آخر تحديث: November 1, 2026

عن هذه الدورة

يتضمن هذا المقرر المجاني 10 وحدات و4 مختبرات. هذه الأعداد الحقيقية وليست منهجًا أطول جرى اختصاره.

التحقق هو رقم أو نتيجة برمجية في صفحة مقرر يعيد سكربت حسابها قبل النشر. يجب أن يطابق الرقم المعروض الرقم المعاد حسابه.

هذا مخطط دورة مجانية للتعلّم الذاتي كتبته Saving Planets. وهو ليس مقررًا جامعيًا، ولا يمنح ساعات معتمدة، ولا تشارك فيه أي مؤسسة تعليمية.

يتبع نطاقه مقررات السنة الأولى التمهيدية في هندسة الطيران والفضاء مثل MIT 16.00 وبداية Unified Engineering في MIT، والمقررات التمهيدية في علوم الطيران والملاحة الفضائية في Purdue وGeorgia Tech وEmbry-Riddle، والكتاب الكلاسيكي Introduction to Flight لجون د. أندرسون الابن. ونضع روابط لمواد مجانية في كل مكان، وخاصة Beginner’s Guide to Aeronautics من NASA Glenn. لا تتبنى أي من هذه المؤسسات هذه الصفحة.

ما نضيفه: كل وحدة مرتبطة بطيران أنظف وبالمركبات الفضائية التي ترصد كوكبنا، وكل رقم في الصفحة يُعاد حسابه ببرنامج تحقق قبل النشر، وأربعة مختبرات، منها نفق رياح افتراضي وطائرة شراعية تبنيها بنفسك، تجعل المعادلات ملموسة.

تابعها بالترتيب. في كل وحدة أهداف وأفكار أساسية ومعادلات وأمثلة خطوة بخطوة وتمارين بإجابات كاملة وأخطاء شائعة وبطاقات تعليمية واختبار قصير. يُحفظ تقدّمك في هذا المتصفح فقط.

كيف تساعد هذه الدورة في إنقاذ الكوكب

تبني هندسة الطيران والفضاء الأقمار الصناعية التي تقيس مناخ الأرض وغاباتها وجليدها ومحيطاتها، وعليها أيضًا أن تقلص بصمتها الخاصة: كل كيلوغرام من وقود الطائرات يُحرق ينتج نحو 3.16 kg من CO_2.

تنتهي كل وحدة بقسم قصير موثق المصادر يبيّن كيف تساعد أفكارها الناس والكوكب.

للمعلمين

يمكنك تدريس هذا المقرر، أو أن يتابعه الطالب وحده. إنه مجاني. Saving Planets لا تمنح درجة ولا ساعات معتمدة.

- هذه الصفحة هي المقرر كاملًا: 10 وحدات و4 مختبرات (AERO 101).
- خطّط لخمسة عشر أسبوعًا، نحو 6 إلى 9 ساعات في الأسبوع، بما في ذلك أسابيع المختبر.
- اتبع جدول الخمسة عشر أسبوعًا. اقرأ الوحدة، حلّ التمارين على الورق، ثم افتح الإجابة. في أسبوع المختبر، نفّذ المختبر أو نسخته المنزلية.
- التحقق هو رقم أو نتيجة برمجية في الصفحة يعيد سكربت حسابها قبل النشر. يجب أن يطابق الرقم الظاهر الرقم المعاد حسابه.

- استخدم طباعة هذه الصفحة، أو نزّل دليل الدراسة PDF. ورقة القوانين قرب النهاية.
- اسأل: كيف تساعد هذه الوحدة الناس والكوكب؟ في كل وحدة مربع أخضر فيه حقيقة مع مصدرها.
- انسخ نموذج دليل المعلم واكتب اسم صفك والوقت المتاح والأسئلة التي ستطرحها. افتح نموذج دليل المعلم

قبل أن تبدأ

المتطلبات السابقة

- الجبر وحساب المثلثات في المرحلة الثانوية؛ اللوغاريتمات والدوال الأسية.
- ميكانيكا الفيزياء I (القوى، والطاقة، والزخم، والحركة الدائرية) مفيدة؛ ادرسها بالتوازي إن استطعت.
- حساب التفاضل والتكامل I مفيد لبعض الاشتقاقات لكنه غير مطلوب للأرقام.

كيف تذاكر

- استخدم وحدات SI في كل مكان واكتبها في كل سطر.
- ارسم القوى (الرفع، والوزن، والدفع، والسحب) قبل كتابة أي معادلة.
- قدّر أولًا؛ فلأرقام الطيران والفضاء أحجام مألوفة (هواء مستوى سطح البحر $1.2\ \text{kg/m}^3$ ≈، المدار المنخفض 7.7 km/s ≈).
- حلّ كل تمرين على الورق قبل فتح الإجابة.
- استخدم محاكيات NASA Glenn لاختبار حدسك.
- أعد الاختبارات القصيرة بعد بضعة أيام. التدرّب المتباعد أفضل من جلسة طويلة واحدة.

ماذا تحتاج

- حاسوب مع متصفح ويب وجدول بيانات (يعمل FoilSim في المتصفح).
- لمختبر الطائرة الشراعية: ورق مقوى أو لوح فوم، ومسطرة، ومقص، وصلصال تشكيل أو عملات معدنية لتثقيل المقدمة، وشريط قياس.
- اختياري: ساعة إيقاف في هاتف ذكي.

جدول مقترح من 15 أسبوعًا

نحو 6 إلى 9 ساعات أسبوعيًا: قراءة وتمارين، وفي أسابيع المختبر، المختبر.

الأسبوع	الوحدة	الموضوعات	القراءة
1	تاريخ الطيران وعملية التصميم	تاريخ الطيران؛ عملية التصميم؛ القوى الأربع	MIT 16.00؛ Smithsonian
2	الغلاف الجوي	الغلاف الجوي القياسي؛ سرعة الصوت	NASA Glenn: الغلاف الجوي
3	أساسيات الديناميكا الهوائية: الرفع والسحب	معادلتا الرفع والسحب؛ برنولي	NASA Glenn: الرفع والسحب
4	أساسيات الديناميكا الهوائية: الرفع والسحب	عدد رينولدز وسرعة الانهيار؛ المختبر D	FAA PHAK

الأسبوع	الوحدة	الموضوعات	القراءة
5	المقاطع الانسيابية والأجنحة	المقاطع الانسيابية، ومنحنى الرفع، والأجنحة المحدودة؛ المختبر A	NASA FoilSim
6	أداء الطائرات	الانزلاق، والقدرة المطلوبة، والصعود	NASA Glenn: زاوية الانزلاق
7	أداء الطائرات	المدى ومدة التحليق؛ تدريب على الاختبار النصفي	FAA PHAK
8	الاستقرار والتحكم	الاستقرار والتحكم؛ المختبر C	NASA Glenn: الدورانات
9	أساسيات الدفع	الدفع: المحركات النفاثة والمراوح والمراوح الدافعة	NASA Glenn: الدفع
10	الصواريخ ومعادلة الصاروخ	دفع الصواريخ ومعادلة الصاروخ	NASA Glenn: الصواريخ
11	الصواريخ ومعادلة الصاروخ	المراحل ومركبات الإطلاق؛ المختبر B	NASA Glenn: الصواريخ
12	المدارات والبعثات الفضائية	المدارات، وقوانين كبلر، والمدار الثابت بالنسبة للأرض	JPL Basics of Space Flight
13	المدارات والبعثات الفضائية	مناورات هوهمان للانتقال وتصميم البعثات	JPL Basics of Space Flight
14	الطيران والفضاء المستدامان	الطيران والفضاء المستدامان	NASA; EPA; DOE
15	المراجعة	مراجعة ومجموعة تمارين نهائية	كل الوحدات

تقدّمك

ضع علامة على الوحدات والمختبرات عند إنهائها، وخض الاختبارات. يُحفظ التقدم ونتائج الاختبارات في هذا المتصفح فقط، ولا تُرسل إلينا أبدًا.

الوحدات

تاريخ الطيران وعملية التصميم

من الأخوين رايت إلى أرتميس: كيف يحوّل مهندسو الطيران والفضاء مهمة إلى متطلبات وموازنات وتصميم يطير.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- عرض أبرز محطات الطيران ورحلات الفضاء.
- وصف دورة التصميم: المتطلبات، والمفهوم، والتصميم الأولي والتفصيلي، والاختبار.
- شرح دراسات الموازنة ولماذا يتحكم الوزن في كل شيء.
- تسمية قوى الطيران الأربع.

المفاهيم الأساسية

- في 17 ديسمبر 1903، قامت طائرة Wright Flyer برحلة مدتها 12 ثانية قطعت 36 m (120 ft)؛ وقطعت أفضل رحلة في ذلك اليوم 260 m (852 ft) في 59 ثانية. نجح الأخوان رايت بالاختبار: بنيا طائرات شراعية ونفق رياح خاصًا بهما قبل إضافة محرك.
- كل تصميم يبدأ بمهمة: الحمولة، والمدى أو المدار، والتكلفة، والسلامة. وتحوّل المتطلبات المهمة إلى أرقام يجب أن يحققها التصميم.
- التصميم تكراري: رسم المفهوم، وتحديد الأبعاد، والتحليل، والاختبار، وإعادة التصميم. وتقارن دراسة الموازنة بين الخيارات وفق معايير مرجحة.
- تؤثر أربع قوى في الطائرة: الرفع، والوزن، والدفع، والسحب. في الطيران الأفقي المستقر، الرفع = الوزن والدفع = السحب.
- الوزن يتراكم: الهيكل الإضافي يحتاج إلى رفع أكبر، وجناح أكبر، وسحب أكبر، ووقود أكثر، ثم وزن أكبر مرة أخرى.

المعادلات الأساسية

$$L = W, \quad T = D$$

`L=W, T=D`

طيران مستقر أفقي دون تسارع

$$W = mg$$

`W=mg`

الوزن

$$\text{Score} = \sum_{i} w_i \, s_i$$

`Score=_i w_i s_i`

الدرجة المرجحة لدراسة الموازنة

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 1.1 طائرة خفيفة كتلتها 1100 kg تطير في رحلة أفقية. ما الرفع الذي يجب أن ينتجه جناحها؟

1. الطيران الأفقي: $L = W = mg$.
2. $L = 1{,}100 \times 9.81$.

الإجابة: $10{,}791\ \text{N} \approx 10.8\ \text{kN}$.

مثال 1.2 يُقيَّم مفهومان للجناح من 10 في التكلفة (الوزن 0.3) والكفاءة (0.5) وسهولة البناء (0.2). يحصل المفهوم A على 8 و6 و9، ويحصل B على 5 و9 و6. أيهما يفوز؟

1. $A: 0.3(8) + 0.5(6) + 0.2(9) = 7.2$.
2. $B: 0.3(5) + 0.5(9) + 0.2(6) = 7.2$.

الإجابة: تعادل عند 7.2: على الفريق أن يختبر الاثنين أو يراجع الأوزان التي يثق بها أقل.

مثال 1.3 قطعت الرحلة الأولى لطائرة Wright Flyer مسافة 36 m في 12 s. ما متوسط سرعتها بالنسبة للأرض؟

1. $v = 36/12$.

الإجابة: 3 m/s بالنسبة للأرض. كانت تطير عكس رياح أمامية قوية، لذا كانت سرعتها الجوية أعلى بكثير.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. طائرة ركاب كتلتها 70000 kg تطير في رحلة أفقية. أوجد قوة الرفع.

   $L = 70{,}000 \times 9.81 = 686{,}700\ \text{N} \approx 687\ \text{kN}$.

2. في الرحلة الأفقية تعطي محركات الطائرة دفعًا قدره 30 kN. ما قوة السحب؟

   30 kN، لأن الدفع يوازن السحب في الطيران المستقر.

3. لماذا بنى الأخوان رايت نفق رياح؟

   كانت بيانات الرفع المنشورة غير موثوقة، فقاسا بنفسيهما أشكالًا كثيرة للأجنحة: الاختبار قبل البناء هو جوهر عملية التصميم.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: يصمم المهندسون الطائرة أولًا ثم يبحثون لها عن مهمة.
في الحقيقة: المهمة ومتطلباتها تأتي أولًا.

خرافة: في الطيران الأفقي يجب أن يوازن الدفع الوزن.
في الحقيقة: الدفع يوازن السحب؛ والرفع يوازن الوزن.

خرافة: توفير قليل من الوزن لا يوفر إلا ذلك الوزن.
في الحقيقة: توفير الوزن يتضاعف عبر حجم الجناح والسحب والوقود.

بطاقات تعليمية

القوى الأربع

الرفع، والوزن، والدفع، والسحب.

المتطلبات

أهداف قابلة للقياس يجب أن يحققها التصميم.

دراسة الموازنة

مقارنة مرجحة بين خيارات التصميم.

دورة التصميم

المفهوم ← الأولي ← التصميم التفصيلي ← الاختبار ← التكرار.

Wright Flyer

أولى رحلات طائرة بمحرك وتحكم، 17 ديسمبر 1903.

دوامة الوزن

الوزن الإضافي يكبّر التصميم كله.

اختبار ذاتي

1. في الطيران الأفقي المستقر، يساوي الرفع...

الدفع

السحب

الوزن

صفر

الوزن. القوى الرأسية متوازنة.

2. طارت Wright Flyer لأول مرة في...

1899

1903

1911

1927

1903. 17 ديسمبر 1903، في كيتي هوك.

3. دراسة الموازنة...

تختار القطعة الأرخص

تقارن الخيارات وفق معايير مرجحة

تختبر نموذجًا أوليًا حتى الانهيار

تُجرى بعد اختبار الطيران

تقارن الخيارات وفق معايير مرجحة. ترتب الخيارات بطريقة منهجية.

4. الخطوة الأولى في عملية التصميم هي...

الرسومات التفصيلية

المهمة والمتطلبات

اختبار الطيران

اختيار محرك

المهمة والمتطلبات. المتطلبات توجه كل ما يأتي بعدها.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تتغير أولويات التصميم بتغير الزمن. فمتطلبات الطائرات الجديدة تشمل الآن استهلاك الوقود والانبعاثات، لذا فإن أدوات دراسة الموازنة نفسها تزن المناخ إلى جانب التكلفة والأداء.

تذكر ناسا ثلاث طرق رئيسية لجعل الطيران مستدامًا: تقنيات طائرات عالية الكفاءة، ووقود الطيران المستدام، وعمليات وبنية تحتية أفضل.

على Saving Planets: Artemis II

المصادر: Smithsonian: طائرة Wright Flyer لعام 1903 (https://airandspace.si.edu/collection-objects/1903-wright-flyer/nasm_A196100) · ناسا: الطيران المستدام (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-aviation/) (48000

مصادر تعلّم مجانية

- Smithsonian: طائرة Wright Flyer لعام 1903 (https://airandspace.si.edu/collection-objects/1903-wright-flyer/nasm_A1961004) (8000): قصة طائرة Wright Flyer ومواصفاتها.
- MIT OpenCourseWare 16.00: Introduction to Aerospace Engineering and Design (https://ocw.mit.edu/courses/16-00-introduction-to-aerospace-engineering-and-design-spring-2003/): المقرر التمهيدي في MIT المتمحور حول التصميم.
- NASA Glenn: Beginner’s Guide to Aeronautics (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/): ابدأ من هنا في كل موضوع.

أنهيت هذه الوحدة

الغلاف الجوي

الهواء الذي تطير فيه الطائرة: كيف تتغير درجة الحرارة والضغط والكثافة وسرعة الصوت مع الارتفاع.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- استخدام نموذج الغلاف الجوي القياسي لإيجاد T وp وρ عند الارتفاع.
- تطبيق قانون الغاز المثالي على الهواء.
- حساب سرعة الصوت وعدد ماخ.
- شرح سبب طيران طائرات الركاب في رحلاتها قرب 11 km.

المفاهيم الأساسية

- الغلاف الجوي القياسي نموذج متوسط مطابق للقياسات. في نموذج ناسا تمتد طبقة التروبوسفير من الأرض حتى 11000 m، وتنخفض درجة الحرارة نحو 6.5 °C لكل كيلومتر.
- من 11 إلى 25 km (الستراتوسفير السفلى) تكون درجة حرارة النموذج ثابتة عند −56.46 °C، بينما يستمر الضغط في الانخفاض أسيًا.
- تنتج الكثافة من قانون الغاز المثالي، ρ = p/(RT). عند 11 km تبلغ كثافة الهواء نحو 30% من كثافته عند مستوى سطح البحر.
- سرعة الصوت a = √(γRT)، لذا فهي تعتمد على درجة الحرارة فقط. عدد ماخ M = V/a.
- الهواء الأقل كثافة يعني سحبًا أقل عند سرعة معينة، ولهذا تطير النفاثات عاليًا، لكن الأجنحة والمحركات ما زالت تحتاج إلى ما يكفي من الهواء لتعمل.

المعادلات الأساسية

$$T = 15.04 - 0.00649\,h \quad (^\circ\mathrm{C},\ h \text{ in m})$$

```
T=15.04-0.00649 h\ \ (^,\ h in m)
```

مطابقة ناسا لدرجة الحرارة في التروبوسفير

$$p = 101.29\left(\frac{T + 273.1}{288.08}\right)^{5.256} \ \mathrm{kPa}$$

```
p=101.29((T+273.1)/(288.08))^5.256 kPa
```

مطابقة ناسا للضغط في التروبوسفير

$$\rho = \frac{p}{0.2869\,(T + 273.1)}$$

```
ρ=(p)/(0.2869 (T+273.1))
```

الكثافة (p بوحدة kPa، وρ بوحدة kg/m³)

$$a = \sqrt{\gamma R T}, \quad M = \frac{V}{a}$$

a=γ RT, M= Va

سرعة الصوت وعدد ماخ

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 2.1 أوجد T وp وρ عند 5000 m بنموذج ناسا.

1. T = 15.04 − 0.00649 × 5,000 = −17.41 °C.
2. p = 101.29 × (255.69/288.08)^5.256 = 54.11 kPa.
3. ρ = 54.11/(0.2869 × 255.69).

الإجابة: T ≈ −17.4 °C، p ≈ 54.1 kPa، ρ ≈ 0.738 kg/m³ (60% من مستوى سطح البحر).

مثال 2.2 أوجد سرعة الصوت عند مستوى سطح البحر (15 °C) وعند 11 km (−56.5 °C).

1. a = √(1.4 × 287 × 288.15) = 340.3 m/s.
2. a = √(1.4 × 287 × 216.65) = 295.0 m/s.

الإجابة: 340 m/s و295 m/s.

مثال 2.3 طائرة ركاب تطير بسرعة جوية حقيقية 230 m/s عند 11 km. ما عدد ماخ؟

1. M = 230/295.0.

الإجابة: M ≈ 0.78.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد كثافة الهواء عند 11000 m بنموذج ناسا (T = −56.46 °C، p = 22.72 kPa).

   ρ = 22.72/(0.2869 × 216.64) ≈ 0.366 kg/m³، أي نحو 30% من مستوى سطح البحر.

2. أوجد درجة الحرارة عند 1500 m في نموذج ناسا.

   T = 15.04 − 9.74 = 5.3 °C.

3. كم يساوي ماخ 2 عند مستوى سطح البحر بوحدة m/s؟

.2 × 340 = 680 m/s

4. أوجد كثافة مستوى سطح البحر من p = 101.40 kPa وT = 15.04 °C.

.ρ = 101.40/(0.2869 × 288.14) ≈ 1.227 kg/m³

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: تعتمد سرعة الصوت على الضغط.
في الحقيقة: في الغاز المثالي تعتمد على درجة الحرارة فقط.

خرافة: يزداد البرد طوال الطريق إلى الأعلى.
في الحقيقة: تستقر درجة الحرارة فوق 11 km ثم ترتفع مجددًا في أعالي الستراتوسفير.

خرافة: الهواء الأقل كثافة يساعد دائمًا.
في الحقيقة: إنه يقلل السحب لكنه يقلل أيضًا الرفع ودفع المحرك، لذا يجب أن تطير الأجنحة أسرع أو بمعاملات رفع أعلى.

بطاقات تعليمية

الغلاف الجوي القياسي

نموذج متوسط لـ T وp وρ بدلالة الارتفاع.

التروبوسفير

من الأرض إلى ~11 km؛ تنخفض درجة الحرارة مع الارتفاع.

معدل الانخفاض الحراري

6.5 °C ≈ لكل km في التروبوسفير.

قانون الغاز المثالي

.p = ρRT

سرعة الصوت

.a = √(γRT)

عدد ماخ

.M = V/a

اختبار ذاتي

1. في التروبوسفير تنخفض درجة الحرارة بنحو...

1 °C/km

6.5 °C/km

15 °C/km

0 °C/km

6.5 °C/km. معدل الانخفاض في نموذج ناسا 0.00649 °C/m.

2. سرعة الصوت عند مستوى سطح البحر نحو...

100 m/s

340 m/s

1,000 m/s

3,000 m/s

√(1.4 × 287 × 288) ≈ 340 m/s.

3. الكثافة عند 11 km تساوي تقريبًا أي نسبة من كثافة مستوى سطح البحر؟

90%

60%

30%

5%

0.366/1.227 ≈ 30%.

4. عدد ماخ هو...

V × a

V/a

a/V

V²/a

V/a. السرعة مقسومة على سرعة الصوت المحلية.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تطير الطائرات حيث يحدث الطقس والمناخ. تدرس ناسا انبعاثات الطائرات عبر النمذجة الحاسوبية واختبارات الاحتراق المخبرية واختبارات الطيران، لأن ما تطلقه المحركات على الارتفاعات العالية يهم الغلاف الجوي.

الفيزياء الجوية نفسها هي ما يسمح للأقمار الصناعية بتحويل الإشعاع الذي تقيسه إلى مقاطع لدرجة حرارة الهواء.

على Saving Planets: السحب الجوي

المصادر: NASA Glenn: Earth atmosphere model (metric) (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/earth-atmosphere-equation-metric/) · ناسا: الطيران المستدام (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-aviation/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Glenn: Earth atmosphere model (metric) (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/earth-atmosphere-equation-metric/): النموذج والمعادلات المستخدمة في هذه الوحدة.
- FAA Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge (https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak): فصول مجانية من دليل FAA عن الغلاف الجوي والديناميكا الهوائية.

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

أساسيات الديناميكا الهوائية: الرفع والسحب

من أين يأتي الرفع والسحب، والمعادلتان اللتان تحددان أبعاد كل جناح: L = ½ρV²SC_L وD = ½ρV²SC_D.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- شرح الرفع بوصفه نتيجة لتغيير اتجاه التدفق، مع فروق ضغط تصفها معادلة برنولي.
- استخدام معادلتي الرفع والسحب.
- حساب الضغط الديناميكي وسرعة الانهيار وعدد رينولدز.
- التمييز بين سحب الاحتكاك وسحب الضغط والسحب المستحث.

المفاهيم الأساسية

- يحرف الجناح تيار الهواء إلى الأسفل؛ وبحسب قانون نيوتن الثالث يدفع الهواء الجناح إلى الأعلى. وبالمثل، التدفق الأسرع فوق السطح العلوي يعني ضغطًا أقل هناك (برنولي). كلاهما يصف تدفقًا واحدًا.
- الضغط الديناميكي q = ½ρV² يحدد مقياس كل قوة ديناميكية هوائية. ويعبّر معاملا الرفع والسحب C_L وC_D عن الشكل وزاوية الهجوم.
- يزداد الرفع مع V²، لذا فإن تنصيف السرعة يتطلب أربعة أضعاف معامل الرفع أو مساحة الجناح.
- ينشأ السحب من احتكاك السطح، وسحب الضغط (الشكل)، والسحب المستحث، وهو ثمن توليد الرفع بجناح محدود.
- عدد رينولدز Re = ρVc/μ يقارن بين تأثيرات القصور الذاتي واللزوجة؛ ويجب أن تأخذه نماذج نفق الرياح في الحسبان للتنبؤ بالسلوك بالحجم الكامل.

المعادلات الأساسية

$$L = \tfrac{1}{2}\rho V^2 S C_L$$

L=12ρ V^2SC_L

معادلة الرفع

$$D = \tfrac{1}{2}\rho V^2 S C_D$$

D=12ρ V^2SC_D

معادلة السحب

$$p + \tfrac{1}{2}\rho V^2 = \text{const}$$

p+12ρ V^2=const

معادلة برنولي (على طول خط انسياب)

$$Re = \frac{\rho V c}{\mu}$$

Re=(ρ Vc)/(μ)

عدد رينولدز

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 3.1 طائرة كتلتها 1100 kg وجناحها 16.2 m² تطير أفقيًا بسرعة 55 m/s عند مستوى سطح البحر (ρ = 1.227 kg/m³). أوجد C_L.

