سنین 6 تا 11 سال - برای معلم

هواپیماهایی که حرف می‌زنند: یک دورهٔ علوم دبستان در چهار درس

این همان دوره است به شکلی که معلم باید آن را بداند: علم پشت موضوع، یک سطح عمیق‌تر از آنچه کلاس خواهد شنید؛ ترتیبی که ایده‌ها باید به آن ترتیب بیایند؛ آنچه در شش‌سالگی باید گفت و آنچه در ده‌سالگی باید اضافه کرد؛ نمایش‌هایی که هر ایده را منتقل می‌کنند و دلیل کارآمدی‌شان؛ و تصورات نادرستی که کودکان با خود می‌آورند. چهار درس حدوداً 50 دقیقه‌ای، که معمولاً در دو هفته پخش می‌شوند.

آموزش - https://radar.dataero.eu/fa/learning/ages-6-11 2026-11-21

فهرست مطالب

پیش از شروع: دوره چه چیزی را آموزش می‌دهد و چرا به چهار درس می‌ارزد
درس 1 آسمان شلوغ و هواپیمای سخنگو
درس 2 نور نامرئی: چه چیزی پیام را حمل می‌کند
درس 3 گوش‌های فلزی و زمین گرد: پیام چگونه گرفته می‌شود، و از چه فاصله‌ای
درس 4 نقشه: گوش‌های زیاد چگونه یک تصویر می‌سازند
ارزیابی: آیا می‌توانند داستان را تعریف کنند؟
بعدی یک گیرنده روی پشت‌بام مدرسه

پیش از شروع: دوره چه چیزی را آموزش می‌دهد و چرا به چهار درس می‌ارزد

هر هواپیمای مسافربری در آسمان اروپا تقریباً دو بار در ثانیه یک پیام رادیویی کوتاه پخش می‌کند که هویت، موقعیت، ارتفاع و سرعت آن را می‌گوید. نام این سامانه ADS-B است و از سال 2020 برای بیشتر هواپیماها اجباری شده است. مراقبان پرواز به آن تکیه می‌کنند؛ نقشه‌های زندهٔ پرواز روی هر گوشی هم همین‌طور. برای یک کلاس دبستانی این موضوعی تقریباً بی‌نقص است، چون چیزهایی را که کودکان از قبل دربارهٔ آن‌ها کنجکاوند، یعنی هواپیماهایی که می‌بینند و می‌شنوند، به فیزیکی وصل می‌کند که برنامهٔ درسی از شما می‌خواهد آموزش دهید: اینکه نور و صدا دو نوع چیز متفاوت‌اند، اینکه نور در خط راست حرکت می‌کند، اینکه موج‌ها طول دارند، اینکه زمین کره است و این پیامدهای دیدنی دارد، اینکه اطلاعات را می‌توان رمزگذاری کرد و فرستاد، و اینکه نقشه از اندازه‌گیری‌ها ساخته می‌شود. موضوع واقعی و امروزی است؛ هیچ بخشی از آن یک مدل اسباب‌بازی نیست.

دوره از منطق خود سامانه پیروی می‌کند، چون همین منطق ترتیب درست آموزش هم هست. نخست کلاس باید درک کند که آسمان پر از ترافیک سریع و نامرئی است که کسی باید حساب آن را نگه دارد. سپس اینکه هر هواپیما می‌داند کجاست و این را بارها و بارها در پیامی چهاربخشی اعلام می‌کند. سپس اینکه پیام به شکل موج رادیویی سفر می‌کند، و موج رادیویی گونه‌ای از نور است. سپس اینکه آنتن آن را می‌گیرد، و زمین گرد تعیین می‌کند تا چه فاصله‌ای. و در پایان اینکه آنتن‌های زیاد با هم نقشه را می‌سازند. هر درس یک حلقه به این زنجیره اضافه می‌کند، و در پایان همین زنجیره است که ارزیابی می‌کنید: آیا کودک می‌تواند داستان را از هواپیما تا نقشه، به ترتیب و با دلایل درست، تعریف کند؟

به هیچ پیش‌زمینه‌ای در هوانوردی یا رادیو نیاز ندارید. هر درس در ادامه با علمی آغاز می‌شود که شما باید بفهمید، یک سطح عمیق‌تر از جایی که کلاس می‌رود، تا بتوانید به پرسشِ پشتِ پرسش پاسخ دهید. اگر شرح کامل بزرگسالانه را می‌خواهید، دورهٔ مرجع در صفحهٔ اصلی دوازده فصل دارد؛ فصل‌هایی که برای این گروه سنی بیشترین اهمیت را دارند فصل‌های 3، 6 و 7 هستند. دو نکته را باید در سراسر دوره روشن در ذهن داشت، چون این دو جایی هستند که بزرگسالان بیش از همه چیزی نادرست آموزش می‌دهند. رادیو صدا

نیست؛ نوری است به رنگی که چشم ما نمی‌بیند، و این تفاوت قلب درس 2 است. و در این سامانه هواپیما «توسط ماهواره‌ها دیده» یا «با رادار پیدا» نمی‌شود: موقعیت خودش را با گوش دادن به ماهواره‌ها حساب می‌کند و سپس آن را اعلام می‌کند. هیچ‌کس هواپیما را پیدا نمی‌کند. هواپیما خودش می‌گوید.

