وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة البصرة

كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة

فرع العلوم التطبيقية

البايوميكانيك الرياضي

المرحلة الثانية

2024-2025م

إعداد

الإستاد الدكتور

وائل قاسم جواد المحمداوي

مادة البايوميكانيك الرياضي/ المرحلة الثانية (2024-2025م)
إستاذ المادة: أ.د وائل قاسم المحمداوي

مفردات مادة البايوميكانيك الرياضي / المرحلة الثانية

الأسبوع	التاريخ	المادة النظرية
1		مفهوم علم البايوميكانيك وتاريخ نشأته
2		أقسام البايوميكانيك - علاقة البايوميكانيك بالعلوم الأخرى
3		أهمية وواجبات البايوميكانيك (العامة - الخاصة)
4		المحاور والمسطحات - نسبية الحركة وأبعاد الحركة (النظام الإحداثي)
5		مفهوم الحركات وأنواعها وأشكالها
6		البايوكينماتيك الخطي
7		المسافة والإزاحة الخطية
8		السرعة كمية متجهة
9		تحليل المتجهات
10		إيجاد المحصلات
11		التعجيل الخطي
12		التأثير الميكانيكي للعضلات في الحركات الخطية
13		حركة المقذوفات والمقذوف العمودي (الشاقولي)
14		المقذوفات بزاوية مع خط الأفق
15		امتحانات الفصل الأول
16		البايوكينماتيك الزاوي
17		المسافة والإزاحة الزاوية
18		السرعة الزاوية والسرعة المحيطية
19		التعجيل الزاوي
20		مفهوم الكينتك وأقسام الكينتك الخطي والزاوي
21		مفهوم القوة وجمع القوى
22		(تكملة موضوع) مفهوم القوة وجمع القوى
23		قوانين نيوتن في الحركة – قانون نيوتن الأول
24		قانون نيوتن الثاني
25		قانون نيوتن الثالث
26		الشغل الميكانيكي
27		القدرة
28		الطاقة الحركية والكامنة
29		الدفع وكمية الحركة
30		امتحان الفصل الثاني

* مفهوم علم البايوميكانيك وتاريخ نشأته

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، ويتم تعريب هذا المصطلح تحت عنوان (الميكانيكا الحيوية)، وهو علم يهتم بحركات الإنسان والحيوان والنبات، وهو علم قديم جداً وأشتق من علم الميكانيك **وسمي بالبايوميكانيك** لأنه يدرس حركة الكائنات الحية.

- ويمتزج في هذا العلم كل من علوم التشريح والميكانيك والفيزياء والرياضيات، فضلاً عن علوم أخرى تدخل في صناعة الأجهزة والأدوات وغيرها،

- وكان (أرسطو) أول المهتمين بهذا العلم في عام (323-284 ق.م)، إذ تطرق في مؤلفاته إلى مركز الثقل وقوانين الروافع (العتلات) وأثرها في حركة الأجسام، كما وصف حركة المشي – وسرعة العدو عند العدائين،

- وكان العالم والرسام الإيطالي (ليوناردو دافنشي) في عام (1452-1519م) من المهتمين بدراسة الوضع التشريحي لجسم الإنسان وأكد على أن جسم الإنسان يخضع للقوانين الميكانيكية،

- وفي عام (1642-1728م) وضع (إسحاق نيوتن) قوانينه في الحركات التي لا تزال معروفه باسمه.

---

* تعريف علم البايوميكانيك

- **يُعرف البايوميكانيك:** بأنه العلم الذي يهتم بدراسة وتحليل حركات الإنسان تحليلاً كمياً ونوعياً بغرض زيادة كفاءة الحركة الإنسانية.

- **كما يُعرفه جيمس هاي:** بأنه العلم الذي يدرس القوى الداخلية والخارجية المؤثرة على الجسم والآثار الناتجة عن تلك القوى، ويقصد بالقوى الداخلية هي قوة عضلات الجسم، أما القوى الخارجية فهي المقاومات التي تحيط بجسم الإنسان مثل قوة الجاذبية الأرضية والاحتكاك ومقاومة الماء والهواء.

- **كما يُعرف أيضاً البايوميكانيك الرياضي** بأنه **العلم الذي يهتم بدراسة وتحليل الحركات الرياضية تحليلاً كمياً ونوعياً بغرض زيادة كفاء الحركة الرياضية.**

- **تعريف العالم الألماني (هوخموث)** وهو التعريف الأكثر شمولية 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 وفسلجة وقياسات أنثروبومترية.

* أقسام علم 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، فأن ما يهمنا 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- البايوكيناتيك: 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 البايوكيناتيك مستقيم (خطي) أو دائري (زاوي).

---

* أهمية علم 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.

* واجبات علم 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 والمدرب لتحديد الأخطاء واكتشافها موضوعياً اثناء 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.

---

* البايوميكانيك وعلاقته بالعلوم الأخرى

- يعتمد علم البايوميكانيك على التشريح كعلم يهتم ببناء جسم الإنسان وتكوينه (الخلايا والأنسجة والعضلات والمفاصل)، وكذلك للبايوميكانيك علاقة بالفسلجة وهو العلم الذي يهتم بدراسة وظائف جسم الإنسان وأنسجته، بالإضافة إلى علاقة علم البايوميكانيك بالرياضيات والفيزياء والكيمياء من خلال إيجاد الحلول الكثيرة التي تتعلق بقياس جسم الإنسان وأدائه والدقة في وضع النتائج والأرقام الحاصلة في حركة الأجسام المادية وتغيرات المادة، وكما أن للبايوميكانيك اهتمامات فسيولوجية وميكانيكية فإن له علاقة سيكولوجية أيضاً من خلال جميع المعلومات التي حصل عليها علماء النفس من تفسيرات للتراكيب السيكولوجية اثناء عملية التعلم والتي هي نتيجة الملاحظة لحركة الإنسان في المواقف التعليمية المختلفة، وأخيراً فالبايوميكانيك علاقة مع نظريات التربية الرياضية لإنه علم تربوي يهتم في إيجاد الحلول ووضع الطرق والنتائج الملائمة والمطابقة لحركات الإنسان للوصول إلى الأداء المثالي.

* المحاور والمستويات (المسطحات)

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

أولاً: المحاور التي تدور حولها الحركة:

هنالك ثلاثة محاور وهمية أساسية أصلية تدور حولها الحركات الرياضية وهي:

1- المحور الطولي (العمودي):

وهو المحور الوهمي الذي يخترق الجسم من قمة الرأس إلى أسفل الجسم، وعادةً ما يكون عمودي على المستوى الأفقي، ومن أمثلة الحركة حول هذا المحور للجسم كاملاً هي دوران الجسم حول نفسه من وضع الوقوف، أما لجزء من الجسم فهو حركة فتل الرأس إلى الجانبين، وكذلك فتل الجذع يميناً ويساراً.

2- المحور العرضي (الأفقي):

وهو محور يخترق الجسم من جانب لجانب أخر، ويكون عمودي على المستوى الجانبي وهو موازي للأرض، ومن أمثلة الحركة حول هذا المحور للجسم كاملاً هو الدحرجة الأمامية أو قفزة اليدين الأمامية في الجمناستك، أما لجزء من الجسم هو ثني الجذع إلى الأمام أو ثني الذراع من المرفق.

3- المحور العميق (السهمي):

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 العجلة البشرية في الجمناستك، أما لجزء من الجسم فهي ثني الجذع جانباً أو رفع الذراعين جانباً.

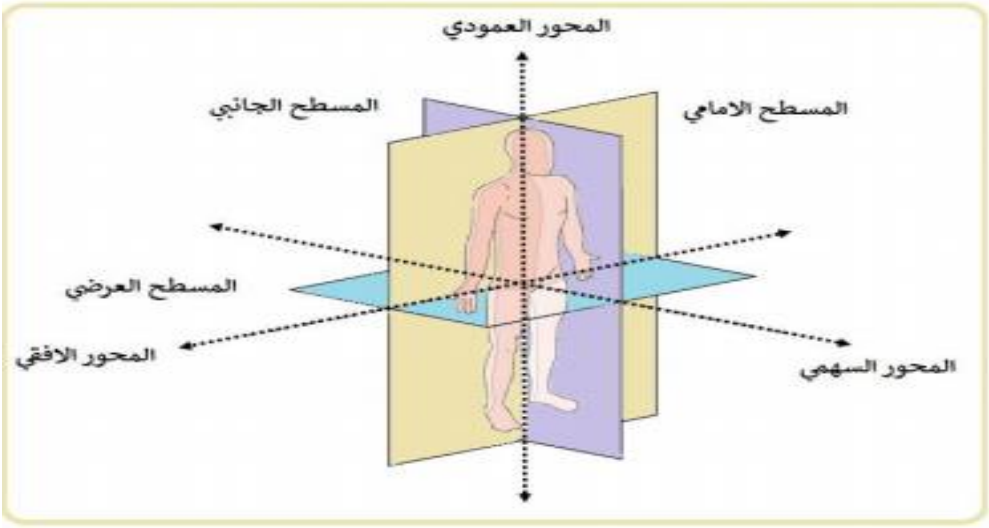
ثانياً: المستويات أو المسطحات التي تدور حولها الحركة:

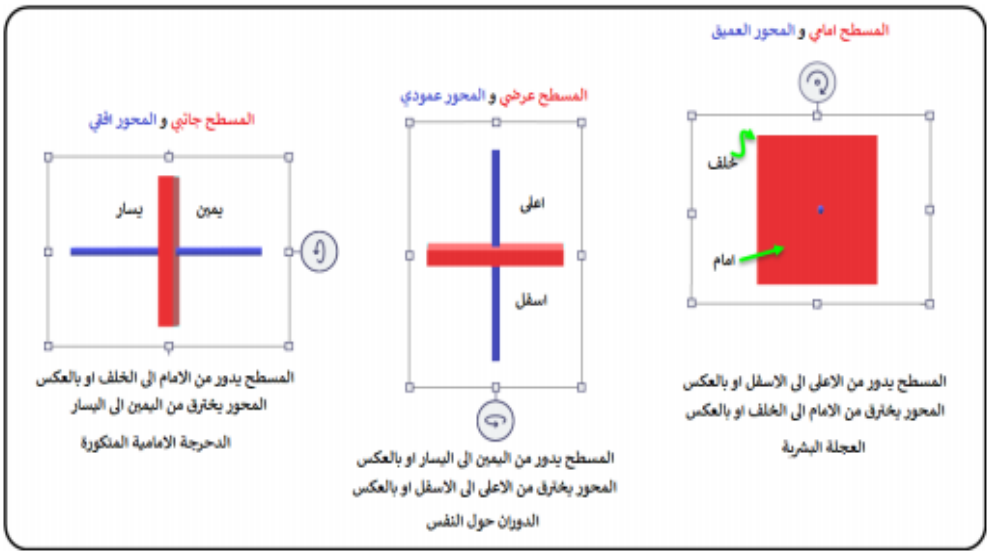
استناداً إلى أبعاد الحركة أو محاورها فإن الحركة تحدث في ثلاثة مستويات وهي:

1- المستوى الأمامي: هو المستوى الذي يقسم الجسم إلى قسمين متساويين أمامي وخلفي، ومن أمثلة الحركة في هذا المستوى للجسم كاملاً هي العجلة البشرية أو حركة انتقال الجسم للجانبين، أما لجزء من الجسم فهو ثني الجذع جانباً أو رفع الذراع جانباً، ويكون المحور العميق (السهمي) عمودي على هذا المستوى.

2- المستوى الجانبي: هو المستوى الذي يقسم الجسم إلى قسمين متساويين أيمن وأيسر، ومن أمثلة الحركة في هذا المستوى للجسم كاملاً هي الدحرجة الأمامية والخلفية، أما لجزء من الجسم فهي ثني الجذع إلى الأمام أو ثني الذراع من المرفق، ويكون المحور العرضي عمودي على هذا المستوى.

3- المستوى العرضي: هو المستوى الذي يقسم الجسم إلى قسمين متساويين علوي وسفلي، ومن أمثلة الحركة في هذا المستوى للجسم كاملاً هي حركة دوران الجسم حول نفسه، أم لجزء من الجسم فهي حركة فتل الرأس إلى الجانبين، وكذلك فتل الجذع يميناً ويساراً، ويكون المحور العمودي (الطولي) عمودي على هذا المستوى.





* المحاور والمستويات (المسطحات) في بعض الحركات

1- ثني الرقبة أماماً وخلفاً يحدث حول المحور العرضي (الأفقي)، وفي المستوى الجانبي.

2- ثني الرقبة يميناً ويساراً يحدث حول المحور العميق، وفي المستوى الأمامي.

3- دوران الرقبة من اليمين إلى اليسار يحدث حول المحور الطولي، وفي المستوى العرضي.

4- الدحرجة الأمامية المتكورة يحدث حول المحور العرضي (الأفقي)، وفي المستوى الجانبي.

5- العجلة البشرية يحدث حول المحور العميق (السهمي)، وفي المستوى الأمامي.

6- الدوران حول النفس يحدث حول المحور الطولي (العمودي)، وفي المستوى العرضي.

شكل يوضح حركات الرقبة في المحاور والمستويات (المسطحات)

* نسبية الحركة وأبعاد الحركة (النظام الإحداثي)

أولاً: نسبية الحركة

- نسبية الحركة هو مقارنة حركة الرياضيين نسبتاً للموجودات حوله من أدوات أو لاعبين أخرين، وإن الأجسام في تحركاتها تقارن بالموجودات حولها،

- فيمكن اكتشاف تحرك لاعب الوثب الطويل بالمقارنة مع ثبات لوحة الارتقاء، وكذلك عداء الموانع والحواجز بالمقارنة مع المانع أو الحاجز، كما يمكن ملاحظة ارتفاع لاعب الوثب العالي من خلال ثبات ارتفاع عارضة جهاز العالي، وكذلك ممكن اكتشاف اللاعب الأول نسبة إلى بطيء اللاعب الثاني، إذن فالحركة تحدث نسبة إلى الأجسام الثابتة أو المتحركة.

- إن الهدف الأساسي من نسبية الحركات هو:

1- تقدير قرب وبعد الأشياء نسبة إلى الأجسام الثابتة أو المتحركة.

2- تقدير سرعة وبطيء الأشياء نسبة إلى الأشياء المتحركة.

