



Modelling the Flying Bird

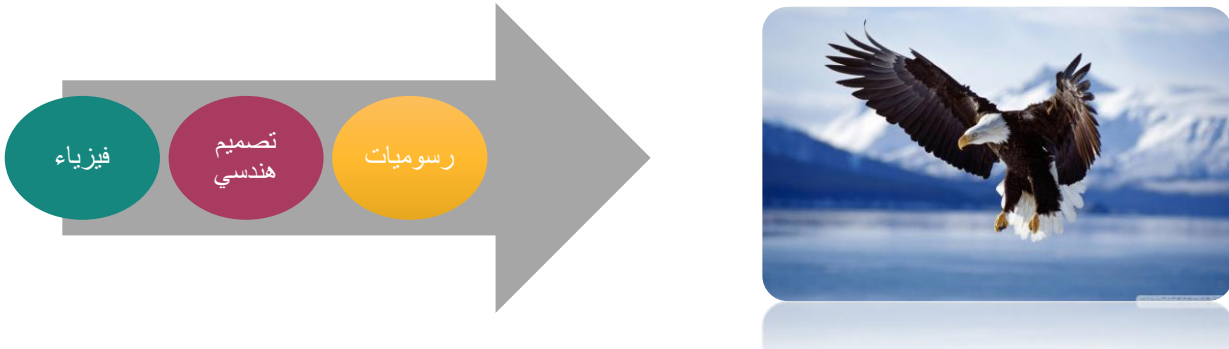
By

غيث ابو حاكمة
عمار المصري
عزت مزاحم
محمد لؤي العش

يتضمن المشروع دراسة فيزيائية للطائر.

إبتداءً من توصيف الطائر (كمساحة جناحيه وإمتدادهما.....) ومن ثم وصف البيئة المحيطة به والتي سنظهر من خلالها العوامل المناخية والأرضية (الفيزيائية) التي تؤثر على الطائر (كالرطوبة ودرجة الحرارة والجاذبية.....) وبعدها يتم الحديث عن ماذا يحتاج الطائر للطيران والعمل الواجب بذله لتحقيق الطيران الأفقي (يتضمن حسابات الطاقة والقوى التي تؤثر على الطائر) وينتهي بمقارنة الطرق المختلفة لحساب القوى المتولدة والقوى المؤثرة على الطائر (حيث يوضح وجهة نظر مختلفة لحسابات هذه القوى).

كيف يتم ذلك؟! ينقسم العمل على ثلاث مراحل



الهدف النهائي:

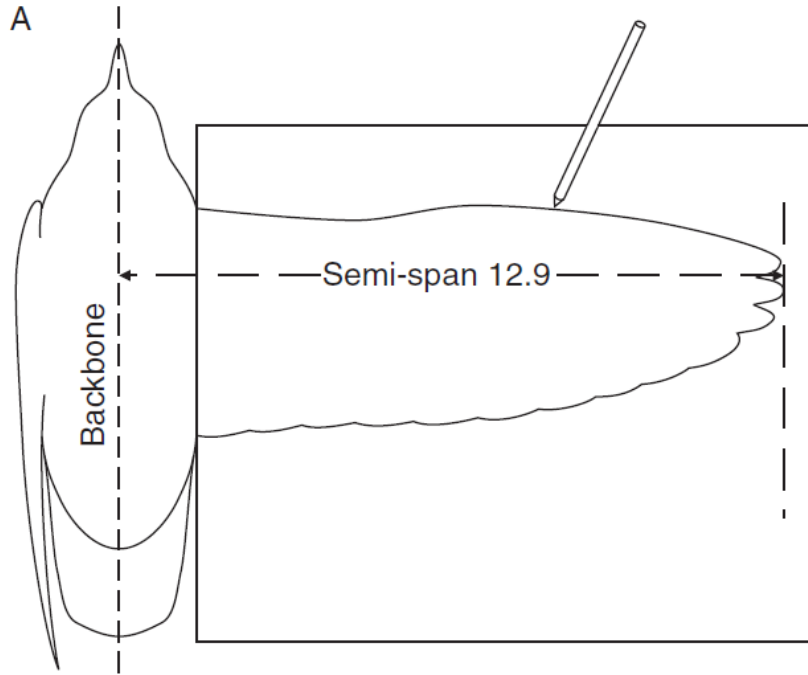
إظهار محاكاة واقعية قدر الإمكان للطائر وتأثير القوى المحيطة عليه.

المقدمة

الفصل الأول	الدراسة الفيزيائية للطيور (6..2)
الفصل الثاني	بيئة الطيران (11..7)
الفصل الثالث	آلية الطيران الأفقي (26..12)
الفصل الرابع	أثر العواصف (54..26)
ملحق	يضم بعض المفاهيم الفيزيائية المستخدمة في المشروع (..)

Physical Study of Birds

(الدراسة الفيزيائية للطيور)



في هذه الدراسة سنقوم بحساب الطاقة اللازمة للطيور لكي تفعل ماتفعله والذي يعد من القاعدة الكلاسيكية للايروديناميك.

والايروديناميك بنفس الوقت تعتمد على قوانين نيوتن وللقيام بهذه الحسابات فنحن نحتاج الى عدة قياسات للاجنحة والاكسجين الذي نحتاجه لعملياته.

في هذه الدراسة لن نعتد على طائر معين او على القياسات المباشرة الافتراضية لحساب مانحتاجه حيث سنقوم بوضع عدة قوانين والتي ستكون عامة لكي يتم تطبيقها على اي طائر حقيقي او تخيلي يقوم المستخدم بادخال القياسات المطلوبة لتعريف الطائر والبيئة التي يطير بها.

نحن سنقوم بتقديم عدة خيارات لتحديد الفرضيات الممكنة للمعلومات المدخلة ثم نظهر الاداء المتوقع للطائر في الانحدار والصعود.

باعتبار ان كتلة الطائر تتألف من ثلاث اقسام وهي كتلة العضلات وكتلة الشحوم وكتلة هيكله.

m : كتلة الطائر الكلية

m_{crop} : كتلة الطائر المضافة

m_{empty} : كتلة الطائر الفارغة

m_{fat} : كتلة الشحوم

m_{musc} : كتلة العضلات

m_{frame} : كتلة الهيكل

(m) : كتلة الطائر الكلية

المقصود بها هي كتلة الطائر كاملة مع اي شيء يحمله كدودة او خاتم او رسالة او كتلة الطائر الكلية تحدد القوة اللازمة من العضلات للطيران لكي تدعم وزنه.

(m_{empty}) : كتلة الطائر الفارغة

المقصود بها كتلة الطائر بلحمه وعضلاته وهيكله.

(m_{fat}) : كتلة شحوم الطائر

هي كتلة الشحوم المخزنة في الطائر والتي تستعمل كوقود.

(m_{musc}) : كتلة عضلات الطائر

وهي العضلات الصدرية وعضلات الاجنحة والتي تعمل على خفض الاجنحة ورفعها سوية.

(m_{frame}): كتلة هيكل الطائرة)

كتلة ما تبقى بعد طرح كتلة الشحوم والعضلات من كتلة الطائرة الاصلية ويعتبر كهيكل الطائرة الذي يحمل الوقود وهي الشحوم والمحرك والتي هي العضلات.

(F_{fat}): معدل الشحوم)

$$F_{fat} = \frac{m_{fat}}{m}$$

وهي نسبة كتلة الشحوم الى الكتلة الكلية.

(F_{musc}): معدل كتلة العضلات)

$$F_{musc} = \frac{m_{musc}}{m}$$

وهي نسبة كتلة العضلات الى الكتلة الكلية.

(F_{frame}): معدل الهيكل)

$$F_{frame} = \frac{m_{frame}}{m}$$

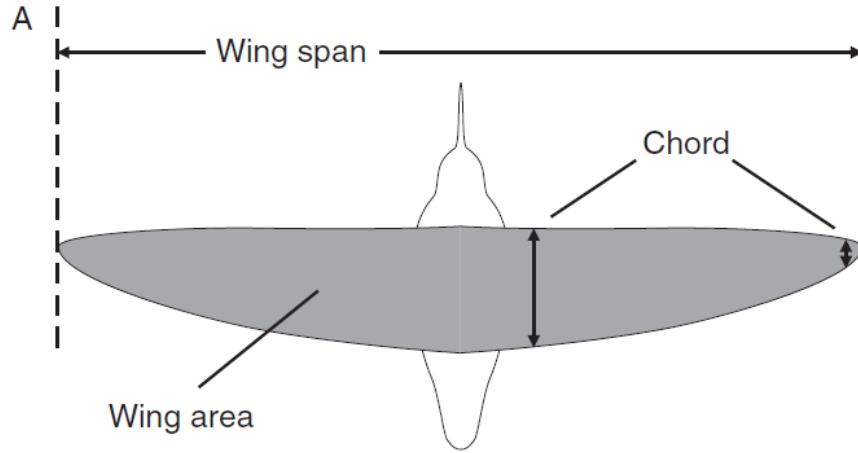
وهي نسبة كتلة العضلات الى الكتلة الكلية

$$(F_{fat} + F_{musc} + F_{frame} = 1)$$

للقيام بالعمليات الحسابية هناك عنصرين ضرورين وهما مساحة الجماحين والمسافة التي يغطيها الجناح(امتداد الجناح).

Wing span(B): امتداد الجناح

وهو اهم عنصر لحساب اداء الطيور وهو المسافة بين بداية الجناح الاول ونهاية الجناح الثاني بامتداده الاعظمي.



Wing area (Swing): مساحة الجناح

هي مساحة الجناحين بالاضافة الى مساحة الجسم بينهما حيث اثبتت الدراسات ان هذا الجزء يقوم بدعم عملية الطيران ويحدد الاداء والزاوية التي يجب الانحراف بها اثناء الانعطاف.

chrod(c) & mean chord(cm)

المسافة بين حافتي الجناح نفسه وهي ليست ثابتة لذلك يستعاض بمتوسطها والتي اثبتت الدراسات التجريبية انها تعطى بالعلاقة

$$c_m = \frac{S_{wing}}{B}$$

Aspect ratio (Ra):نسبة العرض إلى الارتفاع

$$R_a = \frac{B}{c_m}$$

أو

$$R_a = \frac{B^2}{s_{wing}}$$

فيكون لدينا:

$$s_{wing} = \frac{B^2}{R_a}$$

مساحة الذيل:

الذيل هو سطح الرفع الإضافي في الطيور. وقد مثلت ذيول باعتبارها الجناح دلتا (كتوسيع، وراء الجناح الرئيسي) توماس، 1993 .

TABLE 1.1 Dimensions of variables and SI units.

Quantity	SI Unit	Dimensions	
Mass	kilogram (kg)	Mass	M
Length	metre (m)	Length	L
Time	second (s)	Time	T
Area	square metre (m ²)	Length ²	L ²
Volume	cubic metre (m ³)	Length ³	L ³
2nd moment of area	metre to the fourth (m ⁴)	Length ⁴	L ⁴
Frequency	hertz (Hz)	Inverse time	T ⁻¹
Density	kilogram per cubic metre (kg m ⁻³)	Mass/volume	ML ⁻³
Moment of inertia	kilogram metre-squared (kg m ²)	Mass × length ²	ML ²
Velocity	metre per second (m s ⁻¹)	Length/time	LT ⁻¹
Acceleration	metre per second-squared (m s ⁻²)	Length/time ²	LT ⁻²
Force	newton (N)	Mass × acceleration	MLT ⁻²
Pressure	pascal (Pa)	Force/area	ML ⁻¹ T ⁻²
Work, energy	joule (J)	Force × length	ML ² T ⁻²
Moment, torque	newton metre (N m)	Force × length	ML ² T ⁻²
Power	watt (W)	Work/time	ML ² T ⁻³
Specific work	joule per kilogram (J kg ⁻¹)	Work/mass	L ² T ⁻²
Specific power	watt per kilogram (W kg ⁻¹)	Power/mass	L ² T ⁻³
Dynamic viscosity	newton sec per square metre (N s m ⁻²)	Pressure × time	ML ⁻¹ T ⁻¹
Kinematic viscosity	square metre per second (m ² s ⁻¹)	Area/time	L ² T ⁻¹

THE FLIGHT ENVIRONMENT

(بيئة الطيران)

يتأثر أداء الطائر خلال طيرانه من التركيب الكيميائي للهواء المحيط به (الرطوبة ودرجة الحرارة) ولكن هذه التأثيرات فسيولوجية. دراستنا تعتمد على فيزياء الطيران وتتطلب قيم لاثنتين فقط من المتغيرات البيئية والتي يتم حسابها من قبل علماء البيئة وهي قوة الجاذبية و كثافة الهواء. بحالة وجود الاوكسجين في غلاف الكواكب المجاورة ودرجات حرارة معتدلة إلا ان طيران الكائنات سوف يكون مختلفا جدا فبعضهم لديهم جاذبية اضعف من جاذبية كوكبنا والذي يؤثر على وزن كتلة الطائر واشياء اخرى كاختلاف كثافة الهواء. على كوكب الارض تعتبر الجاذبية ثابتة تقريبا ولكن كثافة الهواء تختلف من منطقة الى اخرى و(خاصة) على ارتفاعات مختلفة فوق مستوى سطح البحر.

الدراسة الفيزيائية لحقل الجاذبية الارضية:

1. إن وجهة نظر نيوتن للجاذبية الارضية لوحدها كافية لإجراء العمليات الحسابية لدراستنا والتي تقول ان الارض تمارس قوة على التفاحة والتي تتناسب طردا مع كتلة الارض وعكسا مع مربع المسافة بين مركز كتلة الارض والتفاحة وكذلك العكس بالعكس ولكن بما ان الارض اكثر ضخامة بكثير من التفاح فإننا نعتبر ان التفاحة تنجذب نحو الارض اذا سقطت. إن وزن نيزك بكتلة ثابتة يزيد عند وقوعه من الفضاء لانه يقترب من مركز الارض وسوف يصل إلى اقصى قيمة عند وصوله الى سطح الارض. إن الجاذبية الارضية تصل لأقوى قيمة لها في القطبين و تتناقص كلما اقتربنا من خط الاستواء وذلك بسبب:
 - نصف قطر الارض اكبر عند خط الاستواء من القطبين وبالتالي اي غرض هناك هو ابعد بكثير عن مركز الأرض من القطبين.
 - دوران الارض تجبر اي غرض أو كائن بالانجذاب نحو مركز الارض بشكل متسارع وبالتالي تقل وزنه وهذا التأخير يكون الاقوى عند خط الاستواء ويتضاؤل في القطبين.
2. اما بالنسبة ل(Helmert) فإنه أوجد علاقة تجريبية بين كل من خطوط العرض والطول. في أي خط عرض تنخفض الجاذبية الارضية مع الارتفاع فوق مستوى سطح البحر وبأخذ التسارع الناتج عن الجاذبية الارضية فنلاحظ انه يتراوح بين 9.83m.s^{-2} عند مستوى سطح البحر في القطبين وصولا الى 9.83m.s^{-2} على ارتفاع 10000 متر فوق مستوى سطح البحر عند خط الاستواء.