دربارهٔ تفاوت‌گذاری: دوره برای کل بازهٔ 6 تا 11 سال نوشته شده، و متن هر درس می‌گوید کجا راه گروه کوچک‌تر و بزرگ‌تر از هم جدا می‌شود. به‌طور کلی، کلاسی از کودکان شش تا هشت ساله باید داستان، نقش‌آفرینی، طناب و نقشه را دریافت کند و در پایان بتواند بگوید «هواپیماها روی یک موج پیام می‌فرستند، آنتن آن را می‌گیرد، و این نقشه را می‌سازد». کلاسی از کودکان نه تا یازده ساله می‌تواند عددها را بپذیرد (دو بار در ثانیه، 300 000 کیلومتر در ثانیه، موجی 27 سانتی‌متری، افقی 400 کیلومتری)، و همچنین این ایده را که پیام از پاسخ‌های بله یا نه ساخته شده، و استدلال دربارهٔ افق را، و در پایان باید بتواند توضیح دهد چرا هر مرحله لازم است.

درس 1

آسمان شلوغ و هواپیمای سخنگو

علمی که لازم دارید

یک هواپیمای مسافربری در ارتفاع کروز حدود ده کیلومتر بالاتر است و با سرعتی نزدیک به 900 کیلومتر در ساعت حرکت می‌کند، یعنی هر ثانیه 250 متر. در آن ارتفاع دیدنش دشوار و برآورد کردنش ناممکن است: کودکی که یک برق یا یک رد بخار می‌بیند هیچ راهی ندارد بفهمد آن چقدر دور است، چقدر بالاست یا به کجا می‌رود، و خلبانی هم که به هواپیمای دیگری نگاه می‌کند همین‌طور. بالای یک شهر بلژیکی تقریباً همیشه چند هواپیما هم‌زمان در آسمان هست، که بیشترشان در ارتفاع بالا و در مسیر میان کشورهای دیگر از آنجا می‌گذرند. مراقبت پرواز برای دور نگه داشتن آن‌ها از هم به موقعیت، ارتفاع و جهت هر هواپیما، به‌طور پیوسته، نیاز دارد. قواعد جدایی ساده‌اند: در فضای هوایی‌ای که مراقبان پرواز اداره می‌کنند، هواپیماها باید دست‌کم 300 متر در ارتفاع یا چند کیلومتر در افق از هم فاصله داشته باشند.

در بیشتر سده‌ای که گذشت، راه دانستن جای هواپیماها رادار بود: یک آنتن بزرگ چرخان که یک ضربهٔ رادیویی می‌فرستد و به پژواک ضعیف آن گوش می‌دهد. رادار هنوز وجود دارد، اما سامانه‌ای که این دوره دربارهٔ آن است مسئله را وارونه می‌کند. هر هواپیمای امروزی یک گیرندهٔ ناوبری ماهواره‌ای دارد، همان فناوری نقشه‌های ماشین یا گوشی، و بنابراین همیشه موقعیت خودش را با دقت چند متر می‌داند. یک رادیوی کوچک به نام ترانسپوندر هم دارد. ADS-B این دو را به هم وصل می‌کند: تقریباً دو بار در ثانیه، ترانسپوندر پیام کوتاهی می‌فرستد که هویت هواپیما، موقعیتش بر اساس ماهواره‌ها، ارتفاعش، و سرعت و جهتش را در بر دارد. پیام به‌طور خودکار فرستاده می‌شود، بی‌آنکه کسی آن را بخواهد و بی‌آنکه گیرندهٔ خاصی داشته باشد: یک پخش است، مثل یک ایستگاه رادیویی، و هرکس گیرندهٔ مناسب داشته باشد می‌تواند آن را بشنود. معنای حروف همین است: Automatic (خودکار، هیچ‌کس آن را راه نمی‌اندازد)، Dependent (وابسته، درستی‌اش به تجهیزات خود هواپیما بستگی دارد)، Surveillance (مراقبت، هدفش دانستن جای هواپیماهاست)، Broadcast (پخش، برای همه فرستاده می‌شود).

خود پیام دیجیتال است. ترانسپوندر نمی‌تواند حروف یا عددها را مستقیم بفرستد؛ فقط می‌تواند ضربه یا نبودِ ضربه بفرستد، و بنابراین پیام رشته‌ای از 112 پاسخ بله یا نه است که هرکدام یک میلیونیم ثانیه طول می‌کشد و همه از پیش بر سر معنای آن توافق کرده‌اند. نخستین گروه از آن‌ها، به طول 24 پاسخ، کد هویت دائمی هواپیماست که هنگام ثبت به آن داده می‌شود، کمی شبیه پلاکی که هرگز عوض نمی‌شود. بقیه، بسته به نوع پیام، موقعیت، ارتفاع، سرعت یا شناسهٔ رادیویی پرواز را حمل می‌کنند. 24 پاسخ آخر برای وارسی است: شنونده یک محاسبهٔ ثابت روی پیام انجام می‌دهد و نتیجه را با وارسی مقایسه می‌کند، و اگر با هم نخوانند، چیزی در راه به‌هم ریخته و پیام دور انداخته می‌شود. این مهم است، چون بالای یک فرودگاه شلوغ هواپیماهای زیادی هم‌زمان حرف می‌زنند

و پیام‌هایشان گاهی روی هم می‌افتد. ارتفاع در پیام با ماهواره اندازه‌گیری نمی‌شود بلکه از فشار هوای بیرون هواپیما، که با بالا رفتن پیوسته کم می‌شود؛ این همان دلیلی است که گوش‌هایتان در آسانسور یا تونل کوهستانی می‌گیرد، و کودکان بزرگ‌تر از این ارتباط لذت می‌برند.

چگونه آن را آموزش دهید

با آسمان شروع کنید، نه با سامانه. بپرسید چه کسی این هفته هواپیمایی دیده، کجا، فکر می‌کند چقدر بالا بود، و خلبان بدون جاده چطور ممکن است بداند کجاست. بگذارید حدس‌ها جاری شوند؛ «خلبان از پنجره بیرون را نگاه می‌کند» و «یک نقشه هست» هر دو پیش خواهند آمد، و هر دو نیمه‌درست‌اند. سپس نقشهٔ زنده را روی ویدئوپروژکتور بیاورید، روی شهر بزرگنمایی کنید، و هواپیماها را با هم بشمارید. فاصلهٔ میان انتظار کلاس و آنچه نقشه نشان می‌دهد قلاب کل دوره است، و ارزش دارد رویش مکث کنید: هرکدام از این نمادها هواپیمایی است که همین حالا دارد حرف می‌زند.

