيمة او الحركة فى خط مستقيم ، ولكن فى هذا الفصل سوف نتعامل مع الحركة الدورانية حول نقطة او محور ثابت . معظم مصطلحات الحركة المستقيمة لها مرادف في الحركة الدورانية . فعملية الازاحة في خط مستقيم تسمى الانتـــقال ، بينما تدعى عملية الازاحـــة الدورانـــية Circular displacement بالدوران Rotation ولوصف جسم فى حركة دورانية فاننا نحتاج معرفة مركز الدوران والى المسافة او بعد الجسم من المركز .

هذه المسافة المنفصلة تسمى بمحصلة نصف القطر (radius vector) ويشار الى هذه الزاوية بمسافة الجسم من النقطة الاصلية .



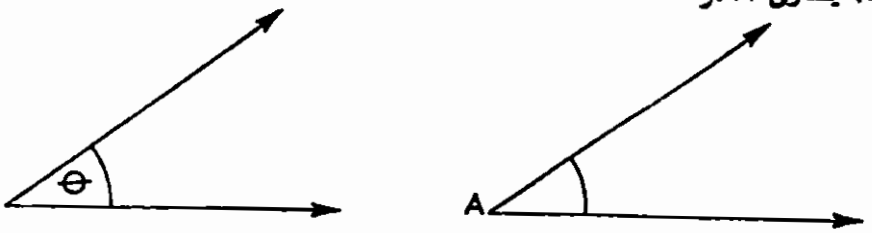
شكل (٣٤ أ) محصلة الزاوية الدورانية كزاوية دائرة

(ب) محصلة الزاوية الدورانية كمحصلة الوضع من تقطة الأصل

ان الوحدة المستعملة لقياس الازاحة فى خط مستقيم هو المتر ، وهناك عدة وحدات مختلفة لقياس الازاحـــة الدورانـــية. الوحـــدات الاكثر شيوعـــا هما الدرجـــة

Degree والزاويـــة الدائريـــة Radian . وحدة الدرجـــة المرتبطة بالازاحة الدورانية هى $\frac{1}{360}$ من دائرة . الزاوية الدائرية Radian فيمثل قوس من محيط الدائرة والذى طوله يساوى هذا القوس . فمحيط الدائـــرة يمكن تمثيلها $C = 2\pi r$

حيث (C) محيط الدائرة ، (r) هو نصف القطر، (π) النسبة التقريبية يساوى تقريبا (٣ر١٤٢)، ان زاوية دائرية واحدة (rad) تساوى (٥٧ر٣°) بينما درجة واحدة (1^{o}) يساوى ١٧.ر



شكل (٣٥) زوايا مصممة بواسطة الحرف الأغريقى θ
أو بواسطة إلتقاء خطين فى نقطة

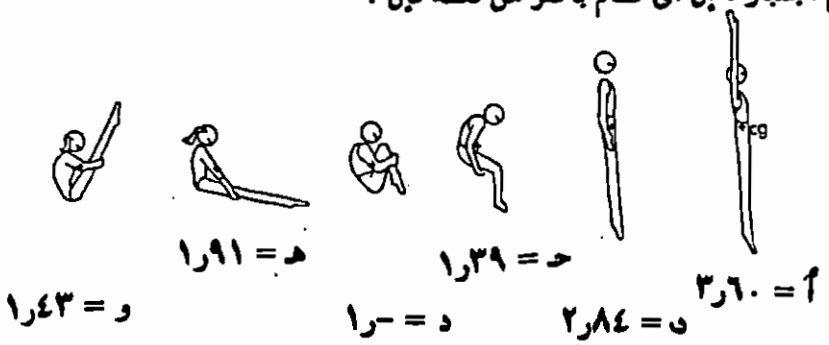
ونعبر عن الحركة الدورانية إما بإستعمال حرف يونانى صغير أو باسم الزاوية . هنالك مقياسا لقياس عزم القصور الدائرى أو عزم القصور الدائرى الذاتى (I) وتقاس بمقدار مقاومة الجسم للدوران كما هو الحال فى الحركة المستقيمة حيث يكون عزم القصور هو مقاومة الجسم لتلك الحركة .

أما عزم القصور للحركة الدورانية لنقطة من كتلة هو ناتج كتلة الجسم ومربع المسافة العمودية التى تفصل النقطة ، ومحور دوران النقطة كما يلى :

المعادلة (٢٠.) $I = m.r^2$

وفى حالة الأجـسام أو الجسم الذى يتكون من عدد أكـثر من نقطة واحدة فإن

عزم القصور الذاتى الدائرى يقاس بجمع عزم القصور الـدورانى لكل النقاط المكونة للجسم . الرمز (I) يدل عادة على محور الدوران . الكتلة هى صفة كونية للمادة . وعلى أية حال فإن عزم القصور الدائرى يعتمد على المحور الذى يحدث فيه الدوران . ويوضح شكل (٣٦) قيم عزم القصور الدائرى التقريبى حول مركز الثقل للعديد من أوضاع الجمباز . إن أى نظام بأكثر من نقطة فإن :



شكل (٣٦) القصور الزاتى النسبى التقويبى لأوضاع مختلفة

معادلة (٢١) $I = \Sigma mr^2$

حيث أن (m) هى الكتلة لكل نقطة فى النظام و(r) هى المسافة بين النقطة ومحور الدوران . والرمز سيجما (Σ) يبين مجموع قيم عزم القصور الذاتى لكل نقطة منفردة ، والتى مع غيرها تكون الجسم ، وهكذا فإن شكل الجسم أو توزيع الكتل النقطية الصغيرة داخل الجسم والمكونة له سوف يؤثر على قيمة عزم القصور الدورانى للجسم .

إتجاه الحركة الدورانية يتم تعيينها بأن تكون موجهه . إذا ظهر الدوران فى إتجاه عقارب الساعة لمشاهد خارجى فانها تعتبر موجبة . أما اذا ظهرت لذلك المشاهد بأنها تسير عكس عقارب الساعة فانها تعتبر سالبة .

السرعة الزاوية Angular Velocity : (ω) (أوميجا) هى شبيهة أو مرادفة للسرعة المتجهة في خط مستقيم . وتعرف بأنها التغير فى الإزاحة الدائرية لكل وحدة

زمن . ووحداتها هى درجة لكل ثانية (درجة /ثانية) أو (درجة زاوية لكل ثانية) ... Radian /sec ومعادلتها كما يلى :

معادلة ٢٢ $$\omega = \frac{\Delta_\theta}{\Delta t}$$

حيث $\Delta\theta$ تمثل زاوية الازاحة الدائرية .

التسارع الدورانى Angular acceleration

(α) (الفا) هو معدل التغير فى السرعة الزاوية (ω) وهكذا فان :

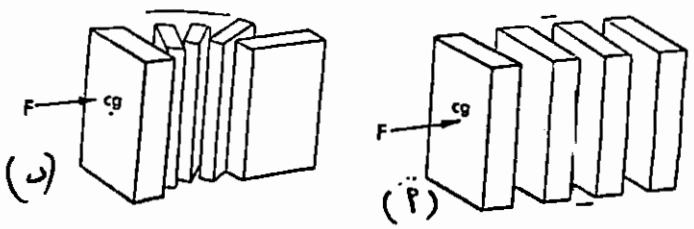
معادلة ٢٣ $$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

ووحدتها درجة لكل ثانية مربعة او درجة زاوية دائرية / ث ٢ .

ومن الجدير ذكره ان (α) و (ω , θ) هى كلها كميات متجهة أو عبارة عن ثلاث متجهات تحتاج الى مقدار واتجاه لتحديدها بشكل متكامل .

العـــزوم وازدواج القـــوى
Torques and Force Couples

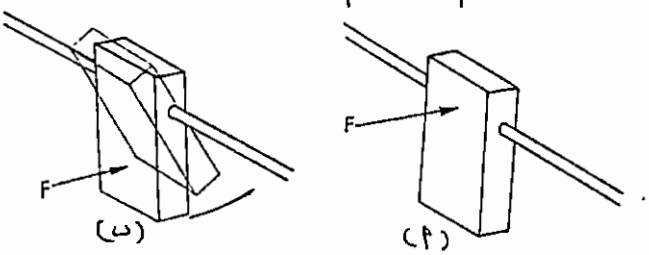
اذا كان الجسم غير مثبتا وتؤثر عليه قوة فاننا نجد حدوث نوعين من الحركة : فاذا كانت القوة تؤثر في اتجاه خط تتقاطع مع مركز الثقل فان الجسم يتحرك فى خط مستقيم وكل نقاط الجسم تتحرك فى خطوط متوازية ، ولكن اذا أثرت هذه القوة على الجسم بحيث يكون اتجاه تأثيرها فى خط لايتقاطع مع (مركز الثقل) فاننا نجد حدوث نوعين من الحركة وهما الحركة المستقيمة والحركة الدورانية . يحـدث الدوران حول محور يمر خلال مركز الثقل وعمودى على مستـوى هذا المركز والقوة المؤثرة هذه والتي تعـمل بمـؤازرة مـركز الثقل تدعى القوة اللامركزيـة Eccentric Force



شكل (٣٧) أ – تسبب القوة الانتقال فقط ، حيث إنها تمر بمركز الثقل

ب – تسبب القوة الدوران وأيضا الانتقال حيث إنهالا تمر بمركز الثقل .

