

"תיאוריה מרשימה יותר ככל שההנחות הראשוניות עליהן היא מבוססת
פשוטות יותר, ככל שהיא מתייחסת למאון רחב יותר של דברים וככל שהיא
ניתנת להכחלה על תחומים רחבים יותר."
אלברט איינשטיין¹

חוברת פעילויות לימודיות בעקבות מאמר מדעי לקהל הרחב: $E=MC^2$ הבעיה הבווערת של דורנו, מאת אלברט איינשטיין² שולמית קפון ועירית אהרון

כל הזכויות שמורות

חוברת הפעילויות מצורפת כנספח מספר 1 למאמר:
"שימוש במאמר פופולארי של אלברט איינשטיין על השקילות בין מסה ואנרגיה כמסגרת מארגנת
לדיון באנרגיה" מאת שולמית קפון ועירית אהרון, כרך 31, חוברת מספר 2, תשע"ג (2013).
המצגת המלווה את פעילויות 5, 6 מצורפת כנספח מספר 2 לאותו מאמר.
מובאות מהמאמר של איינשטיין המוצגות בדפי העבודה מופיעות על רקע אפור

תוכן עניינים

- פעילות מספר 1 - שימור אנרגיה, אנרגיה מכאנית 2
- פעילות מספר 2 - מעבר חום בין גופים הבאים במגע..... 6
- פעילות מספר 3 - עקרון שימור האנרגיה, השקילות בין עבודה וחום..... 9
- פעילות מספר 4 - שימור מסה..... 13
- פעילות מספר 5 - שימור מסה, האומנם?..... 16
- פעילות מספר 6 - אנרגיה גרעינית..... 19

¹ הציטוט תורגם מתוך הספר: D. H. Whitfield & J. L. Hicks (Eds.) (2007). *What's the matter? Readings in physics*. Chicago IL: Great Books Foundation, p. 300.
² Albert Einstein (1946). $E=mc^2$: The Most Urgent Problem of our Time. *Science Illustrated 1*, p. 16–17. כתב-היד המקורי, שנכתב בשפה הגרמנית, נמצא בארכיון אלברט איינשטיין, באוניברסיטה העברית, וזכויות היוצרים בבעלות האוניברסיטה. תרגום לעברית של המאמר מופיע בתהודה, כרך 31, חוברת מספר 2, תשע"ג (2013).

פעילות מספר 1 - שימור אנרגיה, אנרגיה מכאנית

המטרה: הבנת עיקרון שימור האנרגיה המכאנית.
 מושגים: שימור, שקילות, אנרגיה מכנית, אנרגיה פוטנציאלית כובדית, אנרגיה קינטית.
 קטע המאמר הרלוונטי: פסקות 1-3.
 השיטה: התנסות - חקירה של מטוטלת אידיאלית באמצעות סימולציה.

חלק ראשון – חשיבה מקדימה: דיון במושגים 'שימור' ו'שקילות'

"כדי להבין את השקילות שבין מסה ואנרגיה עלינו להיזכר בשני עקרונות שימור או שקילות, אשר באופן עצמאי זה מזה תפסו במשך תקופה ארוכה מקום חשוב בפיסיקה הטרומ יחסותית. העקרונות הנידונים הם עקרון שימור האנרגיה ועקרון שימור המסה"

1. קראו את פסקה מספר 1 במאמר.

2. דונו בכיתה במשמעות המילים שימור ושקילות בהקשר פיסיקאלי.

שימור

שקילות

חלק שני – התנסות: חקירה של גלגולי האנרגיה במטוטלת אידיאלית

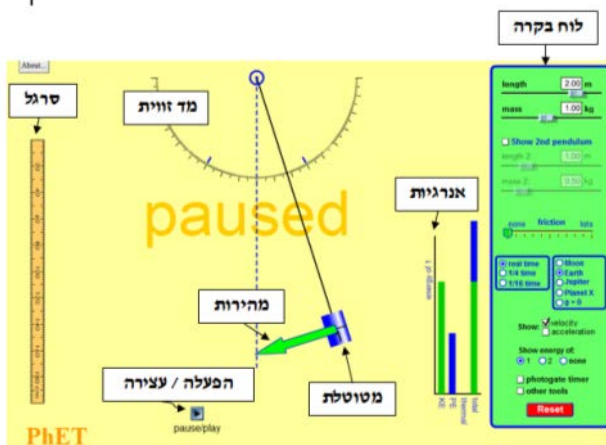
"חישבו למשל על מטוטלת, מסה m התלויה על חוט ומתנדנדת קדימה ואחורה..."

1. קראו את פסקות 2-3 במאמר.

2. הורידו ופיתחו את הסימולציה:

http://phet.colorado.edu/sims/pendulum-lab/pendulum-lab_en.html

שלב א: הכרות



איור 1

1. **הסיטו** את המטוטלת - הצביעו על המשקולת של המטוטלת, לחצו ומשכו לימין או לשמאל.
2. **לחצו** על כפתור ההפעלה והתבוננו במתרחש.
3. **שנו** מאפיינים של הסימולציה בעזרת לוח הבקרה.
 הערה: רצוי לשנות בכל פעם רק מאפיין אחד כדי שתוכלו להבחין בשינויים.

4. **התבוננו** בשינויים החלים בתנועת המטוטלת ובמידע המוצג על המסך.