3- تقدير أبعاد الأشياء نسبة إلى مقاييس الأجسام الثابتة أو المتحركة (مقياس الرسم).

شكل يوضح نسبية الحركة وفقاً للاعب المنافس أو لنقطة معينة في السباق

*** وكذلك من أمثلة نسبية الحركة هي ما يلي:**

1- فعالية عدو 100 م ← خط البداية

2- جهاز العقلة ← بار العقلة

3- فعالية السباحة ← حافة الحوض

4- فعالية الوثب الطويل ← لوحة الارتقاء

5- فعالية الموانع أو الحواجز ← المانع أو الحاجز

ثانياً: أبعاد الحركة (النظام الإحداثي)

- تُشاهد الحركة في ثلاثة أبعاد أو محاور ويمكن الحكم عليها من بُعدين إلا أن البُعد الثالث وجِد لتحليل المشاهد الغير قابلة للرؤية، أما البُعد الرابع فيمثل الزمن، والأبعاد أو المحاور الثلاثة هي:

1- (البُعد السيني) أي الإحداثي الأفقي الجانبي (X): وهو محور يوازي الأفق واتجاهه من اليمين إلى اليسار، ويمثله أصبع الإبهام في قاعدة اليد اليمنى.

2- (البُعد الصادي) أي الإحداثي العمودي (Y): وهو محور يوازي خط الاتجاه مع الجذب الأرضي، ويمثله أصبع السبابة في قاعدة اليد اليمنى.

3- (البُعد العيني) أي الإحداثي الأفقي الأمامي (Z): وهو محور يوازي الأفق وعمودي على المحورين السابقين واتجاهه من الأمام إلى الخلف، ويمثله أصبع الوسطى في قاعدة اليد اليمنى.

* مفهوم الحركات وأنواعها وأشكالها

* مفهوم الحركة

- يطلق على جسم أنه في حالة حركة من وجهة نظر البايوميكانيك عندما يغير مكانه خلال فترة زمنية، ويدلل على حدوث الحركة بالمقارنة النسبيةً بين ثبات أو حركة الأجسام في محيطه،

- ويتم قياس أثر الحركة بالمقدار من خلال مصطلح المسافة أو الزاوية أو الاثنان معاً في وحدات زمنية، وينتج عن هذه الوحدات أو المصطلحات مقادير للسرعة والتعجيل (الخطي والزاوي).

---

* تعريف الحركة

- الحركة: هي التغير المستمر في وضع الجسم بالنسبة لجسم أخر نفترضه ثابتاً وهي عكس حركة السكون، حيث يمكن مشاهدة او رؤية الجسم المتحرك بالعين المجردة،

- وتُعرّف الحركة بوجه عام بانها 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،

---

* أنواع وأشكال الحركات

- يمكن أن تقسم الحركات إلى مجموعة من التقسيمات على أسس فسلجية وهي الحركات الإرادية والحركات اللاإرادية، ونفسية (بنائية – تكوينية) وهي الحركة الوحيدة والحركات المتكررة والحركات المركبة (السلسلة الحركية)، والحركات على وفق الأسس الميكانيكية وتقسم إلى نوعين هما:

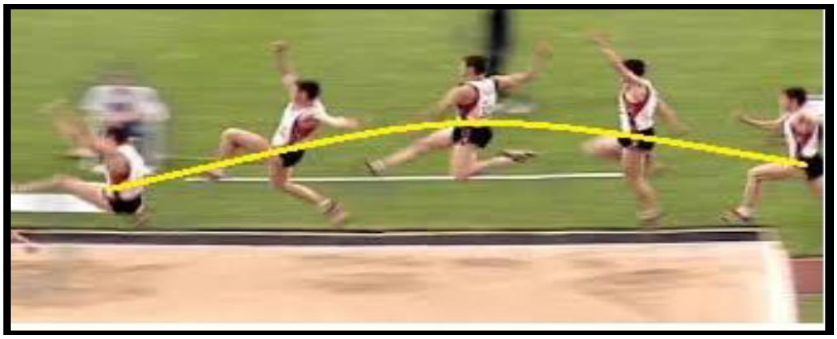
أ- التقسيم على أساس المسار الهندسي:

وتكون الحركات على شكل خطوط أو دوائر، مثل:

1- الحركات الانتقالية (المستقيمة والمنحنية)

أ- الحركة الانتقالية المستقيمة: تحدث هذه الحركة عندما ينتقل الجسم بكامل أجزاءه من مكان لأخر بحيث ترسم الأجزاء المكونة لذلك الجسم مسارات أو خطوط مستقيمة متوازية مع بعضها البعض في أي لحظة من لحظات الحركة وتقطع مسافات متساوية اثناء حدوثها، كما في حركة التزلج على الماء بواسطة القوارب أو انزلاق الرياضي على الزلاجات بدون أداء حركات في الأطراف.

ب- الحركة الانتقالية المنحنية (القوسية): تحدث هذه الحركة من خلال انتقال الجسم بكامل أجزاءه من مكان لأخر بحيث ترسم الأجزاء المكونة لذلك الجسم أقواس متوازية مع نقطة أخرى من هذا الجسم في أي لحظة من لحظات الحركة وتقطع مسافات متساوية اثناء حدوثها، كما في حركة الأداء والجسم المقذوف في الهواء كالوثب الطويل والقفز العالي أو مركز ثقل الجسم عند الهبوط في المظلات أو متابعة الثقل المقذوف، وكذلك الغطس للماء بدون دورانات.



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.

- أي أن الشرط الأساسي لحدوث الحركة الدائرية هي وجود محور للدوران سواء كانت حركة الجسم كاملاً أو جزء من الجسم.

- تكون 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 في حالة دوران الجسم كاملاً، كما في دوران الجسم حول العقلة، فإن محور الدوران هو المحور العرضي وهو محور خارجي حقيقي.

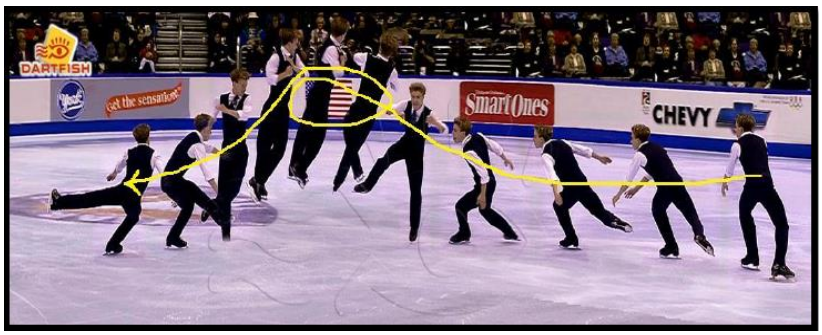
- وفي هذه الحالة فإن أجزاء الجسم ترسم اثناء حركتها دوائر متحدة المركز تبعد ببعد ثابت عن محور الدوران، كما في الشكل التالي:

3- الحركة المركبة (العامة)

- تتكون هذه الحركة من مزيج من الحركتين الانتقالية والدائرية.

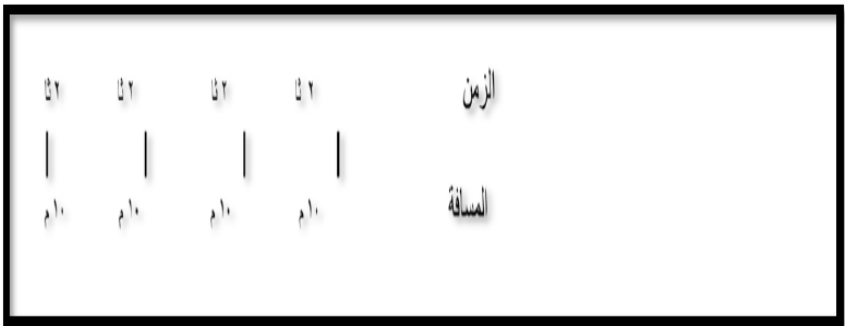
- فقد يدور الجسم بأكمله حركة دائرية حول نفسه وفي نفس الوقت ينتقل انتقال مستقيم، كما في حركة الغطس إلى الماء بالدورانات،

- وقد تحدث عندما يتحرك جزء من الجسم حركة دائرية الأمر الذي يؤدي به إلى انتقاله حركة انتقالية، كما في الجري أو المشي، فالأطراف السفلى والعليا تتحركان حركة دائرية تؤدي إلى حركة انتقالية، كما في الدراجة الهوائية، والسباحة.



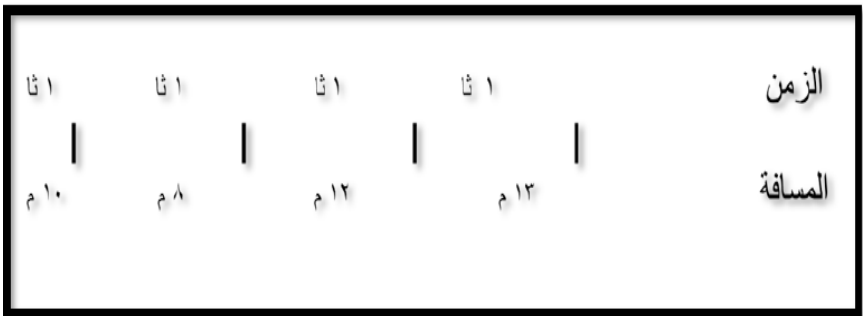
ب- التقسيم على أساس المسار الزمني:

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

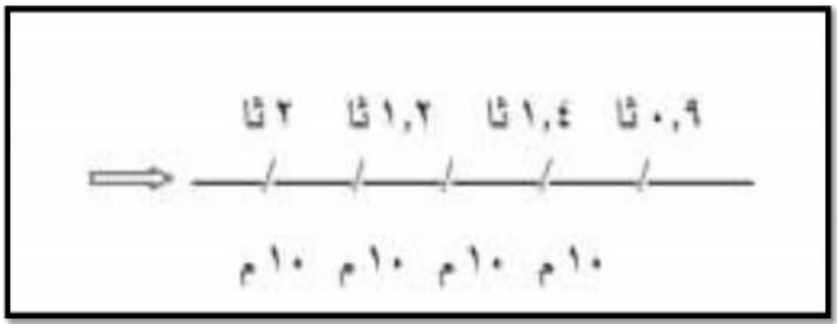


2- الحركات الغير منتظمة:

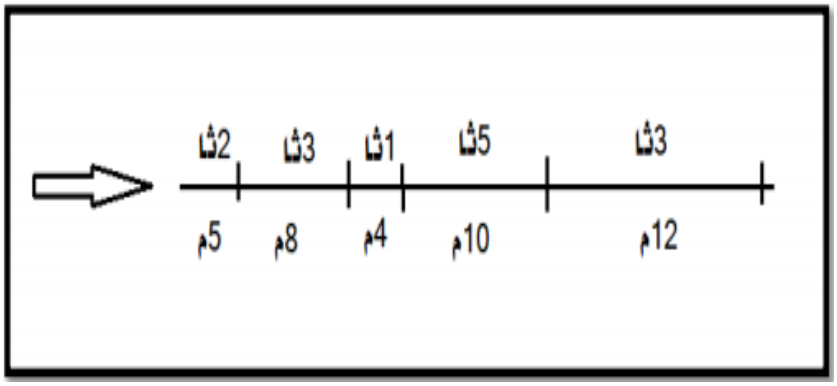
أ- التغير في المسافة: وهي الحركات التي يقطع فيها الجسم مسافات غير متساوية في أزمنة متساوية، كما في حركة عداء (100م) الذي ينطلق من الثبات، حيث تزداد سرعته تدريجياً لحين وصوله السرعة القصوى، وفي هذه الحالة تكون سرعته تزايديه.



ب- التغير في الزمن: وتعني أن الجسم يقطع مسافات متساوية في أزمنة غير متساوية.



ج- التغير في المسافة والزمن: وتعني أن الجسم يقطع مسافات غير متساوية بأزمنة غير متساوية.



* البايوكينماتيك (Kinematics)

يهتم هذا العلم بوصف الحركة وصفاً مجرداً دون البحث في مسبباتها وهو يصف حركة الأجسام من جوانب الزمن والإزاحة والمسافة والزوايا والسرعة والتعجيل، ويتكون من قسمين:

1- البايوكينماتيك الخطي (المستقيم)

وهو القسم الأول من البايوكينماتيك ويهتم بوصف الحركة المستقيمة والمنحنية وصفاً مجرداً في وحدة (الزمن) دون البحث في مسبباتها، ومن مجالاته (المسافة والازاحة والسرعة والتعجيل)، فضلاً عن المقذوفات.

أولاً: المسافة والإزاحة الخطية

المسافة: هي الفراغ المتاح بين نقطتين.

الإزاحة: هي الفراغ الموجود بين نقطتين.

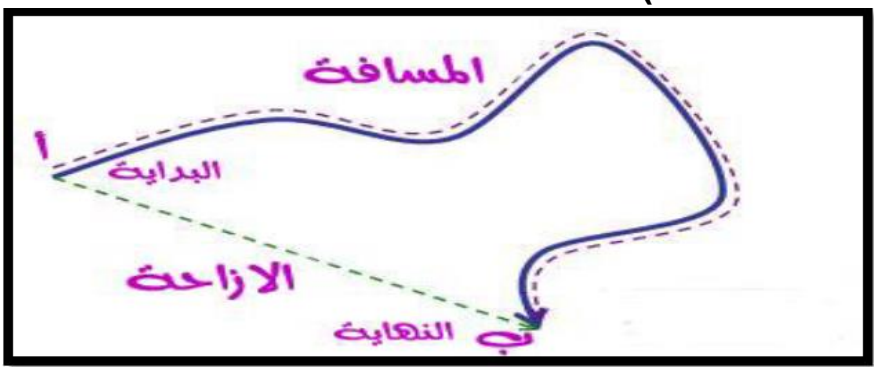
- ونرى بأن المسافة والإزاحة متساوية عند ركض مستقيم طوله (100 متراً)، والأمر يختلف في ركض 200 متر فأننا نركض 200 متر على مقطعين أحدهما منحني والآخر مستقيم، وبذلك فأننا نركض مسافة قدرها 200 متر، أما الإزاحة فهو المستقيم الواصل بين خط بدء السباق وخط انتهاء السباق.