1. $L = W = 10{,}791$ N.
2. $q = \tfrac{1}{2} \times 1.227 \times 55^2 = 1{,}855$ Pa.
3. $C_L = 10{,}791 / (1{,}855 \times 16.2)$.

الإجابة: $C_L \approx 0.36$.

مثال 3.2 مع $C_{L,\max} = 1.6$، أوجد سرعة انهيار هذه الطائرة عند مستوى سطح البحر.

1. $V_s = \sqrt{(2W/(\rho S C_{L,\max}))}$.
2. $= \sqrt{(2 \times 10{,}791 / (1.227 \times 16.2 \times 1.6))}$.

الإجابة: $V_s \approx 26.1$ m/s (نحو 51 عقدة).

مثال 3.3 أوجد عدد رينولدز لوتر طوله 1.5 m عند 55 m/s عند مستوى سطح البحر ($\mu = 1.789 \times 10^{-5}$ kg/(m·s)).

1. $Re = 1.227 \times 55 \times 1.5 / (1.789 \times 10^{-5})$.

الإجابة: $Re \approx 5.7$ مليون.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. إذا تضاعفت السرعة مع C_L نفسه، كيف يتغير الرفع؟

   الرفع $\propto V^2$، لذا يتضاعف أربع مرات.

2. أوجد الضغط الديناميكي عند 230 m/s على ارتفاع 11 km ($\rho = 0.366$ kg/m³).

   $q = \tfrac{1}{2} \times 0.366 \times 230^2 \approx 9{,}680$ Pa.

3. أوجد سحب طائرة المثال 3.1 إذا كان $C_D = 0.032$.

$D = 1{,}855 \times 16.2 \times 0.032 \approx 962$ N.

4. بكم تزيد سرعة الانهيار عند ($\rho = 1.060$ kg/m³) 1500 m عنها عند مستوى سطح البحر؟

$V_s \propto 1/\sqrt{\rho}$: $\sqrt{(1.227/1.060)} = 1.076$، أي أعلى بنحو 7.6% (≈ 28.0 m/s سرعة جوية حقيقية).

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: يجب أن يلتقي الهواء المار فوق الجناح بالهواء المار تحته عند الحافة الخلفية (زمن عبور متساوٍ).
في الحقيقة: هذا غير صحيح؛ فالتدفق العلوي يصل أولًا في الواقع. وتصنف NASA Glenn زمن العبور المتساوي ضمن النظريات الخاطئة للرفع.

خرافة: الرفع هو برنولي فقط، أو نيوتن فقط.
في الحقيقة: كلاهما يصف التدفق نفسه؛ ففروق الضغط وانحراف التدفق متلازمان.

خرافة: السحب مجرد احتكاك بالهواء.
في الحقيقة: سحب الضغط والسحب المستحث غالبًا أكبر.

بطاقات تعليمية

الضغط الديناميكي

$q = \tfrac{1}{2}\rho V^2$.

معادلة الرفع

$L = qSC_L$.

معادلة السحب

$D = qSC_D$.

سرعة الانهيار

$V_s = \sqrt{(2W/(\rho S C_{L,max}))}$.

عدد رينولدز

$\rho V c/\mu$.

السحب المستحث

سحب ناتج عن الرفع على جناح محدود.

اختبار ذاتي

1. الرفع يتناسب مع...

V

V²

V٧

1/V

V². عبر الضغط الديناميكي ½ρV².

2. مضاعفة مساحة الجناح عند السرعة نفسها وC_L نفسه...

تنصّف الرفع

تضاعف الرفع

تضاعف الرفع أربع مرات

ليس لها أثر

تضاعف الرفع. L ∝ S.

3. يقارن عدد رينولدز بين...

الرفع والسحب

تأثيرات القصور الذاتي واللزوجة

السرعة وسرعة الصوت

الدفع والوزن

تأثيرات القصور الذاتي واللزوجة. ρVc/μ.

4. ينتج السحب المستحث عن...

خشونة الطلاء

توليد الرفع بجناح محدود

عادم المحرك

موجات الصدمة فقط

توليد الرفع بجناح محدود. دوامات أطراف الجناح تميل الرفع إلى الخلف.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

السحب وقود. في الرحلة يساوي دفع المحرك السحب، لذا فإن كل نيوتن يُزال من السحب هو وقود لا يُحرق وCO_2 لا يُنبعث. والحاجة إلى طاقة أقل للطيران هي أولى طرق ناسا الثلاث نحو طيران مستدام.

الفيزياء نفسها للرفع تحرك شفرات توربينات الرياح، التي تحول القوة الديناميكية الهوائية للرياح إلى كهرباء نظيفة.

على Saving Planets: الفيزياء I

المصادر: NASA Glenn: معادلة السحب (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/drag-equation/) · ناسا: الطيران المستدام (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-aviation/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Glenn: معادلة الرفع (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/lift-equation/): معادلة الرفع ومعاملاته.
- NASA Glenn: معادلة السحب (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/drag-equation/): معادلة السحب.
- NASA Glenn: معادلة برنولي (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/bernoullis-equation/): الضغط والسرعة.
- NASA Glenn: برنولي ونيوتن (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/bernoulli-and-newton/): لماذا تفسير زمن العبور المتساوي خاطئ.

☐ أنهيت هذه الوحدة

المقاطع الانسيابية والأجنحة

هندسة المقاطع الانسيابية، ومنحنى الرفع، والانهيار، ولماذا تنتج الأجنحة الطويلة النحيفة سحبًا أقل.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- تسمية عناصر هندسة المقطع الانسيابي: الوتر، والتحدب، والسماكة، وزاوية الهجوم.
- استخدام نظرية المقطع الرقيق: c_l ≈ 2πα.
- تصحيح ميل منحنى الرفع لجناح محدود نسبة باعه AR.
- استخدام قطبية السحب C_D = C_D0 + C_L²/(πeAR) لإيجاد أفضل نسبة رفع إلى سحب.

المفاهيم الأساسية

- المقطع الانسيابي هو المقطع العرضي للجناح. يسمح له التحدب بتوليد الرفع عند زاوية هجوم صفرية؛ وتضيف السماكة متانة ومساحة للوقود.
- تتنبأ نظرية المقطع الرقيق بميل رفع قدره 2π لكل راديان (نحو 0.11 لكل درجة) حتى ينفصل التدفق وينهار الجناح.
- يفقد الجناح المحدود جزءًا من ميل الرفع بسبب دوامات أطرافه: a = a₀/(1 + a₀/(πeAR))، حيث نسبة الباع AR = b²/S.
- السحب الكلي C_D = C_D0 + KC_L² حيث K = 1/(πeAR). وتحدث أعلى قيمة لـ L/D عندما يساوي السحب المستحث السحب الطفيلي.
- نسبة الباع العالية (الطائرات الشراعية، والقطرس، وأجنحة طائرات الركاب الحديثة) تعني سحبًا مستحثًا أقل وL/D أعلى.

المعادلات الأساسية

$$c_l = 2\pi\alpha \ (\alpha \text{ in rad})$$

c_l=2πα\ (α in rad)

ميل الرفع للمقطع الرقيق

$$a = \frac{a_0}{1 + a_0/(\pi e AR)}, \quad AR = \frac{b^2}{S}$$

a=(a_0)/(1+a_0/(π eAR)), AR=^2S

ميل الرفع للجناح المحدود

$$C_D = C_{D0} + \frac{C_L^2}{\pi e AR}$$

C_D=C_D0+(C_L^2)/(π eAR)

قطبية السحب

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{\max} = \frac{1}{2\sqrt{C_{D0}K}}, \quad C_L^* = \sqrt{\frac{C_{D0}}{K}}$$

(LD)_=12_D0K,\ \ C_L^*=_D0K

أفضل نسبة رفع إلى سحب

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 4.1 نظرية المقطع الرقيق: أوجد c_l عند α = 5°.

1. α = 5π/180 = 0.0873 rad.
2. c_l = 2π × 0.0873.

الإجابة: c_l ≈ 0.548.

مثال 4.2 أوجد ميل الرفع لجناح فيه AR = 8 وe = 0.9.

1. a = 2π/(1 + 2π/(π × 0.9 × 8)) = 6.283/1.278.

الإجابة: 4.92 لكل 0.086 ≈ rad لكل درجة، أي أقل بـ 22% من القيمة ثنائية الأبعاد (2D).

مثال 4.3 مع C_D0 = 0.025 وe = 0.8 وAR = 7.5، أوجد (L/D)max وقيمة C_L التي تحدث عندها.

1. K = 1/(π × 0.8 × 7.5) = 0.0531.
2. (L/D)max = 1/(2√(0.025 × 0.0531)).
3. C_L* = √(0.025/0.0531).

الإجابة: (L/D)max ≈ 13.7 عند C_L ≈ 0.69.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد نسبة باع جناح باعه 11 m ومساحته 16.2 m².

AR = 121/16.2 ≈ 7.5.

2. باستخدام c_l = 2πα، ما الزاوية التي تعطي c_l = 0.5؟

α = 0.5/(2π) = 0.0796 rad ≈ 4.6°.

3. لطائرة المثال 4.3، أوجد C_D عند $C_L = 0.36$.

$C_D = 0.025 + 0.0531 \times 0.1296 \approx 0.0319$.

4. إذا ارتفعت AR من 7.5 إلى 15 (مع e وC_{D0} نفسيهما)، كيف تتغير $(L/D)_{max}$؟

تنخفض K إلى النصف، فتزداد $(L/D)_{max}$ بمعامل $\sqrt{2}$ لتصل إلى ≈ 19.4.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: زيادة زاوية الهجوم تعني دائمًا رفعًا أكبر.
في الحقيقة: بعد زاوية الانهيار ينفصل التدفق وينخفض الرفع.

خرافة: المقاطع المتماثلة لا يمكنها توليد الرفع.
في الحقيقة: تولده عند زاوية هجوم موجبة.

خرافة: أجهزة أطراف الأجنحة تجعل السحب المستحث صفرًا.
في الحقيقة: إنها تقلله؛ ولا يخلو منه إلا جناح لانهائي الطول.

بطاقات تعليمية

الوتر

من الحافة الأمامية إلى الحافة الخلفية.

التحدب

انحناء الخط المتوسط.

زاوية الهجوم

الزاوية بين الوتر والتدفق القادم.

الانهيار

انفصال التدفق؛ ينخفض الرفع.

نسبة الباع

b^2/S.

قطبية السحب

$C_D = C_{D0} + KC_L^2$.

اختبار ذاتي

1. ميل الرفع للمقطع الرقيق هو...

π لكل rad

2π لكل rad

2π لكل درجة

1 لكل rad

2π لكل $c_l = 2\pi\alpha$ rad.

2. نسبة الباع هي...

b/S

b^2/S

S/b

c/b

b^2/S. مربع الباع مقسومًا على المساحة.

3. عند أعلى L/D...

السحب المستحث = السحب الطفيلي

السحب صفر

$C_L = 0$

الجناح في حالة انهيار

السحب المستحث = السحب الطفيلي. تقليل C_D/C_L إلى أدنى حد يعطي $C_{D0} = KC_L^2$.

4. نسبة الباع الأعلى تقلل أساسًا...

احتكاك السطح

السحب المستحث

الوزن

السحب الموجي

السحب المستحث. $K = 1/(\pi eAR)$.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

الأجنحة الطويلة النحيفة من أكثر الطرق مباشرة لخفض استهلاك الوقود، لأن السحب المستحث ينخفض مع ازدياد نسبة الباع. وهذا هو بالضبط مسار «تقنيات الطائرات عالية الكفاءة» في عمل ناسا على الطيران المستدام.

طائر القطرس، الذي ينزلق لساعات فوق المحيط، يستخدم الفيزياء نفسها: جناح طويل رفيع بنسبة رفع إلى سحب عالية.

