

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية

مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي

* مفهوم البايوميكانيك:

إن أصل كلمة البايوميكانيك هي إغريقية متكونة من مقطعين: **الأول** هو (بايو – Bio) ويقصد بها الحياة أو الحيوي **والأخرى** هي (ميكانيك – mechanic) ويقصد بها الآلة أو الماكنة.

وهو علم قديم جداً وأشتق من علم الميكانيك **وسمي بالبايوميكانيك** لأنه يدرس حركة الكائنات الحية.

ويُعرف البايوميكانيك: بأنه العلم الذي يهتم بدراسة وتحليل حركات الإنسان تحليلاً كيمياً ونوعياً بغرض زيادة كفاءة الحركة الإنسانية.

كما يُعرفها جيمس هاي (Gams Hay): بأنه العلم الذي يدرس القوى الداخلية والخارجية المؤثرة على الجسم والأثار الناتجة عن تلك القوى، ويقصد بالقوى الداخلية هي قوة عضلات الجسم، أم القوى الخارجية فهي المقاومات التي تحيط بجسم الإنسان مثل قوة الجاذبية الأرضية والاحتكاك ومقاومة الماء والهواء.

كما يُعرف البايوميكانيك الرياضي بأنه العلم الذي يهتم بدراسة وتحليل الحركات الرياضية تحليلاً كيمياً ونوعياً بغرض زيادة كفاءة الحركة الرياضية.

والتعريف السابق للبايوميكانيك الرياضي مشتق من التعريف الأول وهو يعبر نوعاً ما عن ماهية البايوميكانيك الرياضي، إلا أن التعريف الأكثر شمولية للبايوميكانيك الرياضي هو تعريف العالم الألماني (هوخموث) والذي ينص على أن **البايوميكانيك الرياضي هو علم تطبيق القوانين الميكانيكية على الحركات الرياضية وفق شروط بيولوجية،** ويقصد بالشروط البيولوجية هي كل ما يشمل تكوين الجسم البشري من تشريح وفلسجة وقياسات أنثروبومترية.

* فروع وأقسام البايوميكانيك:

يقسم البايوميكانيك على قسمين رئيسيين هما:

أولاً: السكون أو البايوستاتيك (Statics): وهو العلم الذي يعني الحالات التي تكون فيها جميع القوى المؤثرة على الجسم متوازنة والجسم في حالة ثبات أو سكون.

ثانياً: المتحرك أو البايوديناميك (Dynamics): وهو العلم الذي يبحث في طبيعة القوى المتحركة وغير المتوازنة الموجهة على الجسم والتي تسبب تغيراً في سرعته واتجاهه.

وبما أن المجال الرياضي هو عبارة عن حركة ومهارات وحالات الثبات تكون وقتية ولا تأخذ زمناً طويلاً، فإن ما يهتما في دراسة البايوميكانيك هو القسم الثاني وهو علم الديناميك، **والذي يقسم بدوره إلى قسمين هما:**

1- البايوكينماتيك: وهو العلم الذي يتناول الحركة ويصفها وصفاً مجرداً دون التطرق إلى مسببات الحركة، فهو يصف حركة الأجسام من حيث الزمن والسرعة والانطلاق والإزاحة والمسافة والتعجيل ... الخ، وقد يكون البايوكينماتيك مستقيم (خطي) أو دائري (زاوي).

2- البايوكيناتييك: وهو العلم الذي يدرس القوى التي تُنتج وتغير الحركة، فهو يصف حركة الأجسام من حيث الوزن والكتلة وكمية الحركة (الزخم) والقدرة والشغل والطاقة والقوة ... الخ، وقد يكون البايوكيناتييك مستقيم (خطي) أو دائري (زاوي).

* أهمية دراسة البايوميكانيك الرياضي (واجبات البايوميكانيك):

- 1- يساعد على إيجاد الأجوبة القطعية المتعلقة بأفضل الطرق التكنيكية للرياضيين.
- 2- يساعد في تطبيق القوانين الميكانيكية على الحركة الرياضية.
- 3- يعمل على اكتشاف ومعرفة طرق الأداء الفني.
- 4- يعمل على تجاوز الأخطاء واكتشاف أسبابها ومعرفة الطريقة الصحيحة للتدريب.
- 5- يساعد في إيجاد الطرق البسيطة لمعرفة الحركة الرياضية.

* أهداف دراسة البايوميكانيك:

- 1- تحسين الأداء الفني (التكنيك).
- 2- تطوير واستحداث أدوات جديدة.
- 3- تحسين التدريب.
- 4- الوقاية من الإصابات وكذلك عمليات التأهيل للرياضيين.

* أغراض دراسة البايوميكانيك:

- 1- البحث في التكنيك الرياضي المثالي، ويعني ذلك (التحليل الميكانيكي البيولوجي لهدف الحركة الرياضية القائم بأمثل أسلوب).
- 2- تعميم المعلومات المكتسبة عن التكنيك الرياضي المثالي لمختلف الرياضات وجعلها أسس عامة للبايوميكانيك، وخاصة ما يتصل منها بالاستخدام المناسب للقوى.
- 3- إيجاد طرق سهلة لبحث الحركة الرياضية (الاختبارات الرياضية) لتساعد المدرس والمدرّب لتحديد الأخطاء واكتشافها موضوعياً أثناء الحركة الرياضية.
- 4- تقييم التمارين البدنية على أساس مدى تحقيقها لأغراض التربية الرياضية عن طريق تحليل بعض التمارين الخاصة والتي يمكن بواسطتها أن تزداد وتنمو عناصر اللياقة العامة والخاصة مثل القوة والسرعة والقفز وسرعة رد الفعل وغيرها من العناصر والتي تساعد في تعليم التكنيك الرياضي وذلك من الناحيتين الميكانيكية والبيولوجية.
- 5- التحليل الميكانيكي البيولوجي للتمارين البدنية الخاصة بأنواع الرياضة في المدارس الابتدائية والذي يهدف في إيجاد التمارين المناسبة لتعليم التكنيك.

* المحاور والمستويات (المسطحات)

من المعروف أن الحركات الدورانية تتم حول محاور، أما الحركة المستقيمة فتتم في مستويات فراغية.

*** المحاور:** توجد ثلاث أنواع من المحاور الأصلية (الأساسية) والتي تحدث حولها الحركة الدائرية الكاملة أو غير الكاملة التي تكون على شكل أقواس، حيث تتقاطع جميع هذه المحاور الوهمية والأصلية في مركز ثقل الجسم، وهذه الأنواع هي:

1- المحور الحقيقي: وهو ما يحدث فيه اتصال بين الجسم والمحيط الخارجي، مثل أجهزة الجمناستيك والمحيط الخارجي والذي قد يكون الأرض أو جهاز معين، وهو يُعد من المحاور الأصلية.

2- المحور الوهمي: وهو الخط الوهمي الذي تحدث حوله الحركات مثل مفاصل الجسم، وهو يُعد محور أصلي.

3- المحور الوقي: هو محور تتم حوله الحركة لوقت معين، وهو يُعد من المحاور الحقيقية (الأصلية).

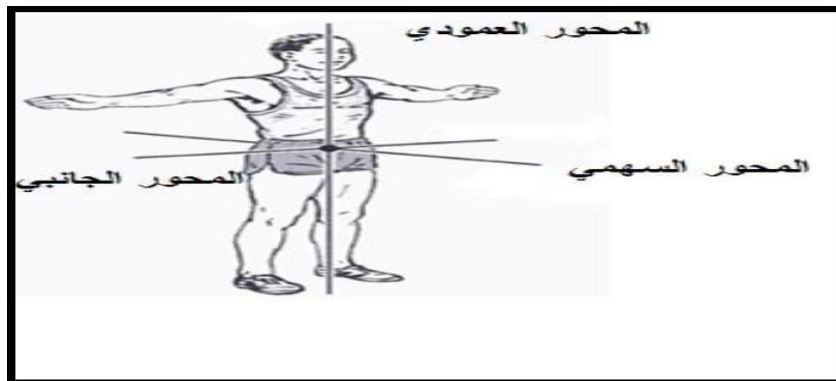
* وقد تتم الحركات الدائرية حول محور أو أكثر سواء كانت محور حقيقي أو محور وهمي أو محور وقي.

* أما محاور الحركة من حيث الشكل هي:

1- المحور العمودي (الطولي أو الشاقولي): وهو المحور الوهمي الذي يخترق الجسم من قمة الرأس إلى الأسفل، وعادةً ما يكون عمودي على المستوى الأفقي، ومن أمثلة الحركة حول هذا المحور للجسم كاملاً هي دوران الجسم حول نفسه، أما لجزء من الجسم فهو قتل الرأس للجانبين.

2- المحور الجانبي (العرضي أو الحقيقي): وهو محور يخترق الجسم من جانب لجانب آخر، ويكون عمودي على المستوى الجانبي وهو موازي للأرض، ومن أمثلة الحركة حول هذا المحور للجسم كاملاً هو قفزة اليدين الأمامية، أما لجزء من الجسم هو ثني الجذع أماماً، وهذه الحركة تحدث حول محور وهمي وهو مفصل الورك، أما للجسم كاملاً حول محور عرضي حقيقي وهو دوران الجسم حول العقلة في حركة الدورة الكبرى بالجمناستيك.

3- المحور السهمي (العميق أو الوهمي): وهو محور يخترق الجسم من الأمام إلى الخلف، وعادةً ما يكون وهمي وهو عمودي على المستوى الأمامي، ومن أمثلة الحركة حول هذا المحور للجسم كاملاً هي حركة العقلة البشرية في الجمناستيك، أما لجزء من الجسم فهي ثني الجذع للجانبين أو ثني الرأس للجانبين.



شكل يوضح / المحاور

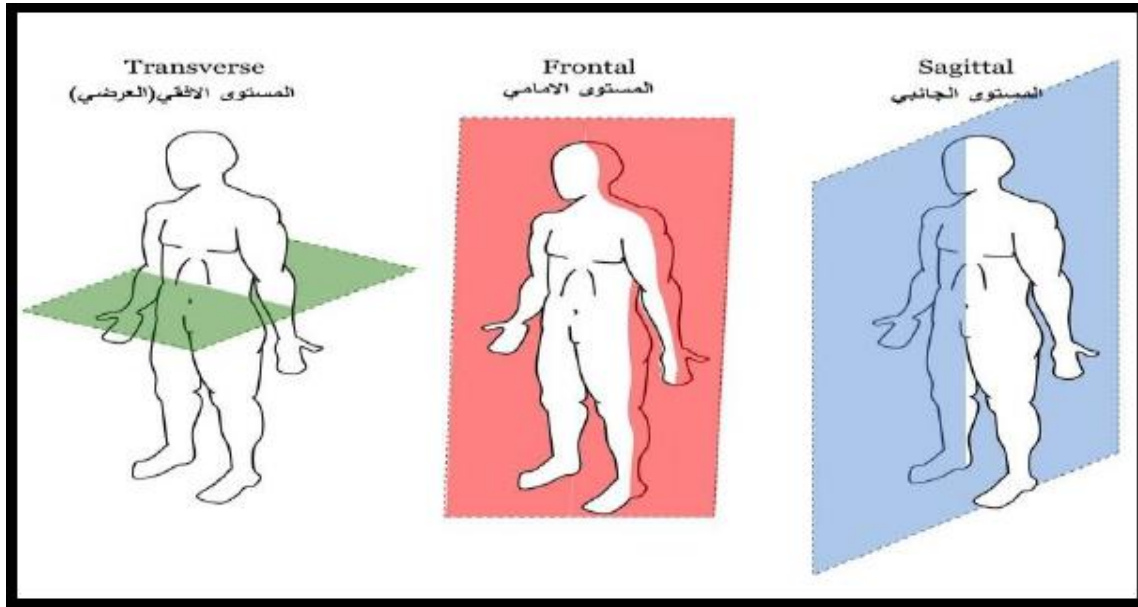
* المستويات (المسطحات):

تقسم المستويات إلى ثلاث مستويات فراغية متعامدة على بعضها البعض وهي:

1- المستوى الأمامي: وهو المستوى الذي يقسم الجسم إلى نصفين أمامي وخلفي وهما متساويين بالوزن، وهو عمودي على الأرض، ومن أمثلة الحركة في هذا المستوى للجسم كاملاً هي حركة انتقال الجسم للجانبين والقفز في المكان، أما لجزء من الجسم فهو ثني الجذع للجانبين، ويكون المحور العميق (السهمي) عمودي على هذا المستوى.

2- المستوى الجانبي (السهمي): وهو المستوى الذي يقسم الجسم إلى نصفين أيمن وأيسر وهما متساويين بالوزن، وهو عمودي على الأرض، ومن أمثلة الحركة في هذا المستوى للجسم كاملاً هي حركة انزلاق الجسم للأمام والخلف والدرجة الأمامية والخلفية، أما لجزء من الجسم فهي حركة الذراعين للأمام والخلف، وكذلك حركة الرجلين للأمام والخلف، ويكون المحور الجانبي (العرضي) عمودي على هذا المستوى.

3- المستوى الأفقي (العرضي): وهو المستوى الذي يقسم الجسم إلى نصفين علوي وسفلي وهما متساويين بالوزن، وهو موازي للأرض، ومن أمثلة الحركة في هذا المستوى للجسم كاملاً هي حركة دوران الجسم حول نفسه، أم لجزء من الجسم فهي حركة قتل الرأس للجانبين، وكذلك حركة الجذع للجانبين، ويكون المحور العمودي (الطولي) عمودي على هذا المستوى.



