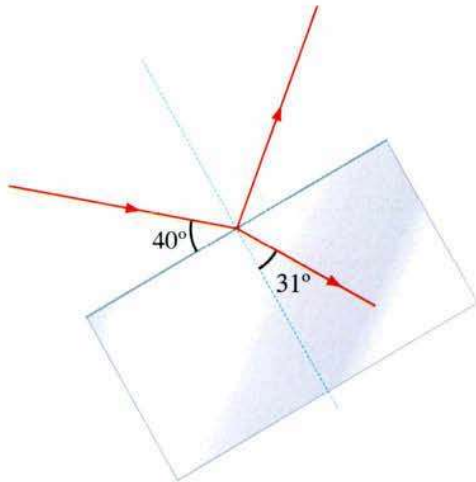


2. באיור מוצגת אלומת אור צרה המתפשטת באוויר, ופוגעת בגוף מזכוכית. חלק מהאלומה עובר לזכוכית וחלק מוחזר לאוויר.



מהם ערכי זוויות הפגיעה, השבירה וההחזרה?

3. אלומת אור צרה פוגעת במשטח זכוכית בזווית פגיעה בת  $55^\circ$ .

א. קבע, ללא חישוב, האם זווית השבירה קטנה מזווית הפגיעה, גדולה ממנה או שווה לה.

ב. מקדם השבירה של הזכוכית ביחס לאוויר הוא 1.5. חשב את זווית השבירה, ובחן את תשובתך לסעיף א לאור תוצאת החישוב.

4. אלומת אור צרה המתפשטת באוויר פוגעת בגוף מזכוכית בזווית פגיעה בת  $74^\circ$ . מקדם השבירה של הזכוכית ביחס לאוויר הוא 1.5.

א. חשב את זווית השבירה בזכוכית.

ב. מה ערכה של זווית ההחזרה?

ג. סרטט איור מקורב של האלומה הפוגעת במשטח הזכוכית, של האלומה העוברת ושל האלומה המוחזרת.

ד. הוסף לאיור סרטוט של אלומה צרה הפוגעת בזכוכית בנקודה שבה פוגעת האלומה הקודמת, אך עוברת לזכוכית ללא שבירה.

## שאלות, תרגילים ובעיות

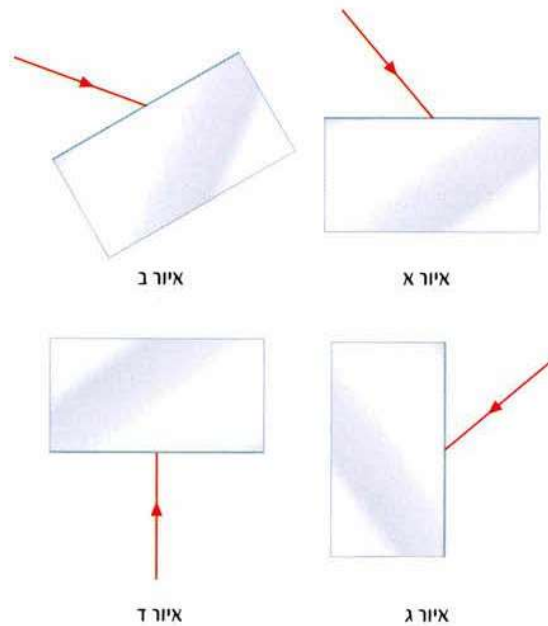
### 1. תרגילים מותאמים לסעיפי הפרק

תרגילים 1 - 39 ממויינים על-פי סעיפי הפרק והם נועדו בעיקר לתרגול החומר המופיע באותם סעיפים. תרגילי סיכום אינטגרטיביים מופיעים אחרי תרגילים אלה.

### 2. התפשטות אור באוויר לעבר זכוכית ולהפך

#### 2.1 התפשטות אור באוויר לעבר זכוכית

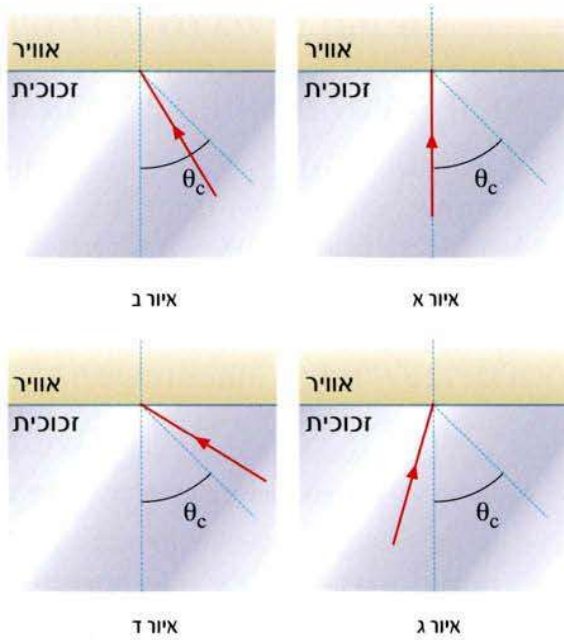
1. בכל אחד מאיורים א-ד מוצגת אלומת אור צרה המתפשטת באוויר, ופוגעת בגוף עשוי מזכוכית.



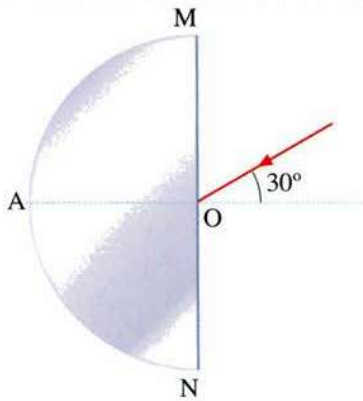
העתק את האיורים למחברתך, ובצע את המטלות שלפניך לגבי כל איור:

א. בנקודה שבה פוגעת אלומת האור, העלה אנך למשטח הגבול, וסמן את זווית הפגיעה באוויר,  $\theta_{\text{אוויר}}$ .

ב. הוסף סרטוט מקורב של חלק האלומה העובר לזכוכית, ושל זה המוחזר ממנה. סמן את זווית השבירה בזכוכית ב- $\theta_{\text{זכוכית}}$ , ואת זווית ההחזרה ב- $\theta'_{\text{אוויר}}$ .



