

6 到 11 岁 - 给教师

会说话的飞机：一门四课的小学科学课程

这是教师需要掌握的课程版本：科学原理比学生将听到的深一层，概念必须出现的顺序，六岁时讲什么、十岁时补什么，承载每个概念的演示及其原理，以及孩子们带来的错误观念。四节约 50 分钟的课，通常分布在两周内。

学习 - <https://radar.dataero.eu/zh-hans/learning/ages-6-11> 2026-10-22

目录

开始之前：课程教什么，为什么值得四节课

第 4 课 地图：许多耳朵如何拼出一幅图

第 1 课 繁忙的天空与会说话的飞机

评估：他们能讲出这个故事吗？

第 2 课 看不见的光：是什么承载着消息

下一步 学校屋顶上的一台接收机

第 3 课 金属耳朵与圆圆的地球：消息如何被接住，能
从多远

开始之前：课程教什么，为什么值得四节课

欧洲天空中的每一架客机都在大约每秒两次地广播一条短短的无线电消息，报告自己的身份、位置、高度和速度。这个系统叫做 ADS-B，自 2020 年起，大多数飞机都必须装备它。空中交通管制员依靠它；任何手机上的实时航班地图也依靠它。对一个小学班级来说，这几乎是一个完美的题材，因为它把孩子们本来就好奇的事物，也就是他们看到和听到的飞机，与课程标准要求您教的物理连接起来：光和声音是不同种类的东西，光沿直线传播，波有长度，地球是一个球体并且这有看得见的后果，信息可以编码并发送，地图是由测量做出来的。这个题材真实而当下；其中没有任何东西是玩具模型。

课程沿着系统本身的逻辑展开，因为这个逻辑也正是恰当的教学顺序。首先，班级必须领会天空中充满快速而看不见的交通，必须有人盯着。然后，每架飞机都知道自己在哪里，并且一遍又一遍地用一条四部分的消息说出来。然后，消息以无线电波的形式传播，而无线电波是光的一种形式。然后，天线把它接住，而圆圆的地球限制了能听多远。最后，许多天线合在一起建成地图。每节课给这条链条加上一环，而这条链条就是您在结束时要评估的东西：一个孩子能否按顺序、带着正确的理由，讲出从飞机到地图的故事？

您不需要任何航空或无线电的背景。下面每节课都以您需要理解的科学原理开头，比班级要学的深一层，这样您才能回答问题背后的问题。如果您想要完整的成人版讲解，首页的参考课程有十二章；对这个年龄段最要紧的是第 3、6、7 章。有两件事自始至终要牢记在心，因为它们是成人最常教错的两个地方。无线电不是声音；它是一种我们的眼睛看不见的颜色的光，这个区别是第 2 课的核心。而在这个系统里，飞机不是“被卫星看到”或“被雷达找到”的：它通过收听卫星算出自己的位置，然后宣布出来。没有人去找飞机。是飞机在告诉。

关于分层教学：课程是为 6 到 11 岁的整个区间写的，每节课的正文都说明了低龄段和高龄段在哪里分道扬镳。大致上，六到八岁的班级应当得到故事、角色扮演、绳子和地图，离开时能够说出“飞机在一道波上发消息，天线接住它，这样就有了地图”。九到十一岁的班级可以接受数字（每秒两次、每秒 300000 公里、27 厘米的波、400 公里的地平线）、消息由“是或否”的回答组成的概念，以及关于地平线的推理，离开时应当能解释每一步为什么必要。

第 1 课

繁忙的天空与会说话的飞机

您需要的科学原理

一架巡航高度的客机在大约十公里的高空，以约 900 km/h 的速度移动，也就是每秒 250 米。在那个高度上它很难看见，更无法判断：看到一点闪光或一道尾迹的孩子，没有办法说出它有多远、多高、往哪里去，而一位看着另一架飞机的飞行员同样说不出。在比利时的一个小镇上空，天上几乎总是同时有好几架飞机，大多数是在其他国家之间往来、从高空经过的。要让它们彼此分开，空中交通管制需要持续地掌握每一架飞机的位置、高度和方向。间隔规则很简单：在管制员管理的空域内，飞机之间必须在垂直方向上至少相隔 300 米，或者在水平方向上相隔好几公里。

在过去一个世纪的大部分时间里，得知飞机在哪里的办法是雷达：一面巨大的旋转天线发出一个无线电脉冲，然后倾听微弱的回波。雷达仍然存在，但这门课程所讲的系统把问题反了过来。每架现代飞机都带有一台卫星导航接收机，与汽车或手机里的地图是同一种技术，所以它始终知道自己的位置，误差只有几米。它还带有一台叫应答机的小型无线电设备。ADS-B 只是把两者连在一起：大约每秒两次，应答机发出一条短消息，包含飞机的身份、来自卫星的位置、高度，以及速度和方向。消息是自动发出的，没有人要求，也没有特定的收件人：它是一种广播，像电台一样，任何有合适接收机的人都能听到。这就是这几个字母的含义：自动（Automatic，没有人触发它）、相关（Dependent，它的正确与否取决于飞机自身的设备）、监视（Surveillance，它的目的是知道飞机在哪里）、广播（Broadcast，发给所有人）。

消息本身是数字的。应答机不能直接发送字母或数字；它只能发一个脉冲或者不发，所以消息是一串 112 个“是或否”的回答，每个持续百万分之一秒，含义是大家事先约定好的。其中第一组，24 个回答那么长，是飞机的永久身份代码，在注册时分配给它，有点像一块永不更换的车牌。其余部分根据消息种类的不同，携带位置、高度、速度或航班呼号。最后 24 个回答是一道校验：收听者对消息做一道固定的算术，把结果与校验比较，如果不一致，就说明途中有东西乱了码，这条消息便被扔掉。这很要紧，因为在繁忙机场上空，许多飞机同时在说话，它们的消息有时会重叠。消息里的高度不是由卫星测出的，而是由机外的气压推算的，气压随着爬升稳步下降；这和你在电梯或山间隧道里耳朵发胀是同一个原因，大一点的孩子会喜欢这个联系。

怎么教

从天空开始，而不是从系统开始。问问谁这周看到过飞机，在哪里，他们觉得有多高，以及在没有道路的情况下飞行员怎么可能知道自己在哪里。让猜测自由展开；“飞行员往窗外看”和“有一张地图”都会被提出来，两者都对了一半。然后把实时地图放到投影上，放大到本镇，一起数飞机。班级预想的与地图显示的之间的差距，就是整门课程的钩子，值得多停留一会儿：那些符号中的每一个，都是一架此刻正在说话的飞机。

现在一口气讲出核心故事，因为孩子记故事比记定义牢：飞机永远知道自己在哪里，因为它收听远在它上方的卫星；而每秒两次，它不针对任何人地喊出“我是谁、我在哪里、我多高、我多快”。没有人问它。它从不停下。而每一个有合适耳朵的人都能听到。对六到八岁的孩子，这句话反复说、然后演出来，就是这一课。对九到十一岁的孩子，再进一步，解释这声喊是由“是或否”的回答组成的，其中 24 个拼出飞机的名字，让他们（在帮助下）算出 24 个“是或否”能给出大约 1700 万个不同的名字，足够给有史以来造出的每一架飞机用还有余。要落实的要点是，飞机不是“被看着”的：它在告诉。两种说法都要说，“没有人去找飞机，飞机自己报到”，因为相反的观念根深蒂固，会在第 4 课重新冒出来。

演示是控制塔游戏，它是整门课程里最有价值的半小时。在地板上用胶带贴出一个五乘五的方格，一边标字母，另一边标数字。一半的班级当飞机；每人一张卡片，写着呼号、高度和速度。他们慢慢走过方格，每走几步，每个人就大声宣布自己的消息：“DTA12，C3 格，一万米，快速。”另一半是控制塔，每人一张纸质方格图，必须把每架飞机画在它所说的位置。然后交换。然后，这才是真正教学的部分，再来一轮，规定飞机一分钟只能说一次。塔台的图就乱了套；飞机在任何人知道之前就已经换了格子。问班级为什么真正的飞机每秒说两次，他们会告诉您。

对高龄组，再加一个变化：两架飞机在同一时刻宣布，塔台必须记下听到的内容。它听到的将是一团乱。解释这就是真实消息末尾有校验的原因：乱了的消息通不过校验，被丢弃，而飞机反正半秒后会再重复一遍。当过塔台的孩子立刻就能理解为什么重复和校验两者都需要。

孩子们会错在哪里，该怎么说

最常见的错误观念是卫星往下看、看见了飞机，或者雷达找到了它们。正确的图景是飞机收听卫星来确定自己的位置，然后说出来。一个有用的说法：卫星就像教室里报时的钟；它告诉所有人时间，却完全不知道谁在听。第二个错误观念是飞行员发送消息。没有人发送；应答机从飞机开始移动那一刻起就自己发送。第三个是消息发给“机场”。它发给所有人：其他飞机也在听，并用它来彼此避让，任何屋顶上的任何天线也都在听，而第 4 课将在那里结束。

第 2 课

看不见的光：是什么承载着消息

您需要的科学原理

消息以无线电波的形式离开飞机，而这一课必须确立的一个观念，因为中学阶段的全部物理都建立在它之上，是无线电波和一束光是同一种东西。两者都是电磁波：电力和磁力的涟漪在空间中传播，不需要空气或任何物质来承载，速度是光速，非常接近每秒 300000 公里。让一道这样的涟漪成为红光、另一道成为蓝光、再一道成为无线电波的，只是它振荡得有多快，也就是它的频率。我们的眼睛响应一个狭窄的频率带，我们把它体验为从红到紫的颜色。无线电振荡得慢得多，所以眼睛看不见它，正如耳朵听不见狗哨。飞机的消息以每秒 10.9 亿次振荡的频率发送，按人类的标准这很快，按光的标准这很慢：绿光振荡得大约快五十万倍。

由于每一种电磁波都以同样的速度传播，频率就决定了波长，即从一个波峰到下一个波峰的距离：一秒钟内波前进 300000 km 并完成 f 次振荡，所以每次振荡占据 300000 km 除以 f 。对飞机的波来说，结果是 27.5 厘米，大致是一把学生尺的长度。对绿光来说，大约是千分之半毫米。对调频电台来说是三米。27.5 cm 这个数字，班级会在第 3 课再次遇到，因为它决定了天线的尺寸。

您必须防止的混淆是把无线电和声音混为一谈，而理解它为什么如此常见是值得的。日常说的“收音机”是一个发出声音的盒子，所以孩子们（和许多成人）就假定无线电波是一种在空气中传播的声音。它们毫无关系。声音是压力波：空气分子碰撞邻居，邻居再碰撞它们的邻居。它需要物质才能传播，速度约为每秒 340 米，在真空中没有声音。无线电什么也不需要，能穿过卫星与飞机之间空荡荡的太空；它的速度比声音快将近一百万倍。如果 20 km 外的一架飞机在同一时刻发出噪声并发送一条消息，消息大约 67 微秒后到达您这里，噪声则要大约一分钟后才到。孩子们从雷声和观看远处踢球的经验里知道这种延迟，这种知识是您最好的盟友。

怎么教

从他们已知的东西出发：存在、但我们看不见也听不见的事物。狗哨、蜜蜂眼中的花朵、向电视“发送什么东西”的遥控器、楼里的 Wi-Fi。然后把论断直白地说出来：飞机的消息骑在一种我们的眼睛看不见的光上，手电筒和飞机的无线电是表亲。打开一支手电筒，问它的光在哪里：房间里到处都是，一下子就到，没有任何人能察觉的延迟。然后是给低龄组的关键句：无线电是一种我们的眼睛看不见的颜色，它此刻正穿过这个房间，来自 400 公里以内的每一架飞机，而我们什么也感觉不到。许多孩子会觉得这有点刺激，而它是真的。

绳子演示让波的概念有了身体。两人一组，一个孩子把绳子一头固定不动，另一个抖动自由的一头。慢慢抖产生几道又长又懒的波；快快抖产生许多短波。让他们每次都用量尺量波峰之间的距离，并注意规律：抖得越快，波越短。这不是一个松散的类比，而是真实的关系，因为波沿绳子的速度由绳子决定，所以频率和波长的此消彼长与光完全一样。告诉班级，与光相比，飞机的波属于又长又懒的那种，从波峰到波峰和一把尺子一样长。把尺子放在地上绳波的旁边，让他们看见。对高龄组，写出规律：速度 = 频率乘以波长，让他们在绳子上数每秒抖几次、量波峰到波峰来验证。然后给他们飞机的数字，让他们看到每秒 300000 km 除以每秒 10.9 亿次是 27.5 cm；他们不会独立完成这个除法，但能在黑板上跟着走，这让这个数字成了他们自己的。

