**A 2021/2022. tanévi**

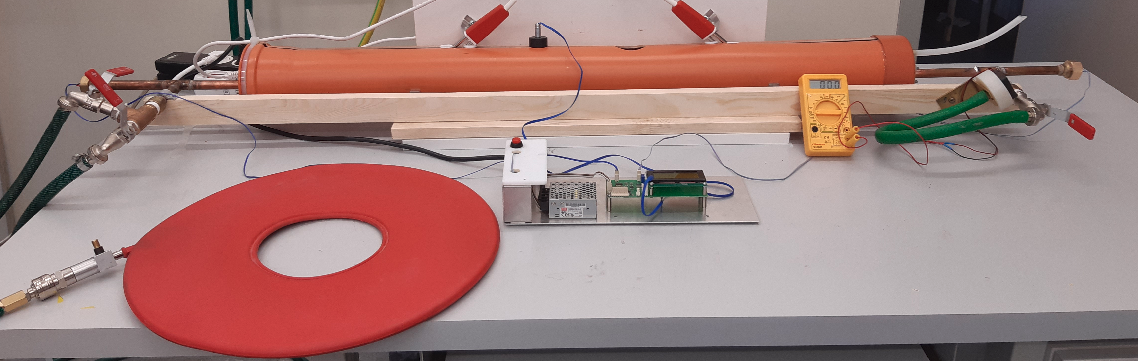
**Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny**

**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 mikroszámológépben 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 ± 1% us. Ennek alapján a 160 cm-es csőhossz ismeretében a hang terjedési sebességére c=341 ± 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 p1 és p2 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

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

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

, (1)

ahol *cp* az állandó nyomáson míg *cv* az állandó hőmérsékleten vett fajhő, *p* a nyomás és ρ a sűrűség.

Egykomponensű gáz esetén az ideális gáz állapotegyenlete

, (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

. (3)

Ezt behelyettesítve (1) egyenletbe egykomponensű gázra

. (4)

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

(5)

kapjuk, hogy

, (6)

ahonnan a terjedési sebességre

(7)

kifejezés adódik.

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

, (8)

ahol az indexek az egyes komponensekre utalnak. A gáztörvény felhasználásával (8) alapján

, (9)

valamint nyilván

. (10)

Így

. (11)

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

, (12)

amely az és arányok bevezetésével adja, hogy

, (13)

ahol bevezettük a átlagos moláris tömeget, amelyet két moláris tömeg súlyozott átlaga.

Megjegyezzük, hogy amennyiben különböző szabadsági fokú gázokat keverünk össze akkor a *cp/cv* 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

(14)

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

Behelyettesítés után a héliumban és levegőben való terjedési sebességek aránya c\_hélium/clevegő=2.93.

Ezzel szemben a mért arány csak 2.43 ± 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 ± 1% us. Ennek megfelelően a mért terjedési sebesség c= 319 ± 1% m/s.

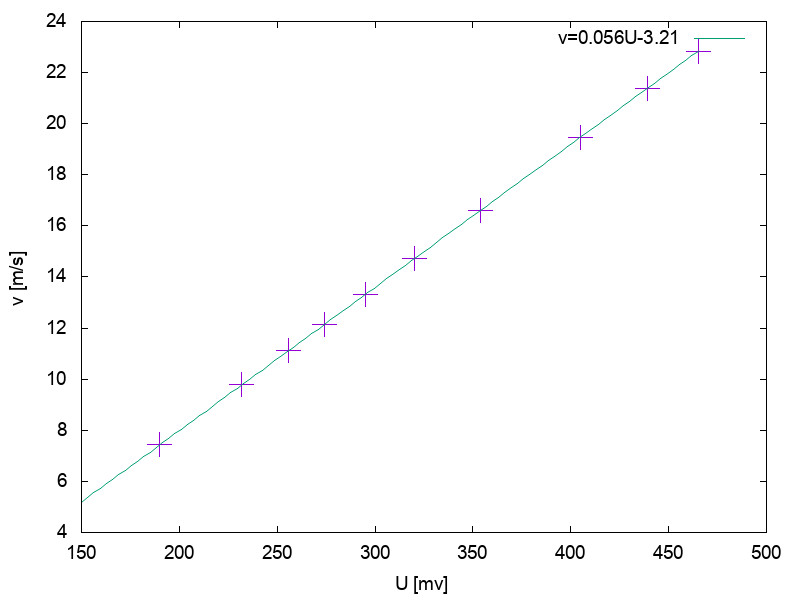
Az elméletileg számol sebességarány c\_argon/clevegő=0.926. A mért arány pedig 0.935 ± 2%, amely hibahatáron belül megegyezik az elméletileg számolt értékkel.

