الفصل الثامن

علم الحركة المستقيمة للإنسان

LINEAR KINEMATICS OF HUMAN MOVEMENT

علم الحركة المستقيمة للإنسان
(LINEAR KINEMATICS OF HUMAN MOVEMENT)

بعد إكمال هذا الفصل سيتمكن القارئ من:

- ✓ مناقشة العلاقات الداخلية بين أنواع حركات الكينماتيك.
- ✓ ربط الكميات المستقيمة بشكل صحيح مع وحدات قياسها.
- ✓ وصف و تشخص تأثيرات العوامل التي تحكم مسار المقذوفات.
- ✓ توضيح سبب التحليل المنفصل للعناصر العمودية و الأفقية لحركة المقذوفات.
- ✓ تمييز المعدل و الكميات الزمنية وتحديد الظروف التي تكون عندها قادراً على اختيار و استخدام المعادلات الصحيحة لحل المشاكل التي تتعلق بعلم الحركة الخطي (kinematics).
- ✓ لماذا يقترب تعجيل العداء من الصفر في منتصف السباق؟
- ✓ كيف يؤثر حجم قدم الراقص على زمن الإنجاز.
- ✓ على أية زاوية يجب أنْ يرمى القرص أو الرمح لتحقيق المسافة القصوى؟

هذه الأسئلة جميعها تتعلق بخصائص علم الحركة الخطية (kinematics) لشكل الحركة النقي– الحركة الخطية حيث يقدم هذه الفصل دراسة مفصلة عن ميكانيكية حركة الإنسان، مع مناقشة الكميات الخطية الحركية و حركة المقذوفات.

الكميات الحركية المستقيمة LINEAR KINEMATIC QUANTITES

علم الكينماتيك هو العلم الذي يعنى بدراسة هندسة، طريقة أو شكل الحركة بالتناسب مع الزمن. يختلف هذا العلم و الذي يصف شكل الحركة عن علم الكينتك، دراسة القوى التي ترتبط بالحركة يتطلب دراسة علم الحركة الخطية والتي تهتم دراسة الشكل، الصيغة و الأسلوب و تسلسل و تتابع الحركة الخطية بمرور الزمن، دون إشارة خاصة إلى القوة أو القوى التي تسبب أو تنتج الحركة.

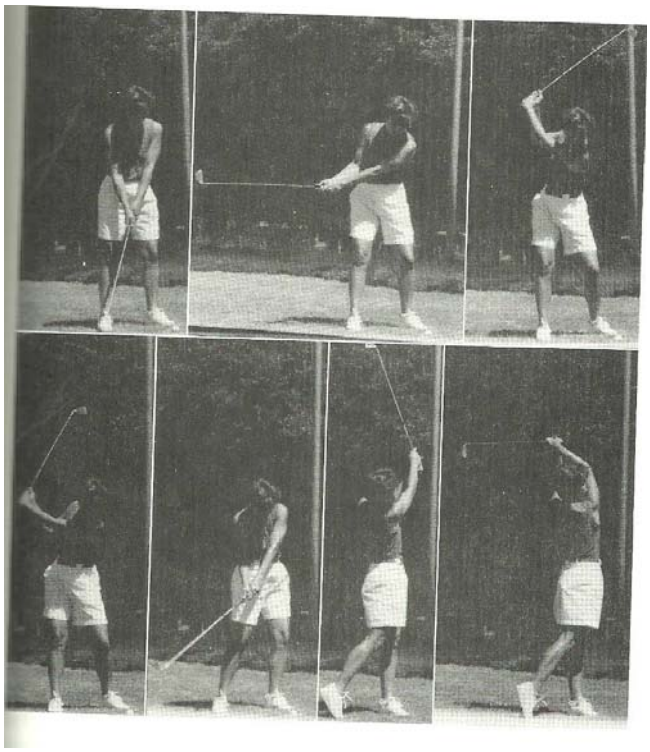
إنّ تحليلات علم الحركة الدقيق غير قابلة التقييم بالنسبة للأطباء، معلمي التربية البدنية و المدربين، عندما يتعلم الناس مهارة حركية جديدة، فإن التعديل المتطور للحركة الخطية يعكس طريقة التعلم، عندما يعيد المريض تأهيل المفصل المصاب، فإن الطبيب يبحث عن العودة التدريجية لحركة المفصل الطبيعية.

- ✓ (Kinematics):هو العلم الذي يعنى بشكل و أسلوب تسلسل الحركات بالتتابع مع الزمن.

يقيس هذا العلم علم الكينماتيك أشكال التحليل الكمية والنوعية. فعلى سبيل المثال الوصف النوعي لحركة ضرب الكرة في كرة القدم يستلزم ذلك تشخيص حركات المفصل الكبيرة بضمنها ثني الورك، مد الركبة و الثني المستقيم في الكاحل. و كذلك التحليل الحركي النوعي يكون أكثر تفصيلاً من خلال التوقيت المتتابع لحركات الجسم، والتي تنقل مرحلة وضوح وإظهار على جزء اللاعب المنفذ لمهارة ركل الكرة . وعلى الرغم من أن أغلب تحليلات حركة الإنسان تنفذ كمياً من خلال الملاحظة النظرية، فإن التحليل الكمي يصح ايضا في العلاجات البدنية، فعلى سبيل المثال فإن قياس معدل حركة المفصل المصاب تساعد في تحديد مدى الحركة التي تحتاجها التمارين عندما يقيس

المدرب انجاز الرياضي في رمي الثقل أو الوثب الطويل فإن هذا التحليل يعتبر تحليل كمي.

غالبا مايدرس علم البيوميكانيك الرياضي كمياً ملامح علم الكينماتيك الذي يعمل على تشخيص العوامل البيوميكانيكية التي ربما تحدد انجاز الرياضي الاستثنائي. يؤدي في بعض الأحيان هذا النوع من التحليل إلى تشكيل نموذج بفضل مزايا علم الميكانيك في انجاز الصوت من خلال الاستخدام العملي من قبل المدربين و الرياضيين.



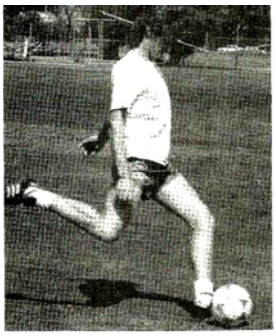
الحركة الخطية والمرجحة للاعبي الكولف

تطبق معظم دراسات علم البيوميكانيك من خلال علم حركة الإنسان الخطية (الكينماتيك) على الرياضيين غير النخبة. فقد تركزت دراسات هذا العلم المراحل مختلفة لتطور أسلوب المشي و قابلية الرمي عند الأطفال اليافعين، بالتعاون مع المتخصصين و علماء البيوميكانيك وثقت أساليب علم الميكانيك التي ترتبط بحالات عدم القدرة العامة نسبياً مثل شلل المخ، مرض داون.

وعموما يستخدم البيوميكانيك عموماً التصوير السينمائي، لتنفيذ التحليل علم الحركة الكمي الكينماتيك، و تستلزم العملية أخذ فيلم و شريط فيديو للإنجاز. و تحليل الحركة بواسطة الكمبيوتر صورة بعد صورة كما وصفت في الفصل الثاني.

المسافة و الازاحة Distance and Displacement

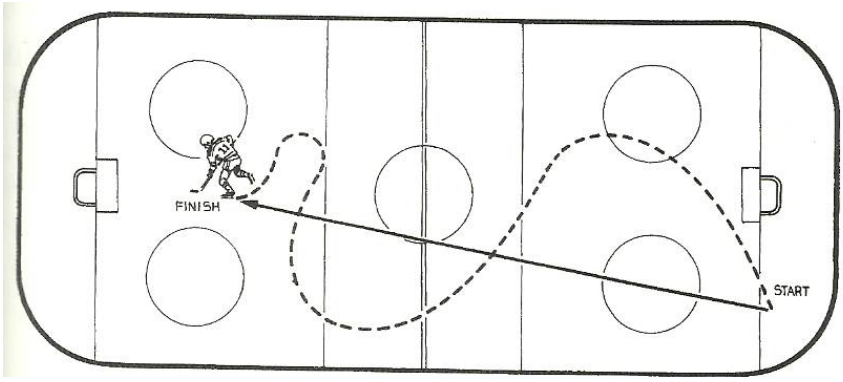
تعتبر وحدات المسافة والازاحة وحدات الطول في النظام المتري، ويكون المتر أكثر الوحدات استخداماً بالنسبة للمسافة و الإزاحة. فالكيلومتر يساوي 1000متر، و السنتمتر و هو 100/1م و الملمتر و هو 1000/1م .



وصف حركي للاعب كرة يجب أن يحتوي تشخيص حركات المفصل، إزاحات الجسم ،الانطلاقات، التعجيل، وقت الحركة و سرعة الكرة الأولية.

إما الوحدات الشائعة في النظام الإنكليزي فهي الإنج، القدم (0,30)م و الياردة (0,9م)، و الميل (1,61 كيلومتراً)، وتحلل المسافة و الإزاحة بشكل مختلف وتقاس المسافة على طول مسار الحركة. عندما يكمل العداء 1,5 دورة

حول ملعب 400م، فإن المسافة التي يقطعها العداء هي 600م (400+200م). أما الإزاحة فتقاس بخط مستقيم من الموقع الأول إلى الموقع الثاني، أو من الموقع الأولي إلى الموقع النهائي. ففي نهاية 1,5 دورة حول الملعب، فإن إزاحة العداء هي طول الخط الوهمي المستقيم الذي يقطع الساحة، بإيصال موقع العداء الأول حتى نصف طريق الموقع النهائي للعداء حول الملعب (انظر مشكلة رقم 1). فبعد إكمال دورتين حول الملعب فإن المسافة هي 800م. و ذلك لأن الموقعين الأول و الثاني هما نفس الموقعين، أما إزاحة العداء فهي صفر. عندما ينتقل المتزلج حول المزلجة الجليدية فإن المسافة التي يقطعها الزلاج يجب أنْ تقاس على طول الملاعب التي غادرها المتزلج، أمّا الإزاحة التي قطعها المتزلج فتقاس على طول خط المستقيم من الموقع الأول حتى الموقع النهائي على الجليد (شكل 1–8).



(شكل 1–8)المسافة التي يتركها المتزلج يجب أن تقاس من الأثر على الجليد، أما إزاحة المتزلج فتقاس بخط مستقيم من المكان الأول حتى المكان النهائي

اختلاف آخر و هو بأن المسافة هي كمية قياسية، أما الإزاحة فهي كمية متجهة، و بالنتيجة تتضمن ليس فقط الطول بين موقعين. كذلك فإن هنالك

أهمية مماثلة و هي الاتجاه الذي تحدث فيه الإزاحة.، فعل سبيل المثال، فإن إزاحة اليخت الذي يقطع بحراً 900م على زاوية شراع جنوباً ستكون900 جنوباً.

ومن هنا يجب أنْ يؤشر اتجاه الإزاحة في عدة طرق مقبولة و مختلفة. وتعتبر اتجاهات البوصلة، مثل الجنوب أو غرب شمال، و مصطلحات شمال و يمين، أعلى و أسفل، موجب و سالب جميع هذه المصطلحات هي مقاييس صحيحة. يعرف اتجاه الموجب على أنه الاتجاه العلوي أو إلى اليمين أما الاتجاه السالب فيخص الاتجاه السفلي أو إلى اليسار، و هذا ما يساعد في الإشارة إلى الاتجاه المستخدم بعلامات الزائد و الناقص ومن المهم جداً الثبات في استخدام النظام أو الاتفاق المتبنى لتأشير الاتجاه في سياق الكلام المأخوذ. وسيكون من الإرباك بمكان وصف إزاحة 500م شمالاً متبوعة بـ 300م إلى اليمين.

- ✓ الإزاحة Displacement :هي التغير في المكان.
- ✓ المسافة المقطوعة و الإزاحة ربما يكونان متساويان في الحركة المعطاة أو ربما تكون المسافة أكبر من الإزاحة، و لكن العكس ليس صحيحاً.

و استناداً إلى الحالة أو الوضع يمكن ان تكون المسافة أو الإزاحة أكثر أهمية من الأخرى، حيث تنصب عدة مجالات للسباق كل 5كم و10كم و ذلك كي يكون خط النهاية جدار واحد أو اثنين من خط البداية، فالمشاركون في هذه السباقات عادة ما يستفيدون من عدد الكيلومترات المسافة المقطوعة بينما بتزايد على طول السباق مجال او مضمار السباق ، أما في حالات أخرى فإن الإزاحة تكون أكثر أهمية. فعلى سبيل المثال، فإن سباقات (الترايثلون) يتطلب السباحة عبر البحيرة ، و نتيجة لكون الخط المستقيم تماماً في السباحة غير ممكن، فإن المسافة الحقيقية التي يقطعها السباح تكون دائماً أكبر نوعا ما منها في عرض البحيرة (شكل 2–8). و على أية حال، فإن مضمار السباق قد يهيئ

كي يكون الطول المحدد لمجرى السباحة هو طول الإزاحة بين نقاط الدخول و الخروج على البحيرة

- ✓ الترايثلون(Triathlon): يبدأ السباق بالسباحة، ثم قيادة الدراجة، وينتهي بالعدو وتتبع كل مرحلة سابقتها مباشرة دون توقف.