معادلة هيلمرت هي تعبير بحدود متعددة والذي يعطي تقريب لتسارع الجاذبية الناتج عند ارتفاع (h) فوق سطح الارض وخط عرض (L):

$$g=9.80616-[0.025928\cos(2L)]-[0.000069\cos^2(2L)]- [3.086*10^{-6}*h]$$

القيمة الافتراضية المستخدمة للجاذبية في دراستنا سوف تكون 9.81m.s^{-2}

الدراسة الفيزيائية لغلاف الكرة الارضية:

يحوي الغلاف الجوي للأرض على نتروجين وواوكسجين وغازات اخرى وهذه الغازات مازالت محتواة في غلافنا نتيجة قوة الجاذبية على جذبها للارض. الطبقات السفلى من الغلاف الجوي مضغوطة نتيجة لثقل جزيئات الغاز الموجودة اعلاها، اما الخصائص الفيزيائية الاساسية للغلاف الجوي هي الضغط والحرارة والكثافة وهي تتناقص بطريقة منتظمة كلما ارتفعنا عن سطح البحر. الغلاف الجوي هو مصدر الاوكسجين اللازم لطيران الطيور ويتم به التخلص من ثاني اكسيد الكربون و....

اما بالنسبة لدرجة الحرارة والرطوبة فهي تؤثر على فسيولوجيا الطيران ولكن المهم في الحسابات الميكانيكية هي كثافة الهواء والتي يتم ادخاله اما من القياسات الحقيقية او من التقديرات المستمدة من المعايير الدولية للغلاف الجوي التالية:

• درجة الحرارة (T) والمقاسة ب Celsius:

حسب المعايير الدولية للغلاف الجوي فإن التروبوسفير هو المنطقة التي يقع بها سطح البحر وتكون الحرارة 15C وتتناقص كلما ارتفعنا عن سطح البحر بمعدل ثابت $\lambda=0.0065\text{C.m}^{-1}$ حتى الوصول لارتفاع 11000 m فوق سطح البحر والذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$T = 15 - 0.0065*h$$

حيث h هو الارتفاع فوق سطح البحر وتكون درجة الحرارة على ارتفاع 11000 m هي 56.5 C وتقوى هذه الدرجة ثابتة كلما ارتفعنا داخل منطقة الستراتوسفير على الرغم من استمرار تناقص كل من الضغط والكثافة مع الارتفاع.

• ضغط الهواء (p):

الضغط المعياري (البارامتري) عند سطح البحر حسب المعيار الدولي للغلاف الجوي هو 1013.2 millibars حيث ان كل 1 ميلي بار يعادل 1 هيكتو باسكال اي 100 باسكال ويعطى الضغط الجوي لاي نقطة من سطح الارض بالعلاقة التالية:

$$p = 1013 [1-(2.26* 10^{-5})*h]^{5.256}$$

• كثافة الهواء (ρ):

حسب المعيار الدولي للغلاف فإن كثافة الهواء عند سطح البحر هي 1.226 kg.m^{-3} حيث ان الكثافة هي الكتلة على الحجم.
 باعتبار ان الضغط ودرجة الحرارة عند سطح البحر هي الدرجة القياسية فإن كثافة الهواء المحلية تعطى من قانون بويل:

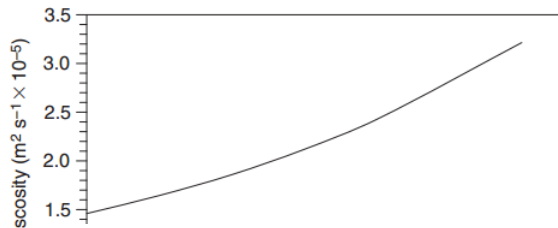
$$\rho = 1.226 (p / 1013) [288 / (T + 273)]$$

• اللزوجة الحركية (v):

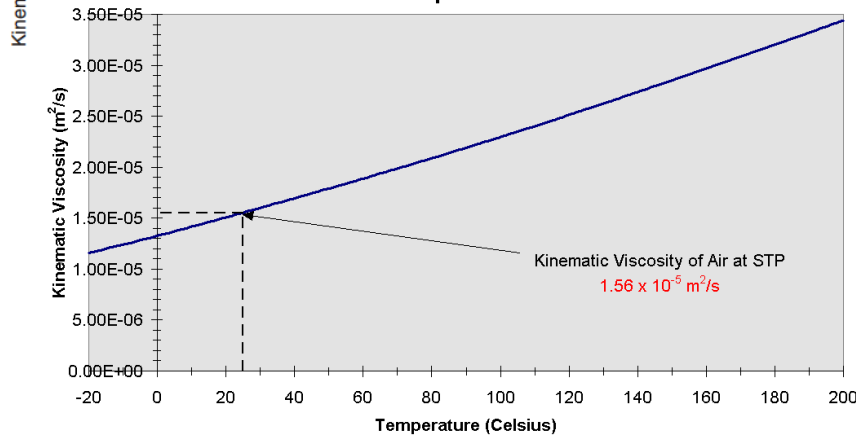
اللزوجة الحركية للهواء هي نسبة لزوجته لكثافته. ووحدتها متر مربع بالثانية $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ ولكنها مستقلة تقريبا من الضغط والكثافة وتزيد مع انخفاض درجات الحرارة اي مع الارتفاع ويمكن أن تعطى له قيمة تقريبية في المعيار الدولي للغلاف الجوي في المعادلة التالية:

$$v = 1.466 + 0.09507 * h + 0.01047 * h^2$$

حيث ان الارتفاع يقدر بالكيلومتر لا المتر
 ووحددة اللزوجة الحركية هي $10^{-5}.\text{m}^2.\text{s}^{-1}$



Kinematic Viscosity of Air at 1 atm as a Function of Temperature



إن كثافة الهواء من وجهة نظر المراقب يمكن حسابها من خلال الضغط المعياري ودرجة الحرارة.

• حساب كثافة الهواء

المحيط بشكل مباشر:

يعطى بالعلاقة التالية من قانون

$$\rho = 1.226 (p / 1013) [288 / (T + 273)] \quad \text{بويل:}$$

• حساب ضغط الهواء من طائرة:

عند مراقبة الطيور من طائرة فإن ضغط الهواء المحيط يعطى بالعلاقين التاليين:
 باعتبار ان قياس الارتفاع يتم بوحددة القدم:

$$p = 1013 [1 - (6.88 * 10^{-6}) * h_{ft}]^{5.256}$$

باعتبار ان قياس الارتفاع يتم بالمتر:

$$p = 1013 [1 - (2.26 * 10^{-5}) * h]^{5.256}$$

• دراسة حساب كثافة الهواء للطيور:

عند حساب كثافة الهواء المحيطة بالطير فإنه بالغالب مايكون المراقب والطير بارتفاعين مختلفين ولكن الفرق بالارتفاعين يمكن حسابه Δh حيث ان الفرق يكون موجبا اذا الطير فوق المراقب وسالبا بالعكس

باعتبار ان كثافة الهواء من مكان المراقب هي (ρ_1) فإن كثافة الهواء تعطى من العلاقة السابقة ولحساب الكثافة عند ارتفاع الطير (ρ_2) يعطى بالعلاقة التالية:

$$\rho_2/\rho_1 = \{1 - [0.00650\Delta h / (273 + T)]\}^{4.256}$$

$$\rho_2 = \{1 - [0.00650\Delta h / (273 + T)]\}^{4.256} \times \rho_1$$

• كتلة الارض الثابتة:

كل يوم تتساقط جزيئات في الغلاف الجوي للارض من الفضاء بعضها لها مسارات واضحة كالشهب وبعضها تصل الى السطح كالنيازك مشكلة حفرا بالارض او دمارا واسعا كالتى قضت على الديناصورات.

في عام 1986 قدر كل من كايت وواطسون ان هذه الاشياء تزيد كتلة الارض بمعدل وسطي 78 مليون كليون غرام سنويا وان هذا المعدل لم يختلف خلال ملايين السنوات السابقة واذا عدنا بالزمن 100 مليون سنة نجد ان كتلة الارض ازدادت بنحو $8 \times 10^{15} \text{ kg}$ ولكن هذا الشيء خاطئ حيث الكد بيتي واخرون ان كتلة الديناصورات في ذلك الوقت كانن تعدل من كتلة الارض لذلك تم اعتبار كتلة الارض ثابتة بمقدار $5.976 \times 10^{24} \text{ kg}$.

• نصف قطر الارض وجاذبيته:

على الرغم من ثبات كتلة الارض الا ان ذلك لايعني بالضرورة ثبات مساحتها وحجمها اذ ان ذلك يعتمد على كثافة المواد الصلبة الارضية والذي ممكن ان لاتكون ثابتة

1. تأثير تغير الكثافة على نصف قطر الارض باعتبار الارض كروية

$$r_e = (3m_e / 4\pi \rho_e)^{1/3}$$

حيث ان r_e هو نصف قطر الارض الكروية و m_e كتلة الارض الكروية و ρ_e معدل كثافة الارض

2. ارتفاع الكثافة يؤدي الى انخفاض نصف القطر ولكن قانون نيوتن لثقل جسم يقع على سطح الارض يعطى بالعلاقة:

$$W = (G * m_e * m) / (r_e)^2$$

حيث ان G هو ثابت الجاذبية $6.6732 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$ و m كتلة الجسم الواقع على سطح الارض

3. وباعتبار الارض كروية او محاطة بعدة قشور فإن لها نفس المركز وتطبق تسارعا جاذبيا على الاجسام الواقعة على سطحها والذي يعطى بالعلاقة:

$$g = G(4\pi/3)^{2/3} (m_e)^{1/3} (\rho_e)^{2/3}$$

إذا تناقصت الكثافة فإن نصف القطر يزداد وتتناقص قوة الجاذبية فعلى سبيل المثال اذا تناقصت كثافة الارض بنسبة 10% فإن الجاذبية تتناقص بنسبة 6.8% ونصف القطر يزداد بنسبة 3.5% وهذا النقصان في الجاذبية يؤدي الى زيادة قدرة الطيور على الارتفاع عاليا.

إن انخفاض الجاذبية الارضية ممكن ان يفسر قدرة الكائنات القديمة على الطيران والتي كانت اكبر من اي طير قادر على الطيران في هذه الايام (Cretaceous).

● كتلة وكثافة الغلاف الجوي:

تعطى ضغط الغلاف الجوي عند سطح البحر بالعلاقة التالية:

$$p_0 = m_a g / S_e$$

وبالتالي هي تتناسب طرذا مع كتلة الغلاف الجوي وعكسا مع مساحة سطح الارض ومنه تعطى كثافة الغلاف الجوي عند سطح البحر بالعلاقة التالية:

$$\rho_0 = p_0 / R g T = m_a / R S_e T$$

حيث ان R هو ثابت الغاز 29.3 m.K^{-1}

MECHANICS OF LEVEL FLIGHT

(آلية الطيران الأفقي)

في دراستنا الفيزيائية يعتبر تأثير كثافة الهواء وشكل الجسم الانسيابي وهيكّل الطائر من أهم المؤثرات في طيرانه.

إن الحيوانات غير القادرة على الطيران تسقط إن تركت في الهواء نحو مركز الأرض وذلك لأن كثافة أجسامهم أكبر بـ 800 مرة على الأقل من كثافة الهواء.

من المعروف أن الطيور تتحرك في الهواء عبر جناحيها ولكن كيف يتم ذلك؟؟؟؟؟ بقي ذلك لغزاً للعلماء حتى أواخر القرن التاسع عشر حيث وجد العلماء أنه لا يكفي فقط تقليد مظهر أجنحة الطيور بعناية نحن بحاجة إلى نظرية.

إن النظرية الكلاسيكية الأيروديناميكية للسرعة المنخفضة تعرف الجناح وما يفعله لمساعدة المهندسين على تصميم جناح يعمل بشكل فعال.

الدراسة الفيزيائية للقوة المطلوبة في الطيران

من أجل الطيران بشكل أفقي بسرعة ثابتة فإن عضلات الطيور بحاجة لتطبيق عمل ميكانيكي (قوة ميكانيكية) هذه القوة تعتمد على عدة عوامل وهي كتلة الطائر وامتداد أجنحته وشكله الانسيابي ونسبة الطول للعرض وبالإضافة إلى البيئة التي يطير بها هذا الطائر (الجاذبية وكثافة الهواء)

نيوتن قال أن أي طائر أو جسم هو مغمور بحقل من الجاذبية تطبق عليه قوة تجذبه نحو مركز الأرض.

قانون نيوتن الأول للحركة: إذا حافظ الطائر على ارتفاع ثابت ولم يتسارع للأعلى أو الأسفل فإن محصلة القوى العمودية على الطائر تساوي الصفر.

وتم تفسير ذلك عن طريق قانونه الثاني والذي يقول:

قانون نيوتن الثاني: إن القوة تساوي إلى مقدار تغير كمية الحركة.

للحواء كتلة والطير يولد قوة صاعدة عن طريق اكتساب قوة الدفع الحركية من تيارات الهواء المارة تحت جناحيها (downwash)

DownWash: هي تعبير فيزيائي يدل على منح الطائر لطاقة حركية لمجرى الهواء الذي يمر تحته مما يزيد ضغط الهواء الذي يقع أسفل الطائر مقارنة بالهواء الذي يقع فوقه مما يساهم في توليد قوى الرفع ومقاومة الوزن وبالتالي الطيران.

كل الطيور تولد Downwash وتدعم وزنها في الطيران الأفقي عبر المحافظة على توازن كمية الحركة وإن انعدمت هذه القوة فإن الطير يسقط ,أي ان الطائر في الطيران الأفقي ثابت السرعة يطبق كمية حركة على الهواء الذي بأسفله بمقدار يكفي تماما لمقاومة وزنه .

ومنه فإن الطائر يطبق عمل ثابت على عضلات أجنحته لكي يستطيع توليد كمية حركة تتجه للأسفل على الهواء الذي يقع تحته. إن الانزلاق (التحليق نحو الاسفل) هو ايضا شكل من اشكال الطيران لايعتمد بها الطائر على عضلات اجنحته بل يعتمد على طاقة الجاذبية الكامنة.

يختلف التحليق نحو الاسفل عن السقوط بأمرين:

- في التحليق السرعة تكون ثابتة بدلا من ان تكون متزايدة بشكل غير متحكم به.
- مسار الطيران يمكن ان يكون منحدر بزاوية صغيرة افقية.

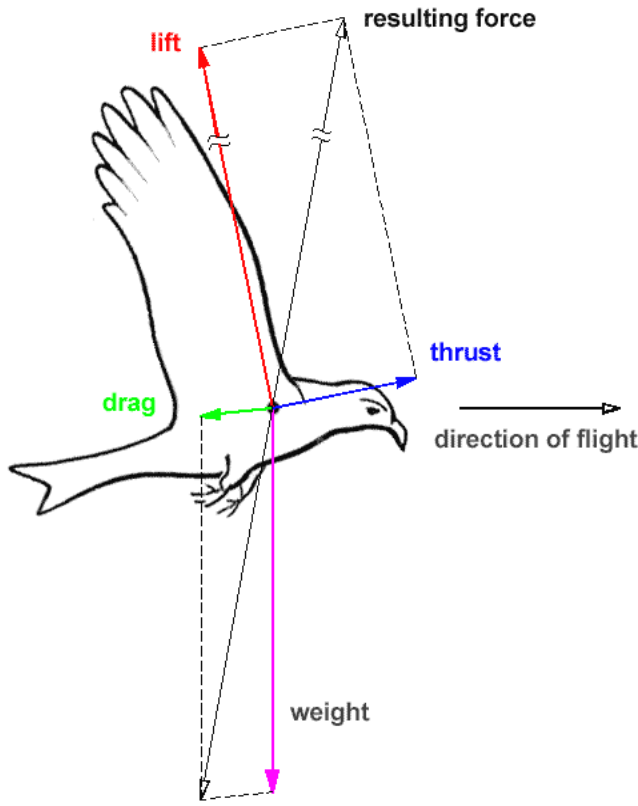
القوى المستخدمة:

Lift, drag هما قوتان اساسيتان في القوة الايروديناميكية المطبقة على الطيور والنااتجة عن الحركة بين الهواء والطيور وتعتمدان على مسار الهواء وليس على الجاذبية

- **Lift:** وهي قوة الرفع التي تقاوم وزن الطائر تتولد بشكل رئيسي من عضلات الأجنحة وتكون هذه القوة عمودية على مجرى الهواء مهما كان إتجاه الهواء.
- **Drag:** وهي قوة السحب التي يؤثر بها الوسط المحيط على الطائر وتتجه هذه القوة مع مجرى الهواء مهما كان إتجاه الهواء.
- إن اي قوة تتجه للأعلى (تنتج من ال Downwash) هي قوة رفع نقية أو مزيج من الرفع والسحب إعتقادا على الإتجاه القادم منه مجرى الهواء.
- يولد الجناح محصلة قوى التي تكون تقريبا عمودية على مجرى الهواء فهو بذلك يعظم النسبة lift:Drag

- إن سر الطيران للطيور والطائرات بالنهاية متشابه وهو استخدام قوى الرفع لدعم الوزن والمناورة ولكنه طبعا يختلف بمقدار قوى السحب التي يكون اكبر للطائرات منه للطيور.