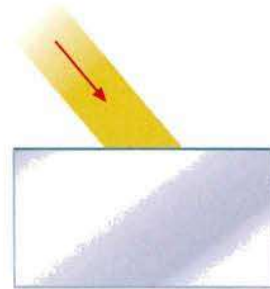
9. באיור מוצג חתך של חצי דסקית MNA העשויה מזכוכית. הנקודה O היא מרכז החלק המעגלי. אלומה צרה של אור מתפשטת באוויר, ופוגעת בזכוכית בנקודה O בזווית פגיעה בת  $30^\circ$ . מקדם השבירה של הזכוכית שממנה עשויה דסקית זו ביחס לאוויר הוא 1.6.



- חשב את זווית השבירה של אלומת האור בזכוכית.
- האם האור נשבר בעוברו מהזכוכית לאוויר (בקשת NAM)? נמק.
- העתק את האיור למחברתך, והוסף בו סרטוט מקורב של הקרן העוברת לזכוכית, עד צאתה מן הזכוכית.

5. אלומת אור צרה מתפשטת באוויר ופוגעת בגוף זכוכית. זווית השבירה של האלומה העוברת לזכוכית היא בת  $35^\circ$ .  
חשב את זווית הפגיעה באוויר.

6. באיור מוצגת אלומת אור רחבה ומקבילה המתפשטת באוויר, ופוגעת בגוף עשוי מזכוכית.



העתק את האיור, והוסף בו סרטוט של המשך מהלכה של אלומת האור בתוך גוף הזכוכית.

7. למה מתכוונים כאשר אומרים "זווית הגבול" בהקשר למעבר אור מאוויר לזכוכית?

### 2.2 התפשטות אור בזכוכית לעבר אוויר

8. בכל אחד מאיורים א-D מוצגת אלומת אור צרה המתפשטת בזכוכית, ופוגעת במשטח גבול של הזכוכית עם האוויר.

באיורים מסורטטים גם האנכים בנקודות הפגיעה, ומסומנת הזווית הקריטית,  $\theta_c$ .

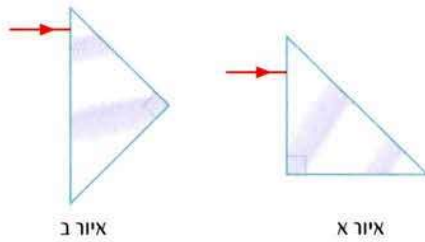
העתק את האיורים, ובצע את המטלות שלפניך עבור כל איור:

- סמן ב-  $\theta_{\text{זכוכית}}$  את זווית הפגיעה.
- הוסף סרטוט מקורב של האלומה העוברת לאוויר (אם אכן יש חלק כזה), ושל האלומה המוחזרת לזכוכית.
- סמן ב-  $\theta_{\text{אוויר}}$  את זווית השבירה, וב-  $\theta'_{\text{זכוכית}}$  את זווית החזרה.

**שבירת אור במנסרה משולשת מזכוכית**

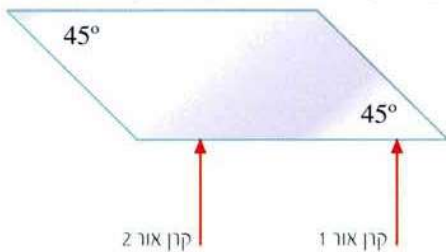
13. ברשותו של תלמיד מנסרה משולשת ישרת-זווית ושוות-שוקיים, העשויה מזכוכית שמקדם השבירה שלה הוא 1.5.

בכל אחד מהאיורים א ו- ב מוצגת קרן הפוגעת במנסרה במאונך לדופן המנסרה.



העתק את האיורים, ובכל אחד מהם הוסף סרטוט של מהלך הקרן עד צאתה מן המנסרה.

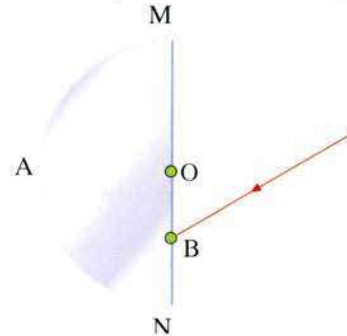
14. באיור מוצג חתך של מנסרה עשויה מזכוכית (מקדם שבירה 1.5). צורת חתך המנסרה היא מקבילית שתי קרניים, 1 ו-2, פוגעות במאונך בדופן המנסרה.



א. העתק את האיור, והוסף בו סרטוט של מהלך קרן 1 העוברת לזכוכית, ויוצאת מן הזכוכית לאוויר. הסבר כיצד קבעת את מהלך הקרן.  
 ב. הוסף לאיור את מהלכה של קרן 2.

15. קרן פוגעת במנסרה משולשת מזכוכית ( $n = 1.5$ ) במאונך לדופן AB ולאחר מכן פוגעת בדופן AC.

10. באיור מוצג חתך של חצי דסקית MNA העשויה מזכוכית. אלומה צרה של אור מתפשטת באוויר ופוגעת בזכוכית בנקודה B. O מרכז החלק המעגלי.



א. העתק את האיור למחברתך, והוסף בו סרטוט מקורב של הקרן העוברת לזכוכית, ושל הקרן היוצאת מן הזכוכית לאוויר.

ב. בכל מקום שבו אלומת האור עוברת מתווך אחד למשנהו, זהה את זוויות הפגיעה והשבירה, וסמן אותן באיור.

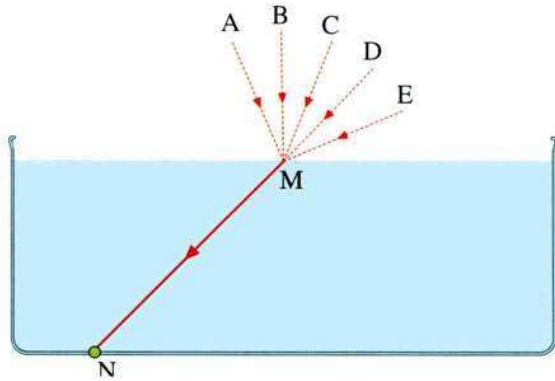
ג. נתון כי  $OB = 0.5R$  כאשר R רדיוס החלק המעגלי ( $MN = 2R$ ). זווית הפגיעה בנקודה B היא  $\theta_{אוויר} = 30^\circ$ . חשב את זווית הפגיעה, זכוכית  $\theta$ , בחלק המעגלי של הדסקית.

11. אלומת אור צרה המתפשטת בזכוכית פוגעת במשטח גבול עם אוויר בזווית פגיעה בת  $36^\circ$ . מקדם השבירה של הזכוכית ביחס לאוויר הוא 1.5.