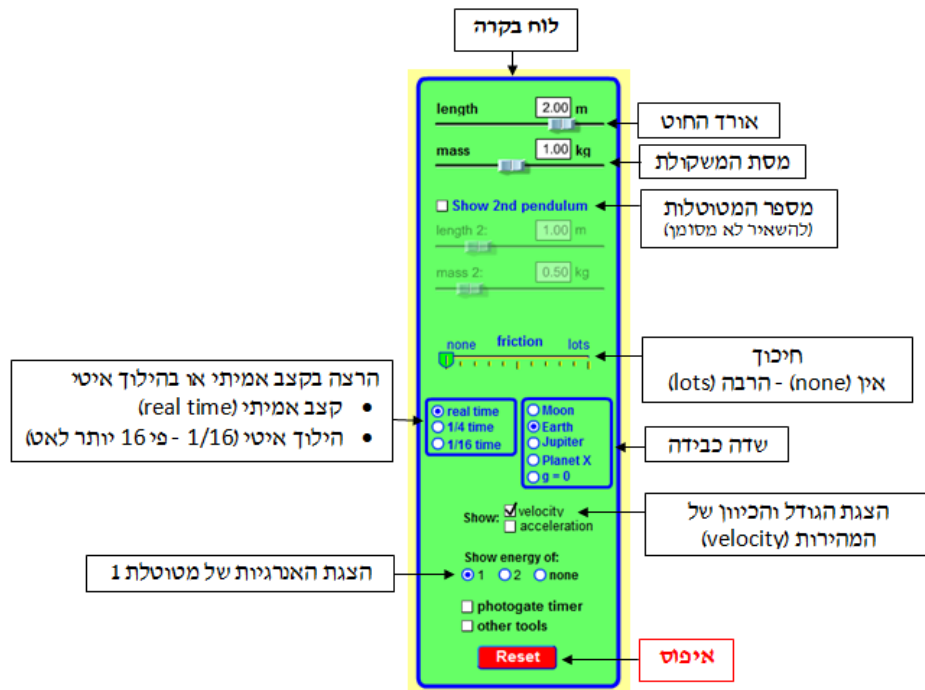
שלב ב': חקירה ראשונית

1. קביעת תנאי התחלה בלוח הבקרה (ראו איור 2):

- א. אורך - 2 מ', מסה - 1 ק"ג.
- ב. הצג רק מטוטלת אחת (ודאו שלא סימנתם Show second pendulum).
- ג. תנועה - ללא חיכוך (none).
- ד. שדה הכבידה של כדור הארץ (Earth).
- ה. הרצה בקצב אמיתי (real time).

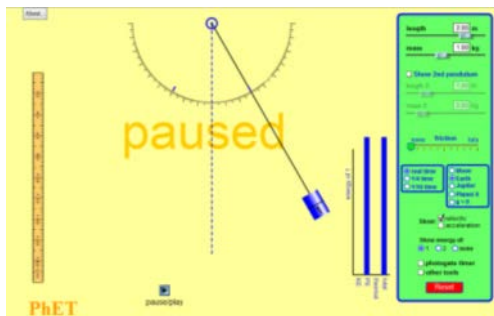
2. הכנת המסך – לחצו בלוח הבקרה על:

- א. הצג מהירות.
- ב. הצג את האנרגיות של מטוטלת מספר 1.



איור 2

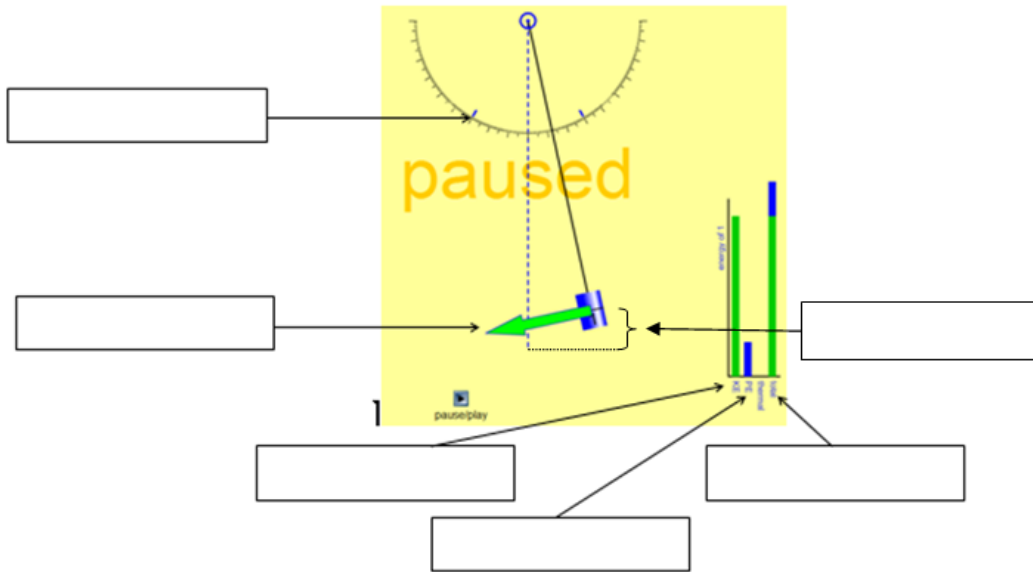
3. זיהוי המידע המופיע בסימולציה בעת הרצתה:



איור 3

- א. עצרו את המטוטלת (כפתור play/pause) – על המסך תופיע המילה "paused".
- ב. הסיטו את המטוטלת בזווית של 30°. מתקבל המסך הבא: (איור 3).
- ג. בחרו בהרצה בהילוך איטי על ידי בחירה בזמן 1/16 בלוח הבקרה.