Slow flight



- بعض الأمثلة التي توضح إتجاه كل من القوى ومحصلتها النهائية على الطائرة او على الجسم في حال الهبوط المظلي للإنسان:
- **Induce Power:** (الطاقة المتولدة) هي الطاقة الواجب على عضلات الطائر توفيرها للحصول على عمل وذلك لتطبيق كمية حركة متجهة للأسفل على معدل ثابت ليدعم وزن الطائر. الحالة الخاصة: عندما يكون سرعة الهواء صفر

$$r_m = s_d V_i \rho$$

- حيث (r_m) هو معدل كتلة الهواء المحيط و S_d هو المساحة المستهلكة من جناحي الطائر و V_i هو سرعة المتولدة للهواء عندما تعبر سطح الجسم ولكن للحصول على معدل تغير كمية الحركة يجب ان نضرب r_m ب $2V_i$ (لماذا ليس فقط V_i)

السبب لأنه عندما يرفرف الطائر فإن جناحيه يتجهان للأسفل والأعلى فيكون الضغط فوقه منخفضا بنسبة معينة

ويزداد الضغط الذي تحته بنسبة تساوي نسبة انخفاض الضغط فوقه وبالتالي فإن كمية الحركة تصل ل v_i عندما يصل الهواء للقرص ولكن عندما يبدأ الطائر بالتسارع تزداد لتصل إلى $2V_i$

$$2V_i r_m = mg$$

وبالتعويض من المعادلة السابقة:

$$2V_i^2 s_d \rho = mg$$

ومنه نستنتج سرعة الهواء عندما تعبر سطح جسم ما

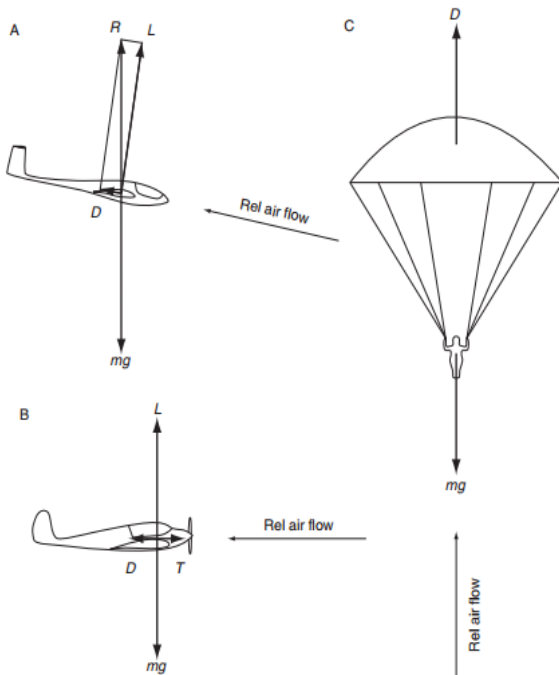
$$V_i = \left[\frac{mg}{2s_d \rho} \right]^{1/2}$$

الوزن حسب نيوتن هو القوة التي تدفع الطائر نحو الاسفل

$$P_{ind0} = mg V_i$$

وبالتعويض نجد ان

$$P_{ind0} = mg \left[\frac{mg}{2s_d \rho} \right]^{1/2}$$



ملاحظة: s_d هي المساحة المستهلكة من جناحي الطائرة حيث انها هي مساحة الدائرة التي يغطيها الجناحين

$$s_d = \frac{\pi B^2}{4}$$

ومنه فإن الطاقة المتولدة في حالة سرعة الهواء 0 تكون

$$P_{ind0} = mg \left[\frac{mg}{\frac{\pi B^2}{2} \rho} \right]^{1/2} = \left[\frac{2mg^3}{\pi B^2 \rho} \right]^{1/2}$$

في حالة عدم كون سرعة الهواء حقيقية عندئذ فإن معدل كتلة الهواء المحيط يعطى بالعلاقة

$$r_m = s_d * \sqrt{V_t^2 + V_i^2} \rho$$

حيث (r_m) هو معدل كتلة الهواء المحيط و s_d هو المساحة المستهلكة من جناحي الطائرة و V_i هو سرعة المتولدة للهواء عندما تعبر سطح الجسم و V_t سرعة الهواء الحقيقية ولكن عندما تزداد السرعة تصبح V_i مهملة مقارنة بـ V_t نستطيع ان نكتب

$$r_m = s_d V_t \rho$$

لنحصل على كمية الحركة المطبقة على تيار الهواء $2V_i$ ونضرب بـ

$$2V_i r_m = mg$$

وبالتعويض نحصل

$$2 v_i s_d v_t p = mg$$

ومنه فإن سرعة الهواء في تلك اللحظة

$$V_i = \frac{mg}{2V_t \rho s_d}$$

والقوة المتولدة هي

$$P_{ind} = mg V_i$$

$$P_{ind} = mg \frac{mg}{2V_t \rho s_d}$$

$$P_{ind} = \frac{(mg)^2}{V_t \rho \frac{\pi B^2}{2}}$$

هذه المعادلة هي تعبير مؤقت للقوة المتولدة والتي تحتاج إلى تعديل لان التدفق من خلال القرص الجناح يختلف عن ذلك من خلال القرص المثالي، من خلال إدخال "معامل القوة المتولدة

▪ **معامل القوة المتولدة (k):** إن القوة المتولدة التي يسببها الطائرة دائما ماتكون اكثر من تلك المحسوبة

للقرص وذلك بسبب الطاقة الداخلية المستهلكة

إن معامل القوة المتولدة (k) هو دائما اكبر من 1 ولكن ليس بشكل كبير. الدراسات التجريبية اثبتت انه

دائما مايكون هذا المعامل مساوي تقريبا للقيمة 1.1 او 1.2

لذلك القيمة الافتراضية لمعامل القوة المتولدة ستكون 1.15 ومنه القوة المتولدة تعطى بالعلاقين:

$$P_{ind} = \frac{2k(mg)^2}{V_t \rho \pi B^2}$$

$$P_{ind0} = \left[\frac{2k^2 mg^3}{\pi B^2 \rho} \right]^{1/2}$$

Induced drag (قوة السحب المتولدة): اثبتت النظريات انه هناك طريقة اخرى لحساب الطاقة المتولدة وهي باعتبار جميع عناصر القوة الميكانيكية للطائر كقوة سحب متولدة باضافة قوة سحب متولدة (تخيلية)

$$D_i = \frac{P_{ind}}{V_t} = \frac{2k(mg)^2}{V_t^2 \rho \pi B^2} \quad \text{تعطى بالعلاقة:}$$

الفرق بين التحليق والرفرفة هو ليس القوة المتولدة المستخدمة وإنما مصدر الطاقة حيث أنه عند التحليق يكون مصدر الطاقة هو الطاقة الكامنة للجاذبية , بينما في الرفرفة يكون مصدرها عضلات الطائر.

■ **الطاقة الميكانيكية :** هي معدل العمل الذي يجب على عضلات الطائر ان تقوم به أي انها تعبر عن الجهد الذي يتوجب على عضلات الطائر بذله ليدعم وزنه ضد الجاذبية

■ **الطاقة الكيميائية :** هي معدل استهلاك الطاقة (الدهون كوقود) فهي تتعلق بمتغيرات يتم حسابها في الدراسة السايكولوجية للطائر مثل معدل استهلاك الأكسجين وهكذا.... وهي فقط مهمة في حالات خاصة مثل الهجرة لدى الطيور.

الطاقة الكيميائية اكبر 4-5 مرات من الطاقة الميكانيكية (لماذا؟؟) ... طبعا تختلف بحسب اختلاف السرعة!

وذلك بسبب انه فقط جزء من الطاقة الكيميائية يستخدم كوقود للطيران بينما الجزء الباقي يضيع على الحرارة

تقاس كلتا الطاقتان بالواط حيث:

الواط هو القيام بعمل مقداره 1 جول خلال 1 ثانية

الجول هو قوة مقدارها 1 نيوتن تتحرك مسافة 1 متر

نيوتن هو قوة تجعل 1 كيلوغرام يتسارع بمقدار 1 متر/ثانية

■ **The true air speed (سرعة الحقيقية نسبة الى الطائر):** وهي سرعة الجزيئات الثابتة (مثل

حزيئات الثلج ومجرى الهواء) نسبة إلى الطائر وهي تختلف عن السرعة المكافئة (Equivalent air speed) التي تحدد معدل قوة محصلة القوى الأيروديناميكية

لحساب الطاقة نحتاج لحساب ثلاث مكونات

✓ **Induced power** الطاقة المتولدة التي يحتاجها الطائر لمقاومة وزنه.

✓ **Parasite Power** طاقة الممانعة التي تقوم بسحب الطائر.

✓ **Profile power** طاقة الممانعة ولكن للأجنحة فقط أي تتولد بسبب قوى السحب التي تؤثر على الأجنحة فقط

■ **Parasite Power:** هي معدل العمل الواجب القيام به لمقاومة قوى السحب التي تعيق جسم الطائر على الطيران وللطيور جسم انسيابي يساعد على التغلب على هذه العوائق.

$$D_b = \frac{(V_t^2 \rho S_b C_{Db})}{2}$$

حيث ان D_b (قوة السحب التي تؤثر على الجسم)

ρ : كثافة الهواء

V_t : السرعة الحقيقية

S_b : مساحة الجسم الأمامية التي تصطدم بالهواء

C_{Db} : معامل قوى السحب على الجسم

ويمكن حساب قوة الممانعة بسهولة عبر ضرب السرعة الحقيقية لجزيئات الهواء بقوة السحب

$$P_{par} = \frac{(V_t^3 \rho S_b C_{Db})}{2}$$

نسمي المعامل $1/2 \rho V_t^2$ بمعامل الضغط الميكانيكي

ملاحظة:

قوى السحب هي الضغط الميكانيكي بالمساحة وهي تتجه دوما بجهة الهواء و من الناحية النظرية فإن قوى السحب التي تؤثر على الطائر تكون بإزدياد دائم وتصل لذروتها عندما تعيق المساحة الأمامية كاملة للطائر ولكن عمليا فإن هذا لا يتحقق بسبب الشكل الانسيابي الذي يملكه الطائر والذي يجعل الهواء الموجود حول الطائر ينقسم. طيور القطرس. نحن مضاعفة الضغط الديناميكي من المنطقة الأمامية الجسم.

ماهو المكافئ لقوة السحب على الجسم (C_{Db})؟؟؟؟ هو رقم أقل من ال1 وهو معدل قوة السحب الحقيقية إلى قوة السحب المرجعية (التي تحسب نظريا) وهو يعد مقياس لدرجة إنسيابية جسم الطائر, حيث انه اذا كان $C_{Db} = 1$ فإن الجسم يتصرف وكأنه طبق طائر عامودي على مجره الهواء بينما القيمة المثالية هي 0 (طبعا لا يمكن تحقيق ذلك بالواقع) والتي تعني أنه لا يوجد قوى سحب على الجسم مطلقا.

■ مساحة الجسم الأمامية (S_b): طبعا يوجد عدة طرق لقياسها مثل استخدام شريط لاصق للحصول على أ عرض طول من الوجهة الأمامية للطائر او من خلال التصوير او استخدام مقاييس خاصة .ولكن قد وجد أن S_b تقريبا يتم حسابه بالمعادلة

$$S_b = 0.00813 * m^{0.666}$$

حيث يقاس S_b بالمتر المربع و m بالكيلوغرام حيث وجد العلماء في انه على الرغم من اختلاف اشكال الطيور إلا انهم يشتركون في الشكل الأمامي, ويمكننا حسابها(بما ان الطيور تملك أوزان مختلفة) باستخدام الكتلة فهي تقريبا تساوي الى ثلثين او ثلاث من كتلة الجسم وهكذا حصلنا على المعادلة السابقة.

وحساب معامل قوى السحب لجسم الطائر يعتبر من اصعب الحسابات ولذلك غالبا مايتم حساب ذلك سوية مع مساحة الجسم الامامية بمايدعى بمعامل مساحة الطبق المسطح A

$$A = S_b * C_{Db}$$

A (the equivalent flat-plate area)

إن معدل رفرقة الأجنحة يزداد بشكل خطي وهو يزداد أكثر عندما يحتاج الطائر للتسلق (للاارتفاع)بمعنى أنه اذا بذل الطائر جهد (عمل) أكثر فإن معدل الرفرقة للطائر يزداد.

يفضل ان تكون $C_{Db}=0.1$ لكل الطيور وهذا ماتوصل إليه العلماء بعد عدة دراسات حديثة تُجرى للطيور المجمدة في أنابيب هواء خاصة .

▪ **Profile Power**: يحتاج الطائر لطاقة الممانعة لكي يستطيع التغلب على قوى السحب المتولدة بسبب

تيار الهواء التي تؤثر على جناحيه.

إن مجرى الهواء المحيط بالطائر له تأثيرين (عاملين) في حساب ال profile power:

✓ تأثير الهواء على السرعة باتجاه مستقيم:

تزداد هنا طاقة الممانعة للسحب (Profile power Drag) المتأثرة بكل جناح ويتوقع أن تزداد بنسبة كبيرة مع مربع السرعة .

✓ يأتي العامل الثاني من حركة الرفرفة للطائر:

(flapping motion) التي تُدور الأجنحة نسبة إلى جسم الطائر, هذا العامل يعتمد على

تردد و سعة الأجنحة (قوة الأجنحة ومساحتها وهكذا....) ويعتمد أكثر على المناطق البعيدة للأجنحة منها من المناطق القريبة من منطقة الكتف.

