



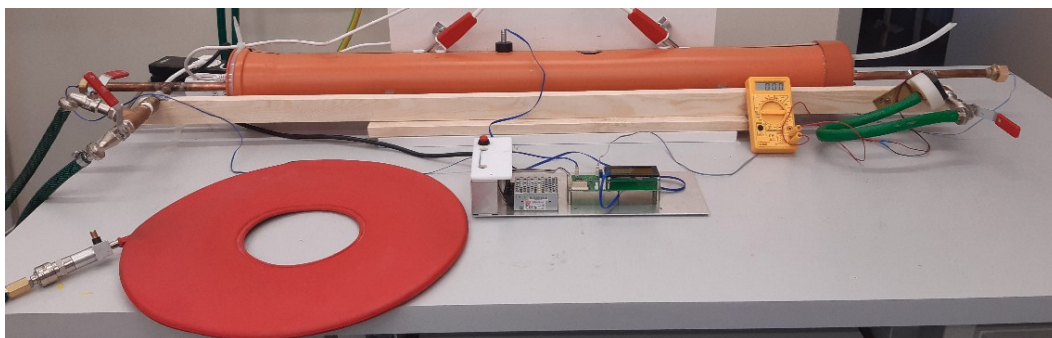
OKTATÁSI HIVATAL

**A 2021/2022. tanévi
Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny
döntő forduló**

FIZIKA II. KATEGÓRIA

Javítási-értékelési útmutató

A méréshez használt berendezés fényképe az 1. ábrán látható.



1. ábra A berendezés fényképe.

Amint a feladat leírásában is szerepel a mérés alapja a 160 cm hosszú cső két végére elhelyezett hangszóró ill. mikrofon, amelyeket egy mikroszámítógép vezérel. A hangszóró igen rövid (1ms-os) 4kHz-s hangimpulzusokat bocsájt ki periodikusan. Az impulzus elindulásakor elindul a mikroszámítógépben egy óra, amely az impulzusnak a mikrofonba érkezésekor leáll. Az eltelt idő megjelenik a kijelzőn. A mérés során a csövet hélium ill. argon gázzal is fel tudjuk tölteni. A csövet körülvevő víz melegítésével vizsgálni tudjuk a hang terjedésének hőmérséklet függését is. Továbbá mód van a hangsebesség mérésére áramló közegben is.

1. Álló levegőben szobahőmérsékleten határozza meg a hang terjedési sebességét! 1 pont

A mérés szerint ekkor a csőben a hangimpulzus terjedési ideje $4686 \pm 1\%$ us. Ennek alapján a 160 cm-es csőhossz ismeretében a hang terjedési sebességére $c=341 \pm 1\%$ m/s adódik. Ez hibahatáron belül megegyezik az irodalomból ismert értékkel.

2. A csövet héliummal feltöltve mérje meg a hang terjedési sebességét héliumban! Hasonlítsa ezt össze a levegőben mért értékkel. A eredményre adjon elméleti magyarázatot. (A magyarázathoz felhasználhatja a hang gázbeli terjedésére vonatkozó összefüggést) Ehhez elméleti úton határozza meg a levegőben és a héliumban a hang terjedési sebességének arányát! A számolásnál vegye figyelembe, hogy gázkeveréknél a nyomás a parciális nyomások összege (Dalton törvény: Egy gázkeverék összetevőinek p_1 és p_2 nyomásai akkorák, mint amit akkor fejtenénk ki, ha ugyanazon a hőmérsékleten egyedül töltenénk ki a teljes térfogatot. A gázkeverék telje nyomása ezen (parciális) nyomások összege.) Az elméletileg számított értéknél valamivel kisebb értéket fog tapasztalni. Mi lehet ennek az oka? 9 pont

Az Országos Középiskolai Tanulmányi Versenyek megvalósulását az NTP-TMV-M-21-A0002 projekt támogatja.



A héliummal való feltöltés után a hangimpulzus terjedési idejére $1924 \pm 1\%$ us-ot mérünk. Innen a mért terjedési sebesség $c = 831 \pm 1\%$ m/s.

