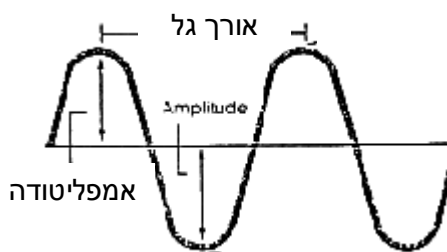


גלי קול

לבעלי חיים שונים איברים המסוגלים לקלוט גלי קול ולהשתמש במידע זה לצרכים שונים כמו תקשורת בין-מינית, תקשורת תוך-מינית, השגת טרף, התמצאות במרחב ועוד. בחלק מבעלי החיים האוזן היא זו שקולטת קולות, ובה יתמקד עיקר הפרק.

הקול

מבחינה פיזיקלית קול הוא אנרגיה המתפשטת באוויר, בנוזלים או במוצקים בצורה של תנודות מחזוריות – גלים. כשהקול נוצר הוא מרעיד את מולקולות התווך (מדיום) שבו הוא עובר. המולקולות מכות זו בזו ונוצר "גל אורכי". גלים בכלל, וגלי קול בפרט, מאופיינים בין היתר על-ידי זמן המחזור שלהם, שהוא הזמן החולף בין שני שיאים של גל.



גלי הקול מאופיינים ע"י שני מרכיבים: תדירות ועוצמה.

תדירות: מספר גלי הקול ביחידת זמן, או במילים אחרות – מספר מחזורים ליחידת זמן. יחידות המדידה הן הרץ (Hz), קילו הרץ (KHz) או יחידות הרץ בסדרי גודל שונים. שם היחידה נקרא על שמו של המדען הגרמני היינריך הרץ (1857-1894).

1 הרץ = 1 גל בשנייה, לדוגמא אם תדירות צלילי מסוים 1010Hz, משמע שהגוף המחולל צליל מבצע 1010 תנודות בשנייה. אוזן האדם מסוגלת להבחין בטווח תדירויות הנע בין 16 תנודות בשנייה עד ל-20,000 תנודות בשנייה. כלבים מסוגלים להבחין בתנודות של 30,000 תנודות לשנייה. עטלפים מסוגלים להפיק ולשמע קולות בתדירויות של 100,000 תנודות בשנייה.

תדירות קטנה – צלילים נמוכים, ולהפך: תדירות גדולה – צלילים גבוהים. (חשוב לשים-לב למינוח: גבוה אינו חזק ונמוך אינו חלש!!! "חזק" ו"חלש" מתקשרים לעוצמה, שעליה יורחב בהמשך).



גלים שתדירותם עולה על תדירות השמיעה של האדם נקראים גלים אולטרה-סוניים, וגלים שתדירותם מתחת לתדירות השמיעה נקראים גלים אינפרה-סוניים. גלי קול אולטרה-סוניים אינם עוקפים מכשולים, ולכן הם אינם עוברים מרחקים ארוכים, לעומתם- הגלים האינפרה-סוניים הם בעלי אורך גל גדול, ולכן מסוגלים לעבור מכשולים ומשמשים לתקשורת למרחקים ארוכים.

עוצמה: עוצמת הקול תלויה בגודל התנודה מנקודת ההתחלה עד לנקודה הגבוהה ביותר. מרחק זה נקרא משרעת (אמפליטודה). גל בעל משרעת גדולה הוא בעל עוצמה גבוהה ("קול חזק"), ולהפך. היות שטווח הרגישויות של אוזן בריאה רחב ביותר ונע בטווח של 12 סדרי גודל, משתמשים בסולם לוגריתמי. היחידה של סולם זה היא בל (Bell), והפרש של בל אחד בין שני צלילים, פירושו שלצליל החזק עוצמה הגבוהה פי 10 מעצמת הצליל החלש. מכיוון שהבל הוא יחידה גדולה, משתמשים בעשירית בל (דציבל).

