

## דוגמת ביצוע: הערכה מעצבת בדגש מיומנויות – מבואות בפיזיקה שבירת אור

כתיבה ועריכה: ד"ר אריאל אברשקין

### הפיקוח על הפיזיקה

להלן דוגמא לשאלת הערכה המשלבת ומדגישה מיומנויות שונות – תפיסות אפיסטמיות, מיומנויות אורייניות (שליפת מידע מטקסט, הסקה מתרשים, הסקה מגרף), מיומנויות טיעון והסבר, הסקה ממודל ויישום.

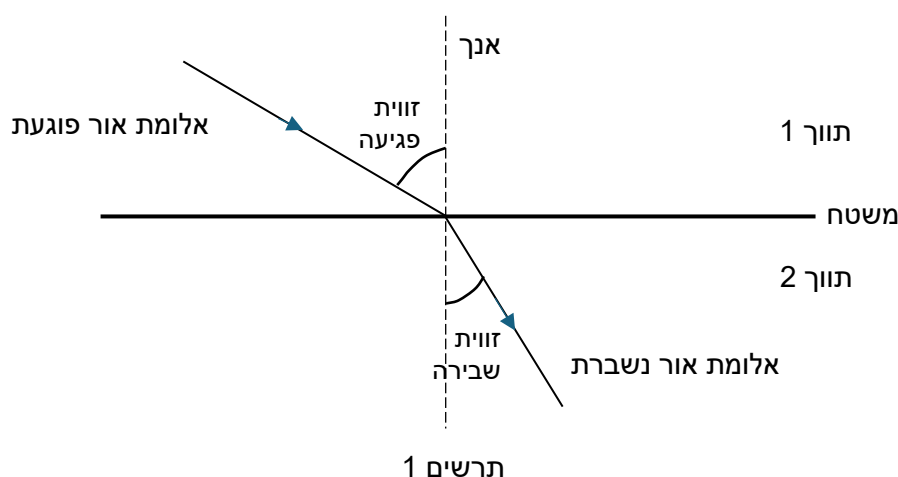
השאלה פותחה ברוח ובהתאם למהלך ההוראה לפרק שבירת אור באופטיקה, המתואר בפרויקט מל"מ 6: "פיתוח חומרי עזר למורה - מבוא למדעים - מתווה ודוגמאות יישום ליחידת לימוד ברוח דמות הבוגר עבור המורה לפיזיקה"

### השאלה

#### תיאור התופעה – שבירת אור

כאשר אלומת אור עוברת מתווך אחד לאחר (כגון מאוויר לזכוכית) מתרחשת תופעה המכונה "שבירת אור" ובה משנה האלומה את כיוון תנועתה. שינוי כיוון התנועה מתבטא בשינוי זווית אלומת האור ביחס לאנך למישור הפגיעה, כמתואר בתרשים 1.

הערה: חלק מאלומת האור הפוגעת מוחזר. זווית ההחזרה שווה לזווית הפגיעה, בהתאם לחוקי ההחזרה. אנו נעסוק בחלק אלומת האור העובר מתווך לתווך, המכונה "אלומת אור נשברת".



הזווית בה פוגעת אלומת האור ביחס לאנך למשטח מכונה "זווית הפגיעה".  
הזווית בה ממשיכה אלומת האור את דרכה בתווך השני, ביחס לאנך למשטח, מכונה "זווית השבירה".

מסתבר כי קיים קשר בין זווית הפגיעה לזווית השבירה.

הקשר תלוי בין השאר בגודל המכונה "מקדם השבירה". לכל חומר (תווך) מקדם שבירה אופייני משלו. מקדמי שבירה של מספר חומרים מופיעים בטבלה 1 להלן.

מקדם שבירה	חומר
1	אוויר
1.33	מים
1.5	זכוכית
2.4	יהלום

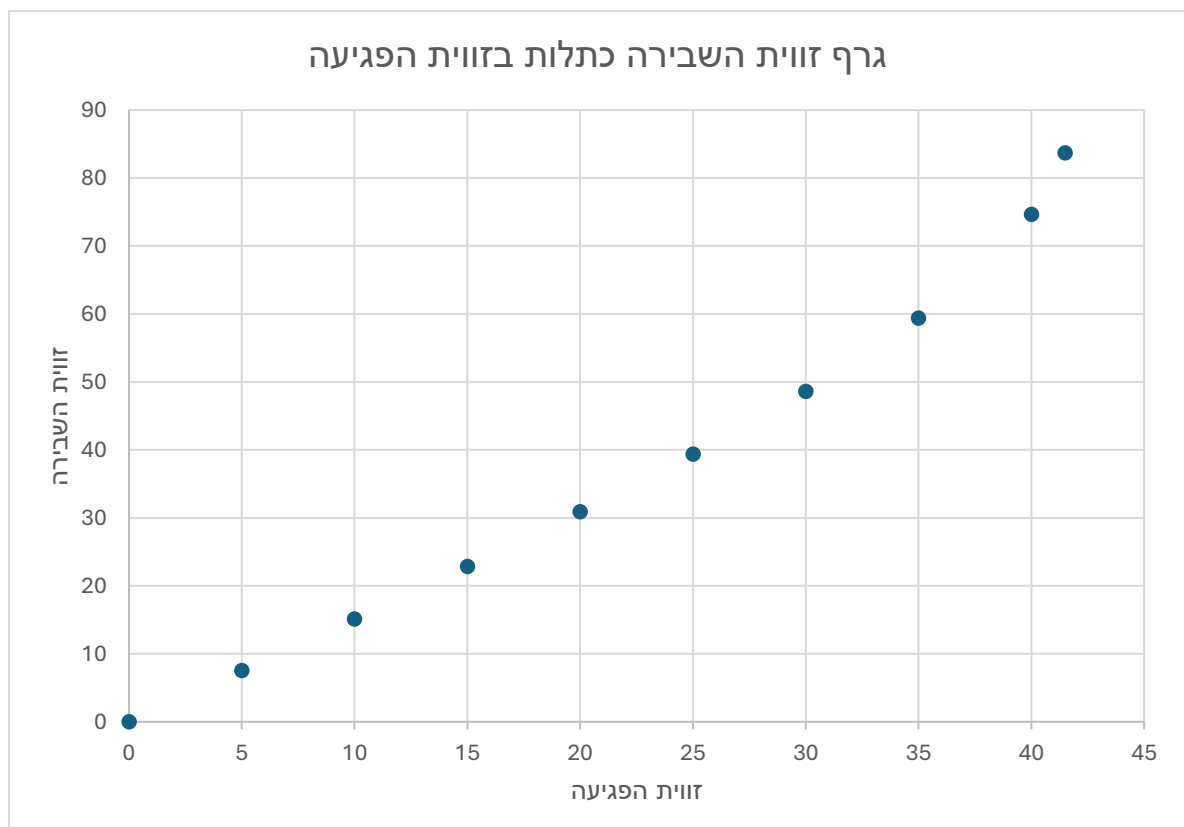
טבלה 1

כמו כן, מניסויים במעבר אור בין חומרים עם מקדמי שבירה שונים עולה כי:

- כאשר אלומת אור עוברת מחומר בעל מקדם שבירה נמוך לגבוה יותר מתקיים: זווית השבירה קטנה מזווית הפגיעה
- כאשר אלומת אור עוברת מחומר בעל מקדם שבירה גבוה לנמוך יותר מתקיים: זווית השבירה גדולה מזווית הפגיעה

### ענו על הסעיפים הבאים

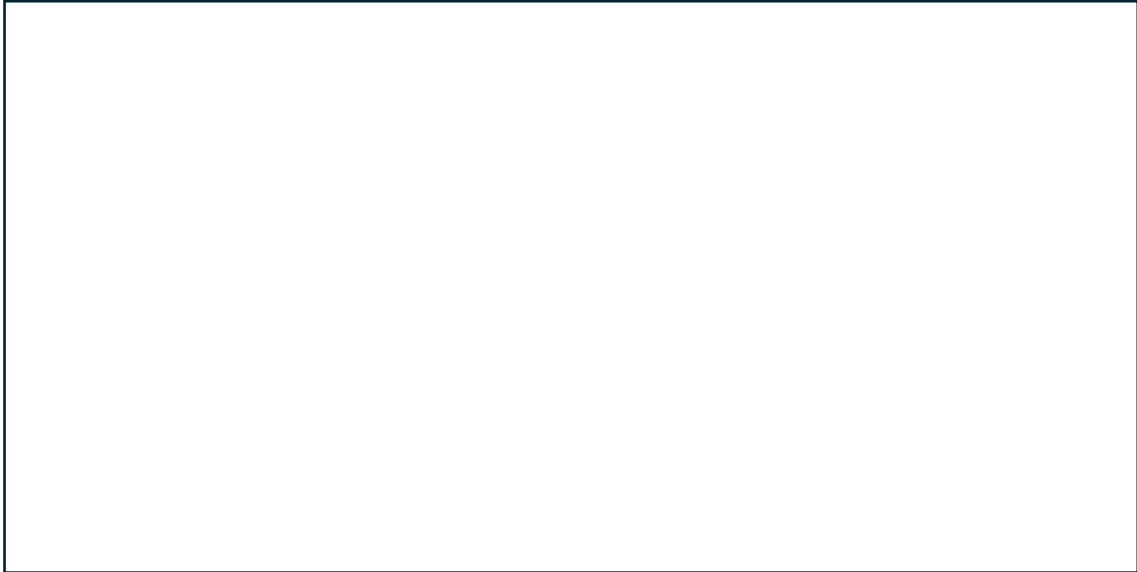
תלמידים מדדו את זווית השבירה כתלות בזווית הפגיעה עבור מעבר בין שני חומרים, והתקבל הגרף המתואר בתרשים 2.



תרשים 2

א. תארו את הגרף בקצרה במילים ("מה רואים בגרף?")