يمكن أنْ تكون المسافة المقطوعة و مقدار الإزاحة متطابقان عندما يتحرك المتزلج إلى الأسفل بمسار مستقيم خلال الغابات، فكلا المسافة و الإزاحة ستكون متساويان. و بأي حال فإن ممر الحركة لن يكون مستقيماً، أمّا المسافة المقطوعة و حجم الإزاحة فستكونان مختلفتين.

السرعة و سرعة الانطلاق (speed and velocity)

إن الكميتين الموازيتين المسافة و الإزاحة هما السرعة و سرعة الانطلاق غالباً ما يستخدم هذين المصطلحين وبشكل مترادف في الأحاديث العامة.اذ ان الكميتين الموازيتين للمسافة والإزاحة هما السرعة وسرعة الانطلاق أما في علم الحركة فلها معاني محددة و مختلفة. فالسرعة هي كمية قياسية تعرف على أنها المسافة المقطوعة مقسمة على الزمن:

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

- ✓ سرعة الانطلاق هي معدل تغير المكان أو الإزاحة التي تحدث خلال فترة من الزمن

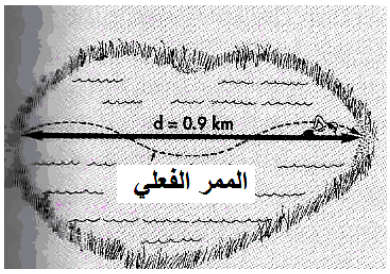
$$\text{سرعة الانطلاق} = \frac{\text{الازاحة}}{\text{الزمن}}$$

- ✓ إن النظام المتري نظام ثابت للقياس في أكبر الدول عدا الولايات المتحدة.
- ✓ الإزاحة و سرعة الانطلاق هما كميات متجهة لسرعة ومسافة الكميات القياسية.

شكل2–8 يعبر سباح يعبر بحيرة بعرض 0,9 كيلومتر في 30 دقيقة، ما سرعة انطلاقه؟ هي يمكن حساب معدل سرعته؟

المعلوم

بعد قراءة المشكلة بعناية،الخطوة التالية هي وضع مخطط لحالة المشكلة عارضاً جميع الكميات المعلومة أو المستنتجة من حالة المشكلة.



الحل

في هذه الحالة، نعمم بأن إزاحة السباح هي 0,9كم. إضافة إلى لا نعلم شي حول المسار الذي يجب أن يتبعه السباح. الخطوة التالية هي تحديد الشكل المناسب لاستخدام و بإيجاد الكمية المعلومة، و هي سرعة الانطلاق.

$$\text{سرعة الانطلاق} = \frac{\text{٠.٩كم}}{\text{٠.٥ ساعة}}$$

سرعة الانطلاق = 1,8 كيلومتر/ساعة

تحسب السرعة على أنها المسافة مقسومة على الزمن. وعلى الرغم من أننا نعرف الوقت لعبور البحيرة، فنحن لا نعلم و لا يمكننا أن نخمن أو أنْ نتوقع من المعلومات المأخوذة المسافة المقطوعة بواسطة السباح. و لذلك فإننا لا نستطيع حساب سرعة الرياضي.

طريقة أخرى للتعبير عن التغير في المكان و هي:

الموقع2 – الموقع1، في أي موقع أول يمثل موقع الجسم في نقطة واحدة من الزمن و الموقع2 يمثل موقع الجسم في النقطة التالية:

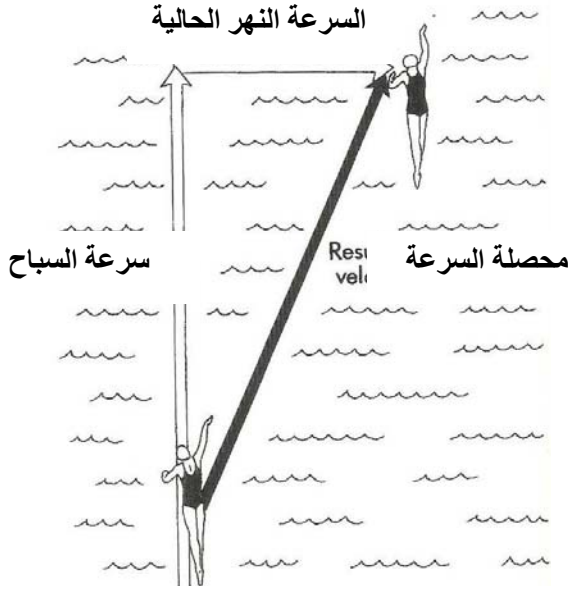
$$\text{سرعة الانطلاق} = \frac{\text{موقع ٢- موقع ١}}{\text{الزمن ٢- الزمن ١}}$$

ولأن سرعة الانطلاق تعتمد على الإزاحة؛ فهي كذلك كمية متجهة وبالنتيجة، فإن وصف سرعة الانطلاق يجب أنْ يتضمن الإشارة إلى كل من مقدار و اتجاه الحركة. فإذا كان اتجاه الحركة موجباً، فإن سرعة الانطلاق ستكون موجبة، و إذا الاتجاه سلبي، فإن سرعة الانطلاق كمية سلبية ويمكن ان تمثل التغير في سرعة انطلاق الجسم يجب أنْ تمثل سرعته اتجاه الحركة أو كلتيهما.

عندما تأثر أكثر من سرعتي انطلاق، فإن قوانين جبر المتجهة والمؤشر تحكم السرعة النهائية و اتجاه الحركة الناتجة. فعلى سبيل المثال، فإن المسار المأخوذ حقيقة بواسطة السباح العابر لنهر يحدد عن طريق متجهة لسرعة السباح في الاتجاه المطلوب و سرعة جريان النهر (شكل3–8) ستعطيك عينة المشكلة الموضحة في الشكل 4–8 توضيحاً لهذه الحالة.

إن وحدات السرعة و سرعة الانطلاق هي وحدات طول مقسومة على وحدات الزمن والوحدات الشائعة في النظام المتري للسرعة و سرعة الانطلاق هي الأمتار لكل ثانية (م/ث) و الكيلومتر لكل ساعة (كم/ساعة). وعلى أية حال فإن أي وحدة طول مقسومة على وحدة الزمن تنتج وحدة مقبولة للسرعة و سرعة الانطلاق.

- ✓ إن وحدتي السرعة و سرعة الانطلاق هما دائما وحدات طول مقسومة على الزمن.



شكل 3-8 إن سرعة انطلاق السباح في النهر هي كمية متجهة لسرعة انطلاق السباح و سرعة الجريان.

وعلى سبيل المثال، فإن سرعة 5م/ث يمكن كذلك أنْ يعبر عنها 5000ملم/ث أو 18,000م/ساعة، و هي عادة ما تكون عملي اكثر في عملية اختيار الوحدات التي تنتج في التعبير عن الكمية في الصيغة الأصغر و الأكثر تنظيما.

عند مشي الإنسان، فإن السرعة هي حاصل طول الخطوة و تردد الخطوة. البالغين عند السرعة وعادة مايميل إلى المشي بخطوات سريعة أطول و تردد خطوة أسرع أكثر مما هو في فترات و حالات قضاء الفراغ. و لغرض المشي بخطوات بطيئة فإن النساء يلبسن حذاءً ذو كعب عالٍ. غالباً ما يصعب على كبار السن زيادة طول الخطوة دون فقدان التوازن ببساطة فان طول الخطوة عند الركض هو ليس وظيفة من وظائف طول الجسم للرياضي . إنّ طول الخطوة خلال الركض لا يسهل وظيفة رفع جسم الرياضي، و لكنه يوضح تأثره بتركيب

ليف العضلة و لباس القدم و حالة التعب و تأريخ الإصابة و درجة ميل سطح الركض.إنّ العداءين الذين يركضون بخطوة بطيئة يميلون إلى زيادة سرعة الانطلاق في البدء عن طريق زيادة طول الخطوة اما في السرعات العالية فإن العداؤون يعتمدون بشكل أكبر على زيادة تردد الخطوة لزيادة سرعة الانطلاق ويتوجب تجنب استخدام طول خطوة طويلة بما يشكل مصدر الخطورة على التواء أربطة عضلات الركبة. إن أولئك الذين يمارسون تمرين الركض عادة ما يفضلون تردد الخطوة المأخوذ فوق المعدل البطيء لتكييف سرع الركض وهنالك سبب واحد ربما يرتبط باقتصاد الركض استهلاك الأوكسجين لتنفيذ مهمة محددة . غالبية العدائين يميلون لاختيار توحيد طول الخطوة و تردد الخطوة والذي يودي إلى تقليل الكلفة البدنية للركض. و مثلما ما نوقش في الفصل الأول ان العديد من أضاف الحيوانات تنفذ نفس الشيء .

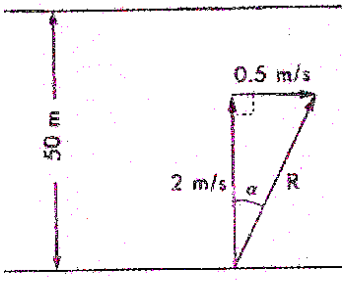
بما إنّ زيادة السرعة مهمة في فعاليات العدو، فقد ركز علماء البيوميكانيك على مزايا علم الكينماتيك و التي تصاحب الانجازات السريعة في الركض و التزلج و سباقات الدراجات و السباحة و مسابقات التجديف. وقد أوضح الباحثون بأنّ أفضل العدائين من الإناث و الذكور يتميزون عن نظرائهم الأقل مهارة عن طريق تردد الخطوة العالي جداً و أوقات الاتصال القصيرة بالأرض إضافة إلى ذلك فان أطوال خطواتهم متوسطة أو أكبر قليلاً من المتوسط وبالمقابل فإن المتزلجين الأكثر سرعة لهم أطوال دورة بمعدل أكبر من المتوسط.

أوضح البحث حول علم حركة التزلج بأن أفضل متزلجي الجليد يبدون تفوقاً نتيجة المعدلات العالية للخطوة، بينما يتميز رياضيي عربة التزحلق بالخطوات الأطول عند تحليل سباقات العدو عادة ما تعتمد المقارنات على اسلوب الخطوة أكثر من دراسة سرعة الانطلاق أو السرعة على اعتبار إنّ المشي البطيء هو نقيض السرعة و على عكس وحدات المسافة المقسومة على وحدات المسافة، فالخطوة موجودة كوحدة زمن مقسومة على وحدات المسافة

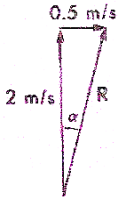
والخطوة هي الزمن المأخوذ لقطع مسافة معينة و عموماً فهي الدقائق لكل كم أو الدقائق لكل ميل.

إنّ سرعة الركض هي حاصل طول و تردد الخطوة

شكل 4-8 يمثل سباح يميل جسمه عمودياً إلى ضفتي نهر متوازيتين، فإذ كانت سرعة انطلاق السباح هي 2م/ث، و سرعة انطلاق جريان النهر هي 0,5م/ث، فما هي سرعة انطلاق السباح الناتجة؟ ما المقدار الحقيقي الذي يجب أنْ يسبحه السباح للوصول إلى الجانب الآخر في حالة كون نصف المسافة للضفة 50م؟



الحل:



المخطط يوضح اتجاه سرع انطلاق السباح و الجريان المرسوم يمكن أنْ نجد سرعة الانطلاق الناتجة تخطيطياً بواسطة قياس الطول و ميل المتجه الناتج لسرعتي الانطلاق المعلومتين.

أ هو تقريباً 0,2م/ث

أ هو تقريباً 15 ثانية

إنّ السرعة الناتجة يمكن أنْ تكون موجودة باستخدام علاقات هندسة المثلثات، يمكن أنْ تحسب سرعة الانطلاق الناتجة باستخدام نظرية فيثاغورس:

$R2 = (2\text{م/ث}) + 2 + (0.5\text{م/ث})2$

$R = \sqrt{(2\text{م/ث}) + 2 + (0.5\text{م/ث})2}$

$R = 2.06\text{م/ثا}$

اتجاه سرعة الانطلاق الناتجة تحسب باستخدام علاقة الجيب تمام

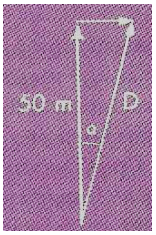
$R \text{ جتا} \theta = 2\text{م/ث}$

$(2{,}06\text{م/ث}) \text{ جتا} \theta = 2\text{م/ث}$

$\theta = \text{جتا}^{-1} \left[\frac{2\text{م/ثا}}{2.06\text{م/ثا}} \right]$

$\theta = 14$ درجة

في حالة انتقال السباح بخط مستقيم في اتجاه سرعة انطلاقه الناتجة، فيمكن أنْ نستخدم علاقة الجيب تمام الحساب إزاحته الناتجة.



