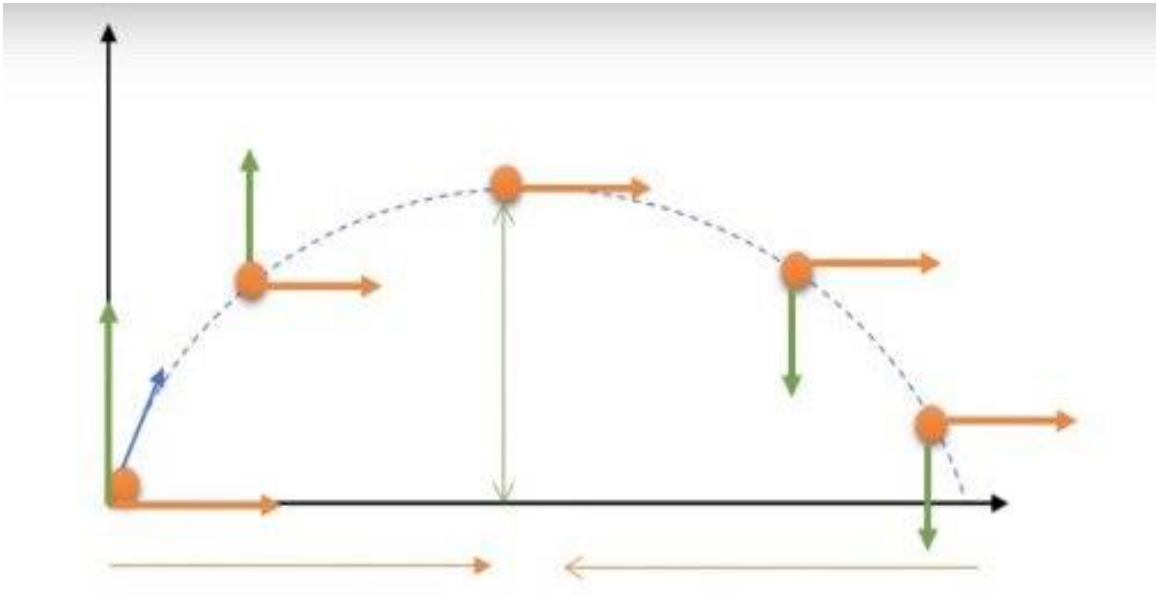
المقذوفات projectiles:

المقذوف عبارة عن جسم أو أداة تدفع أو ترمى بزاوية اقل من 90 درجة مع الافق او سطحا معينا وذلك بفعل قوة ما ويكتسب سرعة ابتدائية عند انطلاقه وهي سرعة انطلاقه (سرعة الطيران) ليستمر بحركته بالهواء بوساطة قصوره الذاتي تحت تاثير قوى الجاذبية الارضية ، فالكرات ألمقذوفة كما في الالعاب الجماعية مثل كرة القدم كرة السلة و الكرة الطائرة الخ او ادوات الرمي في العاب القوى مثل القرص و الرمح و الثقل او المطرقة او اجسام اللاعبين في مسابقات الوثب والقفز كالعالي او الزانة او الطويل او الثلاثية حيث إن كل هذه المسابقات امثلة حية لحركة الاجسام المقذوفة وهذه الاجسام تكون حركتها متأثرة بالجاذبية الارضية وقوة الدفع الجسم المقذوف وحركة اتجاه الهواء .

ومن اجل تماثل قوه الجاذبية الأرضية يأخذ المقذوف مسارا حركيا منحينا يسمى بالقطع المكافئ (Parabolic) و لا يحدث مثل هذا المسار في حالة إذا كان المقذوف عموديا تماما (الحركات الشاقولية او الاجسام الساقطة) كما مر علينا سابقا، ويتعدل المسار الحركي للقطع المكافيء بدرجات مختلفة حيث ان الجاذبية الأرضية تؤثر سلبا على سرعة المقذوف في النصف الأول من القطع المكافيء او عند قوس الطيران للاعلى حيث ان السرعة سوف تبدأ بالهبوط و التناقص لحين