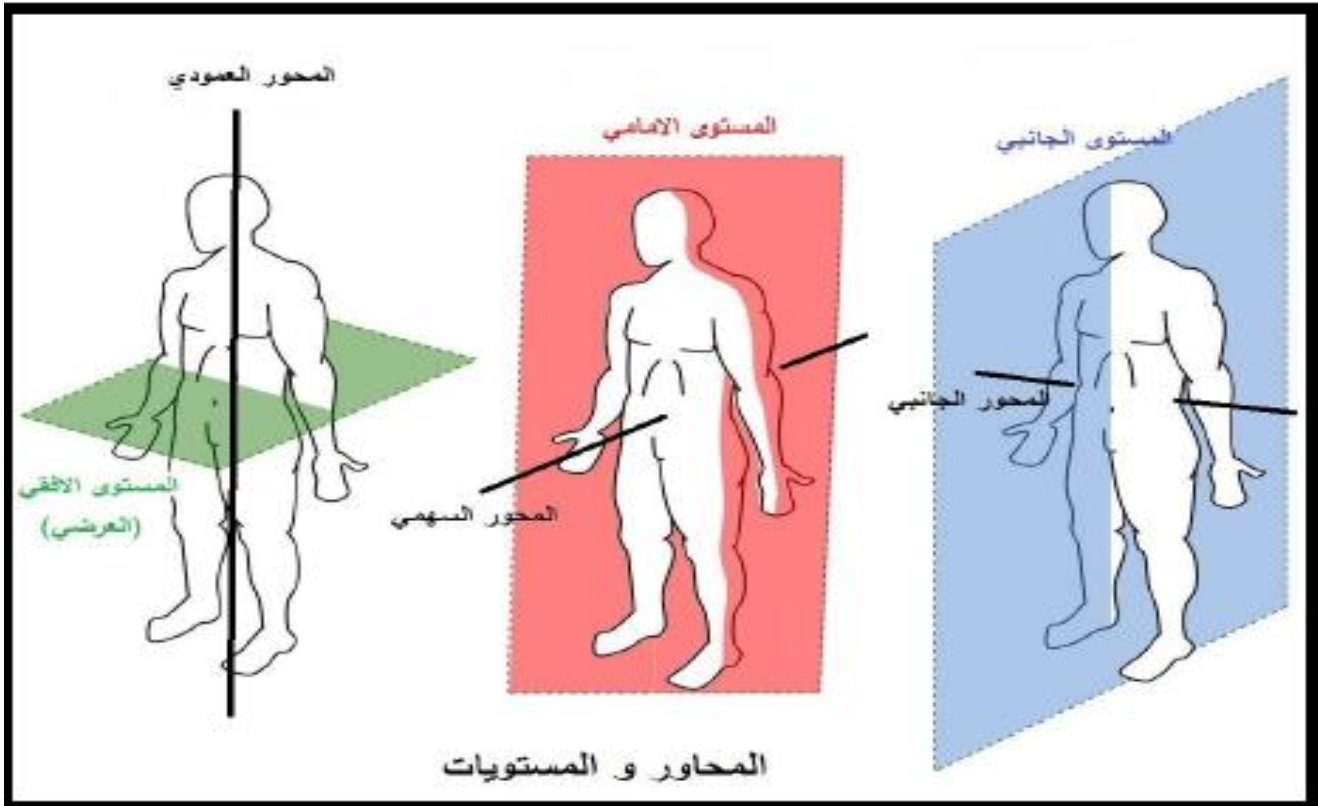
شكل يوضح / المستويات (المسطحات)

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية

مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي

* مما سبق يتبين أن كل محور يكون عمودي على مستوى وكما يلي:

- 1- المحور العمودي يكون عمودي على المستوى الأفقي.
- 2- المحور السهمي يكون عمودي على المستوى الأمامي.
- 3- المحور الجانبي يكون عمودي على المستوى الجانبي.



شكل يوضح / المحاور والمستويات (المسطحات)

* الحركة والنظام الإحداثي (نسبية الحركة):

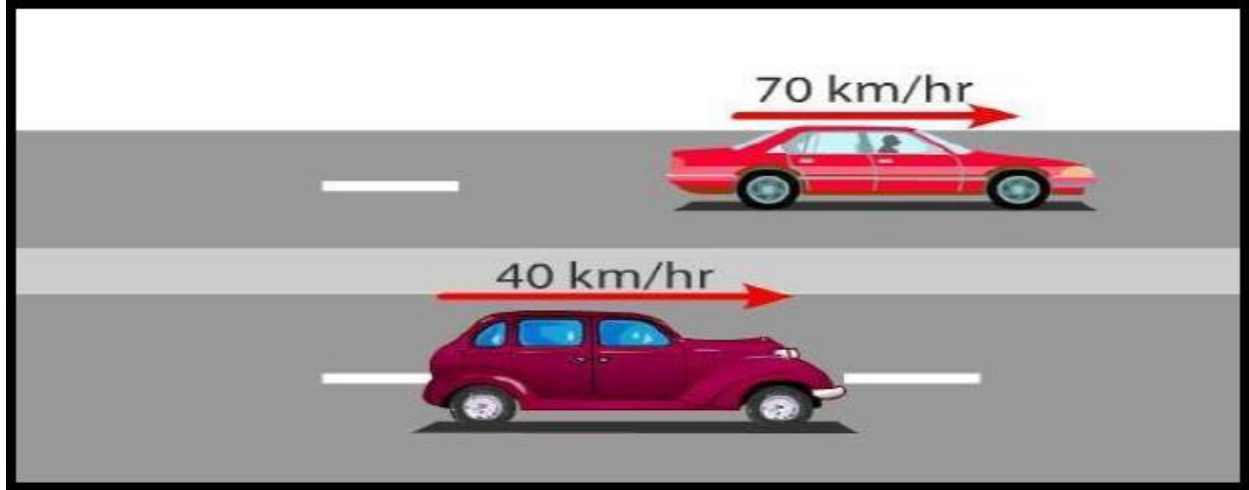
تُعرّف الحركة هي التغير المستمر في وضع الجسم بالنسبة لجسم آخر نفترضه ثابتاً وهي عكس حركة السكون، حيث يمكن مشاهدة أو رؤية الجسم المتحرك بالعين المجردة، وتُعرّف **الحركة بوجه عام** بأنها انتقال جسم أو دورانه في المكان لقطع مسافة معينة في زمن معين، أما تُعرّف **في الحركات الرياضية** بأنها انتقال أو دوران أجزاء الجسم في المكان لقطع مسافات مختلفة في أزمنة مختلفة لتحقيق هدف معين للحركة، ويجب أن يكون للحركة مستوى معين بمعنى أنها تتقيد بطريقة أداء خاصة.

سؤال مهم: كيف باستطاعتنا تحديد ما إن كان جسم ما يتحرك؟ **والجواب هو** تخيل إنك واقف في إحدى الحدائق ومر من أمامك شاب يركض، فسوف تستطيع بكل سهولة أن تستنتج بأن هذا الشاب يتحرك عن طريق مقارنته بجسم ثابت مثل الأشجار وهذه تسمى **(النقاط المرجعية)** أو **(النقاط النسبية)** في النظام الإحداثي.



لكن ليس من الضروري أن تكون جميع النقاط المرجعية (نسبية الحركة) في النظام الإحداثي هي ثابتة، **فعلى سبيل المثال:** تخيل معي أنك تسافر في سيارة وأن هذه السيارة تسير بسرعة 40 كم في الساعة، وبعد لحظات وجّهت رأسك نحو النافذة وإذ بسيارة أخرى تتحرك بجانب السيارة التي تسافر بها بسرعة 70 كم في الساعة بنفس الاتجاه أيضاً، وما هي إلا لحظات حتى تجاوزتك تلك السيارة، فلا بد في هذه الحالة من أن تشعر وكأنك تتحرك إلى الوراء وليس إلى الأمام، ولو كانت السيارتان تمتلكان نفس السرعة لشعرت وكأنك ثابت في مكانك لا تتحرك، حيث إنك في هذه الحالة استخدمت السيارة المجاورة كنقطة مرجعية (نسبية) حدّدت بواسطتها إن كنت تتحرك أم لا، وهنا نستطيع التأمل بالنسبية المتضمنة في هذا المفهوم، فأنت في الحالة الثانية تتحرك ولكن السرعات المتساوية للسيارتين أو همتهنك بأنك ثابت لا تتحرك.

تدعى سرعة الأجسام المتحركة بالنسبة لأجسام ثابتة أو متحركة بـ **(السرعة النسبية)**، وتدعى حركتها بـ **(الحركة النسبية)**.



* من أمثلة النظام الإحداثي النسبي (نسبية الحركة) هي ما يلي:

- 1- فعالية عدو 100 م ← خط البداية
- 2- جهاز العقلة ← بار العقلة
- 3- فعالية الوثب الطويل ← لوحة النهوض
- 4- فعالية السباحة ← حافة الحوض

* أنواع الحركات:

تقسم الحركات حسب التخصص ومجال الدراسة، فمثلاً تقسم من الناحية الفسلجية إلى حركات إرادية وحركات لا إرادية، وهذه تقسم إلى حركات مصاحبة وحركات انعكاسية، بينما تقسم الحركة من حيث الشكل إلى حركات متكررة وحركات وحيدة (ثلاثية)، بينما تقسم من الناحية الميكانيكية إلى ما يلي:

أولاً: تقسم الحركة من حيث التقسيم الهندسي: ويقصد أن تكون الحركات على شكل خطوط أو دوائر، وهي تقسم إلى ما يلي:

1- الحركات الانتقالية (المستقيمة والمنحنية):

تحدث الحركة الانتقالية المستقيمة عندما ينتقل الجسم بكامل أجزائه من مكان لآخر بحيث ترسم الأجزاء المكونة لذلك الجسم مسارات أو خطوط مستقيمة متوازية مع بعضها البعض في أي لحظة من لحظات الحركة وتقطع مسافات متساوية أثناء حدوثها، كما في حركة التزلج على الماء بواسطة القوارب أو انزلاق الرياضي على الزلاجات بدون أداء حركات في الأطراف، أما بالنسبة للحركة الانتقالية المنحنية فتطبق عليها نفس الشروط من خلال انتقال الجسم بكامل أجزائه من مكان لآخر بحيث ترسم الأجزاء المكونة لذلك الجسم أقواس متوازية مع نقطة أخرى من هذا الجسم في أي لحظة من لحظات الحركة وتقطع مسافات متساوية أثناء حدوثها، وعادةً ما تظهر الحركة عندما يكون الجسم مقذوف، مثل مركز ثقل الجسم عند الهبوط في المظلات أو متابعة الثقل المقذوف، وكذلك الغطس للماء بدون دورانات



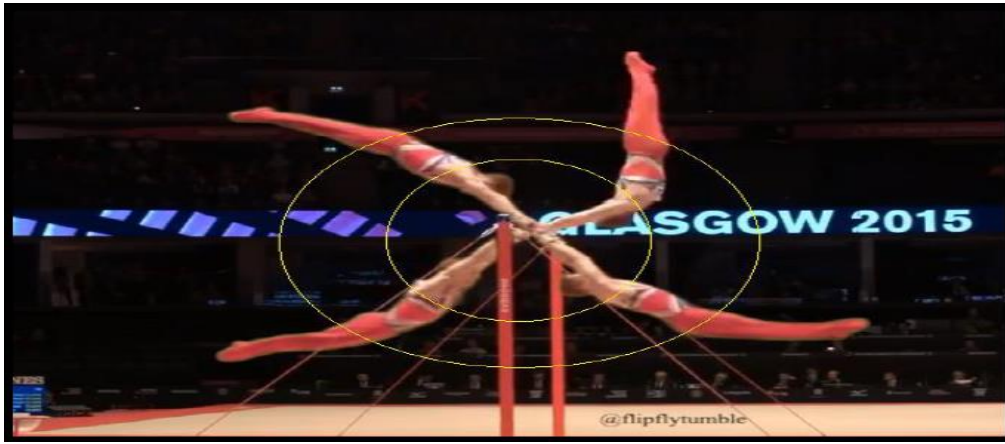
شكل يوضح/ الحركة الانتقالية المستقيمة



شكل يوضح/ الحركة الانتقالية المنحنية

2- الحركات الدائرية:

وهي عادةً ما تتواجد في حركات جسم الإنسان وخاصة في أجزاء الجسم كون أن جسم الإنسان يتكون من نظام العتلات والتي يتوجب في وجودها محور للدوران، إي أن الشرط الأساسي لحدوث الحركة الدائرية هي وجود محور للدوران سواء كانت حركة الجسم كاملاً أو جزء من الجسم ، وتكون حركة أجزاء الجسم على شكل دوائر تبعد بمقدار ثابت عن محور الدوران اثناء حركتها ، وقد يكون المحور داخلي (داخل الجسم) أو خارجي (خارج الجسم)، ففي حالة حركة جزء من الجسم حركة دورانية ، كما في ثني مفصل المرفق فإنها تتم حول محور دوران هو محور مفصل المرفق وهو محور عرضي داخلي ، أما دوران الجسم كاملاً مثل دوران الجسم حول العقلة وبالتالي فإن محور الدوران هو المحور العرضي وهو خارجي وحقيقي، وفي هذه الحالة فإن أجزاء الجسم ترسم اثناء حركتها دوائر متحدة المركز تبعد ببعد ثابت عن محور الدوران، وتختلف أنصاف أقطار الدوائر تبعاً لاختلاف بُعد الجزء عن محور الدوران، وإن وجود هذه الحركة بشكل واضح للجسم كاملاً يكون قليل جداً، بينما تكثر في حركة أجزاء الجسم.



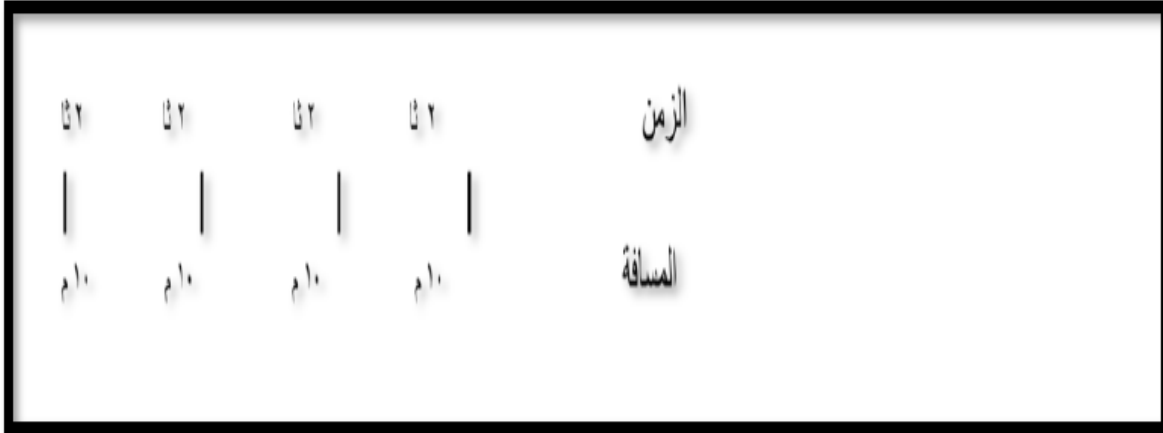
3- الحركة المركبة (العامة):

تتكون هذه الحركة من مزيج من الحركتين الانتقالية والدائرية، فقد يدور الجسم بأكمله حركة دائرية حول نفسه وفي نفس الوقت ينتقل انتقال مستقيم، كما في حركة الغطس إلى الماء بالدورات، وقد تحدث عندما يتحرك جزء من الجسم حركة دائرية الأمر الذي يؤدي به إلى انتقاله حركة انتقالية، كما في الركض أو المشي، فالأطراف السفلى والعليا تتحركان حركة دائرية تؤدي إلى حركة انتقالية، كما في الدراجة الهوائية، وكذلك في السباحة.