$D \text{ جتا} \theta = 50\text{م}$

$D \text{ جتا } 14 = 50\text{م}$

$D = 51{,}5\text{م}$

هنالك طريقة أخرى لمعرفة التغير في سرعة الانطلاق س2− س1، و التي تمثل فيها س1 نقطة معينة في وقت معين و س2 تمثل السرعة في النقطة الاخرى.

$$\text{التعجيل} = \frac{\text{س٢} - \text{س١}}{\text{التغير في الزمن}}$$

إن وحدات التعجيل هي وحدات السرعة مقسومة على وحدات الزمن.

فإذا زاد تعجيل سيارة من سرعتها بـ (1كم/ساعة) لكل ثانية، فإن تعجيلها هو 1كم/ساعة/ث اما إذا زاد تعجيل متزلج من سرعته بـ (1م/ث) لكل ثانية، فإن التعجيل هو 1م/ث/ث.في المصطلحات الرياضية، فمن الأبسط تمثيل تعجيل المتزلج بـ (1م/ث2). إنّ الوحدة الشائعة للتعجيل هي م/ث2 في النظام المتري.

التعجيل Acceleration

نحن نعرف بأن توالي الضغط للأسفل أو ترك دواسة التعجيل لترتفع للاعلى a لتسرع لسيارة عادة ما يعمل على تغيير في سرعة وانطلاق السيارة و يعرف التعجيل على أنه معدل التغير في سرعة انطلاق أو معدل التغير في سرعة الانطلاق الحاصلة في فترة زمنية معينة.

$$\text{ا} = \frac{\text{التغير في سرعة الانطلاق}}{\text{التغير في الزمن}}$$

$$\text{التعجيل} = \frac{\text{التغير في السرعة}}{\text{التغير في الزمن}}$$

✓ Acceleration : هو معدل التغير في السرعة

إنّ التعجيل هو معدل التغير في السرعة أو الدرجة التي تتغير عندها السرعة بالتناسب مع الزمن. فعلى سبيل المثال فإن تعجيل جسم في الاتجاه المعاكس في معدل ثابت 2م/ث2 يعني زيادة سرعته بـ(2م/ث). فإذا كانت سرعة الجسم الابتدائية تساوي صفر تصبح سرعته 2م/ثا وبعد ثانية أخرى ستكون سرعته 4م/ثا وبعد ذلك بثانية ستكون سرعته 6 م/ثا.

عند الاستخدام العام يعني مصطلح التعجيل الزيادة او النقصان في السرعة. فإذا كانت س2 أكبر من س1، إذا علمت بأن س تعني السرعة، سيكون التعجيل رقماً موجباً، و الجسم عند الحركة سترتفع سرعته مع الزمن، و على أية حال

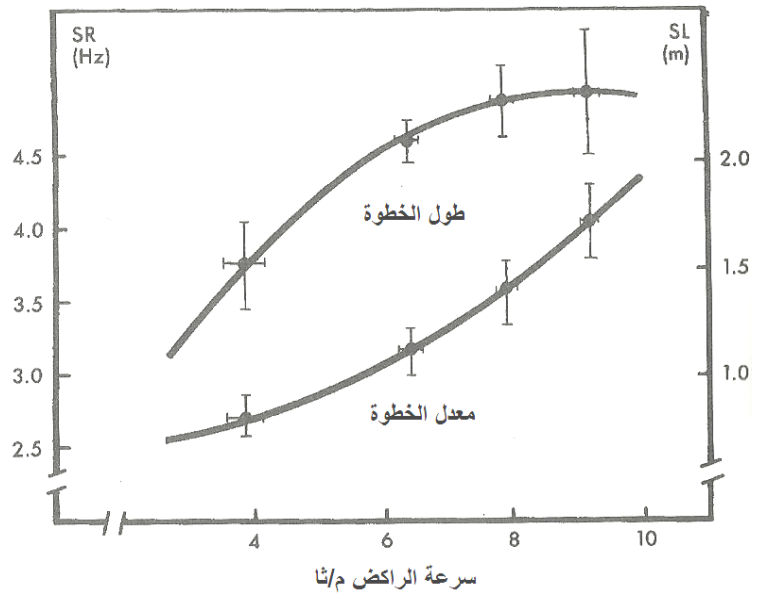
ولأن في بعض الأحيان من المناسب أنْ نميز اتجاه الحركة على أنه موجب أو سالب، فإن القيمة الموجبة للتعجيل ربما لا تعني الارتفاع في سرعة الجسم.

في حالة وصف اتجاه الحركة في مصطلحات غير من الموجب و السالب، فالقيمة الموجبة للتعجيل لا تشير على أنها ارتفاع في السرعة. فعلى سبيل المثال ، إذا كانت سرعة العداء 3م/ث و 5م/ث فيم بعد ثانية، فإن حساب التعجيل الحاصل سينتج رقماً موجباً لأن 1س = 3م/ث، 2س=5م/ث، ز=1ث.

$$\text{التعجيل} = \frac{\text{٢ س} - \text{١س}}{\text{الزمن}}$$

$$\text{التعجيل} = \frac{\text{٥م/ثا} - \text{٣م/ثا}}{\text{١ ثا}}$$

$$= 2\text{م/ثا}2$$



شكل 5-8 إن التغيرات في طول و معدل الخطوة في سرعة الركض من العوامل المؤثرة على سرعة الركض.

وعندما يوصف اتجاه الحركة بمصطلحات أخرى غير الموجب و السالب، وعندما تكون السرعة الثانية 2س أكبر من السرعة الأولى 1س فإن التعجيل سيكون رقماً موجباً، و اتجاه المسألة سيكون الزيادة في السرعة.

كذلك يمكن افتراض التعجيل على أنه قيمة سالبة. و طالما يوصف اتجاه الحركة في مصطلحات غير الموجب و السالب، فإن التعجيل السالب يشير الى بطيء الحركة أو أن سرعته تنخفض. فعلى سبيل المثال عندما ينزلق لاعب البيسبول ليقف فوق الصفيحة الدائرية، فإن تعجيله سيكون سلبيا. إذا كانت سرعة لاعب البيسبول 4م/ث عندما ينزلق بزمن 0,5 ثانية التي توقف الحركة 1س = 4م/ث 2س = صفر و الزمن = 0,5ث، فإن التعجيل سيحسب كالآتي:

$$\text{التعجيل} = \frac{\text{٢ س} - \text{١ س}}{\text{الزمن}}$$

$$\text{ت} = \frac{\text{٠} - \text{٤م/ثا}}{\text{٠.٥ ثا}}$$

ت=−8م/ث2

إن الانزلاق باتجاه القاعدة يتطلب تعجيلاً سلبياً للاعب البيسبول

عندما تكون 1س أكبر من 2س في مثل هذه الحالات، فإن التعجيل سيكون سالباً. تعطي المسألة في (شكل 6−8) مثال آخر للحالة التي تستلزم التعجيل السلبي.

إنّ فهم التعجيل يصبح أكثر تعقيدا عندما يكون احد الاتجاهين موجبا والاتجاه المضاد سالبا . و في هذه الحالة فالقيمة الموجبة للتعجيل يمكن أن تشير إما إلى أن المادة في حالة ازدياد في السرعة في الاتجاه الموجب أو بأن

أنها تنخفض بالاتجاه السالب (شكل6-8). حالة كرة ساقطة من اليد بينما تسقط الكرة بشكل أسرع و أسرع بسبب تأثير الجاذبية، فهي تكتسب سرعة، فعلى سبيل المثال 0,3م/ث إلى 0,8م/ث، و لأن الاتجاه السفلي يعتبر هو الاتجاه السلبي، فإن سرعة الكرة حقيقة -0,3م/ث إلى -0,5/ث إلى 0,8م/ث، إذا كانت س1 = 0,3م/ث ، س2 = 0,5م/ث، و الزمن = 0,02ث ، فيحسب التعجيل كالآتي:

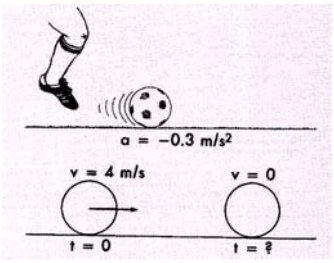
$$\text{التعجيل} = \frac{\text{س٢ - س١}}{\text{الزمن}}$$

$$\text{ت} = \frac{-٠.٥\ \text{م/ثا} - (-٠.٣\ \text{م/ثا})}{٠.٢\ \text{ثا}} = -١٠\ \text{م/ثا٢}$$

شكل 6-8 لاعب كرة قدم يدحرج كره في ساحة، في الزمن صفر السرعة الآنية للكرة هي 4م/ث، إذا كان تعجيل الكرة ثابتاً على -0,3م/ث2، فما هو الطول الذي ستأخذه الكرة للتوقف؟

المعلوم

بعد قراءة المسألة بعناية، فإن الخطوة التالية هي أنْ نقوم تخطيط حالة المسألة، موضحين كافة الكميات المعلومة.



الحل

الخطوة التالية هي تشخيص الصيغة المناسبة لإيجاد الكمية الغير معلومة.

$$\text{التعجيل} = \frac{\text{س٢ - س١}}{\text{الزمن}}$$

الكميات المعلومة يمكن أن تملأ لحل الزمن غير المعلوم:

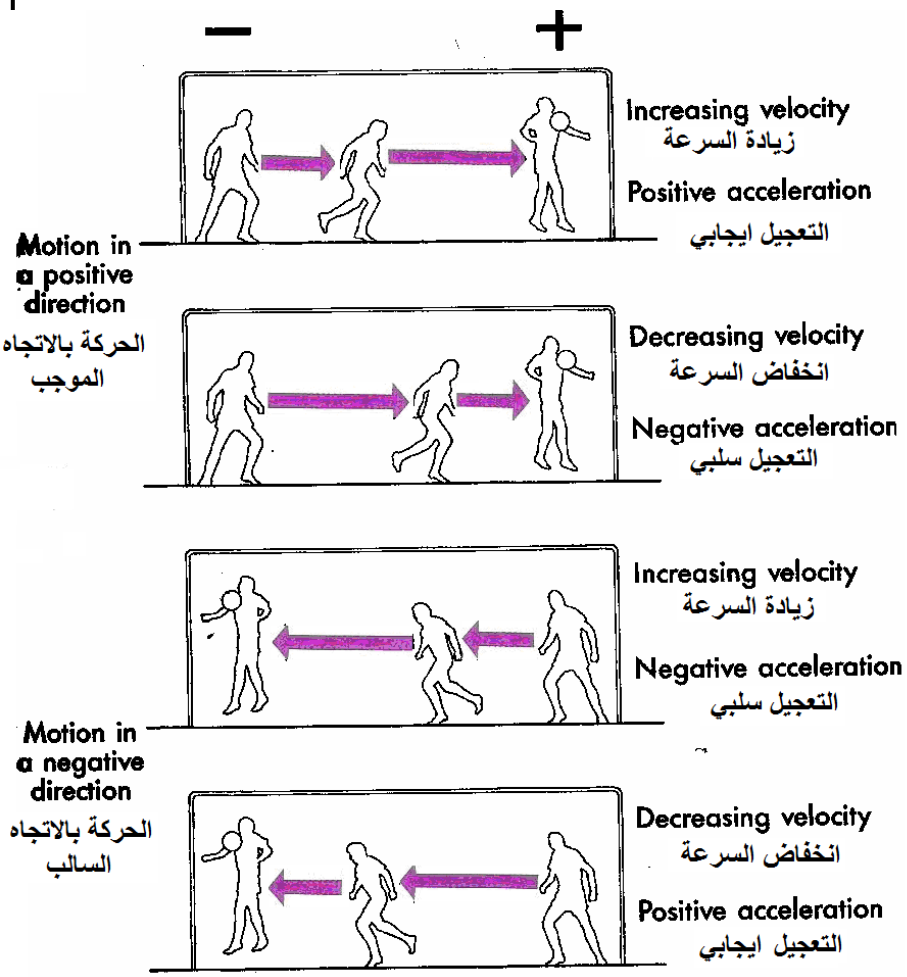
$$-٠.٣\ \text{م/ثا٢} = \frac{٠ - ٤\ \text{م/ثا}}{\text{الزمن}}$$

لإعادة الترتيب بالتساوي نستخدم الآتي:

$$\text{الزمن} = \frac{\text{٠ ـ ٤ م/ثا}}{\text{ـ ٠.٣ م/ثا}}$$

تبسيط المعادلة على الجانب الأيمن بالتساوي لدينا الناتج و هو

الزمن = 13,3ث



(شكل7–8) الأيمن يشير إلى الاتجاه الموجب و اليسار يشير إلى الاتجاه الموجب التعجيل يجب أن يكون إيجابياً، سلبياً، أو يسار الصفر بالاعتماد على اتجاه الحركة و اتجاه التغير في السرعة.