حالا داستان اصلی را در یک نفس تعریف کنید، چون کودکان داستان را بهتر از تعریف به یاد می‌سپارند: هواپیما همیشه می‌داند کجاست، چون به ماهواره‌هایی که بسیار بالاتر از آن‌اند گوش می‌دهد؛ و دو بار در هر ثانیه، خطاب به هیچ‌کس خاصی، فریاد می‌زند: «این منم، این‌جا هستم، این‌قدر بالا، این‌قدر تند». هیچ‌کس از او نخواست. هرگز دست نمی‌کشد. و هرکس گوشی از نوع درست داشته باشد می‌تواند آن را بشنود. با کودکان شش تا هشت ساله، همین جمله، تکرارشده و سپس بازی‌شده، خودِ درس است. با کودکان نه تا یازده ساله یک قدم جلوتر بروید و توضیح دهید که فریاد از پاسخ‌های بله یا نه ساخته شده، که 24 تا از آن‌ها نام هواپیما را می‌سازند، و بگذارید (با کمک) به این برسند که 24 پاسخ بله یا نه حدود 17 میلیون نام مختلف می‌دهد، بیش از اندازه برای همهٔ هواپیماهایی که تاکنون ساخته شده. نکته‌ای که باید جا بیفتد این است که هواپیما «تماشا» نمی‌شود: خودش می‌گوید. آن را به هر دو شکل بگویید، «هیچ‌کس هواپیما را پیدا نمی‌کند، هواپیما خودش را اعلام می‌کند»، چون ایدهٔ مخالف ریشه‌ای عمیق دارد و در درس 4 دوباره سر بر می‌آورد.

نمایش این درس بازی برج مراقبت است، و ارزشمندترین نیم‌ساعت کل دوره است. با چسب یک جدول پنج در پنج روی زمین بکشید، با حروف در یک طرف و عددها در طرف دیگر. نیمی از کلاس هواپیما هستند؛ هرکدام کارتی با یک شناسهٔ رادیویی، یک ارتفاع و یک سرعت دارد. آن‌ها آهسته از روی جدول رد می‌شوند و هر چند قدم پیامشان را بلند اعلام می‌کنند: «DTA12، خانهٔ C3، ده هزار متر، تند». نیمهٔ دیگر برج مراقبت هستند، هرکدام با یک نسخهٔ کاغذی از جدول، و باید هر هواپیما را همان جایی بکشند که خودش می‌گوید. سپس جایشان را عوض کنید. سپس، و این بخشی است که آموزش می‌دهد، بازی را دوباره اجرا کنید در حالی که هواپیماها فقط دقیقه‌ای یک بار اجازهٔ حرف زدن دارند. نقشه‌های برج‌ها از هم می‌پاشد؛ هواپیماها پیش از آنکه کسی بفهمد خانه عوض کرده‌اند. از کلاس بپرسید چرا هواپیماهای واقعی ثانیه‌ای دو بار حرف می‌زنند، و خودشان به شما خواهند گفت.

با گروه بزرگ‌تر یک گونهٔ دوم هم اضافه کنید: دو هواپیما دقیقاً در یک لحظه اعلام می‌کنند، و برج باید آنچه را شنیده ثبت کند. چیزی درهم‌وبرهم شنیده است. توضیح دهید که برای همین است که پیام واقعی در پایانش یک وارسی دارد: پیام درهم از وارسی رد نمی‌شود و کنار گذاشته می‌شود، و هواپیما به‌هرحال نیم ثانیه بعد حرفش را تکرار می‌کند. کودکانی که برج بوده‌اند فوراً می‌فهمند چرا هم تکرار و هم وارسی لازم است.

کودکان چه چیزی را اشتباه می‌فهمند، و چه باید گفت

رایج‌ترین ایدهٔ نادرست این است که ماهواره‌ها از بالا هواپیماها را می‌بینند، یا رادار آن‌ها را پیدا می‌کند. تصویر درست این است که هواپیما به ماهواره‌ها گوش می‌دهد تا جای خودش را پیدا کند، و سپس حرف می‌زند. یک راه مفید برای گفتنش: ماهواره مثل ناقوس کلیسایی است که ساعت را اعلام می‌کند؛ ساعت را به همه می‌گوید، اما هیچ نمی‌داند چه کسی گوش می‌دهد. ایدهٔ نادرست

دوم این است که خلبان پیام را می‌فرستد. هیچ‌کس نمی‌فرستد؛ ترانسپوندر از لحظه‌ای که هواپیما شروع به حرکت می‌کند خودش آن را می‌فرستد. سومی این است که پیام به «فرودگاه» می‌رود. به همه می‌رود: هواپیماهای دیگر هم گوش می‌دهند و از آن برای دور ماندن از یکدیگر استفاده می‌کنند، و هر آنتنی روی هر پشت‌بامی هم همین‌طور، که درس 4 همان‌جا به پایان می‌رسد.