- والازاحة في ركض 400 متر هي صفر لأن العداء يبدأ من نقطة البداية وينتهي اليها.

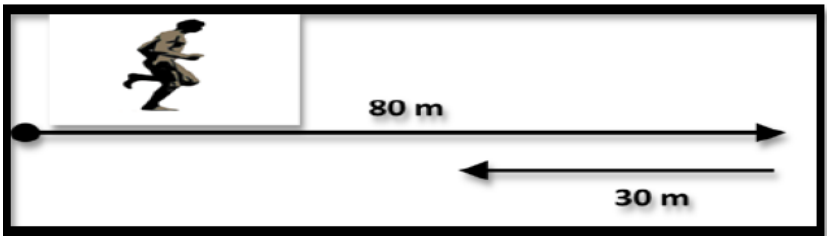
- هناك فرقين مهمين بين المسافة والازاحة:

1- المسافة في أكثر الأحيان أطول من الازاحة وفي بعض الحالات النادرة متساوية مع الازاحة.

2- المسافة كمية قياسية (يكفي ذكر مقدارها)، أما الازاحة فهي كمية متجهة (لا يكفي ذكر مقدارها فقط وإنما يجب ذكر الاتجاه ايضاً، فقد يكون الاتجاه نحو الأعلى أو إلى اليمين أو بزاوية معينة أو في النظام الاحداثي بالسالب والموجب).



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



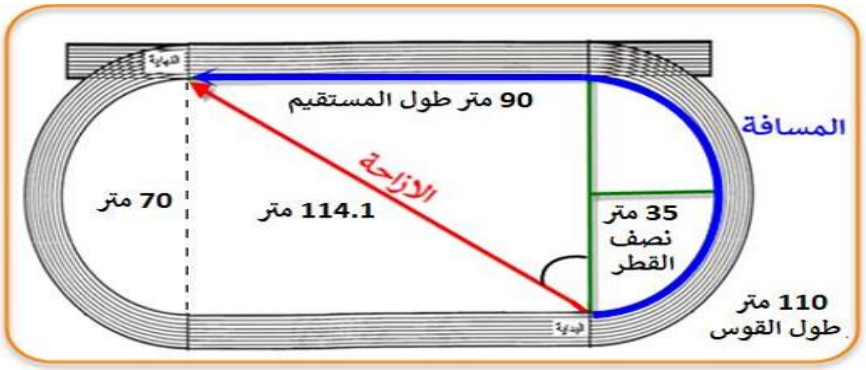
الحل: المسافة = 80 + 30 = 110م، أما الإزاحة = 80 – 30 = 50م.

مثال: جد طول الإزاحة (المحصلة) واتجاهها لقياسات سباق 200 متر، إذا علمت أن الملعب مبني على مستطيل طوله (90 متر) وعرضه (70 متر).

الحل: وفقا لقانون فيثاغورس وكما يأتي:

- المستطيل طوله (90 متر) وعرضه (70 متر)، وهنا الوتر هو الإزاحة.

$(\text{الوتر})^2 = (\text{الطول})^2 + (\text{العرض})^2$



نرفع التربيع عن الإزاحة

$\text{الإزاحة (الوتر)} = \sqrt{(\text{الطول})^2 + (\text{العرض})^2}$

$\text{(الوتر)} = \sqrt{(90)^2 + (70)^2}$

$\text{(الوتر)} = \sqrt{8100 + 4900} = \sqrt{13000}$

$\text{(الوتر)} = 114.01$ متر

- ويمكن إيجاد الاتجاه بشكل زاوية عند التقاء الضلعين في نقطة بداية السباق إلى نقطة انتهاء السباق، والضلعين هما ضلع العرض وضلع الوتر

جتا هـ = المجاور (70) / الوتر (114.01)

جتا هـ = 0.612

- ومن الجدول نجد قيمة جيب تمام هي (52 درجة) مع الخط العمودي، أي إذا ركض شخص ما من بداية 200 متر إلى خط لنهاية بشكل مستقيم فإنه سيركض بهذه الزاوية.

ثانياً: السرعة والسرعة المتجهة

- السرعة (الانطلاق) Speed تُعرّف بأنها المسافة التي يقطعها الجسم خلال زمن معين دون النظر إلى اتجاهها.

- السرعة المتجهة (Velocity) تُعرّف بأنها كمية الإزاحة لكل وحدة من الزمن.

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

السرعة = المسافة / الزمن

المسافة = السرعة x الزمن

أما: **السرعة المتجهة = الإزاحة / الزمن**

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

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: السرعة = المسافة / الزمن = 30 / 5 = 6 م/ثا

مثال أخر: **ولفهم الفارق بين السرعة والسرعة المتجهة،** نفترض أن جسم يقطع مسافة (30 م) من نقطة (أ) إلى نقطة (ب) ثم عاد إلى نقطة (أ)، فما هي السرعة والسرعة المتجهة لهذا الجسم؟

الحل: السرعة = المسافة / الزمن = 60 / 10 = 6 م/ثا

السرعة المتجهة = الإزاحة / الزمن = 0 / 10 = 0

ملاحظة: (يكون الزمن هنا (10 ثا) لأن الجسم قطع المسافة ذهاباً وأياباً).

---

* متوسط السرعة

إذا تحرك جسم وقطع مسافة معينة وكانت سرعته منتظمة، **فمن الممكن أن نستخرج متوسط السرعة من خلال جمع السرعات وتقسّم على عددها،** ويمكن أن تكون المعادلة المستخدمة هي:

متوسط السرعة = س 1 + س 2 + س 3 + س 4 + ... الخ / 2، 3، 4...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: متوسط السرعة = س1 + س 2 / 2 = 6 + 12 / 2 = 18 / 2 = 9 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: **متوسط السرعة = السرعة النهائية / 2**

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

الحل: متوسط السرعة = س 2 / 2 = 10 / 2 = 5 م/ثا

* السرعة اللحظية (الآنية)

إن حركة الأجسام تتغير في فترات زمنية قصيرة وخاصة جسم الإنسان، وذلك لانخفاض مخزون الطاقة عندما يكون الجهد البدني كبير، لذلك لابد 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 الحظية (الآنية) = المسافة الثانية – المسافة الأولى / الزمن الثاني – الزمن الأول

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 = 30 – 25 / 6 – 5 = 5 / 1 = 5 م/ثا

أو: السرعة الحظية = أصغر فرق في المسافة – أصغر فرق في الزمن

أي: السرعة الحظية = Δ م 2 – Δ م1 / Δ ن 2 – Δ ن 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:

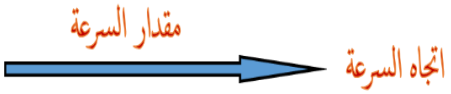
بما أن قطر الثقل = 12 سم، **(نقوم بتحويل سم إلى متر بقسمته على 100)، فيصبح قطر الثقل = (0.12 متر)**

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

السرعة اللحظية = 0.12 / 0.02 = 6 م/ثا

* 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.

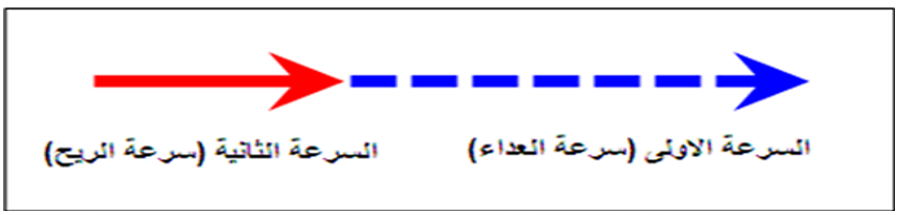


*** إذا سار جسم بتأثير سرعتين في نفس الوقت فأن الفعل التأثيري لهذه السرع يعتمد على اتجاه تلك السرعتين، وبذلك يمكن أن تُقسم إلى حالتين رئيسيتين هما:**

1- إذا كانت السرعتان على خط عمل واحد: وهي تكون على شكلين هما:

الأول: إذا كانت السرعتان في اتجاه واحد فأن محصلة السرعة عبارة عن جمعهما هندسياً.

- إذا كانت السرعتان بنفس الاتجاه، فأن 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 والريح تؤثر عليها من الخلف، وكذلك حركة رامي الثقل بالزحلقة 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 ، فأن 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)، فأنه يتحرك بسرعة (81 كم / ساعة) واتجاهه بنفس الحركة.

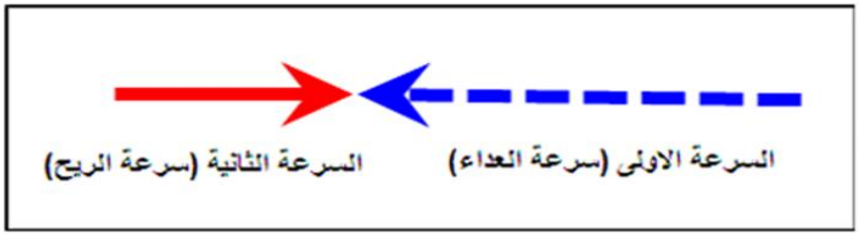


مثال: بلغت سرعة جسم (20 م/ثا) وأثرت عليه ريح بسرعة (2 م/ثا) في اتجاه الجسم نفسه، فما مقدار السرعة النهائية للجسم؟

الحل: محصلة السرعة = س 1 + س 2 = 20 + 2 = 22 م/ثا

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

- إذا كانت السرعتين باتجاهين متعاكسين ، فأن 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 والريح تؤثر عليها إلى الأمام أي عكس اتجاه حركة الكرة، وكذلك تظهر هذه الحالة في خطوات الاقتراب لدى رامي الرمح فأنه 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 في نفس الفعالية، أما في الحياة العامة فأن 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 فأن 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 = 20 – 2 = 18 م/ثا

2- إذا كانت السرعتان ليست على خط عمل واحد:

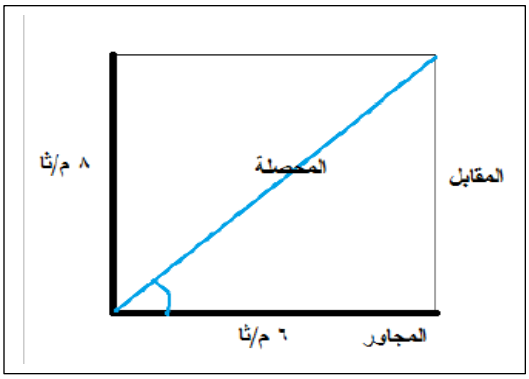
أ– في بعض الحالات يتأثر الجسم بأكثر من سرعة ولكن ليست على خط عمل واحد، أي أن تكون السرعة النهائية بزاوية عمودية، مثال على ذلك حركة الكرة والريح تؤثر عليها بشكل عمودي، وبذلك تكون محصلة سرعة الكرة ناتج عن سرعتها وسرعة الريح ويتغير اتجاه تلك المحصلة بسبب تأثير الريح عليها، وكما ذكرنا هنا أحياناً تكون السرعة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

(محصلة السرعة)^2 = (السرعة الأولى)^2 + (السرعة الثانية)^2

أو: (م)^2 = (أب)^2 + (أج)^2

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: (محصلة السرعة)^2 = (السرعة الأولى)^2 + (السرعة الثانية)^2



(محصلة السرعة)^2 = (أب)^2 + (أج)^2

م^2 = (8)^2 + (6)^2 ⬅ م^2 = 64 + 36 ⬅

م^2 = 100 ⬅ م = **10 م/ثا**

أما اتجاه تلك المحصلة فيستخرج عن طريق ظل الزاوية.

ظا < = المقابل / المجاور

ظا < = 8 / 6 = **1.33**، أي أن اتجاه السرعة كان بزاوية = **53 درجة**

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

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:

(محصلة السرعة)^2 = (س 1)^2 + (س 2)^2 + 2 x س 1 x س 2 x جتا الزاوية

أو: (م)^2 = (أب)^2 + (أج)^2 + 2 x أب x أج x جتا الزاوية

أما الاتجاه فيستخرج عن طريق قانون ظل الزاوية التالي:

ظا < = س 1 x جا الزاوية / س 2 + س 1 x جتا الزاوية

أو: ظا < = أب x جا الزاوية / أج + أب x 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 الزاوية 32 = 0.529، جتا الزاوية 32 = 0.848.

الحل: (محصلة السرعة)^2 = (س 1)^2 + (س 2)^2 + 2 x س 1 x س 2 x جتا الزاوية

م^2 = (5)^2 + (3)^2 + 2 x 5 x 3 x جتا 32 ⬅ م^2 = (5)^2 + (3)^2 + 2 x 5 x 3 x 0.848

م^2 = 25 + 9 + 30 x 0.848 ⬅ م^2 = 25.44 + 34 ⬅ م^2 = 59.44 = **7.71 م/ثا**

أما الاتجاه:

ظا < = س 1 x جا الزاوية / س 2 + س 1 x جتا الزاوية

ظا < = 5 x جا 32 / 3 + 5 x جتا 32 ⬅ ظا < = 5 x 0.529 / 3 + 5 x 0.848

ظا < = 2.645 / 3 + 4.24 ⬅ ظا < = 2.645 / 7.24

ظا < = **0.365**، أي أن اتجاه السرعة كان بزاوية = **20 درجة**. (تُستخرج من جدول قيم الزوايا)

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

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

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:

*** السرعة المحصلة للمركبة الأفقية = المحصلة x جتا الزاوية**

*** السرعة المحصلة للمركبة العمودية = المحصلة x جا الزاوية**

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

الحل:

السرعة المحصلة للمركبة الأفقية = المحصلة x جتا الزاوية

السرعة المحصلة للمركبة الأفقية = 8 X 0.76 = **6.08** م/ثا.

السرعة المحصلة للمركبة العمودية = المحصلة x جا الزاوية

السرعة المحصلة المركبة العمودية = 8 X 0.64 = **5.12** م/ثا.

* التعجيل الخطي

ـ عندما يقطع العداء مسافة معينة بحركة منتظمة، فأن 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 التغيير بالسرعة على الزمن الذي استغرقه التغير، ويمكن استخراج التعجيل من خلال القانون التالي:

التعجيل = السرعة الثانية – السرعة الأولى / الزمن

التعجيل = س 2 – س 1 / 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: التعجيل = 4 - 2 / 1 = 2 م/ثا^2.