على Saving Planets: التفاضل والتكامل 2

المصادر: NASA Glenn: معامل السحب المستحث (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/induced-drag-coefficient/) · ناسا: الطيران المستدام (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-aviation/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Glenn: FoilSim (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/foilsim/): استكشف التحدب والسماكة وزاوية الهجوم.
- NASA Glenn: معامل السحب المستحث (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/induced-drag-coefficient/): نسبة الباع ومعامل الكفاءة.
- MIT OpenCourseWare 16.01–16.04: Unified Engineering (https://ocw.mit.edu/courses/16-01-unified-engineering-i-ii-iii-iv-fall-2005-spring-2006/): محاضرات الموائع في MIT.

أنهيت هذه الوحدة

أداء الطائرات

إلى أي مدى، وإلى متى، وبأي سرعة، وبأي انحدار: الانزلاق، والصعود، والمدى، ومدة التحليق.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- ربط نسبة الانزلاق بـ L/D.
- إيجاد الدفع والقدرة المطلوبين في الطيران الأفقي.
- حساب معدل الصعود من القدرة الفائضة.
- استخدام معادلة بريغيه للمدى.

المفاهيم الأساسية

- تقطع الطائرة الشراعية ذات نسبة الرفع إلى السحب L/D مسافة L/D مترًا إلى الأمام مقابل كل متر تفقده من الارتفاع: tan γ = D/L.
- الدفع المطلوب في الطيران الأفقي يساوي السحب؛ والقدرة المطلوبة هي السحب × السرعة. وتتحول القدرة الفائضة إلى صعود: معدل الصعود = (P_avail − P_req)/W.
- في الطائرة النفاثة، يتبع المدى معادلة بريغيه: R = (V/c)(L/D) ln(W_i/W_f). ثلاث روافع: كفاءة المحرك (V/c)، والديناميكا الهوائية (L/D)، والهياكل (نسبة الوزن).
- تبلغ مدة التحليق (الزمن في الجو) أقصاها عند سرعة مختلفة عن سرعة أقصى مدى.

المعادلات الأساسية

$$\tan\gamma = \frac{D}{L} = \frac{1}{L/D}$$

γ=D/L=1L/D

زاوية الانزلاق

$$P_R = DV$$

P_R=DV

القدرة المطلوبة

$$RC = \frac{P_A - P_R}{W}$$

RC=(P_A-P_R)/(W)

معدل الصعود

$$R = \frac{V}{c}\,\frac{L}{D}\,\ln\frac{W_i}{W_f}$$

```
R= Vc LD (W_i)/(W_f)
```

معادلة بريغيه للمدى (نفاثة)

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 5.1 طائرة شراعية فيها L/D = 20 على ارتفاع 1000 m. إلى أي مسافة يمكنها الانزلاق في هواء ساكن، وبأي زاوية؟

1. المسافة 20 × 1000 =.
2. γ = arctan(1/20).

الإجابة: 20 km، بزاوية انزلاق نحو 2.9°.

مثال 5.2 طائرة نفاثة تطير بسرعة 230 m/s مع L/D = 17 واستهلاك وقود نوعي للدفع c = 0.6 لكل ساعة. احتراق الوقود يخفض وزنها من W_i إلى W_i/1.25. أوجد مداها.

1. $c = 0.6/3{,}600 = 1.667 \times 10^{-4}\ s^{-1}$.
2. $R = (230/1.667 \times 10^{-4}) \times 17 \times \ln 1.25$.

الإجابة: ≈ 5,235 km.

مثال 5.3 طائرة المثال 3.1، مع قطبية السحب في المثال 4.3، لديها سحب نحو 957 N عند 55 m/s. ما القدرة التي يتطلبها الطيران الأفقي؟

1. P = DV = 957 × 55.

الإجابة: 52.6 kW ≈ (نحو 71 حصانًا).

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. طائرة شراعية ورقية فيها L/D = 5. أُطلقت أفقيًا من ارتفاع 2 m، فإلى أي مسافة تنزلق تقريبًا؟

   10 m.

2. طائرة وزنها 10800 N لديها قدرة فائضة قدرها 30 kW. أوجد معدل صعودها.

   30,000/10,800 ≈ 2.8 m/s.

3. في المثال 5.2، كيف يتغير المدى إذا ارتفعت L/D من 17 إلى 20؟

   المدى ∝ L/D: 5235 × 20/17 ≈ 6159 km.

4. إلى أي مسافة يمكن لطائرة المثال 4.3 الانزلاق من 1500 m عند أفضل L/D لها وهي 13.7؟

1,500 × 13.7 ≈ 20.6 km.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الطائرة الشراعية الأثقل تنزلق أبعد.
في الحقيقة: نسبة الانزلاق تعتمد على L/D وليس على الوزن؛ والوزن يغير السرعة المثلى.

خرافة: المدى يعتمد على حمولة الوقود فقط.
في الحقيقة: يعتمد على كفاءة المحرك وL/D ونسبة الوزن (بريغيه).

خرافة: الطيران الأسرع يعطي دائمًا مدى أكبر.
في الحقيقة: أفضل مدى يتحقق عند سرعة معتدلة مرتبطة بأفضل L/D.

بطاقات تعليمية

نسبة الانزلاق

المسافة الأفقية لكل وحدة ارتفاع L/D =.

القدرة المطلوبة

P_R = DV.

معدل الصعود

(P_A − P_R)/W.

مدى بريغيه

R = (V/c)(L/D) ln(W_i/W_f).

TSFC

تدفق الوقود لكل وحدة دفع.

مدة التحليق

الزمن في الجو.

اختبار ذاتي

1. نسبة الانزلاق تساوي...

W/D

L/D

T/W

V/a

L/D. المسافة على الارتفاع L/D =.

2. القدرة المطلوبة في الطيران الأفقي هي...

L × V

D × V

W/V

T/V

D × V. السحب مضروبًا في السرعة.

3. يزداد مدى بريغيه مع...

c

L/D

وزن الهيكل

السحب

L/D ∝ L/D. R.

4. ينتج الصعود عن...

القدرة الفائضة

رفع إضافي فقط

وزن أقل فقط

سرعة أقل

القدرة الفائضة. = RC القدرة الفائضة/W.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

معادلة بريغيه هي معادلة المناخ في الطيران: لرحلة معينة، ينخفض الوقود المحروق عندما تصبح المحركات أكفأ، أو تحصل الأجنحة على L/D أعلى، أو تصبح الهياكل أخف. ومع ثبات الحدود الأخرى، يتناسب المدى مع L/D.

تقدّر ناسا أنه بالأسطول والعمليات الحالية، ستحتاج حركة الطيران العالمية في 2050 إلى أكثر من 620 مليون طن من الوقود وستطلق قرابة 2000 مليون طن من CO_2، ولهذا يهم كل حد في المعادلة.

على Saving Planets: CO2M: قياس CO_2 من الفضاء

المصادر: ناسا: الطيران المستدام (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-aviation/) · FAA Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge (https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Glenn: زاوية الانزلاق (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/glide-angle/): الطيران الانزلاقي.
- FAA Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge (https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak): فصل أداء الطائرات.
- NASA Glenn: نسبة الدفع إلى الوزن (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/thrust-to-weight-ratio/): الدفع والوزن والصعود.

شاهد المحاضرة

Lecture 12: Aircraft Performance (https://ocw.mit.edu/courses/16-687-private-pilot-ground-school-january-iap-2019/resources/lecture-12-aircraft-performance/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 16.687 Private Pilot Ground School (IAP 2019), MIT OpenCourseWare. الترخيص: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · شروط الاستخدام (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

الاستقرار والتحكم

لماذا تعود الطائرة جيدة التصميم من تلقاء نفسها إلى الطيران المستقر، وكيف يتحكم فيها الطيارون والحواسيب.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- تسمية المحاور الثلاثة، الانحدار والدحرجة والانعراج، وأسطح التحكم الخاصة بها.
- شرح الاستقرار الساكن والديناميكي.
- تحديد موضع مركز الثقل والنقطة المحايدة؛ وحساب الهامش الساكن.
- شرح سبب تثبيت الذيل للطائرة.

المفاهيم الأساسية

- تدور الطائرة حول مركز ثقلها: الانحدار (الرافع)، والدحرجة (الجنيحات)، والانعراج (الدفة).
- الاستقرار الساكن: بعد الاضطراب تميل الطائرة مبدئيًا إلى العودة. الاستقرار الديناميكي: تتلاشى الحركة فعلًا مع الوقت.
- يتطلب الاستقرار في الانحدار أن يكون مركز الثقل أمام النقطة المحايدة. ويجب أن يكون الهامش الساكن x_np − x_cg)/c) ≡ موجبًا.
- الذيل البعيد خلف CG يعمل كريش السهم: اضطراب يرفع المقدمة يزيد رفع الذيل فيدفع المقدمة إلى الأسفل من جديد.
- الاستقرار الزائد يجعل الطائرة بطيئة الاستجابة ويكلف سحب الموازنة؛ وبعض المقاتلات الحديثة تُصمم غير مستقرة وتطير بالتحكم الحاسوبي.

المعادلات الأساسية

$$\mathrm{SM} = \frac{x_{np} - x_{cg}}{\bar{c}}$$

SM=_np-x_cg c

الهامش الساكن

$$x_{cg} = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i}$$

x_cg=(m_ix_i)/(m_i)

مركز الثقل

$$\frac{dC_m}{d\alpha} < 0$$

شرط الاستقرار في الانحدار

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 6.1 النقطة المحايدة عند 40% من الوتر المتوسط وCG عند 25%. أوجد الهامش الساكن.

1. $SM = 0.40 - 0.25$.

الإجابة: 0.15، أي 15%: مستقرة.

مثال 6.2 طائرة شراعية لها جناح كتلته 50 g عند $x = 10$ cm، وذيل كتلته 10 g عند $x = 40$ cm، وثقل في المقدمة 20 g عند $x = 0$. أوجد CG.

1. $\Sigma mx = 50(10) + 10(40) + 20(0) = 900$ g·cm.
2. $\Sigma m = 80$ g.

الإجابة: $x_{cg} = 11.25$ cm من المقدمة.

مثال 6.3 في الطائرة الشراعية في المثال 6.2 (الوتر المتوسط 8 cm)، النقطة المحايدة عند 13 cm. هل هي مستقرة؟

1. $SM = (13 - 11.25)/8$.

الإجابة: $SM \approx 0.22$: مستقرة. أزل ثقل المقدمة فيتحرك CG إلى الخلف نحو عدم الاستقرار.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أي سطح يتحكم في الانحدار؟

   الرافع، على الذيل الأفقي.

2. CG عند 30% من الوتر، والنقطة المحايدة عند 28%. هل هي مستقرة؟

   $SM = -0.02 < 0$: غير مستقرة استقرارًا ساكنًا.

3. في المثال 6.2، ما ثقل المقدمة m الذي يضع CG عند 12 cm؟

   $900/(60 + m) = 12$ تعطي $m = 15$ g.

4. لماذا ترتفع مقدمة الطائرة الورقية التي بلا ثقل في المقدمة ثم تنهار؟

   مركز ثقلها متأخر جدًا، قرب النقطة المحايدة أو خلفها.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الاستقرار الساكن يعني أن التذبذب يتلاشى.

في الحقيقة: ذلك هو الاستقرار الديناميكي؛ أما الاستقرار الساكن فهو الميل الابتدائي.

خرافة: المزيد من الاستقرار أفضل دائمًا.

في الحقيقة: الاستقرار الزائد يجعل التحكم ثقيلًا ويهدر سحب الموازنة.

خرافة: يمكن أن يكون CG في أي مكان ما دام الجناح يولد رفعًا.

في الحقيقة: CG المتأخر يجعل الطائرة غير مستقرة.

بطاقات تعليمية

الانحدار / الدحرجة / الانعراج

الرافع / الجنيحات / الدفة.

الاستقرار الساكن

الميل الابتدائي للعودة.

الاستقرار الديناميكي

يتلاشى الاضطراب مع الوقت.

النقطة المحايدة

موضع CG الذي يعطي استقرارًا محايدًا في الانحدار.

الهامش الساكن

(x_np − x_cg)/c.

الموازنة (Trim)

متوازنة، والعزم الصافي صفر.

اختبار ذاتي

1. الجنيحات تتحكم في...

الانحدار

الدحرجة

الانعراج

الدفع

الدحرجة. تنحرف في اتجاهين متعاكسين على كل جناح.

2. للاستقرار في الانحدار يجب أن يكون CG...