ב. שרטטו מהלך קרניים המתאים לגרף

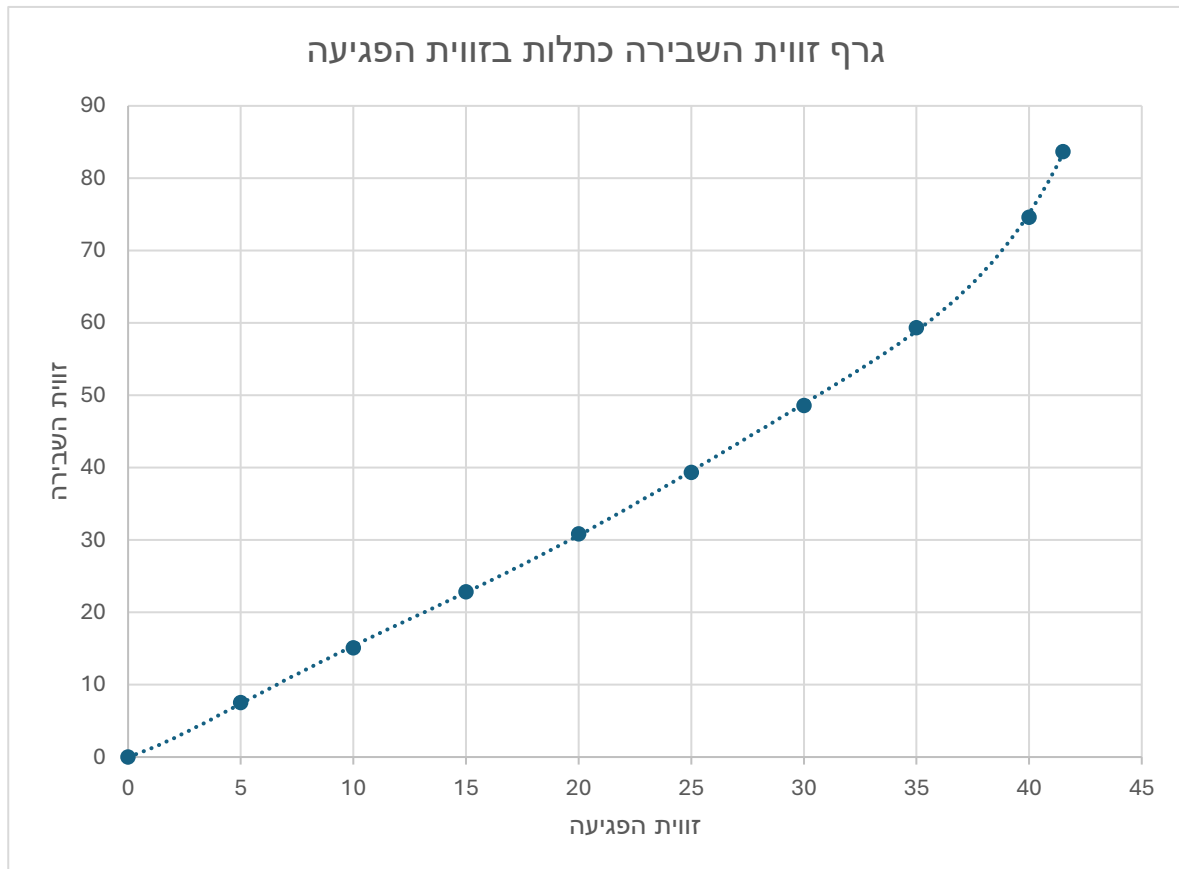


ג. באמצעות הגרף ניתן לקבוע בוודאות כי:

1. אלומת האור עברה מזכוכית לאוויר
2. אלומת האור לא עברה מאוויר למים
3. אפשרויות 1 ו- 2 נכונות שתיהן
4. אף אפשרות אינה נכונה

הסבירו את תשובתכם:

ד. התלמידים רצו למצוא קשר בין זווית הפגיעה לזווית השבירה במעבר בין שני החומרים, לשם כך הם העבירו בגרף קו אשר התאים לכל הנקודות, כמתואר בתרשים 3.



תרשים 3

אחד התלמידים טען כי התאמת הקו לנקודות מהווה הוכחה שקו זה מתאר את הקשר הנכון בין זווית הפגיעה לזווית השבירה.

כיצד על התלמידים להמשיך את הליך החקר שלהם, אם בכלל:

1. לא צריכים להמשיך, התלמיד צודק והם הוכיחו את הקשר הנכון.
2. הם צריכים לחזור על המדידות שכבר ביצעו כדי לוודא
3. הם צריכים למדוד זוויות פגיעה שלא מדדו קודם לכן, ולהשוות לקו המגמה. אם תתקבל התאמה בין הזוויות הנמדדות לקו (במידה בה אי הוודאות במדידה מאפשרת התאמה כזו), אז הניבוי שלהם הוכח, וטענתם נכונה
4. הם צריכים למדוד זוויות פגיעה שלא מדדו קודם לכן ולהשוות לקו המגמה. אם לא תהיה התאמה בין הקו לזוויות הנמדדות (במידה בה אי הוודאות מאפשרת התאמה כזו), אז הניבוי שלהם נכשל, וטענתם הופרכה
5. גם 3 וגם 4 נכונים

הסבירו תשובתכם:

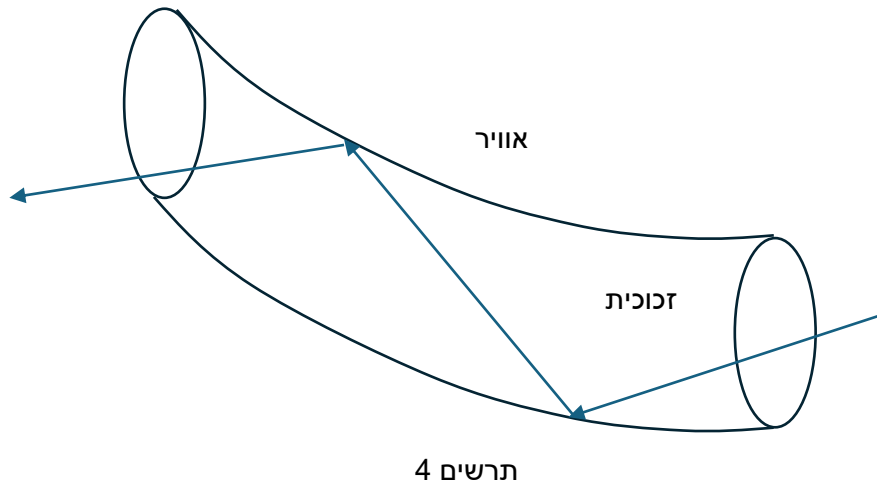
ה. מניסויי שבירה עולה שבעת מעבר אלומת האור מתווך אחד לאחר, חלק מהאור נשבר וחלקו מוחזר. ככל שזווית השבירה גדולה יותר, כך כמות האור המוחזרת גדלה וכמות האור העובר לתווך השני קטנה. על פי תרשים 1 זווית השבירה אינה יכולה להיות גדולה מ-  $90^\circ$ , ואכן, במעבר אור מתווך אחד לאחר – במידה וזווית השבירה שווה או "גדולה" מ-  $90^\circ$ , כל אלומת האור מוחזרת. תופעה זו מכונה "החזרה מלאה". העריכו על פי הגרף בתרשים 3 מהי זווית הפגיעה המרבית שהחל ממנה (כלומר עבור זוויות גדולות יותר) תתרחש החזרה מלאה.

(1) הזווית היא בקירוב:

(2) כיצד הערכתם את הזווית? על מה הסתמכתם?

(3) ציינו גורם אחד העשוי להוביל לכך שהערכתכם תהיה שגויה

1. אחד היישומים לתופעת השבירה נקרא "סיב אופטי" (מתואר בתרשים 4, החץ מתאר אלומת אור) זהו צינור העשוי מחומר בעל מקדם שבירה גבוה מאוויר (למשל סיב עשוי זכוכית). כאשר אור פוגע בדפנות הסיב בזוויות גדולות הוא מוחזר ולא נשבר לאוויר. באופן זה ניתן להעביר בסיב האופטי אלומת אור במסלול לא ישר ומבלי שהיא תתפזר. סיבים אופטיים הם בעלי חשיבות רבה בשימושים שונים כגון רפואה או תקשורת.



הסבירו בקצרה את אופן פעולתו של הסיב האופטי בהתאם לסעיף ה'.

