الكينماتيك الدائري أو الزاوي Angular Kinematics :

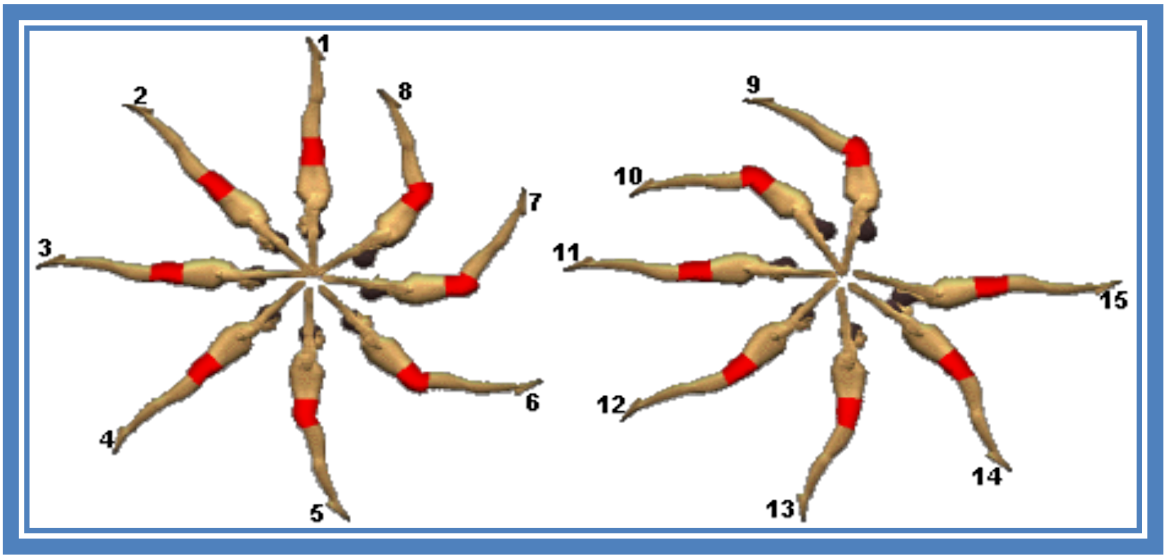
هو احد فروع علم الكينماتيك والذي يعنى بدراسة وصفية للحركة التي تدور حول (محور دوران) من حيث زمانها ومكانها وبغض النظر عن القوى المسببة لحدوث تلك الحركة . و بطبيعة الحال هناك اختلاف مابين الحركة الخطية والحركة الدائرية في كثير من الامور لعل ابرزها وحدات القياس المختلفة في الجانبين حيث تقاس المسافة في الحركات الخطية في وحدات (المتر والسنتمتر cm,m) أما في الحركات الدائرية فتقاس المسافة في وحدات (الدورة أو الدرجة أو القطاع) وهناك ايضا اختلاف في شكل الحركة ففي الحركات الخطية تأخذ شكل المستقيم أما في الحركات الدائرية فتأخذ شكل مسار على محيط دائرة او جزء منه وحول محور او مركز للدوران . ومع ذلك فأن كلا النوعين من الحركات يتشابه من حيث المفهوم الاساسي في البايوميكانيك ودراسة الحركة وذلك من حيث دراسة شكلها الخارجي في متغيرات المسافة أو الازاحة والسرعة والتعجيل والزوايا دون دراسة مسببات تلك الحركة .

المسافة أو الازاحة الدائرية (الزاوية)Angular Distance :

يقصد بالازاحة الدائرية بانها معدل التغيير الحركي الدائري بين نقطتي البداية والنهايــة وهنــا نعنــي مقــدار الفــرق بــين زاويتــي البــدء و النهايــة للحركــة أي الزاوية الكبيرة – الزاوية الصغيرة كما في حركة مد مفصل اليد حيث المد تكون الزاوية بدرجة 180 نطرح منها زاوية الساعد مع العضد نحصل على المسافة الزاويــة المقطوعــة وهنــا المفصــل هــو محــور الــدوران . وايضــا فــي حركــة لاعــب الجمناستك على العقلة والتي تعتبر هي محور الدوران بالامكان معرفة المسافة الزاوية المقطوعة للجسم في أي لحظة من دوران الجسم حول العقلة الى أي نقطة اخرى يصلها الجسم في حركته هذه .

السرعة الزاوية والسرعة المحيطية:

قبل ان نتطرق الى القوانين والمفاهيم الخاصة بالسرعتين الزاوية و المحيطية يجب ان نتذكر ان السرعتين تظهران في الحركة الزاوية او الدورانية فقط حيث ان هذه الحركات شرط حدوثهما وجود محور للدوران وعليه لا بد من فهم بعض المتغيرات الخاصة بهما كالزاوية ونصف قطر الدوران والقطاع .



