

من 6 إلى 11 سنة - للمعلم

الطائرات التي تتكلم: دورة علوم ابتدائية في أربعة دروس

هذه هي الدورة كما يحتاج المعلم إلى معرفتها: العلم مشروحًا بمستوى أعمق مما سيسمعه الفصل، والترتيب الذي يجب أن تأتي به الأفكار، وما يُقال في سن السادسة وما يُضاف في العاشرة، والعروض العملية التي تحمل كل فكرة ولماذا تنجح، والأفكار الخاطئة التي يأتي بها الأطفال. أربعة دروس من نحو 50 دقيقة، تُوزَّع عادة على أسبوعين.

تعلّم - 2026-10-22 <https://radar.dataero.eu/ar/learning/ages-6-11>

المحتويات

الدرس 4 الخريطة: كيف تصنع آذان كثيرة صورة واحدة

التقييم: هل يستطيعون رواية القصة؟

التالي: مستقبل على سطح المدرسة

قبل أن تبدأ: ماذا تعلّم الدورة ولماذا تستحق أربعة دروس

الدرس 1 السماء المزدهمة والطائرة المتكلمة

الدرس 2 الضوء الخفي: ما يحمل الرسالة

الدرس 3 الآذان المعدنية والأرض الكروية: كيف تُلتقط الرسالة، ومن

أي بعد

قبل أن تبدأ: ماذا تعلّم الدورة ولماذا تستحق أربعة دروس

تبت كل طائرة ركاب في السماء الأوروبية، نحو مرتين في الثانية، رسالة راديوية قصيرة تعطي هويتها وموقعها وارتفاعها وسرعتها. يُسمى النظام ADS-B، ومنذ عام 2020 صار إلزاميًا لمعظم الطائرات. ويعتمد عليه مراقبو الحركة الجوية؛ وكذلك خرائط الرحلات المباشرة على أي هاتف. وهو للفصل الابتدائي موضوع يكاد يكون مثاليًا، لأنه يصل أشياء يتساءل عنها الأطفال أصلًا، الطائرات التي يرونها ويسمعونها، بالفيزياء التي يطلب منك المنهج تدريسها: أن الضوء والصوت نوعان مختلفان من الأشياء، وأن الضوء يسير في خطوط مستقيمة، وأن للموجات طولًا، وأن الأرض كرة ولهذا نتائج مرئية، وأن المعلومات يمكن ترميزها وإرسالها، وأن الخريطة تُصنع من قياسات. الموضوع حقيقي وراهن؛ ولا شيء فيه نموذج لعبة.

تتبع الدورة منطق النظام نفسه، لأن ذلك المنطق هو أيضًا ترتيب التدريس الصحيح. أولاً يجب أن يدرك الفصل أن السماء مليئة بحركة سريعة خفية يجب أن يتابعها أحد. ثم أن كل طائرة تعرف مكانها وتقولها، مرارًا وتكرارًا، في رسالة من أربعة أجزاء. ثم أن الرسالة تسافر على شكل موجة راديوية، وأن الموجة الراديوية شكل من الضوء. ثم أن الهوائي يلتقطها، وأن الأرض الكروية تحدّ من المسافة. وأخيرًا أن هوائيات كثيرة معًا تبني الخريطة. يضيف كل درس حلقة واحدة إلى تلك السلسلة، والسلسلة هي ما تقيّمه في النهاية: هل يستطيع الطفل أن يروي القصة من الطائرة إلى الخريطة، بالترتيب، وبالأسباب الصحيحة؟

لا تحتاج إلى أي خلفية في الطيران أو الراديو. يبدأ كل درس أدناه بالعلم كما تحتاج أنت إلى فهمه، وهو مستوى أعمق مما سيذهب إليه الفصل، لتستطيع الإجابة عن السؤال الكامن وراء السؤال. وإن أردت الشرح الكامل للكبار، فالدورة المرجعية في الصفحة الرئيسية فيها اثنا عشر فصلًا؛ والأهم منها لهذه الفئة العمرية الفصول 3 و6 و7. وينبغي إبقاء أمرين في الذهن بوضوح طوال الوقت، لأنهما الموضعان اللذان يعلم فيهما الكبار غالبًا شيئًا خاطئًا. الراديو ليس صوتًا؛ إنه ضوء بلون لا تراه أعيننا، والفرق هو قلب الدرس 2. والطائرة في هذا النظام لا «تراها الأقمار الاصطناعية» ولا «يعثر عليها الرادار»؛ إنها تحسب موقعها بنفسها بالاستماع إلى الأقمار الاصطناعية، ثم تعلنه. لا أحد يعثر على الطائرة. الطائرة تخبر.

