อายุ 6 ถึง 11 ปี - สำหรับครู

เครื่องบินที่พูดได้: หลักสูตรวิทยาศาสตร์ระดับประถมศึกษาสี่บทเรียน

นี่คือหลักสูตรในแบบที่ครูจำเป็นต้องรู้ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ที่อธิบายลึกกว่าที่นักเรียนจะได้ฟังหนึ่งระดับ ลำดับที่แนวคิดต่างๆ ต้องมาก่อนหลัง สิ่งที่ควรพูดกับเด็กอายุหกขวบและสิ่งที่ควรเพิ่มสำหรับเด็กอายุสิบขวบ การสาธิตที่ถ่ายทอดแต่ละแนวคิดและเหตุผลที่การสาธิตนั้นได้ผล และความเข้าใจผิดที่เด็กนำติดตัวมา สี่บทเรียน บทเรียนละประมาณ 50 นาที โดยทั่วไปแบ่งสอนในช่วงสองสัปดาห์

เรียนรู้ - https://radar.dataero.eu/th/learning/ages-6-11 2026-11-21

สารบัญ

ก่อนเริ่ม: หลักสูตรนี้สอนอะไร และทำไมจึงคุ้มค่าที่จะใช้สี่บทเรียน
บทเรียนที่ 1 ท้องฟ้าที่คึกคักและเครื่องบินที่พูดได้
บทเรียนที่ 2 แสงที่มองไม่เห็น: อะไรพาข้อความไป
บทเรียนที่ 3 หูโลหะและโลกกลม: ข้อความถูกจับได้อย่างไรและจากระยะไกลแค่ไหน
บทเรียนที่ 4 แผนที่: หูจำนวนมากสร้างภาพเดียวได้อย่างไร
การประเมิน: เด็กเล่าเรื่องได้หรือไม่
ถัดไป เครื่องรับบนหลังคาโรงเรียน

ก่อนเริ่ม: หลักสูตรนี้สอนอะไร และทำไมจึงคุ้มค่าที่จะใช้สี่บทเรียน

เครื่องบินโดยสารทุกลำบนท้องฟ้ายุโรปกระจายข้อความวิทยุสั้นๆ ประมาณวินาทีละสองครั้ง โดยระบุตัวตน ตำแหน่ง ความสูง และความเร็วของเครื่อง ระบบนี้เรียกว่า ADS-B และตั้งแต่ปี 2020 เป็นต้นมา ได้กลายเป็นข้อบังคับสำหรับอากาศยานส่วนใหญ่ เจ้าหน้าที่ควบคุมการจราจรทางอากาศพึ่งพาระบบนี้ แผนที่เที่ยวบินสดบนโทรศัพท์ทุกเครื่องก็เช่นกัน สำหรับชั้นเรียนประถมศึกษา นี่เป็นหัวข้อที่เกือบสมบูรณ์แบบ เพราะเชื่อมโยงสิ่งที่เด็กสงสัยอยู่แล้ว คือเครื่องบินที่เขาเห็นและได้ยิน เข้ากับฟิสิกส์ที่หลักสูตรกำหนดให้สอน ได้แก่ แสงและเสียงเป็นสิ่งต่างชนิดกัน แสงเดินทางเป็นเส้นตรง คลื่นมีความยาว โลกเป็นทรงกลมและสิ่งนี้มีผลที่มองเห็นได้ ข้อมูลเข้ารหัสและส่งได้ และแผนที่สร้างขึ้นจากการวัด หัวข้อนี้เป็นของจริงและเป็นปัจจุบัน ไม่มีส่วนใดเป็นแบบจำลองของเล่น

หลักสูตรนี้ดำเนินตามตรรกะของตัวระบบเอง เพราะตรรกะนั้นก็เป็นลำดับการสอนที่ถูกต้องด้วย อย่างแรก นักเรียนต้องเข้าใจว่าท้องฟ้าเต็มไปด้วยการจราจรที่รวดเร็วและมองไม่เห็นซึ่งต้องมีคนคอยติดตาม จากนั้นเข้าใจว่าอากาศยานแต่ละลำรู้ว่าตัวเองอยู่ที่ไหนและบอกออกมาซ้ำแล้วซ้ำเล่าในข้อความที่มีสี่ส่วน จากนั้นเข้าใจว่าข้อความเดินทางเป็นคลื่นวิทยุ และคลื่นวิทยุเป็นแสงรูปแบบหนึ่ง จากนั้นเข้าใจว่าเสาอากาศจับคลื่นนั้นได้ และโลกที่กลมจำกัดระยะทาง สุดท้ายคือเสาอากาศจำนวนมากร่วมกันสร้างแผนที่ แต่ละบทเรียนเพิ่มห่วงหนึ่งห่วงให้ห่วงโซ่นั้น และห่วงโซ่นี้คือสิ่งที่คุณประเมินเมื่อจบหลักสูตร เด็กเล่าเรื่องตั้งแต่อากาศยานไปจนถึงแผนที่ตามลำดับ พร้อมเหตุผลที่ถูกต้องได้หรือไม่

คุณไม่จำเป็นต้องมีพื้นฐานด้านการบินหรือวิทยุ แต่ละบทเรียนด้านล่างเริ่มต้นด้วยวิทยาศาสตร์ในระดับที่คุณต้องเข้าใจ ซึ่งลึกกว่าที่นักเรียนจะเรียนหนึ่งระดับ เพื่อให้คุณตอบคำถามที่อยู่เบื้องหลังคำถามได้ หากคุณต้องการคำอธิบายฉบับผู้ใหญ่เต็มรูปแบบ หลักสูตรอ้างอิงในหน้าหลักมีสิบสองบท บทที่สำคัญที่สุดสำหรับเด็กวัยนี้คือบทที่ 3, 6 และ 7 มีสองเรื่องที่ควรจำไว้ให้ชัดตลอดการสอน เพราะเป็นสองจุดที่ผู้ใหญ่สอนผิดบ่อยที่สุด คลื่นวิทยุไม่ใช่เสียง แต่เป็นแสงสีที่ตา

เรามองไม่เห็น และความแตกต่างนี้คือหัวใจของบทเรียนที่ 2 และในระบบนี้ อากาศยานไม่ได้ “ถูกดาวเทียมมองเห็น” หรือ “ถูกเรดาร์ค้นพบ” แต่คำนวณตำแหน่งของตัวเองด้วยการฟังดาวเทียม แล้วประกาศออกไป ไม่มีใครค้นหาเครื่องบิน เครื่องบินเป็นผู้บอก