درس 2

نور نامرئی: چه چیزی پیام را حمل می‌کند

علمی که لازم دارید

پیام به شکل یک موج رادیویی از هواپیما بیرون می‌رود، و تنها ایده‌ای که این درس باید جا بیندازد، چون کل فیزیک دورهٔ متوسطه بر آن بنا می‌شود، این است که موج رادیویی و پرتو نور از یک جنس‌اند. هر دو موج الکترومغناطیسی‌اند: موج‌هایی از نیروی الکتریکی و مغناطیسی که در فضا حرکت می‌کنند، بی‌آنکه به هوا یا ماده‌ای برای حملشان نیاز داشته باشند، با سرعت نور، که بسیار نزدیک به 300 000 کیلومتر در هر ثانیه است. چیزی که یکی از این موج‌ها را نور قرمز، دیگری را آبی و دیگری را موج رادیویی می‌کند، فقط سرعت نوسان آن است، یعنی بسامدش. چشم‌های ما به محدودهٔ باریکی از بسامدها پاسخ می‌دهند، که آن را به شکل رنگ‌های قرمز تا بنفش تجربه می‌کنیم. رادیو بسیار آهسته‌تر نوسان می‌کند، و بنابراین چشم نمی‌تواند آن را ببیند، درست همان‌طور که گوش نمی‌تواند صدای سوت سگ را بشنود. پیام هواپیما با بسامد 1 090 میلیون نوسان در ثانیه فرستاده می‌شود، که با معیارهای انسانی بسیار سریع و با معیارهای نور بسیار کند است: نور سبز حدود نیم میلیون بار سریع‌تر نوسان می‌کند.

چون همهٔ موج‌های الکترومغناطیسی با یک سرعت حرکت می‌کنند، بسامد طول موج را تعیین می‌کند، یعنی فاصلهٔ یک قله تا قلهٔ بعدی: موج در یک ثانیه 300 000 کیلومتر می‌رود و f نوسان کامل می‌کند، پس هر نوسان 300 000 کیلومتر تقسیم بر f را می‌پوشاند. برای موج هواپیما این عدد 27.5 سانتی‌متر می‌شود، تقریباً طول یک خط‌کش مدرسه. برای نور سبز حدود نیم‌هزارم میلی‌متر است. برای یک ایستگاه رادیویی FM سه متر است. این عدد، 27.5 سانتی‌متر، همان است که کلاس در درس 3 دوباره با آن روبه‌رو می‌شود، چون اندازهٔ آنتن را تعیین می‌کند.

اشتباهی که باید از آن جلوگیری کنید یکی دانستن رادیو و صداست، و ارزش دارد بفهمید چرا این‌قدر رایج است. «رادیو» در گفتار روزمره جعبه‌ای است که صدا تولید می‌کند، پس کودکان (و بسیاری از بزرگسالان) گمان می‌کنند موج‌های رادیویی نوعی صدا هستند که در هوا حرکت می‌کنند. این دو اصلاً ربطی به هم ندارند. صدا موج فشار است: مولکول‌های هوا به همسایه‌هایشان برخورد می‌کنند، و آن‌ها به همسایه‌های خود. صدا برای حرکت به ماده نیاز دارد، با سرعتی حدود 340 متر در ثانیه پیش می‌رود، و در خلأ صدایی وجود ندارد. رادیو به هیچ چیز نیاز ندارد و از فضای خالی میان ماهواره و هواپیما می‌گذرد؛ نزدیک به یک میلیون بار سریع‌تر از صدا حرکت می‌کند. اگر هواپیمایی در 20 کیلومتری در یک لحظه هم صدایی تولید کند و هم پیامی بفرستد، پیام در حدود 67 میلیونیم ثانیه به شما می‌رسد و صدا حدود یک دقیقه بعد. کودکان این تأخیر را از رعد و از تماشای ضربه به توپ فوتبال در دوردست می‌شناسند، و این دانسته بهترین متحد شماست.

چگونه آن را آموزش دهید

از چیزی شروع کنید که می‌دانند: چیزهایی که وجود دارند اما ما نمی‌توانیم ببینیم یا بشنویم. سوت سگ، نگاه زنبور به گل، کنترل از راه دوری که «چیزی» به تلویزیون «می‌فرستد»، وای‌فای ساختمان. سپس ادعا را صریح بیان کنید: پیام هواپیما سوار بر نوعی نور است که چشم ما نمی‌بیند، و چراغ‌قوه و رادیوی هواپیما خویشاوندند. چراغ‌قوه‌ای را روشن کنید و بپرسید نورش کجاست: همه‌جای اتاق، در همان لحظه، بی هیچ تأخیری که کسی متوجه شود. سپس جملهٔ کلیدی برای گروه کوچک‌تر: رادیو رنگی است که چشم ما نمی‌بیند، و همین حالا از هر هواپیمایی تا 400 کیلومتری از این اتاق رد می‌شود، و ما هیچ چیزی حس نمی‌کنیم. بسیاری از کودکان این را کمی هیجان‌انگیز می‌یابند، و درست هم هست.

نمایش طناب به ایدهٔ موج جسم می‌دهد. دوتا دوتا، یک کودک طناب را ثابت نگه می‌دارد و دیگری سر آزاد آن را تکان می‌دهد. تکان آهسته چند موج بلند و تنبل در طول طناب پدید می‌آورد؛ تکان تند موج‌های کوتاه بسیاری. بگذارید در هر حالت فاصلهٔ میان قله‌ها را با یک متر چوبی اندازه بگیرند و قاعده را ببینند: هرچه تندتر تکان دهید، موج‌ها کوتاه‌ترند. این یک تشبیه سست نیست بلکه رابطهٔ واقعی است، چون سرعت موج در طول طناب را خود طناب تعیین می‌کند و بنابراین بسامد و طول موج دقیقاً همان‌طور با هم معاوضه می‌شوند که برای نور. به کلاس بگویید موج هواپیما در مقایسه با نور از نوع بلند و تنبل است، و از قله تا قله به اندازهٔ یک خط‌کش است. خط‌کش را کنار موج طناب روی زمین بگذارید و بگذارید ببینند. با گروه بزرگ‌تر قاعده را بنویسید: سرعت = بسامد ضرب در طول موج، و بگذارید آن را روی طناب وارسی کنند، با شمردن تکان‌ها در ثانیه و اندازه گرفتن از قله تا قله. سپس عددهای هواپیما را به آن‌ها بدهید و بگذارید ببینند که 300 000 کیلومتر در ثانیه تقسیم بر 1 090 میلیون در ثانیه برابر است با 27.5 سانتی‌متر؛ خودشان به‌تنهایی این تقسیم را انجام نمی‌دهند، اما می‌توانند آن را روی تخته دنبال کنند و این عدد را از آن خود کنند.

