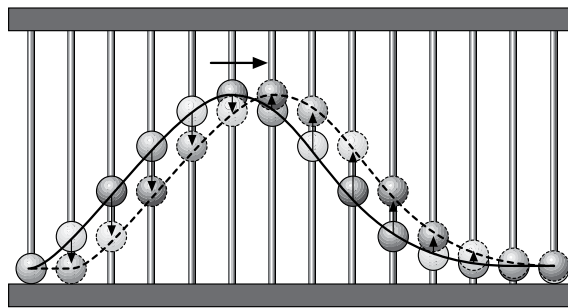


פרק ג: תכונות של פולסים חד-ממדיים והשוואתן לתכונות האור

1. א. + ב.

- (1) קריאה בשמו - מבוסס על גלים - התפשטות קול היא התפשטות של גל.
- (2) נפנוף ביד לעברו - מבוסס על אור - בשלב זה של לימוד הנושא אור אין הכרעה בשאלה האם התפשטות אור מבוססת על תנועת חלקיקים או על התפשטות גלים.
- (3) זריקת חפץ לעברו - מבוסס על העברת חלקיקים.
- (4) שימוש בבושם - מבוסס על העברת חלקיקים - התפשטות ריח היא תנועת חלקיקי החומר שאותו מריחים.

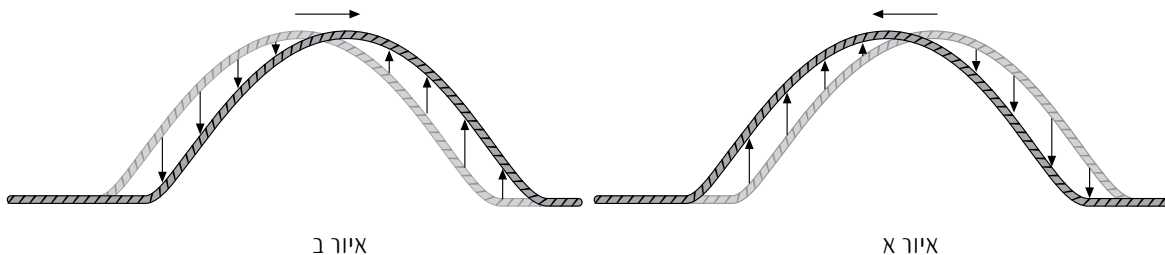
2. כל חרוז הנמצא לפני שיא הפולס יש להרחיק מהקו שבו נמצאים החרוזים כשהם בשיווי משקל, וכל חרוז שנמצא מאחורי השיא יש לקרב לקו שבו נמצאים החרוזים כשהם בשיווי משקל. באופן כזה מתקבל פולס שזז ימינה, כפי שמוצג באיור:



3. כיוון התנועה של חרוז A מתואר על ידי חץ 5, כי חרוז זה נמצא מאחורי שיא הפולס, לכן הוא נע לעבר נקודת שיווי המשקל שלו.

4. א. חלקיק A נמצא מאחורי שיא הפולס, לכן הוא נע בכיוון חץ 5. חלקיק B נמצא לפני שיא הפולס, לכן הוא נע בכיוון חץ 1.

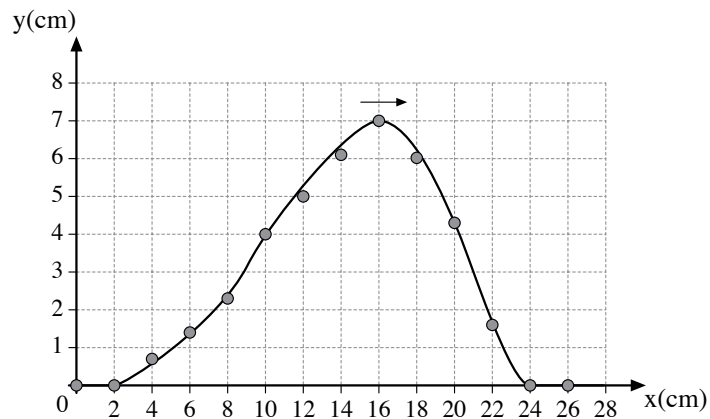
5. א. באיור א מוצגים כיווני התנועה של חלקיקי חבל שונים, בהנחה שהפולס נע שמאלה.
ב. באיור ב מוצגים כיווני התנועה של חלקיקי חבל שונים, בהנחה שהפולס נע ימינה.



