

12. Hullámmozgás

Alapfeladatok

Hullámhossz, frekvencia, haladási sebesség

1.

Végtelen hosszú rugalmas pontsoron transzverzális hullám halad 20 m/s sebességgel. Az azonos fázisban rezgő pontok legkisebb távolsága 2 m, a rezgési amplitúdó 10 cm.

- a) Mekkora a frekvencia?
- b) Mekkora a rezgő tömegpontok legnagyobb sebessége?
- c) Mekkora fáziseltolódással rezegnek azok a pontok, amelyek távolsága 0,5 m?

2.

Egy F erővel kifeszített, A keresztmetszetű, ρ sűrűségű gumikötélre ráütve a kötélen hullám fut végig c sebességgel. A mértékegységek elemzésével dönts el, hogy az alábbi összefüggések közül melyik adhatja meg helyesen a hullám terjedési sebességét?

$$A) \quad c = \sqrt{\frac{F}{A\rho^2}} \qquad B) \quad c = \sqrt{\frac{F}{A\rho}} \qquad C) \quad c = \frac{F}{A\rho}$$

Terjedési tulajdonságok

3.

Egy hosszú vízszintesen kifeszített gumikötél végét fel-le rezgetjük, ezért a kötélen hullám halad. Válasszuk ki az igaz és hamis állításokat!

- A kötélen longitudinális hullám halad.
- A kötélpontjai csak fel-le mozognak.
- A kötélen vannak olyan pontok, amelyek egyformán (azonos fázisban) rezegnek.
- A kötélnak vannak olyan pontjai, amelyek nem rezegnek. Ezek a csomópontok.

4.

Hullám érkezik egy hullámtanilag ritkább közegből egy hullámtanilag sűrűbb közeg határfelületére a beesési merőlegessel pld 60°-os szöget bezáró irányból. Válasszuk ki az igaz és hamis állításokat!

- Az új közegbe belépő hullám törési szöge kisebb, mint 60°.
- Az új közegbe belépő hullám sebessége lecsökken.
- Az új közegbe belépő hullám hullámhossza lecsökken.
- Az új közegbe belépő hullám frekvenciája növekszik.

5.

Egy haladó hullám új közegbe hatol be, ahol hullámhossza 10 %-kal lecsökken. Hány százalékkal változik a frekvenciája?

- A) Nem változik. B) 10 %-kal növekszik. C) 10 %-kal csökken.

6.

Egy haladó hullám új közegbe hatol be, ahol sebessége 21 %-kal megnövekszik. Hány százalékkal változik hullámhossza?

- A) Nem változik. B) 11 %-kal növekszik. C) 21 %-kal növekszik.

Interferencia

7.

Vízben elhelyezett 1 cm széles réshez 10 cm/s sebességű, 2 Hz frekvenciájú víz hullámok érkeznek. Mi igaz, és mi nem a rés mögötti hullámtérben?

- Nem tapasztalunk számottevő elhajlást.
- A hullámnyaláb kiszélesedik, és a hullám részlegesen behatol az árnyéktérbe.
- A rés pontszerű hullámcentrumként viselkedik.

8.

Két azonos fázisban 5 Hz frekvenciával rezgő pontszerű hullámforrásból hullámok indulnak. A terjedési sebesség 2 m/s. Tekintsük a hullámtér azon pontját, ami az egyik hullámcentrumtól 40 cm távolságra, a másik hullámcentrumtól 60 cm távolságra van. Mit tapasztalunk a tekintett pontban, ha a két hullám itt találkozik?

- A) Maximális erősítést.
- B) Maximális gyengítést.
- C) Itt nincs maximális erősítés vagy maximális gyengítés.

Állóhullámok

9.

Egy 40 cm hosszú húron a hullámok haladási sebessége 1600 m/s. Mennyi a húr alaphfrekvenciája, első és második felharmonikusának frekvenciája?

10.

Egy húron a transzverzális hullámok sebessége 360 m/s, a húr alaphfrekvenciája 200 Hz.

- Határozd meg a húr hosszúságát!
- Mekkora lesz az alaphfrekvencia, ha a húrt 10 cm-rel rövidebbre fogjuk?

Haladó szintű feladatok

Hullámhossz, frekvencia, haladási sebesség

11.

Egy vízszintesen kifeszített gumikötélen harmonikus transzverzális hullám halad $c = 4$ m/s sebességgel. A hullámhossz $\lambda = 0,5$ m, a kötélpontjainak maximális kitérése a kötéltre merőleges irányban $A = 0,1$ m. Határozzuk meg a kötélpontjai sebességének nagyságát, amelyeknek kitérése:

- a) $y_1 = A$,
- b) $y_2 = 0$,
- c) $y_3 = A/2$!