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

* 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 الى نقطة ب تبلغ سرعته (12 م/ثا) وكان زمن قطع المسافة (2 ثانية)، **فما هو مقدار التعجيل؟**

الحل: التعجيل = س 2 – س 1 / ن

التعجيل = 12 – 6 / 2 = 6 / 2 = + 3 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:

الحل: التعجيل = س2 - س1 / ن

التعجيل = 6 – 12 / 2 = - 6 / 2 = - 3 م/ثا^2.

* إن وحدة قياس التعجيل هي (م/ثا^2، سم/ثا^2، قدم/ثا^2)، 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:

التعجيل = س 2 – س 1 / ن ⬅ م / ثا ÷ ثا / 1 ⬅ م / ثا x 1 / ثا = م/ثا^2

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

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

التعجيل = السرعة الثانية / الزمن

* ولاستخراج المسافة بدلالة التعجيل والزمن، فإن المعادلة هي:

المسافة = التعجيل x (الزمن)^2 / 2

* التعجيل اللحظي (الآني)

- هو حاصل فرق التغير في السرعة على الزمن الذي أحدثه ذلك التغير، أو هو قيمة التعجيل لحركة جسم تتغير سرعته بفترة قصيرة جداً.

أما المعادلة المستخدمة لاستخراجه هي:

التعجيل اللحظي = س2 - س1 / ن 2 – ن 1

أو: التعجيل اللحظي = Δ س / Δ ن

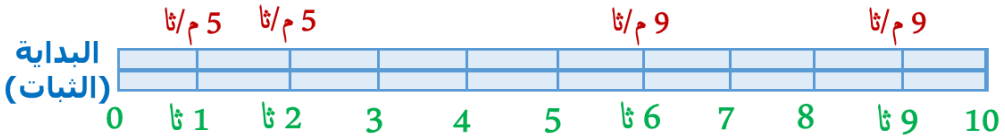
مثال: قطع عداء مسافة (100م) بزمن قدره (10 ثا) وقطع مسافة الخمسين متر بزمن قدره (6 ثا)، وقد بلغت سرعته خلال الثانيتين الأولى (5 م/ثا)، في حين بلغ أقصى سرعة له خلال الثانيتين السادسة والتاسعة وكانت (9 م/ثا): **المطلوب إيجاده:**

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.



الحل:

1- السرعة العددية (الانطلاق) = المسافة / الزمن = 100 ÷ 10 = **10 م/ثا.**

2- السرعة المتجهة = الإزاحة / الزمن = 100 ÷ 10 = **10 م/ثا شرقاً.**

3- معدل السرعة = المسافة / الزمن = 50 ÷ 6 = **8.33 م/ثا**.

4- التعجيل = س2 – س1 / ن = 5 – صفر \ 2 = **2.5 م/ثا²**.

5- التعجيل = 9 – صفر / 6 = **1.5 م/ثا²**.

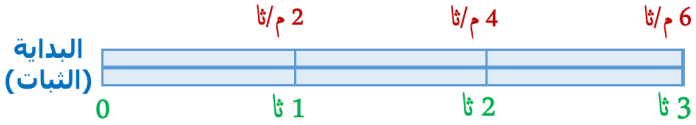
6- التعجيل = 9 – صفر / 9 = **1 م/ثا²**.

7- التعجيل = 9 – 5 / 5 = **0.8 م/ثا²**.

مثال: تزايدت سرعة عداء بمعدل (2 م/ثا) لكل ثانية من ثواني السباق البالغة (3 ثواني)، المطلوب إيجاده:

1- التعجيل خلال الثانية الأولى. **2- التعجيل خلال الثانيتين الأولى.**

3- التعجيل خلال الثانيتين الثانية والثالثة. **4- التعجيل خلال الثلاث ثواني الأولى.**



الحل:

1- التعجيل = س2 – س1 / ن = 2 – صفر / 1 = **2 م/ثا²**.

2- التعجيل = 4 – صفر / 2 = **2 م/ثا²**.

3- التعجيل = 6 – 2 / 2 = **2 م/ثا²**.

4- التعجيل = 6 – صفر / 3 = **2 م/ثا²**.

* المقذوفات في المجال الرياضي:

*** المقذوف:** هو أي جسم يتحرك بتأثير الجاذبية الأرضية.

- إن أي أداة أو جسم يكسر اتصاله مع شيء أخر وبزاوية معينة يسمى مقذوف، فمثلاً لاعب الوثب الطويل يكسر اتصاله مع لوحة الارتقاء في مرحلة الارتقاء بزاوية 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 بزاوية 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/ثا^2) أو (32 قدم/ثا^2) أو (980 سم/ثا^2)، حيث أن الجسم الساقط يتحرك بفعل تأثير الجاذبية الأرضية باتجاه مركز الكرة الأرضية.

- يختلف مقدار الجذب الأرضي على الجسم من موقع إلى أخر،

- إن مقدار الجاذبية الأرضية عند مستوى سطح البحر يساوي (9.81 م/ثا^2)،

- أما في القطب فهو يساوي (9.83 م/ثا^2)،

- وفي خط الاستواء يساوي (9.77 م/ثا^2)،

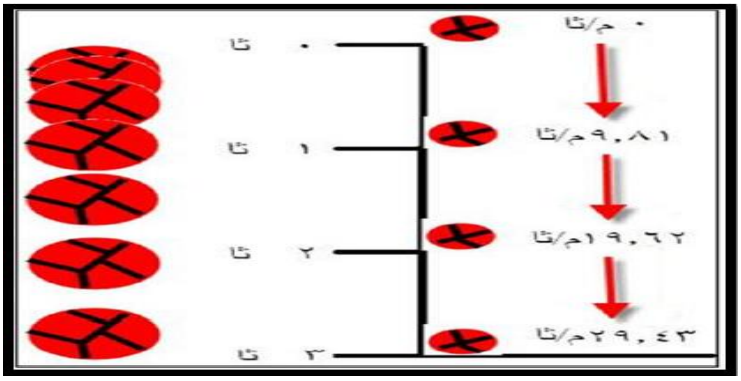
- وكذلك يتعلق مقدار التعجيل الأرضي بارتفاع المكان عن مستوى سطح البحر.

- وحسب قانون الجذب والذي ينص على ((أن الأداة أو الجسم يسقط في الفراغ بتعجيل ثابت مقداره (9.81 م/ثا^2) لكل ثانية)).

- ومثلما ذكرنا سابقاً بإن 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:

الجذب = السرعة / الزمن

السرعة = الجذب x الزمن = 9.81 x 3 = 29.43 م/ثا



- إن دراسة حركة الأجسام المقذوفة تشمل كُلاً من الأدوات في المجال الرياضي أو جسم الرياضي نفسه، حيث يخضع أي جسم اثناء انطلاقه في الهواء لقوانين ثابتة تحدد مساره 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 فأنه يتحرك بتعجيل منتظم ولكن بشكل تناقصي، أي أن سرعته تقل تدريجياً بفعل تعجيل الجاذبية الأرضية والبالغ (9.81 م/ثا^2) 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/ثا^2) حتى يصل إلى سرعته القصوى.

---

* المقذوف العمودي (الشاقولي أو الرأسي)

- إن حركة الجسم النازل إلى الأسفل أو الصاعد إلى الأعلى هي حركة تعجيل منتظم، وذلك لأن سرعته تتغير باستمرار،

- فإذا انطلق جسم من الأسفل إلى الأعلى بسرعة معينة فإنه يتحرك بتعجيل 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 التعجيل موجباً، لذا تكون أقصى سرعة له قبل ملامسته للأرض.

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

*** المسافة العمودية (أقصى ارتفاع) = التعجيل الأرضي × (الزمن)^2 / 2**

[المسافة العمودية (م) = ج × ن^2 / 2] ..... (معادلة 1).

*** المسافة العمودية (أقصى ارتفاع) = (السرعة)^2 / 2 × التعجيل الأرضي**

[المسافة العمودية (م) = س^2 / 2 × ج] ..... (معادلة 2).

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

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

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

الحل: المسافة العمودية (م) = س^2 / 2 × ج

م = (60)^2 / 2 × 32 = 3600 / 64 = 56.25 قدم

أما الزمن:

المسافة العمودية (م) = ج × ن^2 / 2

56.25 = 32 × ن^2 / 2 ⟸ 32 ن^2 = 56.25 × 2

32 ن^2 = 112.5 ⟸ ن^2 = 112.5 / 32

ن^2 = 3.51 ⟸ ن = $\sqrt{3.51}$ = **1.87 ثا**

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) = $س^2$ / 2 × ج

م = $(80)^2$ / 2 × 32 = 6400 / 64 = 100قدم

أما الزمن:

المسافة العمودية (م) = ج × $ن^2$ / 2

100 = 32 × $ن^2$ / 2 (نضرب الوسطين × الطرفين) ⟸ 32 $ن^2$ = 100 × 2 ⟸

32 $ن^2$ = 200 ⟸ $ن^2$ = 200 /32 ⟸ $ن^2$ = 6.25 ⟸ ن = $\sqrt{6.25}$ = 2.5 ثا

*** 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 = 9.81 م/$ثا^2$.

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/$ثا^2$) = (32 قدم/ $ثا^2$).

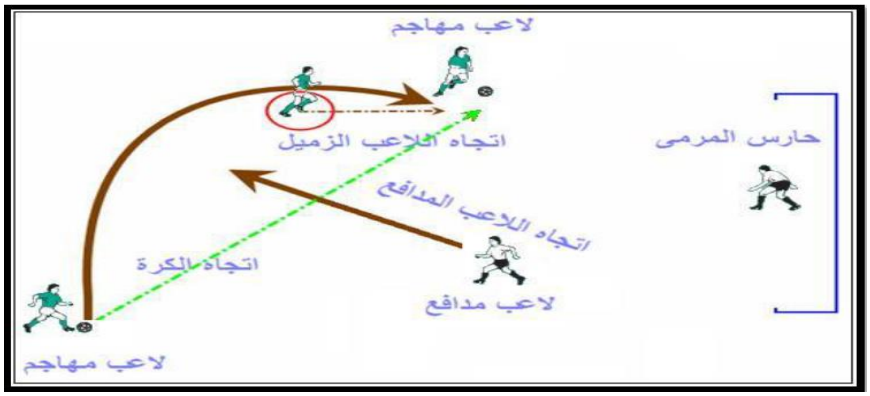
8- إن حركة الجسم النازل إلى الأسفل أو الصاعد إلى الأعلى هي حركة تعجيل منتظم لأن سرعته تتغير باستمرار.

* المقذوف بزاوية مع خط الأفق

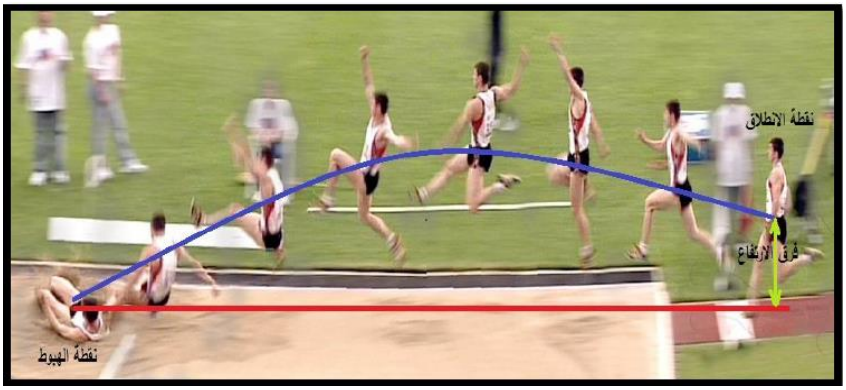
- تظهر أهمية دراسة هذا المقذوف في المجال الرياضي، إذ نجد أن حركة الثقل أو الرمح أو القرص أو واثب العريض أو القفز العالي وغيرها من الفعاليات الرياضية تكون محكمة بقوانين ونظم ميكانيكية وتتجسد هذه في عوامل رئيسية تُقرر المسافة التي يقطعها هذا المقذوف، والتي سنأتي على ذكرها.

* أنواع المقذوف بزاوية مع خط الأفق هي:

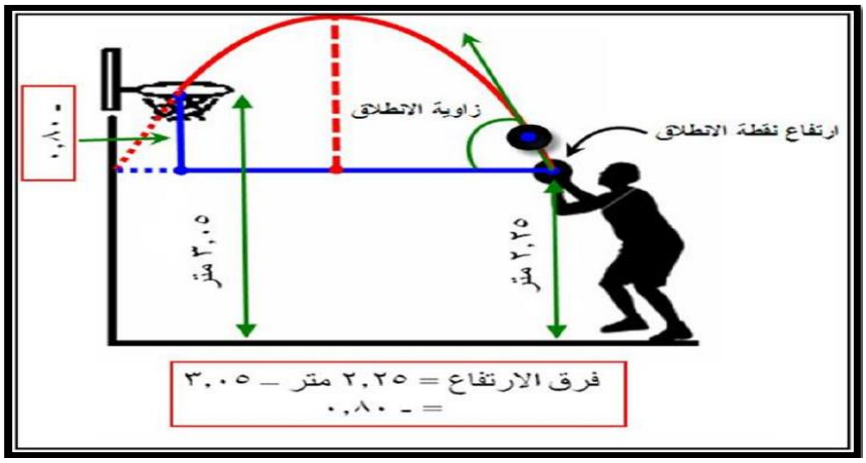
1- نقطة الانطلاق بنفس مستوى نقطة الهبوط: مثل: ركل الكرة لتمريرها للزميل أو واثب العريض إذن هنا لم نتعامل مع مركز الكتلة بل إن التعامل يكون مع القدمين، **وكذلك المناولة الصدرية في كرة السلة على أن يكون أطوال الرياضيين متساوية تقريباً**، ويسمى هذا النوع من المقذوفات **بالمقذوفات المتماثلة (لأن مستوى نقطة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



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

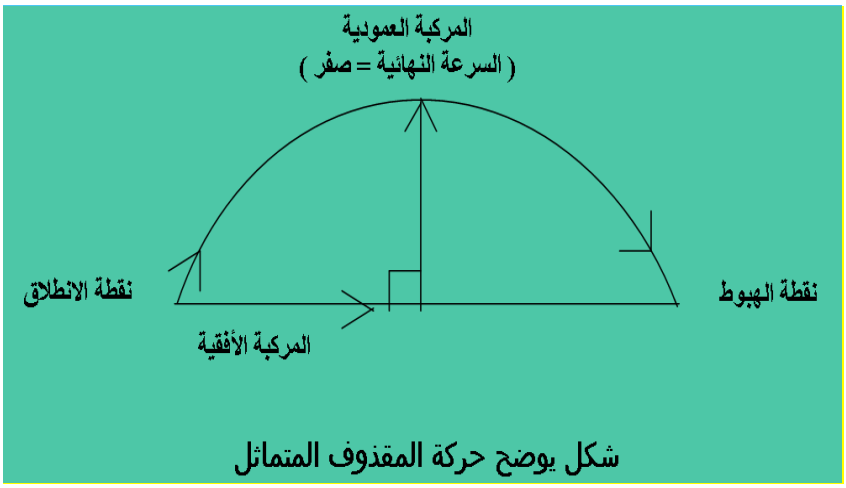


* العوامل المؤثرة على المسافة الأفقية هي:

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 لابد 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 المتماثل 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

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 يقطها 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 بزاوية مع خط الأفق 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 بزاوية (55 – 60 درجة).