为了把无线电和声音分开，来一场“最快信使赛跑”。一排孩子把一个悄悄话从礼堂一头传到另一头；计时。然后从一头闪一下手电筒，让另一头的孩子举手；没有可测量的延迟。讨论为什么：声音必须从小块空气传给下一小块，就像悄悄话从一个孩子传给另一个，这要花时间；光不需要任何人接力。然后，这是该说明白的时刻，说飞机的无线电消息像手电筒，不像悄悄话，而您听到的飞机发动机噪声像悄悄话，在飞机早已飞走之后才到。可以给高龄组数字，每秒 340 米对每秒 300000 公里，问光快多少倍；答案是将近一百万倍，令人满足。

孩子们会错在哪里，该怎么说

声音的混淆上面已经处理过，在第 3 课和第 4 课还需要重复；预料“天线听到飞机”会滑回“天线听到噪声”。第二个混淆是无线电波像气味那样“在空气里”飘来飘去；它们根本不是由空气承载的，在真空中传播得一样好。第三个，来自高龄组，是以为抖得越快波就传得越快；并非如此，抖得快只是让波变短，如果他们盯着单个波峰前进，绳子就能说明这一点。最后，如果有孩子问既然无线电是光，我们为什么看不见，诚实的答案是我们的眼睛是为太阳发出最多、也最容易穿过空气的那些颜色而生的；无线电一直都在，只是我们给它造出金属眼睛之后才注意到它，这是第 3 课的内容。

第 3 课

金属耳朵与圆圆的地球：消息如何被接住，能从多远

您需要的科学原理

一道无线电波经过一块金属时，会推动金属里的电子跟着它的振荡来回运动。这股微小的交变电流就是“听见”；连接在金属上的接收机把它放大，并从中读出脉冲。当这块金属的长度恰好适合这道波时，推动最强：一根四分之一波长的杆，立在一块平坦的金属面上，对波的响应就像秋千对一次踩准它自身节奏的推动的响应。对飞机 27.5 cm 的波，四分之一是 6.9 cm，这就是为什么真正的 ADS-B 天线，无论在飞机上还是在地面上，都是一截只有几厘米高的短杆。它是一只调过音的耳朵。长度大不一样的导线也能收到一点，但少得多，而且可以如实告诉班级，他们将要做的模型对真实的东西来说尺寸是对的。

这只耳朵能听多远？有两样东西限制它。信号随距离减弱，因为飞机的发射机把能量向四面八方散开，到达一根小天线的那一份随着距离增大而缩小：距离加倍，只剩四分之一。但在微弱成为问题之前，几何先成了问题。因为无线电是光，它沿直线传播；因为地球是一个球，从屋顶天线出发的直线很快就会碰到地面。只有当飞机和天线之间存在一条笔直、无遮挡的线时，飞机才能被听到。飞机越高，这条线在被地球挡住之前能伸得越远；天线越高，又更远一些。算术（到地平线的距离以公里计，约为高度以米计的平方根的四倍）留给中学课程；对您的课，结论就够了：一架十公里高的飞机，从屋顶上能在 400 多公里外听到，比从布鲁塞尔到巴黎再回来还远，而一架在 50 公里外刚起飞的飞机可能完全藏在地球的弧面后面。这就是为什么天线装在屋顶、桅杆和山上，也是为什么同一根天线能从很远处听到高飞的飞机，而低飞的飞机只有靠近时才听得到。

怎么教

从第 2 课悬而未决的问题开始：如果无线电是一种我们看不见的光，那谁看得见？答案是一只金属耳朵，天线，而第一件事就是去找几根。Wi-Fi 路由器有小杆，或者把它们藏在里面；外面的汽车车顶上有一个鳍；每部手机的边框里都藏着一根；学校屋顶上可能有好几根。派班级去找，或者您自己带照片去，列一张清单。问它们有什么共同点：它们是金属的，有特定的形状和尺寸，而且很常装在高处。这两个观察都是这一课的内容，您可以承诺两个都会解释。