الوصول الى قمة القوس القطع المكافيء ، حينها تصل السرعة صفرا ثم تبدأ بالصعود (التزايد) حتى وصوله للمستوى الافقي للانطلاق او الأرض عند النصف الثاني للمنحني وكل ذلك نتيجة تاثير الجاذبية الارضية للمقذوف . و تتاثر المسافة الافقية والعمودية للمقذوف ببعض الاسس والشروط الميكانيكية المتعلقة بهذا النوع من الحركات و كما يلي:



شكل (32)

يوضح تاثير المركبتين الافقية والعمودية على مسار طيران المقذوف

1- سرعة الانطلاق :

وهي السرعة الابتدائية الاولية للمقذوف Initial Velocity وتعد اهم المتغيرات وهي ناتج محصلة تعامد السرعتين الافقية مع العمودية. وتعتبر من اهم المتغيرات الأساسية في تحديد المسافة الافقية والعمودية للانجاز وبما ان السرعة هي كمية متجهة ، لذلك فأن السرعة الابتدائية للاداة او الجسم لحظة الانطلاق يتحدد مقدارا واتجاها، وبالتالي يمكن تحليل هذه السرعة الى مركبتين عمودية وافقية وبالتالي

تتدخل في تحديد الارتفاع الذي يصله الجسم المقذوف اثناء مساره الحركي. فالمركبة العمودية الـ (V_y) والتي تتأثر حركتها بالجاذبية الأرضية ومقاومة الهواء كما في رمي القرص او الرمح وغيرهما وستتغير قيمتها تدريجيا بالنقصان الى ان تصل للصفر في اعلى ارتفاع تصلها الأداة او مركز ثقل الجسم المقذوف ليأخذ بعدها مسارا للهبوط وستتغير قيمتها تدريجيا بالازدياد حتى تصل الى أقصاها قبل ملامسة الأرض ، والسرعة العمودية تكون مركبتها اقل قيمة من قيمة المركبة الافقية أما السرعة الافقية (Vx) التي يمتلكها المقذوف قبل انطلاقه فلها أهمية كبيرة في تحديد المسافة الافقية النهائية وهي تبقى ثابتة على طول مسار الطيران و تكسب المقذوف الاستمرارية بالحركة للامام حسب قصورها الذاتي وطبقا لقانون نيوتن الاول في القصور الذاتي كما سيمر علينا لاحقاً .

أن محصلة سرعة الانطلاق تبلغ اقصاها عند بداية انطلاق الاداة ونهايته وتلعب سرعة الانطلاق دورا في تحديد ارتفاع مسار الطيران كما في الوثب العالي أو تحقيق مسافة أفقية للامام كما الوثب الطويل حيث الوثب من الثبات تكون المسافة المتحققة اقل مما هي عليه بدون ركضة تقريبية واكتساب اسرعة.

2- زاوية الانطلاق :

يقصد بها الزاوية المحصورة بين الخط الافقي لمركز ثقل المقذوف و مسار حركة طيرانه ، أن زاوية انطلاق الاداة لها دور كبير في تحديد المسافة الافقية والعمودية للمقذوف وتختلف قيمها طبقا لاتجاه مسار مركز ثقل المقذوف وهدفه حيث في الوثب العالي تتراوح بين الـ (60 – 70) درجة وفقا لمتطلبات الطيران بالاتجاه العمودي نحو العارضة ، أما في الوثب الطويل فهي بين الـ (20– 24) درجة وذلك للحفاظ على كمية حركة الواثب للامام افقيا ، وتكون الزاوية (45) درجة مثالية في فعاليات الرمي لتحقيق ابعد مسافة افقية ولكنها تتباين بين متطلبات

مسابقة واخرى ففي رمي الرمح تكون الزاوية المثالية تقريبا (38) درجة اما في دفع الثقل فهي اقرب لـ(42) درجة وتلعب عوامل عديدة في تحديد هذه الزاوية بالنسبة للرياضيين منها حركة الهواء والحالة البدنية والفسلجية حتى يتمكن من تحقيق الانجاز الافضل ، وزاوية الانطلاق مهمة في اكتساب السرعة الابتدائية المطلوبة للمقذوف لتحقيق (الانجاز) ، وهناك زاوية هبوط المقذوف شبيهة ومعاكسة لزاوية الانطلاق ومعادلة لها بالقيمة وهي محصورة بين مسار حركة المقذوف عند هبوطه والمستوى الافقي للانطلاق اما اذا كانت زاوية الهبوط اقل من مستوى الخط الافقي للانطلاق فيمكن معرفة قيمتها من خلال طرح زاوية الانطلاق من الزاوية العمودية (90) و كما في الشكلين (32) و (33).

