



جامعة دمشق

كلية الهندسة المعلوماتية

السنة الثالثة

تقرير الحسابات العلمية

Levitron

المشرف: م. محمد خير كببي

إعداد الطلاب:

أحمد عبد الرؤوف الحاج يونس

محمد أنس محمد ياسر الصعيدي

محمد جهاد محمد طريف العبسي

محمد حمزه حسام الدين العمري

محمد سامح رشيد حيدر

فهرس

الفصل الأول: مقدمة 4

1. مقدمة إلى الـ LEVITRON® 6
- 1.1 . ما هو الـ Levitron® ؟ 6
- 1.2 تاريخ Levitron® 6
2. أهداف المشروع 6

7 الفصل الثاني: النمذجة الرياضية

1. التوجه ثلاثي الأبعاد 9
- 1.1. زوايا أويلر 9
- 1.2. Quaternions 13
2. البلبل 13
- 2.1. تعريف 13
- 2.2. عزم العطالة 14
- 2.3. عزم ثنائي القطب المغناطيسي 14
3. الحقل المغناطيسي الناتج عن القاعدة 14
- 3.1. تعريف 14
- 3.2. عبارة الحقل المغناطيسي 15
3. الاستقرار في الحقل المغناطيسي ومبرهنة إيرنشو 17
- 3.1. تعريف 17
- 3.2. الطاقة الكامنة للجملة المدروسة وإثبات مبرهنة إيرنشو 17
- 3.3. التوافق بين شعاع ثنائي القطب المغناطيسي وشعاع الحقل المغناطيسي 18
- 3.4. استنتاج القوة المغناطيسية 18
4. عوامل مؤثرة أخرى 19
- 4.1. عزم التخماد 19
- 4.2. مقاومة الهواء 19
- 4.3. قوى ماغنوس 19

20 الفصل الثالث: المحاكاة

1. الحلول الفيزيائية ومخططات الصفوف 22
- 1.1. مخططات الصفوف الفيزيائية والرياضية 22
2. الحلول البرمجية 23
- 2.1. البيئة المستخدمة 23

24.....	2.2. الحلول البرمجة في العرض
25	2.2.2. البلبل
26.....	2.3. مفاتيح التحكم بالمحاكاة
26.....	3. الواجهات الرسومية
28.....	4. نتائج المحاكاة

الفصل الرابع: المراجع 30

الفصل الأول: مقدمة

❖ محتوى هذا الفصل:

- تعريف Levitron®
- أهداف المشروع

1. مقدمة إلى الـ Levitron®

1.1. ما هو الـ Levitron® ؟

يتألف Levitron من بلبل مغناطيسي دائم (ثنائي قطب مغناطيسي دائم)، وقاعدة مغناطيسية تولد حقلاً مغناطيسياً دائماً. يدور البلبل فوق القاعدة المغناطيسية وعند توافر الشروط المناسبة (كالسرعة الزاوية والبعد عن القاعدة) فإن البلبل يحلق وهو مستقر مرتفعاً عن القاعدة. مع مرور الزمن فإن البلبل ينحرف عن محور دورانه وتباطأ الدوران الناتج عن مقاومة الهواء مما يؤدي إلى انقلاب البلبل وسقوطه.



1.2. تاريخ Levitron®

تم اختراع اول بلبل مغناطيسي مستقر بالدوران في عام 1976، تم تسجيل براءة اختراع عام 1983 من قبل المخترع الأمريكي روي هاريغن (Roy Harrigan). في عام 1984 اكتشف المخترع الأمريكي الآخر جوزيف شيفو (Joseph Chieffo) عن التحليق المغناطيسي المستقر بالدوران وحاول تسجيل براءة الاختراع باسمه ولكنه فشل قضائياً بذلك، ولكن المحكمة سمحت له ببيع الجهاز تجارياً، فسمى المنتج Levitron® وسجل علامته التجارية.

ومنذ ذلك الحين ظهرت العديد من الدراسات الفيزيائية النظرية لفهم كيفية عمل Levitron®.

2. أهداف المشروع

دراسة فيزيائية لظاهرة التحليق المغناطيسي المستقر بالدوران وإنشاء محاكاة حاسوبية قريبة للواقع لأحد تطبيقاتها وهو Levitron®.

الفصل الثاني: النمذجة الرياضية

❖ محتوى هذا الفصل:

- التوجه ثلاثي الأبعاد
- البلبل
- الحقل المغناطيسي الناتج عن القاعدة
- عوامل مؤثرة أخرى

1. التوجه ثلاثي الأبعاد

1.1. زوايا أويلر

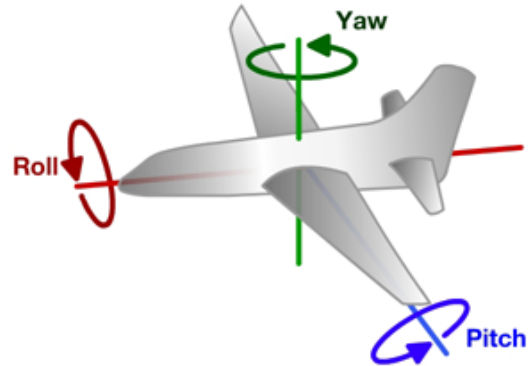
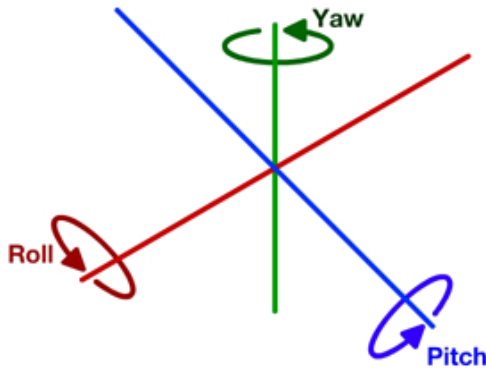
1.1.1. مقدمة إلى زوايا أويلر

تستخدم زوايا أويلر من أجل وصف توجه جسم في فضاء ثلاثي البعد. لتمثيل تسلسل من الدورانات (Sequence of rotations) نكتبه على شكل ثلاثية من الأرقام تمثل الزاوية والمحور الموافق لهذه الزاوية. يتأثر الدوران الناتج بترتيب تمثيل زاوية أويلر. يوجد 12 احتمال لترتيب الزوايا على كل محور من المحاور. تقسم هذه الاحتمالات إلى مجموعتين أساسيتين يتم اختيار المجموعة بما يناسب التمثيل الفيزيائي للظاهرة المدروسة.

تضم المجموعة الأولى ترتيب الزوايا بحيث أن الزاوية الأولى والزاوية الثالثة تدوران على نفس المحور. أما المجموعة الثانية فتضم باقي الحالات وتسمى في هذه الحالة بزوايا Tait-Bryan وهي الزوايا المستخدمة في المحاكاة المدروسة في هذا التقرير.

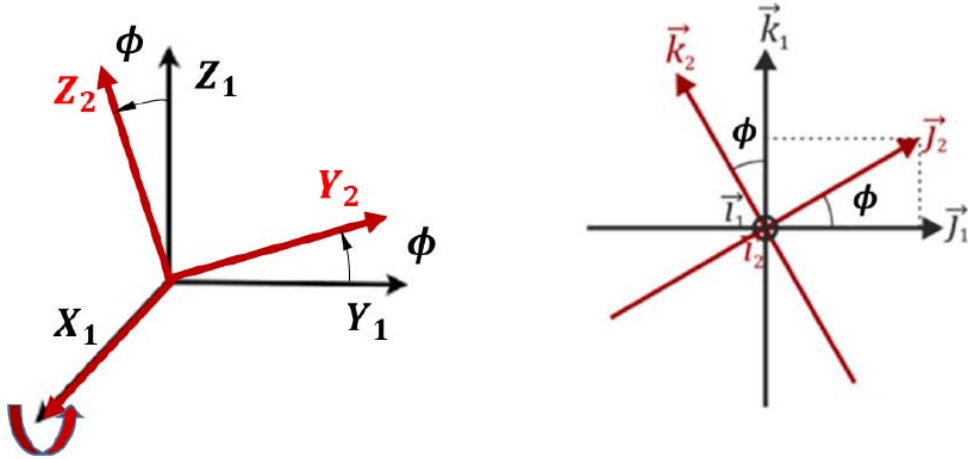
1.1.2. زوايا Tait-Bryan

تقسم الدورانات إلى ثلاث أقسام (Yaw, Pitch, Roll). سوف نقوم في هذه الفقرة بإيجاد مصفوفة التحويل من نظام الاحداثيات المرجعي إلى نظام خاص بالبلبل الذي يتحرك مع البلبل. في هذا النظام يوجد نقطة شاذة والتي توافق $\theta = \frac{\pi}{2}$ هذا يكافئ أن السطح العلوي للبلبل ينقلب للأسفل بزاوية قائمة (Horizontally overturned) وغير محلق (Not hovering).



Yaw, Pitch, Roll Sequence:

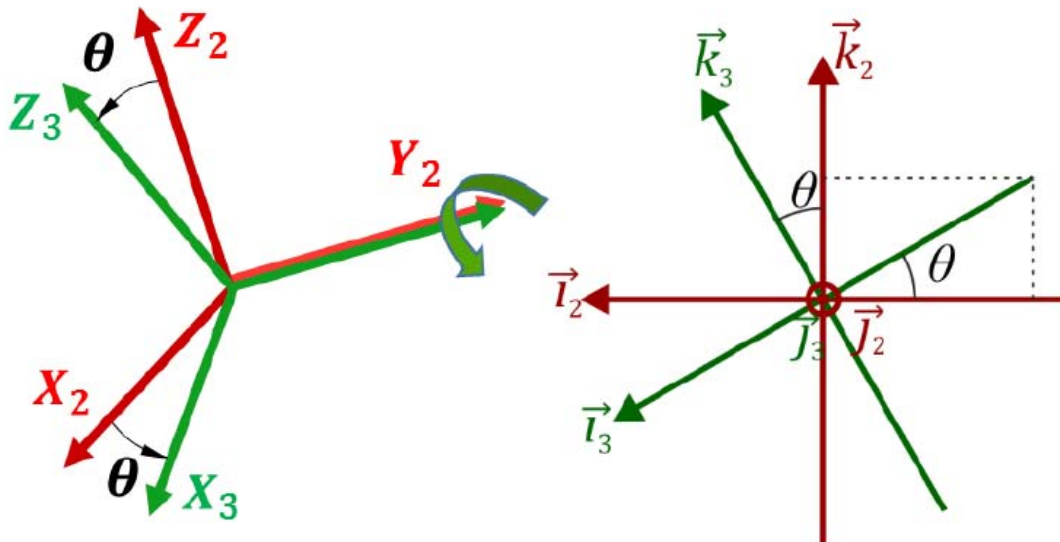
ننتقل من الإطار (frame) رقم 1 للإطار رقم 2 بدوران بالاتجاه الموجب (عكس عقارب الساعة) بزاوية ϕ حول المحور $OX_1 = OX_2$.



لانتقال بين الإطارين نستخدم المعادلات التالية:

$$\begin{aligned} \vec{i}_2 &= \vec{i}_1 \\ \vec{j}_2 &= \cos(\phi) \vec{j}_1 + \sin(\phi) \vec{k}_1 \\ \vec{k}_2 &= -\sin(\phi) \vec{j}_1 + \cos(\phi) \vec{k}_1 \end{aligned}$$

ننتقل من الإطار (frame) رقم 2 للإطار رقم 3 بدوران بالاتجاه الموجب (عكس عقارب الساعة) بزاوية θ حول المحور $OY_2 = OY_3$.



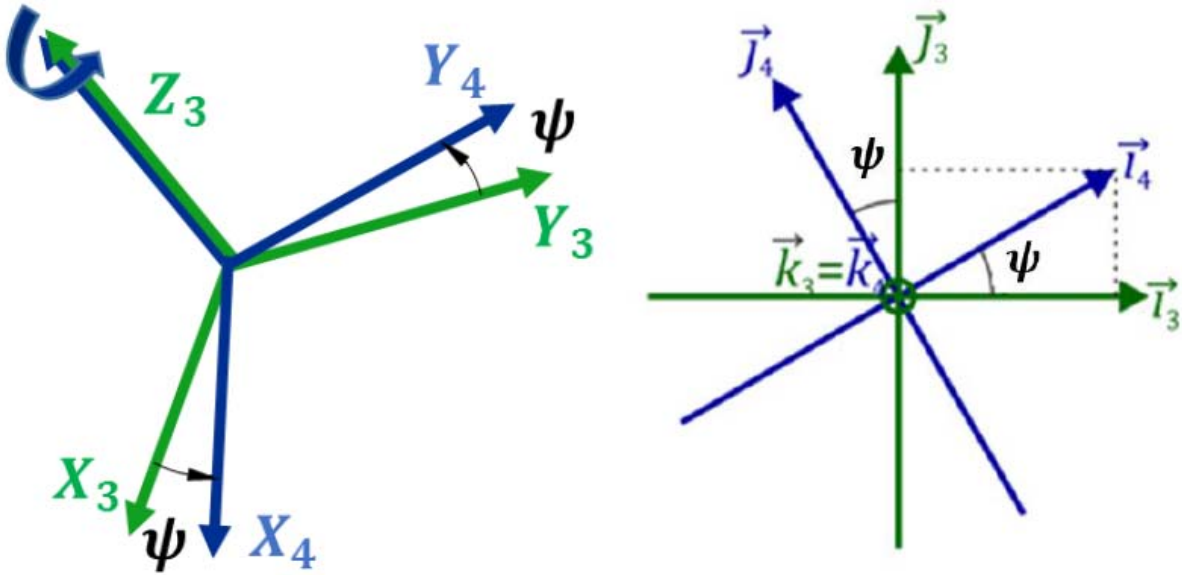
لانتقال بين الإطارين نستعمل المعادلات التالية:

$$\vec{l}_3 = \cos(\theta) \vec{l}_2 - \sin(\theta) \vec{k}_2$$

$$\vec{j}_3 = \vec{j}_2$$

$$\vec{k}_3 = \sin(\theta) \vec{l}_2 + \cos(\theta) \vec{k}_2$$

ننتقل من الإطار (frame) رقم 3 للإطار رقم 4 بدوران بالاتجاه الموجب (عكس عقارب الساعة) بزاوية ψ حول المحور $OZ_3 = OZ_4$.



لانتقال بين الإطارين نستعمل المعادلات التالية:

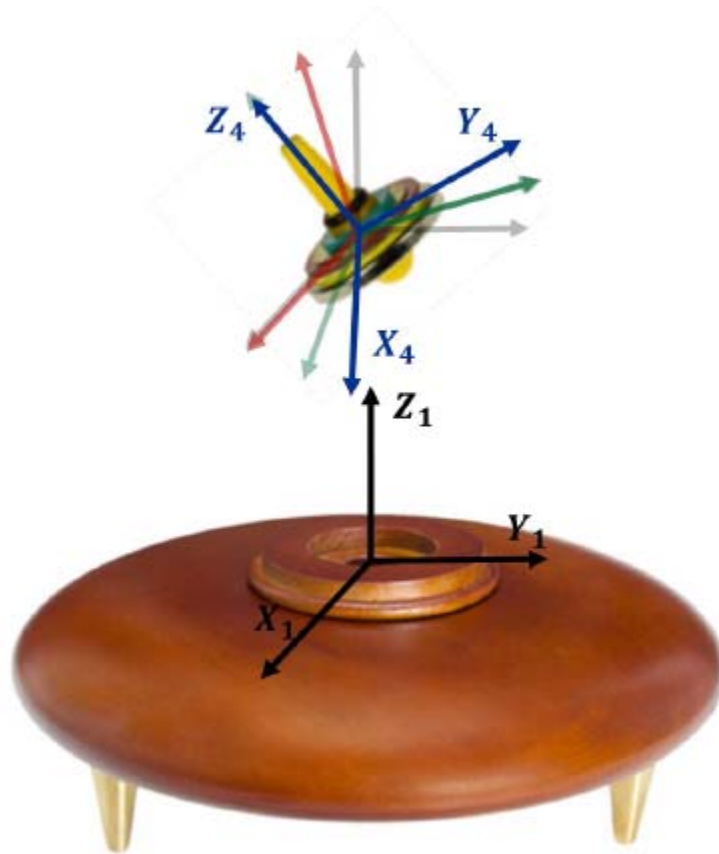
$$\vec{l}_4 = \cos(\psi) \vec{l}_3 + \sin(\psi) \vec{j}_3$$

$$\vec{j}_4 = -\sin(\psi) \vec{l}_3 + \cos(\psi) \vec{j}_3$$

$$\vec{k}_4 = \vec{k}_3$$

ويمكن تمثيل المعادلات السابقة على شكل مصفوفة تحويل R_T وضربها بشعاع الإطار المرجعي من أجل الانتقال إلى الإطار الخاص بالبلبل. تعطى هذه المصفوفة كما يلي:

$$R_T = \begin{pmatrix} \cos \theta \cos \psi & -\cos \theta \sin \psi & \sin \theta \\ \sin \phi \sin \theta \cos \psi + \cos \phi \sin \psi & -\sin \phi \sin \theta \sin \psi + \cos \phi \cos \psi & -\sin \phi \cos \theta \\ -\cos \phi \sin \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi & \cos \phi \sin \theta \sin \psi + \sin \phi \cos \psi & \cos \phi \cos \theta \end{pmatrix}$$



البلبل في الصورة السابقة موجود على الإطار X_4, Y_4, Z_4 وذلك نتيجة التحويل من الإطار المرجعي X_1, Y_1, Z_1

Quaternions.1.2

لتسهيل تمثيل الدوران في الفضاء الثلاثي الأبعاد يكفي أن نمثل المحور الذي يدور عليه الجسم بمتجه مركباته (x, y, z) وزاوية w ، ويكتب على شكل مصفوفة عمود:

$$q = \begin{bmatrix} q_x \\ q_y \\ q_z \\ q_w \end{bmatrix}$$

الخاصة المهمة في الـ Quaternions أن عمليات الضرب المتتالية (والتراكمية) عليها تمثل عدة دورانات متتالية مما يسهل الانتقال بين الأطر الرسومية (Graphical frames) في المحاكاة. وكما يمكن الانتقال من زوايا Quaternions إلى زوايا أويلر بسهولة عبر العلاقات التالية:

$$yaw = heading = \theta = \arctan\left(\frac{2 \times q_y \times q_w - 2 \times q_x \times q_z}{1 - 2 \times q_y^2 - 2 \times q_z^2}\right)$$

$$pitch = attitude = \phi = \arcsin(2 \times q_x \times q_y + 2 \times q_z \times q_w)$$

$$roll = bank = \psi = \arctan\left(\frac{2 \times q_x \times q_w - 2 \times q_y \times q_z}{1 - 2 \times q_x^2 - 2 \times q_z^2}\right)$$

قبل تطبيق هذه المعادلات يجب أن يكون q عبارة عن شعاع واحدة (normalized) وإلا نقوم بتحويله إلى شعاع واحدة عبر العلاقة التالية:

$$q' = \frac{q}{\sqrt{q_x^2 + q_y^2 + q_z^2 + q_w^2}} ; q \neq \vec{0}$$

2. البلبل

2.1. تعريف

البلبل في Levitron® هو عبارة عن جسم صلب متناظر بالنسبة للمحور OZ بعزم عطالة I ، وهو أيضاً عبارة عن ثنائي قطب مغناطيسي (Dipole) بعزم مغناطيسي μ .

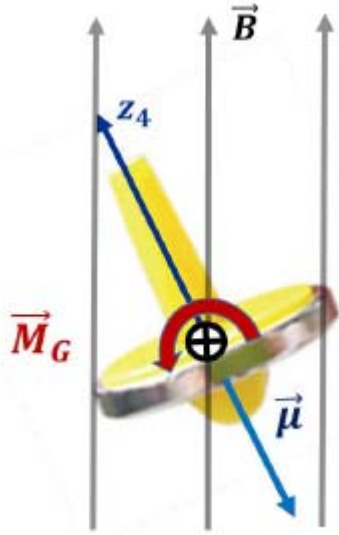
2.2. عزم العطالة

هي معانعة الجسم للتسارع الزاوي حول محور دوران معين. يمكن تمثيلها بمصفوفة ثلاثية مربعة على كل محور من المحاور كالتالي:

$$I = \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3}{20}m(r^2 + 4h^2) & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3}{20}m(r^2 + 4h^2) & 0 \\ 0 & 0 & \frac{3}{10}mr^2 \end{bmatrix}$$

بما أن الجسم متناظر يكون $I_x = I_y$ ، وتنعدم العناصر التي تقع خارج القطر الرئيسي.

2.3. عزم ثنائي القطب المغناطيسي



العزم المغناطيسي لثنائي القطب المغناطيسي هو شعاع يمثل مقدار العزم الدوراني الذي يتعرض له ثنائي القطب نتيجة حقل مغناطيسي خارجي.

عزم ثنائي القطب هو مقدار ثابت من أجل نفس ثنائي القطب حيث يتعلق بكل من: شكل ثنائي القطب وأبعاده والتيار الكهربائي المار فيه. يُمثل بشعاع مركباته (μ_x, μ_y, μ_z) ويكون هذا الشعاع محمولاً دوماً على محور تناظر البلبل.

3. الحقل المغناطيسي الناتج عن القاعدة

3.1. تعريف

قاعدة الـ Levitron® عبارة عن مغناطيس دائم يولد حقل مغناطيسي \vec{B} . لتسهيل تمثيل الحقل المغناطيسي رياضياً نعتبر أن الحلقة المغناطيسية هي عبارة عن حلقة دائرية يمر فيها تيار كهربائي ينتج عنه حقل مغناطيسي \vec{B} .

3.2. عبارة الحقل المغناطيسي

تعطى عبارة الحقل المغناطيسي حسب قانون بيو-سافار (Biot-Savart) الناتج عن حلقة دائرية بنصف قطر a يمر فيها تيار كهربائي شدته I على نقطة موجودة في محور هذه الدائرة ببعد z بالعلاقة:

$$B_z = \frac{\mu_0}{2} \frac{a^2 I}{(z^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}}$$

حيث μ_0 هو ثابت سماحية الخلاء المغناطيسية.

للسهولة نكتب علاقة B_z بالشكل التالي:

$$B_z(z) = \frac{A a^3}{(z^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}}$$

حيث A تمثل القيمة العظمى للحقل المغناطيسي وذلك عندما $z = 0$.

لا يمكن استعمال المعادلة السابقة لاستنتاج عبارة الحقل في نقطة من الفراغ (x, y, z) وذلك لاستحالة توضع البلبل تماماً على المحور OZ .

لاستنتاج عبارة الحقل المغناطيسي في نقطة ما قريبة من المحور OZ نقوم باستعمال النظام الإحداثيات الاسطوانية (r, z) . حيث:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

المعادلة السابقة تعني أن الحقل هو نفسه بين أي نقطتين متناظرتين بالنسبة للمحور OZ وتقعان على محيط الدائرة ذات المعادلة السابقة.

بالاستفادة من معادلات ماكسويل (Maxwell) وسلاسل القوى يمكننا إيجاد كثيرات حدود تمثل مركبات الحقل B_r, B_z .

تكتب معادلات ماكسويل كالتالي:

$$\nabla \cdot B = \frac{1}{r} \frac{\partial r B_r}{\partial r} + \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0, \quad (1)$$

$$\nabla \times B = \frac{\partial B_r}{\partial z} - \frac{\partial B_z}{\partial r} = 0, \quad (2)$$

باستخدام سلاسل القوى حتى المرتبة الثانية يمكن أن نكتب:

$$B_z(r, z) = B_0 + B_1(z - z_0) + B_2(z - z_0)^2 + B_3r + B_4r^2 + B_5r(z - z_0)$$

$$B_r(r, z) = C_0 + C_1(z - z_0) + C_2(z - z_0)^2 + C_3r + C_4r^2 + C_5r(z - z_0)$$

حيث $B_i, C_i ; i = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ أمثال كثيرات الحدود.

وسنستفيد من المعادلات (1), (2) لإيجاد C_i كالتالي:

$$\frac{[C_0 + C_1(z - z_0) + C_2(z - z_0)^2]}{r} + 2C_3 + 3C_4r + 2C_5(z - z_0) + B_1 + 2B_2(z - z_0) + B_5r = 0,$$

$$.C_0 = C_1 = C_2 = 0, C_3 = -\frac{B_1}{2}, C_4 = -\frac{B_5}{3}, C_5 = -B_2 \text{ أن فنجد}$$

ومن المعادلة (2) نجد:

$$-B_2r - B_3 - 2B_4r - B_5(z - z_0) = 0,$$

ومنه نجد أن $B_3 = B_5 = 0, B_4 = -\frac{B_2}{2}$ وبالتالي نحصل على مركبات الحقل وهي:

$$B_z(r, z) = B_0 + B_1(z - z_0) + B_2(z - z_0)^2 - \frac{B_2r^2}{2},$$

$$B_r(r, z) = -\frac{B_1r}{2} - B_2r(z - z_0),$$

B_0 تمثل قيمة الحقل في نقطة تبعد z عن مركز الحلقة موجودة على المحور OZ .

B_1 تمثل قيمة المشتق الأول في نقطة تبعد z عن مركز الحلقة موجودة على المحور OZ . وتعطى كالتالي:

$$B_1 = \frac{\partial B_z}{\partial z} = -\frac{3Aa^3z}{(a^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}} = -\frac{mg}{\mu}$$

B_2 تمثل نصف قيمة المشتق الثاني في نقطة تبعد z عن مركز الحلقة موجودة على المحور OZ . وتعطى

كالتالي:

$$B_2 = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 B_z}{\partial z^2} = \frac{3Aa^3(4z^2 - a^2)}{2(a^2 + z^2)^{\frac{7}{2}}} = \frac{3B_0(4z^2 - a^2)}{2(a^2 + z^2)^2}$$

3. الاستقرار في الحقل المغناطيسي ومبرهنة إيرنشو

3.1. تعريف

إن التحليق المغناطيسي المستقر غير ممكن إلا في بعض الحالات الاستثنائية، وهذا ما تنص عليه نظرية إيرنشو (Earnshaw's Theorem):

"لا يمكن الحفاظ على سكون مستقر لمجموعة من الشحنات النقطية من خلال قوى التجاذب الكهربائي الساكن بين الشحنات فقط"

ومع ذلك فإن البلبل يمكنه أن يخلق في حقل مغناطيسي وهو ما يخرق نظرية إيرنشو.

3.2. الطاقة الكامنة للجملة المدروسة وإثبات مبرهنة إيرنشو

لكي يحوي حقل متجهي على نقطة توازن مستقرة يجب أن يكون للحقل طاقة كامنة اصغرية في تلك النقطة. باستعمال قانون غاوس (Gauss) والذي ينص أن مؤثر التباعد التفاضلي على حقل القوى المغناطيسية أو الكهربائية معدوم في الفراغ.

الطاقة الكامنة الناتجة عن هذه القور تحقق معادلة لابلاس:

$$\nabla \cdot \vec{F} = -\nabla^2 U = 0$$

لحساب الطاقة الكامنة للبلبل نحسب الطاقة الناتجة عن تأثير قوة الثقل U_{grav} والقوة المغناطيسية U_{magn} .

$$U = U_{grav} + U_{magn} = mgz - \vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

من المعروف أن الطاقة الناتجة عن قوة الثقل تحقق معادلة لابلاس وهي الحد الأول من المعادلة السابقة.

إذا اعتبرنا أن $\vec{\mu}$ له اتجاه ثابت وبلاستفادة من معادلتى ماكسويل:

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{B} = 0$$

يمكن أن نكتب:

$$\nabla^2 \vec{B} = \nabla(\nabla \cdot \vec{B}) - \nabla \times (\nabla \times \vec{B}) = \vec{0} \quad (3)$$

وبالتالي $\nabla^2 U = 0$. أي لا يوجد نقطة في الفراغ يمكن لثنائي القطب أن يتوازن عندها وهذا ما يوافق مبرهنة إيرنشو.

3.3. التوافق بين شعاع ثنائي القطب المغناطيسي وشعاع الحقل المغناطيسي

عند دراسة وقوع شعاع ثنائي القطب المغناطيسي $\vec{\mu}$ مع شعاع الحقل المغناطيسي \vec{B} نحصل على نتائج مختلفة عن النتائج السابقة.

عند وضع البلبل ضمن الحقل يكون شعاع عزم ثنائي القطب الخاص به معاكس لشعاع الحقل المغناطيسي لكي يؤمن قوة التنافر المعاكسة لقوة الثقل تدفع البلبل نحو الأعلى.

وتحت تأثير الجايروسكوب (Gyroscopic Effect) نضمن بقاء $\vec{\mu}$ على نفس الحامل مع \vec{B} .

$$U = -k|\vec{B}|^2 = -k(B_x^2 + B_y^2 + B_z^2)$$

بحساب مؤثر لابلاس:

$$\nabla^2|\vec{B}|^2 = 2(|\nabla B_x|^2 + |\nabla B_y|^2 + |\nabla B_z|^2 + B_x \nabla^2 B_x + B_y \nabla^2 B_y + B_z \nabla^2 B_z)$$

وبالاستفادة من المعادلة (3) نحصل على:

$$\nabla^2|\vec{B}|^2 = 2(|\nabla B_x|^2 + |\nabla B_y|^2 + |\nabla B_z|^2) \geq 0$$

من المعادلة السابقة نجد أن مؤثر لابلاس على الطاقة الكامنة موجب دوماً، وهذا يعني وجود نقاط تكون الجملة مستقرة عندها.

3.4. استنتاج القوة المغناطيسية

عند وقوع ثنائي القطب المغناطيسي في حقل مغناطيسي يتأثر بقوة تعطى عبارتها بالشكل التالي:

$$\vec{F} = \nabla(\vec{\mu} \cdot \vec{B}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial(\vec{\mu} \cdot \vec{B})}{\partial x} \\ \frac{\partial(\vec{\mu} \cdot \vec{B})}{\partial y} \\ \frac{\partial(\vec{\mu} \cdot \vec{B})}{\partial z} \end{bmatrix}$$

بضرب المتجهين واشتقاقهما وأخذ المشتق الجزئي لمرة واحدة نحصل على:

$$\vec{F} = \begin{bmatrix} \mu_x \left(-\frac{B_1}{2} - B_2 z \right) - \mu_z (B_2 x) \\ \mu_y \left(-\frac{B_1}{2} - B_2 z \right) - \mu_z (B_2 y) \\ \mu_x (-2B_2 - B'_2 z)x + \mu_y (-2B_2 - B'_2 z)y + \mu_z \left(2B_1 + 4B_2 z + B'_2 \left(z^2 - \frac{(x^2 + y^2)}{2} \right) \right) \end{bmatrix}$$

4. عوامل مؤثرة أخرى

4.1. عزم التخميد

يتأثر دوران البلب بعزم معاكس للدوران تتناسب قيمته طرماً مع السرعة الزاوية وتعاكسها بالاتجاه. ويمكن كتابة عبارتها بالشكل:

$$\vec{\tau}_{fr} = -C_{fr} \cdot |\vec{\omega}| \cdot \vec{\omega}$$

تتعلق قيمة الثابت C_{fr} بكثافة الهواء وحجم الجسم.

4.2. مقاومة الهواء

يتأثر أي جسم يتحرك في الهواء بقوة تتناسب طرماً مع شعاع سرعته وتعاكسه بالاتجاه. ويمكن كتابة عبارتها بالشكل:

$$\vec{F}_{air} = -C_{air} \cdot |\vec{v}| \cdot \vec{v}$$

تتعلق قيمة C_{air} بكثافة الهواء وشكل الجسم.

4.3. قوى ماغنوس

عندما يكون للجسم سرعتان زاوية وخطية كبيرتان بشكل كافٍ فإنه سيتحرك على المستوى المحدد بالشعاعين $\vec{\omega}$, \vec{v} ، ويعزى ذلك إلى الاختلاف الكبير في الضغط بين طرفي الجسم. ويمكن كتابة عبارتها بالشكل:

$$\vec{F}_M = C_M \cdot \vec{\omega} \times \vec{v}$$

يتعلق الثابت C_M بثابت ماغنوس (Magnus) وبكثافة الهواء.

الفصل الثالث: المحاكاة

❖ محتوى هذا الفصل:

- الحلول الفيزيائية ومخططات الصفوف
- الحلول البرمجية
- الواجهة الرسومية
- نتائج المحاكاة

1. الحلول الفيزيائية ومخططات الصفوف

1.1. مخططات الصفوف الفيزيائية والرياضية

الصفوف التي تنتمي للحزمة الفيزيائية (physics package):

MagneticField		
f	A	float
f	a	float
f	y0	float
m	getMagneticField(float, float, float)	Vector3f
m	getMagneticForce(Vector3f, Vector3f)	Vector3f
m	getB0(float)	double
m	getB1(float)	double
m	getB2(float)	double
m	getB3(float)	double

Powered by yFiles

AirDrag		
f	rotationalDragConstant	float
f	linearAirDragConstant	float
f	airDensity	float
f	magnusCoefficient	float
f	rotationalDampingConstant	float
m	rotationalAirDrag(Vector3f)	Vector3f
m	magnusForce(Vector3f, Vector3f)	Vector3f
m	linearAirDrag(Vector3f)	Vector3f

Powered by yFiles

InertiaTensor		
f	components	Matrix3f
f	i1	float
f	i2	float
f	i3	float
m	getComponents()	Matrix3f
m	calculateComponents(float, float, float)	void

Powered by yFiles

الصفوف التي تنتمي للحزمة الرياضية (math package):

Maths		
m	createTransformationMatrix(Vector3f, float, float, float, float)	Matrix4f
m	createViewMatrix(Camera)	Matrix4f
m	lookAt(Vector3f, Vector3f, Vector3f)	Matrix4f

Powered by yFiles

Quaternion		
f	W	double
f	X	double
f	Y	double
f	Z	double
m	Quaternion()	
m	Quaternion(float, float, float, float)	
m	add(Quaternion)	void
m	mult(Quaternion)	void
m	rotateByVector(Vector3f)	void
m	addScaledVector(Vector3f, float)	void
m	ConvertToQuaternion(float, float, float)	Quaternion
m	GetMatrixFromQuatrnion(Quaternion)	Matrix4f
m	getEularAngles(Quaternion)	Vector3f
m	conjugate()	Quaternion
m	reciprical()	Quaternion
m	normalize()	Quaternion
m	fromAxis(float, float, float, float)	Quaternion
m	fromAxis(float, Vector3f)	Quaternion
m	exp()	Quaternion
m	log()	Quaternion

2. الحلول البرمجية

2.1. البيئة المستخدمة

قمنا باستخدام LWJGL Core Profile والمكتوبة بلغة جافا. اخترنا لغة Java وذلك لأنها تحقق مفاهيم البرمجة غرضية التوجه وهي لغة Cross Platform أي يمكن تشغيل البرنامج المكتوب بلغة Java على أي نظام تشغيل يحوي (Java Virtual Machine) JVM.

تؤمن مكتبة Light Weight Java Graphics Library 3.0 الوصول السهل والمرن لـ OpenGL API والتي بدورها تتعامل مع موارد الحاسب عامةً والرسومية خاصةً بسرعة وفعالية كبيرتين.

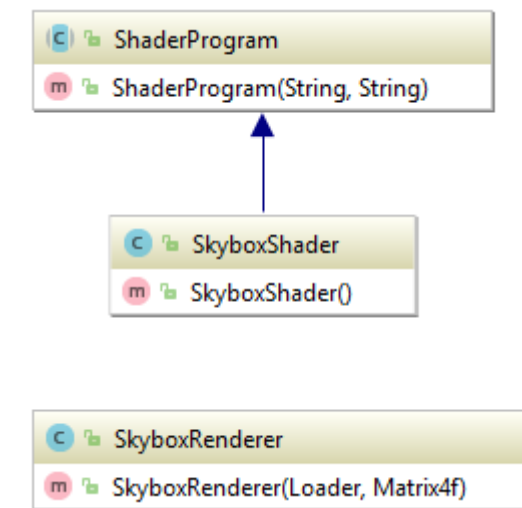
2.2. الحلول البرمجة في العرض

2.2.1. السماء

تدعى بالـ Skybox وهو عبارة عن صندوق (box) يحيط المشهد العام. يحوي على مجموعة من صور الغيوم، وقمنا بإنشاء الـ package الخاصة به وهي (skybox package).



الصفوف الخاصة بالـ Skybox:



2.2.2. البلبل

قمنا برسم textures للبلبل على برنامج Blender، ثم قمنا باستيراده إلى المحاكاة وتطبيق الظواهر الفيزيائية عليه:



حيث أن الحلقة التي تقع تحت البلبل تمثل القاعدة المغناطيسية.