برای جدا کردن رادیو از صدا، مسابقهٔ سریع‌ترین پیام‌رسان را برگزار کنید. صفی از کودکان یک کلمهٔ پچ‌پچ‌شده را از یک سر سالن به سر دیگر می‌رسانند؛ زمانش را بگیرید. سپس از یک سر با چراغ‌قوه نور بزنید و بخواهید سر دیگر دستش را بالا ببرد؛ هیچ تأخیر قابل اندازه‌گیری‌ای نیست. دربارهٔ دلیلش گفت‌وگو کنید: صدا باید از هر تکه هوا به تکهٔ بعدی منتقل شود، مثل پچ‌پچی که از کودکی به کودک دیگر می‌رسد، و این زمان می‌برد؛ نور به کسی نیاز ندارد که آن را منتقل کند. سپس، و این همان لحظه‌ای است که باید صریح بود، بگویید که پیام رادیویی هواپیما مثل چراغ‌قوه است، نه مثل پچ‌پچ، و صدای موتور هواپیمایی که می‌شنوید مثل پچ‌پچ است، که مدت‌ها پس از آنکه هواپیما رفته می‌رسد. می‌توان عددها را به گروه بزرگ‌تر داد، 340 متر در ثانیه در برابر 300 000 کیلومتر در ثانیه، و پرسید نور چند برابر سریع‌تر است؛ پاسخ، نزدیک به یک میلیون، رضایت‌بخش است.

کودکان چه چیزی را اشتباه می‌فهمند، و چه باید گفت

اشتباه دربارهٔ صدا در بالا بررسی شد و در درس 3 و درس 4 به تکرار نیاز خواهد داشت؛ انتظار داشته باشید «آنتن هواپیما را می‌شنود» دوباره به «آنتن صدا را می‌شنود» بلغزد. اشتباه دوم این است که موج‌های رادیویی مثل بوها «در هوا» هستند و این‌طرف و آن‌طرف می‌روند؛ آن‌ها اصلاً با هوا حمل نمی‌شوند و در فضای خالی هم به همان خوبی حرکت می‌کنند. سومی، از گروه بزرگ‌تر، این است که فکر کنند تکان تندتر موج را سریع‌تر حرکت می‌دهد؛ این‌طور نیست، موج‌ها را کوتاه‌تر می‌کند، و اگر بگذارید حرکت یک قلهٔ تنها را تماشا کنند، طناب همین را نشان می‌دهد. سرانجام، اگر کودکی پرسید وقتی رادیو نور است چرا نمی‌توانیم آن را ببینیم، پاسخ صادقانه این است که چشم‌های ما برای رنگ‌هایی ساخته شده‌اند که خورشید بیشتر از همه از آن‌ها می‌دهد و بهتر از همه از هوا می‌گذرند؛ رادیو همیشه آنجا بوده، و ما فقط وقتی متوجهش شدیم که برایش چشم‌های فلزی ساختیم، که موضوع درس 3 است.

درس 3

گوش‌های فلزی و زمین گرد: پیام چگونه گرفته می‌شود، و از چه فاصله‌ای

علمی که لازم دارید

موج رادیویی که از روی یک تکه فلز می‌گذرد، الکترون‌های فلز را هم‌گام با نوسان خود به جلو و عقب هل می‌دهد. همین جریان متناوب بسیار کوچک همان «شنیدن» است؛ گیرنده‌ای که به فلز وصل است آن را تقویت می‌کند و ضربه‌ها را از روی آن می‌خواند. این هل دادن وقتی از همه قوی‌تر است که تکه فلز برای موج طول درستی داشته باشد: میله‌ای به طول یک‌چهارم طول موج، ایستاده روی یک سطح فلزی تخت، همان‌طور به موج پاسخ می‌دهد که تاب به هلی که با ریتم خودش زمان‌بندی شده. برای موج 27.5 سانتی‌متری هواپیما، یک‌چهارم برابر 6.9 سانتی‌متر است، و برای همین است که آنتن واقعی ADS-B، روی هواپیما و روی زمین، یک میلهٔ کوتاه به بلندی فقط چند سانتی‌متر است. آنتن گوشی کوک‌شده است. سیمی با طولی کاملاً متفاوت هم چیزی می‌گیرد، اما بسیار کمتر، و می‌توان صادقانه به کلاس گفت مدلی که خواهند ساخت اندازهٔ درستِ آنتن واقعی را دارد.