Pontozás:

helyes mérés: 2 pont

helyes számolás: 1 pont

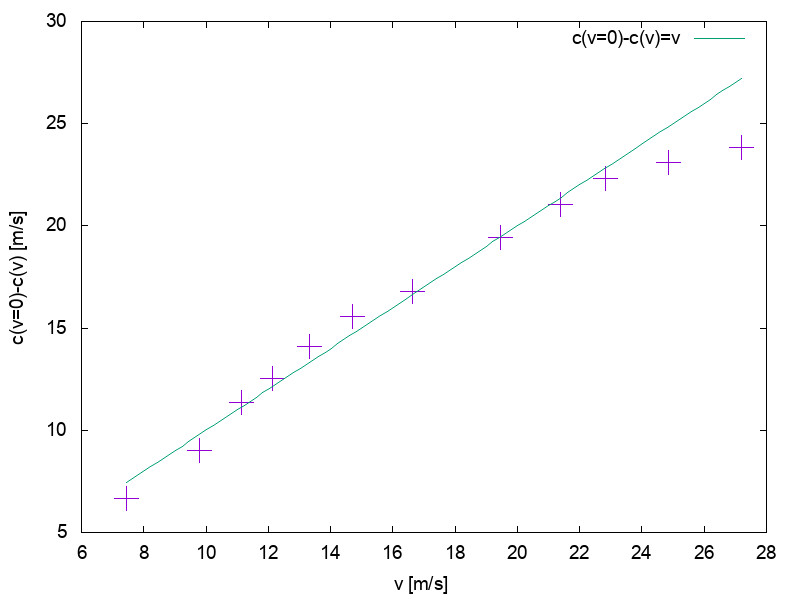
**4.** **8-10 különböző áramlási sebesség mellett mérje meg a hangimpulzus áthaladásának sebességét. A kiértékelésnél vegye figyelembe, hogy a berendezés felépítésének következtében az áramló levegőoszlop hossza csak 130 cm! Egy az eredményeket jól mutató ábrázolási módot választva grafikusan ábrázolja 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 merőhelyeken.

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 függvényben.*

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

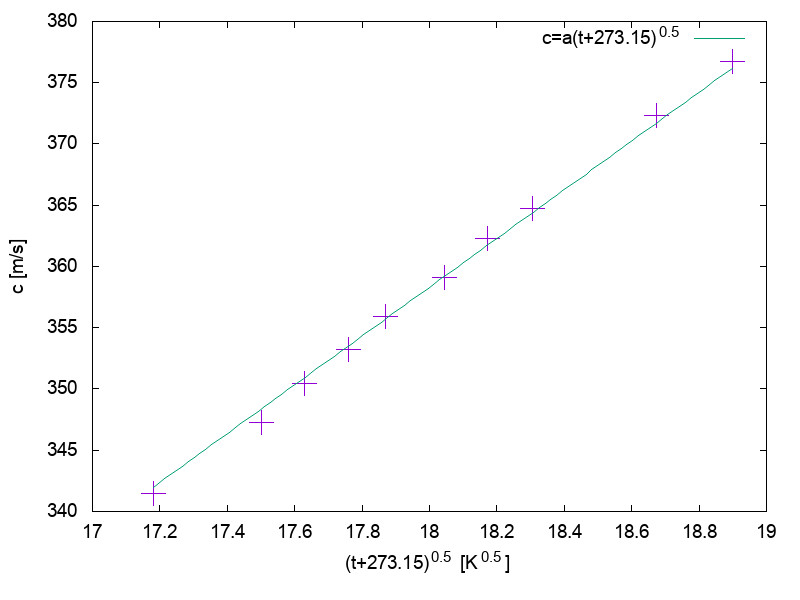
a mérési adatok helyes ábrázolása: 7 pont

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 aranyos a -vel célszerű a vízszintes tengelyen a 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.