

פיזיקה של גלים

פרק 7 - גלים אורכיים-גלי קול

תוכן העניינים

- | | |
|---|-----------------|
| 1 | גלי קול בציינור |
| 8 | אפקט דופלר |

גלי קול ב津ור

רקע

גלי אורכי - תנועת המולקולות היא בכיוון ההתקדמות של הגל

(x, t) ψ - פונקציית ההעתק של מולקולות הגז משינוי משקל. x מצין את מיקום המולקולות בשינוי משקל ולא את המיקום שלהם כתלות בזמן.

(x, t) ψ_p - פונקציית הלחץ העודף access pressure

(x, t) $\Delta\rho$ - פונקציית השינוי בצפיפות

כאשר פונקציית ההעתק בנקודת צומת פונקציית הצפיפות/ לחץ בנקודת טבור ולהפוך

הקשר בין פונקציית הרהעתק לפונקציית הלחץ :

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = -\frac{1}{\gamma P_0} \psi_p$$

P_0 - הלחץ בשינוי משקל

γ - קבוע הקשור לסוג הגז מתוך משוואת הגז בתהlixir אדיאבטי

מקדם האלסטיות של הגז $B_a = \gamma P_0$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{\rho_0}{\gamma P_0} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$$

משוואת הגלים

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P_0}{\rho_0}}$$

מהירות הגלים - מהירות הקול
(לפעמים גם כתובה באות c)

באוויר בתנאים סטנדרטיים :

$$v \approx 340 \text{ m/s}$$

אותה המשוואה מתקיימת גם עבור ψ ו- $\Delta\rho$

$$\Delta\rho = -\rho_0 \frac{\partial\psi}{\partial x}$$

הקשר בין הצפיפות
לפונקציית ההעתק

עכבה של גל קול מישורי ליחידה שטח

$$\frac{Z}{A} = \rho_0 v$$

v - צפיפות המסה בשיווי משקל

A - שטח החתך של הצינור

ρ - מהירות הקול בחומר

אנרגייה הכוללת ליחידה אורך

$$\varepsilon(x, t) = \frac{1}{2} A \rho_0 \left[\left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right)^2 + v^2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right)^2 \right] = A \rho_0 \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right)^2$$

השווינו האחרון נכון רק עבור גלים נעים

אנרגייה ממוצעת בזמן

$$\bar{U}_{dx} = \bar{E}_{k_{dx}} = \frac{1}{4} \rho_0 A \omega^2 \psi_{max}^2$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{2} \rho_0 A \omega^2 \psi_{max}^2$$

ψ - האמפליטודה של פונקציית ההעתק - קבוע

ω - התדריות הזוויתית

הספק של גל קול - כמה אנרגיה עוברת דרך שטח חתך ביחידת זמן

$$P(x, t) = \pm v \epsilon(x, t)$$

הספק של גל נע

כאשר הפלוס/מינוס הם עבור גל שנע בכיוון החיובי/שלילי בהתאם
(לא לבלבל עם P של לחץ)

עוצמה של הגל - ההספק ליחידת שטח

$$I(x, t) = \frac{|P(x, t)|}{A} = v \rho_0 \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right)^2$$

$$\bar{I} = \frac{1}{2} v \rho_0 \omega^2 \psi_{max}^2$$

מדידת עוצמה בסולם לוגריתמי

$$I_a = I_0 \cdot 10^a$$

a - היא העוצמה ב B (בל

$$I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$$

(זה דציבר) $1B = 10 dB$

עוצמה בגל כדורי

$$I(r) = \frac{P}{4\pi r^2}$$

P – ההספק הכולל של הגל (אינו תלוי במרחב)

שאלות

(1) שעון מעורר בחלל

אסטרונאוט הנמצא במעבורת חלל יצא מהמעבורות לבצע תיקון חיצוני. האסטרונאוטלקח אליו שעון מעורר וכיוון אותו לצלצל בשעה שבע עבר, כך שיספיק לחזור לארכחת הערב בתוך המעבורת. האסטרונאוט הניח את השעון לידיו בזמן שהוא מבצע את התיקון.