איור ב

איור א

6. א. האיור שלהלן הוא גרף העתק-מקום של הפולס.



ב. משרעת הפולס שווה ל-7 ס"מ (או גדולה מעט מ-7 ס"מ). העלנו את האפשרות שמשרעת הפולס יכולה להיות גדולה מעט מ-7 ס"מ, כי העתק הפולס ב- $x = 16.2 \text{ cm}$ למשל לא נמדד ויתכן שהוא שווה ל-7.1 ס"מ.

7. א. ההעתק של חלקיק החבל הנמצא ב- $x = 30 \text{ cm}$ הוא $x = 13 \text{ cm}$.

ב. יש שני חלקיקי חבל שהעתקם הוא $y = 10 \text{ cm}$: האחד נמצא ב- $x = 27 \text{ cm}$ והאחר ב- $x = 48 \text{ cm}$.

ג. משרעת הפולס היא $A \approx 15.5 \text{ cm}$.

8. שיא הפולס מתקדם במשך שתי שניות מרחק של שתי משבצות, דהיינו 20 cm , לפיכך מהירות הפולס היא:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{20 \text{ cm}}{2 \text{ s}} = 10 \text{ cm/s}$$

9. מהירותו של פולס א שווה לזו של פולס ב, כי שני הפולסים נעים באותו תווך, והתווך הוא זה שקובע את מהירות הפולסים הנעים בו.

10. תוצאות ניסויים מורות כי ככל שמותחים קפיץ - פולסים נעים בו במהירות רבה יותר.

הערה למורה: מומלץ להסב את תשומת ליבם של התלמידים לנוסחה (2) שבמוד 51 בספר לתלמיד, למרות שנוסחה זו אינה כלולה בתכנית הלימודים הרשמית.

$$(1) \quad v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

כאשר: T - מתיחות הקפיץ

μ - מסת הקפיץ ליחידת אורך (כלומר המסה של מטר אחד של הקפיץ במצב שהקפיץ מתוח)

כאשר מותחים קפיץ - T גדל ו- μ קטן. לכן השבר שמתחת לשורש בקשר (1) לעיל גדל לכן המהירות גדלה.

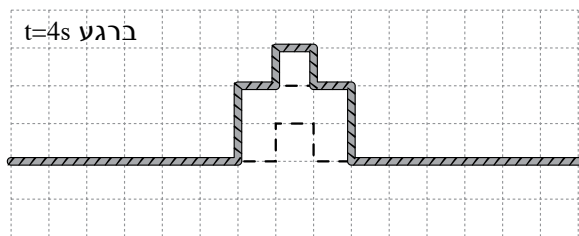
11. א. איור א מתאר את הפולסים לאחר פגישתם - צורתו של כל פולס אינה מושפעת כתוצאה מפגישה עם הפולס האחר.

ב. התופעה המקבילה באור היא שחיתוך בין שתי אלומות אור אינו משפיע על האלומות.

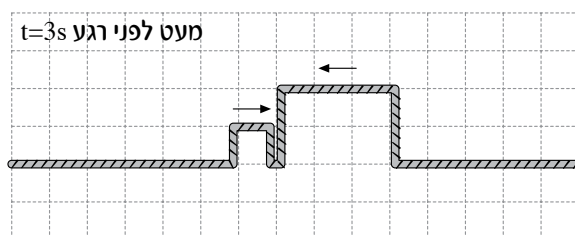
12. ההעתק המרבי כששני הפולסים נפגשים מתקבל ברגע שהשיאים של שני הפולסים מגיעים לאותו מקום בחבל. במצב זה ההעתק המרבי הוא $15 + 20 = 35 \text{ cm}$.

