

## Buborék mozgásának vizsgálata Mikola csőben

Név: Tüzes Dániel

Mérési dátum: 2007.11.15.

Mérőpár: Papp László – Tüzes Dániel

Leadás ideje: 2007.11.22.

**Mérés célja:** Mikola csőben mozgó buborék mozgásának kvalitatív jellemzése.

**Mérési eszközök:**

- Mikola-cső
- A csövet pozícionáló tartószerkezet
- Fémvonalzó milliméteres léptékkel
- Commodore „számítógép”

**Mérés leírása:**

A csövet tartó szerkezeten fokbeosztás van, mellyel meg lehet határozni a Mikola cső vízszintessel bezárt  $\alpha$  szögét. Az eszközt megfelelő szögre beállítjuk a mérés elkezdése előtt. A cső egyik, kezdőjelölés felőli vége behajlítható. A buborékot ebbe a csőszakaszba mozgatjuk, majd a csövet a tartóállvány szerint olyan helyzetbe hozzuk, hogy az valóban  $\alpha$  szöget zárjon be a vízszintessel. A buborékot a ferde csőszakaszból kiengedve, a csőben felfelé kezd haladni, eléri egy bizonyos kezdőjelölést, és innentől indul egy mérés.

Előre felvett távolságértékek elhagyásánál meghatározzuk a kezdőjelölés elhagyása óta megtett időt. Ebben remekjó társunk egy Commodore számítógép lesz. Jelezve számára a kezdés időpillanatát, elkezdi az időmérést. Minden egyes jelölt távolságnál újabb jelzést adunk számára, mely alapján az – a kezdőjelölés és az egyes jelölések távolságadatainak előzetes felvitele után – egyenest illeszt a mérési eredményeinkre az út-idő grafikonon. Meghatározza az egyenes  $m$  meredekségét, jelzi továbbá a korrelációs együtthatót is, melynek értéke számot ad arról, hogy mennyire esnek egy egyenesbe a kapott pontok

Több különböző szög esetére vettük fel az út-idő grafikont, melynek pontjai, valamint a korrelációs együttható értékei az adattáblázatban találhatók. Az út-idő-szög grafikon és a sebesség-szög grafikonok a milliméterpapíron láthatók. A mérések során két párhuzamos mérést végeztünk.

**Hibaszámítás:** A módszer lehetséges hibái a következők:

- Kevés párhuzamos mérés miatt nem pontosan meghatározható egy adott  $\alpha$  szöghöz tartozó sebesség
- Nem tudjuk pontosan az egyes jelölések elérésekor jelezni a számítógépnek, hogy a buborék elérte a kívánt helyzetet, ebből fakadóan legfeljebb 0,1s hiba várható
- A fémvonalzóról nem tudjuk pontosan meghatározni az egyes jelölésekhez tartozó távolságokat a kezdőjelöléstől
- A Mikola csövet tartó szerkezeten található fokbeosztás nem volt pontosan függőleges
- A Mikola csövet nem tudtuk tökéletesen pontosan az adott szögekhez illeszteni

### Mérés kiértékelése, következtetés:

A Mikola csőben a buborék egyenes vonalú, egyenletes mozgást végez, azaz  $s$  út és a hozzá tartozó  $t$  idő esetén  $v = s / t = \text{állandó}$ . Ebből látható, hogy az út-idő grafikon olyan egyenes lesz, mely átmegy az origón. Ezt igazolja, hogy a korrelációs együttható mindenhol igen közel esik az 1 értékhez.

Egy cső alakú folyadékréteg alakul ki a buborék és az üvegcső között, melyre a haladás irányában a következő 3 erő hat: a  $2\pi r \cdot \Delta r (p_1 - p_2)$  nyomóerő (ahol  $r$  a buborék átmérője,  $\Delta r$  a folyadékréteg vastagsága,  $p_{1,2}$  a buborék végeinél mérhető nyomás), valamint a szomszédos belső és külső rétegektől származó, gyorsító illetve lassító súrlódási erők. A nyomáskülönbségből származó erő adott hajlásszög mellett állandó, a súrlódási erők viszont arányosak a sebességgel a Stokes-féle súrlódási törvény alapján. Kis sebességeknél az áramlás lamináris lesz, így igaz az említett törvény, abból következően pedig van egy olyan sebesség, melyre az erők eredője 0, ez az állandósult sebesség. Ennek eléréséhez mérésünkör néhány (1-2)cm is elegendőnek bizonyult.

A buborék sebessége függ a cső dőlésszögétől. Kezdetben a sebesség kis intervallumban egyenessel közelíthető. Azonban számos hatás hamar kifejti hatását, mihelyst a Mikola csövet számottevő szöggel fordítjuk el. A Hagen-Poiseuille-féle törvény alapján összenyomhatatlan közeg lamináris, súrlódásos, időben állandó áramlása esetén, a cső keresztmetszetén áthaladó folyadék mennyisége egyenesen arányos az egységnyi szakaszon bekövetkezett nyomásvesztéssel, és a cső sugarának a negyedik hatványával, fordítottan arányos az áramló közeg dinamikai viszkozitásával. (Itt a cső sugara nem a Mikola cső sugarát jelenti, hanem a buborék körül kialakuló folyadékréteg keresztmetszetének területéhez tartozó kör sugarát.) A dőlésszöget növelve növeljük egyúttal a nyomáskülönbséget is a buborék két vége között, ezáltal a folyadék áramlási erőssége („áramerőssége”) nagyobb lesz a buborék körül, az gyorsabb előrehaladásra lesz képes. A létrehozott nyomáskülönbség arányos  $\sin \alpha$ -val, a legnagyobb nyomáskülönbséget tehát függőleges helyzetben érjük el. A buborék alakját azonban a nyomás és a felületi feszültségek határozzák meg. A dőlésszög emelésével a buborék a cső keresztmetszetének mind jelentősebb részét teszi ki, ezáltal csökkentve a cső alakú folyadékréteg  $\Delta r$  vastagságát. A jelenség a folyadékréteg vastagságának negyedik hatványával arányos, így a dőlésszög jelentős növelésével a folyadékáram erőssége messze eltér már a szinuszos alaktól. Tapasztalataink szerint 45°-ig gyorsul a buborék mozgása, ebből következően kell, hogy a körülötte áramló folyadékréteg áramerőssége is mind nagyobb legyen. Ne feledjük ugyan akkor, ezt az áramlási erősséget kisebb felületű körgyűrűvel kell megvalósítani a rendszernek, vagyis az áramlás sebessége nőhet – a csökkenő áramlási erősség mellett is. Túlzottan nagy sebesség mellett az áramlás nem lesz lamináris, a fent sorolt törvények ebben a formában értelmüket veszítik. A buborék körül lévő folyadékra már a sebességével négyzetesen arányos fékezőerő fog hatni. A dőlésszöget tovább növelve a vékony folyadékréteg vastagsága még tovább csökken, és ebben a tartományban már a nyomásnövekedés messze elhanyagolható lesz a buborék alakjának megváltozása miatt a folyadékréteg vastagságának csökkenése folytán fellépő áramerősség-csökkenéséhez képest. 90° körül a dőlésszög változás okozta nyomáskülönbség többlet már igen elhanyagolható, valamint a folyadékréteg vastagságának változása is meghatározott a felületi feszültségek révén, így függőleges helyzethez közeledve a buborék áramlási sebességének változása – a már említett okok miatt – alulról tart a 0-hoz.

A buborék igyekszik a cső felfelé lévő részében lenni, így vízszintes állapotban igyekszik egyrészt a cső tetejét egész hosszában kitölteni. A felületi feszültség miatt gömb alakra is törekszik egyúttal, így jön létre egy elnyújtott forma. Nagy dőlésszögeknél a buboréknak rakéta alakja van úgy, hogy az eleje kúpos. Ekkor a legnagyobb a buborék körül az áramló folyadék sebessége.