خلف النقطة المحايدة

أمام النقطة المحايدة

عند الذيل

عند طرف الجناح

أمام النقطة المحايدة. هامش ساكن موجب.

3. الهامش الساكن 0.15 يعني...

غير مستقرة

مستقرة

محايدة

في حالة انهيار

مستقرة. هامش موجب.

4. الاستقرار الديناميكي يتعلق بـ...

الميل الابتدائي

الحركة مع الوقت

دفع المحرك

الوزن فقط

الحركة مع الوقت. ما إذا كانت التذبذبات تتلاشى.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

هوامش الاستقرار تكلف وقودًا: الذيل التقليدي يدفع عادة إلى الأسفل لموازنة الطائرة، ويجب أن ينتج الجناح رفعًا إضافيًا، مع سحب إضافي، لحمل ذلك. وتقليص هذه الكلفة جزء من مسار الطائرة الكفؤة الذي تصفه ناسا.

الأفكار نفسها للموازنة والتحكم تُبقي أقمار رصد الأرض موجهة بثبات حتى تتمكن أجهزتها من رسم خرائط الكوكب.

على Saving Planets: دليل المدارات

المصادر: NASA Glenn: دورانات الطائرة (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/aircraft-rotations/) · ناسا: الطيران المستدام (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-aviation/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Glenn: دورانات الطائرة (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/aircraft-rotations/): الانحدار والدحرجة والانعراج.
- FAA Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge (https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak): فصول الاستقرار وأدوات التحكم في الطيران.

أنهيت هذه الوحدة

أساسيات الدفع

كيف تولد المراوح والنفاثات والصواريخ الدفع بقذف الكتلة إلى الخلف، ولماذا تكون النفاثات الأكبر والأبطأ أكثر كفاءة.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- استخدام معادلة الدفع بكمية الحركة.
- حساب كفاءة الدفع.
- المقارنة بين المحركات النفاثة التوربينية والمراوح التوربينية والمراوح الدافعة.
- تعريف الدفع النوعي واستهلاك الوقود النوعي للدفع.

المفاهيم الأساسية

- كل محرك يولد الدفع بتسريع تدفق كتلي: F = ṁ(v_e − v₀) لمحرك يتنفس الهواء (مع إهمال كتلة الوقود وحدود الضغط).
- كفاءة الدفع η_p = 2/(1 + v_e/v₀): تحريك كمية كبيرة من الهواء قليلًا أكفأ من تحريك كمية قليلة كثيرًا. لهذا تملك المحركات المروحية التوربينية مراوح ضخمة.
- المحرك النفاث التوربيني: كل الهواء يمر عبر القلب. المحرك المروحي التوربيني: معظم الهواء يتجاوز القلب عبر المروحة. المحرك التوربيني المروحي الدافع: مروحة دافعة تديرها توربينة غازية.
- الدفع النوعي I_sp = F/(ṁ_fuel g₀) يقيس الدفع لكل تدفق وزني للوقود، بالثواني.

المعادلات الأساسية

$$F = \dot{m}(v_e - v_0)$$

```
F= m(v_e-v_0)
```

دفع محرك يتنفس الهواء

$$\eta_p = \frac{2}{1 + v_e/v_0}$$

```
_p=(2)/(1+v_e/v_0)
```

كفاءة الدفع

$$I_{sp} = \frac{F}{\dot{m}_f g_0}$$

```
I_sp=(F)/( m_fg_0)
```

الدفع النوعي

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 7.1 محرك مروحي توربيني يحرك 500 kg/s من الهواء من 250 m/s إلى 320 m/s. أوجد الدفع وكفاءة الدفع.

1. $F = 500 \times 70 = 35{,}000$ N.
2. $\eta_p = 2/(1 + 320/250) = 2/2.28$.

الإجابة: $F = 35$ kN, $\eta_p \approx 0.88$.

مثال 7.2 محرك نفاث توربيني يولد الـ 35 kN نفسها بـ 100 kg/s من الهواء عند $v_0 = 250$ m/s. ما سرعة العادم التي يحتاجها، وما قيمة η_p؟

1. $v_e = 250 + 35{,}000/100 = 600$ m/s.
2. $\eta_p = 2/(1 + 2.4)$.

الإجابة: $v_e = 600$ m/s، $\eta_p \approx 0.59$: أقل كفاءة بكثير.

مثال 7.3 محرك يولد 100 kN بينما يحرق 2.5 kg/s من الوقود. أوجد I_{sp}.

1. $I_{sp} = 100{,}000/(2.5 \times 9.80665)$.

الإجابة: ≈ 4079 s. تتفوق المحركات التي تتنفس الهواء على الصواريخ في هذا المقياس لأنها لا تحمل المؤكسد معها.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد الدفع عندما $\dot{m} = 200$ kg/s، $v_0 = 200$ m/s، $v_e = 300$ m/s.

   20 kN.

2. أوجد η_p عندما $v_e = v_0$.

   1.0، لكن الدفع صفر: الكفاءة والدفع متعارضان.

3. لماذا تستخدم طائرات الركاب محركات مروحية توربينية عالية نسبة التجاوز؟

   لأنها تحرك كتلة كبيرة من الهواء ببطء، مما يرفع كفاءة الدفع ويقلل استهلاك الوقود والضجيج.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: النفاثات تدفع الهواء الذي خلفها.
في الحقيقة: إنها تسرّع الهواء عبر المحرك؛ ورد الفعل على ذلك هو الدفع.

خرافة: العادم الأسرع يعني دائمًا محركًا أفضل.

في الحقيقة: للكفاءة، يجب أن تكون سرعة العادم قريبة من سرعة الطيران.

خرافة: الدفع النوعي سرعة.

في الحقيقة: يُقاس بالثواني؛ و$g_0 \times I_{sp}$ سرعة عادم فعلية.

بطاقات تعليمية

الدفع بكمية الحركة

$F = \dot{m}(v_e - v_0)$.

كفاءة الدفع

$2/(1 + v_e/v_0)$.

المحرك المروحي التوربيني

مروحة مع قلب؛ معظم الهواء يتجاوز القلب.

نسبة التجاوز

هواء التجاوز ÷ هواء القلب.

الدفع النوعي

$F/(\dot{m}\, g_0)$، بالثواني.

TSFC

تدفق الوقود لكل وحدة دفع.

اختبار ذاتي

1. دفع محرك يتنفس الهواء ≈

$\dot{m}v_0$

$\dot{m}(v_e - v_0)$

$\dot{m}v_e^2$

ρV^2

$\dot{m}(v_e - v_0)$. تغير كمية الحركة في الثانية.

2. تبلغ كفاءة الدفع أقصاها عندما تكون v_e/v_0...

كبيرة

قريبة من 1

صفر

سالبة

قريبة من $\eta_p = 2/(1 + v_e/v_0)$.

3. في المحرك المروحي التوربيني عالي نسبة التجاوز، معظم الهواء...

يمر عبر غرفة الاحتراق

يتجاوز القلب

يُخزَّن

يُسخَّن إلى 2000 K

يتجاوز القلب. تيار المروحة.

4. يُقاس I_{sp} بـ...

m/s

الثواني

النيوتن

kg

الثواني. الدفع لكل تدفق وزني للوقود الدافع.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

كفاءة الدفع الأعلى توفير مباشر للوقود وCO_2. كل كيلوغرام من وقود الطائرات يُحرق ينتج نحو 3.16 kg من CO_2 (كربون الوقود متحدًا مع أكسجين الهواء؛ انظر الوحدة 10)، لذا تتراكم مكاسب الكفاءة على مدى عقود خدمة المحرك.

يُخلط وقود الطيران المستدام، المصنوع من النفايات والكتلة الحيوية، بحيث يطابق خصائص وقود الطائرات التقليدي لضمان تشغيل آمن. وتشير ناسا إلى أن SAF لا يطلق CO_2 جديدًا في البيئة.

على Saving Planets: الكيمياء العامة I

المصادر: ناسا: الطيران المستدام (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-aviation/) · وزارة الطاقة الأمريكية (U.S. DOE): وقود الطيران المستدام (https://www.energy.gov/eere/bioenergy/sustainable-aviation-fuels)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Glenn: نسبة الدفع إلى الوزن (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/thrust-to-weight-ratio/): المحركات والدفع.
- NASA Glenn: الدفع النوعي (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/specific-impulse/): كفاءة الصواريخ والنفاثات.
- MIT OpenCourseWare 16.01–16.04: Unified Engineering (https://ocw.mit.edu/courses/16-01-unified-engineering-i-ii-iii-iv-fall-2005-spring-2006/): محاضرات الدفع في MIT.

أنهيت هذه الوحدة

الصواريخ ومعادلة الصاروخ

لماذا يصعب الوصول إلى المدار: معادلة الصاروخ لتسيولكوفسكي، ونسب الكتلة، والمراحل.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- استخدم Δv = I_sp g₀ ln(m₀/m_f).
- حساب نسب الكتلة المطلوبة.
- شرح سبب نجاح تقسيم الصاروخ إلى مراحل.
- حساب نسبة الدفع إلى الوزن للصاروخ.

المفاهيم الأساسية

- يحمل الصاروخ كل وقوده الدافع، الوقود والمؤكسد. ودفعه F = ṁv_e + (p_e − p_a)A_e.
- معادلة الصاروخ المثالية: Δv = v_e ln(m₀/m_f)، حيث v_e = I_sp g₀. تزداد السرعة فقط مع لوغاريتم نسبة الكتلة.
- يتطلب الوصول إلى المدار الأرضي المنخفض نحو 9.4 km/s من Δv عند احتساب خسائر الجاذبية والسحب، لذا فإن معظم كتلة مركبة الإطلاق وقود دافع.
- التقسيم إلى مراحل يتخلص من الخزانات والمحركات الفارغة حتى لا تحمل المراحل اللاحقة وزنًا ميتًا.
- يجب أن تتجاوز نسبة الدفع إلى الوزن 1 للإقلاع.

المعادلات الأساسية

$$\Delta v = I_{sp}\, g_0 \ln \frac{m_0}{m_f}$$

```
Δ v=I_sp g_0(m_0)/(m_f)
```

معادلة الصاروخ المثالية (تسيولكوفسكي)

$$F = \dot{m} v_e + (p_e - p_a) A_e$$

```
F= m v_e+(p_e-p_a)A_e
```

دفع الصاروخ

$$\frac{m_0}{m_f} = e^{\Delta v / (I_{sp} g_0)}$$

```
(m_0)/(m_f)=e^Δ v/(I_spg_0)
```

نسبة الكتلة المطلوبة

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 8.1 محرك فيه $I_{sp} = 450$ s يعمل حتى تصبح $m_0/m_f = 5$. أوجد Δv.

1. $v_e = 450 \times 9.80665 = 4{,}413$ m/s.
2. $\Delta v = 4{,}413 \times \ln 5$.

الإجابة: $\approx 7{,}102$ m/s.

مثال 8.2 ما نسبة الكتلة التي تحتاجها مرحلة واحدة لبلوغ 9.4 km/s مع $I_{sp} = 300$ s ومع 450 s؟

1. 300 s: $e^{(9{,}400/2{,}942)} = e^{3.195}$.
2. 450 s: $e^{(9{,}400/4{,}413)} = e^{2.130}$.

الإجابة: 24.4 ≈ مقابل 8.4 ≈: يجب أن يكون نحو 96% مقابل 88% من الصاروخ وقودًا دافعًا.

مثال 8.3 صاروخ من مرحلتين: لكل مرحلة $I_{sp} = 300$ s ونسبة كتلة 4. أوجد Δv الكلية.

1. كل مرحلة: $2942 \times \ln 4 = 4078$ m/s.
2. اجمع المرحلتين.

الإجابة: ≈ 8157 m/s، أي ضعف ما تعطيه مرحلة واحدة بنسبة كتلة 4.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد Δv عندما $I_{sp} = 311$ s و$m_0/m_f = 3$.

   $311 \times 9.80665 \times \ln 3 \approx 3{,}351$ m/s.

2. صاروخ كتلته 500000 kg ودفعه 7.5 MN. أوجد T/W عند الإقلاع.

   $7.5 \times 10^6 / (500{,}000 \times 9.81) \approx 1.53$.

