Wstęp teoretyczny

Zjawisko lepkości, nazywane również oporem wewnętrznym, występuje w cieczach i gazach i jest związane z ruchem cząsteczek tych substancji. Gdy płyn porusza się względem nieruchomych powierzchni obiektu lub gdy obiekt porusza się względem nieruchomego płynu, zjawisko lepkości powoduje opór wobec ruchu. Oznacza to, że najbardziej zewnętrzne warstwy płynu poruszającego się wzdłuż powierzchni obiektu przemieszczają się szybciej niż te bliżej powierzchni obiektu. Aby utrzymać ruch, siła musi pokonać ten opór lepkości. W naszym eksperymencie badaliśmy zjawisko przepływu płynu wewnątrz niewielkiej rurki kapilarnej, gdzie najszybszy strumień płynu przemieszczał się wzdłuż osi rurki, podczas gdy strumienie bliżej ścianki rurki przemieszczały się wolniej.

Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia było wyznaczenie współczynnika lepkości powietrza metodą kapilarną η [Pas]. Podczas ćwiczenia wyznaczono również:

* Gęstość powietrza ρp [kg/m3]
* Średnią prędkość cząsteczek powietrza v [m/s]
* Długość drogi swobodnej pomiędzy zderzeniami λ [m]
* Średnicę efektywną cząsteczek powietrza [m?]
* Liczbę Reynoldsa dla przepływu powietrza przez rurkę kapilarną Re [bezwymiarowa]

Układ pomiarowy:

Układ pomiarowy na którym wykonywano doświadczenie składał się z:

* Butli z wodą
* Menzurki
* Rurki kapilarnej (r=0,4mm, l=100mm)
* Manometru
* Termometru
* Barometru

Przebieg doświadczenia:

Na początku wykonano pomiar temperatury i ciśnienia panującego w pracowni. Całe doświadczenie polegało na odkręceniu zaworu butli, kiedy równica ciśnień ustabilizowała się na manometrze, rozpoczęto pomiar objętości wylatującej wody i równicy ciśnień oraz czasu. Wykonano 10 pomiarów.

Obliczenia

1. Dla każdej i-tej trójki danych obliczono lepkość powietrza stosując wzór:

ηi = ∆hiti

Do obliczeń przyjęto:

* gęstość wody 3
* Przyspieszenie ziemskie G = 9,8 m/s2
* promień rurki kapilarnej r = 0,4mm
* długość rurki l = 100mm

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| i | Objętość wody Vi, [cm3] | Różnica poziomów Δhi, [cm] | Czas wypływu ti, [s] | Współczynnik lepkości ηi [Pa\*s (10-6)] |
| 1 | 100 | 7,3 | 32,28 | 23,134 |
| 2 | 100 | 7,1 | 31,28 | 21,803 |
| 3 | 100 | 6,9 | 32,06 | 21,718 |
| 4 | 100 | 6,9 | 32,81 | 22,226 |
| 5 | 125 | 7,1 | 42,35 | 23,616 |
| 6 | 150 | 7,2 | 46,77 | 22,01 |
| 7 | 150 | 7 | 48,59 | 22,262 |
| 8 | 150 | 7 | 47,84 | 21,918 |
| 9 | 175 | 6,9 | 58,19 | 22,525 |
| 10 | 450 | 7 | 145 | 22,144 |

1. Niepewności pomiarowe

Poniżej określono niepewności pomiarowe:

* Manometr - b (Δh) = 1 mm
* Menzurka - b (V) = 5ml
* Stoper - b(t) = 0,01s

1. Wyznaczenie niepewności pomiarowych współczynnika lepkości , korzystając z prawa przenoszenia niepewności pomiarowych dla każdej trójki danych. Do wyznaczenia niepewności użyto wzoru:

Tabela dla wyznaczonych niepewności pomiarowych:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| i | Współczynnik lepkości ηi [Pa\*s (10-6)] | Niepewność pomiarowa u(ηi) [10-6] |
| 1 | 23,134 | 2,1 |
| 2 | 21,803 | 2,2 |
| 3 | 21,718 | 2,4 |
| 4 | 22,226 | 2,4 |
| 5 | 23,616 | 2,2 |
| 6 | 22,01 | 1,6 |
| 7 | 22,262 | 2,5 |
| 8 | 21,918 | 2,6 |
| 9 | 22,525 | 2,5 |
| 10 | 22,144 | 1,6 |

1. Wyznaczenie średniej ważonej współczynnika lepkości powietrza oraz średniej ważonej niepewności pomiarowej. Skorzystano z poniższych wzorów:

* Na średnią ważoną lepkości powietrza:

Gdzie:

* Na średnią ważoną niepewności:

|  |  |
| --- | --- |
| Średnia ważona współczynnika lepkości i [Pa\*s (10-6)] | Średnia ważona niepewności  u(i) [10-6] |
| 22,322 | 0,673 |

1. Odczytano za pomocą termometru i barometru wskazania temperatury i ciśnienia panującego w pracowni.

|  |  |
| --- | --- |
| Temperatura [°C] | Ciśnienie [hPa] |
| 25 | 990 |

1. Wyznaczenie gęstości powietrza. Do obliczeń skorzystano z poniższego wzoru:

Gdzie:

* Masa molowa powietrza 28,87 kg/mol
* Uniwersalna stała gazowa R = 8,31 J/(molK)

|  |  |
| --- | --- |
| Gęstość powietrza kg/m3 | 1,154 |

1. Niepewności pomiarowe:

Poniżej określono niepewności pomiarowe ub(T) i ub()

* Termometr - ub(T) = 1°C
* Barometr - ub() = 1hPa

1. Wyznaczenie niepewności pomiarowych gęstości powietrza u(), korzystając z prawa przenoszenia niepewności pomiarowych. Do wyznaczenia niepewności użyto wzoru:

|  |  |
| --- | --- |
| Niepewność pomiarowa [kg/m3] | 0,07 |

1. Wyznaczanie średniej arytmetycznej prędkości cząsteczek powietrza. Do obliczeń użyto wzoru:

|  |  |
| --- | --- |
| Średnia prędkość arytmetyczna cząsteczek powietrza v[m/s] | 467,48 |

1. Wyznaczenie niepewności pomiarowych prędkości arytmetycznej cząsteczek powietrza u(v), korzystając z prawa przenoszenia niepewności pomiarowych. Do wyznaczenia niepewności użyto wzoru:

|  |  |
| --- | --- |
| Niepewność pomiarowa u(v) [m/s] | 0,626 |

1. Wyznaczanie średniej długości drogi swobodnej cząsteczek powietrza. Do obliczeń użyto wzoru:

|  |  |
| --- | --- |
| Średnia długość drogi swobodnej cząsteczki powietrza [m] | 1,24 10-7 |

1. Wyznaczenie niepewności pomiarowych średniej długości swobodnej cząsteczek powietrza u(), korzystając z prawa przenoszenia niepewności pomiarowych. Do wyznaczenia niepewności użyto wzoru:

|  |  |
| --- | --- |
| Niepewność pomiarowa średniej długości swobodnej cząsteczek powietrza [m] | 0,0996 |

1. Wyznaczenie efektywnej średnicy cząsteczek powietrza. Do obliczeń użyto wzoru:

Gdzie:

* Stała Boltzmanna k = 1,38 10-23J/K

|  |  |
| --- | --- |
| Średnica efektywna cząsteczek powietrza | 2,745 10-10 |

1. Wyznaczenie niepewności pomiarowych efektywnej średnicy cząsteczek powietrza u(), korzystając z prawa przenoszenia niepewności pomiarowych. Do wyznaczenia niepewności użyto wzoru:

|  |  |
| --- | --- |
| Niepewność pomiarowa efektywnej średnicy cząsteczek | 1.63-6 |

1. Wyznaczanie liczby Reynoldsa dla każdej i-tej trójki danych.

Gdzie:

* Prędkość przepływu powietrza przez rurkę kapilarną

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| i | Prędkość przepływu vp [m/s] | Liczba Reynoldsa |
| 1 | 6,16 | 122,97 |
| 2 | 6,36 | 134,65 |
| 3 | 6,21 | 131,89 |
| 4 | 6,06 | 125,93 |
| 5 | 5,87 | 114,78 |
| 6 | 6,38 | 133,63 |
| 7 | 6,14 | 127,35 |
| 8 | 6,24 | 131,37 |
| 9 | 5,98 | 122,61 |
| 10 | 6,17 | 128,70 |

1. Wartość krytyczna liczby Reynoldsa to 1160. Porównując każdą wyliczoną i-tą wartość liczby Reynoldsa okazuje się, że wszystkie są mniejsze od wartości krytycznej Rei<Rekr. Okazuje się, że wszystkie przepływy były laminarne.

Wnioski

Na podstawie obliczonych wartości wywnioskowano, że wszystkie przepływy przez rurkę kapilarną w każdym powtórzonym eksperymencie okazały się być laminarne. Obliczone wartości mogą odbiegać od wartości rzeczywistych, ze względu na niedokładnie wykonane pomiary np. za późna reakcja na zatrzymanie stopera lub niedokładne odczytanie wartości z podziałki manometru i/lub menzurki.