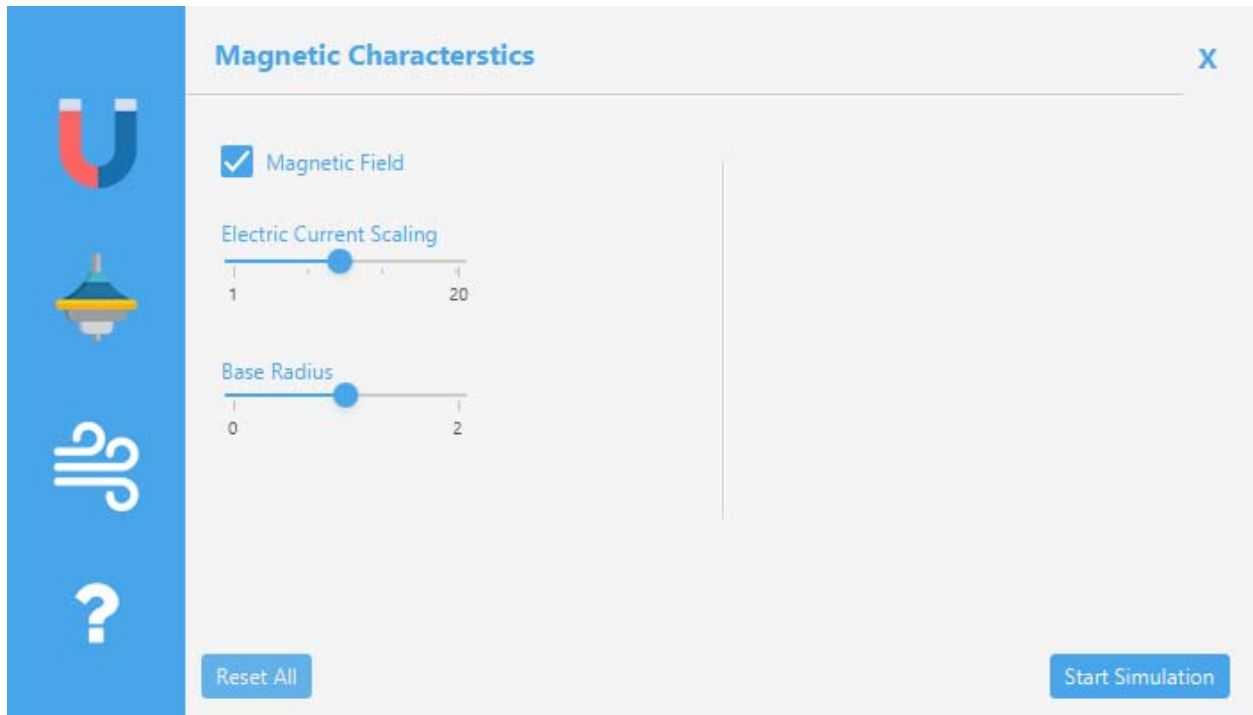
2.3. مفاتيح التحكم بالمحاكاة

عمل المفتاح	المفتاح
لبدء عملية المحاكاة وتطبيق الظواهر الفيزيائية	Enter
لتحريك الكاميرا نحو الأمام	W
لتحريك الكاميرا للخلف	S
لتحريك الكاميرا نحو اليسار	A
لتحريك الكاميرا نحو اليمين	D
لرفع مكان تواضع الكاميرا	UP
لخفض الكاميرا	DOWN
للانتقال بين الكاميرات	P





3. الواجهات الرسومية

من أجل التعديل على قيم ثوابت الظاهرة الفيزيائية، قمنا بإنشاء واجهة تسمح لنا بالتعديل على خواص كل من البلبل والحقل والهواء.

تغيير قيم ثوابت الحقل المغناطيسي:



تغيير قيم ثوابت البلبل:

Spinning Top Characteristics

Mass

1 10 20

Dipole Value

0 5 10 15 20

Angular Velocity

0 10 20 30 40 50 60

Position X

Position Y

Position Z

Radius

0.15 15





Length

0.3 30

Reset All

Start Simulation

تغيير قيم ثوابت الهواء:

Air Drag Characteristics

☒ Air

Rotational Drag

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Linear Drag

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Magnus Coefficient

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Reset All

Start Simulation

4. نتائج المحاكاة

عند بداية المحاكاة يتوضع البلبل بشكل مائل قليلاً عن المحور الشاقولي، وذلك لضمان وقوع B, μ على نفس الحامل:



وعند بدء المحاكاة يبدأ البلبل بالدوران ويبدأ تأثير الحقل المغناطيسي عليه:



نلاحظ تغير السرعة الزاوية للبلبل نتيجة تخامد الدوران الناتج عن الاحتكاك مع الهواء. ومع مرور الزمن فإن القوة المغناطيسية تؤثر على اتجاه البلبل مما يؤدي إلى انقلابه وانعدام الاستقرار مما يؤدي إلى سقوطه:



الفصل الرابع: المراجع

- Alfonso García-Agúndez Blanco (2017). Analytical study of a hovering magnetic system (Levitron).
- Martin D. Simon, Lee O. Heflinger, S. L. Rigdway (1997). Spin stabilized magnetic levitation.
- M. V. Berry (1996). The Levitron™: an adiabatic trap for spins.
- T. B. Jones, Masao Washizu, Roger Gans (1997). Simple theory for the Levitron®.
- Kirk T. McDonald (1997). The Levitron™.
- Axel Erbing. The Levitron
- Ian Millington (2007). Game Physics Engine Development.