เรื่องการสอนให้เหมาะกับความแตกต่างของผู้เรียน หลักสูตรนี้เขียนขึ้นสำหรับช่วงอายุ 6 ถึง 11 ปีทั้งหมด และเนื้อหาของแต่ละบทเรียนระบุว่าเด็กเล็กและเด็กโตแยกทางกันตรงไหน โดยกว้างๆ ชั้นเรียนของเด็กอายุหกถึงแปดปีควรได้เรื่องเล่า การแสดงบทบาทสมมติ เชือก และแผนที่ และเมื่อจบควรพูดได้ว่า “เครื่องบินส่งข้อความไปกับคลื่น เสาอากาศจับคลื่นนั้นได้ และนั่นทำให้เกิดแผนที่” ชั้นเรียนของเด็กอายุเก้าถึงสิบเอ็ดปีรับตัวเลขได้ (วินาทีละสองครั้ง 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที คลื่นยาว 27 เซนติเมตร ขอบฟ้า 400 กิโลเมตร) รับแนวคิดที่ว่าข้อความทำจากคำตอบใช่หรือไม่ใช่ และการให้เหตุผลเรื่องขอบฟ้าได้ และเมื่อจบควรอธิบายได้ว่าทำไมแต่ละขั้นจึงจำเป็น

บทเรียนที่ 1

ท้องฟ้าที่คึกคักและเครื่องบินที่พูดได้

วิทยาศาสตร์ที่คุณต้องรู้

เครื่องบินโดยสารที่ระดับความสูงเดินทางอยู่สูงประมาณสิบกิโลเมตร และเคลื่อนที่ด้วยความเร็วราว 900 km/h หรือ 250 เมตรทุกวินาที ที่ความสูงนั้น เครื่องบินมองเห็นได้ยากและประเมินไม่ได้เลย เด็กที่เห็นประกายแสงหรือทางไอน้ำไม่มีทางบอกได้ว่ามันอยู่ไกลแค่ไหน สูงเท่าไร หรือกำลังไปที่ใด นักบินที่มองดูอากาศยานลำอื่นก็เช่นกัน เหนือเมืองใหญ่ในเบลเยียมแทบจะมีอากาศยานหลายลำอยู่บนท้องฟ้าพร้อมกันเสมอ ส่วนใหญ่บินผ่านที่ระดับสูงระหว่างเดินทางไปมาระหว่างประเทศอื่น เพื่อแยกอากาศยานออกจากกัน การควบคุมการจราจรทางอากาศต้องการตำแหน่ง ความสูง และทิศทางของอากาศยานทุกลำอย่างต่อเนื่อง กฎการแยกระยะนั้นเรียบง่าย ในห้วงอากาศที่เจ้าหน้าที่ควบคุมดูแล อากาศยานต้องห่างกันอย่างน้อย 300 เมตรในแนวตั้ง หรือหลายกิโลเมตรในแนวนอน

ตลอดช่วงส่วนใหญ่ของศตวรรษที่แล้ว วิธีรู้ว่าอากาศยานอยู่ที่ไหนคือเรดาร์ เสาอากาศหมุนขนาดใหญ่ที่ส่งพัลส์วิทยุออกไปแล้วฟังเสียงสะท้อนจางๆ เรดาร์ยังคงมีอยู่ แต่ระบบที่หลักสูตรนี้กล่าวถึงกลับโจทย์นี้เสียใหม่ อากาศยานสมัยใหม่ทุกลำติดตั้งเครื่องรับสัญญาณนำทางด้วยดาวเทียม ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเดียวกับแผนที่ในรถยนต์หรือในโทรศัพท์ จึงรู้ตำแหน่งของตัวเองเสมอโดยคลาดเคลื่อนไม่เกินไม่กี่เมตร และยังมีวิทยุขนาดเล็กที่เรียกว่าทรานสปอนเดอร์ ADS-B เพียงแค่เชื่อมสองสิ่งนี้เข้าด้วยกัน ประมาณวินาทีละสองครั้ง ทรานสปอนเดอร์ส่งข้อความสั้นๆ ที่มีตัวตนของอากาศยาน ตำแหน่งจากดาวเทียม ความสูง และความเร็วกับทิศทาง ข้อความส่งออกไปโดยอัตโนมัติ ไม่มีใครขอ และไม่ได้ส่งถึงผู้รับคนใดโดยเฉพาะ เป็นการกระจายสัญญาณ เหมือนสถานีวิทยุ และใครก็ตามที่มีเครื่องรับที่เหมาะสมก็ได้ยิน นั่นคือความหมายของตัวอักษรแต่ละตัว Automatic (อัตโนมัติ ไม่มีใครสั่งให้ส่ง) Dependent (พึ่งพา ความถูกต้องขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ของอากาศยานเอง) Surveillance (การเฝ้าติดตาม จุดประสงค์คือการรู้ว่าอากาศยานอยู่ที่ไหน) Broadcast (การกระจาย ส่งถึงทุกคน)

ตัวข้อความเป็นแบบดิจิทัล ทรานสปอนเดอร์ส่งตัวอักษรหรือตัวเลขโดยตรงไม่ได้ ส่งได้เพียงมีพัลส์หรือไม่มีพัลส์ ข้อความจึงเป็นสายของคำตอบใช่หรือไม่ใช่ 112 ตัว แต่ละตัวยาวหนึ่งในล้านของวินาที และทุกฝ่ายตกลงความหมายกันไว้ล่วงหน้า กลุ่มแรกซึ่งยาว 24 ตัวคือรหัสประจำตัวถาวรของอากาศยาน ที่ได้รับเมื่อจดทะเบียน คล้ายป้ายทะเบียนที่ไม่มีวันเปลี่ยน ส่วนที่เหลือบรรจุตำแหน่ง ความสูง ความเร็ว หรือนามเรียกขานของเที่ยวบิน ขึ้นอยู่กับชนิดของข้อความ คำตอบ 24 ตัวสุดท้ายเป็นตัวตรวจสอบ ผู้ฟังคำนวณผลรวมตามสูตรตายตัวกับข้อความแล้วเปรียบเทียบผลกับตัวตรวจสอบ หากไม่ตรงกัน แปลว่ามีบางอย่างผิดเพี้ยนระหว่างทาง และข้อความนั้นจะถูกทิ้งไป เรื่องนี้สำคัญ เพราะเหนือสนาม

บินที่คึกคัก อากาศยานจำนวนมากพูดพร้อมกันและข้อความบางครั้งก็ซ้อนกัน ความสูงในข้อความไม่ได้วัดด้วยดาวเทียม แต่วัดจากความกดอากาศภายนอกอากาศยาน ซึ่งลดลงอย่างสม่ำเสมอเมื่อไต่ระดับ นี่เป็นเหตุผลเดียวกับที่หูของเราอื้อในลิฟต์หรือในอุโมงค์บนภูเขา และเด็กโตชอบการเชื่อมโยงนี้