يظهر من الشكل (38) ان الحركة الدورانية الكاملة من الرقم (1) والعودة الى رقم (1) = 360 درجة

على اعتبار ان صورة (1) هي بداية الحركة والتي تمثل قدم اللاعب.

و السرعة تلعب دورا مهما في جميع الفعاليات الرياضية سواء في الحركات الخطية المستقيمة او الدائرية، وبما ان قياس السرعة يعبر عنه بالمسافة المقطوعة في وحدة الزمن لذلك ينطبق ايضا على قياس السرعة المحيطية ويعبر عنها بالمسافة المقطوعة في وحدة الزمن على محيط دائرة.

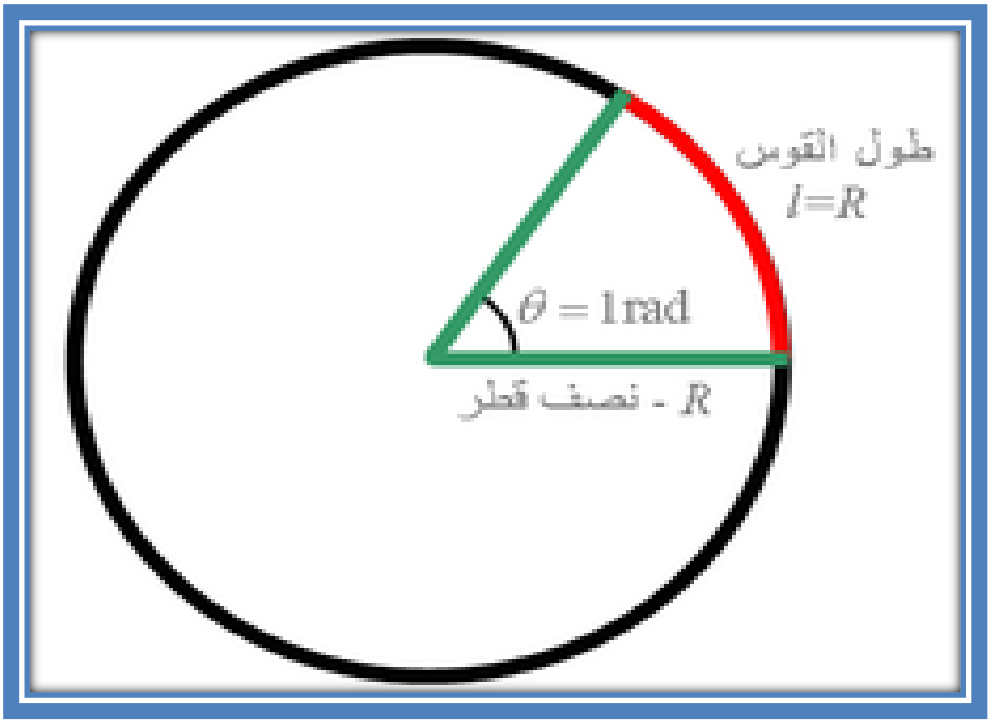
اي أن السرعة المحيطية Peripheral Velocity:

$$P\ V = D / T \quad \ldots\ldots$$ وتقاس بـ m/s او cm)

اما السرعة الزاوية Angular velocity وتعني معدل الانتقال الزاوي للجسم في وحدة الزمن ، او عبارة عن عدد الدرجات الزاوية المقطوعة في وحدة الزمن.

اي أن (V A) ويعبر عنها فيزيائيا بالاوميغا (Ω) و تقاس بـ عدد الدرجات المقطوعة على الزمن، ان مقدار السرعة الزاوية يعبر عنه من خلال معرفة عدد الدرجات التي قطعها الجسم في زمن معين ، أي ان انتقال الجسم من نقطة A الى نقطة B يحسب مقدار التغير في الزاوية وزمن التغير . و لفهم العلاقة بين السرعة الزاوية والسرعة المحيطية لابد من التطرق الى مفهوم الزاوية النصف قطرية فاذا قطع جسم ما اثناء دورانه جزء من محيط دائرة مساوياً لطول نصف قطر الدائرة فأن الزاوية المقابلة لذلك الجزء تسمى بالزاوية النصف قطرية. ومعروف ان الدورة الواحدة تعادل (360) درجة و تساوي (6,28) قطاعا وعلى هذا الاساس يمكن احتساب قيمة القطاع الواحد بالدرجات من خلال :

360 \ 6,28 = 57,3 درجة



شكل (39)

ام الرديان Radian (rad) فهو وحدة قياس الزاوية المستوية وتعتبر الوحدة الرسمية المعتمدة ضمن النظام الدولي للوحدات المستخدمة في الرياضيات والفيزياء وتعرف بأنها الزاوية المركزية الموضوعة من مركز االدائرة والتي تحدد قوسا طوله مساوي لنصف قطر الزاوية ويعادل الرديان الواحد بالدرجات أي بالتقريب . و رسميًا فإنّ الرديان هو مجرّد عدد ، لذا فإنّ تدوين كلمة رديان أو (rad) هو للإيضاح فقط ويجب ألاّ يفهم منه أنّ له مفهومًا فيزيائيًا. و عندما تكتب الزاوية بدون أي علامة، يقصد بشكل عام أن القيمة هي بالرديان، بينما تضاف العلامة (^{o}) فوق الرقم للإشارة إلى الدرجة، و الزاوية المركزية مقدارها واحد رديان تكون مقابلة لقوس طوله يساوي طول نصف قطر الدائرة ومقدار أي زاوية مركزية يحصرها نصفا قطر الرديان:

ان للعلاقة بين السرعة الزاوية للجسم اثناء دورانه وسرعته المحيطية اهمية كبيرة عند دراسة الحركات الرياضية، فمعظمها تتم بشكل دائري، حيث يمكن اشتقاق العلاقة بين السرعة المحيطية والسرعة الزاوية من خلال تتبع القوانين الآتية:

$$\text{الزاوية النصف قطرية} = \frac{\text{طول القوس}}{\text{نصف القطر}}$$

اذن طول القوس = الزاوية النصف قطرية × نصف القطر

بما ان طول القوس يعبر عن المسافة التي يقطعها الجسم اثناء حركته وبفترة زمنية معينة لذلك يمكن ان نعبر عن السرعة المحيطية بالمعادلة التالية :

$$\text{السرعة المحيطية} = \frac{\text{الزاوية النصف قطرية} \times \text{نق}}{\text{الزمن}}$$

ولما كانت :

$$\text{السرعة الزاوية} = \frac{\text{الزاوية النصف قطرية}}{\text{الزمن}}$$

اذن السرعة لمحيطية = السرعه الزاوية × نصف القطر

مثال 1: لاعب جمناستك يؤدي حركات دورانية حول جهاز العقلة وكانت السرعة الزاوية للحركة 55 درجة / ثانية احسب السرعة المحيطية الى :

1- حركة الورك الدائرية حول محور الدوران (العقلة) اذا كان يبعد عن مركز الدوران 1.1 m ؟.

2- حركة القدمين اذا كانت تبعد عن محور الدوران 2m ؟

الحل :

يعد البعد عن مركز الدوران هو بمثابة نصف القطر (r) .

السرعة المحيطية = السرعة الزاوية × نصف القطر

$1.1 \times 55 =$

$60.5 \text{ m/s} =$

واما السرعة المحيطية للقدمين:

$2 \times 55 =$

$110 \text{ m/s} =$

مثال 2:

لاعب كرة قدم ركل الكرة برجله بسرعة زاوية بلغت (65 degree / s)، أحسب السرعة المحيطية لمفصل الكاحل اذا كان يبعد عن مفصل الورك بـ(0.9 m) ؟

الحل: السرعة المحيطية = السرعة الزاوية × نصف القطر

السرعة المحيطية للمفصل الكاحل = 65 × 0.9

= 58.5 m/s

مثال 3: رامي مطرقة واثناء اداءه لاحدى الرميات في احدى السباقات وقبل الاطاحة بالمطرقة يحتاج الى تعجيل لزيادة سرعة المطرقة حيث يستخدم ثلاث دورات موازية بحركتها للارض (افقيا) وبزمن بلغ (2.7s) ، المطلوب حساب كم درجة تقطعها المطرقة في الثانية وايضا حساب عدد القطاعات المقطوعة في الثانية الواحدة ؟.

الحل :

الدورة الكاملة = 360 لذلك

360 ×3= 1080 درجة.

عدد الدرجات بالثانية الواحدة = 1080 ÷ 2.7

= 400 درجة.

عدد القطاعات في الثانية الواحدة = 400 ÷ 57.3

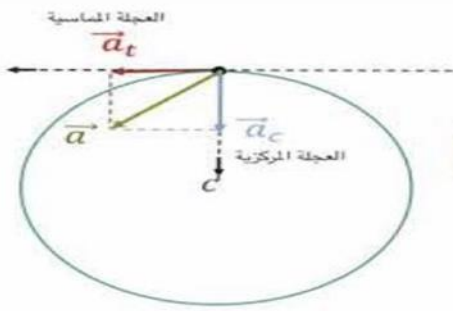
= 6.98 قطاعا.