▪ **الطاقة الكيميائية للطائر المثالي (بدون profile power):** هي مجموع ال parasite power +

induced power

$$P_{mech} = \left[\frac{2k(mg)^2}{V_t \pi B^2 \rho} \right] + \left[\frac{\rho V_t^3 S_b C_{Db}}{2} \right]$$

حيث V_t السرعة الحقيقية و m الكتلة الكلية للطائر و S_b مساحة الطائر الأمامية و C_{Db} معامل قوة السحب و B امتداد الاجنحة و ρ كثافة الهواء

▪ **minimum power speed (V_{mp}) (سرعة الطاقة الدنيا):** يتم الحصول عليها بإشتقاق المعادلة السابقة بالنسبة لـ V_t :

$$V_{mp} = \frac{(0.807k^{1/4}m^{1/2}g^{1/2})}{(\rho^{1/2}B^{1/2}S_b^{1/4}C_{Db}^{1/4})}$$

وللحصول على P_{am} (Absolute min power) (طاقة الدنيا المطلقة) نبدل V_t في المعادلة السابقة بـ V_{mp} فنحصل على

$$P_{am} = \frac{(1.05k^{3/4}m^{3/2}g^{3/2}S_b^{1/4}C_{Db}^{1/4})}{(\rho^{1/2}B^{3/2})}$$

ومنه يمكننا الحصول على P_{pro} (profile power):

$$P_{pro} = X_1 P_{am}$$

حيث X_1 معامل (profile power):

$$X_1 = \frac{C_{pro}}{R_a}$$

حيث R_a : نسبة الطول إلى العرض بالجنح (aspect ratio) و C_{pro} هو ثابت (profile power) وله قيمة افتراضية = 8.4

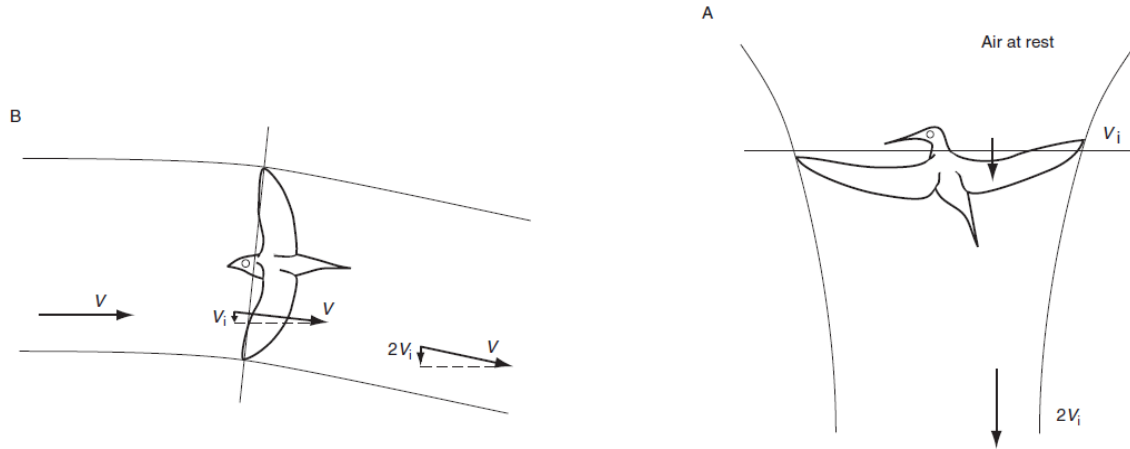
على سبيل المثال إن X_1 للحمامة هو 1.2 حيث R_a لها هو 7

ولذلك في الماضي كانت X_1 يعبر عنها ب1.2 دائما ولكن الآن يمكننا استعمال R_a للحصول على X_1 ومنه نلاحظ ان ال profile power هي القوة الوحيدة التي يتضمن حسابها الحصول على مساحة الأجنحة.
ونلاحظ ان ال profile power تسيطر عندما تكون السرعة منخفضة حيث يكون تردد الأجنحة وسعتها أكبر من أي وقت آخر، وتختفي تدريجيا عندما تكون السرعة متوسطة والطائر يكون في وضع التحليق.

ملاحظات هامة:

- ✓ كما ذكرنا مسبقا فإن الطاقة المتولدة (induced power) هي المعدل الذي يحدد العمل الواجب على الطائر القيام به (بعضلاته) بشكل مستمر فيجعل الهواء يتسارع تحته وبذلك يولد كفاءة فعل قوة إتجاهها للأعلى لدعم وزنه.
- ✓ إن أجنحة الطائر توزع (تفرق) مجرى الهواء للأسفل (طالما هو يطير) فهو بذلك يضيف مكون عامودي للسرعة وتسمى السرعة المتولدة (induced vilocity).
- ✓ إن معدل تغير الطاقة الحركية (المتجهة للأسفل) تساوي إلى القوة الأيروديناميكية (المتجهة للأعلى) ويجب ان تكون مساوية بالكمية لوزن الطائر
- ✓ (induced power) هو معدل (الكتلة / الوقت) للهواء المار بالأجنحة مضروب بالمحصلة النهائية للسرعة المتجهة للأسفل والتي تساوي إلى $2v_i$
- ✓ إن القوة المطلوب الوصول إليها للحصول على دفع الهواء للأسفل والإقلاع هي نسبية إلى السرعة المتولدة.
- ✓ في السرعات العالية عندما يكون الهواء يمر على الأجنحة فإن فقط مقدار صغير من السرعة المتولدة مطلوب وأيضا بالمثل مقدار صغير من الطاقة المتولدة.
- ✓ كلما نقصت السرعة كلما نقص معدل كتلة الهواء المحيط وأيضا زادت السرعة المتولدة المطلوبة وبالمثل زادة القوة المتولدة المطلوبة.
- ✓ عندما تكون السرعة 0 ليس هناك هواء محيط إطلاقا ولكن عند الإقلاع (hovering) مثل الهلوكبتر فإنها تسحب الهواء الثابت من الأعلى للأسفل مولدة بذلك هواء عمودي خاص بها. ولاحظ ان هذه القوة المتولدة ليست لانهاية ولكنها أعلى من أي سرعة لاتساوي الصفر تتجه للأمام.

✓ يزداد الضغط في الهواء الذي يقع اسفل الطائر فيجعل الهواء يتسارع للأسفل لسرعة نهائية تصل إلى $2v_i$ وقطر المنطقة التي تقع اسفل الطائر تنقص بمقدار $1/v_2$.



▪ Profile power

كأي مقاومة فإن جناحي الطائر يطبقان مقاومة على الهواء المار بهما حيث تتولد قوى السحب بعض من قوى السحب هذه تتم بسبب ان الطائر يمنح طاقة حركية (DownWash) للهواء الذي أسفله ليدعم وزنه.

لو كان الجناح ثابت لكانت هذه القوة ثابتة ويمكننا ضربها بالسرعة للحصول على القوة المتولدة (induced power).

لاحظ انه لو كانت الأجنحة ثابتة كالمطائرة لثم حساب ال profile power ببساطة ولكن في حالة الطائر فإن هذه العملية معقدة جدا وتتطلب كثير من المتغيرات التي يكون من الصعب او من المستحيل قياسها.

▪ Inertial power (القوى الغير فعالة):

✓ لا تدخل في الحسابات. ولكن البعض يدخل كمكونات أخرى للقوى بسبب التسارع الزاوي للجناح الثابت (عند التحليق) عند بداية كل رفرفة (رفرفة جناح الطائر للأسفل DawnStroke) حيث يتوسع الجناح بشكل كامل ولكن بشكل ثابت أيضا (أي ان الحركة الزاوية تكون فقط حول مفصل الكتف) بينما يتسارع الجناح للأسفل فهو يحصل على مكون من الطاقة الحركية التي تكون متوازنة مع القوة (Inertial power) ومع مربع السرعة الزاوية.

✓ من المنطقي أن الطاقة تأتي من العمل المنجز من عضلات الصدر وإذا ضربناها بتردد خفقات الجناح (wing beat frequency) يمكننا الحصول على Inertial power . حيث من الممكن ان

يكون هذا صحيح اذا كانت هذه الطاقة الحركية (التي نحصل عليها من الجناح) تختفي مع كل رفة جناح ولكن ذلك لا يحصل على عكس العمل المنجز ضد قوى السحب والذي يضيع بشكل ثابت .
 ✓ ولكن الطاقة الحركية هي شكل خاص من الطاقة ويمكن إعادة تحويلها إلى عمل إذا امكنا استخدام هذا العمل لنجعل الهواء يتسارع للأسفل إذا فهو يساهم في القوة المتولدة (induced power)
 ✓ وإذا كانت تجعل الهواء يتسارع للخلف فهو يساهم في Parasite power و/أو Profile power.

لتحقيق ذلك فإن دوران الجناح يجب ان يتوقف عند نهاية كل رفرة (DawnStroke) من قبل القوى الديناميكية التي تتولد نتيجة لتسارع الهواء من إتجاه محدد.

الطائر المثالي الفعال سوف يسترجع كل العمل للقوى الغير فعالة واستخدامها كجزء من العمل الأيروديناميكي (AeroDynamic) الواجب فعله بكل رفة جناح.

وفي حالة ان الطائر لم يكن مثالي بشكل فعال فإن العمل الضائع يكون على شكل قوة متولدة إضافية بشكل يزيد من عامل القوة المتولدة و/أو يزيد من مكافئ قوى السحب و/أو يزيد من معدل قوى ممانعة الأجنحة.

بإضافة القوى الثلاث إلى بعضها (Induced power و Parasite power و Profile power)

نحصل على الطاقة الميكانيكية الواجب على عضلات الطيران و تطبيقها للحصول على عمل ديناميكي عند أي سرعة معينة (محددة).

$$P_{mech} = P_{ind} + P_{par} + P_{pro}$$

▪ Effective lift:drag ratio from mech power (نسبة قوة الرفع إلى قوة السحب للطاقة الميكانيكية N_{mech}):

$$N_{mech} = \frac{mgV_t}{P_{mech}}$$

حيث V_t سرعة الهواء الحقيقية و P_{mech} الطاقة الميكانيكية لأية عصفور

▪ effectivelift:drag ratio from fuel consumption (نسبة قوة الرفع إلى قوة السحب لمعدل الوقود N):

$$N = \frac{mgV_t}{\eta P_{chem}}$$

حيث ان η هي كفاءة التحويل بين عضلات الطائر اثناء الطيران ومنه N نسبية إلى مسافة الطيران المقطوعة لكل وحدة من الوقود المستهلك حيث عندما تزداد السرعة فوق V_{mp} (سرعة الطاقة الدنيا) فإن N تزداد بشكل متسارع ثم ثبت ثم تبدأ بالانخفاض .

V_{mr} هو السرعة التي تصبح بها N ثابتة (او هي السرعة التي يستطيع الطائر بها قطع أعظم مسافة ممكنة لكل وحدة مستهلكة من الوقود المستخدم) وتعطى بالعلاقة

$$V_{mr} = \frac{(k^{1/4} m^{1/2} g^{1/2})}{(\rho^{1/2} A^{1/4} S_d^{1/4})}$$

نعلم ان مساحة الدائرة التي يغطيها جناحي طائر تعطى بالعلاقة: $S_d = \frac{\pi B^2}{4}$ ومنه فإن القوة الميكانيكية اللازمة للطيران عند تلك السرعة تعطى بالعلاقة

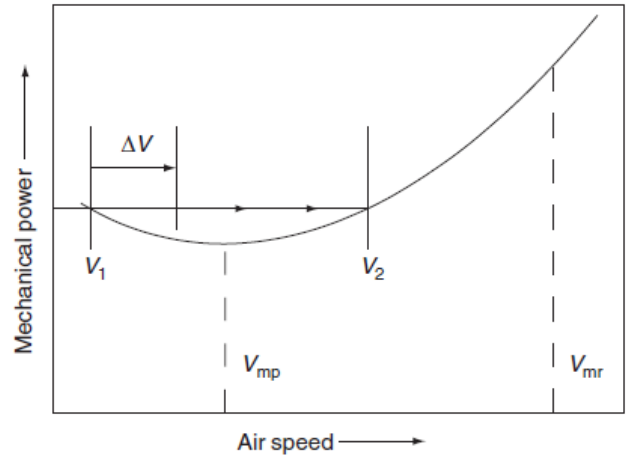
$$P_{mr} = \frac{(k^{3/4} m^{3/2} g^{3/2} A^{1/4})}{(\rho^{1/2} S_d^{3/4})}$$

ومنه فإن N_{ult} (اقصى قيمة تصل لها N عند السرعة V_{mr}):

$$N_{ult} = \frac{(mgV_{mr})}{(P_{mr})} = \sqrt{(S_d/A)}$$

إن السرعة v_1 (سرعة أقل من V_{mp}) غير ثابتة للطائر الذي يستعمل طاقة كافية للحفاظ على هذه السرعة .

إذا زادت السرعة بمقدار صغير مثل Δv فإن الطاقة المستخدمة التي تأتي من عضلات اي طائر تجعل الطائر يستمر في التسارع إلى ان يصل إلى سرعة v_2 والتي تكون سرعة ثابتة من اجل نفس المقدار من الطاقة .



ومنه نجد ان الطيران بسرعة أقل من V_{mp} صعب ولكن في بعض الأحيان تقوم به بعض الطيور لأغراض خاصة مثل اصطيد بعض الحشرات (مثال: الوطواط يطير بسرعة أقل من V_{mp}).

في الطيران للأمام عند أي سرعة معطاة فإن الطاقة المتولدة هي بشكل معكوس نسبة إلى مربع عرض الأجنحة (إمتداد الأجنحة).

اثبتت الدراسات ان ما يحدد كيف تعمل الأجنحة بشكل جيد هو ليس امتداد الأجنحة وبالتأكيد ليس مساحة الأجنحة ولكن هو :

1. نسبة الطول إلى العرض (aspect ratio)

2. معدل امتداد الأجنحة على mean chord

فمثلا جناح طويل وضيق أفضل من قصير وعريض حتى مع وجود نفس مساحة الجناح لانه يولد قوى رفع أكثر وقوى سحب أقل بنفس الزاوية α

على جناح الطائر ان يوفق بين امرين:

1. ان يملك نسبة الطول إلى العرض (aspect ratio) عالية بشكل كاف للطيران الجيد.
2. أن يكون قوي كفاية ليسمح للجناح بالرفرفة في الهواء وأن يُطوى وان يتعامل معه على الأرض.

▪ (wing loading) (توزيع الهواء على مساحة الأجنحة):

- ✓ هو الذي يحدد السرعة التي يجب على الهواء ان يصل إليها لتحيط بالأجنحة.
- ✓ إن هذا الهواء يولد ضغط يُفرق بين السطح الأسفل والأعلى للجناح وعندما يضرب الهواء مساحة الأجنحة فيجيب عليه ان يوازن الوزن في الطيران الثابت .
- ✓ كل ما ازداد ال (wing loading) احتجنا إلى ضغط أكثر ووجب على الطائر ان يطير بشكل أسرع.
- ✓ إن (wing loading) مفيد للحصول على حسابات التحليق للطيور حيث يكون الجناح ثابت لتحديد خصائص السرعة كما يحدد نصف قطر الطيران الدائري أثناء التحليق الذي يستطيع ان يقوم به الطائر وليس له أي أهمية في حسابات رفرقة الجناح.

