II. LABORATÓRNE CVIČENIE

MERANIE KOEFICIENTU VNÚTORNÉHO TRENIA KVAPALINY METÓDOU PÁDU GUĽKY

**Úvod**

Cieľom tejto laboratórnej úlohy je určiť koeficient vnútorného trenia kvapaliny pomocou metódy pádu guľky a stanoviť neistotu merania.

**Teoretický úvod**

Pri páde guľky v kvapaline na ňu pôsobia tri sily:

1. **Tiažová sila (𝐹𝑔)**:

kde 𝑚 je hmotnosť guľky a 𝑔 je tiažové zrýchlenie (9,81 m.s⁻²).

1. **Vztlaková sila (𝐹𝑣𝑧)**:

kde 𝑉 je objem guľky a 𝜌 je hustota kvapaliny.

1. **Odporová sila (𝐹𝑜)**:

kde 𝜂 je koeficient vnútorného trenia kvapaliny, 𝑟 je polomer guľky a 𝑣 je rýchlosť guľky.

Po vhodení guľky do kvapaliny začne rovnomerne zrýchľovať, až kým nedosiahne kritickú rýchlosť 𝑣₀, pri ktorej bude výslednica síl nulová a guľka sa bude ďalej pohybovať rovnomernou rýchlosťou.

Pre veľkosti síl platí:

Po dosadení:

Odtiaľ pre koeficient vnútorného trenia platí:

​ vypočítame ako podiel dráhy h a času t, za ktorý guľka prejde danú dráhu. V prípade, že sa guľka pohybuje vo valci s vnútorným polomerom R, je potrebné použiť v menovateli korekčný člen (1+2,4(r/R). Po dosadení a pridaní korekčného člena:

**Prístroje a pomôcky:**

* Guľky
* Vysoký sklenený valec s kvapalinou
* Meter (presnosť 1 mm)
* Hustomer (presnosť 5 kg.m⁻³)
* Váhy (presnosť 0,01 g)
* Mikrometer (presnosť 0,001 mm)
* Posuvné meradlo (presnosť 0,2 mm)
* Stopky (presnosť 0,005 s)

**Postup práce:**

1. Pomocou hustomeru určíme hustotu kvapaliny a jej neistotu merania typu B.
2. Pomocou metra odmeriame dráhu pádu guľôčky a jeho neistotu merania typu B.
3. Vyberieme viacero približne rovnakých guliek. Odmeriame hmotnosť všetkých guliek naraz a nameranú hodnotu vydelíme ich počtom. Určíme neistotu merania typu B pre hmotnosť a vydelíme ju počtom guliek.
4. Pomocou mikrometra určíme priemer jednotlivých guliek. Vypočítame priemernú hodnotu priemeru guliek a jeho neistotu merania typu A. Vydelením týchto hodnôt dvomi dostaneme priemernú hodnotu polomeru guliek 𝑟 a jeho neistotu.
5. Pomocou posuvného meradla odmeriame vnútorný priemer valca a určíme jeho hodnotu a neistotu typu B. Vydelením tejto hodnoty dvomi dostaneme hodnotu vnútorného polomeru valca 𝑅 a jeho neistotu.
6. Jednotlivo púšťame guľky do valca a pomocou stopiek meriame dobu 𝑡, za ktorú prejde guľka dráhu ℎ. Vypočítame neistotu merania typu A pre čas.
7. Určíme koeficient vnútorného trenia kvapaliny a metódou linearizácie vypočítame jeho neistotu.

