|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA LABORATORYJNEGO Z FIYZKI NR 5 | | | | |
| KOLEGIUM KARKONOWSKIE  w Jeleniej Górze  INSTYTUT TECHNIKI | | | Temat ćwiczenia: Wyznaczanie współczynnika lepkości cieczy metodą Stokesa.  (ćwiczenie nr 5) | |
| Imię i nazwisko: | | | Data wykonania  ćwiczenia:  31.5.2007 | Ocena: |
| Specjalizacja  EiT | Semestr  II | Grupa  IV |

**Cel ćwiczenia**

Badanie ruchu ciał spadających w ośrodku ciekłym oraz wyznaczenie współczynnika lepkości cieczy metodą Stokesa.

**Wstęp teoretyczny**

Lepkością lub tarciem wewnętrznym nazywamy zjawisko występowania sił stycznych przeciwstawiających się przemieszczeniu jednych części ciała względem innych jego części. Zjawisko to powstaje na skutek ruchów cieplnych cząstek oraz sił międzycząsteczkowych. Wskutek działania siły tarcia wewnętrznego występującego między warstwami cieczy, poruszająca się warstwa pociąga za sobą warstwy sąsiadujące z nią z prędkością tym bardziej zbliżoną do prędkości własnej, im ciecz jest bardziej lepka. Analogicznie – spoczywająca warstwa hamuje poruszające się warstwy sąsiednie. Ze względu na to, że wszystkie rzeczywiste ciecze są lepkie zjawisko lepkości odgrywa istotną rolę podczas przepływu cieczy oraz podczas ruchu ciała stałego w ośrodku ciekłym.

Prawo empiryczne określające siłę oddziaływania występującą między dwiema warstwami cieczy podał Newton. Można je wyrazić wzorem:



Zjawisko lepkości, podobnie jak dyfuzja i przewodnictwo cieplne, należy do grupy zjawisk obejmowanych wspólną nazwą zjawisk transportu. W zjawiskach lepkości, dzięki ruchom cieplnym cząstek cieczy, mamy do czynienia z transportem pędu między warstwami poruszającymi się z różną prędkością. Ten właśnie transport sprzyja wyrównaniu się prędkości w całym strumieniu przepływającej cieczy.

Ciało stałe, poruszające się w ośrodku ciekłym, napotyka na opór. W otoczeniu ciała obserwujemy wtedy ruch cieczy. Mechanizm tego zjawiska jest następujący: warstwa cieczy, przylegająca do powierzchni poruszającego się ciała, wprawia w ruch pozostałe warstwy cieczy. Tak więc istotną rolę odgrywa tu lepkość cieczy. Dla ciał o symetrii osiowej poruszającego się w kierunku osi, wypadkowa siła oporu działa przeciwstawnie do kierunku ruchu. Doświadczalnie stwierdzono, że dla małych prędkości siła tarcia wewnętrznego *Ft* jest wprost proporcjonalna do prędkości *v*, zależy od charakterystycznego wymiaru liniowego ciała *l* oraz od współczynnika lepkości cieczy .

Równanie określające siłę oporu (tarcia wewnętrznego) ma postać:

*Ft = -alv*

gdzie *a* jest to stała zależna od kształtu ciała. Dla kuli o promieniu r (l = r) mamy *a*=6 i równanie przechodzi w tzw. prawo Stokesa:

*Ft = -6rv*

Rozpatrzmy ruch małej kulki o promieniu r, spadającej swobodnie w cieczy lepkiej. Na kulkę działają siły:

- ciężar kulki *P=mg=Vg*,

- siła wyporu Archimedesa *W=-’Vg*,

-ściśle zatem kulka osiąga po czasie nieskończenie długim. W rzeczywistości jednak już po niedługim czasie ruch można z dobrym przybliżeniem uważać za jednostajny. Podstawiając do tego wzoru A i B, otrzymujemy



