

שימור תנע בהתפוצצות

א. מטרת הניסוי

חקירת שימור תנע בהתפוצצות (בדיקת קיום שימור התנע בהתפוצצות).

ב. רקע תיאורטי

התנע של גוף מוגדר כמכפלת מסת הגוף במהירותו. לכן אם מסת הגוף היא m ומהירותו \vec{v} , התנע שלו, אשר מסומן באות P , הוא:

$$(1) \quad \vec{P} = m\vec{v}$$

התנע הוא גודל ווקטורי אשר מכוון בכיוון מהירות הגוף. יחידת גודל זה במערכת היחידות SI היא kg m/s .

כאשר שני גופים 1 שמסתו m_1 ו-2 שמסתו m_2 , מתנגשים, ומתקיים ששקול הכוחות הפועלים על כל אחד מהם הוא הכוח המופעל עליו מהגוף האחר בלבד (כלומר הכוחות הפועלים על שני הגופים הם כוחות אינטראקציה בלבד), התנע של שני הגופים נשמר בתהליך ההתנגשות, כלומר מתקיים:

$$(2) \quad m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$$

כאשר \vec{v}_1 ו- \vec{v}_2 הן מהירויות שני הגופים 1 ו-2 לפני ההתנגשות, ו- \vec{u}_1 ו- \vec{u}_2 הן מהירויות שני הגופים 1 ו-2 אחרי ההתנגשות.

הגודל $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$ הוא התנע הכולל של שני הגופים לפני ההתנגשות והגודל $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2$ הוא התנע הכולל של שני הגופים אחרי ההתנגשות. לכן על פי הקשר (2) התנע נשמר בהתנגשות, ולכן קשר זה נקרא חוק שימור התנע.

כאמור חוק שימור התנע מתקיים כאשר הכוחות היחידים המשפיעים על שני הגופים במהלך ההתנגשות הם כוחות אינטראקציה (פעולה ותגובה) אשר, על פי החוק השלישי של ניוטון, שווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם.

הגדרה: מערכת שבה הכוחות הפועלים בין הגופים שבה הם כוחות אינטראקציה בלבד, נקראת מערכת סגורה.

על פי הגדרה זו, נקבל שחוק שימור התנע מתקיים כאשר המערכת סגורה.

הגדרה: התנגשות חזיתית היא ההתנגשות שבה הגופים המתנגשים נעים לפני ואחרי ההתנגשות על אותו קו ישר.

במקרה שההתנגשות חזיתית, ניתן לבחור ציר התנועה את הקו שלאורכו נעים שני הגופים. במקרה זה, ניתן לרשום את חוק שימור התנע באופן הבא (ללא כתיב ווקטורי):

$$(3) \quad m_1u_1 + m_2u_2 = m_1v_1 + m_2v_2$$

כאשר המהירויות בקשר זה הן מהירויות הגופים לאורך ציר התנועה. יש לשים לב שלמהירויות אלה יש סימנים במקרה זה. אם הגוף נע בכיוון החיובי של הציר מהירותו תהיה חיובית, ואם הוא נע בכיוון השלילי של הציר מהירותו תהיה שלילית.

אם גוף הנמצא במנוחה על משטח אופקי מתפוצץ, ונחלק לשני חלקים, התנע במקרה זה נשמר, כי הכוחות הפועלים על שני החלקים בעקבות הפיצוץ הם כוחות פעולה ותגובה. יש לציין שהפיצוץ

הוא שחרור פתאומי של אנרגיה כלשהי האגורה במערכת. מכיוון שהמערכת במקרה זה נחשבת לסגורה, התנע נשמר. לכן אם מסת החלק הראשון היא m_1 ומהירותו אחרי הפיצוץ \vec{u}_1 , ומסת החלק השני m_2 ומהירותו אחרי הפיצוץ \vec{u}_2 , נקבל על סמך משוואה (2):

$$(4) \quad m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2 = 0$$

מקשר זה נקבל:

$$(5) \quad m_1 \vec{u}_1 = -m_2 \vec{u}_2$$

מהקשר האחרון מתקבלות המסקנות הבאות במקרה שבו גוף הנמצא במנוחה על משטח אופקי מתפוצץ ונחלק לשני גופים (חלקים):

- (1) שני הגופים נעים לאחר ההתנגשות על אותו קו ישר בכיוונים מנוגדים.
- (2) התנעים של שני הגופים אחרי ההתפוצצות שווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם.