▪ : Angel of attack

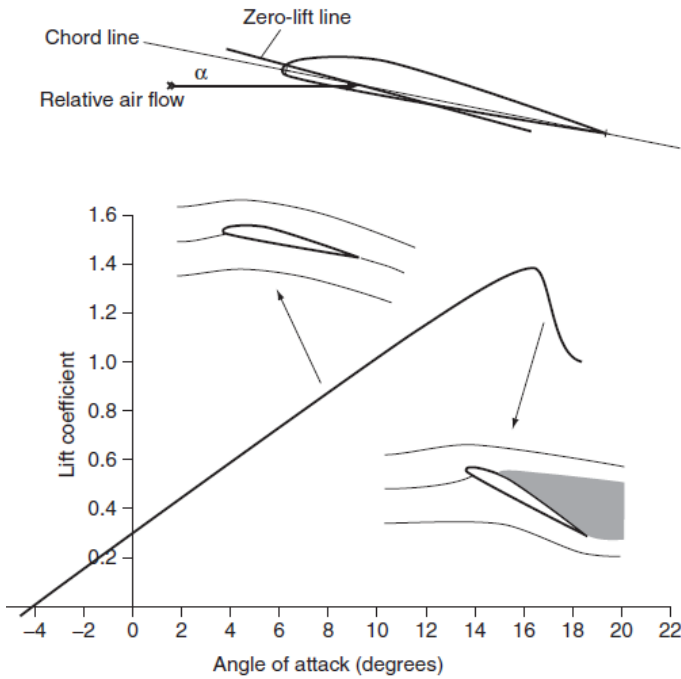
- ✓ هي الزاوية بين تيار الهواء وخط ال chord
- ✓ إن قسم الجناح المنحني عادة يولد قوة رفع تساوي إلى الصفر عند الزاوية α السالبة
- ✓ بمعنى اخر عندما يكون خط قوة الرفع الصغرية مواز لتيار الهواء المحيط.

▪ : Lift coefficient

يتعلق بزاوية ال DownWash المتزلدة من الجناح.

▪ : Drag coefficient:

يقاس بمدى تباطئ الجناح للهواء المحيط به.



إن مناطق الطيران المصممة لسرعات الطيران المنخفضة تملك حافة مستديرة ونهاية الحافة تكون حادة وبعض الانحناء يتجه للأعلى.

لا يمكن التعبير عن قوة الرفع وقوة السحب بشكل رسمي ولكن يمكن استخدام

✓ مكافئ لقوة الرفع C_L

✓ مكافئ لقوة السحب C_D

قلنا سابقا ان الضغط الميكانيكي (q) يعطى بالعلاقة : $q = 1/2 \rho V_t^2$

اما the lift coefficient فيعطى بالعلاقة التالية $C_L = \frac{(2L)}{(\rho V_t^2 S_{wing})}$

حيث ان L هي قوة السحب و S مساحة الجناح

إن تيار الهواء يتبع السطح العلوي للجناح ويترك نهاية الحافة مع مركبة السرعة المتجهة للأسفل والتي لم يكن الهواء يملكها قبل ان يصل للطائر.

إن هذه الطاقة الحركية المُولدة للأسفل مسؤولة عن قوة الرفع وإن زاوية الـ (DownWash) المقاسة في مجرى الهواء تحت الطائر هي متعلقة بمكافئ الرفع C_L .

بينما تزداد زاوية الهجوم (angel of attack) فإن السحب أو الامتصاص فوق الطائر يزداد وكذلك تزداد الزاوية (DownWash) إلى أن تصل زاوية الهجوم لنهايتها العظمى

$$C_D = \frac{(2D)}{(\rho V_t^2 S_{wing})}$$

بشكل عام فإن مكافئ قوة السحب يساوي إلى مجموع مكافئ قوة السحب للـ

$$C_D = C_{Dpro} + C_{Dind} \quad (\text{profile and induced power})$$

حيث أن (C_{Dpro}) : هي بسبب تشققات الجسم وبسبب فرق الضغط بين مجرى الهواء الذي أسفل الجناح وأعلى إن مكافئ قوة السحب لا يتأثر كثيرا بنسبة الطول إلى العرض R_a أو بمدى قوة الرفع حيث يفترض به أن يكون ثابت في نظرية lifting line (نظرية أساسية في الايروديناميك وجدت في الحرب العالمية الأولى) ولكن (C_{Dind}) تعتمد بشكل أساسي على كل من قوة الرفع ونسبة الطول إلى العرض R_a حيث تعطى بالعلاقة التالية:

$$C_{Dind} = \frac{k(C_L^2)}{(\pi R_a)}$$

حيث أن K هو معامل القوة المتولدة

تتعلق C_L حسب زاوية الهجوم (angel of attack) .

عام 1901 لم تستطع الطائرة المحلقة للاخوان رايت (wright's brother) من الطيران وذلك لان مكافئ الرفع لم يزداد كفاية ليدعم وزن الجسم (بدون رفع مكافئ ليقاوم قوة السحب)

عام 1902 طائرتهم ذات نسبة الطول للعرض التي تساوي 6.5 استطاعت ان تطير جيدا مما يسمح لهم ان يبنوا نظام تحكم فعال وتعليم أنفسهم الطيران.

حسب نظرية (lifting-line) فإن هناك سبب لتأثر الطيران بنسبة الطول للعرض وهو يتعلق بميل قوة السحب والذي يحسب كمايلي:

$$a = \frac{dC_L}{(d\alpha)}$$

حيث أن (α) : angel of attack

وإذا كانت a_0 هي من أجل نسبة طول إلى عرض غير منتهية فإن ميل قوة السحب نتيجة قوة رفع إهليجية يعطى بالعلاقة:

$$a = \frac{a_0}{(1 + (a_0/\pi R_a))}$$

إن الأجنحة التي على شكل **Delta** مثل الكونكورد لديها نسبة طول إلى عرض منخفضة وبالتالي لديها *lift slop* تكون منخفضة ولذلك فعلى الكونكورد ان ترفع رأسها (مقدمتها) للأعلى بزاوية هجوم كبيرة لكي تستطيع الإقلاع أو الهبوط.

ملاحظات هامة:

✓ في حالة الطيران بسرعة منخفضة:

إن قسم الأجنحة المنحنية بشدة غالبا مايوصف بقسم high-lift (الرفع العالي) ولكنه من الصحيح أكثر بوصف هذه الأقسام بأنها التي تملك أكبر مكافئ لقوة الرفع. عندما تهبط الطائرة فإن الطائرة تبطئ عندما تصل للأرض وتبقى قوة الرفع كماهي (مساوية للوزن) وبالتالي فإن مكافئ قوة الرفع يجب ان يزداد يحقق الطيار ذلك برفع مقدمة الطائرة بشكل مستمر بحيث تزداد زاوية الهجوم .

يمكن زيادة مكافئ قوة الرفع عن طريق نهاية الأجنحة التي تحوي قلابات والتي تزيد من فعالية الإنحناء عند توزيع الهواء للأسفل.

خطوط الطيران لديها الكثير من هذه القلابات التي تستخدم عند السرعة المنخفضة الموجودة ضمن الأجنحة الرئيسية وبهذا تستطيع ان يوزعو (يعكسو) الهواء للأسفل بزاوية DownWash أكثر. مما نستطيع إنجازة عبر زيادة زاوية الهجوم. كما يمكن ان تزيد مكافئ قوة الرفع 3 مرات او اكثر مما يولد استجابة منخفضة لسرعة الهبوط.

✓ في طيران الإبحار:

عندما يكون مكافئ قوة الرفع غير مستخدم فإن الأجزاء المسؤولة عنه تستخدم لتخفيف قوى السحب إلى اقصى مايمكن وتعظم من قيمة النسبة رفع/سحب (lift:drag)

✓ لدى أجنحة الطيور آلية اتوماتيكية لتزيد من الإنحناء

عندما يكون الجناح متوسع بشكل كامل بينما الوطاويط لديها عضلات (سابقة ولاحقة) التي تقلل الإنحناء عندما يكون مكافئ رفع قليل مطلوب ولكنها تسترخي لتسمح للجناح بأن يتوسع للأعلى بسرعات الطيران المنخفضة.

▪ **Reynold Number**: هو مقياس مشابه لتعريف مقياس الطيران فبالنسبة لتيارين من الهواء متشابهين ديناميكية فإن أرقام رينولد متساويين لهما .

إحدى استعمالاته الشائعة في الهندسة هي لتحويل نتائج الاختبار على مقياس صغير إلى قياس الطائرات الكبير كما يستعمل لمقارنة غرضين لهما حجمين مختلفين ولكن بشكل مماثل كما يؤكد نوع التيار الهوائي المتوقع وجوده حول الجسم أو الجناح لقياس معلوم ويطير بسرعة معلومة.

$$Re = \frac{V_t \ell \rho}{\mu}$$

حيث أن (ℓ : a reference length) و (ρ هي كثافة الهواء) و (μ لزوجة الهواء) و (V_t سرعة الهواء الحقيقية)

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

حيث v لزوجة الهواء الحركية

$$Re = \frac{V_t \ell}{v}$$

إن رقم رينولد يعبر عن أهمية قوى العطالة واللزوجة
نتيجة صغر حجمها فإن ارقام رينولد للحشرات والعشرات والمئات على عكس الطيور والطائرات

كلما نقصت Re كلما كان وجود هواء اصعب يتبع سطح منحنى.

مهما كان يملك الجناح أو الجسم سطحاً منحنى فإن تيار الهواء يمر على سطح أعرض نقطة لهذا الجناح
ويفترق عندها عن الجسم. مما يزيد من قوى السحب وينقص من قوى الرفع.

لكي نستطيع نزيد من قوى الرفع ونقلل من قوى السحب في ارقام رينولد الصغيرة فإن ذلك يحتاج الى اشياء خاصة موجودة لدى الحشرات ولكن ليس الطيور والطاويط.

للطيور ارقام رينولد متوسطة بين 15,000 و 500,000.

■ قوى السحب للأجنحة تنقسم إلى :

a. Pressure Drag: (ضغط السحب)

بسبب اختلاف الضغط بين مجرى الهواء تحت الجناح وفوقه وهو بسبب القوى التي تتصرف بشكل عامودي على السطح وتعتمد على مربع السرعة وتتعلق بمساحة التقاطع التي يشكلها الجسم في تيار الهواء.

b. Skin friction Drag: (قوى السحب التي تتعلق بالتشققات في الجلد او الجسم)

وذلك بسبب قوى اللزوجة المنتجة عندما يمر الهواء محيطاً بالأجنحة وهي بسبب قوى المماسية والتي تعتمد بشكل مباشر على السرعة وتتعلق بالمسافة المبلة (أي المنطقة التي ينزلق عندها الهواء).
بالنهاية نجد ان مكافئ قوة السحب هو اقرب للسحب المتعلق بالضغط (pressure Drag) مما هو متعلق
بقوى السحب الناتجة عن التشققات (Skin friction Drag)

$Re_{wing} = \frac{V_t c_m}{v}$ حيث أن (c_m) هي متوسط اطوال الوتر Re لجناح الطائر:

$Re_{body} = \frac{V_t d_b}{v}$ حيث (D_b) : قطر الدائرة التي لها نفس مساحة المنطقة الأمامية للطائر Re لجسد الطائر:

كلما قل Re كلما ازدادت صعوبة بقاء تيار الهواء بجانب السطح المنحنى والذي هو المفتاح الأساسي لتزيد
قوى الرفع ونقص قوى السحب سواء على الأجنحة او الجسم.

إن جسم الطيور وأجنحتها المغطاة بالريش تكون فعالة أكثر من نموذج الطائرات المصنع الذي يطير بنفس
السرعة.

Vortices & Vortex wakes

(أثر العواصف)

يترك الطائر أثار عاصفة (زوبعة) حية في الهواء ويمكن استعمالها لاستنتاج القوى التي كانت أجنحة الطائر تمارسها

على الهواء وليُقدر العمل الذي قامت به.

تعد دراسة العواصف التي تخلفها أجنحة الطائر أساسية في فهم آلية الطيران في الوقت الحالي.

تم الحديث عن العمل والطاقة في الفصل السابق بحدود الحركة المستقيمة والتسارع في الهواء ولكن في العالم الحقيقي المؤلف من السوائل (الأوساط المحيطة) يعتبر هذا مجرد تقريب على احسن تقدير.

أي عمل يُنفذ على سائل غير متغير يتضمن الإزاحة يؤدي بدوره إلى دوران (مثل الشاي عندما نحرك الكأس بالملعقة ومثل العواصف التي تتولد في البحار)

والطائر عندما يحلق يترك عواصف خلفه في الهواء التي تدوم لفترة

إن هذه العواصف يمكن ان تتم مشاهدتها وقياسها , وهي تملك المفتاح لحساب العمل الذي قدمته أجنحة الطائر على الهواء.

ماهي العاصفة ؟ وماهي القواعد التي تملكها ؟

من السهل السؤال عن ذلك ولكن إيجاد جواب يؤدي إلى توقع مفيد لتيارات الهواء الحقيقية قد أخذ الكثير من وقت وجهد أفضل علماء الرياضيات المشهورين مثل:

Leonhard Euler, Daniel Bernoulli, Jean le Rond d'Alembert, Pierre-Simon Laplace, Hermann Helmholtz, Lord Kelvin, Wilhelm Kutta, Nikolai Joukowski and Ludwig Prandtl

إن النظرية التي وضعوها ليست بسيطة تماما ولكنها طريقة بديلة للنظر إلى طيران الطيور والطائرات بكلام رياضي أكثر

فإن المنهج المباشر يحاول حل معادلات Navier Stokes والتي تصف بشكل عام الوسط المحيط ولكن هذه المعادلات صعبة الحل في بعض الأحيان بينما مفهوم العواصف هو أقل دقة ولكنه يؤدي على نتيجة مفيدة لإظهار وجودها وتحمل قواعد بسيطة.

طبعاً بفضل تقدم الحواسيب أصبح بالإمكان حل معادلات Navier Stokes بشكل عددي ولكن مفهوم العواصف يدعم طرق مفيدة لوصف أي عملة .

العاصفة الخطية :

العاصفة الخطية أساساً هي تجريد رياضي (تحت شروط صحيحة) لوجود فيزيائي مكون من :

شعاع العاصفة والذي يكون رفيع ويدور جزيئات الوسط المحيط المحاط بتيار الهواء المتولد حيث يحدث تأثير الفيزياء.

تيار الهواء المتولد يكون ظاهر ويولد العواصف ولكن على الرغم من ذلك فهو غير واضح أو قابل للوصف هذا يعني أنه على الرغم من أن جزيئات السائل يمكن (أو لا يمكن) أن تدور حول ممر مغلق فهي لا تدور حول محاورها الخاصة فإن جزيئات الوسط المحيط هي التي تجعل شعاع العاصفة يدور فعلاً.

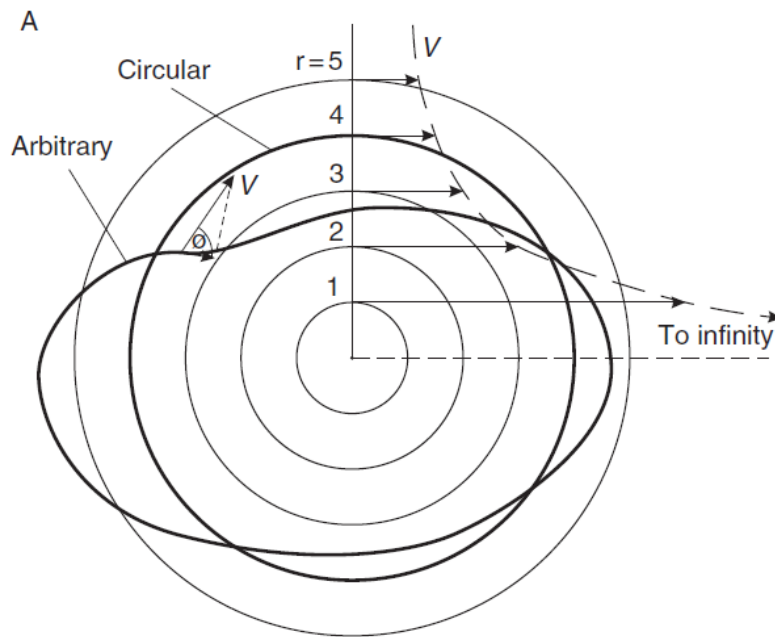


Fig4.1A

مقطع عرضي لعاصفة خطية حيث أن النقطة التي في الوسط تمثل العاصفة الخطية التي تجعل الهواء المحيط يدور حولها وكلما زاد نصف قطر العاصفة الخطية نقصت السرعة.