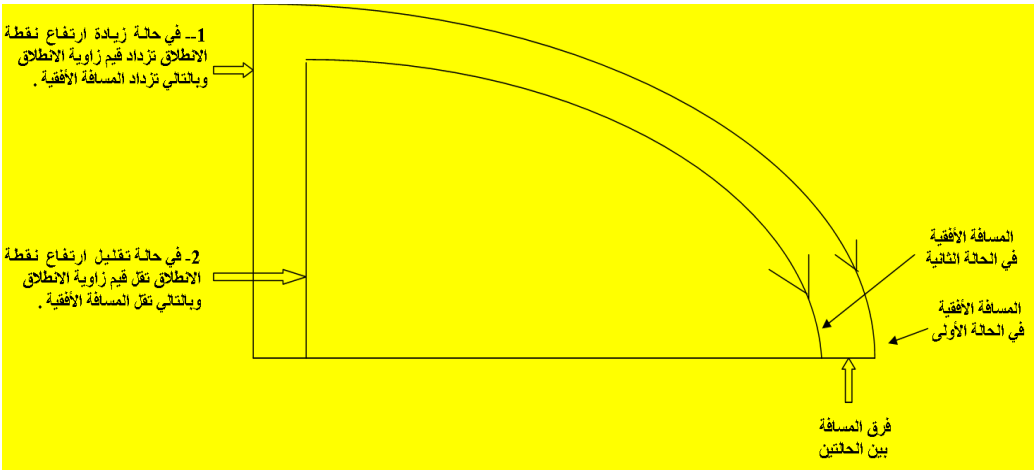
* وتتأثر زاوية الانطلاق للمقذوف أيضاً بثلاث عوامل هي:

1- سرعة الانطلاق. 2- مستوى الانطلاق والهبوط.

3- مقاومة الهواء والريح، 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 الأخر على المسافة الأفقية التي يقطعها الجسم المقذوف بزاوية، 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 وكالآتي:

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

المسافة الأفقية (م) = س^2 × جا 2 الزاوية / ج ..... (المعادلة رقم 1)

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

الزمن (ن) = 2 س × جا الزاوية / ج ..... (المعادلة رقم 2)

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: المسافة الأفقية (م) = س^2 × جا 2 الزاوية / ج

= (10)^2 × جا 2 × 40 / 9.8 = 100 × جا 80 / 9.8

= 100 × 0.98 / 9.8 = 98/ 9.8 = 10 متر

الزمن (ن) = 2 س × جا الزاوية / ج

الزمن (ن) = 2 x 10 × 0.64 / 9.8 = 12.8 / 9.8 = 1.3 ثانية

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

الحل:

الزمن (ن) = 2 س × جا الزاوية / ج

1 = 2 س × جا 41 / 9.8

1 = 2 س × 0.65 / 9.8

1.3 س = 9.8

س = 9.8 / 1.3 = 7.53 م/ ثا

* 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، فأن المسافة تكون هي الفرق بين الوضع الأول لبدء الحركة والوضع النهائي الذي يصله الجسم في حركته.

- تقاس 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، كما في الركض المستقيم بفعالية الـ(100م)،

- أما الإزاحة عند قطع مسافة (370) درجة تكون (10 درجة) من خلال إيجاد الفرق، أي (370 – 360 = 10 درجة)،

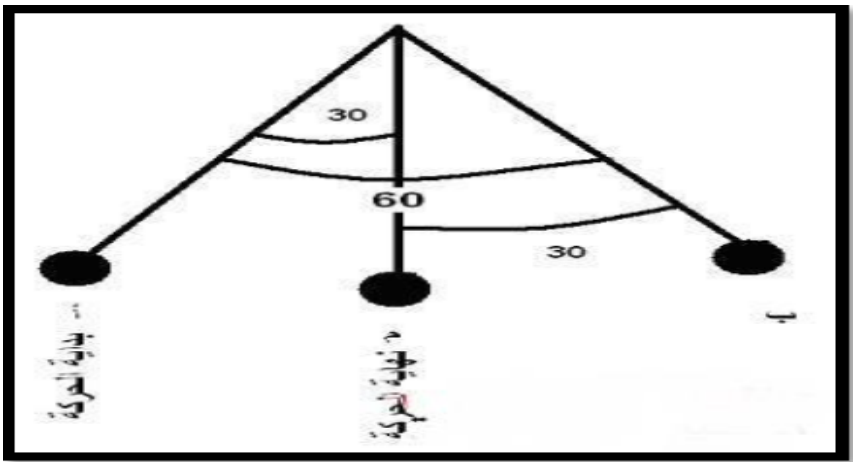
- باستثناء الدورة الكاملة فإنها تبدأ من نقطة الصفر وتنتهي في نقطة (360 درجة) وهذه تعتبر المسافة، أما إزاحتها تكون (صفر)، مثلما يحدث في فعالية ركض الـ(400م).

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

الحل: المسافة الزاوية = 360 x 4 = 1440 درجة

أما الإزاحة الزاوية = 0

- أما في البندول الأمر يختلف، فإننا نمسك الخيط أو الجزء الذي سيتأرج 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˚



* السرعة الزاوية

- السرعة الزاوية هي المعدل الزمني لتغير الانتقال الزاوي للجسم.

- السرعة الزاوية هي معدل الإزاحة الزاوية خلال وحدة الزمن.

*** السرعة الزاوية = الانتقال الزاوي / الزمن**

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

- إذا 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:
360 / 6.28 = 57.3 درجة.

مثال: رامي 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:

الانتقال الزاوي = عدد الدورات × 360

الانتقال الزاوي = 3 × 360 = 1080 درجة

السرعة الزاوية = الانتقال الزاوي / الزمن = 1080 / 2.5 = 432 درجة/ثا

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

السرعة الزاوية = 432 / 57.3 = 7.5 قطاع

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

الحل: الانتقال الزاوي = 2.5 × 360 = 900 درجة

السرعة الزاوية = الانتقال الزاوي / الزمن = 900 / 1.5 = 600 درجة/ثا

السرعة الزاوية = 600 / 57.3 = 10.47 قطاع

سؤال واجب: 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)؟

أجوبة السؤال هي: 229.2 درجة/ثا ، 4 قطاع ، 1.2 م/ثا

---

* السرعة المحيطية

تُعرّف السرعة المحيطية بأنها المسافة التي يقطعها الجسم على محيط الدائرة خلال زمن معين.

- توجد هنالك علاقة بين السرعة المحيطية والسرعة الزاوية وهي ذات أهمية كبيرة، حيث يمكن التعرف على تلك العلاقة من خلال الأتي:

* الزاوية النصف قطرية = طول القوس / نصف القطر ..... (المعادلة رقم 1).

* طول القوس = الزاوية النصف قطرية × نصف القطر ..... (المعادلة رقم 2).

وبما أن: طول القوس هو المسافة

وأن السرعة = المسافة / الزمن ..... (المعادلة رقم 3).

- يمكن أن نستعيض عن المسافة بطول القوس والذي يساوي الزاوية النصف قطرية × نصف القطر

فتصبح المعادلة:

* السرعة = الزاوية النصف قطرية × نصف القطر / الزمن ..... (المعادلة رقم 4).

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

أي أن:

*** السرعة المحيطية = الزاوية النصف قطرية / الزمن × نصف القطر ..... (المعادلة رقم 5).**

فتكون المعادلة النهائية هي:

*** السرعة المحيطية = السرعة الزاوية × نصف القطر ..... (المعادلة رقم 6).**

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

- من 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).

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 × نصف القطر

السرعة المحيطية للركبة = 1.4 × 0.5 = **0.7 م/ ثا**

السرعة المحيطية للكاحل = 1.4 × 0.8 = **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 التغيير 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 / ثا^2).**

* 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 والأخرة 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.

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

التعجيل الزاوي = س ز 2 – س ز 1 / ن = 10 – 9 / 0.02 = 1 / 0.02 = 50 درجة/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؟

* كينتيك الحركات المستقيمة (الخطية)

- يمكن دراسة الحركة من الناحية الكينتيكية من خلال دراسة القوى التي تؤثر في الحركة وكيفية التعامل مع هذه القوى على اعتبار أن الحركة التي تحدث في المجال الرياضي أو في الحياة الاعتيادية هي عبارة عن تأثير متبادل بين القوى الداخلية للرياضي أي قواه الذاتية (العضلات) والقوى الخارجية المتمثلة بقوة الجاذبية الأرضية وقوة الاحتكاك وقوة الدفع وغيرها من القوى المحيطة بالفرد والتي تؤثر بشكل مباشر في الأداء.

* مفهوم القوة وجمع القوى:

- تُعرّف القوة فيزيائياً: هي مؤثر يؤثر على الأجسام فيسبب تغيراً في حالته أو اتجاهه أو موضعه أو حركته.

- أما تعريف القوة ميكانيكياً: هي الفعل الميكانيكي الذي يغير أو يحاول تغيير حالة الجسم المؤثر فيه.

- القوة هي كمية متجهة (لها مقدار واتجاه)، وتقاس القوة بوحدة النيوتن (نت).

- النيوتن: هو مقدار القوة التي إذا أثرت في جسم كتلته 1 كغم أكسبته تعجيلاً مقداره 1 م/ثا.

- وحسب قانون نيوتن الثاني ولمعرفة القوة نستخدم المعادلة التالية:

القوة = الكتلة x التعجيل

- كذلك يمكن استخراج القوة من خلال نسبة التغير بالزخم بالنسبة للزمن، وكالآتي:

القوة = الكتلة (ك) x التعجيل (ت) ..... (1).

بما إن: التعجيل = س 2 – س 1 / ن

إذن: القوة = ك x س 2 – س 1 / ن

وبما إن: الزخم = ك x س

إذن: القوة = التغير بالزخم / الزمن ..... (2).

- من أجل فهم القوة ككمية ميكانيكية تؤدي دوراً كبيراً في دراستنا للحركات الرياضية، فلابد أن نعرف أن استخدام القوة لا يقتصر على حدوث الحركة فقط، وإنما تُستخدم القوة في كثير من الحركات الرياضية لاكتساب الجسم حالة الثبات، بمعنى أخر جعل محصلة القوى المؤثرة في الجسم صفراً.

- من هذا يمكن تقسيم تأثير القوة إلى ما يلي:

1- التأثير المتحرك (الديناميك): أن تأثير القوة في هذه الحالة يسبب حدوث الحركة، كما في حالة دفع الجسم أو تحريك جزء من أجزاء الجسم لأداء حركة معينة.

2- التأثير الثابت (الأستاتيك): يحدث هذا النوع من التأثير عندما تستخدم قوة للتغلب على مقاومة كبيرة جداً، بحيث لا تتمكن القوة من التغلب على القصور الذاتي لتلك المقاومة، وفي بعض الأحيان يتطلب الأمر استخدم القوة لتثبيت الجسم في وضع معين، كما في حركة الوقوف على اليدين أو حركة الصليب في جهاز الحلق بالجمناستك.

---

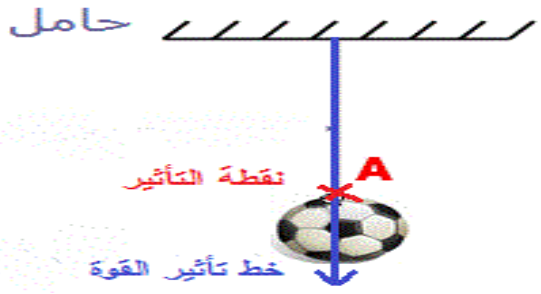
* خصائص وصفات القوة (مواصفات القوة):

- للقوة خصائص ومواصفات مهمة ينبغي للمدرب أو الرياضي إدراكها حتى يتمكن من استخدام القوة بالشكل والاتجاه الذي يخدم هدف الحركة، حيث تتميز القوة بأربع خصائص أو صفات هي:

1- مقدار القوة: ويقصد به كمية أو قيمة القوة ويقاس بوحدة النيوتن.

2- نقطة تأثير القوة: هي نقطة أو موضع تأثير القوة بالنسبة للجسم، فغالباً ما يكون تأثير قوة الجاذبية الأرضية ودائماً خلال مركز ثقل الجسم.

3- خط تأثير القوة: ويسمى أيضاً بخط القوة ويقصد به الخط المستقيم المار بنقطة التأثير عبر الاتجاه المحدد لتأثير القوة ويكون عمودياً أو أفقياً أو مائل، مثال على ذلك ما يحدث طولياً للحبل الذي يمسك الكرة.



4- اتجاه القوة: ويقصد به اتجاه الحركة التي تسببها أو تحاول خلقها هذه القوة (أي اتجاه مفعولها)، ويكون باتجاه اليمين أو اليسار إذا كان خط التأثير أفقياً، وباتجاه الأعلى أو الأسفل إذا كان خط التأثير عمودياً، أما إذا كان خط التأثير مائلاً فنختار نقطتين تنتميان إليه وبواسطتها يتم تحديد الاتجاه.