אם נבחר במקרה האחרון הקו שלאורכו נעים שני הגופים אחרי ההתפוצצות כציר התנועה, ניתן לרשום את המשוואה (5) באופן הבא:

$$(6) \quad m_1 u_1 = -m_2 u_2$$

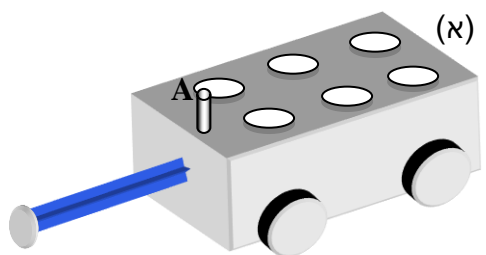
בניסוי זה נבדוק את קיומה של משוואה זו.

ג. המכשור והציוד

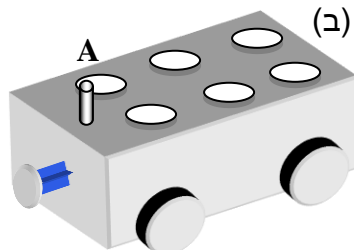
- (1) מסילת פאסקו או מסילת אוויר עם מחסומים הנמצאים בשני הקצוות שלה כפי שמתואר באיור 1. לאורך מסילה זו מוצמד סרגל המאפשר מדידת מרחקים.



איור 1



איור 2



- (2) שתי עגלות עם מקומות המיועדים להנחת משקולות. באחת העגלות קיים מנגנון דחף המורכב ממוט המהודק לקפיץ שניתן לכווץ אותו כפי שמתואר באיור 2א. כשהקפיץ מכווץ באמצעות המוט, הוא נתפס באמצעות תפסן מיוחד (A באיור 2). ניתן לשחרר את הקפיץ על ידי לחיצה על התפסן. הקפיץ המכווץ מהווה מקור האנרגיה בפיצוץ המתרחש בין שתי העגלות בניסוי זה.

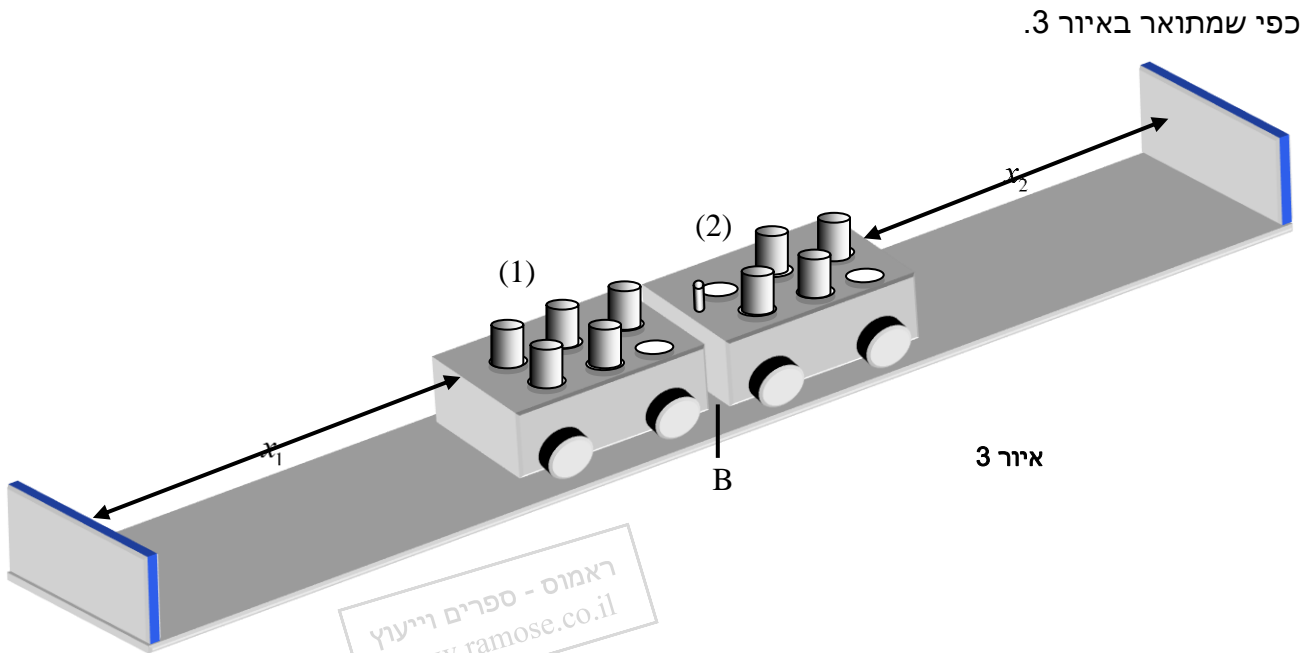
- (3) סרגל ארוך.