Terjedési tulajdonságok

12.

Keskeny 3500 Hz frekvenciájú hullámmal érkezik egy gumitömbben a vele érintkező acéltömb határfelületéhez 10° -os beesési szöggel. A terjedési sebesség gumiban 1570 m/s, acélban 5000 m/s.

- Mekkora az acélba lépő hullám törési szöge?
- Mekkora a hullámhossz gumiban, ill. acélban?

13.

1 MHz-es ultrahang-hullám sebessége levegőben 340 m/s, egy bizonyos folyadékban 1500 m/s. Ugyanilyen frekvenciájú elektromágneses hullám sebessége levegőben $3 \cdot 10^8$ m/s, az említett folyadékban $3 \cdot 10^7$ m/s.

- a) Milyen irányból és mekkora beesési szöggel érkező ultrahang-, illetve elektromágneses hullámok fognak teljesen visszaverődni a két közeg határfelületén? (**$13,1^\circ$, $5,74^\circ$**)
- b) A példában szereplő kétféle hullám közül melyik polarizálható? (A válasz indokoljuk meg!) (**az elektromágneses hullám, mert transzverzális**)
- c) A levegőben, visszaverődéssel előidézett állóhullámok esetén milyen közel van egymáshoz két csomópont az ultrahang-hullámban, illetve az elektromágneses hullámban? (**$0,17$ mm, 150 m**)

Interferencia

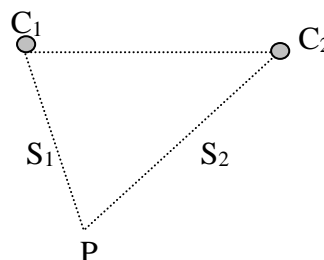
14.

Egy vízfelületen két azonos frekvenciájú és fázisú pontszerű hullámcentrum kelt 10 cm hullámhosszúságú körhullámokat. A vízfelület valamely P pontja az első hullámcentrumtól 50 cm, a második hullámcentrumtól 65 cm távolságra van.

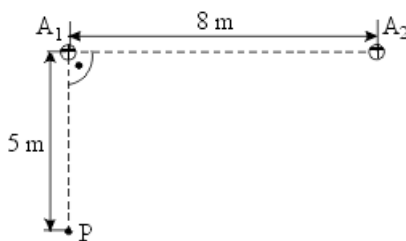
- Milyen jellegű interferencia jön létre a P pontban? (Erősítés vagy gyengítés?)
- Mekkora a P pont rezgési amplitúdója, ha az első hullámcentrumból érkező hullám amplitúdója 4 cm, a másodiktól jövőé pedig 3 cm?

15.

Az ábrán látható C_1 és C_2 pontokban azonos frekvenciával és fázisban működő hullámcentrumok vannak. A hullámcentrumok frekvenciája 500 Hz és 700 Hz között változtatható. A két hullámcentrumból induló hullámok találkozását a P pontban vizsgáljuk, ami C_1 -től $s_1 = 3$ m távolságra, C_2 -től $s_2 = 4$ m távolságra van. A hullámok terjedési sebessége $c = 300$ m/s. Mekkora frekvenciánál tapasztalunk P-ben maximális erősítést?



16.



Két hangszórót (A_1 és A_2) közös hanggenerátorról működtetünk, melynek frekvenciája 750 Hz és 820 Hz között folyamatosan változtatható. A két hangszóró-membrán azonos fázisú harmonikus rezgést végez. A hanghullám terjedési sebessége a levegőben 340 m/s.

a) Adja meg azt a frekvenciát, amely esetén a P pontban maximális erősítést kapunk!

(766,8 Hz)

b) Mely hullámhossznál kapjuk a P pontban a legnagyobb mértékű gyengítést? (0,422 m)

17.

Egy függőleges faltól 2 m távolságra egy minden irányba "sugárzó" hangszóró 320 Hz frekvenciájú hangot sugároz. Milyen hullámtalálkozás figyelhető meg a faltól 2 m és a hangszórótól 3 m távolságra lévő pontban. (A vizsgált pont a hangszóróval azonos magasságban van. A hang terjedési sebessége az adott körülmények között 320 m/s.)

18.

Egy vízfelület valamely pontjában két, egyenként 1-1 cm amplitúdójú, azonos frekvenciájú hullám találkozik. A víz felülete ezen a helyen 1 cm amplitúdóval rezeg. Mekkora ezen a helyen a találkozó hullámok fáziskülönbsége?