ד. **הריצו** את הסימולציה (play) וזהו מה מייצגים הסימנים שבמסך. **השלימו** את המידע בתאים שבתרשים (איור 4):



איור 4

4. חקירת מאזן האנרגיות בתנועתה של מטוטלת אידיאלית

- א. **עצרו** את פעולת הסימולציה (Pause).
- ב. **אפסו** את המערכת (Reset) - המטוטלת תחזור למצבה ההתחלתי (עדיין בהילוך איטי).
- ג. **הסיטו** שוב את המטוטלת בזווית של 30° .
- ד. מה מראה גרף האנרגיות במצב התחלתי זה? (**השלימו**)

_____ = _____

ה. **הפעילו** את הסימולציה (Play) ו**עקבו** אחר גרף האנרגיות של המטוטלת.

ו. **סכמו**:

במהלך התנועה של המטוטלת, בכל רגע ורגע:

(1) סך כל האנרגיה של המערכת = _____ + _____

(2) סך כל האנרגיה של המערכת _____ (קבוע/משתנה)

(3) אנרגיה _____ מומרת לאנרגיה _____ ולהפך.

ז. **נסחו** את עקרון שימור האנרגיה במטוטלת אידיאלית:

שלב ג: חקירה מתמשכת - רשות

המשיכו לחקור את מאזן האנרגיות בתנועת המטוטלת על ידי שינוי פרמטרים שונים של הסימולציה. נסו למשל לשנות את מסת המשקולת, אורך החוט, זווית ההסטה ושדה הכבידה. סכמו את הבנתכם בעקבות חקירה זו:

תוכלו לבחון את התנאים לשימור האנרגיה המכאנית גם במערכת אחרת. לשם כך היכנסו לסימולציה פארק השעשועים

http://phet.colorado.edu/sims/energy-skate-park/energy-skate-park_en.jnlp

חלק שלישי – דיון מסכם: שימור אנרגיה מכאנית

1. קראו שוב את שני המשפטים האחרונים בפיסקה 2 של המאמר.

2. מה משמעות המשוואה $\frac{1}{2}mv_{max}^2 = mgh_{max}$?

רשמו מה מייצג כל אחד מהמשתנים והביטויים שבכל אחד מצדי המשוואה:

_____ mgh_{max} יחידות: _____

_____ mg יחידות: _____

_____ m יחידות: _____

_____ h יחידות: _____

_____ h_{max} יחידות: _____

_____ $\frac{1}{2}mv_{max}^2$ יחידות: _____

_____ m יחידות: _____

_____ v יחידות: _____

_____ v_{max} יחידות: _____

_____ משמעות המשוואה: _____

3. קראו שוב את פיסקה 3 של המאמר.

4. כיצד המשוואות $E_K + E_P = E_T$ או $\frac{1}{2}mv^2 + mgh = Constant$ מתארות את

תנועת המטוטלת האידיאלית?

פעילות מספר 2 - מעבר חום בין גופים הבאים במגע

המטרה: הבנת עיקרון שימור החום במערכת סגורה.
מושגים: שימור, אנרגיית חום (אנרגיה תרמית), מערכת סגורה, מערכת פתוחה, שיווי משקל תרמי.
קטע המאמר הרלוונטי: פסקה 4.
השיטה: התנסות במעבדה – מדידה וחישוב של אנרגיית החום העוברת מגוף בטמפרטורה גבוהה לגוף בטמפרטורה נמוכה.

"... התשובה לשאלה זו נמצאה במחקר של תופעת החום. מחקר זה התבסס על ההנחה שחום הוא ישות שאינה ניתנת להריסה שזורמת בשלמות מאובייקטים חמים לאובייקטים קרים. המחקר הציע לכאורה את קיומו של "עקרון שימור החום"."

חלק ראשון – חשיבה מקדימה: הכנה לניסוי

1. **קראו** את שלושת המשפטים הראשונים בפסקה 4 של המאמר.
2. **דונו** בכיתה וענו על השאלות הבאות:
א. מה קורה כששני גופים בטמפרטורות שונות באים במגע? התייחסו בתשובתכם לאנרגיית החום ולטמפרטורה.

- ב. מהו 'שיווי משקל תרמי'?

- ג. אם הטמפרטורה של אחד הגופים היא 100°C ושל השני 20°C . **נסו להעריך** מה תהיה הטמפרטורה אליה יגיעו הגופים בשיווי משקל תרמי (**הקיפו** את התשובה הנכונה):
(1) גדולה מ 100°C , (2) קטנה מ 100°C אבל גדולה מ 20°C , (3) קטנה מ 20°C .
3. בחלק הבא של הפעילות תערכו ניסוי שבו תכניסו גליל ברזל בטמפרטורה גבוהה לתוך מים בטמפרטורה נמוכה, תמדדו את שינויי הטמפרטורה שחלו בשני גופים אלה בהגיעם לשיווי משקל תרמי, לבסוף, תחשבו בנפרד את אנרגיית החום שנפלטת מהברזל ואת אנרגיית החום שנקלטה על ידי המים. **דונו** בכיתה **וענו** על השאלות הבאות:
א. מהי לדעתכם מערכת ניסוי אידיאלית לביצוע הניסוי המתואר למעלה?
(1) לאילו תוצאות הייתם מצפים אילו מערכת הניסוי שלכם הייתה אידיאלית?

(2) לאילו תוצאות אתם מצפים במערכת שלכם, שאינה מערכת אידיאלית?

- ב. כיצד תוכלו לדעת שהמערכת הגיעה לשיווי משקל תרמי?

