

التقرير النهائي للدراسة الفيزيائية لحركة كرة القدم:

لقد تناولنا في هذا المشروع الدراسة الفيزيائية لفكرة قذف كرة القدم ضمن ظروف وعوامل وبيئات مختلفة وتابعنا ذلك بدراسة فيزيائية لمعرفة ردود الأفعال الناتجة عن هذا القذف مثل ارتطام هذه الكرة بالأسطح وارتدادها عنها واصطدامها بأجسام صلبة أخرى أو دراسة عامل الاحتكاك الناتج عن ملامسة هذه الكرة للأسطح الملساء والخشنة والعوامل الجوية المختلفة المؤثرة على حركة الكرة.

جامعة دمشق كلية الهندسة المعلوماتية

الأستاذ المشرف:

المهندس عمار النحاس

هذا المشروع اعداد الطالب:

rama Khalil Hamza

hala Fahemiyah Aymen lk

Nour Ahmad Al-Hussein

Dalal Mohamed Zaki Boubs

Ghidae Mohamed Amin Bakoura



The Physical Studies OF Football

THE
INDEX

- 3 مقدمة عامة عن المشروع
- 5 ميكانيك حركة الكرة
- 5 قوانين رياضة كرة القدم
- 6 القوى المؤثرة على الكرة أثناء السكون والحركة
- 12 الدراسة النظرية للكرة بالحالة المثلالية
- 13 دراسة قذف الكرة
- 23 الحركة الدورانية
- 26 تأثير البيئة و تغييرها
- 27 الدراسة الفيزيائية لاصطدام الكرة وارتدادها
- 30 تأثير الصدم
- 34 تحويل الدراسة الفيزيائية إلى محاكاة
- 38 الخاتمة
- 39 المراجع والموقع المستخدمة في هذا المشروع

❖ مقدمة :

تمهيد :

يعد علم الفيزياء من أهم العلوم التي عرفها الإنسان ، ويعرف باسم علم الطبيعة لارتباط فروعه بمختلف الظواهر التي تحدث في هذا الكون

حيث يعمل على تفسير الظواهر بشكل تفصيلي من خلال دراسة حركتها والقوى المؤثرة بها مثال :

دراسة حركة الطائرات وحركة الكرات حيث كل هذه الظواهر مبنية على قوانين الحركة في الفيزياء .

حيث علم الحركة هو دراسة شكل الحركة أي وصف مسار كل جسيم متحرك مع الأخذ بعين الاعتبار سرعة الجسم وتسارعه .



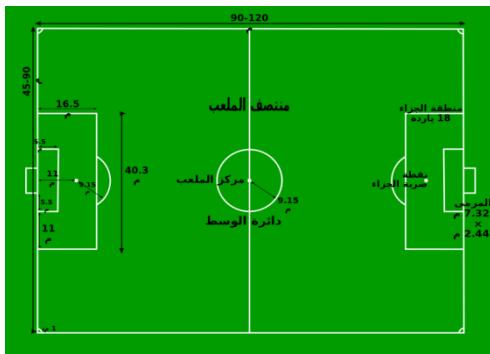
لمحة عن كرة القدم ووصف اللعبة:

كرة القدم وهي رياضية جماعية تسمى بالإنكليزية "football match"

وهي الرياضة الأكثر شعبية وانتشاراً في العالم.

وتُسمى هذه الرياضة بالساحرة المستديرة، لأنها سحرت عقول المشجعين، ويعود تاريخ لعبة كرة القدم إلى ما قبل الميلاد،

هناك أنواع عديدة لكرة القدم ومنها كرة القدم الأمريكية التي سنتناول دراستها في هذا التقرير.



وصف اللعبة:

يتم لعب كرة القدم وفقاً لقوانين محددة **تعرف بقوانين اللعبة**. يُستخدم في اللعب

كرة محاطها 71 سم وتُعرف «بكرة القدم». يتنافس فريقيان في اللعبة يكون كل منهما من 11 لاعب، في ملعب طوله يتراوح بين 100 و 110 متر (110-120 ياردة)، وعرضه يتراوح بين 64 و 75 (80-70 ياردة). وعلى كل فريق أن يدخل الكرة داخل مرمى الفريق الآخر (بين القائمين وتحت العارضة) وبهذه الطريقة يُحرز هدف. الفريق الذي يُحرز أكبر عدد من الأهداف في نهاية المباراة هو الفائز.

صناعة كرة القدم :

يتم صناعة كرة القدم وفق مواصفات معينة كأن تكون كروية الشكل مصنوعة من نسيج جلدي ويتراوح محاطها بين 27 و 28 انش وتنزن 15 أوقية، وهذه المواصفات مفيدة لكي تكون مرنة و تتحرك بسهولة أكبر وبعض هذه المواصفات معتمدة إلى اليوم في البطولات الكبيرة كما تطورت صناعة كرة القدم بطرق مختلفة ولكنها تبقى خاضعة لشروط معينة لكي تتمكن من الحركة بسهولة .

رأينا أن كرة القدم ليست أحد فروع الرياضة الأكثر شعبية في العالم فحسب ، بل يمكن استخدامها كأداة مثيرة للإهتمام تُفحص بواسطتها ظواهر فيزيائية كثيرة من الحياة اليومية . سنحاول في هذا التقرير فحص عدد من قوانين الفيزياء الأساسية وسنرى كيف ينعكس ذلك في لعبة كرة القدم

الهدف من هذه الدراسة:

إنشاء محاكاة لكرة القدم قريبة جدًا من الواقع من خلال تطبيق الدراسة الفيزيائية الموجودة في هذا التقرير و دراسة القوى المؤثرة عليها في الحركة المستقيمة والحركة الدورانية .

ميكانيك حركة الكرة :

بداية سوف نشرح أساسيات ميكانيك حركة الكرة التي تسمح للجسم بالحركة في الملعب، تعريف ديناميكي حركة الكرة هو العلم الذي يعني بدراسة القوى المؤثرة على جسم ما أثناء حركته في الهواء او على سطح مستوى، سنقوم بشرح جميع القوى المؤثرة على كرة القدم ومنها قوة الدفع التي تنتج ميكانيكيا أثناء حركتها.

حيث تستعمل عدة قوانين فيزيائية منها قياس السرعة، والتسارع بالنسبة للاعب الذي يركض، وقانون التسبيق بالنسبة للاعب الذي يرسل الكرة باستعمال القوة اللازمة في قذف الكرة؛ وكذلك المدافع يركض بالسرعة الازمة في محاولة اعتراض الكرة.



القوى المؤثرة على الكرة:

القوى المؤثرة في كرة القدم بشكل عام :

١ - قوة الثقل (الجاذبية) تؤثر من مركز الجسم إلى أسفل

٢ - قوة مقاومة المائع (الجاذبية) الناتجة عن مقاومة الهواء

٣ - قوة ماغنوس ناتجة عن دوران الكرة

٤ - قوة الطفو

٥- قوة الاحتكاك

٦- قوة الدفع

إن القوى المؤثرة على الكرة كثيرة و خاصة عند حركتها
لذلك لنذكر حالات الكرة والقوى المؤثرة في كل حالة :

١- الكرة في حالة السكون :

- حسب قانون نيوتن الأول - قانون الإستمراية :

كل جسم يستمر بالتحرك بنفس السرعة التي يتحرك فيها ما دامت لا تؤثر عليه أي قوة . معنى ذلك انه يجب تشغيل قوة كي يُغير الجسم حركته . لهذا الغرض ، تتواجد الكرة بحالة ساكنة على العشب الأخضر ، أي أن سرعتها ثابتة و متساوية لصفر وتكون القوى المؤثرة هي :

١- قوة الثقل : ناتجة عن حقل الجاذبية الأرضية

عناصرها:

المبدأ: مركز الكرة

الحامل: الشاقول

الجهة: نحو الأسفل

الشدة: كتلة الجسم * تسارع الجاذبية الأرضية

العلاقة: $W = m \cdot g$

حيث: m كتلة الكرة

g تسارع الجاذبية الأرضية

- حسب قانون نيوتن الثالث - قانون الفعل ورد الفعل :

لكل فعل رد فعل مساوي له بالقوة ومعاكس له بالاتجاه

٢- قوة رد الفعل : ناتجة عن رد فعل أرض الملعب على الكرة

عناصرها:

المبدأ: مركز الكرة

الحامل: الشاقول

الجهة: نحو الأعلى

الشدة: تساوي قيمة قوة الثقل

العلاقة: $F = W$

حيث: F قوة رد الفعل



W قوة الثقل

ومنه القوى المؤثرة على الكرة في حال السكون هي معدومة (صفر) لأن :

$$F-W=0$$

وتكون قوة مقاومة الهواء والقوة الناتجة عن الاحتكاك معدومة لأن السرعة تساوي الصفر (الكرة ساكنة)

٢-الكرة في حالة الحركة :

في الحالة العادية للكرة:

حسب قانون نيوتن الأول - قانون الاستمرارية .
وقانون نيوتن الثاني- قانون القوة ، الكتلة والتسارع .

حسب قانون نيوتن الثاني ، يرتبط تسارع الجسم بعلاقة طردية لمحصلة القوى المؤثرة عليه . وقد تعلمنا من قانون نيوتن الاول أنه عندما نركل كرة فإنها تُغير سرعتها . يسمى هذا التغيير تسارع وهو مرتبط بشدة القوة التي تم تشغيلها عليها وباتجاهها .

عندما نركل الكرة بشدة ، ترتفع سرعتها خلال فترة قصيرة من صفر إلى السرعة القصوى ، لذلك يُقال أن تسارعها كبير بعد الركلة فان القوة التي تم تشغيلها لم تعد مؤثرة عليها ويتوقف تسارع الكرة . بالمقابل فان قوة احتكاك الهواء وبعدها

الاحتكاك مع العشب الأخضر تؤثر على الكرة بعكس اتجاه الكرة ، مما يتسبب بتباطئ الكرة وانخفاض سرعتها حتى الصفر.

فإن القوى المؤثرة على حركة الكرة :

قوة الركل أو الدفع ، التي سببت تسارع كبير.

وقدرة الاحتكاك التي سببت تباطؤها حتى سرعة صفر.

ـ قوة الاحتكاك :

ناتجة عن احتكاك الكرة مع العشب .

عنصرها:

المبدأ: مركز الكرة

الحامل : نفس حامل شعاع الحركة

الجهة : نحو اليسار عكس جهة الركلة

الشدة : قوة رد الفعل * عامل الاحتكاك الحركي

$$F_k = N \cdot \mu_k$$

حيث : N قوة رد الفعل بين الكرة والعشب

μ_k بمعامل الاحتكاك الحركي،

ـ قوة الدفع أو الركل :

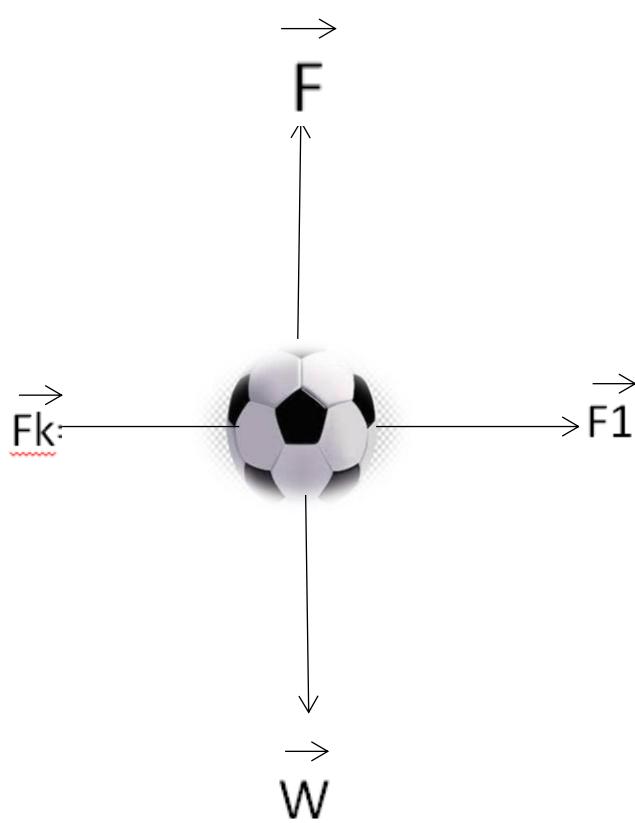
ناتجة عن قوة اللاعب الذي أعطاها للكرة (القوة المؤثرة على الكرة)، وتقاس بواسطة حاصل ضرب كتلته وسرعته . عندما يمر لاعب الكرة لزميله فإنه ينقل قوة

دفعه إلى الكرة ، أي تتحرك رجله ، تصيب الكرة ، وفي اعقاب ذلك تتحرك الكرة بالاتجاه وبالقوة التي تلقتها من الرجل .

عندما تصل الكرة إلى اللاعب الثاني ، فإنه يوقفها ببطء وهو بحالة حركة ، عملياً يقلل قوة دفعها إلى صفر . وبعد ذلك يقوم اللاعب بركل

الكرة ثانيةً ويعطيها قوة دفع مرة أخرى ، وبقليل من الحظ وكثير من المهارة

ربما تصيب الشبكة . عامل آخر يقلل قوة دفع الكرة هو الاحتكاك مع العشب الأخضر ومع الهواء .



عناصرها:

المبدأ: مركز الكرة

الحامل : نفس حامل شعاع الحركة

الجهة : نحو اليمين

الشدة : كتلة الجسم * تسارع

العلاقة: $F_1 = m \cdot a$

حيث : m كتلة الجسم

a تسارع الكرة

القوى المؤثرة على الكرة في حالة العادية:

$$F = ma$$

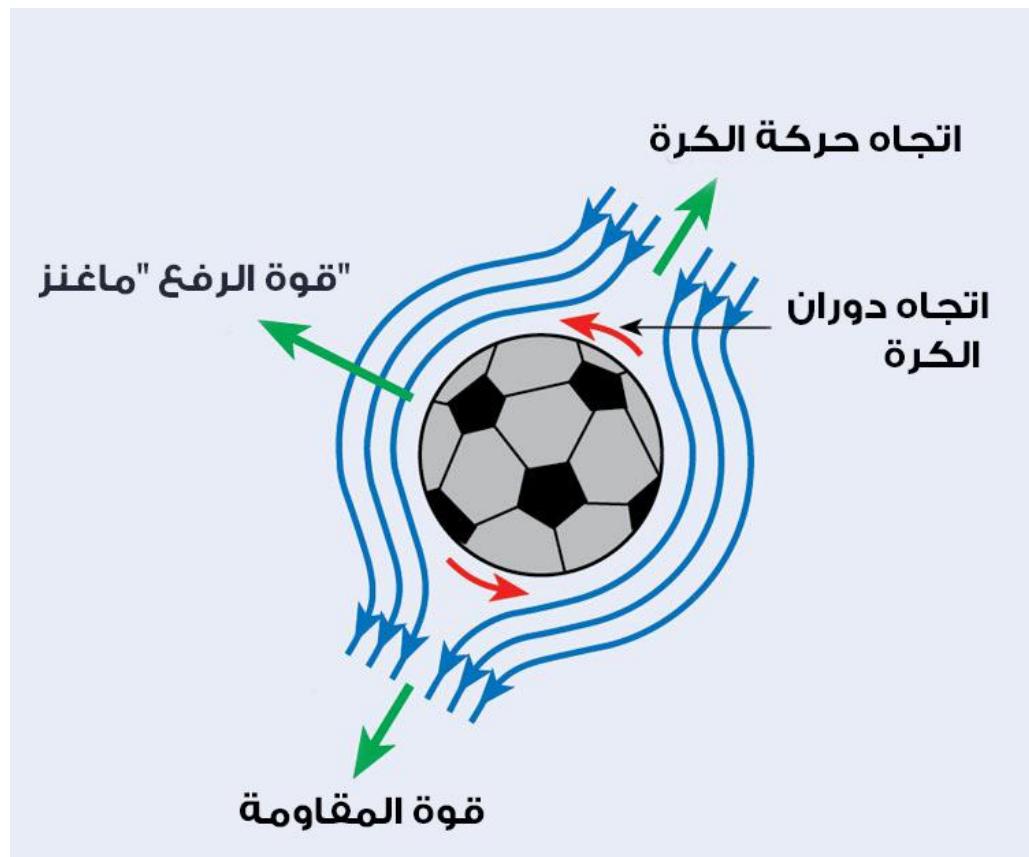
$$F_1 - F_k + F - W = ma$$

وبما أن $F = W$ فتصبح العلاقة :

$$F_1 - F_k = ma$$

$$F_k = F_1 - ma \quad \text{ولحساب } F_k :$$

ولكن عندما تدفع الكرة بزاوية فتحولت من قوة دفع لقوة قذف الكرة، وأيضاً تقادس بواسطة حاصل ضرب الكتلة وسرعة.



في الحالة المثالية للكرة:

سنقوم بداية بدراسة فيزيائية لحركة القذيفة والتي هي مشابهة تماماً لحركة قذف الكرة وذلك بشرط المثالية أي بدون مقاومة هواء والرياح حيث لاحظنا اننا نحتاج احداثيات الجسم المقذوف في فضاء ثلاثي البعد من أجل كل لحظة (x, y, z) وذلك من أجل تطبيق المحاكاة الازمة

بفرض أن الجسم المقذوف هو كرة القدم فان القوى المؤثرة على حركة الكرة في الظروف المثالية هي قوة الجاذبية الأرضية The Gravitational Force وهي القوة التي تقوم بسحب الكرة نحو الأسفل أي ان اتجاهها باتجاه الأرض دوماً

وبتطبيق القانون الأساسي للتحريك نجد:

$$F = m \cdot a$$

$$m \cdot g = m \cdot a$$

$$g = a$$

تسارع القذيفة (الكرة) هو نفسه تسارع الجاذبية الأرضية بالشروط المثالية.

حيث:

W : ثقل الجسم المقذوف N .

g : تسارع الجاذبية الأرضية $m \cdot s^{-1}$.

a : تسارع الكرة $m \cdot s^{-2}$.

m : كتلة القذيفة Kg .

الهدف:

عندما يقذف اللاعب الكرة يجب أن يسيطر على ثلاثة عوامل :

١- سرعة الذي يقذف الكرة فيها.

٢- زاوية رمي الكرة.

٣- دوران الكرة (لولبي ، إلى أعلى أو أسفل).

دوران الكرة:

سيؤثر دوران الكرة في سرعة الكرة في الهواء لأنها ستتأثر بمقاومة الهواء لها فإذا كانت حركة الكرة في الهواء لولبية ستقل مقاومة الهواء لها أكثر من لو كانت الحركة من الأعلى والأسفل.

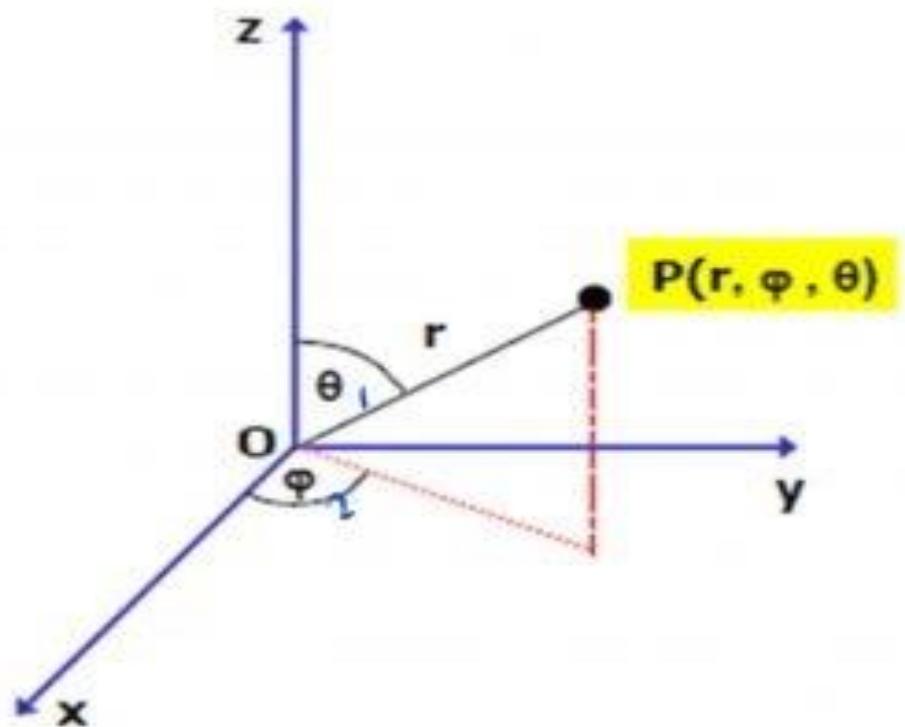
زاوية قذف الكرة:

ولكن على اعتبار أننا نجز هذه الدراسة في فضاء ثلاثي الأبعاد بدلاً من الدراسة العاديّة في الفضاء الديكارتي فسنحتاج في هذه الحالة إلى زاويتين بدلاً من زاوية واحدة.

حيث:

θ_1 : الزاوية على المستوى العاومدي، تسمى زاوية ارتفاع.

θ_2 : الزاوية على المستوى الأفقي، وتسمى زاوية الأفق.



سرعة قذف الكرة:

سرعة تعتمد على مقدار القوة التي تم قذفها ، وبالتالي سرعة ستقسم إلى مركبتين :

مركبة أفقية (سرعة سير الكرة باتجاه أفقى).

مركبة عمودية(سرعة سير كرة باتجاه عمودي).

هاتان مركبتان تعتمد بشكل كبير ع زاوية :

١- اذا قذفت الكرة بزاوية صغيرة مع اتجاه أفقى فستمتلك سرعة أفقية أكبر من سرعة العاومدية، ولن ترتفع الكرة كثيراً عن الأرض، وسيكون زمن تحليق قليل ولكن ستطيع مسافة أفقية كبيرة.

٢- أما إذا قذفت الكرة بزاوية كبيرة فستمتلك سرعة عمودية أكبر من سرعة أفقية، وعندئذ سترتفع الكرة إلى أعلى، وسيكون زمن تحليق طويل ولن تقطع مسافة أفقية كبيرة.

أما بالنسبة للعاملين السابقين هذه العوامل ستحدد :

إلى متى ستظل الكرة معلقة بالهواء.

بعد الكرة عن نقطة الاطلاق عند سقوط.

القذف المائل

القوى الخارجية المؤثرة في الكرة هي قوة ثقلها فقط $\vec{w} = m\vec{g}$ وحسب قانون نيوتن الثاني:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{w} = m\vec{a} \Rightarrow m\vec{g} = m\vec{a}$$

$$\vec{a} = \vec{g} = \text{const} \dots (1)$$

بما أن حامل \vec{v}_0 لا ينطبق على حامل \vec{a} فالحركة منحنية مستوية متغيرة. ندرس الحركة في الجملة:
 محور أفقي \vec{ox}
 محور شاقولي \vec{oy}

نأخذ مبدأ الزمن لحظة القذف ($t=0$) ومبدأ الفوائل نقطة القذف ($x_0=0, y_0=0$)

$$(v_{0x} = v_0 \cos \theta, v_{0y} = v_0 \sin \theta)$$

نسقط العلاقة (1):

على المحور \vec{oy}	على المحور \vec{ox}
$\vec{a}_y = -g = \text{const}$ الحركة مستقيمة متغيرة بانتظام	$a_x = g_x = 0$ الحركة مستقيمة منتظمة
$\vec{v}_y = -gt + v_0 \sin \theta \dots (4)$	$v_x = v_0 \cos \theta \dots (2)$
$\vec{y} = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 \sin \theta t \dots (5)$	$x = v_0 \cos \theta t \dots (3)$

بحذف الزمن بين المعادلتين (3) و(5) نحصل على معادلة المسار:
 من (3):

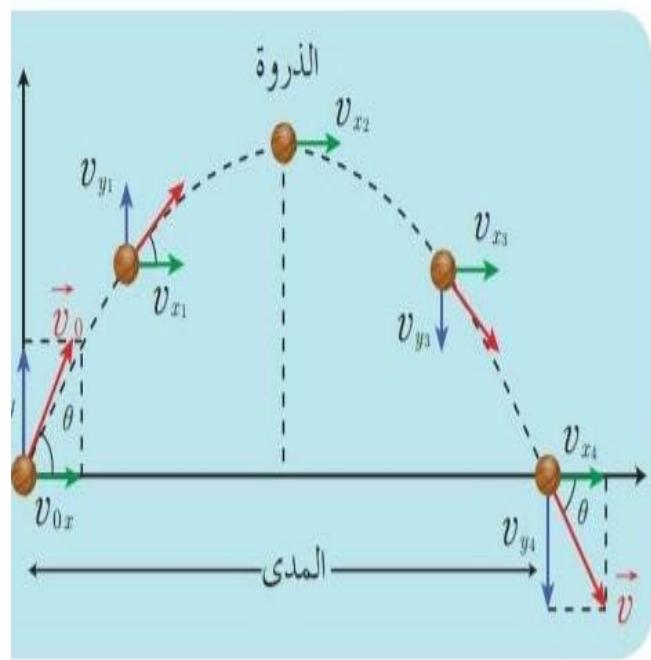
$$t = \frac{x}{v_0 \cos \theta}$$

نعرضها في (5) فنجد:

$$y = -\frac{1}{2}g\left(\frac{x}{v_0 \cos \theta}\right)^2 + v_0 \sin \theta \left(\frac{x}{v_0 \cos \theta}\right)$$

$$y = -\frac{1}{2}g \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 \theta} + x \tan \theta$$

وهي معادلة قطع مكافئ، وحامل المسار هو جزء من قطع مكافئ.



حالات خاصة للقذف:

١ – إذا كانت الزاوية بين حامل شعاع السرعة الابتدائية v_0 وخط الأفق تساوي 0° تدعى بـ **القذف الأفقي**.

وبالتعويض بالمعادلة ٢،٣،٤،٥ نحصل عـ معادلات الحركة بالقذف الأفقي مع ملاحظة أن:

$\cos(0)=1$ و $\sin(0)=0$ ومن الأنسـب توجيه المحور oy نحو الأسفل.

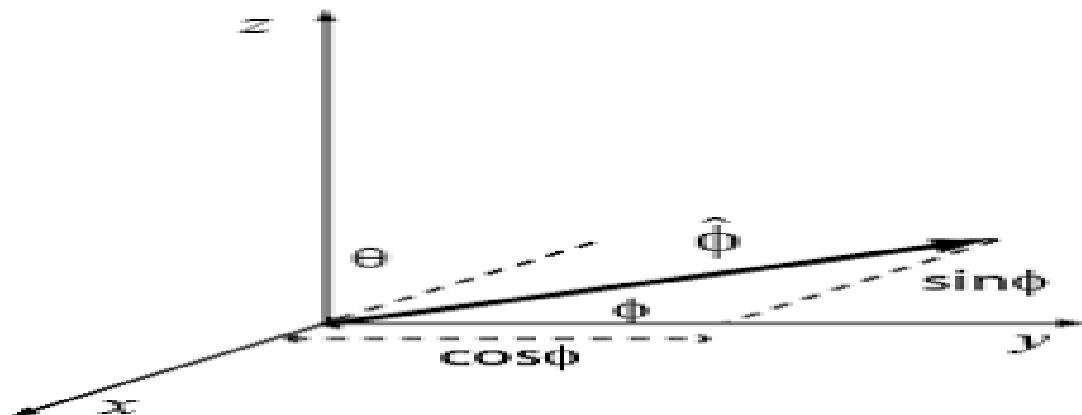
٢-إذا كانت الزاوية بين حامل شعاع السرعة الابتدائية v_0 وخط الأفق تساوي 90° ندعوه **القذف الشاقولي**.

وبالتعويض بالمعادلة ٢،٣،٤،٥ نحصل عـ معادلات الحركة بالقذف الأفقي مع ملاحظة أن:

$\cos(90)=0$ و $\sin(90)=1$

ملاحظة:

(ما سبق لمستوى ثنـي البعد ، عند التطبيق على مستوى ثلاثـي البعد سيـكون على الشـكل الآتـي:)



بناء على المعطيات السابقة فان احداثيات القذيفة في كل لحظة هي كالتالي:

$$X = Vx * \text{time} + X_0$$

$$Y = -1/2 * g * \text{time}^2 + Vy * \text{time} + Y_0$$

$$Z = Vz * \text{time} + Z_0$$

والأن بعد ما تحدثنا عن القذف نستطيع دراسة حركة الكرة أثناء حركتها حيث تتشابه حركة الكرة بحركة القذيفة وتكون القوى المؤثرة هي :

-قوى الجاذبية تؤثر من مركز الجسم إلى الأسفل F_G

-مقاومة المائع الناتجة من مقاومة الهواء F_D

-قوى ماغنوس الناتجة عن دوران الكرة F_M

-قوة الطفو F_B

تحدثنا سابقا عن قوى الجاذبية لنتحدث عن القوى الباقيه :

مقاومة الهواء F_D (Resistance Air) :

كما ذكرنا سابقا فان الكرة المقذوفة في العالم الواقعي تتأثر بعدة عوامل خارجية احد هذه العوامل هي مقاومة الهواء والرياح وهو ينتمي الى مصطلح اكثر عمومية يدعى مقاومة المائع : وهو مصطلح يستخدم في علم ديناميك الموائع يشير الى القوى التي تعيق مرور الجسم خلال مادة مائعة (سائل او غاز) وفي حالتنا فان الهواء هو احد الموائع الغازية.

عناصرها:

الحامد : نفس حامل شعاع الحركة

الجهة : بعكس جهة الحركة

الشدة : كثافة الهواء * مربع سرعة الجسم * معامل الاحتكاك * مساحة سطح الكرة

تعطى قوة مقاومة الهواء بالعلاقة:

$$f_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_d \cdot V^2 \text{ const}$$

حيث:

. C_d : معامل السحبة(Drag coefficiete)

. ρ : كثافة الهواء kg.m⁻³

. V : سرعة الجسم المقدف m.s⁻¹

. A : مساحة مقطع الجسم m²(tribut), وقد تم فرض هذه القيمة كقيمة ثابتة أيضا.

$$K = C_d \cdot A \cdot \rho \cdot \frac{1}{2}$$

وعلى اعتبار ان جميع هذه المعطيات هي ثابتة فسنفرض:

حيث:

k : معامل مقاومة الهواء Air Resistance Drag Parameter

تتسبب قوى السحب في فقدان الكرة للطاقة الميكانيكية أثناء رحلتها والتي تؤدي إلى تقليل نطاق وارتفاع الكرة، في حين تعمل الرياح المتعمدة عن تحولها من مسارها الأصلي.

للاطلاع بشكل مفصل أكثر عن دراسة تأثير مقاومة الهواء على الكرة :

يمكن أن يكون تدفق الهواء حول الكرة إما صفائحياً أو مضطرباً استناداً على عدد رينولذ (Re)، المعروف على النحو التالي:

$$Re = \frac{\rho Dv}{\mu},$$

حيث:

- ρ : كثافة الهواء
- μ : المزروحة الديناميكية للهواء
- D : قطر الكرة
- v : سرعة الكرة

كل هذه القيم عند 20 درجة مئوية، $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ ، وزوجة 1.8×10^{-5} بascal ثانية.^[7]

إذا كان رقم رينولذ منخفضاً جداً أقل من 1، يتم وصف قوى السحب المؤثرة على الكرة من قانون ستوكس:^[8]

$$F_D = 6\pi\mu rv,$$

حيث:

- r : نصف قطر الكرة
- اتجاه الكرة هي اتجاه القوى،

تتراوح قيمة عدد رينولذ لمعظم الكرات الرياضية ما بين 10^4 و 10^5 وبذلك لا يتم تطبيق قانون ستوكس وإنما يتم تطبيق المعادلة التالية:

$$F_D = \frac{1}{2}\rho C_d A v^2,$$

قوى الطفو : FB

أي جسم مغمور في مائع سواء كان هذا المائع سائل أو غاز يتعرض لقوة الطفو

وفقاً لمبدأ أرخميدس فإن هذه القوى تساوي وزن السائل النازح بواسطة

الجسم في حالة الكرة تكون قوة الطفو تساوي :

$$F_B = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g.$$

عندما تكون قوة الطفو صغيرة مقارنة بقوى السحب وتأثير ماغنوس لذلك يتم إهمال قيمتها بأغلب الأحيان .

تأثير ماغنوس :Fm

عند ركل الكرة من طرفها وليس من مركزها نجعلها تدور حول نفسها وتكون حولها ما يشبه دوامة هواء وهكذا اللاعب أيضا لم يعد مؤثرا على حركتها مباشرة حيث يمكن للكرة أن تغير اتجاهها في الهواء. وتقل سرعة حركة الكرة بسبب الاحتكاك مع الهواء والدوامة التي تكونت حولها تؤثر على مسار حركتها وتسبب بتغيير اتجاهها بشكل قوسى وقد يbedo وકأن للكرة اراده خاصة تسمى هذه العملية تأثير ماغنوس.

ويعطى بالقانون:

$$F_m = \frac{8}{3} \pi r^3 \rho w v$$

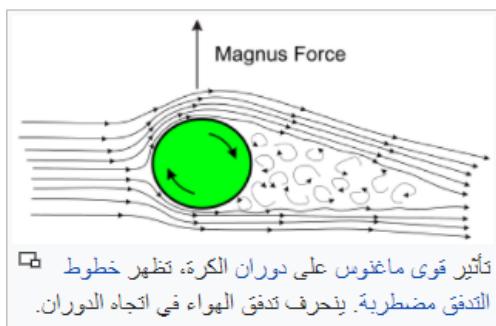
حيث:

r : نصف قطر الكرة .

w : السرعة الزاوية (معدل دوران الكرة

v : سرعة الكرة بالنسبة للهواء .

ρ : كثافة الهواء



يتم توجيه هذه القوة بشكل عمودي على الحركة الكرة وعمودي على محور الدوران حيث يتم توجيه القوة لأعلى أو لأسفل عن طريق تحديد مركز الدوران

وفي الواقع لا يتم إهمال قيمة التدفق لتكون المعادلة بالشكل التالي :

$$F_M = \frac{1}{2} \rho C_L A v^2,$$

حيث:

C_L : معامل الرفع

بعد دراسة القوى نستطيع كتابة العلاقة حسب قانون نيوتن الثاني :

$$\sum \mathbf{F} = m\mathbf{a},$$
$$\mathbf{F}_G + \mathbf{F}_D + \mathbf{F}_M + \mathbf{F}_B = m\mathbf{a} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = m \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2},$$

حيث:

- m : كتلة الكرة.
- \mathbf{a} : التسارع
- \mathbf{v} : سرعة الكرة
- t : الزمن

الآن لندرس قوة الاحتاك بشكل موسع :

● قوة الاحتاك : friction power:

لتقرير داستنا من الواقع أكثر قمنا بإضافة عامل جديد للدراسة وهو قوة الاحتاك، وهو عبارة عن قوة ممانعة لحركة الجسم عند ملامسته للأجسام وتقوم بإيقاف سرعة الجسم

حيث نعطي قوة الاحتاك بالعلاقة:

$$F_k = -m g \mu$$

معامل الاحتاك μ :

وهو قيمة ثابتة تختلف قيمتها باختلاف المادة المكونة للجسمين المحتكين حيث تكون قيمتها تتراوح بين $0,1$.

قمنا بدراستنا الفيزيائية السابقة بإيجاد القيمة المضافة لمركبات السرعة والناتجة عن مقاومة الهواء وعلى اعتبار انه قمنا بتطبيق هذه القوى ونتجت لدينا القيم الجديدة سنقوم بالمتابعة على الدراسة السابقة وايجاد القيمة المضافة الجديدة الناتجة عن قوة

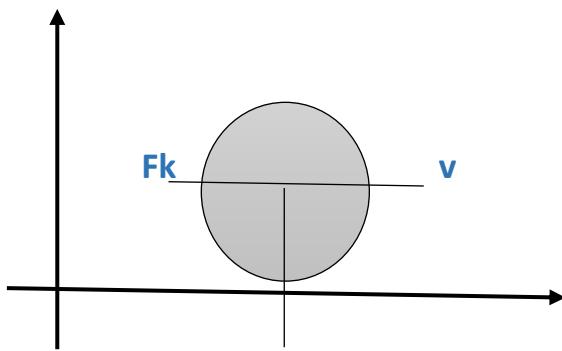
الاحتكاك بتطبيق العلاقة الاساسية في التحرير وبعد حساب تأثير مقاومة الهواء سنلاحظ ان القوى المؤثرة على الكرة هي قوة الاحتكاك وقوة الثقل.

$$F = m a$$

$$-F_k - W = m * a$$

$$-m g \mu -mg = m * a$$

$$dv/dt = - g / (\mu + 1) \quad \star$$



w

وبناءً على العلاقة \star قمنا بالإسقاط على المحاور الأحداثيات الثلاث، حيث استنتجنا القوانين التالية للقيمة المضافة على مركبات السرعة في كل لحظة وهي كالتالي :

$$v_x(t + \Delta t) = (-v_x(t) / v(t)) * F_k * \Delta t$$

$$v_y(t + \Delta t) = (-v_y(t) / v(t)) * F_k * \Delta t$$

$$v_z(t + \Delta t) = (-v_z(t) / v(t)) * F_k * \Delta t$$

حيث:

$V_0 * 10^{-6}$: وقت صغير جداً وهو يساوي تقريباً **DeltaTime**

ax: شعاع الواحدة على المحور x

by: شعاع الواحدة على المحور y

cz: شعاع الواحدة على المحور z.

ما سبق عبارة دراسة الحركة الانسحابية والآن سننتقل لدراسة الحركة الدورانية:

3-2-1 الإزاحة الزاوية (Angular Displacement)

إذا تเคลّكَ جسم حول محور ثابتٍ من النقطة ($\vec{\theta}_o$) إلى النقطة ($\vec{\theta}$) فالمتجه الواصل بينهما يسمى بالإزاحة الزاوية

ويمثل لها ($\Delta\vec{\theta}$) وهي حمبة متجمدة، ومقدارها تساوي :

$$\Delta\vec{\theta} = \vec{\theta} - \vec{\theta}_o \text{ Radian(rad)} \dots (1-3)$$

إن وحدة الإزاحة الزاوية تسمى (الراديان - Radian - نصف قطرية) وتختصر (rad) ، حيث أن :

$$\pi.(rad) = 180^\circ \dots (2-3)$$

وعلية فإن :

$$1rad \approx 57^\circ$$

السرعة الزاوية (Angular Velocity) 2-2-3

تعرف السرعة الزاوية ($\vec{\omega}$) عندما يدور الجسم ويقطع إزاحة زاوية ($\Delta\bar{\theta}$) من ($\bar{\theta}_o$) إلى ($\bar{\theta}$) خلال فترة زمنية (Δt) من (t_o) إلى (t) ، أي أنها النسبة بين تغير الإزاحة الزاوية والتغير في الزمن ، وتقاس السرعة الزاوية بوحدة :

$$\boxed{\vec{\omega}_{av} = \frac{(\bar{\theta} - \bar{\theta}_o)}{(t - t_o)} = \frac{\Delta\bar{\theta}}{\Delta t} (rad/s) \dots (3-3)}$$

أما السرعة الزاوية اللحظية (Instantaneous Angular Velocity) فهي السرعة الزاوية الناتجة عند لحظة زمنية قصيرة (dt) :

$$\boxed{\vec{\omega}_{in} = \frac{d\bar{\theta}}{dt} \dots (4-3)}$$

التعجيل الزاوي (Angular Acceleration) 3-2-3

بنفس الطريقة إذا كانت سرعة الجسم الزاوية عند النقطة ($\bar{\theta}_o$) هي ($\vec{\omega}_o$) وسرعته الزاوية عند النقطة ($\bar{\theta}$) هي ($\vec{\omega}$) فإن التعجيل الزاوي في هذه الحالة تساوي :

$$\boxed{\vec{\alpha}_{av} = \frac{(\vec{\omega} - \vec{\omega}_o)}{(t - t_o)} = \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t} (rad/s^2) \dots (5-3)}$$

أما التعجيل الزاوي اللحظي (Instantaneous Angular Acceleration) فهو التعجيل الزاوي الناتج عند لحظة زمنية قصيرة (dt) .

$$\boxed{\vec{\alpha}_{in} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\bar{\theta}}{dt} \right) = \frac{d^2\bar{\theta}}{dt^2} \dots (6-3)}$$

ملحوظة عامة : الجدول التالي يبين المقابلة بين متغيراته المركبتين الخطية والدورانية :

الحركة الدورانية	الحركة الخطية	نوع الحركة المتغير
$\vec{\theta}(rad)$	$\vec{x}(m)$	الإرادة
$\vec{\omega}(rad/s)$	$\vec{v}(m/s)$	السرعة
$\vec{\alpha}(rad/s^2)$	$\vec{a}(m/s^2)$	التعجيل

استنتاج القانون المعبد عنه نظرية التسارع الزاوي :

$$\vec{\Gamma}_{\Delta} = \frac{\Delta \vec{L}}{\Delta t}$$

وجدنا أنّ:

$$\vec{L} = I_{\Delta} \vec{\omega}$$

$$\vec{\Gamma}_{\Delta} = I_{\Delta} \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

$$\vec{\Gamma}_{\Delta} = I_{\Delta} \vec{\alpha}$$

$$\Sigma \vec{\Gamma} = I_{\Delta} \vec{\alpha}$$

التي تكتب جبرياً:

وبهذا تكون قد انتهينا من الدراسة النظرية لمسار حركة الكرة بعوامل الجو المختلفة.

تأثير البيئة وتغييرها :

في الفضاء :

لو كنا نلعب كرة قدم في الفضاء ، ستتحرك الكرة بسرعة ثابتة بعد الركلة ، ولأن الاحتكاك قليل جداً لاستمررت الكرة بنفس السرعة لمسافة هائلة ، ونظرياً إلى ما لا نهاية.

كرة حديدية :

نعلم أن كلما كانت الكتلة أكبر تحتاج إلى قوة أكبر من أجل زيادة التسارع ، وبالطبع هذا منطقي ولأن معظم كرات القدم لها نفس الكتلة تقريباً ، يمكن تجاهلها أحياناً، لكن إذا نظرنا إلى القوة التي تُشَغِّلُ على كرة قدم مقارنة بالقوة المشغلة على كرة حديدية مثلاً ، سنكتشف أنها بحاجة إلى قوة أكبر بكثير من أجل تحريك الكرة الحديدية لنفس السرعة ونفس المسافة.

نوع السطح :

نعلم أن كرة القدم تتأثر بقوه الاحتكاك من خلال احتكاك الكرة بأرض الملعب وتخالف قوه الاحتكاك في نوعيه سطح أرض ملعب (أملس - خشن) حيث يعتمد الاحتكاك على خصائص الأسطح الملامة ، نظراً لأن الأسطح الخشنة قد تتطلب قوه أكبر لتحريكها وبالتالي تقل المسافة التي يقطعها الجسم المتحرك (الكرة) و قوه الاحتكاك تقل في حالة الأسطح الملساء وبالتالي تزداد المسافة التي يقطعها الجسم المتحرك (الكرة)

شكل سطح الكرة :

إذا كان سطح الكرة يحتوي على انخفاضاتٍ وارتفاعاتٍ (أي أنه ليس أملساً) فإن رقم رينولد سيكون أقل مما إذا كان سطح الكرة أملساً. فعندما تكون حركة الكرة بطيئةً فستكون قوه المقاومة العكسية مرتفعةً، ولكن إذا ضربت الكرة بسرعةٍ كبيرةٍ فإن سرعتها لن تتنبأ بسبب قوه المقاومة

• الدراسة الفيزيائية لاصطدام الكرة وارتدادها:

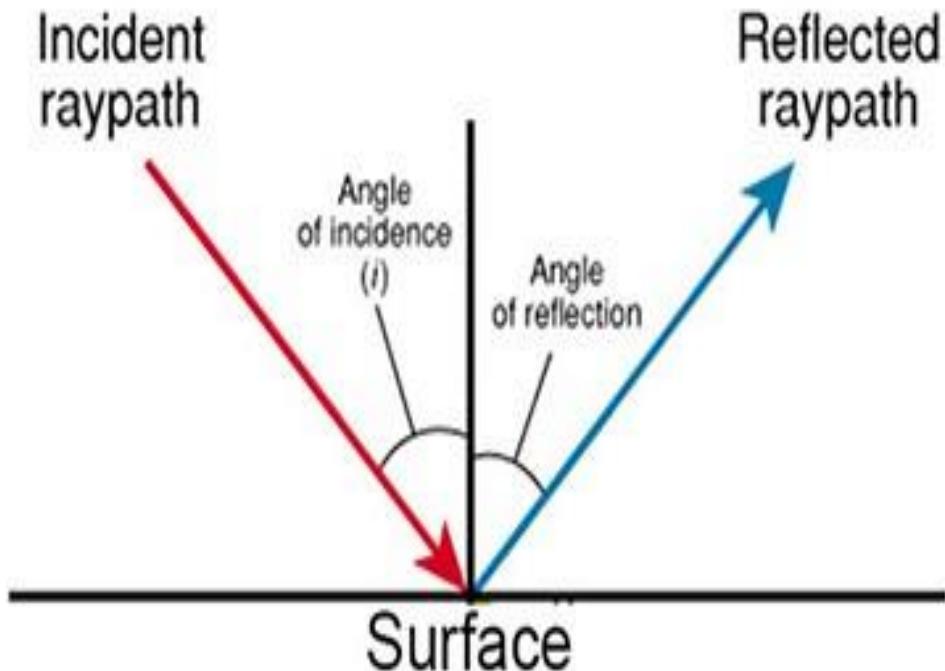
بعد دراسة مسار الحركة المقدوفة قمنا بتوسيع هذه الدراسة لتشمل اصطدام الكرة وارتطامها وذلك بعوامل مختلفة فمثلا عند اصطدام جسم ذهبي بالأرض ستكون سرعته بعد الصدم تختلف عن السرعة الناتجة عند اصطدام مطاطي بالأرض نفسها، وهذه أحد العوامل التي تطرقنا لها بدراستنا.

زاوية الارتداد:

عندما نتكلّم عن مفهوم الصدم والارتداد فان زاوية الارتداد لهذا الجسم المرتد ستكون اول ما يجب دراسته؛ وهو مصطلح يدل على الزاوية الجديدة التي سيتحرك الجسم على اساسها ولكن هذه الزاوية تختلف طريقة حسابها باختلاف السطح الذي ارتطم به الجسم ولذلك سنتناول شقين اساسيين لدراسة هذه الدراسة، الشق الاول هو ارتطام الجسم بسطح "كالأرض" اضافة الى الشق الثاني الذي تناولنا به دراسة ارتطام الجسم بأجسام أخرى

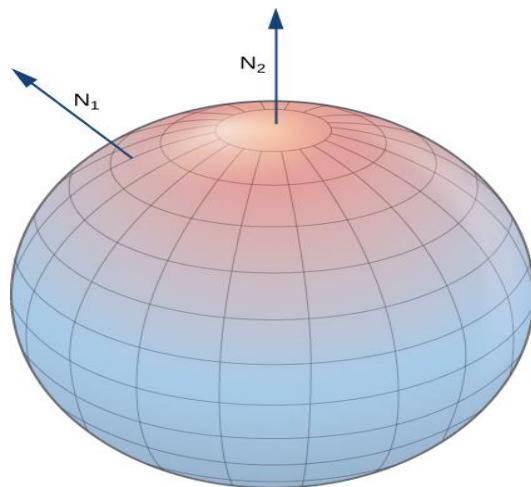
زاوية الارتداد مع الزاوية المستطحة:

ان زاوية الارتداد في هذه الحالة تساوي دوما زاوية الورود "زاوية الاصطدام" وهي الزاوية التي يشكلها شعاع مسار الكرة مع السطح في لحظة الصدم.



• مفهوم اشعة ارتداد الاجسام : vector normal

ان كل جسم في الحياة الواقعية او الحاسوبية مكون من عدد من النقاط فعليا فمثلا لو نظرنا الى جسم كوري فهو في الواقع ليس جسم واحد بل عدد كبير من النقاط او الذرارات المتلاصقة والتي تكون الشكل الكروي لهذا الجسم وبناء على هذه النقاط المكونة لهذا الجسم فان كل نقطة لديها شعاع افتراضي خارج منها يدعى هذا الشعاع بشعاع النقطة العامودية **vector normal** وهو شعاع يعكس دوما تجاه هذه النقطة في الفضاء وقمنا بتوضيح هذه الفكرة في الشكل التالي:



• الصدم :

عند اصطدام الكرة بسطح ما يتكون حرارة وصوت الناتجة من فقدان الكرة جزءا من طاقتها الحركية كما تتحول جزءا من تلك الطاقة إلى طاقة حركة دورانية أما الجزء المفقود من تلك الطاقة فتعتمد على قيمة الرد ويتم التعبير عنه وفق المعادلة :

$$e = -\frac{v_f - u_f}{v_i - u_i},$$

حيث:

v_f : السرعة النهائية للكرة

v_i : السرعة الابتدائية للكرة

e_1 : السرعة النهائية المؤثرة على السطح

e_2 : السرعة الابتدائية المؤثرة على السطح

ويكون معامل الرد في التصادم المرن مساوياً للواحد $e=1$
وفي التصادم عديم المرونة مساوياً للصفر $e=0$

اذا في حالتنا تصادم الكرة بالحائط هو تصادم مرن ويكون معامل الرد مساوياً لـ $e=1$

يمكن أن يتأثر معامل الرد الخاص بالكرة بعدة أشياء، حيث يتأثر بشكل أساسى :

-طبيعة السطح المؤثر (مثل العشب والخرسانة والشبكات السلكية)

-مادة الكرة (مثل الجلد والمطاط والبلاستيك)

-الضغط داخل الكرة (إذا جوفاء)

-مقدار الدوران الناجم عن الكرة عند الاصطدام

-سرعة التأثير

يمكن للظروف الخارجية مثل تغيير درجة الحرارة تغيير خصائص السطح المؤثر أو الكرة مما يجعلها إما أكثر مرونة أو أكثر صلابة وهذا سيؤثر على عامل الرد

بشكل عام سوف تتأثر الكرة بشكل أكبر عند السرعات عالية التأثير وبالتالي ستفقد المزيد من طاقتها مما يقلل من معامل الرد

• حساب سرعة الجسم بعد الصدم:

انطلاقا من قانون مصونيه الطاقة الذي ينص على ان الطاقة لا تفني ولا تخلق من العدم وإنما تنتقل من شكل الى اخر ولكن بداية سنعتبر ان الطاقة ستأخذ الشكل الحركي؛ وبالتالي فان كمية الحركة قبل الصدم ستكون تساوي كمية الحركة بعد الصدم .

$$P_{\text{before}} = P_{\text{after}}$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'{}_1 + m_2 v'{}_2$$

نلاحظ من العلاقة السابقة اننا نحتاج لقيمة v' وهي سرعة الجسم الاول والجسم الثاني بعد الصدم، ولكي نستطيع ايجاد هاتين القيمتين سنحتاج الى معادلتين بمجهولين لذلک سنقوم بإسقاط شعاع السرعة على محور أحد المحورين اما yz او xz او xy

سنقوم باختيار المحورين xy وبالتالي سيكون:

$$P_{x\text{-before}} = P_{x\text{-after}} \quad 1$$

$$P_{y\text{-before}} = P_{y\text{-after}} \quad 2$$

انطلاقا من العلاقة ١: $m_1 v_1 x + m_2 v_2 x = m_1 v'{}_1 x + m_2 v'{}_2 x$:

نعلم أن: $v_x = v \cos(\theta)$ منه:

$$m_1 v_1 x + m_2 v_2 x = m_1 v'{}_1 \cos(\theta_1) \sin(\theta_2) + m_2 v'{}_2 \cos(\theta_3) \sin(\theta_4)$$

حيث :

θ1 : زاوية القذف على المستوى العامودي قبل الصدم.

θ2 : زاوية القذف على المستوى الافقى قبل الصدم .

θ3 : زاوية القذف على المستوى العامودي زاوية الارتداد العامودية.

θ4 : زاوية القذف على المستوى الافقى زاوية الارتداد الافقية.

انطلاقا من العلاقة ٢ وبنفس الطريقة: $m_1 v_{1y} + m_2 v_{2y} = m_1 v^1 \sin(\theta_1) + m_2 v^2 \sin(\theta_3)$

نعلم ان: $v_y = v \sin(\theta_1)$ ومنه:

$$m_1 v_{1y} + m_2 v_{2y} = m_1 v^1 \sin(\theta_1) + m_2 v^2 \sin(\theta_3)$$

وهنا نلاحظ اننا حصلنا على معادلتين بمحظتين v^1 , v^2 ,

وبتعويض قيمة المعاليم والحل المشترك للمعادلتين تنتج لدينا قيمة السرعة بعد الصدم لكلا الجسمين

ملاحظة:

لإيجاد قيمة السرعة بعد اصطدام الجسم بالارض او الحائط، نقوم بتطبيق القانون السابق ولكن نعتبر ان كتلة الارض كبيرة جدا فيكون النقص بسرعة الجسم الصغير

اعتمادا على ماسبق :

ونحن بحالتنا لدينا تصادم الكرة فقط بالحائط والأرض لذلك يكون النقصان في سرعة الكرة لأن كتلة كل من الأرض والحائط أكبر بكثير من الكرة .

مفهوم الطاقة الضائعة:



هناك عدة عوامل اضافية من الممكن ان تؤثر على سرعة الكرة عند الاصطدام وهي تكون على شكل طاقة ضائعة تسببها عدة عوامل مختلفة . فحسب قانون مصونيه الطاقة ان جميع

تحولت من شكل الطاقة الحركية الى شكل اخر من اشكال الطاقة . على سبيل المثال عند اصطدام كرة القدم بأرض خشنة سينتج عن هذا الصدم صوت ويعبر هذا الصوت بطاقة ناتجة عن الاصطدام وبالتالي فان قيمة هذه الطاقة ستطرح من قيمة الطاقة الحركية للجسم

المترطم . اما في حالة كان الجسم المقذوف معدني وارتطم بجسم معدني اخر سينتج عن هذا

الصدم غالبا شارة كهربائية اضافة الى الصوت الناتج عن الاصطدام ، وبجمع هذه الطاقات وطرحها من قيمة الطاقة الحركية للجسم تنتج لدينا سرعة الجسم الجديدة . هناك ايضا عامل اخر من الممكن اعتباره طاقة ضائعة ، وهو التشوه الحاصل بالأجسام ، فمثلا عند اصطدام كرة ثلجية بحائط سوف تتشهو هذه الكرة بالكامل وتتحول الطاقة الحركية بالكامل

إلى طاقة ضائعة هناك الكثير من الاشكال الأخرى للطاقة الضائعة تنتج عن اصطدام اجسام

ذات عوامل مختلفة ببعضها ، ولكن اقتصرنا بدراسةنا على الطاقة الضائعة بشكل صوتي ، وهي تعتبر طاقة ضائعة كهربائية .

تحويل الدراسة الفيزيائية الى محاكاة:



في البداية قمنا بإنشاء صف مهمته تخزين جميع المعطيات الفيزيائية الأساسية اللازمة لبداية الدراسة

كمراحلة اولية قمنا بتثبيت جميع هذه القيم وهي كالتالي:

$$V_0 \text{ (initial velocity)} = 100 \text{ m.s}^{-1}$$

$$G \text{ (gravity)} = 9.82 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\text{Mass} = 0.3 \text{ kg}$$

$$\mu \text{ (معامل احتاك) between -1 and 1}$$

$$\rho \text{ (كثافة الهواء)} = 1.225$$

$$Cd \text{ (معامل السحب)} = 0.3$$

$$dt(\text{time}) = 0.06 \text{ s}$$

$$R = 0.11 \text{ m}$$

تطبيق فكرة قذف الكرة:



بداية سنحتاج الى تحديد المعطيات الأساسية للكرة وهي زاوية الكرة، السرعة الابتدائية كتلة الكرة، نقطة بداية الكرة . بعد هذه المعطيات سنحتاج امر اضافي اخير قبل البدء بتطبيق القوانين الفيزيائية على الكرة وهو حساب الزمن من اجل كل لحظة، ثم تطبيق هذه الفكرة برمجيا وذلك عن طريق انشاءتابع `getCurrentTime` يقوم برد التاريخ

الحالى ولكن بعد تحويله الى ثواني فقط، ومن ثم قمنا بتعريف متتحول باسم `intialTime` يقوم برد تاريخ بداية القذف، ثم من اجل كل لحظة نقوم بتطبيق القانون (التاريخ الحالى - تاريخ البداية) لتنتج لدينا قيمة اللحظة الحالية.

`Time = getCurrentTime() - intialTime`

تحديد نقطة بداية القذف:



قمنا سابقا عند تجهيز البيئة الاساسية للمشروع بتعريف صف `Camera` يحتوى على

المفاهيم الاساسية لتحريك الكاميرا في انحاء البيئة، وبالتالي لهذه الكاميرا الحداثيات في العالم الافتراضي في كل لحظة، وعند انشاء الكرة المقذوفة الجديدة ستكون نقطة بداية القذف لهذا الكرة هي احداثيات الكاميرا ”مضاف لها قيمة صغيرة ليظهر الجسم امام الكاميرا

في بداية القذف”， وبالتالي أصبح لدينا جميع المعطيات الالازمة لتطبيق القوانين اللازمة لتحريك الجسم، لذلك مهمته تطبيق القوانين الفيزيائية الموجودة في الصفحة ٩ (من هذا التقرير العملي، ومن ثم تحديث احداثيات الجسم من اجل كل `frame` ، وعلى اعتبار ان المحاكاة `frame per second` $\sim 120 \sim 30$ فتظهر القذيفة تتحرك بشكل سلس:

تحديد زاوية القذف:



كما تحتوي الكاميرا المذكورة سابقا على مفهومين هما pitch & yaw حيث يدل المصطلح

Yaw على الزاوية التي تحركت بها الكاميرا على المستوى الافقى، وعند تحريك الكاميرا باتجاه

اليسار تزداد قيمة هذه الزاوية وهكذا، وعلى هذا المبدأ تم تعريف المصطلح pitch والذي يمثل زاوية الكاميرا على المستوى العامودي، وبالتالي عند انشاء الجسم المقذوف بالإحداثيات الموافقة يتم تحديد زاوية القذف الافقية وهي ذاتها الزاوية yaw وكذلك الامر

بالنسبة لزاوية القذف العامودية وستكون ذاتها z الزاوية .pitch

• تطبيق أثر مقاومة الهواء على المحاكاة:

على نفس المبدأ فإننا سنقوم بحساب تقارير مقاومة الهواء على مسار وسرعة القذيفة من أجل كل frame حيث ان مقاومة الهواء تؤثر على قيمة مركبات السرعة على المحاور الاحداثية، وهي قيمة مضافة الى القيمة الاساسية للمركبة تكون اما موجبة او سالبة، لذلك قبل حساب الاحداثية الحالية للجسم المقذوف قمنا بحساب هذه القيمة المضافة وجمعها مع القيمة الاساسية لمركبات السرعة وذلك بناءا على القوانين المستنيرة سابقا في الدراسة النظرية في الصفحة ١١ (من هذا التطبيق العملي، وبعد تطبيق هذه القوانين نقوم بتطبيق قوانين حساب الاحداثيات) وذلك اعتمادا على القيم الجديدة وبذلك ستتأثر الحركة بقوة مقاومة الهواء .

✓ محاكاة فيزياء الصدم والارتداد:

قبل تطبيق القوانين التي استنرجناها سابقا سنحتاج التطبيق الى عدة امور اضافية لنتتمكن من تحقيق هذه الفكرة، واهم هذه الامور هي تحديد لحظة الصدم مع الاسطح المحيطة بذلك قمنا بتعريف صفات جديدة يحوي جميع التوابع الالازمة لفحص لحظة الصدم وتطبيق الاجرائيات الالازمة باسم Impactwall .

✓ محاكاة دوران الكرة :

قمنا تحديد زاوية دوران الكرة من خلال كلاس .DIAGONAL

● ادخال معامل الاحتكاك على الدراسة:

ان قوة الاحتكاك يتم تطبيقها في كل لحظة ملامسة الجسم لجسم اخر ولكن في حالة كانت لحظة الملامسة صغيرة سيكون التأثير على سرعة القذيفة صغيرة ايضاً لذلك فان التأثير لن يظهر بشكل واضح الا في حالة انسحاب الجسم المقذوف على الارضية، اي طالما ان الجسم يتحرك ولكن تحركه على المحور θ تكون قيمته صفر فستكون هذه حالة انسحاب على الارض في هذه الحالة سيتم تطبيق اثر الاحتكاك بشكل مماثل لتطبيق اثر مقاومة الهواء على الحركة، حيث قمنا بحساب القيمة المضافة على مركبات السرعة من اجل كل لحظة وذلك اعتماداً على القوانين المشروحة سابقاً في الصفحة (١٢) من هذا التطبيق العملي، ولكن على اعتبار اننا نطبق هذه المحاكاة من اجل عدة مواد مختلفة فان اثر هذه القوة الممانعة سيختلف باختلاف نوع المادة .

الكلاسات المستخدمة :

:CLASS BALL •

يحتوي بداخله احداثيات الكرة ولونها ونصف قطر وكتلتها وكل ما يتعلق بالكرة

: CLASS PHiscsBall •

يحتوي على مجموعة من الأشعة تمثل مجموعه القوى المؤثرة في الكرة

:CLASS Vector3D •

التابع المستخدم في اسقاط القوى على المحاور X,Y,Z

: CLASS Impact •

كلس الصدم هو عبارة عن تابع يقوم بتمرير احداثيات الكرة الحالية وفي كل مرة يراقب وجود حالة صدم أولا بالجدار او بالأرض

:CLASS DIAGONAL •

كلس دوران يقوم بحساب زاوية الدوران من خلال السرعة الخطية ثم يقوم بحساب السرعة الزاوية ثم يحسب زاوية دوران الكرة

:CLASS MAIN •

التابع الأساسي يتم فيه استدعاء جميع التوابع السابقة

:CLASS player •

يوجد بداخله احداثيات اللاعب ودراسة حركته في رمي الكرة

تابع الكرة في حالة السكون:

```
void Ball1::ballssleep(int ball)
{
    phiscs.Fc.x = 0;
    phiscs.Fc.y = 0;
    phiscs.Fc.z = 0;
    phiscs.SUMFORCES.x = 0;
    phiscs.SUMFORCES.y = 0;
    phiscs.SUMFORCES.z = 0;

    glPushMatrix();
    glTranslated(x, 150, z);
    glRotated(r1 * 180 / M3D_PI, 0, 0, 1);
    ball1(ball, 0, x, y, z, 150, 65, phiscs.t);
    glPopMatrix();
}
```

تابع الكرة في الحالة المثلية:

```
void Ball1::ballsperfect(int ball) {
    phiscs.Fc.x = 10000 * cos(phiscs.tata1);
    phiscs.Fc.y = 0;
    phiscs.Fc.z = 10000 * sin(phiscs.tata2);
    phiscs.SUMFORCES.x = phiscs.Fc.x;
    phiscs.SUMFORCES.y = phiscs.Fc.y;
    phiscs.SUMFORCES.z = phiscs.Fc.z;

    phiscs.a.x = phiscs.SUMFORCES.x / phiscs.M;
    phiscs.a.y = phiscs.SUMFORCES.y / phiscs.M;
    phiscs.a.z = phiscs.SUMFORCES.z / phiscs.M;

    phiscs.V.x = index1 * (phiscs.a.x)*phiscs.t;
    phiscs.V.y = (phiscs.a.y)*phiscs.t;
    phiscs.V.z = indez1 * (phiscs.a.z)*phiscs.t;

    x = (phiscs.V.x)*phiscs.t + this->phiscs.x;
    y = (phiscs.V.y)*phiscs.t + this->phiscs.y;
    z = (phiscs.V.z)*phiscs.t + this->phiscs.z;
```

```
glPushMatrix();
glTranslated(x, 150, z);
glRotated(r2 * 180 / M3D_PI, 0, 0, 1);
ball1(ball, 0, x, 150, z, 150, 65, phiscs.t);
glPopMatrix();

impact = imp.Impactwall(x,y, z, r);
if (impact == 2)
{
    r2 -= direc1* abs(diagonal.Diagonalball(r, phiscs.V.x, phiscs.t));
    cout << "1k11111";
}

if (impact == 0)
{
    index1 = -1;
    direc1 = -1;
}
}

if (impact == 3 )
{
    direc1 = +1;
    index1 = +1;
}

if (impact == 1)
{
    indez1 = -1;
}

if (impact == 4)
{
    indez1 = +1;
}
```

```

void Ball1::ballsft(int ball) {
    phiscs.Ft.x = -(phiscs.M*phiscs.g*phiscs.u) + ft;
    phiscs.Ft.z = -(phiscs.M*phiscs.g*phiscs.u) + ft;
    phiscs.Ft.y = 0;
    phiscs.Fc.x = 12000 * cos(phiscs.tata1);
    phiscs.Fc.y = 0;
    phiscs.Fc.z = 12000 * sin(phiscs.tata2);

    phiscs.a.x = phiscs.SUMFORCES.x / phiscs.M;
    phiscs.a.y = phiscs.SUMFORCES.y / phiscs.M;
    phiscs.a.z = phiscs.SUMFORCES.z / phiscs.M;
    phiscs.V.x = index * (phiscs.a.x)*phiscs.t;
    phiscs.V.y = (phiscs.a.y)*phiscs.t;
    phiscs.V.z = indez * (phiscs.a.z)*phiscs.t;

    x = (phiscs.V.x)*phiscs.t + phiscs.x;
    y = (phiscs.V.y)*phiscs.t + phiscs.y;
    z = (phiscs.V.z)*phiscs.t + phiscs.z;
    phiscs.x = x;
    phiscs.y = y;
    phiscs.z = z;

    if (movement == false)
    {
        if (phiscs.Fc.x < 0)
        {
            phiscs.SUMFORCES.x = phiscs.Fc.x - phiscs.Ft.x;
            move = true;
        }
        else
            phiscs.SUMFORCES.x = phiscs.Fc.x + phiscs.Ft.x;
        phiscs.SUMFORCES.y = phiscs.Fc.y + 0;
        if (phiscs.Fc.z < 0)
        {
            phiscs.SUMFORCES.z = phiscs.Fc.z - phiscs.Ft.z;
            mov1 = true;
        }
        else
            phiscs.SUMFORCES.z = phiscs.Fc.z + phiscs.Ft.z;
        movement = true;
    }
    else {
        if (move = true)
            phiscs.SUMFORCES.x = phiscs.SUMFORCES.x - phiscs.Ft.x;
        else
            phiscs.SUMFORCES.x = phiscs.SUMFORCES.x + phiscs.Ft.x;
        if (mov1 = true)
            phiscs.SUMFORCES.z = phiscs.SUMFORCES.z - phiscs.Ft.z;
        r3+= abs(diagonal.Diagonalball(r, phiscs.V.x, phiscs.t));
    }
}

```

تابع الكرة في الحالة الطبيعية:

```

else
    phiscs.SUMFORCES.z = phiscs.SUMFORCES.z + phiscs.Ft.z;
if ((phiscs.SUMFORCES.x >= 0) && (move = true))
{
    phiscs.SUMFORCES.x = 0;
}
if ((phiscs.SUMFORCES.x <= 0) && (move = false))
{
    phiscs.SUMFORCES.x = 0;
}
if ((phiscs.SUMFORCES.z >= 0) && (mov1 = true))
{
    phiscs.SUMFORCES.z = 0;
}
if ((phiscs.SUMFORCES.z <= 0) && (mov1 = false))
{
    phiscs.SUMFORCES.z = 0;
}

if (impact == 0 )
{
    index = -1;
    direc = -1;
    ft -=5;
}

if (impact == 3 )
{
    direc = +1;
    index = +1;
    ft -=5;
}

if (impact == 1 )
{
    indez = -1;
    direc = +1;
    ft -=5;
}

if (impact == 4 )
{
    indez = +1;
    ft -=5;
}