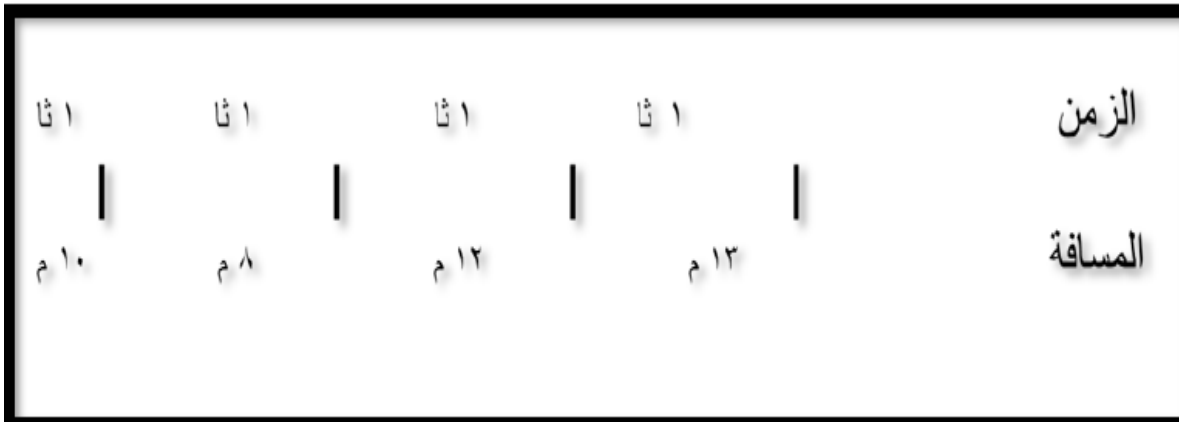


ثانياً: تقسم الحركة من حيث التقسيم الزمني:

1- **الحركة المنتظمة:** وهي الحركات التي يقطع فيها الجسم مسافات متساوية في أزمنة متساوية، كما في مرحلة السرعة القصوى في عدو (100م)، أي أنه يتحرك بمعدل سرعة متساوية.



2- **الحركة الغير منتظمة:** وهي الحركات التي يقطع فيها الجسم مسافات غير متساوية في أزمنة متساوية، كما في حركة عداء (100م) الذي ينطلق من الثبات، حيث تزداد سرعته تدريجياً لحين وصوله السرعة القصوى، وفي هذه الحالة تكون سرعته تزايدية.



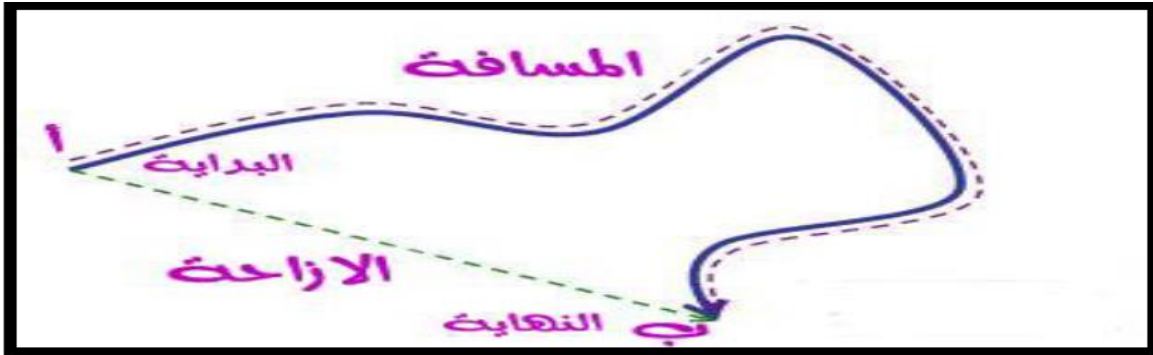
*** الكينماتيك الخطي (المستقيم):**

*** المسافة والإزاحة الخطية:**

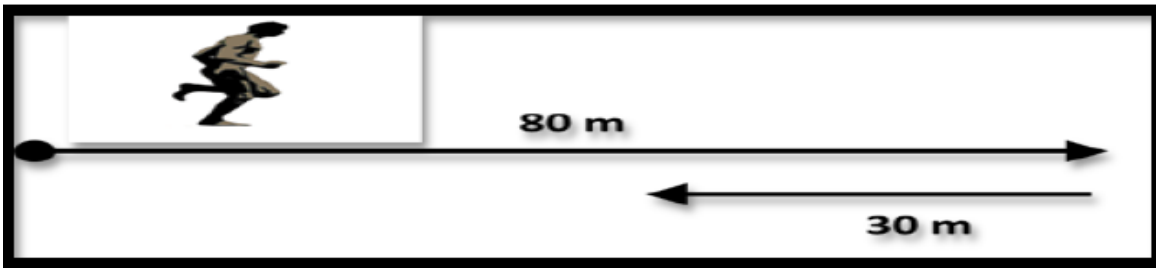
المسافة: هي الفراغ المتاح بين نقطتين.

الإزاحة: هي الفراغ الموجود بين نقطتين.

يمكن أن نعرف الفرق بين المسافة والإزاحة، وذلك من خلال معرفة الفرق بين الفراغ المتاح والفراغ الموجود، **فالفراغ المتاح** يعني عدم القدرة على تخطي الموانع والحواجز الطبيعية أو المصطنعة مباشرةً إلا بالمرور من فوقها أو تحتها أو بجانبها ، مثلما يحدث في تمرينات الرشاقة (الركض المتعرج بين الشواخص)، **أما الفراغ الموجود** فيعني تخطي الموانع والحواجز والحفاظ على المسار نفسه، أي المرور مستقيماً أو قطرياً ولكن بدون انحناء أو تعرج، وبذلك فإن المسافة دائماً أكبر من الإزاحة أو تكون مساوية في بعض الأحيان مثل عند قطع مسافة 100م بشكل مستقيم في سباق الدراجات، أما في الأركاض فإن الوصف الصحيح هي إزاحة 100م وليس مسافة 100م، لأن مسار مركز كتلة الجسم (مركز ثقل الجسم) لا يسير مستقيماً وإنما منحنياً، وهذا يظهر واضحاً في سباق 110 م حواجز، فإن الرياضي يقطع أكبر من 110م إذا أخذنا بنظر الاعتبار مسافات المرور من فوق الحواجز.



مثال: رياضي يركض مسافة (80 م) ثم يرجع (30 م)، أحسب المسافة والإزاحة التي قطعها الرياضي.



الحل:

$$\text{المسافة} = 80 + 30 = 110 \text{ م.}$$

$$\text{الإزاحة} = 80 - 30 = 50 \text{ م.}$$

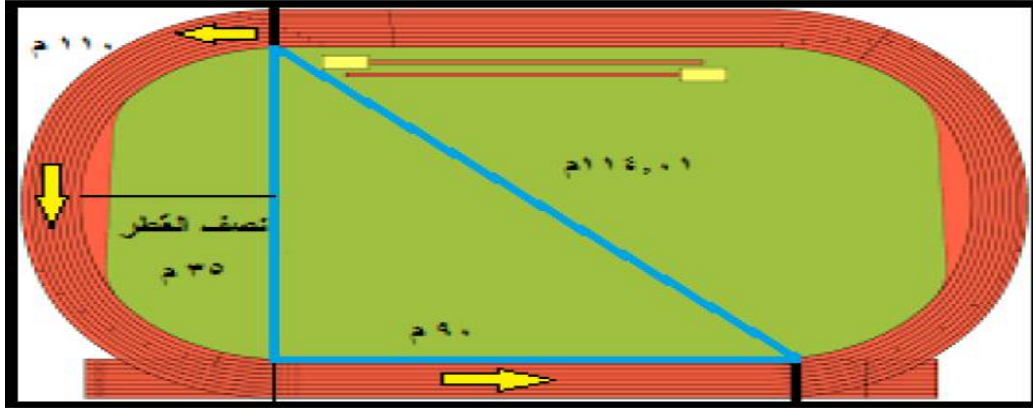
مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية

مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي

مثال: ما هو مقدار المسافة والإزاحة التي يقطعها عداء 200 م على المضمار؟ وما هو اتجاهها؟

أو: مثال بصيغة أخرى: في سباق (200م) يركض العداء (200م) على مقطعين أحدهما مستقيم (90م) والآخر منحنى (110م) بنصف قطر (35م)، أحسب المسافة والإزاحة؟ وما هو الاتجاه؟

الحل:



المسافة = 200م.

والإزاحة هي:

- المسافة المستقيمة = 90 م.

- المسافة المنحنية = 110 م.

- نصف القطر $2 \times$

$= 2 \times 35 = 70$ م.

إذن يوجد لدينا مثلث قائم الزاوية، وتكون الإزاحة هي الوتر وفقاً لقانون فيثاغورس:

$$\text{مربع الإزاحة (م)}^2 = 2(90) + 2(70)$$

$$\text{مربع الإزاحة (م)}^2 = 8100 + 4900$$

$$\text{الإزاحة (م)} = \sqrt{8100 + 4900}$$

$$\text{الإزاحة (م)} = 114.01$$

أما الاتجاه: يمكن أن نحصل على الاتجاه من خلال ظل الزاوية (Tan).

الاتجاه (ظا) = المجاور / الوتر

$$\text{الاتجاه (ظا)} = 114.01 / 70$$

الاتجاه (ظا) = 0.61، أي بزاوية 52 درجة.

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية

مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي

* الكينماتيك الخطي (المستقيم):

* السرعة والسرعة المتجهة:

يطلق على السرعة مصطلح الانطلاق ويسمى في اللغة الإنكليزية (Speed)، وإن البعض يظن أن السرعة (الانطلاق) والسرعة المتجهة هي نفس المعنى إلا أن علم الفيزياء يميز بينهما، فالسرعة (الانطلاق) تُعرّف بأنها المسافة التي يقطعها الجسم خلال زمن معين دون النظر إلى اتجاهها، وإن السرعة المتجهة (Velocity) والتي حدناها بكلمة متجهة لغرض الفهم والتمييز بينهما فتُعرّف بأنها كمية الإزاحة لكل وحدة من الزمن.

* وهناك علاقة بين الزمن والسرعة والمسافة، فكلما قطع الجسم المسافة بزمن أقل فإن هذا الجسم يكون أسرع، أي أن الزمن في هذه الحالة أصبح معياراً للتفاضل بين سرع الأجسام، لذلك فإن معادلة استخراج السرعة هي:

$$\text{السرعة (س)} = \frac{\text{المسافة (م)}}{\text{الزمن (ن)}}$$

$$\text{المسافة} = \text{السرعة} \times \text{الزمن}$$

$$\text{أما: السرعة المتجهة (س)} = \frac{\text{الإزاحة (ز)}}{\text{الزمن (ن)}}$$

* وتتكون وحدة قياس السرعة من وحدة مركبة، وهي وحدتي المسافة (متر) ووحدة الزمن (الثانية) وهي تكون (م/ثا)

مثال: جسم يقطع مسافة (30 م) من نقطة (أ) إلى نقطة (ب)، وكان زمن قطع هذه المسافة (5 ثانية)، فما هي سرعة ذلك الجسم؟

الحل:

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$$

$$\text{س} = \frac{\text{م}}{\text{ن}}$$

$$\text{س} = \frac{5}{30} = 6 \text{ م/ثا.}$$

مثال آخر: ولفهم الفارق بين السرعة والسرعة المتجهة، نفترض أن ذلك الجسم انطلق من نقطة (أ) إلى نقطة (ب) ثم عاد إلى نقطة (أ)، فما هي السرعة والسرعة المتجهة لهذا الجسم؟

الحل:

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$$

$$\text{السرعة} = \frac{5}{30} = 6 \text{ م/ثا.}$$

$$\text{السرعة المتجهة} = \frac{\text{الإزاحة}}{\text{الزمن}}$$

$$\text{السرعة المتجهة} = \frac{0}{10} = 0.$$

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية

مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي

* متوسط السرعة:

إذا تحرك جسم وقطع مسافة معينة وكانت سرعته منتظمة، فمن الممكن أن نستخرج متوسط السرعة من خلال جمع السرعات وتقسّم على عددها، وهي بذلك تكون مشابهة لطريقة استخراج المعدل في حالة تساوي عدد الوحدات، ويمكن أن تكون المعادلة المستخدمة هي:

$$\text{متوسط السرعة} = \text{س} + 1 + \text{س} + 2 + \text{س} + 3 + \text{س} + 4 + \dots + \text{س} / 2, 3, 4 \dots \text{الخ} .$$

1- إذا كانت سرعتان تُجمع وتُقسّم على 2، أما إذا كانت ثلاث سرع فتُجمع وتُقسّم على 3، وهكذا ...

مثال: عداء بلغت سرعته في النقطة (أ) كانت (6 م/ثا) ثم وصلت سرعته إلى (12 م/ثا) في النقطة (ب)، فما هو متوسط سرعته؟

الحل:

$$\text{متوسط السرعة} = \text{س} + 1 + \text{س} / 2$$

$$\text{متوسط السرعة} = 2 / 12 + 6$$

$$\text{متوسط السرعة} = 2 / 18 = 9 \text{ م/ثا} .$$

2- توجد حالة أخرى وهي إذا كانت سرعة الجسم الابتدائية تساوي صفر، فيمكن أن نستخرج متوسط السرعة من خلال قسمة سرعته النهائية على 2، وهي تطبق في حالة السرعة المنتظمة أيضاً، فتصبح المعادلة كالتالي:

$$\text{متوسط السرعة} = \text{السرعة النهائية (س)} - \text{السرعة الأولى (س)} / 2$$

مثال: انطلق عداء من نقطة البداية ووصلت سرعته 10 م/ثا، فما هو متوسط السرعة؟

الحل:

$$\text{متوسط السرعة} = \text{س} / 2$$

$$\text{متوسط السرعة} = 2 / 10 = 5 \text{ م/ثا} .$$

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية

مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي

* السرعة اللحظية (الآنية):

إن حركة الأجسام تتغير في فترات زمنية قصيرة وخاصة جسم الإنسان، وذلك لانخفاض مخزون الطاقة عندما يكون الجهد البدني كبير، لذلك لا بد أن نتمكن من معرفة سرعة الجسم في أصغر مسافة وأصغر فترة زمنية، وهذا ما يطلق عليه **بالسرعة اللحظية (الآنية)** وهي تغير سرعة الجسم في فترات زمنية قصيرة، حيث يتم استخراجها من خلال المعادلات التالية:

السرعة اللحظية (الآنية) = المسافة الثانية - المسافة الأولى / الزمن الثاني - الزمن الأول (المعادلة 1).