3. ما I_{sp} الذي يعطي $\Delta v = 3000$ m/s بنسبة كتلة 2؟

   $3{,}000 / (9.80665 \times \ln 2) \approx 441$ s.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الصواريخ تدفع الهواء.
في الحقيقة: تعمل على أفضل وجه في الفراغ؛ إنها تدفع عادمها نفسه.

خرافة: ضعف الوقود الدافع يعني ضعف Δv.

في الحقيقة: تزداد Δv مع لوغاريتم نسبة الكتلة.

خرافة: المدار يحتاج إلى 7.7 km/s فقط من Δv.

في الحقيقة: خسائر الجاذبية والسحب ترفع المجموع إلى نحو 9.4 km/s.

بطاقات تعليمية

معادلة الصاروخ

$\Delta v = I_{sp}\, g_0 \ln(m_0/m_f)$.

نسبة الكتلة

m_0/m_f.

التقسيم إلى مراحل

التخلص من المراحل المستنفدة.

الدفع إلى الوزن

يجب أن يتجاوز 1 عند الإقلاع.

Δv إلى المدار المنخفض (LEO)

9.4 km/s ≈ شاملة الخسائر.

I_{sp}

ثوانٍ من الدفع لكل وزن من الوقود الدافع.

اختبار ذاتي

1. تعتمد Δv على نسبة الكتلة عبر...

مربع

لوغاريتم

جذر تربيعي

خط مستقيم

لوغاريتم. $\ln(m_0/m_f)$.

2. يفيد التقسيم إلى مراحل لأنه...

يرفع I_{sp}

يتخلص من الكتلة الميتة

يضيف هواءً

يخفض الجاذبية

يتخلص من الكتلة الميتة. الخزانات الفارغة لم تعد بحاجة إلى تسريع.

3. للإقلاع، يجب أن تكون نسبة الدفع إلى الوزن...

< 1

> 1

= 0

1 تمامًا

1 <. يجب أن يتجاوز الدفع الوزن.

4. سرعة العادم الفعلية عند I_{sp} = 300 s تقارب...

300 m/s

2,940 m/s

30 km/s

9.8 m/s

2,940 m/s. $I_{sp} \times g_0$.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

كل قمر صناعي لرصد الأرض، من Landsat إلى البعثات التي تتابع مستوى سطح البحر وغازات الدفيئة، ينطلق على صاروخ صُمم بهذه المعادلة. ولهذا فإن كل كيلوغرام من الأجهزة ثمين، ولهذا تُبنى الأقمار الصناعية خفيفة.

تتيح لك حاسبة Delta-v لدينا إجراء الحسابات نفسها لبعثات حقيقية.

على Saving Planets: حاسبة Landsat 9 · delta-v

المصادر: NASA Glenn: معادلة الصاروخ المثالية (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/ideal-rocket-equation/) · NASA Glenn: معادلة دفع الصاروخ (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/rocket-thrust-equation/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Glenn: معادلة الصاروخ المثالية (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/ideal-rocket-equation/): الاشتقاق والاستخدام.
- NASA Glenn: معادلة دفع الصاروخ (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/rocket-thrust-equation/): دفع الضغط ودفع كمية الحركة.
- NASA Glenn: الدفع النوعي (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/specific-impulse/): مقارنة أنواع الوقود الدافع.

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

المدارات والبعثات الفضائية

المدارات الدائرية والإهليلجية، والأدوار، والمدار الثابت بالنسبة للأرض، ومناورة هوهمان للانتقال، إضافة إلى كيفية اختيار بعثات رصد الأرض لمداراتها.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- حساب السرعة والدور في مدار دائري.
- إيجاد نصف قطر المدار الثابت بالنسبة للأرض.
- حساب Δv لانتقال هوهمان وزمن الانتقال.
- وصف المدارات الأرضية الشائعة واستخداماتها.

المفاهيم الأساسية

- في المدار الدائري توفر الجاذبية القوة المركزية: v = √(μ/r)، حيث μ = GM.
- قانون كبلر الثالث: T = 2π√(a³/μ). المدارات الأعلى أبطأ وتستغرق وقتًا أطول.
- المدار الثابت بالنسبة للأرض دوره يوم نجمي واحد (86164 s) ويقع فوق خط الاستواء على نصف قطر نحو 42164 km.
- يستخدم انتقال هوهمان دفعتين على طول قطع ناقص يمس كلا المدارين الدائريين؛ وهو أكفأ انتقال بدفعتين بين مدارين دائريين في المستوى نفسه.
- المدار الأرضي المنخفض (نحو 400 km لمحطة الفضاء الدولية)، والمدارات القطبية المتزامنة مع الشمس للتصوير، والمدار الثابت بالنسبة للأرض للأرصاد الجوية، يخدم كل منها بعثات مختلفة.

المعادلات الأساسية

$$v = \sqrt{\mu / r}$$

v=μ/r

سرعة المدار الدائري

$$T = 2\pi \sqrt{a^3 / \mu}$$

T=2π^3/μ

الدور المداري

$$v = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$$

v=μ(2r-1a)

معادلة vis-viva

$$\Delta v_1 = \sqrt{\frac{\mu}{r_1}}\left(\sqrt{\frac{2r_2}{r_1+r_2}} - 1\right)$$

```
Δ v_1=μr_1(2r_2r_1+r_2-1)
```

دفعة هوهمان الأولى

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 9.1 أوجد سرعة ودور مدار دائري على ارتفاع 400 km.

1. $r = 6{,}771$ km.
2. $v = \sqrt{3.986 \times 10^{14} / 6.771 \times 10^{6}} = 7{,}673$ m/s.
3. $T = 2\pi\sqrt{r^3/\mu} = 5{,}545$ s.

الإجابة: 7.67 km/s و92.4 ≈ دقيقة.

مثال 9.2 إيجاد نصف قطر المدار الثابت بالنسبة للأرض.

1. $r = (\mu T^2/4\pi^2)^{\wedge}(1/3)$ حيث $T = 86164$ s.

الإجابة: 42164 km ≈ من مركز الأرض (نحو 35786 km فوق خط الاستواء).

مثال 9.3 أوجد Δv لانتقال هوهمان من مدار دائري على ارتفاع 300 km إلى نصف قطر المدار الثابت بالنسبة للأرض.

1. $r_1 = 6{,}671$ km, $r_2 = 42{,}164$ km.
2. $\Delta v_1 = 2{,}428$ m/s; $\Delta v_2 = 1{,}468$ m/s.
3. زمن الانتقال = نصف دور قطع الانتقال الناقص.

الإجابة: المجموع 3.90 km/s ≈؛ والانتقال 5.27 ≈ ساعة (مع إهمال أي تغيير للمستوى).

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد v لمدار دائري عند $r = 7000$ km.

   $\sqrt{3.986 \times 10^{14} / 7 \times 10^{6}} \approx 7{,}546$ m/s.

2. إذا تضاعف نصف قطر المدار أربع مرات، كيف يتغير الدور؟

   $T \propto r^{\wedge}(3/2)$: أطول بـ 8 مرات.

3. لماذا تكون كثير من أقمار الطقس ثابتة بالنسبة للأرض؟

تبقى فوق نقطة واحدة ويمكنها تصوير نصف الكرة نفسه باستمرار.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: يطفو رواد الفضاء لأنه لا توجد جاذبية في المدار.
في الحقيقة: عند 400 km تبلغ الجاذبية نحو 89% من قيمتها على السطح؛ إنهم في سقوط حر.

خرافة: للحاق بمركبة فضائية أمامك، يكفي أن تزيد سرعتك.
في الحقيقة: زيادة السرعة ترفع مدارك وتخفض معدلك الزاوي.

خرافة: المدارات الأعلى تحتاج إلى سرعة أكبر.
في الحقيقة: السرعة الدائرية تنخفض مع الارتفاع، وإن كان بلوغ المدارات الأعلى يتطلب Δv كلية أكبر.

بطاقات تعليمية

السرعة الدائرية

$\sqrt{(\mu/r)}$.

قانون كبلر الثالث

$T = 2\pi\sqrt{(a^3/\mu)}$.

Vis-viva

$v^2 = \mu(2/r - 1/a)$.

مناورة هوهمان

انتقال إهليلجي بدفعتين.

GEO

الدور 1 = يوم نجمي؛ $r \approx 42164$ km.

مدار متزامن مع الشمس

مدار شبه قطبي يمر فوق كل مكان في الوقت المحلي نفسه تقريبًا.

اختبار ذاتي

1. سرعة المدار الدائري هي...

$\sqrt{(\mu r)}$

$\sqrt{(\mu/r)}$

μ/r^2

$2\pi r$

√(μ/r). الجاذبية توفر القوة المركزية.

2. عند 400 km تدور المركبة الفضائية حول الأرض مرة كل...

24 h

92 دقيقة

10 دقائق

1 أسبوع

92 دقيقة. 92.4 ≈ دقيقة.

3. يستخدم انتقال هوهمان...

دفعة واحدة

دفعتين

دفعًا مستمرًا فقط

الكبح الجوي فقط

دفعتين. واحدة عند كل طرف من قطع الانتقال الناقص.

4. نصف قطر المدار الثابت بالنسبة للأرض ≈

6,771 km

42,164 km

384,400 km

20,000 km

42,164 km. قانون كبلر الثالث مع يوم نجمي واحد.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تعتمد مراقبة المناخ على اختيار المدار. فالمدارات المتزامنة مع الشمس تتيح لـ Landsat تصوير المكان نفسه في ظروف إضاءة متشابهة، فتبرز التغيرات في الغابات والمحاصيل والجليد، بينما تراقب أقمار الطقس الثابتة بالنسبة للأرض تطور العواصف باستمرار.

والمدارات تحتاج أيضًا إلى عناية: فالحطام يهدد هذه البعثات، ولذلك تُصمم المركبات الفضائية بشكل متزايد بحيث يمكن التخلص منها في نهاية عمرها.

على Saving Planets: دليل المدارات · حاسبة السرعة المدارية · حاسبة الدورة المدارية

المصادر: NASA JPL: Basics of Space Flight (https://science.nasa.gov/learn/basics-of-space-flight/) · صحيفة بيانات الأرض من NASA (بالإنجليزية) (https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA JPL: Basics of Space Flight (https://science.nasa.gov/learn/basics-of-space-flight/): مقدمة NASA JPL المجانية عن المدارات والبعثات.
- الفيزياء ١، الوحدة 7: الجاذبية والمدارات: وحدتنا عن المدارات.

أنهيت هذه الوحدة

الطيران والفضاء المستدامان

تجميع كل شيء: فيزياء خفض الأثر المناخي للطيران، من الطائرات الكفؤة إلى أنواع الوقود المستدام ومصادر الطاقة الجديدة، والحفاظ على الفضاء صالحًا للاستخدام.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- حساب CO_2 الناتج عن الوقود المحروق.
- استخدام معادلة بريغيه لمقارنة تحسينات الكفاءة.
- شرح أدوار وحدود وقود الطيران المستدام والبطاريات والهيدروجين.
- وصف استدامة الفضاء: الحطام والتخلص من المركبات.

المفاهيم الأساسية

- حرق كيلوغرام واحد من وقود الطائرات من نوع الكيروسين ينتج نحو 3.16 kg من CO_2، وهي قيمة تحددها الكيمياء. والطريقتان الوحيدتان لخفضها هما حرق وقود أقل أو استخدام وقود جاء كربونه من الهواء حديثًا.
- تفيد وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA) بأن الطائرات المشمولة بقاعدتها لغازات الدفيئة مسؤولة عن 10% من انبعاثات غازات الدفيئة لقطاع النقل في الولايات المتحدة و3% من إجمالي الانبعاثات الأمريكية.
- مسارات ناسا الثلاثة: تقنيات طائرات عالية الكفاءة، ووقود الطيران المستدام، وعمليات وبنية تحتية أفضل.
- تخزن بطاريات اليوم طاقة لكل كيلوغرام أقل بكثير من وقود الطائرات، لذا تناسب الطائرات الكهربائية الرحلات القصيرة والصغيرة؛ أما الهيدروجين فيخزن طاقة كبيرة لكل كيلوغرام لكنه يحتاج إلى خزانات كبيرة.
- استدامة الفضاء تعني التخطيط للتخلص من المركبات حتى تبقى المدارات المفيدة متاحة للأقمار الصناعية التي تراقب الأرض.