א. חשב את זווית השבירה באוויר.  
 ב. מה ערכה של זווית ההחזרה?  
 ג. סרטט איור מקורב שבו יופיעו הקרן הפוגעת במשטח הגבול עם האוויר, הקרן הנשברת והקרן המוחזרת.

12. גוף מזכוכית נמצא באוויר.  
 א. מהם שני התנאים הנדרשים כדי שתתרחש החזרה פנימית מלאה של אור בחומרים אלה?  
 ב. מהי "החזרה פנימית מלאה"?

19. המכל שבאיור מכיל מים. אדם רוצה להאיר את קרקעית המכל בנקודה N בעזרת פנס הפולט אלומת אור צרה.



כדי שאלומת האור תאיר את הנקודה N, על האדם לכוון את האלומה בכיוון:

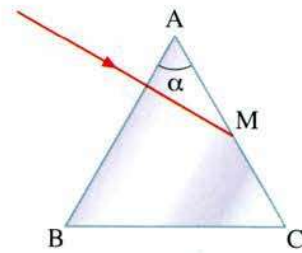
א. AM ב. BM ג. CM ד. DM ה. EM

20. חשב את זווית הגבול במעבר אור בין אוויר למים (מקדם השבירה של המים הוא 1.33).

21. תלמיד הטיל כמה פעמים אלומת אור צרה על גוף עשוי מחומר שקוף, בכל פעם בזווית פגיעה אחרת. התלמיד מדד את זוויות הפגיעה באוויר ( $\theta_{אוויר}$ ), ואת זוויות השבירה בחומר ( $\theta_{חומר}$ ).

תוצאות המדידות רשומות בטבלה שלפניך:

זוויות הפגיעה באוויר - $\theta_{אוויר}$ (°)	זוויות השבירה בחומר - $\theta_{חומר}$ (°)
0	0
10	7.1
20	14.1
30	21.0
40	27.0
50	33.2
60	38.2
70	42.2
80	45.0



א. סרטט את הקרן אחרי פגיעתה בדופן AC עבור המקרים:

(1) הזווית בין שתי הדפנות היא  $\alpha = 30^\circ$ .

(2) הזווית בין שתי הדפנות היא  $\alpha = 60^\circ$ .

ב. חשב, עבור כל אחד משני המקרים, את זווית הסטייה של הקרן כתוצאה מפגיעה בדופן AC.

### 2.3 נפיצת אור כתוצאה משבירה

16. אלומת אור צרה ומקבילה מתפשטת באוויר ופוגעת במשטח גבול עם זכוכית בזווית פגיעה בת  $45^\circ$ . מקדם השבירה של הזכוכית עבור גוון מסוים של האור הסגול הוא 1.532, ועבור גוון מסוים של אור אדום הוא 1.513. חשב את הזווית בין הגוון הסגול והגוון האדום בתוך הזכוכית.

17. א. הסבר את המושגים: "ספקטרום רציף", ו"ספקטרום קווי".

ב. ציין מקור אור שהספקטרום שלו רציף, ומקור אור שהספקטרום שלו קווי.

### 3. התפשטות אור באוויר לעבר תווך שקוף כלשהו ולהפך

18. אלומת אור צרה המתפשטת באוויר פוגעת בפני מים בזווית פגיעה בת  $25^\circ$ . מקדם השבירה של המים ביחס לאוויר הוא 1.33.

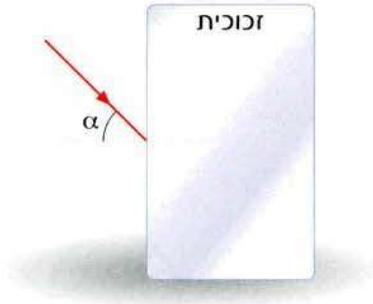
א. חשב את זווית השבירה במים.

ב. סרטט איור מקורב ובו הקרן הפוגעת בפני המים, הקרן העוברת למים, והקרן המוחזרת מפני המים.

### 4.2 דמויות הנוצרות כתוצאה משבירת אור בשמשת

#### חלון

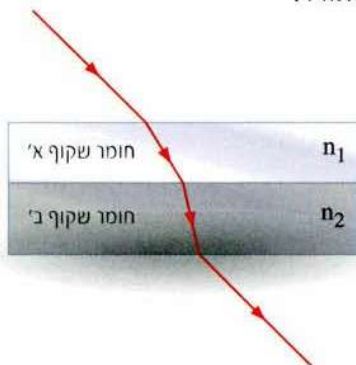
25. באיור מוצג חתך של מנסרה מלבנית מזכוכית ( $n = 1.5$ ), ואלומת אור צרה המתפשטת באוויר, ופוגעת באחת מדפנות המנסרה המלבנית בזווית פגיעה  $\alpha$ .



א. אם  $\alpha = 30^\circ$ :

- (1) באיזו זווית פוגעת האלומה בדופן הנגדית של המנסרה?
  - (2) באיזו זווית האלומה יוצאת לאוויר מהדופן הנגדית?
- ב. האם ייתכן כי בדופן הנגדית של המנסרה תתרחש החזרה מלאה? אם כן - מהו תחום ערכי  $\alpha$  שעבורו מתרחשת החזרה מלאה? אם לא - הסבר מדוע.

26. אלומת אור צרה מתפשטת באוויר פוגעת במערכת של שתי מנסרות מלבניות צמודות זו לזו שמקדמי השבירה שלהן ביחס לאוויר הם  $n_1$  ו- $n_2$  (ראה איור) ויוצאת לאוויר.



הוכח כי האלומה היוצאת לאוויר מהמנסרה התחתונה מקבילה לאלומה הפוגעת במנסרה העליונה.

א. סרטט דיאגרמת פיזור של  $\theta_{\text{חומר}}$  כפונקציה של  $\theta_{\text{אוויר}}$  (מומלץ להיעזר במחשב).

ב. סרטט גרף מתאים (מומלץ בעזרת מחשב) שממנו אפשר לחשב את מקדם השבירה של החומר.

ג. הסבר מדוע שיפוע הגרף של  $\sin \theta_{\text{אוויר}}$  כפונקציה של  $\sin \theta_{\text{חומר}}$  שווה למקדם השבירה, ומדוע ההופכי של שיפוע הגרף של  $\sin \theta_{\text{חומר}}$  כפונקציה של  $\sin \theta_{\text{אוויר}}$  שווה למקדם השבירה.

ד. חשב, על פי הגרף שסרטטת בסעיף ב, את מקדם השבירה של החומר ביחס לאוויר.