วิธีสอน

เริ่มจากท้องฟ้า ไม่ใช่จากระบบ ถามว่าใครเห็นอากาศยานในสัปดาห์นี้บ้าง เห็นที่ไหน คิดว่ามันสูงเท่าไร และนักบินจะรู้ได้อย่างไรว่าตัวเองอยู่ที่ไหนในเมื่อไม่มีถนน ปล่อยให้เด็กเดากันไป คำตอบ “นักบินมองออกไปนอกหน้าต่าง” และ “มีแผนที่” จะมีขึ้นมาทั้งคู่ และทั้งคู่ถูกครึ่งหนึ่ง จากนั้นฉายแผนที่สดขึ้นจอ ซูมไปที่เมือง แล้วนับอากาศยานด้วยกัน ช่องว่างระหว่างสิ่งที่นักเรียนคาดไว้กับสิ่งที่แผนที่แสดงคือเบ็ดที่เกี่ยวทั้งหลักสูตร และคุ้มค่าที่จะใช้เวลากับมัน สัญลักษณ์ทุกตัวนั้นคืออากาศยานที่กำลังพูดอยู่ในขณะนี้

ทีนี้เล่าเรื่องหลักรวดเดียว เพราะเด็กจำเรื่องเล่าได้ดีกว่าคำนิยาม เครื่องบินรู้เสมอว่าตัวเองอยู่ที่ไหน เพราะมันฟังดาวเทียมที่อยู่สูงเหนือมันขึ้นไป และทุกๆ วินาที มันตะโกนสองครั้งโดยไม่ได้ตะโกนถึงใครโดยเฉพาะว่า “ฉันคือคนนี้ ฉันอยู่ตรงนี้ สูงเท่านี้ เร็วเท่านี้” ไม่มีใครขอให้มันพูด มันไม่เคยหยุด และทุกคนที่มีหูชนิดที่เหมาะสมก็ได้ยิน สำหรับเด็กอายุหกถึงแปดปี ประโยคนี้ เมื่อพูดซ้ำแล้วนำมาแสดง ก็คือบทเรียนแล้ว สำหรับเด็กอายุเก้าถึงสิบเอ็ดปี ให้ก้าวต่อไปอีกขั้น อธิบายว่าการตะโกนนั้นทำจากคำตอบใช่หรือไม่ใช่ 24 ตัวในนั้นสะกดเป็นชื่อของเครื่องบิน และให้เด็กคำนวณ (โดยมีคนช่วย) ว่าคำตอบใช่หรือไม่ใช่ 24 ตัวให้ชื่อที่ต่างกันได้ประมาณ 17 ล้านชื่อ มากเกินพอสำหรับอากาศยานทุกลำที่เคยสร้างมา ประเด็นที่ต้องย้ำให้ได้คือเครื่องบินไม่ได้ “ถูกเฝ้าดู” แต่มันเป็นผู้บอก พูดทั้งสองทางว่า “ไม่มีใครค้นหาเครื่องบิน เครื่องบินประกาศตัวเอง” เพราะความคิดตรงกันข้ามฝังรากลึกและจะกลับมาอีกในบทเรียนที่ 4

การสาธิตคือเกมหอบังคับการบิน และเป็นครึ่งชั่วโมงที่มีค่าที่สุดในหลักสูตร ติดเทปเป็นตารางบนพื้น ห้าช่องคูณห้าช่อง ใส่ตัวอักษรเรียงไปตามด้านหนึ่งและตัวเลขเรียงไปตามอีกด้าน ครึ่งหนึ่งของชั้นเป็นอากาศยาน แต่ละคนถือบัตรที่มีนามเรียกขาน ความสูง และความเร็ว เดินช้าๆ ข้ามตาราง และทุกๆ สองสามก้าว แต่ละคนประกาศข้อความของตัวเองออกเสียงว่า “DTA12 ช่อง C3 หนึ่งหมื่นเมตร เร็ว” อีกครึ่งหนึ่งเป็นหอบังคับการบิน แต่ละคนมีตารางฉบับกระดาษ และต้องวาดอากาศยานทุกลำตรงที่มันบอกว่าอยู่ จากนั้นสลับกัน แล้ว ซึ่งเป็นส่วนที่สอนได้จริง ให้เล่นอีกครั้งโดยให้อากาศยานพูดได้แค่นาทีละครั้ง ภาพวาดของหอบังคับการบินจะพังทลาย อากาศยานย้ายช่องไปก่อนที่ใครจะรู้ ถามนักเรียนว่าทำไมเครื่องบินจริงจึงพูดวินาทีละสองครั้ง แล้วเด็กๆ จะตอบคุณเอง

กับกลุ่มเด็กโต ให้เพิ่มรูปแบบที่สอง อากาศยานสองลำประกาศพร้อมกันพอดี และหอบังคับการบินต้องบันทึกสิ่งที่ได้ยิน ซึ่งจะเป็นเสียงที่ยุ่งเหยิง อธิบายว่านี่คือเหตุผลที่ข้อความจริงมีตัวตรวจสอบอยู่ท้ายข้อความ ข้อความที่ยุ่งเหยิงจะไม่ผ่านการตรวจสอบและถูกทิ้งไป และอย่างไรเสียเครื่องบินก็พูดซ้ำอีกครั้งในครึ่งวินาทีต่อมา เด็กที่เคยเป็นหอบังคับการบินจะเข้าใจทันทีว่าทำไมจึงต้องมีทั้งการพูดซ้ำและการตรวจสอบ

สิ่งที่เด็กเข้าใจผิด และสิ่งที่ควรพูด

ความเข้าใจผิดที่พบบ่อยที่สุดคือดาวเทียมมองลงมาและเห็นเครื่องบิน หรือเรดาร์เป็นผู้ค้นพบเครื่องบิน ภาพที่ถูกต้องคือเครื่องบินฟังดาวเทียมเพื่อหาตำแหน่งของตัวเอง แล้วจึงพูดออกไป วิธีพูดที่มีประโยชน์คือ ดาวเทียมเหมือนระฆังโบสถ์ที่ตีบอกเวลา มันบอกเวลาให้ทุกคนรู้ แต่ไม่รู้เลยว่าใครกำลังฟังอยู่ ความเข้าใจผิดข้อที่สองคือนักบินเป็นผู้ส่งข้อความ ไม่มีใครส่ง ทรานสปอนเดอร์ส่งเองตั้งแต่อากาศยานเริ่มเคลื่อนที่ ข้อที่สามคือข้อความส่งไปที่ “สนามบิน” ข้อความส่งถึงทุกคน อากาศยานลำอื่นก็ฟังและใช้ข้อความนั้นเพื่อหลบหลีกกัน และเสาอากาศใดๆ บนหลังคาใดๆ ก็เช่นกัน ซึ่งเป็นจุดที่บทเรียนที่ 4 จะจบลง