## דוגמת ביצוע: הערכה מעצבת בדגש מיומנויות – מבואות בפיזיקה שבירת אור

### דגם תשובות ודגשים דידיקטיים

דגם הפתרונות המוצע כאן הינו נרחב ומיועד לשמש את המורה לצורך פיתוח שיעור ודיון בכיתה, כמו גם להבניית ידע תוכן ומיומנויות שונות, בדגש על תפיסות מדעיות וחקר אמפירי. בהתאם, ההערות הדידיקטיות בסעיפים השונים מכוונות גם הן להבנת הליך החקר המדעי, פירוש מידע המתקבל מחקר אמפירי והסקת מסקנות ממנו, תוך שימת דגש לתפיסות שגויות מקובלות של תלמידים.

להלן דוגמא לשאלת הערכה המשלבת ומדגישה מיומנויות שונות – תפיסות אפיסטמיות, מיומנויות אורייניות (שליפת מידע מטקסט, הסקה מתרשים, הסקה מגרף), מיומנויות טיעון והסבר, הסקה ממודל ויישום.

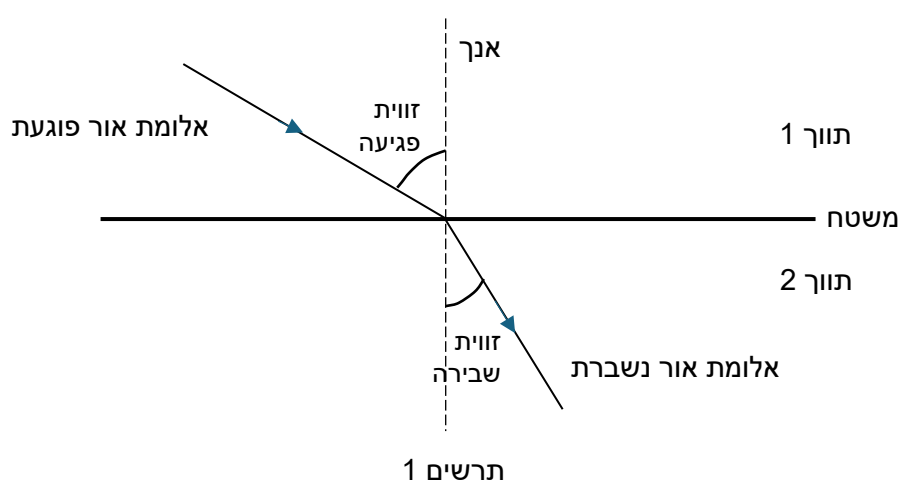
השאלה פותחה ברוח ובהתאם למהלך ההוראה לפרק שבירת אור באופטיקה, המתואר בפרויקט מל"מ 6: "פיתוח חומרי עזר למורה - מבוא למדעים - מתווה ודוגמאות יישום ליחידת לימוד ברוח דמות הבוגר עבור המורה לפיזיקה"

### השאלה

#### תיאור התופעה – שבירת אור

כאשר אלומת אור עוברת מתווך אחד לאחר (כגון מאוויר לזכוכית) מתרחשת תופעה המכונה "שבירת אור" ובה משנה האלומה את כיוון תנועתה. שינוי כיוון התנועה מתבטא בשינוי זווית אלומת האור ביחס לאנך למישור הפגיעה, כמתואר בתרשים 1.

הערה: חלק מאלומת האור הפוגעת מוחזר. זווית החזרה שווה לזווית הפגיעה, בהתאם לחוקי ההחזרה. אנו נעסוק בחלק אלומת האור העובר מתווך לתווך, המכונה "אלומת אור נשברת".



הזווית בה פוגעת אלומת האור ביחס לאנך למשטח מכונה "זווית הפגיעה". הזווית בה ממשיכה אלומת האור את דרכה בתווך השני, ביחס לאנך למשטח, מכונה "זווית השבירה".

מסתבר כי קיים קשר בין זווית הפגיעה לזווית השבירה.

הקשר תלוי בין השאר בגודל המכונה "מקדם השבירה". לכל חומר (תווך) מקדם שבירה אופייני משלו. מקדמי שבירה של מספר חומרים מופיעים בטבלה 1 להלן.