```



تابع تحديد لحظة الصدم :

```

int Impact1::Impactmag(int x, int y, int z, int r)
{
    if ((x + r >= 5850) ||
        (z - r <= -850) ||
        (x - r <= -5800) ||
        (z + r >= 6850) || (y - r < 150))
    {
        Impa = true;
    }

    if (Impa == true)
    {
        if ((x - r <= -5800)// يسار // الصدم على محور X
        {
            Impax = true;
            return 0;
        }
        if ((x + r >= 5990)// يمين // الصدم على محور X
        {
            Impax = true;
            return 3;
        }

        if ((z - r <= -900)// الصدم على محور Z// أمام
        {
            Impaz = true;
            return 1;
        }

        if ((z + r >= 6900)// الصدم على محور Z// خلف
        {
            Impaz = true;
            return 4;
        }

        if ((y - r) < 150)// الصدم بالارض// زاوية
        {
            Impay = true;
            cout << "kkkkkkkkkkkk";
            return 5;
        }
    }

    return 2;
}

```

تابع حساب زاوية دوران الطابة :

```

float Diagonal::Diagonalball(float r1, float v1, float t1)
{
    r1 = r1 / 100;//convert to m
    w = v1 / r1;
    float tita1 = w / t1;
    return tita1;
}

```

تابع قذف الكرة :

```
glPushMatrix();
glTranslated(x, y, z);
glRotated(r3 * 180 / M3D_PI, 0, 0, 1);
ball1(ball, 0, x, y, z, 150, 65, phisics.t);
glPopMatrix();
if (movement1 == false)
{
    const float PI = atan(1.0f)*4.0f;

    V.x = 100 * cos((PI / 2) - (70 * PI) / 180.0f)*cos((PI)-(tata1 * PI) / 180.0f);
    V.y = 100 * sin((PI / 2) - (70 * PI) / 180.0f);
    V.z = 100 * cos((PI / 2) - (70 * PI) / 180.0f)*sin((PI)-(tata1 * PI) / 180.0f);

    cl = (r *w2) / v0;
    //cl = (r *w) / v0;
    cout << "c1111111111111111" << cl;
    movement1 = true;
}
else
{
    //cl = 0.1;
    ValocityAbs = sqrt(pow(V.x, 2) + pow(V.y, 2) + pow(V.z, 2));
    Fd.x = 0.5*1.225*0.3 * 3.14*r*r*(ValocityAbs*V.x);
    Fd.y = 0.5*1.225*0.3 * 3.14*r*r*(ValocityAbs*V.y);
    Fd.z = 0.5*1.225*0.3 * 3.14*r*r*(ValocityAbs*V.z);

    Fm.x = 0.5*1.225*cl * 3.14*r*r*(ValocityAbs*V.x);
    Fm.y = 0.5*1.225*cl * 3.14*r*r*(ValocityAbs*V.y);
    Fm.z = 0.5*1.225*cl * 3.14*r*r*(ValocityAbs*V.z);

    a.x = (-Fd.x - Fm.x +ft) / M;
    a.y = (-M * 10) - Fd.y - Fm.x + ft) / M;
    a.z = (-Fd.z - Fm.x ) / M;

    V.x = index*((a.x)*0.06 + V.x ) ;
    V.y = indey*((a.y)*0.06 + V.y) ;
    V.z = indez*((a.z)*0.06 + V.z) ;
}
x = (40*V.x)*0.06 + x;
y = ((30*V.y)*0.06 + y) ;
z = (V.z)*0.06 + z;

impact =imp.Impactmag(x, y, z, r);
r3 -= direc * abs(diagonal.Diagonalballmag(w2, 0.06));
```

التصيف البرمجي :

تم العمل باستخدام لغة **C++**
والبيئة البرمجية ثلاثية البعد **OPEN GL**
من خلال برنامج **VISUAL STUDIO**



١- اختيار **C++** :

تميز هذه اللغة بالسهولة والبساطة
لذلك قمنا باختيارها لما توفره من مرونة في الاستخدام

٢- اختيار **LEGACY** :

تم اختيار البيئة **LEGACY** لكونها مدرومة من قبل **C++** حيث قامت بتوفير احتياجاتنا بشكل كامل لما تميز من خصائص كما أنها تعمل بتوافق تام مع **C++**
كما أنها تتلقى تحديثات دائمة توافق تطور قدرة معالجة الحواسيب



واجهة المستخدم :



يمكن المستخدم من إدخال كتلة الكرة وشكلها إضافة إلى السرعة الابتدائية في القذف وتحديد زوايا القذف على المحاور :



محاكاة الكرة :



حالة السكون



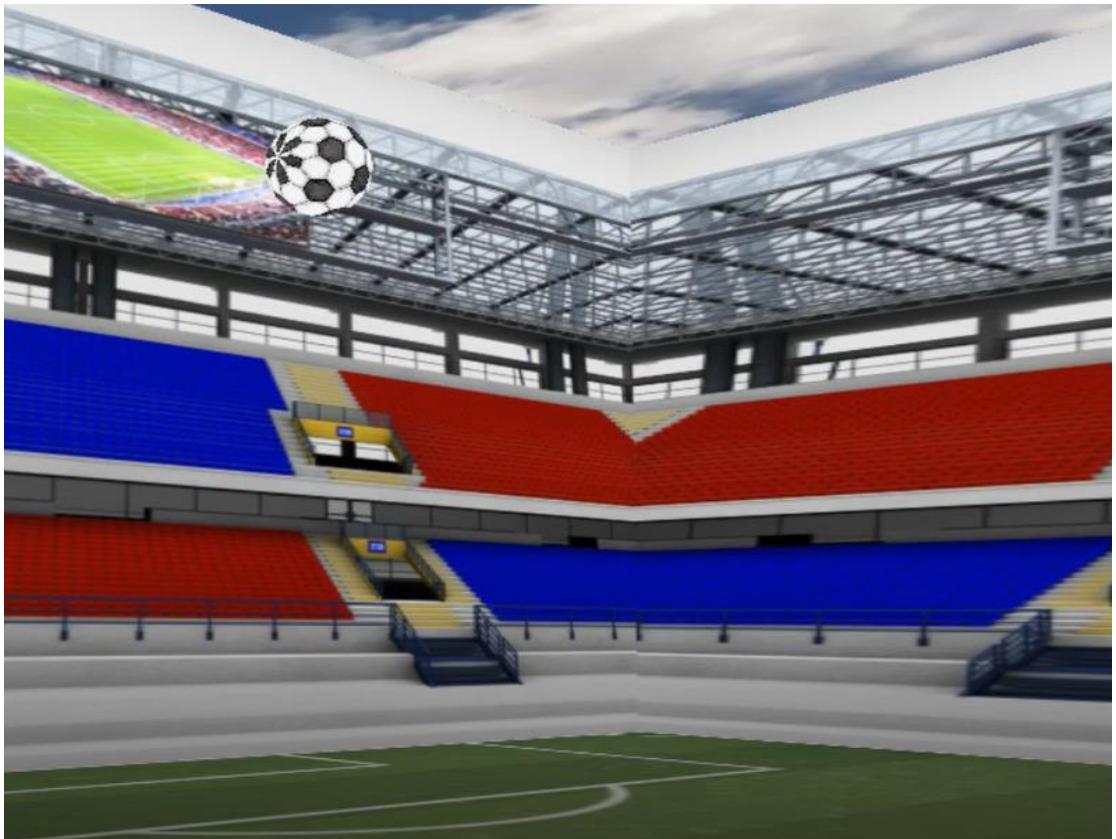
الحالة المثالية(الاحتراك معدوم)



حالة الطبيعية (وجود احتراك)



حالة القذف



:Finally

وبهذا تكون قد أنهينا الدراسة الفيزيائية بشكل كامل ومن ثم حولناها الى محاكاة حاسوبية قريبة من الواقع قدر الامكان وذلك بعوامل وبيئات مختلفة،

ولكن التعديل على البيئة التي يتم فيها تطبيق المحاكاة سيكون صعباً لذلك قمنا بتطوير واجهة اعدادات رسومية وظيفتها السماح للمستخدم بتعديل هذه القيم بكل سهولة ومن ثم تقوم هذه الواجهة بتحريج هذه القيم الجديدة كملف نصي، وبدورنا قمنا بقراءة هذا الملف في البيئة التطويرية وأسندنا هذه القيم الى المتغيرات بدلاً من القيم الثابتة السابقة، وبهذا اضفنا مرونة عالية للمستخدم ليقوم بالتعديلات المناسبة له ورؤيه نتائج هذه التعديلات بكل سهولة.

ونتمنى أن تكون الدراسة الفيزيائية كاملة ومستوفية جميع الشروط
وأن تنا إعجاب الدكتورة الكرام



The Physical Studies of Football THE INDEX

- 1 Physics for Scientists and Engineers 9th
- 2 Physics Essentials for Dummies - Steven Holzner
- 3 Fundamentals of Physics Bush
- 4 Patterns in Nature by Philip Ball
- 5 Forces of Nature by Andrew Cohen
- 6 Problems in General Physics
- 7 Michel van Biezen - Youtube Channel
- 8 مجلة جامعة تشنين للبحوث والدراسات العلمية
- 9 ويكيبيديا الكرة النطاطة

روابط المراجع :

<https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%8A%D8%B2%D9%8A%D8%A7%D8%A1%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%B1%D8%A9%D8%A7%D9%84%D9%86%D8%B7%D8%A7%D8%B7%D8%A9>

<https://physicsworld.com/a/the-physics-of-football>

<https://davidson.weizmann.ac.il/ar/online/maagarmada/%D9%81%D9%8A%D8%B2%D9%8A%D8%A7%D8%A1-%D9%83%D8%B1%D8%A9%D8%A7%D9%84%D9%82%D8%AF%D9%85>

https://physics.wooster.edu/JrIS/Files/Ahmad_Web_Article.PDF