Az elméleti magyarázathoz induljunk ki abból, hogy a hang terjedési sebessége gázban

$$c = \sqrt{\frac{c_p p}{c_v \rho}}, \quad (1)$$

ahol c_p az állandó nyomáson míg c_v az állandó hőmérsékleten vett fajhő, p a nyomás és ρ a sűrűség. Egykomponensű gáz esetén az ideális gáz állapotegyenlete

$$pV = \frac{m}{M} RT, \quad (2)$$

ahol V a térfogat m a gáz tömege, M a moláris tömeg, R a gázállandó és T az abszolút hőmérséklet. A tömeggel leosztva kapjuk, hogy

$$\frac{p}{\rho} = \frac{R}{M} T. \quad (3)$$

Ezt behelyettesítve (1) egyenletbe egykomponensű gázra

$$c = \sqrt{\frac{c_p R}{c_v M} T}. \quad (4)$$

Figyelembe véve, hogy az ekvipartíció tétele szerint az állandó térfogaton mért fajhő arányos a gáz f termodinamikai szabadsági fokainak számával, valamint hogy a Robert Mayer-egyenlet szerint

$$c_p - c_v = \frac{m}{M} R \quad (5)$$

kapjuk, hogy

$$\frac{c_p}{c_v} = \frac{f+2}{f}, \quad (6)$$

ahonnan a terjedési sebességre

$$c = \sqrt{\frac{f+2}{f} \frac{R}{M} T} \quad (7)$$

kifejezés adódik.

Azonban a levegő egy kétkomponensűgázkeverék (jó közelítéssel), itt óvatosabban kell eljárunk. Ekkor abból indulunk ki, hogy a Dalton törvénye szerint gázkeverékre a nyomás a parciális nyomások összege, azaz a mi esetünkben

$$p = p_1 + p_2, \quad (8)$$

ahol az indexek az egyes komponensekre utalnak.

A gáztörvény felhasználásával (8) alapján

$$pV = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) RT, \quad (9)$$

valamint nyilván

$$\rho V = m_1 + m_2. \quad (10)$$

Így

$$\frac{p}{\rho} = \frac{1}{m_1 + m_2} \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) RT. \quad (11)$$

Célszerű a molszámokra áttérni, mivel ezt ismerjük egy gázkeveréknél, ezzel

$$\frac{p}{\rho} = \frac{1}{n_1 M_1 + n_2 M_2} (n_1 + n_2) RT, \quad (12)$$

amely az $x_1 = n_1 / (n_1 + n_2)$ és $x_2 = n_2 / (n_1 + n_2)$ arányok bevezetésével adja, hogy

$$\frac{p}{\rho} = \frac{R}{x_1 M_1 + x_2 M_2} T = \frac{R}{\langle M \rangle} T, \quad (13)$$

ahol bevezettük a $\langle M \rangle$ átlagos moláris tömeget, amelyet két moláris tömeg súlyozott átlaga.

Megjegyezzük, hogy amennyiben különböző szabadsági fokú gázokat keverünk össze akkor a c_p/c_v arány kiszámításakor is figyelembe kell venni az atomszám arányokat, de mivel a levegő döntő többségben kétatomos gázokból áll a mi esetünkben ennek nincs jelentősége.

A fentiek alapján a különböző gázokban a hang terjedési sebességek arányát adott hőmérsékleten a

$$a = \sqrt{\frac{f+2}{f} \frac{1}{M}} \quad (14)$$

mennyiségek aránya határozza meg, ahol M természetesen a megfelelő átlagos érték.

Behelyettesítés után a héliumban és levegőben való terjedési sebességek aránya $c_{\text{hélium}}/c_{\text{levegő}} = 2.93$. Ezzel szemben a mért arány csak $2.43 \pm 2\%$. Ez azt jelenti, hogy a használt hélium gáz nem tiszta, más gázt (valószínűleg vízgőzt) is tartalmaz.