ה. חשב את הזווית הקריטית של החומר ביחס לאוויר.

### 4. דמויות הנוצרות כתוצאה משבירת אור

#### 4.1 דמויות הנוצרות כתוצאה משבירת אור במשטח

##### גבול מישורי

22. אדם מסתכל כלפי מטה לעבר בריכה ובה מים. הסבר בעזרת איור מדוע העומק שבו נראית קרקעית הבריכה ("העומק המדומה") קטן מהעומק האמיתי של הבריכה.

23. אתה עומד על שפת הים וברצונך לפגוע במטרה הנמצאת על קרקעית הים.

א. הינך משתמש באקדח - קבע אם עליך לכוון את האקדח לדמות המטרה שאתה רואה, מתחת לדמות או מעליה (ניתן להזניח את השינוי במסלול הקליע כתוצאה מפעולת כוח הכובד וכתוצאה מפגיעת הקליע בפני המים).

ב. הינך משתמש באקדח לייזר - קבע אם עליך לכוון את אלומת הלייזר לדמות המטרה שאתה רואה, מתחת לדמות או מעליה.

24. על קרקעית בריכה שבה מים שעומקם 1 מטר, נמצא מקור אור קטן. מקדם השבירה של המים ביחס לאוויר הוא 1.33.

א. הסבר מדוע האור הנפלט ממקור האור עובר לאוויר דרך עיגול, ולא דרך כל משטח פני המים.

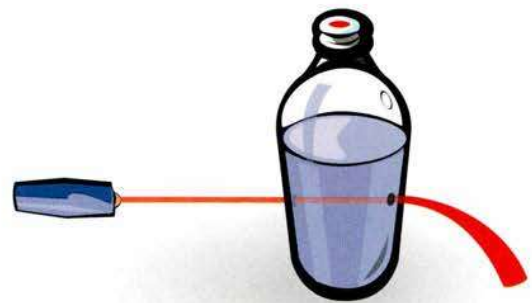
ב. חשב את רדיוס העיגול.

## 5. יישומים של מעבר אור מתווך לתווך

### 5.2 סיבים אופטיים

27. באיור מתואר בקבוק שממנו פורצים מים דרך נקב.

אלומת לייזר פוגעת בבקבוק בנקודה הנמצאת מול הנקב, עוברת דרך המים שבבקבוק, ולאחר מכן מתפשטת לאורך הזרם הפורץ מן הבקבוק לאורך מסלול עקום.



הסבר את התופעה.

## 6. מעבר אור מתווך שקוף אחד למשנהו

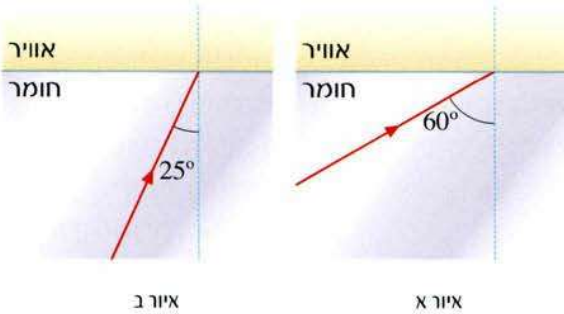
28. מקדם השבירה של מים הוא 1.33, ושל זכוכית הוא 1.5.

- החזרה מלאה במעבר אור בין מים לזכוכית -
- (1) תיתכן רק במעבר אור מהמים לזכוכית.
  - (2) תיתכן רק במעבר אור מהזכוכית למים.
  - (3) תיתכן במעבר אור מהזכוכית למים, וגם במעבר אור מהמים לזכוכית.
  - (4) לא תיתכן במעבר אור בין מים לזכוכית.

29. מקדם השבירה של חומר שקוף מסוים הוא  $n = 2$ .

- א. חשב את הזווית הקריטית (זווית הגבול) בחומר זה.  
 באיורים א ו-ב שלהלן מוצגות קרניים המתפשטות בחומר השקוף לעבר משטח גבול עם אוויר.

ב. סרטט (באופן מקורב) את המשך מהלכה של כל קרן.

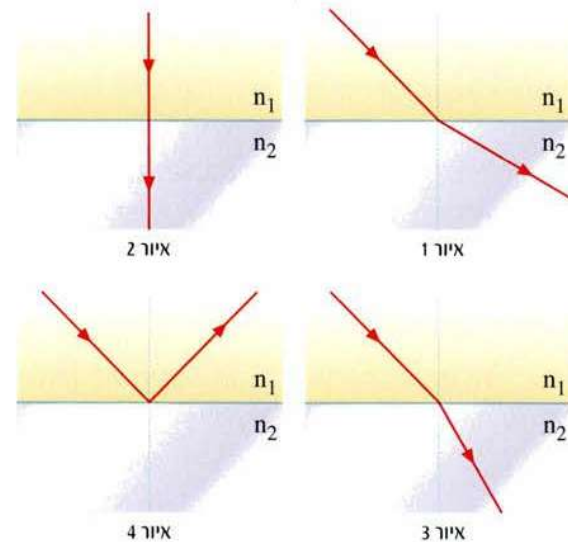


30. אור עובר בין שני תווכים שקופים שמקדמי השבירה שלהם מסומנים ב- $n_1$  וב- $n_2$ .

א. למה מתכוונים כאשר אומרים "החזרה פנימית מלאה"?

ב. מהם שני התנאים הנדרשים להחזרה פנימית מלאה?

31. האיורים מציגים את מהלכה של אלומת אור צרה הפוגעת במשטח הגבול בין שני חומרים שונים.



נתון כי  $n_2 > n_1$  (החזרות חלקיות של אור אינן מוצגות באיור). באיזה איור מסורטט מהלך האור שאינו אפשרי?

### 7.4 קשת בענן

36. מדוע לא כל הקשתות בענן הן מעגלים שלמים?

37. האם מטיפת גשם אחת שאור השמש פוגע בה, מוחזר צבע יחיד או ספקטרום הצבעים כולו?

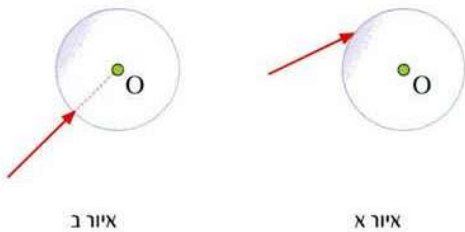
38. צופה מתבונן בקשת בענן. האם האור המגיע לצופה ברגע נתון מטיפת גשם מסוימת הוא בצבע אחד, או בשלל צבעי הקשת? הסבר.