บทเรียนที่ 2

แสงที่มองไม่เห็น: อะไรพาข้อความไป

วิทยาศาสตร์ที่คุณต้องรู้

ข้อความออกจากอากาศยานเป็นคลื่นวิทยุ และแนวคิดเดียวที่บทเรียนนี้ต้องวางรากฐานให้ได้ เพราะฟิสิกส์ทั้งหมดในระดับมัธยมศึกษาสร้างอยู่บนแนวคิดนี้ คือคลื่นวิทยุกับลำแสงเป็นสิ่งชนิดเดียวกัน ทั้งสองเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือระลอกของแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กที่เดินทางผ่านอวกาศ ไม่ต้องการอากาศหรือวัสดุใดเป็นตัวพา และเดินทางด้วยความเร็วแสง ซึ่งเกือบ 300,000 กิโลเมตรทุกวินาที สิ่งที่ทำให้ระลอกหนึ่งเป็นแสงสีแดง อีกระลอกเป็นสีน้ำเงิน อีกระลอกเป็นคลื่นวิทยุ มีเพียงความเร็วในการสั่นของมัน คือความถี่ ตาของเราตอบสนองต่อความถี่ช่วงแคบๆ ซึ่งเรารับรู้เป็นสีตั้งแต่แดงถึงม่วง คลื่นวิทยุสั่นช้ากว่ามาก ตาจึงมองไม่เห็น เช่นเดียวกับที่หูไม่ได้ยินนกหวีดเรียกสุนัข ข้อความของอากาศยานส่งด้วยความถี่ 1,090 ล้านครั้งต่อวินาที ซึ่งเร็วมากตามมาตรฐานของมนุษย์ แต่ช้ามากตามมาตรฐานของแสง แสงสีเขียวสั่นเร็วกว่านั้นประมาณห้าแสนเท่า

เพราะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดเดินทางด้วยความเร็วเท่ากัน ความถี่จึงกำหนดความยาวคลื่น คือระยะจากยอดคลื่นหนึ่งถึงยอดคลื่นถัดไป ในหนึ่งวินาที คลื่นเดินทาง 300,000 km และสั่นครบ f รอบ แต่ละรอบจึงกินระยะ 300,000 km หารด้วย f สำหรับคลื่นของอากาศยาน ผลที่ได้คือ 27.5 เซนติเมตร ประมาณความยาวของไม้บรรทัดนักเรียน สำหรับแสงสีเขียวประมาณครึ่งหนึ่งในพันของมิลลิเมตร สำหรับสถานีวิทยุ FM คือสามเมตร ตัวเลข 27.5 cm นี้เป็นตัวเลขที่นักเรียนจะพบอีกครั้งในบทเรียนที่ 3 เพราะมันกำหนดขนาดของเสาอากาศ

ความสับสนที่คุณต้องป้องกันคือระหว่างคลื่นวิทยุกับเสียง และควรเข้าใจว่าทำไมจึงพบบ่อยนัก “วิทยุ” ในภาษาพูดประจำวันคือกล่องที่ทำให้เกิดเสียง เด็กๆ (และผู้ใหญ่จำนวนมาก) จึงสันนิษฐานว่าคลื่นวิทยุเป็นเสียงชนิดหนึ่งที่เดินทางผ่านอากาศ ทั้งสองไม่เกี่ยวข้องกันเลย เสียงเป็นคลื่นความดัน คือโมเลกุลอากาศชนโมเลกุลข้างเคียง ซึ่งก็ชนต่อไปอีก มันต้องมีวัสดุให้เดินทางผ่าน เคลื่อนที่ประมาณ 340 เมตรต่อวินาที และในสุญญากาศไม่มีเสียง คลื่นวิทยุไม่ต้องการสิ่งใด และเดินทางข้ามอวกาศที่ว่างเปล่าระหว่างดาวเทียมกับอากาศยานได้ มันเดินทางเร็วกว่าเสียงเกือบล้านเท่า หากอากาศยานที่อยู่ห่าง 20 km ส่งเสียงและส่งข้อความในเวลาเดียวกัน ข้อความจะมาถึงคุณในประมาณ 67 ในล้านส่วนของวินาที และเสียงจะมาถึงประมาณหนึ่งนาทีหลังจากนั้น เด็กรู้จักความล่าช้านี้จากฟ้าร้อง และจากการดูคนเตะฟุตบอลในระยะไกล และความรู้นั้นคือพันธมิตรที่ดีที่สุดของคุณ

วิธีสอน

เริ่มจากสิ่งที่เด็กรู้ คือสิ่งที่มีอยู่จริงแต่เรามองไม่เห็นหรือไม่ได้ยิน นกหวีดเรียกสุนัข ภาพดอกไม้ในสายตาของผึ้ง รีโมตคอนโทรลที่ “ส่งอะไรบางอย่าง” ไปยังโทรทัศน์ Wi-Fi ในอาคาร จากนั้นกล่าวอย่างตรงไปตรงมาว่า ข้อความของเครื่องบินเดินทางไปกับแสงชนิดหนึ่งที่ตาเรามองไม่เห็น และไฟฉายกับวิทยุของเครื่องบินเป็นญาติกัน เปิดไฟฉายแล้วถามว่าแสงอยู่ที่ไหน อยู่ทั่วห้อง ในทันที โดยไม่มีความล่าช้าที่ใครจะสังเกตได้ จากนั้นประโยคสำคัญสำหรับกลุ่มเด็กเล็ก คลื่นวิทยุคือสีที่ตาเรามองไม่เห็น และมันกำลังผ่านห้องนี้อยู่ตอนนี้ จากเครื่องบินทุกลำในระยะ 400 กิโลเมตร และเราไม่รู้สึกอะไรเลย เด็กหลายคนรู้สึกตื่นเต้นเล็กๆ กับเรื่องนี้ และมันเป็นความจริง

การสาธิตด้วยเชือกทำให้แนวคิดเรื่องคลื่นมีรูปร่างขึ้นมา จับคู่กัน เด็กคนหนึ่งถือเชือกไว้นิ่งๆ อีกคนสะบัดปลายอีกข้าง การสะบัดช้าทำให้เกิดคลื่นยาวเอื่อยๆ ไม่กี่ลูกตามเชือก การสะบัดเร็วทำให้เกิดคลื่นสั้นจำนวนมาก ให้เด็กวัดระยะระหว่างยอดคลื่นด้วยไม้เมตรในแต่ละกรณี และสังเกตกฎ ยิ่งสะบัดเร็ว คลื่นยิ่งสั้น นี่ไม่ใช่การเปรียบเทียบหลวมๆ แต่เป็นความสัมพันธ์ที่แท้จริง เพราะความเร็วของคลื่นบนเชือกถูกกำหนดโดยเชือก ความถี่และความยาวคลื่นจึงแลกกันพอดีเหมือน