**Tabuľky nameraných a vypočítaných hodnôt:**

**Priemer guľky:**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **i** | **𝑑𝑖 [mm]** | **(𝑑𝑖 − )[mm]** | **(𝑑𝑖 − )² [mm²]** |
| 1 | 4,16 | -0,673 | 0,453 |
| 2 | 4,36 | -2,673 | 7,143 |
| 3 | 4,46 | -3,673 | 13,489 |
| 4 | 4,02 | 0,727 | 0,529 |
| 5 | 3,97 | 1,227 | 1,506 |
| 6 | 4,04 | 0,527 | 0,278 |
| 7 | 3,97 | 1,227 | 1,506 |
| 8 | 4,01 | 0,827 | 0,684 |
| 9 | 4,03 | 0,627 | 0,393 |
| 10 | 3,99 | 1,027 | 1,055 |
| 11 | 4,01 | 0,827 | 0,684 |

**Výpočet priemeru:**

**Výpočet odchýlky pre i=8:**

**Čas:**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **i** | **t𝑖 [s]** | **(t𝑖 − t)[s]** | **(t𝑖 − t)²[s²]** |
| 1 | 4,54 | 1,12 | 1,25 |
| 2 | 4,63 | 1,03 | 1,05 |
| 3 | 5,13 | 0,53 | 0,28 |
| 4 | 4,63 | 1,03 | 1,05 |
| 5 | 6,06 | -0,40 | 0,16 |
| 6 | 6,28 | -0,62 | 0,39 |
| 7 | 6,10 | -0,44 | 0,20 |
| 8 | 6,34 | -0,68 | 0,47 |
| 9 | 6,12 | -0,46 | 0,21 |
| 10 | 6,22 | -0,56 | 0,32 |
| 11 | 6,17 | -0,51 | 0,26 |
| Σ | 62,22 | 5,64 |  |

**Výpočet priemeru času:**

**Výpočet odchýlky pre i=3:**

**Hustota kvapaliny:**

**Dráha pádu guľky:**

**Hmotnosť guľky:**

**Polomer guľky:**

**Vnútorný polomer valca:**

### Výpočet neistôt merania nameraných veličín:

#### Hustota kvapaliny:

#### Dráha pádu guľky:

#### Hmotnosť guľky:

#### Priemer guľky:

#### Neistota typu B pre priemer:

#### Celková neistota priemeru:

#### Priemer guľky so započítanou neistotou:

#### Polomer guľky:

#### Neistota typu A pre čas:

#### Neistota typu B pre čas:

#### Celková neistota času:

#### Priemerný čas so započítanou neistotou:

#### Neistota typu B pre priemer valca:

#### Neistota vnútorného polomeru valca:

#### Objem guľky:

#### Koeficient vnútorného trenia:

#### Neistota voči dráhe h:

#### Neistota voči hustote :

#### Neistota voči času t:

### Výpočet derivácie koeficientu vnútorného trenia podľa polomeru guľky:

#### Derivácia podľa vnútorného polomeru valca (R):

#### Derivácia podľa času (t):

### Výpočet celkovej neistoty koeficientu vnútorného trenia (δη):

#### Výpočet jednotlivých členov:

#### Celková neistota

### Výpočet relatívnej neistoty koeficientu vnútorného trenia (​):

#### Výpočet:

**Záver:**

Počas laboratórneho cvičenia sme určili hustotu kvapaliny, hmotnosť guliek, ich polomer, vnútorný polomer valca, v ktorom sa nachádza kvapalina, a čas, za ktorý guľka prejde dráhu 0,8 m rovnomerným pohybom. Tieto hodnoty sme použili na výpočet koeficientu vnútorného trenia kvapaliny. Výsledné hodnoty nameraných veličín sú:

* Dráha pádu guľky ():
* Hustota kvapaliny (ρ):
* Hmotnosť guľky ():
* Polomer guľky (r):
* Vnútorný polomer valca (R):
* Priemerný čas ():

Na základe týchto hodnôt sme nepriamo určili koeficient vnútorného trenia kvapaliny. Chyba merania bola približne 4,62%. Hodnota koeficientu vnútorného trenia kvapaliny je:

Táto hodnota je zaokrúhlená na najmenší počet významných číslic nameraných veličín. Výsledky meraní sú v súlade s teoretickými predpokladmi, pričom relatívna neistota merania je veľmi nízka, čo svedčí o vysokej presnosti experimentu.

Hlavné zdroje neistoty zahŕňajú neistotu merania dráhy, hustoty, hmotnosti, polomeru guľky, vnútorného polomeru valca a času. Tieto zdroje chýb boli minimalizované starostlivým meraním a použitím presných prístrojov.