39. מדוע הקשת המשנית חיוורת מהראשית?

## II. תרגילי סיכום

תרגילים 40-49 מיועדים לתרגול אינטגרטיבי, וכהכנה לבחינה מסכמת של הפרק.

★ 40. באיור א מוצג חתך רוחב של גליל מלא עשוי מזכוכית, שבו פוגעת אלומת אור צרה המתפשטת באוויר. O היא נקודה על ציר הגליל.



א. העתק את איור א, ובצע את המטלות שלפניך:

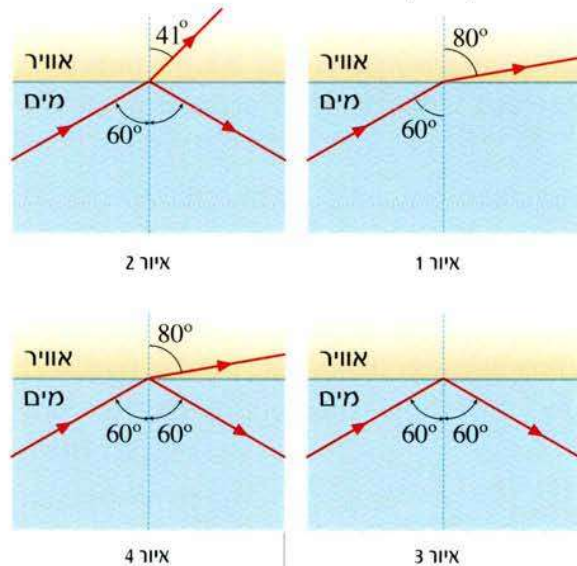
(1) סמן את משטח הגבול בין האוויר לבין גליל הזכוכית, שמשתרע בתחום קטן סביב הנקודה שבה פוגעת אלומת האור.

(2) העלה אנך למשטח הגבול שסרטטת, בנקודה שבה פוגעת אלומת האור, וסמן את זווית הפגיעה ב-  $\theta_{אוויר}$ .

ב. האם אלומת האור המתוארת באיור א נשברת? אם לא - הסבר מדוע. אם כן - הוסף לאיור א סרטוט מקורב של האלומה העוברת, וסמן בו את זווית השבירה ב-  $\theta_{זכוכית}$ .

ג. הוסף לאיור א סרטוט של האלומה המוחזרת, וסמן בו את זווית החזרה באות  $\theta'_{אוויר}$ .

32. בתחתית בריכה מלאה מים (מקדם שבירה - 1.33) שקוע פנס, הפולט אלומת אור צרה, אשר פוגעת בפני המים בזווית פגיעה בת  $60^\circ$ . באיזה מבין איורים 1-4 מתואר נכון מהלך אלומת האור?



## 7. שבירת אור באטמוספירה

### 7.1 תופעת ה"כביש הרטוב"

33. לעיתים כביש נראה רטוב כאשר הוא אינו רטוב. התופעה מתרחשת ביום חם, בעיקר בשעות שבהן הכביש לוחט, ורוח אינה מנשבת. חלק הכביש הנראה רטוב מרוחק מהצופה כמה מטרים לפחות. הסבר את התופעה.

34. כאשר אנו רואים את השמש מעט מעל האופק במהלך שקיעתה, היא נמצאת כבר מעט מתחת לאופק. מדוע, בכל זאת, אנו רואים אותה? הסבר בעזרת סרטוט מתאים.

### 7.2 "המקום המדומה" של כוכבים

35. נניח כי הוטל עליך לשגר אלומת לייזר לעבר חללית הנמצאת מחוץ לאטמוספירה, מעט מעל האופק. האם תכוון את האלומה ישירות לכיוון שבו אתה רואה את החללית, מעט מעל כיוון זה, או מעט מתחתיו? נמק.

השתקפות הדג בעזרת אור המוחזר בהחזרה מלאה?  
 ג. חשב את המרחק המזערי בין עיני הצוללן לבין הדג, הדרוש כדי שהצוללן יראה את השתקפות הדג בעזרת אור המוחזר בהחזרה מלאה, אם הצוללן והדג נמצאים בעומק 2 מטר מתחת לפני המים.  
 ד. מדוע הצוללן יכול לראות את השתקפות הדג גם ממרחק קטן מהמרחק המזערי שבו מדובר בסעיף ב?

42. אדם לוחץ על הגומייה של טפי, ומכניס את הטפי לתוך כוס עם גליצרין. בתוך הטפי יש אוויר. הטפי נראה במלוא אורכו (כולל החלק הטבול בגליצרין - ראה איור א בתחתית העמוד).

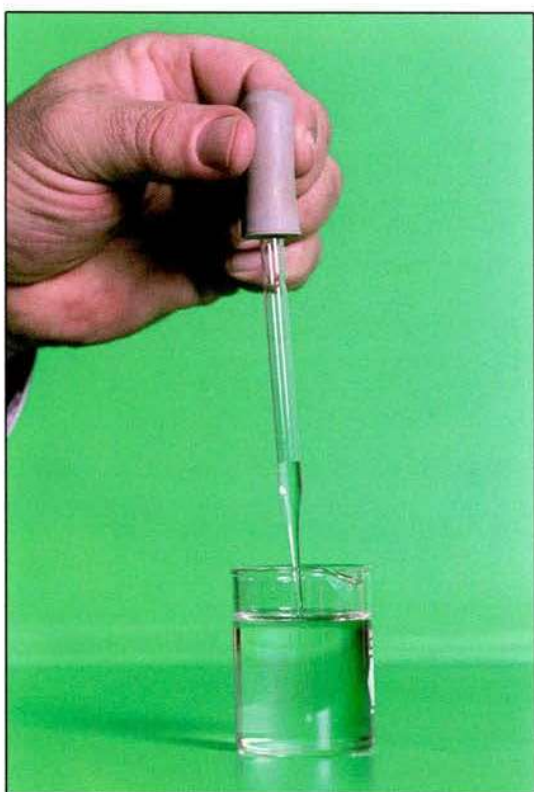
לאחר מכן הוא משחרר את הגומייה, כך שגליצרין חודר לטפי. החלק מצינור הטפי שטבול בתוך הגליצרין אינו נראה - ראה איור ב. הסבר את התופעה.

ד. באיור ב מתוארת אלומה אחרת הפוגעת בגליל הזכוכית. מה יהיה מהלך האור במקרה זה? נמק.