لو كانت العاصفة الخطية مجرد نقطة لكانت السرعة والزاوية ضمنها لانهاية لتتحقق مايدعوه علماء الرياضيات بـ "singularity" (هو المكان حيث تنكسر فيه قواعد الفيزياء).

إن الهواء المحيط سيبدو مماثلاً لو كانت العاصفة الخطية (الشعاعية) على شكل حلقة دائرية التي تملك نصف قطر منتهي.

يمكن تقادي السرعة اللانهائية في المركز باستبدال العاصفة الخطية الممتلة بنقطة بحلقة حيث تكون $v=0$ بمركز الحلقة وتزداد ابتداء من بداية الحلقة.

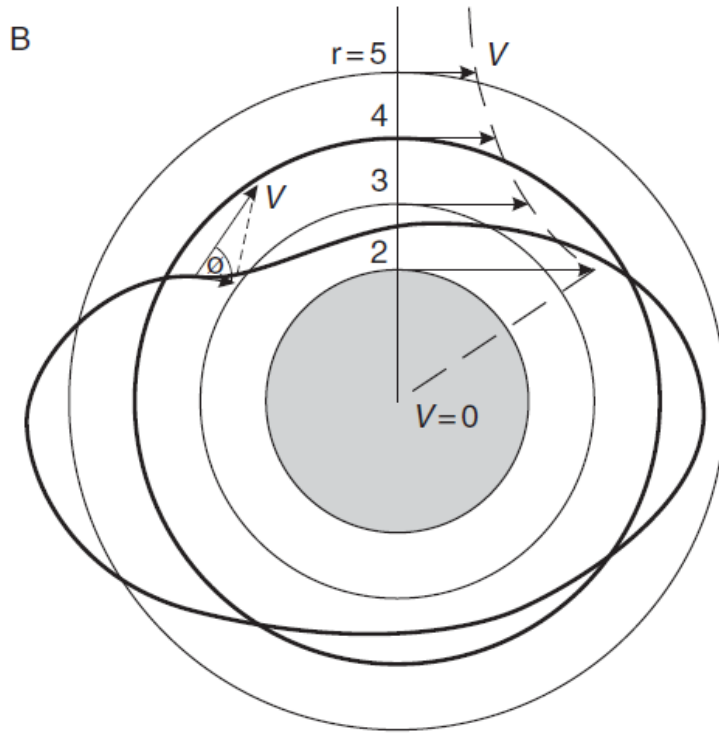


Fig4.1B

السرعة المماسية في الداخل (المنطقة الرمادية) تساوي إلى صفر في المركز وتزداد بشكل خطي مع ازدياد نصف القطر.

السطح الخارجي يسحب طبقة الهواء و بإزدياد نصف القطر فإن السرعة المماسية تنقص بنفس الطريقة التي

ينقص فيها الهواء المحيط بالعاصفة الخطية في الرسم السابق.

السرعة حول الممرات الدائرية في Fig4.1A , Fig4.1B

هي ثابتة حول هذه الممرات وبشكل معاكس نسبية إلى نصف قطر هذه الممرات.

إن كاملنا السرعة حول أي دائرة فإننا سنحصل على نفس الجواب وهذا ما يدعى بال الدوران "circulation" حيث تكون النتيجة متساوية لكل عاصفة خطية فلذلك فإن عامل الدوران "circulation" يعتبر ثابت وهو قيمة يمكن قياسها لكل عاصفة خاصة وهي ما تدعى بقوة العاصفة "the strength of the vortex".

$$\Gamma = \oint v \cos \phi$$

length between path and the direction of $v = \phi$

إذا وصفنا اسطوانة في قناة للهواء عمودية على مجرى الهواء فإن الهواء ينقسم بشكل متناظر حول الاسطوانة ويفترق عن سطحها مشكلا أثار عنيفة وهذا يسبب الكثير من قوى السحب ولكن من دون قوة رفع (حيث يتباطئ الهواء بسبب الاحتكاك ولكنه لا ينعكس للأعلى أو الأسفل).

ماذا لو جعلنا هذه الاسطوانة تدور ؟

إن الأثار المضطربة او العنيفة ستبقى مع قوى السحب التي تسببها ولكن الهواء المتولد من العاصفة المحيطة بالاسطوانة سيضيف بعض ال downwash* للهواء الذي يترك الاسطوانة على اليمين وهذا بدوره يولد قوة رفع للاسطوانة عامودية على مجرى الهواء ومساوية للنسبة التي تتحول فيها الطاقة الحركية لتؤثر على الهواء.

(إن قوة الرفع هذه نسبية إلى قوة الدوران "circulation" وسرعة وكثافة الهواء)

بعض الأشكال الغير متناظرة تقوم بدوران عندما توضع في مجرى الهواء مما يولد قوى رفع.

يمكن توصيف ماتعرفنا عليه الآن من أجل فهم مالذي يؤثر على الجناح ليولد قوى الرفع حيث تزداد حدود العاصفة حول الجناح

عندما يوضع الجناح بزاوية هجوم مناسبة إلى تيار الهواء المار وبالتالي فإن قوة الرفع بسبب قوة الدوران تتولد مع قوة سحب قليلة.

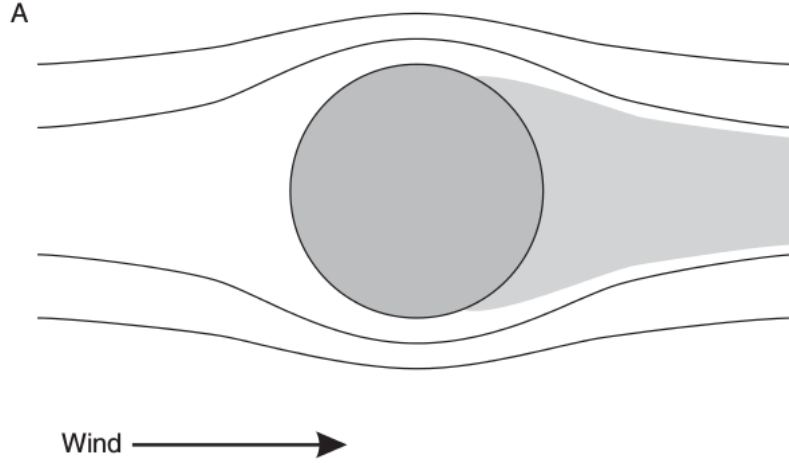


Fig4.2A

اسطوانة وضعت في مجرى الهواء فتتولد الأثار المضطربة او العنيفة خلفها وتسبب قوى سحب من دون قوى رفع

*: هي تعبير فيزيائي يدل على منح الطائر لطاقة حركية لمجرى الهواء الذي يمر تحته مما يزيد ضغط الهواء الذي يقع اسفل الطائر مقارنة بالهواء الذي يقع فوقه مما يساهم في توليد قوى الرفع ومقاومة الوزن وبالتالي الطيران.

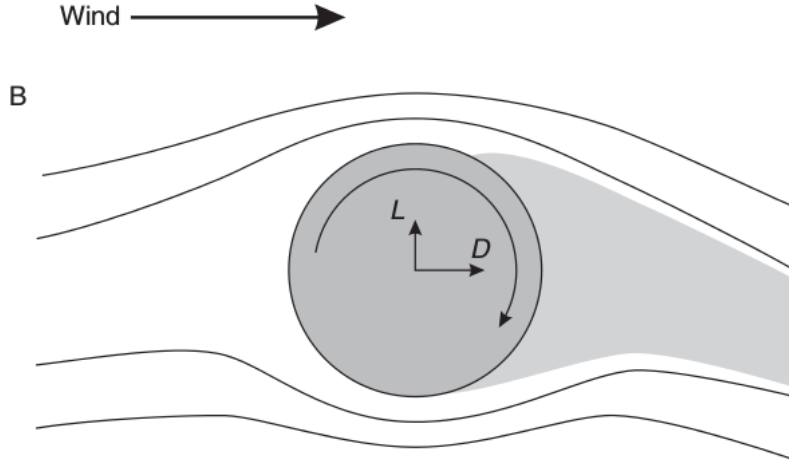


Fig4.2B

تدور الاسطوانة وتُدور الهواء المحيط الذي يضاف إلى مجرى الهواء مما يجعل مجرى الهواء ينعكس في اتجاه عامودي على مجرى الهواء المتولد مما يؤدي إلى قوة رفع ولكن يبقى هناك قوة سحب كبيرة بسبب بعض الآثار المضطربة أو العنيفة.

العاصفة هي بنية مع خصائص محددة التي تظهر كأنها متصنعة في النظرة الأولى، فهي تحتوي على العاصفة الخطية (خط ذو بعد وحيد) المحاط بمجرى الهواء المحيط.

إذا شاهدنا مقطع عرضي خلال العاصفة ستظهر العاصفة الخطية كنقطة وهي فقط في المنطقة الصغيرة المنتهية التي تدور حولها جزيئات الهواء.

جزيئات الوسط المحيط قد تتحرك بمسارات مغلقة أو قد تترك الجناح بشكل أسرع عند أحد الجوانب منه عند الآخر ولكنهم فعلياً لا يدورون حول محاورهم الخاصة.

Circulations

الدوران (قوة العاصفة) هي خاصة مقاسة في تيار الهواء المحيط بالعاصفة الخطية, ليس في شعاع العاصفة الخطية بحد ذاتها ولكن في جزيئات الهواء المحيطة التي تتحرك بمسار دائري بسرعة v .

حيث:

$$V = \frac{c}{r}$$

v: speed(السرعة)

c: constant(ثابت)

r: نصف قطر الدوران الذي تسببه العاصفة الخطية

يمكننا تعريف الدوران حول اي مسار مغلق ضمن العاصفة الخطية كما يلي :

$$\Gamma = \oint v \cos \phi$$

s: هي المساحة حول الممر الدائري:

إشارة التكامل تدل على ان التكامل يتم حول منطقة مغلقة ومن اجل هذه الحالة

$$\Gamma = \frac{c}{r} \times 2\pi r = 2\pi c$$

اي ان قوة الدوران هي ذاتها حول اي دائرة

بشكل عام اكثر فإن في اي شكل لديه مسار مغلق يحوي عاصفة خطية فإن المكون للسرعة المحلية حول الممرات الدائرية في اي نقطة هي $(V \cos \phi)$

ϕ : الزاوية بين شعاع السرعة المحلية وممر التكامل الدائري.

$$\Gamma = \oint v \cos \phi ds$$

النتيجة نفسها من أجل أي مسار مغلق يحوي عاصفة خطية مثل التقاطع الحاصل بين الهواء واجنحة الطائرة.

إن إبعاد الـ "circulation" هي L^2T^{-1} وهي ما تدعى بقوة العاصفة "strength".

Bound Vortex on a wing

(حدود العاصفة على الجناح)

إن الجناح عندما يتفاعل مع الهواء المحيط بزاوية هجوم مناسبة فإنه يولد عاصفة حوله حيث تكون سرعة الهواء المحيط في أحد الجوانب أعلى من الأخرى.

هذه العاصفة موجودة بشكل إجباري حول الجناح بسبب شرط "Kutta" التي تعبر عن تأثير قوى اللزوجة التي تساوي إلى السرعة التي يغادر بها الهواء المحيط السطح العلوي والسفلي لنهاية الجناح.

إن الرفع للجناح المكون من القوة بالزاوية الصحيحة على تيار الهواء الحر يمكن أن يحسب مباشرة من نظرية "Kutta-Joukowski" كما يلي:

$$L' = \rho \infty V \infty \neg$$

كثافة تيار الهواء الحر: ρ

يعبر مبدئياً عن الرفع بوحدة امتداد الاجنحة: L'

والرفع الكلي يمكن الحصول عليه بمكاملة L' عبر امتداد الاجنحة.

THE KUTTA CONDITION

شرط غوتا

كيف يتم انتشار العاصفة حول الجسم ما كالجناح؟

الذي يتحرك باتجاه محدد دون الدوران؟

اذا اخذنا بعين الاعتبار اقلاع طائرة فان تيار الهواء حول الجناحين سيأخذ نمط كالرسم



Fig4.3A

يتقاطع الهواء وينزلق على طول السطح السفلي ليصل الى النهاية الحادة ويعود بشكل مضاعف للسطح السفلي ثم يتضاعف مرة ثانية ليندمج مع الهواء القادم من السطح العلوي ليغادر الجناح بنفس الاتجاه الذي اتى منه.

ان هذا النمط سيكون موجود في الواقع لو كانت لزوجة الهواء مساوية للصفر ولكن في العالم الحقيقي فان الممر المنكسر لتيار الهواء حول الجناح يؤدي الى انزياح قوي الذي بدوره ينتج قوى مقاومة التي تجبر تيار الهواء ليسرع حول السطح العلوي ويبطئ تحت الجناح .

ان الدوران (قوة العاصفة) حول الجناح يبدأ... الى ان يندمج تيار الهواء القادم من السطح العلوي للجناح مع

الهواء القادم من السطح السفلي بشكل سلس (ليغادر بنفس السرعة) هذا هو شرط غوتا وهو يصف قوة حدود العاصفة التي تتشكل وأيضا كمية الرفع التي تتولد.

ان المعنى الفيزيائي لحدود العاصفة هي ان الهواء المار فوق الجناح يكون اسرع منه تحت الجناح.

جزئيات الهواء لا تدور بممرات مغلقة حول الجناح لان الجزئيات الثابتة حول الجناح اسرع من تلك التي تتشكل بسبب قوة الدوران (قوة العاصفة).

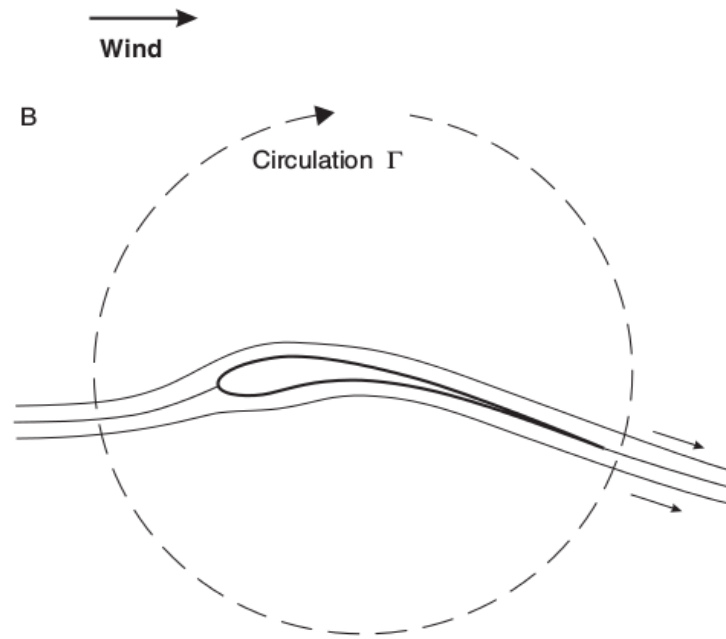


Fig4.3B

الدوران (قوة العاصفة) تضاف الى تيار الهواء والذي يسبب *upwash للهواء الواصل للجناح ويسبب **downwash عندما يغادر حافة الجناح.