وفى حالة ثبوت الجسم فى بعض نقاط معينة فانه يحدث حالتين : اذا أثرت قوة بطول خط يمر بالنقط ، فان الجسم لا يتحرك ، أما اذا أثرت القوة على نقطة تقع على خط لايمر بنقطة ثبات الجسم فان الجسم يبدأ بالدوران حول محور يمر بنقطة ثابتة .



شكل (٣٨) أ – اذا أثرت قوة خلال نقطة ثابتة فإنه لا يحدث حركة

ب – اذا أثرت قوة بعيداً عن النقطة الثابتة فإنه يحدث دوران فقط .

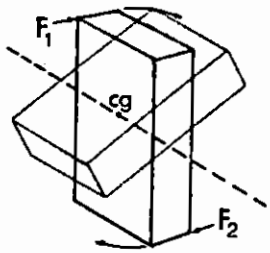
عندما تحدث القوة المؤثرة دورانا فانها تعطى مجالا لحدوث العزم Torque وهى قوة دورانية . ومقياس للجهد الذى يسبب أو يحدث الدوران ، كما أن عزم القصور الدورانى يعتمد على نصف قطر ومحور الدوران . يعتمد العزم على المعطيات التالية :

معادلة ٢٤

$$T = F \cdot r$$
$$= I \cdot \alpha$$

هذه المعادلة صحيحة اذا كانت (F) ، (r) متعامدة .

والعزم Torque هو عبارة عن كمية متجهة ، ومع أنها لها نفس وحدات الشغل الذى يعتبر كمية غير متجهة فاننا لا نعتبرها شغلا !. ان وحدات العزم Torque (nt - m) ، ولكن اتجاه الدوران يجب تعيينه ، ومن المفيد ذكره أن العزم لا يعتمد كلية علي مقدار واتجاه القوة وانما يعتمد ايضا على موقع نقطة تأثير القوة . اذا اثرت القوة على طرف الباب المثبت لا تحدث أى دوران للباب ، بينما القوة المؤثرة على يد الباب تجعله يفتح ويغلق .



شكل (٣٩) سبب الدوران هو ازدوج القوى .

الجسم الحر يستطيع ان يمارس حركة دورانية حول مركز ثقله اذا أثرت عليه قوتان متساويتان ومنعكستين فى الاتجاه ومتوازيتين فى خط تأثيرهما على الجسم . وهذا يدعى ازدواج القوى . ان مقدار العزم والذى تنتجه هاتين القوتين أو الازدواج (C_m) يحسب بايجاد حاصل ضرب مقدار احدى القوتين في المسافة العمودية الفاصلة بين خطى تأثير القوتين .

$$C_m = F \cdot d$$ معادلة ٢٥

الدفع الدورانى : Angular Impulse (A. I.) هو المرادف الدورانى ويساوى حاصل ضرب مقدار العزم فى مقدار زمن التأثير وهو كمية متجهة :

$$A.I. = T \cdot t$$ معادلة ٢٦

وبازدياد الدفع الدورانى تزداد قوة تأثير الدوران .

الطاقة الحركية ... Kinetic Energy لها ايضا مكون دورانى ، اذا انتقل الجسم تماما ، فان مكون الحركة الخطية للطاقة الحركية يكون :

$$K.E. = 1/2\, m \,.\, v^2$$ معادلة ٢٧

حيث ان السرعة هى سرعة مركز الثقل .اما فى حالة الدوران فان الطاقة الحركية تساوى :

$$K.E. = \tfrac{1}{2} I \cdot \omega^2$$

كمية الحركة الزاوية : .... Angular Momentum (L)

هو المرادف للعزم في الحركة المستقيمة كما يلى :

معادلة (٢٨) $L = r \cdot p = r \cdot m \cdot v$.

ويمثل العزم Torque التغير فى كمية الحركة الزاوية عبر الزمن :

معادلة (٢٩) $T = \Delta L / \Delta t$

اذا اعطى التسارع والازاحة والسرعة الزاوية الدورانية لعملية الدوران فان الازاحة الخطية فى خط مستقيم والسرعة والتسارع يمكن حسابهما بسهولة باستعمال المعادلات التالية :

معادلة (٣٠) $d = \theta \cdot r$

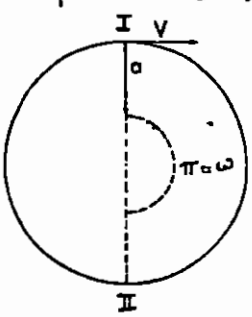
معادلة (٣١) $v = \omega \cdot r$

معادلة (٣٢) $a = \alpha \cdot r$

أمثلة على العزوم وعلى ازدواج القوى :

Torque and Force Couples Example

عند حدوث ازاحة دورانية π مقدارها (١٨٠ °) فى مسار جسم يدور ونصف قطره ٤ م ، فان النقطة على محيط الجسم تتحرك بمقدار $\pi \times$ ٤ م = ١٢,٦ م =٤١ قدم .



شكل (٤٠)

اذا كانت زاوية القوس ٣ = ٤م نجد أن المسافة بين I الى II بإمتداد الدائرى تكون ١٢,٦

واذا كانت السرعة الزاوية (ω) = π rad / sec

فإن السرعة الخطية (v) تكون 4 π m/sec

واذا كانت السرعة الدورانية (α) فإنها تكون

$\pi/2$ rad / sec^2 ويكون التسارع الزاوى (a) هو 2m / sec

اذا كانت الاداة the particle لها سرعة دورانية زاوية (ω) = π rad / sec عند لحظات معينة ، فإن السرعة فى خط مستقيم (v) تساوى 4π meters / sec واذا كانت الاداة the particle لها تسارع دورانى (α) = $\pi / 2$ rad / sec^2 عند لحظات معينة ، فان :

$a = \pi / 2.4 = 2\pi$ m / sec^2. (= 21 feet / sec^2) .

الدوران فى دائرة حسب قوانين نيوتن الثلاث

Rotational Conterparts of Newton's Three Law

(القانون الاول) ان الجسم الصلب المتحرك يميل للاستمرار فى الدوران بكمية حركة زاوية ثابتة الا اذا أثرت عليه قوة بعزم خارجى غير متكافئ (إما زوجين من القوى أو قوة لامركزية) .

(القانون الثانى) ($T = I\alpha$) العزم المؤثر على جسم يتناسب مع التغير فى كمية الحركة الزاوية .

(القانون الثالث) لكل عزم مؤثر من جسم الى آخر هناك عزم اخر مساوى له بالمقدار ومضاد له في الاتجاه ويكون لحظيا من الجسم الثانى على الجسم الاول .

حفظ ونقل كمية الحركة الزاوية

The Conservation and Transfer of Angular Momentum

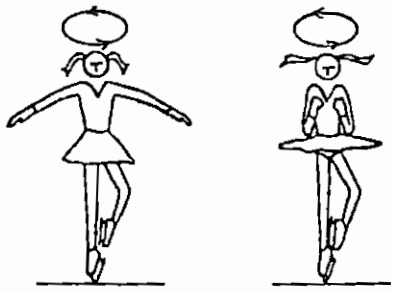
حسب قانون نيوتن الثانى : اذا لم يكن هناك تأثير عزوم خارجية فانه لا يحدث أى تغيير فى كمية الحركة الزاوى .

قانون حفظ كمية الحركة الزاوى :

تظل كمية الحركة الزاوية $L = r\,m\,v = m.\omega$ ثابتة الا اذا اثرت على هذا الجسم قوة خارجية تؤثر عليه . وهذا يتطلب ألا يكون هناك حاجة للعزم لتنقص من

نصف قطر دائرة الدوران اذا لم يصاحب ذلك ازدياد في السرعة الخطية اللحظية .

اذا نقص نصف القطر (r) ولكن ازدادت السرعة (v) نسبيا فان حاصل ناتج كمية الحركة الزاوى (L) يبقى ثابتا . هذه التغييرات تحدث عادة ولا يتطلب الامر شغلا خارجيا لانجاز هذا التأثير . هذه العملية سهلة الملاحظة بالنسبة للاعبى التزحلق على الجليد .