**Tabele pomiarowe**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Masa i średnica kulek** | | | | | | | | | | | |
| **1** | | | | **2** | | | | **3** | | | |
| d  [mm] | ∆d  [mm] | m  [g] | ∆m  [g] | d  [mm] | ∆d  [mm] | m  [g] | ∆m  [g] | d  [mm] | ∆d  [mm] | m  [g] | ∆m  [g] |
| 15,80 | 0,01 | 5,54 | 0,00 | 15,55 | 0,01 | 5,10 | 0,00 | 13,90 | 0,00 | 3,48 | 0,00 |
| 15,84 | 0,03 | 5,53 | 0,01 | 15,51 | 0,03 | 5,10 | 0,00 | 13,89 | 0,01 | 3,47 | 0,01 |
| 15,83 | 0,02 | 5,55 | 0,01 | 15,52 | 0,02 | 5,10 | 0,00 | 13,91 | 0,01 | 3,48 | 0,00 |
| 15,78 | 0,03 | 5,52 | 0,02 | 15,56 | 0,02 | 5,09 | 0,01 | 13,90 | 0,00 | 3,49 | 0,01 |
| 15,81 | 0,00 | 5,54 | 0,00 | 15,55 | 0,01 | 5,11 | 0,01 | 13,92 | 0,02 | 3,47 | 0,01 |
| 15,79 | 0,02 | 5,53 | 0,01 | 15,53 | 0,01 | 5,10 | 0,00 | 13,89 | 0,01 | 3,50 | 0,02 |
| 15,80 | 0,01 | 5,55 | 0,01 | 15,57 | 0,03 | 5,10 | 0,00 | 13,90 | 0,00 | 3,48 | 0,00 |
| 15,83 | 0,02 | 5,54 | 0,00 | 15,55 | 0,01 | 5,10 | 0,00 | 13,90 | 0,00 | 3,47 | 0,01 |
| 15,83 | 0,02 | 5,52 | 0,02 | 15,54 | 0,00 | 5,11 | 0,01 | 13,89 | 0,01 | 3,49 | 0,01 |
| 15,80 | 0,01 | 5,54 | 0,00 | 15,56 | 0,02 | 5,09 | 0,01 | 13,90 | 0,00 | 3,47 | 0,01 |
| *15,81* | *0,02* | *5,54* | *0,01* | *15,54* | *0,02* | *5,10* | *0,00* | *13,90* | *0,01* | *3,48* | *0,01* |
| **4** | | | | **5** | | | | **6** | | | |
| d  [mm] | ∆d  [mm] | m  [g] | ∆m  [g] | d  [mm] | ∆d  [mm] | m  [g] | ∆m  [g] | d  [mm] | ∆d  [mm] | m  [g] | ∆m  [g] |
| 11,06 | 0,00 | 1,80 | 0,00 | 8,01 | 0,00 | 0,38 | 0,01 | 5,95 | 0,01 | 0,30 | 0,01 |
| 11,05 | 0,01 | 1,81 | 0,01 | 8,02 | 0,01 | 0,39 | 0,01 | 6,00 | 0,04 | 0,31 | 0,00 |
| 11,04 | 0,02 | 1,79 | 0,01 | 8,00 | 0,01 | 0,40 | 0,02 | 5,93 | 0,03 | 0,32 | 0,01 |
| 11,06 | 0,00 | 1,80 | 0,00 | 8,03 | 0,02 | 0,38 | 0,01 | 5,99 | 0,03 | 0,33 | 0,02 |
| 11,07 | 0,01 | 1,79 | 0,01 | 8,00 | 0,01 | 0,39 | 0,01 | 5,94 | 0,02 | 0,31 | 0,00 |
| 11,05 | 0,01 | 1,79 | 0,01 | 8,01 | 0,00 | 0,37 | 0,02 | 5,90 | 0,06 | 0,31 | 0,00 |
| 11,08 | 0,02 | 1,80 | 0,00 | 8,02 | 0,01 | 0,39 | 0,01 | 5,94 | 0,02 | 0,32 | 0,01 |
| 11,04 | 0,02 | 1,81 | 0,01 | 8,03 | 0,02 | 0,40 | 0,02 | 5,96 | 0,00 | 0,29 | 0,02 |
| 11,05 | 0,01 | 1,82 | 0,02 | 8,01 | 0,00 | 0,38 | 0,01 | 5,99 | 0,03 | 0,30 | 0,01 |
| 11,06 | 0,00 | 1,80 | 0,00 | 8,00 | 0,01 | 0,37 | 0,02 | 6,00 | 0,04 | 0,31 | 0,00 |
| *11,06* | *0,01* | *1,80* | *0,01* | *8,01* | *0,01* | *0,39* | *0,01* | *5,96* | *0,03* | *0,31* | *0,01* |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Czas spadania kulek** | | | | | | | | | | | |
| **1** | | **2** | | **3** | | **4** | | **5** | | **6** | |
| t  [s] | ∆t  [s] | t  [s] | ∆t  [s] | t  [s] | ∆t  [s] | t  [s] | ∆t  [s] | t  [s] | ∆t  [s] | t  [s] | ∆t  [s] |
| 0,516 | 0,010 | 0,512 | 0,010 | 0,655 | 0,011 | 0,835 | 0,040 | 6,375 | 0,233 | 1,472 | 0,189 |
| 0,549 | 0,023 | 0,540 | 0,018 | 0,636 | 0,030 | 0,964 | 0,089 | 6,756 | 0,148 | 1,716 | 0,055 |
| 0,495 | 0,031 | 0,493 | 0,029 | 0,636 | 0,030 | 0,881 | 0,006 | 6,466 | 0,142 | 1,772 | 0,112 |
| 0,520 | 0,006 | 0,470 | 0,052 | 0,701 | 0,035 | 0,876 | 0,001 | 6,355 | 0,253 | 1,592 | 0,069 |
| 0,501 | 0,025 | 0,553 | 0,031 | 0,657 | 0,009 | 0,912 | 0,037 | 6,538 | 0,070 | 1,668 | 0,007 |
| 0,580 | 0,054 | 0,489 | 0,033 | 0,703 | 0,037 | 0,890 | 0,015 | 6,492 | 0,116 | 1,598 | 0,063 |
| 0,595 | 0,069 | 0,540 | 0,018 | 0,623 | 0,043 | 0,809 | 0,066 | 6,443 | 0,165 | 1,615 | 0,046 |
| 0,457 | 0,069 | 0,488 | 0,034 | 0,671 | 0,005 | 0,910 | 0,035 | 6,559 | 0,049 | 1,771 | 0,111 |
| 0,531 | 0,005 | 0,563 | 0,041 | 0,706 | 0,040 | 0,835 | 0,040 | 6,956 | 0,348 | 1,823 | 0,163 |
| 0,519 | 0,007 | 0,576 | 0,054 | 0,669 | 0,003 | 0,840 | 0,035 | 7,140 | 0,532 | 1,578 | 0,083 |
| *0,526* | *0,030* | *0,522* | *0,032* | *0,666* | *0,024* | *0,875* | *0,036* | *6,608* | *0,206* | *1,661* | *0,090* |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Gęstość kulek** | | | | | | | | | | | |
| **1** | | **2** | | **3** | | **4** | | **5** | | **6** | |
| ρk  [kg/m3] | ∆ ρk  [kg/m3] | ρk  [kg/m3] | ∆ ρk  [kg/m3] | ρk  [kg/m3] | ∆ ρk  [kg/m3] | ρk  [kg/m3] | ∆ ρk  [kg/m3] | ρk  [kg/m3] | ∆ ρk  [kg/m3] | ρk  [kg/m3] | ∆ ρk  [kg/m3] |
| 2674 | 0,05 | 2593 | 0,02 | 2475 | 0,06 | 2545 | 0,04 | 1429 | 0,05 | 2797 | 0,03 |