13. א. איור ב מתאר את צורת החבל ברגע שבו שני הפולסים נמצאים (רגעית) בתחום AB.
ב. התאבכות שני הפולסים היא הורסת כי להעתקים כיוונים מנוגדים.

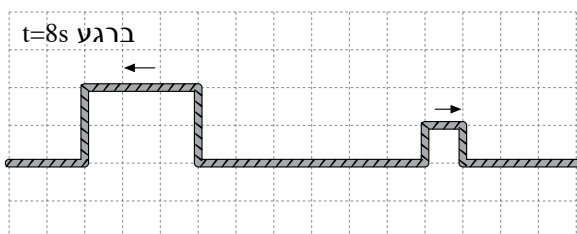
14. א. באיור שלפניך מוצגות תבניות החבל ברגעים המבוקשים.



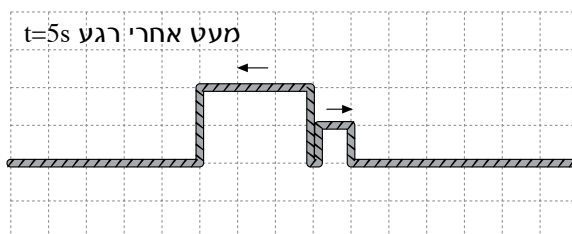
איור ב



איור א



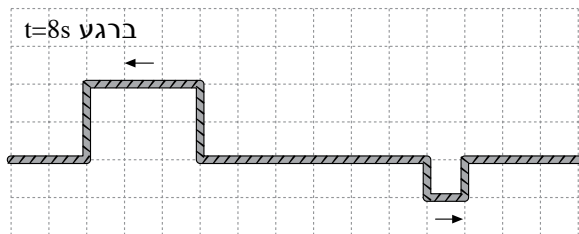
איור ד



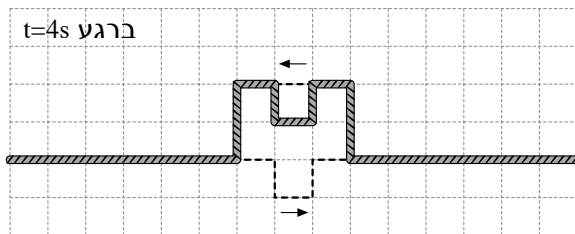
איור ג

ב. התאבכות הפולסים ברגע $t = 4s$ היא בונה, כי להעתקים אותו סימן אלגברי.

15. א. באיורים שלפניך מוצגות תבניות החבל ברגעים המבוקשים.



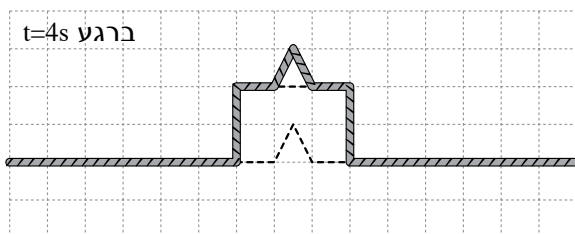
איור ב



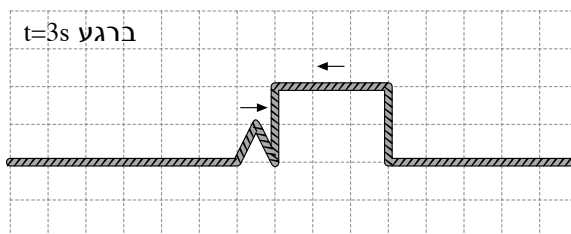
איור א

ב. התאבכות הפולסים ברגע $t = 4s$ היא הורסת, כי להעתקים סימנים מנוגדים.