شكل (٤١) دوران لاعبة التزحلق على الجليد بسرعة عند ضم يديها بجانب الجسم مما يظهر الاحتفاظ بكمية التحرك الزاوى (L) .

فى حالة التأثير للعزم الاساسى فان كمية من العزم الزاوى تعطى للراقصين . فاذا تأخر مد الذراعين عند بداية الدوران فان حركة الدوران تكون بطيئة وعلى اية حال فبمجرد ضم الذراعين تجاه الجسم فان سرعة الدوران تزداد .

يجب ان يكون هناك شغل داخلى لتقريب الذراعين للجسم ، ولكن العملية لاتمثل اختراق لقانون حفظ كمية الحركة الزاوى لانه لم يوجد قوة خارجية ولاعزوم تؤثر على ذلك الجسم .

ان اتجاه الدوران هو جزء من محصلةكمية الحركة الزاوى ، وهذا يمكن لاعبى الجمباز وحتى فى الهواء ، من تغيير معدل الدوران ، وباستعمال كل اعضاء الجسم او جزء منه . وبإستخدام مظاهر مهارات لاعبى التزحلق على الجليد فى الهواء يتمكن

لاعب الجمباز من الاستفادة بها وذلك بزيادة حركة الدوران على المحور العرضى . فاذا ارتقى لاعب الجمباز بجسم ممتد بكمية حركة دورانية زاوية خلال المحور العرضى فان معدل الدوران يكون بطيئاً . هذا المعدل من الدوران يمكن ان يزداد اذا افترض ان لاعب الجمباز ياخذ وضع ثنى الفخذين ، وفى حالة التكور تزداد السرعة اكثر . ان الثنى والتكور يقلل من نصف قطر حركة الدوران وعزم القصور الذاتى على المحور العرضى خلال مركز الثقل .

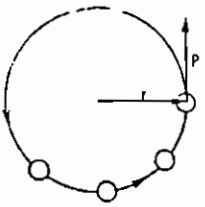
وفى الحقيقة ان زيادة الدوران في نفس الوقت تعطى زيادة في السرعة الزاوية، والتى ترتبط مع انقاص نصف القطر . ان حركة دوران اليدين الى الامام عند تنفيذ مهارة دوران الى الخلف يزيد من حركة الدوران الخلفى . وفى حالة المهارات الهوائية فان كمية الحركة الزاوى (L) تكون ثابتة ، حيث انه لايوجد عزم مؤثر خارجى ، ولذلك فان حركة الدوران الامامية لليدين تمثل جزءا قليلا من الحركة الدورانية السالبة، والتـى يمكن ان تتعـادل بزيادة حركة الدوران الموجبة وهذا لايخالف قانـون حفظ كمية الحركة الزاوى .

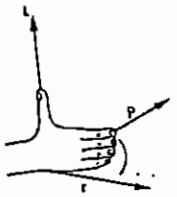
اتجاه السرعة الزاوية وكمية الحركة الزاوى

Direction Of Angular Velocity and Angular Momentum

يفيدنا معرفة اتجاه السرعة الزاوية وكمية الحركة الزاوى في تحليل مهارات الدوران . ان عملية ضرب المتجهات موجودة فى آخر الكتاب مرفق (د) وتشير نتائج هذه التحليلات ان كمية الحركة الزاوى المتجهة (L) يجب ان تكون دائما عمودية على نصف القطر . ومحصلة كمية الحركة الخطية المتجهة فى اى لحظة زمنية بنفس الوقت . ان الاتجاه فى هذه الحالة يكون بواسطة قانون اليد اليمنى . افرد يدك بحيث يكون الابهام عمودى علي باقى الاصابع حيث يمثل اتجاه باقى الاصابع نصف القطر اذا حركت اصابع اليد بشكل دائرى (زاوى) فان حركة الاصابع تمثل الزخم

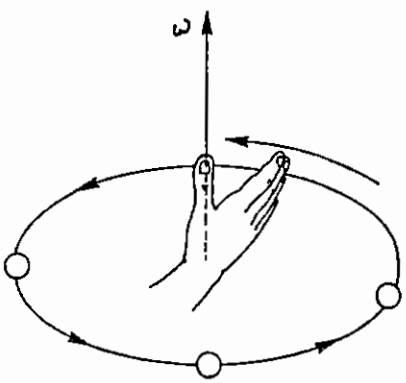
الخطى وحركة الابهام تمثل بالزخم الزاوى في اى لحظة .





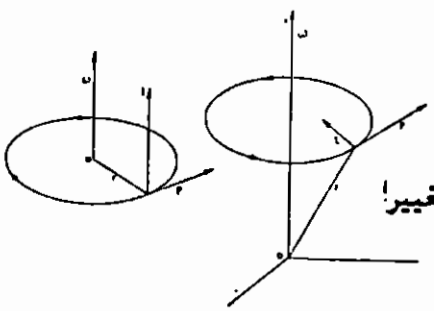
شكل (٨٢) استخدام قانون اليد اليمنى لتقدير الاتجاه
الخاص بالعزم الزاوى (L) ، بمعرفة (r) نصف القطر ، (p) العزم الخطى .

ان اتجاه السرعة الزاوية دائما هى فى إتجاه حركة الابهام أثناء حالة الدوران حول محور ثابت ،



شكل (٨٣)
حركة اصابع اليد اليمنى فى اتجاه الدوران
والابهام ممتدا ليشير الى اتجاه السرعة الزاوية (ω) .

واذا استخدم المتجه الذى نصف القطر بعيدا عن التحليل والذى يكون تابعا لنقطة الاصل والتى تمثل بمركز الدائرة (r) وهذا ليس بالضرورة فاذا كان المركز ليس في نقطة تقاطع المحاور في نقطة الاصل فان نصف القطر في هذة الحالة يكون نصف قطر اتجاهى وهو يمثل بالمتجه الواصل من نقطة الاصل الى النقطة علي مركز الثقل (C G) .



شكل (٨٤)
التغير فى المتغيرات والمتسببة من تغيير
الموقع الأساس للنظام .

يوضح تأثير تغييرات نقطة المركز في النظام على السرعة الزاوية وكمية الحركة الزاوى من مركز الدوران الى بعض النقاط الاخرى لاحظ ان (ω) لاتتأثر بهذه الازاحة .

مهارات اللف

Twisting

توضح مهارات اللف حركة لاعب الجمباز حول المحور الطولى . الامثلة والتطبيقات الخاصة بمهارات اللف على لاعبى الجمباز تشير على ان هذه العملية تعطينا اربع حالات لحدوث عملية اللفات . ومن الممتع اعتماد احد هذه الطرق على عزم خارجى مؤثر .

اللفات من الارتكاز : Supported Twisting

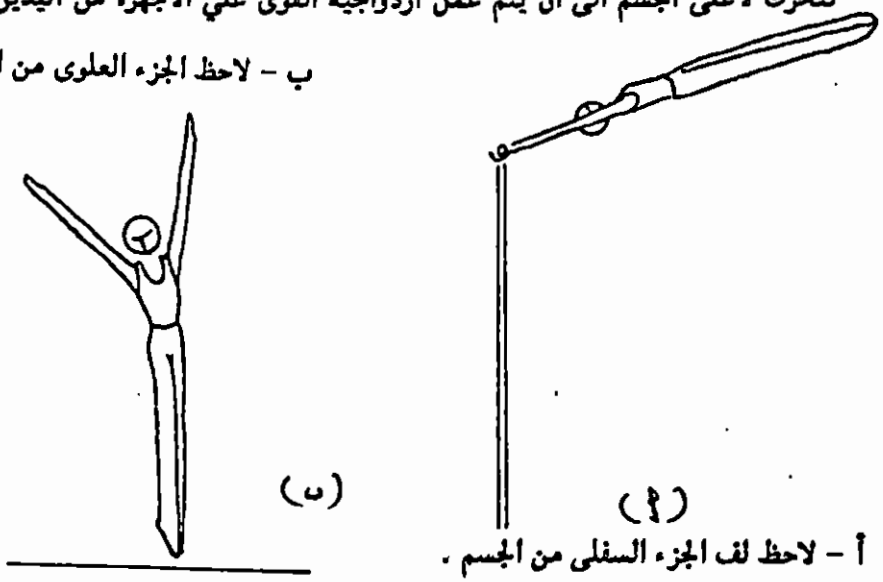
تبين مهارات اللف استعمال بعض الاجهزة لتطوير عملية اللف وعلى اختلاف هذه الاجهزة مثل الجمباز الارضى ، العقلة ، عارضة التوازن ، حصان القفز أو الحلق فانها تستخدم الارتكاز ، وفى كل هذه العمليات يكون الفعل من لاعب الجمباز ضد عنصر الجاذبية ، ولكن لايكون لها قاعدة مميزة يمكن وصفها . واللف من الارتكاز او التعلق لايستخدم فيها عزوم خارجية لزيادة كمية الحركة الزاوى للف .واحدى مظاهر مهارات اللف من الارتكاز تمثل كتطبيق لازدواجية القوى بواسطة ايدى او ارجل اللاعب . لاعب الجمباز ينتج منه رد فعل (ازدواج القوى) وهذا هو الذى يؤثر على الحركة الزاوية . والتى تمد اللعب عادة التغييرات في عزم كمية التحرك الدائرى .