وفي مثل هذه الحالة، تزداد سرعة الكرة حتى يكون تعجيلها سلبياً لأن سرعتها تزداد بالاتجاه السالب. في حالة كون التعجيل سلبياً فأن السرعة اما ان تزداد في الاتجاه السالب أو تنخفض في الاتجاه الموجب و بالتبادل أذا أصبح التعجيل موجباً، فإن السرعة أما أن تزداد في الاتجاه الموجب أو ان تنخفض في الاتجاه السالب.

البديل الثالث هو أنْ يكون التعجيل يساوي صفراً. ويكون التعجيل صفراً عندما تكون السرعة ثابتة ذلك عندما تكون س1 و س2 متساويتان، في منتصف عدو 100م، تعجيل العداء يجب أنْ يكون التعجيل قريباً إلى الصفر و ذلك لأنه في تلك النقطة يجب على العداء الركض بسرعة ثابتة قريبة للسرعة للقصوى.

إن التعجيل و مصطلح (deceleration) (مصطلح نقيض مصطلح acceleration) و له ارتباط بإصابة جسم الإنسان بما ان تغيير السرعة تنتج من استعمال القوة.

حيث ان إن الرباط الصليبي الأمامي الذي يعمل على الحد من الانزلاق الأمامي للفخذ فوق البروزين الضنبوبيين عن ثني الركبة، غالباً ما يصاب عند الرياضيين الذين يحاولون التوقف عن الركض بشكل سريع أو عند تغيير الاتجاه السريع.

فمن المهم أنْ نعرف أن التعجيل كمية متجهة فان تغيير الاتجاهات، حتى عند المحافظة على سرعة ثابتة، تمثل التغير في التعجيل. فكرة التعجيل الزاوي مع تغير ثابت بالاتجاه ستناقش في فصل اخر. إن القوى المرتبطة يتغير التعجيل التي يعتمد على التغير في الاتجاه يجب أنْ تكون متساوية للمتزلجين و متسابقي الدراجات بشكل خاص.

- ✓ عندما يكون التعجيل صفراً، فإن السرعة تكون ثابتة

المعدل و الكميات الآنية Average and Instantaneous Quantities

من المهم أن نعمل على تحديد السرعة أو التعجيل لمادة معينة أو لجسم في وقت معين فعلى سبيل المثال السرعة الآنية للثقل أو القرص في اللحظة الآنية التي يطلق فيها الرياضي والتي تؤثر بشكل كبير في المسافة التي تصلها الأداة في بعض الأحيان فإنه يكفي أنْ نعطي كمية لمعدل لسرعة أو السرعة الإنجاز الكلي.

عندما تحسب السرعة أو سرعة الانطلاق، فإن إجراءات الحساب تعتمد على أنه المعدل أو القيمة الزمنية (الآنية) هي كمية مقدار التأثر يحسب معدل سرعة الانطلاق على أنها الإزاحة النهائية مقسومة على فترة الزمن الكلية، اما معدل التعجيل فيحسب على أنه الاختلاف في السرعة الأولية و السرعة النهائية مقسوماً على فترة الزمن الكلي. يمكن أنْ يقرب حساب القيم الآنية أو الزمنية بتقسيم الفارق في السرعة على فترة الزمن القليلة جداً.

يمكن حساب سرعة الانطلاق على أنها اشتقاق من الإزاحة، و التعجيل على أنه اشتقاق سرع الانطلاق.

يعتبر اختيار فترة الزمن التي تكون عندها السرعة و سرعة الانطلاق كمية ذات مقدار مهم جدا عند تحليل الإنجاز الرياضي في سباقات العدو، فالعديد من الرياضيين يحافظون على الرقم العالمي في النصف الأول من المسابقة أو ثلاثة أرباع المسابقة. لكنه يبطئون في نهاية السباق بسبب التعب. وفي دراسة شملت العداءات الإناث في المدرسة العليا سباق 100م ركض، وجد بأنّ سرع الركض القصوى لـ 8,0 إلى 8,4م/3 وصلت إلى 23 إلى 37 من البداية و بأن معدل 7,3٪ من السرعة القصوى فقدت عندما وصل العداؤون 10م الأخيرة بالتعاقب فإن بعض الرياضيين يؤدون بخطوة ثابتة خلال بعض أقسام السباق و من ثم الوصول إلى السرعة القصوى في نهاية السباق. وباق الاطول يشكل مزيد من

المعلومات المفقودة والمحجوبة عندما يسجل الزمن النهائي او معدل السرعة فقط .

السرعة الآنية للقذف في لحظة الانطلاق تحدد بشكل رئيسي الإزاحة العمودية النهائية للقذف

- ✓ المقذوفات projectile:الجسم في حالة السقوط الحر خاضع فقط لقوى الجاذبية و مقاومة الهواء.
- ✓ عندما يكون التعجيل صفراً، فإن السرعة تكون ثابتة.

علم الكينماتيك و حركات الرمي kinematics of projectile motion

إن الأجسام التي ترمى في الهواء تعتبر من المقذوفات ، ككرة السلة و القرص و قافز العالي جميعها تعتبر أجساماً مرمية في الهواء طالما أنها تتحرك في الجو دون مساعدة .

واستنادا على المقادير المختلفة المؤثرة فان إن الإزاحة الافقية الناتجة للجسم المرمي تحدد الفائز في سباقات الساحة كدفع الجلة و رمي القرص أو رمي الرمح، اما بالنسبة الى واثبي العالي و قافزي الزانة، فإن الإزاحة العمودية القصوى هي فيصل الفوز بمثل هذه المسافات. أما قافزي الفضاء فيجمعون لكلتا الإزاحتين العمودية و الأفقية للهبوط قدر الإمكان قريباً من الهدف على الأرض.

و على أية حال، فليست كل المواد التي تطير في الهواء هي أجسام مرمية. فالمرمي هو جسم في سقوط حر خاضع لقوى الجاذبية و مقاومة الهواء فقط . و لذلك فالمواد كطائرة الهواء و الصواريخ لايمكن اعتبارها أجسام مرمية و ذلك لأنها تتأثر بالقوى المتولدة من محركاتها.

جسم الإنسان يصبح مرمياً خلال مرحلة القفز

المركبات العمودية و الأفقية Horizontal and Vertical Components

تماماً مثلما هو ملائم لتحليل الحركة العامة في مصطلحات مركباتها المستقيمة و الزاوية، فمن المنطقي تحليل المركبات الأفقية و العمودية لحركة الجسم المرمي بشكل منفصل .

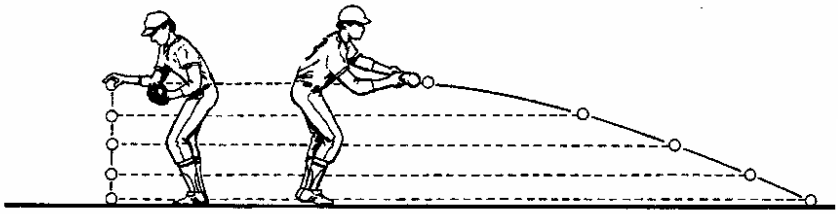
و هذا صحيح لسببين:

الأول :إنّ المركبة العمودية تتأثر بالجاذبية بينما لا قوة (بإهمال قوة الهواء) تؤثر على المركبة الافقية .

ثانياً :إنّ حركة المركبة الافقية ترتبط بمسافة الجسم المرمي، و المركبة العمودية ترتبط باقصى ارتفاع منجز عن طريق الجسم المقذوف . تكون سرعة الجسم المرمي في الهواء متغيرة بشكل ثابت نتيجة للقوى المؤثرة عليه، فعندما

نتفحص و بشكل منعزل فإننا سنجد المركبتين الأفقية و العمودية لسرعة الجسم المرمي تتغيران بالتأكيد.

إنّ مركبتي حركة الجسم المرمي العمودية و الأفقية تعتمدان إحداهما على الأخرى. فعلى سبيل المثال الموضح في الشكل 8-8 فكرة السلة الساقطة من ارتفاع 1م في نفس اللحظة التي تطلق فيها كرة ثانية عمودياً بواسطة مضرب على ارتفاع1م. فكلا الكرتين تهبطان في ساحة بنفس الوقت نتيجة للمركبتين العموديتين لحركتيهما متشابهتان و متطابقتان. و على أية حال، فنتيجة لأن خط القذف له مركبة عمودية للحركة، فإنه كذلك يقطع بعض الإزاحة الافقية .



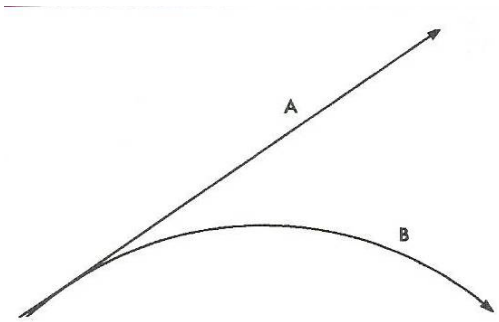
(شكل 8-8) المركبتان الأفقية و العمودية لحركة المقذوف مستقلتان، فالكرة التي تضرب عمودياً لها نفس المركبة مثل الكرة الساقطة بدون سرعة عمودية

تأثير الجاذبيةInfluence of Gravity

إن العامل الأكبر الذي يؤثر على المركبة العمودية و لا يؤثر على المركبة الافقية لحركة الجسم المقذوف هو قوة الجاذبية والتي تزيد تعجيل الأجسام بالاتجاه العمودي باتجاه سطح الأرض (شكل9-8)،خلاف ذلك فان عوامل تتفاوت مع سرعة الريح فان قوة الجاذبية تكون من العوامل الثابتة، و قوة غير متغيرة تعمل على توليد تعجيل أفقي ثابت الى الاسفل .

باستخدام مبدأ أو فكرة الاتجاه للأعلى هو موجب و الاتجاه للأسفل هو سالب، فإن تعجيل الجاذبية يعامل على اعتباره كمية سالبة (9,81م/ث2). يبقى هذه

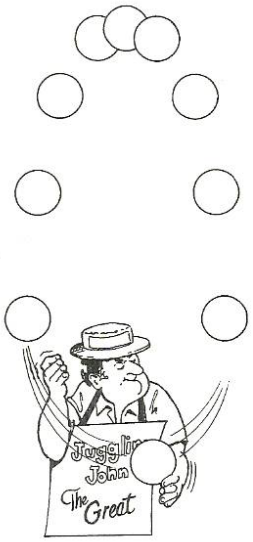
التعجيل ثابتاً بصرف النظر عن الحجم، الشكل أو وزن المقذوف. إنّ المركبة العمودية لسرعة المقذوف الأولية تحدد الإزاحة العمودية القصوى المتحققة بواسطة الجسم المقذوف من ارتفاع القذف النسبي المحدد.



شكل 9-8 تأثير قوة الجاذبية للمقذوفات أ- بدون ب- مع تأثير الجاذبية.

يوضح (شكل 9-8) تأثير الجاذبية على طيران المقذوف في حالة الكرة المقذوفة للأعلى نحو الفضاء بواسطة قاذف الكرة، حيث تترك الكرة يد القاذف بسرعة عمودية ثابتة وبينما تنتقل الكرة و تتحرك أعلى فأعلى، فإن مقدار سرعتها سينخفض ذلك لأنها تجتاز التعجيل السلبي (تعجيل الجاذبية بالاتجاه السفلي).

- ✓ في قمة أو ذروة الطيران و التي هي حالة سكون وثبات بين الارتفاع أو الهبوط، تكون السرعة صفراً.



شكل10–8 طريقة التغير في السرعة العمودية للمقذوف تكون متشابهة عند قمة القذف.

تنتج قوة الجاذبية تعجيلاً ثابتاً على الأجسام القريبة لسطح الأرض تساوي ما يعادل 9,81م/ث2.

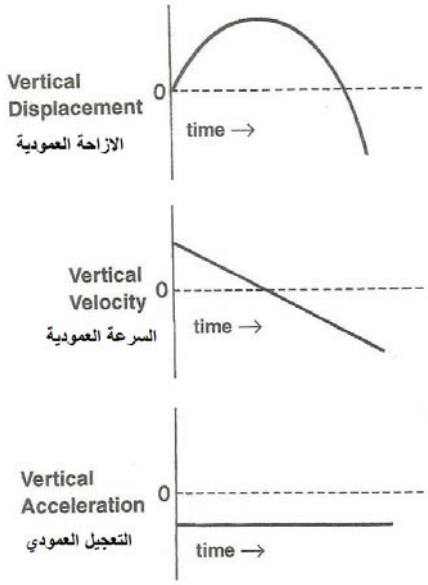
و بينما تسقط الكرة إلى الأسفل، تزداد سرعتها باضطراد مرة أخرى بسبب تعجيل الجاذبية و بما أنّ اتجاه الحركة للأسفل، فإن سرعة الكرة تصبح سالبة بشكل متزايد. في حالة مسك الكرة بنفس الارتفاع الذي قذفت منه، فإن سرعة الكرة ستكون تماماً مثل سرعتها الأولية، بالرغم من اتجاهها المعاكس. مخططات و رسوم الإزاحة العمودية، السرعة، و تعجيل الكرة المقذوفة موضح في (شكل11–8).