กับแสง บอกนักเรียนว่าคลื่นของเครื่องบินเป็นแบบยาวเอื่อยเมื่อเทียบกับแสง และจากยอดถึงยอดยาวเท่าไม้บรรทัด วางไม้บรรทัดบนพื้นข้างคลื่นเชือกให้เด็กดู กับกลุ่มเด็กโต ให้เขียนกฎ ความเร็ว = ความถี่คูณความยาวคลื่น แล้วให้เด็กตรวจสอบกับเชือกด้วยการนับจำนวนครั้งที่สะบัดต่อวินาทีและวัดจากยอดถึงยอด จากนั้นให้ตัวเลขของอากาศยาน แล้วให้เด็กเห็นว่า 300,000 km ต่อวินาที หารด้วย 1,090 ล้านต่อวินาที เท่ากับ 27.5 cm เด็กจะหารเองไม่ได้ แต่ตามดูบนกระดานได้ และนั่นทำให้ตัวเลขนี้เป็นของเขา

เพื่อแยกคลื่นวิทยุออกจากเสียง ให้จัดการแข่งขันผู้ส่งข่าวที่เร็วที่สุด เด็กๆ เข้าแถวส่งคำกระซิบต่อกันจากปลายหนึ่งของห้องโถงไปยังอีกปลายหนึ่ง จับเวลาไว้ จากนั้นส่องไฟฉายวาบจากปลายหนึ่งและให้คนที่ปลายอีกข้างยกมือ จะไม่มีความล่าช้าที่วัดได้ อภิปรายว่าทำไม เสียงต้องส่งต่อจากอากาศส่วนหนึ่งไปยังส่วนถัดไป เหมือนคำกระซิบที่ส่งจากเด็กคนหนึ่งไปอีกคน ซึ่งต้องใช้เวลา แสงไม่ต้องให้ใครส่งต่อ จากนั้น และนี่คือช่วงเวลาที่ต้องพูดให้ชัด บอกว่าข้อความวิทยุของเครื่องบินเหมือนไฟฉาย ไม่ใช่เหมือนคำกระซิบ และเสียงเครื่องยนต์ของเครื่องบินที่คุณได้ยินเหมือนคำกระซิบ ที่มาถึงนานหลังจากเครื่องบินบินผ่านไปแล้ว กลุ่มเด็กโตรับตัวเลขได้ 340 เมตรต่อวินาที เทียบกับ 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที แล้วถามว่าแสงเร็วกว่ากี่เท่า คำตอบคือเกือบล้านเท่า ซึ่งน่าพอใจ

สิ่งที่เด็กเข้าใจผิด และสิ่งที่ควรพูด

ความสับสนเรื่องเสียงได้กล่าวถึงไปแล้วข้างต้น และต้องย้ำอีกในบทเรียนที่ 3 และบทเรียนที่ 4 คาดไว้ได้เลยว่า “เสาอากาศได้ยินเครื่องบิน” จะไถลกลับไปเป็น “เสาอากาศได้ยินเสียงเครื่องบิน” ความสับสนข้อที่สองคือคลื่นวิทยุ “อยู่ในอากาศ” แบบเดียวกับกลิ่นที่ลอยไปมา ความจริงคือมันไม่ได้ถูกอากาศพาไปเลย และจะเดินทางผ่านอวกาศที่ว่างเปล่าได้ดีพอกัน ข้อที่สามซึ่งมาจากกลุ่มเด็กโต คือคิดว่าการสะบัดเร็วขึ้นทำให้คลื่นเดินทางเร็วขึ้น ซึ่งไม่ใช่ มันทำให้คลื่นสั้นลง และเชือกแสดงให้เห็นได้หากคุณให้เด็กดูยอดคลื่นยอดเดียวเคลื่อนที่ไป สุดท้าย หากเด็กถามว่าทำไมเรามองไม่เห็นคลื่นวิทยุในเมื่อมันเป็นแสง คำตอบที่ซื่อตรงคือ ตาของเราถูกสร้างมาสำหรับสีที่ดวงอาทิตย์ให้มามากที่สุดและผ่านอากาศได้ดีที่สุด คลื่นวิทยุมีอยู่ตลอดมา และเราเพิ่งสังเกตเห็นเมื่อสร้างตาโลหะให้มัน ซึ่งเป็นเรื่องของบทเรียนที่ 3

บทเรียนที่ 3

หูโลหะและโลกกลม: ข้อความถูกจับได้อย่างไร และจากระยะไกลแค่ไหน

วิทยาศาสตร์ที่คุณต้องรู้

คลื่นวิทยุที่ผ่านชิ้นโลหะผลักอิเล็กตรอนในโลหะไปมาตามจังหวะการสั่นของมัน กระแสสลับเล็กๆ นั้นคือ “การได้ยิน” เครื่องรับที่ต่อกับโลหะจะขยายกระแสนั้นและอ่านพัลส์ออกมา แรงผลักจะแรงที่สุดเมื่อชิ้นโลหะมีความยาวเหมาะกับคลื่นแท่งที่ยาวหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่น ตั้งอยู่บนพื้นผิวโลหะแบนราบ จะตอบสนองต่อคลื่นแบบเดียวกับที่ชิงช้าตอบสนองต่อการผลักที่ตรงกับจังหวะของมันเอง สำหรับคลื่นยาว 27.5 cm ของอากาศยาน หนึ่งในสี่คือ 6.9 cm และนั่นคือเหตุผลที่เสาอากาศ ADS-B จริง ทั้งบนอากาศยานและบนพื้นดิน เป็นแท่งสั้นๆ สูงเพียงไม่กี่เซนติเมตร มันคือหูที่ปรับจูนแล้ว ลวดที่ยาวต่างไปมากยังรับอะไรได้บ้าง แต่น้อยกว่ามาก และบอกนักเรียนได้ตามจริงว่าแบบจำลองที่เขาจะสร้างมีขนาดถูกต้องเหมือนของจริง

หูได้ยินได้ไกลแค่ไหน มีสองสิ่งที่จำกัด สัญญาณอ่อนลงตามระยะทาง เพราะเครื่องส่งของอากาศยานกระจายพลังงานออกไปทุกทิศทาง และสัดส่วนที่มาถึงเสาอากาศขนาดเล็กก็หดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ไกลขึ้นสองเท่า เหลือหนึ่งในสี่ แต่ก่อนที่ความอ่อนของสัญญาณจะกลายเป็นปัญหา เรขาคณิตมาก่อน เพราะคลื่นวิทยุคือแสง มันจึงเดินทางเป็นเส้นตรง และเพราะโลกเป็นลูกบอล เส้นตรงจากเสาอากาศบนหลังคาจึงชนพื้นดินในไม่ช้า อากาศยานจะได้ยินได้ก็ต่อเมื่อมีเส้นตรงที่ไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างมันกับเสาอากาศ ยิ่งอากาศยานอยู่สูง เส้นนั้นก็ยิ่งไปได้ไกลก่อนที่โลกจะขวาง และยิ่งเสา