关于尺寸，做模型天线。每个孩子剪一条 7 cm 长、约一厘米宽的卡纸条，用铝箔包起来，竖直立在一块同样包了铝箔的方形卡纸中央。对它是什么要诚实：它对飞机的波来说形状对、尺寸对，真正的接收机用的正是这种形状，但它自己解码不了任何东西，因为接住波只是第一步，读出脉冲需要一台无线电设备和一台计算机（中学课程会把它搭起来）。然后用秋千解释尺寸：秋千在你踩着它自己来回的节奏推时荡得最高，而金属杆在长度是波的四分之一时，在电的意义上“荡”得最好。把一把 27.5 cm 的尺子放在 7 cm 的杆旁边，让他们看到杆是尺子的四分之一。高龄组可以测量并验证。下面的铝箔方块是让这只耳朵完整的镜子，这样说一句、点到为止就好。

关于高度，到室外去，把问题也带上：天线为什么装在高处？让一个孩子站在操场一头，先蹲着，再站着，再站到长凳上，每次问他能看到另一头的什么；随着他升高，藏在矮墙或停着的汽车后面的东西露了出来。然后跳到地球：地面本身是弯曲的，像一个巨大的球的顶部，任何足够远的东西都藏在那道弧面后面，就像一艘驶过地平线的船，船身不见了而桅杆还露着。屋顶上的天线就是站在长凳上。高空的飞机是一艘桅杆很高的船。在黑板上画出来：一个圆，上面立一根小棍，一条直线擦过圆：线上方的一切都能听到，线下方的一切都在地球后面。然后可以给九到十一岁的孩子真实数字，让他们和熟悉的距离比较：400 km 比从布鲁塞尔到巴黎再回来还远；50 km 大约是一个省的宽度。

如果有时间，一个关于随距离减弱的小演示值得一做：黑暗礼堂另一头的一支手电筒把一张纸照得很暗；移到一半距离时，它把同一张纸照亮的程度明显超过两倍，因为光束散布在了更小的面积上。可以告诉大一点的孩子规律，距离减半意味着亮度变为四倍，以及它的联系：飞机的无线电也是这样散开的，这就是为什么远处的飞机需要灵敏的接收机。

孩子们会错在哪里，该怎么说

孩子们常以为天线越大越好，就像耳朵越大越好一样。对这道波来说并非如此：要紧的是尺寸正确，而正确的尺寸是小的。他们还以为天线装高是“为了离飞机近一些”；向上的距离与横向的距离相比微不足道，真正的原因是地球的弧面，这是一个更有意思的答案。最后，声音的混淆在这里以“天线听到飞机的噪声”的形式回来了。每次都要接住它：天线接住的是看不见的光，不是声音，对一架完全不发出噪声的飞机，它也照样接得住。

第 4 课

地图：许多耳朵如何拼出一幅图

您需要的科学原理

一根天线连同它的接收机，解码它能听到的消息，于是知道了它地平线之内每一架在说话的飞机的位置、高度和身份，这个范围大致是一个直径几百公里的圆（对高空交通而言），对低空飞机则小得多。要看到整个国家，需要许多这样的接收机，分散开来使它们的圆互相重叠，每一台都把听到的内容通过互联网送到一台中央计算机。这台计算机做两件事。它合并：一架高飞的飞机通常同时被十台或二十台接收机听到，从它们那里到达的同一条消息必须被识别为一架飞机，而不是二十架。它还检查：如果一台接收机报告的位置与所有相邻接收机都不一致，那份报告多半是解码错误，会被搁置。结果就是实时地图，每秒更新，完全由飞机所说、天线所听的内容建成。空中交通管制员看到的是类似的图景，外加雷达作为独立的第二意见，因为一个依赖飞机说实话的系统需要这样一个意见。

地图只显示在说话的飞机。几乎所有客机都在说；许多小型私人飞机、滑翔机和气球不被要求说，军用飞机也常常选择不说。所以这张地图是诚实的，但不完整，这是孩子对任何地图都值得学到的一点，也是让课程以一个问题而不是一个句号结束的自然方式。