تأثير مقاومة الهواءInfluence of Air Resistance

إذا رمي الشيء في الفراغ (بدون مقاومة الهواء)، فإن المركبة الافقية لسرعته ستبقى تماماً نفسها خلال الطيران. و على أية حال ففي غالبية الحالات اليومية، فإن مقاومة الهواء تؤثر على المركبة الافقية لسرعة المقذوف، فالكرة المرمية بسرعة أولية معينة في منطقة خارجية ستتحرك بشكل أبعد إذا رميت بالاتجاه الخلفي ألذنبي أكثر من الاتجاه الأمامي الرأسي و ذلك لأن تأثيرات مقاومة الهواء مختلفة و متنوعة. و على أية حال، و لأغراض التبسيط، فإن المركبة الافقية لسرعة المقذوف ستسجل على أنها كمية غير متغيرة (ثابتة) الكمية في هذا الفصل.

عندما يسقط المقذوف عموديا في الهواء في حالات الحياة اليومية، فإن سرعته في أي نقطة تكون مرتبطة كذلك بمقاومة الهواء. فعلى سبيل المثال، رياضيي الفضاء، تكون سرعتهم اقل بكثير بعد فتح المظلة منها قبل فتحها.

- ✓ بإهمال مقاومة الهواء، فإن السرعة الافقية للمقذوف تبقى ثابتة خلال القذف



شكل 11–8 الإزاحة والسرعة العمودية، و التعجيل، صورة الكرة مقذوفه في الهواء تسقط إلى الأرض

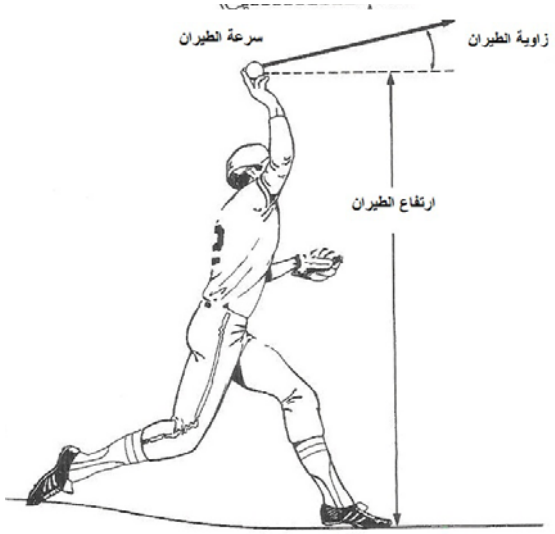
تكون زاوية الرمي مهمة في رياضة كرة السلة بشكل خاص والخطأ الشائع بين اللاعبين الصغار هو رمي الكرة بشكل مستوي

- ✓ إنّ العوامل الميكانيكية الثلاثة التي تحدد المقذوف زاوية الرمي، سرعة الرمي، و الارتفاع النسبي للرمي.
- ✓ trajectory مسار الرمي و هو مجال طيران الرمي.
- ✓ زاوية الطيران angle of projection: و هي الاتجاه الذي يرمى فيه الجسم بالتناسب مع الافق.

العوامل المؤثرة على مجال أو مسار الرمي

FACTORS INFLUNCING PROJECTILE TRAJECTORY

هنالك ثلاثة عوامل مؤثرة على (مجال الرمي) رمي المقذوف وهي زاوية الرمي و سرعة الرمي، الارتفاع التقريبي للرمي (شكل 12-8). إن فهم كيفية تأثير هذه العوامل مهم في سباق الرياضة، و ذلك لتحديد كيفية الوصول الى أفضل أسلوب لرمي الكرات والادوات الاخرى ومعرفة كيفية توقع افضل اسلوب في مسك و ضرب الكرات المرمية و التعامل بشكل صحيح معها.



(شكل 12-8) العوامل المؤثرة على مجال رمي المقذوف تتضمن زاوية الرمي، سرعة الرمي، الارتفاع التقريبي للرمي.

زاوية الرمي(الانطلاق) Projection Angle

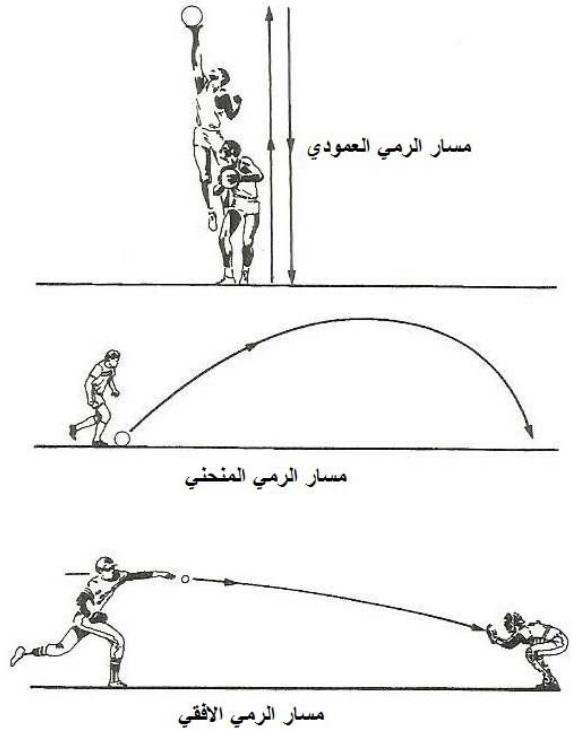
إنّ زاوية الانطلاق و تأثيرات مقاومة الهواء من العوامل المهمة التي تتحكم بشكل مسار المقذوف. و إنّ التغيرات في سرعة الرمي تأثر على مقدار مسافة الطيران او الرمي ، و لكن شكل الرمي يعتمد على زاوية الرمي. في حالة غياب مقاومة الهواء، يتخذ مجال رمي المقذوف واحداً من ثلاثة اتجاهات، بالاعتماد على زاوية الرمي. ففي حالة كون زاوية الرمي عمودية تماماً، فإن مجال الرمي سيكون عموديا بشكل كامل كذلك. وسيتبع المقذوف نفس المجال مستقيماً إلى الأعلى، و من ثم مستقيماً إلى الأسفل. أما حادة كون الزاوية مائلة (زاوية بين صفر و 90 درجة)، فإن المجال الرمي سيكون بشكل مقطعيا (parabolic) والذي يعني شكل القطع المكافئ.

سيكون القطع المكافئ متساوياً و ذلك لكي يكون نصفيه الأيمن والأيسر صورتي مرآة لكل واحد منها. إنّ الجسم المرمي أو المقذوف تماما افقي (في زاوية صفر). سيتبع مساراً مشابهاً لنصف من القطع المكافئ (شكل 13–8).

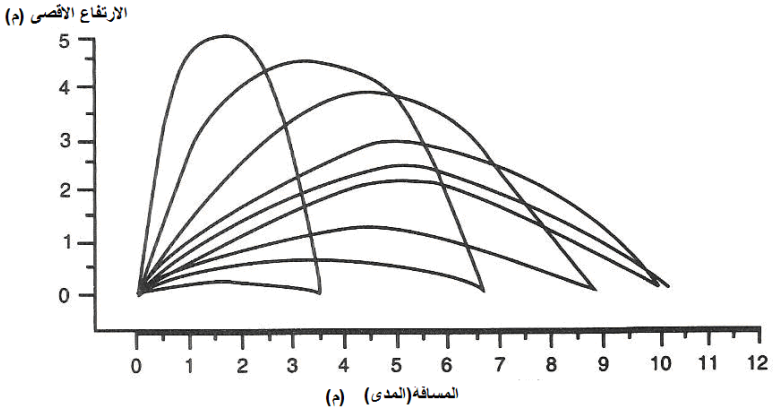
شكل 14–8 يعرض مقذوفات موزونة للمادة المرمية بزوايا مختلفة و في سرعة معينة. كرة مرمية إلى الأعلى من بزاوية رمي 80 درجة افقيا تتبع ارتفاعاً نسبياً و مساراً ضيقاً منجزة ارتفاعاً أكبر من المسافة الافقية . إنّ الكرة المقذوفة إلى الأعلى بزاوية 10 بشكل عمودي تتبع مساراً مستوياً و شكلاً أطول.

(قائمة 1-10)العوامل المؤثرة على حركة المقذوف

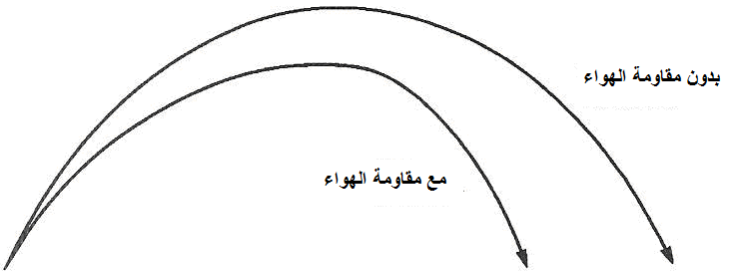
المتغيرات	العوامل المؤثرة
وقت الطيران	السرعة العمودية الأولية، ارتفاع الرمي النسبي
الإزاحة الافقية	السرعة الافقية، السرعة العمودية الأولية ،ارتفاع الرمي النسبي،
الإزاحة العمودية	السرعة العمودية الأولية ،ارتفاع الرمي النسبي
المقذوف	السرعة الأولية، زاوية الطيران ،ارتفاع الرمي النسبي.



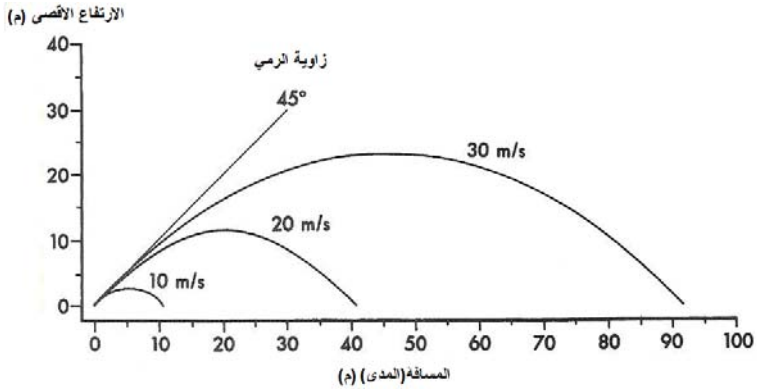
(شكل 13–8) تأثير زاوية الرمي على مسار أو مجال المقذوف



(شكل 14–8) يوضح هذا المخطط قيمة و شكل المسارات للمادة المقذوفة في 10م/ث



شكل 15–8 في الحالات اليومية تؤدي مقاومة الهواء إلى حرف مسار المقذوف



16–8 إنّ تأثيرات سرعة القذف على مسار المقذوف بزاوية رمي تبقى ثابتة

يمكن إن تؤدي مقاومة الهواء الى توليد اضطرابات في شكل و مسار المقذوف. إن التعديل النموذجي في مسار الرمي الناتج عن مقاومة الهواء موضح ومعروض في (شكل 15–8). ولأغراض تبسيط تأثيرات القوى الحركية للهواء، فستكون هذه مهملة في نقاش حركة المقذوفات.

سرعة المقذوفاتprojection Speed

عندما تكون زاوية الرمي و العوامل الأخرى ثابتة، فإن سرعة الرمي تحدد طول و حجم مسار المقذوف. فعلى سبيل المثال عندما يرمى الجسم عموديا للأعلى، فإن السرعة الأولية للمقذوف ستحدد ارتفاع ذروة الرمي، اما بالنسبة للجسم المقذوف بشكل مائل بزاوية مائلة، فإن سرعة القذف تحدد كل من الارتفاع و المسافة الافقية للقذف (شكل16-8) التأثيرات الموحدة لسرعة القذف و زاوية القذف على الإزاحة العمودية أو معدل المقذوف الموضحة في اللائحة (2-10).

إن الإنجاز عند تنفيذ القفز العمودي فوق سطح مستو تعتمد تماماً على سرعة الارتقاء، و تلك هي السرعة العمودية الأكبر عند الإقلاع أو عند النهوض، والقفز الأعلى هو المقدار الأكبر من الوقت الذي ينبغي على القافز عند الطيران (لاحظ الهامش). إنّ الزمن المطلوب لتنفيذ القفز يمكن أنْ يكون أمراً مهماً للراقصين.

