

Folyadékok belső súrlódásának mérése

Név: Tüzes Dániel

Mérési dátum: 2007.10.18.

Mérőpár: Papp László – Tüzes Dániel

Leadás ideje: 2007.10.25.

Mérés célja: a glicerín dinamikai viszkozitásának mérése Stokes-féle súrlódási törvény alapján és a Höppler-féle viszkoziméterrel

Mérési eszközök:

- Areométer a glicerín sűrűségének vizsgálatához
- Glicerinnel töltött mérőhenger a Stokes-féle méréshez
- Üveggolyók a Stokes-féle méréshez
- Fémvonalzó
- Csavarmikrométer
- Piknométer és táramérleg az üveggolyók sűrűségének vizsgálatához
- Előkészített Höppler-féle viszkoziméter

Mérés leírása:

1. Stokes-féle súrlódási törvény alapján végzett mérés

A Stokes-törvény alapján egy r sugarú, a folyadékhoz képest v sebességgel haladó, gömb formájú golyóra $F = 6\pi\eta rv$ közegellenállási erő hat, amennyiben a folyadék rétegek áramlása lamináris, vagyis örvények nem keletkeznek, a folyadék rétegek egymáshoz képest párhuzamosan mozognak. Ha a glicerín elég sűrű, a golyó elég kicsi, akkor felételezhetjük, hogy az áramlás valóban lamináris lesz, ennek igazolására szolgál a Höppler-féle viszkoziméter.

Gömb formájú üveggolyók sugarát meghatározva, azokat a glicerínbe nyomva mértem az állandósult esési sebességüket. Tekintve, hogy a folyadék nagy viszkozitású, ez a sebesség hamar beállt. A v sebességet úgy határoztam meg, hogy a felszíntől kb. 3cm -re lévő jelöléstől vizsgáltam az esési időt ezen jelöléstől $25,15\text{cm}$ távolságig.

Használva a Newton egyenleteket, viszkozításra rendezve $\eta = \frac{2(\rho_g - \rho_f)r^2g}{9v}$, ahol

ρ_g az üveggolyó sűrűsége, ρ_f a folyadék sűrűsége.

A golyók r sugarát úgy határoztam meg, hogy csavarmikrométerrel három irányból megmértem azok „átmérőjét”, majd ezek számtani közepüket osztottam kettővel.

A folyadék sűrűségét és hőmérsékletét areométerrel mértem meg.

A golyók sűrűségét piknométerrel és táramérleggel mértem ki. A piknométer μ_1 üres tömegét lemértem, majd golyókat szórva bele, új μ_2 tömegét is lemértem. Ezek után teli töltöttem tiszta vízzel, és megmértem μ_3 tömegét. Végezetül a golyókat kivettem és teletöltöttem tiszta vízzel hogy megmérjem μ_4 tömegét. Ezen adatokból

$$\rho_g = \rho_v \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_4 - \mu_1 - \mu_3 + \mu_2}.$$

2. Höppler-féle viszkoziméterrel való mérés

A Höppler-féle viszkoziméterben egy átlátszó, üreges henger volt, a vizsgálandó folyadékkal feltöltve. Ezen folyadékban, a henger belső átmérőjével csaknem azonos átmérőjű fémgolyó volt található. Tapasztalati tény, hogy a folyadék viszkozitása

$\eta = K(\rho_g - \rho_f)t$, ahol K a golyóállandó (értéke $0,13 \text{milliPa} \cdot \text{cm}^3 / \text{g}$), ρ_g a golyó sűrűsége (értéke $8,1 \text{g} / \text{cm}^3$), t pedig az az idő, amennyi idő alatt a golyó a felső jelöléstől az alsó jelölésig ér.

A $Re = \frac{\rho_f r v}{\eta}$ Reynolds szám megadásához a az egyenletben szereplő viszkozitás

értéket ezen mérésből, a sebességet, sűrűséget és sugarat az előző, Stokes-féle mérésnél kaptam meg. Az áramlás lamináris, ha Re értéke kisebb, mint 0,1.

Mérés értékelése:

A viszkozitás megadása során használt $\eta = K(\rho_g - \rho_f)t$ összefüggés alapján értéke a glicerinre vonatkoztatva $0,107 \text{Pa} \cdot \text{s}$. Ez a(z egyes szakirodalmak alapján) várt érték tizede. Sem a sűrűségmérés, sem az idő mérése nem hozhat ekkora hibát. A különbséget két dolog okozza: egyes szakirodalmakban található táblázatokban 20°C hőmérsékletre van megadva a viszkozitás, és csak a tiszta glicerint adják meg. Márpedig tudható, hogy a glicerin erős vízmegkötő, és viszkozitása erősen függ a víztartalmától és ilyen hőmérséklet-tartományban a hőmérséklettől is. A http://www.kayelaby.npl.co.uk/general_physics/2_2/2_2_3.html oldalon részletes adatok találhatóak. Ezek alapján egy 10tömeg%-os vízmegkötés mellett, 25°C -on mérési hibán belül van a mért eredmény.

A Reynolds szám értékére behelyettesítéssel kapjuk a nagy golyóknál, hogy

$$Re = \frac{\rho_f r v}{K(\rho_g - \rho_f)t} > \frac{1222 \text{kg} / \text{m}^3 \cdot 2,305 \text{mm} \cdot 25,15 \text{cm} / 2,72 \text{s}}{0,13 \cdot 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{cm}^3 (8,1 \text{g} / \text{cm}^3 - 1222 \text{kg} / \text{m}^3) \cdot 119,33 \text{s}} \approx 2,44$$

Vagyis a nagy golyós mérésnél nem számolhatunk a Stokes-törvény alapján viszkozitást.

A kisebbik golyók esetében

$$Re = \frac{\rho_f r v}{K(\rho_g - \rho_f)t} < \frac{1224 \text{kg} / \text{m}^3 \cdot 0,605 \text{mm} \cdot 25,15 \text{cm} / 28,43 \text{s}}{0,13 \cdot 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{cm}^3 (8,1 \text{g} / \text{cm}^3 - 1224 \text{kg} / \text{m}^3) \cdot 119,33 \text{s}} \approx 0,0614$$

vagyis csak a kis golyóknál számolhatunk a Stokes-féle törvénnyel.

A golyók sűrűségének megállapítására használt módszer alapján $\rho_g = 2404 \text{kg} / \text{m}^3$

Hibaszámítás: η hibája a Stokes-féle módszer szerint mértek alapján:

$$\Delta \eta = \frac{\delta \eta}{\eta} = 2 \cdot \frac{\delta r}{r} + \frac{\delta t}{t}, \text{ ahol } \delta r = 3 \cdot \sqrt{\frac{\sum (r - \bar{r})^2}{n}}$$

Mivel időt csak egyszer lehetett mérni, hibájára az emberi pontatlanságot írom, indításnál és megállításánál $0,1 \text{s}$ a hiba, így $\delta t = 0,2 \text{s}$.

Hibák értékei az eredménytáblázatban találhatóak.

Eredménytáblázat

	Stokes-féle mérés						Höppler	szakirodalom
	1	2	3	4	5	6		
η (Pa s)	0,177	0,176	0,175	0,137	0,135	0,125	0,107	0,034...0,521
$\Delta \eta$	0,054	0,132	0,112	0,032	0,199	0,051		
Reynolds szám	2,441	2,494	2,573	0,043	0,048	0,061		

A szakirodalmi adat 5-15tömeg%-os víztartalom mellett, $20-30^\circ\text{C}$ -ra van vonatkoztatva.