Pontozás:

helyes mérés: 2 pont

helyes elméleti számolás: 6 pont

az eltérés magyarázata: 1 pont

3. A csövet argonnal feltöltve mérje meg a hang terjedési sebességét argonban! Hasonlítsa ezt össze a levegőben mért értékkel. Az előző feladatban megadott elméletet alkalmazza argonra is az elméleti sebességarány megadására! 3 pont

Az argon esetén a mért futási idő $5010 \pm 1\%$ us. Ennek megfelelően a mért terjedési sebesség $c = 319 \pm 1\%$ m/s.

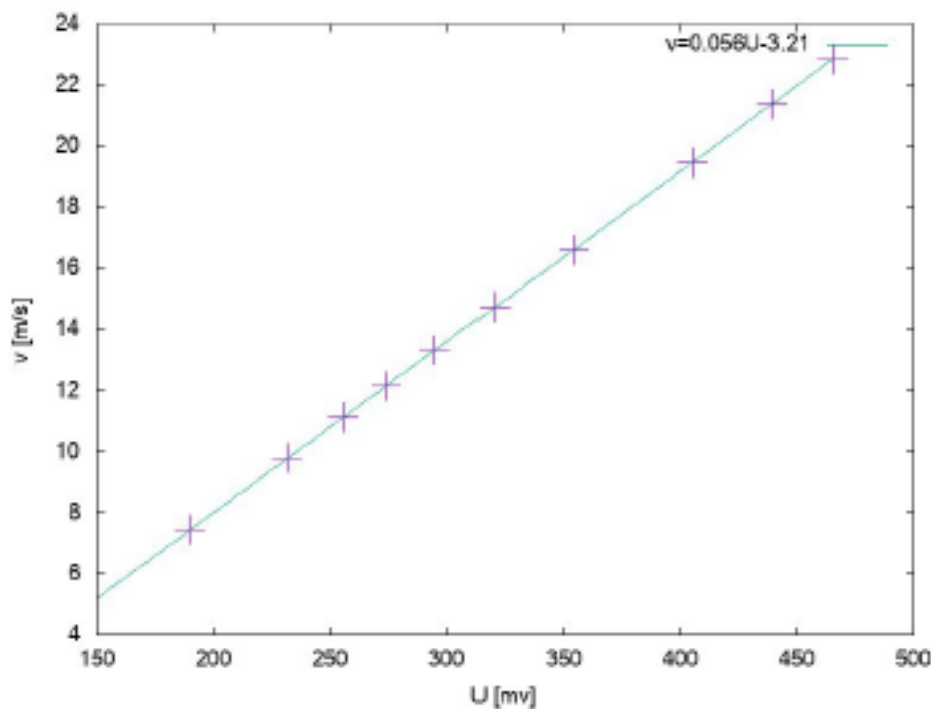
Az elméletileg számolt sebességarány $c_{\text{argon}}/c_{\text{levegő}}=0.926$. A mért arány pedig $0.935 \pm 2\%$, amely hibahatáron belül megegyezik az elméletileg számolt értékkel.

Pontozás:

helyes mérés: 2 pont

helyes számolás: 1 pont

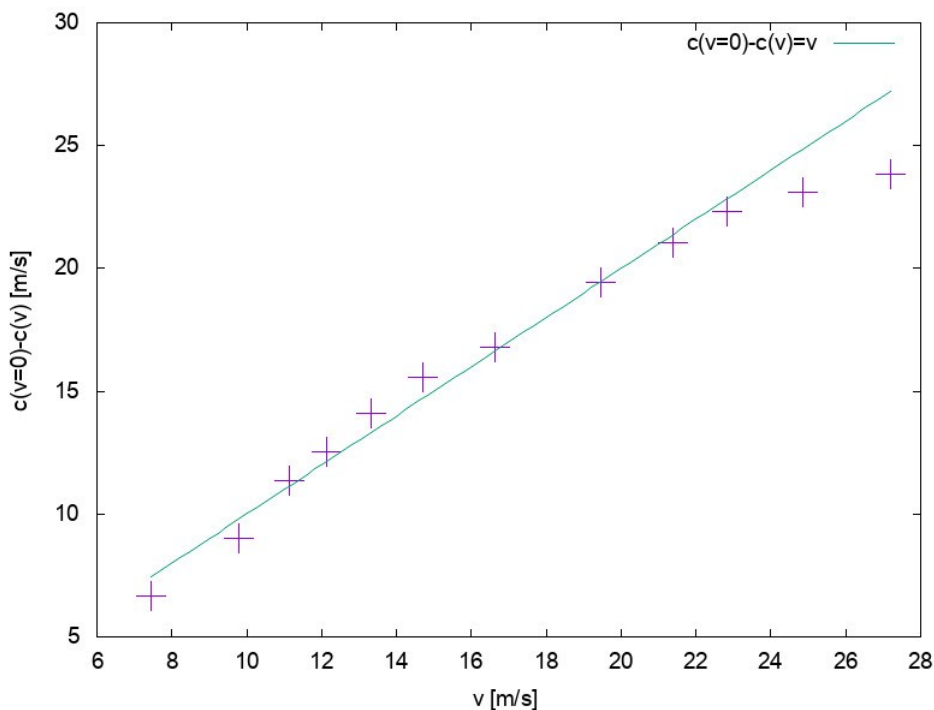
4. 8-10 különböző áramlási sebesség mellett mérje meg a hangimpulzus áthaladásának sebességét. A kiértékelésnél vegye figyelembe, hogy a berendezés felépítésének következtében az áramló levegőoszlop hossza csak 130 cm! Egy az eredményeket jól mutató ábrázolási módot választva grafikusán ábrázolja a kapott eredményt, majd értelmezze mit kapott. Mi okozhatja nagyobb sebességeknél a várakozástól jelentősen eltérő eredményt? A mérés alapján állapítsa meg, hogy melyik oldalon van a hangszóró és melyiken a mikrofon! 12 pont



2. ábra. Gázsebesség kalibrációs görbe.

A kiáramló gázsebesség méréséhez egy ventilátor által indukált feszültség mérését végezzük. A tényleges sebesség és a feszültség közötti összefüggést egy hitelesített gázsebesség mérővel felvettük. A kapott kalibrációs görbe látható a 2. ábrán. Megjegyezzük, hogy a ventilátorok az egyes mérőhelyeke nem teljesen egyformák, ezért a kalibrációs görbe is kicsit más lehet az egyes mérőhelyeken.

Amint az a feladatok leírásában is szerepel a mérési adatok kiértékeléséhez figyelembe kell venni, hogy a gáz csak 130 cm hosszan áramlik. A maradék 30 cm-en a korábban mért „álló” levegőnek megfelelő terjedési sebességgel kel számolni. Ezért a mért futási időkből először levonjuk a 30cm-es álló levegőben való futáshoz tartozó értéket. Az így korrigált időkkel 130 cm-ren számoljuk a sebességet. A kapott eredmények a 3. ábrán láthatók.



3. ábra Az „effektív” terjedési sebesség változása a gáz áramlási sebességének függvényében.

A jobb láthatóság kedvéért a függőleges tengelyen célszerű az álló levegőben mért értéktől való eltérést ábrázolni.

A pontokra egy egyenest illesztve látható, hogy a terjedési sebesség változása megegyezik a gáz áramlási sebességével. Tehát amint az várható, az áramló közegben a hang a közeggel együtt mozgó koordináta rendszerben ugyanazzal a sebességgel terjed min az állóban. Látjuk azonban, hogy a legnagyobb sebesség esetén ez már nem igaz. Ennek oka, hogy ilyenkor az áramlás már nem lamináris, turbulensé válik. Ekkor már az előbbi egyszerű „összeadódási” szabály nem igaz.

Mivel a csőben a gáz balról jobbra áramlik és az áramlás következtében a hangimpulzus haladási ideje megnő az alkalmazott mérési eljárásban a hang a gáz terjedési sebességével ellentétes irányban halad. Tehát a hangszóró a jobb oldalon van.