إنّ عملية توحيد القفزات العمودية نحو الانجاز يجب أنْ تخطط بعناية، فإذا نفذت القفزات العمودية في غضون ثلث ثانية، فإن ارتفاع القفزات سيحدد أن ما يقرب من 12سم، تحت هذه الظروف، فيجب على الراقص أنْ يعلم بأنّ أكثر الراقصين ليس لديهم أرضية كافية صالحة لتأشير أصابعهم خلال أداء القفز.

القفز العمودي(سم)	زمن الطيران(ثا)
٥	٠.٢
١١	٠.٣
٢٠	٠.٤
٣١	٠.٥
٤٤	٠.٦
٦٠	٠.٧
٧٨	٠.٨
٩٩	٠.٩

سرعة مسار الرمي م/ثا	زاوية مسار الرمي درجة	معدل م
10	10	3.49
10	20	6.55
10	30	8.83
10	40	10.04
10	45	10.19
10	50	10.04
10	60	8.83
10	70	6.55
10	80	3.49
20	10	13.94
20	20	26.21
20	30	35.31
20	40	40.15
20	45	40.77
20	50	40.15
20	60	35.31
20	70	26.21
20	80	13.94
30	10	31.38
30	20	58.97
30	30	79.45
30	40	90.35
30	45	91.74
30	50	90.35
30	60	79.45
30	70	58.98
30	80	31.38

(لائحة 2–10) تأثير زاوية الرمي على معدل الرمي التقريبي

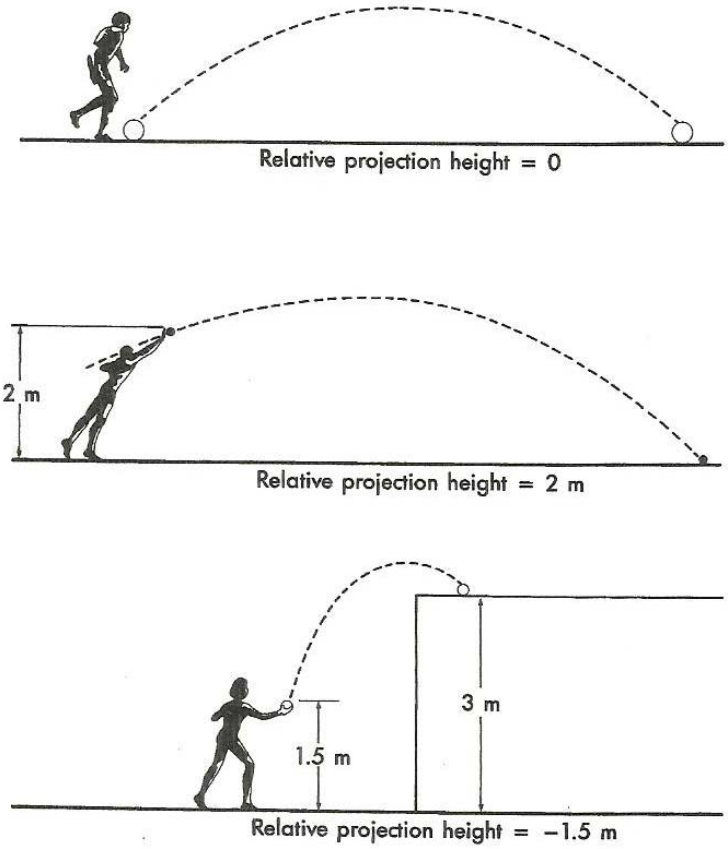
ارتفاع الرمي التقريبيRelative projection Height

إن العامل الأكبر الثالث المؤثر على مسار المقذوف هو ارتفاع الرمي (شكل17-8). هذا الاختلاف في الارتفاع عند بداية الرمي و الارتفاع الذي يهبط عنده الجسم أو يتوقف. فعندما يطلق القرص بواسطة الرامي على ارتفاع 1.5

واحد و نصف متر فوق الأرض، فإن ارتفاع الرمي التقريبي هو 1.5م و ذلك لأن ارتفاع الرمي هو 1.5م أكبر من ارتفاع الساحة أو المنطقة التي يهبط عليها القرص، وفي حال استقرت كرة الكَولف في شجرة، فإن الارتفاع التقريبي للرمي سيكون سالباً و ذلك لأنه ارتفاع الهبوط أصبح أكبر من ارتفاع الرمي.

عندما تكون سرعة الرمي ثابتة فان ارتفاع الرمي الأكبر نسبيا هو بمثابة أطول فترة للطيران واكبر إزاحة افقية يقطعها المقذوف.

في رياضة الغطس، يكون ارتفاع الرمي التقريبي هو ارتفاع لوحة الغطس أو منصة الغطس فوق الماء، في حالة ارتفاع مركز جاذبية الغطاس 1,5م فوق منصة القفز في أعلى مسار القفز فان زمن الطيران سيكون 1,2 ثا من ارتفاع 1م و 1,4 ثانية من منصة يعلو 3م. وهذا يعطي زمناً كافياً للغطاس الماهر لإكمال ثلاث قلبات هوائية من منصة بعلو 1م و 3,5 قلبه هوائية من منصة بعلو 3 م. و يتضمن ذلك محاولة الغطاس تعلم 3,5 قلبات هوائية من ارتفاع 3م، و يجب أنْ يكون أولاً قادراً و بسهولة على أداء 2,5 قلبة هوائية من ارتفاع منصة بعلو 1م.



(شكل 17–8)ارتفاع الرمي النسبي بارتفاع مختلفة

شروط القذف الصحيح Optimum projection Condition

في السباقات الرياضية التي تعتمد على تحقيق الإزاحة الافقية القصوى أو الإزاحة العمودية القصوى للمقذوف، يكون الهدف الرئيسي للرياضي هو زيادة سرعة الرمي في سباقات الرمي، و هنالك هدف آخر و هو زيادة الارتفاع و ذلك لأن ارتفاع الرمي النسبي الأكبر يولد زمن طيران أطول، و بالنتيجة إزاحة افقية أكبر للمقذوف. و على أية حال ليس من الحكمة للرامي أنْ يضحي عن سرعة الإطلاق لزيادة الارتفاع.

✓ ارتفاع الرمي النسبي هو الاختلاف بين ارتفاع الرمي و ارتفاع الهبوط.

إن العامل الذي يختلف بشكل كبير، في كل من المسابقة و المنفذ، هو زاوية القذف المطلوبة عندما يكون ارتفاع الرمي التقريبي صفراً، فإن زاوية القذف التي تولد الإزاحة الافقية القصوى هي 45 درجة. عندما يزداد ارتفاع الرمي التقريبي، فإن زاوية الرمي المتوقعة ستنخفض، و عندما ينخفض ارتفاع الرمي النسبي، فإن زاوية التفاؤل المتوقعة ستزداد (شكل 18-8).

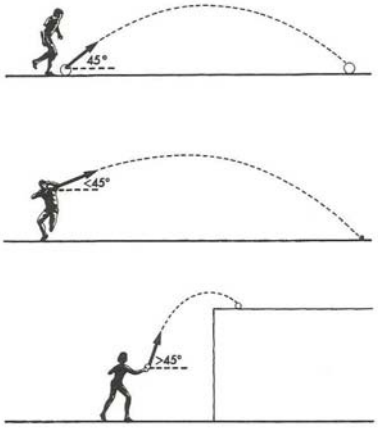
عندما يكون جسم الإنسان هو المقذوف خلال القفز، فإن تحديد زاوية القذف التفاؤلية يكون أكثر تعقيداً و ذلك عن طريق حقيقة أنّ زاوية النهوض يمكن أنْ تأثر على سرعة القذف. فعلى سبيل المثال، في سباق الوثب الطويل، و بسبب كون ارتفاعات الهبوط و النهوض، تتشابه. فمن الناحية النظرية تكون زاوية التفاؤل للنهوض هي 45 درجة بالتناسب مع الافق، وعلى أية حال فهي قد خمنت عن طريق (hay) والتي تحصل من خلالها نظرياً على زاوية النهوض التفاؤلية. حيث يمكن لقافزي الوثب العريض خفض السرعة الافقية و التي يمكنهم الحصول عليها بما يقارب 50٪ . فقد اوضح الباحثون بأنّ النجاح في الوثب العالي و الوثب الطويل و الزانة يرتبط بمقدرة وقابلية الرياضي على زيادة السرعة الافقية عند أداء حركة الارتقاء . إنّ زوايا الارتقاء الحقيقية تطبق بواسطة رياضيي الوثب الطويل النخبة وتتراوح بين 18 درجة إلى 27 درجة.

إنّ زوايا النهوض خلال المراحل الثلاثة للوثبة الثلاثية هي زوايا اصغر بالنسبة للرياضيين النخبة منها عند أولئك الذين يمارسون الوثب الطويل. اما في القفز على الجليد، حين يستفيد الرياضيون من الارتفاع الكبير النسبي بين الارتقاء و الهبوط، تكون زوايا الارتقاء صغيرة بقدر 4,6 إلى 6,2 درجة.

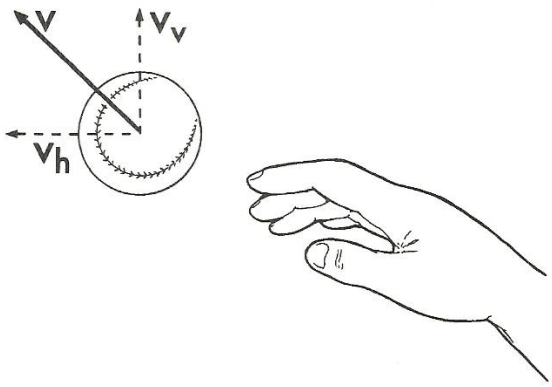
وفي مسابقة كالوثب العالي، حيث يكون الهدف هو زيادة الإزاحة العمودية، أما معدل زوايا النهوض الارتقاء بين هؤلاء القافزين المهرة فيتراوح بين 50 درجة إلى 48 درجة. وفي اسلوب الوثب بطريقة الـ(fosbry) .

أمّا في سباقات الرمي، فإن المميزات الحركية الهوائية للآلات المقذوفة تأثر على مسار الرمي. في مثل هذه الفعاليات (الثقل، القرص، الرمح، و المطرقة)، فإن قذف الثقل هو الفعالية الوحيدة التي لا تتأثر بشكل كبير بالقوى الحركية الهوائية. إنّ اما الفكرة التي تقول بأنّ زاوية الانطلاق التفاؤلية يجب أنْ لا تعمل على تقييد سرعة الانطلاق لا تزال فكرة راقية للإنجاز في فعالية رمي الثقل حيث تتراوح زويا الانطلاق المسجلة بين رماة الثقل النخبة من 36 درجة إلى 37 درجة.

- ✓ يزداد زمن طيران المقذوف بزيادة المركبة العمودية لسرعة القذف أو بواسطة زيادة ارتفاع الرمي النسبي.



شكل 18–8 عندما تكون سرعة الرمي ثابتة ، و الحركة الهوائية غير ذات أهمية، فإن زاوية الرمي الأفضل تعتمد على الارتفاع النسبي للرمي؛ عندما يكون ارتفاع الرمي النسبي صفراً، فإن زاوية 45 درجة هي زاوية التفاؤل وبينما يزداد ارتفاع الرمي النسبي، فإن زاوية الرمي الأفضل ستنخفض و بينما يصبح ارتفاع الرمي النسبي سالباً بشكل متزايد، فإن زاوية الرمي الأفضل ستزداد.



شكل 19–10 المركبتين الأفقية و العمودية لسرعة القذف

- ✓ السرعة الأولية Initial velocity : تجمع كمية المتجه كلاً من زاوية و سرعة الرمي.

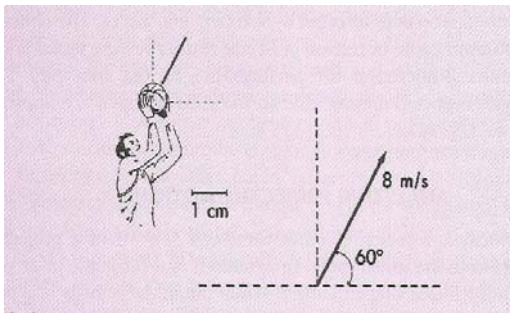
تحليل حركة المقذوف ANALYZING PROJECTILE MOTION

لأن السرعة هي كمية متجهة، فإن السرعة الأولية للمقذوف تندمج مع كل من مقدار السرعة الأولية و زاوية الرمي (الاتجاه) بكمية و مقدار واحد. عند تحليل السرعة الأولية إلى مركبتين عمودية و أفقية، فإن للمركبة العمودية سيكون سرعة أو مقدار بالاتجاه العمودي، و للمركبة الافقية سيكون سرعة أو مقدار بالاتجاه الأفقي (شكل19–8). تكون مقادير المركبتين الأفقية و العمودية على الدوام ذات كمية و ذلك حين إضافتها مع بعضها البعض ستشكل متجه أو مؤشر، متجه السرعة الناتجة سيكون مساوياً في المقدار و الاتجاه لمتجه السرعة الأولية الأصلية. ويمكن إن تكون المركبتين العمودية و الأفقية للسرعة الأولية ذات كمية سواءً كان ذلك هندسياً أو تصويرياً (شكل 20–8).