عن التمايز: كُتبت الدورة لكامل الفئة من 6 إلى 11 سنة، ويبيّن نص كل درس أين يفتقر الطرف الأصغر عن الطرف الأكبر. إجمالاً، ينبغي أن يحصل فصل من أطفال بين 6 و8 سنوات على القصة، ولعب الأدوار، والحبل، والخريطة، وأن يغادر قادراً على قول «الطائرات ترسل رسالة على موجة، والهوائي يلتقطها، وهذا يصنع الخريطة». ويستطيع فصل من أطفال بين 9 و11 سنة استيعاب الأرقام (مرتبتين في الثانية، 300,000 كيلومتر في الثانية، موجة بطول 27 سنتيمترًا، أفق بمدى 400 كيلومتر)، وفكرة أن الرسالة مكوّنة من إجابات بنعم أو لا، والتفكير في الأفق، وينبغي أن يغادر قادراً على شرح سبب ضرورة كل خطوة.

الدرس 1

السماء المزدهمة والطائرة المتكلمة

العلم الذي تحتاج إليه

طائرة الركاب على ارتفاع الطيران الاعتيادي على بعد نحو عشرة كيلومترات في الأعلى وتتحرك بسرعة 900 km/h تقريباً، أي 250 مترًا كل ثانية. وعلى ذلك الارتفاع يصعب رؤيتها ويستحيل تقديرها: فالطفل الذي يلح لمعة أو خط تكاثف لا سبيل له إلى معرفة كم تبعد، أو كم هي عالية، أو إلى أين تتجه، وكذلك الطيار الذي ينظر إلى طائرة أخرى. وفوق بلدة بلجيكية توجد دائماً تقريباً عدة طائرات في السماء في آن واحد، معظمها يعبر على ارتفاع في طريقه بين بلدان أخرى. ولإبقائها متباعدة، تحتاج مراقبة الحركة الجوية إلى موقع كل طائرة وارتفاعها واتجاهها، باستمرار. وقواعد الفصل بسيطة: في المجال الجوي الذي يديره المراقبون، يجب أن تتباعد الطائرات رأسيًا بما لا يقل عن 300 متر أو أفقيًا بعدة كيلومترات.

طوال معظم القرن الماضي كانت طريقة معرفة مكان الطائرات هي الرادار: هوائي دوار كبير يرسل نبضة راديوية ويستمع إلى الصدى الخافت. ولا يزال الرادار موجودًا، لكن النظام الذي تدور حوله هذه الدورة يقلب المشكلة. فكل طائرة حديثة تحمل مستقبل ملاحية بالأقمار الاصطناعية، التقنية نفسها التي في خرائط السيارة أو الهاتف، فتعرف دائماً موقعها بدقة بضعة أمتار. وتحمل أيضًا جهاز راديو صغيرًا يُسمّى المرسل المستجيب (الترانسبوندر). ويجمع ADS-B الاثني ببساطة: نحو مرتين في الثانية، يرسل المرسل المستجيب رسالة قصيرة تحتوي على هوية الطائرة، وموقعها من الأقمار الاصطناعية، وارتفاعها، وسرعتها واتجاهها. تخرج الرسالة تلقائيًا، من دون أن يطلبها أحد ومن دون مرسل إليه بعينه: إنها بث، كمحطة إذاعية، وأي شخص لديه المستقبل المناسب يستطيع سماعها. هذا ما تعنيه الأحرف: تلقائية (Automatic)، لا أحد يطلقها، تابعة (Dependent)، تعتمد على معدّات الطائرة نفسها لتكون صحيحة)، مراقبة (Surveillance)، غرضها معرفة مكان الطائرات)، بث (Broadcast، تُرسل إلى الجميع).

والرسالة نفسها رقمية. فالمرسل المستجيب لا يستطيع إرسال حروف أو أرقام مباشرة؛ لا يستطيع إلا إرسال نبضة أو لا نبضة، فتكون الرسالة سلسلة من 112 إجابة بنعم أو لا، تدوم كل منها جزءًا من مليون من الثانية، واتفق الجميع مسبقًا على معناها. المجموعة الأولى منها، بطول 24 إجابة، هي رمز الهوية الدائم للطائرة، تُعطاه عند تسجيلها، يشبه لوحة سيارة لا تتغيّر أبدًا. والباقي يحمل الموقع، أو الارتفاع، أو السرعة، أو رمز نداء الرحلة، بحسب نوع الرسالة. والإجابات الـ 24 الأخيرة فحص: يجري المستمع عملية حسابية ثابتة على الرسالة ويقارن النتيجة بالفحص، فإن اختلفا، فقد تشوّش شيء في الطريق وتُرمى الرسالة. وهذا مهم، لأن طائرات كثيرة فوق مطار مزدحم تتكلّم في آن واحد وتتداخل رسائلها أحيانًا. والارتفاع في الرسالة لا يُقاس بالأقمار الاصطناعية بل من ضغط الهواء خارج الطائرة، الذي ينخفض باطراد كلما صعدت؛ وهذا هو السبب نفسه في أن أذنك «تطقّان» في المصعد أو نفق جبلي، ويستمتع الأطفال الأكبر بهذا الربط.