أي: السرعة اللحظية = م - 2 م / 1 ن - 2 ن 1

مثال: عداء يقطع مسافة (25م) في الثانية الخامسة ثم يقطع مسافة (30م) في الثانية السادسة، فما هي سرعته اللحظية؟

الحل:

السرعة اللحظية = م - 2 م / 1 ن - 2 ن 1

السرعة اللحظية = 5 - 6 / 25 - 30

السرعة اللحظية = 1 / 5

السرعة اللحظية = 5 م/ثا.

أو: السرعة اللحظية = أصغر فرق في المسافة - أصغر فرق في الزمن (المعادلة 2).

أي: السرعة اللحظية = م Δ - 2 م Δ / 1 ن Δ - 2 ن Δ 1

مثال: تبين أن أقل زمن يستغرقه الثقل عند انطلاقه من يد الرامي إلى لحظة اجتيازه مسافة بقدر قطره قد بلغ (0.02 ثانية)، أحسب السرعة اللحظية لانطلاق الثقل؟

الحل:

بما أن قطر الثقل = 12 سم، أي 0.12 متر، فإن السرعة اللحظية للثقل ستبلغ:

السرعة اللحظية = أصغر فرق في المسافة - أصغر فرق في الزمن

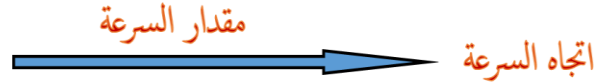
السرعة اللحظية = 0.02 / 0.12

السرعة اللحظية = 6 م/ثا.

* الكينماتيك الخطي (المستقيم):

* السرعة كمية متجهة:

تعد السرعة من الكميات المتجهة إذا ما أخذنا بنظر الاعتبار الإزاحة، وهي بذلك لا يكفي لتعريفها ذكر مقدارها فقط بل يجب ذكر اتجاهها أيضاً، ويمكن أن تمثل هذه الكمية المتجهة بقطعة مستقيم تمثل مقدارها ورأس السهم الذي يمثل اتجاهها.



* إذا سار جسم بتأثير سرعتين في نفس الوقت فإن الفعل التأثيري لهذه السرعة يعتمد على اتجاه تلك السرعتين، وبذلك يمكن أن تُقسم إلى حالتين رئيسيتين هما:

1- إذا كانت السرعتان على خط عمل واحد:

وهي تكون على شكلين هما:

الأول: إذا كانت السرعتان في اتجاه واحد فإن محصلة السرعة عبارة عن جمعها هندسياً.

إذا كانت السرعتان بنفس الاتجاه ، فإن محصلتهما تكون في هذه الحالة المجموع الجبري لهما ويكون اتجاه المحصلة بنفس اتجاه تلك السرعتين ، ويمكن أن نضرب مثال في المجال الرياضي على ذلك وهو حركة الكرة والرياح تؤثر عليها من الخلف، وكذلك حركة رامي الثقل بالزحقة للخلف ومد الذراع تعتبر عبارة عن جمع للسرعتين وتظهر هذه كمحصلة في سرعة الثقل، أما في الحياة العامة فهو حركة الشخص الذي يسير داخل القطار باتجاه سير القطار ، فإن محصلة سرعته تكون هي سرعة القطار وسرعته اثناء المشي داخل القطار، وكذلك هذا ما يراه الشخص الواقف خارج القطار، فلو سار بسرعة (1 كم / ساعة) وكانت سرعة القطار (80 كم / ساعة)، فإنه يتحرك بسرعة (81 كم / ساعة) واتجاهه بنفس الحركة.

مثال: بلغت سرعة جسم (20 م/ثا) وأثرت عليه ريح بسرعة (2 م/ثا) في اتجاه الجسم نفسه، فما مقدار السرعة النهائية للجسم؟

الحل: محصلة السرعة = س 1 + س 2

محصلة السرعة = 20 + 2 = 22 م/ثا.

الثاني: إذا كانت السرعتان متعاكستان فإن محصلة السرعة عبارة عن الفرق بينهما.

إذا كانت السرعتين باتجاهين متعاكسين ، فإن المحصلة لهما تكون عبارة عن المقدار الناتج عن طرح السرعتين ويكون اتجاه المحصلة باتجاه السرعة الأكبر ، ويمكن أن نضرب مثال في المجال الرياضي على ذلك وهي سرعة الكرة والرياح تؤثر عليها إلى الأمام أي عكس اتجاه حركة الكرة، وكذلك تظهر هذه الحالة في خطوات الاقتراب لدى رامي الرمح فإنه يعمل على إرجاع الذراع للخلف، وهذا يعد سرعة معاكسة لسرعة الاقتراب لذلك تقل سرعة الرمح في هذه الحالة، إلا إنها تعود وتزداد في حالة سحب الذراع من الخلف للأمام مرة أخرى، وهي بذلك تعد تطبيق للحالتين

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية مدرس المادة : أ.د. وائل قاسم المحمداوي

في نفس **الفعالية، أما في الحياة العامة** فإن حركة الشخص داخل القطار باتجاه معاكس لحركة القطار أي العودة للخلف، حيث أن سرعة الشخص تكون عبارة عن طرح سرعته من سرعة القطار، **وعلى مثالنا السابق** فإن السرعة هنا تكون (79 كم / ساعة) واتجاه الحركة يكون باتجاه حركة القطار كونها السرعة الأكبر.

مثال: بلغت سرعة جسم (20 م/ثا) وأثرت عليه ريح بسرعة (2 م/ثا) في عكس اتجاه الجسم المتحرك، فما مقدار السرعة النهائية للجسم؟

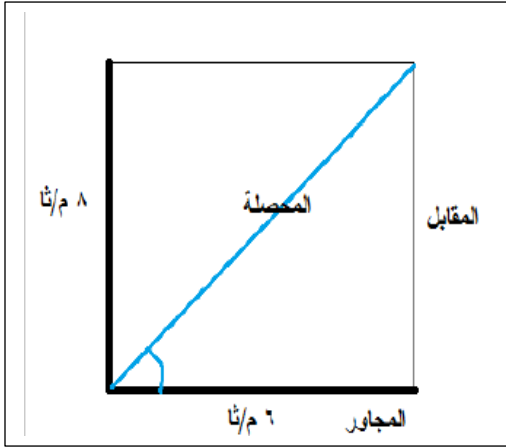
الحل: محصلة السرعة = س 1 - س 2

محصلة السرعة = 20 - 2 = 18 م/ثا.

2- إذا كانت سرعتان ليست على خط عمل واحد:

أ - في بعض الحالات يتأثر الجسم بأكثر من سرعة ولكن ليست على خط عمل واحد، أي أن تكون السرعة النهائية بزواوية عمودية، **مثال على ذلك** حركة الكرة والريح تؤثر عليها بشكل عمودي، وبذلك تكون محصلة سرعة الكرة ناتج عن سرعتها وسرعة الريح ويتغير اتجاه تلك المحصلة بسبب تأثير الريح عليها، وكما ذكرنا هنا أحياناً تكون السرعة الثانية تؤثر على الأولى بشكل عمودي أي بزواوية (90 درجة)، وفي هذه الحالة يمكن أن نستخرج السرعة المحصلة عن طريق **نظرية فيثاغورس**.

مثال: لاعب ركل كرة قدم بحيث أكسبها سرعة (8 م/ثا) وكانت الريح تؤثر عليها بشكل عمودي وبسرعة (6 م/ثا)، فما هي السرعة النهائية للكرة واتجاه تلك السرعة؟



الحل:

$$(\text{محصلة السرعة})^2 = (\text{السرعة الأولى})^2 + (\text{السرعة الثانية})^2$$

$$(\text{محصلة السرعة})^2 = (\text{أب})^2 + (\text{أج})^2$$

$$م^2 = 2^2(8) + 2^2(6) \leftarrow م^2 = 64 + 36$$

$$م^2 = 100 \leftarrow م = 10 \text{ م/ثا.}$$

أما اتجاه تلك المحصلة فيستخرج عن طريق ظل الزاوية (tan).

ظا > = المقابل / المجاور

ظا > = 6 / 8 = 1.33، أي أن اتجاه السرعة كان بزواوية = 53 درجة.

سؤال: يتحرك سباح بسرعة (4 م/ثا) وكانت سرعة تيار الماء تؤثر عليه بسرعة (3 م/ثا) وبزواوية (90 درجة)، فما هي سرعة السباح النهائية واتجاهها؟ **نتيجة الحل:** المحصلة = 5 م/ثا، الاتجاه = 1.3.

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي

ب – كما قد تتأثر سرعة الجسم بسرعتين لكن ليست على خط عمل واحد وبزاوية أكبر أو أقل من (90 درجة)، أي زاوية حادة أو منفرجة، وبالتالي يمكن استخراج تلك المحصلة عن طريق **قانون متوازي المستطيلات (الأضلاع)**، والقانون هو:

$$* \text{ (محصلة السرعة)}^2 = (س 1)^2 + (س 2)^2 + 2 \times س 1 \times س 2 \times \text{جتا الزاوية}$$

$$\text{أو: (م)}^2 = (\text{أب})^2 + (\text{أج})^2 + 2 \times \text{أب} \times \text{أج} \times \text{جتا الزاوية}$$

أما الاتجاه فيستخرج عن طريق القانون ظل الزاوية التالي:

$$* \text{ ظا } > = س 1 \times \text{جا الزاوية} / س 2 + س 1 \times \text{جتا الزاوية}$$

$$\text{أو: ظا } > = \text{أب} \times \text{جا الزاوية} / \text{أج} + \text{أب} \times \text{جتا الزاوية}$$

مثال: سباح يتأثر بسرعتين أحدهما (5 م/ثا) والأخرى سرعة تيار الماء ومقدارها (3 م/ثا) وكانت الزاوية بينهما 32 درجة، فما هي السرعة النهائية للسباح واتجاه تلك السرعة، علماً أن: جا > = 0.529، جتا > = 0.848.

الحل:

$$\text{(محصلة السرعة)}^2 = (س 1)^2 + (س 2)^2 + 2 \times س 1 \times س 2 \times \text{جتا الزاوية}$$

$$م^2 = (5)^2 + (3)^2 + 2 \times 5 \times 3 \times \text{جتا } 32$$

$$م^2 = (5)^2 + (3)^2 + 2 \times 5 \times 3 \times 0.848$$

$$م^2 = 25 + 9 + 0.848 \times 30$$

$$م^2 = 25.44 + 34 = 59.44 \longleftarrow م = 7.71 \text{ م/ثا السرعة النهائية.}$$

أما الاتجاه:

$$\text{ظا } > = س 1 \times \text{جا الزاوية} / س 2 + س 1 \times \text{جتا الزاوية}$$

$$\text{ظا } > = 5 \times \text{جا } 32 / 3 + 5 \times \text{جتا } 32$$

$$\text{ظا } > = 5 \times 0.529 / 3 + 5 \times 0.848$$

$$\text{ظا } > = 2.645 / 4.24 + 3$$

$$\text{ظا } > = 2.645 / 7.24$$

$$\text{ظا } > = 0.365, \text{ أي أن اتجاه السرعة كان بزاوية } = 20 \text{ درجة.}$$

سؤال: ربح ينطلق بسرعة (22 م/ثا) وكانت الريح تؤثر عليه بسرعة (5 م/ثا) وبزاوية 45 درجة، فما هي السرعة النهائية للربح واتجاهها، علماً أن جا وجتا الزاوية = 0.707.

نتيجة الحل: السرعة النهائية = 25.77 م/ثا، والاتجاه = 0.75

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي

ج - أحياناً تكون السرعة النهائية (المحصلة) لدينا معلومة (موجودة في السؤال)، وكذلك زاوية تلك المحصلة أي الاتجاه، ويكون المطلوب استخراج المركبتين الأفقية والعمودية، أي السرعتين التي كونت تلك المحصلة، حيث يمكن استخراجهما عن طريق القوانين التالية:

$$* \text{ السرعة المحصلة للمركبة الأفقية} = \text{المحصلة} \times \text{جتا الزاوية}$$

$$* \text{ السرعة المحصلة للمركبة العمودية} = \text{المحصلة} \times \text{جا الزاوية}$$

مثال: جسم ينطلق بسرعة نهائية (8 م/ثا) وبزاوية (40 درجة)، فما هي السرعة المحصلة للمركبتين الأفقية والعمودية،
علماً أن جتا الزاوية $40 = 0.76$ ، جا الزاوية $40 = 0.64$.

الحل:

$$\text{السرعة المحصلة للمركبة الأفقية} = \text{المحصلة} \times \text{جتا الزاوية}$$

$$\text{السرعة المحصلة للمركبة الأفقية} = 0.76 \times 8 = 6.08 \text{ م/ثا.}$$

$$\text{السرعة المحصلة للمركبة العمودية} = \text{المحصلة} \times \text{جا الزاوية}$$

$$\text{السرعة المحصلة للمركبة العمودية} = 0.64 \times 8 = 5.12 \text{ م/ثا.}$$

* الكينماتيك الخطي (المستقيم):

* التعجيل الخطي:

عندما يقطع العداء مسافة معينة بحركة منتظمة، فإن ذلك يعني أن سرعته في أي لحظة من لحظات الحركة ثابتة، أما إذا كانت حركة غير منتظمة، فعندئذ تتغير سرعته من لحظة إلى أخرى، حيث يطلق على هذا التغير بالسرعة مصطلح **التعجيل** ويُعرّف بأنه **المعدل الزمني لتغير السرعة** أو **هو معدل تغير السرعة خلال فترة زمنية معينة**، من حيث المقدار والاتجاه أو كليهما، ويمكن أن نحصل على قيمة ومقدار التعجيل من خلال قسمة قيمة فرق التغير بالسرعة على الزمن الذي استغرقه التغير، ويمكن استخراج التعجيل من خلال القانون التالي:

$$\text{التعجيل} = \frac{\text{السرعة الثانية} - \text{السرعة الأولى}}{\text{الزمن}}$$

$$\text{التعجيل} = \text{س} 2 - \text{س} 1 / \text{ن}$$

* ويكون التعجيل أما موجباً أو سالباً، فالزيادة في التعجيل تجعله **موجباً** والنقصان في التعجيل يجعله **سالباً**، فلو فرضنا أن سرعة عداء تغيرت من (2 م/ثا) في الثانية الأولى إلى (4 م/ثا) في الثانية، فإن مقدار التعجيل هو:

$$\text{التعجيل} = 4 - 2 / 2 = 2 \text{ م / ثا}^2.$$

* ومن الجدير بالذكر عندما تكون السرعة الثانية **أكبر** من السرعة الأولى فإن الناتج يكون **موجب** وبالتالي فإن **التعجيل يكون موجباً أي تزايدياً**، وإذا كانت السرعة الثانية **أقل** من السرعة الأولى فإن الناتج يكون **سالب** وبالتالي فإن **التعجيل يكون سالباً أي تناقصياً**.