هذ بدوره يعطي قوة رفع .

لو لم يكن هناك لزوجة للهواء فلن يكون هناك قوة للدوران ولا قوة رفع.

HELMHOLTZ'S LAWS

قوانين Helmholtz

ان اول قوانين هيلمولتز هو ان قوة الدوران لعاصفة خطية متساوية عند كل نقطة من التقاطع بين العاصفة والجسم مهما كان طوله.

القانون الثاني هو ان العاصفة الخطية لا يمكن ان تنتهي في الوسط المحيط (يمكن ان تنتهي اذا واجهت سطح مغلق)

(أو يمكن ان يتغير اتجاهها وتشارك مع نفسها لتشكل حلقة) ولكنها لا يمكن ان تنتهي أبدا.

قوانين هيلمولتز تقول انه بمجرد ما بدأت عاصفة خطية فانها ستدوم للأبد وبشكل عكسي فانه اذا لم توجد عاصفة خطية فانه لا يمكن ان تبدأ واحدة أخرى.

ان هذه القوانين كاذبة فالشروط التي وضعها هيلمولتز في قوانينه تفترض انه لا يوجد وسط محيط لزج (الذي تكون كثافته منتهية و لزوجته مساوية للصفر)

بشكل عملي فان قوانين هيلمولتز تصف تصرف العواصف بمحيط لزج مثل الهواء والماء (طالما ان الوسط المحيط لا يحوي مناطق انزياح قوي اي المناطق التي تتغير فيها السرعة بشكل حاد ومفاجئ في منطقة صغيرة في الوسط المحيط).

هناك دائما انزياح عندما تمر جزئيات الوسط المحيط على الجسم.

*: هي تعبير فيزيائي يدل على منح الطائر لطاقة حركية لمجرى الهواء الذي يمر فوقه اي هو تماما العكس ل**

** : هي تعبير فيزيائي يدل على منح الطائر لطاقة حركية لمجرى الهواء الذي يمر تحته مما يزيد ضغط الهواء الذي يقع اسفل الطائر مقارنة بالهواء الذي يقع فوقه مما يساهم في توليد قوى الرفع ومقاومة الوزن وبالتالي الطيران.

ان طبقة الوسط المحيط التي تمر على الجسم تلتصق به بدون ان تنزلق وتقوم قوى اللزوجة بجذب طبقات الهواء التي تنزلق فوقها.

بشكل معاكس فإن حركة السائل (الوسط المحيط) تميل الى سحب الجسم الذي تحتك به معها فالوسط المحيط يملك لزوجة قليلة مثل الهواء والماء فإن هذه التأثيرات تضع طبقة رقيقة فوق سطح الجسم.

إن الدوران المتولد في الوسط المحيط على شكل عاصفة تدور حول سطح الجسم وبمجرد ان تترك هذه العاصفة سطح الجسم من قبل تيار الهواء فإن قوى اللزوجة تصبح مهملة وتصرف العاصفة يكون عندها تابعا لقوانين هيلمولتز.

الجناح الثابت ثلاثي الأبعاد:

بمجرد ان تتشكل حدود العاصفة على طول جناح منتهي فيمنع عليها ان تنتهي.

لايمكن ان تنتهي ببساطة عند نهاية أطراف الجناح, إنها تنحني بشكل دائري لتشكل زوجا من العواصف التي تكون قوتها مساوية لقوة العاصفة المحيطة, لتعود حول ممر الطيران من اطراف الأجنحة باتجاه الطيران حيث يتولد الرفع.

عندما تطير طيارة من مطار لأخر فإنها تولد خلفها عاصفة حلقيه مغلقة ابتداءً من المطار الذي غادرت منه وعلى طول الطريق إلى المطار الثاني لتشكل عبر أجنحتها مسار مغلق للعاصفة.

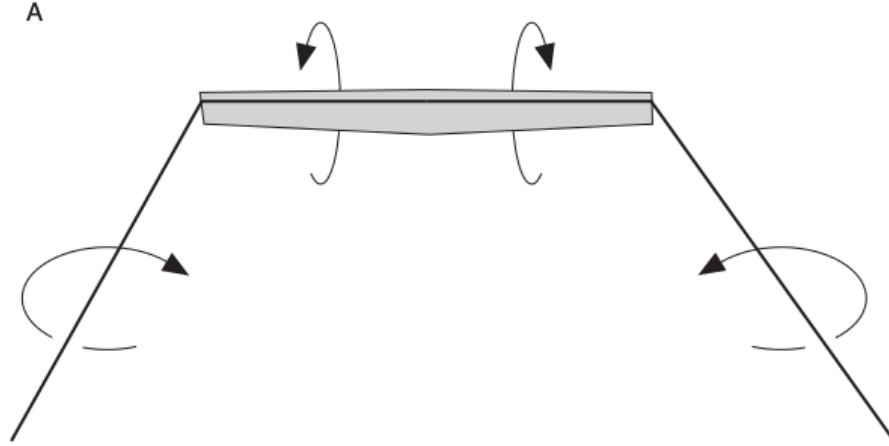


Fig.4.4A

الجناح باللون الرمادي المشاهد من الأعلى والخلف , إن قوة الرفع بإمتداد الأجنحة تكون نسبية إلى قوة العاصفة المحيطة التي لا تنتهي عند نهاية اطراف الجناح والتي تدور عائدة لتشكل عاصفتين (دوامتين) متوازيتين تلاحقان الأجنحة.

عندما تطير الطائرة بشكل افقي عند سرعة متوسطة فإن وزنها متوازن بسبب الرفع المرتبط مع حدود العاصفة على الأجنحة.

زوجين من العواصف (التي تلحق الأجنحة التي تكون قوتها مساوي للقوة عند حدود العاصفة) يتمددان للخلف

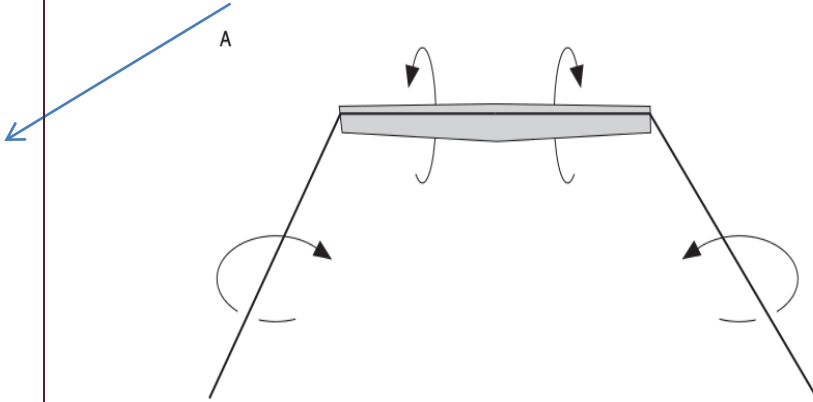
بداية العاصفة تُركت بعيدا وبشكل عملي فإن هذه العواصف تتوسع للخلف إلى اللانهاية , إنهم ينمون بشكل مستمر كلما تحركت الطائرة للأمام مولدة عاصفة جديدة أمامها وتاركة العاصفة الموجودة خلفها متحولة ببطئ للأسفل عندما تحمل كل عاصفة للأسفل من قبل تيار الهواء المتولد وفي حالة الطائرات الكبيرة فإنها ستشكل عائق للطائرات الأخرى عندما تطير من خلالها.

بينما تزداد هذه العواصف (التي تلحق بالأجنحة) فإن الطاقة الحركية المقدمة للأسفل تزداد في منطقة ال downwash بينما لتحسب هذه الطاقة الحركية لحساب معدل الرفع المنجز من قبل الجناح.

وبنفس الوقت فإن العمل المطلوب لجعل كل جزء من كل عاصفة جديدة يدور حول الجناح.
إن هذا المعدل للعمل الواجب إنجازه يمكن حسابه من القوة والبعد لزوجي للعواصف المحيطة ومن السرعة
للأمام المنجزة من الجناح.
إن المعدلات للطاقة الحركية والطاقة التي تظهر يمكن قياسها واستخدامها لمعرفة القوى التي تؤثر على
الطائرة والقوة التي ولدتها الطائرة.

إن وجود هذه العاصفة اشبه بوجود "أثار الأقدام" في الهواء فهي تحوي سجل القوى التي مارسها الطائرة
على الهواء والعمل المنجز من قبل المحرك (أو رفرفة الأجنحة).

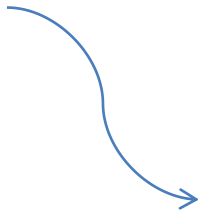
إن حلقة من العاصفة مثل الموجودة في



تعني ان الدوران (قوة العاصفة) لحدود
العاصفة (العاصفة الحدية) هو نفسه عند
كل تقاطع ابتداءً من
طرف أحد الأجنحة إلى نهاية طرف
الجناح الآخر

(ولكن هذا لا يكون صحيح عمليا) بشكل واقعي فإن الدوران يكون أقوى في الوسط وينقص إلى الصفر عند
نهاية طرف الجناح.

كلما ابتعدنا عن منتصف الجناح باتجاه نهاية الجناح فإن الدوران حول كل تقاطع يكون أقل وهذا يعني ان
جزء من العاصفة الحدية عند منتصف الجناحين قد دار حول الجناحين وترك خلفه عاصفة لتلحق بهما في:



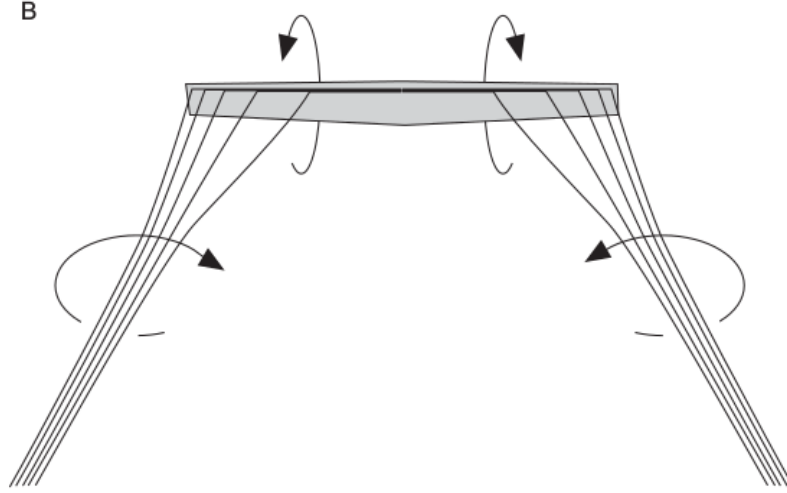


Fig4.4B

فإن العاصفة الحديدية حول منتصف الجناح مصنوعة من خمس حلقات للعواصف (كلهم بقوة متساوية) سوية فهم يصنعون خط الرفع على طول الجناح الذي تتناقص قوته بخطوة بخطوة كلما اقترب الخط من نهاية الجناح.

بجعل خطوط العاصفة أكثر والقوة لكل خط أصغر فإن قوة خط الرفع يمكن ان تنخفض بشكل سلس إلى الصفر عند نهاية طرف الجناح.

هناك عاصفتان تلحقان بالأجنحة كل منهما بنفس قوة أقوى جزء من خط الرفع ولكنهما قريبين قليلا سوية مما سوف يكونا عليه إذا كان خط الرفع ذو قوة ثابتة.

إن أثر Kestrel (طائر الغسق) محلق (بعد التحليق وقياس السرعة) له النمط التالي :

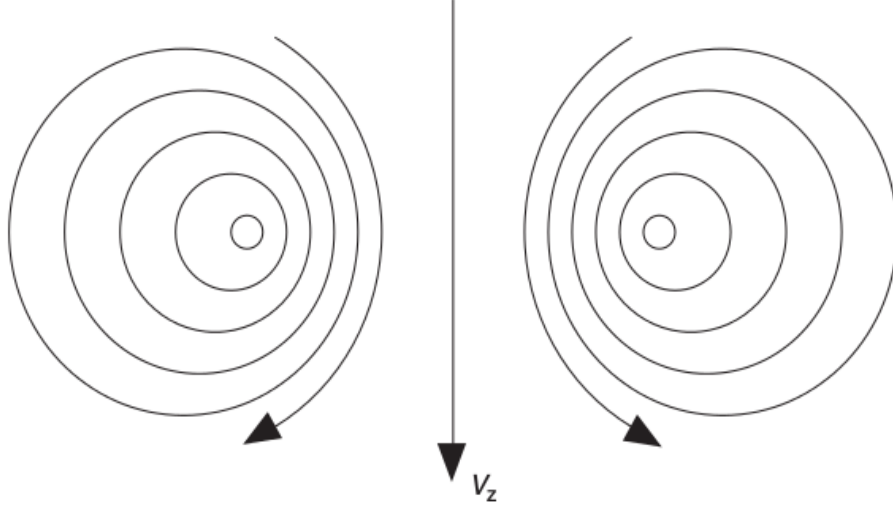


Fig4.5

كل عاصفة من الزوجين تولد تيار هواء إضافي للأسفل للجانب القريب للآخر فيكون لدينا السرعة المتجهة للأسفل (V_z) في المنتصف أكبر من السرعة المتشكلة من أي من هذين العاصفتين لوحدهما.

وايضا فإن كل عاصفة تجعل الأخرى تحول مجرى الهواء للأسفل بسرعة $V_z/4$.

إن السرعة المتجهة للأعلى لكل عاصفة هي أقل مما سوف تكون بدون العواصف الأخرى.

بينما يزداد نمو العاصفتين في اتجاه الطيران فان الطاقة الحركية صافية تضاف بمعدل يجب ان يوازن وزن الطائرة.

ان المعدل الذي يجب ان يكون به العمل منجز (induced powe) .. يجب ان يضع بالحسبان كل حركة بغض النظر عن اتجاهها.

نظرية خط الرفع وتطبيقها على الاجنحة المرفرفة

ان نظرية براندتل (Prandtl) لخط الرفع تفترض ان العاصفة التي تتشكل عندما ينزلق الهواء على سطح الجناح

يمكن ان يعتبر كالتأثير المدمج من عدد كبير من العواصف الخطية التي تتدمج بشكل فردي لقوانين هيلمولتز.

تعطي النظرية حساب جيد للأجنحة الثابتة وهذا يؤكد طبعا ان التيار المار بالأجنحة يحتوي بالتأكيد على عواصف خطية محاطة بتيار الهواء المحيط.

إذا كانت قوانين هيلمولتز صحيحة بشكل عام اذا فهي قابلة للتوسع لتشمل الأجنحة التي ترفرف .

صنع Rayner نمط بسيط لأثر زوجين من الاجنحة المرفرفة حيث من المفترض ان تقوم هذه الأجنحة بتوليد دوران خلال ال

downwash** (اتجاه الاجنحة للأسفل عند الرفرفة) وستكون قوة الدوران مساوية تماما للصفر عند ال upwash* (اتجاه الاجنحة للأعلى عند الرفرفة).

كلما ابتعدت أطراف الأجنحة عند بداية ال downstroke*** فان العواصف تبدأ بالجريان من هذه الاطراف حالما يُنشئ الدوران.

هذا ينضم ليشكل عاصفة واحدة متصلة بطرفي الاجنحة والتي تزداد نمو في الطول كلما ابتعدت اطراف الاجنحة.