المعادلات الأساسية

$$m_{\mathrm{CO_2}} \approx 3.16\, m_{\mathrm{fuel}}$$

CO_2 الناتج عن حرق وقود الطائرات

$$\frac{\mathrm{fuel}_2}{\mathrm{fuel}_1} \approx \frac{(L/D)_1}{(L/D)_2}$$

يتناسب الوقود عكسيًا مع L/D (للرحلة نفسها، مع تغيرات معتدلة)

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 10.1 من أين يأتي الرقم 3.16؟ نمذج وقود الطائرات على أنه $C_{12}H_{23}$ وأوجد عدد kg من CO_2 لكل kg من الوقود.

1. الكتلة المولية: 12(12.011) + 23(1.008) = 167.3 g/mol.
2. 12 جزيء CO_2 لكل جزيء وقود: 12 × 44.01 = 528.1 g.
3. 528.1/167.3.

الإجابة: 3.16 kg ≈ من CO_2 لكل kg من الوقود.

مثال 10.2 تقدر ناسا 620 مليون طن من الوقود في 2050 بالكفاءة الحالية. كم يعادل ذلك من CO_2؟

1. 3.16 × 620.

الإجابة: 1959 ≈ مليون طن، بما يتوافق مع تقدير ناسا «قرابة 2000 ميغاطن».

مثال 10.3 رحلة تحرق 20 t من الوقود. جناح جديد يرفع L/D من 17 إلى 19. قدّر الوقود وCO_2 الموفرين.

1. الوقود 17.9 t = 17/19 × 20 ≈.
2. الوقود الموفر 2.1 t ≈؛ 3.16 ×.

الإجابة: 2.1 t ≈ من الوقود و6.7 t ≈ من CO_2 لكل رحلة (تقدير مبسط).

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. رحلة تحرق 5000 kg من الوقود. كم ينتج من CO_2؟

   ≈ 15,800 kg.

2. إذا أصبحت المحركات أكفأ في استهلاك الوقود بنسبة 15%، فبكم تنخفض انبعاثات CO_2 لكل رحلة تقريبًا؟

   بنحو 15%، لأن CO_2 يتناسب مع الوقود المحروق.

3. لماذا لا تستطيع بطاريات اليوم تشغيل طائرات الركاب بعيدة المدى؟

   طاقتها لكل كيلوغرام أقل بكثير من وقود الطائرات، وموازنة بريغيه تجعل الوزن الإضافي مكلفًا جدًا.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: وقود الطيران المستدام لا يطلق CO_2 عند حرقه.
في الحقيقة: إنه يطلق CO_2 مثل وقود الطائرات؛ والفائدة أن كربونه جاء من الهواء حديثًا، لذا تكون انبعاثات دورة حياته أقل.

خرافة: ستحل الطائرات الكهربائية قريبًا محل كل النفاثات.
في الحقيقة: كثافة الطاقة في البطاريات تقصرها حاليًا على الرحلات القصيرة والصغيرة.

خرافة: الفضاء أكبر من أن يتلوث.
في الحقيقة: الحطام في المدارات المزدحمة خطر حقيقي.

بطاقات تعليمية

CO_2 لكل kg من الوقود

≈ 3.16 kg.

SAF

وقود طيران مستدام من النفايات والكتلة الحيوية.

ثلاثة مسارات

طائرات كفؤة، وSAF، والعمليات.

كثافة الطاقة

الطاقة لكل kg؛ البطاريات ≪ وقود الطائرات.

الحطام الفضائي

أجسام خارجة عن الخدمة تهدد المدارات المفيدة.

انبعاثات دورة الحياة

كل الانبعاثات من إنتاج الوقود حتى استخدامه.

اختبار ذاتي

1. حرق 1 kg من وقود الطائرات ينتج نحو...

1 kg CO_2

3.16 kg CO_2

0.3 kg CO_2

10 kg CO_2

3.16 kg CO_2. كربون الوقود يتحد مع أكسجين الهواء.

2. مسارات ناسا الثلاثة نحو طيران مستدام هي...

خزانات وقود أكبر

طائرات كفؤة، وSAF، والعمليات والبنية التحتية

الطيران على ارتفاع أقل فقط

صعود أبطأ فقط

طائرات كفؤة، وSAF، والعمليات والبنية التحتية. كما تذكرها ناسا.

3. إذا ارتفعت L/D بنسبة 10%، ينخفض وقود الرحلة نفسها بنحو...

1%

9–10%

50%

0%

9–10%. الوقود ∝ 1/(L/D).

4. ما حصة الطائرات الأمريكية المشمولة بقاعدة EPA من إجمالي غازات الدفيئة في الولايات المتحدة؟

0.3%

3%

30%

50%

3%. EPA: 3% من الإجمالي الوطني.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

هذه الوحدة هي الربط الكامل للمقرر بالكوكب: كل معادلة من الوحدات 7–3 رافعة على استهلاك الوقود، واستهلاك الوقود يعني CO_2. والمهندسون القادرون على إجراء هذه الحسابات هم من يصممون الطائرات الأنظف التي تعمل ناسا والصناعة على تحقيقها.

تفيد EPA بأن الطائرات المشمولة بقاعدتها تنتج 10% من انبعاثات غازات الدفيئة لقطاع النقل في الولايات المتحدة، وتشير ناسا إلى أن الولايات المتحدة التزمت في 2021 بالوصول إلى صافي انبعاثات صفري لغازات الدفيئة من الطيران بحلول 2050.

على Saving Planets: CO2M: قياس CO_2 من الفضاء · حاسبة delta-v

المصادر: ناسا: الطيران المستدام (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-aviation/) · EPA: انبعاثات غازات الدفيئة من الطائرات (https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/regulations-greenhouse-gas-emissions-aircraft)

مصادر تعلّم مجانية

- ناسا: الطيران المستدام (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-aviation/): نظرة ناسا العامة وأهدافها.
- EPA: انبعاثات غازات الدفيئة من الطائرات (https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/regulations-greenhouse-gas-emissions-aircraft): معايير الانبعاثات والبيانات في الولايات المتحدة.

- وزارة الطاقة الأمريكية (U.S. DOE): وقود الطيران المستدام (https://www.energy.gov/eere/bioenergy/sustainable-aviation-fuels): كيف يُصنع SAF.

أنهيت هذه الوحدة

مجموعات المسائل

هذه التمارين داخل كل وحدة. حلّها على الورق أولًا، ثم افتح الإجابة.

1. تاريخ الطيران وعملية التصميم
   3 مسائل
2. الغلاف الجوي
   4 مسائل
3. أساسيات الديناميكا الهوائية: الرفع والسحب
   4 مسائل
4. المقاطع الانسيابية والأجنحة
   4 مسائل
5. أداء الطائرات
   4 مسائل
6. الاستقرار والتحكم
   4 مسائل
7. أساسيات الدفع
   3 مسائل
8. الصواريخ ومعادلة الصاروخ
   3 مسائل
9. المدارات والبعثات الفضائية
   3 مسائل
10. الطيران والفضاء المستدامان
    3 مسائل

المختبرات

تضع أربعة مختبرات المقرر موضع التطبيق: نفق رياح افتراضي باستخدام FoilSim من ناسا، وحاسبة لمعادلة الصاروخ، وطائرة شراعية تصممها وتطيرها، وجدول بيانات للغلاف الجوي وسرعة الانهيار.

البيانات النموذجية موسومة بذلك. ستختلف قياساتك، وشرح سبب الاختلاف جزء من المختبر.

مرجع السلامة: FAA Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge (https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak)

المختبر A: نفق رياح افتراضي مع NASA FoilSim

الأسبوع 5

الهدف: قياس منحنى الرفع لمقطع انسيابي في FoilSim ومقارنته بنظرية المقطع الرقيق.

$$c_l \approx 2\pi\alpha$$

نظرية المقطع الرقيق (α بالراديان)

الإجراء

1. افتح FoilSim واختر مقطعًا متماثلًا (تحدب صفري) سماكته نحو 12%.
2. سجّل معامل الرفع عند α = 0° و2° و4° و6° و8°.
3. أضف عمودًا لـ 2πα وقارن. ثم أضف تحدبًا وكرر.
4. زد α حتى يحذّر FoilSim من الانهيار؛ وسجّل الزاوية.

جدول البيانات

α (درجة)	النظرية c_l = 2πα
0	0.000
2	0.219
4	0.439
6	0.658
8	0.877

قيم نظرية محسوبة. ستختلف قراءاتك في FoilSim بعض الشيء؛ اشرح السبب (السماكة، افتراضات النموذج).

مثال حسابي

1. 2π × (4π/180) = 0.439.
2. الميل النظري: 0.110 لكل درجة. الجناح المحدود الذي فيه AR = 8 وe = 0.9 سيُظهر نحو 0.086 فقط لكل درجة (الوحدة 4).

السلامة

- لا شيء يتجاوز الاستخدام العادي للحاسوب.

بديل منزلي أو افتراضي

- يعمل في متصفح الويب.

NASA Glenn: FoilSim (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/foilsim/)

الصلة بالكوكب: اختبارات نفق الرياح، الحقيقية والافتراضية، هي الطريقة التي يجد بها المصممون أجنحة منخفضة السحب تحرق وقودًا أقل. ناسا: الطيران المستدام (https://www.nasa.gov/aeronautics/sustainable-aviation/)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر B: حاسبة معادلة الصاروخ

الأسبوع 11

الهدف: بناء جدول بيانات يعطي Δv من I_sp ونسبة الكتلة، واستخدامه لتحديد أبعاد صاروخ من مرحلتين.

$$\Delta v = I_{sp}\, g_0 \ln(m_0/m_f)$$

```
Δ v=I_sp g_0(m_0/m_f)
```

معادلة الصاروخ المثالية

الإجراء

1. الأعمدة: I_sp، m₀، وm_f، ونسبة الكتلة، وΔv.
2. املأ صفوفًا لـ I_sp = 300 s و450 s عند نسب كتلة 2 و4 و8.
3. أضف ورقة لمرحلتين: Δv الكلية = مجموع المرحلتين. أوجد نسب كتلة للمراحل تبلغ 9.4 km/s.
4. تحقق من نتيجة واحدة باستخدام حاسبة Delta-v لدينا.

جدول البيانات

I_sp (s)	نسبة الكتلة	Δv (m/s)
300	2	2,039
300	4	4,078
300	8	6,118
450	4	6,118
450	8	9,177

قيم محسوبة (مثالية: دون خسائر الجاذبية أو السحب).

مثال حسابي

1. 300 × 9.80665 × ln 2 = 2,039 m/s.
2. كل مضاعفة لنسبة الكتلة تضيف 2039 m/s نفسها عند 300 s: هذا عمل اللوغاريتم.
3. مرحلتان عند 300 s، لكل منهما نسبة كتلة 5، تعطيان 4735 = 9470 m/s × 2، أي فوق 9.4 km/s بقليل.

السلامة

- لا شيء يتجاوز الاستخدام العادي للحاسوب. لا تبنِ محركات صاروخية ولا تطلقها دون إشراف مدرَّب وإذن محلي.

بديل منزلي أو افتراضي

- يكفي جدول بيانات.

حاسبة Delta-v من NASA Glenn · Saving Planets: معادلة الصاروخ المثالية (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide/-to-aeronautics/ideal-rocket-equation)

الصلة بالكوكب: كل كيلوغرام يُوفَّر في قمر صناعي للمناخ يصغّر الصاروخ اللازم لإطلاقه. NASA Glenn: معادلة الصاروخ المثالية (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/ideal-rocket-equation/)

- [ ] **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر C: صمّم طائرة شراعية وابنها وطيّرها

الأسبوع 8

الهدف: تصميم طائرة شراعية من الورق المقوى أو الفوم، وضبط مركز ثقلها لهامش ساكن موجب، ثم قياس نسبة انزلاقها.

$$L/D \approx \frac{\text{glide distance}}{\text{launch height}}$$

نسبة الانزلاق من انزلاق مستقر

الإجراء

1. ارسم تصميمًا: اختر باعًا ووترًا للجناح لنسبة باع بين 5 و8، وذيلًا مساحته نحو 20% من مساحة الجناح، وعصا كجسم للطائرة.
2. ابنها. أوجد CG بموازنتها على إصبع؛ وأضف ثقلًا في المقدمة حتى يصبح CG عند نحو 25% من وتر الجناح خلف حافته الأمامية.
3. أطلقها برفق وبشكل أفقي من ارتفاع مقيس في هواء ساكن، خمس مرات على الأقل؛ وسجّل كل مسافة.
4. احسب L/D. ثم حرّك CG إلى الخلف بخطوات صغيرة وسجّل ما يحدث.