كيف تدرّسه

ابدأ بالسماء، لا بالنظام. اسأل من رأى طائرة هذا الأسبوع، وأين، وكم يظن أنها كانت عالية، وكيف يمكن للطيار أن يعرف مكانه من دون طرق. دع التخمينات تجري؛ سيأتي «الطيار ينظر من النافذة» و«هناك خريطة»، وكلاهما نصف صحيح. ثم اعرض الخريطة المباشرة على جهاز العرض، مكبرة على البلدة، وعدّوا الطائرات معًا. والفجوة بين ما توقّعه الفصل وما تعرضه الخريطة هي الخطاف للدورة كلها، وتستحق التمهّل عندها: كل رمز من تلك الرموز طائرة تتكلّم في هذه اللحظة.

ارو الآن القصة المركزية في نفس واحد، لأن الأطفال يتذكرون القصة أفضل من التعريف: الطائرة تعرف دائمًا مكانها، لأنها تستمع إلى أقمار اصطناعية عالية فوقها؛ ومرتين كل ثانية تصيح، لا لأحد بعينه، «هذه أنا، وهنا أنا، وهذا ارتفاعي، وهذه سرعتي». لم يسألها أحد. ولا تتوقف أبدًا. وكل من لديه الأذن المناسبة يستطيع سماعها. مع الأطفال بين 6 و8 سنوات، تلك الجملة، مكررة ثم ممثلة، هي الدرس. ومع الأطفال بين 9 و11 سنة، امضي خطوة أبعد وشرح أن الصيحة مكونة من إجابات بنعم أو لا، وأن 24 منها تهجئ اسم الطائرة، ودعهم يحسبون (بمساعدة) أن 24 إجابة بنعم أو لا تعطي نحو 17 مليون اسم مختلف، أكثر بكثير مما يكفي لكل طائرة، صُنعت على الإطلاق. والنقطة التي يجب ترسيخها أن الطائرة ليست «مراقبة»: إنها تخبر. قلها بالطريقتين، «لا أحد يعثر على الطائرة، الطائرة تعلن عن نفسها»، لأن الفكرة المعاكسة متجذرة بعمق وستعاود الظهور في الدرس 4.

العرض العملي هو لعبة برج المراقبة، وهي أثنان نصف ساعة في الدورة كلها. الصق شبكة على الأرض بشريط لاصق، خمسة مربعات في خمسة، بأحرف على جانب وأرقام على الجانب الآخر. نصف الفصل طائرات؛ مع كل منهم بطاقة فيها رمز نداء وارتفاع وسرعة. يمشون ببطء عبر الشبكة، وكل يضع خطوات يعلن كل منهم رسالته بصوت عالي: «DTA12، المربع C3، عشرة آلاف متر، سريع». والنصف الآخر برج المراقبة، مع كل منهم نسخة ورقية من الشبكة، وعليهم رسم كل طائرة حيث تقول إنها موجودة. ثم تبادلوا الأدوار. ثم، وهذا هو الجزء الذي يعلم، أعيدوا اللعبة والطائرات لا يُسمح لها بالكلام إلا مرة في الدقيقة. تنهار رسوم الأبراج؛ فالطائرات انتقلت من مربعاتها قبل أن يعرف أحد. اسأل الفصل لماذا تتكلم الطائرات الحقيقية مرتين في الثانية، وسيخبرونك.

مع المجموعة الأكبر، أضف تنويغًا ثانيًا: تعلن طائرتان في اللحظة نفسها بالضبط، وعلى البرج أن يسجل ما سمعه. سيكون قد سمع خليطًا مشوشًا. اشرح أن هذا هو سبب وجود فحص في نهاية الرسالة الحقيقية: تخفق الرسالة المشوشة في الفحص فتُهمل، والطائرة تعيد كلامها بعد نصف ثانية على أي حال. والأطفال الذين كانوا البرج يفهمون فورًا لماذا يلزم التكرار والفحص مغلًا.

ما يخطئ فيه الأطفال، وما نقوله

الفكرة الخاطئة الأكثر شيوعًا أن الأقمار الاصطناعية تنظر إلى الأسفل وترى الطائرات، أو أن الرادار يعثر عليها. والصورة الصحيحة أن الطائرة تستمع إلى الأقمار الاصطناعية لتجد نفسها، ثم تتكلم. وطريقة مفيدة لقول ذلك: القمر الاصطناعي كجرس كنيسة يدق الساعة؛ يخبر الجميع بالوقت، لكن لا فكرة لديه عمّن يستمع. والفكرة الخاطئة الثانية أن الطائر يرسل الرسالة. لا أحد يفعل؛ يرسلها المرسل المستجيب من تلقاء نفسه من لحظة بدء الطائرة بالحركة. والثالثة أن الرسالة تذهب إلى «المطار». إنها تذهب إلى الجميع: الطائرات الأخرى تستمع أيضًا وتستخدمها لتبقى بعيدة عن بعضها، وكذلك أي هوائي على أي سطح، وهناك سينتهي الدرس 4.