بما انهما من الممنوع لهما ان ينتهيا فهما يندمجان مجددا ليشكلا حلقة دوران كاملة و تترك هذه الحلقة خلف الطائرة عند بداية

downstroke جديد , تماما مثلما الطائرة تقوم بتشكيل حلقة طويلة خلفها فان الطائرة بشكل حلقة واحدة بكل

رفة من جناحيه.

ان الطاقة الحركية لحلقة العاصفة التي يشكلها الطائر بكل رفة مقسمة حسب تردد الرفرفة (wingbeat) لتعطي قوة الرفع المتوسطة والتي يجب ان تكون مساوية لوزن الطائر اذا كان ممر الطيران أفقي وبالمثل فان الطاقة لحلقة العاصفة مقسمة بحسب طول فترة رفة الجناح.

انتشار الدوران:

في حالة العاصفة الخطية والتي هي جزء من خط حيث يلتف حوله الهواء فان الدوران يمكن ان يعرف على انه ضعفي السرعة الزاوية للعاصفة الخطية.

ان التيار المتولد حول العاصفة الخطية غير قابل للدوران (يعني ان دورانه بكل مكان يساوي الى الصفر).

كما يمكن قياس الدوران في منطقة من الوسط المحيط كجزء (كحلقة) من السرعة ثلاثية الابعاد.

فهو شعاع مشتق من تدرج السرعة في الفضاء ثلاثي الابعاد.

*: هي تعبير فيزيائي يدل على منح الطائر لطاقة حركية لمجرى الهواء الذي يمر فوقه اي هو تماما العكس ل**

** : هي تعبير فيزيائي يدل على منح الطائر لطاقة حركية لمجرى الهواء الذي يمر تحته مما يزيد ضغط الهواء الذي يقع اسفل الطائر مقارنة بالهواء الذي يقع فوقه مما يساهم في توليد قوى الرفع ومقاومة الوزن وبالتالي الطيران.

***: هي حركة الأجنحة للأسفل ابتداء من المستوي الأفقي باتجاه الفراغ الذي يقع اسفل جسم الطائر.

يسبب الشكل المدور لانتشار الرفع الذي يولد أقل قوى سحب (الممكن باستعمال جناح ثابت)
فإن التصحيح لحساب قوى السحب المتولد أو الطاقة المتولدة تأخذ الصيغة لضرب قوى السحب المحسوبة من
قبل الطاقة برقم يكون اكبر بقليل من الواحد.
لحساب الخسارة يسبب الاختلاف من سرعة الـ downwash المفترض (بشكل ثابت) عبر امتداد الأجنحة.

القيمة الافتراضية لعامل السحب المتولد في التحليق هو 1.1
ويكون عامل الطاقة المتولدة في الرفع 1.2 هذه القيم تم وضعها ارتكازا على تجارب علوم الطيران.

عند نهاية الـ downstroke فإن الدوران (قوة الدوران أو قوة العاصفة) ينعدم ونهايتي العاصفتين تنتهي
(تنزلق) من الأجنحة.

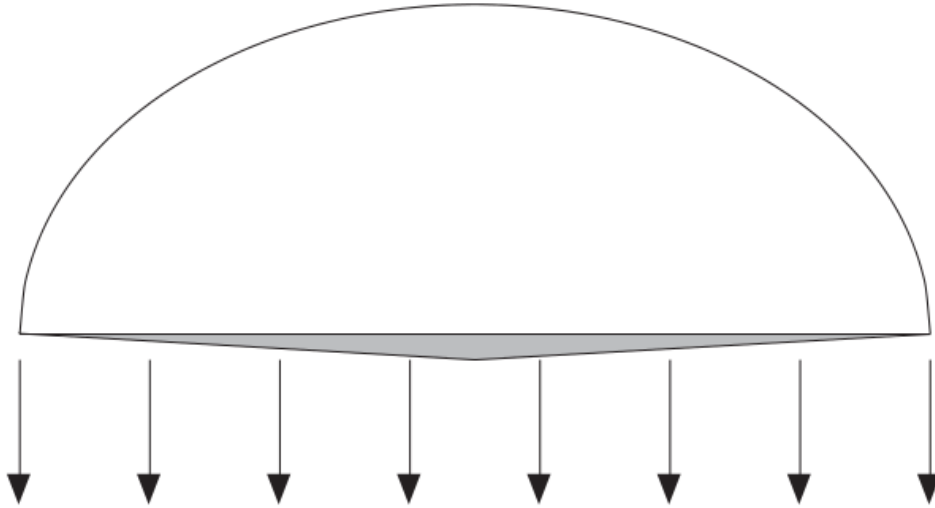


Fig4.6

جناح ثابت مشاهد من الخلف.
القوة للعاصفة الحدية على شكل منحنى فوق الجناح يكون اعظمي في الوسط ويتناقص الى صفر عند طرفي الجناح.
المنحنى يوضح الدوران المحلي وأيضا الرفع عبر امتداد الاجنحة عند كل نقطة على امتداد الأجنحة.

السحب المتولد بسبب جناح ثابت يمكن ان يحسب من نظرية خط الرفع الكلاسيكية لبراندلتز الذي يبدأ بتقديم الدوران حول الجناح كمكدس من حلقات للعواصف.

محصلة الدوران الكلي عند اي نقطة على طول امتداد الأجنحة تعتمد على عدد العواصف الخطية التي تبقى حول الأجنحة عند أي نقطة.

عبر تحديد أين تختفي العاصفة الخطية فإن النظرية يمكن ان تعبر عن الرفع بحيث تنتشر قوة الدوران على طول الجناح.

جميع مراجع علوم الطيران تعطي تفاصيل عن مقدار انتشار الرفع على شكل تقعر (دائري) بحيث بشكل نصف دائرة في حالة الجناح.

انتشار الرفع هذا هو بالتحديد مثالي بمعنى أنه ينتج قوى سحب اقل من غيره لمقدار معطى من الرفع كما يملك خاصية اخرى وهي ان السرعة الناتجة من ال downwash تقع مباشرة خلف الجناح ويمكن ان تشاهد الأسهم العمودية في Fig4.7 وهي ثابتة على طول الجناح .

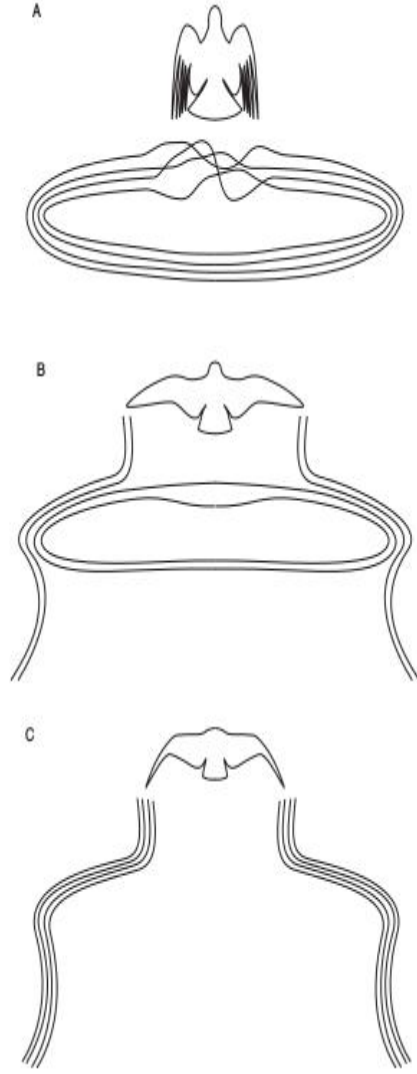


Fig4.7

وفقاً لنظرية خط الرفع فإن مكافئ قوة السحب
المتولد (C Dind) لهذه الحالة يعتمد فقط على مكافئ الرفع CL وعلى نسبة الطول للعرض Ra

$$C_{Dind} = \frac{C_L^2}{\pi R_a}$$

ولكن:

$$R_a = \frac{B^2}{S_{wing}}$$

B : wing span (إمتداد الأجنحة)

S_{wing} : wing area (مساحة الأجنحة)

من أجل جناح طائرة في الطيران الأفقي فإن قوة الرفع يجب ان توازن الوزن mg

$$C_L = \frac{2mg}{\rho v_t S_{wing}}$$

ρ : air density (كثافة الهواء)

v_t : true air speed (سرعة الهواء الحقيقية)

نعوض في C_{Dind}

فنجد:

$$C_{Dind} = \frac{4mg^2}{\pi \rho^2 B^2 S_{wing} v_t^4}$$

ولكن

$$D_{ind} = \frac{C_{Dind} \rho v_t^2 S_{wing}}{2} = \frac{2mg^2}{\pi \rho B^2 v_t^2}$$

D_{ind} = السحب المتولد بحد ذاته يساوي

تعتبر هذه أقل قوة سحب متولدة ممكنة ولكن قوة السحب لجناح حقيقي تضرب ب K (عامل قوة السحب المتولدة)

الذي لا يجب ان يقل عن 1 وذلك لحساب انتشار الرفع المثالي عبر انتشار downwash ثابت على طول

$$D_{ind} = \frac{2kmg^2}{\pi\rho B^2 v_t^2}$$

D_{ind} :induced Drag(السحب المتولد)

K=1.1 وهي قيمة افتراضية

القوة المتولدة من القرص المتولد:

نقطة البداية في حساب القوة المتولدة في الطيران المرفرف يأتي من نظرية الهيلكوبتر وليس من نظرية الجناح الثابت.

إن مراوح الهيلكوبتر تشكل قرص دائري والذي يمكن ان يكون قريب إلى (قرص دائري أوتوماتيكي) إن الخصائص النظرية لهذه النظرية تنص على ان ضغط الهواء يزداد عندما يمر تيار الهواء من خلال المراوح (من خلال القرص المتشكل), هذا الضغط يولد سرعة تتجه للأسفل في أنبوب الهواء الذي يمر عبر القرص.

إن منطقة التقاطع بين الهواء والمراوح يفترض بها ان تكون على شكل دائرة التي يكون قطرها مساوي لقطر المروحة الواحدة (الشفرة) (في حالة الطائرة الهيلكوبتر)أو مساحة لأمتداد الأجنحة في حالة الطائر (حتى لو كان الطائر لا يستطيع ان يشكل دائرة كاملة).

$$p_{ind} = \frac{2mg^2}{v_t \pi B^2 \rho}$$

هذه القوة المتولدة من اجل قرص دائري الذي ينتج سرعة متولدة ثابتة من حافة إلى حافة أخرى للقرص الدائري وهي أيضا مساوية لشروط تولد أقل قوة (minimum induced power) التي تدعم فقط وزن الطائر.

بشكل عملي فإن تغير السرعة المتولدة على طول القرص يتطلب (عامل القوة المتولدة) induced power factor

والتي لا تكون قيمته أبدا أصغر من 1.

القيمة الافتراضية ل $k=1.2$

من أجل الطيران المرفرف والصيغة التي تحسب فيها القوة المتولدة هي:

$$p_{ind} = \frac{2kmg^2}{v_t \pi B^2 p}$$

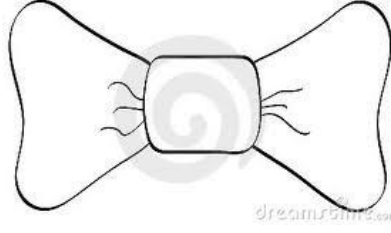
إن نظرية خط الرفع ونظرية القرص الدائري هما في الواقع نظرتان مختلفتان لنفس النظرية .
الافتراض الاساسي في كلتا الحالتين هي ان سرعة ال downwash ثابتة على طول الأجنحة.

الإعتقاد الخاطئ لربطة العنق:

من محاسن نظرية القرص في طيران الرفرفة هي انه لا يتطلب معلومات عن الجناح عدا امتداد الأجنحة.
الحسابات أيضا لا تتضمن الزاوية التي يرفرف بها الجناحين ولكنها تتطلب مساحة القرص التي يمر بها الهواء ليتسارع للأسفل.

إذا طارت حشرة او طائر في زاوية اقل من 180 لكل جناح فالجناح سيشغل مقطعين مشكل مايشابه ربطه العنق

وبعض المؤلفين يفترضون ان هذه هي المساحة الواجب قياسها من أجل حسابات القوة المتولدة وليس القرص بأكمله.



لو كان هذا صحيح إذا فإن السرعة المتولدة ستكون معكوسة نسبة إلى المساحة التي تشكلها الربطة. في هذه الحالة فإن هذا المفهوم مضلل ومفهوم ربطة العنق خاطئ.

معظم الطيور تطير طوال الوقت ولذلك الحسابات يجي ان تكون صحيحة بشكل معقول.

فمثلا سرعة أقل من v_{mp} تبقى محفوظة من أجل نشاطات غير ثابتة مثل الهبوط والإقلاع وافتراس الحشرات الطائرة بينما السرعات الأعلى من v_{mr} ستستخدم من قبل الجوارح كالنسر والصقر عند اصطيد الطيور الأخرى.

تحسين استيعاب أثر العواصف سيجعل من الممكن تعريف وتوضيح خصائص السرعة بأنماط محددة للأثار والذي يمكن ان يرتبط بقيم معينة للمتغيرات مثل التردد المخفض.

يعرف التردد المخفض من قبل العالم (1992) speeding

$$f_{red} = \frac{\pi f c_m}{v_t}$$

f_{red} : تردد الجناحين

v_t : سرعة الهواء الحقيقية

c_m : متوسط مساحة الجناح إلى إمتداد الجناح (mean chord)

قيم كبيرة من التردد المخفض (تردد عالي وسرعة منخفضة) تدل على تغيرات سريعة لتيار الهواء عبر رفة

جناح واحدة واحتمال أخذ بعين الاعتبار التأثيرات الأيروديناميكية بينما التردد المُخفض القليل (تردد منخفض- سرعة عالية) يدل على أن الأيروديناميكية شبه الثابتة ستعطي مقدار كافي من التيار.

“strouhal number”

هو متغير عديم الأبعاد .

نسخة منه قد استخدمت من قبل العالم 2004 Nudds et la.

$$s_t = \frac{fA}{v_t}$$

A:wing tip amplitude

سعة طرف الجناح (تعني مقدار الانحراف العمودي لنهاية طرف الجناح فوق وتحت موقعه في مستوي الأجنحة).

يجب الانتباه إلى ما قد تعنيه كلمة سعة amplitude بعض الرياضيين يعتبرونها كموجة sin

حيث تزداد من الصفر إلى A+ وتتناقص مجدا إلى الصفر ثم إلى A-

وهذا يعني أن السعة الكلية اعتمادا على هذا التعريف سيكون 2A.

البعض الآخر يعرفونها على أنها تأرجح peak-to-peak (الذروة للذروة)

والبعض الآخر يهمل ذكر ما الذي يعنونه بهذا المصطلح.

strouhal number تعطي تأكيد للزاوية التي يتحرك بها الجناح للأسفل والأعلى نسبة إلى مسار الطيران بينما التردد المُخفض لايفعل ذلك وتعتبر هذه ميزة لوصف الأثر الفراغية .

الصعوبة في strouhal number هي ان سعة الجناح من الصعب حسابها فاطراف الأجنحة للطيور تكون رفيعة وحادة

فقياس سعة الجناح هو تحدي في قناة الرياح المعدة للاختبارات وغير ممكنة في الواقع.

ملاحظة:

إن وجود الريش للأجنحة عند الطيور تعطي آثار فراغية للعاصفة تختلف عما هو متوقع من جناح ثابت كالطائرة او عما هو متوقع من جناح لايملك ريش كالوطواط.