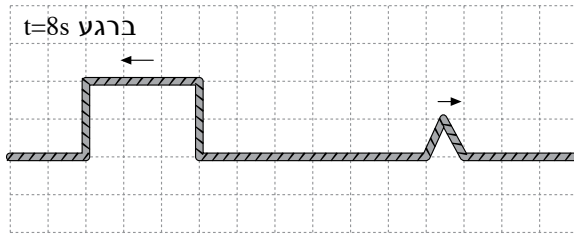
16. באיורים שלפניך מוצגות תבניות החבל ברגעים המבוקשים.



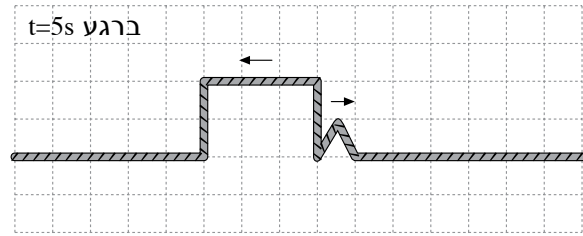
איור ב



איור א

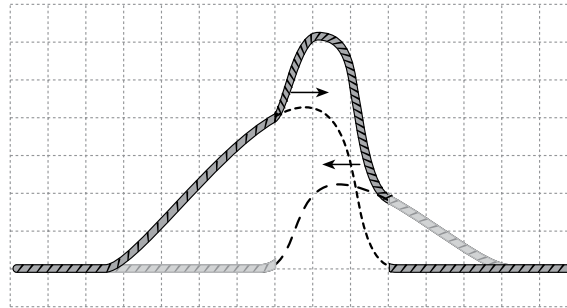


איור ד



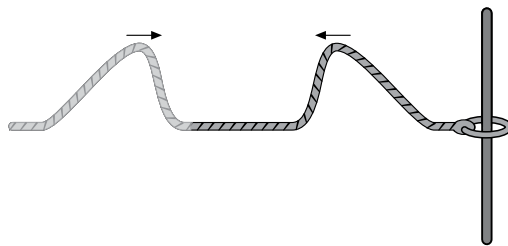
איור ג

17. א. באיור שלפניכם מוצגת תבנית החבל ברגע הנדון.

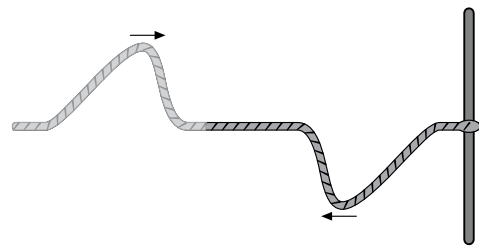


ב. ברגע הנדון התאבכות שני הפולסים היא בונה, כי העתקי שני הפולסים בכל נקודה הם שווי סימן.

18. א. באיור א מוצגים הפולס הפוגע והפולס המוחזר במקרה שקצה החבל קשור.



איור ב: קצה חופשי



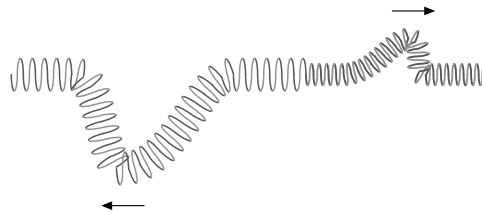
איור א: קצה קשור

ב. באיור ב מוצגים הפולס הפוגע והפולס המוחזר במקרה שקצה החבל חופשי.

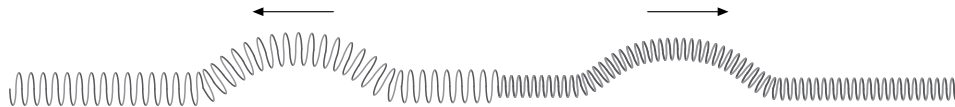
19. א. המים שליד הדופן בבריכה מתנהגים כ"קצה חופשי" כי הם חופשיים לעלות ולרדת כמו מים שאינם ליד הדופן.

