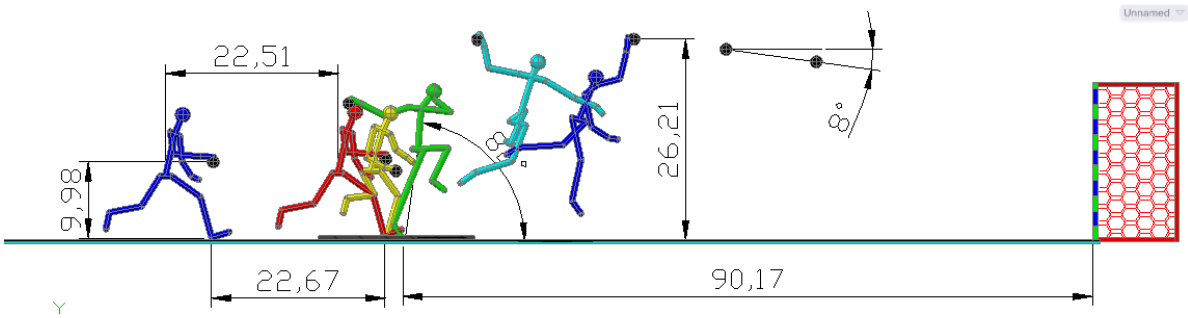
جامعة الموصل
كلية التربية الاساسية
قسم التربية البدنية وعلوم الرياضة

البايوميكانيك الرياضي

ملزمة التقديم الى الدكتوراه



أعداد وتدريس
أ.د. ثائر غانم ملا علو

2022

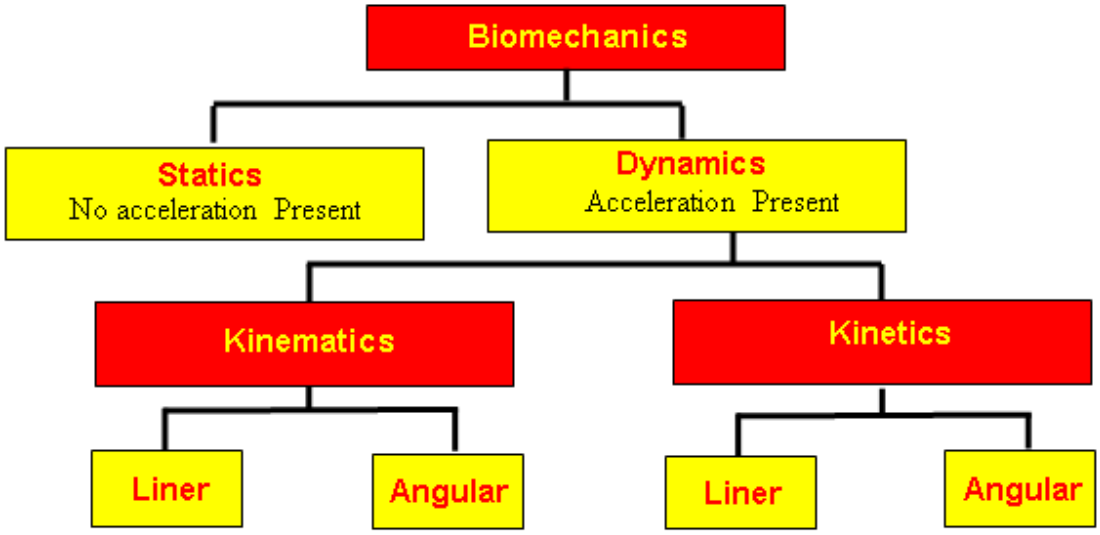
1- اساسيات البايوميكانيك

1-1 مفهوم البايوميكانيك:

أطلق مصطلح الميكانيكا الحيوية أو البايوميكانيك كتعريف للمصطلح اليوناني Biomechanic ويتكون هذا المصطلح من كلمتين يونانيتين هما Bio ومعناها الحياة أو الحيوية وكلمة Mechanic ومعناها الأداة أو الماكنة، ويعرف انه ودراسة حركات الإنسان وتحليلها تحليلا علميا. أما هوخموث فيعرفه بأنه علم تطبيق القوانين والمبادئ الميكانيكية على سير الحركات الرياضية تحت شروط بيولوجية معينة. وينقسم الميكانيك عموما إلى قسمين أساسيين هما:

1. **السكون أو الستاتيك Statics**: وهو العلم الذي يغطي الحالات التي تكون فيها جميع القوى المؤثرة على الجسم متوازنة والجسم في حالة سكون أو ثبات.
2. **المتحرك أو الداينميك Dynamics**: وهو العلم الذي يبحث طبيعة القوى المتحركة وغير المتوازنة والتي تسبب تغيراً في سرعته واتجاهه وينقسم هذا العلم إلى قسمين داخليين :

- **الكينماتيك Kinematics**: وهو العلم الذي يعني دراسة الحركة دراسة وصفية من حيث زمانها ومكانها بصرف النظر عن القوى التي تسبب حدوث الحركة, وقد يكون الكمينماتيك انتقاليا مستقيما ويسمى (بالكينماتيك الخطي) أو يكون حول محور ثابت ويسمى (بالكينماتيك الدائري أو الزاوي).
- **الكينتك Kinetics**: هو العلم الذي يتناول دراسة القوى في حالات الثبات أو الحركة. وقد يكون الكينتك خطاً مستقيما ويسمى (بالكينتك الخطي) أو دائرياً ويسمى (بالكينتك الدائري أو الزاوي).



الشكل (1) يوضح تقسيمات علم البايوميكانيك

2-1 وحدات القياس

تتنوع وحدات القياس تبعًا للكمية أو العدد الذي نقيسه، إذ توجد وحدات قياس مختلفة للطول والحجم والكتلة والوزن والوقت والسرعة وغيرها من المقادير القابلة للقياس، الأمر الذي يقودنا للحديث عن تفاصيل هذه الوحدات وما هي الوحدات المعتمدة عالميًا.

مفهوم وحدة القياس: هي كميةٌ تستعمل للتعبير عن مقدارٍ ما أو كميةٍ ماديةٍ، حيث تعطي توصيفًا رقميًا للحجم أو الكمية المتوفرة من المادة أو توصيفًا لطولٍ أو مساحةٍ معينةٍ، وغالبًا تكون معيارية موحدة بين الجميع وسنتعرف على بعض أشهر وحدات القياس.

أجزاء ومضاعفات وحدات القياس: يمكن معرفة قياسٍ ما أو مقدارٍ ما بدقةٍ أكبر إذا تم تقريبه إلى رقمٍ واقعيٍ ملائمٍ، ويتم بشكلٍ عام تطبيق مضاعفات وأجزاء شهيرة منها:

نانو: الواحدة * 10 للأس -9.

مايكرو: الواحدة * 10 للأس -6.

ميلي: الواحدة * 10 للأس -3.

كيلو: الواحدة * 10 للأس 3.

وحدات قياس الطول: يمكننا تسميتها أيضًا وحدات القياس للمسافات، حيث أن هذه الوحدات تستخدم لقياس طول طريقٍ ما، أو بتعبير مشابه المسافة بين بداية ونهاية الطريق، وتعتبر الوحدة الأساسية لقياس المسافة هي المتر ومضاعفاته، وهي بالترتيب من الأصغر للأكبر: **ميلي متر – سنتي متر – ديسي متر – متر – ديكا متر – هيكتو متر – كيلو متر.**

وكل وحدةٍ تساوي 10 أضعاف الوحدة التي تسبقها؛ فمثلًا المتر يساوي 10 أضعاف الديسي متر وهكذا. ويمكن قياس الطول بوحداتٍ أخرى مثل الإنش والقدم.

وحدات قياس الكتلة: يُعتبر الغرام من وحدات القياس الأساسية للكتلة، وبشكلٍ أساسيٍ يتم استخدام الغرام للأشياء ذات الكتل الصغيرة، والكيلو غرام للأجسام الأكبر، وهي شائعةٌ أكثر من غيرها من المضاعفات، وإن كل واحد كيلو غرام يعادل 1000 غرام، وإلى جانب الغرام لدينا وحدات قياسٍ أخرى للكتلة مثل الأونصة والباوند والطن، حيث أن كل واحد طن يعادل حوالي 1000 كيلو غرام، وكل واحد طن يساوي 2000 باوند، وكل واحد باوند يعادل 16 أونصة.

وحدات قياس المساحة: يتم حساب المساحة لمكانٍ ما أو سطحٍ ما وتقدر بوحدة المتر المربع، وهي الوحدة الأساسية للمساحات وهي ناتج ضرب متر *متر، ويمكن استخدام المضاعفات كما هو الحال مع الطول تمامًا.

وحدات القياس للحجوم: يُعامل الحجم نفس معاملة المساحة والطول ولكن باستخدام واحدة المتر المكعب، وهو ناتج ضرب متر *متر*متر، وتوجد وحداتٌ أخرى لقياس الحجم منها اللتر والغالون للسوائل، والكوارت والبينت والكأس، إلى جانب الإنش المربع والقدم المربعة أيضًا.

وحدات قياس الوقت: توجد العديد من وحدات القياس العالمية المعتمدة مع الوقت أو الزمن، ومن هذه الوحدات الثانية والدقيقة والساعة واليوم والأسبوع والشهر والسنة، وعلى اعتبار الثانية أصغر وحدة قياس للوقت تكون الدقيقة 60 ثانية، والساعة 60 دقيقة، واليوم 24 ساعة، والأسبوع 7 أيام، والشهر قد يساوي إما 28 –29 – 30 أو 31 يومًا، بينما تساوي السنة 12 شهرًا.

وحدات قياس السرعة: تقاس سرعة جسمٍ ما بالمسافة التي يقطعها بالثانية، أي تكون وحدة قياس السرعة هي المتر على الثانية، ومن الشائع عند السرعات الكبيرة استخدام الكيلومتر على الساعة، لتصبح المقادير أقرب للواقع وأسهل في الفهم.

1–3 النظام العالمي للوحدات أو النظام الدولي للوحدات(SI)

International System of Units
SI

نظام وحدات القياس الأوسع انتشارا في العالم، وهو يستخدم في كل بلدان العالم باستثناء الولايات المتحدة الأمريكية .واشتق هذا النظام من نظام متر–كيلوغرام–ثانية للقياس بإضافة بعض الوحدات، وكونه بديلا عن نظام السنتمتر–غرام–ثانية القديم . يسمى هذا النظام بالنظام المتري .

جدول (1): يبين الكمية ووحداتها ورمزها

Symbol	الرمز	SI unit	الوحدة	Quantity	الكمية
m	م	meter	متر	Length	**الطول**
kg	كجم	kilogram	كيلو غرام	Mass	**الكتلة**
s	ث	second	ثانية	Time	**الزمن**
rad	راد	radian	راديان	Plane angle	**الزاوية المستوية**
sr	سر	steradian	ستراديان	Solid angle	**الزاوية المجسمة**
m2	م2	square meter	متر مربع	Area	**المساحة**
m3	م3	cubic meter	متر مكعب	Mass	**الحجم**
Kg/m3	كجم/م3	Kilogram/cubic meter	كيلوجرام/ المتر المكعب	Mass density	**الكثافة**
m/s rad/s	م/ث ر	meter/second rad/second	متر/ثانية راد/ثانية	Velocity Angular velo.	**السرعة الخطية** **السرعة الزاوية**
m/s2	م/ث2	Meter/second2	متر/ثانية2	Acceleration	**العجلة**
N	ن	newton	نيوتن	Force, Weight	**القوة والوزن**
Pa	با	pascal	باسكال	Pressure Stress	**الضغط الإجهاد**
J	ج	joule	جول	Energy,	**الطاقة**
J	ج	joule	جول	Work,	**الشغل**
W	و	watt	وات	Force,	**القدرة**
min	د	minute	دقيقة	Time	**الزمن**
h	سا	hour	ساعة		
O	O	degree	درجة	Angle	**الزاوية المستوية**
’	’	minute	دقيقة		
"	"	second	ثانية		
L, l	ل	liter	لتر	Volume	**الحجم**
t	طن	tonne	طن متري	Mass	**الكتلة**
rev/min	لفة/د	rev/min	دورة/دقيقة	Angular velocity	**السرعة الزاوية**
bar	بار	bar	بار	Pressure	**الضغط**
*atm	جوي	atm	جوي		
N m			نيوتن/متر	Torque	**العزم**

1-4 الكميات القياسية والكميات المتجهة: Vectors and Scalars

لدراســـة الكميات الميكانيكية ومعرفة ماهيتها عند دراســـتنا لعلم الميكانيك نجد أن هناك تفريقا بين هذه الكميات من حيث طبيعة تعريفها ، فعلى هذا الأســاس تنقســم إلى كميات قياســية وكميات متجهة ، فالكمية القياسية يكفي لتعريفها ذكر مقدارها فقط ، أي يمكننا التعبير عن درجة حرارة الجو بمقدار معين أو لتعريف كتلة جســـم معين بأنها (10كغم) مثلا ، وكذلك بالنســـبة للكميات الأخرى التي تعرف بمقدارها فقط كالمسافة ، والزمن والطول.

أما الكميات المتجهة فلا يكفي لتعريفها ذكر مقدارها فقط ، بل ينبغي ذكر اتجاهها أيضـا فعند دراستنا للقوة ككمية ميكانيكية يجدر بنا أن نذكر بجانب قيمتها اتجاهها أيضـا ، حيث يمكن تمثيل مقدار القوة بخط يعبر عن مقدارها وفي نهاية الخط يحدد الاتجاه من خلال سهم يشير إلى ذلك فنقول إن قوة مقدارها 200 نيوتن أثرت في جســم أخر بالاتجاه المبين الذي يؤشــره الســهم وكذلك الحال بالنســـبة إلى الكميات المتجهة الأخرى مثل الإزاحة ، والتعجيل ، والوزن وكمية الحركة.. الخ.

1-5 نظم الإحداثيات وموقع الرصد (Coordinate System & Frame of reference):

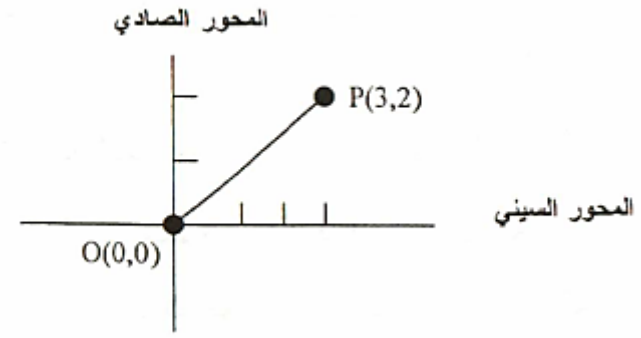
يستخدم نظام الإحداثيات (The Coordinate System) لتحديد موقع جسم أو نقطة في الفضاء نسية إلى موقع رصد معين (Frame of Reference) وسوف نتناول في الشرح من أنظمة الإحداثيات وهي:

اولاً: نظام الإحداثيات الديكارتي (Cartesian Coordinate System) :

وهو نظام إحداثيات ذو محورين أحدهما يسمى بالمحور السيني والاخر يسمى بالمحور الصادي ويتقاطع المحوران في نقطة تسمى بنقطة الأصل (Origin point) ويتم تقسيم المحاور إلى تقسيمات (تدرج) منتظمة وبذلك يمكن أن تحدد موقع الجسم في الفضاء بإحداثيات على المحور السيني وأخرى على المحور الصادي، (x، y)، حيث يمثل الإحداثي على المحور السيني (x) بعد الجسم عن نقطة الأصل باتجاه المحور السيني ويمثل الإحداثي الصادي (y) بعد الجسم عن نقطة الأصل باتجاه المحور الصادي. كما بالشكل (2)

حيث (x1,y1) تمثل إحداثيات نقطة الاولى "O"

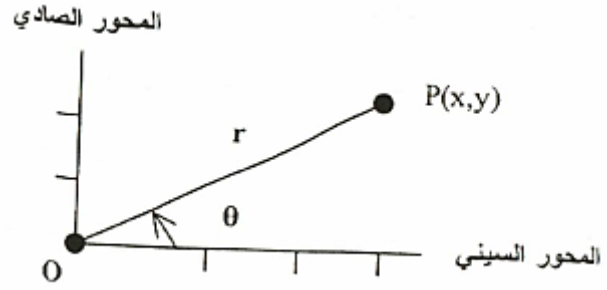
ويمثل (y2 ، x2) إحداثيات النقطة الثانية "P".



الشكل (2) نظام الإحداثيات الديكارتي

ثانياً: نظام الإحداثيات القطبي (Polar Coordinate System):

وهو نظام إحداثيات يستخدم لتحديد موقع جسم في الفضاء ويعتمد على معرفة بعد الجسم عن نقطة الأصل (r) وزاوية ميل المستقيم البعد (r) عن المحور السيني الموجب كما في الشكل رقم (3).



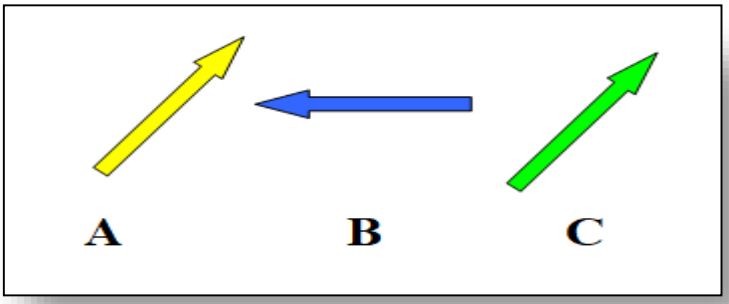
الشكل (3) نظام الإحداثيات القطبي

ويمكن معرفة إحداثيات النقطة "P" بدلالة طول المستقيم r والزاوية θ كما يلي: **30 > 4.2**

1-6 المتجهات:

1. **تمثيل المتجهات : Vector representation**

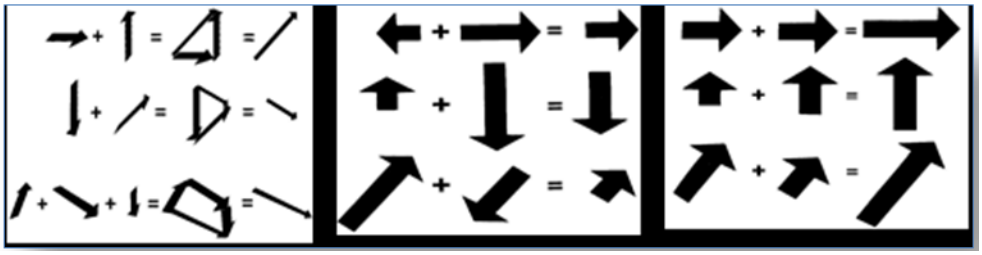
يمكن تمثيل المتجه بســهم يتناســب طوله مع قيمة المتجه واتجاهه في نفس الاتجاه المتجه ، ولو كان هناك سهمان متساويين في الطول وفي اتجاه واحد فانهما يكونان متساويين في القيمة والاتجاه مثال C, A كما في الشكل (6).



شكل (6) يوضح ثلاث متجهات

تحليل المتجهات حسابيا:

عندما نجمع المتجهات معاً ، تسـمى العملية تركيب المتجه. إن تركيب متجهين أو أكثر لهما الاتجاه نفسه ينتج عنه متجه واحد يمتلك مقداراً مساوياً لمجموع مقادير المتجهات المضافة ونفس الاتجاه. شكل (7). إن المتجه الواحد الناتج من متجهين أو أكثر يعرف بمحصلة المتجه أو المحصـلة. وعند تركيب متجهين متعاكسـين في الاتجاه ، فان اتجاه المحصـلة تكون باتجاه المتجه الأطول ومقدار المحصلة يساوي الفرق بين المتجهين الأصليين ، شكل (7)



شكل (7) يوضح انواع من المتجهات

من الممكن أيضا إضافة متجهات في اتجاه متشابه أو متعاكس. عندما يكون المتجه في نفس المستوى تستخدم طريقة الرأس إلى الذيل ، والتي يوضع فيها ذيل المتجه الثاني على رأس المتجه الأول، وترسم المحصلة بوضع ذيلها على ذيل المتجه الأول ورأسها على رأس المتجه الثاني.