وبتحليل منطقى تقريبا يمكن القول بان اتصال اليدين أو القدمين بالجهاز قد تكون ظاهرة كنقاط .

يبدأ اللف فى الجزء العلوى من الجسم ثم يتحرك لاسفل الجسم الى ان يتم عمل ازدواجية القوى على الاجهزة ، من القدمين الى الارض ، او من قدمى اللاعب ثم

تتحرك لاعلى الجسم الى ان يتم عمل ازدواجية القوى علي الاجهزة من اليدين

ب – لاحظ الجزء العلوى من الجسم .



أ – لاحظ لف الجزء السفلى من الجسم .

شكل (٨٥)

يبدأ اللـف من الاطراف البعـيدة من نقطة المسك متجهـة فى الجسم الى نقطـة المسك .

مثالا للاولى هو شقلبة خلفا متبوعة بنصف لفة على الارض ، والمثال للثانية هو تغيير القبضات Whip - Change على جهاز العقلة . وشكل آخر للنوع الثانى يتضح عند أداء دائرة رجلين مرتين على جهاز حصان الحلق .

ومن الملاحظة انه في مهارات اللف من الارتكاز مشاهدة العزوم الضرورية كمبدأ للقوى اللامركزية علي الجسم في نقطة ثابتة . ان النقطة الثابتة للجسم حول تلك التى يحدث منها اللف قد تكون القدم أو اليد .

تنتج القوى اللامركزية للأجهزة على لاعب الجمباز عن القوة المؤثرة على القدم

الحرة أو اليد الحرة . ومثال على هذا الفعل يلاحظ فى عملية تغيير القبضات على جهاز العقلة ، ويجب أن يلاحظ في تنفيذ المهارات والتى تتضمن اللف من الارتكاز ايجاد قوى مزدوجة مع زيادة القوى اللامركزية التى تعمل مجتمعة على تغيير كمية الحركة الزاوى حيث تسمح باحداث اللف .

ظاهرة الازاحة للمحاور الاساسية :

THe Principal Axis Shift Phenomenon

يتضمن الاداء الفنى لعملية اللف على كمية حركة زاوى ثابت لاتساوى صفرا وبفرضية ان الجسم غالبا يصل الى كمية حركة زاوى حول محور عرضى Trans-verse (Isotransverse) أو محور مماثل . ومن الواضح أن المحور العميق Sagital هو المحور الذى يكون له اعلى قصور ذاتى (I) خلال مركز الثقل ، وأن المحور الطولى Longitudinal هو المحور الذى يكتسب اقل عزم قصور ذاتى خلال مركز الثقل .

أما المحور العرضى Transverse فانه يمتلك قيمة لعزم القصور الذاتى بين أقل وأعلى قيمة .

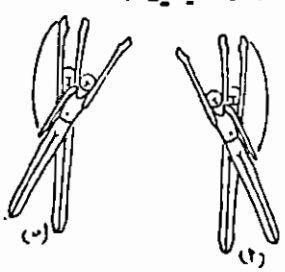
وفى حالة المحاور الثلاثة المتعامدة والتى تحوى بينها أعلى وأقل قيمة لعزم القصور الذاتى ، وضع لها مفهوم باسم (المحاور الاساسية للجسم) . اذا تغير وضع الجسم فان الوضع الجديد لمركز الثقل والمحاور الاساسية قد عدلت للجسم ، ولذلك فان أعلى قيمة وأقل قيمة بالنسبة لعزم القصور الذاتى للمحاور فانها تتغير .

اذا اكتسب الجسم دورانا حول أحد المحاور الاساسية فان الجسم يستمر فى حركة دوران حول ذلك المحور فقط ، وبحيث لايكون هناك اهدارا لقوة خارجية اضافية. اما اذا بدأ الدوران حول أى محور آخر فاننا لا نجد حركة دوران واحدة حول هذا المحور ، بل تذبذب حول مركز الثقل . والمحاور الثلاث الاساسية يمكن تقسيمها

الى محـاور ثابتة ومحاور متحركة أساسية . فيكون المحور الرأسى Longitudinal والمحور العميق Sagittal محورين ثابتين ، لأنه يتم فقط اداء الدوران حول أحد هذه المحاور دائما أو صدفة .

والمحور العرضى The Transverse يعتبر محورا ثابتا اساسيا ، اذ أن الدوران حول المحور غالبا متوافق مع غيرها مما يؤدى الى زيادة ذبذبة بسيطة . ويعتمد المحور العرضى محورا حركيا اساسيا ، حيث ان الدوران حول المحور متوافق غالبا مع الهدف نوعا ما لزيادة أكبر ذبذبة . ان المحور العرضى الحركى هو أساسى الظاهرة الازاحة لمهارات اللف .

وللتوضيح ، نفترض أن اللاعب يؤدى مهارة الدورة الهوائية خلفاً المستقيمة على الارض . ان هذا يعنى امتلاك عزم دوران حول المـحور العرضى للجسم فقط . افتراض آخر أن ذراع اللاعب مرفوعة عاليا . فاذا قام اللاعب بخفض احدى ذراعيه الى جانب جسمه اثناء فترة الطيران ، حيث يتم الازاحة للمحاور الاساسية لأن وضع الجسم مثلها مثل وضع مركز الثقل تتـحرك . ينشأ تذبذب غير طبيعى أساسا تجاه محصلة المحور الرأسى فى اللف . للف للاتجاه الى اليسار عند اداء مهارة الدورة الامامية فيجب خفض الذراع اليمنى (والعكس صحيح عند اللف لليمين) .



شكل (٨٦) ظاهرة اللف تغير لمحاور (خفض الذراع)

أ – الذراع اليمنى منخفض لأداء لف خلفى لليسار أو لف أمامى لليمين .

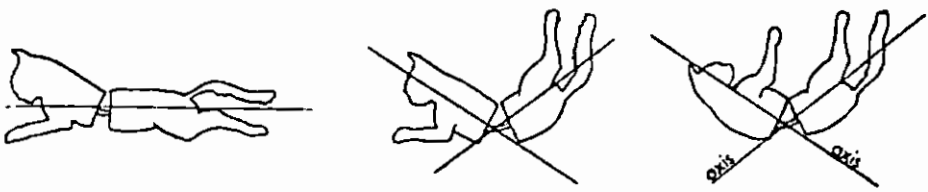
ب – الذراع اليمنى تنخفض لزداء لف خلفى لليمين أو لف امامى لليسار .

ظاهرة اللف للقطة : The Cat Twist Phenomenon

ان ظاهرة اللف للقطة تحدث فى حالة التأثير بكمية حركة زاوى صفر .

افترض ان قطة سقطت على ظهرها بكمية حركة زاوى صفرى (بدون حركة دوران) فى حالة بداية حركة القطة للسقوط فانها تنحنى حتى تصل ارجلها الخلفية قريبا من رأسها ، وهذه الحالة التى تقلل من نصف قطر بالنسبة للارجل الامامية حول المحور الطولى لجسم القطة . فان عزم القصور الذاتى لاعلى الجسم تقل بينما عزم القصور الذاتى لاسفل الجسم تزداد حول المحور الطولى .

والقطة في هذه الحالة تؤدى نصف لفة أو دوران ١٨٠° درجة بواسطة أعلى الجسم . ولحساب هذا العزم الزاوى وللحصول على أقل عزم زاوى صفر . تقوم القطة بلف الجزء السفلى للجسم في اتجاه معاكس . ان كمية الازاحة الزاوية للحركة الدورانية لأسفل الجسم تكون أقل من (١٨٠° درجة) عن الجزء العلوى من الجسم. لانها تمتلك لنصف قطر أكبر . ولهذا فان السرعة الزاوية للجزء السفلى من الجسم أقل من السرعة الزاوية للجزء العلوى ، لان عزم القصور الذاتى للجزء السفلى أكبر من العلوى . الازاحة الزاوية الحقيقية للجزء السفلى تقترب من (٥° درجات) وفى النهاية لتصحيح وضعها فان القطة تتمدد بظهرها على طول محور الجسم ؛ وتقليل نصف قطر تكور الجزء السفلى مما ينتج عنه تقليل القصور الذاتى للجزء السفلى بالنسبة للجزء العلوى حول المحور الطولى فتكون حركة لف الجزء السفلى (١٨٥°) أو فى نفس اتجاه دوران الجزء العلوى . ويلف الجزء العلوى خلفا فى الاتجاه العكسى وذلك لتعديل كمية الحركة الزاوية لأسفل الجسم لبقاء كمية الحركة الزاوية (صفر) تماما . ولاستكمال حركة الجزء الثانى للجسم تمد القطة مع التقوس ، وهذا ببساطة يدل على الاستعداد للهبوط .