מקדם שבירה	חומר
1	אוויר
1.33	מים
1.5	זכוכית
2.4	יהלום

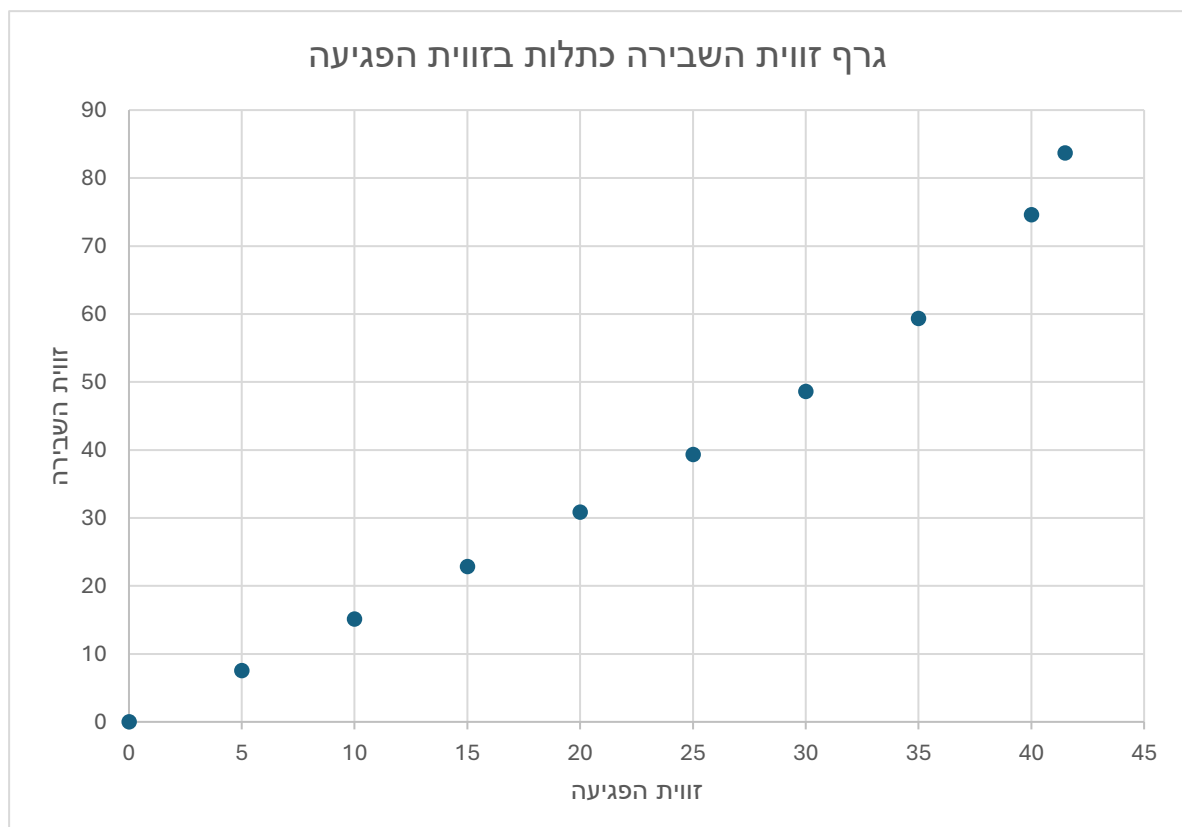
### טבלה 1

כמו כן, מניסויים במעבר אור בין חומרים עם מקדמי שבירה שונים עולה כי:

- כאשר אלומת אור עוברת מחומר בעל מקדם שבירה נמוך לגבוה יותר מתקיים: זווית השבירה קטנה מזווית הפגיעה
- כאשר אלומת אור עוברת מחומר בעל מקדם שבירה גבוה לנמוך יותר מתקיים: זווית השבירה גדולה מזווית הפגיעה

### ענו על הסעיפים הבאים

תלמידים מדדו את זווית השבירה כתלות בזווית הפגיעה עבור מעבר בין שני חומרים, והתקבל הגרף המתואר בתרשים 2.





א. תארו את הגרף בקצרה במילים ("מה רואים בגרף?")

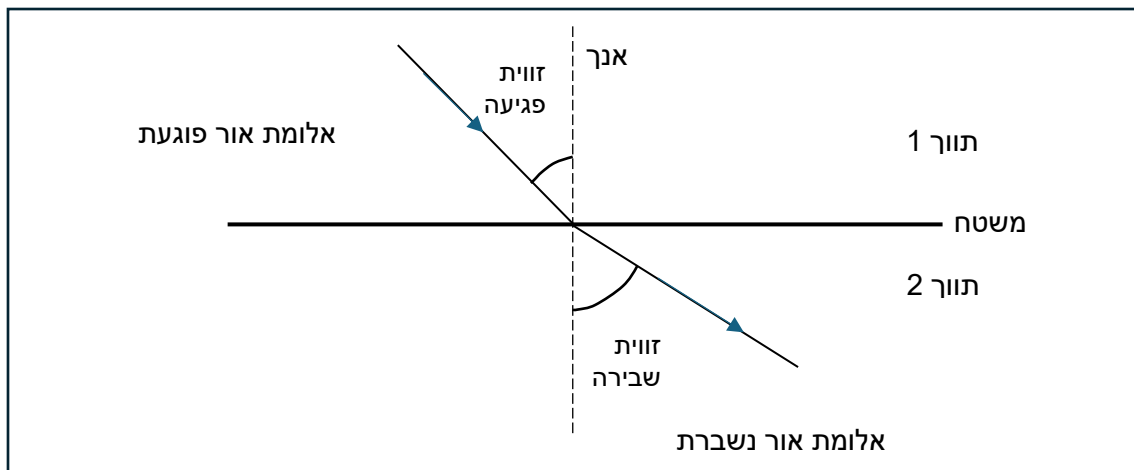
בגרף ניתן להבחין כי:

- זווית הפגיעה האחרונה שנמדדה לא היתה במרווח של  $5^\circ$  מהקודמת לה, בניגוד לכל שאר המדידות.
- עבור זווית פגיעה  $0^\circ$  גם זווית השבירה היא  $0^\circ$  - אלומת אור הפוגעת במאונך במשטח אינה נשברת
- בניסוי שביצעו התלמידים זווית השבירה גדולה מזווית הפגיעה בכל המדידות (עבור זוויות פגיעה גדולות מ-  $0^\circ$ )
- המדידות בגרף הן במגמה עולה, כלומר ככל שזווית הפגיעה גדלה – גם זווית השבירה גדלה
- הנקודות בגרף אינן נמצאות כולן על קו ישר.
- הנקודות עד זווית פגיעה של  $30^\circ$  נראות כנמצאות בקירוב טוב על קו ישר, החל מזווית זו נראה כי הגרף מתעקל כלפי מעלה, כלומר המרווח בין זוויות השבירה גדל (עבור מרווח קבוע בין זוויות הפגיעה)

**דגשים דידקטיים:** שאלה זו מכוונת למיומנויות הפקת מידע מגרף וכן מיומנויות שפה בתיאור הממצאים. בתשובות התלמידים יש לשים לב, בין השאר, להיבטים הבאים:

- האם התלמידים מפיקים מהגרף את כל המידע שהוא מספק? האם קיימים היבטים אליהם התלמידים אינם מתייחסים, ואם כן, מהן הסיבות לכך?
- האם התלמידים "מפיקים" מהגרף מידע שהוא אינו מספק (למשל שהנקודות נמצאות על פרבולה), ואם כן מדוע? האם הם מבצעים הכללות יתר?
- בפרט, האם התלמידים מתייחסים לנקודות המדידה בלבד, או שהם מבצעים אינטרפולציה ואקסטרפולציה בהתייחסם לגרף (מתייחסים, אף לא במפורש, לקו מגמה, שאינו מופיע בגרף זה)?
- האם התלמידים מתארים את הגרף במנחים מדעיים הולמים? במידה ולא, מהם המנחים השגויים ומהן הסיבות לשימוש בהם?

ב. שרטטו מהלך קרניים המתאים לגרף



**דגשים דידיקטיים:** שאלה זו מכוונת למיומנויות שרטוט תרשים וכן מיומנויות הסקה מגרף, יחד עם הסעיף הקודם. בסעיף זה נדרש "תרגום" של הממצאים לשרטוט מהלך קרניים, בהתאם לתרשים 1 במבוא לשאלה.