- ג. לפני שמתחילים בניסוי מחממים את גליל הברזל ע"י "בישולו" בתוך סיר עם מים רותחים. לא ניתן למדוד באופן ישיר את טמפרטורת גליל הברזל ולכן מודדים את

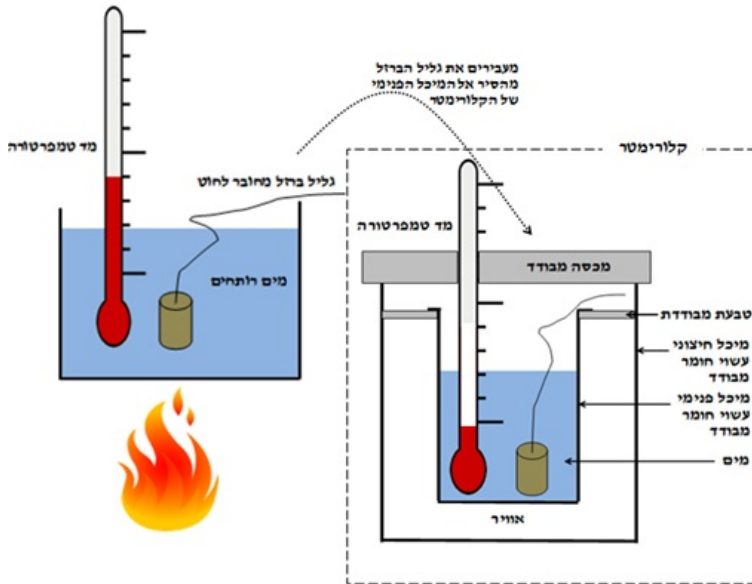
טמפרטורת המים שבסיר ומניחים שזוהי גם הטמפרטורה של גליל הברזל. איזה
 תנאי צריך להתקיים כדי שהנחה זו תהייה נכונה? _____

חלק שני - התנסות במעבדה - מעבר חום בין גופים הבאים במגע

המטרה: הדגמת מעבר החום בין שני גופים בטמפרטורות שונות הבאים במגע ומגיעים לשיווי משקל תרמי.

הציוד: קלורימטר (ראו תרשים - איור 5), 100 מ"ל מים, גליל ברזל קשור לחוט כותנה ששהה במים רותחים ברתיחה מתמדת במשך 5 דקות לפחות כאשר החוט המחובר לגליל נמצא מחוץ למים, מד טמפרטורה, מאזניים, כפפה.

תרשים המערכת:



איור 5

מהלך העבודה:

1. **מזגו** 100 מ"ל מים בטמפרטורת החדר למיכל הפנימי של הקלורימטר. מסת 1 מ"ל מים היא 1 גרם.
2. **מדדו** את הטמפרטורה של המים: _____.
3. **מדדו** את טמפרטורת המים הרותחים והברזל שבסיר: _____.
4. **העבירו** את גליל הברזל במהירות מהסיר למיכל הפנימי של הקלורימטר.
5. **כסו** מיד את הקלורימטר והכניסו מד טמפרטורה דרך החור למים שבמיכל הפנימי.
6. **חכו** עד לשיווי משקל תרמי (הטמפרטורה מפסיקה להשתנות).
7. **מדדו** את הטמפרטורה _____.
8. **הוציאו** את גליל הברזל מהמים **ויבשו** אותו היטב בנייר מגבת.
9. **מדדו** את מסת גליל הברזל _____.

עיבוד נתונים:

רכזו את הנתונים שנמדדו בטבלה ו**חשבו** את הגדלים החסרים:

הגוף	מסה (g) m	טמפרטורה התחלתית $T(C^\circ)$	טמפרטורה סופית $T(C^\circ)$	קיבול חום סגולי c $(\frac{J}{gr \cdot C^\circ})$	כמות חום:
המים שבמיכל הפנימי				4.2	
גליל הברזל				0.462	

השוו את כמות החום שקיבלו המים לכמות החום שאיבד גליל הברזל.

ענו:

1. מדוע היה עליכם ליבש את גליל הברזל בטרם מדדתם את מסתו?

2. איך קבעתם את הטמפרטורה ההתחלתית של הברזל?

3. מדוע היה עליכם להמתין לפחות 5 דקות מרגע שהוכנס גליל הברזל למים הנמצאים ברתיחה מתמדת לפני מדידת הטמפרטורה של המים?

4. בתחילת הניסוי: טמפרטורת הברזל _____ וטמפרטורת המים שבמיכל הפנימי _____

5. בסוף הניסוי: טמפרטורת הברזל _____ וטמפרטורת המים שבמיכל הפנימי _____

6. מה חולל את השינוי בטמפרטורות של הגופים?

7. האנרגיה התרמית שאיבד גליל הברזל _____ לאנרגיה התרמית שקיבלו המים במיכל הפנימי.

8. הסבירו ממצא זה: _____

חלק שלישי – דיון מסכם: שימור של אנרגיית החום

השוו את תוצאות הניסוי שלכם עם אלו של חברים בקבוצות אחרות ו**דונו** בכיתה במסקנות הניסוי.

סכמו את מסקנותיכם תוך שימוש במושגים: אנרגיית חום, שיווי משקל תרמי, טמפרטורה, מערכת סגורה, מערכת פתוחה, בידוד תרמי

פעילות מספר 3 - עקרון שימור האנרגיה, השקילות בין עבודה וחום

המטרה: הבנת ההרחבה של עקרון שימור האנרגיה (מאנרגיה מכאנית לכלל צורות האנרגיה).
 מושגים: עבודה, שימור אנרגיה, המרות אנרגיה.
 קטע המאמר הרלוונטי: פסקות 4-5.
 השיטה: התנסות - חקירה של מטוטלת עם חיכוך באמצעות סימולציה.

"... עקרונות שימור האנרגיה המכאנית והאנרגיה התרמית התמזגו לעקרון שימור אחד. לאחר מכן הפיסיקאים שוכנעו שעקרון השימור הני"ל ניתן להכללה גם לתהליכים כימיים ואלקטרומגנטיים – ולמעשה ניתן לשימוש בכל תחום. הסתבר שהסכום של כל האנרגיות במערכת פיסיקאלית נשאר קבוע בכל שינוי אפשרי אותו עוברת המערכת."

חלק ראשון – חשיבה מקדימה: דיון במושג 'עבודה'

" כך הגיעו הפיסיקאים לעקרון השקילות בין חום ועבודה"

קראו את פסקה מספר 4 שבמאמר.

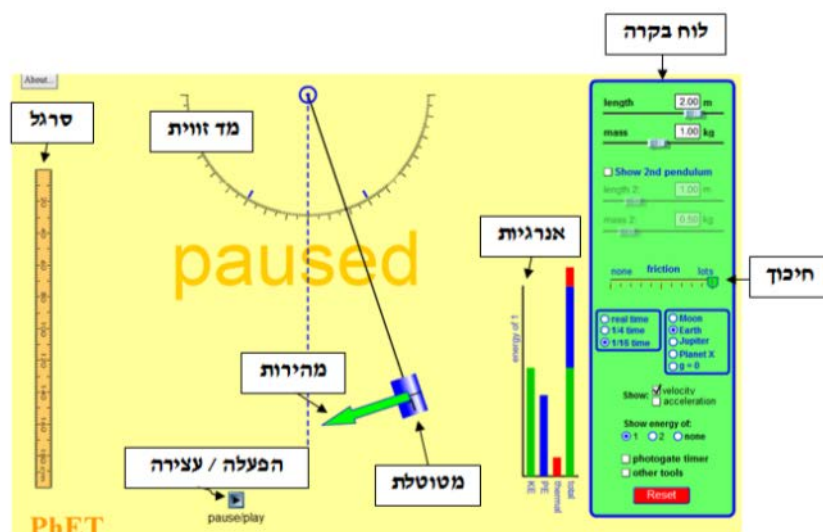
דונו בכיתה וסכמו את משמעות המושג עבודה

חלק שני – התנסות: חקירה של מאזן האנרגיה בתנועת מטוטלת עם חיכוך

"מה קורה כשיש חיכוך שעוצר את תנועת המטוטלת?"

1. הורידו ופיתחו את הסימולציה

http://phet.colorado.edu/sims/pendulum-lab/pendulum-lab_en.html
 להזכירכם, תרשים עם הסבר מפורט לכל הכפתורים הרלוונטיים בלוח הבקרה מופיע בפעילות 1, חלק שני, שלב ב' (עמוד 3).



איור 6

שלב א: תצפית מקדימה

1. תנועת מטוטלת ללא חיכוך

- א. עצרו את תנועת המטוטלת – על המסך תופיע המילה "Pause".
- ב. בחרו בלוח הבקרה בתנועה ללא חיכוך (none).
- ג. בחרו בלוח הבקרה הצגה של גרף האנרגיות של מטוטלת 1.
- ד. הסיטו את המטוטלת בזווית של 30° .
- ה. הפעילו את המטוטלת (play) והתבוננו במתרחש במשך כ- 15 שניות.

2. תנועת מטוטלת עם חיכוך

- א. עצרו את הסימולציה (pause).
- ב. אפסו את המערכת (Reset) כדי שתחזור למצבה ההתחלתי.
- ג. הגבירו את רמת החיכוך ל"הרבה" (lots) על ידי הסטה לימין של הכפתור בלוח הבקרה.
- ד. הסיטו את המטוטלת בזווית של 30° .
- ה. לחצו על התחל (play) והתבוננו במתרחש במשך כ- 10 שניות.

3. ענו:

- א. כיצד השתנתה פעולת המטוטלת כתוצאה מהוספת החיכוך? _____

- ב. לאן "נעלמה" האנרגיה המכאנית? _____

שלב ב: חקירת האנרגיות בתנועת מטוטלת עם חיכוך

1. הכנת התצוגה:

- א. עצרו את הסימולציה (pause).
- ב. אפסו את הסימולציה (Reset) על מנת שתחזור למצבה ההתחלתי.
- ג. בחרו בלוח הבקרה בהרצה בהילוך איטי ($1/16$ time).
- ד. בחרו בלוח הבקרה בהצגת המהירות (velocity).

2. חקירה:

- א. הסיטו שוב את המטוטלת בזווית של 30° .
- ב. מה מראה גרף האנרגיות? (השלימו) _____ = _____
- ג. הפעילו את הסימולציה (play) ועקבו אחר גרף האנרגיות של המטוטלת.
- ד. מה מראה העמודה האדומה בגרף האנרגיות? _____
- ה. השלימו: במהלך תנועת המטוטלת, בכל רגע ורגע:
(1) סך כל האנרגיה של המערכת = _____ + _____ + _____.

- (2) סך כל האנרגיה של המערכת _____ (קבוע/משתנה).
- (3) במהלך התנועה של המטוטלת האנרגיה ה_____ מומרת בהדרגה לאנרגיה _____ וכתוצאה מכך המטוטלת _____.
- ו. **הסבירו** כיצד בא לידי ביטוי עקרון שימור האנרגיה במטוטלת הנעה עם חיכוך:

שלב ג: חקירה מתמשכת - רשות

המשיכו לחקור את מאזן האנרגיות בתנועת מטוטלת עם חיכוך על ידי שינוי פרמטרים שונים של הסימולציה. נסו למשל לשנות את עוצמת כוח החיכוך ואת שדה הכבידה. **סכמו** את הבנתכם בעקבות חקירה זו:

בחנו את מאזן האנרגיות גם במערכת אחרת. לשם כך היכנסו לסימולציה פארק השעשועים והוסיפו לתנאי ההתחלה של הסימולציה את כוח החיכוך. **הריצו** את הסימולציה תוך שינוי פרמטרים שונים כמו עוצמת כוח החיכוך ושדה הכבידה.

http://phet.colorado.edu/sims/energy-skate-park/energy-skate-park_en.jnlp

חלק שלישי – דיון מסכם: עקרון שימור האנרגיה

"... הסתבר שהסכום של כל האנרגיות במערכת פיסיקאלית נשאר קבוע בכל שינוי אפשרי אותו עוברת המערכת."