ב. גל מוחזר מקצה בריכה כשהוא ישר, כי המים בקצה הבריכה מתנהגים כ"קצה חופשי".

20. באיור שלפניך מוצגים הקפיצים זמן מה לאחר שהפולס הגיע לנקודת הקשר ביניהם.



21. באיור שלפניך מוצגים הקפיצים זמן מה לאחר שהפולס הגיע לנקודת הקשר ביניהם.



22. קפיץ א הוא הקפיץ ה"קל".

הסבר: שני הקפיצים **שווים באורכם**, ומקצותיהם החופשיים שוגרו בו-זמנית שני פולסים. מהאיור עולה כי בקפיץ א הפולס עבר מרחק גדול מזה שבקפיץ ב, וזה קרה באותו פרק זמן, מכאן שמהירות פולס בקפיץ א גדולה מזו שבקפיץ ב. כאשר קפיץ "קל" וקפיץ "כבד" מחוברים בטור (כלומר קשורים בקצה אחד) - פולס נע מהר יותר בקפיץ ה"קל". מכאן שקפיץ א הוא ה"קל".

23. לפולס א אנרגיה רבה יותר, כי האנרגיה הפוטנציאלית האלסטית שלו רבה יותר, וגם האנרגיה הקינטית שלו רבה יותר. האנרגיה הקינטית רבה יותר כי חלקיקי החבל של פולס א נעים בכיוון ניצב לתפשטות הפולס במהירות גדולה יותר (כי עליהם לעבור מרחק גדול יותר).

24. זהו פולס רוחב כי כיוון התנועה של כל חלקיק ניצב לכיוון התקדמות הפולס.

25. שני אסטרונוטים הנמצאים על פני הירח אינם יכולים לשוחח ביניהם ללא מכשירי קשר, כי קול אינו יכול לעבור בריק, ולירח, כידוע, אין אטמוספירה.

26. תכונות האור שאפשר להסביר באמצעות מודל הגלים המכניים:

- (1) אור נפלט ממקורות אור ומתפשט במרחב. הסבר תכונה זו נשען על כך שפולסים נוצרים על-ידי מקורות (מקור פולסים מכונה לעתים מחולל או משדר).
- (2) אלומות אור הנחתכות אינן משפיעות זו על זו. הסבר תכונה זו נשען על כך שפולסים הנפגשים על קפיץ אינם משפיעים זה על זה, כלומר לאחר ה"התנגשות" צורתו וגודלו של כל פולס שווה לזו שהיתה לו אילו לא היתה מתרחשת התנגשות.
- (3) אור מוחזר בהגיעו לקצה התווך שבו הוא מתפשט. הסבר תכונה זו נשען על כך שפולס מוחזר בהגיעו לקצה קפיץ.
- (4) כאשר אור מתפשט בתווך שקוף ומגיע למשטח גבול עם תווך שקוף אחר - הוא מתפצל במשטח הגבול לאור מוחזר ולאור עובר. הסבר תכונה זו נסמך על כך שפולס הנע בקפיץ אחד ומגיע לנקודת קשר עם קפיץ אחר, מתפצל לפולס מוחזר ולפולס עובר.
- (5) אור נושא אנרגיה. הסבר תכונה זו נשען על כך שפולס נושא אנרגיה (פולס בקפיץ נושא אנרגיה פוטנציאלית אלסטית ואנרגיה קינטית).

27. את תכונת התפצלות האור לחלק מוחזר ולחלק עובר, לאחר שהוא מגיע למשטח גבול עם תווך שקוף אחר, אי אפשר להסביר באמצעות המודל החלקיקי של האור, אולם אפשר להסביר באמצעות מודל הגלים המכניים.

28. כאשר הפולס מגיע לגבול בין שני התווכים הוא מתפצל לשני פולסים - לפולס המוחזר לתווך שממנו הגיע הפולס המקורי, ולפולס העובר לתווך האחר.