האם האסטרונאוט ישמע את השעון מצלצל?
רמז: בחלל אין אויר.

(2) דוגמה - מצאו פונקציית גל מתוניות על צפיפות

gal קול הרמוני נע בכיוון החיבוי. האמפליטודה של השינוי בצפיפות האוויר של הגל היא $A_{\Delta\rho} = 24 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$. התדרות של הגל היא 500 Hz .

נתון גם כי $0 = \rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$, $\Delta\rho(0,0) = 340 \text{ m/s}$.

מצאו מהי ההסתה משיווי משקל של מולקולות האוויר הנמצאות ב- $x = 15 \text{ cm}$, בזמן $t = 0$.

(3) תרג'il - כמה אנרגיה עברה בשעה

העוצמה של gal קול מיישורי היא $I = 1.4 \mu \text{W/cm}^2$.

חייבן בעל שטח חתך $A = 3.6 \text{ cm}^2$ קולט את הגל.

כמה אנרגיה קיבל החישון כל שעה?

(4) תרג'il - פי כמה גדלה העוצמה עברו שינוי של דציביל אחד

ראינו כי גידול של העוצמה ב-10 הוא גידול של פי 10 ביחידות של W/m^2 .

חשבו פי כמה גדלה העוצמה ביחידות של W/m^2 עבר גידול של 1dB.

(5) תרג'il - חישוב הפרעה בלחץ מעוצמת ממוצעת

נתון gal קול מיישורי בתדרות 12 kHz . העוצמה המומוצעת בזמן של הגל היא $\bar{I} = 2.5 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$.

הgel מתמקד בתווך בעל: $P_0 = 0.7 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$, $\gamma = 1.48$, $v = 340 \text{ m/sec}$

מצאו ביטוי לשינויים בלחץ כתלות במקומות ובזמן, אם ידוע שהgel הוא gal סינוס.

6) דוגמה - חישוב ירידה של העוצמה

מקור מייצר גל קולCDC. חישון בעל שטח חתך של $0.2m^2$ ממוקם במרחק $r_1 = 0.8m$ מהמקור ומודד הספק שלו $P = 3mW$.

א. מהי העוצמה של הגל במרחק r_1 ?

ב. מהו ההספק של המקור?

ג. מה העוצמה של הגל במרחק $r_2 = 1.2m$?

ד. מה ההספק שימודד החישון במרחק r_2 ?

7) תרגיל - חליל בצליל לה

מה צריך להיות אורךו של חליל, על מנת שהתנודה הבסיסית שלו תהיה הצליל לה - כלומר תדר $440Hz$? הניחו שמהירות הקול היא $340m/s$ ושניתן להתייחס לחליל כצינור פתוח בשני קצוותיו.

8) תרגיל - כמה תדריות נמצאות בתחום השמיעה

צינור באורך של $1m$ מרעיש כאשר הרוח נשבת. מהירות הקול היא $340m/s$

א. אם הצינור פתוח בשני קצוותיו, כמה מתוך ההרמוניות שלו נמצאות בתחום השמיעה? ($20Hz - 20kHz$)

ב. ציירו את החלק המרחבי של ψ עבור שלושת ההרמוניות הראשונות, במקרה שבו הצינור פתוח רק מצד אחד.

9) תרגיל - רזולוציית מדידה של עטלף

טלפים משתמשים בגלוי קול בשביב למפות את המרחב (בדומה ל"סונר"). נניח כי עטלף שולח גלי קול אל חוץ מסוים ומודד את מיקומו ביחס אליו על ידי מדידת הזמן שלוקח גלי הקול לחזור אליו מהחוץ.

א. בהנחה שהעטלף והחוץ עומדים במקומות, מה צריכה להיות רזולוציית המדידה של העטלף? כלומר, מהו הזמן הכי קצר שהוא צריך למדוד, על מנת לזהות חוץ הנמצא במרחק $40cm$ ממנה?

