

# תנועה הרמונית פשוטה – הדגמות

מאת: מאיר מידב ומשה בן-דב  
המחלקה לפיסיקה  
אוניברסיטת תל-אביב  
וצבי גלר  
המחלקה להוראת המדעים  
מכון ויצמן למדע

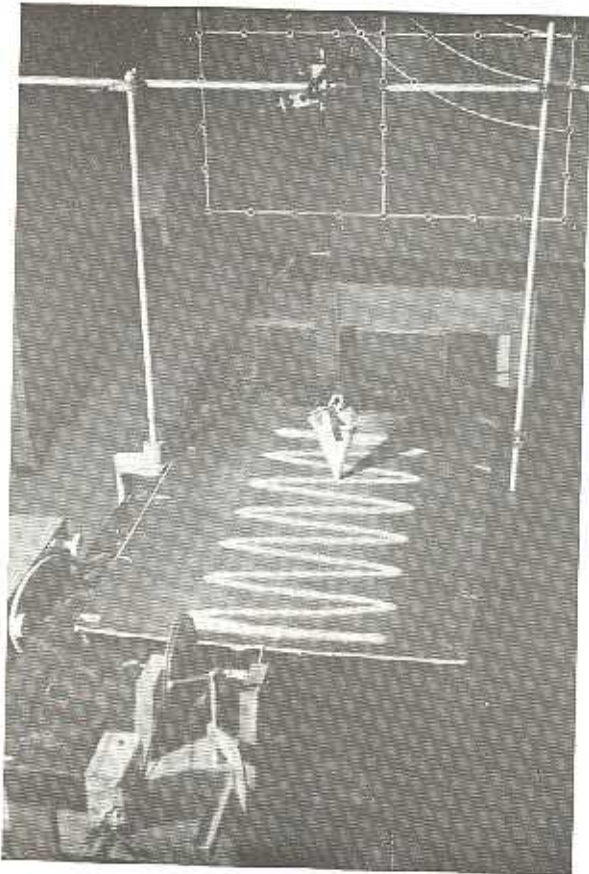
## מבוא

תנועה הרמונית "פשוטה" היא אחד הנושאים הפיזיקליים שהוראתם בבית הספר התיכון איננה קלה, הן מהבחינה התיאורטית (פיתוחים מתמטיים מסובכים יחסית) והן מבחינת ההדגמות. קשה במיוחד תאור התנועה כפונקציה של הזמן: בתנועות פשוטות, כמו תנועה קצובה או תנועה בתאוצה קבועה על קו ישר, קל להדגים ולפתח באופן מתמטי את תלות ההעתק בזמן, ועוד יותר את תלות המהירות בזמן. לא כן בתנועה ההרמונית הפשוטה, שההקשר בין ההעתק לזמן ובין המהירות לזמן מבוטא על ידי פונקציות טריגונומטריות. הדבר קשה עוד יותר עבור התנועה ההרמונית המרוסנת.

כדי להדגים תנועה הרמונית פשוטה, משתמשים בדרך כלל במשקולת המתנדנדת בקצהו של קפיץ או במסה המתנדדת כקצהו של חוט ארוך חסר מסה (מטוטלת מתמטית). בעזרת הדגמות אלה אפשר להראות בצורה ברורה ופשוטה שניים מהמאפיינים העיקריים של התנועה ההרמונית: היווה תנועה מחזורית, ואי תלות זמן המחזור של התנועה במשרעתה. יותר על כן, על ידי עריכה של מדידות מתאימות אפשר לגלות גם חלק מהקשרים המתמטיים הקיימים בין גדלים המאפיינים את התנועה: תלות זמן המחזור של תנודת המשקולת במסת המשקולת ובקבוע הקפיץ, תלות זמן המחזור של המטוטלת המתמטית באורך החוט (ואי תלות במסת המטוטלת), וכו'. אולם ניסויים אלה אינם מדגימים בצורה ישירה את התלות בזמן של ההעתק או של המהירות בתנועה ההרמונית הפשוטה. כדי להדגים תלות זו משתמשים בדרך כלל במערכות חשמליות, כמו משקולת ברזל המתנדדת בתוך סליל השראות המחובר לאוסילוסקופ, או מעגל תנודות חשמליות (L, C) המחובר לאוסילוסקופ. השימוש במערכות חשמליות וב"קופסה שחורה" (האוסילוסקופ) מקשה על התלמידים ומחייב את המורה לחרוג מהנושא הנלמד (מכניקה) ולדון בטרם עת בנושאים יותר מתקדמים (חשמל). להלן נתאר מערכת מכנית פשוטה המודימה כמישרין את אופי התלות בזמן של ההעתק ואף של המהירות בתנועה הרמונית פשוטה, עם ובלתי ריסון.

## תאור המערכת

גביע קוני מנייר קשה, או משפך פלסטי קטן, בתוכו משקולת מתאימה, משמש כמסה המתנודדת כמטוטלת מתמטית. לתוך הגביע מוכנס חול דק ונקי, ומעליו מונחת משקולת עם זו תלייה. המשקולת מוצמדת אל הגביע או המשפך בעזרת סרט של נייר דביק (ראה תרשימים 1, 2 ו-3). חוט בצורה V קשור בקצהו התחתון אל המשקולת וקצותיו העליונים קשורים למוט אופקי התלוי על מתקן תלייה שניתן להרכיבו בקלות מצידו המצוי במעבדה. בתחתית הגביע יש ליצור פתח מתאים (אם פתח המשפך גדול מדי, יש להצר אותו) כדי שקילוח החול יהיה טוב יותר.