3-إرتفاع نقطة الانطلاق:

والمقصود هنا ارتفاع مركز ثقل المقذوف عن الارض لحظة االنطلاقه . وهو من المتغيرات الاساسية المؤثرة في مسار طيران المقذوف وتحقيق المسافة الافقية او العمودية ، وكلما قل ارتفاع نقطة الانطلاق قلت زاوية الانطلاق وبالعكس مما يؤثر على تحقيق المسافة الافقية النهائية للمقذوف وبالتالي ممكن ان تتيح هذه المؤشرات والمتغيرات الميكانيكية للمدربين على تصحيح اداء اللاعبين وتطوير مهاراتهم وتحقيق انجازات افضل بما يتلائم وامكانياتهم البدنية والجسمية حيث طول اللاعب وقدراته البدنية يعد مؤشرا تنبؤي في انتقاء الرياضيين.

4-تأثير الهواء:

تلعب قوة الهواء دور كبير في تحديد المسافات النهائية للمقذوف وهي اما ان تكون مقاومة لحركة المقذوف اذا كان اتجاه الهواء بعكس اتجاه حركة المقذوف او تعتبر كقوة دفع اضافية للمقذوف اذا كانت حركة الهواء بنفس اتجاه حركة المقذوف وهناك مجموعة مؤثرة في مسار حركة المقذوف في الهواء واهمها :

1- شكل المقذوف .

2- حجم المقذوف.

3- وزن المقذوف.

4- سطح المقذوف كأن يكون مدبب أو مستوي أأو دائري الخ .

ان مقاومة الهواء للاجسام الساقطة عموديا اكثر أي تزداد مقاومة الهواء كلما زاد ارتفاع مكان السقوط ، وتؤثر مقاومة أو حركة الهواء أيضا على المركبة الافقية في المقذوفات التي تاخذ المسار المنحني.

التحليل الميكانيكي للمقذوفات Mechanical analysis of projectiles:

التحليل الميكانيكي للحركات التي تاخذ المسار الحركي الشبيه بالمقذوفات أي مسار المنحي يتم ايجاد القيم الميكانيكية لها وفق الخطوات التالية:

1-لإيجاد قيمة السرعة الافقية (Vx) يتم وفق القانون التالي:

$$Vx = v_{\theta} \cdot \cos\theta$$

2- لإيجاد قيمة السرعة ألعمودية (V_y) يتم وفق القانون التالي :

$$V_y = v_{\theta} \cdot \sin\theta$$

3- لإيجاد قيمة الزمن الأول لأعلى ارتفاع (t_1) يتم وفق القانون التالي:

$$t_1 = V_y / g$$

4- لإيجاد قيمة أعلى ارتفاع (S) يتم وفق القانون التالي:

$S = v_p.t + 1/2 \cdot g \cdot (t)^2$ هنا السرعة الاولية تساوي صفر

5- لإيجاد قيمة الارتفاع الكلي للأداة (ألمقذوفة) في الهواء يتم وفق القانون التالي:

$$S + h =$$

6- لإيجاد قيمة الزمن الثاني (t_2) الذي يمتد من اعلى نقطة وصلت لها الاداة او الجسم المقذوف الى لحظة اول وصول للارض ويتم وفق من القانون التالي:

$$t_2 = 2(s + h) / g$$

7- لإيجاد قيمة الزمن الكلي (T) الذي استغرقه المقذوف في الهواء لحين وصوله للارض يتم وفق القانون التالي :

$$T = t_1 + t_2$$

8- إيجاد قيمة المسافة الافقية للمقذوف في مستوى خط الانطلاق التي يقطعها المقذوف ونرمز لها(R_1) وكما في شكل (33) ، وبهذا الصدد اشتق مؤلف الكتاب (الاستاذ الدكتور حكمت عبد الكريم المذخوري) استنادا الى عامل التناظر لقيم شطري القطع المكافيء في كلا جانبيه ، حيث ان الزمن الاول الذي يستغرقه الجسم من لحظة انطلاقه الى وصوله لاعلى ارتفاع في الهواء يكون مساويا بالمقدار لقيمة الزمن الذي يستغرقه نفس الجسم عند نزوله من نفس الارتفاع لحين وصوله الى المستوى الافقي مع نقطة انطلاقه الاول وبما ان المسافة الافقية للمقذوف النهائية Horizontal run المدى النهائي، تعتمد على المركبة الافقية للانطلاق في الزمن الكلي لمسار المقذوف من انطلاقه ولحين وصوله الى الارض وفق القانون التالي :

$$R = T_{total} . Vx$$

لذلك نستنتج القانون التالي:

R1= $2t_1.Vx$ ..... (حكمت المذخوري .... قانون المسافة الافقية بمستوى انطلاق المقذوف).

أي المسافة الافقية بمستوى الانطلاق (المدى) نستخرجها من حاصل ضرب المركبة الافقية في ضعف الزمن الاول .

و جاءت فكرة اشتقاق هذا القانون على الرغم من وجود بعض القوانين التي تستخدم لحساب قيمة هذه المسافة و لكن لسهولة وقلة المتغيرات في القانون المشتق ودقة قيمتها بالاضافة الى الابتعاد عن القوانين الطويلة الاخرى مثل :

(1): المسافة الافقية =

2 x مربع السرعة الابتدائية x جيب الزاوية x جيب تمام الزاوية / تسارع الجاذبية الارضية

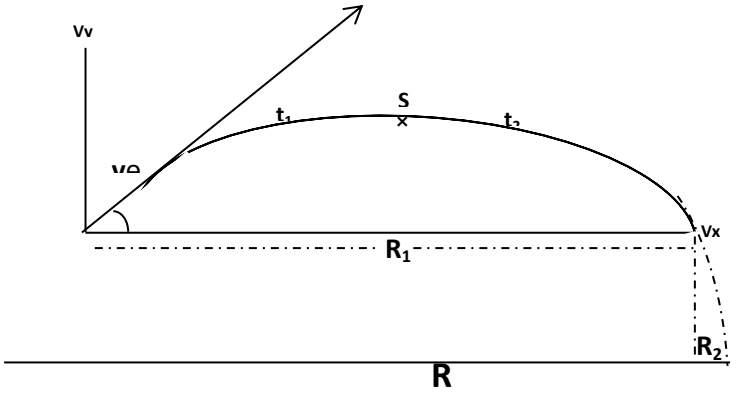
$$R = \frac{2v^2 \sin\theta\cos\theta}{}$$

قانون (2):

$$\boldsymbol{R = \frac{v^2}{g}}$$

قانون (3):

$$R = \frac{v^2 \sin\theta\cos\theta + v\cos\theta\sqrt{(v\sin\theta)^2 + 2gh}}{g}$$



شكل (33)

يمثل المسافة الافقية بمستوى الاطلاق(R_1) والمسافة النهائية (R)

و الجدول ادناه الذي يظهر به قيم بعض المتغيرات الكينماتيكيةلبطل العالم (1996) ومن ضمنها متغير المسافة الافقية لمستوى الانطلاق والتي نرمز بـ (R_1) وحسب احصائية الاتحاد الدولي انذاك .

جدول يمثل بعض المتغيرات الكينماتيكية لبطل العالم بدفع الثقل لعام 1996

رقم اللاعب	مقدار زاوية الانطلاق θ	مقدار سرعة الانطلاق V_θ	مقدار ارتفاع نقطة الانطلاق	المسافة (المدى) الافقي لمستوى الانطلاق $R1= 2t_1.Vx$	المسافة (المدى) الافقي النهائي
1	45	13.41	2.44	18.33	22.65

9- لايجاد قيمة المسافة المسافة الافقية النهائية أو المدى (R) يتم وفق القانون التالي:

$R=T_{total} . Vx$

10- لايجاد فرق المسافة الكلية (R_2) ولايجاد المسافة الافقية بمستوى الانطلاق عن المسافة الافقية الكاملة وذلك عن طريق :

$R_2 = R - R_1$

القوانين أعلاه من الممكن إن تعد قياسات تنبؤية تخدم المدربين بإيجاد التمرينات المناسبة لتطوير المتغيرات المذكورة من اجل الحصول على افضل الإنجازات وتطبيق الوسائل المساعدة لتطوير عامل الاداء و السرعة نظرا لاهميتهما في فعاليات الرمي والقفز خاصة .