- A) 90° B) 60° C) 120°

Állóhullámok

19.

Egy kifeszített, mindkét végén rögzített, 1 m hosszúságú húron a transzverzális hullámok 500 m/s nagyságú sebességgel haladnak. Mekkora frekvenciájú hangokat hallunk, ha a húrt megpendítjük?

- A) 500 Hz B) 250 Hz, 500 Hz, 750 Hz C) 1000 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz

20.

Egy hangszer állítható hosszúságú húrját megpendítve 200 Hz frekvenciájú hangot hallunk. A húrt 10 cm-rel rövidebbre fogva 250 Hz lesz a frekvencia. Milyen hosszúságú az első esetben a húr?

Versenyfeladatok

21.

A p_0 alacsony nyomású levegőben harmonikus hanghullám terjed. Mit mondhatunk azon helyeken a nyomásról, ahol a levegő kitérése a nyugalmi állapothoz képest nulla.

A) a nyomás p_0 B) A nyomás ezeken a helyeken maximális, vagy minimális.

22.

A p_0 alacsony nyomású levegőben ν frekvenciájú hanghullám halad a hangforrástól nagy távolságban c sebességgel. A hangterjedés közben a levegő maximális nyomásváltozása Δp

a) Mutassuk meg, hogy a hanghullámban létrejövő maximális sűrűségváltozás

$$\Delta \rho = \frac{\Delta p}{c^2}.$$

b) Mutassuk meg, hogy a levegő hullámmozgás miatti rezgési amplitúdója

$$A = \frac{1}{\kappa} \frac{\Delta p}{p_0} \frac{c}{2\pi\nu},$$

ahol κ a levegő állandó nyomású, és állandó térfogatú fajhőjének aránya.

c) Határozzuk meg a maximális sűrűségváltozást, és a rezgési amplitúdót $p_0 = 10^5$ Pa, $\nu = 440$ Hz, $c = 330$ m/s és $\Delta p = 0,2$ Pa esetén.

Útmutatás:

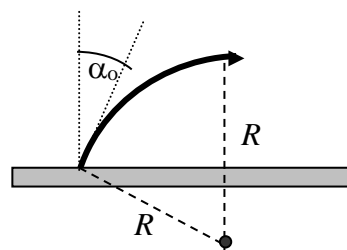
- A hétköznapi életben tapasztalható hangjelenségek esetén a hanghullámban a nyomás, a sűrűség, és a hőmérséklet relatív változása olyan kicsiny, hogy ha a relatív változást x jelöli, akkor közismert $(1+x)^n \approx 1+nx$ közelítés alkalmazható. A feladatban megfogalmazott állítások is ezen közelítés rendjében teljesülnek.
- A megoldásban bizonyítás nélkül felhasználható, hogy a hang sebessége gázban

$c = \sqrt{\frac{\kappa R T_0}{M}}$, ahol R a gázállandó, T_0 a gáz (alap)hőmérséklete, M a moláris tömege,

$\kappa = C_P / C_V$.

23.

Ha a levegő hőmérséklete a talaj szintjétől fölfelé haladva folyamatosan változik, akkor változik a levegőbeli hangsebesség is. Ennek következtében a talajról induló keskeny hanghullám nyaláb pályája a folyamatos törés következtében görbül. Jelöljük $c(y)$ -nal a hang sebességét y magasságban, és α -val a nyaláb haladási irányának a függőlegessel bezárt szögét!



a) Mutassuk meg, hogy a hangnyaláb pályája mentén $\sin(\alpha)$ egyenesen arányos $c(y)$ -nal!

b) Különleges időjárási viszonyok esetén előfordulhat, hogy a talajról $\alpha_0 = 80^\circ$ -os szögben, $c_0 = 330$ m/s sebességgel induló keskeny hangnyaláb egy $R = 10$ km sugarú körív mentén halad az ábra szerinti módon. Hogyan változik ekkor a levegő hőmérséklete a magasság függvényében?

Útmutatás:

A megoldásban bizonyítás nélkül felhasználható, hogy a hang sebessége gázban

$$c = \sqrt{\frac{\kappa R T}{M}},$$

ahol $R = 8.31 \text{ J/mol.K}$ a gázállandó, T a gáz hőmérséklete, M a moláris tömege, $\kappa = c_p / c_v$.
 Levegő esetén $M = 29 \text{ g/mol}$, $\kappa = 1,4$.