شكل (٨٧) ظاهرة اللف للقطة

يتضح مما سبق انه عندما يتناقص عزم الدوران فى أحد الاجزاء فانه يزداد فى نفس الوقت عزم الدوران فى اجزاء لنفس المحور .

ان هذه النتيجة تدل على أن هناك جزء من الجسم يعمل ضد حركة جزء آخر ، وقد يكون هذا الجزء تنفيذ حركة الذراعين عكس حركة الرجلين ، أو الجزء العلوى من الجسم عكس الجزء السفلى من الجسم أو أى تركيب مماثل أو أى جزئين مجتمعين للاعب الجمباز .

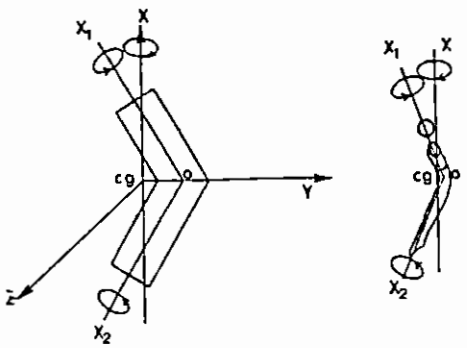
وهذه الحركة تنتج عن تقليل عزم القصور الذاتى للجزء الباقى حول نفس المحور وخطوات العمل الناتجة من جزء من الجسم العامل ضد جسم آخر وهذه تمثل باليدين مع الرجلين أو الجزء العلوى مع الجزء السفلى وبين أى جزئين مجتمعين للاعب الجمباز .

النظرية المخروطية :

The Conical Or Hoola - Hoop Phenomenon

تعتمد هذه النظرية علي الصراع بين أجزاء الجسم المختلفة من أجل ثبات عزم كمية الحركة مقداره صفر . نحصل على هذا العزم والذى مقداره صفر بدوران اجزاء

الجسم حول المحور الداخلى ، بينما يدور كل الجسم في الاتجاه الآخر حول المحور الخارجى .



شكل (٨٨)

اللف طبقا لهولا هوب " hoola hoop "

أو النظرية المخروطية الدوران حول x_1 ، x_2

(محوران) متساويان ولكن عكس إتجاه الدوران للمحور x .

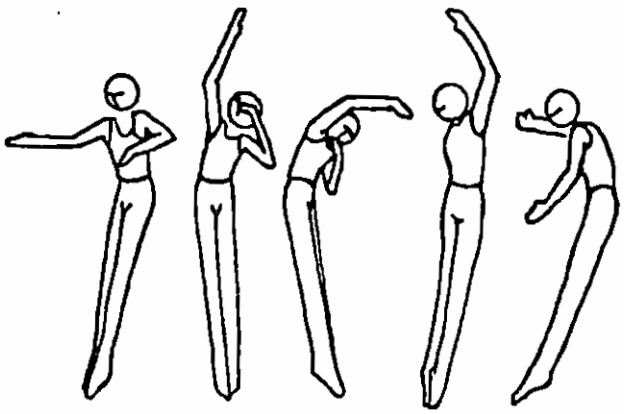
أستخدم هذه الطريقة رجال الفضاء الروس والامريكان لتدريب رواد الفضاء اثناء تواجدهم عند انعدام الوزن لقلة الجاذبية في الفضاء .

عندما تثنى الجسم كما في الشكل ويكون اتجاه دوران الجزئين العلوى والسفلى في الجسم حول محورين مائلين ، فان الجسم سوف ينحرف في الاتجاه المعاكس لبقاء كمية الحركة الزاوية (صفر) تماما وبمجرد دوران المحورين المائلين سوف تتخذ الشكل المخروطى . واذا كان هناك شك فى ذلك يمكن أن نجرى التجربة التالية :

تعلق على حلقة واحدة ثم قم بثنى مفصلى الفخدين ببطىء ، قم بتحرك جسمك كما لو تستخدم حركة الهولا هوب .تجد أن جسمك يتحرك في الاتجاه المعاكس لحركة الهولاهوب . وعند توقف حركة الهولا هوب أو فرد الجسم ، فإن حركة اللف ستتوقف تماماً . هذه التجربة ليست مثالية لانها غير متواجدة فى الفضاء حيث إنعدام الوزن ، وعندما نتوقف يأخذ الجسم كامل تأثير الجاذبية من الأرض وذلك لايحدث في الفضاء .

إنه من الممتع أن دورة مخروطية كافية لأداء لفة كاملة إذا كان الجسم مائلا من ٢٠° - ٣٠° . الهدف من ذلك هو الحصول على إقصى سرعة لأداء اللف مع أقل إنحناء بالجسم . هذه المبادئ لدرجة ما تؤدى وجوب ميل الجسم من ٢٠° - ٣٠° ومع ذلك لايمكن ملاحظة اللف وانحنائه للسرعة والمهارة التى يمارس بها الرياضى تمارينه .

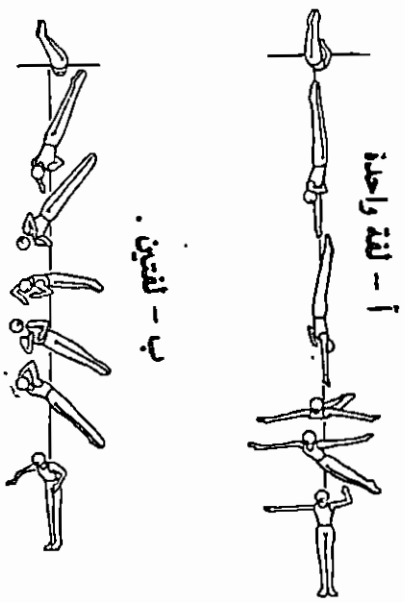
وفى اغلب الملاحظات المسببة للف لا تفشل فى رؤية الحركة المخروطية أو (التقوس - الثنى -) التقوس أو حركة الهولا هوب مع اغلب مهارات اللف . وأيضا يتضح انه عند أداء اللف عندما يدور الجسم اماما حول المحور العرضى ، فان الجسم يلف بتقوس او بثنى مفصل الفخذين ببطىء وفى اثناء اداء لف مع دوران خلفا ، فان الجسم يتقوس جانبا . هذه الحركة المخروطية طبيعية جدا ، ويتطلب زمنا وتدريبا من اللاعب لاكتساب التوافق الضرورى والشعور بالحس الحركى في الفراغ .



شكل (٨٩) حركة هولاهوب فى إحدى المهارات الوحيدة .

يبين الشكل السابق مهارة لفة واحدة ، ويستدل منها حركة اللف فقط ، وليس الدوران حول المحور . عند الدوران حول كلا من المحور الرأسى والعرضى ، فان ثنى الجسم حول المحور العميق يكون مهيئا ايضا لاداء بعض المهارات . ان درجة الثنى يعتمد علي عدد اللفات (عادة العزم الزاوى ، الطاقة الحركية ، قيم السرعة الزاوية)

ولقد استدل من الدراسات العلمية انها تكون حوالى ١٣ درجة من الوضع الرأسى للفة واحدة ؛ وحوالى ٣٧ درجة للف الثلاثى . ويعتمد هذا الانحناء علي الميكانيزم الذى يسبب اللف ، ولهذا السبب فانه يمكن اداء لفات مضاعفة ويمكن انجازها فى الجمباز الارضى بينما على جهازالعقلة والحلق يمكن اداء القليل من اللفات . ان المهارة على جهاز العقلة تعتبر ذات صعوبة خاصة ، إذ ان اداء ٣/٤ الدورة عادة يمكن انجازها ، والتى تجعل التحكم في الهبوط ذات صعوبة .



شكل (٩٠) تأثير الف : تواجد اللاعب بعيداً وخارج المحور الأساس لمحور الدوران الانتقالى خلال أداء مهارة لفتين أكثر من اداء مهارة لفة واحدة .