مثال :

رمى لاعب القرص بسرعة مقدارها (20 m) بالثانية وكانت ارتفاع نقطة الانطلاق عن الارض لحظة الرمي تبلغ (2.15 m) في حين بلغت زاوية الانطلاق (42 درجة)، اوجد الزمن الكلي(T) الذي استغرقه القرص من لحظة انطلاقه لغاية سقوطه على الارض واقصى ارتفاع وصل اليه القرص في الهواء (S) والمسافة الافقية الكلية (R) والمسافة الافقية لمستوى الانطلاق(R_1) المتحققة للرامي .

1) $V_x = V_\theta \cdot \cos 42$

$= 20 \times 0.74$

$= 14.86$ m/sc

2) $V_y = V_\theta \cdot \sin 42$

$= 20 \times 0.66$

$= 13.2$ m/sc

3) $t1 = \frac{Vy}{g}$

$= \frac{13.2}{9.8}$

$= 1.34$ sc

4) $S = \frac{1}{2} \times g \times (t^2)$

$= \frac{1}{2} \times 9.8 \times (1.34^2)$

$\frac{1}{2} \times 9.8 \times 1.79$

= 8.79m

5) S+h

= 8.79 + 2.15

= 10.94m

6) $t_2 = \frac{2(s+h)}{g}$

$t_2 = \frac{2(10.94)}{9.8}$

$= \frac{21.88}{9.8}$

=2.23s

7) $T_{total} = t_1 + t_2$

=1.34 + 2.23

= 3.57s

8) $R1 = 2 \times t_1 \ . \ Vx$

=39.82m

9) $R = T_{total} \ . \ V_x$

=3.57× 14.86

=53.05m

10) $R_2 = R_ R_1$

=53.05−39.82

=13.23m

مثال :

فيما ياتي معطيات لاثنين من طلاب كلية التربية البدنية في جامعة ميسان قاموا بدفع الثقل اثناء تجربة تطبيقية لقوانين المقذوفات ، والمطلوب التحليل الحركي لرمية كل واحد منهم وحسب القيم المذكورة في ادناه:

الطالب الاول:

مجتبى رمى بسرعة مقدارها(9.3 m/s) وكانت نقطة ارتفاع الانطلاق عن الارض لحظة الرمي تبلغ (2.04m) في حين بلغت زاوية الانطلاق (32 درجة).

الحل /

الطالب الاول:

شكل (34)

1)Vx = Vθ.Cos32

= 9.3 x 0.84

=7.81 m/s

2)$V_y = V_\theta \ . \sin 32$

$= 9.3$ x 0.52

$= 4.92$ m/s

3) $t1 = \frac{Vy}{g}$

$= \frac{4.92}{9.8}$

= o.50s

4)$S = \frac{1}{2} \times g \times (t^2)$

$= \frac{1}{2} \times 9.8 \times (o.50^2)$

$= \frac{1}{2} \times 9.8 \times 025$

= 1.23m

5) S+h

= 1.23 + 2.04

= 3.27m

6) $t2 = \frac{2(s+h)}{g}$

$t2 = \frac{2(3.27)}{9.8}$

= $\frac{6.54}{9.8}$

= o.66s

7) Ttotal=t1+ t2

= 0.50 + 0.66

= 1.16s

8) R1= R1= 2× t1 . Vx

=7.81m

9)R=Tx . Vx

=1.16× 7.81

=9.05m

10) R2= R_ R1

=9.05−7..81

=1.24m

اما الطالب الثاني :

ادم فقد رمى بسرعة مقدارها(10 m/s) وكانت نقطة ارتفاع الانطلاق عن الارض لحظة الرمي تبلغ (2.03 m) في حين بلغت زاوية الانطلاق (27 درجة).