29. א. עקרון הסופרפוזיציה אומר איך קובעים את ההעתקים של נקודות שונות של תווך שנעים בו שני פולסים (או יותר). העקרון אומר כי ברגע נתון, ההעתק בכל נקודה בתווך שווה לסכום של ההעתק שהיה באותה נקודה אילו רק אחד הפולסים היה נע בו, וההעתק שהיה בנקודה אילו רק הפולס האחר היה נע בו.

הערה למורה (לא מיועדת לתלמידים): עקרון הסופרפוזיציה אינו תקף לכל סוגי הגלים, אלא רק לגלים המקיימים משוואות גלים לינאריות.

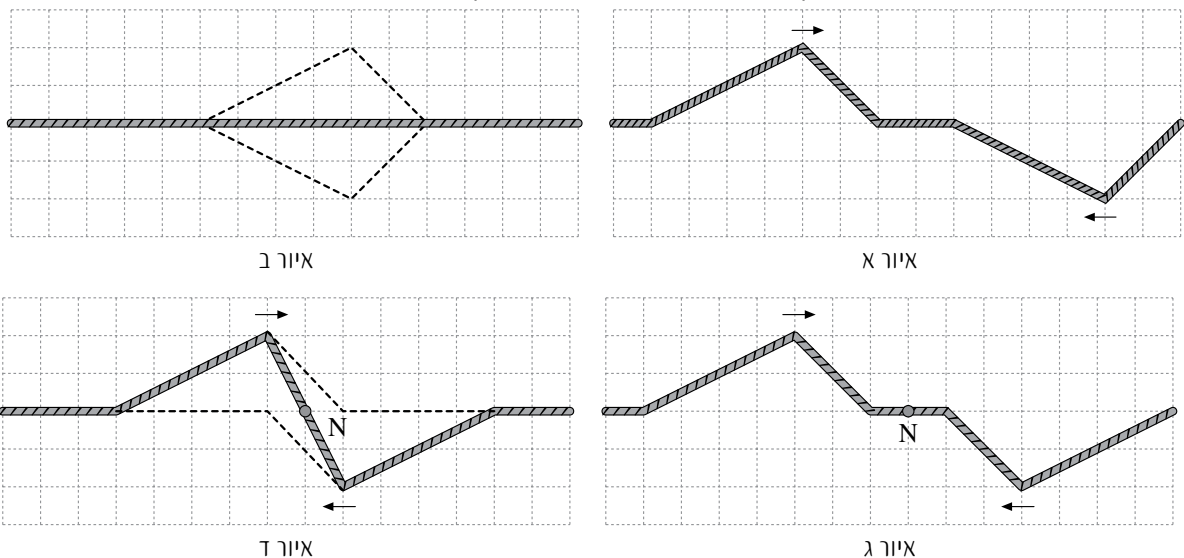
ב. המושג "התאבכות": התאבכות היא תופעה שבה שני גלים (או יותר) נעים באותו תווך, נפגשים, ויוצרים תבנית חדשה בתווך.

המושג "תבנית התאבכות": תבנית של תווך שבו מתאבכים גלים.

המושג "התאבכות בונה": התאבכות בין גלים שעתקיהם של חלקיקי התווך באותו כיוון.

המושג "התאבכות הורסת": התאבכות בין גלים שהעתקיהם של חלקיקי התווך בכיוונים מנוגדים.

30. א. באיור א שלהלן מוצג פולס נוסף, כך שהתאבכות בינו לבין הפולס המקורי תיצור תבנית בחבל כך שברגע מסוים החבל יהיה ישר (באופן רגעי), כמתואר באיור ב שלהלן.



ב. (1) באיור ג מוצג פולס נוסף, כך שכתוצאה מהתאבכותו עם הפולס המקורי נוצרת נקודת צומת בנקודה N, כמתואר באיור ד.

שימו לב, במצב המוצג באיור א אין נקודת צומת, ואילו במצב המוצג באיור ג אין רגע שבו הפולסים מבטלים זה את זה.