گوش از چه فاصله‌ای می‌تواند بشنود؟ دو چیز آن را محدود می‌کند. سیگنال با فاصله ضعیف‌تر می‌شود، چون فرستندهٔ هواپیما انرژی‌اش را در همهٔ جهت‌ها پخش می‌کند و سهمی که به یک آنتن کوچک می‌رسد با افزایش فاصله کوچک‌تر می‌شود: دو برابر دورتر، یک‌چهارم. اما پیش از آنکه ضعف مسئله شود، هندسه مسئله می‌شود. چون رادیو نور است، در خط راست حرکت می‌کند، و چون زمین کره است، خط راستی که از آنتنی روی پشت‌بام شروع می‌شود زود به زمین می‌خورد. هواپیما فقط تا وقتی شنیده می‌شود که میان آن و آنتن خطی راست و بی‌مانع باشد. هرچه هواپیما بالاتر باشد، این خط پیش از آنکه زمین سد راهش شود دورتر می‌رسد، و هرچه آنتن بالاتر باشد، باز هم دورتر. محاسبه‌اش (فاصله تا افق به کیلومتر تقریباً چهار برابر جذر ارتفاع به متر است) مربوط به دورهٔ متوسطه است؛ برای دورهٔ شما نتیجه کافی است: هواپیمایی که ده کیلومتر بالاست از روی یک پشت‌بام از بیش از 400 کیلومتر دورتر شنیده می‌شود، دورتر از رفت‌وبرگشت بروکسل تا پاریس، در حالی که هواپیمایی که در 50 کیلومتری تازه بلند می‌شود ممکن است کاملاً پشت انحنای زمین پنهان باشد. برای همین است که آنتن‌ها روی پشت‌بام‌ها، دکل‌ها و تپه‌ها قرار دارند، و برای همین است که یک آنتن هواپیماهای بلند را از دور می‌شنود و هواپیماهای پایین را فقط وقتی نزدیک‌اند.

چگونه آن را آموزش دهید

با پرسشی شروع کنید که درس 2 بی‌پاسخ گذاشت: اگر رادیو نوری است که ما نمی‌بینیم، چه چیزی می‌تواند آن را ببیند؟ پاسخ یک گوش فلزی است، یعنی آنتن، و نخستین کار پیدا کردن چندتاست. مودم وای‌فای میله‌هایی دارد یا آن‌ها را درون خود پنهان کرده؛ ماشین بیرون باله‌ای روی سقفش دارد؛ هر گوشی یکی در امتداد لبه‌اش پنهان کرده؛ پشت‌بام مدرسه شاید چندتا داشته باشد. کلاس را بفرستید، یا خودتان با یک عکس بروید، و فهرستی تهیه کنید. بپرسید چه چیز مشترکی دارند: فلزی‌اند، شکل و اندازهٔ خاصی دارند، و اغلب بالا قرار دارند. هر دو مشاهده خودِ درس‌اند، و می‌توانید قول دهید هرکدام را توضیح دهید.

برای اندازه، آنتن مدل را بسازید. هر کودک نواری از مقوا به طول 7 سانتی‌متر و پهنای حدود یک سانتی‌متر می‌بُرد، دورش فویل آلومینیومی می‌پیچد، و آن را در وسط مربعی از مقوا که آن هم با فویل پوشیده شده عمودی می‌گذارد. دربارهٔ اینکه چیست صادق باشید: شکل و اندازهٔ درستی برای موج هواپیما دارد، و یک گیرندهٔ واقعی دقیقاً همین شکل را به کار می‌برد، اما به‌تنهایی نمی‌تواند چیزی را رمزگشایی کند، چون گرفتن موج فقط قدم نخست است و خواندن ضربه‌ها به یک رادیو و یک کامپیوتر نیاز دارد (که دورهٔ متوسطه آن را می‌سازد). سپس اندازه را با تاب توضیح دهید: تاب وقتی از همه بالاتر می‌رود که آن را هم‌زمان با رفت‌وبرگشت خودش هل دهید، و میلهٔ فلزی وقتی از نظر الکتریکی بهتر از همه «تاب می‌خورد» که طولش یک‌چهارم موج باشد. یک خط‌کش 27.5 سانتی‌متری را کنار میلهٔ 7 سانتی‌متری بگذارید و نشان دهید که میله یک‌چهارم آن است. گروه بزرگ‌تر می‌تواند اندازه بگیرد و وارسی کند. مربع فویلی زیر آن آینه‌ای است که گوش را کامل می‌کند، و اشکالی ندارد همین را بگویید و همان‌جا رها کنید.

برای ارتفاع، به بیرون بروید و پرسش را با خود ببرید: چرا آنتن‌ها بالا هستند؟ کودکی را در یک سر حیاط بگذارید که اول چمباتمه بزند، سپس بایستد، سپس روی نیمکتی برود، و هر بار بپرسید در سر دیگر چه می‌بیند؛ چیزی که پشت دیواری کوتاه یا ماشینی پارک‌شده پنهان بوده با بالا رفتن او پیدا می‌شود. سپس به زمین برسید: خود زمین منحنی است، مثل بالای یک توپ عظیم، و هر چیزی که به اندازهٔ کافی دور باشد پشت این انحنا پنهان می‌شود، مثل بدنهٔ کشتی‌ای که از افق گذشته در حالی که دکلش هنوز پیداست. آنتن روی پشت‌بام کسی است که روی نیمکت ایستاده. هواپیمایی که بالاست کشتی‌ای است با دکلی بسیار بلند. آن را روی تخته بکشید: دایره‌ای با یک چوب روی آن و خطی راست که دایره را لمس می‌کند؛ هر چیزی بالای خط شنیده می‌شود، هر چیزی زیر آن پشت زمین است. سپس می‌توان عددهای واقعی را به کودکان نه تا یازده ساله داد و خواست آن‌ها را با فاصله‌هایی که می‌شناسند مقایسه کنند: 400 کیلومتر دورتر از رفت‌وبرگشت بروکسل تا پاریس است؛ 50 کیلومتر تقریباً پهنای استان است.

اگر وقت هست، نمایش کوچکی از ضعیف شدن با فاصله ارزش جای خود را دارد: چراغ‌قوه‌ای در سر دیگر یک سالن تاریک یک برگه کاغذ را کم‌رنگ روشن می‌کند؛ اگر به نیمهٔ فاصله آورده شود، همان برگه را به‌طور محسوسی بیش از دو برابر روشن‌تر می‌کند، چون پرتو روی سطح کوچک‌تری پخش شده است. می‌توان قاعده را به کودکان بزرگ‌تر گفت، نصف فاصله یعنی چهار برابر روشنایی، و ارتباطش را هم: رادیوی هواپیما هم به همین شکل پخش می‌شود، و برای همین برای هواپیماهای دور به گیرنده‌ای حساس نیاز است.