الدرس 2

الضوء الخفي: ما يحمل الرسالة

العلم الذي تحتاج إليه

تغادر الرسالة الطائرة على شكل موجة راديوية، والفكرة الواحدة التي يجب أن يرسخها هذا الدرس، لأن فيزياء المرحلة الثانوية كلها تُبنى عليها، أن الموجة الراديوية وحزمة الضوء من النوع نفسه من الأشياء. كلاهما موجة كهرومغناطيسية: تموجات من القوة الكهربائية والمغناطيسية تنتقل عبر الفضاء، ولا تحتاج إلى هواء أو مادة تحملها، بسرعة الضوء، وهي قريبة جدًا من 300,000 كيلومتر كل ثانية. وما يجعل تموجًا كهذا ضوءًا أحمر، وآخر أزرق، وآخر موجة راديوية، هو فقط مدى سرعة تذبذبه، أي تردده. وتستجيب أعيننا لنطاق ضيق من الترددات، نختبره كالألوان من الأحمر إلى البنفسجي. ويتذبذب الراديو أبطأ بكثير، فلا تستطيع العيون رؤيته، تمامًا كما لا تستطيع الأذان سماع صفارة الكلاب. وترسل رسالة الطائرة بتردد 1,090 مليون تذبذب في الثانية، وهو سريع جدًا بالمقاييس البشرية وبطيء جدًا بمقاييس الضوء: فالضوء الأخضر يتذبذب أسرع بنحو نصف مليون مرة.

ولأن كل موجة كهرومغناطيسية تسير بالسرعة نفسها، فإن التردد يحدّد الطول الموجي، أي المسافة من قمة إلى القمة التالية: في ثانية واحدة تقطع الموجة 300,000 km وتُتَمَّ f تذبذبًا، فيشغل كل تذبذب 300,000 km مقسومة على f. ولموجة الطائرة يساوي ذلك 27.5 سنتيمترًا، نحو طول مسطرة مدرسية. وللضوء الأخضر نحو نصف جزء من ألف من المليمتر. ولمحطة إذاعة FM ثلاثة

أمتار. وهذا الرقم، 27.5 cm، هو الذي سيلتقيه الفصل من جديد في الدرس 3، لأنه يقرّر حجم الهوائي.

الخلط الذي يجب أن تمنعه هو بين الراديو والصوت، ويستحق الأمر فهم سبب شيوعه إلى هذا الحد. فـ«الراديو» في الكلام اليومي صندوق يُصدر صوتًا، يفترض الأطفال (وكثير من الكبار) أن الموجات الراديوية نوع من الصوت ينتقل عبر الهواء. ولا علاقة بينهما على الإطلاق. فالصوت موجة ضغط: جزيئات هواء تصطدم بجاراتها، التي تصطدم بجاراتها. يحتاج إلى مادة ينتقل عبرها، ويتحرّك بسرعة نحو 340 مترًا في الثانية، وفي الفراغ لا صوت. أما الراديو فلا يحتاج إلى شيء ويعبر الفضاء الفارغ بين القمر الاصطناعي والطائرة؛ ويسير أسرع من الصوت بنحو مليون مرة. فإذا أصدرت طائرة على بعد 20 km ضجيجًا وأرسلت رسالة في اللحظة نفسها، وصلت الرسالة في نحو 67 جزءًا من مليون من الثانية ووصل الضجيج بعد نحو دقيقة. ويعرف الأطفال هذا التأخر من الرعد ومن مشاهدة كرة قدم تُركل من بعيد، وتلك المعرفة أفضل حليف لك.

كيف تدرّسه

ابدأ مما يعرفونه: أشياء موجودة لكننا لا نراها ولا نسمعها. صقّارات الكلاب، ورؤية النحلة للزهرة، وجهاز التحكم عن بعد الذي «يرسل شيئًا» إلى التلفاز، Wi-Fi في المبنى. ثم اطرح الادّعاء بوضوح: رسالة الطائرة تركب نوعًا من الضوء لا تراه أعيننا، والمصباح اليدوي وراديو الطائرة أبناء عمومة. أشعل مصباحًا يدويًا واسأل أين ضوءه: في كل مكان في الغرفة، في آن واحد، من دون تأخر يلاحظه أحد. ثم الجملة المفتاحية للمجموعة الأصغر: الراديو لون لا تراه أعيننا، وهو يمرّ عبر هذه الغرفة في هذه اللحظة، من كل طائرة في حدود 400 كيلومتر، ولا نشعر بشيء. يجد كثير من الأطفال هذا مثيرًا قليلًا، وهو صحيح.

يمنح عرض الحبل فكرة الموجة جسديًا. في أزواج، يمسك طفل حبلًا ثابتًا ويهزّ الطرف الحر. ينتج الهزّ البطيء موجات قليلة طويلة كسولة على امتداد الحبل؛ وينتج الهزّ السريع موجات قصيرة كثيرة. اجعلهم يقيسون المسافة بين القمم بمسطرة متريّة في كل حالة ويلاحظون القاعدة: كلما هزّزت أسرع، كانت الموجات أقصر. وهذا ليس تشبيهًا فضفاضة بل العلاقة الفعلية، لأن سرعة الموجة على الحبل يحددها الحبل وبالتالي يتبادل التردد والطول الموجي تمامًا كما يفعلان للضوء. أخبر الفصل أن موجة الطائرة من النوع الطويل الكسول مقارنة بالضوء، وأن طولها من قمة إلى قمة كطول مسطرة. ضع المسطرة على الأرض بجانب موجة الحبل ودعهم يرونها. مع المجموعة الأكبر، اكتب القاعدة: السرعة = التردد مضروبًا في الطول الموجي، ودعهم يتحقّقون منها على الحبل بعدّ الهزّات في الثانية وقياس المسافة من قمة إلى قمة. ثم أعطهم أرقام الطائرة ودعهم يرون أن 300,000 km في الثانية مقسومة على 1,090 مليونًا في الثانية تساوي 27.5 cm؛ لن يجرؤوا القسمة وحدهم، لكنهم يستطيعون متابعتها على السبورة وهذا يجعل الرقم ملكًا لهم.

