

## علم الحركة الهوائية

علم الحركة الهوائية هو فرع من علم الديناميكا المعنية بدراسة حركة الهواء، و خاصة عندما يتفاعل مع أي جسم صلب. تعتبر الديناميكا الهوائية بمثابة مجال فرعي من ديناميكا السوائل و ديناميكا الغاز، مع نظرية مشتركة كثيرا بينهما. يُستخدم علم الحركة الهوائية غالبا بشكل مرادف مع ديناميكا الغاز، مع الفارق بأن ديناميكا الغاز تنطبق على كافة الغازات.

### استعراض

إن فهم حركة الهواء (غالبا ما تسمى بـ مجال التدفق) حول أي جسم يُمكن من حساب القوى والعزائم التي تعمل على الجسم. تشتمل الخصائص النموذجية المحسوبة بالنسبة لأي مجال تدفق على السرعة الاتجاهية، الضغط، الكثافة ودرجة الحرارة كوظيفة للوضع والزمن الحيزي. تسمح الديناميكا الهوائية بتعريف وحل المعادلات الخاصة ببقاء المادة، كمية التحرك والطاقة في الهواء. إن استخدام الحركة الهوائية من خلال التحليل الرياضي، التقريبات التجريبية، تجربة النفق الهوائي، وعمليات محاكاة الكمبيوتر تشكل الأساس العلمي بالنسبة للطيران الأثقل - من - الهواء وعدد من التكنولوجيات الأخرى.

يمكن تصنيف مشكلات الحركة الهوائية وفقا لبيئة التدفق. إن الحركة الهوائية/الخارجية عبارة عن دراسة للتدفق حول أجسام صلبة من مختلف الأشكال. إن تقييم الرفع والمقاومة على أي طائرة أو الموجات الصدمية التي تتشكل أمام فوهة أي صاروخ تعتبر بمثابة أمثلة على الحركة الهوائية الخارجية. إن الحركة الهوائية/الداخلية عبارة عن دراسة للتدفق خلال مسارات في أجسام صلبة. على سبيل المثال، تشتمل الحركة الهوائية الداخلية على دراسة تدفق (جريان) الهواء من خلال محرك نفث أو من خلال أنبوب تكييف هواء.

يمكن كذلك تصنيف مشكلات الحركة الهوائية وفقا إلى ما إذا كانت سرعة التدفق أقل، تقارب أو فوق سرعة الصوت. هناك مشكلة تسمى دون سرعة الصوت في حال أن كافة السرعات في المشكلة هي أقل من سرعة الصوت وتسمى قريبة من سرعة الصوت في كانت

السرعات ما دون أو فوق سرعة الصوت موجودة (عادة عندما تكون السرعة المميزة هي تقريبا سرعة الصوت)، وتسمى فوق سرعة الصوت عندما تكون سرعة التدفق المميزة أكثر من سرعة الصوت، وتسمى فرط صوتية عندما تكون سرعة التدفق أكبر بكثير من سرعة الصوت. إن علماء الحركة الهوائية لا يوافقون على التعريف الدقيق للتدفق ذو الفرط الصوتي، ويتراوح الحد الأدنى أرقام ماخ بالنسبة للتدفق ذو الفرط الصوتي ما بين 3 إلى 12.

إن تأثير اللزوجة في التدفق يملي وجود تصنيف ثالث. قد تواجه بعض المشاكل فقط تأثيرات لزجة صغيرة جدا على الحل، وفي مثل هذه الحالة يمكن اعتبار اللزوجة بأنها تافهة ويمكن إهمالها. تسمى التقريبات لهذه المشاكل بالانسيابات غير لزجة. الانسيابات التي لا يمكن إهمال اللزوجة بشأنها تسمى بالانسيابات اللزجة.

## التاريخ

### الأفكار البدائية - الأزمنة القديمة التي تعود إلى القرن السابع عشر

رسم تصميم لطائرة من قبل ليونارد ديفنشي (عام 1488). كانت هذه الطائرة عبارة عن طائرة خفاقة، بجناحين خفاقين مماثلين لتلك الموجودة في أي طائر، والتي تم عرضها أولا في مخطوطته عن طيران الطيور في عام 1505.