ג. באמצעות הגרף ניתן לקבוע בוודאות כי:

1. אלומת האור עברה מזכוכית לאוויר

2. **אלומת האור לא עברה מאוויר למים**

3. אפשרויות 1 ו- 2 נכונות שתיהן

4. אף אפשרות אינה נכונה

הסבירו את תשובתכם:

על פי הנתונים בטבלה 1 מקדם השבירה של אוויר קטן משל מים. בתיאור תופעת השבירה מצוין כי במעבר ממקדם שבירה נמוך לגבוה יותר זווית השבירה קטנה מזווית הפגיעה, כך שאם אלומת האור עוברת מאוויר למים נצפה כי במדידות התלמידים, זווית השבירה תהיה קטנה מזווית הפגיעה, בניגוד למתואר בגרף.

לגבי המסיחים:

1. על פניו, המעבר מזכוכית לאוויר מתאים למתואר בגרף (במעבר ממקדם שבירה גבוה לנמוך יותר

זווית השבירה גדולה מזווית הפגיעה). עם זאת לא ניתן לקבוע בוודאות כי אלומת האור עברה

מזכוכית לאוויר על פי הגרף, וזאת ממספר סיבות:

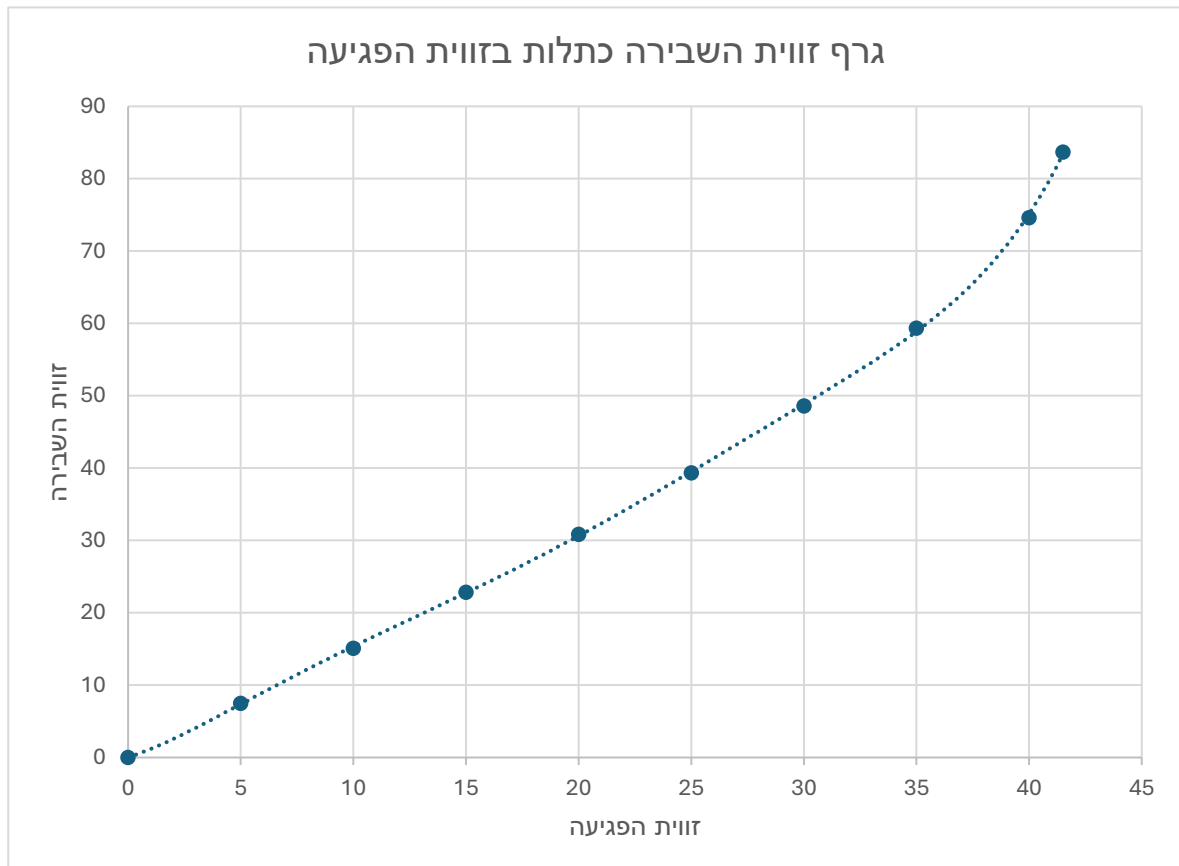
- באופן כללי, תוצאות ניסוי אינן יכולות להוכיח מודל או טענה מסוימים, אלא רק לנסות ולהפריך אותן. כך שהמסיח הראשון אינו עומד בקריטריון הבסיסי של חקר אמפירי. יתירה מכך:
- לא ניתן להעריך מתוך הגרף את מקדמי השבירה של אף אחד מהתווכים, ללא מודל פיזיקלי שיתאר את הקשר בין הממצאים האמפיריים (ערכי הזוויות שנמדדו) לבין מקדמי השבירה. כלומר, ההתאמה היא איכותית בלבד ואינה מספקת לקביעה באילו מקדמי שבירה מדובר. בכך, גם האפשרות לשער מתוך תוצאות הניסוי טענה בדבר מקדמי השבירה או החומרים (אפילו ללא הניסיון לטענה "וודאית" או הוכחה) אינה ניתנת ליישום במקרה זה.
- אפילו במידה והיה ברשותנו מודל פיזיקלי המקשר בין תוצאות המדידות ובין מקדמי השבירה, עדיין לא ניתן לקבוע כי המעבר הוא מזכוכית לאוויר, מאחר ויתכן כי לחומרים אחרים יש מקדמי שבירה זהים לזכוכית או אוויר.

שני המסיחים 3 ו- 4 שגויים עקב תלותם במסיחים 1 ו- 2.

**דגשים דידיקטיים:** שאלה זו מכוונת לדיון במשמעותן של תוצאות ניסוי, בין השאר:

- חוסר האפשרות ל"הוכחת" טענה / מודל על פי תוצאות ניסוי, והאפשרות להפרכה של מודל. בנוסף:
  - השאלה מציגה את הפער בין הערכה איכותית של תוצאות (לדוגמא, גרף עולה או זווית שבירה גדולה מזווית פגיעה) ובין מודל המאפשר בחינה של תופעה באופן כמותי והסקה ממנו לגבי גודלם של משתנים פיזיקליים מסוימים,
  - כמו כן היא השגיאה בטענה כי ידע על גודל פיזיקלי מסוים מתורגם באופן חד ערכי לידע על גודל אחר (מקדם שבירה  $\leftarrow$  סוג החומר).
- כיוון שהשאלה עוסקת בהצגה משולבת של מספר פערים אפיסטמיים, יש מקום לדיון נרחב בה בכיתה.