جدول البيانات

المحاولة	الارتفاع (m)	المسافة (m)
1	2.0	9.6
2	2.0	10.4
3	2.0	10.0
المتوسط	2.0	10.0

بيانات نموذجية للتدريب، وليست نتيجة مقيسة.

مثال حسابي

1. متوسط L/D ≈ 10.0/2.0 = 5.0.
2. زاوية الانزلاق = arctan(1/5) ≈ 11.3°.
3. نتيجة نموذجية: إذا كان CG متأخرًا جدًا ترتفع مقدمة الطائرة الشراعية وتنهار (هامش ساكن سالب)؛ وإذا كان متقدمًا جدًا فإنها تغطس.

السلامة

- اقطع بعيدًا عن جسمك؛ ويجب أن يتولى شخص بالغ استخدام أي سكين حرفية.
- طيّرها بعيدًا عن وجوه الناس، في مكان مفتوح.

بديل منزلي أو افتراضي

- الورق المقوى والشريط اللاصق وعملة معدنية لتثقيل المقدمة خيارات جيدة.

NASA Glenn: زاوية الانزلاق (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/glide-angle/)

الصلة بالكوكب: تُظهر الطائرات الشراعية إلى أي مدى يمكن أن تأخذك الديناميكا الهوائية الجيدة وحدها، دون أي وقود.

- [ ] **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر D: جدول بيانات الغلاف الجوي وسرعة الانهيار

الأسبوع 4

الهدف: تطبيق نموذج ناسا للغلاف الجوي ورؤية كيف يغير الارتفاع الكثافة وسرعة الصوت وسرعة الانهيار.

$$V_s = \sqrt{\frac{2W}{\rho S C_{L,\max}}}$$

V_s=2Wρ SC_L,

سرعة الانهيار (السرعة الجوية الحقيقية)

الإجراء

1. طبّق مطابقات ناسا للتروبوسفير والستراتوسفير السفلى من 0 إلى 12 km بخطوات 1 km.
2. احسب ρ وa وV_s عندما W = 10791 N وS = 16.2 m² وC_L,max = 1.6.
3. ارسم ρ/ρ₀ وV_s مقابل الارتفاع.

جدول البيانات

الارتفاع (m)	ρ (kg/m³)	V_s (m/s)
0	1.227	26.1
5,000	0.738	33.6
10,000	0.414	44.8

محسوبة من نموذج ناسا.

مثال حسابي

1. At 5,000 m: √(2 × 10,791/(0.738 × 16.2 × 1.6)) = 33.6 m/s.
2. تزداد V_s كـ 1/√ρ: عند 10 km تبلغ 1.72 ضعف قيمتها عند مستوى سطح البحر.

السلامة

- لا شيء يتجاوز الاستخدام العادي للحاسوب.

بديل منزلي أو افتراضي

- يكفي جدول بيانات.

NASA Glenn: Earth atmosphere model (metric) (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/earth-atmosphere-equation-metric/)

الصلة بالكوكب: فيزياء الغلاف الجوي القياسي هي أيضًا أساس طريقة قياس الأقمار الصناعية للهواء.

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

مجموعات تدريب للامتحان

وقّت نفسك: نحو 10 دقائق لكل مسألة. ثم قارن بالحلول الكاملة.

مجموعة تمارين منتصف الفصل (الوحدات 5–1)

1. أوجد ρ عند 5000 m باستخدام نموذج ناسا.

   .1 $T = -17.41\ °C;\ p = 54.11\ kPa$.
   .2 $\rho = 54.11/(0.2869 \times 255.69)$.

   الإجابة: $\approx 0.738\ kg/m^3$.

2. طائرة كتلتها 1100 kg ($S = 16.2\ m^2$، $C_{L,max} = 1.6$): أوجد سرعة انهيارها عند 5000 m.

   .1 $V_s = \sqrt{(2 \times 10{,}791/(0.738 \times 16.2 \times 1.6))}$.

   الإجابة: $\approx 33.6\ m/s$.

3. أوجد $(L/D)_{max}$ عندما $C_{D0} = 0.025$، $e = 0.8$، $AR = 7.5$.

   .1 $K = 0.0531$؛ $(L/D)_{max} = 1/(2\sqrt{(C_{D0}\,K)})$.

   الإجابة: ≈ 13.7.

4. طائرة شراعية L/D لها 13.7 = تبدأ على ارتفاع 1500 m. إلى أي مسافة يمكنها الانزلاق؟

   .1 $13.7 \times 1{,}500$.

   الإجابة: $\approx 20.6\ km$.

مجموعة التدريب النهائية (كل الوحدات)

1. أوجد الهامش الساكن عندما $\bar{x}_{np} = 0.40c$ و$\bar{x}_{cg} = 0.25c$.

   .1 $0.40 - 0.25$.

   الإجابة: 0.15 (مستقر).

2. محرك يدفع 500 kg/s من الهواء من 250 إلى 320 m/s. أوجد الدفع وη_p.

   .1 $F = 500 \times 70;\ \eta_p = 2/(1 + 1.28)$.

   الإجابة: ≈ 0.88; 35 kN.

3. أوجد Δv عندما $I_{sp} = 450\ s$ ونسبة الكتلة 5.

.4,413 × ln 5 .1

الإجابة: ≈ 7,102 m/s.

4. أوجد دورة مدار دائري على ارتفاع 400 km.

.r = 6.771 × 10⁶ m مع T = 2π√(r³/μ) .1

الإجابة: ≈ 92.4 دقيقة.

5. أوجد Δv لانتقال هوهمان من مدار على 300 km إلى نصف القطر الثابت بالنسبة للأرض.

.Δv₁ = 2,428 m/s; Δv₂ = 1,468 m/s .1

الإجابة: ≈ 3.90 km/s.

6. رحلة تحرق 20 t من الوقود. كم CO_2 ينتج؟

.20 × 3.16 .1

الإجابة: ≈ 63 t.

ورقة الصيغ

$$L = W,\ T = D$$

$$T = 15.04 - 0.00649h,\ p = 101.29\left(\frac{T+273.1}{288.08}\right)^{5.256}$$

$$\rho = p/(RT),\ a = \sqrt{\gamma RT},\ M = V/a$$

$$L = \tfrac{1}{2}\rho V^2 S C_L,\ D = \tfrac{1}{2}\rho V^2 S C_D$$

$$V_s = \sqrt{2W/(\rho S C_{L,\max})}$$

$$Re = \rho V c/\mu$$

$$c_l = 2\pi\alpha$$

$$a = a_0/(1 + a_0/(\pi e AR))$$

$$C_D = C_{D0} + C_L^2/(\pi e AR)$$

$$(L/D)_{\max} = 1/(2\sqrt{C_{D0}K})$$

$$\tan\gamma = 1/(L/D)$$

$$R = (V/c)(L/D)\ln(W_i/W_f)$$

$$\mathrm{SM} = (x_{np} - x_{cg})/\bar{c}$$

$$F = \dot{m}(v_e - v_0),\ \eta_p = 2/(1 + v_e/v_0)$$

$$\Delta v = I_{sp} g_0 \ln(m_0/m_f)$$

$$v = \sqrt{\mu/r},\ T = 2\pi\sqrt{a^3/\mu}$$

$$v^2 = \mu(2/r - 1/a)$$

$$m_{CO_2} \approx 3.16\, m_{fuel}$$

الثوابت

الثابت	القيمة
الجاذبية القياسية g_0	9.80665 m/s²
كثافة الهواء عند مستوى سطح البحر (نموذج ناسا)	1.23 kg/m³
الضغط عند مستوى سطح البحر (نموذج ناسا)	101.3 kPa
سرعة الصوت عند مستوى سطح البحر (15 °C)	340 m/s
ثابت الغاز للهواء R	287 J/(kg·K)
نسبة الحرارتين النوعيتين γ (الهواء)	1.4
GM للأرض	3.986 × 10¹⁴ m³/s²
متوسط نصف قطر الأرض	6,371 km

المصدر: NASA Glenn: Earth atmosphere model (metric) (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/earth-atmosphere-equation-metric/)

المحاكيات والمراجع

أدوات ومراجع مجانية للاستخدام مع المقرر.

- NASA Glenn: Beginner’s Guide to Aeronautics (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/): مرجع ناسا المجاني لكل معادلة في هذا المقرر، مع أجهزة محاكاة.
- NASA Glenn: FoilSim (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/foilsim/): نفق رياح افتراضي للمقاطع الانسيابية (المختبر A).
- MIT OpenCourseWare 16.00: Introduction to Aerospace Engineering and Design (https://ocw.mit.edu/courses/16-00-introduction-to-aerospace-engineering-and-design-spring-2003/): مقرر التصميم للسنة الأولى في MIT.
- FAA Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge (https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak): دليل FAA المجاني في الديناميكا الهوائية والأداء والاستقرار.
- NASA JPL: Basics of Space Flight (https://science.nasa.gov/learn/basics-of-space-flight/): مدخل مجاني إلى المدارات والبعثات.

مسرد المصطلحات

زاوية الهجوم
الزاوية بين خط الوتر والهواء القادم.

نسبة الباع
مربع الباع مقسومًا على مساحة الجناح.

معادلة مدى بريغيه
مدى الطائرة النفاثة بدلالة السرعة واستهلاك الوقود وL/D وكسر الوزن.

التحدب
انحناء الخط الأوسط للمقطع الانسيابي.

مركز الثقل
النقطة التي يؤثر فيها الوزن.

قطبية السحب
C_D بدلالة C_L.

الضغط الديناميكي
$\frac{1}{2}\rho V^2$.

المدار الثابت بالنسبة للأرض
مدار استوائي دورته يوم نجمي واحد.

مناورة هوهمان
انتقال إهليلجي بإشعالين بين مدارين دائريين.

السحب المستحث
السحب الناتج عن توليد الرفع بجناح محدود.

عدد ماخ
السرعة مقسومة على سرعة الصوت المحلية.

النقطة المحايدة
موضع CG الذي يعطي استقرارًا محايدًا في الانحدار.

كفاءة الدفع
نسبة قدرة النفث التي تتحول إلى قدرة دفع مفيدة.

عدد رينولدز
نسبة التأثيرات القصورية إلى اللزجة، $\rho V c/\mu$.

معادلة الصاروخ
$\Delta v = I_{sp}\, g_0 \ln(m_0/m_f)$.

الدفع النوعي
الدفع لكل معدل تدفق وزني للوقود الدافع، بالثواني.

الانهيار
فقدان الرفع عندما ينفصل التدفق عن الجناح.

الغلاف الجوي القياسي
نموذج متوسط لخصائص الهواء مقابل الارتفاع.

الهامش الساكن
المسافة من CG إلى النقطة المحايدة بوحدات الوتر المتوسط.

وقود الطيران المستدام
وقود نفاثات يُصنع من النفايات أو الكتلة الحيوية.

معايير التقييم الذاتي

لا تُمنح درجة ولا ساعات معتمدة. استخدم هذا لتقيّم بصدق أين أنت في كل وحدة.

المستوى	كيف يبدو
4 · إتقان	يصوغ المسائل انطلاقًا من القوى والمتطلبات، ويتحقق من الوحدات ورتب المقادير، ويشرح المفاضلات.
3 · متمكن	يحل مسائل التدريب مع أخطاء عرضية.
2 · قيد التطور	يتبع الأمثلة المحلولة لكنه يجد صعوبة في اختيار المعادلة الصحيحة.
1 · مبتدئ	يعوّض بالأرقام دون التحقق من الوحدات أو الافتراضات؛ راجع الوحدة.

الأوزان المقترحة إذا أردت درجة

الجزء	الوزن
تمارين	25%
المختبرات	20%
مجموعة تدريب منتصف الفصل	25%
مجموعة التدريب النهائية	30%

استهدف المستوى 3 أو أعلى في كل وحدة قبل الانتقال إلى الدورة التالية.

دورات ذات صلة

- التفاضل والتكامل 2 MATH 111
- الرسم الهندسي / التصميم بالحاسوب ENGR 120
- الكيمياء العامة + 1 المختبر CHEM 110 + CHEM 110L
- كل الدورات