* أما إذا كانت السرعة **ثابتة** في الفترات الزمنية فإن التعجيل يكون **صفر**، أي أن **السرعة الثانية تساوي السرعة الأولى**، وبالتالي فإن الناتج يكون **صفر**.

* **مثال:** عداء ينطلق من نقطة أ وسرعته (6 م/ثا) وعندما يصل إلى نقطة ب تبلغ سرعته (12 م/ثا) وكان زمن قطع المسافة (2 ثانية)، فما هو مقدار التعجيل؟

الحل:

$$\text{التعجيل} = \text{س} 2 - \text{س} 1 / \text{ن}$$

$$\text{التعجيل} = 12 - 6 = 2 / 6 = 2 / 6 + 3 \text{ م / ثا}^2.$$

* أما إذا كانت الحالة **بالعكس**، مثلاً أن تكون السرعة النهائية (6 م/ثا) والابتدائية (12 م/ثا) وزمن قطع المسافة هو (2 ثانية)، فإن مقدار التعجيل هو:

$$\text{الحل: التعجيل} = \text{س} 2 - \text{س} 1 / \text{ن}$$

$$\text{التعجيل} = 6 - 12 = 2 / 12 - 6 = 2 / 6 - 3 \text{ م / ثا}^2.$$

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية

مدرس المادة : أ.د. وائل قاسم المحمداوي

* إن وحدة قياس التعجيل هي (م/ثا²، سم/ثا²، قدم/ثا²)، حيث تكون عبارة عن وحدة قياس السرعة مقسومة على وحدة قياس زمن.

* طريقة اشتقاق وحدة قياس التعجيل: نقوم بتعويض وحدات القياس بقانون التعجيل كما يلي:

$$\text{التعجيل} = \text{س} - 2 = \text{س} / 1 \text{ ن} \leftarrow \text{م} / \text{ثا} \div \text{ثا} / 1 \leftarrow \text{م} / \text{ثا} \times \text{ثا} / 1 = \text{م} / \text{ثا}^2.$$

* إن زيادة قيمة السرعة ونقصانها بشكل منتظم يطلق عليه **التعجيل المنتظم**.

* أما إذا كانت سرعة العداء الابتدائية تساوي **صفر**، فإن المعادلة هي:

$$\text{التعجيل} = \text{السرعة الثانية} / \text{الزمن}$$

$$\text{التعجيل} = \text{س} / 2 \text{ ن}$$

* ولاستخراج المسافة بدلالة التعجيل والزمن، فإن المعادلة هي:

$$\text{المسافة} = \text{التعجيل} \times (\text{الزمن})^2 / 2$$

$$\text{المسافة} = \text{ت} \times \text{ن} / 2$$

* **التعجيل اللحظي (الآني):** هو قيمة التعجيل لحركة جسم تتغير سرعته بفترة قصيرة جداً.

أما المعادلة المستخدمة لاستخراجه هي:

$$\text{التعجيل اللحظي} = \Delta \text{س} / \Delta \text{ن}$$

$$\text{أو: التعجيل اللحظي} = \text{س} - 2 - \text{س} / 1 \text{ ن} - 2 \text{ ن}$$

مثال: قطع عداء مسافة (100 م) بزمن قدره (10 ثانية) وقطع مسافة الخمسين متر بزمن قدره (6 ثانية)، وقد بلغت سرعته خلال الثانيتين الأولى (5 م / ثانية)، في حين بلغ أقصى سرعة له خلال الثانيتين السادسة والتاسعة وكانت (9 م / ثانية): **المطلوب إيجاد:**

1- السرعة العددية (الانطلاق) خلال السباق الكلي.

2- السرعة المتجهة خلال السباق الكلي.

3- معدل السرعة خلال الخمسين متر الأولى.

4- التعجيل خلال الثانيتين الأولى.

5- معدل التعجيل خلال الثانيتين السادسة والأولى.

6- معدل التعجيل خلال الثانيتين التاسعة والأولى.

7- معدل التعجيل خلال الثانيتين السادسة والثانية.

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية

مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي

الحل:

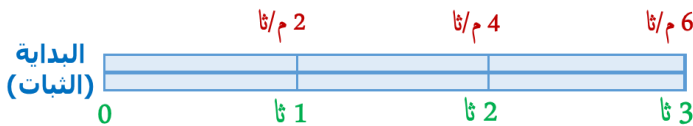


- 1- السرعة العددية (الانطلاق) = المسافة \ الزمن = $10 \div 100 = 10$ م \ ثا.
- 2- السرعة المتجهة = الإزاحة \ الزمن = $10 \div 100 = 10$ م \ ثا شرقاً.
- 3- معدل السرعة = المسافة \ الزمن = $6 \div 50 = 8.33$ م \ ثا.
- 4- التّعجيل = س2 - س1 \ ن = $5 - 2 = 2.5$ م \ ثا².
- 5- التّعجيل = 9 - صفر \ 6 = 1.5 م \ ثا².
- 6- التّعجيل = 9 - صفر \ 9 = 1 م \ ثا².
- 7- التّعجيل = 9 - 5 \ 5 = 0.8 م \ ثا².

مثال: تزايدت سرعة عداء بمعدل (2 م \ ثانية) لكل ثانية من ثواني السباق البالغة (3 ثواني)، المطلوب إيجاد:

- 1- التّعجيل خلال الثانية الأولى.
- 2- التّعجيل خلال الثانية الأولى.
- 3- التّعجيل خلال الثانية والثالثة.
- 4- التّعجيل خلال الثلاث ثواني الأولى.

الحل:

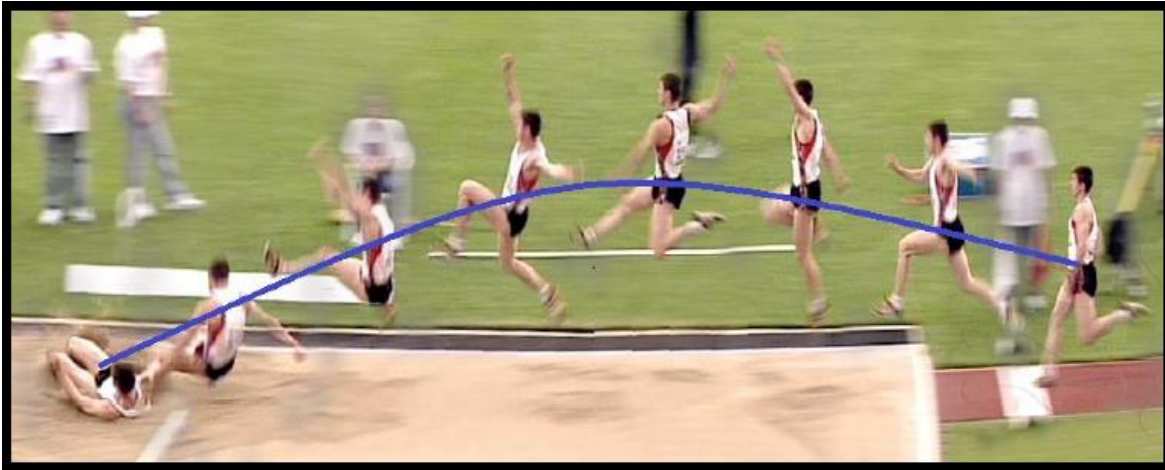


- 1- التّعجيل = س2 - س1 \ ن = $2 - 1 = 1$ م \ ثا².
- 2- التّعجيل = 4 - صفر \ 2 = 2 م \ ثا².
- 3- التّعجيل = 6 - 2 \ 2 = 2 م \ ثا².
- 4- التّعجيل = 6 - صفر \ 3 = 2 م \ ثا².

* المقذوفات في المجال الرياضي:

* المقذوف:

إن أي أداة أو جسم يكسر اتصاله مع شيء آخر وبزاوية معينة يسمى **مقذوف**، فمثلاً لاعب الوثب الطويل يكسر اتصاله مع لوحة الارتقاء في مرحلة الارتقاء بزواوية معينة وهنا نطلق على اللاعب مصطلح مقذوف، كذلك عند المناولة في كرة السلة أو الأعداد في الكرة الطائرة فإن الأداة تكسر اتصالها مع يد اللاعب فتسمى الكرة مقذوف ، ولا يختلف الموضوع كثيراً عندما يطلق الحكم كرة السلة إلى الأعلى في بداية الشوط، فإن الكرة ستنطلق إلى الأعلى بزواوية قائمة (الطيران الحر) وبسرعة معينة تتباطأ وتتوقف ثم تبدأ بالرجوع بتسارع إلى نقطة انطلاقها أو نقطة أعلى من نقطة انطلاقها (السقوط الحر)، وكذلك يحدث عند لاعب الترامبولين، واللاعب الذي يؤدي مهارة الضرب الساحق بالكرة الطائرة ، والفرد الذي يؤدي اختبار القفز العمودي (اختبار سارجنت)، إن هذا العمل بشكل بسيط سيقع تحت تأثير الجاذبية الأرضية والبالغ (9.81 م/ث²) أو (32 قدم/ث²) أو (980 سم/ث²)، حيث أن الجسم الساقط يتحرك بفعل تأثير الجاذبية الأرضية باتجاه مركز الكرة الأرضية.



ويختلف مقدار الجذب الأرضي على الجسم من موقع إلى آخر، حيث أن مقدار الجاذبية الأرضية (التعجيل الأرضي) يساوي (9.81 م/ث²)، أما في القطب فهو يساوي (9.83 م/ث²)، وفي خط الاستواء يساوي (9.77 م/ث²)، وكذلك يتعلق مقدار التعجيل الأرضي بارتفاع المكان عن مستوى سطح البحر.

وحسب قانون الجذب والذي ينص على ((أن الأداة أو الجسم يسقط في الفراغ بتعجيل ثابت مقداره (9.81 م/ث²) لكل ثانية))، ومثلما ذكرنا سابقاً فإن كرة السلة عند سقوطها من السكون، فإن سرعتها ستبلغ بعد ثانية واحدة (9.81 م/ثا)، وفي (2 ثانية) تصبح سرعتها (9.81 م/ثا + 9.81 م/ثا = 19.62 م/ثا)، فلو استغرقت الكرة عند سقوطها زمناً قدره (3 ثانية) فإنها ستصطدم بالأرض بسرعة مقدارها (29.43 م/ثا)، وفقاً لقانون الجذب وهو:

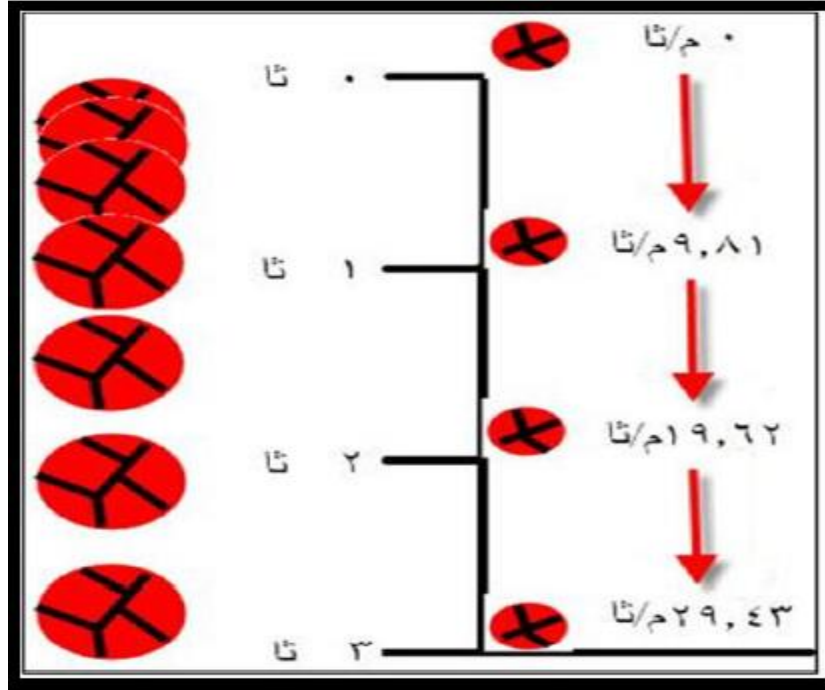
$$\text{الجذب} = \text{السرعة} / \text{الزمن}$$

$$\text{السرعة} = \text{الجذب} \times \text{الزمن}$$

$$\text{السرعة} = 3 \times 9.81 = 29.43 \text{ م/ثا.}$$

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية

مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي



إن دراسة حركة الأجسام المقذوفة تشمل كلاً من الأدوات في المجال الرياضي أو جسم الرياضي نفسه، حيث يخضع أي جسم اثناء انطلاقه في الهواء لقوانين ثابتة تحدد سيره والمسافة التي يقطعها والزمن الذي يستغرقه لقطع تلك المسافة، وإن الاهتمام بطبيعة الأجسام المقذوفة والعوامل التي تؤثر على حركة تلك الأجسام أصبح من الأمور الأساسية في المجال الرياضي، **ومما تقدم يمكن ملاحظة ما يلي:**

- مسافة الصعود = مسافة الهبوط.

- زمن الصعود = زمن الهبوط.

- إن **السرعة العمودية** تكون متساوية في أي نقطة من نقاط الصعود والهبوط، أما **السرعة الأفقية** فتكون ثابتة لأنها لا تتأثر بالجاذبية الأرضية.

- عندما ينتقل أو ينطلق جسم من الأسفل باتجاه الأعلى وبسرعة معينة فإنه يتحرك بتعجيل منتظم ولكن بشكل تناقصي ، أي أن سرعته تقل تدريجياً بفعل تعجيل الجاذبية الأرضية والبالغ (9.81 م/ث²) إلى أن تصبح سرعته النهائية في أعلى نقطة يصلها الجسم عندئذ تصبح هذه السرعة صفراً ، وما إن يبدأ الجسم بالنزول ثانيةً باتجاه الأرض حيث تبدأ سرعته بالازدياد تدريجياً ، وإن السرعة تكون متساوية في أي نقطتين متساويتين (نقطة النزول تقابل نقطة الصعود) سواءً في النزول والصعود ، كذلك نجد إن أقصى سرعة يبلغها الجسم اثناء النزول تكون قبل ملامسته للأرض ، لو أخذنا الزمن المستغرق لارتفاع الجسم وبلوغه أعلى نقطة نجد أن ذلك الزمن يساوي الزمن نفسه الذي يستغرقه من أعلى نقطة إلى الأرض ، وهذا في المسافات القريبة من سطح الأرض ، أما في المسافات البعيدة فالأمر يختلف وذلك حسب مبدأ السقوط الحر في الهواء ، حيث أن الجسم الساقط تزداد سرعته كل ثانية (9.81 م/ث²) حتى يصل إلى سرعته القصوى .