อากาศอยู่สูง ก็ยิ่งไกลขึ้นไปอีก การคำนวณ (ระยะถึงขอบฟ้าเป็นกิโลเมตรประมาณสี่เท่าของรากที่สองของความสูงเป็นเมตร) เป็นเนื้อหาของหลักสูตรระดับมัธยมศึกษา สำหรับหลักสูตรของคุณ ผลลัพธ์ก็เพียงพอแล้ว อากาศยานที่สูงสิบกิโลเมตรได้ยินได้จากหลังคาในระยะกว่า 400 km ไกลกว่าการเดินทางจากบรัสเซลส์ไปปารีสแล้วกลับมา ในขณะที่อากาศยานที่เพิ่งขึ้นบินในระยะ 50 km อาจถูกซ่อนไว้ทั้งหมดหลังส่วนโค้งของโลก นี่คือเหตุผลที่เสาอากาศอยู่บนหลังคาเสาสูง และเนินเขา และเหตุผลที่เสาอากาศต้นเดียวกันได้ยินอากาศยานที่บินสูงจากที่ไกล และได้ยินอากาศยานที่บินต่ำก็ต่อเมื่ออยู่ใกล้

วิธีสอน

เปิดด้วยคำถามที่บทเรียนที่ 2 ทิ้งค้างไว้ ถ้าคลื่นวิทยุเป็นแสงที่เรามองไม่เห็น แล้วอะไรมองเห็นได้ คำตอบคือหูโลหะ หรือเสาอากาศ และสิ่งแรกที่ต้องทำคือหาเสาอากาศให้เจอ กล่อง Wi-Fi มีแท่งเสาหรือซ่อนไว้ข้างใน รถยนต์ด้านนอกมีครีบบนหลังคา โทรศัพท์ทุกเครื่องมีเสาอากาศซ่อนอยู่ตามขอบ หลังคาโรงเรียนอาจมีหลายต้น ส่งนักเรียนไปหา หรือไปเอง พร้อมถ่ายรูปมา แล้วทำรายการ ถามว่าสิ่งเหล่านี้มีอะไรเหมือนกัน เป็นโลหะ มีรูปร่างและขนาดเฉพาะ และบ่อยครั้งอยู่ในที่สูง ข้อสังเกตทั้งสองนี้คือบทเรียน และคุณสัญญาได้ว่าจะอธิบายทั้งสองข้อ

สำหรับเรื่องขนาด ให้สร้างเสาอากาศจำลอง เด็กแต่ละคนตัดกระดาษแข็งเป็นแถบยาว 7 cm กว้างประมาณหนึ่งเซนติเมตร ห่อด้วยฟอยล์อะลูมิเนียม แล้วตั้งตรงไว้กลางแผ่นกระดาษแข็งสี่เหลี่ยมที่หุ้มฟอยล์เช่นกัน บอกตามจริงว่ามันคืออะไร มันมีรูปร่างและขนาดที่ถูกต้องสำหรับคลื่นของอากาศยาน และเครื่องรับจริงใช้รูปร่างแบบนี้พอดี แต่ตัวมันเองถอดรหัสอะไรไม่ได้ เพราะการจับคลื่นเป็นเพียงขั้นแรก และการอ่านพัลส์ต้องใช้วิทยุและคอมพิวเตอร์ (ซึ่งหลักสูตรระดับมัธยมศึกษาจะสร้าง) จากนั้นอธิบายเรื่องขนาดด้วยชิงช้า ชิงช้าแกว่งได้สูงที่สุดเมื่อผลักตามจังหวะไปกลับของมันเอง และแท่งโลหะ “แกว่ง” ทางไฟฟ้าได้ดีที่สุดเมื่อยาวหนึ่งในสี่ของคลื่น วางไม้บรรทัดยาว 27.5 cm ข้างแท่งยาว 7 cm แล้วแสดงให้เห็นว่าแท่งนั้นยาวหนึ่งในสี่ของไม้บรรทัด กลุ่มเด็กโตวัดและตรวจสอบเองได้ แผ่นฟอยล์สี่เหลี่ยมด้านล่างคือกระจกที่ทำให้หูสมบูรณ์ บอกเช่นนั้นแล้วหยุดไว้แค่นั้นก็ได้

สำหรับเรื่องความสูง ให้ออกไปข้างนอก พร้อมนำคำถามไปด้วย ทำไมเสาอากาศจึงอยู่ในที่สูง ให้เด็กคนหนึ่งอยู่ที่ปลายสนามเด็กเล่น นั่งยองๆ แล้วยืน แล้วขึ้นไปบนม้านั่ง แล้วถามว่าแต่ละครั้งมองเห็นอะไรที่ปลายอีกข้างบ้าง สิ่งที่ซ่อนอยู่หลังกำแพงเตี้ยหรือรถที่จอดอยู่จะปรากฏขึ้นเมื่อเด็กสูงขึ้น จากนั้นก้าวกระโดดไปสู่โลก พื้นดินเองก็โค้ง เหมือนด้านบนของลูกบอลขนาดมหึมา และสิ่งใดที่อยู่ไกลพอจะถูกซ่อนไว้หลังส่วนโค้งนั้น เหมือนตัวเรือที่แล่นลับขอบฟ้าไปแล้วในขณะที่ยังเห็นเสากระโดง เสาอากาศบนหลังคาคือการยืนบนม้านั่ง อากาศยานที่อยู่สูงคือเรือที่มีเสากระโดงสูงมาก วาดบนกระดานเป็นวงกลมที่มีไม้ปักอยู่และเส้นตรงที่แตะผิววงกลม ทุกสิ่งเหนือเส้นได้ยิน ทุกสิ่งใต้เส้นอยู่หลังโลก จากนั้นให้ตัวเลขจริงแก่เด็กอายุเก้าถึงสิบเอ็ดปี แล้วให้เปรียบเทียบกับระยะทางที่เขารู้จัก 400 km ไกลกว่าการเดินทางจากบรัสเซลส์ไปปารีสแล้วกลับมา 50 km ประมาณความกว้างของจังหวัด

หากมีเวลา การสาธิตเล็กๆ เรื่องสัญญาณที่อ่อนลงตามระยะทางก็คุ้มค่า ไฟฉายที่ปลายห้องโถงมืดส่องกระดาษแผ่นหนึ่งได้สลัวๆ เมื่อนำเข้ามาใกล้ครึ่งหนึ่งของระยะ จะส่องกระดาษแผ่นเดิมได้สว่างกว่าสองเท่าอย่างเห็นได้ชัด เพราะลำแสงกระจายไปบนพื้นที่ที่เล็กลง บอกกฎแก่เด็กโตได้ว่า ระยะทางครึ่งหนึ่งหมายถึงความสว่างสี่เท่า และเชื่อมโยงว่าวิทยุของเครื่องบินก็กระจายออกไปแบบเดียวกัน ซึ่งเป็นเหตุผลที่ต้องใช้เครื่องรับที่ไวสำหรับเครื่องบินที่อยู่ไกล