عند اداء مهارات اللف في الجمباز الأرضى وجمباز الأجهزة فاننا نستخدم الطرق الاربعة للف . وعادة ما تستخدم كما يلى :

ـ الربط الشائع غالبا هو ان تترك الجهاز مستخدمـا للف عن طريق الارتـــكاز ، خفض اليد المختارة لتحديد وتغيير ظاهرة المحور ، وبعد ذلك استخدم حركة الهولا هوب . وباستعمال هاتين الحركتين : خفض الذراع وحركة المخروط هى من اساسيات اداء مهارات اللف (لفة كاملة أو دورتين مع اداء لفة فى الدورة الهوائية الثانية) .عمليا فان خفض الذراع يساعد الجسم في اداء الحركة المخروطية بتسهيل وضع

اجزاء الجسم لتحقيق الحركة المخروطية .

ان اللف الذى تنجزه القطة يمكن ان يفيدنا فى اداء مهارات الجمباز . وبالرغم من ذلك فهناك حاجة ماسة لدراسات جديدة فى هذا المجال .

ان السرعة المتجهة حول المحور العرضى للجسم قد تتوافر فى اثناء مرحلة الطيران ، ولكن ليس هناك طريقة عملية لتبيان الدوران حول المحور العرضى في اثناء مرحلة الطيران اذا لم تتوافر عزم زاوى حول هذا المحور ناتجا من مرحلة الارتقاء .

ان اللف حول المحور الرأسى من المحتمل ان يكون اساسيا في مرحلة الطيران عن طريق عمليات اللف التى تم وصفها سابقا .

ان الانجاز العلمى للدوران حول المحور العرضى يعتمد على القصور الذاتى الكبير للدوران حول المحور العرضى مقارنة لما هو حادث حول المحور الرأسى للجسم نتيجة لمدى المحور الرأسى والزمن القصير لفترة طيران المهارة . ولذلك فان العزم الزاوى للدوران حول المحور العرضى يعتمد اساسا على الدفع اللامركزى للارتقاء وزمن العزم الزاوى . ورد الفعل للأرض سوف يتعاظم عندما تتآلف كل من حركة الركبة والحوض والقدم (١).

الإتزان ، التوازن ، وتحكم الجسم

Equilibrium ,Balance , And Body Control

الإتزان Equilibrium :

هو الحالة التى تكون فيها محصلة القوى الخارجية المؤثرة على الجسم تساوى صفر ، ومجموع العزوم الخارجية تساوى صفر . لا يميل الجسم الى تعديل لحالته الإنتقالية أو الدورانية .

(1) E. Frolich, "The physics of Somersauting and Twisting," Scientific American , March (1980) :154-164.

ويمكن للإتزان أن ينظر إليه كحالة عزم خطى ثابت (p) وعزم دورانى زاوى (L) بالإمكان أن يتحرك الجسم بسرعة متجهه ثانيـة (v) أو (ω) ويظـل فى حالـة إتزان (أنظر القانون الأول والثانى لنيوتن فى الفصل الثالث) .

يشار الى مقدرة لاعب الجمباز لبقاء وإستمرار إتزانه سواء فى حالة أو فى أثناء حركته بالتوازن ، ودرجة تطوير ذلك العنصر من الأداء يعتبر قياساً جيدا لتقدم لاعب الجمباز

نوعين من الإتزان يمكننا تصنيفهما : الثابت والحركى ، ويحدث الإتزان الثابت عندما يكون محور مركز ثقل اللاعب للدوران بزاوية إزاحة صغيرة من وضع الإتزان يقع فوق مركز الثقل . وهذه هى الحالة عندما يكون اللاعب فى وضع التعلق . وبذلك فإن إقلال الحركة لهذا الوضـــع العمودى يؤدى إلى وضع الإتزان الثابت . فعارضة العقلة هـــى المحور لزاوية إزاحة صغيرة لمركز الثقل وتقع فوق مركز ثقل اللاعب .

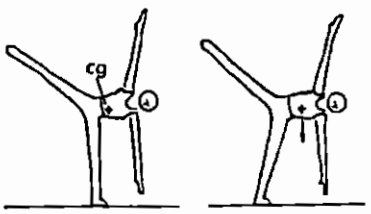
فى أثناء الإتزان الثابت تتجه زاوية إزاحة بسيطة إلى أقل ما يمكن ، وبالتالى تؤدى إلى وضع الإتزان . خلال الإتزان الحركى ، فإن الجسم لا يميل إلى العودة إلى الإتزان وفقا لزاوية الإزاحة البسيطة .

فى الإتزان الثابت تميل زاوية الإزاحة البسيطة إلى إرتفاع مركز الثقل ، وزيادة طاقة الوضع . تنجز حالة خفض طاقة الوضع وبذلك يوجد إتجاه للعودة إلى وضع الإتزان الثابت . فى الاتزان الثابت فان زاوية الازاحةالبسيطة تميل إلى خفض مركز الثقل لتقليل طاقة الوضع . تنجز حالة الطاقة المنخفضة وبذلك فإن الأداء المنجز سيؤدى إلى عودة الجسم إلى الإتزان الثابت .

يحتاج اللاعب حقيقة فقط إلى الإهتمام بالتوازن فى أوضاع التوازن الثابت .

يتطلب الجسم الذى يحتفظ ببقاء التوازن فى حالة الإتزان الثابت عمل القوى لخفض مركز الثقل . والعمل الكبير لبقاء التوازن فى حالة إتزان ثابت هو الإحتفاظ

بمركز ثقل الجسم فوق قاعدة الإرتكاز . إذا كان الخط العمودى مارا خلال مركز الثقل لا يقاطع قاعدة الإرتكاز ، فإن العمل الخارجى يرتفع مسببا إدارة مركز الثقل بمستوى طاقة وضع منخفضة .



شكل (٩١) اذا كان مركز الثقل لا يمر بقاعدة الارتكاز

فلن يكون اللاعب فى حالة إتزان .

ويقدر مرور طول الخط الرأسى خلال مركز الثقل لتقاطع قاعدة الإرتكاز ، فإن وزن الطرف السفلى للجسم على سطح الأرتكاز ينتج عنها رد فعل لتوازن الطرف العلوى من الجسم ، وعلى أية حال إذا لم يمر الخط الرأسى خلال قاعدة الإرتكاز ، فإن القوة السفلية خلال مركز الثقل ورد الفعل للجزء العلوى تسبب إدارة مركز الثقل حول حافة قاعدة الإرتكاز .

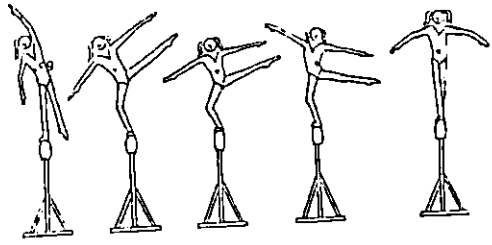
ويعتبر هذا ناتجا عن عمل القوة عند مركز الثقل مع بعض العناصر الأخرى والتى ينتج عنها إدارة الجسم حول النقطة الثابتة .

إذا مر خط الثقل بحافة قاعدة الإرتكاز ، فإننا نفقد التوازن إلا إذا تمكننا من التحكم وفى إعادة الإتزان .

إذا كانت هناك سرعة لدوران أجزاء الجسم فى الإتجاه غير المرغوب وبما نستطيع من إعادة مركز الثقل للإتزان (الخط الرأسى خلال مركز الثقل يعود مرة ثانية للمرور خلال قاعدة الإرتكاز) .

وللإيضاح عندما تقف لاعبة الجمباز فوق عارضة التوازن وتقوم بأداء تحريك الذراعين وأحدى قدميها فإنها تكتسب عزم زاوى بواسطة التوازن غير المستقر ، إقلال كمية العزم الزاوى للرجلين ، ويتغير مركز الثقل فى وضع مناسب فوق قاعدة الإرتكاز.

وكذلك عند ثنى الركبتين سيعطى فرصة للعمل العكسى مثلها مثل تغييرمركزالثقل إلى أنسب وضع ممكن



شكل (٩٢) القدرة على تحكم لاعبة الجمباز على ارجاع مركز الثقل فوق قاعدة الارتكاز .

إن هذا الأمر يعتبر أحساسا حركيا داخليا يؤمن للاعبة التحكم وضبط التوازن بواسطة تأمين وضع الخط الرأسى خلال مركز الثقل فوق قاعدة الإرتكاز وبالتالى بناء الإتزان .

تحكم الجسم (أنظر الفصل الثانى) ، إن سرعة تعديل وضع الجسم يقلل من فقدان التوازن ويؤدى إلى تكيف حركة الجسم كعوامل معيارية لمقدرة اللاعب لإعادة إتزان القوام . إن تحكم الجسم يعنى المقدرة على بقاء مركز الثقل فوق قاعدة الإرتكاز.