- (4) משקולות שהמסות שלהן ידועות, $0.1-0.3\text{kg}$ כל אחת.

- (5) מאזניים.

ד. הניסוי (בניית המערכת וביצוע המדידות)

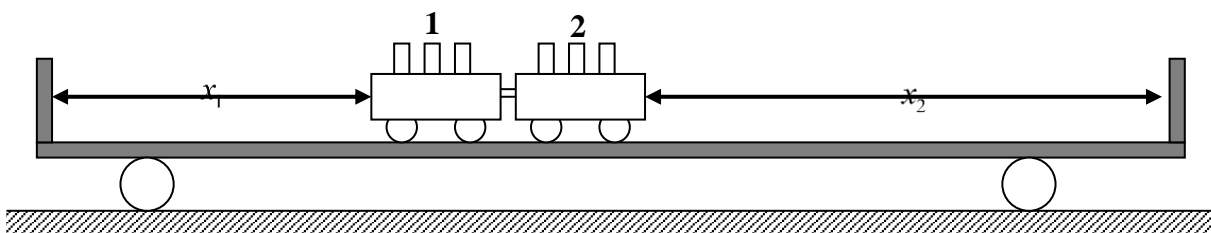
- (1) מדוד את מסת כל אחת משתי העגלות ורשום את הערכים המתקבלים.
- (2) כווץ את הקפיץ בעגלה המיועדת לכך, והנח אותה על המסילה והצמד לה את העגלה השנייה



כפי שמתואר באיור 3.

(3) שחרר את הקפיץ על ידי לחיצה על התפסן. כתוצאה מכך, האנגרגיה האגורה בקפיץ משתחררת (נוצר פיצוץ), והעגלות נהדפות בכיוונים מנוגדים עד שמתנגשות במחסומים בקצוות המסילה. בדרך כלל שתי העגלות מגיעות בזמנים שונים לקצוות המסילה. בניסוי זה יש לחפש את הנקודה B על המסילה שממנה שתי העגלות מגיעות יחד לקצוות המסילה לאחר הפיצוץ. הקביעה באם שתי העגלות מגיעות לקצוות המסילה בו זמנית או לא מסתמכת על הקולות הנשמעים בעת התנגשות העגלות במחסומים שבקצוות המסילה. אם שומעים שתי נקישות באותו זמן, נסיק מכך שהן הגיעו באותו זמן, אחרת יש לחזור על הניסוי מנקודה B אחרת, עד שמוצאים את הנקודה המקיימת את התנאי שהעגלות מגיעות ביחד לקצוות המסילה.