สิ่งที่เด็กเข้าใจผิด และสิ่งที่ควรพูด

เด็กมักคิดว่าเสาอากาศที่ใหญ่กว่าต้องดีกว่า เหมือนหูที่ใหญ่กว่า สำหรับคลื่นนี้ไม่เป็นเช่นนั้น ขนาดที่ถูกต้องคือสิ่งสำคัญ และขนาดที่ถูกต้องก็เล็ก เด็กยังคิดว่าเสาอากาศอยู่สูง “เพื่อให้ใกล้เครื่องบินมากขึ้น” ระยะทางในแนวดิ่งเล็กน้อยมากเมื่อเทียบกับระยะทางในแนวราบ และเหตุผลที่แท้จริงคือส่วนโค้งของโลก ซึ่งเป็นคำตอบที่น่าสนใจกว่า สุดท้าย ความสับสนเรื่องเสียงกลับมาที่นี่ในรูปแบบ “เสาอากาศได้ยินเสียงเครื่องบิน” จับประเด็นนี้ทุกครั้ง เสาอากาศจับแสงที่มองไม่เห็น ไม่ใช่เสียง และจะจับได้ดีพอกันจากอากาศยานที่ไม่ส่งเสียงเลย

บทเรียนที่ 4

แผนที่: หูจำนวนมากสร้างภาพเดียวได้อย่างไร

วิทยาศาสตร์ที่คุณต้องรู้

เสาอากาศหนึ่งต้นพร้อมเครื่องรับถอดรหัสข้อความที่ได้ยิน จึงรู้ตำแหน่ง ความสูง และตัวตนของอากาศยานทุกลำที่กำลังพูดภายในขอบฟ้าของมัน ซึ่งเป็นวงกลมคร่าวๆ กว้างไม่กี่ร้อยกิโลเมตรสำหรับการจราจรระดับสูง และเล็กกว่ามากสำหรับระดับต่ำ การจะเห็นทั้งประเทศต้องใช้เครื่องรับเช่นนี้จำนวนมาก กระจายกันไปจนวงกลมซ้อนทับกัน และแต่ละเครื่องส่งสิ่งที่ได้ยินผ่านอินเทอร์เน็ตไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง คอมพิวเตอร์นั้นทำสองหน้าที่ หนึ่งคือรวม อากาศยานที่บินสูงมักถูกเครื่องรับสิบหรือยี่สิบเครื่องได้ยินพร้อมกัน และข้อความเดียวกันที่มาจากทุกเครื่องต้องถูกระบุว่าเป็นอากาศยานลำเดียว ไม่ใช่ยี่สิบลำ สองคือตรวจสอบ หากเครื่องรับเครื่องหนึ่งรายงานตำแหน่งที่เครื่องรับข้างเคียงทุกเครื่องไม่เห็นด้วย รายงานนั้นน่าจะเป็นข้อผิดพลาดในการถอดรหัสและจะถูกกันไว้ ผลลัพธ์คือแผนที่สดที่อัปเดตทุกวินาที สร้างขึ้นทั้งหมดจากสิ่งที่อากาศยานบอกและเสาอากาศได้ยิน เจ้าหน้าที่ควบคุมการจราจรทางอากาศเห็นภาพที่คล้ายกัน โดยมีเรดาร์เพิ่มเข้ามาเป็นความเห็นที่สองที่เป็นอิสระ เพราะระบบที่ขึ้นอยู่กับการที่อากาศยานบอกความจริงจำเป็นต้องมีสิ่งนี้

แผนที่แสดงเฉพาะอากาศยานที่กำลังพูดเท่านั้น เครื่องบินโดยสารเกือบทั้งหมดพูด อากาศยานส่วนตัวขนาดเล็ก เครื่องร่อน และบอลลูนจำนวนมากไม่ได้ถูกบังคับให้พูด และอากาศยานทหารมักเลือกที่จะไม่พูด แผนที่จึงซื่อตรงแต่ไม่ครบถ้วน ซึ่งเป็นสิ่งที่คุ้มค่าที่เด็กจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับแผนที่ทุกชนิด และเป็นวิธีที่เป็นธรรมชาติในการจบหลักสูตรด้วยคำถามแทนที่จะเป็นจุดจบ

วิธีสอน

กลับไปที่ตารางบนพื้นจากบทเรียนที่ 1 แต่คราวนี้หอบังคับการบินไม่ได้ยินทุกอย่าง วาง “เสาอากาศ” สามหรือสี่ต้น (เด็กที่ถือตารางกระดาษ) ไว้ที่มุมห้อง และบอกแต่ละคนว่าได้ยินเฉพาะอากาศยานในครึ่งหรือหนึ่งในสี่ของตารางของตัวเอง อากาศยานประกาศเหมือนเดิม จากนั้นให้เสาอากาศนำกระดาษมารวมกันแล้ววางเรียงกัน ภาพรวมมีอากาศยานทุกลำ แต่ละแผ่นมีเพียงบางลำ อากาศยานบางลำปรากฏบนสองแผ่น และนักเรียนต้องตกลงกันว่าเป็นอากาศยานลำเดียวกัน ไม่ใช่สองลำ นั่นคืองานรวมข้อมูลทั้งหมด ทำโดยเด็กอายุสิบขวบในห้านาที และทำให้แนวคิดที่ว่าแผนที่คือจิ๊กซอว์ของผู้ฟังจำนวนมากติดแน่น

จากนั้นทำให้เป็นของจริง ฉายแผนที่สดขึ้นจอ ซูมไปที่โรงเรียน และให้แต่ละกลุ่มติดตามอากาศยานหนึ่งลำเป็นเวลาสิบนาที ได้แก่ นามเรียกขาน ความสูง ความเร็ว มาจากไหน และกำลังจะไปไหน ให้กรอกบัตรสำหรับอากาศยานลำนั้น แล้วปักบัตรไว้บนแผนที่ภูมิภาคบนผนัง ณ ตำแหน่งที่เห็นมันครั้งสุดท้าย ระหว่างที่เด็กทำงาน ให้เชื่อมโยงสิ่งที่เด็กเห็นเข้ากับห่วงโซ่ของหลักสูตรทีละประโยค อากาศยานลำนั้นกำลังพูดวินาทีละสองครั้ง ข้อความของมันเดินทางไปกับแสงที่มองไม่

เห็น เสาอากาศบนหลังคาบ้านของใครสักคนในระยะ 400 km จับมันได้ เสาอากาศนั้นส่งข้อความไปยังคอมพิวเตอร์ที่วาดแผนที่นี้ และนั่นคือเหตุผลที่คุณอ่านความสูงของมันบนจอได้ ให้นักเรียนเล่าห่วงโซ่กลับมาให้คุณฟังด้วยคำพูดของตัวเอง นี่คือการประเมิน และนักเรียนส่วนใหญ่ควรทำได้แล้วในตอนนี้

