



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة المعلوماتية

السنة الثالثة

## مشروع الحسابات العلمية

### الدراسة الفيزيائية لحركة المنطاد الموجه Blimp

عبد الرحمن خرزوم

عبد الله موسى

محمود الخياط

بهاء الدين النقطة

عبد الله رحمون

علاء الشيباني

بإشراف: م. مصطفى يرودي

حزيران - 2023





## الفهرس

1	مقدمة:
2	أنواع المناطيد الموجهة:
2	• غير الصلبة أو المرنة (Non-rigid airships):
2	• الصلبة (Rigid airships):
3	• شبه الصلبة (Semi-rigid airships):
3	المكونات الرئيسية للمنطاد الموجه:
3	• الغلاف (Envelope):
3	• العربة (Gondola):
3	• الدفات والرافعات (Rudders and elevators):
4	• المحركات ومراوح الدفع (Engines and Propellers):
4	• Ballonets:
4	• كابلات التعليق (Suspension Cables):
5	الدراسة الفيزيائية:
5	ما هي القوى التي تؤثر في المنطاد وتتحكم بآلية طيرانه؟
5	• قوة الثقل (Weight):
6	• قوة الطفو (Lift):
9	• قوة السحب أو مقاومة الهواء (Drag):
9	• قوة الدفع (Thrust):
10	كيف يتم التحكم باتجاه المنطاد؟
11	تأثير قوة الرياح Wind load:
12	دراسة الحالات الحركية للمنطاد:
12	• حالة السكون وحالة السرعة الثابتة:
12	• الحالات التي تحقق قانون نيوتن الأول:
12	1. أولاً- حالة السكون التام في الهواء أو على الأرض:
12	2. ثانياً - حالة الطيران بسرعة ثابتة:
13	3. حالة وجود قوة تؤثر في المنطاد:
14	• الحالات التي تحقق قانون نيوتن الثاني:
14	1. أولاً- حالة صعود المنطاد نحو الأعلى عند الاقلاع:
14	2. ثانياً- حالة الطيران نحو الأمام:
15	3. ثالثاً- حالة الهبوط:
15	4. رابعاً- حالة الدوران يميناً ويساراً والميلان لأعلى وأسفل:
15	الدراسة الرياضية:
25	المراجع





## مقدمة:

السفينة الهوائية أو المُنطاد الموجه **Airship** هي مركبة هوائية أخف من الهواء (lighter-than-air aircraft).

يكون جسم السفينة الهوائية كبير الحجم ويحتوي على غاز أخف من الهواء يكون غالباً غاز الهيليوم أو الهيدروجين، وهذا الغاز هو المسؤول عن تأمين قوة الرفع للسفينة الهوائية وبقائها محلقة في الهواء بسبب الكثافة المنخفضة لهذا الغاز مقارنة بكثافة الهواء المحيط.

وتختلف السفينة الهوائية عن المنطاد العادي بأن لها محركاً يدفعها في الجو. ويوجد في معظم السفن الهوائية معدات لتوجيه حركتها، بينما تعتمد حركة المناطيد على الرياح ولا يمكن توجيهها، حيث تتحرك في الاتجاه الذي تهب فيه الرياح. تستخدم السفن الهوائية عادةً في النقل الجوي للبضائع الثقيلة وحتى الأشخاص، بالإضافة إلى الأغراض العلمية والاستكشافية والترويجية والإعلانية، وتتميز عن الطائرات العادية بأنها تستطيع الطيران لفترات طويلة بصرفٍ أقل للوقود دون الحاجة لتعبئته مراراً وتكراراً وحمل حمولات كبيرة بكل سهولة.

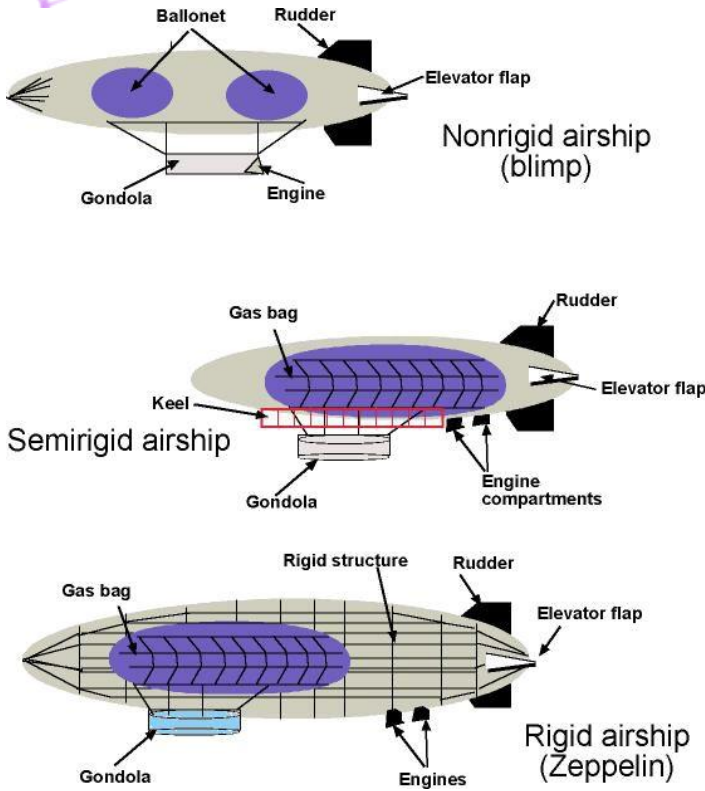




## أنواع المناطيد الموجهة

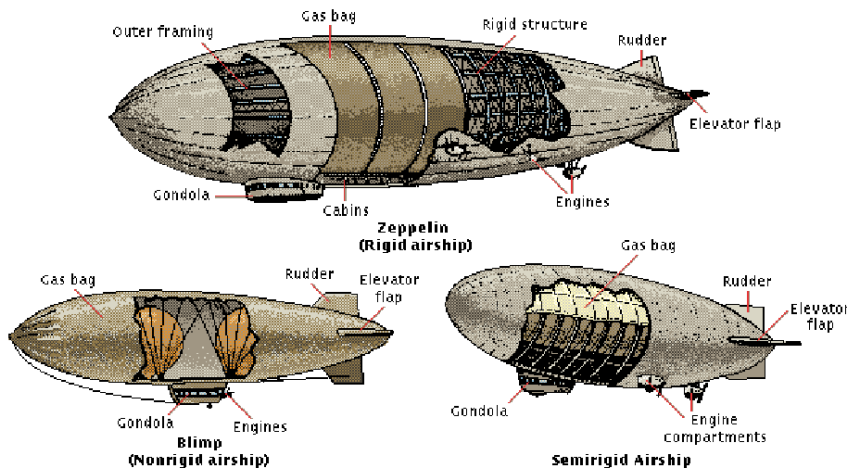
### غير الصلبة أو المرنة (Non-rigid airships:)

التي تسمى عادةً بالـ **Blimps**، لها غلاف مرن بدون أي هيكل داخلي أو إطار داعم، بحيث تعتمد على ضغط الغاز الرافع داخلها للمحافظة على شكل الغلاف الخارجي، ويتكون الغلاف عادةً من مادة مرنة ومحكمة الإغلاق مثل المطاط أو الأقمشة الاصطناعية ويحتوي بداخله على الغاز الرافع، وهي أكثر مرونة وقابلية للتحكم من المناطيد الصلبة أو شبه الصلبة فهي عمومًا أصغر حجمًا منها ولكن لها قدرة حمولة محدودة.



### الصلبة (Rigid airships:)

هي أكبر المناطيد الموجهة، وتوقفت عن العمل في الوقت الحاضر، تتميز بإطار أو هيكل داخلي يحافظ على شكلها ويدعمها سواءً كانت مملوءة بالغاز أم لا، ويتكون الهيكل عادة من معدن خفيف الوزن مغطى بقماش أو مادة مشابهة تشكل الغلاف الخارجي. يوفر الهيكل الاستقرار ويسمح بتثبيت المحركات وأجهزة التحكم وعربة الركاب والحمولة ويحتوي على عددٍ من الأكياس المنفصلة المعبئة بالغاز الذي يؤمن قوة الرفع للمنطاد، ويجب لهذا النوع من المناطيد أن يكون كبير الحجم لتحقيق النسبة الكافية من الوزن نسبةً إلى الحجم حتى يستطيع الطفو في الهواء.





## شبه الصلبة (Semi-rigid airships)

تجمع المناطيد الموجهة شبه الصلبة بين ميزات المناطيد الصلبة وغير الصلبة بحيث تحتوي على هيكل شبه صلب يدعم الغلاف الخارجي ولكنه لا يحافظ على شكله تماماً وهو عبارة عن عارضة حديدية keel تمتد على طول قاع المنطاد سواءً داخله أو خارجه توفر الثبات وتساعد في الحفاظ على شكل الغلاف وقت تحتوي على المحركات وبعض أقسام المنطاد الأخرى مما يساهم في توزيع ثقل العربة ومكونات المنطاد الأخرى بالشكل السليم، فالمنطاد شبه الصلب يوفر توازناً بين الهيكل القوي للمناطيد الصلبة ومرونة المناطيد غير الصلبة.

### المكونات الرئيسية للمنطاد الموجه:

#### الغلاف (Envelope) :

الغطاء الخارجي للمنطاد وهو العنصر الأكثر أهمية فيه فهو يجمع جوانب الديناميكا الهوائية والأتزان والحمولة ويحتوي بداخله على الغاز الرافع الذي يسبب الطفو، مثل الهيليوم. عادةً ما يكون مصنوعاً من مادة خفيفة الوزن ومحكمة الإغلاق مثل الأقمشة المقواة ويحدد شكله وحجمه بشكل عام الديناميكا العامة وقوة الرفع.

#### العربة (Gondola)

المقصورة أو قمرة القيادة المعلقة أسفل الغلاف، يتواجد فيها الطاقم والركاب وأجهزة التحكم. ترتبط العربة بالغلاف بواسطة نظام من الكابلات والدعامات.

تحتوي المقصورة عادةً على الأجهزة والأدوات والمحركات والوقود والمعدات الأخرى اللازمة لتشغيل المنطاد، ويجب توزيع الأجزاء المرتبطة بها بالشكل المناسب حتى لا يختل توازنها.

#### الدفات والرافعات (Rudders and elevators)

وهي أسطح تحكم تقع في مؤخرة المنطاد وتستخدم للتوجيه والحفاظ على التوازن أثناء الطيران، حيث تتحكم الدفات بتوجيه المنطاد يميناً أو يساراً، بينما تتحكم الرافعات بالزاوية العمودية للمنطاد (الميلان للأمام أو الخلف) لمساعدته في الصعود و الهبوط.







## المحركات ومراوح الدفع (Engines and Propellers)

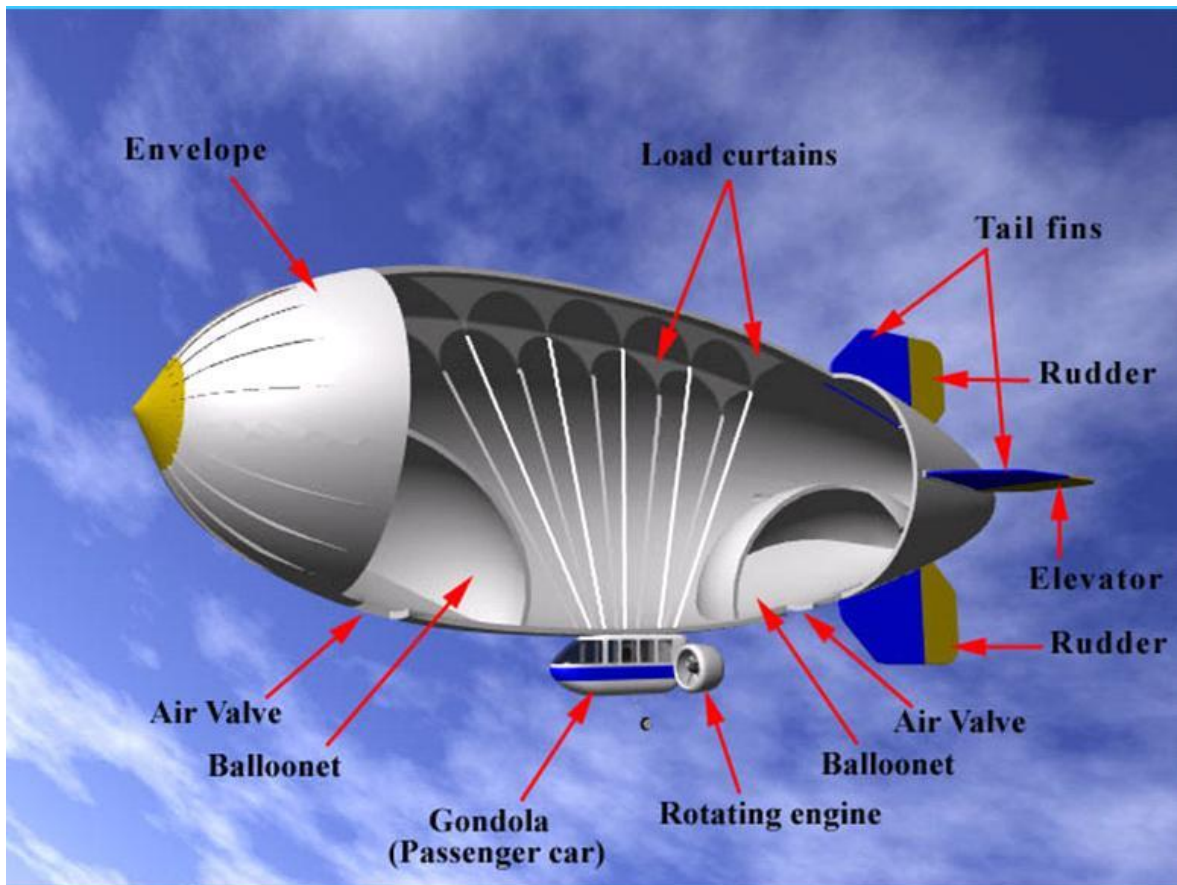
يتم تحريك المناطيد بواسطة محرك واحد أو أكثر عادةً ما تكون مرتبطة بالعربة أو الغلاف. تقوم هذه المحركات بتشغيل المراوح التي تولد قوة الدفع thrust وتدفع المنطاد الى الأمام أو الخلف. يمكن أن تكون هذه محركات احتراق داخلي أو محركات كهربائية أو مزيج من الاثنين معاً.

## Ballonets

هي عبارة عن أكياس هوائية مرنة داخلية موجودة في الغلاف، يمكن ملؤها بالهواء أو تفريغها منها لضبط الوزن الكلي والقوة الرافعة للمنطاد عن طريق التحكم بحجم غاز الرفع الموجود في الغلاف وبالتالي تغيير ارتفاع المنطاد حسب الحاجة. يتم تفريغها وملؤها بالهواء عن طريق صمامات تسمح للهواء الخارجي بالدخول أو الخروج.

## كابلات التعليق (Suspension Cables)

تربط هذه الكابلات العربة بالغلاف ، وتوزع وزن العربة ومحتوياتها والحمولة بالتساوي على المنطاد، ولكن عدم وجود هيكل صلب يحد من وزن الحمولة التي يمكن تحملها مقارنة بالمنطاد الصلب.



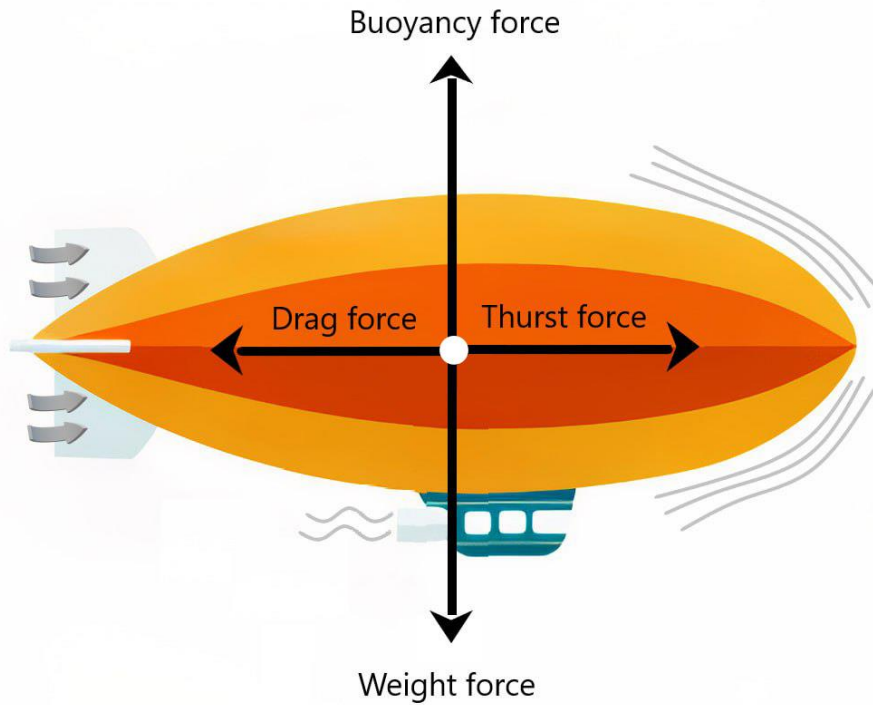


# الدراسة الفيزيائية

لتحقيق محاكاة واقعية صحيحة لحركة المنطاد الموجه يجب علينا تحديد القوى المؤثرة في حركة هذا المنطاد مع بيان القوانين والعلاقات التي تؤثر في هذه القوى.

ما هي القوى التي تؤثر في المنطاد وتتحكم بآلية طيرانه؟

تتكون قوى الطيران الأربعة من:



• قوة الثقل.

• قوة الرفع.

• قوة الدفع.

• قوة السحب.

تجعل هذه القوى الجسم يتحرك للأعلى والأسفل والأمام.

يحدد مقدار كل قوة مقارنةً بقوتها المضادة كيفية حركة الجسم في الهواء وسرعته.

## قوة الثقل (Weight)

تعتبر قوة الثقل من أهم القوى الطبيعية التي تؤثر على حركة الأجسام في كوكب الأرض. فالثقل هو القوة التي تجذب جميع الأجسام نحو مركز الأرض، وهذه القوة تتناسب مع كتلة الجسم، حيث كلما زادت كتلة الجسم زادت قوة جاذبيته. ويعد قانون نيوتن للجاذبية هو أول من وصف هذه القوة، حيث يقول إن "كل جسم في الكون يجذب بشكل متناسب مع كتلته وعكس مربع المسافة بينه وبين جسم آخر".





يعطى قانون الثقل بالعلاقة:

$$W = m * g$$

حيث:

$W$ : قوة الثقل لجسم ما (N).

$m$ : كتلة الجسم (kg).

$g$ : تسارع الجاذبية الأرضية ( $m/s^2$ )

مع ملاحظة أن الثقل يضاف إليه ثقل غاز الرفع بالإضافة إلى ثقل الهواء الموجود في البالونات والذي يعطى ثقلهم بالعلاقة التالية:  $\rho * v * g$

### قوة الطفو (Lift)

تعتبر قوة الطفو في الهواء من الظواهر الفيزيائية المهمة التي تؤثر على حركة الأجسام في الهواء. فالطفو هو قدرة جسم ما على البقاء في الهواء بدون سقوط، وذلك بفعل قوى مختلفة تؤثر على هذا الجسم. وتعتمد قوة الطفو على عدة عوامل، من أهمها حجم وشكل الجسم وكثافته، حيث أن قوة الطفو تنتج عن فرق الكثافة بين الجسم والهواء، وذلك يفسر طيران المناطيد (blimps). حيث أنها تحتوي على كمية كبيرة نسبياً من الهيليوم والذي يعد من الغازات الخفيفة مقارنة بالهواء، وهذا الهيليوم يولد قوة طفو تؤثر على المنطاد وعندما تتغلب هذه القوة على قوة ثقله يبدأ المنطاد بالطيران عالياً. وعموماً من خلال زيادة أو نقصان قوة الطفو يتم التحكم بارتفاع المنطاد (صعود، هبوط).

يعطى قانون قوة الطفو بالعلاقة:

$$B = \rho * v * g$$

حيث:

$B$ : وهي قوة ال Lift التي يولدها الهيليوم (N).

$\rho$ : هي كثافة الهواء المحيط بالمنطاد ( $kg/m^3$ ).

$v$ : هو حجم غاز الهيليوم داخل المنطاد ( $m^3$ ).

$g$ : تسارع الجاذبية الأرضية ( $m/s^2$ ).

لكننا نعرف أن كثافة الهواء ليست ثابتة، وإنما متغيرة حسب الارتفاع، بحيث تتناقص كثافة الهواء كلما ارتفعنا أكثر:







يمكن معرفة كثافة الهواء عن طريق قانون الغازات العام:

$$\rho = (P * M) / (R * T)$$

$\rho$ : كثافة الهواء ( $kg/m^3$ )

$P$ : الضغط (pa)

$M$ : كتلة مولية للهواء ( $28.97 g/mol$ )

$R$ : ثابت الغاز ( $8.314 J/mol.K$ )

$T$ : درجة الحرارة ( $K$ )

بالتالي لمعرفة كثافة الهواء في ارتفاع معين يجب علينا معرفة درجة الحرارة والضغط في ذلك الارتفاع. لحساب الحرارة في ارتفاع معين فنحن لا نملك قانوناً نعطي الارتفاع فيعطينا الحرارة بهذه البساطة، ولهذا سنستعمل النماذج الرياضية التي هي عبارة عن نموذج مجرد يستعمل اللغة الرياضية والمعادلات لوصف سلوك نظام ما.

إن النموذج الرياضي المعبر عن درجة الحرارة بالنسبة للارتفاع هو :

$$T = T_0 + Lt * H$$

حيث  $T$  هي الحرارة عند الارتفاع  $H$

و  $H$  هو الارتفاع و  $T_0$  هي الحرارة عند سطح البحر

و  $Lt$  هو معدل التغير في درجة الحرارة

نحصل على معدل التغير عن طريق معرفة الحرارة عند ارتفاعين مختلفين بحيث فرضنا في النموذج الرياضي ان التغير بدرجات الحرارة بين الارتفاعات تغير ثابت

$$Lt = \frac{T_1 - T_0}{H_1 - H_0}$$

وبنفس الطريقة نحصل على الضغط عبر الارتفاعات:

$$P = P_0 + Lp \times H$$

حيث  $P$  هو الضغط عند الارتفاع  $H$ .

و  $H$  هو الارتفاع و  $P_0$  هو الضغط عند سطح البحر.

و  $Lp$  هو معدل التغير في الضغط.

$$Lp = \frac{P_1 - P_0}{H_1 - H_0}$$





حسب U.S. Standard Atmosphere Air Properties يكون الضغط ودرجة الحرارة في كل من الارتفاعين:

- الارتفاع الأول ( $H_0 = 0m$ )

$$T_0 = 288.15K, P_0 = 101300pa$$

- الارتفاع الثاني ( $H_1 = 5000m$ )

$$T_1 = 255.68K, P_1 = 54050pa$$

نحسب معدل التغير في الحرارة والضغط:

$$Lt = \frac{(255.68 - 288.15)}{(5000 - 0)} = -6.5 \times 10^{-3}$$

و

$$Lp = \frac{(54050 - 101300)}{(5000 - 0)} = -9.45$$

ومما سبق خرجنا بنموذجين رياضيين لحساب درجة الحرارة والضغط حسب الارتفاع:

الحرارة:

$$T = 288.15 - 6.5 \times 10^{-3} \times H$$

الضغط:

$$P = 101300 + -9.45 \times H$$





## قوة السحب أو مقاومة الهواء (Drag)

تعتبر قوة السحب من القوى الهامة في الهندسة الميكانيكية والطيران، حيث تؤثر على حركة الأجسام في الهواء. وتحدث هذه القوة عندما يتحرك جسم في وسط غازي مثل الهواء، وتعمل على إبطاء حركته. يمكن أن تحدث قوة السحب بسبب اختلافات في سرعات التدفق للغاز حول جسم ما، والتي تؤدي إلى زيادة الضغط على جانب معين من الجسم وانخفاضه على الجانب المقابل، مما يؤدي إلى تشكيل قوة مقاومة للحركة. ولتخفيض هذه القوة، يلجأ العلماء إلى تصميم مناطيد ذات أشكال انسيابية تسمح بمرور المنطاد في الهواء بشكل سلس.

يعطى قانون قوة السحب بالعلاقة:

$$\text{Drag Force } (F_{\text{drag}}) = 0.5 \times C_d \times A \times \rho \times v$$

حيث:

$F_{\text{drag}}$  : هي قوة السحب ( $N$ ).

$C_d$ : معامل السحب، يتم تحديده حسب شكل الجسم

$A$ : يمثل ال (Reference area) وهي المساحة التي يؤثر عليها الهواء ويتم تحديدها بشكل تقريبي بالمعادلة :

$$A = \text{blimp Width} * \text{blimp Height } (m^2)$$

$\rho$ : وهو كثافة الهواء ( $kg/m^3$ ).

$v$ : وهو سرعة المنطاد بالنسبة للهواء المحيط به ( $m/s$ ).

## قوة الدفع (Thrust)

تعد قوة الدفع في الهواء من أهم المفاهيم التي يجب على المهندسين والمصممين الاهتمام بها عند تصميم المناطيد. وتستخدم المراوح (propellers) كأحد الأساليب لإنتاج هذه القوة، حيث تقوم بتحريك كمية كبيرة من الهواء بسرعة عالية، ما يؤدي إلى إنشاء قوة دفع تساعد في تحريك المنطاد إلى الأمام. وتختلف قوة الدفع التي تولدها المروحة باختلاف حجمها وشكلها، فكلما زاد حجم المروحة وزاد عدد شفراتها، ازدادت قوة دفعها وبالتالي تزداد سرعة المنطاد. ومن خلال تقليل أو زيادة سرعة المراوح يتم التحكم بسرعة المنطاد.





يعطى قانون قوة الدفع بالعلاقة:

$$Thrust = 4.392 \times 10^{-8} \times RPM \times \frac{d^{3.5}}{\sqrt{pitch}} \times (4.233 \times 10^{-4} \times RPM \times pitch - V_0)$$

حيث:

$Thrust$ : هي قوة الدفع ( $N$ ).

$RPM$ : عدد لفات المروحة في الدقيقة الواحدة.

$d$ : قطر المروحة ( $inch$ ).

$pitch$ : زاوية المروحة ( $inch$ ).

$V_0$ : سرعة المنطاد في اتجاه الحركة ( $m/s$ ).

الآن وبعد أن تعرفنا على القوى المؤثرة على المنطاد والتي تجعل تحليقه وحركته في الجو ممكنة. تبقى أن نتعلم كيف يتم التحكم باتجاه المنطاد.

### كيف يتم التحكم باتجاه المنطاد؟

يملك المنطاد في ذيله (Rudders) أو دفة. عند تحريك هذه الدفة في اتجاه معين تتغير زاوية الهجوم (Angle of Attack) وعند حدوث ذلك ينخفض الضغط في جهة دوران الدفة مما يؤدي الى حدوث اختلال بالضغط على جانبي ذيل السفينة وبالتالي يتولد عزم مزدوجة (Yaw) بالجهة المعاكسة لدوران الدفة.

وهذه القوة تعطى بالعلاقة:

$$M = F_{drag} \times d \times \sin(\alpha)$$

حيث:

$F_{drag}$ : قوة الانسحاب المؤثرة على المنطاد ( $N$ )

$d$ : هوة المسافة بين مركز ثقل السفينة (منتصف السفينة في الحالات المثالية) ومكان تطبيق القوة (ذيل السفينة أي مكان وجود ال rudders). أي يمكن اعتبار أن:

$$d = \frac{blimp\ length}{2}$$

$\alpha$ : وهي زاوية دوران الدفة ويتم التحكم بها من قبل كابتن السفينة.







الآن وبعدما أوجدنا القوة وكيف نحسبها. نستطيع حساب زاوية الدوران التي ستطبق على السفينة وذلك من خلال العلاقة التالية:

$$\theta = \frac{(M - M')}{l}$$

حيث:

$M$ : عزم المزدوجة.

$M'$ : عزم العكس, ويمتلك نفس قانون عزم المزدوجة ولكن الزاوية المستخدمة تكون  $\alpha'$  بدلا من  $\alpha$  وهي زاوية العكس.

$l$ : عزم عطالة المنطاد وهو مقدار ثابت يختلف حسب نوع السفينة والعديد من العوامل الأخرى, في مثالنا النموذج المستخدم يمتلك  $l = 10000 \text{ (kg.m}^2\text{)}$ .  
وبتعويض ما سبق ينتج لدينا مقدار الدوران في الثانية.

### تأثير قوّة الرياح Wind load

تؤثر الرياح في حركة المنطاد وتضيف قوّة جديدةً إلى محصلة القوى التي يخضع لها المنطاد، تسمّى هذه القوّة wind load او قوّة الرياح

يمكننا حساب القوة الناتجة عن رياح ذات سرعة محددة عن طريق القانون التالي:

$$\overrightarrow{Wind} = Cd \times \rho \times \vec{V}^2 \times A$$

نلاحظ أنه مشابه لقانون مقاومة الهواء

حيث  $\rho$  هي كثافة الهواء، و  $A$  هي المساحة التي يؤثر عليها الهواء و  $Cd$  هو معامل السحب

أما  $v$  فهي سرعة الرياح نسبةً إلى سرعة المنطاد، فكلما اقتربت سرعة المنطاد من سرعة الرياح وشابهتها بالجهة تنقص القوّة الناشئة عن الرياح، وبالتالي يمكننا ان نقول:

$$\vec{V} = \vec{V}_{wind} - \vec{V}_{airship}$$

تكون سرعة الرياح الملائمة للطيران ضمن المجال:  $[1.79\text{m/s} - 2.68\text{m/s}]$





## دراسة الحالات الحركية للمنطاد:

### 1- حالة السكون وحالة السرعة الثابتة

تكون فيه محصلة القوى المؤثرة في المنطاد مساوية للصفر وسرعته إما معدومة أو ثابتة بحيث يتحقق قانون نيوتن الأول:

$$\Sigma \vec{F} = 0$$

الذي ينص على أن الجسم إذا كان في حالة سكون أو حالة حركة بسرعة ثابتة في خط مستقيم، فإنه سيبقى في حالة سكون أو يستمر في التحرك في خط مستقيم بسرعة ثابتة ما لم تؤثر به قوة خارجية تجبره على تغيير ذلك، وتكون محصلة القوى المؤثرة به معدومة. وهي الحالة الابتدائية للمنطاد قبل الإقلاع.

الحالات التي تحقق قانون نيوتن الأول:

#### أولاً- حالة السكون التام في الهواء أو على الأرض

تتحقق عندما تصبح قوة الرفع مساوية تماماً لقوة ثقل المنطاد وتكون سرعته معدومة، وهو ما يسمى بال *neutral buoyancy*. يخضع حينها المنطاد لقوتين فقط، الثقل و الرفع (باعتبار عدم وجود رياح)

$$\vec{F} = \vec{W} + \vec{Lift} = \vec{0}$$

وفي حالة السكون على الأرض يثبت المنطاد بتأثير ثقله وقوة رد فعل الأرض المساوية لقوة الثقل المعاكسة لها بالاتجاه

$$\vec{F} = \vec{W} + \vec{R} = \vec{0}$$

#### ثانياً - حالة الطيران بسرعة ثابتة

سواء كان الطيران باتجاه الأعلى أو الأسفل أو الامام أو أي اتجاه محدد بينها

يكون المنطاد في هذه الحالة خاضعاً لجميع القوى المؤثرة في حركته أو بعضها وتكون محصلة هذه القوى معدوماً وسرعة المنطاد ثابتة:

$$\vec{F} = \vec{W} + \vec{Lift} + \vec{Drag} + \vec{Thrust} + \vec{Wind} = \vec{0}$$





## حالة وجود قوة تؤثر في المنطاد:

بوجود قوة خارجية تؤثر على المنطاد، يكتسب المنطاد تسارعاً محدداً وتصبح محصلة القوى التي تؤثر فيه غير معدومة ويتحقق قانون نيوتن الثاني:

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

الذي ينص على أن الجسم إذا أثرت عليه قوة ما فإنها تكسبه تسارعاً، يتناسب طردياً مع قوته وعكسياً مع كتلته ويكون باتجاه تلك القوة. وهو القانون الذي سنحدد من خلاله سرعة المنطاد وبالتالي تغيرات أحداثياته في الفضاء ومكانه.

نقوم بإيجاد محصلة القوى المؤثرة في المنطاد

$$\Sigma \vec{F} = \vec{W} + \vec{Lift} + \vec{Thrust} + \vec{Drag} + \vec{Wind}$$

ثم نقوم بإيجاد التسارع عن طريق قسمة شعاع القوة على كتلة المنطاد:

$$\vec{a} = \frac{\Sigma \vec{F}}{m}$$

ثم يمكننا حساب السرعة اللحظية للمنطاد عن طريق القانون:

$$\vec{v} = \vec{a}t + \vec{v}_0$$

وعن طريق السرعة نستطيع حساب الموقع الجديد

$$\vec{x} = \vec{v}t + \vec{x}_0$$

ويمكن حسابها مباشرة من القانون:

$$\vec{x} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}t + \vec{x}_0$$

ولكن محصلة القوى ستستمر بالتناقص تدريجياً بسبب قوة مقاومة الهواء التي تتناسب مع طرداً مع سرعة المنطاد وتعاكس اتجاهه حتى تصبح معدومة وبالتالي ينعدم التسارع وتثبت السرعة ويتحقق قانون نيوتن الأول فتصبح الحركة حركةً مستقيمة ذات سرعة ثابتة وتسارع معدوم.





### أولاً- حالة صعود المنطاد نحو الأعلى عند الاقلاع:

عندما يمتلئ غلاف المنطاد بغاز الرفع تتشكل قوّة رافعة تسحب المنطاد نحو الأعلى تعاكس قوة الثقل التي تسحب المنطاد نحو الأسفل وعندما يكون مقدار قوة الرفع أكبر من قوة الثقل يبدأ المنطاد بالصعود والطفو نحو الأعلى بسرعة متزايدة في البداية، نحسبها حسب قانون نيوتن الثاني المذكور سابقاً:

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

حيث القوى المؤثرة هنا هي:

قوة الرفع، وقوة الثقل، وقوة مقاومة الهواء، وقوة الرياح لو كانت موجودة.

$$\Sigma \vec{F} = \vec{W} + \vec{Lift} + \vec{Drag} + \vec{Wind}$$

حيث يتم التحكم بعلو المنطاد وسرعة ارتفاعه عن طريق إخراج الهواء الموجود في الحجيرات إلى خارج المنطاد مما يقلل حجم الهواء ويترك حجم أكبر لغاز الرفع فتزيد قوّة الرفع (الطفو) فيرتفع المنطاد بسرعة أكبر نحو الأعلى ويتوقف عندما يصل إلى ارتفاع تكون فيه كثافة الهواء مساوية لكثافة غاز الرفع.

### ثانياً- حالة الطيران نحو الأمام:

ينطلق المنطاد نحو الأمام بفعل قوّة الدفع التي ينتجها المحرك والمراوح المتصلة به، حيث تؤثر على المنطاد بقوة تدفعه نحو الأمام (thrust) ويكون عندها خاضعاً للقوى المذكورة في حالة الصعود بالإضافة إلى قوّة الدفع:

$$\Sigma \vec{F} = \vec{W} + \vec{Lift} + \vec{Drag} + \vec{Wind} + \vec{Thrust}$$







### ثالثاً- حالة الهبوط:

عندما تنقص قوة الرفع لتصبح أقل من قوّة الثقل يبدأ المنطاد بالنزول تدريجياً بسرعة صغيرة حتى يصل إلى الأرض، ويحدث ذلك نتيجة نقصان حجم غاز الرفع وزيادة حجم الهواء الموجود في الحجيرات عن طريق ضخ الهواء الخارجي فيها فبالتالي تقل قوة الرفع وتتغلب عليها قوّة الثقل. تكون القوى المؤثرة في هذه الحالة هي قوّة الثقل والتي هي الأكبر هنا، بالإضافة إلى قوة الرفع ومقاومة الهواء وقوة الرياح لو كانت موجودة :

$$\Sigma \vec{F} = \vec{W} + \vec{Lift} + \vec{Drag} + \vec{Wind}$$

### رابعاً- حالة الدوران يميناً ويساراً والميلان لأعلى وأسفل

عندما يتم تدوير الدفة أو الرافعات يتغير تدفق الهواء عبرها مما يشكل قوّة دفع تؤثر في ذيل المنطاد في الاتجاه المعاكس لجهة الدفة، مما يخلق عزم مزدوجة في المنطاد تؤدي لتدويره.

## الدراسة الرياضية

سنقوم بتجربة دراستنا الفيزيائية على السفينة الهوائية Goodyear blimp. وهذه بعض المعلومات التي سنحتاجها في تجربتنا والتي تم استخراجها من معلومات التصنيع لهذه السفينة الهوائية:

- تتراوح كتلته في العادة بين (4000kg , 7000kg) وسنفرض في تجربتنا أن المنطاد كتلته تساوي (5832kg).
- يحتوي على مروحتين (Propellers) يتوضعان على جانبي السفينة, ولكل منهما المواصفات الآتية (rpm = 1889.5, pitch = 36 inch, d = 80 inch)
- يمتلك معامل مقاومة هوائية قيمته (Cd = 0.08).
- يمتلك الأبعاد التالية (الطول: 59m , العرض: 16m , الارتفاع: 19m).





## كيف سيرتفع ويقلع المنطاد:

إن المنطاد يعتمد في طيرانه على قوة الرفع و لحساب قوة الرفع  $W$ ، نحتاج إلى معرفة وزن blimp وقوة الطفو التي يولدها حجم الهيليوم الداخل فيه. بفرض أن blimp يكون عند درجة حرارة وضغط قياسي (SATP)،

حساب قوة ثقل السفينة الهوائية:

$$W = m * g$$

حيث أن  $m$  هي كتلة ال blimp و  $g$  هي تسارع الجاذبية الأرضية ( $9.81 \text{ m.s}^{-2}$ )

$$W = 5832 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 57,211.92 \text{ N}$$

حساب قوة الطفو المتولدة من حجم الهيليوم :

$$B = \rho * V * g$$

حيث أن  $\rho$  هي كثافة الهواء ولكن كيف يتم حسابها :

$$\rho = (P * M) / (R * T)$$

حيث:

$\rho$  = كثافة الهواء (كجم/متر مكعب)

$P$  = الضغط (باسكال)

$M$  = كتلة مولية للهواء (28.97 جم/مول)

$R$  = ثابت الغاز (8.314 جول/مول.كلفن)

$T$  = درجة الحرارة المطلقة (كلفن)

يمكن الحصول على القيم اللازمة لحساب كثافة الهواء من مصادر مختلفة، مثل محطات الرصد الجوي أو محطات الطقس، ويجب ملاحظة أن الرطوبة يمكن أن تؤثر على كثافة الهواء، حيث تزداد كثافة الهواء عندما تنخفض نسبة الرطوبة.

ولكن نحن نريد حساب كثافة الهواء في الشروط القياسية المحيطية SATP حيث الضغط يساوي (1 atm) و درجة حرارة ( $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ).





درجة الحرارة المطلقة:  $298.15 = 273.15 + 25$  كلفن

الضغط: 101325 باسكال

كتلة مولية للهواء: 28.97 جم/مول

ثابت الغاز: 8.314 جول/مول.كلفن

$$\rho = (P * M) / (R * T)$$

$$\rho = (101325 * 0.02897) / (8.314 * 298.15)$$

$$\rho = 1.184 \text{ kg/m}^3$$

وبالتالي، فإن كثافة الهواء عند درجة حرارة 25 درجة مئوية وضغط 1 اتموسفير تبلغ حوالي 1.184 كيلو غرام/متر مكعب.

سنقرب كثافة الهواء الى  $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$

#### حساب حجم غاز الهيليوم اللازم ضخه داخل المنطاد

يتم حساب الحجم داخل المنطاد من خلال العلاقة التالية لرفع المنطاد، حيث يجب أن تكون محصلة القوى موجبة تماماً فلذلك يجب أن يتكون قوة طفو السفينة الهوائية أكبر تماماً من قوة ثقلها :

$$B > W$$

$$\rho * V * g > m * g$$

$$V > m / \rho$$

$$V > 5832/1.2$$

$$V > 4860$$

إذا فإن أي قيمة أكبر من 4860 لحجم غاز الهيليوم ستؤدي إلى رفع المنطاد عن سطح الأرض فسنفرض قيمتها  $V = 5730 \text{ m}^3$ .

والآن باستخدام القيم السابقة نقوم بحساب قوة الطفو :

$$B = 1.2 \text{ kg/m}^3 * 5730 \text{ m}^3 * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$B \approx 61,385.6 \text{ N}$$





و لحساب محصلة القوى للمنطاد :

$$\sum F = B - W$$

$$\sum F = 61,385.6 \text{ N} - 57,211.92 \text{ N} = 4,173.68 \text{ N}$$

بالتالي، فإن محصلة قوى الرافعة لـ good year blimp، في هذه الظروف، ستكون تقريباً 4,173.68 نيوتن.

تسارع طيران السفينة الهوائية :

نستعمل قانون نيوتن الثاني :

$$\sum F = m \cdot a$$

$$m = 5832 \text{ حيث أن } F = 4173.68$$

$$a = F / m = 4173.68 / 5832 = 0.71 \text{ m.s}^{-2}$$

السرعة الحدية :

الآن السؤال كالتالي ماهي السرعة الحدية للمنطاد في هذه الحالة وما هو أعلى ارتفاع يمكن أن يصل إليه ؟  
لحساب السرعة الحدية  $V_{max}$  تكون عندها مقاومة الهواء تساوي محصلة القوى المؤثرة على المنطاد و  
تعاكسها في الاتجاه ( فتكون لمحصلة الكلية تساوي 0 ).

ولحساب تلك السرعة نطبق القانون التالي :

$$F = (1/2) * Cd * \rho * A * v^2 = - \sum_{\text{حيث:}} F$$

$F$  = قوة المقاومة الهوائية (نيوتن)

$Cd$  = معامل المقاومة الهوائية

$\rho$  = كثافة الهواء (كجم/متر مكعب)

$A$  = مساحة مقطع الجسم العرضي (متر مربع)

$v$  = السرعة النسبية بين الجسم والهواء (متر/ثانية)







إن قوة مقاومة الهواء يجب أن تساوي محصلة القوى أي  $4173.68 \text{ N}$   
ومعامل مقاومة الهواء على ال  $\text{good year blimp}$  يساوي  $0.08$   
وكثافة الهواء تساوي  $1.2$

ومساحة المقطع الجسم العرضي يساوي  $885 \text{ m}^3$   
من القيم السابقة نحسب السرعة الحدية :

$$V_{max} = \sqrt{\frac{2 \sum F}{Cd * \rho * A}}$$

$$V_{max} = 9.9 \text{ m.s}^{-1}$$

حساب أقصى ارتفاع سيصل إليه blimp

بناءً على المعطيات السابقة سنقوم بالتالي :  
يتوقف *blimp* عن الصعود في الجو عندما يتوازن وزن البالون مع قوة الرفع التي يولدها الغاز داخل المنطاد. وعندما يتوقف عن الارتفاع، يعرف هذا الارتفاع بارتفاع التوازن.  
في حالة البالون المملوء بالهيليوم، يمكن حساب ارتفاع التوازن باستخدام الصيغة التالية:  
$$h = (R * T / g) * \ln (M_{air} / M_{he})$$
  
حيث:

$h$  = ارتفاع التوازن (بالمتر)

$R$  = ثابت الغاز (8.314 جول/كلفن)

$T$  = درجة الحرارة المطلوبة (بالكلفن)

$g$  = التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية (9.81 متر/ثانية مربعة)

$M_{air}$  = كتلة الهواء (بالكيلوجرامات) في الحجم الذي يحتوي عليه البالون

$M_{he}$  = كتلة الهيليوم (بالكيلوجرامات) في الحجم الذي يحتوي عليه البالون

$V$  = حجم الهيليوم داخل البالون إلى 5730 متر مكعب

فإنه سيتم تعديل كتلة الغاز داخل البالون وفقاً للحجم الجديد.

وبالتالي، سيكون لدينا قيم جديدة لكل من  $M_{he}$  و  $M_{air}$  :

$$M_{balloon} = 5832 \text{ كجم}$$

$$M_{he} = p * V / (R * T)$$





حيث:

$$p = \text{ضغط الهيليوم (في هذا المثال 101,325 باسكال)}$$

$$V = \text{حجم الهيليوم الجديد (5730 متر مكعب)}$$

$$T = \text{درجة الحرارة المطلوبة (25 درجة مئوية + 273.15 = 298.15 كلفن)}$$

$$M_{he} = (101325 * 5730) / (8.314 * 298.15)$$

$$M_{he} = 234.4 \text{ كجم}$$

$$M_{air} = p * V / (R * T)$$

حيث:

$$p = \text{ضغط الهواء (في هذا المثال 101,325 باسكال)}$$

$$V = \text{حجم البالون (5000 متر مكعب)}$$

$$T = \text{درجة الحرارة المطلوبة (25 درجة مئوية + 273.15 = 298.15 كلفن)}$$

$$M_{air} = (101325 * 5000) / (8.314 * 298.15)$$

$$M_{air} = 2065 \text{ كجم}$$

وباستخدام الصيغة السابقة، يمكن حساب ارتفاع التوازن الجديد على النحو التالي:

$$h = (R * T / g) * \ln (M_{air} / (M_{balloon} - M_{he}))$$

$$h = (8.314 * 298.15 / 9.81) * \ln (2065 / (5832 - 234.4))$$

$$h = 1029m \text{ (تقريباً 3376 قدم)}$$

إذاً فأعلى ارتفاع ستصل له السفينة الهوائية هو 1 كيلو متر تقريباً.

**الآن وبعد أن أصبحت السفينة الهوائية في الجو، لندرس كيفية تحليقها الى الأمام.**

**كيف تتحرك السفينة الهوائية في الجو؟**

إن العنصر الرئيسي المسؤول عن حركة السفينة الهوائية هو المراوح (propellers) التي توجد على جانبي المنطاد، هذه المراوح تولد قوة دفع (Thrust) تؤثر على السفينة وتدفعها باتجاه الأمام، وقبل البدء بحساب قيمة هذه القوة سنفرض أن المنطاد كان في حالة سكون في اللحظة قبل تشغيل المحركات ( $V_0=0$ ). عندها تكون قوة الدفع تساوي:

$$Thrust = 4.392 \times 10^{-8} \times RPM \times \frac{d^{3.5}}{\sqrt{pitch}} \times (4.233 \times 10^{-4} \times RPM \times pitch - V_0)$$

$$Thrust = 4.392 \times 10^{-8} \times 1889.5 \times \frac{80^{3.5}}{\sqrt{36}} \times (4.233 \times 10^{-4} \times 1889.5 \times 36 - 0)$$





$$Thrust = 1823.72 (N)$$

ولكن لدينا محركين أي أنّ قوة الدفع مضاعفة

$$Total Thrust = 3,647.44 (N)$$

حساب قوة مقاومة الهواء (Drag):

ملاحظة: عند حساب ال Drag في المجال الأفقي فإن السطح المعرض للهواء (A) تكون قيمته التقريبية  $(Width * Height = 304m)$ .

مما سبق وجدنا أن:

$$Drag = (0.5) * Cd * \rho * A * V^2$$

$$Drag = (0.5) * 0.08 * 1.275 * 304 * 0$$

$$Drag = 0 (N)$$

وبذلك تكون محصلة القوى الأفقية المؤثرة على المنطاد هي:

$$\Sigma F = Thrust - Drag$$

$$\Sigma F = 3647.44 (N)$$

ولحساب التسارع في هذه اللحظة نستخدم قانون نيوتن الثاني:

$$\Sigma F = m * a$$

$$a = 3647.44 / 5832$$

$$a = 0.625 (m.s - 2)$$

حساب السرعة الحدية (السرعة الأعظمية)

لحساب السرعة الحدية التي تستطيع السفينة الهوائية بلوغها :

حسب قانون نيوتن الأول, عند الوصول الى السرعة الحدية تكون محصلة القوى الأفقية المؤثرة تساوي الصفر. ومن هذا القانون سننطلق لإيجاد المطلوب:

$$\Sigma F = 0$$

$$Thrust - Drag = 0$$

$$Thrust = Drag$$





$$4.392 \times 10^{-8} \times RPM \times \frac{d^{3.5}}{\sqrt{pitch}} \times (4.233 \times 10^{-4} \times RPM \times pitch - V) = 0.5 \times Cd \times \rho \times A \times V^2$$

لتسهيل الحل سنقوم بتعويض قيم كل المتغيرات والثوابت للحصول على شكل أسهل للحل:

$$63.34 \times (28.7937 - V) = 14.592 \times V^2$$

$$14.592 V^2 + 63.34 V - 1823.793 = 0$$

وبعد حل المعادلة نجد أن

$$V = V_{max} = 9.218 \left( \frac{m}{s} \right)$$

### الآن سنختبر تأثير هبوب رياح على المنطاد:

سنفرض أن رياحاً سرعتها  $5 \text{ m/s}$  قد هبّت وكان اتجاهها من الجانب اليساري إلى الجانب اليميني للمنطاد إذا فسطح تأثيرها هو السطح الجانبي للمنطاد، وسنفرض أن محرك الدفع كان متوقفاً والمنطاد ساكناً في الهواء، وبالتالي تتولد قوة  $\text{wind load}$  على جانب المنطاد تدفعه نحو اليمين هذه القوة تساوي:

$$\overrightarrow{Wind} = Cd \times \rho \times \vec{V}^2 \times A$$

حيث

$$A \approx 16 \times 59 = 944 \text{ m}^2$$

ومنه تصبح قوة الرياح:

$$Wind = 0.08 \times 1.2 \times 5^2 \times 944$$

$$\Rightarrow Wind = 2265.6 \text{ N}$$

وهي قوة الرياح المؤثرة في المنطاد، تسبب له تسارعاً مقداره حسب قانون نيوتن الثاني:

$$a = \frac{Wind}{m} = \frac{2265.6}{5832} \approx 0.3885$$







## والآن سنجري التجربة في حالة هبوط المنطاد:

ليهبط المنطاد يجب أن تقلَّ قوَّة الرفع إلى أن تصبح قوَّة الثقل أكبر منها فيبدأ المنطاد بالهبوط بروية، وليتم ذلك يجب أن يقل حجم غاز الرفع الموجود في المنطاد لأنه المسؤول الأول عن قوة الرفع  $B = \rho * v * g$  لتقليل حجم غاز الرفع يقوم القبطان بتعبئة الـ ballonets بالهواء الخارجي حتى تزداد كتلة المنطاد ويصغر حجم غاز الرفع وتقلَّ قوَّة الرفع.

لتكون قوَّة الرفع أقل من قوَّة الثقل:

$$\begin{aligned} B &< W \\ \rho * V * g &< m * g \\ V &< m / \rho \\ V &< 5832 / 1.2 \\ V &< 4860 \end{aligned}$$

إذا فيجب على حجم غاز الرفع في المنطاد أن يكون أقل تماماً من 4860 متر مكعب حتى يهبط المنطاد سنقوم بملء الـ ballonets بـ 930 متر مكعب من الهواء وبفرض كان حجم غاز الرفع في المنطاد يساوي 5000 متر مكعب فسيصبح بعد تعبئة الحجيرات مساوياً لـ:

$$V_{new} = V_{old} - V_{bal} = 5730 - 930 = 4800$$

وبالتالي فالحجم الجديد لغاز الرفع يساوي 4800 متر مكعب

نقوم الان بحساب محصلة القوى المؤثرة في المنطاد (على فرض أننا أطفأنا المحرك والرياح ساكنة والقوتان المؤثرتان الوحيدتان هما قوة الرفع وقوة الثقل)

$$\begin{aligned} \sum F &= B - W \\ \sum F &= \rho * V * g - m * g \\ \sum F &= 1.2 * 4800 * 9.81 - 5832 * 9.81 \\ \sum F &= -706 \text{ N} \end{aligned}$$

نلاحظ أن محصلة القوى سالبة، وبالتالي فإن اتجاه المنطاد الآن سيكون للأسفل بسبب تأثير قوَّة الثقل





نحسب تسارعه حسب قانون نيوتن الثاني:

$$\sum F = m * a \Rightarrow a = \sum F / m$$

$$a = -706/5832 = -0.121 m.s^{-2}$$

ولحساب السرعة الحدية في هبوطه: نحصل على السرعة الحدية عندما تصبح محصلة القوى تساوي الصفر بسبب تأثير قوة مقاومة الهواء المعاكسة لحركة الجسم:

$$\sum F = 0$$

$$B - W - Drag = 0$$

$$706 = Drag$$

$$706 = 0.5 * Cd * \rho * A * V^2$$

$$v = \sqrt{\frac{706}{0.5 * 0.08 * 1.2 * 885}}$$

$$V_{max} = 4.01 m/s$$

وهي السرعة القصوى التي سيصل إليها المنطاد اثناء هبوطه بهذا الحجم من غاز الرفع ويجب على القبطان زيادة قوة الرفع قبل مسافة من الوصول للأرض ليحقق سرعة مناسبة للهبوط بأمان.





## المراجع

كتاب الفيزياء للصف العاشر الثانوي

[https://www.engineeringtoolbox.com/standard-atmosphere-d\\_604.html](https://www.engineeringtoolbox.com/standard-atmosphere-d_604.html)

[/https://lynceans.org/all-posts/modern-airships-part-1](https://lynceans.org/all-posts/modern-airships-part-1)

<https://www.tytorobotics.com/blogs/articles/how-to-calculate-propeller-thrust>

<https://howthingsfly.si.edu/forces-flight/four-forces>

<http://www.madehow.com/Volume-3/Airship.html>

[https://lynceans.org/wp-content/uploads/2021/08/Goodyear\\_civilian-blimps-converted-compressed.pdf](https://lynceans.org/wp-content/uploads/2021/08/Goodyear_civilian-blimps-converted-compressed.pdf)