1. **דונו** בכיתה ו**סכמו** את מסקנותיכם מההתנסות: כיצד בא לידי ביטוי עקרון שימור האנרגיה במטוטלת הנעה עם חיכוך?

2. **קראו** את פיסקה מספר 5 במאמר.

3. **דונו** בכיתה: **הביאו** מספר דוגמאות קונקרטיות להמרות אנרגיה ו**הסבירו** כיצד עקרון שימור האנרגיה בא לידי ביטוי בתהליכים אלה.

4. **התבוננו** בסרטון הבא המנסה לשחזר את אחד הניסויים שערך גיימס ג'אול בסוף המאה ה-19.

https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=PThq8fJpCLw

א. **דונו** בכיתה וציינו אילו המרות אנרגיה מתרחשות במערכת שבסרטון.

ב. **הסבירו** כיצד הראה גיימס ג'אול את 'השקילות בין חום ועבודה'?

פעילות מספר 4 - שימור מסה

- המטרה: הבנת העקרון של שימור מסה.
מושגים: שינוי פיסיקאלי, שינוי כימי.
קטע המאמר הרלוונטי: פסקה 6.
השיטה: התנסות במעבדה – מדידת מסה בתהליכי שינוי פיסיקליים וכימיים יום יומיים.

".... הבה נתבונן כעת בעקרון שימור המסה....."

חלק ראשון - קריאה

1. קראו את פסקה 6 במאמר.
דונו בכיתה בהבדל שבין שינוי פיסיקאלי לשינוי כימי. **סכמו** את מסקנות הדיון.

חלק שני – התנסות במעבדה: שימור מסה בתהליכים שונים

המטרה: התבוננות בשימור המסה בתהליכי שינוי פיסיקליים וכימיים יום יומיים.

שלב א': שינוי צורה (שינוי פיסיקאלי)

הציוד: כוס פלסטיק, גליון נייר A4, מספריים, מאזני מנוף.

1. **שימו** על כף המאזניים את הכוס ואת גליון הנייר.
2. **מדדו** את מסת הכוס עם הנייר. המסה היא: _____.
3. **קפלו** את גליון הנייר והחזירו לכוס.
4. **מדדו** את מסת הכוס עם הנייר. המסה היא: _____.
5. **גזרו** את הנייר לפיסות קטנות והחזירו את כולן לכוס.
6. **מדדו** את מסת הכוס עם גזרי הנייר. המסה היא: _____.
7. **השוו** בין המדידות והסיקו מסקנה: _____.

שלב ב': שינוי מצב צבירה - התכה (שינוי פיסיקלי)

הציוד: כוס פלסטיק, 2 קוביות קרח, מאזני מנוף.

מהלך העבודה:

1. **שימו** על כף המאזניים את הכוס כשבתוכה קוביות הקרח.
2. **מדדו** את מסת הכוס עם הקרח. המסה היא: _____.
3. **חכו** עד שהקרח כולו יותך ויהפוך למים (כדאי להמשיך להתנסויות הבאות ולחזור לסעיף זה מאוחר יותר).
4. **מדדו** את מסת הכוס עם המים (שהתקבלו מהקרח שהותך). המסה היא: _____.
5. **השוו** בין המדידות והסיקו מסקנה: _____.

שלב ג': המסה (שינוי פיסיקלי)

הציוד: כוס פלסטיק עם 100 מ"ל מים פושרים, כוס פלסטיק עם כף מלח.

1. **שימו** על כף המאזניים את הכוסות עם המים והמלח.
 2. **מדדו** יחד את מסתן של שתי הכוסות עם החומרים שבהן. המסה היא _____.
 3. **שפכו** את המלח שבכוס האחת למים שבכוס האחרת וערבבו.
 4. **מדדו** את מסת הכוס עם מי המלח יחד עם הכוס הריקה. המסה היא _____.
 5. **השוו** בין המדידות **והסיקו** מסקנה: _____.
-

שלב ד': תגובה כימית (שינוי כימי)

הציוד: מגשית אלומיניום, ארלנמייר זכוכית עם 40 מ"ל תמיסת חומץ לבישול, שתי כוסיות פלסטיק - בכל אחת 2 גר' אבקת סודה לשתייה, בלון, משפך.

ניסוי א'

1. **שימו** על כף המאזניים את מגשית האלומיניום, הארלנמייר עם החומץ וכוסית אחת עם סודה לשתייה **ומדדו** את מסתם המשותפת. המסה היא: _____.
 2. **הניחו** את המגשית על המאזניים כשבתוכה הארלנמייר עם החומץ **ושפכו** את הסודה לשתייה לתוך החומץ.
 3. **תארו** את מה שאתם רואים: _____.
 4. **החזירו** את הכוסית הריקה למגשית.
 5. **מדדו** שוב את מסת המגשית, הארלנמייר עם הנוזל שבתוכו והכוסית. המסה היא: _____.
 6. **השוו** בין המדידות **והסיקו** מסקנה: _____.
-

ניסוי ב'



איור 7

1. **שפכו** את הנוזל שבתוך הארלנמייר אל תוך הכיור, **שטפו** את הארלנמייר והמגשית היטב **ויבשו** אותם.
2. **מלאו** את הארלנמייר שוב ב 40 מ"ל תמיסת חומץ לבישול.
3. **קחו** את כוסית הפלסטיק הנוספת שבה 2 גרם אבקת סודה לשתייה.
4. בעזרת המשפך, **שפכו** את הסודה לשתייה לתוך הבלון (ראו איור 7).
5. **הלבישו** את הבלון על פיית הארלנמייר שמכיל את החומץ, כך שפיית הבלון מכסה לחלוטין את פיית הארלנמייר, **מבלי לשפוך** את הסודה לשתייה לתוך הארלנמייר או על המגשית - כל האבקה צריכה להישאר בבלון.