کودکان چه چیزی را اشتباه می‌فهمند، و چه باید گفت

کودکان اغلب فکر می‌کنند آنتن بزرگ‌تر حتماً بهتر است، همان‌طور که گوش بزرگ‌تر می‌بود. برای این موج این‌طور نیست: اندازهٔ درست مهم است، و اندازهٔ درست کوچک است. آن‌ها همچنین فکر می‌کنند آنتن‌ها «برای نزدیک‌تر بودن به هواپیماها» بالا هستند؛ فاصلهٔ رو به بالا در برابر فاصلهٔ افقی ناچیز است، و دلیل واقعی انحنای زمین است، که پاسخ جالب‌تری هم هست. سرانجام، اشتباه دربارهٔ صدا اینجا به شکل «آنتن صدای هواپیما را می‌شنود» برمی‌گردد. هر بار آن را اصلاح کنید: آنتن نور نامرئی را می‌گیرد، نه صدا را، و از هواپیمایی که هیچ صدایی هم نداشت به همان خوبی آن را می‌گرفت.

درس 4

نقشه: گوش‌های زیاد چگونه یک تصویر می‌سازند

علمی که لازم دارید

یک آنتن تنها، همراه گیرنده‌اش، پیام‌هایی را که می‌شنود رمزگشایی می‌کند و بنابراین موقعیت، ارتفاع و هویت هر هواپیمای سخنگو در افق خود را می‌داند، دایره‌ای تقریبی به پهنای چند صد کیلومتر برای ترافیک بلند و بسیار کوچک‌تر برای ترافیک پایین. برای دیدن یک کشور کامل، گیرنده‌های زیادی از این نوع لازم است، پخش‌شده طوری که دایره‌هایشان روی هم بیفتند، و هرکدام آنچه را می‌شنود از راه اینترنت به یک کامپیوتر مرکزی می‌فرستد. آن کامپیوتر دو کار انجام می‌دهد. ادغام می‌کند: یک هواپیمای بلند معمولاً هم‌زمان توسط ده یا بیست گیرنده شنیده می‌شود، و پیامی که از همهٔ آن‌ها می‌رسد باید به‌عنوان یک هواپیما شناخته شود، نه بیست. و وارسی می‌کند: اگر یک گیرنده موقعیتی را گزارش کند که همهٔ گیرنده‌های همسایه با آن مخالف‌اند، آن گزارش احتمالاً خطای رمزگشایی است و کنار گذاشته می‌شود. نتیجه نقشهٔ زنده است، که هر ثانیه به‌روز می‌شود و کاملاً از آنچه هواپیما گفته و آنتن‌ها شنیده‌اند ساخته شده است. مراقبان پرواز تصویر مشابهی می‌بینند، با رادار که به‌عنوان نظر دوم مستقل اضافه شده، چون سامانه‌ای که به راستگویی هواپیما وابسته است به چنین نظری نیاز دارد.

نقشه فقط هواپیماهایی را نشان می‌دهد که حرف می‌زنند. تقریباً همهٔ هواپیماهای مسافربری حرف می‌زنند؛ بسیاری از هواپیماهای کوچک شخصی، گلایدرها و بالن‌ها ملزم به آن نیستند، و هواپیماهای نظامی اغلب تصمیم می‌گیرند حرف نزنند. پس نقشه صادق است اما کامل نیست، که آموختن آن دربارهٔ هر نقشه‌ای برای کودک ارزشمند است، و راهی طبیعی برای پایان دادن دوره با یک پرسش به‌جای یک نقطهٔ پایان.

چگونه آن را آموزش دهید

به جدول روی زمین درس 1 برگردید، اما حالا برج‌ها نمی‌توانند همه چیز را بشنوند. سه یا چهار «آنتن» (کودکانی با جدول‌های کاغذی) را در گوشه‌های اتاق بگذارید و به هرکدام بگویید فقط هواپیماهای نیمه یا یک‌چهارم خودش از جدول را می‌شنود؛ هواپیماها مثل قبل اعلام می‌کنند. سپس از آنتن‌ها بخواهید برگه‌هایشان را بیاورند و کنار هم بگذارند. تصویر ترکیبی همهٔ هواپیماها را دارد؛ هر برگهٔ تنها فقط بعضی را. بعضی هواپیماها روی دو برگه هستند، و کلاس باید توافق کند که این‌ها یک هواپیما هستند، نه دوتا. این کل کار ادغام است، که کودکان ده‌ساله در پنج دقیقه انجامش می‌دهند، و این ایده را تثبیت می‌کند که نقشه پازلی از شنونده‌های زیاد است.

سپس آن را واقعی کنید. نقشهٔ زنده را روی ویدئوپروژکتور بیاورید، روی مدرسه بزرگنمایی کنید، و به هر گروه یک هواپیما بدهید تا ده دقیقه دنبالش کند: شناسهٔ رادیویی، ارتفاع، سرعت، از کجا آمده و به کجا می‌رود. بخواهید برایش کارتی پر کنند و کارت را روی نقشهٔ دیواری منطقه در جایی بچسبانند که آخرین بار آن را دیدند. در حالی که کار می‌کنند، آنچه را می‌بینند جمله به جمله به زنجیرهٔ دوره وصل کنید: آن هواپیما ثانیه‌ای دو بار حرف می‌زند؛ پیامش سوار بر نور نامرئی است؛ آنتنی روی پشت‌بام کسی، تا 400 کیلومتری، آن را گرفته؛ آن آنتن پیام را به کامپیوتری فرستاده که این نقشه را می‌کشد؛ و برای همین است که می‌توانید ارتفاعش را روی صفحه بخوانید. از کلاس بخواهید زنجیره را با کلمه‌های خودشان برایتان بازگو کنند؛ این همان ارزیابی است، و بیشتر کلاس تا این زمان باید بتوانند آن را انجام دهند.