للفصل بين الراديو والصوت، أجرِ سباق الرسول الأسرع. صّف من الأطفال يمرّر كلمة مهموسة من طرف القاعة إلى الطرف الآخر؛ قس الوقت. ثم أومض مصباحًا يدويًا من طرف واجعل الطرف البعيد يرفع يده؛ لا تأخر يمكن قياسه. ناقش السبب: الصوت يجب أن يمرّر من كل جزء من الهواء إلى التالي، كالهمسة من طفل إلى طفل، وهذا يستغرق وقتًا؛ والضوء لا يحتاج إلى أحد ليمرّره. ثم، وهذه لحظة التصريح، قل إن رسالة الطائرة الراديوية كالمصباح، لا كالهمسة، وإن ضجيج محرك الطائرة الذي تسمعه كالهمسة، يصل بعد أن تكون الطائرة قد مضت بوقت طويل. ويمكن إعطاء المجموعة الأكبر الأرقام، 340 مترًا في الثانية مقابل 300,000 كيلومتر في الثانية، وسؤالهم كم مرة الضوء أسرع؛ والجواب، نحو مليون، مُرضي.

ما يخطئ فيه الأطفال، وما تقوله

عولج خلط الصوت أعلاه وسيحتاج إلى تكرار في الدرس 3 والدرس 4؛ توقّع أن تنزلق «الهوائي يسمع الطائرة» إلى «الهوائي يسمع الضجيج». وخلط ثانٍ أن الموجات الراديوية «في الهواء» كما الروائح، تنجرف هنا وهناك؛ وهي لا يحملها الهواء على الإطلاق وستسير بالجودة نفسها عبر الفضاء الفارغ. وخلط ثالث، من المجموعة الأكبر، هو الظن أن الهزّ الأسرع يجعل الموجة تسير أسرع؛ لا يفعل، بل يجعل الموجات أقصر، ويبين الحبل ذلك إن تركتهم يراقبون قمة واحدة تسير. وأخيرًا، إن سأل طفل لماذا لا نرى الراديو إن كان ضوءًا، فالجواب الصادق أن أعيننا مبنية للألوان التي تعطيها الشمس أكثر من غيرها والتي تمرّ عبر الهواء أفضل من غيرها؛ وكان الراديو هناك طوال الوقت، ولم نلاحظه إلا عندما بنينا له عيونًا معدنية، وهذا هو الدرس 3.

الآذان المعدنية والأرض الكروية: كيف تلتقط الرسالة، ومن أي بعد

العلم الذي تحتاج إليه

الموجة الراديوية التي تمرّ فوق قطعة معدن تدفع الإلكترونات في المعدن ذهابًا وإيابًا بتناغم مع تذبذبها. وذلك التيار المتناوب الضئيل هو «السمع»؛ ويضخّمه مستقبل موصول بالمعدن ويقرأ النبضات منه. وتكون الدفعة أقوى ما تكون عندما يكون لقطعة المعدن الطول المناسب للموجة: قضيب طوله ربع طول موجي، قائم على سطح معدني مستوٍ، يستجيب للموجة كما تستجيب الأرجوحة لدفعة مؤقتة على إيقاعها. ولموجة الطائرة بطول 27.5 cm، الربع هو 6.9 cm، ولهذا يكون هوائي ADS-B الحقيقي، على الطائرة وعلى الأرض، قضيبًا قصيرًا بارتفاع بضعة سنتيمترات فقط. إنه أذن مضبوطة. والسلك ذو الطول المختلف تمامًا يلتقط شيئًا أيضًا، لكن أقل بكثير، ويمكن إخبار الفصل بصدق أن النموذج الذي سيبنونه بالحجم الصحيح للشيء الحقيقي.