(2) התאבכות הפולסים בנקודת הצומת היא הורסת, כי בנקודה זו ההעתקים שני הפולסים הם בכיוונים מנוגדים.

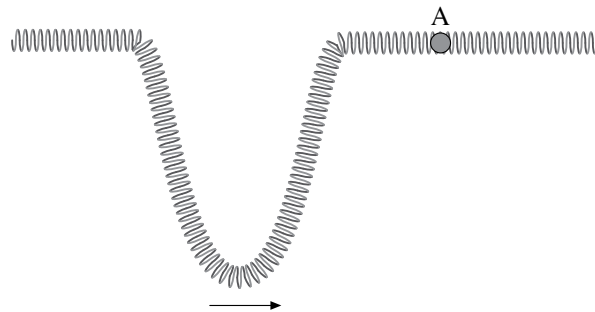
(3) גם בנקודות האחרות ההתאבכות היא הורסת.

31. שני הפולסים המוצגים באיור ב בספר לתלמיד נוצרו בנקודת הקשר בו-זמנית, אולם בקפיץ "קל" פולס נע מהר מאשר בקפיץ "כבד" (כאשר המתיחויות בשני הפולסים שוות), לכן מרחק השיא של הפולס המוחזר (בקפיץ ה"קל") מנקודת הקשר צריך להיות גדול ממרחק השיא של הפולס העובר (בקפיץ ה"כבד") מנקודת הקשר, בניגוד למה שמוצג באיור ב.

32. החבל המוצג באיור ב הוא אמנם ישר, אולם חלקיקי החבל השונים **נמצאים בתנועה**. לכן החלקיקים נושאים אנרגיה קינטית. במילים אחרות, ההעתק של כל חלקיק חבל שווה אמנם לאפס ($y = 0$) אך המהירות שונה מאפס ($v \neq 0$).

33. את תכונות האור הקשורות במושגים המוגדרים בשני ממדים (כלומר במישור) אי אפשר לחקור באמצעות גלים חד-ממדיים. "זווית" היא צורה גאומטרית דו-ממדית, לכן אי אפשר לבחון בעזרת גלים חד-ממדיים קיומן של תכונות הקשורות בזווית, כגון:
(1) זווית החזרה שווה לזווית הפגיעה.
(2) חוק סנל.

34. א. הקפיץ ה"קל" הוא הקפיץ הימני, כי בקפיץ "קל" פולס נע מהר מאשר בקפיץ "כבד".
ב. באיור שלהלן מוצג הפולס הפוגע.



הסבר: לא יתכן שהפולס הפוגע נע מהקפיץ ה"קל" לעבר הקפיץ ה"כבד", כי במצב זה הפולס עובר כשהוא ישר (ביחס לפולס הפוגע) והפולס המוחזר הוא הפוך (ביחס לפולס הפוגע). כלומר הפולס העובר והפולס המוחזר צריכים להיות הפוכים זה ביחס לזה, בניגוד למה שמוצג באיור השאלה.
כאשר הפולס הפוגע נע מהקפיץ ה"כבד" לעבר הקפיץ ה"קל", הפולס המוחזר והפולס העובר נעים באותו צד כמו הפולס הפוגע. זה המצב במתואר באיור שבשאלה.

35. א. ברגע $t = 0$ הפולס נע ימינה ושיאו נמצא ב- $x = 2$ m, וברגע $t = 1$ s הפולס נע עדיין ימינה, ושיאו נמצא ב- $x = 6$ m. כלומר העתק הפולס במשך 1s הוא $\Delta x = 4$ m. מכאן שמהירותו $v = 4$ m/s.
ב. נתבונן במקומות, x , של שיא הפולס בשלושת האזורים: ברגע $t = 0$ שיא הפולס נמצא ב- $x = 2$ m, ברגע $t = 1$ s הוא נמצא ב- $x = 6$ m, וברגע $t = 2$ s שיא הפולס המוחזר נמצא ב- $x = 4$ m.
מרגע $t = 0$ עד רגע $t = 1$ s שיא הפולס עבר מרחק של 4 m. מכאן שגם מרגע $t = 1$ s עד רגע $t = 2$ s שיא הפולס צריך לעבור מרחק של 4 m; כלומר המרחק מהנקודה ששיעורה $x = 6$ m עד לקשר, פולס המרחק מהנקודה ששיעורה $x = 4$ m עד הקשר צריך להיות שווה ל- 4 m. נסמן את מקום הקשר ב- x_0 ;