التعجيل الدائري أو الزاوي Angular Acceleration:

هناك نوعين من الحركات في الحركات الدائرية الاولى تكون منتظمة وهي ذات سرعة ثابتة واخرى غير منتظمة تحدث بسرعة متغيرة ، أن الجسم المتحرك دائريا يمتلك تعجيل بسبب تغيير سرعته او تغيير اتجاه حركته ، وبما ان الحركة تدور على محيط دائرة و حول مركز الدائرة لذلك يكون اتجاه الحركة دائري متغير في أي نقطة من نقاط محيط تلك الدائرة .

في الحركات الخطية يستمر الجسم بحركته بوساطة قصوره الذاتي وكما سيمر علينا ذلك في قوانين نيوتن لاحقا، اما في الحركات الدورانية فان القصور الذاتي هو محصلة قوة الشد والتي تمثل القوة المركزية ويكون اتجاهها نحو مركز الدائرة وبنفس اتجاه التعجيل المركزي الذي دائما هو عموديا على متجه السرعة و نرمز له (ac) وهو يساوي مربع السرعة على نصف القطر :

$$ac = v^2/r$$



ويمكن حساب القوة المركزية:

أي انها $Fc = m\ a$

$$Fc = m\ v^2/r$$

وبما ان السرعة المحيطية تساوي السرعة الزاوية (الاوميغا Ω) ضرب نصف القطر فان :

$$Fc = m\ r^2\ \Omega^2/r$$

$$Fc = m\ r\ \Omega^2$$

وتحدث للجسم في حركته الدائرية قوة طاردة مركزية وهي مواكبة للقوة الجاذبة المركزية لكي تتغلب وتتعادل معها ويحافظ الجسم على حركته في محيط الدائرة والجسم ، و عند زوال تاثير القوة الجاذبة المركزية على الجسم سيتجه باتجاه السرعة المماسية خارج محيط الدائرة . وفي الحركات الدائرية الغير منتظمة تكون السرعة غير ثابتة أو اتجاهها غير ثابت وهنا يكون اتجاه التعجيل مائلا بزاوية ولذلك يحلل الى مركبتين الاولى بموازاة اتجاه السرعة المماسية اي بنفس اتجاه السرعة المماسية ويطلق عليه بـ (التعجيل المماسي Tangential acceleration) ويرمز له بـ (a t) ، اما المركبة الثانية فتكون عمودية على مركز الدائرة وكما ذكرت سابقا (ac) ، ولحساب التعجيل الدائري نرجع الى قانون المثلثات ونظرية فيثاغورس باعتبار اصبح لدينا مثلث قائم الزاوية.

وممكن ان نطلق على التعجيل في الحركات الدائرية بانه معدل التغيير في السرعتين الزاويتين بالنسبة لوحدة الزمن، وهو عبارة عن الفرق بين السرعتين الزاويتين مقسوماً على الزمن الذي تم فيه هذا التغير.

$$\text{التعجيل الزاوي} = \frac{\text{السرعة الزاوية النهائية} - \text{السرعة الزاوية الابتدائية}}{\text{الزمن}}$$

ان طبيعة الحركة الدائرية للاعب حول محور دوران تتأثر بطول نصف قطر الدوران فاذا تحرك جسمان في دائرتين الاولى كبيرة والثانية صغيرة نجد ان الجسم الذي يتحرك في الدائرة الصغيرة يعمل على تغير الاتجاه باتجاه مركز الدوران اكثر من الجسم في الدائرة الكبيرة.

ان هذا التغير في انصاف الاقطار يؤدي الى اختلاف السرع ويزيد من تعجيل الجسم وعليه وكما مر علينا بالحديث يكون التعجيل على نوعين في الحركات الدائرية:

1- التعجيل المماسي = السرعة الزاوية النهائية – السرعة الزاوية الابتدائية / الزمن

2 – التعجيل العمودي المركزي والذي ينشأ من تأثير القوة الجاذبية بأتجاه المركز كما اسلفنا سابقا :

التعجيل العمودي = سرعة الاداء على مماس الدائرة تربيع / نصف القطر

ان القانون اعلاه يؤكد عكسية العلاقة بين التعجيل العمودي و نصف القطر . وهذا هو احد العوامل التي يتحكم بها اللاعب بسرعة الدوران مثل الجمناستك والرقص الفني على الجليد فضلا عن الغطس الى الماء.

مثال : احسب التعجيل المماسي لحركة القرص اذا بلغت سرعته (7m/s) في احدى نقاط محيط الدائرة واصبحت سرعته (10m/s) خلال (0.3) ثانية .

التعجيل المماسي = السرعة الزاوية النهائية – السرعة الزاوية الابتدائية / الزمن

التعجيل المماسي = $\frac{7 - 10}{0.3}$

= 10 متر بالثانية تربيع