

## הבניה של מושגים בחקר המדעי

### המקרה של חקר הקשת בענן

במהלך הנחיית החקר בפיזיקה, קורה שאנו עומדים בפני קשיים בלתי צפויים. לעיתים אנו מנסים להבין עניין זה או אחר, או משתדלים להסביר תופעה כזו או אחרת. אנו חשים שמשוהו חסר לנו על מנת לדון בבעיה וללבן אותה היטב, ומסתבר שחסרים לנו כלים המתאימים לבירור הסוגיה הנחקרת. ייתכן שהכלי החסר לנו הוא מושג חדש, מושג הנדרש לצורך בירור התופעה, אך עדיין אין למושג הזה מאפיינים ברורים ... אין לו שם ברור.

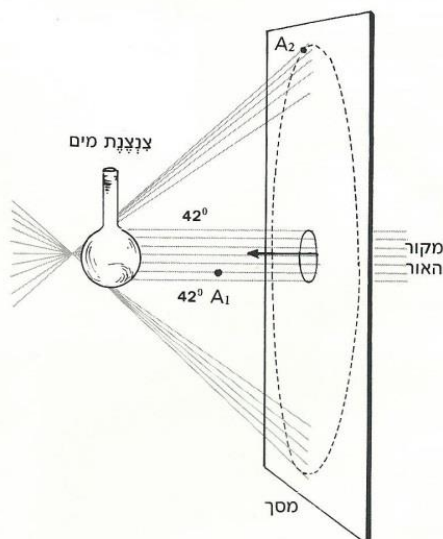
כך בדיוק קרה לנו, כאשר התחלנו לחקור עם תלמידינו את נושא הקשת בענן. אנחנו רוצים להבין את הקשר שבין אור השמש ותמונת הקשת בענן שאנו רואים. קשה עדיין לנסח – מה בדיוק חסר לנו על מנת לחקור ולהבין את התופעה ... יתכן שדרוש יותר ממושג אחד ... ייתכן שדרושים כלי עזר ...

הגענו להבנה כי יש לחלק את המחקר לשני חלקים:

1. חקירת פיזור האור מטיפה בודדת,
2. בחינת האופן שבו קולט הצופה את קרני האור וכיצד מתקבלת אצלו תמונת הקשת בענן.

### חלק ראשון

החלטנו כי כדאי לשחזר את הניסוי של תיאודוריק מפרייברג על מנת לחקור את פיזור האור מטיפה מבודדת.

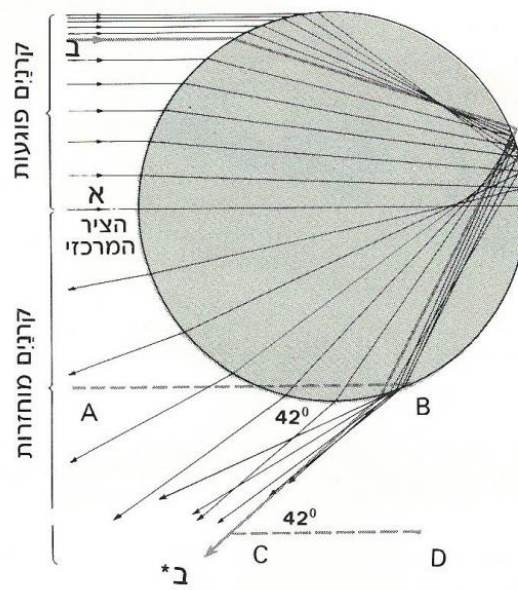


איור - המתקן של תיאודוריק



צילום הניסוי במתקן של תיאודוריק :  
האור המפוזר מצנצנת מים כדורית

גילינו בניסוי של תיאודוריק – כי טיפת מים כדורית מפזרת את האור הפוגע בה כך :  
אור השמש מוחזר מהטיפה לכיוון השמש בצורת **חרוט של אור**. החרוט, קדקודו בטיפת המים  
הוא פונה אל כיוון מקור האור (השמש) בזווית של  $42^\circ$ .  
האור המוחזר מהטיפה אל כיוון השמש, הוא **חרוט של אור לבן**, אשר סביבו **אור צבעוני** של כל  
צבעי הספקטרום, כאשר הצבע האדום בחוץ.



איור מהלך קרני האור בטיפה בודדת. מתוך המאמר במדע, [כהן, 1987](#)

התברר כי לתיאור התופעה חסר לנו מושג חדש. משהו כמו :  
חרוט של אור הקשת המפוזר מטיפה בודדת

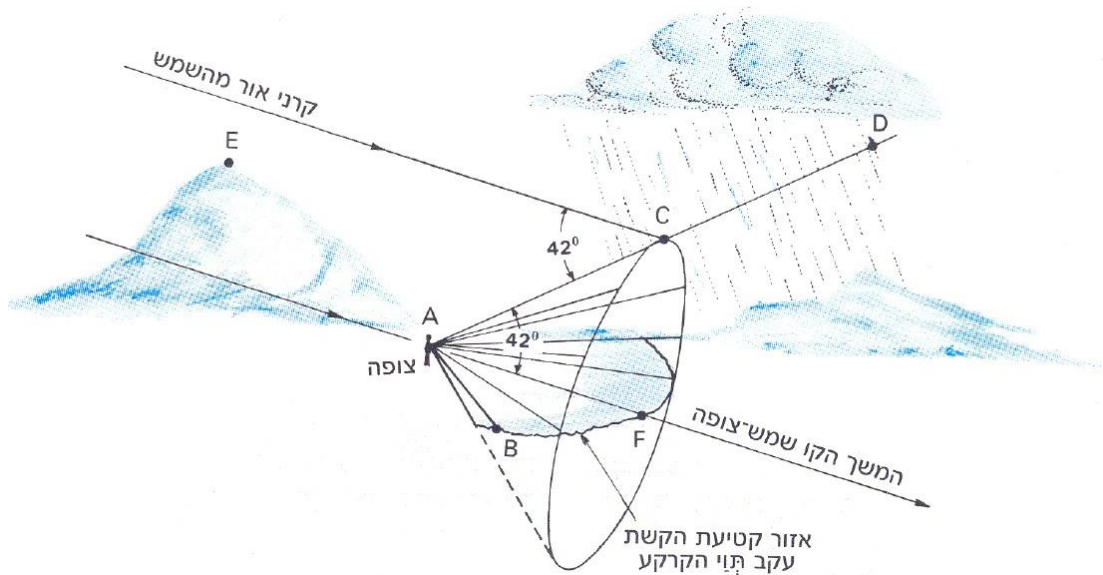
## חלק שני

בהמשך בחנו את האופן שבו קולט הצופה את קרני האור וכיצד מתקבלת אצלו תמונת הקשת בענן.



קשת בענן מעל גשר השלום – ליד קיבוץ מעוז חיים  
צילום: אריה גנתון

באיור הבא מוצג הניתוח שערכנו לתופעה:  
קרני השמש הפוגעות בטיפות הגשם - מוחזרות לעינו של הצופה



איור: חרוט הקשת

מתוך המאמר בכתב העת מדע, [כהן, 1987](#)

כאשר קימת אוכלוסייה צפופה של טיפות גשם המוארות באור השמש, מוחזרות קרני האור מהטיפות לכיוון השמש. צופה העומד בין הטיפות ובין כיוון השמש קולט חלק מקרני האור

המפוזרות מהטיפות. זהו אוסף של קרני אור צבעוניות המגיעות אליו מחרוט של אור הנוצר סביב הציר: שמש-עין-צל הצופה. קרני אור אלו תִּרְאֶינָה לצופה כקשת בענן. בחלק הפנימי של הקשת בענן יתקבל אזור בהיר יותר. מתברר כי דרוש לנו מושג חדש נוסף:

חרוט קרני האור המפוזרות מטיפות הגשם ומגיעות אל עין הצופה

הגדרה אפשרית לתיאור המיקום המרחבי של הקשת בענן (עבור הצבע האדום בקשת הראשית): **חרוט הקשת הנו אוסף הקרניים אשר מגיעות אל עין הצופה בזווית קבועה של  $42^\circ$  ביחס לכיוון הציר: שמש-עין-צל הצופה.**

כלומר, חרוט הקשת מייצג את מהלך קרני האור המפוזרות מטיפות הגשם ומגיעות לעינו של הצופה.

נשאלת השאלה מה הקשר בין שני המושגים החדשים:

חרוט של אור הקשת המפוזר מטיפה בודדת.

חרוט קרני האור המפוזרות מטיפות הגשם ומגיעות על עין הצופה

האם זהו אותו חרוט?

אם כן, מדוע?

כיצד אותו חרוט משחק בשני תפקידים שונים?

התשובות לשאלות חשובות אלה יתבררו בחלק הבא של הדיון.

## חלק שלישי

בעת הגשם, מרחפות באוויר טיפות מים כדוריות רבות. כל טיפה מפזרת את האור כפי שלמדנו ממודל המתקן של תיאודוריק: חרוט של אור המפוזר לכיוון השמש. פנים החרוט – אור לבן. על מעטפת החרוט – צבעי הקשת, כאשר האדום בחוץ.

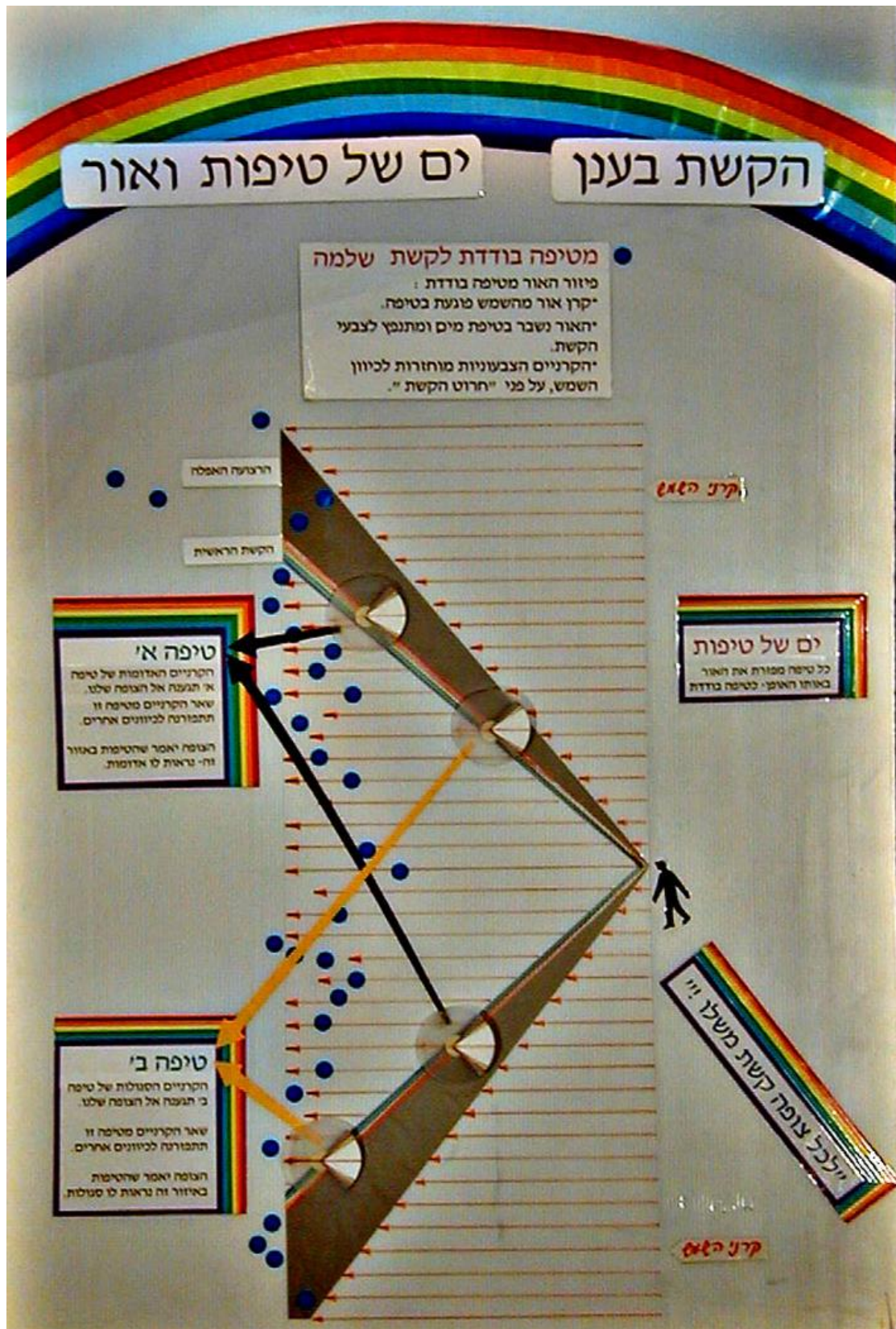
בנינו מודל: **מטיפה בודדת לקשת שלמה**

במודל ניתן להזיז חלק מן הטיפות.

יש להקפיד על כך שהזזת הטיפות תהיה הזזה מקבילה. כלומר, ציר האור הפוגע בטיפה יישמר מקביל לכיוון קרני השמש המקבילות (ראו את המודל בעמוד הבא).

כאשר משנים את מיקומן של הטיפות במודל, ניתן לראות כי כל טיפה מפזרת את האור כמו טיפה בודדת. אין גורם המכוון את קרני האור. רק חלק קטן מקרני האור שיצאו מהטיפה הבודדת, מגיעות לעינו של הצופה. הצופה מקבל רק את הקרניים שיצאו מן הטיפה ונעו בדיוק לכיוון עינו של הצופה.

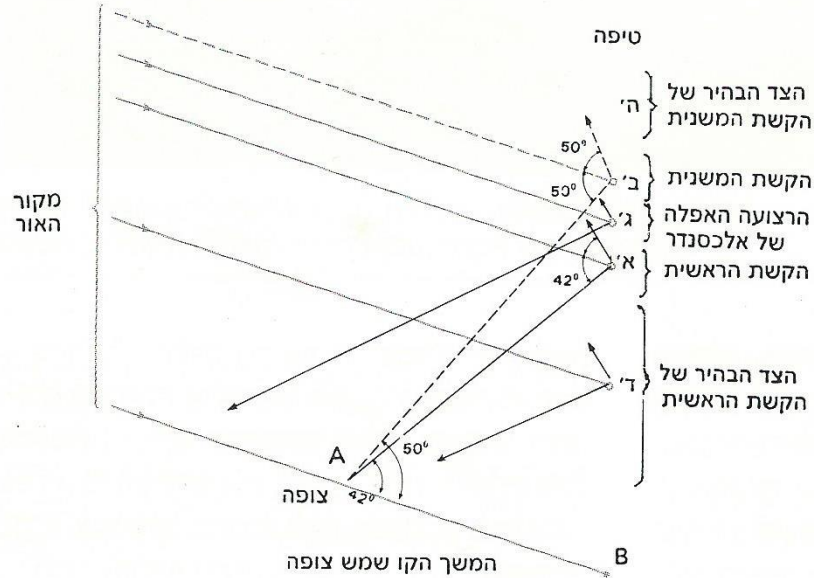
חדי העין יוכלו להבחין בקשר שבין חרוט האור המפוזר מטיפה בודדת, לבין חרוט האור שמגיע אל עינו של הצופה. **מתקבלות זוויות מתחלפות בין מקבילים!**



מודל : מטיפה בודדת לקשת שלמה

תוך שאנו פועלים במתקן זה, ומזיזים את הייצוג של טיפות הגשם המרחפות באוויר, אנו מבינים כי טיפות הגשם מפזרות חרוט של אור לכיוון השמש.

חרוט מקביל של אור - מתקבל בעינו של הצופה. **שני החרוטים הם אותו 'חרוט הקשת'.**  
 הזוויות זהות משום שהן זוויות מתחלפות בין קווים מקבילים.  
**החלטנו לכנות את המושג החדש: חרוט הקשת**



הגדרה זו מציעה מושג מופשט שלרובנו הוא אינו אינטואיטיבי.  
 הבְּנָיָה טובה של המושג מתקבלת תוך כדי בניה של מודל מוחשי, נוח ושימושי.

### חלק רביעי

בכוונתנו לבנות מודל מוחשי של "חרוט הקשת", חרוט שזווית הפתיחה שלו  $42^\circ$   
 בקדקוד החרוט ישנה דִּסְקָה קטנה, חריר הצצה, מעין כוונת.  
 במרכז החרוט ישנו צלב, מעין כוונת, שניתן לכוון לעבר צל הצופה.

ראו את חוברת ההדרכה: [לוכד הקשת בענן: הוראות בניה של חרוט הקשת](#)

המודל שנבנה משמש לנו כלי להבנת מושג חרוט הקשת, ואף מאפשר לנו לצפות בקשת בענן באופן הבא:

עימדו כשגבכם אל השמש ופניכם לעבר הצל שלכם.  
 החזיקו את חרוט הקשת כך שקדקודו סמוך לאחת מעיניכם (יש לעצום את העין השנייה).  
 התבוננו מבעד לחריר ההצצה שבקדקוד החרוט – אל הצלב אשר בבסיס החרוט.  
 כווננו את הצלב הזה אל צל הראש שלכם (כל אחד הוא בחזקת - צופה).  
 כעת, כאשר השמש מאירה באור בהיר, הפעילו ממטרות אם הגשם לא יורד ... והקשת בענן תיווצר סביב עיגול הבסיס של חרוט הקשת!  
 אתם אוחזים את הקשת במו ידיכם!

כעת, זוזו מעט ימינה או שמאלה. המשיכו לאחוז את חרוט הקשת כשהוא מכוון אל צל הצופה. למרבה ההפתעה – הקשת שלכם הולכת אתכם! למעשה הקשת נבנית כמעגל סביב צל ראשו של הצופה.

הנה כי כן, בעזרת חרוט הקשת שבנינו, גילינו עוד תגלית: הקשת היא קשת אישית לכל צופה, והיא נעה יחד אתו!

בתמונה הבאה עמוס אחוז בידיו את מודל חרוט הקשת. לְצַדוֹ יורם, תלמיד חוקר