$$(x_0 - 6) + (x_0 - 4) = 4$$

$$x_0 = 7 \text{ m}$$

מהאמור לעיל צריך להתקיים:

פתרון המשוואה:

$$x_0 = 7 \text{ m}$$

ג. **הקפיץ ה"קל" הוא הימני.** אילו הקפיץ השמאלי היה ה"קל" והימני היה ה"כבד" אז הפולס המוחזר היה צריך להתהפך, בניגוד למה שמוצג באיור.

ד. ברגע $t = 1 \text{ s}$ הקצה הימני של הפולס העובר נמצא בנקודת הקשר, וברגע $t = 2 \text{ s}$ הקצה הימני של הפולס העובר נמצא ב- $x = 14 \text{ m}$. מרגע $t = 1 \text{ s}$ עד רגע $t = 2 \text{ s}$ הפולס העובר עבר בקפיץ ה"קל" מרחק של 7 m (ראה איור), לכן גודל **מהירות הפולס בקפיץ ה"קל" הוא 7 m/s** .

ה. מרגע $t = 0$ עד רגע $t = 1 \text{ s}$, שיא הפולס הפוגע עבר בקפיץ ה"כבד" מרחק של 4 m (מ- $x = 2 \text{ m}$ עד $x = 6 \text{ m}$), מכאן שגודל **מהירות הפולס בקפיץ ה"כבד" הוא 4 m/s** . משך תנועת הפולס מ- $x = 6 \text{ m}$ עד $x = 7 \text{ m}$ הוא $\Delta t = \Delta x/v = 1/4 = 0.25 \text{ s}$. ב- $x = 7 \text{ m}$ שיא הפולס עובר לקפיץ ה"קל". בקפיץ ה"קל" הפולס נע עד רגע $t = 2 \text{ s}$ במשך $1 \text{ s} - 0.25 \text{ s} = 0.75 \text{ s}$. נחשב את שיעור הנקודה x שאליה מגיע שיא הפולס:

$$x = x_0 + vt = 7 + 7 \cdot 0.75 = 12.25 \text{ m}$$

ו. הזמן שחולף מרגע שהנקודה השמאלית של הפולס נמצאת ב- $x = 5 \text{ m}$ עד לרגע שהיא מגיעה לנקודת הקשר הוא: $\Delta t = \Delta x/v = 2/4 = 0.5 \text{ s}$. שיעור הנקודה שאליה מגיע הקצה השמאלי של הפולס ברגע $t = 2 \text{ s}$:

$$x = x_0 + v\Delta t = 7 + 7 \cdot 0.5 = 10.5 \text{ m}$$

ז. הנקודה הימנית של הפולס נעה בכל פרק הזמן מ- $t = 0$ עד $t = 1 \text{ s}$ בקפיץ ה"קל", **בו מהירותו גדולה**. לעומת זאת הנקודה השמאלית ביותר של הפולס נעה מ- $x = 5 \text{ m}$ עד $x = 7 \text{ m}$, כלומר מרחק של 2 m בקפיץ שבו המהירות איטית - זה נמשך 0.5 s שנייה. ובקפיץ שבו המהירות גבוהה נקודה זו נעה רק במשך 0.5 s שנייה. לכן **ההעתק של הנקודה השמאלית של הפולס קטן מההעתק של הנקודה הימנית של הפולס**.