شكل (35)

1) Vx = Vθ .Cos27

= 10 x 0.89

=8.9 m/s

2)Vy = Vθ . sin27

= 10 x 0.45

= 4.5 m/s

3) t1= $\frac{\mathrm{Vy}}{g}$

= $\frac{4.5}{9.8}$

= o.45s

4)S= $\frac{1}{2} \times \mathrm{g} \times (\mathrm{t}^2)$

= $\frac{1}{2} \times 9.8 \times (\mathrm{o}.45^2)$

= $\frac{1}{2} \times 9.8 \times 020$

= 1.03m

5) S+h

= 1.03 + 2.03

= 3.06m

6) t2= $\frac{2(\mathrm{s+h})}{\mathrm{g}}$

t2= $\frac{2(3.06)}{9.8}$

= $\frac{6.12}{9.8}$

= o.62s

7) Ttotal=t1+ t2

= 0.45 + 0.62

= 1.07s

8) R1 = 2 × t1 . Vx

= 8.9× 0.9

= 8.01m

9) R=Tx . Vx

=1.16× 7.81

= 9. 56m

10) R2= R_ R1

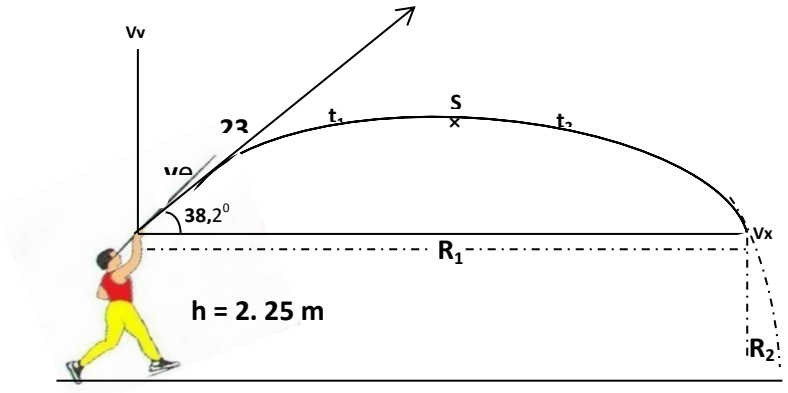
= 9. 56−8.01

=1.55m

مثال 2 :

مع الرسم استخرج (الزمن الكلي والمسافة الافقية الكلية) لرامي الرمح كان قد رمى بزاوية انطلاق مقدارها (38^{o}) و سرعة انطلاق قد بلغت (23 m/s). إما نقطة انطلاق الرمح كانت ترتفع بمقدار (2.25 m) .

الحل:



شكل (36)

1- $Vx = V\theta \times \cos 38$

$= 23 \times 0.78$ m/s

$= 17.94$

2-$Vy = V\theta \times \sin 38$

$= 23 \times 0.61$

$= 14.03$ m/s

2- $t_1 = \frac{Vy}{g}$

$= \frac{14.03}{9,8}$

$= 1.43s$

4- $S = ½ \times g \times t_1^2$

$= ½ \times 9.8 \times (1.43)^2$

$= ½ \times 9.8 \times 2.04$

$= 9.99m$

5- $h + s$

$= 2.25 + 9.99$

$= 12.24m$

6- $t_2 = \frac{2(h+s)}{g}$

$= \frac{2(2,25 + 9.99)}{9,8}$

$= 2.49s$

7- $T = t_1 + t_2$

$= 1,43 + 2.49$

$= 3.92m$

8- $R1 = \frac{V\theta^2 \times 2 \times \sin 38}{g}$

$= \frac{529 \times 2 \times 0.61}{9.8}$

$= 65.85m$

او في

$R1 = 2 \times t1 \ . Vx$

9- $R = T \times Vx$

$= 3.92 \times 17.94$

$= 70.32m$

مثال /3 : احد ابطال العالم برمي الثقل دفع الثقل بسرعة مقدارها(13.41 m/s) وبلغ ارتفاع نقطة الانطلاق (2.13m) في حين كانت زاوية الانطلاق (30درجة)، اوجد الزمن الكلي (T) للاداة واقصى ارتفاع وصلت اليه في الهواء (S) والمسافة الافقية النهائية (R) التي حققها هذا البطل.