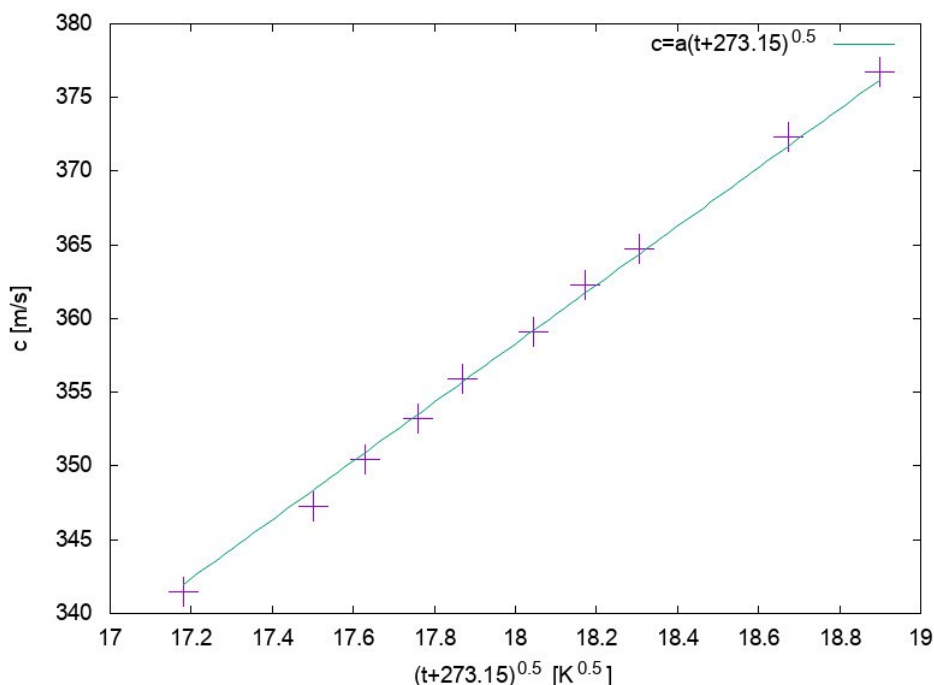
Pontozás:

- a mérés helyes elvégzése: 4 pont
- a mérési adatok helyes ábrázolása: 7 pont
- a hangszóró elhelyezkedésnek megadása: 1 pont

5. A csövet levegővel feltöltve 5-6 hőmérsékleten mérje meg a hang terjedési sebességét! Az eredményeket ábrázolja egy olyan grafikonon, amely könnyen értelmezhető és igazolja az elmélet várakozást. A kiértékelésnél itt is vegye figyelembe, hogy a berendezés felépítésének következtében a cső csak 130 cm hosszan van melegítve! A két kilógó 15 cm-es darabon jó közelítéssel a szobahőmérsékletnek megfelelő terjedési sebességet használhatjuk. 15 pont

A mérési adatok kiértékeléséhez itt is először ki kell számítani a 130 cm-es melegített szakaszhoz tartozó „redukált” futási időt. Jó közelítéssel feltehetjük, hogy a nem melegített 30 cm-es szakaszon a gáz hőmérséklete megegyezik a szobahőmérséklettel. Ez nyilván nem teljesen igaz, de amint az adatok kiértékelése mutatja ez a közelítés nem okoz jelentős hibát.

Mivel a terjedési sebesség arányos a \sqrt{T} -vel célszerű a vízszintes tengelyen a $\sqrt{t+273.15}$ értékeket ábrázolni ahol t a Celsius fokban mért hőmérséklet. A kapott eredmények a 4. ábrán láthatók.



4. ábra A terjedési sebesség függése a hőmérséklettől.

Amint látható a mérési adatok ebben az ábrázolásban jól illeszkednek egy egyenesre ami megfelel az elméleti várakozásnak.

Pontozás:

a mérés helyes elvégzése: 8 pont

a megfelelő ábra elkészítése és az eredmény helyes értelmezése 7 pont.