---

* جمع القوى (إيجاد محصلة القوة):

1- إذا كان اتجاه القوة الأولى والقوة الثانية كلاهما في اتجاه واحد فمحصلتهما هي حاصل جمع هاتين القوتين،

أي: **المحصلة = ق1 + ق2**

مثال: أوجد محصلة قوتين متجهتين باتجاه واحد الأولى قيمتها 15 نت والثانية 25 نت؟

الحل: المحصلة (م) = ق1 + ق2 ⟵ م = 15 + 25 = 40 نت

2- إذا كان اتجاه القوة الأولى باتجاه معاكس للقوة الثانية فالمحصلة الناتجة هي حاصل طرح القوة الكبيرة من القوة الصغيرة.

أي: **المحصلة = ق1 - ق2**

مثال: أوجد محصلة قوتين متعاكستين في الاتجاه الأولى قيمتها 17 نت والثانية 11 نت؟

الحل: المحصلة (م) = ق1 - ق2 ⟵ م = 17 - 11 = 6 نت

3- إذا كانت القوتان المؤثرتان في جسم بينهما زاوية قائمة، فالمحصلة لهاتين القوتين نحصل عليها من خلال تطبيق قانون نظرية فيثاغورس.

أي: محصلة القوة (م)^2 = (أب)^2 + (أج)^2

مثال: أوجد المحصلة لقوتين الأولى قيمتها 5 نت والثانية 10 نت تؤثران على جسم بزاوية (90 درجة)؟

الحل: محصلة القوى (م)^2 = (أب)^2 + (أج)^2

$$م^2 = (5)^2 + (10)^2$$

$$م^2 = (25) + (100) \longleftarrow م^2 = 125 \longleftarrow م = 11.18 \text{ نت}$$

4- إذا أثرت قوتين في جسم وكانت الزاوية بينهما (أقل أو أكبر من 90 درجة)، فأن المحصلة لهاتين القوتين نحصل عليها من خلال تطبيق قانون متوازي أضلاع القوى.

محصلة القوة (م)^2 = (أب)^2 + (أج)^2 + 2 × أب × أج × جتا <

مثال: أوجد المحصلة لقوتين تؤثران في جسم الأولى قيمتها 20 نت والثانية 30 نت وكانت الزاوية بينهما 30 درجة؟

الحل: محصلة القوة (م)^2 = (أب)^2 + (أج)^2 + 2 × أب × أج × جتا <

$$م^2 = (20)^2 + (30)^2 + 2 \times 20 \times 30 \times \text{جتا } 30$$

$$م^2 = 400 + 900 + 2 \times 20 \times 30 \times 0.86$$

$$م^2 = 1300 + 1.032$$

$$م = \sqrt{1301.032}$$

$$م = 36.06 \text{ نت}$$

* تحليل القوى:

- إن عملية تحليل قيم القوى إلى مركباتها الأفقية والعمودية عندما تكون المحصلة معلومة تكون من خلال تطبيق القوانين التالية:

المركبة العمودية = المحصلة × جيب الزاوية

المركبة الأفقية = المحصلة × جيب تمام الزاوية

مثال: لدينا محصلة قوى مؤثرة في ثقل بقيمة **40** نت، وكانت المحصلة تعمل بزاوية **30** درجة مع خط الأفق، جد المركبة الأفقية والعمودية؟

الحل: **المركبة الأفقية = المحصلة × جيب تمام الزاوية**

المركبة الأفقية = 40 × جتا 30

المركبة الأفقية = 40 × 0.86 = 34.4 نت

المركبة العمودية = المحصلة × جيب الزاوية

المركبة العمودية = 40 × جا 30

المركبة العمودية = 40 × 0.5 = 20 نت

---

* خلاصة:

1- إن المحصلة تتأثر بمقدار الزاوية الموجودة بين القوتين.

2- كلما كانت الزاوية صغيرة كان مقدار المحصلة كبيراً، وإذا استمرت الزاوية بين القوتين في الصغر حتى تبلغ صفراً، عندئذ تكون المحصلة بأكبر قيمها، وتساوي المجموع الجبري لهاتين القوتين.

3- أما إذا كانت الزاوية بين القوتين في زيادة إلى أن تصبح أكبر من قائمة (90 درجة) عندئذ تبدأ قيمة المحصلة بالنقصان وما تبلغ الزاوية بين القوتين (180 درجة) فأن قيمة المحصلة تكون بأصغر قيمها وتساوي الفرق بين هاتين القوتين.

4- كلما كانت الزاوية بين القوتين صغيرة كانت المحصلة أكبر وبالعكس.

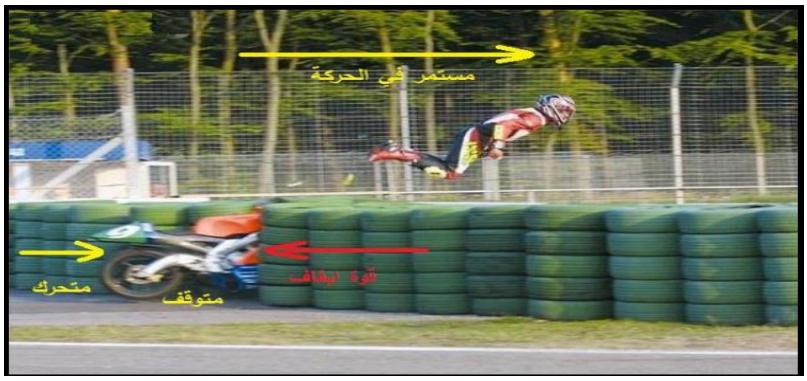
* قوانين نيوتن في الحركة

- تعد قوانين نيوتن في الحركة الأساس في الميكانيك، وأطلق عليها باسم مكتشفها العالم الإنكليزي إسحاق نيوتن، إلا أن هنالك علماء سبقوه في ذلك ولكن بسبب الوضع الذي كانت تمر به أوربا لم يتم الإعلان عنها، وأهم من تطرق لها هو العالم الإيطالي ليوناردو دافنشي.

* القانون الأول: قانون القصور الذاتي (الاستمرارية)

- ينص هذا القانون على: ((إن كل جسم يحاول الاستمرار في سكونه أو حركته مالم تؤثر عليه قوة أخرى تغير من حالته الحركية)).

- ومما تقدم ندرك أن الجسم إذا ما ترك في مكانه فإنه يبقى مستمر في السكون إلى ما لا نهاية مالم تؤثر عليه قوة أخرى تحاول تحريكه وباختلاف شكل تلك القوة وبالعكس، فإذا كان الجسم متحرك فإنه يستمر في حركته مالم تؤثر عليه قوة أخرى تحاول إيقافه أيضاً باختلاف شكل تلك القوة، كما موضح في الصورة التالية:

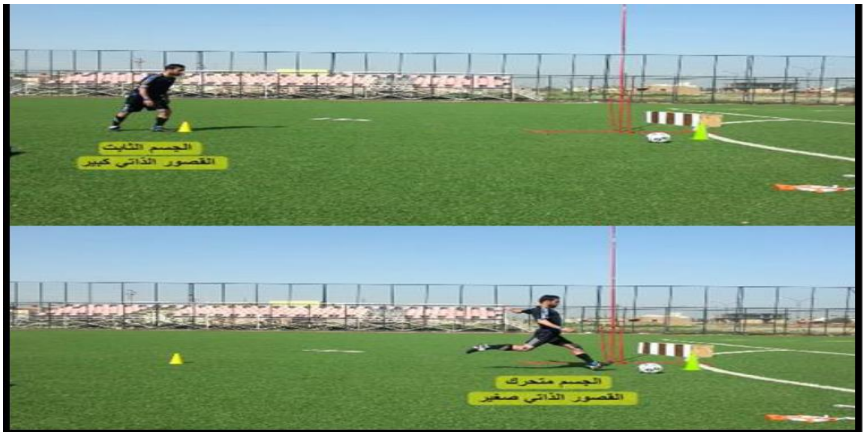


- ونشعر بهذا القانون (القصور الذاتي) في حياتنا اليومية من خلال راكب السيارة والذي تعد سرعته هي نفسها سرعة السيارة وإذا توقفت فيه السيارة فإن جسمه يحاول الاستمرار في حركته ولتفادي ذلك يحاول إيقاف جسمه بالاستناد، وبالعكس عندما تُشرع السيارة بالحركة إذ يميل الراكب للرجوع للخلف استمراراً في سكونه،

- وفي المجال الرياضي يمكن ملاحظة القصور الذاتي عند راكض 100م فلا يستطيع التوقف فجأة إلا بعد فترة زمنية وبعد مسافة ويعتمد طول الفترة والمسافة تلك على مقدار القوة التي يستخدمها الرياضي لإيقاف حركته.

- كما إننا لا نستطيع أن نقطع مسافة في الوثب الطويل إذا ما أدينا الحركة من الثبات إلى القفز إلا بصعوبة،

- وكذلك بالنسبة للاعب كرة القدم عند ركل الكرة لإبعد مسافة من الوقوف، ولكن تصبح المسافة أفضل عندما نعمل على أخذ الخطوات التقريبية، كما موضح في الصورة التالية:



* العوامل المؤثرة في القصور الذاتي

1- حالة الجسم الحركية قبل تأثير القوة

- نجد أن القوة اللازمة لتحريك جسم تختلف باختلاف وضع الجسم قبل استخدام القوة.

- إذا كان الجسم المراد التأثير فيه ثابتاً وأردنا اكسابه سرعة معينة فإننا نعمل على انتاج قوة بمقدار معين.

- أما إذا كان الجسم متحركاً فإن مقدار القوة يكون أقل من أجل اكسابه السرعة نفسها، وهذا ما يفسر أهمية الحركات التحضيرية (التمهيدية).

2- كتلة الجسم

- لتحريك الثقل الخاص بالرجال من الثبات نحتاج قوة أكبر تتناسب مع كتلة الثقل قياساً بالقوة التي نستخدمها لتحريك الثقل الخاص بالنساء، إذ كلما كبرت كتلة الجسم كلما ازداد مقدار القوة المستخدمة.

3- طبيعة الأرض أو السطح الذي يتحرك عليه الجسم

- تختلف القوة المستخدمة للتغلب على القصور الذاتي لجسم ما باختلاف نوعية السطح الذي تتم عليه الحركة، فالقوة تكون أقل إذا ما كان السطح أملساً أو مستوي عما إذا كان السطح خشناً أو غير مستوي.

4- قاعدة الارتكاز واتجاهها

- لهذا العامل تأثير كبير في القصور الذاتي للجسم، فلتحريك جسم ذي كتلة معينة وله قاعدة ارتكاز كبيرة يتطلب منا قدراً كبيراً من القوة بينما تقل تلك القوة إذا كانت القاعدة التي يرتكز عليها الجسم أقل.

- لتطبيق هذا المبدأ هنالك الكثير من فعالياتنا الرياضية ومنها المصارعة إذ يحاول المصارع توسيع قاعدة الارتكاز بزيادة المسافة بين القدمين وذلك من أجل التقليل من تأثير القوة التي يستخدمها المنافس ضده، وهنا يستخدم المنافس قوة أكبر من أجل التغلب عليه بينما تقل تلك القوة لو كانت قاعدة الارتكاز أقل أو يرتكز المصارع على رجل واحدة.

- وأيضاً يُلاحظ ذلك في حياتنا اليومية من خلال راكب الحافلة والتي تتوقف فيه فجأة إذ يحاول أن يقدم إحدى رجليه إلى الأمام من أجل أن يحد من السقوط للأمام، أما إذا كانت القوة المؤثرة في الجسم من الجانب فأنه لتفادي السقوط والحد من تأثير هذه القوة يتم من خلال توسيع القاعدة بوضع الرجل جانباً.

* قانون نيوتن الثاني (قانون التعجيل)

- إن كل حركة تحدث لابد أن تكون نتيجة تأثير قوة سواء كانت قوة داخلية أو خارجية وإلا لما حدثت الحركة، ويكون مقدار الحركة الحاصلة متناسباً مع القوة المؤثرة، فكلما كانت القوى المستخدمة كبيرة كانت الحركة الحادثة أكبر والعكس صحيح، ومن الطبيعي إن اتجاه حدوث الحركة يكون باتجاه القوة المؤثرة نفسه.

- ذكرنا سابقاً عند دراستنا لقانون نيوتن الأول أن الكتلة ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالقصور الذاتي للجسم، حيث تعد مقياساً للقصور الذاتي لذلك الجسم.

- لو اخذنا على سبيل المثال جسماً بكتلة معينة ويسير بسرعة معينة فان حاصل ضرب كتلته × سرعته يطلق عليها كمية حركة ذلك الجسم، فإذا كان الجسم يسير بسرعة س1 ثم أثرنا فيه بقوة حتى أصبحت سرعته س2.

- فأن كمية حركته في الحالة الأولى = ك س1

- وكمية حركته في الحالة الثانية = ك س2

- وإن الفرق بين كمية حركة الجسم في الحالتين تكون كالآتي:

كمية الحركة الثانية – كمية الحركة الأولى = ك (س2 – س1)

- ولكن التغير الذي حدث في كمية الحركة من الحالة الأولى إلى الحالة الثانية كان بفعل تأثير القوة، فتصبح المعادلة كالآتي:

القوة = الكتلة × (السرعة الثانية – السرعة الأولى)

أي: **ق = ك (س2 – س1)**

- وحيث أن التغيير الذي حدث في كمية حركة ذلك الجسم في فترة زمنية معينة أي (معدل تغيير كمية الحركة)، فتصبح المعادلة السابقة كالآتي:

القوة = الكتلة × (السرعة الثانية – السرعة الأولى) / الزمن

أي: **ق = ك x (س2 – س1) / ن**

- وبما إن: س2 – س1 / ن = تعجيل الجسم

- إذن: يمكننا القول إن القانون النهائي يكون:

القوة = الكتلة x تعجيل الجسم

أي: **ق = ك × جـ** ... (المعادلة الرئيسية للميكانيك)

- وبذلك يمكن وضع صيغة نص قانون نيوتن الثاني كما يلي:

((إن تعجيل الجسم يتناسب تناسباً طردياً مع القوة المؤثرة وتحدث الحركة باتجاه القوة نفسه)).

أو: ((إن التغير في كمية الحركة يتناسب تناسباً طردياً مع القوة المؤثرة وتحدث الحركة باتجاه القوة نفسه)).