كان البشر ولا زالوا يستخدمون قوى الحركة الهوائية على مدى آلاف السنين في القوارب الشراعية والطواحين الهوائية. ظهرت صور وقصص الطيران عبر التاريخ المدون، مثل القصة الأسطورية لـ إيكاروس و ديدالوس. بالرغم من تدوين ملاحظات بعض تأثيرات الحركة الهوائية مثل مقاومة الريح (على سبيل المثال: السحب) من قبل أرسطو، ليونارد ديفنشي و جاليليو جاليلي، إلا أنه تم بذل جهد قليل جدا لتطوير نظرية كمية دقيقة خاصة بتدفق الهواء قبل القرن السابع عشر.

في عام 1505، كتب ليونارد ديفنشي *المخطوطة عن طيران الطيور*، واحدة من أوائل البحوث عن الحركة الهوائية. يلاحظ للمرة الأولى بأن مركز جاذبية أي طير طائر لا يتوافق مع مركز ضغطه، ويصف تكوين الطائرة الخفاقة اورنثوبتر، بجناحين خفاقين مماثلين لتلك الموجودة في أي طائر.

السير إسحاق نيوتن كان أول شخص قام بتطوير نظرية مقاومة الهواء، الأمر الذي جعله واحدا من أوائل علماء الحركة الهوائية. كجانب من تلك النظرية، اعتبر نيوتن بأن المقاومة كانت بسبب أبعاد الجسم، كثافة السائل، والسرعة الاتجاهية المثيرة للقوة الثانية. جميع هذه الأشياء ثبت أنها صحيحة بالنسبة لسرعات التدفق المنخفضة.

#### البدايات الحديثة - القرن الثامن عشر إلى التاسع عشر

في عام 1738، قام عالم الرياضيات الهولندي - السويسري دانيال بيرنولي بنشر كتاب *الحركة المائية*، والذي وصف فيه العلاقة الأساسية بين الضغط، الكثافة، والسرعة الاتجاهية، وخاصة مبدأ بيرنولي، الذي يعتبر بمثابة وسيلة لحساب رفع الحركة الهوائية. تم نشر المزيد من المعادلات العامة لتدفق السوائل - معادلات يولر - من قبل ليونارد يولر في عام 1757. تم تمديد معادلات يولر لتشمل تأثيرات اللزوجة في النصف الأول من أعوام 1800، الأمر الذي ترتب عليه معادلات نافير - ستوكس.

إن السير جورج كايلي له الفضل كأول شخص يقوم بتحديد و التعرف على قوى الحركة الهوائية الأربعة للطيران - الوزن، الرفع، مقاومة الهواء والدفع - والعلاقات بينهم. اعتقد كايلي بأن مقاومة الهواء لآلة طيران يتعين معادلته بوسيلة دفع من أجل يحدث طيران مستو. نظر كايلي أيضا إلى الطبيعة بالنسبة لأشكال الحركة الهوائية ذات المقاومة المنخفضة. من بين الأشكال التي تصورها كانت المقاطع العرضية للثروتة (سمك السلمون المرقط). إن هذا الأمر قد يبدو معاكسا للتوقعات البديهية، مع ذلك، فإن أجسام الأسماك مشكلة لتنتج مقاومة

منخفضة جدا عندما تنتقل عبر المياه. إن مقاطعها العرضية قريبة جدا من تلك الخاصة بالجنيحات الحديثة المنخفضة المقاومة.

تم إجراء تجارب مقاومة الهواء من قبل باحثين طوال القرنين الثامن عشر و التاسع عشر. تم تطوير نظريات مقاومة الهواء من قبل جين لي روند دي اليمبرت، جوستاف كيركهوف، و لورد رايليغ. تم تطوير المعادلات الخاصة بتدفق السوائل مع الاحتكاك وذلك من قبل كلود- لويس نافير و جورج جابريل ستوكس. لمحاكاة تدفق السوائل، تطلبت الكثير من التجارب غمر أجسام في مجاري مياه أو ببساطة إسقاطها من فوق مبنى عالٍ. عند نهاية هذه الفترة الزمنية استخدم جوستاف ايفل برج ايفل الخاص به للمقاومة في اختبار إسقاط أطباق مسطحة.