با دو پرسش به پایان برسانید. اگر هواپیمایی از حرف زدن دست بکشد چه می‌شود؟ از نقشه ناپدید می‌شود، هرچند مراقبان پرواز هنوز رادار را دارند. و آیا همهٔ هواپیماهای آسمان روی نقشه هستند؟ نه، و گفت‌وگو دربارهٔ اینکه کدام‌ها غایب‌اند، و چرا کسی ممکن است نخواهد دیده شود، جای خوبی برای رها کردن کلاسی است که فهمیده نقشه از اندازه‌گیری‌ها ساخته شده و فقط به اندازهٔ شنونده‌هایش کامل است.

کودکان چه چیزی را اشتباه می‌فهمند، و چه باید گفت

این ایده که «ماهواره‌ها نقشه را می‌سازند» اینجا با سماجت زیادی برمی‌گردد، چون نقشه روی صفحه است و صفحه‌ها از اینترنت می‌آیند و اینترنت، در ذهن کودکان، از فضا می‌آید. آن را به نرمی باز کنید: ماهواره‌ها فقط ساعت را به هواپیما می‌گویند؛ هواپیما حساب می‌کند کجاست؛ هواپیما آن را اعلام می‌کند؛ آنتن‌های روی پشت‌بام‌ها آن را می‌شنوند؛ کامپیوتر آن را می‌کشد. همهٔ مراحل جز اولی روی زمین‌اند، و اگر ماهواره‌ها با هر چیز دیگری جایگزین می‌شدند که به هواپیما امکان پیدا کردن جای خودش را بدهد، نقشه به همان خوبی کار می‌کرد.

ارزیابی: آیا می‌توانند داستان را تعریف کنند؟

دوره یک هدف یادگیری با چهار حلقه دارد، و ارزیابی فقط این است که آیا کودک می‌تواند زنجیره را به ترتیب و با دلیل تعریف کند. از هر کودک، یا هر گروه، بخواهید توضیح دهد هواپیما چگونه روی نقشه می‌آید، و به چهار حلقه گوش دهید: هواپیما می‌داند کجاست و این را بارها و بارها بی‌آنکه از او خواسته شود اعلام می‌کند؛ پیام به شکل موج رادیویی سفر می‌کند، که نوری است که چشم ما نمی‌بیند و هیچ شباهتی به صدا ندارد؛ آنتن، یک گوش فلزی کوک‌شده، آن را می‌گیرد، اما فقط از هواپیماهایی که بالای انحنای زمین‌اند؛ و آنتن‌های زیاد با هم، با به اشتراک گذاشتن آنچه می‌شنوند، نقشه را می‌سازند. کودک شش تا هشت ساله‌ای که آن را به شکل داستانی با چهار مرحله به ترتیب درست تعریف کند، به هدف رسیده است. کودک نه تا یازده ساله باید بتواند در هر مرحله دلیلی هم بیاورد: چرا دو بار در ثانیه، چرا نور و نه صدا، چرا 7 سانتی‌متر و چرا بالا، چرا آنتن‌های زیاد و نه یکی.

صفحهٔ دانش‌آموز با یک آزمون کوتاه تمام می‌شود که کلاس می‌تواند روی تبلت یا با بالا بردن دست به آن پاسخ دهد؛ پاسخ‌ها، همراه با استدلالی که باید انتظار داشته باشید، این‌ها هستند. هواپیما پیامش را تقریباً دو بار در هر ثانیه می‌فرستد، چون در یک دقیقه 15 کیلومتر جابه‌جا شده و نقشه بی‌فایده می‌شد. پیام نام مسافران را ندارد، فقط هویت، موقعیت، ارتفاع و سرعت هواپیما را. موج رادیویی نوری است که چشم ما نمی‌بیند، نه صدا، چون به هوا نیاز ندارد و نزدیک به یک میلیون بار سریع‌تر حرکت می‌کند. آنتن را روی پشت‌بام می‌گذارند تا خط دید مستقیمش از روی انحنای زمین دورتر برود، نه برای نزدیک‌تر بودن به هواپیماها. و نقشه به آنتن‌های زیاد نیاز دارد چون هرکدام فقط دایره‌ای از آسمان به پهنای چند صد کیلومتر را می‌شنود.

مدرسه‌ای که بخواهد یک گیرندهٔ کوچک را روی پشت‌بامش میزبانی کند، تا تکهٔ آسمان خودش روی نقشهٔ زنده دیده شود و درس 4 با آنتن خود کلاس به پایان برسد، همهٔ آنچه لازم دارد را در صفحهٔ «فیدر شوید» پیدا می‌کند.

بعدی

یک گیرنده روی پشت‌بام مدرسه

چهار درس به‌طور طبیعی با گیرنده‌ای که از آنِ مدرسه است به پایان می‌رسند. کارگاه عملی راهنمای کامل است: قطعات و قیمتشان (100 تا 150 یورو، یا یک Raspberry Pi موجود)، آنتنی که باید انتخاب کرد و جایی که باید نصبش کرد، چگونگی آماده کردن کامپیوتر و نصب فیدر Dataero، و اندازه‌گیری‌هایی که یک کلاس می‌تواند در طول یک سال با آن انجام دهد. ایستگاه مدرسه با نام مدرسه روی نقشهٔ عمومی ظاهر می‌شود، و داشبوردش هر روز سال به پرسش «آن هواپیما چیست؟» پاسخ می‌دهد.

باز کردن کارگاه عملی https://radar.dataero.eu/fa/learning/workshop