من أي بعد تستطيع الأذن أن تسمع؟ يحده أمران. تضعف الإشارة مع المسافة، لأن مرسل الطائرة ينشر طاقته في كل اتجاه والجزء الذي يصل إلى هوائي صغير يتقلص كلما زادت المسافة: ضعف المسافة، ربع المقدار. لكن قبل أن يصير الضعف هو المشكلة، تصير الهندسة هي المشكلة. فلأن الراديو ضوء، فهو يسير في خطوط مستقيمة، ولأن الأرض كرة، فإن الخط المستقيم من هوائي على سطح يصطدم بالأرض سريعًا. ولا يمكن سماع طائرة إلا ما دام بينها وبين الهوائي خط مستقيم غير مسدود. وكلما ارتفعت الطائرة، امتد ذلك الخط أبعد قبل أن تعترضه الأرض، وكلما ارتفع الهوائي، امتد أبعد من ذلك. والحساب (المسافة إلى الأفق بالكيلومترات تساوي نحو أربعة أمثال الجذر التربيعي للارتفاع بالأمتار) لدورة المرحلة الثانوية؛ أما لدورتك فالنتيجة تكفي: يمكن سماع طائرة على ارتفاع عشرة كيلومترات من سطح منزل على بعد أكثر من 400 km، أبعد من بروكسل إلى باريس ذهابًا وإيابًا، بينما قد تكون طائرة تقلع للتو على بعد 50 km مخفية تمامًا خلف انحناء الأرض. ولهذا توضع الهوائيات على الأسطح والصواري والتلال، ولهذا يسمع الهوائي نفسه الطائرات العالية من بعيد والمنخفضة فقط عندما تكون قريبة.

كيف تدرّسه

افتتح بالسؤال الذي تركه الدرس 2 معلقًا: إن كان الراديو ضوءًا لا نراه، فما الذي يراه؟ الجواب أذن معدنية، هوائي، وأول ما يجب فعله هو العثور على بعضها. جهاز Wi-Fi له قضبان أو يخفيها داخله؛ والسيارة في الخارج لها زعنفة على سقفها؛ وكل هاتف فيه هوائي مخفي على امتداد حافته؛ وسطح المدرسة قد يكون عليه عدة هوائيات. أرسل الفصل، أو اذهب أنت ومعدك صورة، واصنعوا قائمة. اسأل ما القاسم المشترك بينها: إنها معدنية، ولها شكل وحجم معيّنان، وهي في الغالب في الأعلى. وكلتا هاتين الملاحظتين هي الدرس، ويمكنك أن تعد بشرح كل منهما.

للحجم، ابنوا الهوائي النموذجي. يقص كل طفل شريطًا من الورق المقوّى طوله 7 cm وعرضه نحو سنتيمتر، ويلفّه برقائق الألومنيوم، ويوقفه رأسياً في منتصف مربع من الورق المقوّى مغطّى بالرقائق أيضًا. كن صادقًا بشأن ما هو: إنه بالشكل الصحيح والحجم الصحيح لموجة الطائرة، والمستقبل الحقيقي يستخدم هذا الشكل بالضبط، لكنه وحده لا يستطيع فكّ ترميز أي شيء، لأن التقاط الموجة ليس إلا الخطوة الأولى وقراءة النبضات تحتاج إلى راديو وحاسوب (وهو ما تبنيه دورة المرحلة الثانوية). ثم اشرح الحجم بالأرجوحة: ترتفع الأرجوحة أعلى ما ترتفع عندما تدفعها بإيقاع ذهابها وإيابها، والقضيب المعدني «يتأرجح» أفضل ما يتأرجح، كهربائياً، عندما يكون طوله ربع الموجة. ضع مسطرة بطول 27.5 cm بجانب القضيب بطول 7 cm وبيّن أن القضيب ربعها. وتستطيع المجموعة الأكبر القياس والتحقّق. ومربع الرقائق في الأسفل هو المرأة التي تكمل الأذن، ولا بأس أن تقول ذلك وتتركه عند هذا الحد.

للارتفاع، اخرجوا، وخذ السؤال معك: لماذا الهوائيات في الأعلى؟ أوقف طفلاً عند طرف الملعب جالسًا القرفصاء، ثم واقفًا، ثم على مقعد، واسأل ماذا يرى عند الطرف البعيد في كل مرة، يظهر شيء مخفي خلف جدار منخفض أو سيارة مركونة كلما ارتفع. ثم انتقل إلى الأرض: الأرض نفسها منحنية، كقمة كرة هائلة، وأي شيء بعيد بما يكفي مخفي خلف ذلك الانحناء، كبذن سفينة أبحرت خلف الأفق وساريتها لا تزال ظاهرة. والهوائي على سطح واقف على مقعد. والطائرة العالية سفينة ذات سارية طويلة جدًا. ارسمه على السبورة

كدائرة عليها عصا وخط مستقيم يلامس الدائرة: كل ما فوق الخط يمكن سماعه، وكل ما تحته خلف الأرض. ويمكن بعدها إعطاء الأطفال بين 9 و11 سنة الأرقام الحقيقية وسؤالهم مقارنتها بمسافات يعرفونها: 400 km أبعد من بروكسل إلى باريس ذهابًا وإيابًا؛ و50 km نحو عرض المقاطعة.

إن كان هناك وقت، يستحق عرض صغير للضعف مع المسافة مكانه: مصباح يدوي عند الطرف البعيد لقاعة مظلمة يضيء ورقة إضاءة خافتة؛ وإذا قُرب إلى نصف المسافة أضاء الورقة نفسها بأكثر من ضعف السطوع بوضوح، لأن الحزمة انتشرت على مساحة أصغر. ويمكن إخبار الأطفال الأكبر بالقاعدة، نصف المسافة يعني أربعة أمثال السطوع، وبالربط: راديو الطائرة ينتشر بالطريقة نفسها، ولهذا يلزم مستقبل حساس للطائرات البعيدة.

ما يخطئ فيه الأطفال، وما تقوله

يظن الأطفال غالبًا أن الهوائي الأكبر لا بد أن يكون أفضل، كما ستكون الأذن الأكبر. ولهذه الموجة ليس الأمر كذلك: الحجم الصحيح هو ما يهم، والحجم الصحيح صغير. ويظنون أيضًا أن الهوائيات عالية «لتكون أقرب إلى الطائرات»؛ والمسافة إلى الأعلى تافهة مقارنة بالمسافة الأفقية، والسبب الحقيقي هو انحناء الأرض، وهو جواب أكثر إثارة للاهتمام. وأخيرًا، يعود خلط الصوت هنا بصيغة «الهوائي يسمع ضجيج الطائرة». التقطه في كل مرة: الهوائي يلتقط الضوء الخفي، لا الصوت، وسيلتقطه بالجودة نفسها من طائرة لا تُصدر أي ضجيج على الإطلاق.

الدرس 4

الخريطة: كيف تصنع آذان كثيرة صورة واحدة

العلم الذي تحتاج إليه

يفكّ الهوائي الواحد، مع مستقبله، ترميز الرسائل التي يستطيع سماعها فيعرف موقع وارتفاع وهوية كل طائرة متكلمة ضمن أفقه، وهو دائرة تقريبية قطرها بضع مئات من الكيلومترات للحركة العالية وأصغر بكثير للمنخفضة. ولرؤية بلد كامل، يلزم كثير من هذه المستقبلات، متفرقة بحيث تتداخل دوائرها، ويرسل كل منها ما يسمعه عبر الإنترنت إلى حاسوب مركزي. ويؤدّي ذلك الحاسوب مهمتين: يدمج: فالطائرة العالية يسمعها عادة عشرة أو عشرون مستقبلًا في آن واحد، ويجب التعرف على الرسالة نفسها الواصلة منها جميعًا على أنها طائرة واحدة، لا عشرون. ويتحقق: إن أبلغ مستقبل واحد عن موقع يخالفه كل المستقبلات المجاورة، فذلك البلاغ على الأرجح خطأ في فكّ الترميز ويُنحى جانبًا. والنتيجة هي الخريطة المباشرة، محدّثة كل ثانية، مبنية كليًا مما قالته الطائرات وسمعتها الهوائيات. ويرى مراقبو الحركة الجوية صورة مشابهة، مع الرادار مضافًا كإي ثاني مستقل، إذ يحتاج نظام يعتمد على قول الطائرة الحقيقة إلى رأي كهذا.

لا تعرض الخريطة إلا الطائرات التي تتكلم. وكل طائرات الركاب تقريبًا تتكلم؛ أما كثير من الطائرات الخاصة الصغيرة والطائرات الشراعية والمناطيد فليست ملزمة بذلك، والطائرات العسكرية تختار غالبًا ألا تفعل. فالخريطة صادقة لكنها غير كاملة، وهذا شيء يستحق أن يتعلّمه الطفل عن أي خريطة، وطريقة طبيعية لإنهاء الدورة بسؤال لا بنقطة ختامية.

كيف تدرّسه

عد إلى الشبكة الأرضية من الدرس 1، لكن الأبراج الآن لا تستطيع سماع كل شيء. ضع ثلاثة أو أربعة «هوائيات» (أطفال مع شبكات ورقية) في زوايا الغرفة وأخبر كلاً منهم أنه لا يستطيع سماع إلا الطائرات في نصفه أو ربعه من الشبكة؛ وتعلن الطائرات كما من قبل. ثم اطلب من الهوائيات أن تجمع أوراقها وتضعها جنبًا إلى جنب. الصورة المجعّعة فيها كل طائرة؛ وكل ورقة منفردة فيها بعضها فقط. وتظهر بعض الطائرات على ورقين، وعلى الفصل أن يتفق على أنها الطائرة نفسها، لا طائرتان. هذه هي مهمة الدمج كلها، ينجزها أطفال في العاشرة في خمس دقائق، وترسخ فكرة أن الخريطة أحجية من مستمعين كثير.

ثم اجعله حقيقيًا. اعرض الخريطة المباشرة على جهاز العرض، مكبرة على المدرسة، وأعط كل مجموعة طائرة واحدة تتابعها عشر دقائق: رمز نداءها، وارتفاعها، وسرعتها، ومن أين جاءت وإلى أين تتجه. اجعلهم يملؤون بطاقة لها ويثبتون البطاقة على خريطة جدارية للمنطقة في المكان الذي كانت فيه عندما رأوها آخر مرة. وبينما يعملون، اربط ما يرونه بسلسلة الدورة، جملة جملة: تلك الطائرة تتكلم مرتين في الثانية؛ ورسالتها تركب ضوءًا خفيًا؛ وهوائي على سطح أحدهم، في حدود 400 km، التقطها؛ وذلك الهوائي أرسل الرسالة إلى الحاسوب الذي يرسم هذه الخريطة؛ ولهذا تستطيع قراءة ارتفاعها على الشاشة. اطلب من الفصل أن يروي لك السلسلة بكلماتهم؛ هذا هو التقييم، ومعظم الفصل ينبغي أن يكون قادرًا عليه الآن.

اختم بسؤالين. ماذا سيحدث لو توقفت طائرة عن الكلام؟ ستختفي من الخريطة، لكن المراقبين سيبقى لديهم الرادار. وهل كل الطائرات في السماء على الخريطة؟ لا، ومناقشة أيها مفقود، ولماذا قد لا يريد أحدهم أن يُرى، مكان جيد لترك فصل فهم أن الخريطة تُصنع من قياسات وأنها كاملة بقدر مستمعها فقط.

ما يخطئ فيه الأطفال، وما تقوله

تعود فكرة أن «الأقمار الاصطناعية تصنع الخريطة» هنا بإصرار كبير، لأن الخريطة على شاشة والشاشات تأتي من الإنترنت، في أذهان الأطفال، يأتي من الفضاء. فكّكها بلطف: الأقمار الاصطناعية لا تخبر الطائرة إلا بالوقت؛ والطائرة تحسب مكانها؛ والطائرة تقوله؛ والهوائيات على الأسطح تسمعه؛ والحاسوب يرسمه. كل خطوة على الأرض إلا الأولى، وستعمل الخريطة بالجودة نفسها لو استُبدل بالأقمار الاصطناعية أي شيء آخر يتيح للطائرة أن تجد نفسها.

التقييم: هل يستطيعون رواية القصة؟

للدورة ناتج تعلّم واحد بأربع حلقات، والتقييم هو ببساطة ما إذا كان الطفل يستطيع رواية السلسلة بالترتيب مع الأسباب. اطلب من كل طفل، أو كل مجموعة، أن يشرح كيف تصل الطائرة إلى الخريطة، واستمع إلى الحلقات الأربع: الطائرة تعرف مكانها وتقوله، مرارًا وتكرارًا، من دون أن تُسأل؛ والرسالة تسافر كموجة راديوية، وهي ضوء لا تراه أعيننا ولا تشبه الصوت في شيء؛ والهوائي، أذن معدنية مضبوطة، يلتقطها، لكن فقط من الطائرات فوق انحناء الأرض؛ وهوائيات كثيرة معًا، تتشارك ما تسمعه، تصنع الخريطة. والطفل بين 6 و8 سنوات الذي يرويها كقصة بالخطوات الأربع في الترتيب الصحيح قد حقّق الناتج. والطفل بين 9 و11 سنة ينبغي أن يكون قادرًا أيضًا على إعطاء سبب عند كل خطوة: لماذا مرتين في الثانية، لماذا ضوء وليس صوتًا، لماذا 7 cm ولماذا عاليًا، لماذا هوائيات كثيرة وليس واحدًا.

تنتهي صفحة الطالب باختبار قصير يستطيع الفصل أدائه على جهاز لوحي أو برفع الأيدي؛ والإجابات، مع التعليل الذي ينبغي أن تتوقعه، هي هذه. ترسل الطائرة رسالتها نحو مرتين كل ثانية، لأنها في دقيقة تكون قد تحرّكت 15 km وتصير الخريطة بلا فائدة. ولا تحتوي الرسالة على أسماء الركاب، بل على هوية الطائرة وموقعها وارتفاعها وسرعتها فقط. والموجة الراديوية ضوء لا تراه أعيننا، لا صوت، لأنها لا تحتاج إلى هواء وتسير أسرع بنحو مليون مرة. ويوضع الهوائي على سطح ليمتدّ خط بصره المستقيم أبعد فوق انحناء الأرض، لا ليكون أقرب إلى الطائرات. وتحتاج الخريطة إلى هوائيات كثيرة لأن كلًّا منها لا يستطيع سماع إلا دائرة من السماء قطرها بضعة مئات من الكيلومترات.

والمدرسة التي تودّ استضافة مستقيل صغير على سطحها، لتظهر رقعتها الخاصة من السماء على الخريطة المباشرة وينتهي الدرس 4 بهوائي الفصل نفسه، تجد كل ما تحتاج إليه في صفحة «كن مغدّيًا».

التالي

مستقبل على سطح المدرسة

تنتهي الدروس الأربعة طبيعيًا بمستقبل يَخَصُّ المدرسة. والورشة العملية هي الدليل الكامل: القطع وأسعارها (100 إلى 150 يورو، أو Raspberry Pi موجود أصلًا)، والهوائي الذي تختاره وأين يوضع، وكيف يُحصَر الحاسوب ويُثَبَّت مغدّي Dataero، والقياسات التي يستطيع الفصل إجراؤها به على مدى عام. وتظهر محطة المدرسة على الخريطة العامة باسم المدرسة، وتجيب لوحة تحكمها عن سؤال «ما تلك الطائرة؟» كل يوم من أيام السنة.

افتح الورشة العملية <https://radar.dataero.eu/ar/learning/workshop>