هناك طريقة أكثر دقة لقياس المقاومة وهي وضع جسم داخل مجرى هواء اصطناعي، منتظم حيث تكون السرعة الاتجاهية معروفة. كان أول شخص يقوم بالتجربة بهذه الطريقة هو فرانسيس هيربرت وبنهام، الذي أنشأ لدى قيامه بذلك أول نفق هوائي في عام 1871. وبنهام كان أيضا أحد أعضاء أول منظمة احترافية مكرسة للحركة الهوائية، الجمعية الملكية للطيران بالمملكة المتحدة. إن الأجسام الموضوعة في نماذج الأنفاق الهوائية تكون دائما أصغر مما تكون في الممارسة، لذا كانت هناك حاجة لطريقة ربط نماذج ذات أحجام أصغر بنظرائها الموجودة في الحياة فعلا. تم تحقيق هذا الأمر مع اختراع رقم رينولدز اللابيدي بواسطة اوسبورن رينولدز. قام رينولدز أيضا بتجربة تحول التدفق الصفائحي إلى تدفق دوامي في عام 1883.

في أواخر القرن التاسع عشر، تم تحديد و التعرف على مشكلتين قبل التمكن من تحقيق الطيران الأثقل - من - الهواء. كانت المشكلة الأولى عبارة عن إحداث مقاومة هواء منخفضة، أجنحة حركة هوائية ذات رفع عالي. كانت المشكلة الثانية عبارة عن كيفية تحديد القوة اللازمة للطيران المستدام. خلال هذا الوقت، تم وضع العمل الأرضي لحركة السوائل

والحركة الهوائية الحديثة، مع عمليات اختبار أخرى للهواة أقل ميولاً للناحية العملية لمختلف الطائرات بنجاح قليل.

إن الصورة المنقولة للنفق الهوائي للأخوين رايت معروضة في مركز فرجينيا للطيران والفضاء. كانت الأنفاق الهوائية بمثابة مفتاح في إعداد وتطوير والمصادقة على قوانين الحركة الهوائية.

في عام 1889، أصبح تشارلز رينارد، مهندس طيران فرنسي، أول شخص يتنبأ بشكل معقول بالقوة اللازمة للطيران المستدام. اكتشف رينارد والفيزيائي الألماني هيرمان فون هيلمهولتز حمولة الجناح (الوزن إلى نسبة مساحة الجناح) الخاص بالطيور، الأمر الذي ترتب عليه في نهاية المطاف استنتاج أن البشر لا يمكنهم الطيران بموجب القوة الخاصة بهم عن طريق ربط أجنحة على أذرعهم. اوتو ليلينثال، عقب عمل السير جورج كايلي، كان أول شخص يصبح ناجحاً بشكل كبير مع الطائرات الشراعية. اعتقد ليلينثال بأن الجنيحات النحيفة، المنحنية سوف تنتج رفعا عاليا ومقاومة منخفضة.

قدم اوكتاف تشانوت خدمة عظيمة إلى أولئك المهتمين بالحركة الهوائية والطائرات عن طريق نشر كتاب يوضح كافة الأبحاث التي تم إجراؤها حول العالم حتى عام 1893.

### الطيران العملي – أوائل القرن العشرين

مع المعلومات المتضمنة في كتاب تشانوت، المساعدة الشخصية من تشانوت نفسه، والبحث الذي تم إجراؤه في النفق الخاص بهما، اكتسب الأخوان رايت معرفة كافية بالحركة الهوائية لتطير أول طائرة تعمل آليا بتاريخ 17 ديسمبر 1903. أكدت رحلة طيران الأخوان رايت أو أدحضت عدد من نظريات الحركة الهوائية. تم في النهاية إثبات أن نظرية نيوتن لقوة مقاومة الهواء غير صحيحة تماماً. أفضت هذه الرحلة الأولى الواسعة الدعاية إلى جهد منظم أكثر بين الطيارين والعلماء، ممهدة الطريق نحو الحركة الهوائية الحديثة.

خلال وقت رحلات الطيران الأولى، قام فريدريك دبليو. لانشتتر، مارتن ويلهلم كوتا، و نيكولاي زوكوفسكي بشكل مستقل بإحداث نظريات ربطت انتشار تدفق الوقود بالرفع. استمر كوتا و زوكوفسكي في تطوير نظرية جناح ذو بعدين. بالتوسع في عمل لانشتتر، فإن الفضل يعود إلى لودويج براندتل في تطوير الرياضيات خلف نظريات الجنيح النحيف وخط الرفع وكذلك العمل مع طبقات متاخمة. قام براندتل، بروفيسور في جامعة جوتنجن، بتدريس كثير من الطلبة ممن يمكن أن يلعبوا أدورا هامة في تطوير الحركة الهوائية، مثل تيودور فون كارمان و ماكس مونك.