ב. בהנחה שגודל החוץściי קטן שהעטלף מסוגל לזהות הוא בסדר גודל של אורך הגל שהעטלף מייצר, מה יהיה התדר אותו צריך העטלף לייצר על מנת לזהות חוץ בגודל של $1cm$? הניחו כי מהירות הקול היא $340m/s$.



10) תרגיל - ערכי RMS

ערך RMS של פונקציה מחזורית בזמן בעלת זמן מחזור T מוגדר כך:

$$f_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt} = \sqrt{\langle f^2 \rangle}$$

ההפרעה בלחץ בgel קול מישורי נתונה ביחידות פסקל לפי:

$$\psi_p(x, t) = 6 \cdot 10^{-6} \cos(kx - \omega t)$$

נתון גם:

$$P_0 = 0.8 \cdot 10^4 N/m^2, \gamma = 1.4, v = 340m/sec, \omega = 7000 rad/sec$$

א. מהו אורך הגל?

ב. מהו ערך RMS של התנודות בלחץ?

ג. מהו ערך RMS של המהירות החומרית בgel?

ד. מהו הערך הממוצע בזמן של צפיפות האנרגיה הנפחית $\frac{E}{V}$?

ה. מהו ההספק הממוצע בזמן הנקלט בגלאי בעל שטח של $0.15m^2$, המאונך
לכיוון התקדמות הגל?

11) תרגיל - גל קול כזרוי וערכים RMS

מקור מייצר גל קול כזרוי הרמוני בתדר $500Hz$. ערך RMS של הלחץ

$$\text{במרחק } r_1 = 30cm, \text{ הוא } 4 N/m^2.$$

$$\text{נתון גם: } P_0 = 10^5 N/m^2, \gamma = 1.5, v = 330m/sec.$$

א. מהו ערך RMS של הלחץ במרחק $r_2 = 15m$?

ב. מהו ערך RMS של פונקציית ההעתק באותו המיקום?

ג. מהו הערך הממוצע בזמן של צפיפות האנרגיה הנפחית $\frac{E}{V}$ באותו
מקום?

תשובות סופיות**1) לא**

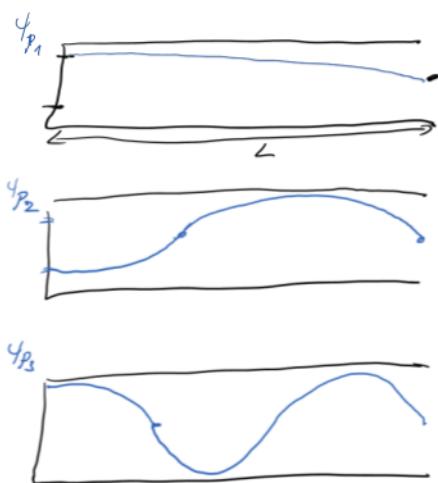
0.30mm **2)**

18144J **3)**

1.26 **4)**

$\psi(x,t) = 0.123 \sin(222x - 75.4 \cdot 10^3 t)$ **5)**

1.33 mW .**7)** $6.67 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.**2)** 0.121W .**6)** $15 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.**8)**



34 kHz .**9)** 2.35 ms .**10)**

0.31m .**11)**

$4.24 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}$.**2)**

$1.29 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}}{\text{s}}$.**3)**

$1.6 \cdot 10^{-15} \frac{\text{s}}{\text{m}^2}$.**7)**

$8.18 \cdot 10^{-14} \text{ W}$.**11)**

$4.3 \cdot 10^{-8} \frac{\text{s}}{\text{m}}$.**2)**

5.6 · 10⁻⁸ m .**6)** $0.08 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.**11)**

אפקט דופלר

רקע

עבור מקור נע וצופה נייח :

$$f' = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$$

- f' - התדר המוסט.
- v_s - מהירות המקור, חיובית עם כיוון התקדמות הגל.
- f_s - תדירות המקור (התדירות שהצופה היה קולט אם המקור לא היה זז).
- v - מהירות הגל.