6. **שימו** על כף המאזניים את מגשית האלומיניום והארלנמייר המולבש בבלון עם החומרים שבתוכם ו**מדדו** את מסתם הכוללת. המסה היא: _____.

8. **מבלי** להסיר את הבלון **שפכו** את הסודה לשתייה אל תוך החומץ.

7. **תארו** את מה שאתם רואים: _____

7. **מדדו** את מסת המגשית, הארלנמייר, הבלון וכל החומרים שבתוכם במצב החדש. המסה היא: _____.

8. **השוו** בין שתי מדידות המסה שעשיתם בניסוי האחרון (ניסוי ב') **והסיקו** מסקנה: _____

9. **הסבירו** את ההבדל שבין התוצאות שהתקבלו בניסוי א' לאלו שהתקבלו בניסוי ב': _____

10. **דונו** בכיתה **והסבירו** את ההבדל שבין התוצאות שהתקבלו בניסוי א' ובניסוי ב' תוך שימוש במושגים מערכת פתוחה ומערכת סגורה.

חלק שלישי – דיון מסכם: עקרון שימור המסה

דונו בכיתה **וסכמו** באילו תהליכי שינוי ובאילו תנאים ראיתם שהמסה נשמרת: _____

פעילות מספר 5 - שימור מסה, האומנם?

המטרה: ערעור על עקרון השימור של המסה, הבנת תהליך החשיבה המדעית שהוביל להרחבת תחום-הכיסוי של עיקרון שימור האנרגיה.

מושגים: ראייה תומכת, ראייה מפריכה, תיאוריה מדעית, השערה תיאורטית, ביקוע גרעיני.

קטע המאמר הרלוונטי: פסקות 7-12.

השיטה: דיון מודרך ע"י דף עבודה ומצגת – ארגון המידע שבמאמר לחשיפה של תהליך החשיבה המדעי.

"הפיסיקאים קיבלו את העקרון הנ"ל [עקרון שימור המסה] כעקרון נכון עד לפני כמה עשרות שנים. תורת היחסות הפרטית הצביעה על כך שעקרון זה אינו מדויק. לכן, עקרון זה מוזג אל תוך עקרון שימור האנרגיה - באותו אופן שכשישנים קודם לכן עקרון שימור האנרגיה המכאנית צורף לעקרון שימור החום. נוכל לומר שעקרון שימור האנרגיה שקודם לכן בלע את עקרון שימור החום, המשיך ובלע גם את עקרון שימור המסה – ומכסה למעשה את כל תחומי הפיסיקה לבדו."

חלק ראשון – חשיבה מקדימה: סיכום עד כאן (שקף מס' 2 במצגת)

1. **קראו את פסקות 7-8.** בפעילות זו נבנה יחד במפורש את הטיעון שאיינשטיין מציג בפסקות אלה.

איינשטיין כותב במאמר איך לאורך ההיסטוריה של המדע לא פעם עלו קריאות תגר על עקרונות שנתפסו בשלב כלשהו כחוקי טבע. לכל שלושת "חוקי השימור" עליהם הוא מדבר (שימור אנרגיה מכאנית, שימור חום ושימור מסה) הוא מציג ראיות שבשלבן מדענים לאורך ההיסטוריה חשדו שמדובר בחוק טבע וראיות שבשלבן מדענים הבינו בסופו של דבר שלא כך הוא. הוא מסביר שהבעייתיות בכל אחד משלושת המקרים (שימור אנרגיה מכנית, שימור חום ושימור מסה) נפתרה באופן תיאורטי ע"י הרחבת תחום-הכיסוי של עקרון שימור האנרגיה.

2. **קראו שוב את פסקות 1-6 במאמר.**

דונו בקבוצה ובכיתה **ומלאו בטבלה** שבעמוד האחרון של פעילות זו את התאים הלבנים:

בתאים א' – ג' פרטו מהן הראיות התומכות בחוקי השימור ה"מצומצמים" (שימור אנרגיה מכאנית, שימור חום ושימור מסה).

בתאים ד' – ה' פרטו מהן הראיות המפריכות המוצגות במאמר בנוגע לשימור האנרגיה המכאנית ולשימור החום.

בתא ו' הסבירו כיצד זניחת שני עקרונות השימור ה"מצומצמים" (שימור אנרגיה מכאנית ושימור החום) והרחבת תחום הכיסוי של עקרון שימור האנרגיה פותרת את הסתירות הללו.

חלק שני - האנרגיה הכמוסה במסה (שקפים 3-7 במצגת)

1. **קראו את פסקות 7-8, דונו** בכיתה, **והתחילו למלא** את התאים האפורים שבטבלה.

בתא ז' פרטו את ההשערה התיאורטית שקוראת תגר על עקרון שימור המסה.

שימו לב שעדיין לא הוצגו בפניכם ראיות מפריכות לעקרון שימור המסה. מוצגת השערה תיאורטית שחוק שימור המסה אינו מדויק. עדיין לא הובאה בפניכם ראייה אמפירית שמאוששת את ההשערה הזו.