(شكل 20–8) يمثل كرة سلة مطلقة بسرعة أولية مقدارها 8م/ث و بزاوية 60 درجة، جد المركبتين الأفقية و العمودية لسرعة الكرة الأولية، هندسياً و صورياً.

المعلوم

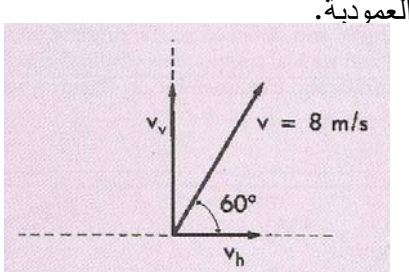
المخطط يوضح تمثيل متجه يمثل السرعة الأولية المرسومة باستخدام مقياس 1سم=2م/ث



الحل

المركبة العمودية المرسومة على طول الخط الافقي إلى الطول المساوي إلى طول متجه السرعة الأصلية و الذي يمتد بالاتجاه الافقي. أمّا المركبة العمودية فترسم بعد ذلك في نفس الأسلوب في اتجاه عمودي على الخط العمودي.

يقاس بعد ذلك أطوال المركبتين الأفقية و العمودية.



طول المركبة الأفقية = 3,5سم

طول المركبة الافقية = 2سم

لحساب مقادير المركبتين الأفقية و العمودية، نستخدم قياس 2م/ثا/سم:

مقدار المركبة الافقية:

سع = 2سم×2م/ثا/سم

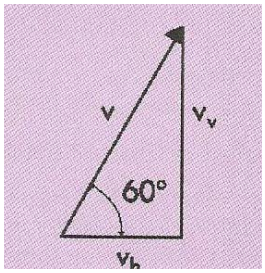
سع = 4سم/ثا

لحساب المركبة العمودية

السرعة = 3,5سم×2م/ثا/سم

السرعة =7م/ثا

لحساب السرعة الأفقية هندسياً، ارسم مثلثاً بجوانب تكون فيه المركبتان الأفقية و العمودية للسرعة الأولية ممثلتين كالآتي:



يمكن ان تستخدم علاقتي الجيب و الجيب تمام لحساب كمية المركبتين الأفقية والعمودية

س = 8م/ثا×جيب تمام 60

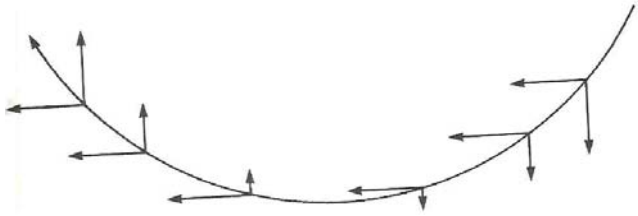
س = 4م/ثا

س = 8م/ثا×جيب 60

س = 6,9م/ثا

لاحظ بأن مقدار المركبة الافقية تكون دائماً مساوية لمقدار السرعة الأولية مضروباً بالجيب تمام زاوية القذف. و بشكل مشابه، فإن مقدار المركبة العمودية الأولية يكون دائماً مساوياً لمقدار السرعة الأولية مضروبة بجيب زاوية القذف.

- ✓ السرعة الأولية initial velocity : تجمع كمية متجه كل من زاوية وسرعة الرمي.



(شكل 21-10) المركبتين العمودية و الأفقية لسرعة المقذوف.

ملاحظة: تكون المركبة العمودية ثابتة، أمّا المركبة الأفقية فتتغير بشكل ثابت

لغرض تحليل حركة المقذوفات من الضروري أنْ تكون المركبة الافقية لسرعة المقذوف ثابتة خلال مسار الرمي و بأنْ تكون المركبة العمودية لسرع المقذوف الافقية متغيرة بشكل ثابت بسبب تأثير الجاذبية (شكل 21–8)، و بما أنّ سرعة المقذوف تكون ثابتة فسيكون التعجيل الافقي مساوياً للصفر خلال الرمي، أما التعجيل العمودي للمقذوف فيساوي النسبة الثابتة 9,81م/ث2.

معادلات التعجيل الأرضي Equations of Constant Acceleration

عندما يتحرك الجسم تعجيل ثابت (موجب، سالب، أو مساوٍ إلى الصفر)، تكون العلاقات الداخلية موجودة بين الكميات الحركية المتعلقة بحركة الجسم. هذه العلاقات الداخلية يمكن أنْ يعبر عنها باستخدام المعادلات الرياضية الأصلية المشتقة بواسطة العالم كَاليلو، و التي تعرف حالياً بقوانين التعجيل الثابت. باستخدام الرموز المتغيرة T , a, v, d (و التي تمثل الإزاحة، السرعة، التعجيل، و الوقت على التوالي) و المعادلات التالية:

$$س_2 = س_1 + ت \times ن$$

$$\text{الإزاحة} = س_1 \times ت + (\frac{1}{2}) ت \times ن^2$$

$$س_2^2 = س_1^2 + 2 \times \text{الإزاحة} \times ت$$

لاحظ بأنّ كلاً من المعادلات يتضمن تركيباً شاذاً من ثلاثة من الكميات الحركية الأربع: الإزاحة، السرعة، التعجيل، و الزمن. و هذا يعطي مرونة جيدة في حل المسائل و التي فيها كميتان معلومتان لإيجاد الكمية الثالثة.

يجب أنْ نتفحص هذه العلاقات كما طبقت للحركية الافقية لحركة المقذوف و التي يكون فيها التعجيل يساوي صفراً. في هذه الحالة كل فان مصطلح تتضمن تعجيلاً يجب أنْ ينقل من المعادلة و تظهر المعادلة كالآتي:

$س_2 = س_1$ (1H)

الإزاحة= $س_1 \times ن$ (2H)

$س_2^2 = س_1^2$ (3H)

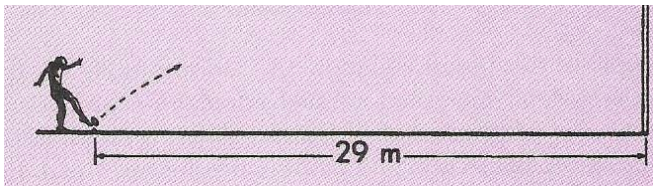
تشير المعادلات (1H) (3H) إلى ثبات المركبة الافقية لسرعة المقذوف، أما المعادل (2H) فيشير إلى ان الإزاحة الافقية تساوي ناتج السرعة الافقية و الزمن

(شكل 22-8) توقفت النقاط عند 20 إلى 20 في نهاتي بطوله AFC 1987 بين احمد علي و أمير الدليمي خلال فترة الوقت الإضافي، سنحت الفرصة لاحمد للتهديف بكرة استقرت على الرمل على مسافة 29م من أعمدة الهدف. ففي حالة ركل الكرة بمركبة افقية بسرعة أولية 18م/ث و كان زمن الطيران2ثانية.هل كانت الركلة بطول يكفي لتحقيق الهدف؟

المعلوم

س = 18ثا

التعجيل (ث) =2ث



نختار صيغة 2H لحل المسألة، بما أنّ الصيغة تحتوي اثنين من المتغيرات، السرعة الافقية والتعجيل كشيئين معلومين، و بما أنّ المتغير الغير معلوم d هو الكمية التي نريد معرفتها:

الإزاحة الافقية nd = السرعة الافقية س ع × الزمن

d = 18م/ث×2ث

d = 36م

تحركت الكرة بمسافة كافية إلى ساحة الهدف، ربح احمد المباراة، تأهل إلى النهائي.

عندما تطبق علاقات التعجيل الثابتة على المركبة العمودية لحركة المقذوف، فإن التعجيل يكون مساوياً إلى 9,81م/ث2، و لا يمكن تبسيط المعادلات بإلغاء قانون التعجيل، و على أية حال، فإن تحليل المركبة العمودية لحركة المقذوف، و السرعة الأولية (1V) تساوي صفراً في حالات مؤكدة. فعلى سبيل المثال، فعندما يسقط الشيء من موقع ثابت، فإن السرعة العمودية الأولية للشيء تكون صفراً، وفي هذه الحالة سيعبر عن معادلات التعجيل الثابت سيعبر عنها كالآتي:

(1V) س2 = ت×ن

(2V) ز = (1/2) ت×ن2

(3V) س2 = 2ت×ز

عند سقوط أي شيء فان المعادلة 1v التي ترتبط بسرعة المادة في أي لخطة تكون حاصل تعجيل الجاذبية و مقدار الزمن التي تكون فيه المادة في سقوط حر. المعادلة 2V فتشير الى أن المسافة العمودية التي تسقط خلالها المادة يمكن أنْ تحسب من التعجيل الأرضي و مقدار زمن سقوط المادة، أمّا المعادلة الثالثة 3V فتعبر عن العلاقة بين سرعة المادة و الإزاحة العمودية في زمن محدد و تعجيل الجذب الأرضي.

إنه من المفيد عند القيام بتحليل حركة المقذوف ان نتذكر بأنّ في نهاية مسار المقذوف تكون سرعة المركبة الأفقية هي صفر، و الهدف هو لتحليل أقصى ارتفاع منجز بواسطة المقذوف فان س2 في المعادلة 3 يمكن ان تساوي صفرا .

(3A) صفر = $س_1^2$+2ت× الإزاحة (ز)

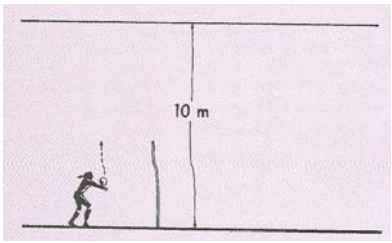
مثال للمعادلة 3A موضح في شكل 23–8، في حالة بأنّ المسألة هي لتحديد زمن الطيران الكلي، تكون هنالك طريقة واحدة لحساب الزمن للوصول إلى القمة و التي تكون نصف زمن الطيران الكلي في حالة كون ارتفاعي القذف و الهبوط متساويان. في هذه الحالة، فإن س2 في المعادلة (1) للمركبة العمودية للحركة يجب أنْ تساوي صفراً لأن السرعة العمودية هي صفر في القمة.

(1A) صفر = $س_1$ + ت × ن

توضح المسألة في شكل 24–8 استخدام المعادلة (1A)

عند استخدام معادلات التعجيل الثابت، من المهم أنْ نذكر بأنه يمكن استخدامها في المركبة العمودية لحركة المقذوف أو المركبة الأفقية لحركة المقذوف ولكن ليس للحركة الناتجة للمقذوف فإذا كانت المركبة الأفقية محللة، ت = صفر، و لكن إذا حللت المركبة العمودية، فالتعجيل (ت) سيكون 9,81م/ث2.

(شكل 23–8) كرة طائرة منحرفة عمودياً بواسطة لاعب في مباراة في المدرسة العليا للجمباز بسقف ذو ارتفاع 10م، إذا كانت السرعة الأولية للكرة 15م/ث2، فهل ستصل الكرة إلى السقف؟



المعادلة المستخدمة لحل هذه المسألة يجب أنْ تتضمن المتغير (d) للإزاحة العمودية و تتضمن المعادلة رقم 2(d) و لكنها ستتضمن المتغير وهو الزمن، و

الذي هو كمية غير معلومة. المعادلة 3 ستتضمن المتغير d والسرعة العمودية ستكون صفراً في ذروة القذف المعادلة الثالثة يمكن أنْ تستخدم 3Aلإيجاد d:

(3) س22 = س12+ 2(التعجيل × الإزاحة)

(3A) صفر = س12+ 2(التعجيل × الإزاحة)

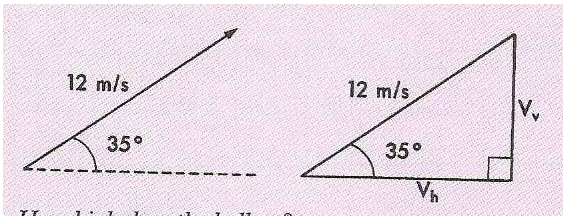
صفر = (15م/ث)2 + 2×(−9,81م/ث2) × الإزاحة

19,62م/ث2× الإزاحة = 225م2/ث2

الإزاحة = 11,47م

و لذلك فإن الكرة لها السرعة الكافية للاتصال بالسقف

(شكل 24–8) كرة مضروبة بزاوية 35 درجة، بسرعة أولية 12م/ث، فكم الارتفاع و البعد الذي ستصل إليه الكرة؟



س ع = 12 جيب تمام 3س

س أ = 12 جيب 35م/ث

ما الارتفاع الذي ستصل إليه الكرة؟

المعادلة رقم واحد لا يمكن استخدامها لأنها لا تتضمن عامل الإزاحة (d). و لا يمكن استخدام المعادلة رقم (2) ما لم يكن الزمن معلوماً. و بما أنّ السرعة العمودية = صفر في نهاية مسار الكرة، فالمعادلة رقم (3) هي المعادلة المختارة:

صفر = س212(ت× الإزاحة)

صفر = (12 جيب 35م/ث)2+ 2×(−9,81م/ث2) × الإزاحة

19,62م/ث2) = 47,37م2/ث2

الإزاحة (d)=2,41م

ما البعد الذي ستصل إليه الكرة؟

يمكن استخدام المعادلة 2H للحركة الافقية لان الزمن الذي تكون فيه الكرة في الهواء غير معلوم. و يمكن استخدام المعادلة 18 لمعرفة الزمن الذي تأخذه الكرة للوصول إلى القمة:

(1A) صفر = س1+ ت× الزمن

صفر 12 جيب 3م/ث+(−9,81م/ث2)×ن

ن = $\frac{\text{٦.٨٨م/ثا}}{\text{٩.٨١ م/ثا}^{٢}}$ = 0,70ثا

زمن الوصول للقمة هو نصف زمن الطيران الكلي، ويكون الزمن الكلي كالآتي:

ن = 0,70ثا ×2

= 1,40ثا

ثم يمكن استخدام المعادلة 2H لإيجاد المسافة الافقية التي تقطعها الكرة.