ד. התלמידים רצו למצוא קשר בין זווית הפגיעה לזווית השבירה במעבר בין שני החומרים, לשם כך הם העבירו בגרף קו אשר התאים לכל הנקודות, כמתואר בתרשים 3.



תרשים 3

אחד התלמידים טען כי התאמת הקו לנקודות מהווה הוכחה שקו זה מתאר את הקשר הנכון בין זווית הפגיעה לזווית השבירה.

כיצד על התלמידים להמשיך את הליך החקר שלהם, אם בכלל:

1. לא צריכים להמשיך, התלמיד צודק והם הוכיחו את הקשר הנכון.
2. הם צריכים לחזור על המדידות שכבר ביצעו כדי לוודא
3. הם צריכים למדוד זווית פגיעה שלא מדדו קודם לכן, ולהשוות לקו המגמה. אם תתקבל התאמה בין הזוויות הנמדדות לקו (במידה בה אי הוודאות במדידה מאפשרת התאמה כזו), אז הניבוי שלהם הוכח, וטענתם נכונה
4. הם צריכים למדוד זווית פגיעה שלא מדדו קודם לכן ולהשוות לקו המגמה. אם לא תהיה התאמה בין הקו לזוויות הנמדדות (במידה בה אי הוודאות במדידה מאפשרת התאמה כזו), אז הניבוי שלהם נכשל, וטענתם הופרכה
5. גם 3 וגם 4 נכונים

הסבירו תשובתכם:

כאמור, ניסוי אינו יכול בשום תנאי להוכיח טענה, לא משנה מה ימדדו בו. לכל היותר ניסוי עשוי לתמוך במודל, במידה ותוצאותיו מתאימות לניבוי התאורטי שלו. מכאן שמסיחים 1-3, 5 אינם נכונים. לעומת זאת, חוסר התאמה של המדידות לקו המגמה (המודל) מאפשר להפריך אותו, מאחר והניבוי המוצג על פי קו המגמה אינו תואם למדידות בפועל. כל זאת כמובן בהתחשב באי הוודאויות במדידה, שבשאלה זו הן נתונות כזניחות ביחס לזוויות הנמדדות.

**דגשים דידיקטיים:** גם שאלה זו מכוונת לדין במשמעותן של תוצאות ניסוי, בדגש על חוסר האפשרות ל"הוכחת" טענה / מודל על פי תוצאות ניסוי, ולעומתה האפשרות להפרכה של מודל.

בכך מתאימה השאלה, יחד עם השאלה הקודמת, להוראה / דיון ספירלי בתפיסה אפיסטמית של ניסוי כמהווה הוכחה למודל או טענה.

השאלה גם יכולה לשמש את המורה לבדיקה, האם דעתם של תלמידים משתנה בעקבות הוספת מודל (קו מגמה) למדידות אמפיריות. ניתן לבצע זאת בין אם התקיים דיון בשאלה הקודמת לפני הצגת השאלה הנוכחית ובין אם לאו. אפשרות נוספת היא לקיים דיון עמיתים לאחר הצגת התובנות מהשאלה הקודמת ומענה בקבוצות לשאלה הנוכחית.

ה. מניסויי שבירה עולה שבעת מעבר אלומת האור מתווך אחד לאחר, חלק מהאור נשבר וחלקו מוחזר. ככל שזווית השבירה גדולה יותר, כך כמות האור המוחזרת גדלה וכמות האור העובר לתווך השני קטנה. על פי תרשים 1 זווית השבירה אינה יכולה להיות גדולה מ-  $90^\circ$ , ואכן, במעבר אור מתווך אחד לאחר – במידה וזווית השבירה שווה או "גדולה" מ-  $90^\circ$ , כל אלומת האור מוחזרת. תופעה זו מכונה "החזרה מלאה".  
העריכו על פי הגרף בתרשים 3 מהי זווית הפגיעה המרבית שהחל ממנה (כלומר עבור זוויות גדולות יותר) תתרחש החזרה מלאה.

(1) הזווית היא בקירוב:  $43^\circ$

(2) כיצד הערכתם את הזווית? על מה הסתמכתם?

המשכנו את קו המגמה המתעקל כלפי מעלה עד שהגענו לזווית שבירה של  $90^\circ$ , זווית הפגיעה המתאימה לכך קטנה מ-  $45^\circ$  ואנו מעריכים אותה בקירוב (אין שנתות קטנות מ-  $5^\circ$  בגרף) כ-  $43^\circ$  מאחר והיא גדולה במעט מאמצע הקטע בין זווית  $40^\circ$  ל-  $45^\circ$ . בהתאם למוסבר בתיאור השאלה, עבור זוויות פגיעה גדולות יותר, תתקבל החזרה מלאה.

(3) ציינו גורם אחד העשוי להוביל לכך שהערכתכם תהיה שגויה

חשוב לחדד כי המדובר מדובר בניבוי של המודל, שיש לבדוק באופן אמפירי. אך בשאלה זו לא מוצג מודל המאפשר ניבוי כלשהוא בנקודה המבוקשת.

למעשה אין בנתוני השאלה כל התייחסות למודל המבוסס על חוקי טבע. קו המגמה מייצג התאמה כלשהיא לנקודות המדידה אך לא ידוע על אילו שיקולים הוא מסתמך. בהתאם לכך, לא ידוע כיצד קו המגמה נמשך מעבר לנקודות המדידה האחרונה (זהו חלק מהניבוי החסר, אין אקסטרפולציה). השימוש ב"מתעקל כלפי מעלה" הוא המשך אפשרי אחד, אולי טבעי אינטואיטיבית, אך אין לו כל הצדקה בהיעדר FIT או מודל פיזיקלי המבוסס על חוקי טבע. באותה מידה יתכן כי קו המגמה משנה כיוון לאחר המדידה האחרונה ויורד כלפי מטה, או כל אפשרות אחרת.