### مسائل التصميم مع السرعة المتزايدة

تعتبر قابلية الانضغاط عاملا مهما في الحركة الهوائية. عند السرعات المنخفضة، فإن قابلية انضغاط الهواء لا تعتبر مهمة فيما يتعلق بتصميم الطائرة، ولكن عندما يقترب تدفق الهواء من أو يتجاوز سرعة الصوت، فإن أي حشد من تأثيرات الحركة الهوائية الجديدة يصبح مهما في تصميم الطائرة. إن هذه التأثيرات، وغالبا ما تكون في وقت واحد، تجعل من الصعب على طائرة عصر الحرب العالمية الثانية أن تصل إلى سرعات أبعد كثيرا من 800 كم/ساعة (500 ميل في الساعة).

تشمل بعض التأثيرات الطفيفة التغييرات التي تطرأ على تدفق الهواء والتي تؤدي إلى مشاكل في التحكم. على سبيل المثال، فإن طائرة بي -38 لايتنينج بجناحها عالي الرفع السميك كانت تعاني من مشكلة محددة في الانقضاضات ذات السرعة العالية أدت إلى حالة إمالة مقدمة الطائرة إلى الأسفل. يمكن للطيارين الدخول في انقضاضات، ومن ثم يجدوا أنه لم يعد بإمكانهم السيطرة على الطائرة، التي استمرت في ارتفاع مقدمتها إلى أعلى إلى أن تحطمت. تم معالجة المشكلة عن طريق إضافة "جنيح إضافي متحرك انقضاضي" أسفل الجناح والذي غير مركز توزيع الضغط بحيث لا يمكن للجناح أن يفقد رفعه.

أثرت مشكلة مماثلة على بعض نماذج سوبرمارين سبايتفاير. عند السرعات العالية فإن الجنيح يمكن أن يستخدم عزم دوران أكثر مما يمكن أن تتعامل معه أجنحة سبايتفاير النحيفة، ومن الممكن أن ينتهي كامل الجناح في الاتجاه المعاكس. كان هذا الأمر يعني بأن الطائرة من الممكن أن تدور في الاتجاه المعاكس للاتجاه الذي قصده الطيار، وأدى ذلك إلى عدد من الحوادث. لم تكن النماذج القديمة سريعة بشكل كاف لتصبح مشكلة، ولذا لم يتم ملاحظة ذلك إلى أن بدأ النموذج الأخير لـ سبايتفايرز مثل ام كي- آي اكس بالظهور. تم تخفيف ذلك عن طريق إضافة صلابة التوائية معتبرة إلى الأجنحة، وتم معالجة ذلك بالكامل عندما تقديم والتعريف بطائرة ام كي-اكس آي في.

كانت الطائرتان ميسرشميت بي اف 109 و ميتسوبيشي زيرو تعانيان المشكلة المعاكسة تماما و التي أصبحت فيها أجهزة القيادة و التوجيه غير فعالة. عند السرعات العالية لم يتمكن الطيار ببساطة من تحريك أجهزة القيادة والتوجيه لأنه كان هناك تدفق هواء كثير جدا فوق أسطح التوجيه. من الممكن أن يصبح الأمر صعبا على الطائرات للمناورة، وعند سرعات كافية عالية يمكن للطائرة بدون هذه المشكلة أن تحققها.

تم في نهاية المطاف حل هذه المشاكل عندما وصلت الطائرة النفاثة إلى سرعات قريبة من سرعة الصوت وفوق صوتية. قام العلماء الألمان في الحرب العالمية الثانية بالتجربة مع الأجنحة المكتسحة. تم تطبيق بحثهم على ميغ-15 و اف-86 واستخدمت قاذفات القنابل مثل بي - 47 ستراتوجيت أجنحة كاسحة والتي تؤخر بداية الموجات الصدمية وتقلل من المقاومة. إن كافة أسطح الذيل الأفقي التي هي شائعة على الطائرات فوق الصوتية تساعد على الحفاظ على التحكم بالقرب من سرعة الصوت.