怎么教

回到第 1 课的地面方格，但现在塔台不能听到一切。在房间的四角放三四根“天线”（拿着纸质方格图的孩子），告诉每一根它只能听到自己那一半或四分之一方格里的飞机；飞机像以前一样宣布。然后请天线们把各自的纸拿到一起，并排放好。合并后的图上有每一架飞机；每一张单独的纸上只有一部分。有些飞机出现在两张纸上，班级必须一致认定这是同一架飞机，而不是两架。这就是合并工作的全部，十岁的孩子五分钟就能做完，而它把“地图是许多收听者的拼图”这个概念固定了下来。

然后让它变成真的。把实时地图放到投影上，放大到学校，给每个小组一架飞机跟踪十分钟：它的呼号、高度、速度、从哪里来、到哪里去。让他们为它填一张卡片，把卡片钉在本地区挂图上他们最后看到它时的位置。在他们工作的时候，把他们看到的東西与课程的链条一句一句连起来：那架飞机每秒说两次话；它的消息骑在看不见的光上；400 km 以内某人屋顶上的一根天线接住了它；那根天线把消息发给了绘制这张地图的计算机；所以您才能在屏幕上读到它的高度。请班级用自己的话把这条链条讲回给您；这就是评估，到现在，班上大多数孩子应该都能做到。

用两个问题收尾。如果一架飞机不说话了会怎样？它会从地图上消失，不过管制员仍然有雷达。天上所有的飞机都在地图上吗？不，而关于哪些飞机不在、以及为什么有人可能不想被看见的讨论，是让一个已经理解了“地图由测量组成、其完整程度取决于收听者”的班级停下来的好地方。

孩子们会错在哪里，该怎么说

“卫星做出了地图”这个观念在这里以极大的顽固性回来，因为地图在屏幕上，屏幕来自互联网，而互联网在孩子们心里来自太空。温和地把它拆开：卫星只告诉飞机时间；飞机算出自己在哪里；飞机说出来；屋顶上的天线听到；计算机画出来。除了第一步，每一步都在地面上，而且如果把卫星换成任何别的能让飞机确定自己位置的东西，地图照样管用。

评估：他们能讲出这个故事吗？

这门课程只有一个学习成果，它有四个环节，评估就是看一个孩子能否按顺序、带着理由讲出这条链条。请每个孩子或每个小组解释一架飞机是怎么出现在地图上的，并留心四个环节：飞机知道自己在哪里，并且不被问就一遍遍说出来；消息以无线电波的形式传播，那是一种我们眼睛看不见的光，与声音毫无关系；一根天线，一只调过音的金属耳朵，接住它，但只能接住地球弧面之上的飞机；许多天线合在一起，分享听到的内容，做出地图。一个六到八岁的孩子把它当作故事讲出来，四步顺序正确，就达到了成果。一个九到十一岁的孩子还应当能在每一步给出理由：为什么每秒两次，为什么是光而不是声音，为什么 7 cm、为什么要高，为什么要许多天线而不是一根。

学生页面以一个简短的小测验结束，班级可以在平板上做，也可以举手回答；答案以及您应当期待的推理如下。飞机大约每秒发送两次消息，因为一分钟内它会移动 15 km，地图就没用了。消息不包含乘客的姓名，只有飞机的身份、位置、高度和速度。无线电波是一种我们眼睛看不见的光，不是声音，因为它不需要空气，而且速度快将近一百万倍。天线装在屋顶上是为了让它的直线视线越过地球的弧面伸得更远，而不是为了离飞机更近。地图需要许多天线，因为每一根只能听到一圈直径几百公里的天空。

如果学校愿意在屋顶上托管一台小型接收机，让自己的那片天空出现在实时地图上，让第 4 课以班级自己的天线收尾，可以在“成为数据贡献者”页面找到所需的一切。

下一步

学校屋顶上的一台接收机

四节课自然而然地以一台属于学校的接收机收尾。动手工作坊是完整的指南：零件和价格（100 到 150 欧元，或者一块现成的 Raspberry Pi）、该选哪根天线以及把它放在哪里、怎样准备计算机并安装 Dataaero 共享程序，以及一个班级一年之内可以用它做的测量。学校站点会以学校的名字出现在公共地图上，它的控制面板一年里的每一天都在回答“那是什么飞机？”。

打开动手工作坊 <https://radar.dataaero.eu/zh-hans/learning/workshop>