

הצעות ורעיונות

הסבר חוק שימור התנע ע"י יישום חוק שימור האנרגיה במערכות ייחוס שונות

מנה פ"ס, פ"ס אורט רמות ירושלים, פ"ס צופית כפר-סנז

ביטוי זה זהה לביטוי המתקבל ע"י שימוש בחוק שימור התנע במערכת נחה.

$$(5) \quad v = \frac{Mu}{M+m} \quad \text{וכמוכן:}$$

ב. התפוצצות

שני גופים שמסתם m ו M לחוצים על קפיץ על שולחן אופקי ללא חיכוך. נניח שבזמן שהגופים הם במנוחה, אנרגיית הקפיץ E . לאחר שמשחררים את הקפיץ, M נע במהירות u ימינה ו m נע במהירות v שמאלה.

מבט של צופה נח:

$$\frac{1}{2} Mu^2 \quad \text{אנרגיה קינטית } M \text{ לאחר התפוצצות:}$$

$$\frac{1}{2} Mv^2 \quad \text{אנרגיה קינטית של } m \text{ לאחר התפוצצות:}$$

לפי חוק שימור האנרגיה:

$$(6) \quad \frac{1}{2} Mu^2 + \frac{1}{2} mv^2 = E$$

מבט של צופה הנע במהירות v שמאלה ומקביל לשולחן:

$$\frac{1}{2} (M+m)v^2 \quad \text{אנרגיה קינטית לפני התפוצצות של } m \text{ ו } M:$$

(זאת בהנחה של קפיץ בעל מסה זניחה)

$$\frac{1}{2} M(u+v)^2 \quad \text{אנרגיה הקינטית של } M \text{ לאחר התפוצצות:}$$

האנרגיה הקינטית של m לאחר התפוצצות היא 0.

$$(7) \quad E + \frac{1}{2} (M+m)v^2 = \frac{1}{2} M(u+v)^2 \quad \text{לכן}$$

אם משווים את E מ (6) ו (7) מקבלים:

$$(8) \quad mv^2 = uvM$$

$$(9) \quad mv = Mu \quad \text{ואם } v \neq 0$$

וזהו חוק שימור התנע.

ג. התנגשות אלסטית

גוף שמסתו M נע במהירות v שמאלה ומתנגש אלסטית עם גוף נח שמסתו m . לאחר ההתנגשות מהירות הגוף M היא u_1

הקדמה

ההסבר הנפוץ לחוק שימור התנע הוא יישום החוק השלישי והחוק השני של ניוטון למערכת סגורה. מאמר זה מציג מבט שונה, המראה שיישום חוק שימור האנרגיה בשתי מערכות ייחוס גלילאיות, מתאים לתוצאות לפי יישום חוק שימור התנע במערכת ייחוס בודדת.

נדון בשלושה מקרים ידועים למערכות סגורות: (א) התנגשות פלסטית (ב) "התפוצצות" (ג) התנגשות אלסטית.

א. התנגשות פלסטית

מסה M נעה במהירות u בקו ישר שמאלה לקראת גוף בעל מסה m הנמצא במנוחה. נניח שהמהירות המשותפת של הגופים היא v לאחר ההתנגשות הפלסטית.

מנקודת מבט של צופה נח:

$$\frac{1}{2} Mu^2 \quad \text{אנרגיה קינטית לפני ההתנגשות:}$$

$$\frac{1}{2} (M+m)v^2 \quad \text{אנרגיה קינטית אחרי ההתנגשות:}$$

לכן אנרגיית החום שמתפתחת עקב ההתנגשות:

$$(1) \quad \Delta E = \frac{1}{2} Mu^2 - \frac{1}{2} (M+m)v^2$$

(נזניח את אנרגיית הקול)

מנקודת מבט של צופה הנע במהירות v שמאלה בקו ישר המקביל לתנועה המשותפת:

$$\frac{1}{2} M(u-v)^2 + \frac{1}{2} mv^2 \quad \text{אנרגיה קינטית לפני ההתנגשות:}$$

האנרגיה הקינטית אחרי ההתנגשות היא 0.

$$(2) \quad \frac{1}{2} M(u-v)^2 + \frac{1}{2} mv^2 = \Delta E \quad \text{לכן:}$$

מאחר והחום הנוצר (ΔE) בשני המקרים זהה, הביטוי (1) שווה לביטוי (2) ובסוף מקבלים:

$$(3) \quad Mv^2 + mv^2 = Muv$$

ואם $v \neq 0$

$$(4) \quad Mv + mv = Mu$$

ולכן:

$$u_1 = \frac{(M - m)v}{M + m} \quad u_2 = \frac{2Mv}{M + m}$$

מסקנה

ידוע שחוקי השימור מקורם בסימטריה של חלל-זמן אך ברמה של פיזיקה בתיכון דבר זה אינו בא לביטוי. (אם להסתמך על ספרי הפיזיקה ברמה זו). במאמר זה ניתן לראות כיצד חוק שימור התנע נובע מחוק שימור האנרגיה אם מסתמכים על הסימטריה של הצופים במערכות גליליאיות. אפשר כמובן להתחיל עם חוק שימור התנע ולהראות שחוק שימור האנרגיה תקף במערכות גלילאיות שונות אך תפיסת חוק שימור האנרגיה אצל רוב התלמידים לא מהווה בעיה, דבר שאי אפשר לומר על חוק שימור התנע.

מאמר זה הוא פיתוח של עבודה שנעשתה לקורס מכניקה ע"י המחלקה להוראת המדעים של מכון ויצמן ביוני-יולי '93, תודתי לכל הצוות על ההשראה לעבודה. כמו כן תודתי לאלכס רזניק ואיתמר פוטובסקי מאוני העברית על שיחות מעניינות בנושא.

שמאלה ומהירות הגוף היא $u_2 m$ גם כן שמאלה (זאת הנחה בינתיים).

מנקודת מבט של צופה נת, לפי חוק שימור האנרגיה (זאת התנגשות אלסטית בהגדרה):

$$(10) \quad Mv^2 = Mu_1^2 + mu_2^2$$

ממבט של צופה הנע במהירות v שמאלה:

$$(11) \quad mv^2 = M(u_1 - v)^2 + m(u_2 - v)^2$$

$$mv^2 = Mu_1^2 + Mv^2 - 2Mu_1v + mv^2 + mu_2^2 - 2mu_2v$$

לפי (10) ולאחר העברת mv^2 לאגף השמאלי:

$$0 = Mv^2 - v(Mu_1 + mu_2)$$

אם $v \neq 0$ נקבל:

$$(12) \quad Mv = Mu_1 + mu_2$$

וזהו שוב חוק שימור התנע.

ממשוואות (12) ו (10) מקבלים את המשוואה:

$$(13) \quad v = -(u_1 - u_2)$$