هذه العملية قد تستخدم لدمج أي عدد من المتجهات شكل (7)

إيجاد محصلة متجهين باستخدام النسب المثلثية :

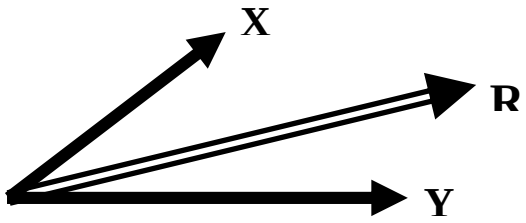
عند ربط متجهين أو أكثر يظهر متجه جديد يعرف بالمحصـــلة (R) Resultant ، ومتجه المحصلة عبارة عن المسافة بين ذيل أول متجه وبين رأس آخر متجه.

لو كان لدينا متجهين (X, Y) وكان بينهما زاوية مقدارها (زاوية أقل من 90°) فيمكن إيجاد المحصلة R باستخدام المعادلة الآتية (شكل 18) :

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2 + 2YX * Co\sin\theta}$$

وتحسب زاوية ميل المحصلة R من المعادلة الآتية :

$$\mathbf{Tane} = \frac{\mathbf{Y}\sin\theta}{\mathbf{Y} + \mathbf{X}\cos\theta}$$

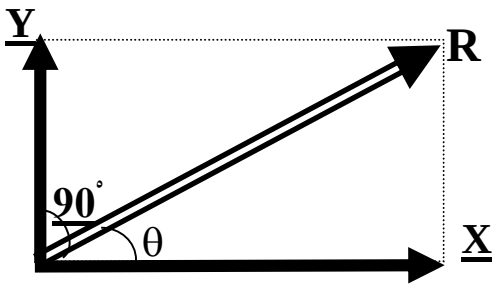


ولو كانت الزاوية تساوي 90° أي إن المتجهين متعامدين فان (شكل 19):

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

وتحسب زاوية ميل المحصلة R من المعادلة الآتية :

$$\mathbf{Tane} = \frac{\mathbf{Y}}{\mathbf{X}}$$



التحليل الحركي في البايوميكانيك

هناك مجموعة من العناصر التي تتعلق بالتحليل الحركي وتشمل :

أولا. آلة التصوير :

موقع الكاميرا أثناء التصوير :

عند استخدام الكاميرات في التصوير هناك اساسيات يجب معرفتها :

1. بعد الكاميرا يجب ان يغطي المجال المكاني للحركة المراد تصويرها.
2. يجب ان تكون الكاميرا بوضع عمودي على وسط الحركة (مركز الحركة)، اذ ان الشعاع اذا لم يكن عمودي على الحركة سوف يظهر اختلاف في قياس الزوايا .
3. يجب ان تكون الكاميرا في مركز الحركة ، أي انه اذا كان طول اللاعب (170) سم وارتفاع طيرانه هو (30) سم ، فسوف يكون مجال الحركة هو (2) متر ، وبهذا يجب ان يكون ارتفاع عدسة الكاميرا هو (1) متر .
4. يجب ن تكون الكاميرا متزنة وثابتة ، حيث يمكن تعييرها بواسطة الفقاعة المائية الموجود في حامل الكاميرة بحيث تكون في المركز .
5. اذا كانت هناك مسافات طويلة للتصوير مثل (القفزة الثلاثية) فيفضل استخدام كاميرتان متقاطعتان بالشعاع أو اكثر وحسب طول المسافة .
6. يجب ملاحظة تداخل التقاطع ألشعاعي في حالة استخدام أكثر من كأميرة .

ثانياً. الرياضي:

1. القياسات الجسمية .
2. وضع العلامات الدالة للجسم ويجب ان تكون بلون واضح .
3. تحديد مدى الحركة الأفقي والعمودي .

ثالثاً. الإنارة :

1. يجب ان ترتب الانارة بحيث لا يكون هناك ظل في تصـــوير الحركة والذي قد يؤدي إلى فقدان العلامات الموضوع على اللاعب .
2. كما يجب ان يؤخذ الانعكاس بنظر الاعتبار والذي يحدث في المسابح والقاعات الزجاجية.
3. كلما زادت سرعة الكاميرا فانها تحتاج إلى انارة اكثر والعكس صحيح .
4. يجب ان لا تكون الانارة مقابلة لبؤرة العدسة .

إدارة التصوير ، سهولة الحصول على البيانات :

النقاط الأساسية التي يجب مراعاتها أثناء القيام بعملية التصوير .

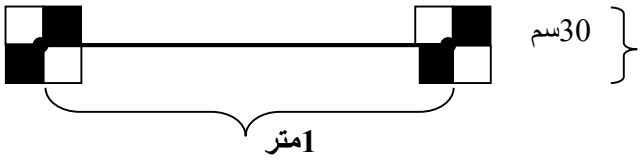
- أن يفهم الرياضي الذي يتم تصويره الهدف الرئيس من التصوير ومن الحركة التي يتم أداءه.
- لوحة خلفية توضع خلف الرياضي ويكون لونها مختلف عن لون الملابس الرياضي.
- نقوم بتصوير اللاعبين كل على حدا بتسلسل معين قبل البدء بالحركة الأساسية وذلك للتفريق بين اللاعبين اثناء اداء الحركة .
- في الفعاليات التي يستخدم فيها أدوات يجب أن تكون ألوانها مغايرة للون الجسم .
- يجب ان يكون لون الحذاء مغايرا للون الأرض والأجهزة .
- عدم تحريك آلة التصوير إطلاقا أثناء عملية التصوير .
- بعد الانتهاء من عملية التصوير يجب تحليل افضل إنجاز للاعب وإذا لم يظهر نحلل ثاني افضل انجاز او حسب الهدف من التصوير.
- نقوم بالكتابة على الفلم بعض الملاحظات أو نقوم بترقيمه .

مقياس الرسم

لغرض تحويل القياسات المستخرجة من الصورة إلى قياسات حقيقية يجب ان تحول باستخدام مقياس رســم للصــورة المأخوذة . ويتم ذلك بعمل لوحة طولها (1) متر تحوي على مربعين بابعاد (30×30)ســم وقبل التصوير أو أثناءه يوضع هذا المقياس بقرب الأداة أو موقع اداء الحركة ويتم تصويره . والذي من خلاله نستطيع استخراج مقياس الرسم الحقيقي من خلال المعادلة الآتية :

$$\text{معامل التحويل} = \frac{\textbf{مقياس الرسم الحقيقي}}{\textbf{مقياس رسم الصورة}}$$

الارتفاع أو المسافة الحقيقية = مقياس الصورة × معامل التحويل



ملاحظة :

1. كلما ابتعد مقياس الرسم عن الكاميرا سوف يقل طوله بالصورة .
2. عندما لا يوجد مقياس رسم تأخذ نقطة ثابتة ومعروفة .
3. عندما يكون المدى الحركي للحركة طويلا نأخذ أكثر من مقياس رسم واحد .
4. ان الحركة لها :

- المجال : مدى الحركة (بداية ونهاية الحركة) .
- الزمان : مدة استغراق الحركة .
- نوع الحركة : ديناميكية ، ستاتيكية .

طرق التحليل

حساب الزمن:

1. نستخرج اولاً زمن الصورة الواحدة عن طريق سرعة الكاميرا وعن طريق القانون التالي:

زمن الصورة الواحدة = 1/ سرعة الكاميرا ، مثلا الكاميرا تصور 25 ص/ثا

أي زمن الصورة الواحدة = 1 / 25 = 0.04 ثا

2. نستخرج عدد الصور للمرحلة التي نريد استخراج زمنها مثلا عدد الصور 10 ، يصبح عدد الصور 9 لان عدد الصور يكون دائما (ن−1) .
3. نستخرج زمن المرحلة عن طريق الزمن = (عدد الصور − 1) × زمن الصورة (الواحدة)
4. زمن المرحلة في المثال = (10−1) × 0.04 = 0.36 ثا زمن المرحلة

حساب المسافة

1. نستخرج معامل التحويل

معامل التحويل = مقياس الرسم الحقيقي / مقياس الرسم في الصورة

مثلا كان مقياس الرسم الحقيقي (100 سم) وظهر في الصورة 3 سم

اذاً معامل التحويل = 100 / 3 = 33.3

2. نقوم بقياس المسافة في الصورة مثلاً كانت 4.2 سم في الصورة
3. نحول المسافة المقاسة الى مسافة حقيقية وذلك عن طريق :

المسافة الحقيقية = المسافة المقاسة في الصورة × معامل التحويل

المسافة الحقيقية = 4.2 × 33.3 = 139.86 سم مسافة حقيقية.

مثال : **قام باحث بتصوير حركة معينة بكاميرا سرعتها 50 صورة / ثانية وكان مقياس الرسم 100سم حقيقي : 8 سم في الصورة وكان عدد الصور الحركة 30 صورة وكانت**

المسافة الأفقية لحركة مركز ثقل الجسم = 5.7 سم في الصورة

المسافة العمودية لحركة مركز ثقل الجسم = 0.8 سم في الصورة.

استخرج كل من : زمن الحركة / المسافة الأفقية الحقيقية لحركة مركز ثقل الجسم / العمودية الحقيقية لحركة مركز ثقل الجسم / المحصلة (الإزاحة) الحقيقية لحركة مركز ثقل الجسم / سرعة الحركة لحركة مركز ثقل الجسم ؟

زمن الحركة نتبع خطوات ايجاد الزمن

1. نستخرج زمن الصورة الواحدة الذي = 1 / سرعة الكاميرا = 1 / 50 = 0.02 ثا زمن الصورة الواحدة .
2. نستخرج عدد الصور الذي يساوي ن – 1 = 30– 1 = 29 صورة
3. نستخرج زمن المرحلة = عدد الصور × زمن الصورة الواحدة = 29 × 0.02 = 0.58 ثا زمن الحركة .

المسافة

1. نستخرج معامل التحويل = مقياس رسم حقيقي / مقياس رسم في الصورة
   = 100 / 8 = 12.5 معامل التحويل
2. نستخرج المسافة الحقيقية = المسافة المقاسة في الصورة × معامل التحويل

- المسافة الافقية الحقيقية = 5.7 × 12.5 = 71.25 سم المسافة الأفقية الحقيقية لحركة مركز ثقل الجسم.
- المسافة العمودية الحقيقية = 0.8 × 12.5 = 10 سم المسافة العمودية الحقيقية لحركة مركز ثقل الجسم.
- المسافة المحصلة نستخدم قانون فيثاغورس

م = س2 + ص2 م = 2(71.25)2 + (10)2

م = 5076.56 + 100 = 5176.56 = 71.94

3. نستخرج السرعة

- السرعة الأفقية لمركز ثقل الجسم = م / ن = 71.25 / 0.58 = 41.32 سم / ثا السرعة الافقية
- السرعة العمودية لمركز ثقل الجسم = م / ن = 10 / 0.58 = 5.8 سم / ثا السرعة العمودية.
- السرعة المحصلة لمركز ثقل الجسم = م / ن = 71.94 / 0.58 = 124.03 سم / ثا السرعة المحصلة.

2- الكينماتيك المستقيم: Linear Kinematics

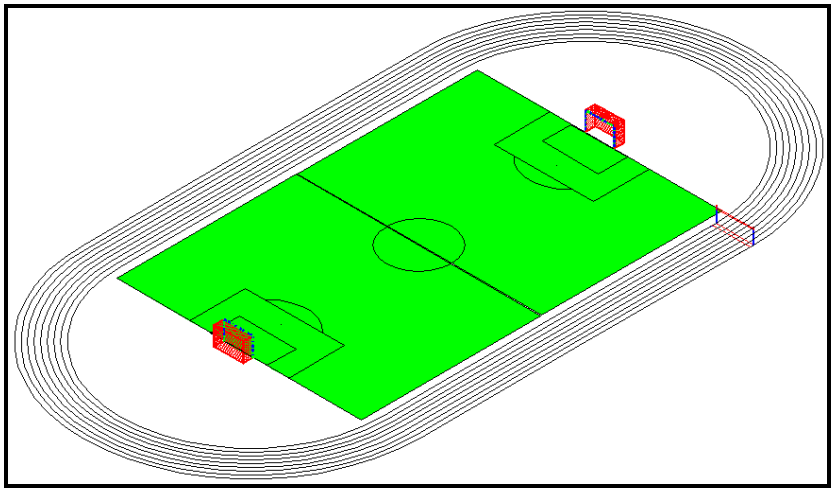
إن علم البايوميكانيك يعنى بدراسة حركة جسم الإنسان ككائن عضوي ومحاولة الارتقاء بها من حيث طبيعة الحركة المؤداة وشكلها ومدى إمكانيتها للظروف الزمانية والمكانية لذا فأن هذا العلم عندما يتطرق لدراسة حركة معينة في أية فعالية، ولتكن حركة المشي فنجد إن تحليل هذه الحركة تحليلا وصفيا للمركبات الميكانيكية التي تؤدي إلى حدوث الحركة ، وكذلك المسافة المقطوعة من جراء ذلك أو تذبذب حركة الجسم من السرعة إلى البطء فنجد إن قسم البايوميكانيك الذي يعنى بدراسة هذا الجانب هو **الكينماتيك** الذي يمكن تعريف مهمته ببساطة.

هو احد فروع البايوميكانيك والذي يعنى **((بدراسة الحركة دراسة وصفية من حيث زمانها ومكانها بصرف النظر عن القوى التي تسبب حدوث الحركة))**.

2-1 المسافة والإزاحة: Distance (Length) and displacement

إن المفهوم العام للحركة التي يؤديها جسم الإنسان أو الأجسام الأخرى يعني انتقاله من مكان إلى مكان أخر فنقول أن عداء ترك عن خط البداية وقطع مسافة100 م باتجاه خط النهاية وبذلك فأن إزاحته تكون بمقدار المسافة التي قطعها العداء، وفي مثال أخر عندما يتحرك جسم لقطع مسافة معينة في زمن معين وبعد فترة يعود إلى النقطة التي بدأ منها فيمكن القول إن الجسم قد قطع مسافة محددة ولكن إزاحة الجسم في هذه الحالة هي صفر، أي بمعنى عدم إزاحته عن موضعه الأصلي بمقدار معين وباتجاه معين في نهاية الحركة.

فمثلاً عداء قطع دورة كاملة حول الملعب أي قطع مســـافة 400 م عندما تحرك من خط البداية إلى خط النهاية فنقول ان العداء قطع مســـافة 400م ، أما عندما نتكلم على الإزاحة فأن إزاحة الجسم تساوي صفرا لان خط البداية هو نفسه خط النهاية. كما في الشكل (9)



شكل (9) يوضح ملعب الساحة والمضمار

المسافة Distance:

وهو المســـار الحقيقي(Length) لحركة الجســـم من مكان إلى مكان أخر.مثال عداء يركض 100م. وهي كمية قياســـية تكفي لتعبير عنها ذكر مقدارها. ووحدة قياســـها المتر أو ما يشابهه ويرمز لها بالرمز (l).

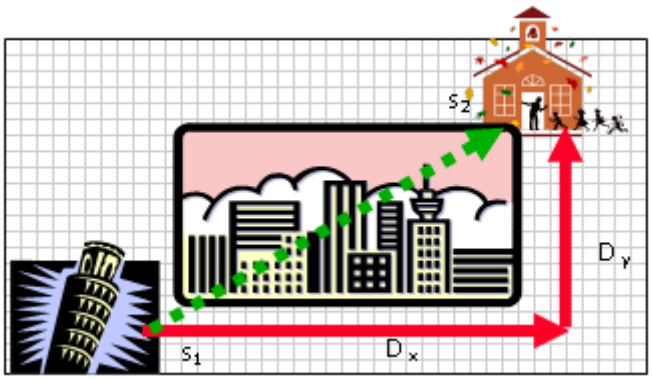
أما الإزاحة Displacement:

وهي محصلة المسافة التي تحركها الجسم عن نقطة البداية إلى نقطة النهاية. وهي كمية متجه: للتعبير عنها نذكر مقدارها واتجاهها.ووحدة قياسها المتر ويرمز لها بالرمز (d).

مثال:

عند الانتقال من برج بيزا (s1) الى المدرسة (s2) نتبع الطريق Dx ثم الطريق Dy بسبب وجود الأبنية وهذه هي المسافة إما الإزاحة فهي الانتقال الوهمي من S1 إلى S2 عن طريق السهم المتقطع مباشرة بغض النظر عن وجود الأبنية.

وفي الشكل (10) أدناه نرى الخط المتقطع هي المسافة والخط المتصل هو الإزاحة.



شكل (10) يوضح المسافة والازاحة

2-2 السرعة والسرعة المتجهة: Speed and Velocity

عندما يتحرك جسم من مكان إلى أخر فأن حدوث الحركة يتم في وقت معين ويختلف الوقت المستغرق لقطع مسافة محددة من جسم إلى أخر ، فقطع مسافة 10 كيلومترات بواسطة سيارة مسرعة تستغرق وقتا اقصر من زمن قطع المسافة نفسها بواسطة الركض ، ويعد الزمن الأخير اقصر من زمن قطع المسافة مشيا على الإقدام. نستنتج مما تقدم ان الجسم الذي يقطع المسافة نفسها بزمن أطول ، وعلى هذا الأساس يمكن صياغة العلاقة بين السرعة والمسافة والزمن على النحو الأتي:

((السرعة تساوي المسافة المقطوعة في وحدة الزمن))

تتكون وحدة السرعة من وحدة مركبة من وحدة المسافة ووحدة الزمن فنقول عداء يركض بسرعة 6 م /ثا أو سيارة تسير بسرعة 40كم/ساعة.

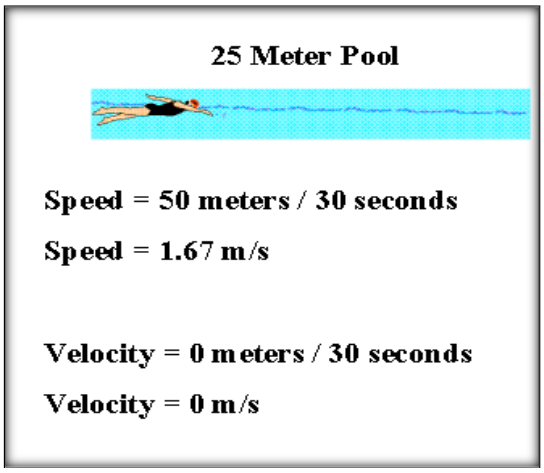
كما ذكرنا سابقا ان السرعة تعد كمية متجهة أي ينبغي ذكر اتجاهها إضافة إلى مقدارها عند دراستها ، ان استعمال كلمة السرعة التي نتداولها دائما في مجالنا الرياضي هي ترجمة لكلمة (Speed) ، ولكن من وجهة النظر الميكانيكية البحتة يعبر هذا المصطلح عن كمية السرعة وليس السرعة المقصودة ميكانيكيا أي السرعة المتجهة (Velocity) التي تمثل كمية السرعة التي يتحرك بها الجسم إضافة إلى اتجاهها.

أوضحنا في موضع سابق من هذا الكتاب الفرق بين المسافة والإزاحة من وجهة النظر الميكانيكية ، وبالنظر للارتباط الوثيق بين السرعة والمسافة فلابد لنا من توضيح العلاقة الرياضية بين السرعة ككمية لحركة الجسم والسرعة المتجهة وبين المسافة والإزاحة ،

السـرعة Speed: ((المسـافة المقطوعة في وحدة الزمن أوهي معدل تغير المسـافة بالنسـبة للزمن)).وهي كمية قياسـية، تكفي لتعبير عنها ذكر مقدارها. وحدة القياس : متر / الثانية ويرمز لها بالرمز (s). $s = \frac{l}{t}$

السـرعة المتجهة Velocity: ((وهي الإزاحة المقطوعة في وحدة الزمن أوهي معدل تغير الإزاحة بالنسـبة للزمن)).وهي كمية متجهة، تكفي لتعبير عنها ذكر مقدارها واتجاهها . وحدة القياس : متر / الثانية. ويرمز لها بالرمز (s). $v = \frac{d}{t}$

مثال: عندما يتحرك سباح في الشكل (11) لقطع مسافة 50m بزمن قدرة 30s وكان طول حوض السباحة 25m ذهابا وإيابا استخرج السرعة والسرعة المتجهة؟



شكل (11) يوضح حركة السباح

2-3 السرعة اللحظية أو الآنية: Velocity limit

أحياناً تتغير سرعة الجسم في فترات زمنية قصيرة فلتحديد سرعة ذلك الجسم في لحظة معينة يجب معرفة مقدارها في اصغر مسافة مقطوعة في اصغر فترة زمنية عندئذ تسمى السرعة اللحظية أو الآنية. وهي اصغر فرق في المسافة على اصغر فرق في الزمن.

ويرمز لها الرمز (V lim)

والسرعة اللحظية = اصغر فرق في المسافة /اصغر فرق في الزمن

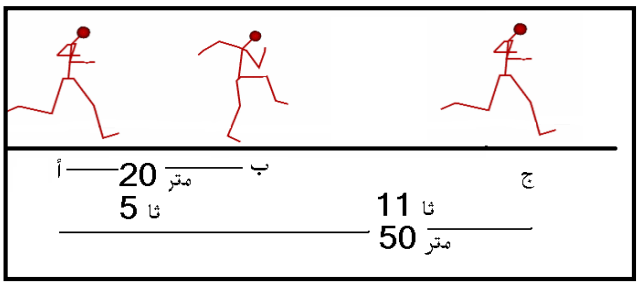
وتتخرج هذة السرعة عن طريق القانون التالي $v\lim = \frac{\Delta d}{\Delta t}$

2-4 متوسط السرعة: إذا كان لدينا أكثر من سرعة يمكننا استخراج متوسط تلك السرع عن طريق استخراج متوسط السرع **(معدل السرع)**:هي حاصل جمع السرع على عددها

$$\bar{v} = \frac{v1 + v2}{2}$$

كما في المثال في الشكل (12):

يتحرك عداء من نقطة أ باتجاه نقطة ب التي تبعد مسـافة 20m ويطقعها بزمن قدره 5 s ثم يستمر في حركته إلى نقطة جـ التي تبعد عن ب مسافة30m بحيث كان الزمن المستغرق الكلي 11s:



شكل (12) يوضح انتقال العداء من أ الى ب الى ج

نستخرج السرعة من أ الى ب

$$v1 = \frac{d1}{t1} = \frac{20m}{5s} = 4m/s$$

نستخرج السرعة من ب الى ج $v2 = \frac{d2}{t2} = \frac{30m}{6s} = 5m/s$

متوسط السرعتين $\bar{v} = \frac{v1 + v2}{2} = \frac{4+5}{2} = 4.5m/s$

5-2 السرعة كمية متجهة: Velocity as a vector

ان السرعة هي إحدى الكميات الميكانيكية التي يتم تناولها بشكل مستمر سواء في العمل اليومية أو أثناء دراستنا للحركة في المجال

ذكرنا سـابقا إن خاصـية السـرعة من الناحية الميكانيكية هي خاصـية الاتجاه ، فعند دراستنا لفعل تأثير السرعة يتم التعامل مع هذه الكمية على أساس بياني ، بمعنى اذا سار جسم بتأثير سـرعتين في الوقت نفسـه فأن الفعل ألتأثيري لهذه السـرع يعتمد على اتجاهاتها فإذا كانت السرعتان في اتجاه واحد فأن محصلتهما هي عبارة عن جمعهما هندسيا.

أما أذا كانت السرعتان في اتجاهات مختلفة وعلى خط عمل واحد فأن محصلتهما النهائية هي الفرق بينهما.

وهناك أمثلة كثيرة في الحياة اليومية على هذه الخاصـية، فإذا سـار راكب القطار باتجاه حركة القطار نفسها فأن سرعة الراكب هي عبارة عن سرعته + سرعة القطار بينما إذا 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 أو 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 أثناء الخطوات الأخيرة من ارمي التي يتم فيها ترجيع ارمح إلى الخلف فأن سرعة الرمح هي الفرق بين سرعة الجسم وسرعة الرمح على الرغم من ان الحركة النهائية للرمح هي في اتجاه الرمي.

يتأثر جسم الإنسان في بعض الحالات بأكثر من سرعة ولكن خط عملها ليس على خط عمل واحد ، ففي هذه الحالة تكون السرعة بزاوية فيمكن استخراجها عن طريق المحصلة اذا كانت الزاوية قائمة فيتم استخراج المحصلة عن طريق تطبيق نظرية فيثاغورس.

مثال:

قارب يحاول عبور نهر بسرعة 8م / ثا وكان اتجاه تيار الماء أفقيا بسرعة 6 م / ثا احسب مقدار سرعة القارب النهائية وما هو مقدار الزاوية التي يشكلها خط سيره مع الخط الأفقي؟

الحل:

$$R=10\ m/s \quad R=\sqrt{100} \quad R=\sqrt{64+36} \quad R=\sqrt{8^2+6^2}$$

$$Tan=\frac{8}{6} \qquad Tan=1{,}3 \qquad \theta=53$$

أما إذا كانت الزاوية بين السرعتين حادة أو منفرجة فأن المحصلة يمكن استخراج قيمتها من خلال القانون الجيب تمام.

مثال:

سباح يتأثر بسرعتين أحداهما 5 m/s والثانية سرعة تيار الماء 4 m/s وكانت الزاوية بين هاتين السرعتين 45 درجة، أوجد السرعة النهائية للسباح واتجاهها ؟

$$R=\sqrt{x^2+y^2+2xy*Co\sin\theta}$$

$$R=\sqrt{5^2+4^2+2*5*4*Co\sin 45}$$

$$R=\sqrt{25+16+40*.7} \quad R=\sqrt{69{,}28}$$

$$R=8{,}32\ m/s$$

$$Tan=\frac{5\sin 45}{4+5\cos 45} \qquad Tan=\frac{5*0{,}707}{4+5*0{,}707} \qquad Tan=\frac{3{,}535}{7{,}535}$$

$$Tan=0.469 \qquad \theta=25$$

2-6 تحليل ألمتجهه إلى مركبتين الأفقية والعمودية:

يمكننا استخراج المركبتين الأفقية والعمودية لأي متجهة عن طرق قانونين الجيب والجيب تمام وذلك بعد معرفة مقدار المتجهة واتجاهه (الزاوية مع المحور x) وكما يأتي:

- **نستخرج المركبة العمودية من قانون الجيب:**

$$\sin\theta = \frac{Y}{R} \qquad Y = R*\sin\theta$$

- **نستخرج المركبة الأفقية من قانون الجيب تمام:**

$$\cos\theta = \frac{X}{R} \qquad X = R*\cos\theta$$

مثال:

حلل المتجه الأتي إلى المركبة العمودية والمركبة الأفقية مع العلم أن مقدار المتجهة 8 وزاوية مع المحور الأفقي مقدارها 40 درجة كما مبين بالشكل الأتي:

$Y = R*\sin\theta \qquad Y = R*\sin 40$

$Y = 8*0{,}642 \qquad Y = 5{,}136 M/S$

$X = R*\cos\theta \qquad X = R*\cos 40$

$X = 8*0{,}766 \qquad X = 6{,}128 M/S$

2-7 التعجيل: Acceleration

عند قطع العداء لمسافة معينة وتكون حركته منتظمة فأن ذلك يعني ان سرعته في أي لحظة من لحظات الحركة هي ثابتة ، أمام إذا كانت حركته غير منتظمة فعندئذ تتغير سرعته من لحظة لأخرى حيث يطلق على التغيير في مقدار السرعة مصطلح التعجيل ، ويعبر عن تزايد السرعة تدريجيا (بتعجيل موجب) أما إذا كانت السرعة تتناقص تدريجيا (تعجيل سالب) لنضرب المثال الأتي زيادة في توضيح ماهية التعجيل عندما يبدأ عداء بالركض ويقطع عشرة الأمتار الأولى بزمن قدره 3 ثانية وعشرة الأمتار التي تليها بثانية وثمانية أعشار الثانية ، بينما الأمتار العشرة الثالثة بثانية وستة أعشار، نستنتج من هذا إن قطع المسافات نفسها بأزمنة تقل تدريجيا يدل على أن سرعة الجسم تزداد تدريجيا ومن ثم تكون حركة العداء بتعجيل موجب ، أما إذا حدث العكس بأن يقطع العداء مسافات متساوية بأزمنة تزداد تدريجيا ، فان هذا يعني ان الحركة تتم بسرعة تقل تدريجيا فعندئذ نقول ان العداء يتحرك بتعجيل سالب.

يتضح من ما سبق في المرحلة الوسطى التي كان يقطع العداء فيها مسافات متساوية بأزمنة متساوية فأن حركته في هذه الحالة منتظمة عندئذ يكون التعجيل مساويا صفرا.

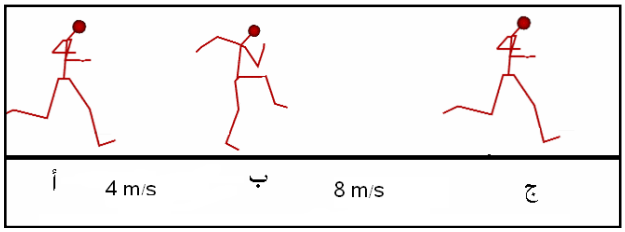
أما في حالة الحركة غير المنتظمة فذلك يعني حدوث تغير في سرعة الجسم

التغيير في السرعة = السرعة النهائية – السرعة الابتدائية

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

ليصبح قانون التعجيل $$a = \frac{v2 - v1}{t}$$

مثال ينطلق عداء في الشكل (13) من نقطة أ الى ب وسرعته 4م / ثا وعندما يصل إلى نقطة ج تبلغ سرعته 8م / ثا وكان زمن قطع المسافة الكلية هو 2 ثانية فيكون مقدار التعجيل



شكل (13) يوضح انتقال العداء من أ الى ب الى ج

$$a = \frac{8-4}{2} = 2m/s^2$$

وفي هذه الحالة يكون التعجيل موجبا. اما اذا حدث العكس وكانت ســـرعة العداء عند النقطة ب 4م /ثا وكانت عند أ 8م/ ثا فأن التعجيل يكون سالبا لان:

$$a = \frac{4-8}{2} = -2m/s^2$$

8-2 حركة المقذوفات (Projectile Motion)

تتأثر الاجسام المقذوفة في حركة بالهواء بعدة عوامل العمودية الابتدائية والارتفاع

1. زمن الطيران للمقذوفات والتي تتأثر بالسرعة العمودية الابتدائية والارتفاع النسبي لنقطة انطلاق المقذوف.
2. الازاحة الافقية التي تتأثر بكل من السرعة العمودية الابتدائية والارتفاع النسبي لنقطة الطيران.
3. الازاحة العمودية التي يعتمد بكل من الزاوية الطيران والارتفاع النسبي للمقذوف.
4. قوس الطيران الذي بكل من زاوية الطيران والارتفاع النسبي لنقطة الطيران.

وعند اطلاق الجسم في الهواء فان جسمه يتحرك بمسار خلال الطيران وتتأثر حركته مقدارا واتجاها بقوة الهواء اضافة الى القوى اخرى كما في الشكل (!!!!!) تحدد اهمها بما يلي:

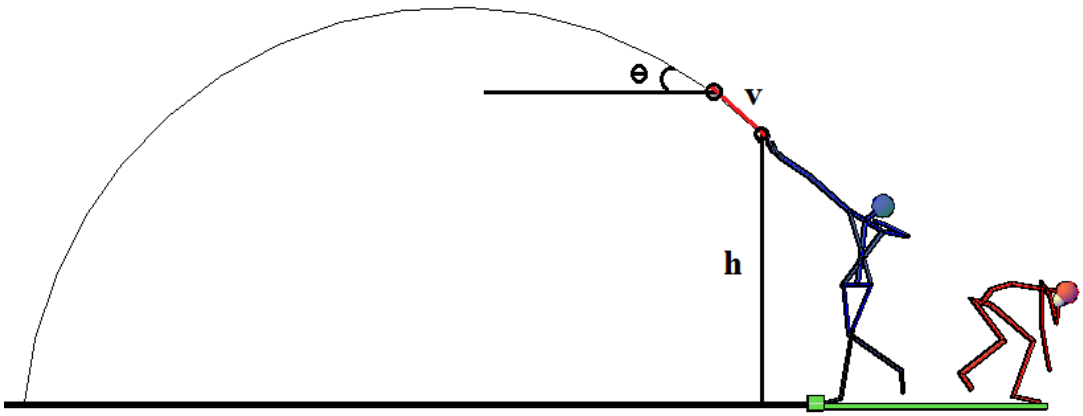
1. سرعة الانطلاق (السرعة الابتدائية).
2. زاوية الانطلاق.
3. ارتفاع نقطة الانطلاق.

والمتغيرات التي يمكن احتسابها نظريا ما يلي:

1. زمن الطيران.
2. ارتفاع نقطة الطيران.
3. ابعد مسافة.

شكل (14) يوضح متغيرات المقذوفات

حركة المقذوفات الشاقولية (Vertical Projectile Motion)



تتزايد سرعة الاجسام الساقطة تدريجيا للأسفل بسبب تأثير القوة الجاذبية الارضية وعند قذفها للأعلى فان سرعتها تتناقص تدريجيا بسبب القوة الجاذبية الارضية وقوة القذف للأداة، فاذا ما بلغت سرعة الجسم في نهاية الثانية الاولى بعد انطلاقه للأعلى شالقولياً (96)قدم/ثا. فان سرعته ستتباطأ وتصبح (64)قدم/ثا، في الثانية الثانية ، و(32)قدم/ثا فب الثانية الثالثة حتى التوقف حركتها في نقطة تسمى بالنقطة الميتة والتي تكون السرعة فيها صفرا والجسم في حالة السكون للحظة قصيرة جدا حيث تتساوى فيها القوة الدافعة للأعلى مع قوة جذب الارض الاسفل ثم ترجع الجسم الى نقطة الانطلاقة وبسرعة متزايدة تدريجيا بسبب قوة الجذب الارضي فتصبح

(32)قدم/ثا في نهاية الثانية الاولى، و(64) قدم /ثا في نهاية الثانية الثانية ، و الثانية الثالثة (96)قدم/ثا فترتطم الكرة بالأرض فتصبح السرعة صفرا حيث يقطع مسافة اكبر بسبب زيادة السرعة الابتدائية للمقذوف.

فالزمن والمسافة التي يقطعها الجسم في الصعود والهبوط تكون متساوية وكذلك السرعة تكون السرعة خلال كل ثانية في الصعود مع نفس الثانية من الهبوط ، اي ان السرعة الثانية هي الاولى من الصعود (96)قدم/ ثا هي نفسها السرعة في الثانية الاولى من الهبوط، وكذلك في الثانية الثانية والثالثة . والتعجيل السالب عند الصعود تساوي التعجيل الموجب عند الهبوط.

وللحركة الشاقولية او العمودية اهمية كبيرة وتأثير كبير على الكثير من الفعاليات الرياضية التي تستوجب في ادائها تحقيق اقصى ارتفاع عمودي للبقاء في الهواء زمنا طويلا وتحقيق الحركات قبل الوصل للأرض مثل حركات الغطس في السباحة والترامبولين وبعض الحركات الدورانية في الجمناستك والتي تختلف عن المتطلبات الميكانيكية لبعض الفعاليات التي تحتاج معرفة المسا الحركي لها مثل كرة الكولف لتحقيق الهدف مثلا، مما تقدم نستطيع ان نقول ان زمن الصعود يساوي زمن الهبوط والسرعة الابتدائية عندما يكون مقدارها صفرا فان المعادلات التي تسمح باستنتاج مقاديرها وعلاقتها المجهولة تكون كما يلي:

قانون استخراج السرعة العامودية للمقذوف $$Vv = \sqrt{2 * h * g}$$

قانون استخراج المسافة العامودية للمقذوف $$h = \frac{Vv^2}{2g}$$

او قانون استخراج المسافة العامودية للمقذوف $$h = \frac{g*t^2}{2}$$

قانون استخراج زمن الطيران للمقذوف $$t = \sqrt{\frac{2*h}{g}}$$

والان تأخذ الامثلة التالية لغرض تطبيق قوانين الحركة الشاقولية كتالي:

مثال (1) هوا جسم عموديا الى الارض من ارتفاع (30)م ما هو الزمن المستغرق للهبوط اولا وسرعته عند الصول للأرض ثانيةً.

المطلوب الاول :

$$t = \sqrt{\frac{2 * \mathrm{h}}{g}} = \sqrt{\frac{2 * 30}{9.81}} = \sqrt{\frac{60}{9.81}} = \sqrt{6.11} = 2.47\ s$$

المطلوب الثاني :

$$\mathrm{Vv} = \sqrt{2 * \mathrm{h} * \mathrm{g}} = \sqrt{2 * 30 * 9.81} = \sqrt{588.6} = 24.2\ m/s$$

مثال (2) انطلقت كرة بسرعة 80 قدم /ثانية ، ما هو اقصى ارتفاع لصعودها والزمن المستغرق له؟

استخراج المسافة العامودية للمقذوف

$$\mathrm{h} = \frac{Vv^2}{2g} = \frac{80^2}{2*32} = \frac{6400}{64} = 100\ f$$

استخراج زمن الطيران للمقذوف

$$\mathrm{t} = \sqrt{\frac{2 * \mathrm{h}}{g}} = \sqrt{\frac{2 * 100}{32}} = \sqrt{\frac{200}{32}} = \sqrt{6.25} = 2.5\ s$$

حركة المقذوفات الافقية (Horizontal Projectile Motion)

ان الجسم والاداة المقذوفة افقيا تأخذ مسارا قوسيا خلال تحلقها في الهواء. وهذا المسار للتحليق الافقي ينقسم الى قسمين متكافئين حيث الجسم في النصف الاول من قوس بسرعة تباطئية الى ان تصل نقطة الصفر لكي تسير في النصف الثاني من قوس السرعة بصور متزايد. ان نقطة الصفر او النقطة الميتة ان صح التعبير تسمى بالقطع المكافئ حيث يفصل القوس او المنحنى الى قسمين متكافئين.

وهنالك عوامل تؤثر على حركة المقذوفات في المسار الافقي وهي :(قوة قذف الجسم او الاداة، وقوة جذب الارضي وقوة دفع الهواء سلبا او ايجابا).

والمقذوفات تتأثر بالعامل الاول وهو قوة القذف اي كلما كانت القوة كافية كلما كانت المسافة الافقية التي يقطعها الجسم ابعد.

اما قوة جذب الارضي فإنها تكون سلبيا في النصف الاول من المنحنى او قوس الطيران وبعدها يكون دورها ايجابا لان تكون قوة الجذب مع قوة القذف.

اما عامل تأثير قوة الهواء فإنها تعتمد على حجم ووزن وشكل وسطح وسرعة الجسم المقذوف ، (وكذلك الحركة الدورانية للجسم المقذوف) ، فتأثير الهواء مثلا على حركة الرمح تختلف عما هي في حركة رمي الثقل او القرص. يمكن ان نحدد المتغيرات والعوامل المؤثرة في المركبات المستخدمة في علم الميكانيك وعلى وفق المعادلات الاتية:

1. الافقية المسافة $Hd = \frac{v^2 * 2 * sin\theta}{g}$
2. الزمن $t = \frac{2 * v * \sin\theta}{g}$

والان يمكن ان نطبق بعض القوانين على الامثلة في المجال الرياضي والتي تواجه دراسة وتفسر الحركة الرياضية في مجال حركة المقذوفات والتي منها على سبيل المثال ما يلي :

مثال: ما هي مقدار المسافة الافقية لانطلاق كرة قدم بسرعة (12 م/ثا) وبزاوية ($41°$) ، وما هو مقدار الزمن المستغرق لحركته؟

المسافة الافقية:

$$Hd = \frac{v^2 * 2 * sin\theta}{g} \quad Hd = \frac{12^2 * 2 * sin41}{9.81}$$

$$Hd = \frac{144 * 2 * 0.65}{9.81g} \quad Hd = \frac{187.2}{9.81} = 19.05\ m$$

الزمن:

$$t = \frac{2 * v * \sin\theta}{g} \quad t = \frac{2 * 12 * \sin 41}{g} \quad t = \frac{24 * 0.65}{9.81} \quad t = \frac{15.6}{9.81} = 1.59\ s$$

مثال:انطلق سهم بسرعة (96 قدم/ ثا) وبزاوية (27°) مع خط الافقي ، علما ان مستوى الانطلاق مساوي لمستوى الهبوط .

المطلوب:

1. زن طيران السهم

$$t = \frac{2 * v * \sin\theta}{g} \quad t = \frac{2 * 96 * \sin 27}{32} \quad t = \frac{192 * 0.45}{32} \quad t = \frac{86.4}{32} = 2.7\ s$$

العوامل المؤثرة في حركة المقذوفات:

لو رجعنا الى معادلات المقذوفات فان المتغيرات المؤثرة في الانجاز ما يلي:

العامل الاول : سرعة الانطلاق:

تتكون من مركبتي السرعة الافقية والعمودية . السرعة العمودية تتأثر بقوة جذب الارض ومقاومة الهواء سلبا او ايجابا ؛ لذلك فان قيمتها تقل عند الصعود وتزداد في الهبوط كما وضحنا سابقا (تقل عند الصعود حتى تصل الى نقطة الميتة نقطة قطع المكافئ عند قمة القوس وبالعكس تزداد عند النزول وتصل الى الصفر عند الارتطام بالأرض.

ان سرعة الطيران مهمة في الانجاز الرياضي ؛ لأنها تحدد طول وارتفاع مسار الطيران ويجب ان تبلغ اقصى ما يكون مع الحفاظ على حركة الجسم (وحسب متطلبات المسابقة) ،كما في المرحلة التحضرية في فعاليات القفز والوثب والرمي والقذف، الخ. ولكل فعالية من هذه الفعاليات متطلبات للشرعة الافقة والعمودية تختلف عن الاخرى.

العامل الثاني: زاوية الاطلاق:

المقصود بها تلك الزاوية المحصورة بين الخط الافقي ومسار الطيران وكل فعالية تتطلب زاوية معينة تختلف عن الاخرى ، والزاوية المثالية في معظم الالعاب هي زاوية (45°) وذلك عندما يتساوى مستوى الانطلاق الهبوط وتزداد هذه الزاوية او تقل حسب ارتفاع نقطة الانطلاق

للأداء او الجسم المقذوف، حيث تكون في فعاليات الرمي مثلا (42°) عندما تكون ارتفاع نقطة الانطلاق لحظة الرمي (2.25) متر وتصبح (39°) في ارتفاع (1.6)متر.

اما في الوثب الطويل فأنها تتراوح بين (17–24°) ، كما ان الزاوية تتأثر بسرعة الانطلاق ، حيث كلما زادت سرعة الانطلاق كلما احتاج الى زاوية اقل من الزاوية المثالية.

ومما تقدم فان الزاوية المثالية (45°) هي زاوية مجدية تماما في حالة كون الهدف هو تحقيق المدى او المسافة الافقية وبغض النظر عن سرعة الانطلاق. وهذه الزاوية تعتمد بالأساس على طول الرياضي او ارتفاع نقطة الانطلاق عن مستوى الارض.

وللزاوية التي تنطلق بها المقذوف تأثير على كل من مركبة الافقية والعمودية وعلى المسافة الكلية للرمي (الدى الافقي) ويمكن ملاحظة هذا التأثير للزاوية في الشكل (64) والذي يمثل خمسة مسارات لزوايا انطلاق مختلفة هي (45، 60، 30، 70، 20°) درجة

العامل الثالث: ارتفاع نقطة الانطلاق:

وهي المسافة المحصورة بين مركز ثقل الجسم او الاداة المقذوفة والارض وهذه النقطة قد تكون مرتفع او منخفضة وتعتمد على كل من طول اللاعب وذراعه وزاوية الاطلاق في تحقيق مسافة الانجاز الجيد عند الرمي والقفز والقذف.

مقاومة الهواء :Air Resistances

ان للهواء تأثير كبيرا على جميع الاجسام في المركبتين العمودية والافقية ، ومقاومة الهواء تتناسب تناسبا طرديا مع سرعة الجسم الساقط . فريح الساكنة لا تؤثر حتما على حركة الرمح ففي حالات الاعتيادية تكون زاوية اطلاق الرمح بين (37–38°) ، وعندما يكون الهواء شديدا وباتجاه مسار الرمح على الرامي ان يزيد من زاوية الاطلاق لكي يعمل الريح على دفع الرمح الى ابعد مسافة ، اما في حالة اتجاه الريح عكس اتجاه الرمح فعلى الرامي ان يقلل زاوية اطلاق حتى لا يزيد الهواء الشديد من الزاوية بصورة كبيرة.

3- الكينماتك الزأوي Angular Kinematics

لابد هنا من الإشـــارة إلى الفرق بين طبيعة الحركة الانتقالية أي التي تحدث على خط مستقيم والحركة الدائرية أي التي تكون على شكل دوائر كاملة أو جزء من دوائر يفهم من هذا ان حدوث الحركة الدائرية يشـــترط بوجود محور للدوران فتعلق اللاعب على العقلة والقيام بأرجحات إلى الأمام والخلف هي عبارة عن حركة دائرية ويطلق عليها أحيانا الحركة الزاوية وقد ســبق وان ذكرنا بان المحور الذي تتم حوله الحركة الدائرية اما ان يكون خارج الجســم كما في مثال التعلق على العقلة (العقلة هي محور الدوران) أو الدوران على حصــان القفز كما في الشـكل الأدنى وان يكون داخل الجسم كما في دوران الجسم حول نفسه كما في حركة الدحرجة الأمامية.

وعلى أي حال فان الكميات الميكانيكية كالســـرعة والتعجيل أثناء الحركة المســـتقيمة تختلف عن طبيعة الســـرعة والتعجيل التي تحدث أثناء الحركة الدائرية (الزاوية) وهذا ما ســـيتم تناوله أثناء دراستنا لمفهوم الكينماتك الزاوي.

3-1 المسافة الزاوية والإزاحة الزاوية:

اذا تحرك جسم حركة دائرية حول محور وليكن المحور في هذه الحالة محور خارج عن الجسم كما في حركة الدوران حو العقلة فأن المسافة التي يقطعها الجسم أثناء حركته يمكن حسابها من خلال الفرق بين الوضع الأول الذي ابتدأ منه الجسم حركته ، والوضع النهائي الذي وصله ، ولكن لا يمكن قياس المسافة في هذه الحركة بوحدات الأطوال كالمتر والسنتمتر كما في الحركة الانتقالية بل تحسب المسافة التي يقطعها الجسم بعدد الدرجات التي بتحركها منذ بداية حركته إلى نهايتها في الشكل.

عند مشاهدتنا لهذا الشكل فأنه لو أكمل لاعب الجمباز دورة كاملة من بداية الحركة والعودة للنقطة نفسها فأنه يكون قد أكمل 360 ° ولكن المسافة التي قطعها اللاعب في هذه الحركة من الرقم 1 إلى الموضع المبين في الصورة هي اقل من 360º ولتكن 270º فان هذه الكمية تعبر عن مقدار المسافة الزاوية التي قطعها جسم لاعب الجمباز.

اما بالنسبة إلى مقدار الإزاحة الزاوية فبإمكاننا الاستدلال عنها من خلال الفرق بين وضعي الجسم في بداية الحركة ونهايتها وهو (360º -270º - 90º مقدار الإزاحة).

2-3 السرعة الزاوية Angular velocity

يؤدي مفهوم السرعة دورا مميزا في جميع الفعاليات الرياضية سواء في الحركات الانتقالية أو الحركات الدائرية فكما علمنا ان قياس سرعة الجسم أثناء الحركة الانتقالية هي عبارة عن المسافة المقطوعة في وحدة زمنية.

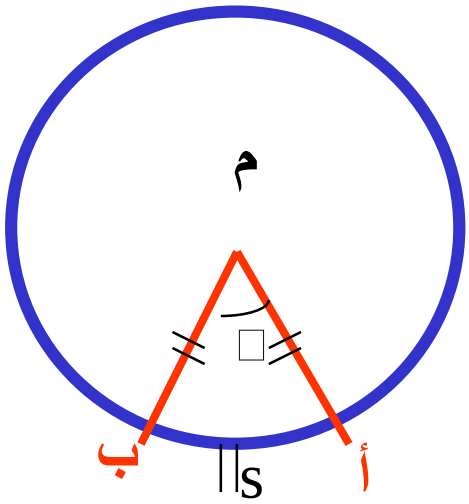
ان انتقال جسم لاعب الجمباز في الشكل قد قطع زاوية معينة وبزمن معين ويطلق على سرعته السرعة الزاوية والتي يمكن تعريفها بالأتي:

(معدل الانتقال الزاوي للجسم في وحدة الزمن)

ويمكن استخراج السرعة الزاوية عن طريق القانون التالي: $\omega = \frac{\theta}{t}$

حيث : ω (أومكا) تعني السرعة الزاوية و θ تعني المسافة الزاوية و t يعني الزمن

ولتعبير عن مقدار السرعة الزاوية التي يتحرك بيه الجسم أو جزءا منه أثناء الحركة يمكن ذلك من خلال معرفة عدد الدرجات التي يقطعها الجسم في فترة زمنية معينة.



شكل (15) يوضح القطاع في الدائرة

ولتوضيح ذلك لابد من معرفة العلاقة بين الوحدات التي تعرف بها السرعة الزاوية ان دوران الجسم حول العقلة دورة كاملة فان عدد الدرجات التي يقطعها ذلك الجسم هي 360° واذا قطع الجسم جزءا من محيط الدائرة بحيث يساوي طول ذلك الجزء نصف قطر الدائرة فأن الزاوية المقابلة لذلك الجزء تعرف بزاوية نصف قطرية كما في الشكل (15) ويطلق على المثلث أم ب بالقطاع ، وقد وجد ان الدورة الكاملة الواحدة تساوي (6.28) قطاعا وعلى هذا الأساس فأن القطاع الواحد يمكن احتساب قيمته بالدرجات ويساوي (57.3).

مثال: أثناء رمي المطرقة تدور المطرقة ثلاث دورات أفقية بزمن قدره 5ر2 ثانية احسب كم درجة تقطع المطرقة في الثانية وكذلك كم قطاعا في الثانية ؟

بما ان المطرقة تقطع ثلاث دورات فهي تقطع $360*3=1080^{\circ}$

عدد الدرجات في الثانية الواحدة $1080/2.5=432^{\circ}$

عدد القطاعات في الثانية الواحدة $432/57.3=7.5$ قطاع

3-3 السرعة المحيطية

وللعلاقة بين السرعة الزاوية لجسم أثناء دورانه وسرعته المحيطية أهمية كبيرة في دراستنا للحركات الرياضية التي تتم بشكل دائري ، والسرعة المحيطية هي سرعة جسم على محيط الدائرة ويمكن استخراج هذه السرعة من القانون التالي $s=\omega * r$

حيث: s هي السرعة المحيطية و ω (أومكا) تعني السرعة الزاوية و r نصف قطر الدوران.

ويمكن تفسير سرعة حركة كثير من الأجسام عند دورانها على محيط دائرة ومدى علاقة مقدار السرعة التي يدور بها الجسم مع بعد ذلك الجسم عن محور الدوران (نصف القطر) لو أخذنا لاعب الجمباز على سبيل المثال أثناء دورانه على العقلة نجد ان سرعة مفصل الكتف المحيطية اقل من سرعة مفصل الورك والأخير أيضا من سرعة مفصل الركبة وهكذا ، وهذا ناتج عن الفرق بين المفصل ومحور الدوران.

مثال: لاعب كرة قدم أثناء ضربه للكرة كانت السرعة الزاوية للرجل 60 درجة / ثا احسب السرعة المحيطية لمفصل الركبة وكذلك السرعة المحيطية للقدم علما ان البعد بين محور الدوران (مفصل الورك) ومفصل الركبة هو 40 سم والبعد بين محور الدوران والقدم 80 سم؟

السرعة المحيطية للركبة $s=60*40=2400cm/s$ $s=\omega * r$

السرعة المحيطية للقدم $s=60*80=4800cm/s$ $s=\omega * r$

نلاحظ مما تقدم ان سرعة القدم المحيطية هي ضعف سرعة الركبة وهذا ناشي عن الاختلاف في بعد المفصل عن محور الدوران ، يقودنا هذا الاستنتاج إلى تطبيق مبدأ طالة نصف قطر الدوران كي تزداد السرعة المحيطية للجسم الدائر كما في فعالية رمي القرص حيث يوصي المدربون بمد الذراع الحاملة للقرص أثناء دورانها ابعد ما يمكن ليكتسب القرص اكبر سرعة دائرية قبل انتقاله بشكل مماس أثناء الانطلاق. وعلى هذا الأساس فن اعتماد هذا المبدأ عند اختيار رامي القرص من حيث المواصفات الجسمية ومدى ملاءمتها لتلك الفعالية يفضل

الرامي ذو الذراع الطويلة على رامي ذي الذراع القصـــيرة لان الذراع يمثل في هذه الحالة نصـــف قطر الدائرة التي يدور عليها القرص أثناء الدوران.

3-4 التعجيل الزاوي: Angular acceleration

يختلف معنى التعجيل في الحركات المســـتقيمة عنه في الحركات الدائرية وان مفهوم التعجيل هو تغير السـرعة في وحدة الزمن أي معدل تغير السـرعة ويكون في الحركات الانتقالية (المســتقيمة) اما بقيمة موجبة عندما يكون تزايديا أو بقيمة ســالبة عندما يكون تناقصــيا الا اننا نجد نوعين من التعجيل إثناء حركة الجســم حو لمحور هما التعجيل المماســي والتعجيل القطري (العمودي) أو بمعنى اخر هناك مركبتان للتعجيل هما المركبة المماسية والمركبة العمودية.

ان هذا النوع من التعجيل هو التعجيل العمودي أو المركبة العمودية لتعجيل ويطلق عليه أحيانا المركبة القطرية ويمكن حساب قيمته من المعادة الآتية:

$$a = \frac{v^2}{r}$$

حيث: a هو التعجيل القطري (العمودي)

و v^2 سرعة الجسم على محيط الدائرة و r نصف قطر الدوران.

مثال: أوجد مقدار المركبة العمودية للتعجيل لقرص أثناء دورانه في دائرة ارمي علما ان ســـرعته اللحظية على مماس الدائرة تســاوي 15 مترا / ثا وكان طول ذراع الرامي 90 ســم يعد طول ذراع الرامي من مفصل الكتف إلى القرص بمثابة نصف قطر دوران القرص؟

$$a = \frac{v^2}{r} \qquad a = \frac{15^2}{90} \qquad a = \frac{225}{90} = 2.5 m/s^2$$

أثناء حركة دوران القرص على محيط الدائرة فأن حركته تتغير قيمتها واتجاهاتها باستقرار فلو درسنا تغير سرعة القرص في موضعين مختلفين على محيط دائرة الدوران لوجدنا معدل تغيير ســـرعة القرص بين هاتين النقطتين في فترة زمنية معينة يعد مؤشـــرا لتعجيل المماســـي للقرص فيكون مقدار التعجيل المماســي عبارة عن السـرعة الثانية مطروحا منها السـرعة الأولى مقسـومة على الزمن كم معبر عنة في المعادلة الآتية:

$$a = \frac{v2 - v1}{t}$$

4- الكينتك المستقيم: Linear Kinetics

سبق ان أوضحنا في موضع سابقة ماهية الكينتك كقسم من أقسام البايوميكانيك حيث يمكن دراسة الحركة من الناحية الكينتيكية من خلال دراسة القوى التي تؤثر في الحركة وكيفية التعامل مع هذه القوى على اعتبار ان الحركة التي تحدث في المجال الرياضي أو في الحياة الاعتيادية هي عبارة عن تأثير متبادل بين القوى الداخلية للرياضي أي قواه الذاتية (العضلية) والقوى الخارجية المتمثلة بقوة الجاذبية الأرضية وقوة احتكاك وقوة دفع الماء على غير ذلك من القوى المحيطة بالفرد والتي تؤثر بشكل مباشر في الأداء.

لابد من الإشارة إلى ضرورة دراسة الحركة من لناحية العلمية تحتما طبيعة اشتراك عوامل عديدة يؤثر منها سلبا ومنها ايجابيا فهنا تبرز أهمية تحديد العوامل الايجابية التي تساعد على أداء الحركة وبلوغ الهدف المرجو لها بجهد اقل وبطريقة ميكانيكية تتواءم وطبيعة ذلك الأداء والحد قدر الإمكان من تأثير القوة السلبية من خلال تغيير أوضاع الجسم مثلا وإتباع مسار معين أو تحريك الجسم أو جزءا منه باتجاه معين ، يقودنا هذا الجانب إلى ضرورة المام المدرب مثلا أو المعني بشؤون الحركة بالقوانين الميكانيكية التي تحد الحركة وطبيعة تأثيراتها السلبية والايجابية ومدى تطبيق نواح متعددة هي الميكانيكية والتشريحية والفسيولوجية وغيرها من النواحي التي تحدد طبيعة الأداء لكل فرد وفق إمكاناته الشخصية والظروف التي تؤدي فيها الحركة ودرجة صعوبة الحركة المؤداة ، لذا نجد ان المعنيين بشؤون الحركة الرياضية وجدوا من الضرورة الأخذ بنظر الاعتبار القوانين الطبيعية مثل قوانين نيوتن للحركة وحالات الاحتكاك التي تحدث بين السطوح المتلامسة أثناء الأداء وطبيعة الطاقة التي يبذلها الرياضي لقيام بحركة معينة.

4-1 القوة force

ان مصطلح القوة من المصطلحات الشائعة وكثيرة التداول في مجال التربية الرياضية حيث نجدها تحتل موقع الصدارة في تسلسل عناصر اللياقة البدنية لجميع الفعاليات سواء أكانت الفردية منها ام الجماعية. لذا يمكن اعتبار القوة ككمية ميكانيكية هي القاسم المشترك الأعظم لعناصر اللياقة التي ينبغي ان يتمتع بها الرياضي. ان القوة التي اشرنا اليها هي القوة الذاتية للرياضية أي قوته العضلية ، وحيث ان هذه القوة هي نوع من انواع القوة الكثيرة فمنها القوة المغناطيسية والقوة الكهربائية وغيرها من القوى المتعددة الأوجه في الحياة ، الا انه حينما ندرس تأثير القوة في الحركات الرياضية ليس فقط من جانب القوة العضلية وانما حدوث الحركة هو عبارة عن تأثير متبادل بين القوى التي تتمثل بقوة العضلات والقوى الخارجية لمحيطة بالفرد والتي تؤثر بشكل فاعل في مقدار القوة التي يستخدمها الفرد لأداء حركة معينة.

من وجهة النظر الميكانيكية ان حدوث أي حركة يقترن بوجود قوة تحدث تلك الحركة ولكن العكس غير صحيح ، حيث يمكن ان نستخدم القوة لكن من دون حدوث حركة ،من هنا يمكننا ان نفرق بين تأثيرات القوة ، فهناك التأثير الذي تحدث عنه حركة ويسمى بالتأثير الديناميكي للقوة ويمكن التعبير عنه بالمعادلة الرئيسية للديناميك من الوجهة الميكانيكية حيث تساوي القوة حاصل ضرب الكتلة × التعجيل والتي سبق ان نوقشت أثناء تناولنا قانون نيوتن الثاني ، ويتضح هذا التأثير الديناميكي للقوة كما يحدث عند دفع ثقل أو سحب زميل أو مي كرة حيث يكون تأثير القوة ديناميكيا أي أثناء استعمال القوة كما في حالة دفع الحائط أو محاولة التغلب على ثقل كبير على الأرض عندئذ لم تحدث حركة على الرغم من محاولة القوة لتحريك ذلك الجسم أو التغلب على قصوره الذاتي.

يمكننا على أساس ما تقدم من تعريف القوة ميكانيكيا:

بـ (الفعل الميكانيكي الذي يغير أو يحاول تغيير حالة الجسم المؤثر فيه)

لدراسة القوة ككمية ميكانيكية يجب علينا ان نأخذ بنظر الاعتبار عدة نواحي هي مقدارها واتجاهها ونقطة تأثيرها ، وتسمى هذه بمواصفات القوة. عندما نقول اننا أثرنا في جسم اخر بقوة لتحريكه فلابد ن يكون هناك وصف كمي للقوة ، ففي حالة استخدامنا لقوة التأثير في جسم وحركته لمسافة 20 سم واستخدمت قوة أخرى للتأثير في نفس الجسم وأكسبته حركة لمسافة 30 سم فأن مقدار القوة المسلطة في الحالة الثانية هو اكبر من الحالة الأولى ، ولكن مقدار القوة لا يكفي للتعريف بها مالم يذكر اتجاهها ، لان القوة عبارة عن كمية متجهة كما أوضحنا من قبل، فإذا أردنا القول عند تسليط قوة 100 نيوتن على جسم فمن المفهوم الميكانيكي لا يعبر هذا عن تأثير القوة مالم يتم ذكر الجهة التي أثرت بها القوة وعلى هذا الأساس اذا اردنا المقارنة بين مقدارين للقوة ممثلين بمستقيمات كما في الشكل حيث يعبر طول المستقيم عن مقدار القوة بينما يمثل السهم المؤشر في نهاية المستقيم اتجاهها ، فنقول ان ق1 مقدارها 50 نيوتن (كل اسم يعادل 10 نيوتن) وبالاتجاه الأفقي بينما ق2 مقدارها 40 نيوتن وبالاتجاه الرأسي ، اما الصفة الثالثة للقوة وهي نقطة التأثير تؤشر بقوة في جسم لابد لنا من معرفة أين يقع تأثير القوة في الجسم المراد تحريكه ، لنأخذ على سبيل المثال عتلة من النوع الأول تستخدم لرفع ثقل معين فلرفه ذلك الثقل لابد من استخدام قوة تبعد عن محور الارتكاز بمقدار معين بمعنى أخر ان نقطة تأثير القوة تقع على ذلك البعد كما في الشكل.

من الشكل اعلاه تبين لنا ان نقطة تأثير القوة للتغلب على المقاومة الموجودة تبعد عن محور الارتكاز كما مبين بالشكل ، اما عن استخدامنا لمصطلح نقطة لتأثير فالنقطة من وجهة النظر الهندسية ليس لها ابعاد بل عبرنا عن اتصال القوة بالجسم المؤثر فيه بنقطة فهو تعبير مجاز ،

وحيث ان تأثير القوة التي يسلطها لاعب الجمناستك في محور العقلة بكامله الا انه يمكننا ان نفترض ان تأثير قوة اللاعب تتركز في قبضتيه.

2-4 الوزن والكتلة: Weight & Mass

كثيرا ما نستخدم هذين المصطلحين في دارستنا الميكانيكية للحركات الرياضية فنقول ان هذا الرياضي وزنه 60 وان كتلة هذا الشيء هو 50 فماذا يقصد بالفرق بين هذين المصطلحين من الناحية العلمية.

أوضحنا لفرق في موضع سابق من الكتاب بين الكميات القياسية والكميات المتجهة فالكمية القيادية هي التي تعرف بالمقدار فقط ، أما الكمية المتجهة فلا يكفي لتعريفها ذكر مقدارها فقط ، بل ينبغي ذك اتجاهها أيضا فالكتلة هي مثال للنوع الأول أي كمية قياسية ، فهي مقدار ما يحتويه الجسم من مادة ولا تتغير من موضع إلى أخر فهي تعبر عن مقدار القصور الذاتي لذلك الجسم، فحينما نقول ان كتلة العربة وهي فارغة تختلف عن كتلتها وهي مليئة بالحم ، يعبر هذا بشكل غير مباشر عن الفرق بين مقاومة العربة في الحالتين للحركة (قصورها الذاتي). من خواص الكتلة أنها تبقى بالمقدار نفسه على الرغم من تغير موضع الجسم فالجسم الذي كتلته 100 كغم على سطح ارض يبقى بكتلته نفسها لو ارتفع إلى 000ر20 قدم. اما بالنسبة إلى الوزن فنجده يختلف عن الكتلة فيعتبر كمية متجهة أي (مقدار واتجاه) ويختلف وزن الجسم من موقع لآخر ، فوزن الجسم على سطح ارض يختلف عن وزنه وهو على سطح القمر أو هناك فرق في وزنه بين القطر وخط الاستواء ، لو أدركنا ماهية الفرق بين وزن الجسم نفسه في مواضيع مختلفة الارتفاع والانخفاض عن مستوى سطح البحر (نقطة نسبية) فأن الفرق يتأتى نتيجة اختلاف قوة الجاذبية الرضية لذلك الجسم ، فتكون قوة الجاذبية الارضية (تعجيل الجاذبية الأرضية) عند سطح البحر اكبر منه عند المرتفعات العالية ، وانطلاقا من قانون نيوتن الثاني فأن المعادلة تصبح كالأتي:

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

اما بالنسبة إلى لوحدات التي تعرف بها كل من الكتلة والوزن فوجدنا من الأهمية الإشارة إلى الاختلاف بين تسميات الوحدات قديما وحديثا ، أو حسب النظم المستخدمة في التعبير عن وحدات الكميات الميكانيكية ، وبشكل عام هناك نظامان للوحدات هما النظام البريطاني والنظام المتري حيث يرمز لنظام الأول (ق.ب.ث) أي مختصر للوحدات (قدم.بأون.ثانية) ويشتق من النظام المتري نظام جزئي ويرمز له (س.غ. ث) أي مختصر للوحدات (سنتمتر. غرام. ثانية).

ان النظام المعتمد حاليا في قياس الوزن والكتلة والتعجيل ككميات ميكانيكية هو النظام المتري (م. ك. ث) ويمكن توضيح ذلك بشكل ادق من خلال الجدول الأتي:

4-3 الدفع وكمية الحركة :

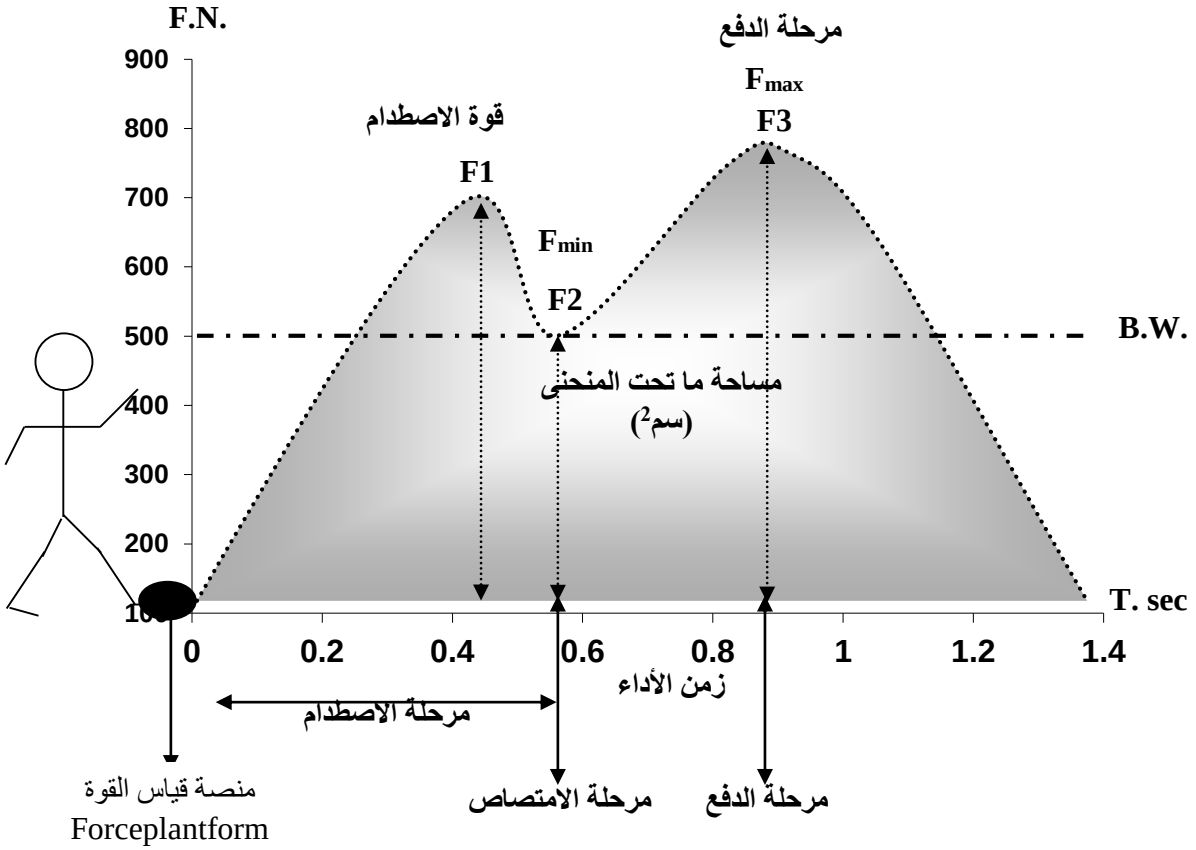
سبق وان عرفنا ان كمية حركة الجسم عبارة عن حاصل كتلته × سرعته ... ويمكن ان نقول ان كمية الحركة التي تمتلكها مطرقة كتلتها 20كغم وبسرعة 10م/ثا هي نصف كمية حركة المطرقة نفسها فيما اذا تحركت بسرعة 20م/ثا وانطلاقا من قانون نيوتن الثاني فان التغيير في كمية حركة الجسم تحدث بفعل تأثير القوة (قانون نيوتن الثاني) ... ومن الطبيعي ان تأثير القوة يحدث في فترة زمنية معينة . فلو اثرنا في جسم بقوة مقدارها 100 نيوتن وكان زمن فعل التأثير 2ثانية ، فان الجسم سيتحرك بكمية حركية معينة (زخم معين) . ولو اردنا ان تكسب الجسم نفسه كمية الحركة الاولى نفسها ولكن بزمن فعل قدرة ثانية واحدة ، فعندئذ يجب ان نضاعف مقدار القوة او العكس اذا اردنا ان نستخدم قوة تأثيرية مقدارها 50 نيوتن ففي هذه الحالة ينبغي ان يطول زمن تأثير القوة ليصل الى 4 ثواني ... ومن هذا المنطلق نجد ان القوة التي تؤثر في فترة زمنية يطلق عليها ميكانيكا مصطلح الدفع او دفع القوة (Impulse).

دفع القوة = ق × ن $I = F * t$

أي ان : الدفع = ك × جـ × ن $I = m * a * t$

دالة القوة الزمن

تعني ان هناك عنصرين هما القوة في الاتجاه العمودي أو الأفقي والزمن في الاتجاه الأفقي .



F1, F2, F3	= القوى الموجودة في الشكل
F_{max}	= أقصى قوة
F_{min}	= أقل قوة
B.W.	= وزن الجسم
T.sec	= الزمن مقاس بالثنية
F.N	= القوة مقاسية بالنيوتن

الارتكاز : يعني هناك حالة لمس وترك لمنصة قياس القوة (Forceplantform) .

- عادة ما تكون منطقة الدفع أوسع وأعلى لأنه يستغرق وقت أطول .

ما هي المتغيرات التي تتكون منها دالة القوة ؟

1. مساحة ما تحت المنحنى (سم^2) : وهي المساحة غير المنتظمة المحصورة ما بين خط الزمن ومنحنيات القوة ، وتقاس بجهاز بلانوميتر والذي يقيس المساحات غير المنتظمة للخرائط ، أو عن طريق حساب مربعات الورق البياني .

ملاحظة : عندما تكون هناك خطوة ارتكاز يجب ان لا نعتمد على مساحة ما تحت المنحنى كمتغير ، لان القوة المسجلة في الجهاز يكون مضاف اليها وزن الجسم .

عند المفاضلة بين لاعبين :

1. وتساوى الزمن والوزن = نأخذ أكبر مساحة ما تحت المنحنى
2. واذا تساوى الزمن والمساحة = نأخذ أقل وزن .
3. واذا تساوى الوزن والمساحة = نأخذ أقل زمن .
4. في حالة الاختلاف بين (المساحة والزمن) حتى اذا تساوى الوزن نقوم بحساب **مساحة ما تحت المنحنى** **الزمن** ونعتمد (القيمة أكبر).

مساحة ما تحت المنحنى الزمن = $\frac{\text{مساحة ما تحت المنحنى / سم}^2}{\text{الزمن / ثا}}$ = سم2/ثا

5. في حالة اختلاف الوزن مع أحد المتغيرين نقوم بحساب مؤشر وديع وسمير ونقوم باعتماد (القيمة الأقل) .

مؤشر وديع وسمير = = سم^2 /ثا/نيوتن

$$\frac{\text{نظام الوزن (نيوتن)}}{\text{مساحة ما تحت المنحنى / الزمن (سم}^2\text{/ثا)}}$$

ملاحظة : أي ثني يقلل من قياس القوة على منصة القوة

لايجاد معدل القوة (Avf) = $\frac{\text{مجموع نقاط قيم القوة}}{\text{عددها}}$

في حالة وجود قيم سالبة وقيم موجبة نلجأ الى ايجاد (الجذر التربيعي لمربع المتوسط)

الجذر التربيعي لمربع المتوسطات(RMS) = مجموع مربعات القيم الحقيقية

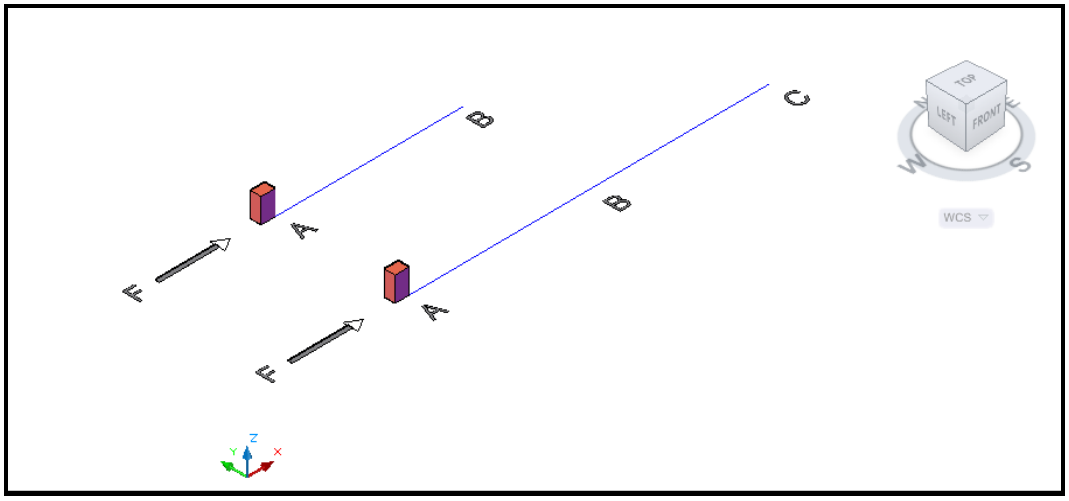
ملاحظة : تتساوى القوة العمودية مع القوة الأفقية عندما تكون الزاوية 45° .

جهاز التصفير (Zero Adjustment) : يعمل على الغاء وزن الجسم بحيث ان أي قوة تظهر هي قوة حقيقية .

الشغل: Work

من المصطلحات الميكانيكية التي يتم دراستها أثناء تأثير القوى لإحداث حركة معينة هو الشغل ,لو أثرت قوة معينة في الجسم وتحرك بفعل تأثير القوة فإنها تكون قد أنجزت شغلا .لقد أوضحنا في فصل سابق من الكتاب الفرق بين المسافة والإزاحة ,لو درسنا العلاقة بين مصطلح الشغل والمسافة والإزاحة فقد يحدث أحيانا أن يتحرك الجسم بفعل تأثير القوة ويقطع مسافة معينة ويعود لنفس النقطة التي بدا منها فمن المفهوم الميكانيكي لا يوجد شغل ,أي يشترط بالشغل أن يكون هناك إزاحة نتيجة تأثير القوة

.لو أثرنا في جسم بقوة معينة وقطع نتيجة تأثير هذه القوة المسافة من A إلى B فان القوة قد تكون قد أنجزت شغلا معينا ,أما إذا كانت المسافة المقطوعة نتيجة تأثير القوة من A إلى C فان الشغل يكون في هذه الحالة اكبر من الحالة الأولى كما في الشكل (16).



شكل (16) يوضح مقدار الشغل المنجز

على ذلك يمكننا التعبير عن الشغل بأنه يسأوي القوة في الإزاحة التي تحدث أي ان :

الشغل =القوة * الإزاحة

$$W = F * d$$

ش = ق * ز

ويقاس الشغل بوحدات القوة ووحدات المسافة فيعبر عن القوة بوحدة النيوتن والمسافة بوحدة المتر فتكون وحدة الشغل(نوتن – متر) ويطلق عليها الجول . J

وشأن الشغل في الحركات الرياضية شأن دفع القوة التي اشرنا إليها في موضع سابق بان القوة متغيرة باستمرار لذا يشار إليها بدالة القوة – الزمن ,ويحدث الشيء نفسه في الشغل أثناء الحركات الرياضية حيث أن القوة غير منتظمة فيمكن التعبير عن المسافة التي يتحركها الجسم بفعل تأثير القوة بدالة القوة –المسافة ,أي أن الشغل المنجز يساوي المساحة الوقعة تحت منحنى القوة – المسافة .

مثال :

ما هو مقدار الشغل الحادث نتيجة تأثير قوة مقدارها 100 نيوتن أدت إلى تحريك جسم مسافة 20م عن موضعه الأصلي ,وما هو مقدار الشغل إذا كانت المسافة التي تحركها الجسم هي 30م ؟

نطبق المعادلة $W = F * d$

في الحالة الأولى $W = 2000J \; W = 100 * 20$

في الحالة الثانية $W = 3000J \; W = 100 * 30$

وعليه يكون الشغل المنجز في الحالة الثانية اكبر منه في الحالة الأولى لان مقدار الإزاحة في الحالة الثانية كان اكبر .

أما في حالة الجسم الساقط من الأعلى باتجاه الأرض فان مقدار الشغل المبذول بفعل تأثير قوة الجذب الأرضي (وزن الجسم) فان الشغل يساوي

الشغل = الوزن * المسافة العمودية (الارتفاع)

ش = و * ع $W = w * h$

ويمكن تحويل الوزن الى الكتلة في التعجيل الأرضي $w = m * g$:

اذا $W = m * g * h$

4-5 القدرة POWER

لقد عرفنا إن الشغل هو عبارة عن المسافة التي يقطعها الجسم بفعل تأثير قوة معينة .

ولو أردنا أن ندرس العلاقة بين مقدار القوة المؤثرة والزمن الذي تؤثر فيه نأخذ المثال الأتي :

لنفترض أن رباعين تمكنا من رفع ثقل وزنه 200 نيوتن الى ارتفاع متر واحد فكلاهما يكون قد أنجز الشغل نفسه ولكن اختلافهما في الزمن رفع الثقل الى الأعلى فالرباع أ أنجز الشغل في الثانية واحدة بينما الرباع الثاني أنجزه في ثانية ونصف الثانية فان تفاضل بين هذين الرباعين هو أن ا أنجز الشغل بفترة زمنية اقصر وبناء على هذا نستطيع القول أن أ لديه قدرة أكثر من ب

فتكون قدرة الرباع أ ، $\frac{200}{1} = 200$

بينما قدرة الرباع ، $\frac{220}{1.5} = 133.3$

وتقاس القدرة بوحدة الشغل (الجول) مقسومة على وحدة الزمن (الثانية) فتسمى وحدة القدرة (واط)

يمكننا ان نعرف القدرة بانها (الشغل المنجز في وحدة الزمن)

$$P = \frac{W}{t}$$

اذا يمكننا صياغة قانون القدرة بالشكل التالي

القدرة = القوة * السرعة

$$P = F * v$$

القدرة = ق * س

استنادا إلى هذا القانون يمكننا أن نتوصل إلى حقيقة مفادها أن فعل تأثير القوة يكون اكبر عندما تودي الحركة بسرعة (بفترة زمنية قصيرة) أي إن هناك تناسبا طرديا بين قدرة الشخص وسرعة الحركة .

يمكننا تطبيق هذا المبدأ في كثير من فعالياتنا الرياضية حيث يوصي المدربون في فعالية رمي الثقل مثلا بان يتوجب على الرياضي ان يرمي الثقل بأسرع ما يمكن .

لنوضح ذلك أكثر من خلال المثال الآتي :

لو استخدم الرامي أ قوة مقدارها 150 نيوتن لرمي ثقل بسرعة 6 متر /ثا بينما الرامي ب الذي استخدم قوة اقل كان مقدارها 100 نيوتن ولكن بسرعة 9 متر /ثا .

فنستنتج من هذا ما يلي :

على الرغم من أن الشغل من وجهة النظر الميكانيكية مختلف في الحالتين لان المسافة التي قطعها الثقل 12 مترا لكل منهما واختلاف الفترة الزمنية إلا إن القدرة لكل منهما متساوية

قدرة أ = 150 * 6 = 900 واط

قدرة = 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 العلي والعريض حيث يجب أن تكون الفترة الزمنية قصيرة جدا كي يتحقق مبدأ القوة المميزة بالسرعة التي ترمي إلى استخدام أقصى قوة بأقصى سرعة ,ومن الضروري لن يتمتع الرياضي بهذه الصفة وخاصة في الفعاليات التي تتطلب سرعة الحركة .

6-4 الطاقة: ENERGY

هناك أشكال متعددة للطاقة والذي يهمنا في هذا المجال هو الطاقة الميكانيكية .عند الرياضي لحركة معينة فانه يمتلك طاقة ميكانيكية ولكن تختلف أنواع هذه الطاقة التي يمتلكها الجسم باختلاف وضعه أثناء الحركة فعندما يكون الجسم في حالة حركة فانه يمتلك طاقة تدعى بالطاقة الحركية ويختلف مقدار هذه الطاقة تبعا لاختلاف كتلة الجسم المتحرك وسرعته أثناء الأداء ,فإذا كان عداء كتلته 100م /ثا ,من هذا يمكننا أن نعبر عن مقدار الطاقة الحركية بالمعادلة الآتية :

الطاقة الحركية = نصف الكتلة *السرعة تربيع

$$KE = 0.5m * v^2$$

وتقاس الطاقة بوحدات كتلة)كيلوغرام (ووحدات السرعة)متر /ثانية (أو)سم /ثانية (وتسمى بوحدة الجول أي وحدة قياس الشغل نفسها .

مثال : جسم وزنه 980 نيوتن يمتلك طاقة حركية مقدارها 19600جول احسب سرعة ذلك الجسم ؟

يجب أولا أن نحول الوزن إلى كتلة

$$w = m * g \qquad m = \frac{w}{g} = \frac{980}{9.8} = 100\ kg$$

نطبق معادلة الطاقة الحركية:

$$KE = 0.5m * v^2 \quad 19600 = 0.5 * 100 * v^2$$

$$\text{v=19.8 m/s} v^2 = \frac{19600}{50} = v^2 = 392 \quad v = \sqrt{392}$$

هناك نوع آخر من الطاقة الميكانيكية هو ما يسمى بالطاقة الكامنة أو طاقة الوضع

ويقصد بها الطاقة التي يمتلكها الجسم في وضع معين أثناء الثبات ,ففي حالة رمي ثقل إلى الأعلى فانه يتحرك بطاقة حركية ولكن سرعته أثناء الصعود تتناقص تدريجيا وعليه تقل طاقته الحركية تدريجيا ويتحول إلى شكل آخر يخزن في الجسم إلى أعلى نقطة عندئذ يصبح مقدار الطاقة الحركية صفرا أي تتحول بكاملها إلى طاقة مخزونة في الجسم على ذلك الارتفاع .

ويمكن ان يستدل على مقدار الطاقة الكامنة التي يمتلكها الجسم وهو في اعلى وضع من ضرب وزن الجسم في ارتفاعه أي **الطاقة الكامنة = وزن الجسم *الارتفاع**

$$KP = w * h \qquad \text{ط ك =و *ع}$$

تقاس الطاقة الكامنة كنوع من انواع الطاقة الميكانيكية بالجول ايضا .ان تحول الطاقة من شكل الى اخر يتضح في كثير من الحركات الرياضية فلو درسنا حركة لاعب الجمباز اثناء دورانه على العقلة كما في الشكل فعندما يكون اللاعب في حالة حركة فانه يملك طاقة حركية وأما أن يضل إلى أعلى نقطة في حركته)وضع الوقوف على اليدين على العقلة (فان جميع الطاقة التي يمتلكها تصبح طاقة كامنة ,من المبادئ الأساسية في الميكانيك هو أن تحول الطاقة من شكل إلى لأخر لا يقلل من قيمة الطاقة الميكانيكية الكلية وهذا ما ينص عليه القانون العام للطاقة)الطاقة لا يفنى ولا تستحدث (الطاقة الحركية +الطاقة الكامنة =مقدار ثابت

في مثال حركة دوران اللاعب على العقلة فنتيجة للاحتكاك الذي يحدث بين قبضتي اللاعب وبار العقلة فان جزاء من الطاقة يتحول الى طاقة حرارية وبذلك تصبح المعادلة السابقة كالآتي :

الطاقة الحركية +الطاقة الكامنة +الطاقة الحرارية =مقدار ثابت

تمت الاستفادة من هذا المبدأ ليس فقط في مجال تكنيك الحركة ووضع الجسم بالشكل الذي يؤهله لاكتساب مقدار كبير من الطاقة الحركية من خلال زيادة سرعة أجزاء الجسم بل تعدى ذلك الى استخدام هذه الأسس في تصنيع الأجهزة الرياضية التي أسهمت بشكل كبير في تطور المستوى الرقمي لكثير من الفعاليات ولعل تصنيع عمود القفز بالزانة)العمود الزجاجي (وهو خير مثال على ذلك فقد استعمل العمود المعدني سابقا كعتلة مجردة يستعين بها القافز أثناء القفز ,بينما يستخدم العمود الزجاجي في وقت الحاضر لهدف نفسه إضافة إلى استغلال قدرته على الانطواء حيث تتحول الطاقة الحركية للقافز والعمود أثناء الركضة التقريبية إلى طاقة كامنة أثناء المرحلة الأخيرة من النهوض ,أي عندما يبلغ العمود أقصى تقوس له نتيجة اندفاع القافز أماما أعلى)كما يؤكد ذلك تكنيك القفز بالزانة (كما في الشكل

4-7 التصادم impact

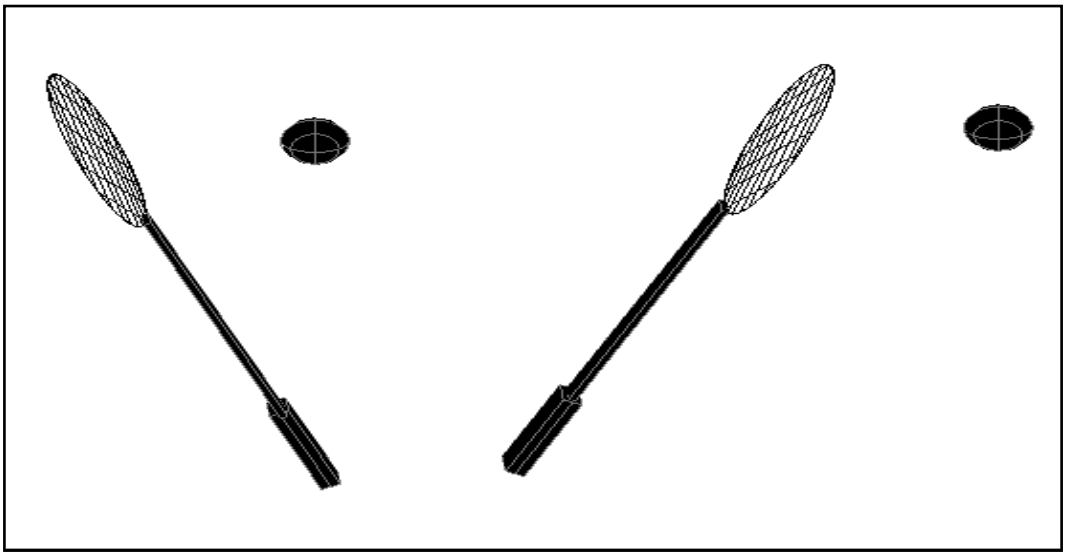
إذا تحرك جسم باتجاه معين ولامس إثناء حركته جسما أخر سواء أكان الجسم الأخر في حالة السكون أو حركة فان تأثير الحادث في كليهما تسمى الاصطدام أو التصادم ، ويحدث هذه كثيرا في الحركات الرياضية , لنأخذ على سبيل المثال التصادم الحادث بين مضرب التنس والكرة كما في الشكل (17)

فمن المعروف ان كلا من المضرب والكرة يمتلكان كمية حركة معينة هي عبارة عن كتلتهما في سرعتهما فلو فرضنا ان كتلة المضرب ك 1وسرعته قبل الاصطدام س 1وكتلة الكرة ك 2 وسرعتها قبل الاصطدام س 2فان مجموع كمية حركتهما =ك 1س + 1ك 2س , 2ولكن الذي يحدث بعد الاصطدام هو تغير في سرعة المضرب والكرة حيث تكون سرعة المضرب بعد التصادم س 3وسرعة الكرة س 4فان كمية حركتهما =ك 1س + 3ك 2س . 4مما يجب الانتباه اليه هو ان مقدار ما يفقده المضرب من سرعة اثناء اصطدامه بالكرة تكتسبه الكرة أي الزيادة الحاصلة في سرعتها وعلى هذا يمكننا القول :

كمية الحركة قبل التصادم =كمية الحركة بعد التصادم

ك 1س + 1ك 2س = 2ك 1س + 3ك 2س(40) 4

يفهم من المعادلة السابقة بان كمية الحركة تبقى مقدارا ثابتا ففقدان جزء من كمية حركة احد الجسمين يكتسبه الجسم الاخر .



شكل (17) يوضح التصادم بين المضرب والكرة

يتأثر التصادم الحاصل بين جسمين بطبيعة الأجسام المتلامسة فنجد أن نتيجة التصادم بين كرة وارض مرن تختلف عن نتيجة عندما يحدث بين سطوح أو أجسام عديمة المرونة .ففف الحالة

الأولى نجد أن سرعة الكرة قبل التصادم قد تساوي أو اكبر من سرعتها بعد ذلك ويتوقف هذا على مقدار مرونة الأجسام المصطدمة بعضها مع البعض ويعبر عن النسبة بين سرعة الجسم بعد التصادم وسرعته قبل التصادم بمعامل الارتداد فنجد إن هذا المعامل تبلغ قيمه صفرا في حدوث التصادم بين سطوح أجسام غير مرنة.

يعتمد التصادم أيضا على كتلة الأجسام المصطدمة ببعضها ,لتوضيح ندرس الحالات الثلاث الآتية :

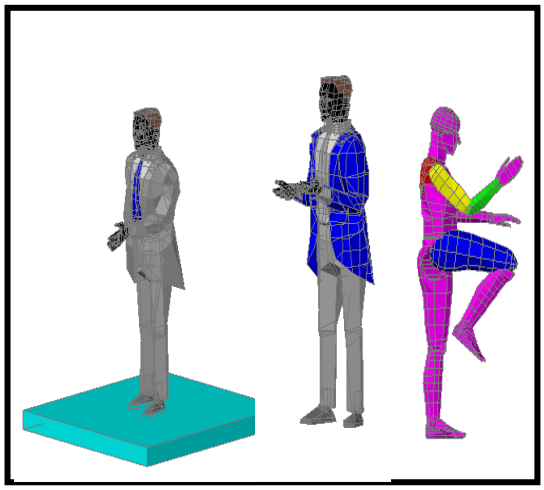
أن التصادم الحادث في الحالات الثلاث السابقة بين كرة ثانية وأخرى متحركة ,ففي الحالة (1) إذا كانت كتلة الكرة أ اصغر من ب فان اتجاه حركة الكرة أ يكون بالاتجاه المعاكس .في حالة (2)عندما تكون كتلة أ بنفس كتلة ب فبعد التصادم نجد ان الحركة تنتقل من أ إلى ب بحيث تبقى أ ساكنة .أما حالة (3)عندما تكون كتلة أ اكبر من ب فنجد أن الحركة بعد التصادم تستمر بالنسبة إلى الكرتين باتجاه حركة الكرة الكبيرة نفسه .

4-8 الضغط pressure سبق إن درسنا مواصفات القوة وكانت نقطة تأثيرها هي إحدى هذه المواصفات ,فإذا أثرت قوة في جسم وكانت نقطة تأثيرها أي المساحة التي يقع عليها التأثير الفعلي للقوة الصغيرة فان ضغط المتولد نتيجة القوة يكون كبيرا ,يفهم من هذا إن النسبة بين القوة المؤثرة والمساحة التي تؤثر فيها القوة من وجهة النظر الميكانيكية تسمى الضغط.

الضغط =القوة /المساحة

$$P = \frac{F}{A}$$

لو قارنا بين ثلاث حالات يقف فيها الشخص على الأرض رخوة حيث يقف في حالة الأولى على رجل واحدة وفي الحالة الثانية على كلتا رجليه وفي الثالثة على لوح خشب كما في الشكل (18) وكانت القوة التي يسلطها 600 نيوتن .



شكل (18) يوضح انواع مختلفة من الضغط

من الشكل السابق نستنتج أن الضغط في الحالة أ هو اكبر من الحالات الأخرى وكذلك الحالة ب اكبر من ج لان :

الضغط في حالة أ عندما تكون المساحة التي يستند عليها الشخص هي 30سم مربع

ض = 600 / 30 = 20 نيوتن/سم^2

في حالة ب اذا كانت المساحة 40سم مربع

ض = 600 / 400 = 15 نيوتن/سم^2

في الحالة الثالثة اذا كانت المساحة 100سم مربع

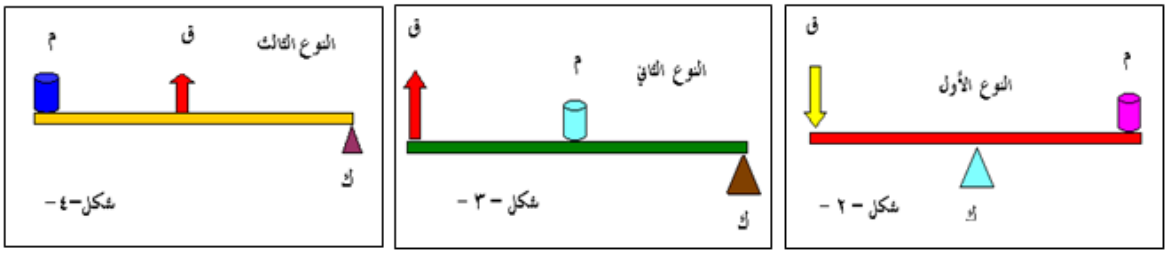
ض = 600 / 100 = 6 نيوتن/سم^2

نستنتج من هذا إن القوة تكون في اكبر حالات تأثيرها عندما ترتكز مساحة صغيرة جدا لهذا نجد ان لاعبي كرة التقدم يعمدون إلى وضع الواقيات الساق تفاديا لخطورة القوة التي قد يتعرض أليها من الخصم والتي تؤدي فيما اذا تركزت في نقطة معينة على الساق إلى الكسر، فيكون الهدف من استعمال الواقيات هو توزيع القوة على مساحة كبيرة من الساق وبالتالي تخفيف حدة الضربة.

5- الكنيتك الزاوي

5-1 العتلات Levers

أستخدم الإنسان منذ الأزل قواه الذاتية والقوى الخارجية للتغلب على المقاومات وحمل الأشياء ، فكان يبذل قدراً كبيراً من القوة للتغلب على مقاومة قليلة ، وما ان أخضعت الحركة إلى أسسها الميكانيكية ومحاولة استغلال قوى الإنسان والقوى الخارجية الاستغلال الأمثل والتغلب على مقاومات كبيرة بقوى قليلة نسبياً حتى يتمكن من تحقيق مبدأ الاقتصاد في الجهد وكذلك تحقيق الهدف من استخدام القوة فكانت العتلة (الرافعة) والتي تتكون من سلسلة عمل تحتوي على



ثلاث نقاط هي نقطة الارتكاز (ك) ، نقطة تمثيل القوة (ق) ، ونقطة تمثيل المقاومة (م) وعلى هذا الأساس هناك ثلاثة أنواع من العتلات المستخدمة في حياتنا الاعتيادية وهي :

- عتلة من النوع الأول : تقع نقطة الارتكاز بين القوة والمقاومة.
- عتلة من النوع الثاني : تقع نقطة المقاومة بين القوة ونقطة الارتكاز.
- عتلة من النوع الثالث : تقع نقطة القوة بين المقاومة ونقطة الارتكاز. شكل (19)

شكل (19) يوضح انواع العتلات الثلاثة

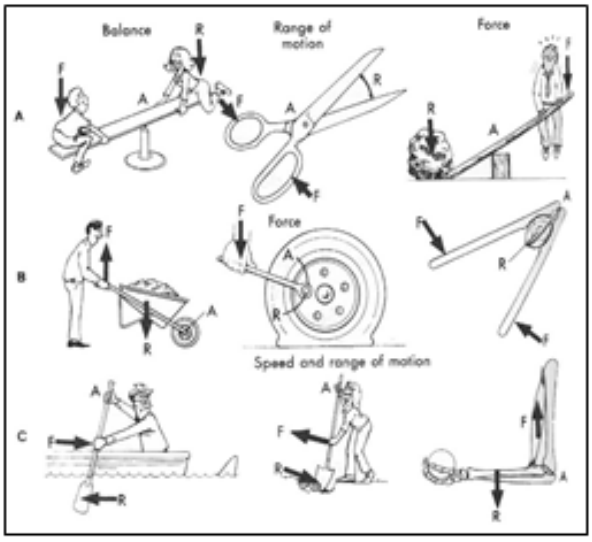
إن المسافة بين نقطة تأثير القوة ونقطة الارتكاز تسمى ذراع القوة أما المسافة بين نقطة تأثير المقاومة ونقطة الارتكاز تسمى ذراع المقاومة ولكي تبقى العتلة في حالة توازن يجب ان يتساوى ذراع القوة مع ذراع المقاومة على أساس المعادلة آلاتية:

(القوة × ذراعها = المقاومة × ذراعها)

قد تستخدم العتلات للتغلب على مقاومة كبيرة بقوة اقل او تستخدم لزيادة سرعة الحركة وبشكل علم تستخدم العتلات كآلاتي :

1. الاقتصاد بالقوة.
2. سرعة ومدى الحركة.
3. تغير الاتجاه.

فلاستخدام عتلة للتغلب على مقاومة كبيرة يجب ان تكون ذراع القوة أطول من ذراع المقاومة . وقد تستخدم العتلات لزيادة سرعة عندئذ يكون ذراع القوة اقصر من ذراع المقاومة مثال مجذاف القارب، آما إذا كان الهدف من استخدام العتلة هو تغير الاتجاه فيكون ذراع القوة مساوياً لذراع المقاومة. والشكل (20) يوضح انواع من العتلان



شكل (20) يوضح أنواع العتلات الثلاثة(النوع الأولِ A النوع الثاني B النوع الثالث C)

مثال رياضي : احسب مقدار القوة الضرورية للتغلب على مقاومة وزنها (500 نيوتن) تبعد عن محور الدوران (50 سم)علماً ان بعد نقطة تأثير القوة هو(100 سم)

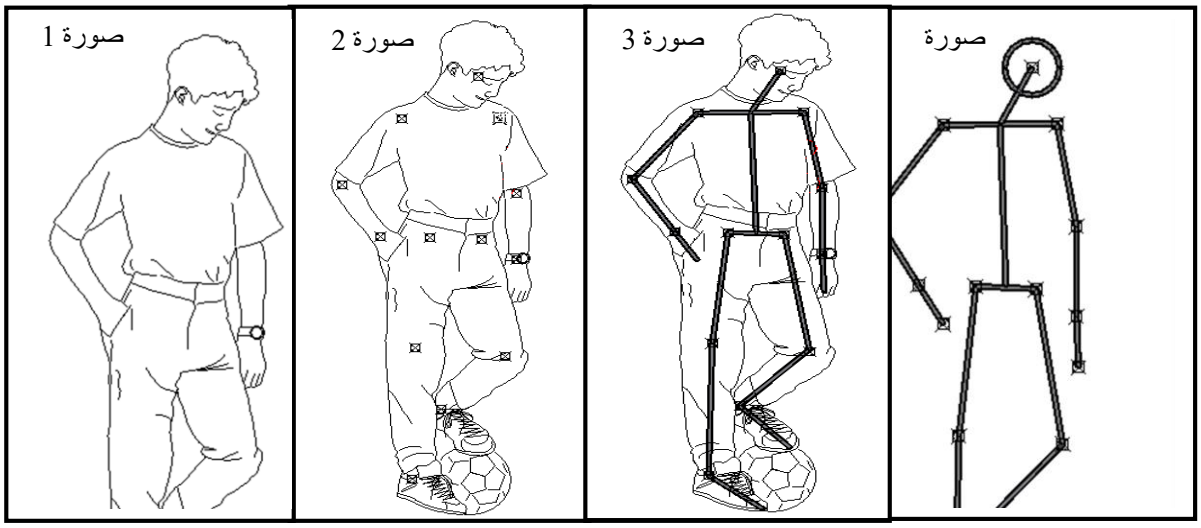
الحل : **القوة × ذراعها = المقاومة × ذراعها**

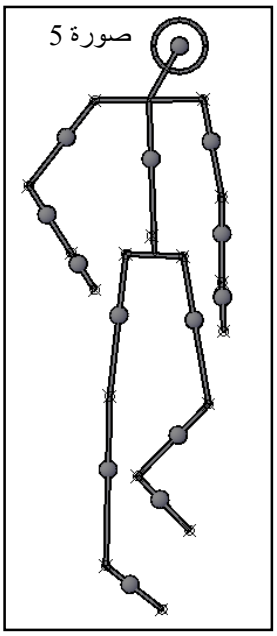
س× 100 سم = 500 نيوتن × 50 سم ⁄ س= 25000 / 100 ⁄ س= 250 نيوتن

Center of Gravity

لاستخراج مركز ثقل الجسم من الصورة (1) نقوم بما يلي :

1. نقوم بتنقيط مفاصل الجسم (الرأس وسط العينين من الامام او الصدغ من الجانب، الكتفين، المرفقين، الرسغيين، الوركين، الركبتين، الكاحلين) من اجل تحديد أجزاء الجسم ال(14) جزء وهي (الرأس، العضدين، الساعدين، الكفين، الجذع، الفخذين، الساقان، القدمين). وكما في الصورة (2) .
2. نقوم بوصل النقاط التي تم تأشيرها بخطوط للحصول على شكل الجسم العصوي , وكما في الصورتين (3 و 4) .



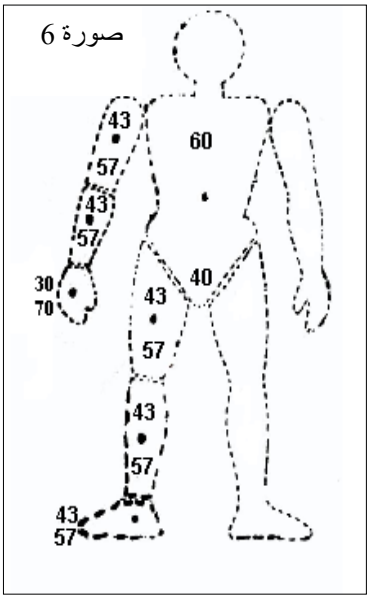

صورة 5

3. بعد ذلك نقوم بتحديد مراكز كتل كل جزء من أجزاء الجسم وكما هو موضح بالصورة (5) .عن طريق **إتباع الخطوات الآتية:**

- نقوم بقياس طول كل جزء من اجزاء الجسم ال (14) جزء باستثناء الرأس المؤشـــرة بدايتها ونهايتها عن طريق المفاصـــل على الورقة البيانية (القياس بالسنتمتر).
- **ملاحظة :** يتم قياس طول القدم من نقطة الكاحل إلى ابعد نقطة في سلاميات القدم والحال نفسه بالنسبة للكف.
- نقوم بتحديد مركز كتلة كل عضـــو ويتم من خلال الاســـتفادة من النسـب المئوية المتواجدة في الصـورة (6) ثم نقوم بتطبيق المعادلة الآتية :

بعد مركز كتلة الجزء = (% الجزء × طول الكلي للجزء في الصورة)

فلاستخراج مركز كتلة العضد مثلا الذي يبلغ قياسه على الصورة (5) سم يكون .



صورة 6

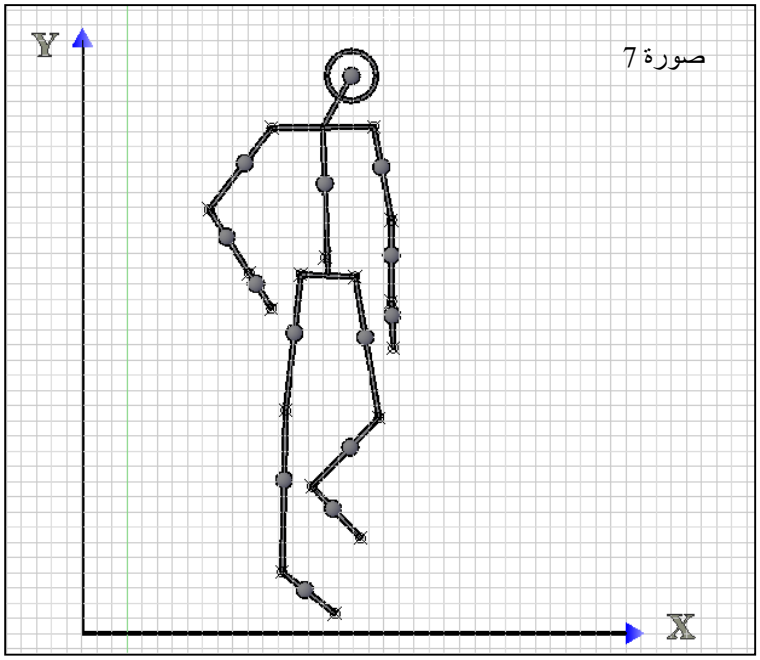
بعد مركز كتلة الجزء =0,43× 5 = 2.15 سم (يتم القياس من جهة الكتف)

أو بعد مركز كتلة الجزء =0,57×5= 2.85 ســم(يتم القياس من جهة المرفق)

ملاحظة :

عندما يكون الجســـم مواجه إلى الأمام نقوم بتحديد مركز كتلة الجذع وذلك عن طريق رســـم خط بين نقطتي الكتفين و آخر بين نقطتي الورك، ثم نوصـــل بين منتصـــف الخطين ونحدد بعدها مركز كتلة الجذع كما ذكر سابقا .

4. نقوم برسـم خطوط بيانية على الصـورة (المحور X والمحور Y)، يفضـل ان يكون موقع المحاور اقرب شـي إلى الصـورة، وتقسيمات المحاور أرقام بسيطة قدر الإمكان وما هو موضح في الصورة (7) .



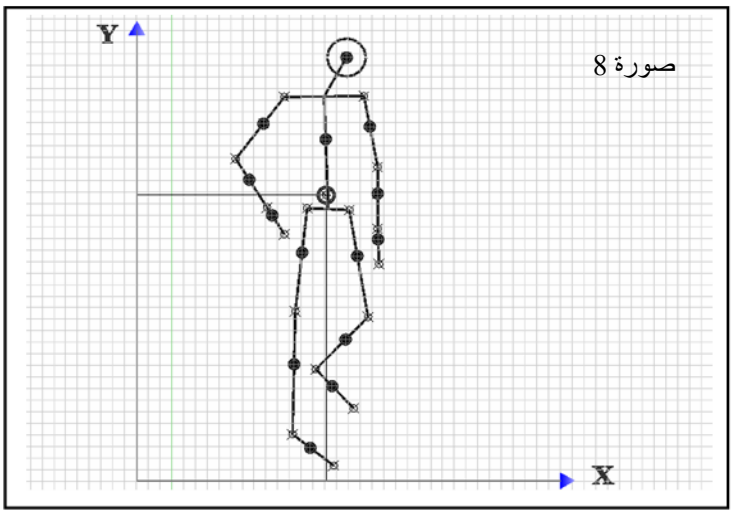
صورة 7

5. نرسم جدول كما موضح في النموذج الآتي :

أجزاء الجسم	الوزن النسبي %	X	Y	الوزن النسبي × X	الوزن النسبي ×Y
الرأس	7	2.2	100.1	10.78	490.5
العضد الأيمن	3.6				
الساعد الأيمن	2.2				
الكف الأيمن	0.7				
العضد الأيسر	3.6				
الساعد الأيسر	2.2				
الكف الأيسر	0.7				
الجذع	43				
الفخذ الأيمن	11.4				
الساق الأيمن	5.3				
القدم الأيمن	1.8				
الفخذ الأيسر	11.4				
الساق الأيسر	5.3				
القدم الأيسر	1.8				
المجموع	100				

6. نقوم بتثبيت أجزاء الجسم (14) في العمود الاول.
7. نقوم بتثبيت الأوزان النسبية من (الصورة 6) في العمود الثاني.
8. بعد تحديد مركز كتلة كل عضـو نقوم بتحديد البعد الأفقي X والعمودي Y لمركز كتلة كل عضـو وحسـب المحورين X و Y وإدراجهما في العمودين الثالث والرابع.
9. نقوم بضرب الوزن النسبي لكل جزء × البعد X وإدراج النتاج في العمود الخامس.
10. نقوم بضرب الوزن النسبي لكل جزء × البعد Y وإدراج النتاج في العمود السادس.

11. ومن ثم نقوم بجمع النتـائج العمود الخامس في اسفل.
12. ومن ثم نقوم بجمع النتـائج العمود السادس في اسفل.
13. نقوم بتقســيم نـاتج العمود الخـامس على 100 وكـذلـك تقســيم ناتج العمود الســادس على 100 ليظهر لدينا رقمين الاول يمثـل البعـد الافقي X لمركز ثقـل الجســم والرقم الثاني يمثل البعد العمودي Y لمركز ثقل الجسم



صورة 8

14. نقوم بوصل مركز ثقل الجسم بخطين إلى المحور السيني والصادي , وكما هو موضح في الصورة (8).

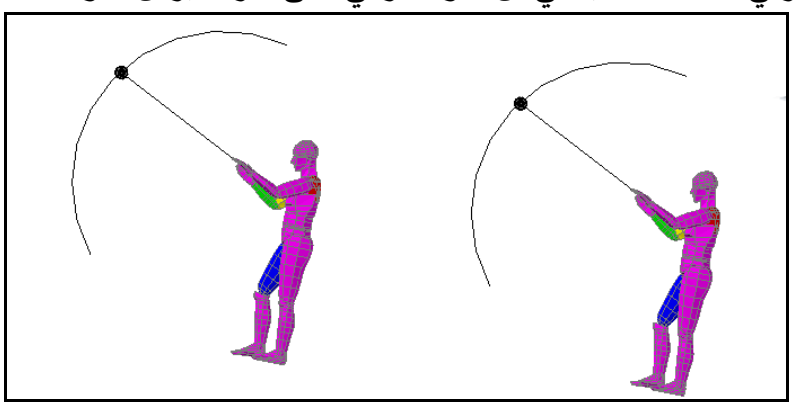
5-2 القوى الطاردة اللامركزية والقوى المركزية

centrifugal and centripetal forces

ان حدوث الحركة هو عبارة عن مزيج من تأثيرات قوى معينة في الجســم اثناء حركته فمنها ما يؤثر بشكل ايجابي , وهنا يعمل الرياضي على تعزيز هذه القوى ورسم مسار حركته بما يتفق والطبيعـة الايجـابيـة لتلك القوى المؤثرة , ومنهـا مـا يؤثر ســلبيا وهي القوى التي يحـاول الرياضي

يحد منها. فنجد أن القوى المؤثرة في حركة جســم اثناء الحركة المســتقيمة تكاد تكون متوازنة مقارنة بتأثير القوى الخارجية فيه أثناء حركة الدوران . فنتيجة لدوران الجسـم حول محور نجد أن الجسم يقع تحت تأثير القوى الطاردة الى الخارج. فلاستمراره في مساره الدائري نفسه يجب عليه أن يوازن بين القوى اللامركزية (الطاردة) والقوى التي تحاول الحد من تأثير هذه القوى التي يطلق عليها القوى المركزية اي التي تسحب الجسم الى مركز الدوران. أثناء تدوير الرامي لمطرقة يظهر تأثير هاتين القوتين على المطرقة يصـدرها الرامي هي باتجاه مركز الدوران المطرقة .فلو توقف تأثير سـحب المطرقة الى الداخل لبقيت تحت تأثير قوة الطاردة واستمرت في حركتها إلى الخارج وهذا ما يحدث أثناء لحظة الرمي الحقيقية للمطرقة .هناك علاقة بين ســرعة الجســم الدائر ومقدارا لقوة الطاردة عن المركز فكلما كانت ســرعة المطرقة كبيرة اثناء كان العبء على الرامي

اكبر لتوليد قوة مماثلة ومضـادة لقوة الطاردة ,وفي الوقت ذاته إن تأثير كتلة الجسم الدائر يؤدي دورا كبيرا في مقدار القوة الطاردة على الجسـم ,فلو أتينا بمطرقتين أحداهما كبيرة الكتلة والأخرى صغيرة ولهما سرعة الدوران نفسها نجد ان مقدار القوة الطاردة يكون اكبر في حالة المطرقة ذات الكتلة الكبيرة ,فعلى هذا الأسـاس ان القوة التي يبذلها الرامي لاسـتمرار المطرقة في دورانها لثناء مرحلة الدوران تكون كبيرة إذا كانت المطرقة كبيرة الوزن وســـرعتها عالية خاصـــة في المرحلة الأخيرة قبل الرمي لهذا السبب ينبغي أن يكون الرامي على قدر كبير ن القوة



شكل (21) يوضح رامي المطرقة اثناء الدوران

نجد في فعاليات أخرى عندما يقع الرياضي تحت تأثير القوة الطاردة أثناء دورانه حول محيط الدائرة ,وليس هناك من قوة تسحبه إلى الداخل كما في رمي المطرقة والقرص .إن راكب الدراجة الهوائية عندما يدور حول منحني فهو يحاول الحد من تأثير القوة الطاردة إما بتخفيف سرعته وهذا يؤثر في نتيجة في منافسة أو بتغيير ميكانيكية وضعه أثناء الدوران فيحاول الميلان إلى الداخل وان مقدار ميلانه للداخل يزداد كلما ازدادت سرعته الأمر الذي حدا بالمعنيين على تصميم منشات الرياضية ,فنلاحظ ان مضمار الدرجات الهوائية يكون شديدة الميلان عند المنحنيات وتتوقف درجة الميلان المنحنى على درجة نصف قطر الدائرة التي يكون المنحنى جزاءا منها ,فعندما يكون المنحنى شديد التقوس)نصف قطر الدائرة قليل (تكون درجة ميلانه اكبر مما لو كان نصف قطر الدائرة كبيرا عندئذ تكون درجة ميلان اقل .

يمكننا تطبيق القول نفسه على العداء أثناء الركض على المنحنى فهو يحأول الحد من تأثير القوة الطاردة في جسمه بتغيير ميكانيكية الركض من خلال ميلانه إلى الداخل ، وقد لوحظ بتحليل الدقيق ان حركة الذراع الخارجية هي أوسع مدى من حركة الذراع الداخلية ,فعند المقارنة بين ركض العداء على المنحنى فى الملاعب الخارجية يكون محيطها 200م نجد ان الحاجة تكون اشد الى ميلان اكبر وذلك لان شدة التقوس منحنى اللاعب الداخلية يكون اكبر من تقوس المنحنى في الملاعب الخارجية

استنادا إلى ما تقدم نجد أن مقدار القوة الطاردة للجسم يتناسب تناسبا طرديا مع كتلة الجسم وسرعته وعكسيا مع نصف قطر الدائرة التي تتم حولها الحركة كما توضحه المعادلة الآتية:

القوة الطاردة =الكتلة *(السرعة)^2 / نصف القطر

ق =ك *س^2 / نق

مثال:

احسب نصف قطر المنحنى الذي يدور حوله عداء كتلته 8كغم وسرعته 80م / ثا علما ان مقدار القوة الطاردة المؤثرة فيه 50نيوتن ؟

50= 80*8/نق

102.4 =اذا نق م نصف القطر الدائرة

ان معرفة مقدار القوة الطاردة عن المركز ليس هو الأساس في دراستنا للعلوم الرياضية بل, الذي يجب معرفته هو مقدار درجة الميلان التي يجب على العداء أو الراكب الدراجة الهوائية ان يتحقق ذلك من خلال حساب ظل الزاوية ,يحققها لاستمراره بسرعته دون ان يفقد منها شيئا التي يجب ان يميل بها وتكون معادلة ظل الزاوية كما يلي:

ظل زاوية الميلان =التعجيل الأرضي * نصف القطر / (السرعة)^2

ظل زاوية الميلان =س^2 / جـ *نق

مثال:

احسب مقدار الزاوية التي يميل بها عداء يركض بسرعة 30قدما / ثا علما ان نصف قطر الدائرة يساوي 60قدما ؟

ظل زاوية الميلان =(30)^2 / 32 * 60

= 900 / 1920

= 0.468°

درجة تقريبا لان ظل زاوية. 25 نستنتج من هذا ان زاوية التي يجب ان يميل بها الرياضي هي

25 = 0.466

قوانين الحركة

القوانين التي كتبها العلماء المسلمين في المخطوطات العربية قبل نيوتن بسبعة قرون.

القانون الأول للحركة :

وينص على أن الجسم يبقى في حالة سكون أو في حالة حركة منتظمة في خط مستقيم مالم تجبره قوى خارجية على تغيير هذه الحالة، جاء هذا المعنى في أقوال

اخوان الصفا وابن سينا وفخر الدين الرازي ونصير الدين الطوسى

يقول اخوان الصفا

"الأجسام الكليات كل واحد له موضع مخصوص ويكون واقفاً فيهلا لا يخرج إلا بقسر قاسر"

ويقول ابن سينا المتوفي سنة 1037 في كتابه الإشارات والتنبيهات .

"إنك لتعلم أن الجسم إذا خلى وطباعه ولم يعرض له من الخارج تأثير غريب لم يكن له بد من موضع معين وشكل معين فإن من طباعه مبدأ استيجاب ذلك"

ثم يقول ابن سينا :

"**إذا كان شيء ما يحرك جسما ولا ممانعة في ذلك الجسم كان قبوله الأكبر للتحريك مثل قبوله الأصغر، ولا يكون أحدهما أعصى والآخر أطوع حيث لا معاوقة أصلاً.**"

ثم يأتي بعد ابن سينا علماء مسلمون على مر العصور يشرحون قانونه ويجرون عليه التجارب العملية، وفي ذلك يقول فخر الدين الرازي المتوفي سنة 209 ام في شرحه "إنكم تقولون: طبيعة كل عنصر تقتضي الحركة بشرط الخروج عن الحيز الطبيعي والسكون بشرط الحصول على الحيز الطبيعي ."

ويقول أيضاً في كتابه "المباحث الشرقية في علم الإلهيات والطبيعيات"وقد بينا أن تجدد مراتب السرعة والبطء بحسب تجدد مراتب المعاوقات الخارصية والداخلية ."

كل هذه اشارات واضحة إلي خاصية مدافعة الجسم عن استمراره في البقاء على حاله من السكون أو الحركة ،وهذا يؤكد أن ابن سينا أول من اكتشف، هذا القانون قبل جاليلو ونيوتن بعدة قرون .

القانون الثاني للحركة :

ويتعلق بدراسة الأجسام المتحركة، وهو ينص على أن تسارع جسم ما أثناء حركته، يتناسب مع القوة التي تؤثر عليه، وفي تطبيق هذا القانون على تساقط الأجسام تحت تأثير جاذبية الأرض تكون النتيجة أنه إذا سقط جسمان من نفس الارتفاع فإنهما يصلان إلي سطح الأرض في نفس اللحظة بصرف النظر عن وزنهما ولو كان أحدهما كتلة حديد والآخر ريشة، ولكن الذي يحدث من اختلاف السرعة مرده الى اختلاف مقاومة الهواء لهما في حين أن قوة تسارعهما واحدة .

وقد تصدى لهذه القضية العديد من علماء الميكانيكا والطبيعيات المسلمين فيقول الإمام فخر الدين الرازي في كتابه "المباحث المشرقية"

"فإن الجسمين لو اختلفا في قبول الحركة لم يكن ذلك الاختلاف بسبب المتحرك، بل بسبب اختلاف حال القوة المحركة، فإن القوة في الجسم الأكبر ،أكثرمما في الأصغر الذي هو جزؤه لأن ما في الأصغر فهو موجود في الأكبرمع زيادة"، ثم يفسر اختلاف مقاومة الوسط الخارجي كالهواء للأجسام الساقطة فيقول: "و) ما القوة القسرية فإنها يختلف تحريكها للجسم العظيم والصغير لا لاختلاف المحرك بل لاختلاف حال المتحرك فإن المعاوق في الكبير أكثر منه في الصغير، وهكذا نجد أن المسلمين قد اقتربوا الى حد بعيد جداً إلي معرفة القانون الثاني .

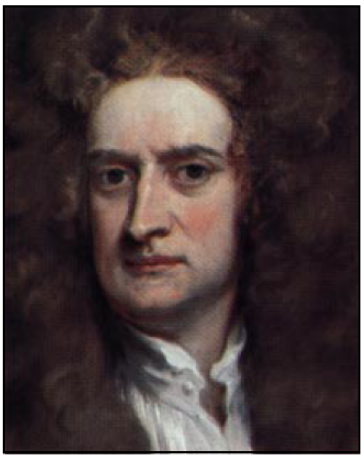
القانون الثالث للحركة :

وينص على أن لكل فعل رد فعل مساوي له في المقدار ومضاد له في الاتجاه، هذا المعنى بنصه في كتاب (المعبر في الحكمة) (12) لأبي البركات هبة الله البغدادي المتوفي سنة 165 ام إذ يقول "إن الحلقة المتجاذبة بين المصارعين لكل واحد من المتجاذبين في جذبها قوة مقاومة لقوة الآخر. وليس إذا غلب أحدهما فجذبها نحوه تكون قد خلت من قوة جذب الآخر ،بل تلك القوة موجودة مقهورة، ولولاها لما احتاج الآخر الى كل ذلك الجذب "، ويقول الإمام فخر الدين الرازي في كتابه " المباحث المشرقية" (13): " الحلقة التي يجذبها جاذبان متساويان حتى وقفت في الوسط لا شك أن كل واحد منهما فعل فيها فعلاً معوقاًبفعل الآخر ."

وبهذا نستطيع أن نقول إن المسلمين قد توصلوا إلي أصول القانونين الأول والثالث للحركة واقتربوا كثيراً من القانون الثاني. وجدير بنا أن ننسب القانون الأول لابن سينا والثالث للبغدادي لا لنيوتن .

أهمية هذه القوانين وفضلها على الحضارة المعاصرة :
هذه القوانين الثلاثة للاستقرار والحركة ورد الفعل هي القوانين الأساسية التي ترتكز عليها كل علوم الآلات المتحركة.. ابتداء من السيارة والقطار والطائرة إلي صواريخ الفضاء والعابرة للقارات.. وهي نفسها التي هبط بها الإنسان على سطح القمر.. وسيره في الفضاء الخارجي. وهي أيضاً أساس جميع العلوم الفيزيائية التي تقوم على الحركة، فالكهرباء هي حركة الالكترونات. والبصريات هي حركة الضوء والصوت هو حركة الموجات الضوئيه الخ.. وجدير بنا أن نفخر بفضل علمائنا الأولين كلما ذكر اسم نيوتن الذي وضعه بعض المؤرخين في صف الأنبياء بسبب نسبة هذه القوانين إليه .

6- قوانين نيوتن: Newton laws


Isaac Newton

نبداء دراستنا لأعمال إسحاق نيوتن (1642-1727م) بمناقشة قوانين الحركة الثلاثة والتي نشرت لأول مرة في خلاصة كلاسيكية بعنوان "**المبادئ الأساسية للفلسفة الطبيعية**"

كانت الحركة في الماضي تدرس من قبل العلماء ضمن اطر مختلفة وتفسيرات غير واضحة ولم يبت بها بشكل نهائي ووضع الأسس والقوانين الميكانيكية الأساسية لها ألا عند مجيء العالم الانجليزي اسحق نيوتن الذي تمكن من وضع ثلاثة قوانين أساسية للحركة.

6-1 قانون نيوتن الأول Law of Inertia

(قانون القصور الذاتي) (قانون الاستمرارية)

يرمي هذا القانون إلى انه من طبيعة الأجسام أذا تركت في مكان معين وهي ثابتة فسوف تستمر في ثباتها إلى مالا نهاية مالم تؤثر فيها قوة أخرى لتحريكها او العكس أذا كان

الجســـم متحركا فأنه يميل إلى الاســـتمرار في حركته أذا لم تحاول قوة أخرى إيقاف حركته أو التقليل منها او زيادتها عندئذ يمكننا صياغة هذا القانون بالشكل التالي:

((كل جسم يحاول الاستمرار في سكونه أو في حركته مالم تؤثر فيه قوة أخرى لتغيير حالته)).

ففي الحياة العامة يمكننا الإحساس بظاهرة القصور الذاتي للجسم فراكب السيارة الذي تعد سرعته هي سرعة السيارة نفسها ، فعند توقف السيارة بشكل مفاجئ نجد أن جسم الراكب يستمر في حركته إلى الأمام ولتفادي ذبك يحاول الاستناد لحد من خطورة استمراره إلى الأمام ، وبالعكس عند شروع السيارة بالحركة المفاجئة يميل الراكب إلى الرجوع للخلف استمرارا في حركة سكونه أما في حياتنا الرياضية فيمكن ملاحظة ظاهرة القصور الذاتي فعداء المائة متر لا يمكنه التوقف فجأة ألا بعد فترة زمنية وبعد مسافة معينة ويعتمد طول الفترة الزمنية وطول المسافة التي يتوقف فيها على مقدار القوة التي يســتخدمها للإيقاف ومن الناحية الأخرى يصـــعب على قافز العريض أو يقفز إلى مســافة وبتكنيك صــحيح أذا كانت حركته فجأة من الثبات إلى القفز ولكنه يتمكن من أداء الحركة بشكل أفضل أذا كانت حركته بعد عدد معين من خطوات الاقتراب.

وللاســتفادة من قانون نيوتن وتطبيقه في المجال الرياضـــي ينبغي علينا معرفة العوامل التي تسهم في التأثير في الحركة فنجد أن مقدار القوة المستخدمة لإكساب جسم سرعة معينة يختلف باختلاف وضــع الجسم قبل استخدام القوة فإذا كان الجسم المراد التأثير فيه ثابتا وأردنا إكسابه سرعة 5 م / ثا يتطلب الأمر قدرا معينا من القوة أما أذا كان الجسم نفسه في حالة حركة ولو بطيئة فلإكسابه السرعة نفسها عندئذ تكون القوة المستخدمة اقل من الحالة الأولى وهذا ما يفسر لنا أهمية الحركات التمهيدية في كثير من الفعاليات الرياضية.

من **العوامل المؤثرة في القصور الذاتي** هي كتلة الجسم فلتحريك الثقل الخاص بالرجال من وضـــع الثبات يتطلب ذلك قدرا كبيرا من القوة قياســا بالقوة المســتخدمة فيما لو أردنا تحريك الثقل الصــغير للنســاء من الثبات (سيتم تناول هذه النواحي بالتفصــيل في مواضــيع قادمة من الكتاب) اذ لابد ان نشير إلى القارئ الكريم إلى أن قوانين نيوتن والخاصة بدراسة الحركة لايمكن ن نفصـــلها بعضـــها عن بعض بشـــكل نهائي بل هناك ترابط بين القوى التي تؤثر في الحركة انطلاقا من مبدأ التأثير المتبادل بين القوى الداخلية والخارجية.

ومن العوامل المؤثرة في القصــور الذاتي للأجســام طبيعة الأرض او الســطح الذي تتم عليه الحركة ، فللتأثير في جسم كتلة معينة من وضــع الثبات ولكي نتغلب على قصــوره الذاتي يتطلب التأثير فيه بقوة معينة اذا كان الســـطح أملس او صـــقيلا في الوقت الذي تكون القوة المطلوبة للتغلب على القصور الذاتي للجسم نفسه اكبر عندما يكون السطح خشنا او غير مستوٍ.

لقاعدة ارتكاز الجسم واتجاهها اثر كبير في القصــور الذاتي للجسم فلتحريك جسم ذي كتلة معينة وله قاعدة ارتكاز كبيرة يتطلب ذلك قوة كبيرة للتغلب عليه ، بينما تكون القوة

المستخدمة اقل فيما لو كانت القاعدة التي يرتكز عليها الجسم نفسه صغيرة ، ولتطبيق هذا المبدأ في كثير من فعالياتنا الرياضية ومنها المصارعة مثلا نجد أن المصارع يحاول دائما توسيع قاعدة ارتكازه بتوسيع المسافة بين رجليه للتقليل من تأثير القوة التي يستخدمها الخصم ضده لان الخصم في هذه الحالة يحتاج إلى قوة كبيرة لإسقاطه في الوقت الذي يمكنه بقوة اقل من تحقيق ذلك فيما لو كان المسافة بين رجليه صغيرة او يستند على رجل واحدة ، كذلك يؤدي اتجاه قاعدة الارتكاز دورا كبيرا في تحديد مقدار القصور الذاتي للجسم فنجد أن توقف الحافلة المفاجئ يؤدي بالراكب ولو بصورة لاشعورية ان يقدم أحدى رجليه إلى الأمام والهدف من هذا هو الحد من السقوط إلى الأمام من خلال توسيع قاعدة ارتكازه وباتجاه الحركة نفسها ، أما أذا كانت القوة المؤثرة في الجسم من الجانب فأن تفادي السقوط والحد من تأثير هذه القوة يتم من خلال توسيع القاعدة بوضع الرجل جانبا.

6-2 قانون نيوتن الثاني (قانون التعجيل) Law of acceleration

إن كل حركة تحدث لابد أن تكون نتيجة تأثير قوة سواء أكانت قوة داخلية او خارجية وألا لما حدثت الحركة ويكون مقدار الحركة الحاصلة متناسبا مع القوة المؤثرة فكلما كانت القوى المستخدمة كبيرة كانت الحركة الحادثة اكبر والعكس صحيح ، ومن الطبيعية ان اتجاه حدوث الحركة يكون باتجاه القوة المؤثرة نفسه.

ذكرنا عند دراستنا لقانون نيوتن الأول أن الكتلة ترتبط ارتباطا وثيقا بالقصور الذاتي للجسم حيث تعد مقياسا للقصور الذاتي لذلك الجسم ، فلو أخذنا على سبيل المثال جسما 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

ان الفرق بين كمية حكة الجسم في الحالتين تكون كالأتي

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

ولكن التغيير الذي حدث في كمية الحركة الأولى إلى الحالة الثانية كان بفعل تأثير القوة فتصبح المعادلة كالأتي:

ق = ك(س2–س1)

وحيث ان التغيير الذي حدث في كمية حركة ذلك الجسم في فترة زمنية معينة أي (معدل تغيير كمية الحركة) فتصبح المعادلة السابقة كالأتي:

ق=(ك(س2–س1))/ن

وبما ان (س2–س1)/ن هو التعجيل

أذان يمكننا القول ان القانون النهائي يكون:

ق = ك × ج F = m a

وبذلك يمكن وضع صيغة قانون نيوتن الثاني كما يلي:

((ان تعجيل الجسم يتناسب طرديا مع القوة المؤثرة وتحدث الحركة باتجاه القوة او:

يتناسب التغيير في كمية الحركة تناسبا طرديا مع القوة المؤثرة وتحدث الحركة باتجاه القوة نفسه.

ان المعادلة (21) تعد المعادلة الرئيسية للميكانيك))

ويمكن ان تصاغ بشكل أخر ج = س / ن

إذن ق = (ك × س)/ ن F =(m v)/t

مثال

جسم اثرت فيه قوة مقدارها 120 نيوتن أكسبته سرعة مقدارها 6م/ ثا ولفترة زمنية 20 ثا ما هو مقدار كتلة ذلك الجسم ؟

ق = (ك × س)/ ن 120 = (ك × 6)/3

ك = 60 كغم

يمكن الاستفادة من تطبيق قانون نيوتن الثاني في المجال الرياضي في جميع الفعاليات الرياضية وبالشكل الذي يجعل المدرب واللاعب قادرين على تحديد كثير من العوامل التي تؤثر في الأداء وبالتالي على نتيجة انطلاقا من مبدأ كمية الحركة الذي هو عبارة عن كتلة الجسم × سرعته نطبق هذا المبدأ على رماة الثقل فأن كمية الحركة التي يمتلكها الرامي كبير الكتلة يتحرك بسرعة 4م / ثا يمتلك نفس كمية حركة الرامي صغير الكتلة (نصف كتلة الرامي الأولى) الذي يجب عليه أن يتحرك بسرعة 8م / ثا من هذا المنطلق نجد ان طبيعة الفعالية المعينة ومتطلباتها الميكانيكية تحدد مواصفات الشخص اللائق لها وعلى ضوء القوانين الميكانيكية التي تحكمها يمكنه تحقيق نتائج أفضل. لتطبيق هذا المبدأ على فعالية أخرى وهي الاركاض السريعة نجد ان القوة المبذولة من شخص كتلته 60 كغم لقطع مسافة 100 متر بزمن 12 ثانية هي نصف القوة التي يبذلها شخص كتلته 120 كغم لقطع نفس المسافة بنفس الزمن.

3-6 قانون نيوتن الثالث (قانون رد الفعل) Law of reaction

يتضـــح في كثير من الفعاليات التي يقوم بها الإنســـان خلال حياته اليومية وفي حركاته الرياضـــــية ما ينص عليه هذا القانون والذي يرمي إلى ان القيام بحركة معينة تتم من خلال قوة يصدرها الرياضي ومن الممكن ان نعبر عن تلك القوة بمصطلح الفعل ونتيجة لهذا الفعل يحصل الرياضـي على قوة مضـادة ومساوية لمقدار الفعل يمكن أن نطلق عليها رد الفعل وعل ذلك يمكن صياغة القانون كالأتي:

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

ان القوة التي يســـلطها الجســـم أثناء وقوفه الاعتيادي على الارض هي عبارة عن وزنه فنجد ان سطح الأرض يرد بقوة مماثلة بالمقدار وعكس اتجاه خط عمل الجاذبية الأرضـية أما أذا كان الفعل الذي يصـدره الرياضـي بزاوية معينة مع الأرض فان رد الفعل يكون باتجاه الفعل نفسـه كما في حركة البدء في الاركاض السريعة كما في الشكل.

في جميع الحركات الرياضية ينبغي ان تكون لقوى التي يصدرها الرياضي في اتجاه واحد كما يحصـل بالمقابل على قوة مضـادة من قبل الأرض ، ففي حركة القفز العالي مثلا وهي حركة أرجحة أرجل الحرة وكذلك أرجحة الذراعين بالإضـــافة إلى الدفع بالرجل الناهضـــة بما يتناســـب وطبيعة المسار الميكانيكي وبالزاوية المعينة باتجاه العارضة.

ذكرنا ان وقوف الرياضي على الأرض عبارة عن قوتين متعادلتين هما وزن الجسم باتجاه الأسفل ورد فعل الأرض باتجاه الأعلى ، وحينما يريد الرياضـي القفز إلى الأعلى عليه ان يسلط قوة اكبر من وزن الجســم ويعتمد مقدار القوة التي يبذلها الرياضـــي باتجاه الأرض الارتفاع الذي يريد بلوغه إلى الأعلى أو بالاتجاه الذي تؤدى فيه الحركة.