* المقذوف العمودي (الشاقولي أو الرأسي):

إن حركة الجسم النازل إلى الأسفل أو الصاعد إلى الأعلى هي حركة **تسريع منتظم**، وذلك لأن سرعته تتغير باستمرار، فإذا انطلق جسم من الأسفل إلى الأعلى بسرعة معينة فإنه يتحرك بتسريع منتظم وبشكل متناقص، أي أن سرعته تقل تدريجياً بفعل الجاذبية الأرضية إلى أن تصل سرعته إلى الصفر، وما أن يبدأ بالهبوط حتى تبدأ سرعته بالتزايد تدريجياً، وهنا يكون التسريع موجباً، لذا تكون أقصى سرعة له قبل ملامسته للأرض.

ويمكن أن نستخرج المسافة العمودية (أقصى ارتفاع) أو السرعة لهذا المقذوف أو الزمن الذي يستغرقه في حركته من المعادلات التالية:

$$* \text{ المسافة العمودية (أقصى ارتفاع) = التسريع الأرضي } \times (\text{الزمن})^2 / 2$$

$$[\text{المسافة العمودية (م) = ج } \times 2 / 2 \text{ ن}] \dots \dots \dots \text{ (معادلة 1)}$$

$$* \text{ المسافة العمودية (أقصى ارتفاع) = (السرعة)}^2 / 2 \times \text{التسريع الأرضي}$$

$$[\text{المسافة العمودية (م) = س}^2 / 2 \times \text{ج}] \dots \dots \dots \text{ (معادلة 2)}$$

ومن المعادلة رقم (2) يمكن أن نحصل على معادلة استخراج السرعة من خلال ضرب الطرفين للوسطيين في المعادلة السابقة وتكون:

$$* \text{ السرعة} = \sqrt{2 \times \text{ج} \times \text{م}} \dots \dots \dots \text{ (معادلة 3)}$$

مثال: جسم ينطلق للأعلى بسرعة (60 قدم/ثا)، أحسب أقصى ارتفاع يصله الجسم، وكذلك الزمن المستغرق للوصول لأعلى ارتفاع له.

الحل:

$$\text{المسافة العمودية (م) = س}^2 / 2 \times \text{ج}$$

$$= 32 \times 2 / 2 (60) = 3600 / 64 = 56.25 \text{ قدم}$$

أما الزمن:

$$\text{المسافة العمودية (م) = ج } \times 2 / 2 \text{ ن}$$

$$\leftarrow 112.5 = 2 \text{ ن} \times 32 \leftarrow 2 \times 56.25 = 2 \text{ ن} \times 32 \leftarrow 2 / 2 \text{ ن} \times 32 = 56.25$$

$$\leftarrow 2 \text{ ن} = 32 / 112.5 = 3.51 \leftarrow 2 \text{ ن} = 3.51 \leftarrow 3.51 = \sqrt{3.51} = 1.87 \text{ ثا}$$

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية

مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي

مثال: كرة تنطلق إلى الأعلى رأسياً بسرعة (80 قدم/ثا)، أحسب أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة، وكذلك الزمن الذي تستغرقه للوصول.

الحل:

المسافة العمودية (م) = $s \times 2 / 2$ ج

$$= (80) \times 2 / 2 = 6400 / 64 = 100 \text{ قدم.}$$

أما الزمن:

المسافة العمودية (م) = $s \times 2 / 2$ ن

$$100 = 32 \times 2 / 2 \text{ ن} \leftarrow 2 \times 100 = 32 \text{ ن} \leftarrow 200 = 32 \text{ ن} \leftarrow$$

$$2.5 \text{ ثا} = \sqrt{6.25} = \text{ن} \leftarrow 6.25 = 2 \text{ ن} \leftarrow 32 / 200 = 2 \text{ ن}$$

* ملاحظات مهمة:

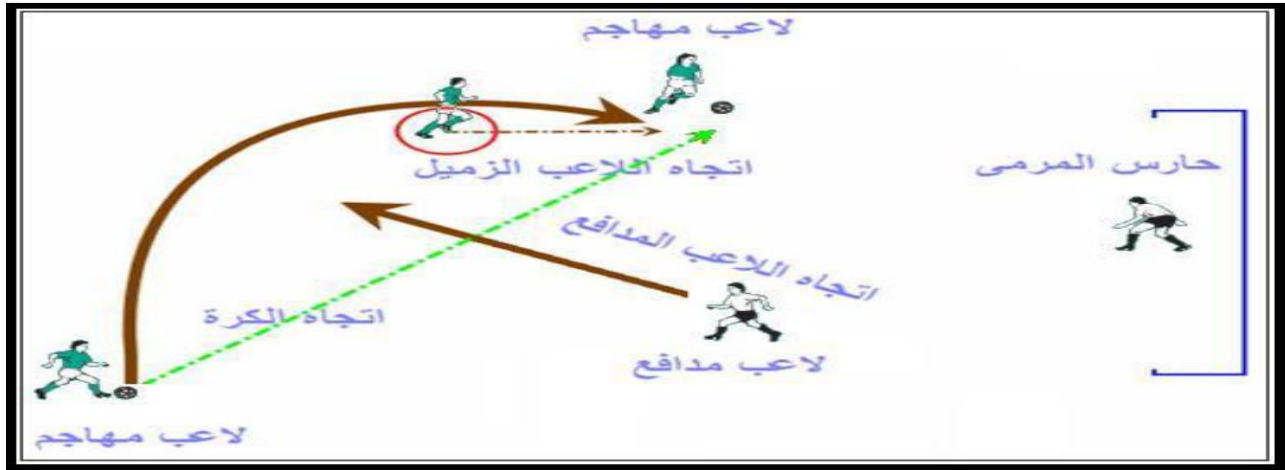
- 1- عندما يصل الجسم المقذوف إلى أقصى ارتفاع له تبلغ سرعته النهائية صفر، أي أن السرعة تتباطئ بالتدريج إلى أن تصل إلى أقصى ارتفاع فتصبح السرعة صفراً.
- 2- أما عندما يبدأ الجسم بالهبوط باتجاه الأرض تزداد سرعته تدريجياً، فنجد أن أقصى سرعة يصلها الجسم المقذوف اثناء النزول قبل ملامسته الأرض.
- 3- عند السقوط حراً للأسفل، فإن السرعة الابتدائية تساوي صفر والتعجيل الأرضي يساوي **9.81 م/ثا²**.
- 4- عند قذف الجسم عمودياً (رأسياً) للأعلى فإن السرعة النهائية تساوي صفر.
- 5- في المقذوفات العمودية (الرأسية) زمن الصعود يساوي زمن الهبوط إذا كان لهما نفس الارتفاع.
- 6- المقذوف هو أي جسم يتحرك بتأثير الجاذبية الأرضية ويخضع لنوعين من القوة هما: **قوة القذف وقوة الجاذبية الأرضية**.
- 7- إن كل (**9.81 م/ثا²**) تساوي (**32 قدم/ثا²**).
- 8- إن حركة الجسم النازل إلى الأسفل أو الصاعد إلى الأعلى هي حركة **تعجيل منتظم** لأن سرعته تتغير باستمرار.

* المقذوف بزواية مع الخط الأفقي:

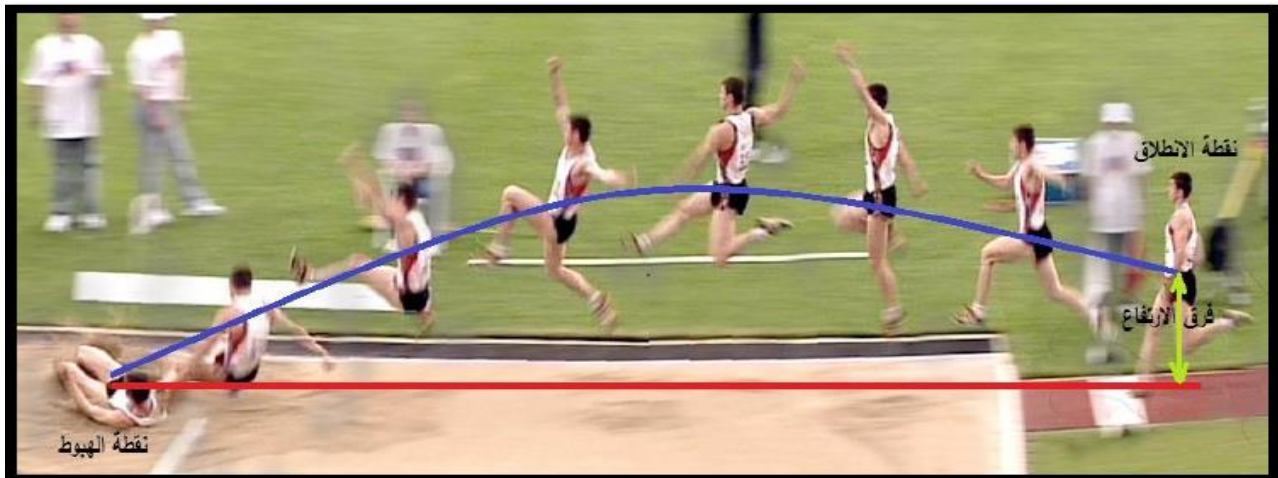
تظهر أهمية دراسة هذا المقذوف في المجال الرياضي، إذ نجد أن حركة الثقل أو الرمح أو القرص أو واثب العريض أو الففز العالي وغيرها من الفعاليات الرياضية تكون محكمة بقوانين ونظم ميكانيكية وتتجسد هذه في عوامل رئيسية تُقرر المسافة التي يقطعها هذا المقذوف، والتي سنأتي على ذكرها.

* أنواع المقذوف بزواية مع الخط الأفقي هي:

1- **نقطة الانطلاق بنفس مستوى نقطة الهبوط: مثل:** ركل الكرة لتميريرها للزميل أو واثب العريض إذن هنا لم نتعامل مع مركز الكتلة، بل إن التعامل يكون مع القدمين، وكذلك المناولة الصدرية في كرة السلة على أن يكون أطوال الرياضيين متساوية تقريباً، ويسمى هذا النوع من المقذوفات بالمقذوفات المتماثلة (لأن مستوى نقطة الانطلاق بنفس مستوى نقطة الهبوط).

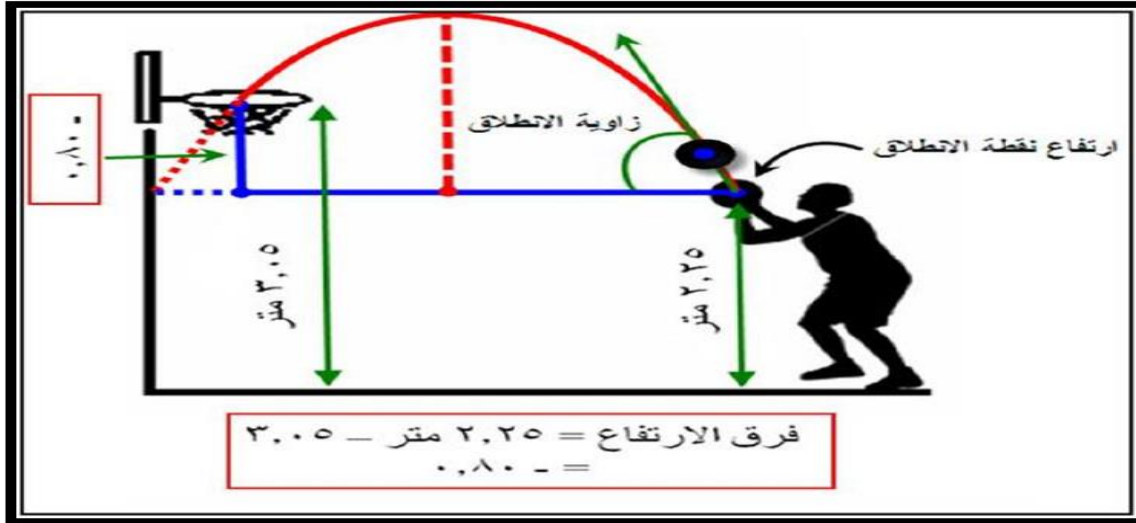


2- **نقطة الانطلاق أعلى من مستوى نقطة الهبوط: مثل:** الوثب العريض إذا تعاملنا مع مركز الكتلة أو رمي الرمح أو رمي المطرقة أو رمي الثقل، ويسمى هذا النوع من المقذوفات بالمقذوفات غير المتماثلة (لأن مستوى نقطة الانطلاق أعلى من مستوى نقطة الهبوط).



مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي

3- نقطة الانطلاق أقل من مستوى نقطة الهبوط: مثل: التهديد بكرة السلة وركل الكرة اثناء تنفيذ الركلة الركنية من أجل التهديد بالرأس على المرمى في كرة القدم، ويسمى هذا النوع من المقذوفات بالمقذوفات غير متمائلة (لأن مستوى نقطة الانطلاق أقل من مستوى نقطة الهبوط) .

