وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة تكريت
كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة

الكينماتك المستقيم

محاضرة في مادة البايوميكانيك

لطلبة الدراسة الأولية / المرحلة الثانية

اعداد التدريسي

م. د وسام عوني صالح

1446 هـ

2025 م

الباب الثالث

الكينماتك المستقيم

الكينماتك المستقيم

1- المسافة والازاحة
2- الكميات القياسية والكميات المتجهة
3- انواع الحركات
4- السرعة
5- التعجيل
6- حركة المقذوفات

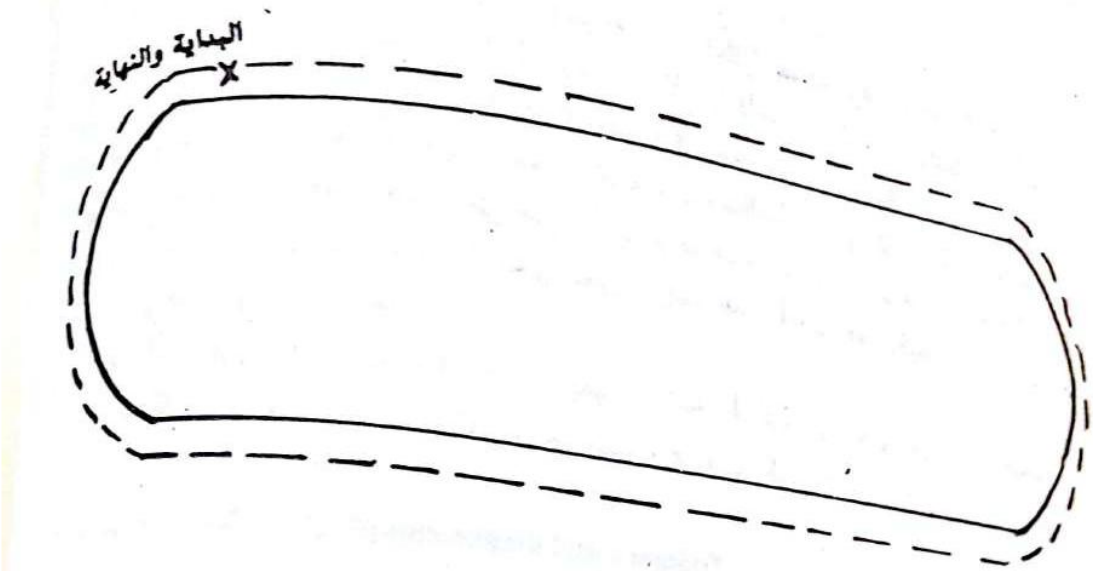
الكينماتك المستقيم: Ler Kinemato

ان علم البايوميكانيك يعني بحركة جسم الانسان ككائن عضوي ومحاولة الارتقاء بها من حيث طبيعة الحركة المؤداة، وشـــكلها ومدى امكانيتها للظروف الزمانية والمكانية لذا أن هذا العلم عندما يتطرق لدراسة حركة معينة في اية فعالية، ولتكن حركة المشـي فنجد ان تحليل هذه الحركة تحليلا وصـفيا للمركبات الميكانيكية التي تؤدي إلى حدوث الحركة، وكذلك المسافة المقطوعة من جراء ذلك او تذبذب حركة الجسم من السرعة إلى البطء فنجد ان قسم البايوميكانيك الذي يعنى بدراسة هذا الجانب هو الكينماتك الذي يمكن تعريف مهمته ببساطة.

هو احد فروع البايوميكانيك والذي يعنى بدراسة الحركة دراسة وصفية من حيث زمانها و مكانها بصرف النظر عن القوى التي تسبب حدوث الحركة.

١. المسافة والازاحة: Distance and displacement

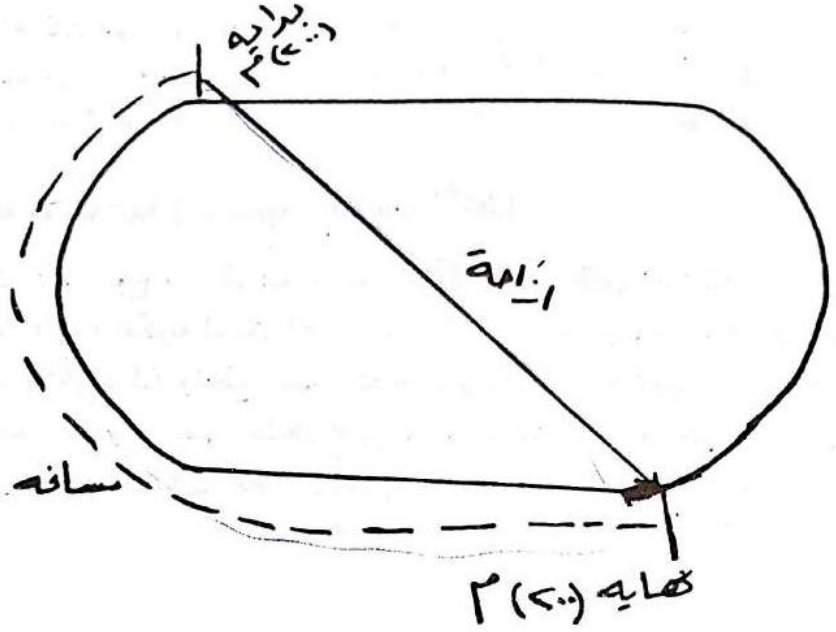
ان المفهوم العام للحركة التي يؤديها جســم الانســان او الاجســام الأخرى يعني انتقاله من مكان إلى مكان اخر (سنتعرض لهذا الجانب بالتفصيل عند تناولنا انواع الحركات)، فقطع الراكض لمسافة معينة على سطح الأرض اثناء الركض يتم ذلك من خلال الحركة وعملية رفع الرجل إلى الأعلى من وضع الوقوف وقطعها مسافة معينة في حركة في هذا الخصوص لابد لنا من توضيح ماهية العلاقة بين الحركة وقطع الجســم لمســافة معينة وما يرتبط هذا الجانب بمفهوم الازاحة. لنفرض ان جسما معينا تحرك من مكانه لقطع مسافة معينة عندئذ يكون الجسم قد ازيح عن موضعه بمقدار المسافة التي قطعها اي للمسافة والإزاحة المضمون لنفسه، فنقول ان عداء تحرك من خط البداية وقطع مســافة 50م باتجاه خط النهاية وبذلك فان ازاحته تكون بمقدار المسافة التي قطعها العداء، وفي مثال اخر عندما يتحرك جسم لقطع مسافة معينة في زمن معين وبعد فترة يعود إلى النقطة التي بدأ منها فيمكن القول أن الجســم قد قطع مســافة محددة ولكن ازاحة الجســم في هذه الحالة هي صفر، أي بمعنى عدم ازاحته عن موضعه الاصلي مقدار معين وباتجاه معين في نهاية الحركة كما في الشكل الاتي:



شكل (٣٢)

ففي المثال السابق يتضح أن العداء قد قطع دورة كاملة حول الملعب اي قطع مسافة 400 م عندما تحرك من نقطة أ وبعد قطعه المسافة عاد ثانية إلى النقطة نفسها فنقول ان . العداء قطع مسافة 400 م، اما عندما نتكلم على الازاحة فأن ازاحة الجسم تساوي صفرا .

عند التفريق بين الكميات الميكانيكية التي يتولى دراستها علم البايوميكانيك يتم ذلك من حيث خاصية هذه الكميات فيوصف بعضها بأنها قياسية اي يتم تعريفها بمقدارها فقط كالمسافة اما البعض الاخر يوصف بأنه كمية متجهة أي عرف بمقدارها وباتجاهها ايضا (كما سنفصل ذلك فما بعد) وبغية توضيح هذا الجانب بشكل أكثر تفصيلا نضرب المثال الأتي للتفريق بين المسافة ككمية قياسية والازاحة ككمية متجهة، ففي سباق ركض ٢٠٠ م كما موضح بالشكل (22) يقطع العداء مسافة ٢٠٠ م والتي تم حسابها على اساس المسافة التي قطعها العداء بالامتار، اما الازاحة تختلف عن المسافة.



شكل (٢٣)

شكل (23)

٢- الكميات القياسية والكميات المتجهة: Vectors and Scalars

لدراسة الكميات الميكانيكية ومعرفة ماهيتها عند دراستنا لعلم الميكانيك نجد ان هناك تفريقا بين هذه الكميات من حيث طبيعة تعريفها. فعلى هذا الأساس تنقسم الى كميات قياسية وكميات متجهة، فالكمية القياسية يكفي لتعريفها ذكر مقدارها فقط، و يمكننا التعبير عن درجة حرارة الجو بمقدار معين أو التعريف كتلة جسم معين بأنها. كغم) مثلا، وكذلك بالنسبة للكميات الأخرى التي تعرف بمقدارها فقط كالمسافة، والزمن والطول..

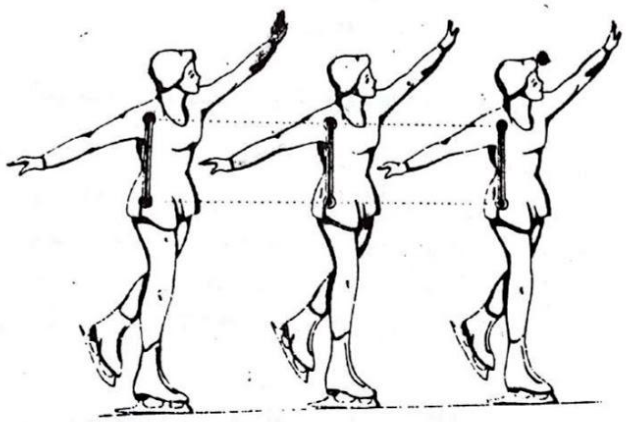
اما الكميات المتجهة فلا يكفي لتعريفها ذكر مقدارها فقط، بل ينبغي ذكر اتجاهها ايضا فعند دراستنا للقوة ككمية ميكانيكية يجدر بنا أن نذكر بجانب قيمتها اتجاهها أيضا حيث يمكن تمثيل مقدار القوة بخط يعبر عن مقدارها وفي نهاية الخط يحدد الاتجاه من خلال سهم يشير الى ذلك فنقول ان قوة مقدارها ٢٠٠ نيوتن اثرت في جسم اخر بالانح المبين الذي يؤشره السهم وكذلك الحال بالنسبة إلى الكميات المتجهة الاخرى مثل الازاحة، والتعجيل، والوزن وكمية الحركة... الخ.

1- انواع الحركات:. Types of motion

ان الحركات التي يقوم بها الإنسان تختلف من موقع لاخر ومن هدف لاخر ولدراسة هذا الجانب من الناحية الكينماتيكية اي وصف الحركات من حيث اشكالها الهندسية وكذلك من حيث توقيتها الزمني. لدراسة الحركة هندسيا يمكن تقسيمها إلى

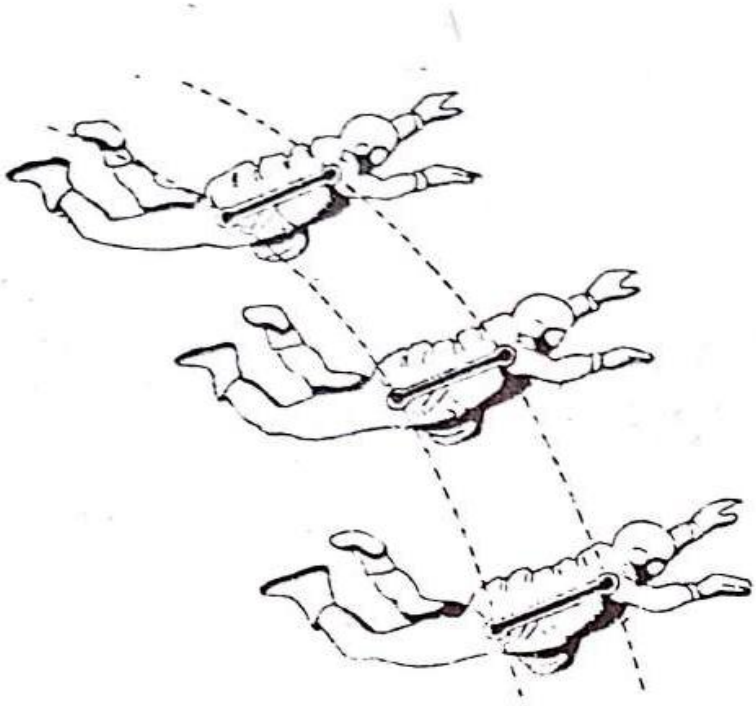
أ. الحركة الانتقالية المستقيمة) Linear motlan

يحدث هذا النوع من الحركة عندما ينتقل الجسم بكامل أجزائه من مكان لاخر بحيث ترسم الأجزاء المكونة لذلك الجسم مسارات متوازية مع بعضها في أي لحظة من لحظات حدوث الحركة وتقطع مسافات متساوية اثناء حدوثها، وقد تكون من المسارات متوازية مع بعضها بشكل افقي كما في حركة التزحلق على الجليد او بشكل منحني كما في الهبوط بالمظلات انظر الشكل (34)



شكل (٣٤)

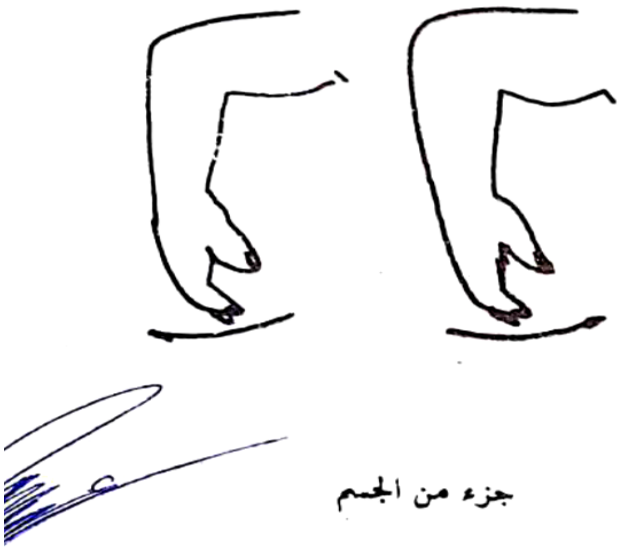
حركة انتقالية مستقيمة

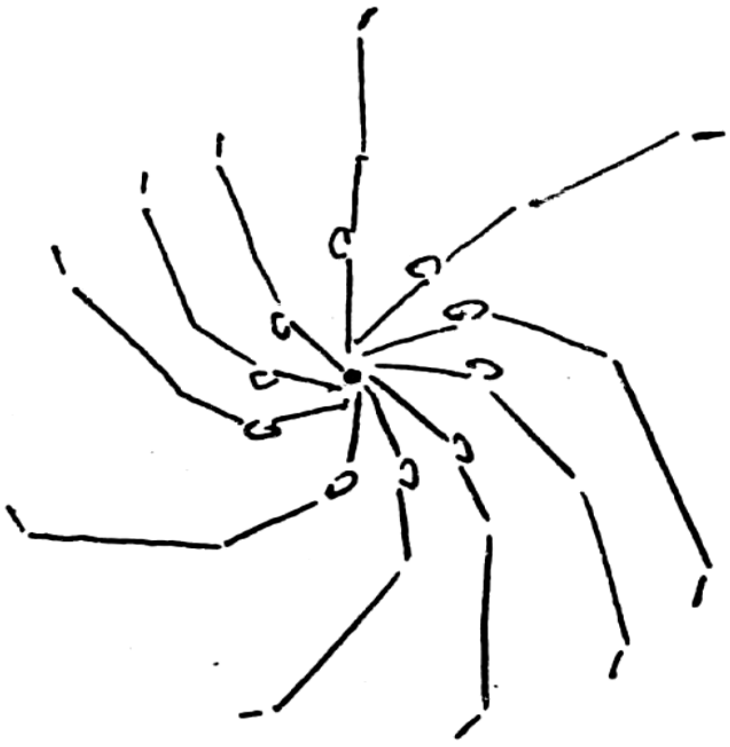


حركة انتقالية منحنية

ب - الحركة الدائرية: Angular motion

تحدث هذه الحركة في معظم الفعاليات الرياضـــية والتي يشـــترط لحدوثها محور للدوران سـواء أكانت حركة جزء من الجسـم أو الجسـم بأكمله، وتكون مسـارات حركة اجزاء الجســـم عبارة عن دوائر تبعد بمقدار ثابت عن محور الدوران أثناء حركتها، وقد يكون المحور الذي يتم حوله الدوران داخل الجســـم أو خارجه، ففي حالة حركة جزء من الجســـم حركة دورانية كما في ثني المرفق فانها تتم حول محور مفصـل الرفق (المحور العرضـي)، او في حالة حركة الجسـم بأكمله حركة دائرية كما في الدحرجة الأمامية فيكون المحور هو المحور العرضـــي ايضـــا الذي يخترق الجسم من جانب لاخر، أما اذا كانت الحركة الدائرية للجسم بأكمله تتم حول محور خارجي كما في دوران لاعب الجمناسـتك حول العقلة ففي هذه الحالة ترسـم الأجزاء المكونة للجسم دوائر متحدة المركز وتختلف انصاف أقطارها باختلاف بعد الجزء عن محور الدوران كما في الشكل (35)



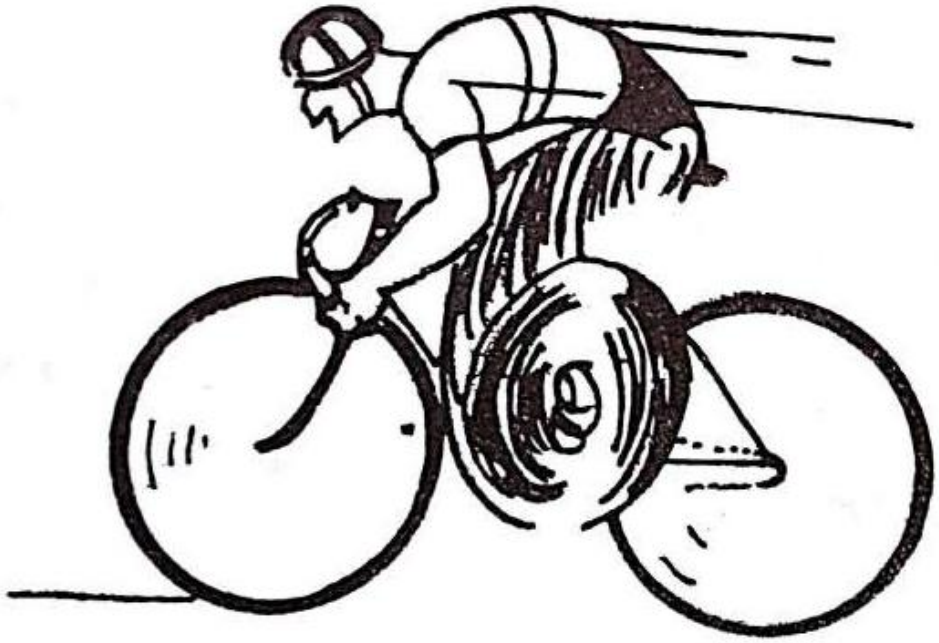


الجسم بأكمله

شكل (٣٥) حركة دائرية

ج - الحركة المركبة (العامة) General motion

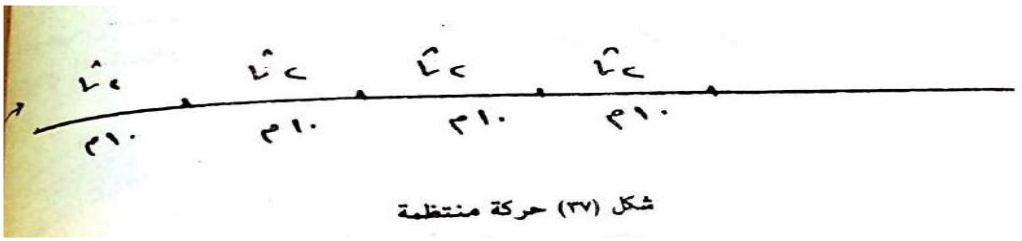
تتكون هذه الحركة من مزيج من الحركتين السـابقتين، أي حركة انتقالية وحركة دائرية في الوقت نفسـه فقد يدور الجسـم باكمله حركة دائرية حول نفسـه وفي الوقت نفسـه ينتقل حركة انتقالية كما في حركة الغطس من فوق قفاز الى الماء، وقد تحدث هذه الحركة عندما يتحرك جزء من الجسـم حركة دائرية الامر الذي يؤدي بانتقاله حركة انتقالية كما في حركة الركض حيث تكون حركة الأطراف السـفلى والذراعين حركة دائرية مما يؤدي إلى انتقال الجسـم من مكان إلى آخر او اثناء حركة ركوب الدراجة الهوائية ، فحركة الارجل الدائرية تؤدي إلى انتقال الراكب والدراجة الى الأمام حركة انتقالية كما في الشكل .



اما تقسيم الحركة زمنيا فتقسم إلى قسمين:

1- حركة منتظمة:

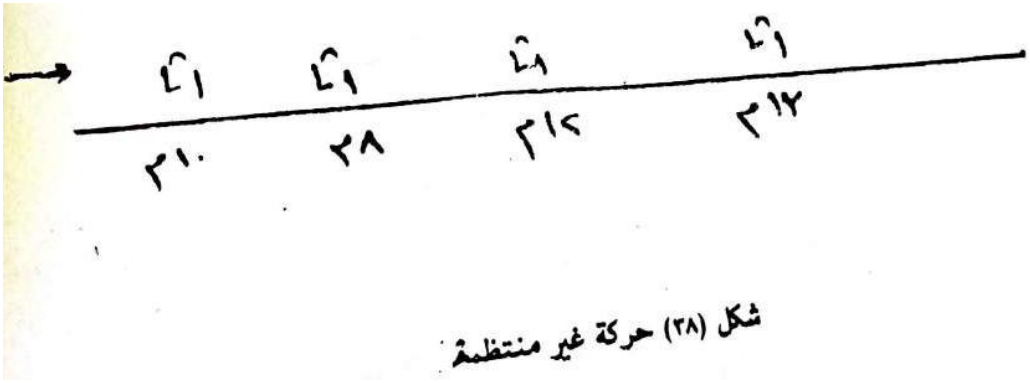
يقطع الجسم في هذا النوع من الحركات مسافات متساوية في ازمنة متساوية فمثلا يقطع عداء كل 10 أمتار بزمن قدره ٢ثانية عندئذ تطلق على حركة العداء حركة منتظمة كما في الشكل



شكل (٣٧) حركة منتظمة

2- حركة غير منتظمة

يقطع الجسم في هذه الحركة مسافات غير متساوية في ازمنة متساوية فقد يقطع العداء مسافة 10 أمتار في الثانية الأولى ومسافة 8 أمتار في الثانية التي تليها ومسافة 12 متر في الثانية الثالثة فأن حركة العداء حركة غير منتظمة نظرا لاختلاف سرعته من فترة لاخرى وظهور مايسمى بالتعجيل (سنشرح ذلك مفصلا في موضع قادم).



شكل (٣٨) حركة غير منتظمة

3- السرعة Velocity

عندما ما يتحرك جسـم من مكان إلى آخر فان حدوث الحركة هذه يتم في وقت معين ويختلف الوقت المسـتغرق لقطع مسـافة محددة من جسـم الى آخر، فقطع مسـافة ١٠ كيلو مترات بواسطة سيارة مسرعة تستغرق وقتا أقصر من زمن قطع المسافة نفسها بواسطة الركض، وبعد الزمن الأخير أقصر من زمن قطع المسافة مشيا على الاقدام نستنتج مما تقدم أن الجسم الذي يقطع مسافة معينة بزمن قصير هو اسرع من الجسم الذي يقطع المسافة نفسها بزمن اطول، وعلى هذا الأسـاس يمكن صـياغة العلاقة بين السـرعة المسـافة والزمن على النحو الآتي:

السرعة تساوي المسافة المقطوعة في وحدة الزمن

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

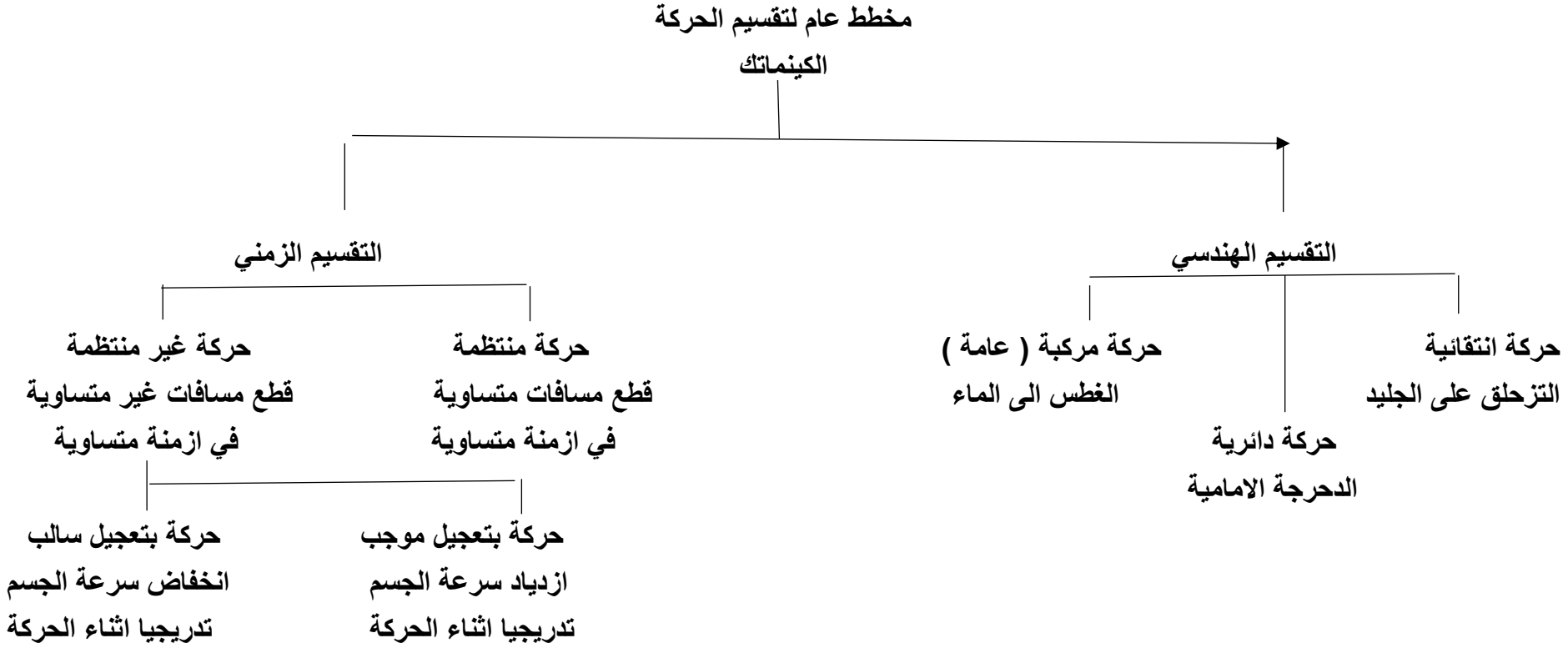
$$\text{وبالرموز س} = \frac{\text{م}}{\text{ن}} \quad \text{او} \quad \text{م} = \text{س} \times \text{ن} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (١)$$

تتكون وحدة السـرعة من وحدة مركبة من وحدة المسـافة ووحدة الزمن فنقول عداء يركض بسرعة 6 م / ثا او سيارة تسير بسرعة 40 كم / ساعة.

كما ذكرنا سـابقا أن السـرعة تعد كمية متجهة أي ينبغي ذكر اتجاهها اضـافة الى مقدارها عند دراستها. أن استعمال كلمة السرعة التي نتداولها دائما في مجالنا الرياضي هي ترجمة لكلمة (Speed)، ولكن من وجهة النظر الميكانيكية البحتة يعبر هذا المصـطلح عن كمية السـرعة وليس السـرعة المقصـودة ميكانيكيا أي السـرعة المتجهة (Velocity) التي تمثل كمية السرعة التي يتحرك بها الجسم اضافة الى اتجاهها. .

اوضـحنا في موضـع سـابق من هذا الكتاب الفرق بين المسـافة والازاحة من وجهة النظر الميكانيكية، وبالنظر للارتباط الوثيق بين السـرعة والمسـافة فلابد لنا من توضـيح العلاقة الرياضية بين السرعة ككمية لحركة الجسم والسرعة المتجهة وبين المسافة والازاحة

النضرب المثال التالي زيادة في التوضيح


مخطط عام لتقسيم الحركة
الكينماتك
التقسيم الهندسي
التقسيم الزمني
حركة انتقائية
التزحلق على الجليد
حركة مركبة (عامة)
الغطس الى الماء
حركة دائرية
الدحرجة الامامية
حركة منتظمة
قطع مسافات متساوية
في ازمنة متساوية
حركة غير منتظمة
قطع مسافات غير متساوية
في ازمنة متساوية
حركة بتعجيل موجب
ازدياد سرعة الجسم
تدريجيا اثناء الحركة
حركة بتعجيل سالب
انخفاض سرعة الجسم
تدريجيا اثناء الحركة

عندما يتحرك جسم من نقطة ا باتجاه نقطة ب وكانت المسافة بين النقطتين ٣٠م وكان الزمن المستغرق هو ه ثانية احسب سرعة ذلك الجسم؟

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

$$= \frac{30}{5} = 6 \text{ م / ثا}$$

في هذه الحالة تعطى كل من المسافة والازاحة المفهوم نفسه وعليه يمكن الاكتفاء مصطلح السرعة (Speed) للتدليل على السرعة المتجهة (Velocity) وفي حالة اخرى عندما يتحرك جسم من نقطة أ باتجاه نقطة ب التي تبعد مسافة 30 م وبعد بلوغه نقطة ب يعود ثانية إلى أ ،

لنفرض أن الزمن المستغرق تقطع المسافة من أ إلى ب ثم إلى أ ثانية هو 10 ثوان فأن سرعة الجسم تساوي .

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

$$= \frac{60}{10} = 6 \text{ م / ثا}$$

اما فيما يخص سرعة الجسم المتجهة فيمكن التعبير عنها بالمعادلة الاتية :

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

أي السرعة المتجهة = $\frac{\text{صفر}}{10}$

= صفر

اصــبح من الواضــح التفريق بين مصــطلحي الســرعة والســرعة المتجهة من وجهة النظر الميكانيكية البحتة اللذين غالبا مانعبر عنها بمصطلح السرعة بشكل عام.

عندما يتحرك الجسم لقطع مسافة معينة وكانت سرعته منتظمة، فاذا كانت سرعة عداء عند نقطة أ 6 م/ثا وبعد بلوغه نقطة ب بلغت 10 م / ثا ففي هذه نحاول اســتخراج معدل السرعة حيث:

متوسط السرعة = $\frac{\text{السرعة الابتدائية + السرعة النهائية}}{2}$

متوسط السرعة = $\frac{\text{س } 1 + \text{س } 2}{2}$ ..... (3)

= $\frac{10 + 6}{2}$

= ٨ م / ثا السرعة المتوسطة

وعلى ضوء القانون السابق ادا كانت سرعة العداء الابتدائية تساوي صفرا فأن معدل سرعته هو نصف سرعته النهائية

س = $\frac{\text{س}}{2}$ ..... (4)

$$= \frac{20-50}{5-11}$$

= 5 م / ثا

وفي بعض الأحيان تتغير سرعة الجسم في فترات زمنية قصيرة فلتحديد سرعة ذلك الجسم في لحظة معينة يجب معرفة مقدارها في اصــغر مســافة مقطوعة وفي اصــغر فترة زمنية عندئذ تسمى السرعة اللحظية او الانية

السرعة اللحظية = $\frac{\text{اصغر فرق في المسافة}}{\text{اصغر فرق في الزمن}}$

س اللحظية = $\frac{م2 - م1}{ن2 - ن1}$ **..... (6)**

ويعني الرمز $\frac{\Delta م}{\Delta ن}$ **نهاية مايصــل اليه الفرق في المســافة الى الفرق في الزمن عندما يقترب**

الفرق بين الزمن $\Delta ن$ **(×) الى الصفر**

ن1 =5 ثا

م 1 = 25 م

م 2 = 25.02 م

ن 2 = 5.01 ثا

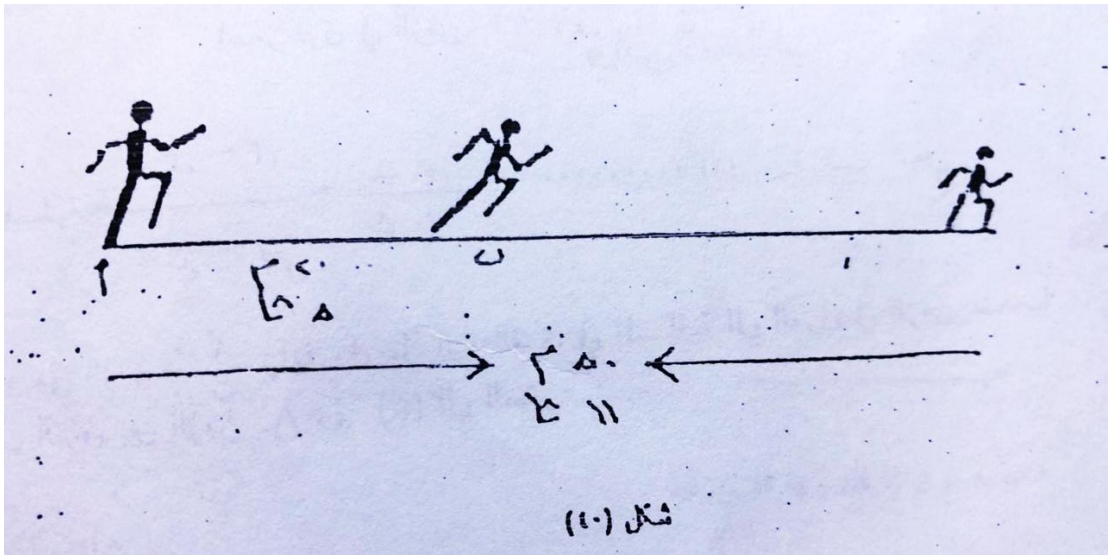
اذا تحرك عداء من وضع الثبات وكانت سرعته منتظمة وبعد مسافة معينة بلغت سرعته 10 م/ثا فان متوسط سرعة العداء

$$\text{س} = \frac{10}{2}$$

$$= 5 \text{ م / ثا}$$

اما اذا كانت سرعة الجسم غير منتظمة أي ان سرعته تتغير باستمرار على طول المسافة المقطوعة فلحساب سرعة الجسم المتوسطة نضرب المثال الاتي :-

يتحرك عداء من نقطة أ باتجاه نقطة ب التي تبعد مسافة 20 م ويقطعها بزمن قدره 5 ثوان ثم يستمر في حركته الى نقطة جـ التي تبعد عن ب مسافة 30 م بحيث كان الزمن المستغرق الكلي 11 ثانية كما في الشكل



شكل (١٠)

ان متوسط سرعة العداء بين ب , جـ هي

$$\text{س} = \frac{\text{م}2 - \text{م}1}{\text{ن}2 - \text{ن}1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

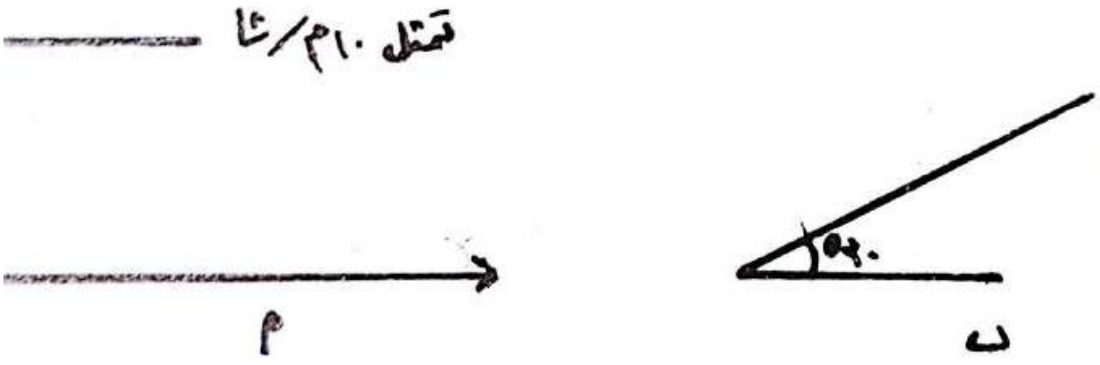
س اللحظية = $\frac{\text{م}2 - \text{م}1}{\text{ن}2 - \text{ن}1}$

$$= \frac{25 - 25.03}{5 - 5.01} = \frac{0.03}{0.01}$$

3 م / ثا

السرعة كمية منجهة : Velocity as avector

أن السـرعة هي احدى الكميات الميكانيكية التي يتم تناولها بشـكل مسـتمر سـواء في العمل اليومي او اثناء دراسـتنا للحركة في المجال الرياضـي و تعد من الكميات المتجهة أي يجب ان نذكر مقدارها بالاضافة إلى اتجاهها، حيث يمكن تمثيل هذه الكمية الميكانيكية بسهم يمثل طول المستقيم فيه مقدار السرعة ، بينما يمثل تأشير السهم اتجاهها ويمكن توضيح ذلك من خلال الشكل الاتي :



شكل (٤١)

أ- يمثل سرعة جسم ٥٠م/ثا وبالاتجاه الافقي.

ب- يمثل سرعة جسم ٤٠م/ثا وبزاوية ٣٠° مع المستوى الافقي.

ذكرنا سابقا أن خاصية السرعة من الناحية الميكانيكية هي خاصية الاتجاه فعند دراستنا لفعل تأثير السرعة يتم التعامل مع هذه الكمية على اساس بياني، بمعنى اذا سار جسم بتاثير سرعتين في الوقت نفسه فان الفعل التاثيري لهذه السرع يعتمد على اتجاهاتها فاذا كانت السرعتان في اتجاه واحد فأن حملتها هي عبارة عن جميعها هندسيا .

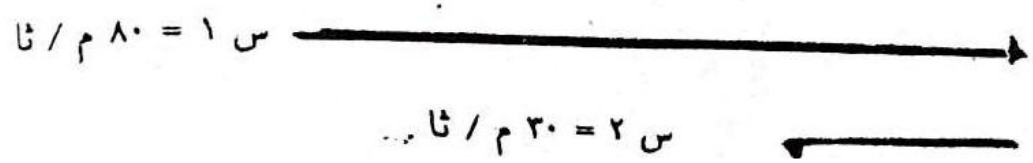
س 2 = 20 م / ثا س 1 = 50 م / ثا

ان محصلة السرع في هذه الحالة = س 1 + س 2

= 50+ 30 = 80 م / ثا

ويكون الاتجاه باتجاه السرعتين نفسه

اما اذا كانت السرعتان في اتجاهات مختلفة وعلى خط عمل واحد فان محصلتهما النهائية هي الفرق بينها كما في الشكل



فتكون السرعة المحصلة = س 1 – س 2

= 80 – 30

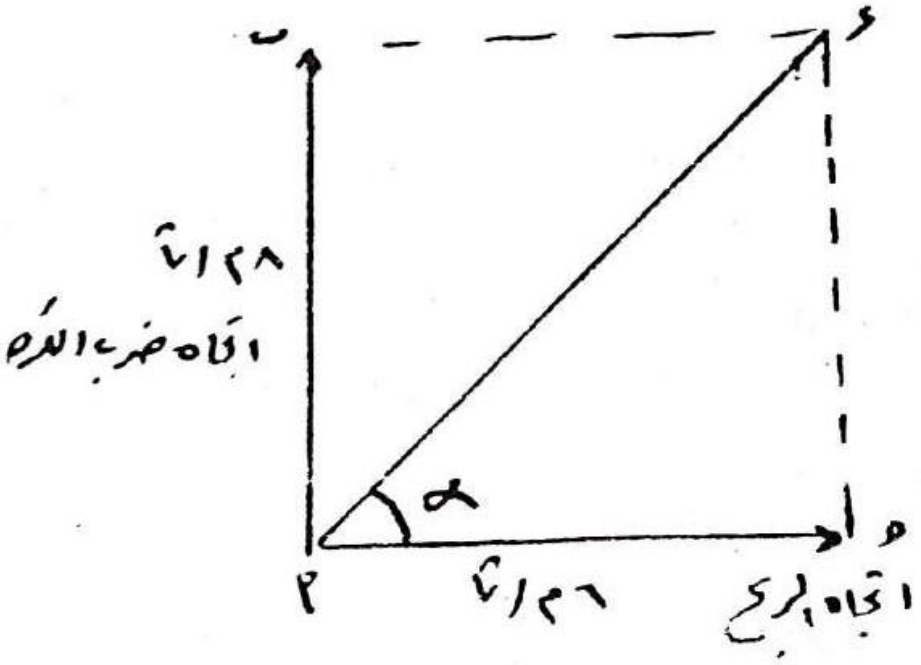
= 50 م / ثا وباتجاه السرعة الكبرى

وهناك امثلة كثيرة في الحياة اليومية على هذه الخاصية، فاذا سار راكب القطار باتجاه حركة القطار نفسها فان سرعة الراكب هي عبارة عن سرعته + سرعة القطار، بينما اذا كان يسير نحو المؤخرة فأن سرعته هي الفرق بين سرعة القطار - سرعة الراكب. يمكن تطبيق المبدأ نفسه على الحركات الرياضية وخاصة فعاليات الرمي حيث يمكن جمع سرعات اليد الرامية في رمي الثقل مع سرعة الثقل في الاتجاه نفسه او سرعة كرة القدم

عندما تتحرك باتجاه معين ويتم ضربها من اللاعب بالاتجاه نفسه فتكون السرعة النهائية في كلتا الحالتين هي المجموع الجبري للسرعتين .

أما في فعالية رمي الرمح ففي المرحلة الأولى تكون سرعة الرمح هي سرعة الرامي نفسها ولكن اثناء الخطوات الأخيرة من الرمي التي يتم فيها ترجيع الرمح الى الخلف فأن سرعة الرمح هي الفرق بين سرعة الجسم وسرعة الرمح على الرغم من أن الحركة النهائية للرمح هي في اتجاه الرمي .

يتاثر جسم الانسان في بعض الحالات بأكثر من سرعة ولكن خط عملها ليس على خط عمل واحد ففي هذه الحالة تكون السرعة بزاوية، فعلى سبيل المثال يحاول اللاعب ضرب الكرة من أ إلى ب كما موضح بالشكل، ولكن اتجاه التيار يكون من أ إلى ج، فأن سرعة الكرة يمكن استخراجها عن طريق المحصلة اذا كانت الزاوية قائمة فيتم استخراج المحصلة عن طريق تطبيق نظرية فيثاغورس



شكل (٤٣)

$$م^2 = (أ ب)^2 + (أ جـ)^2 \quad \text{.....} \quad (7)$$

اما حساب اتجاه الزاوية المبينة بالشكل فيتم من خلال حساب ظل الزاوية -

$$\text{ظا} = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}} = \frac{\text{دجـ}}{\text{أ جـ}}$$

مثال :-

فارب يحاول عبور نهر بسرعة 8 م / ثا وكان اتجاه تيار الماء افقيا بسرعة 6 م / ثا احسب مقدار سرعة القارب النهائية وماهو مقدار الزاوية التي يشكلها خط سيره مع الخط الافقي ؟

الحل :-

$$أ د^2 = أ ب^2 + أ جـ^2$$

$$م^2 = 8^2 + 6^2$$

$$م^2 = 64 + 36$$

$$م^2 = 100$$

$$م = 10 \text{ م / ثا}$$

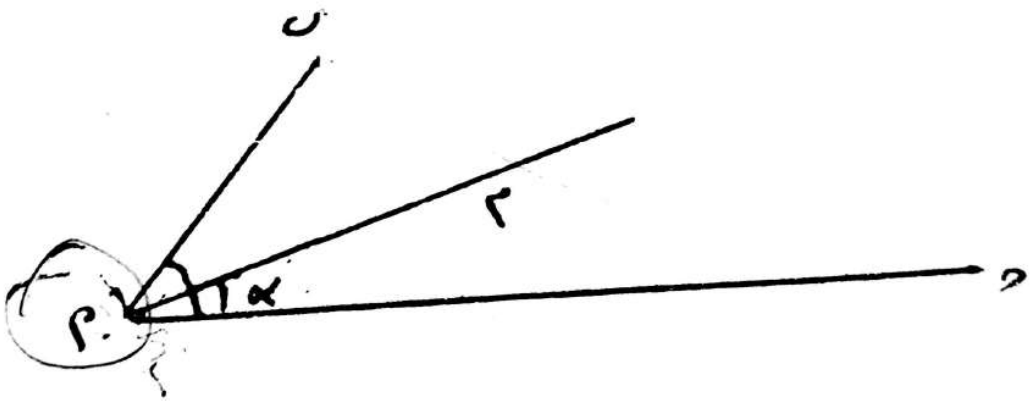
$$\text{ظا جـ أ د} = \frac{\text{د جـ}}{\text{أ جـ}} = \frac{8}{6}$$

$$= 1.33$$

... مقدار الزاوية = 52 تقريبا لان ظل الزاوية 53 = 1.2270

اما اذا كانت الزاوية بين سرعتين حادة كما في الشكل (44) فان المحصلة يمكن استخراج قيمتها من خلال القانون الاتي :-

$$م^2 = أ ب^2 \times أ جـ^2 \times 2 \times أب \times أ جـ \times \text{جتا} < ب أ جـ$$



شكل (٤٤)

$م^2 = أ ب^2 \times أ جـ^2 \times 2 \times أب \times أ جـ \times جتا < ب أ جـ$ ..... (8)

اما اتجاهها فيمكن تحديده على النحو الاتي :-

$$= ظا \left(\frac{أ ب جا \quad ب أ جـ}{أ جـ + أ ب جتا < ب أ جـ} \right) \text{ ..... (1)}$$

مثال :-

سباح يتأثر بسرعتين احداهما 5 م / ثا وسرعة تيار الماء 4 م / ثا وكانت الزاوية بين هاتين السرعتين 45 اوجد السرعة النهائية للسباح واتجاهها ؟

الحل :-

$م^2 = 5^2 + 4^2 + 2 \times 5 \times 4 \times$ جتا 45

$= 25 + 16 + 40 \times 0.707$

$= \sqrt{69.28}$

م = 8.32 م / ثا السرعة النهائية للسباح

اما اتجاهها فيكون كالاتي :-

$$ظا \left(\frac{5 \text{ جا } 45}{4+5 \text{ جتا } 45} \right)$$

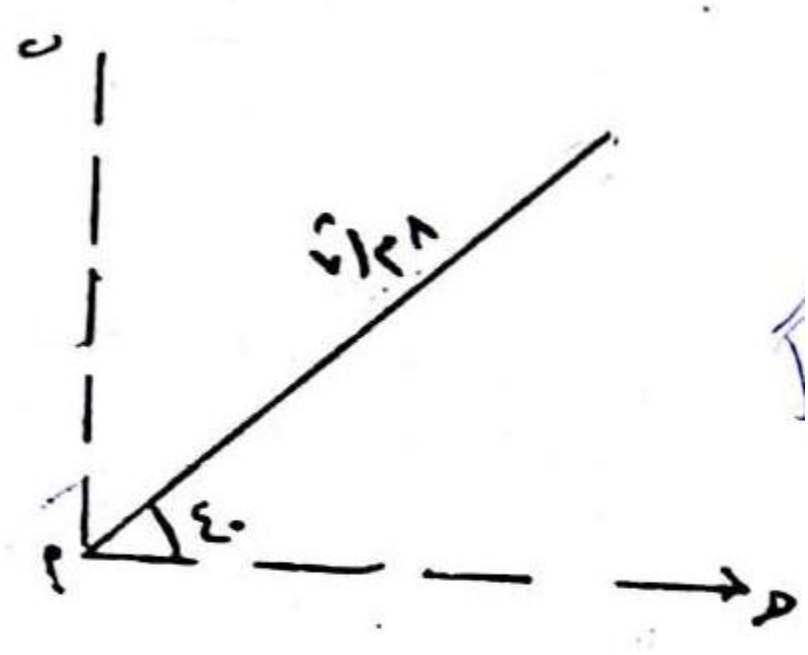
$$= ظا \left(\frac{0.707 \times 5}{0.707 \times 5+4} \right)$$

$$= ظا \left(\frac{3.5350}{7.535} \right)$$

$$ظا = 0.469$$

اتجاه محصلة السرعة (الزاوية) = 25^5 تقريبا

اذا كانت محصـــلة الســـرعة النهائية معلومة وكذلك اتجاهها واردنا تحليلها الى مركباتها العمودية والافقية فيمكن حساب ذلك كما مبين بالشكل الاتي :-



شكل (٤٥)

أ ب = 8 × جا 40

أ ب = 8 × 0.642

= 5.136 م / ثا السرعة العمودية

أ جـ = 8 × جتا 40

= 8 × 0.766

= 6.128 م / ثا السرعة الافقية

اذا كانت حركة الجسم على خط منحن فان مقدار سرعة الجسم يمكن احتسابه عن طريق قسمة المسافة التي يقطعها الجسم المنحني على الزمن المستغرق فاذا تحرك جسم من أ الى ب كما في الشكل وكانت حركته منتظمة فان سرعة ذلك الجسم عبارة عن خارج قسمة طول القوس أ ب على الزمن الذي قطعت فيه المسافة .

شكل (٤٦)

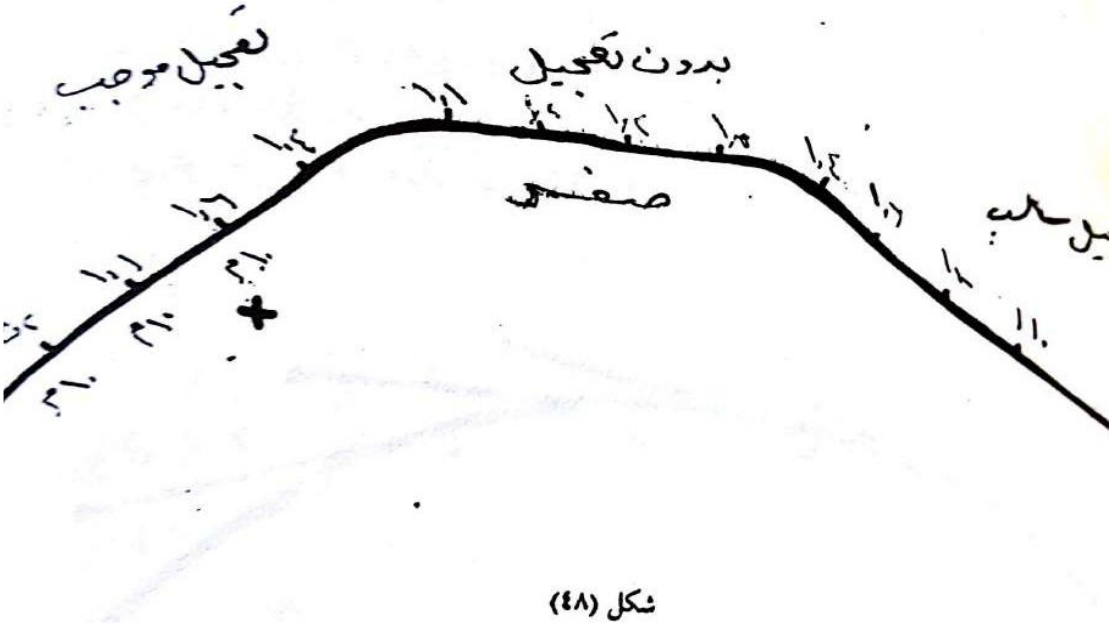
اما كيفية تحديد اتجاه السرعة على المنحني فان الجسم يميل دائما الى الحركة باتجاه المماس فيي حالة بطلان عمل قوة الجذب نحو المركز وعلى هذا الأساس فان سرعة الجسم تكون في أي لحظة باتجاه طول المماس ولكنها في اتجاه الحركة النهائي كما في الشكل .

شكل (٤٧)

5- التعجيل:- Acceleration

عند قطع العداء لمسافة معينة وتكون حركته منتظمة فأن ذلك يعني أن سرعته في اي لحظة من لحظات الحركة هي ثابتة، اما اذا كانت حركته غير منتظمة فعندئذ تتغير سرعته من لحظة لاخرى حيث يطلق على التغير في مقدار السرعة مصطلح التعجيل، ويعبر عن تزايد السرعة تدريجيا (بتعجيل موجب)، اما اذا كانت السرعة تتناقص

تدريجيا (تعجيل سالب). لنضرب المثال الأتي زيادة في توضيح ماهية التعجيل عندما يبدأ عداء بالركض ويقطع عشـــرة الامتار الأولى بزمن قدره ٢ ثانية وعشـــرة الأمتار التي تليها بثانية وثمانية أعشـــار الثانية. بينما العشـــرة الثالثة بثانية وســـتة اعشـــار، نســـتنتج من هذا ان قطع المسافات نفسها بأزمنة تقل تدريجيا ، يدل على أن سرعة الجسم تزداد تدريجيا ومن ثم تكون حركة العداء بتعجيل موجب. اما اذا حدث العكس بان بقطع العداء مســـافات متســـاوية بأزمنة تزداد تدريجيا ، فأن هذا يعني أن الحركة تتم بســـرعة تقل تدريجيا فعندئذ نقول ان العداء بتحرك بتعجيل سالب.



شكل (٤٨)

يتضح من الشكل السابق أن المرحلة الوسطى التي كان يقطع العداء فيها مسافات متســـاوية بأزمنة متســـاوية فأن حركته في هذه الحالة منتظمة عندئذ يكون التعجيل مساويا صفرا . أما في حالة الحركة غير منتظمة فذلك يعني حدوث تغيير في سرعة الجسم ويمكن التعبير عن هذا التغير.

التغير في السرعة = السرعة النهائية = السرعة الابتدائية

ولما كان هذا التغير في الســـرعة يحدث في فترة زمنية فمن الممكن ايجاد العلاقة بين مصطلح التعجيل والتغير الحادث في سرعة الجسم في فترة زمنية .

ولما كان هذا التغير في السرعة يحدث في فترة زمنية فمن الممكن ايجاد العلاقة بين مصطلح التعجيل والتغير الحادث في سرعة الجسم في فترة زمنية .

التعجيل = $\frac{\text{السرعة النهائية – السرعة الابتدائية}}{\text{الزمن}}$

وبالرموز

$$ع = \frac{س_2 - س_1}{ن} \quad \text{..... (10)}$$

فعلى سبيل المثال ينطلق عداء من نقطة أ وسرعته 4 م / ثا وعندما يصل الى نقطة ب تبلغ سرعته 8 م / ثا وكان زمن قطع المسافة هو 2 ثانية فيكون مقدار التعجيل

$$ع = \frac{8 - 4}{2}$$

$$= 2 \text{ م / ثا}^2$$

وفي هذه الحالة يكون التعجيل موجبا اما اذا حدث العكس وكانت سرعة العداء عند نقطة ب 4 م / ثا وكانت عند أ 8 م / ثا فان التعجيل يكون سالبا لان

$$ع = \frac{س_2 - س_1}{ن}$$

$$ع = \frac{4 - 8}{2}$$

$$= -2 \text{ م / ثا}^2$$

ان وحدة التعجيل هي عبارة عن وحدة سرعة مقسومة على وحدة زمن فنقول

$$\frac{\text{متر}}{\text{ثانية}} \div \frac{\text{ثانية}}{1}$$

$$= \frac{\text{م}}{\text{ثانية}} \times \frac{1}{\text{ثانية}} = \text{م / ثا}^2$$

آن ازدياد السرعة ونقصانها بشكل منتظم أي تزداد السرعة وتنقص بالمقدارنفسه في الوحدات الزمنية عندئذ يطلق على التعجيل بأنه تعجيل منتظم، وبغية الاستفادة من تطبيق مفهوم التعجيل في حياتنا الرياضية ينبغي أن نوضح ماهية العلاقة بين مصطلح التعجيل والمسافة التي يقطعها العداء وعلاقتها بالزمن المستغرق فأن مقدار المسافة المقطوعة لجسم يتحرك بتعجيل منتظم هي:

$$\text{م} = \frac{1}{2} (\text{س}1 + \text{س}2) \times \text{ن} \quad \ldots\ldots\ldots (11)$$

$$\text{ع} = \frac{\text{س}2 - \text{س}1}{\text{ن}}$$

اذن س 2 = س 1 + ع ن

وبالتعويض عن قيمة س ٢ في المعادلة (١١) بما يساويها يكون

$$\text{م} = \frac{1}{2} (\text{س}1 + \text{س}1 + \text{ع ن}) \times \text{ن}$$

$$\text{م} = \frac{1}{2} (٢\ \text{س}1 + \text{ع ن}) \times \text{ن}$$

$$م = \frac{2\ س1\ ن}{2} + \frac{ع\ ن^2}{2}$$

$$م = س\ 1\ ن + \frac{ع\ ن^2}{2} \quad . \ldots\ldots\ldots\ (12)$$

اما اذا كانت سرعة العداء الابتدائية تساوي صفرا فأن المعادلة تصبح كالآتي

$$م = \frac{ع\ ن^2}{2}$$

وكما تناولنا من قبل كيفية استخراج سرعة الجسم في مسافة قصيرة جدا وفي فترة زمنية صغيرة جدا على انها السرعة اللحظية ينطبق القول نفسه على استخراج قيمة التعجيل لحركة جسم تتغير سرعته بفترة قصيرة جدا عندئذ يطلق على التعجيل في هذه الحالة التعجيل الآني او اللحظي وتعبر عنه المعادلة الآتية:

$$ع\ اللحظية = \frac{س\ 2\ - س\ 1\ ^2}{ن\ 2 - ن\ 1}$$

$$= \frac{\Delta 1 س}{\Delta 1\ ن} \quad \ldots\ldots\ldots\ (13)$$

6. حركة المقذوفات:: Projectile motion

تحتل دراسة الاجسام المقذوفة سواء أكانت الأدوات التي يستعملها الرياضي في بعض الفعاليات، او جسم الرياض نفسه جزء، خاصة من دراسة الحركة من الجانب الميكانيكي، فنجد ان اي جسم اثناء انطلاقه في الهواء يكون خاضعا لقوانين ثابتة تحدد خط سيره

وكذلك المسـافة التي يقطعها او الزمن الذي يسـتغرقه لقطع المسـافة فعلى هذا الأسـاس تم الاهتمام بطبيعة دراسـة الأجسـام المقذوفة والعوامل المؤثرة في حركة الاجسـام لقطع مسـافة معينة او لاداء حركي معين

تمت دراسة حركة الاجسام الساقطة منذ ان وضع العالم الإنجليزي اسحق نيوتن (1643 – 1727) المفاهيم الأساسية للحركة واكتشافه لقانون الجاذبية على ان الجسم الساقط يتحرك بفعل تأثير الجاذبية الأرضية باتجاه مركز الكرة الأرضية ويختلف مقدار الجذب الأرضي على الجسم من موقع ألى أخر، بناء على ذلك تم التفريق بين الوزن والكتلة .

سنتناول هذا الجانب بشكل أكثر تفصيلا في موقع اخر من الكتاب)، تطلق على حركة الجسم السـاقط إلى الأسـفل أو الصـاعد الى الاعلى بأنها حركة تعجيل معين لان سـرعته في تغير مستمر سواء اكان اثناء الصعود أو التزول، فعلى سبيل المثال عندما ينطلق جسم من الأسفل باتجاه الأعلى وبسرعة معينة أنه بتحرك بتعجيل منتظم ولكن بشكل تناقصي اي أن سرعته تقل تدريجيا بفعل تعجيل الجاذبية الأرضية البالغ 9.8 م / ثا٢ او 330 ق / ثا^2 او 980 سم / ثا^2 الى ان تصبح سرعته النهائية في أعلى نقطة يصلها الجسم عندئذ تصبح هذه السرعة صفرا. وما أن يبدأ الجسم بالنزول ثانية باتجاه الأرض حيث تبدأ سرعته بالازدياد تدريجيا، حيث يكون تعجيل الجاذبية الأرضية موجبا في هذه الحالة، فنجد ان اقصى سرعة يبلغها الجسم اثناء النزول قبل ملامسته الأرض، لو اخذنا الزمن المستغرق لارتفاع الجسم وبلوغه اعلى نقطة نجد أن ذلك الزمن يساوي الزمن نفسه الذي يستغرقه من اعلى نقطة إلى الأرض، وعلى ذلك فأن القانون الذي يحد هذه الناحية يمكن التعبير عنه رياضية بالشكل الاتي:

$$\text{المسافة التي يقطعها الجسم} = \frac{\text{التعجيل الأرضي} \times (\text{الزمن})^2}{2}$$

$$م = \frac{جـ \times ن^2}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

فاثناء سقوط الجسم نجد ان المسافات التي يقطعها الجسم في الوحدات الزمنية نفسها تختلف على اســـاس التعجيل الارضـــي فنجد انه خلال الثانية الأولى من الحركة باتجاه الأرض يقطع الجسـم مسـافة 16 قدما بينما يقطع في ثانيتين مسـافة قدرها 64 قدما اما في الثانية الثالثة يكون الجسـم قد قطع 144 قدما وهكذا نسـتنتج مما تقدم ان سـرعة الجسـم المقذوف اثناء الصعود الى الأعلى او الهبوط الى الأسفل تختلف بفعل الجذب الأرضي .

وكذلك المسافة التي يقطعها الجسم اثناء حركته ويمكن دراسة ذلك من خلال المعادلة الاتية :-

$$\text{السرعة} = \sqrt{2 \times \text{التعجيل الأرضي} \times \text{المسافة المقطوعة}}$$

$$\text{س} = \sqrt{2 \text{ جـ م}}$$

$$\text{او م} = \frac{\text{س}^2}{2 \text{ جـ}} \quad \ldots\ldots\ldots (15)$$

مثال :-

كرة تنطلق إلى الأعلى بسـرعة 80 قدم / ثا احسـب اقصـى ارتفاع يصـله الجسـم وكذلك الزمن الذي يستغرقه ؟ . .

الحل :-

$$\text{م} = \frac{\text{س}^2}{2 \text{ جـ}}$$

$$= \frac{(80)^2}{32 \times 2}$$

= 100 قدم اقصى ارتفاع يبلغه الجسم

اما الزمن المستغرق فمكن استخراجه على النحو الآتي بتطبيق المعادلة (14)

$$م = \frac{جـ \times ن^2}{2}$$

$$100 = \frac{32 \times ن^2}{2}$$

$$ن^2 = \frac{200}{32} = 6.25$$ نقوم بجذر الناتج

= 2.5 ثانية الزمن الذي يستغرقه الجسم للوصول الى اعلى نقطة

مثال :-

قافز زانة يسقط باتجاه البساط بعد عبور العارضة بحيث كانت المسافة العمودية بين العارضة والسطح العلوي للبساط 18 قدما فما هي سرعة هبوط القافز عند ملامسته للبساط ؟

$$م = \frac{س^2}{2 جـ}$$

$$18 = \frac{س^2}{32 \times 2}$$

س = 33.9 قدم / ثا

وتتجلى أهمية دراســة المقذوفات في الحركات الرياضــية فنجد ان حركة الثقل او القرص في فعاليات الرمي وكذلك الوثب العريض والعالي محكمة بقوانين ونظم ميكانيكية معينة فنجد ان العوامل الرئيسـية التي تقرر المسـافة هي سـرعة الطيران وزاوية الطيران . وبشـكل عام فان ســـرعة الطيران للاداة المقذوفة او الجســـم القافز بعد مغادرته الأرض تتكون من مركبتين احداهماافقية باتجاه الأرض والاخرى عمودية، ويشـكل مع الأولى زاوية قائمة، ونتيجة وقوع الجسم تحت تاثير الجاذبية الارضية اثناء حركته نجد ان مقدار السرعة العمودية تقل تدريجيا أثناء حركة الجسم في الهواء إلى أن تصل صفرا تقريبا .

اما مركبة السـرعة الافقية فهي على عكس مركبة السـر عة العمودية فتبقى بامقدارها نفسـه من لحظة مغادرة الأرض لحين الهبوط.

من هذا المنطلق نجد زاوية طيران المقذوف تؤدي دورا كبيرا في تحقيق المسافة، ومن خلال دراســتنا للميكانيك وقوانينه التي تعد حركة الأجســام فان أنســب زاوية الانطلاق المقذوف ولتحقيق اسبعد مسافة هي زاوية 45 بحيث يكون مستوى الانطلاق مستوى الهبوط، أما اذا كان هناك تباين بين هذين المستويين فعندئذ تختلف الزاوية، ويعتمد هذا الاختلاف على عوامل عدة، منها الفرق بين مســتويات الانطلاق والهبوط، وســرعة المقذوف، ومقاومة الهواء وخاصـة في الفعاليات التي تؤدي فيها مقاومة الهواء دورا كبيرا كما في الرمح والقرص حيث يؤثر شــكل الجســم في طبيعة طيرانه فنجد ان الزاوية التي ينطلق بها القرص عندما . برمى باتجاه الريح تكون مختلفة عنها عندما يرمي بعكس اتجاه الريح

أن تعدد العوامل المؤثرة في المقذوف اثناء انطلاقه وكذلك وجوده في الهواء لابد أن يأخذها الرياضــي والمدرب بنظر الاعتبار للحد من التأثير الســلبي للقوى والاســتفادة من القوى التي تؤثر بشكل ايجابي في الحركة وبالتالي تحقيق افضل مسافة

من خلال التقدم يمكن صـياغة العوامل المؤثرة في طول المسـافة التي يقطعها المقذوف وليكن رامي الثقل مثلا بهذا القانون

$$\text{المسافة} = \frac{(\text{السرعة})^2 \times \text{جا ضعف الزاوية}}{\text{التعجيل}}$$

$$\text{المسافة} = \frac{\text{س}^2 \times \text{جا 2 الزاوية}}{\text{جـ}} \qquad \text{.....(16)}$$

ملاحظة :- ان تطبيق هذا القانون يمكن اعتماده فقط عندما تكون نقطة انطلاق الجســـم بنفس مستوى هبوطه او عندما يشار الى سرعة مركز ثقل الجسم فالمسافة المقصودة بها هنا هي المسافة الافقية من نقطة الانطلاق لحين بلوغه مسافة افقية بنفس المستوى .

مثال:

بنطلق نقل بسرعة ١٢ مترا / ثا وكانت الزاوية التي انطلق بها تساوى 41 ^{5} احسب المسافة التي سيقطعها الثقل ؟

تطبيق المعادلة رقم (16)

$$\text{المسافة} = \frac{\text{س}^2 \times \text{جا 2 الزاوية}}{\text{جـ}}$$

$$\text{م} = \frac{(12)^2 \times \text{جا } 2 \times 41}{9.8}$$

$$= \frac{144 \times 20 \times 0.99}{9.8}$$

= 14.55 مترا المسافة الافقية التي يقطعها الثقل

ان للزمن الذي يستغرقه المقذوف علاقة وثيقة بالسرعة التي ينطلق بها والمسافة الافقية التي يقطعها وكذلك بالزاوية التي يشـــكلها مســـار المقذوف مع الخط الأفقي ويمكن صـــياغة هذه العلاقة بالشكل الاتي:

$$\text{الزمن} = \frac{\text{ضعف السرعة} \times \text{جا الزاوية}}{\text{التعجيل}}$$

$$\text{ن} = \frac{2 \text{ س} \times \text{جا الزاوية}}{\text{جـ}} \quad \text{.....} \quad (17)$$

مثال:- . يقطع ثقل المســـافة الافقية بين نقطة انطلاقه وهبوطه بفترة زمنية قدرها ٢ ثانية وكانت زاوية انطلاقة مع الأفقي 43 ^{5} احسب مقدار السرعة التي انطلق بها الثقل ؟

الحل :-

تطبق المعادلة رقم (١٧)

$$\frac{\text{2 س} \times \text{جا } 43}{9.8} = 2$$

$$\frac{\text{2 س} \times 0.6820}{9.8} = 2$$

س = 14.26 مترا / ثانية سرعة انطلاق الثقل

مثال خارج الكتاب

كرة تنطلق بسرعة 10م/ثا وكانت زاوية الانطلاق تساوي 40 درجة احسب المسافة الافقية التي تقطعها وصولا للأرض علما ان جا الزاوية 40= 0.64 وجا الزاوية 80= 0.984 الحل

المسافة الافقية = س ^{2} ×جا 2 الزاوية/ ج = 10 ^{2} ×جا2×40 /9.8

جا80 /9.8×100 = 9.8 / 0.98×100 = 10.04 م

مثال اخر

يســتغرق واثب عريض مســافة افقية من لحظة الارتقاء الى الهبوط على الأرض زمن مقداره (1) ثانية وكانت زاوية انطلاقه 41 درجة احســب ســرعة الانطلاق بها الزمن = 2س * جا الزاوية / ج

1= 2س * 9.8 / 0.65

1.3س = 9.8

س = 6.53 م / ثا

اسئلة للمراجعة .

1- عرف الكينماتك ؟
2- ما الفرق بين المسافة والازاحة ؟
3- لماذا تعد الازاحة كمية متجهة؟
4- اعط ثلاثة امثلة لكميات ميكانيكية قياسية .
5- عدد انواع الحركات من حيث التقسيم الهندسي
6- اعط مثالا للحركة الدائرية في المجال الرياضي
7- اي نوع من انواع الحركة تطلق على حركة راكب الدراجة الهوائية .
8- اذكر انواع الحركات من حيث التقسيم الزمني ؟
9- اذكر قانون السرعة المتجهة
10- عداء ينطلق من الثبات ويتحرك بتعجيل معين وبعد فترة خمس ثوان صبح سرعته ١٠ م / ثا احسب المسافة التي يقطعها العداء .
11- اذكر قانون السرعة اللحظية
12- ماذا يقصد بمحصلة السرع على اساس الاتجاهات ؟
13- احسب محصلة سرعة الكرة التي تتأثر بسرعتين متعامدتين 6 م / ثا، ٨م/ثا على التوالي.
14- احسب محصلة السرعة النهائية لسباح تؤثر فيه سرعتان احداهما 8 م / ثا والثانية 5 م / ثا وبينهما زاوية مقدارها 40 درجة. م
15- حلل سرعة كرة مقدارها ٧ م / ثا تصنع مع الخط زاوية مقدارها ٣٠ درجة إلى مركبتيها العمودية والافقية.
16- ماذا يقصد بالتعجيل ؟
17- ما الفرق بين التعجيل الموجب والسالب ؟
18- تبلغ سرعة عداء 4 م / ثا عند نقطة أ وعند وصوله نقطة ب بعد ثانيتين بلغت سرعته ١٠ م / ثا احسب تعجيل ذلك العداء.
19- راكب دراجة ينطلق بسرعة ابتدائية مقدارها 6 م / ثا وبتعجيل مقداره 3 م / ثا ^{2}
20- اذكر قانون التعجيل اللحظي

21- يســقط جســم من الأعلى باتجاه الأرض وتســتمر حركته ثلاث ثوان احســب ارتفاع المسافة التي سقط منها الجسم ؟

22- يسقط جسم من ارتفاع ٢٠م احسب سرعته النهائية اثناء اصطدامه بالأرض ؟

23- ماهي العوامل الرئيسية من وجهة النظر الميكانيكية التي تؤثر في مسافة المقذوف ؟

24- قرص ينطلق بسـرعة 12 م / ثا وبزاوية مقدارها 30 درجة مع الخط الافقي احسـب المسافة الافقية التي سيقطعها القرص ؟

25- من المثال السابق احسب الزمن الذي يستغرقه من لحظة انطلاقه حتى هبوطه .

26- قـافز زانـة يهبط بســرعة بزاويـة ٣٠ درجـة مع الخط الرأس وكـان مقدار المركبـة اعمودية للسرعة 10 م / ثا احسب مقدار السرعة الأفقية والسرعة المحصلة

علما ان جا 30 = 0.5 , جتا 30 = 0.8

27- لاعب جمنـاســتك يقفز إلى الأعلى بزاويـة ٧٠ درجـة مع الخط الأفقي وكـان مقدار المركبة الأفقية لسرعة القافز ٢م/ احسب مقدار السرعة العمودية والسرعة المحصلة

علما ان جا ٢٠ = ٠/٣ ، جتا ٢٠ = ٠/٩ .ـ

28- عداء بنطلق بسـرعة معينة وبتعجيل ١ م / ثا" وبعد ٢ ثانية تصـبح سـرعته 6 م/ ثا ثم يسـتمر بحركة منتظمة لمدة 5 ثانية ثم يسـتمر بتعجيل سـالب 0.5 م / ثا لمدة 3 ثانية أحسب المسافة الكلية التي يقطعها العداء وسرعته في نـهاية المسافة