עבור מקור וצופה נעים :

$$f_0 = f_s \frac{v + v_0}{v - v_s}$$

- f_0 - התדר המוסט (התדר שקולט צופה שען).
- v_0 - מהירות הצופה, חיובית נגד כיוון התקדמות הגל.

גלי הלים :

$$\sin \theta = \frac{v}{v_s}$$

θ - חצי מזווית הראש של קונוס גל הלים.

שאלות

1) מציאת מהירות של גוף בתנועה הרמוניית

גוף קטן בעל מסה m נע בתנועה הרמוניית. הגוף משדר גל קול באופן רציף. מודדים את התדירות המינימלית והמקסימלית של גלי הקול הנקלטים מהגוף. חשבו את האנרגיה הקינטית של הגוף באמצעות התדרויות. הניחו שהבעה חד מימדית.

2) מקור נع בתאוצה*

מקור נע ב מהירות v_s לכיוון צופה נីיח הנמצא למרחק L ופולט גלי קול בתדרות f_s (תדרות המקור). המקור מתחילה להאיץ בתאוצה קבועה a . מהי התדרות אותה ימודד הצופה כתלות בזמן? ניתן להניח כי: $v_s \ll T$ וכי הצופה תמיד רחוק מהמקור. שימו לב כי לגל לוקח זמן להגיע לצופה.

3) נמלה מטיפילת על מיתר

במיתר אינסופי קיימת הפרעה מהצורה: $\psi(x,t) = A \cos(kx - \omega t)$

$$\text{כאשר אורך הגל ומחריות הגל הן: } v = \frac{7\text{m}}{\text{sec}}, \lambda = 0.4\text{m}$$

נמלה מטיפילת על המיתר ב מהירות $\frac{m}{sec} 0.2$ בכיוון הפוך לכיוון התקדמות הגל.

כמה פעמים עולה ויורדת הנמלה כל שנייה?

4) מדידת מהירות של צוללת

צוללת נעה ב מהירות: $v_1 = \frac{19\text{m}}{\text{sec}}$ מזזה צוללת נוספת הנעה לכיוונה.

בצוללת יש סונר המיזכר גלי קול בתדר קבוע: $f = 1000\text{Hz}$.

גלי הקול פוגעים בצוללת השנייה וחוזרים לסונר. התדר של הגל

המוחזר שמודד הסונר הוא: $f' = 1060\text{Hz}$.

ידעו ש מהירות הגלים במים היא: $v = 1519 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$.

חשבו את מהירות הצוללת השנייה (ביחס לקרקע).



5) פעימות של גל המוחזר מפגיעה בקיר

אדם העומד הרחק מקיר מחזיק מקור שפולט צלילים בתדרות 280Hz.

האדם מתחילה לנוע בכיוון הקיר, עם המקור בידו, במהירות $3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$.

הנicho שמהירות הקול היא: $330 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$.

- מה תדרות הצליל אותה היה שומע מאוזן הנמצא ליד הקיר במנוחה?
- אילו האדם שנע לאוזין יכול להאזין רק לגל המוחזר מהקיר,
מה תדרות הצליל שהוא היה שומע?
- נניח שעוצמת הגל המוחזר מהקיר זהה לו של הגל הפוגע.
מה התדר ששומע האדם שנע ומהי תדרות הפעימות של גל זה?

תשובות סופיות

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \left(\frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_{\max} + f_{\min}} \right)^2 \quad (1)$$

$$f_s = \frac{1}{v_s + a \left(t - \frac{L}{v} \right)} \quad (2)$$

18 (3)

$$34.8 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (4)$$

(5) א. 283Hz ב. 285Hz

ג. תדרות הגל היא: 283Hz ותדרות הפעימות היא: 2.6Hz.