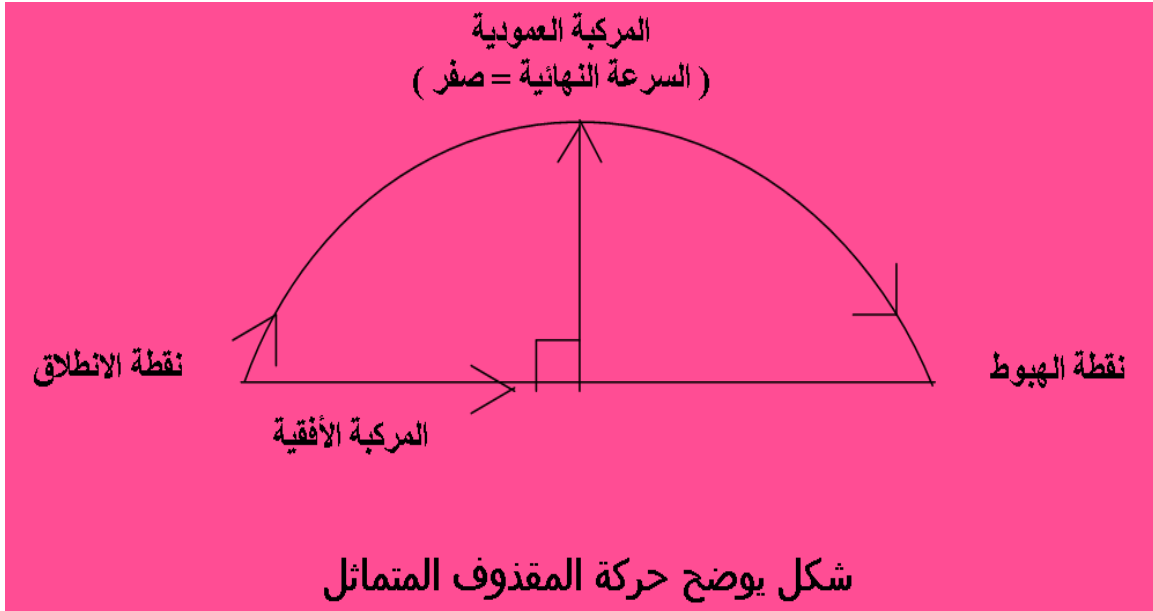


* العوامل المؤثرة على المسافة الأفقية هي:

- 1- سرعة الانطلاق.
- 2- زاوية الانطلاق.
- 3- مستوى الانطلاق والهبوط.

1- سرعة الانطلاق:

تلعب سرعة الانطلاق الدور الأكثر تأثير في تحقيق المسافة الأفقية، إذ أن رمي الأداة بقوة يعني زيادة سرعتها مما يؤدي إلى حركتها مسافة أكبر ، ومن أجل فهم هذه الحالة لا بد أن نعرف إن الأداة المقذوفة عندما تترك الأرض أو اتصالها بجسم متصل بالأرض فإن سرعة الطيران تتكون من مركبتين أحدهما أفقية موازية للأرض والأخرى عمودية وتشكل مع الأولى زاوية قائمة ونتيجة لتأثير الجاذبية الأرضية فإن المركبة العمودية تتناقص تدريجياً إلى أن تصل سرعتها للصفر ثم تبدأ بالتزايد التدريجي وتصل أقصى سرعة لها لحظة التلامس مع الأرض، وهنا بعد ترك الاتصال يفقد المقذوف مصدر القوة الذي يسبب السرعة فتتحدد المسافة، وإن في حالة المقذوف المتمائل تكون السرعة الابتدائية تساوي السرعة النهائية ، إذ أن المتغير هنا يكون فوق في السرعة العمودية وتتناقص في الصعود وتعود إلى نفس مقدارها عند الهبوط ، بينما تبقى السرعة الأفقية بنفس المقدار من لحظة الانطلاق وحتى لحظة الهبوط، وإن المقذوف بنفس المستوى يكون على شكل قطع مكافئ ، وبالتالي فإن زمن النصف الأول يساوي زمن النصف الثاني ، وبالتالي فإن المسافة في النصفين تكون متساوية هي الأخرى ، وهذا يمكن أن يحدث في حالة عدم الأخذ بنظر الاعتبار لمقاومة الهواء التي تؤثر على مسار الهبوط في هذا المقذوف .



شكل يوضح حركة المقذوف المتماثل

شكل رقم

2- زاوية الانطلاق:

إن الزاوية تؤثر على المسافة الأفقية ، ففي حالة المقذوف بالمستوى المتماثل تكون أفضل زاوية هي الزاوية (45 درجة) وهي تحقق أفضل مسافة أفقية ، وذلك لأن (جا الزاوية 45) يساوي بالمقدار (جتا الزاوية 45) وهو يساوي (0.7) ، وكذلك لأن المسافة التي يقطعها المقذوف للوصول إلى أعلى نقطة هي نفس المسافة التي يقطعها المقذوف من أعلى نقطة إلى أن يصل إلى نقطة الهبوط (القطع المكافئ) ، بينما تكون الزاوية (30 درجة) أفضل زاوية لتحقيق أفضل مسافة بأقل زمن أي بسرعة عالية ، ففي حالة الهجوم السريع يتطلب إيصال الكرة إلى أبعد مسافة ولكن بسرعة ، وهذا يتطلب أن تقل الزاوية لتصل بحدود (30 درجة) وهذه القاعدة تكون في حالة المقذوف المتماثل فقط ، بينما تكون الزاوية في المقذوف بزواوية مع الخط الأفقي من مستويات انطلاق أعلى من مستوى الهبوط فتعتمد على القدرات البدنية والقياسات الجسمية للاعبين ، وبكل الأحوال تكون من (30 – 40 درجة) ، بينما تزداد في حالة المقذوف من النوع الثالث وهي تكون أكبر من الزاوية (45 درجة) ، كما في كرة السلة فإن نقطة الانطلاق أقل من مستوى نقطة الهبوط وتكون بزواوية (55 – 60 درجة) .

* وتأثر زاوية الانطلاق للمقذوف أيضاً بثلاث عوامل هي:

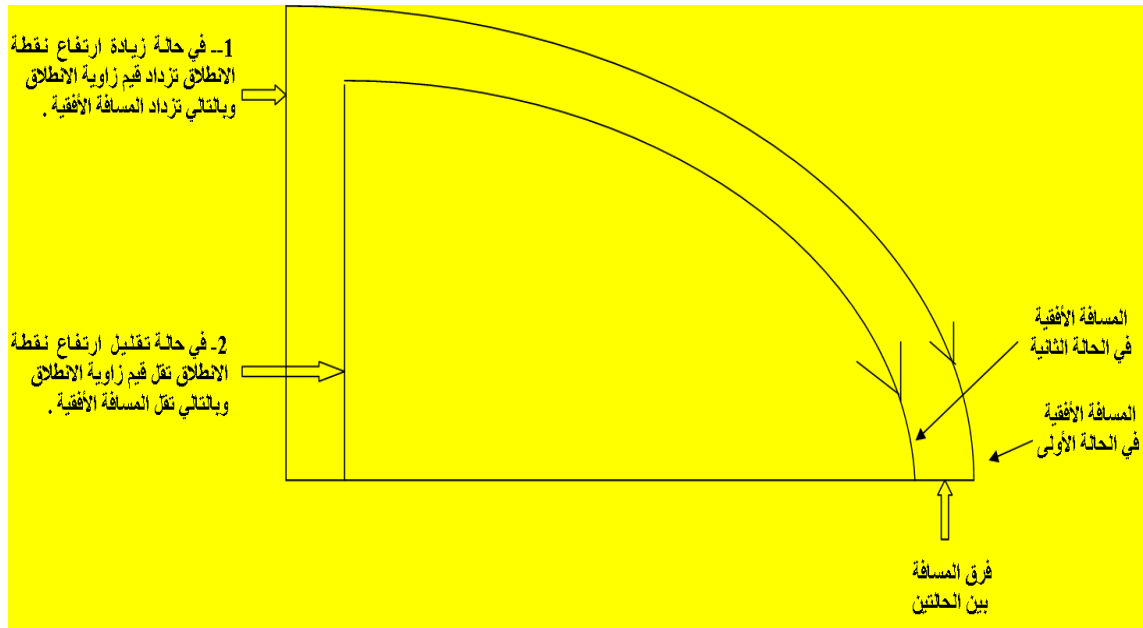
1- سرعة الانطلاق.

2- مستوى الانطلاق والهبوط.

3- مقاومة الهواء والرياح، فإذا كانت حركة الأداة باتجاه حركة الريح فإن الزاوية تكون أكبر، بينما تقل الزاوية إذا كانت حركة الأداة باتجاه معاكس لحركة الريح، وهذا يدخل ضمن تطبيق المتجهات أيضاً والذي ذكرناه سابقاً.

3- مستوى الانطلاق والهبوط:

إن ارتفاع نقطة الانطلاق يؤثر هو الآخر على المسافة الأفقية التي يقطعها الجسم المقذوف بزواوية، وذلك لأن أي زيادة في الارتفاع يؤثر على المركبة العمودية وبالتالي فإن زمن الطيران في الهبوط يزداد، مما يعني حركة الجسم على المستوى الأفقي تكون بشكل أكبر حتى تلامس الأداة الأرض، وإن الزيادة تلك تعتمد على ارتفاع نقطة الانطلاق إذ تزداد بزيادتها، وإن هذا ينطبق على المقذوف من النوع الثاني (نقطة الانطلاق أعلى من مستوى نقطة الهبوط)، وكما ذكرنا إن ارتفاع نقطة الانطلاق يؤثر على زاوية الانطلاق، ففي حالة زيادة ارتفاع نقطة الانطلاق تزداد قيم زاوية الانطلاق وبالعكس، وفي الشكل التالي يوضح في حالة تساوي سرعة الانطلاق وزاوية الانطلاق فإن الفارق في المسافة يكون أكبر وذلك بسبب ارتفاع نقطة الانطلاق ، كما موضح في الشكل التالي :



* ومن خلال كل ما تقدم يمكن صياغة المعادلات التي يمكن من خلالها استخراج **المسافة الأفقية والزمن** في حالة المقذوف من النوع الأول وهو المستوى المتماثل أي نقطة الانطلاق بنفس مستوى نقطة الهبوط وكالاتي:

* **المسافة الأفقية = (السرعة)² × جا ضعف الزاوية / التعجيل الأرضي**

المسافة الأفقية (م) = $s^2 \times \text{جا } 2 \text{ الزاوية} / ج$ (المعادلة رقم 1)

* **الزمن = 2 × السرعة × جا الزاوية / التعجيل الأرضي**

الزمن (ن) = $2 \times s \times \text{جا الزاوية} / ج$ (المعادلة رقم 2)

* وإن الزمن يتأثر بسرعة المقذوف والمسافة الأفقية التي يقطعها وكذلك بالزاوية.

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي

مثال: كرة تنطلق بسرعة (10 م/ثا) وكانت زاوية الانطلاق تساوي (40 درجة)، أحسب المسافة الأفقية التي تقطعها الكرة لتصل للأرض ثم أحسب الزمن المستغرق لذلك. **علماً أن:** جا الزاوية $40 = 0.64$ ، جا الزاوية $80 = 0.98$

الحل:

$$\text{المسافة الأفقية (م)} = \text{س}^2 \times \text{جا } 2 \text{ الزاوية} / \text{ج}$$

$$= (10)^2 \times \text{جا } 2 / 40 = 9.8$$

$$= 100 \times \text{جا } 80 / 9.8 =$$

$$= 100 \times 0.98 / 9.8 =$$

$$= 9.8 / 98 = 10 \text{ متر.}$$

$$\text{الزمن (ن)} = 2 \text{ س} \times \text{جا الزاوية} / \text{ج}$$

$$= 2 \times 10 \times \text{جا } 0.64 / 9.8 = \text{الزمن (ن)}$$

$$= 12.8 / 9.8 = \text{الزمن (ن)}$$

$$= 1.3 \text{ ثانية.}$$

مثال: يستغرق واثن العريض لقطع مسافة أفقية من لحظة الارتقاء إلى الهبوط على الأرض زمن مقداره (1 ثانية) وكانت زاوية انطلاقه (41 درجة)، أحسب سرعة الانطلاق للواثن. **علماً أن** جا الزاوية $41 = 0.65$

الحل:

$$\text{الزمن (ن)} = 2 \text{ س} \times \text{جا الزاوية} / \text{ج}$$

$$= 2 \times \text{س} \times \text{جا } 41 / 9.8 = 1$$

$$= 2 \times \text{س} \times 0.65 / 9.8 = 1$$

$$1.3 \text{ س} = 9.8$$

$$\text{س} = 9.8 / 1.3 = 7.53 \text{ م/ثا.}$$

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية

مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي

* البايوكينماتيك الزاوي:

ويختص هذا الفرع من علم البايوميكانيك في دراسة الحركة ويصفها وصفاً مجرداً دون البحث في مسبباتها عندما تكون الحركة على شكل دوائر أو أجزاء من دوائر.

* المسافة والإزاحة الزاوية:

إذا تحرك جسم حركة دائرية حول محور دوران وكان هذا المحور خارجي، كما في حركة لاعب الجمناستك على العقلة في حركة الدورة الكبرى، فإن المسافة تكون هي الفرق بين الوضع الأول لبدء الحركة والوضع النهائي الذي يصله الجسم في حركته، وتقاس المسافة هنا بوحدات مختلفة عن وحدات قياس المسافة الخطية، إذ تكون عن طريق الدورات أو القطاعات أو الدرجات والتي تكون هي الوحدة الأصغر بين تلك الوحدات التي تم ذكرها، فإذا أكمل اللاعب دورة كاملة مثلاً، فإنه يكون قد قطع مسافة (دورة واحدة) أو (6.28 قطاع) أو (360 درجة)، أما إذا قطع مسافة أقل ولم ينهي الدورة كاملة، أي قطع حركته قبل الوصول للوضع الأول لبدء الحركة، فإنه يكون قطع مسافة أقل من (360 درجة) كأن تكون مسافة (320 درجة).

أما الإزاحة الزاوية، فيمكن أن نستدل عليها من خلال الفرق بين وضعي الجسم من بداية الحركة إلى نهاية الحركة، وهو كما يلي: $360 - 320 = 40$ درجة.

أي أن في الدائرة الواحدة تكون الزاوية فيها تساوي (360 درجة)، لذلك فإن أي مسافة زاوية ستكون مساوية للإزاحة الزاوية إذا كانت الحركة لم تكمل دورة كاملة أي حتى الوصول إلى الزاوية (359 درجة) فإن مسافتها الزاوية تساوي إزاحتها الزاوية، فمثلاً إن المسافة الزاوية لدرجة (90) هي نفسها الإزاحة الزاوية، أما الدرجة (370) فإن إزاحتها هي (370 - 360 = 10 درجة)، كما في الركض المستقيم بفعالية (100م)، باستثناء الدورة الكاملة فإنها تبدأ من نقطة الصفر وتنتهي في نقطة (360 درجة)، فإن إزاحتها تكون (صفر) مثلما يحدث في فعالية ركض (400م).