ปิดด้วยคำถามสองข้อ จะเกิดอะไรขึ้นหากอากาศยานหยุดพูด มันจะหายไปจากแผนที่ แม้ว่าเจ้าหน้าที่ควบคุมการจราจรทางอากาศจะยังมีเรดาร์ และเครื่องบินทุกลำบนท้องฟ้าอยู่บนแผนที่หรือไม่ ไม่ และการอภิปรายว่าลำไหนหายไป และทำไมบางคนจึงอาจไม่อยากถูกมองเห็น เป็นจุดที่ดีในการทิ้งท้ายไว้กับชั้นเรียนที่เข้าใจแล้วว่าแผนที่สร้างจากการวัด และครบถ้วนได้เพียงเท่าที่ผู้ฟังของมันมี

สิ่งที่เด็กเข้าใจผิด และสิ่งที่ควรพูด

ความคิดที่ว่า “ดาวเทียมสร้างแผนที่” กลับมาที่นี่อย่างดื้อดึงมาก เพราะแผนที่อยู่บนจอ จอมาจากอินเทอร์เน็ต และอินเทอร์เน็ตในความคิดของเด็กมาจากอวกาศ ค่อยๆ แยกแยะให้เด็กอย่างนุ่มนวล ดาวเทียมแค่บอกเวลาให้เครื่องบิน เครื่องบินคำนวณว่าตัวเองอยู่ที่ไหน เครื่องบินบอกออกมา เสาอากาศบนหลังคาได้ยิน คอมพิวเตอร์วาดมันขึ้นมา ทุกขั้นอยู่บนพื้นดินยกเว้นขั้นแรก และแผนที่จะทำงานได้ดีพอกันหากเปลี่ยนดาวเทียมเป็นสิ่งอื่นใดที่ทำให้เครื่องบินหาตำแหน่งของตัวเองได้

การประเมิน: เด็กเล่าเรื่องได้หรือไม่

หลักสูตรนี้มีผลการเรียนรู้หนึ่งข้อที่มีสี่ห่วง และการประเมินก็เพียงดูว่าเด็กเล่าห่วงโซ่ตามลำดับพร้อมเหตุผลได้หรือไม่ ให้เด็กแต่ละคนหรือแต่ละกลุ่มอธิบายว่าเครื่องบินมาอยู่บนแผนที่ได้อย่างไร และฟังให้ได้ยินสี่ห่วง เครื่องบินรู้ว่าตัวเองอยู่ที่ไหนและบอกออกมาซ้ำแล้วซ้ำเล่าโดยไม่มีใครขอ ข้อความเดินทางเป็นคลื่นวิทยุ ซึ่งเป็นแสงที่ตาเรามองไม่เห็นและไม่เหมือนเสียงเลย เสาอากาศซึ่งเป็นหูโลหะที่ปรับจูนแล้วจับข้อความได้ แต่เฉพาะจากอากาศยานที่อยู่เหนือส่วนโค้งของโลก และเสาอากาศจำนวนมากที่แบ่งปันสิ่งที่ได้ยินร่วมกันสร้างแผนที่ขึ้นมา เด็กอายุหกถึงแปดปีที่เล่าเป็นเรื่องโดยมีสี่ขั้นตามลำดับที่ถูกต้องถือว่าบรรลุผลการเรียนรู้แล้ว เด็กอายุเก้าถึงสิบเอ็ดปีควรให้เหตุผลได้ในแต่ละขั้นด้วย ทำไมวินาทีละสองครั้ง ทำไมเป็นแสงไม่ใช่เสียง ทำไม 7 cm และทำไมต้องอยู่สูง ทำไมต้องมีเสาอากาศจำนวนมากไม่ใช่ต้นเดียว

หน้าของนักเรียนจบด้วยแบบทดสอบสั้นๆ ที่นักเรียนทำได้บนแท็บเล็ตหรือด้วยการยกมือ คำตอบพร้อมเหตุผลที่คุณควรคาดหวังมีดังนี้ เครื่องบินส่งข้อความประมาณวินาทีละสองครั้ง เพราะในหนึ่งนาทีมันจะเคลื่อนที่ไป 15 km และแผนที่จะใช้การไม่ได้ ข้อความไม่มีชื่อผู้โดยสาร มีเพียงตัวตน ตำแหน่ง ความสูง และความเร็วของอากาศยาน คลื่นวิทยุคือแสงที่ตาเรามองไม่เห็น ไม่ใช่เสียง เพราะไม่ต้องใช้อากาศและเดินทางเร็วกว่าเกือบล้านเท่า เสาอากาศติดไว้บนหลังคาเพื่อให้แนวสายตาที่เป็นเส้นตรงไปได้ไกลขึ้นข้ามส่วนโค้งของโลก ไม่ใช่เพื่อให้ใกล้เครื่องบินมากขึ้น และแผนที่ต้องใช้เสาอากาศจำนวนมาก เพราะแต่ละต้นได้ยินท้องฟ้าเป็นวงกลมกว้างเพียงไม่กี่ร้อยกิโลเมตร

โรงเรียนที่ต้องการติดตั้งเครื่องรับขนาดเล็กบนหลังคา เพื่อให้ท้องฟ้าส่วนของโรงเรียนเองปรากฏบนแผนที่สด และให้บทเรียนที่ 4 จบด้วยเสาอากาศของชั้นเรียนเอง จะพบทุกสิ่งที่ต้องการได้ในหน้า “ร่วมส่งข้อมูล”

ถัดไป

เครื่องรับบนหลังคาโรงเรียน

สี่บทเรียนจบลงอย่างเป็นธรรมชาติด้วยเครื่องรับที่เป็นของโรงเรียน เวิร์กช็อปภาคปฏิบัติคือคู่มือฉบับสมบูรณ์ ได้แก่ ชิ้นส่วนและราคา (100 ถึง 150 ยูโร หรือใช้ Raspberry Pi ที่มีอยู่แล้ว) เสาอากาศที่ควรเลือกและตำแหน่งที่ควรติดตั้ง วิธีเตรียมคอมพิวเตอร์และติดตั้งโปรแกรมป้อนข้อมูลของ Dataero (Dataero feeder) และการวัดที่ชั้นเรียนทำได้ด้วย

เครื่องรับนี้ตลอดหนึ่งปี สถานีของโรงเรียนจะปรากฏบนแผนที่สาธารณะภายใต้ชื่อของโรงเรียน และแดชบอร์ดของสถานีจะตอบคำถาม 'นั่นเครื่องบินอะไร' ได้ทุกวันตลอดทั้งปี

เปิดเวิร์กช็อปภาคปฏิบัติ https://radar.dataero.eu/th/learning/workshop