gdzie:  - promień kulki, m – masa kulki

**Gęstość gliceryny**

**1,26 g/cm³ = 1260 kg/m3**

**Odległość między pierścieniami**

**h = 26cm = (0,26 ± 0,1)m**

**Przyspieszenie ziemskie**

**g = 9,81 [m/s2]**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Współczynnik lepkości** | | | | | | | |
| **Nr**  **kulki** | **d**  **[mm]** | **ρk**  **[kg/m3]** | **t**  **[s]** | **V=h/t**  **[m/s]** | **η**  **[(N\*s)/m2]** | **∆η**  **[(N\*s)/m2]** | **δη**  **[%]** |
| 1 | 15,81 | 2674 | 0,526 | 0,494 | **0,389** | 0,006 | 1,54 |
| 2 | 15,54 | 2593 | 0,522 | 0,498 | **0,352** | 0,010 | 2,84 |
| 3 | 13,90 | 2475 | 0,666 | 0,391 | **0,328** | 0,023 | 7,01 |
| 4 | 11,06 | 2545 | 0,875 | 0,297 | **0,288** | 0,019 | 6,60 |
| 5 | 8,01 | 1429 | 6,608 | 0,039 | **0,150** | 0,009 | 6,00 |
| 6 | 5,96 | 2797 | 1,661 | 0,157 | **0,190** | 0,017 | 8,95 |