(2H) الإزاحة الافقية = سع ×ن

الإزاحة الافقية = 12 جيب تمام 35م/ث ×1,4ث

الإزاحة الافقية = 13,36م

شكل 25−8 لائحة ملحقة بالمعادلات التي تخص حركة المقذوف

صيغ تتعلق بحركة المقذوف

FORMULAS RELATING TO PROJECTILE MOTION

1. معادلات التعجيل الثابت

يمكن استخدام هذه المعادلات لربط الكميات الحركية المستقيمة عندما يكون التعجيل ثابتاً، قيمة غير قابلة للتغير.

(1) س2 = س1 + ت×ن

(2) الإزاحة (ز) = س1 ×ن +(0,5) ت×ن2

(3) مربع السرعة النهائية الثانية =مربع السرعة الابتدائية +2(ت× الازاحة)

2.استعمالات خاصة لمعادلات التعجيل الثابت للمركبة الافقية لحركة المقذوف،
التعجيل = صفر
(2H) الإزاحة الافقية = سع×ن

3.للمركبة العمودية لحركة المقذوف، بـ س1 =صفر، عندما يكون المقذوف ساقطا من موقع ساكن.
(1V) س2 = ت×ن
(2V) الإزاحة = (0,5) ت ن2
(3V) $س_2^2$ = 2 (التعجيل× الإزاحة)
4. للمركبة العمودية لحركة المقذوف، بسرعة س2 = صفر، عندما يكون المقذوف في قمة الرمي
(1A) صفر=س1+ ت ن
(3A) صفر = $س_1^2$ + 2ت×ز

المخلصSAMMURY

إنّ علم حركات الكينماتيكية هو علم يعمل على دراسة تتابع الحركة المستقيمة بالتناسب مع الزمن. وتتضمن كميات الحركات المستقيمة في هذا العلم الكميات القياسية للمسافة و السرعة و الكميات المتجهة للإزاحة السرعة و التعجيل، بالاعتماد على الحركة المحللة يمكن الاستفادة اما من الكمية المتجه او نظيرتها القياسية ويمكننا الاستفادة من الكمية الانية او كمية المعدل .

إنّ المقذوف هو جسم في حالة سقوط حر يتأثر فقط بالجاذبية و مقاومة الهواء. تحلل حركة المقذوف في مركبتيه الأفقية و العمودية، هاتين المركبتين

تعتمدان على بعضهما البعض و تتأثر فقط المركبة العمودية قوة الجاذبية. إما العوامل التي تحدد ارتفاع و مسافة المقذوف فهي زاوية القذف وسرعة القذف اضافة الى ارتفاع الرمي .

ويمكننا استخدام معادلات التعجيل الثابت كميا وتحلل حركة المقذوف بتعجيل عمودي ثابت بمقدار يساوي −9,81 م/ث2بتعجيل افقي = صفر

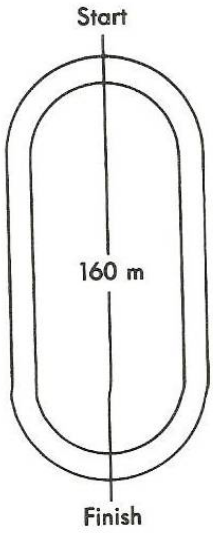
اختبر معلوماتك

ملاحظة: بعض المسائل تتطلب جبر المتجه (انظر فصل3)

1.عدّاء يكمل 6,5 دورة حول ملعب طوله 400م خلال 12 دقيقة اختبار ركض(720ث)

احسب الكميات التالية:

- ✓ المسافة التي يقطعها العداء
- ✓ الإزاحة التي يقطعها العدّاء في نهاية 12 دقيقة
- ✓ معدل سرعة العدّاء
- ✓ معدل سرعة انطلاق العداء
- ✓ معدل خطوة العدّاء



الجواب: أ- 2,6 كم ب- 160م ج- 3,6م/ث د- 0,22م/ث هـ - 4,6 دقيقة/كم

2.كرة تدور تعجيل 0,5م/ث2، إذا توقفت بعد 7 ثوان، ما هي سرعتها الأولية؟ الجواب: 3,5م/ث

3.كرسي ذو عجلات له سرعة5م/ث، بعد نزوله من مرتفع صغير في زمن 1,5ث، إذا اجتاز الكرسي تعجيلاً ثابتاً بمقدار 3م/ث2 عند النزول، فما هي سرعة عداء الماراثون في قمة المرتفع؟ الجواب: 0,5م/ث.

4.عداء يركض شمالاً 5م/ث بـ 120ث و من ثم إلى الغرب 4م/ث2 بـ 180ثانية، أعطِ حلاً تخطيطياً لتوضيح إزاحة العدّاء الناتجة.

5.عداء يركض 400م مباشرة إلى الغرب و 500م إلى الشمال الشرقي و بزاوية 45 درجة من الشرق مباشرة و من الشمال، أعطِ حلاً تخطيطياً لإيضاح الإزاحة النهائية بالتعاقب مع موقع البدء.

لماذا تحلل المركبتين الأفقية و العمودية لحركة المقذوف بشكل منفصل؟

6.كرة قدم تضرب بسرعة افقية أولية 5م/ث و سرعة عمودية أولية 3م/ث، على افتراض بأنّ نقطة الانطلاق و الهبوط نفسها و أهمل مقاومة الهواء، شخص الكميات التالية:

- ✓ السرعة الافقية للكرة 0,5 ثانية نحو طيرانها
- ✓ السرعة الأفقية للكرة في منتصف الطريق خلال طيرانها
- ✓ السرعة الأفقية للكرة الفورية قبل الاتصال بالأرض.
- ✓ السرعة العمودية للكرة في قمة الطيران.
- ✓ السرعة العمودية للكرة في منتصف طريق طيرانها
- ✓ السرعة العمودية الانية للكرة قبل اتصالها بالأرض.

7.إذا سقطت كرة سلة أو بيسبول، و ثقل وزنه 71,2 نيوتن بنفس الوقت من قمة بناية (بمعزل عن مقاومة الهواء). من الذي سيضرب الأرض أولاً؟ و لماذا؟

8.كرة تنس تضرب المضرب خلال أداء ضرب الأرض الافقي بسرعة 22م/ث، فإذا كانت الكرة في الهواء لمدة 0,7 ثانية، فما المسافة الافقية؟ الجواب: 15,4م

9.لاعب ترامبولين يقفز عمودياً إلى الأعلى بسرعة أولية 9,2م/ث، فما هو الارتفاع الذي سيصله لاعب الترامبولين؟ الجواب: 4,31م.

10.وضِّح ما هي العوامل (مواقع المفصل و معدلات الحركة، توليد عزم الدوران في المجموعة العضلية، الخ ....) التي تساهم في الأخطاء الناتجة في (أ) السرعة الافقية الضعيفة جداً للمقذوف و (ب) السرعة العمودية الضعيفة جداً للمقذوف لواحد من مهارات الحركة التالية

- ✓ وقوف القفز الطويل
- ✓ التهديف من القفز في كرة السلة
- ✓ الضربة الأرضية في لعبة التنس
- ✓ الوثب المحوري في الرقص أو التزلج على الجليد
- ✓ أعطِ حلاً هندسياً للمسألة رقم (4). الجواب: الإزاحة: 832م، الزاوية: 35 شمالاً.

11.أعطِ حلاً هندسياً للمسألة رقم (5). الجواب: الإزاحة: 937م، الزاوية: 50 درجة غرباً.

12.طوافة تعليم الدوران في سباق التريـاثلون أصبحت غير راسية، في حالة دفع التيار للطوافة باتجاه الجنوب بسرعة 0,5م/ث، و ضربت الرياح هذه الطوافة باتجاه الغرب بسرعة 0,7م/ث، فما هي الإزاحة الناتجة للطوافة بعد 5 دقائق؟ الجواب: 258م/ث، الزاوية: 54,5 غرباً.

13.زورق يبحر غرباً بواسطة الريح بسرعة 4م/ث، في حالة جريان الماء بسرعة 2م/ث شمال شرق، فأين سيكون الزورق بعد 10 دقائق من موقع البدء؟ الجواب: 1,8كم، الزاوية/ 29درجة شمالاً.

14.لاعب دالاس حاملاً الكرة يهبط باستقامة قرب الخط الجانبي بسرعة 8م/ث يجتاز خط 50 ياردة في نفس الوقت يبدا buffalobill الذي يريد الامساك به بالركض من خط 50 ياردة في النقطة 13,7م قرب الخط الجانبي، ما معدل

السرعة التي يجب ان يكون عليها bill لمسك لاعب دالاس قبل خط الهدف؟ الجواب: 8,35م/ث.

15.كرة قدم مضروبة من ساحة اللعب بزاوية 45 درجة، إذا كانت الكرة في الهواء لمدة 3 ثواني، ما الارتفاع المنجز؟ الجواب: 11,0م.

16.ضربت كرة بمسافة افقية 45,8م في حالة وصول الكرة إلى الارتفاع الأقصى 24,2م بزمن طيران 4,4 ثواني، فهل ضربت الكرة بزاوية رمي أقل من، أكبر من، أو مساوية إلى 45 درجة؟ أعطِ نسبة لجوابك مستنداً إلى الحسابات المناسبة؟ الجواب: 45 درجة.

17.كرة ريشة مضروبة بواسطة مضرب بزاوية 35 درجة، معطياً إياها سرعة أولية بمقدار 10م/ث، فما الارتفاع الذي ستصله؟ ما هو البعد الذي ستقطعه افقياً في نفس الارتفاع الذي رميت منه؟ (الجواب: الإزاحة العمودية vd: 10,68م، الإزاحة الافقية hd:9,58م)

18. سهم رماية يرمى بسرعة 45م/ث بزاوية 10 درجات، فما هو البعد الذي يمكن أنْ يقطعه السهم افقياً قبل أنْ يضرب هدفه في نفس الارتفاع الذي أطلق منه؟ (الجواب: 70,6م)

19.مضمار ذو طول معلوم، اركض دورتين، واحدة بسرعة بطيئة، و واحدة بسرعة عالية، احسب الخطوات خلال كل دورة و احسب زمن كل دورة، احسب معدل طول الخطوة، سرعتك م/ث، احسب الخطوة في كل دورة، و اكتب وصفاً لنتائجك. كيف ستكون نتائجك بالمقارنة مع الصورة في شكل 10-5؟

20.صوّر فيديوياً كرة مرمية عمودياً نحو الهواء، و توقف بنفس الارتفاع الذي رميت منه الكرة. صور قطعة لورقة استكشاف على عارض الفيديو باستخدام إطار خاص. تحرّى عن الصور المتتالية للكرة. فما الذي يظهره التدقيق في الصور حول حركة الكرة المقذوفة؟

21.بالتزامن أسقطت كرتان بشكل افقي و من نفس النوع، فما هي الكرة التي ستصل أولاً؟ و لماذا؟

22.صوّر فيدويا مسار كرة مرمية من شخص معين إلى شخص آخر. سجّل قطعة من ورقة تخطيط على عارض الفيديو باستخدام إطار منفرد أمامي. تفحص الصور المتعاقب للكرة. من أي من نقاط الرمي ستكون الكرة في سرعتها القصوى؟ و ما الذي يظهره التحري عن طبيعة حركة المقذوف؟

23.اكتب خارطة كنز باستخدام فرجال و تتبع المسافات بين نقطة البداية و الكنز. يجب أنْ تحتوي ثلاثة تغيرات في الاتجاه في ممر الوصول إلى الكنز. أشرْ المسافات التقريبية على الخارطة بالأمتار. ربما ستكون مساعداً في تعديل طول الخطوة إلى طول 1متر في تعيين المسافات.