وبما أن: التعجيل = السرعة / الزمن

إذن: **القوة = الكتلة x السرعة / الزمن**

أي: **ق = ك x س / ن**

مثال1: ركل لاعب كرة قدم كتلتها (0.75 كغم) بقوة (50 نت)، فما هو التعجيل الذي وصلت إليه الكرة؟

الحل: ق = ك × جـ ⬅ 50 = 0.75 × جـ ⬅ جـ = 50 / 0.75 ⬅ جـ = 66.7 م/ثا^2

مثال2: رياضي كتلته (80 كغم) قطع مسافة السباق بسرعة نهائية قدرها (9 م/ثا) في مسار مستقيم، فما القوة التي بذلها، علماً أن زمن قطعه للمسافة (3 ثانية)؟

الحل: جـ = س2 – س1 / ن ⬅ جـ = 9 – 0 / 3 ⬅ جـ = 9 / 3 ⬅ جـ = 3 م/ثا^2

ق = ك × جـ = 80 × 3 = 240 نت

مثال3: جسم أثرت فيه قوة مقدارها (120 نت) أكسبته سرعة مقدارها (6 م/ثا) استمرت لمدة (3 ثواني)، ما هو مقدار كتلة ذلك الجسم؟

الحل: ق = ك x س / ن

120 = ك x 6 / 3 ⟸ 360 = 6 ك ⟸ ك = 360 / 6 = 60 كغم

- وفي المجال الرياضي يعد هذا القانون مهم جداً، فمن خلاله يمكننا أن نعرف العوامل المؤثرة على الأداء وعلى النتيجة.

- لو كان رامي ثقل كبير الكتلة يتحرك بسرعة (4 م/ثا) فإن كمية حركته تعادل كمية حركة الرامي صغير الكتلة والذي يتحرك بسرعة (8 م/ثا)، أي أن النقص في مقدار كمية الحركة الذي حدث للرامي صغير الكتلة بسبب صغر كتلته عوضها بزيادة سرعته.

- لذا فإن طبيعة الفعالية المعينة ومتطلباتها الميكانيكية تحدد مواصفات الشخص المناسب لها وعلى ضوء القوانين الميكانيكية التي تحكمها يمكنه تحقيق نتائج أفضل.

- فمثلاً إن القوة التي يبذلها عداء في ركض 100م كتلته (60 كغم) وبزمن (12 ثانية) هي نصف القوة التي يبذلها عداء كتلته (120 كغم) لقطع نفس المسافة بنفس الزمن.

مثال 4: أحسب مقدار القوة التي يبذلها عداء كتلته (80 كغم) لقطع مسافة 100م بزمن (10 ثانية)؟ وما هو مقدار القوة عندما تكون كتلة العداء (120 كغم)؟

الحل:

السرعة = المسافة / الزمن = 100 /10 = 10 م/ثا

- القوة التي يبذلها العداء ذو الكتلة 80 كغم:

ق = ك x س/ ن = 80 x 10 / 10 = 80 نت

- القوة التي يبذلها العداء ذو الكتلة 120 كغم:

ق = ك x س / ن = 120 x 10 / 10 = 120 نت

* قانون نيوتن الثالث (قانون الفعل ورد الفعل)

- يتضح في كثير من الفعاليات التي يقوم بها الإنسان خلال حياته اليومية وفي حركاته الرياضية ما ينص عليه هذا القانون، والذي يرمي إلى أن القيام بحركة معينة تتم من خلال قوة يصدرها الرياضي ومن الممكن أن نعبر عن تلك القوة بمصطلح الفعل ونتيجة لهذا الفعل يحصل الرياضي على قوة مضادة ومساوية لمقدار الفعل يمكن أن نطلق عليها رد الفعل،

- وعلى ذلك يمكن صياغة القانون كالآتي:

((لكل فعل رد فعل يساويه في المقدار ويعاكسه في الاتجاه)).

- إن القوة التي يسلطها الجسم اثناء وقوفه الاعتيادي على الأرض هي عبارة عن وزنه، لذا فإن سطح الأرض يرد بقوة مماثلة بالمقدار وعكس اتجاه خط عمل الجاذبية الأرضية.

- أما إذا كان الفعل الذي يصدره الرياضي بزاوية معينة مع الأرض فإن رد الفعل يكون باتجاه الفعل نفسه، كما في الأركاض السريعة.

- ويتحدد مقدار القوة بناءاً على ما يريد أن يحققه الرياضي، وكذلك على الاتجاه الذي يرغب بإحداث الحركة به.

* الكتلة والوزن:

- كثيراً ما نستخدم هذين المصطلحين في دراستنا الميكانيكية للحركات الرياضية، فنقول إن هذا الرياضي وزنه 60 وإن كتلة هذا الشيء هي 50، فماذا يقصد بالفرق بين هذين المصطلحين من الناحية العلمية.

- أوضحنا الفرق في موضع سابق بين الكميات القياسية والكميات المتجهة، فالكمية القياسية هي التي تُعرف بالمقدار فقط، أما الكمية المتجهة فلا يكفي لتعريفها ذكر مقدارها فقط بل ينبغي ذكر اتجاهها أيضاً،

- فالكتلة هي مثال للنوع الأول أي كمية قياسية، فهي مقدار ما يحتويه الجسم من مادة ولا تتغير من موضع إلى موضع أخر، فهي تُعبر عن مقدار القصور الذاتي لذلك الجسم،

- من خواص الكتلة إنها تبقى بالمقدار نفسه على الرغم من تغير موضع الجسم، فالجسم الذي كتلته 100 كغم على سطح الأرض يبقى بكتلته نفسها لو ارتفع 20000 قدم،

- أما بالنسبة إلى الوزن فنجده يختلف عن الكتلة، فيُعتبر كمية متجهة أي (مقدار واتجاه) ويختلف وزن الجسم من موقع لآخر، فوزن الجسم على سطح الأرض يختلف عن وزنه وهو على سطح القمر، وكذلك هناك فرق في وزنه بين القطب وخط الاستواء.

- لو أدركنا ماهية الفرق بين وزن الجسم نفسه في مواضع مختلفة في الارتفاع والانخفاض عن مستوى سطح البحر (نقطة نسبية) فأن الفرق يتأتى نتيجة اختلاف قوة الجاذبية الأرضية لذلك الجسم،

- فتكون قوة الجاذبية الأرضية (تعجيل الجاذبية الأرضية 9.81 م/ثا^2) عند سطح البحر أكبر منه عند المرتفعات العالية، وانطلاقاً من قانون نيوتن الثاني، فأن المعادلة تصبح كالآتي:

الوزن = الكتلة × التعجيل الأرضي

أي: **و = ك × جـ**

- نستنتج من ذلك أن كتلة الجسم نفسه لها أوزان مختلفة باختلاف تعجيل الجاذبية الأرضية، أي يمكننا أن نقول باختصار إن وزن الجسم هو مقدار قوة الجذب الأرضي على ذلك الجسم.

- أما بالنسبة إلى الوحدات فوحدة الكتلة هي (كيلوغرام) ووحدة الوزن هي (نيوتن).

مثال: شخص كتلته (60 كغم)، ما مقدار وزنه؟

الحل:

الوزن = الكتلة × التعجيل الأرضي

الوزن = 60 × 9.81

الوزن = 588.6 نيوتن

مثال: شخص وزنه (588.6 نت)، ما مقدار كتلته؟

الحل:

الوزن = الكتلة × التعجيل الأرضي

الكتلة = الوزن / التعجيل الأرضي

الكتلة = 588.6 / 9.81

الكتلة = 60 كغم

* الدفع وكمية الحركة

- سبق إن عرّفنا كمية حركة الجسم بأنها عبارة عن حاصل ضرب كتلته × سرعته.

- فنقول إن كمية الحركة التي تمتلكها مطرقة كتلتها (20 كغم) وبسرعة (10 م/ثا) هي نصف كمية حركة المطرقة نفسها فيما إذا تحركت بسرعة (20 م/ثا) انطلاقاً من قانون نيوتن الثاني.

- فإن التغير في كمية حركة الجسم تحدث بفعل تأثير القوة ومن الطبيعي أن تأثير القوة يحدث في فترة زمنية معينة.

- لو أثرنا في جسم بقوة مقدارها (100 نيوتن) وكان زمن فعل التأثير هو (2 ثانية) فإن الجسم سيتحرك بكمية حركة معينة (بزخم معين).

- ولو أردنا أن نُكسب الجسم نفسه كمية الحركة الأولى نفسها (أي قوة 100 نت) ولكن بزمن فعل قدره ثانية واحدة، فعندئذ يجب أن نضاعف مقدار القوة أو العكس إذا أردنا أن نستخدم قوة تأثيرية مقدارها (50 نيوتن) ففي هذه الحالة ينبغي أن يطول زمن تأثير القوة ليصل إلى (4 ثواني).

- من هذا المنطلق نجد أن القوة التي تؤثر في فترة زمنية معينة يطلق عليها ميكانيكاً مصطلح الدفع أو دفع القوة، أي:

الدفع = القوة x الزمن

أي: **الدفع = ق x ن**

- ولما كان التغير في الحركة هو ناتج عن تأثير القوة الحادثة في زمن معين، حيث يمكننا اشتقاق أن:

دفع القوة = التغير في كمية الحركة، أي:

ق x ن = ك (س2 – س1)

*** طريقة اشتقاق (دفع القوة = التغير في كمية الحركة):**

بما إن: الدفع = ق x ن

وأن: ق = ك x جـ

إذن: الدفع = ك x جـ x ن

وبما أن: جـ = س2 – س1 / ن

إذن: الدفع = ك x س2 – س1 / ن x ن (بحذف الزمن واختصاره من المعادلة)، فتصبح المعادلة كالتالي:

إذن: الدفع = ك (س2 – س1)

أي: ق x ن = ك (س2 – س1)

بالتالي نحصل على نتيجة الاشتقاق النهائية وهي أن:

الدفع = التغير في كمية الحركة

وهذه هي الصيغة النهائية لقانون الدفع الذي ينص على: ((دفع أي قوة لجسم ما خلال فترة زمنية يساوي التغير الناشئ في كمية حركة الجسم خلال تلك الفترة)).

مثال: رامي ثقل يصدر قوة مقدارها (1200 نيوتن) بسرعة (6 م/ثا) وبزمن مقداره (0.5 ثانية)، احسب كتلة الرامي؟

الحل: القوة x الزمن = الكتلة x السرعة

1200 x 0.5 = ك x 6 ⟸ ك = 1200 x 0.5 / 6 = 600 / 6 = 100 كغم

مثال: سباق المزلجة يبدأ طاقم مؤلف من عضوين بدفع المزلجة لتتحرك بسرعة قدر الاستطاعة قبل تسلقها وركوبها، فإذا استعمل اللاعبين معدل قوة (100 نيوتن) باتجاه حركة المزلجة تزن (90 كغم) لفترة (7 ثواني) قبل القفز، فما هي سرعة المزلجة (بإهمال الاحتكاك) في تلك النقطة؟

الحل:

يستخدم اللاعبان الدفع لتغيير زخم المزلجة من الصفر إلى المقدار الأقصى

الدفع = التغير في كمية الحركة

القوة x الزمن = ك x ($س_2$ – $س_1$)

100 x 7 = 90 x ($س_2$ – صفر)

700 = 90 x $س_2$

$س_2$= 7.87 م/ثا باتجاه القوة المستعملة.

---

* الشغل الميكانيكي (Work)

- من المصطلحات الميكانيكية التي يتم دراستها اثناء تأثير القوى لإحداث حركة معينة هو الشغل.

- لو أثرت قوة معينة في جسم وتحرك بفعل تأثير القوة فأنها تكون قد أنجزت شغلاً.

- مثال: إذا أثر شخص ما على جسم بقوة مقدارها (ق) في مستوى أفقي وسببت هذه القوة إزاحة للجسم مسافة مقدارها (م) في اتجاهها، فأننا في هذه الحالة نقول بأن الشغل عبارة عن حاصل ضرب القوة المؤثرة على الجسم في الإزاحة التي قطعها الجسم.

تعريف الشغل: هو عبارة عن المسافة التي يقطعها الجسم بفعل تأثير قوة معينة.

- على ذلك يمكننا التعبير عن الشغل من خلال العلاقة الرياضية التالية:

الشغل = القوة × الإزاحة

- ويقاس الشغل بوحدات القوة (نيوتن) ووحدات المسافة (متر)، فتكون وحدة الشغل (نيوتن × متر) ويطلق عليها (جول).

مثال: ما هو مقدار الشغل الحادث نتيجة تأثير قوة مقدارها (100 نت) أدت إلى تحريك جسم مسافة (20م) عن موضعه الأصلي، وما هو مقدار الشغل إذا كانت المسافة التي تحركها الجسم هي (30م)؟

الحل: - الحالة الأولى: الشغل = القوة × الإزاحة = 100 × 20 = 2000 جول

- الحالة الثانية: الشغل = القوة × الإزاحة = 100 × 30 = 3000 جول

- وعليه يكون الشغل المنجز في الحالة الثانية أكبر منه في الحالة الأولى لأن مقدار الإزاحة في الحالة الثانية كان أكبر.

- إن في حالة الجسم الساقط من الأعلى باتجاه الأرض فأن مقدار الشغل المبذول بفعل تأثير قوة الجذب الأرضي (وزن الجسم) يساوي:

الشغل = الوزن × المسافة العمودية (الارتفاع)

مثال: ما مقدار الشغل الذي ينجزه جسم يسقط من ارتفاع (10 م) ويبلغ وزن ذلك الجسم (200 نت)؟

الحل: الشغل = الوزن × الارتفاع = 200 × 10 = 2000 جول

- يحدث في بعض الأحيان أن تكون حركة الجسم من نقطة إلى نقطة أخرى بفعل تأثير قوة لا ينطبق خط عملها على مسار الإزاحة بل تكون بزاوية معينة، أي أن مقدار الشغل المبذول يساوي:

الشغل = القوة × الإزاحة × جتا الزاوية

مثال: ما مقدار الشغل الذي ينجزه الجسم نتيجة تأثير قوة مقدارها (200 نت) والذي يقطع مسافة على سطح منحدر بلغت (20 م) وإن زاوية ميلان المنحدر مع الخط الأفقي (25 درجة)؟ علماً أن:

جتا 25 = 0.9

الحل:

الشغل = القوة × الإزاحة × جتا الزاوية

الشغل = 200 × 20 × جتا 25 = 200 × 20 × 0.9 = 3600 جول

مثال: عداء كتلته (70 كغم) يقوم بتمرين الجري لمسافة (20 م) ويسحب خلفه إطار كتلته (10 كغم) وإن اتجاه الحركة مع الخط الأفقي بزاوية (60 درجة)، احسب الشغل المبذول؟

الحل:

القوة = الكتلة × التعجيل

القوة = (70 + 10) × 9.81 = 80 × 9.81 = 784.8 نت

الشغل = القوة × الإزاحة × جتا 60

الشغل = 784.8 × 20 × 0.5 = 7848 جول

*** ملاحظات هامة:**

1- يتناسب الشغل تناسباً طردياً مع كل من القوة المؤثرة والإزاحة (أي أنه بزيادة القوة يزداد الشغل وبزيادة الإزاحة يزداد الشغل أيضاً).