הגביע הקוני או המשפך תלויים כמטוטלת מתמטית על מערכת תלייה הקשורה לשולחן הדגמה נקי. על השולחן מונח לוח קרטון הקשור בקצהו בחוט אל מתקן גרירה\*. כאשר מפעילים את המנוע, החוט נמתח, מחלף על המוט ומושך במהירות קבועה את לוח הקרטון. לפני הפעלה המנוע יש כמובן להניע את הגביע כדי ליצור תנועה הרמונית במשרעת מתאימה. את פתח הגביע ניתן לסתום באצבע עד לתחילת התנועה.

תרשים מספר 1 מתאר את הצורה המתקבלת משפיקה החול על לוח הקרטון.

תרשים 1 - מערכת לתאור תנועה הרמונית פשוטה

\*המנוע מן המערכת "מנוע מרים משא" (0270). ראה ניסויים לבית הספר התיכון, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.

תנועה הרמונית מרוסנת מתקבלת כאשר קושרים חוט בין מוטות התלייה, אשר המטוטלת המתנוודדת מהחככו בו. ניתן לקבוע את מידת הריסון על-ידי שינוי במתיחות החוט המרסן.



תרשים 2 - מערכת לתאור תנועה הרמונית מרוסנת

תרשים מספר 2 מתאר את המתקן לקבלת תנועה הרמונית מרוסנת וכן את הצורה המתקבלת משפיכת החול.

על ידי שינויים קלים במערכת אפשר להדגים גם ניסויים לקבלת צורות ליסז'ו (Lissajous) בתנודות מכניות. את הגביע עם המשקולת והחול תולים על חוט ישר הקשור לחוט שני שצורתו V (ראה תרשים 3). כמוכן שבניסוי זה לא גוררים את לוח הקרטון. כדי לקבל צורות ליסז'ו ברורות, צויכים להסיט את הגביע בזווית מתאימה באופן שהמטוטלה תבצע בו זמנית שתי תנודות מאונכות זו לזו.

### ת ו צ א 1 ת:

#### 1. ניסוי מספר 1 - הפעלת המערכת ללא ריסון:

מקבלים, כפי שניתן לראות בתרשים מספר 1, תלות סינוסואידלית ברורה של ההעתק כפונקציה של הזמן. יתרה מזאת, ניתן לראות שבקצות התנועה, צפיפות החול רבה יותר מאשר במרכזה. הסכר: המטוטלת נעצרת בקצות ומחירוה הולכת וגדלה ומגיעה לשיא במרכז התנועה.

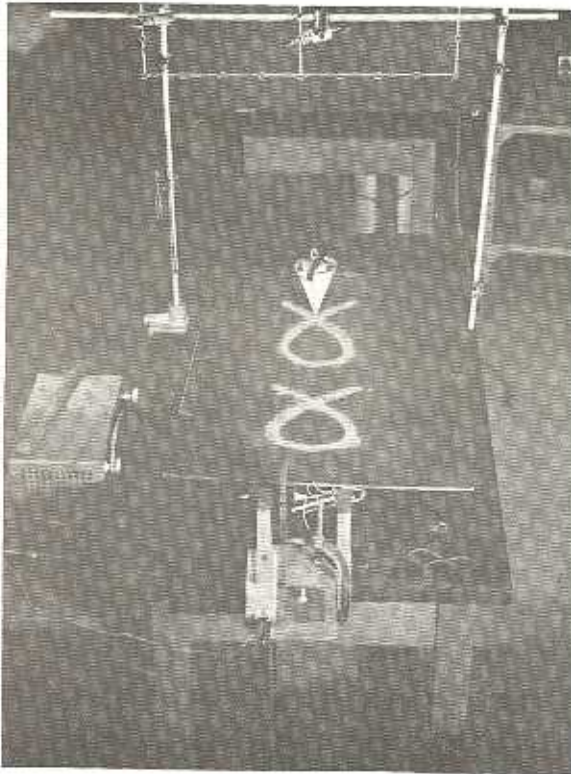
#### ניסוי מספר 2 - הפעלת המערכת בריסון:

ניתן לראות יפה הן את הקביעות של זמן המחזור והן את הדעיכה של התנודות.



ניסוי מספר 3 - צורות ליסז'ו:

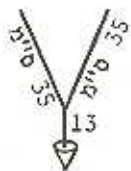
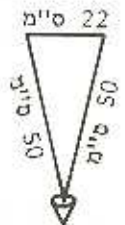
הצורות המתוארות בתרשים 3 מוקבלות כאשר יחס זמני המחזור של שתי התנועות הניצבות הוא 2:1. ניתן כמובן לקבל צורות אחרות על-ידי שינוי יחס זמני המחזור הנוכח משינויים באורכי החוטים של המוטלת.



תרשים 3 - מערכת לתאור צורות ליסז'ו

להלן המידות והפרטים של חלקי המערכת בהם השתמשנו בניסוינו:

1. גביע נליר - בדומה לזה המשמש לביצוע הניסוי "חוק השטחים" במערכת PSSC.
2. משקולת של 1/2 ק"ג (משקולת רגילה עם וו תלייה, או משקולת מהמערכת "שינויים באנרגיה פוטנציאלית" של PSSC).
3. מנוע: MABUCHI MOTOR, PM-650, JAPAN.
4. לוח קרטון כריסטול שחור במידות 80x50 ס"מ.
5. מתקן תלייה במידות: גובה 65 ס"מ, רוחב 60 ס"מ, מורכב ממוטות ומצמדים המשמשים ככני מעבדה בכימיה.
6. מידות חוט המוטלת:



7. מידות המוטלת לקבלת צורות ליסז'ו: