

# כינור, סודות וקצת פיזיקה (ותהודה)

אירינה ויסמן, קרית החינוך "דבין", מזכרת בתיה והמרכז הארצי למורי הפיזיקה



הכינור בצורתו המוכרת הופיע בתחילת המאה ה-16 בצפון איטליה. מאיטליה הגיע הכינור לכל אירופה. הכינורות המפורסמים ביותר נבנו בקרמונה שבאיטליה במחצית הראשונה של המאה ה-17. שני השמות הבולטים בין בוני הכינורות היו אנטוניו סטרדיוואריוס וגיוספה גוארניארי. שניהם יצרו סביב עצמם סוג של מקסונויות כשמכרו את הכלים שבנו רק למוזיקאים וינטואזיים או לבעלי הון. סטרדיוואריוס וגוארניארי שמרו בסודיות גמורה את הטכניקה לבניית הכינורות. סודות אלה נחקרים עד היום.



הכינור נראה כלי פשוט אבל הוא אחד מהכלים המוזיקליים המורכבים ביותר. הוא בנוי מיותר מ-70 פיסות עץ המחוברות זו לזו באופן ידני. לכן אין שני כינורות זהים לחלוטין. המומחים טוענים שלכל כינור יש "קול" משלו. בניית כינור מתחילה בבחירת החומרים. העץ לכינור חייב להיות חזק, גמיש ויבש מאוד.

רבות מתכונות הכינור שנראות רק כקישוט הן הכרחיות לתפקודו. לדוגמה, הצורה הקמורה מעט של שתי הצלעות (החלק העליון והחלק התחתון) חיונית לחוזק הצליל המתקבל. צורת הצלעות משפיעה גם על יכולתן לרטוט ועל הצלילים שניתן להפיק מן הכינור.

## והיכן הפיזיקה בכינור?

כשגורמים לתנודות במיתרים של הכינור, ה"גשר" שעליו מתוחים המיתרים מעביר את התנודות לגוף הכינור. תכונות הגשר (גודל, צורה, מסה, גמישות ומיקום) משפיעות בצורה משמעותית על איכות הצליל הכינור. בגוף הכינור נוצרים גלים עומדים במגוון רב של תבניות על פי מבנהו של הגוף. התנודות המתקבלות כתוצאה מכך גורמות להיווצרות של גלים עומדים באוויר הכלוא בגוף הכינור לפי הגאומטריה של תיבת התהודה ולפי צורתם ומיקומם של פתחי הכינור. גלים אלו מתפשטים באוויר, ואנחנו קולטים אותם כקול. בלי אוויר הקול לא יכול להתפשט.

תדירות התנודות של המיתרים תלויה בגורמים האלה:

- המתיחות במיתר - ככל שהמתיחות גדולה יותר, תדירות התנודות תהיה גבוהה יותר. הכנר משנה את מתיחות המיתר לפני הנגינה ("כיוון הכלי") וקובע כך את גובה הצליל ההתחלתי של מיתר באורך מלא.
- אורך המיתר - האורך ההתחלתי (לפני הנגינה) של כל המיתרים בכינור כמעט זהה. בזמן הנגינה הכנר משנה את אורך הקטע במיתר שמתנודד בעזרת לחיצה עם האצבע על המיתר. ככל שאורך הקטע קטן יותר, גובה הצליל (תדירות התנודות) יהיה גבוה יותר.

● הצפיפות הקווית של המיתר - פרמטר זה אינו ניתן לשינוי על ידי הכנה. ככל שהמיתר דק יותר, תדירות התנודות תהיה גבוהה יותר.

לכינון, כמו לכל כלי נגינה, יש תדירויות יסוד. תדירות יסוד היא התדירות הנמוכה ביותר של גל עומד הנוצר בתיבת התהודה. תדירות זו מחוללת את הצלילים החזקים והברורים ביותר. לצלילים אלו נוספים צלילים עיליים (אוברטון או הרמוניה) המופקים מכל תדירות שהיא מכפלה של תדירויות היסוד. הצלילים העיליים מעניקים את ה"צבע" המיוחד לכלי הנגינה. בתורת הגלים מכונים צלילים כאלה הרמוניות גבוהות.