הערות:

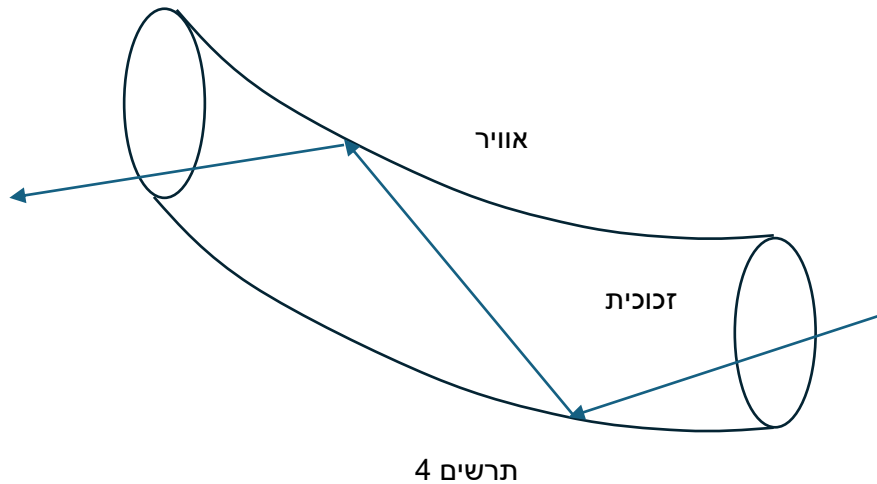
- קו המגמה המוצג מאפשר אינטרפולציה – ניבוי לגבי זוויות בין כל שתי נקודות מדידה, זאת על אף העדר מודל פיזיקלי מבוסס חוקי טבע או FIT עם ביטוי מתמטי. הדבר מאפשר (כפי שמוצג בשאלה הקודמת) לבחון את קו המגמה ולנסות להפריך אותו. עם זאת, בהעדר מודל, אין בכך תרומה רבה להבנה הפיזיקלית של תלות זווית השבירה בזווית הפגיעה, פרט להוספת נקודות מדידה.
- ניתן, עקרונית, לנסות ולהתאים לקו מגמה FIT – ביטוי מתמטי שימשך גם מעבר לתחום המדידות הקיים, ובכך לבצע אקסטרפולציה. בהינתן קו מגמה כזה, ניתן לבחון את הניבוי של הנקודה המבוקשת, אך בהעדר מודל, המידע הפיזיקלי שניתן להסיק הוא מוגבל מאוד.

**דגשים דידיקטיים:** במסגרת דיון בשאלה זו ניתן להפנות זרקור לנושאים שונים במידול, ובפרט לאופי המידע השונה (והחלקי מאוד לעתים) המתקבל במקרים השונים של אינטרפולציה, FIT ומידול פיזיקלי המבוסס על חוקי טבע:

נשים לב כי בהערכת הזווית על פי קו המגמה יש להבדיל בין מספר מקרים אפשריים:

- **מקרה א':** קו המגמה מחבר בין נקודות בתחום המדידה, אך אין לו ביטוי מתמטי. זהו המקרה בשאלה. במצב זה אין שום אפשרות לנבא ולהעריך מה יהיה ערכה של נקודה מחוץ לתחום הנמדד. קו מגמה כזה למעשה מהווה חיבור בין נקודות המדידה, כאשר במקום קו ישר שבור שרטטו התלמידים קו חלק יותר (ביצעו אינטרפולציה). אין בקו המגמה שום מידע כמותי מעבר לתחום הנמדד (המידע הכמותי נובע מקו המגמה בין כל שתי נקודות), ובוודאי שהוא אינו נגזר ממודל פיזיקלי המבוסס על חוקי טבע.
- **מקרה ב':** בוצע FIT לקו המגמה, כך שיש לו ביטוי מתמטי, אך ללא מודל פיזיקלי המבוסס על חוקי טבע. במקרה כזה אפשר להעריך נקודה מחוץ לתחום הנמדד (אקסטרפולציה), כלומר קו המגמה מספק ניבוי הניתן לבדיקה אמפירית. עם זאת, חוסר התאמה של הניבוי לקו המגמה אינו מספק מידע פיזיקלי, זאת בשל העדר המודל. זהו מצב של FIT פנומנולוגי, תיאור כמותי המתאים למדידות ומספק אפשרות לניבוי גם מחוץ לתחום המדידה המקורי, אך לא לבניית וחקירת מודל.
- **מקרה ג':** קו המגמה נגזר מתוך מודל פיזיקלי המבוסס על חוקי טבע. מקרה זה מאפשר, עקרונית, ניבוי של תוצאה מחוץ לתחום המדידה המקורי (אקסטרפולציה) והסקה ממנו לגבי תקפות המודל (הפרכה של ניבוי). בכך מתאפשר, למשל, לבדוק האם הנחות פשוט או תקפות של חוקים פיזיקליים בהם השתמשנו נכונות בתוך ומחוץ לתחום המדידה.

1. אחד היישומים לתופעת השבירה נקרא "סיב אופטי" (מתואר בתרשים 4, החץ מתאר אלומת אור) זהו צינור העשוי מחומר בעל מקדם שבירה גבוה מאוויר (למשל סיב עשוי זכוכית). כאשר אור פוגע בדפנות הסיב בזוויות גדולות הוא מוחזר ולא נשבר לאוויר. באופן זה ניתן להעביר בסיב האופטי אלומת אור במסלול לא ישר ומבלי שהיא תתפזר. סיבים אופטיים הם בעלי חשיבות רבה בשימושים שונים כגון רפואה או תקשורת.



הסבירו בקצרה את אופן פעולתו של הסיב האופטי בהתאם לסעיף ה'.

על פי השרטוט בתרשים 4, קרן האור פוגעת בדפנות הסיב האופטי בזווית גדולה, ככל הנראה גדולה מזווית הפגיעה שעבורה מתקיימת החזרה מלאה. בכך, מוחזרת הקרן באופן מלא לתוך הזכוכית ונעה עד שהיא פוגעת בדופן השנייה, שוב בזווית פגיעה גדולה כך שמתקיימת החזרה מלאה. באופן זה הקרן ממשיכה להתקדם בתוך הסיב האופטי מבלי לצאת ממנו.