ويعطى التحكم فى الجسم للاعب الجمباز الإحساس الأفضل لوضع وموقع مركز

الثقل كما يسمح للاعب بحركات محددة لإنجاز التوازن وإستمراره . إن فقدان تناسق قوام الجسم يؤدى إلى خروج خط مركز الثقل قريبا من حافة قاعدة الإرتكاز ، مما يتطلب زيادة إحتمالية الحاجة إلى التصحيح ، للإحتفاظ بالتوازن .

عندما يكون الجسم متكورا ، وحدات صغيرة متعددة تعمل كوحدة كبيرة . وعندما يكون الجسم غير مترابط (الأجزاء متنوعة) ، فإننا نجد عكس ذلك . وأى حركة أجزاء الجسم المترابطة تنتج عنها تغيير لموقع مركز الثقل داخليا وغالبا خارجيا .

إذا تم إستخدام الجسم متكورا ، فإن الحاجة تكون هنا لقوى خارجية عظمى لتعديل أجزاء من الجسم بهدف تغيير مركز الثقل .

أما إذا كان الجسم غير مترابط ، فإن الأمر يتطلب أقل ما يمكن من القوى الخارجية لتعديل أي جزء من الوحدات الصغيرة لإحلال مركز الثقل بسهولة .

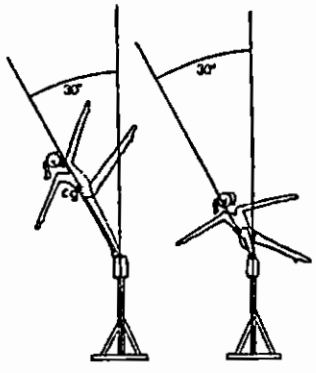
من هذا المنطلق يمكن القول بأن الجسم غير المترابط أجزائه فإننا نجد حركات داخلية مختلفة تؤدى لتعديل وتغيير مركز الثقل إلى الوضع المرغوب ، ولكن على العكس إذا كان الجسم مترابط فإنه يكفى تعديلات طفيفة لإنجاز التوازن .

إذا كان الخط الرأسى المار بمركز الثقل بعيدا عن حافة مركز الثقل فإننا سنقابل تعديلات كثيرة لتغيير موقع مركز الثقل قبل أن يتسبب الوزن وقوة رد الفعل فى وقوع الجسم .

وإذا كان مركز الثقل قريبا من قاعدة الإرتكاز ، فإن الجسم يميل إلى الثبات بفاعلية أكبر .

إذا أدت لاعبة الجمباز بإحلال زاوى محدد لمركز الثقل أثناء أدائها وقوف على قدم واحدة ومقارنة ذلك بلاعبة أخرى تؤدى ثنى قدم واحدة ، فان سنجد بوضوح ان إمكانية سقوط اللاعبة التى تؤدى الوقوف على قدم واحدة بينما الاخرى قد تحتفظ

بتوازنها . هذه النتائج تشير إلى أنه كلما أقترب مركز الثقل من قاعدة الإرتكاز كلما كان الثبات أفضل .



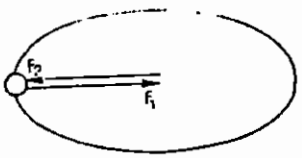
شكل (٩٣) زاوية ضد الإزاحة الخطية

تحويل الحركة الدائرية إلى حركة خطية وبالعكس

Conversion Of Rotational Motion To Linear Motion And Vic Versa

حيث أن الحركة الدائرية تشير إلى تغير متماثل فى الأتجاة للسرعة الخطية لذلك يجب على الجسم أن يتسارع بتسارع ثابت حتى يستطيع أن يسير فى مسار الأتجاه الدائرى . ولإحداث هذا التسارع ، يجب إحداث قوة خارجية غير متوازية ، هذه القوة التى تجذب الجسم إلى مركز الدائرة تسمى القوة الجاذبة المركزية ، والمتساوية والعكسية وقوى رد الفعل التى تتفادى مركز الدائرة تسمى قوة الطرد المركزى ، أنظر الشكل (٩٤ ، ٥). فقوى الجذب المركزية وقوى الطرد المركزى تتبع قانون نيوتن الثالث عند حدوث التغير فى كمية التحرك . وتظهر هذه القوى بوضوح : عند كسر العلاقة التى تربط الجسم بالمركز حيث يتوقف التسارع تجاه مركز الدائرة لحظياً ، ويتحرك الجسم . بجاذبية للدائرة فى مسار خطى مستقيم من نقطة التحرر .

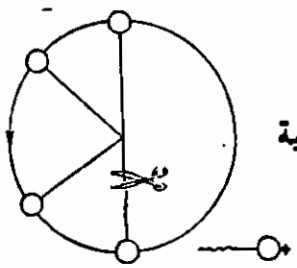
قانون نيوتن الأول يوافق الحركة بخط مستقيم ، حيث لا تؤثر القوى على الجسم السائر بخط مستقيم لمدة طويلة وهذه التجربة يمثلها الحركة الدائرية لنجم مذنب



شكل (٩٤) ق١ (F_1) محصلة قوة الجذب المركزية

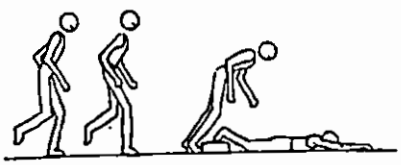
ق٢ (F_2) محصلة قوة الطرد المركزية

عندما تنتهى قوة الجذب المركزية فإن كمية التحرك الزاوى تصبح صفرا لكن قوة التحرك الخطية (الأفقية) تبقى مستمرة . لذلك : إذا كان المطلوب هو حركة خطية ، لكن المؤدى فعلا الحركة الدائرية فكل ما نحتاجة لانتاج الحركة الخطية هو قطع العلاقة عند النقطة المناسبة فى الحركة الدائرية .هى التى فقط يمكن الأحساس بها دون زيادة قوى إضافية .. إفرض أن المسار الخطى هو الحادث



شكل (٩٥) تحويل كمية الحركة الزاوية الى كمية حركة خطية (قوه الطرد المركزية)

والمطلوب هو المسار الدائرى فإذا إستطعنا تثبيت نقطة الحركة الخطية للجسم ، فإن الجسم سوف يتذبذب حول نقطة التثبيت . وخط القوى لا يمر بالنقطة المثبتة .

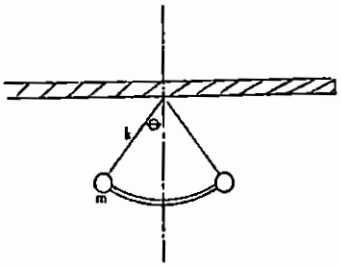


شكل (٩٦)

تحويل كمية الحركة الخطية الى كمية حركة زاوية (ثبات نقطة بعيداً من مركز الثقل) .

حيث يوجد زوجان من القوى (الفعل ورد الفعل) ناشئة عندما تصطدم القدم بمانع تؤدى إلى دفع المانع ضد القدم ، ويحدث عنها رد فعل للقدم ضد المانع . هناك تغير فى كمية التحرك ناتجة عن هاتين القوتين ، فى كل نقطة ناتجة عن هذين الزوجين من القوى ، حيث أن كل أجزاء الجسم مترابطة . هذه النتائج فى الحركة الدائرية حول نقطة ثابتة .

يساعد وزن الجسم ورد الفعل الأرضى على زيادة كمية التحرك الزاوية فى حالة تدوير الجسم إلى أسفل ، وحتى فى غياب الجاذبية الأرضية فإن تثبيت نقطة واحدة فى الحركة الخطية للجسم تؤدى إلى حركة دائرية .



شكل (٩٧) حركة البندول البسيط بجسم كتلته (m)
وبخيط طوله (k) ، وازاحة زاوية (θ) .

البندول البسيط The Simple Pendulum

فهم حركة البندول البسيط مهمه للغاية فى تحليل المرجحات فى أى موقع عند لاعبى الجمباز .

إفترض لأهمية التوضيح أنه يوجد كتلة (m) معلقة بخيط مهمل الكتلة بطول (K) . عند جذب الكتلة فى جهه واحدة لوضع الإتزان ، وتركت فإننا سنلاحظ أن الكتلة تتمرجح فى محور رأسى تحت تأثير الجاذبية ، وإذا تمت الملاحظة بإستمرارية ، فإن البندول يهتز فى أوقات محددة لإعادة نفس الحركة .

الزمن الخاص لتكرار زوجين من الحركة يسمى زمن إهتزاز البندول (D) . وزاوية الإزاحة من الوضع الرأسي يشار إليه (θ) . والقوى التى تؤثر على الكتلة هى الوزن (W = mg) , (S) شد السلك .

وكمرجـع خذ محاس الدائرة كمحور على طول نصـف القطر الذى هو عمـودى .