2- الشغل هو كمية قياسية أي أنه ليس له اتجاه لأنه عبارة عن حاصل ضرب كميتين متجهتين هما القوة والإزاحة.

3- الشغل المبذول بقوة لتحريك جسم ما يكون موجباً أو سالباً، أي بإشارة رياضية موجبة (+) أو سالبة (-).

4- الشغل الموجب معناه أن اتجاه القوة في نفس اتجاه الحركة، أما الشغل السالب معناه أن اتجاه القوة المبذولة عكس اتجاه الحركة، مثال على ذلك: عندما يرفع الرباع الثقل عن الأرض فأن الشغل يكون موجباً، أما عند عودة الثقل إلى الأرض فأن الشغل يكون سالباً أي عكس اتجاه الإزاحة.

5- كلما كانت الزاوية المحصورة بين خط عمل القوة والإزاحة صغيرة كان الشغل المنجز أكبر والعكس بالعكس.

* القدرة (Power)

- إن الذي يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار وفي كثير من الفعاليات في المجال الرياضي هو ليس التفاضل بين مقدار الشغل المنجز، ولكن بالزمن الذي انجز فيه هذا الشغل.

- فالذي ينجز الشغل بفترة زمنية أقل أفضل من الذي ينجز الشغل نفسه ولكن بفترة زمنية أطول.

- حيث يطلق على العلاقة بين الشغل والزمن بالقدرة.

- وعليه يمكننا تعريف القدرة ميكانيكياً بأنها الشغل المنجز في وحدة الزمن.

أي أن:

القدرة = الشغل / الزمن

- ويمكننا من القانون أعلاه اشتقاق مجموعة قوانين وهي:

القدرة = القوة × الإزاحة / الزمن

القدرة = (الكتلة × التعجيل الأرضي) × الإزاحة / الزمن

- ووحدة القدرة هي الواط: (الواط = نيوتن × متر / ثانية)

- ويمكننا اشتقاق قانون أخر في إيجاد القدرة بدلالة السرعة:

القدرة = القوة × الإزاحة / الزمن

وبما أن: الإزاحة / الزمن = السرعة

إذن: **القدرة = القوة × السرعة**

- استناداً إلى هذا القانون يمكننا أن نتوصل إلى حقيقة مفادها إن فعل تأثير القوة يكون أكبر عندما تؤدي الحركة بسرعة (بفترة زمنية قصيرة)، أي أن هُناك تناسباً طردياً بين قدرة الشخص وسرعة الحركة.

- يمكننا تطبيق هذا المبدأ في كثير من فعالياتنا الرياضية، حيث يوصي المدربون في فعالية رمي الثقل مثلاً: بأن يتوجب على الرياضي أن يرمي الثقل بأسرع ما يمكن.

- لنوضح ذلك أكثر من خلال المثال الآتي:

- لو استخدم الرامي (أ) قوة مقدارها (150 نت) لرمي ثقل بسرعة (6 م/ثا) بينما الرامي (ب) الذي استخدم قوة أقل وكان مقدارها (100 نت) ولكن بسرعة (9 م/ثا)، فستنتج من هذا ما يلي:

- على الرغم من أن الشغل من وجهة النظر الميكانيكية مختلف في الحالتين لأن المسافة التي قطعها الثقل (12م) لكل منهما واختلاف الفترة الزمنية إلا أن القدرة لكل منهما متساوية.

قدرة الرامي (أ) = 150 × 6 = 900 واط

قدرة الرامي (ب) = 100 × 9 = 900 واط

- لذا ينبغي على الرياضيين والمدربين أن يأخذوا هذا المبدأ بنظر الاعتبار من حيث الفترة الزمنية التي تتم فيها الحركة الفعلية، كما في حركة النهوض في الوثب العالي والوثب الطويل، حيث يجب أن تكون الفترة الزمنية قصيرة جداً كي يتحقق مبدأ القوة المميزة بالسرعة والتي ترمي إلى استخدام أقصى قوة بأقصى سرعة.

مثال: بذل سباح شغل مقداره (100000 جول) خلال إحدى المباريات وخلال (200 ثانية)، احسب قدرة السباح؟

الحل: القدرة = الشغل / الزمن = 100000 / 200 = 500 واط

مثال: رامي ثقل يسلط قوة مقدارها (500 نت) ليرميه إلى مسافة أفقية مقدارها (20 م) بزمن قدره (1.5 ثانية)، احسب قدرة ذلك الرامي؟

الحل: **القدرة = القوة × الإزاحة / الزمن**

القدرة = 500 × 20 / 1.5

القدرة = 10000 / 1.5 = 6666.7 واط

مثال: أدى لاعب كتلته (65 كغم) حركة القفز بالعصا ولمسافة (6 م) في زمن قدره (3 ثواني)، ما مقدار قدرته؟

الحل: **القدرة = القوة × الإزاحة / الزمن**

القدرة = (الكتلة × التعجيل الأرضي) × الإزاحة / الزمن

القدرة = (65 × 9.81) × 6 / 3

القدرة = 637.65 × 6 / 3

القدرة = 3825.9 / 3

القدرة = 1275.3 واط

* الطاقة (Energy)

- **الطاقة: هي قدرة الجسم على انجاز شغل ما.**

- هُناك اشكال متعددة للطاقة والذي يهمنا في هذا المجال هو **الطاقة الميكانيكية (الحركية) والطاقة الكامنة.**

- عند أداء الرياضي لحركة معينة فأنه يمتلك طاقة ميكانيكية ولكن تختلف أنواع هذه الطاقة التي يمتلكها الجسم باختلاف وضعه اثناء الحركة.

- عندما يكون الجسم في حالة حركة فأنه يمتلك طاقة تدعى **الطاقة الحركية** ويختلف مقدار هذه الطاقة تبعاً لاختلاف كتلة الجسم المتحرك وسرعته اثناء الأداء.

- فأذا كان عداء كتلته (100 كغم) يركض بسرعة (6 م/ثا) فأنه يمتلك طاقة حركية أقل مما لو كانت سرعته (8 م/ثا).

- من هذا يمكننا أن نعبر عن مقدار الطاقة الحركية بالمعادلة التالية:

الطاقة الحركية = 2/1 × الكتلة × (السرعة)^2

أو: **الطاقة الحركية = الكتلة × (السرعة)^2 / 2**

- تُقاس الطاقة بوحدات الكتلة (كيلوغرام) ووحدات السرعة (متر/ثانية) وتسمى بوحدة (الجول)، أي وحدة قياس الشغل نفسها.

مثال: لوحظ أن عداء يركض إحدى أجزاء السباق بسرعة قدرها (10 م/ثا)، علماً أن كتلته (86 كغم)، احسب طاقة حركته؟

الحل: الطاقة الحركية = الكتلة × (السرعة)2 / 2

الطاقة الحركية = 86 × (10)^2 / 2 = 86 × 100 / 2 = 8600 / 2 = 4300 جول

مثال: جسم وزنه (980 نت) يمتلك طاقة حركية مقدارها (19600 جول)، احسب سرعة ذلك الجسم؟

الحل: يجب أولاً أن نحول الوزن إلى كتلة بتطبيق المعادلة التالية:

الوزن = الكتلة × التعجيل الأرضي

الكتلة = الوزن / التعجيل الأرضي = 980 / 9.8 = 100 كغم

- نطبق الآن المعادلة التالية لاستخراج الطاقة الحركية:

الطاقة الحركية = 2/1 × الكتلة × (السرعة)^2

19600 = 2/1 × 100 × س^2

19600 = 50 × س^2

س^2 = 19600 / 50

س = $\sqrt{392}$ = 19.8 م/ثا

- أما النوع الأخر من الطاقة الميكانيكية هو ما يسمى بالطاقة الكامنة أو طاقة الوضع ويقصد بها الطاقة التي يمتلكها الجسم في وضع معين اثناء الثبات.

- ففي حالة رمي الثقل إلى الأعلى فأن الثقل يتحرك بطاقة حركية ولكن سرعته اثناء الصعود تتناقص تدريجياً وعليه تقل طاقته الحركية تدريجياً وتتحول إلى شكل أخر يخزن في الثقل إلى أعلى نقطة عندئذ يصبح مقدار الطاقة الحركية صفراً، أي تتحول بكاملها إلى طاقة مخزونة في الجسم على ذلك الارتفاع.

- ويمكن أن يستدل على مقدار الطاقة الكامنة التي يمتلكها الجسم وهو في أعلى وضع من ضرب وزن الجسم في ارتفاعه، أي: الطاقة الكامنة = وزن الجسم × الارتفاع

مثال: قافز زانة وزنه (800 نت) يسقط من ارتفاع (5.80 م)، احسب مقدار الطاقة الكامنة التي كان يمتلكها القافز وهو في أعلى نقطة؟

الحل: **الطاقة الكامنة = وزن الجسم × الارتفاع**

الطاقة الكامنة = 800 × 5.80 = 4640 جول

مثال: احسب الطاقة الكامنة للاعب الكرة الطائرة كتلته (80 كغم) ويرتفع مركز ثقله عن الأرض بمقدار (40 سم) لحظة الضرب الساحق؟

الحل:

- يتم تحويل وحدة الكتلة إلى وحدة النيوتن، وتحويل وحدة السنتيمتر إلى وحدة المتر، وكالآتي:

الوزن = الكتلة × التعجيل الأرضي

الوزن = 80 × 9.81 = 784.8 نيوتن

الارتفاع = 40 / 100 = 0.40 متر

- نطبق الآن المعادلة التالية لاستخراج الطاقة الكامنة:

الطاقة الكامنة = وزن الجسم × الارتفاع

الطاقة الكامنة = 784.8 × 0.40 = 313.9 جول

مع تمنياتي لجميع الطلبة بالتوفيق والنجاح

وأخر دعوانا أن الحمدُ لله رب العالمين، وصلى الله على خير خلقه محمد وعلى آله الطاهرين

الأستاذ الدكتور وائل قاسم جواد المحمداوي

2024 – 2025 م

ملحق (2) : جدول بالجيب وجيوب التمام والظل

ظل tan	جيب تمام cos	جيب sin	الدرجة	ظل tan	جيب تمام Cos	جيب Sin	الدرجة	ظل tan	جيب تمام cos	جيب Sin	الدرجة
1.73	0.5	0.86	60	0.57	0.86	0,5	30	0	1	0	0
1.8	0.48	0.87	61	0.6	0.85	0.56	31	0.02	0.99	0.02	1
1.88	0.46	0.88	62	0.63	0.84	0.52	32	0.03	0.99	0.03	2
1.96	0.45	0.89	63	0.64	0.83	0.54	33	0.05	0.99	0.05	3
2.05	0.43	0.89	64	0.67	0.82	0.55	34	0.06	0.99	0.07	4
2.14	0.42	0.9	65	0.7	0.81	0.57	35	0.08	0.99	0.09	5
2.24	0.4	0.91	66	0.73	0.8	0.58	36	0.1	0.99	0.1	6
2.35	0.39	0.92	67	0.75	0.79	0.6	37	0.12	0.99	0.12	7
2.47	0.37	0.92	68	0.78	0.78	0.61	38	0.14	0.99	0.12	8
2.6	0.35	0.93	69	0.8	0.77	0.62	39	0.15	0.98	0.15	9
2.74	0.34	0.93	70	0.83	0.76	0.64	40	0.17	0.98	0.17	10
2.9	0.32	0.94	71	0.86	0.75	0.65	41	0.19	0.98	0.19	11
3.07	0.3	0.95	72	0.9	0.74	0.66	42	0.21	0.97	0.2	12
3.3	0.29	0.95	73	0.93	0.73	0.68	43	0.23	0.97	0.22	13
3.4	0.27	0.96	74	0.96	0.71	0.69	44	0.24	0.97	0.24	14
3.7	0.25	0.96	75	1	0.7	0.7	45	0.26	0.96	0.25	15
4.01	0.24	0.97	76	1.03	0.69	0.71	46	0.28	0.96	0.27	16
4.23	0.22	0.97	77	1.07	0.68	0.73	47	0.3	0.95	0.29	17
4.7	0.2	0.97	78	1.11	0.66	0.74	48	0.32	0.95	0.3	18
5.64	0.19	0.98	79	1.15	0.65	0.75	49	0.34	0.94	0.33	19
5.67	0.17	0.98	80	1.19	0.64	0.76	50	0.36	0.93	0.34	20
6.31	0.15	0.98	81	1.23	0.63	0.77	51	0.38	0.93	0.35	21
7.11	0.13	0.99	82	1.27	0.61	0.78	52	0.4	0.92	0.37	22
8.14	0.12	0.99	83	1.33	0.6	0.79	53	0.42	0.92	0.39	23
9.51	0.1	0.99	84	1.3	0.58	0.8	54	0.44	0.91	0.4	24
11.43	0.08	0.99	85	1.42	0.57	0.81	55	0.46	0.9	0.42	25
14.2	0.06	0.99	86	1.48	0.55	0.82	56	0.48	0.89	0.43	26
19.08	0.05	0.99	87	1.53	0.54	0.83	57	0.5	0.89	0.45	27
28.64	0.02	0.99	88	1.6	0.52	0.84	58	0.53	0.88	0.46	28
57.29	0.01	1	89	1.66	0.51	0.85	59	0.55	0.87	0.48	29
	0	1	90								