דוגמאות לעוצמות קול שונות:

שקט מוחלט – 0 דציבלים

לחישה – 30 דציבלים

שיחה – 50 דציבלים

צופר מכונית – 85-90 דציבלים

סף הכאב – 120-130 דציבלים

בכל תווך (מדיום) מהירות גלי הקול אחידה, ללא קשר לעוצמה או לתדירות. באוויר שינויי לחץ האוויר, הנוצרים ע"י התפשטות הגל, מתפשטים במהירות של 330 מ' לשניה.

ההד

כשמשמיעים קריאה, במקרים מסוימים אפשר לשמוע הד, החוזר ו"עונה" לקריאה. בדרך כלל גלי הקול היוצאים מפינו, או ממקור הקול, מתקדמים ומתרחקים מאתנו בהתמדה. אלא אם כן הם נתקלים בדרכם במחסום, הגורם לשינוי במסלולם. כאשר גלי הקול המתפזרים בחלל נתקלים במחסום (קיר, סלע וכדומה) הם מושלכים חזרה ומגיעים שוב למקום ממנו יצאו. הזמן שאורך לגלי הקול להתפשט ולחזור הוא ההשהיה בהחזרתו של ההד.

משטחים קשים וחלקים משמשים בדרך כלל כמחזירים טובים של גלי קול, ואילו משטחים רכים ומחוספסים, כגון בד הם מחזירים גרועים. אם מדברים באולם ריק אפשר לשמוע הדהוד חוזר. אם באותו אולם אנשים רבים, לא ישמע כמעט כל הד, כיון שהבגדים קולטים במידה מרובה את גלי הקול, ומונעים את החזרתם.

"לראות" את הצלילים

האפשרות "לראות" את הצלילים משמשת בעיקר יוצרי כלי-נגינה, מלחינים של מוזיקה אלקטרונית וזואולוגים, החוקרים בעלי חיים. באדם חוש הראייה מפותח יותר. עצבי הראייה שלנו, המוליכים מהעיניים אל המוח, מכילים הרבה יותר סיבים, או ערוצים, מאשר עצבי השמיעה המוליכים מהאוזן אל המוח, ולכן היכולת להציג את הצלילים באופן גרפי, מאפשרת הפקת מידע רב יותר.

אדם מנוסה יכול להתבונן ב"טביעות קול" של שני קטעי דיבור ולומר אם הושמעו על ידי אותו דובר. כיצד יוצרים גרף של קול, "טביעת קול"? הקול הוא גלי לחץ המתקדמים באוויר או בכל תווך אחר. המיקרופון קולט את העליות והירידות בלחץ כאשר הגלים מגיעים ליו ככל שהקול חזק יותר, כך המשרעת של הגלים גדולה יותר; וככל שצליל הקול גבוה יותר, כך הגלים "מצטופפים", "אורך הגל" שלהם מתקצר ותדירותם עולה. כאשר מציגים זאת באמצעות גרף או על של משקף תנודות, זה מה שרואים:

גבוה וחזק



גבוה וחלש



נמוך וחזק



נמוך וחלש



מכיוון שרוב הקולות (הן במוסיקה והן בעולם החי) אינן מורכבות מצלילים טהורים בלבד, אלא מדובר בתערובת של צלילים, יש צורך בניתוח של הצלילים והתחשבות בכך. עבור רוב הקולות, הגלים המורכבים חוזרים על עצמם, לפחות במשך זמן קצר. עבור גלים מחזוריים כאלה, קיימת אפשרות להתבונן בהם,

והיא נקראת אנליזת פוריה, על שם ממציאה. דרך זו הומצאה כבר בתחילת המאה ה-19, והאלגוריתמים שפותחו היו במקורם עבור לימודי התרמודינמיקה שפורייה למד בין היתר. בשיטה זו דוחסים את כל המידע לתוך גרף אחד. פוריה הראה שאת כל הגלים המחזוריים האלה אפשר להרכיב מצירופים של גלי סינוס בעלי תדירויות שונות. כדי לקבל ייצוג שלם של קול, כל מה שיש לעשות הוא לשרטט גרף המראה כמה מכל תדירות מכיל הקול.