ה"גשר" של הכינור מעביר סט שלם של צלילים עיליים מהמיתר המתנודד לצלע הקדמית. עוצמתו של כל צליל עילי מוגברת אם אורך הגל שלו מתאים לממדיה של הצלע הקדמית. כיוון שתדירויות הכינור גבוהות, קיימת אפשרות לקבל גל עומד בעל נקודות קמר רבות לאורך המיתר. המיתר קרובים מאוד זה לזה, ולכן חלק מהתדירויות מתגברות יותר מאחרות. יש לציין שתיבת התהודה אינה מגבירה את הקול. אין אנרגיה חדשה שמתווספת לאנרגיה של המיתר המתנודד. תפקיד התיבה הוא לאפשר לגלי הקול שטח מגע גדול יותר עם האוויר שיקבל אנרגיה. כינור טוב מעביר לסביבתו את כל הרמוניות האפשריות.

סטרדיוואריוס נראה לא ידע את כל אלה ובכל זאת הכינורות שלו הם עד היום בין הכלים היקרים ביותר בעולם, והם משמשים את הכנרים המפורסמים ביותר. עדיין אין תשובה מלאה לשאלה מה גורם לכינורות אלה להוציא צלילים כל כך איכותיים. בונה כינורות גרמני שחיפש אחרי הסוד של סטרדיוואריוס, גילה ב-1985 כי התהודה המתקבלת בכינורות מקרמונה הנה מרבית, ותדירותה נעה סביב ה-2500Hz. תדירות זו היא באזור הרגישות המרבית של השמיעה של בני אדם. תכונה זו אינה מצויה בכינורות אחרים.

מחקרים אמריקניים שפורסמו בשנתיים האחרונות, מראים שהסוד בכינורות של סטרדיוואריוס נמצא בשני מאפיינים שלהם: הצפיפות הגבוהה ביותר של העצים שבהם השתמש סטרדיוואריוס והתערובת המיוחדת שבה השתמש לציפוי הכינו. תוצאות אלה שהתקבלו בעזרת טכניקות מתקדמות אינן מקובלות על האיטלקים בכלל ועל אוהבי המוזיקה בפרט. מתברר שרבים מן המדענים אינם מתרשמים גם הם מהגילויים החדשים, והם טוענים שחידת הכינורות מקרמונה טרם נפתרה. נדמה שאנטוניו סטרדיוואריוס לקח אתו את סוד הכינורות המושלמים אל הקבר. נכון, מדובר בסך הכול בגלים עומדים ובתהודה, ובכל זאת עדיין אין יודעים איך הצליח סטרדיוואריוס להפיק מפיסות עץ וכמה מיתרים צלילים מושלמים כל כך.

## מראי מקום

<http://www.phys.unsw.edu.au/jw/violintro.html>

Cremona Revisited: The Science of Violin Making

<http://eands.caltech.edu/articles/LXVII4/cremona.html>

Can a Hammer and Light Measure the Quality of Violins?

<http://www.nvo.com/winmls/nss-folder/musicalacfiles/Introduction%20to%20violin%20measurements%20-%20Morset.doc>

Berg, R, and Stork, D. (1995). The Physics of Sound. Prentice Hall

Stoel BC, Borman TM (2008) A Comparison of Wood Density between Classical Cremonese and Modern Violins. PLoS ONE 3(7): e2554. doi:10.1371/journal.pone.0002554

<http://www.youtube.com/watch?v=vy1LD2oxVjU>

הדמיה טובה על הווצרות גל עומד בכינור נמצאת בכתובת:

<http://id.mind.net/~zona/mstm/physics/waves/standingWaves/standingWaves1/StandingWaves1.html>