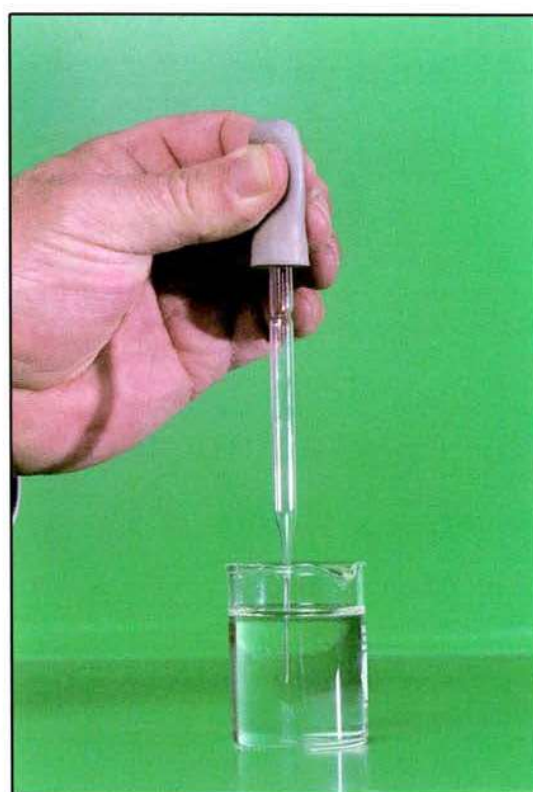
★41. צוללן מזהה דג השוחה לקראתו, ואת השתקפותו של הדג בפני המים. פני המים שקטים, ומקדם השבירה שלהם הוא 1.33.



א. מדוע הדג משתקף בפני המים?  
 ב. מדוע המרחק בין הדג לבין עיני הצוללן צריך להיות גדול מערך מזערי מסוים, כדי שהצוללן יראה את



איור ב



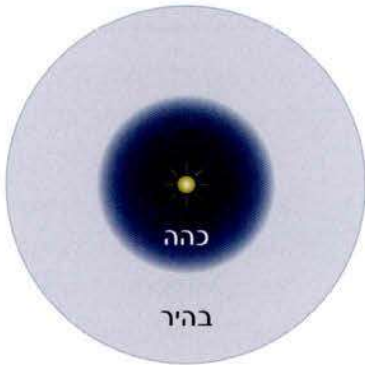
איור א





S

איור א



איור ב

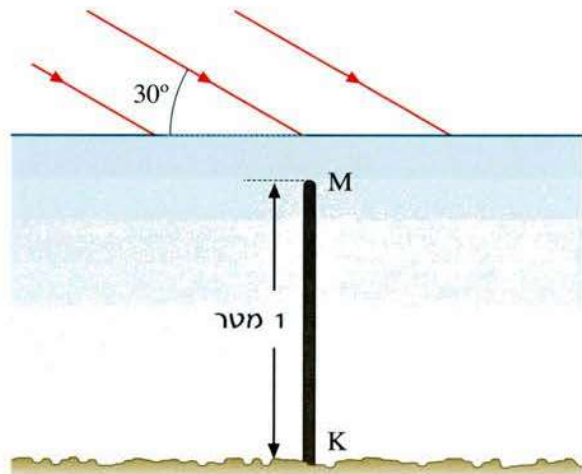
- א. העתק את איור א, והוסף לו את מהלכן של שלוש קרניים היוצאות ממקור האור S:
- (1) קרן הפוגעת בפני הנוזל בזווית פגיעה של  $0^\circ$ .
  - (2) קרן הפוגעת בפני הנוזל בזווית כלשהי, ויוצאת לאוויר.
  - (3) קרן הפוגעת בפני הנוזל ומוחזרת החזרה מלאה.
- ב. הסבר מדוע רואים על קרקעית הצלוחית, סביב מקור האור, אזור כהה ואזור בהיר.
- ג. האם לאזור הכהה מגיע אור? הסבר.
- ד. מוסיפים לצלוחית עוד מאותו נוזל (גובה פני הנוזל בצלוחית עולה). האם קוטרו של העיגול הכהה יגדל, יקטן או לא ישתנה? הסבר.
- ה. נתון כי גובה פני הנוזל הוא 1 cm ורדיוס העיגול הכהה הוא 1.5 cm. חשב את מקדם השבירה של הנוזל.

★ 43. אלומת אור צרה פוגעת במנסרה משולשת מזכוכית. חתך המנסרה הוא משולש שווה-שוקיים שזווית הראש שלו  $30^\circ$ . האלומה מתפשטת בתוך המנסרה בכיוון מקביל לבסיס המנסרה.

א. חשב את זווית הפגיעה של האלומה במנסרה.

ב. חשב את זווית הסטייה של האלומה כתוצאה ממעבר דרך המנסרה.

44. באיור מתואר מקל MK הנעוץ בקרקעית הים (מקדם שבירה  $n = 1.33$ ), ומאונך לה ולפני המים. המים שקטים, וגובה המקל הוא 1 מטר מעל הקרקעית. עומק הים באזור זה עולה על 1 מטר. קרני השמש פוגעות בפני המים בזווית גובה בת  $30^\circ$ .

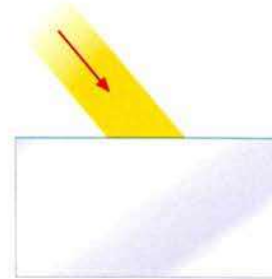


חשב את אורך הצל של המקל.

45. במרכזה של קרקעית צלוחית נמצא מקור אור נקודתי S. בצלוחית יש נוזל שקוף (ראה איור א).

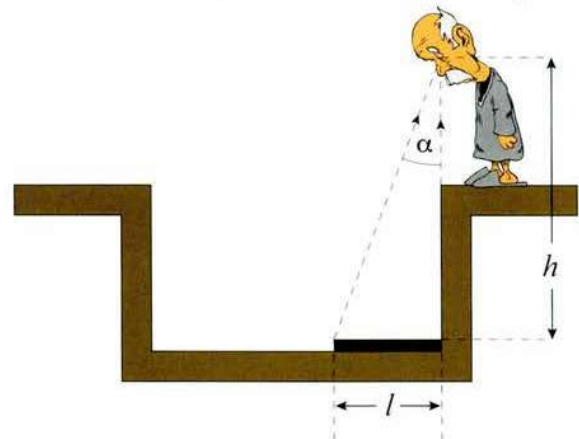
קרקעית הצלוחית צבועה בצבע לבן, המפזר לכל הכיוונים אור הפוגע בו. כאשר מתבוננים בפני הנוזל מלמעלה, רואים על קרקעית הצלוחית עיגול כהה סביב מקור האור ומשטח בהיר סביב העיגול הכהה (ראה איור ב).

46. באיור מתוארת אלומת אור רחבה ומקבילה המתפשטת באוויר, ופוגעת בגוף עשוי מזכוכית.



- האם האלומה העוברת לגוף הזכוכית רחבה מזו הפוגעת בגוף זה, צרה ממנה או שרוחבה שווה לרוחב האלומה הפוגעת בגוף הזכוכית?
- האם האלומה המוחזרת מגוף הזכוכית רחבה מזו הפוגעת בגוף זה, צרה ממנה או שרוחבה שווה לרוחב האלומה הפוגעת בגוף הזכוכית?
- זווית הפגיעה של האלומה באוויר היא  $30^\circ$  ורוחבה באוויר 2 ס"מ. חשב את רוחבה בזכוכית.

47. על שפת בריכה ריקה ניצב אדם שגובה עיניו מעל קרקעית הבריכה הוא  $h = 3.90 \text{ m}$ . על קרקעית הבריכה ממש מתחתיו הוא רואה סרגל באורך  $l = 60 \text{ cm}$  בזווית ראייה  $\alpha$  (ראה איור).



- ממלאים את הבריכה במים עד גובה  $y$  מעל הקרקעית, כשהסרגל נשאר במקומו.
- העתק את האיור, הוסף בו את פני המים, וסרטט

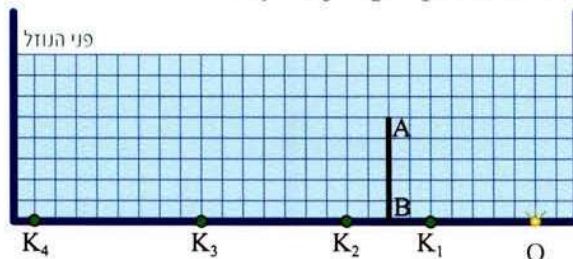
קרן אור היוצאת מקצהו הרחוק (השמאלי) של הסרגל ומגיעה לעינו של האדם.

(2) האם הסרגל נראה לאדם קצר יותר ממה שהוא נראה כאשר הבריכה היתה ריקה, ארוך יותר או שהוא נראה ללא שינוי? הסבר על סמך סעיף א(1).

ב. כאשר בבריכה יש מים בגובה  $y$ , האדם רואה את הסרגל בזווית ראייה של  $9.5^\circ$ .

- מצא את זווית הפגיעה בפני המים של הקרן שמתוארת בסעיף א(1) ואת זווית השבירה שלה. נתון כי מקדם השבירה של המים הוא 1.33.
- חשב את הגובה  $y$  של המים.

48. באיור מתואר מכל שדופנותיו שקופים, ובו נוזל שמקדם השבירה שלו (ביחס לאוויר) הוא  $n = 2.236$ . על קרקעית המכל נמצאים מקור אור נקודתי O הפולט אור לכל הכיוונים ומחיצה אטומה לאור AB וכן מסומנות ארבע נקודות  $K_1, K_2, K_3$  ו-  $K_4$ .



א. הראה כי  $\tan \theta_c = 0.5$  כאשר  $\theta_c$  היה הזווית הקריטית (הזווית הגבולית) במעבר של אור מהנוזל לאוויר.

ב. העתק במדויק את האיור (כל משבצת במחברת תייצג משבצת בתרשים). היעזר בסעיף א וסמן באות  $P_0$  נקודה על פני הנוזל, שבה פוגעת בזווית הקריטית קרן אור היוצאת מ-O.

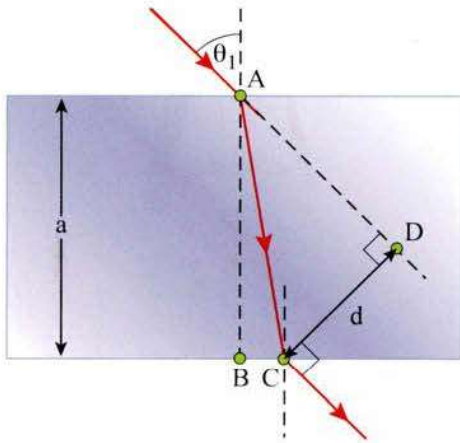
- קבע אם קיימת קרן אור שיוצאת מ-O, פוגעת בפני הנוזל, ומוחזרת ישירות באופן מלא (ולא חלקי) לנקודה  $K_1$ . סרטט והסבר.
- ענה על תת-סעיף ג(1) לגבי כל אחת מהנקודות  $K_2, K_3$  ו-  $K_4$ .

(2) ל-A ול-B בלבד.

(3) לכל הנקודות.

(4) אי אפשר להשיב על השאלה בגלל העדר נתונים.

52★★★ מנסרה מלבנית שעוביה  $a$  עשויה מחומר שקוף שמקדם השבירה שלו ביחס לאוויר הוא  $n$ . קרן אור המתפשטת באוויר פוגעת במנסרה בזווית פגיעה  $\theta_1$  ונשברת בחומר השקוף. לאחר שבירה שנייה הקרן יוצאת לאוויר.



הראינו במהלך הפרק שהקרן היוצאת מהמנסרה מקבילה לקרן הפוגעת בה. המרחק בין הישר שלאורכו מתפשטת הקרן לפני שהיא פוגעת במנסרה לבין הישר שלאורכו מתפשטת הקרן היוצאת מן המנסרה מכונה **מרחק ההסחה**, הוא מסומן באיור ב-d.

הוכח כי מרחק ההסחה ניתן על ידי הביטוי:

$$d = a \cdot \sin\theta_1 \left[ 1 - \sqrt{\frac{1 - \sin^2\theta_1}{n^2 - \sin^2\theta_1}} \right]$$

הנחייה: במהלך הפיתוח השתמש בזהות הטריגונומטרית:

$$\sin(\theta_1 - \theta_2) = \sin\theta_1 \cos\theta_2 - \cos\theta_1 \sin\theta_2$$

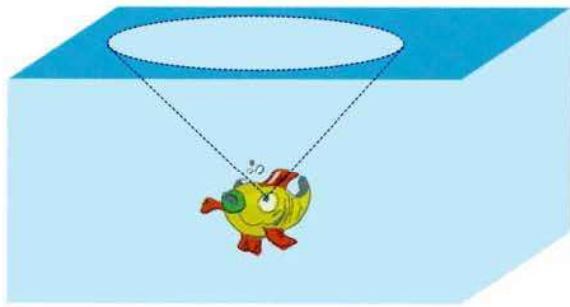
53★★★ הסבר, מדוע בזוויות קטנות, הקשר בין זווית הפגיעה באוויר,  $\theta_{אוויר}$ , לבין זווית השבירה בזכוכית,  $\theta_{זכוכית}$ , הוא בקירוב יחס ישר.

49. אלומת אור צרה נעה באוויר ופוגעת בגוף זכוכית שמקדם השבירה שלה ביחס לאוויר הוא 1.5. מהי זווית הפגיעה באוויר אם הזווית בין הקרן הנשברת לקרן המוחזרת היא ישרה?

### III. תרגילי העמקה

תרגילים 50-54 מיועדים להעמקה.

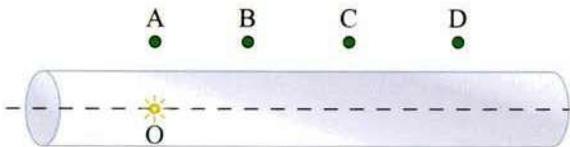
50. דג השווחה בים שפני מימיו שקטים ומתבונן מעלה, רואה תמונה דחוסה של העולם שבחוץ למים בתוך חרוט (ראה איור). מחוץ לחרוט הוא רואה את ההשתקפות של המים או של קרקעית הים (או של שניהם). מקדם השבירה של המים ביחס לאוויר הוא 1.33.



א. הסבר את התופעה.

ב. חשב את זווית הראש של החרוט.

51★★★ באיור מתואר מוט גילי ארוך, עשוי מחומר שקוף. מקור אור נקודתי O הנמצא בתוך המוט, על ציר המוט, מפיץ אור לכל הכיוונים. חלק מהאור יוצא מן המוט לאוויר, וחלק מוחזר במלואו למוט (החזרה פנימית מלאה).

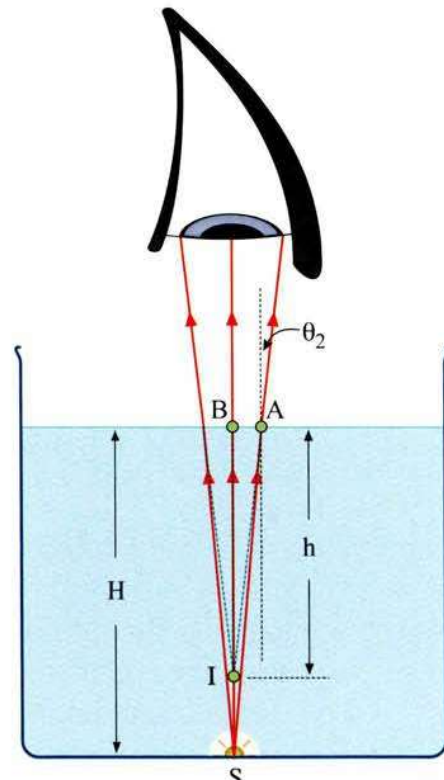


לאילו מבין הנקודות A, B, C ו-D מגיע אור ממקור האור O?

(1) ל-A בלבד.

54. באיור מיוצגת שלוש קרניים היוצאות מעצם נקודתי S הנמצא בתחתית מכל שבו נוזל שמקדם השבירה שלו הוא n.

שתי קרניים עוברות לאוויר בזווית שבירה  $\theta_2$ , וחודרות לאישון עינו של אדם המתבונן בעצם S מלמעלה. המשכי הקרניים הנשברות נחתכים בנקודה I שהיא הדמות של העצם S. העומק האמיתי של הנזל הוא H, והעומק המדומה הוא h.



★ א. הוכח כי:  $\frac{H}{h} \approx n$

הנחייה: כיוון שאישון העין קטן, הזווית  $\theta_2$  קטנה. זוויות  $\theta$  קטנות, הנמדדות ברדיאנים, מקיימות את הקשרים:

$$\tan \theta \approx \theta$$

$$\sin \theta \approx \theta$$

ב. אדם מתבונן מלמעלה בקרקעית בריכה שבה מים ( $n = 1.33$ ) שעומקם 1 מטר. חשב את העומק המדומה של המים עבור אדם זה.

### תשובות

3. ב.  $\approx 33^\circ$
4. א.  $\approx 39.9^\circ$
- ב.  $74^\circ$
5.  $\approx 59.4^\circ$
9. א.  $\theta_{\text{זכוכית}} = 18.2^\circ$
- ב. לא, כי ...
10. ג.  $\approx 28.1^\circ$  הנחייה: היעזר במשפט הסינוסים.
- א.  $\approx 61.8^\circ$
- ב.  $36^\circ$
15. ב. כאשר  $\alpha = 30^\circ$  זווית הסטייה היא  $18.6^\circ$ .
- כאשר  $\alpha = 60^\circ$  זווית הסטייה היא  $60^\circ$ .
16. א.  $\approx 0.37^\circ$
18. א.  $\approx 18.5^\circ$
20.  $\approx 48.8^\circ$
21. ג.  $\approx 1.4$
- ה.  $\approx 45.7^\circ$
24. ב.  $1.14 \text{ m}$
25. א.  $\approx 19.5^\circ$  (1);  $30^\circ$  (2)
- ב. לא, כי ...
- א.  $30^\circ$
31. באיור 3
40. א. האנך משתרע לאורך הרדיוס של חתך הגליל.
- ג.  $4.54 \text{ m}$
43. א.  $\approx 22.8^\circ$
- ב.  $\approx 15.6^\circ$
44. אורך הצל כ-86 ס"מ.
- ה.  $n = 1.67$
46. א. האלומה העוברת לתוך הזכוכית רחבה מזו הפוגעת בה.
- ג. רוחב האלומה בזכוכית:  $\approx 2.18 \text{ cm}$
47. ב. (1)  $7.13^\circ$ ;  $9.5^\circ$  (2)  $y = 1.246 \text{ m}$
49.  $\approx 56.31^\circ$

50. ב. זווית הראש של החרוט היא כ- $97.5^\circ$ .

51. האפשרות הנכונה היא (3), כי ...

53. הסתמך על הקירוב  $\sin\theta \approx \theta$  המתקיים עבור זוויות  $\theta$  קטנות המבוטאות ברדיאנים.

54. ב.  $0.75 \text{ m}$