קיימת דרך נוספת שהיא מדוייקת יותר לקביעת מיקום הנקודה B המקיימת את התנאי שהעגלות הנהדפות ממנה מגיעות ביחד לקצוות המסילה: מניחים את המסילה על שני גלילים זהים כך שהמסילה אופקית ומאוזנת כפי שמתואר באיור 4.



איור 4

אם שתי העגלות פוגעות בו זמנית בשני קצוות המסילה, המסילה תישאר במנוחה. לעומת זאת, אם עגלה אחת פוגעת בקצה לפני העגלה האחרת, נוצרת תזוזה של המסילה בכיוון תנועת העגלה שפגעה קודם.

ברגע שמוצאים את מיקום הנקודה B שעבורה שתי העגלות פוגעות בו זמנית בקצוות המסילה, רושמים את המרחקים x_1 ו- x_2 (ראה איור 3 או 4). מרחקים אלה הם המרחקים שעוברות

העגלות 1 ו-2 מהנקודה B ועד הפגיעה בקצוות המסילה.

(4) חזור על אותה מדידה מספר פעמים כך שבכל פעם יש להוסיף משקולת לאחת העגלות (נניח עגלה 1). רשום את המסה של עגלה זו ואת הערכים המתקבלים עבור x_1 ו- x_2 (מסת העגלה

השנייה נשאר קבועה לאורך כל הניסוי).
 (5) יש לקבץ את התוצאות בטבלה הבאה:

$m_1(\text{kg})$	$m_2(\text{kg})$	$x_2(\text{m})$	$x_1(\text{m})$

ה. ניתוח ועיבוד התוצאות:

על מנת לבדוק את קיומו של חוק שימור התנע בהתפוצצות, עלינו לבדוק את קיומה של משוואה (6), כאשר u_1 ו- u_2 הן מהירויות העגלות 1 ו-2, בהתאמה, לאחר ההתפוצצות. מתקיים:

(7)
$$u_1 = \frac{x_1}{\Delta t_1}$$

(8)
$$u_2 = \frac{x_2}{\Delta t_2}$$

כאשר x_1 ו- x_2 הם המרחקים שמדדנו בניסוי, שהם המרחקים שהעגולות עוברות במקרה שהן פוגעות בו זמנית בקצוות המסלול, והזמנים Δt_1 ו- Δt_2 הם הזמנים הדרושים לעגלות לעבור את המרחקים x_1 ו- x_2 , בהתאמה. מכיוון שערכנו את הניסוי באופן שבו שתי העגלות מגיעות לקצוות המסילה באותו זמן, מתקיים $\Delta t_1 = \Delta t_2$.

נציב את u_1 ו- u_2 בקשר (6), וניעזר בקשר $\Delta t_1 = \Delta t_2$, ונקבל:

(9)
$$m_1 x_1 = -m_2 x_2$$

הסימן השלילי כאמור הוא מציין שהתנעים של העגלות מנוגדים בכיוון. מכיוון שזה ברור, מספיק להשוות את הערכים $m_1 x_1$ ו- $m_2 x_2$ על מנת לוודא קיום שימור התנע.

לכן יש להכין טבלה הכוללת את הערכים של $m_1 x_1$ ו- $m_2 x_2$ בכל המדידות. באמצעות טבלה זו יש לשרטט גרף המתאר את $m_2 x_2$ כפונקציה של $m_1 x_1$, ולוודא שהתנע נשמר (כלומר שיפוע הגרף 1).

ו. שאלות הכנה

- (1) הגדר את התנע וקבע מהי יחידת גודל זה.
- (2) מהו התנאי שצריך להתקיים על מנת שיתקיים חוק שימור התנע בהתנגשות.
- (3) האם התנע נשמר אם ההתפוצצות (או ההתנגשות) היו מתרחשים על מישור משופע? הסבר את תשובתך.
- (4) האם בהכרח אם התנע של שני גופים נשמר בהתנגשות גם האנרגיה הקינטית שלהם נשמרת? תן דוגמה.
- (5) נתון ש- $m_1 > m_2$. קבע מי גדול יותר, x_1 או x_2 . הסבר את קביעתך.