مثال: مطرقة تدور (4 دورات)، إذا علمنا أن كل دورة هي (360 درجة)، فما هي المسافة والإزاحة الزاوية؟

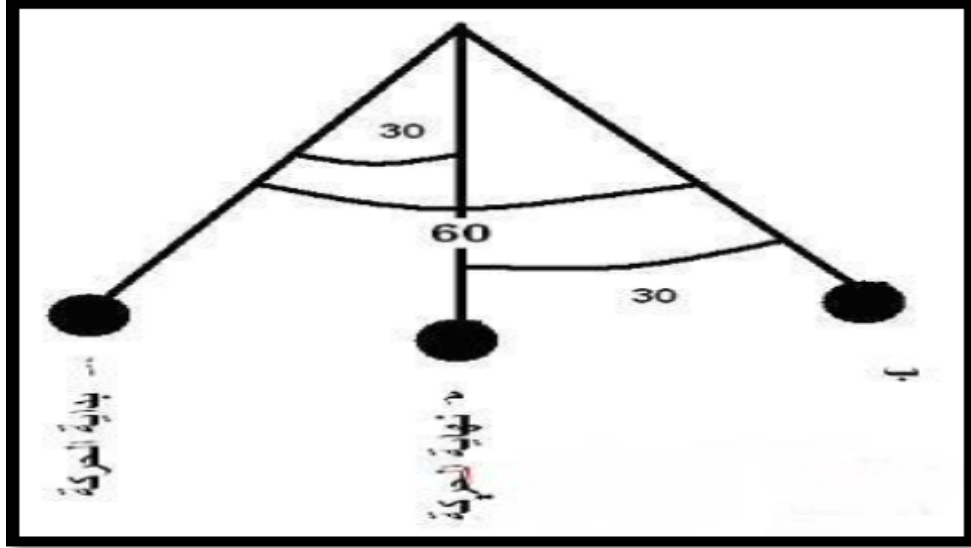
الحل: المسافة الزاوية = $4 \times 360 = 1440$ درجة.

أما الإزاحة الزاوية = 0

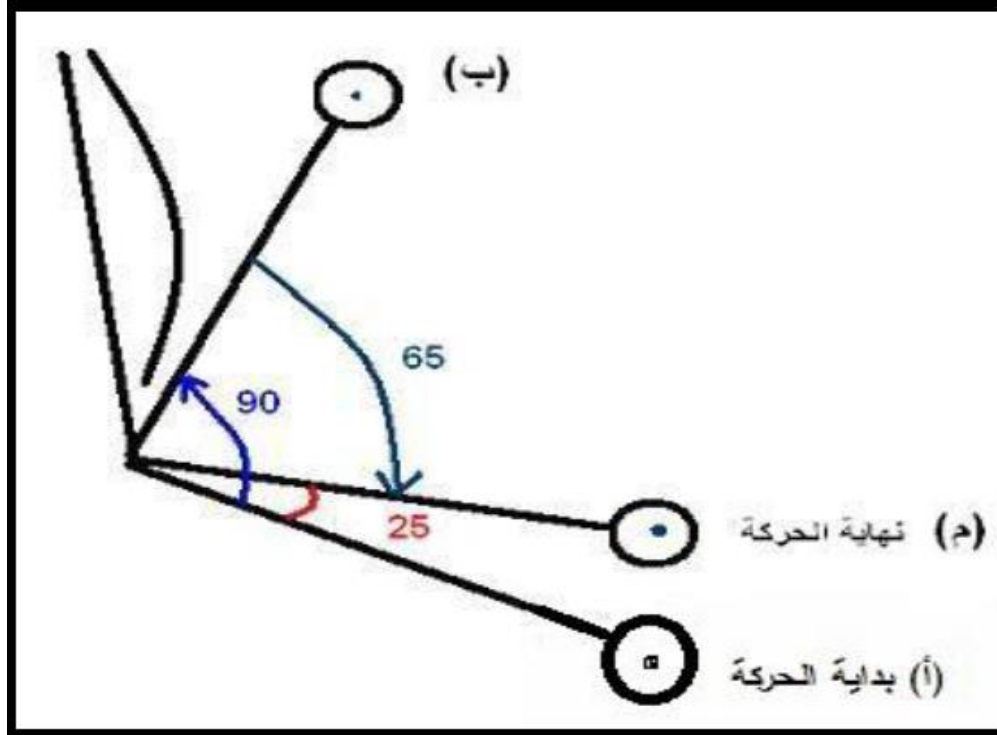
أما في البندول الأمر يختلف، فإننا نمسك الخيط أو الجزء الذي سيتأرجح ثم نطلقه فيذهب من نقطة (أ) إلى نقطة (ب) ماراً من منتصف المسافة (م) وسيتكرر ذلك حتى التوقف عن الحركة، ولكن البندول سيستقر في النقطة (م) وهي نقطة المنتصف، وبهذا تكون الإزاحة الزاوية هي من نقطة (أ) إلى نقطة (م)، أما المسافة الزاوية فهي كل المدى لحركة البندول.

أي: المسافة الزاوية = $30 + 60 = 90$ ، والإزاحة الزاوية = $60 - 30 = 30$

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية
مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي



وكذلك فإن تمرين (كيرل) ثني ومد الدمبلص من نقطة (أ) إلى نقطة (ب) ثم الرجوع إلى النقطة (م) فإن الإزاحة الزاوية تحسب حسب مسألة البندول، حيث أن الذراع تبدأ بالثني من نقطة (أ) بداية الحركة، فتصل إلى أقصى ثني في النقطة (ب) نهاية الثني، حيث تكون قد قطعت زاوية مقدارها (90 درجة) ثم ترجع إلى الزاوية (65 درجة) نهاية الحركة، وبذلك تكون قد قطعت **مسافة زاوية** مقدارها $(90 + 65 = 155$ درجة)، أما **الإزاحة الزاوية** فهي $(90 - 65 = 25$ درجة) **وتُعرّف** بأنها قيمة الزاوية بين بداية الحركة ونهايتها.



* السرعة الزاوية:

تُعرّف بأنها المعدل الزمني لتغير الانتقال الزاوي للجسم أو هي معدل الإزاحة الزاوية.

$$* \text{ السرعة الزاوية} = \text{الانتقال الزاوي} / \text{الزمن}$$

وكما ذكرنا سابقاً فإن طريقة حساب السرعة الزاوية في هذه الحالة تتشابه مع السرعة في الحركة الخطية والتي تم التطرق لها سابقاً، ولكن تختلف عنها في وحدة القياس، فوحدة قياس السرعة الزاوية هي (درجة/ثا).

فإذا دار الجسم دائرة كاملة فإنه يقطع مسافة تساوي (360) درجة، أما إذا تحرك مسافة على محيط الدائرة تساوي نصف قطر الدائرة، فتتكون زاوية مقابلة لتلك المسافة يطلق عليها الزاوية النصف قطرية (القطاع)، وإن كل دائرة تحتوي على (6.28) قطاع، وإن عدد درجات القطاع الواحد هي (57.3) درجة، وهذا الدرجة حصلنا عليها من خلال تقسيم: $57.3 = 6.28 / 360$ درجة.

مثال: رمي مطرقة يدور (ثلاث دورات) أفقية بزمن قدره (2.5 ثانية)، فما هي السرعة الزاوية للمطرقة بالدرجات والقطاعات؟

الحل:

في البداية نستخرج الانتقال الزاوي من خلال الخطوة التالية:

$$\text{الانتقال الزاوي} = 360 \times 3 = 1080 \text{ درجة.}$$

$$\text{السرعة الزاوية (س ز)} = \text{الانتقال الزاوي} / \text{الزمن}$$

$$\text{س ز} = 1080 / 2.5 = 432 \text{ درجة / ثا.}$$

ومن أجل استخراج السرعة بالقطاع يمكن أن نحول ناتج السرعة الزاوية بالدرجات إلى القطاعات، وكما يأتي:

$$\text{س ز} = 57.3 / 432 = 7.5 \text{ قطاع.}$$

كما يمكن أن نستخرج السرعة الزاوية بالقطاعات من خلال:

$$18.84 = 57.3 / 1080 \text{ قطاع.}$$

$$\text{س ز} = 2.5 / 18.84 = 7.5 \text{ درجة / ثا.}$$

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي

مثال: رامي ثقل يدور دورتين ونصف بزمن قدره (1.5 ثانية)، فما هي سرعته الزاوية بالدرجات والقطاعات؟

الحل:

الانتقال الزاوي = $360 \times 2.5 = 900$ درجة.

السرعـة الزاوية (س ز) = الانتقال الزاوي / الزمن

س ز = $900 / 1.5 = 600$ درجة / ثا.

س ز = $600 / 57.3 = 10.47$ قطاع.

سؤال: ذراع رياضي تتحرك مسافة (114.6 درجة) بزمن قدره (0.5 ثانية)، أحسب السرعة الزاوية بالدرجات والقطاعات، وما هي السرعة الخطية لليد إذا كان طول الذراع (0.60 م)؟

الأجوبة هي: 229.2 درجة/ثا ، 4 قطاع ، 1.2 م/ثا

* السرعة الخطية في الحركة الدورانية (السرعة المحيطية):

تُعرّف السرعة المحيطية بأنها المسافة التي يقطعها الجسم على محيط الدائرة خلال زمن معين، وتوجد هناك علاقة بين السرعة المحيطية والسرعة الزاوية وهي ذات أهمية كبيرة، حيث يمكن التعرف على تلك العلاقة من خلال:

$$* \text{الزاوية النصف قطرية} = \text{طول القوس} / \text{نصف القطر} \dots\dots \text{(المعادلة رقم 1).}$$

$$* \text{طول القوس} = \text{الزاوية النصف قطرية} \times \text{نصف القطر} \dots\dots \text{(المعادلة رقم 2).}$$

وبما أن: طول القوس هو المسافة

$$\text{وأن السرعة} = \text{المسافة} / \text{الزمن} \dots\dots \text{(المعادلة رقم 3).}$$

فيمكن أن نستعيض عن المسافة بطول القوس والذي يساوي الزاوية النصف قطرية \times نصف القطر

فتصبح المعادلة:

$$* \text{السرعة} = \text{الزاوية النصف قطرية} \times \text{نصف القطر} / \text{الزمن} \dots\dots \text{(المعادلة رقم 4).}$$

وبما أن: **الزاوية النصف قطرية / الزمن = السرعة الزاوية**، حيث أن الزاوية النصف قطرية هي انتقال زاوي أيضاً.
أي أن:

$$* \text{السرعة المحيطية} = \text{الزاوية النصف قطرية} / \text{الزمن} \times \text{نصف القطر} \dots\dots \text{(المعادلة رقم 5).}$$

فتكون المعادلة النهائية هي:

$$* \text{السرعة المحيطية} = \text{السرعة الزاوية} \times \text{نصف القطر} \dots\dots \text{(المعادلة رقم 6).}$$

أما وحدة قياس السرعة المحيطية هي: (م / ثا) أو (سم / ثا) أو (قدم / ثا).

ومن هذه المعادلة يمكن أن نفسر حركة الكثير من الأجسام عند دورانها، فمثلاً: لاعب العقلة يتحرك حركة دورانية، فنجد أن السرعة المحيطية لمفصل الكتف تكون أقل من السرعة المحيطية لمفصل الورك، وكذلك السرعة المحيطية لمفصل الورك أقل من السرعة المحيطية لمفصل الركبة، وهذا ناتج عن بعد المسافة بين النقاط عن محور الدوران (العقلة).

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي

مثال: لاعب كرة قدم يركل الكرة وكانت الرجل الراكلة تتحرك بسرعة زاوية (1.4 درجة / ثا)، أحسب السرعة المحيطية لمفصل الركبة، إذا علمت أنها تبعد عن محور الدوران (0.5 م)، وما هي سرعة مفصل الكاحل المحيطية إذا كانت تبعد عن المحور (0.8 م)؟

الحل:

السرعة المحيطية = السرعة الزاوية (س ز) × نصف القطر (نق)

السرعة المحيطية للركبة = $0.5 \times 1.4 = 0.7$ م/ثا

السرعة المحيطية للكاحل = $0.8 \times 1.4 = 1.12$ م/ثا

* ولذلك فإننا دائماً نعمل على إطالة نصف القطر من خلال مد أجزاء الجسم عند رمي أو ضرب أو ركل أداة في المجال الرياضي، وذلك من أجل زيادة السرعة المحيطية.

* التعجيل الزاوي:

عرّفنا سابقاً **التعجيل** بأنه المعدل الزمني لتغير السرعة في الحركة الخطية، بينما يُعرّف في الحركة الدورانية بأنه **معدل التغير في السرعة الزاوية** أو هو التغير في السرعة الزاوية الحادثة لفترة زمنية، ومعادلته تكون هي:

* **التعجيل الزاوي = السرعة الزاوية الثانية – السرعة الزاوية الأولى / الزمن.**

* **ت ز = س ز 2 – س ز 1 / ن**

أو: **التعجيل الزاوي = السرعة الزاوية النهائية – السرعة الزاوية الابتدائية / الزمن.**

* أما وحدة قياس التعجيل الزاوي هي: (درجة / ثا²).

* من المعروف أن طبيعة حركة الأجسام بشكل دائري حول محور معين تتأثر بشكل كبير بنصف القطر ، **مثال على ذلك:** إذا تحرك جسمان على دائرتين أحدهما صغيرة والأخرى كبيرة وبسرعة واحدة فإن الجسم الذي يتحرك حول الدائرة الصغيرة يعمل على تغيير اتجاهه نحو المركز بشكل أكثر حدة من الجسم الذي يدور حول الدائرة الكبيرة، وهذا بسبب طبيعة اختلاف انصاف الأقطار وأن تغير اتجاه الحركة اثناء الدوران يؤدي إلى اختلاف سرعته، ومن ذلك ندرك أن تغير السرعة حول الدائرة الصغيرة يكون أكبر، إذ أن العلاقة بين التعجيل للجسم الذي يتحرك حركة دورانية ونصف القطر تكون علاقة عكسية.

مادة البايوميكانيك الرياضي \ المرحلة الثانية مدرس المادة : أ.د وائل قاسم المحمداوي

مثال: تحركت كرة بسرعة زاوية قيمتها (10 درجة/ثا) في الوضع (أ) وبسرعة زاوية قدرها (9 درجة/ثا) في الوضع (ب) خلال فترة زمنية مقدارها (0.02 ثانية)، أحسب التعجيل الزاوي للكرة؟

الحل:

التعجيل الزاوي = السرعة الزاوية الثانية – السرعة الزاوية الأولى / الزمن

$$ت ز = س ز 2 - س ز 1 / ن$$

$$ت ز = 10 - 9 / 0.02$$

$$ت ز = 1 / 0.02$$

$$ت ز = 50 \text{ درجة} / \text{ثا}^2$$

سؤال واجب 1: استطاع عداء عالمي أن يتحرك بسرعة (10 م/ثا)، أحسب السرعة الزاوية لرجله، علماً أن طول رجله (85 سم).

سؤال واجب 2: تحرك جسم من نقطة (أ) إلى نقطة (ب) بزمن قدره (0.3 ثانية) وقطع زاوية قدرها (90 درجة) وكان بعد هذا الجسم عن محور الدوران (0.06 م)، أحسب السرعة المحيطية لذلك الجسم؟