**Przykładowe obliczenia**

**Wyznaczanie gęstości kul**



Błąd k wyznaczymy z różniczki zupełnej:

 



**wyznaczenie współczynnika lepkości**







Błąd wyznaczenia współczynnika lepkości wyznaczymy z różniczki zupełnej:











=2⋅4,75⋅10-3⋅9,81⋅1,47⋅(7,74-1,24)⋅103⋅0,01⋅10-3/(18⋅0,255)+(4,75⋅10-3)2⋅9,81⋅(7,74-1,24)⋅103⋅0,01/(18⋅0,255)+(4,75⋅10-3)2⋅9,81⋅1,47⋅0,05/(18⋅0,255)+(4,75⋅10-3)2⋅9,81⋅1,47⋅(7,74-1,24)⋅103⋅0,1⋅10-2/(18⋅0,255)=0,006 [Nsm-2]

=2⋅15,07⋅9,81⋅1,18⋅(2,49-1,24)⋅0,03⋅10-3/(18⋅0,255)+(15,07⋅10-3)2⋅9,81⋅(2,49-1,24)⋅103⋅0,01/(18⋅0,255)+(15,07⋅10-3)2⋅9,81⋅1,18⋅0,02/(18⋅0,255)+(15,07⋅10-3)2⋅9,81⋅1,18⋅(2,49-1,24)⋅103⋅10-3/(18⋅0,255)=0,010 [Nsm-2]

=2⋅11,8⋅10-3⋅9,81⋅5,21⋅(1,56-1,24)⋅103⋅0,1⋅10-3/(18⋅0,255)+(11,8⋅10-3)2⋅9,81⋅(1,56-1,24)⋅103⋅0,15/(18⋅0,255)+(11,8⋅10-3)2⋅9,81⋅5,21⋅0,04/(18⋅0,255)+(11,8⋅10-3)2⋅9,81⋅5,21⋅(1,56-1,24)⋅103⋅0,1⋅10-2/(18⋅0,255)=0,023 [Nsm-2]

 = 0,006/0,389⋅100% = 0,54[%]

 = 0,010/0,352⋅100% = 2,84 [%]

 = 0,023/0,328⋅100% = 7,01 [%]

**OSTATECYNIE WSPÓŁCZYNNIK LEPKOŚCI CIECZY WYNOSI**

**η1 = (0,389 ± 0,006) **

**η2 = (0,352 ± 0,010) **

**η3 = (0,328 ± 0,023) **

**η4 = (0,288 ± 0,019) **

**η5 = (0,150 ± 0,009) **

**η6 = (0,190 ± 0,017) **

**Wnioski**

Wyznaczony przeze mnie współczynnika lepkości cieczy za pomocą trzech kulek o różnej masie i objętości jest zgodny co do rzędu wielkości z innymi współczynnikami lepkości. Współczynnik ten nie jest największym z możliwych współczynników jaki ma gliceryna ani też najmniejszym jaki posiada woda. Jeżeli odpowiednio dobiorę błędy wyznaczenia współczynnika lepkości poprzez trzy kulki to otrzymam identyczne wielkości tego współczynnika. Przy obliczaniu błędu z jakim obliczymy współczynnik największy udział mają błędy względne czasu spadania kulki w cylindrze oraz gęstość cieczy i substancji z jakiej została zrobiona kulka. Natomiast najmniejszy wpływ mają błędy względne pomiaru odległości między pierścieniami, przyspieszenia ziemskiego. Średni wpływ ma błąd względna pomiaru promienia kulki. Błędy te można zmniejszyć stosując dokładniejsze urządzenia pomiarowe np. areometr, linijka, stoper. Bardzo przydatnym tzn. w znacznej mierze zmniejszającym błąd pomiaru byłoby zastosowanie fotokomórki przy pomiarze czasu spadania kulki, w ten sposób udałoby się nam ograniczyć wpływ czasu reakcji, który wnosi bardzo duży błąd.