בתא ח' הסבירו כיצד איינשטיין מיישב באופן תיאורטי את הסתירה בין תורת היחסות הפרטית ועקרון שימור המסה.

2. **קראו את פסקות 9-10, דונו בכיתה וענו על השאלות הבאות (שקפים 4-5 במצגת):**

א. מדוע לא הבחינו באנרגיה הכמוסה במסה במשך כל כך הרבה שנים?

ב. מדוע איננו רואים שינויי מסה בעקבות שינויי אנרגיה החלים בתהליכים יום יומיים?

ג. בניסוי שעשיתם על מעבר חום (פעילות מס' 2) "בישלתם" את גליל הברזל במים רותחים במשך דקות ארוכות. גליל הברזל התחמם ולכן האנרגיה שלו גדלה. על פי עקרון השקילות בין המסה והאנרגיה גידול זה צריך לבוא לידי ביטוי בגידול במסה של הברזל. כלומר, מסת הגליל בטמפרטורת החדר צריכה להיות קטנה מזו של הגליל בטמפרטורה של 100 מעלות צלזיוס. **חיזרו לתוצאות הניסוי שלכם והראו על פי תוצאות אלה ששינוי מסה זה אינו ניתן למדידה.**

3. **קראו את פסקות 11-12 במאמר דונו בכיתה והקשיבו להסבר של המורה העוסק בתהליך הביקוע הגרעיני (שקף 6 במצגת).**

4. **הסבירו במילים שלכם באיזה אופן תהליך הביקוע הגרעיני מספק ראיה אמפירית לכך שמסה אינה גודל נשמר בטבע ושבמסה כמוסה אנרגיה.**

5. **השלימו את הטבלה שבסוף הפעילות. הוסיפו לתא ז' את הראיה האמפירית המפריכת את חוק שימור המסה.**

6. **חזרו ודונו שוב בקצרה בכיתה על הדרך שבה איינשטיין מיישב את הסתירה עם עקרון שימור המסה (תא ח' בטבלה). שימו לב שהראיה האמפירית הראשונה לכך שהמסה אינה גודל נשמר בטבע ושבמסה אנרגיה נמצאה רק כ- 30 שנה לאחר הופעת תורת היחסות הפרטית וההשערה התיאורטית הנגזרת ממנה לגבי האנרגיה הכמוסה במסה (שקף 7 במצגת).**

חלק שלישי – דיון מסכם: הרחבת תחום הכיסוי של עקרון שימור האנרגיה, תיאוריה במדע (שקף 8 במצגת)

1. איינשטיין כתב: " תיאוריה מרשימה יותר ככל שהנחות היסוד שלה פשוטות יותר, ככל שהיא מתייחסת לנושאים מגוונים יותר, וככל שהיא ניתנת ליישום בתחומים נרחבים יותר". **דונו בכיתה וסכמו כיצד ההתפתחות ההיסטורית של עקרון שימור האנרגיה המתוארת במאמר מתיישבת עם אמירה זו.**

שימור מסה	שימור חום	שימור אנרגיה מכאנית	חוקי השימור
ג.	ב.	א.	ראיות תומכות
ז. השערה תיאורטית:	ה.	ד.	ראיות מפריכות
ראיה אמפירית:			
ח.		ו.	פתרון דרך הרחבת תחום הכיסוי של עקרון שימור האנרגיה: זניחת עקרונות השימור המצומצמים, ומיזוגם לתוך עקרון שימור מקיף יותר

פעילות מספר 6 - אנרגיה גרעינית

המטרה: הבנת המהות של אנרגיה גרעינית, סדרי הגודל של האנרגיה המשתחררת בריאקציות גרעיניות בהשוואה לצורות אנרגיה אחרות, המשמעויות של המרוץ לגרעין ושל השימוש באנרגיה גרעינית.

מושגים: ביקוע גרעיני, קשר גרעיני, קשר כימי.

קטע המאמר הרלוונטי: פסקה 13.

השיטה: דיון מודרך ע"י דף עבודה ומצגת (שקפים 9-14 במצגת).

" מניעת האיום הזה הפכה לבעיה הדחופה ביותר בתקופתנו "

1. **קראו את הפסקה האחרונה במאמר** (פסקה 13).

2. הקשיבו להסבר של המורה (שקף 9 במצגת), **דונו** בכיתה **וענו** על השאלות הבאות:

א. מדוע האנרגיה המשתחררת בביקוע גרעיני גדולה כ"כ?

ב. מדוע תחנת כוח הפועלת באמצעות כור גרעיני צריכה פחות "דלק" כדי להפיק אותה

כמות אנרגיה בהשוואה לתחנת כוח ששורפת פחם?

ג. מדוע פסולת רדיואקטיבית מסוכנת? מדוע פיצוץ גרעיני יוצר הרס מתמשך שנמשך שנים

לאחר הפיצוץ?

3. **הקשיבו** להסבר של המורה על סיפור הרקע ההיסטורי של המרוץ לגרעין ועל ההשלכות

המדעיות והפוליטיות של התגלית (שקפים 12-14 במצגת).

א. **ציינו** אילו היבטים בסיפור זה עניינו אתכם באופן אישי, או נגעו לליבכם באופן מיוחד

והסבירו מדוע.

ב. בכותרת המאמר קורא אינשטיין לסוגיית הגרעין – "הבעיה הבוערת של דורנו". **בדיון**

בכיתה בררו מהי הבעיה עליה רומז אינשטיין? **הביאו** דוגמאות לבעיה זו מהמציאות

הגיאופוליטית של היום. **דונו** בעמדותיכם ביחס להיבטיו השונים של הנושא.