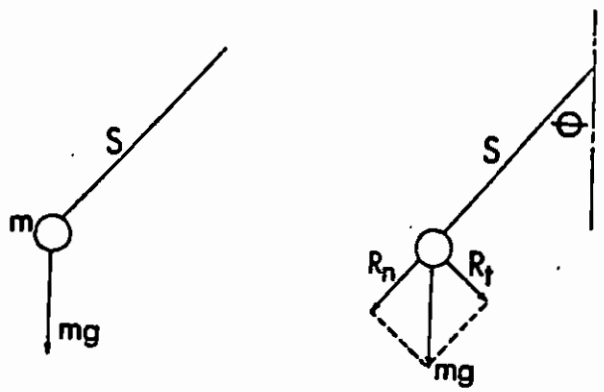
قم بتحليل الوزن الى مركبات بطول هذا المحور ستكون المركبة النصف قطرية،

radial component

$(R_n) = mg \cdot \cos \theta$ معادلة ٣٣

ومركبة المماس and the tangential componemt

$(R_t) = mg \cdot \sin \theta$ معادلة ٣٤



قوة رد الفعل المركبة النصف قطرية تنشئ تسارع قوة الجذب المركزى لابقاء الحركة الدائرية ، وتعمل مركبة المماس على الكتلة لابقائها فى وضع اتزان عمودى. لازاحة صغيرة (جا) الزاوية θ, sin

إن θ تقريبا نفسها ؛ وحيث طول القوس الخارجى $d = k \cdot \theta$

ويفهم ضمنيا ان المركبة المماسية للقوة F_t تكون :

معادلة (٣٥) $F_t = mg \sin \theta = mg\ \theta = mgd/k = \frac{mg}{k} \cdot d$

لمثل أى حركة من هذا النوع ، تسمى الحركة الهرمونية ، فترة زمن الدورة لاهتزاز البندول .

معادلة (٣٦) $D = 2\pi \sqrt{\frac{m}{mg/k}} = 2 \cdot \pi \sqrt{k/g}$

وتعطينا هذه العلاقة فترة الاهتزاز الواحدة حيث لا يعتمد هذا الاهتزاز على الكتلة ، ولكن تعتمد على طول الخيط (طول اللاعب مهم وليس وزنه لتحديد زمن المرجحة) . هذه الفترة لازاحة بسيطة تكون صحيحة تقريبا لأزاحة أكبر ايضا . لاحظ ان فترة الاهتزاز تشير الى حساب تسارع الجاذبية الأرضية (g) والذى نحتاجه هو الفترة (D) وطول البندول (K) .

معادلة (٣٧)

$$g = \frac{4\pi K}{D^2}$$

نفترض ان ازاحة البندول من θ = صفر الى $\theta = \theta_O$ بواسطة قوة افقية التى تحرك الجسم افقيا ورأسيا . نشير الى الازاحة الرأسية (h) . ان هذا يدل على احداث شغل (W) ويتزامن معه احداث شغل بواسطة قوة تتحرك بطول قوس المرجحة، مساويا للشغل الحادث لرفع الكتلة بارتفاع (h) ، وهذا هو الشغل لكل القوى المتساوية لعملية تغير الطاقة الكامنة المرتبطة بتغير الارتفاع (h) .

معادلة (٣٨)

$$W \doteq mgh$$

حيث (W) هو الشغل المبذول فى حركة كتلة البندول .

النمـــوذج (Modeling)

يعتبر جسم الانسان نظاما معقدا للغاية من ناحية ميكانيكية الحركة . انه من الطبيعى تطبيق عشرات الالوف من القوى الداخلية والقوى الخارجية .

وبغرض التحليل المهارى ، تنفذ كثير من التسهيلات في محاولة لفهم هذه الحركات ميكانيكيا وردود فعل الجسم لها .

هدف النماذج هو توضيح التأثيرات الملاحظة للمهارات وتوقع المزيد منها مستقبلا . ولكن علينا الحذر من التعميم إذ يجب الاهتمام بصدق وثبات وموضوعية هذه النماذج .

قد يوضح النموذج الخاص بظاهرة معينة ومحددة بطريقة جيدة ، بينما مظاهر اخرى قد لا تحدد بنفس الجودة ، وعلى اية حال لا يعنى هذا الامر ان النموذج خطأ أو عديم الاستخدام بسبب انه لا يؤدى جميع المتطلبات المرغوبة بشكل متساوى الجودة . فأغلب البحوث في هذا المجال متخصصة تنتقى النماذج لتعكس أكبر مجال بطريقة أفضل .

ان الاسس لمعظم النماذج البيوميكانيكية هو نموذج معدنى على شكل اجزاء الانسان (rigid body segement model)

شكل (٩٨) نموذج ذو العشر أجزاء

ويعتبر هذا النموذج مثاليا حيث له بعدين او ثلاثة مختلفة . ويتضمن فى شكله على الاجزاء الرئيسية للجسم باجزاء صلبة حسب التوزيع مرتبطة بعضها ببعض بروابط باقل كمية من الاحتكاك و/ أو نوعية روابط كرة وحق .

وتستعمل شكل وعدد الاجزاء طبقا لنوعية واختلاف النموذج . احيانا يكون شكل الاجزاء مسطحا أو دوائر . وعادة يتراوح عدد الاجزاء من اثنين ، الجزء العلوى من الجسم والجزء السفلى من الجسم الى اكثر من ١٥ جزءا . شكل ٩٨ يوضح نموذجا من عشر اجزاء .

ان نوع المفاصل او الروابط في النموذج قد تكون متباينة من البسيط كرة وحق الى نوع اكثر تعقيدا باستخدام يايات لبيان حركة المفاصل .

محاولات عديدة استخدمت بهدف التحليل بواسطة هذه النماذج لبيان الحركة الميكانيكية ، وتم برمجتها بالكمبيوتر . ولقد كان لأفضلية النماذج ذات الثلاث ابعاد امكانية التحليل المهارى للاعبى الجمباز .

ان استخدام النماذج بواسطة المدربين يستدل منها تطوير اداء اللاعبين بجانب توفير عاملِ الأمن والسلامة .

ملخص

قوانين نيوتن بهدف دوران الجسم

القانون الاول لنيوتن :

دوران الجسم يميل الي استمرارية الدوران بكمية حركة زاوى الا اذا أثرت على هذا الجسم قوة خارجية غير متساوية (زوجين من القوى او قوة لامركزية)

القانون الثانى لنيوتن : $T = I\alpha$

العزم المؤثر على جسم يتناسب مع التغيير فى كمية الحركة الزاوية .

القانون الثالث لنيوتن : لكل فعل لجسم على آخر توجد رد فعل مساويا له وعكسيا عليه من الجسم الثانى على الجسم الاول .

قانون حفظ العزم الدوران الزاوى :

تظل كمية عزم الدوران الزاوى للجسم ثابته إلا اذا أثرت قوة خارجية غير متساوية على الجسم .

عناصر التوازن : Balancing Factors

(١) عندما يمر الخط الرأسى خلال مركز الثقل الى منتصف حافة قاعدة الارتكاز كلما كان الثبات أضمن .

(٢) كلما اقتـرب مركز ثقل اللاعب لقاعـدة الارتكـاز كلما كـان الثبـات أضمن .

(٣) الثنى المرغوب لجسم اللاعب مع تسهيـلات المفاصل يؤدى الى الاحتفاظ بالتوازن .

العجلة الزاوية : Angular Acceleration

هو التغير في السرعة الزاوية بالنسبة للزمن

$$\alpha = \frac{\Delta \varpi}{\Delta}$$

الدفع الزاوى : Angular Impulse

التغير فى كمية الحركة الزاوية $A.I. = T.t$

كمية الحركة الزاوية : Angular Momentum

قياس الحركة الزاوية $L = r \cdot p = r \cdot m \cdot v = m \cdot \omega$

السرعة الزاوية : Angular Velocity

التغير في الازاحة الزاوية بالنسبة للزمن $\omega = \Delta\theta / \Delta t$

محيط الدائـــرة : Circumference Of The Circle

طول دورة واحدة $C = 2\pi r$

ثنائى القوة : Force Couple

زوجان من القوة متضادتان متوازيتان متساويتان $C_m = F.d$

طاقة الحركة (الدورانية) : (Rotational) Kinetic Energy

$K.E = 1/2\ I\ \omega 2$

التسارع الخطى : Linear Acceleration $a = \alpha \cdot r$

الازاحة الخطية : Linear Displacement $d = \theta . r$

السرعة الخطية : Linear Velocity $v = \omega \cdot r$

القصور الذاتى الدورانى : Rotational Inertia

مقاومة الحركة الدورانية $I = m \cdot r2$

$I = \Sigma m \cdot r2$

عزم الـدوران : القوة التي تسبب الدوران : Torque

$T = F.r = I.\alpha$ $T = \Delta L / \Delta t$