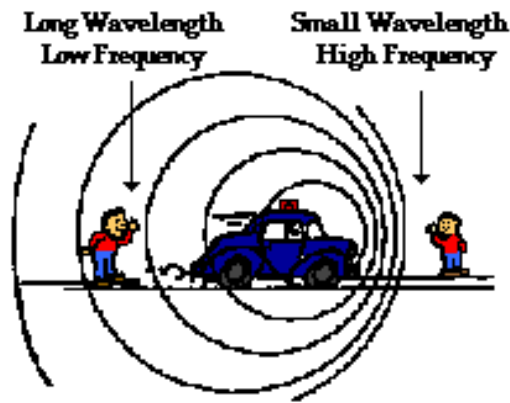
תופעת דופלר

תופעת דופלר אופיינית לכל התופעות הקשורות בגלים, ובכלל זה גם לגלים אלקטרו-מגנטיים (החל מגלי רדיו ארוכים בקצה האחד ועד לקרינת גמא בקצה השני של הרצף). בכל אחד מתחומי הספקטרום יש לתופעת דופלר יישומים בעלי חשיבות לאדם. המדען האוסטרי כריסטיאן דופלר (1803-1853) פרסם מאמר מדעי, בו טען כי תדירות הצליל הנשמע לאוזנו של מאזין הנוסע לקראת מקור הקול תהיה גדולה יותר מן התדירות המקורית של הצליל ואילו מאזין המתרחק מן המקור ישמע צליל שתדירותו קטנה יותר מזו של המקור.



כשהמאזין מתקרב אל מקור הקול, הוא יפגוש ביותר שיאי גלים מאשר היה פוגש אילו היה ניח. מכאן, שתדירות הצליל שהוא שומע תהיה גבוהה יותר. ככל שהמהירות של המאזין תהיה גדולה יותר לקראת מקור הקול, תדירות הצליל שישמע תהיה גדולה יותר. בדומה, אם יתרחק המאזין ממקור הקול, מספר שיאי הגלים שהוא יפגוש יהיה קטן יותר, ולכן תדירות הצליל תקטן, והיא תלך ותפחת ככל שמהירות תנועתו ממקור הקול תגדל.

בתופעה זו ניתן לחוש כשהמכונית חירום צופרת עוברת לידינו (במקרה זה דווקא מקור הקול הוא הנייד, ואילו השומע - ניח) – כשהמכונית מתקרבת התדירות גדלה ולכן קצב הצפירות (שמקור הקול פולט בקצב קבוע) יישמע מהיר יותר, בעוד כשהמכונית מתרחקת, התדירות קטנה ולכן קצב הצפירות יהיה איטי יותר. חשוב לזכור – אין כאן התייחסות לעוצמת הקול (שכמובן משתנה כתלות במרחק מקור הקול מאיתנו), אלא לתדירויות בלבד!!!



The Doppler Effect for a moving sound source

על-פי מדידת תדירותו של גל קול הנשמע באוזניו של מאזין נע (או מקור קול נע) ניתן בעצם לחשב את מהירות המודל הנע. מידע זה מנוצל בתחומים רבים כמו לדוגמא, מד מהירות של המשטרה, מידע לגבי מהירות תנועת כוכבים ביחס לכדור הארץ, מעקב אחר הרכב החומרים של גרמי שמים ושימושים רפואיים, עליהם יורחב בהמשך.

[קטע אנימציה הממחיש את תופעת דופלר](#)

עבודת סיכום

הסבר מדוע בריק (וואקום) לא תיתכן תקשורת קולית.

לקריאה נוספת:

תופעת דופלר - יוסף ורבין, כמעט 2000, 2 (גלים) עמ' 32