1) Vx= Vθ .Cos30

=13.41x 0.86

=11.53 m/s

2)Vy = Vθ . sin30

= 13.41 x 0.50

= 6.70m/s

3)t1= $\frac{Vy}{g}$

= $\frac{6.70}{9.8}$

=0.68s

4)S = $\frac{1}{2} \times g \times (t^2)$

= $\frac{1}{2} \times 9.8 \times (o.68^2)$

$\frac{1}{2} \times 9.8 \times .46$

=2.25m

5) S+h

=2.25 + 2.13

= 4.38m

6) t2= $\frac{2(s+h)}{g}$

t2= $\frac{2(4.38)}{9.8}$

= $\frac{8.76}{9.8}$

=0.89s

7)T=t_1+ t_2

=0.68 + 0.89

= 1.57s

8) R1 =$\frac{V\theta^2 \times 2 \times \sin 30}{g}$

= $\frac{(13.41^2) \times 2 \times 0.5}{9.8}$

=17.95m

اما وفق القانون المشتق الذي تم ذكره سابقا فتكون المسافة كما يلي:

R1 = 2 × t1 . Vx

= 15.68 **m**

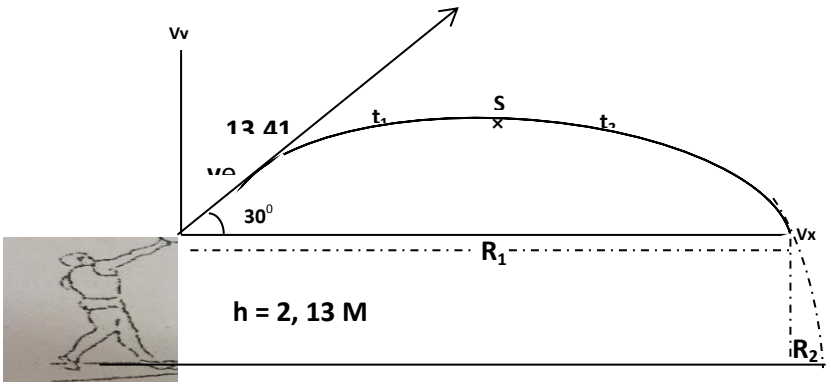
9**) R=T . Vx**

=1.57 x 11.53

=18.10m

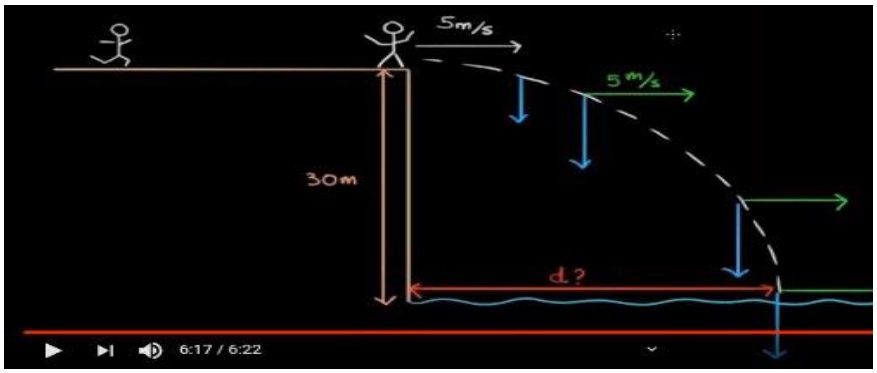
(10) R_2**=**R- R_1

=0.15



شكل (37)

ملاحظة : لايجاد المسافة الافقية (الازاحة) في حالة قذف الجسم من فوق للاسفل بزاوية مع الافق او السطح اقل من 90 درجة أي ان هذه الحركة تقع ضمن مسار المقذوفات ومثال على ذلك : تحرك شخص للامام وقفز ومن مكان يرتفع 30 متر نحو الماء وبزاوية اقل من 90 درجة ، اوجد الـ(R)؟ المقطوعة بسرعة تبلغ 5 m/s .



هنا السرعة العمودية تساوي صفرا لحظة الانطلاق وتتزايد للاسفل نتيجة الجاذبية الارضية أما الافقية فتبقى كما هي عندما نبدأ بالحل نعتمد على معطيات السؤال:

$S = v_{p.t} + 1/2 \ . \ g \ .t^2$ هنا السرعة الاولية تساوي صفر

وبما ان اتجاه الارتفاع للاسفل اي ياخذ اشارة الـ (y _) اذا

$-30 = \frac{1}{2} \times (-9.8) \times t^2$ **(الاشارة سالب بسبب اتجاه الحركة نحو المحور العمودي السالب)**

$$t^2 = \frac{-60}{-9.8}$$

$$= \sqrt[2]{6.122}$$

t= 2.47s

R= **T** . **Vx**

=5× 2.47

12.35m المدى (الازاحة) المطلوبة.