| Nr pary | Imię i nazwisko studenta | Wydział<br>kierunek<br>grupa |
|---|---|---|
| Data | Imię i nazwisko prowadzącego | Zaliczenie |

# W3. Wyznaczanie rozmiarów chloroplastów w polu odśrodkowym metodą sedymentacji

***Celem ćwiczenia*** *jest zastosowanie zjawiska sedymentacji do wyznaczenia rozmiarów cząsteczek chloroplastów*

**Zagadnienia**

Siła odśrodkowa. Zasada działania wirówki. Rozkład sił działających na cząsteczkę w wirówce. Zjawisko sedymentacji, stała sedymentacji Svedberga.

*Literatura.*

**Przestalski** Rozdział II.1. Siła dośrodkowa i reakcja odśrodkowa, **Jaroszyk** Rozdział 12.2.2; symulacja **torque.jar**

**Sedymentacja** to zjawisko osadzania cząsteczek zawiesiny pod wpływem siły ciężkości lub siły odśrodkowej.

Proces sedymentacji zawiesin makroskopowych w polu grawitacyjnym ma kilka etapów. Bezpośrednio po zakończeniu mieszania stężenie zawiesiny jest jednakowe w całym naczyniu. Na skutek opadania cząstek zawiesiny górna część płynu nie zawiera zawiesiny, a na dnie pojawia się osad. Pomiędzy zawiesiną i czystym rozpuszczalnikiem występuje ostra granica. W miarę upływu czasu granica ta przesuwa się ku dołowi równocześnie rośnie grubość osadu na dnie.

W przypadku bardzo drobnych cząstek (koloidalnych), które podlegają prawu dyfuzji, segregacji w kierunku w dół przeciwstawia się dyfuzja, skierowana w kierunku przeciwnym do powstającego gradientu stężenia, zatem w górę. Wtedy może nie dojść do opadania cząstek, lecz może ustalić się gradient stężeń (u dołu wyższy). W polu grawitacyjnym powstający gradient może być bardzo mały w przypadku bardzo małych cząstek. Aby pojawiła się sedymentacja, siła działająca na cząsteczkę (ciężar lub siła odśrodkowa) musi przewyższać przeciwnie skierowana siłę dyfuzji wynikającą z ruchów termicznych.

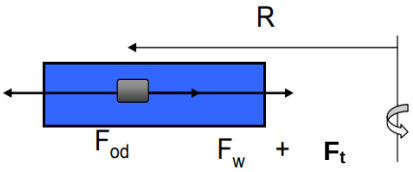
Można to przezwyciężyć używając wirówek. Pojawiająca się podczas wirowania siła odśrodkowa może mieć wielokrotnie większa wartość niż siła ciężkości. Uzyskanie dostatecznie dużych sił odśrodkowych wymaga zastosowania wirówek o specjalnej konstrukcji, tzw. ultrawirówek. Współczesne ultrawirówki umożliwiają uzyskanie sił odśrodkowych nawet 500 000 razy przekraczających siłę grawitacji.

Podczas wirowania z prędkością kątową ω na cząsteczkę o promieniu r i masie m działają:

Siła odśrodkowa $F_{od} = m\omega^2 r = V\rho\omega^2 r$

Siła tarcie dynamiczne $F_t = 6\pi\eta r\frac{dR}{dt} = V\rho\omega^2 r$

Siła wyporu $F_w = V\rho_0\omega^2 R$




gdzie: R – odległość od osi obrotu, η - współczynnik lepkości,
V – objętość cząsteczki, ρ – gęstość zawiesiny, $\rho_0$ – gęstość rozpuszczalnika.

W warunkach równowagi cząsteczka porusza się ruchem jednostajnym gdyż siła tarcia i siła wyporu równoważą siłę odśrodkową.

$$F_{od} = F_w + F_t$$

$$V\rho\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) = 6\pi\eta r \frac{1}{\omega^2 R}\frac{dR}{dt} = 6\pi\eta r S$$

gdzie S jest współczynnikiem sedymentacji: $S = \frac{1}{\omega^2 R}\frac{dR}{dt}$

Współczynnik sedymentacji S określa prędkość przemieszczania się cząsteczki roztworu na jednostkę przyśpieszenia odśrodkowego.

Na szybkość sedymentacji ma wpływ:

• różnica gęstości pomiędzy cząstkami zawiesiny $\rho$ a cieczą (rozpuszczalnikiem) $\rho_0$- Im większa różnica gęstości cząstki i cieczy, tym większa jest prędkość cząstki i tym szybciej opada mieszanina;

• lepkość płynu decydująca o tarciu pomiędzy cząstkami zawiesiny a płynem - im mniejsza lepkość dynamiczna, tym większa jest prędkość osiadania cząstki;

• średnica d (promień r) cząstki - im większa średnica (promień cząstki), tym większa jest prędkość sedymentacji cząstki.

Przyrządy i materiały: wirówka laboratoryjna, waga laboratoryjna, stoper, suwmiarka, probówki, statyw na probówki, zawiesina chloroplastów, roztwór glukozy, woda destylowana.

**Przebieg pomiarów i opracowanie wyników**

1. Napełnij jedną z probówek roztworem glukozy (do kreski).
2. Na powierzchnię roztworu glukozy nanieś 2-3 krople zawiesiny chloroplastów, zważ probówkę i zanotuj masę. $m_1$ = ……....
3. Drugą probówkę napełnij wodą. Obie probówki zrównoważ na wadze. (Probówka z wodą musi ważyć tyle samo co probówka z roztworem glukozy!) $m_2$ = ……..
4. Umieść probówki w przeciwległych gniazdach wirnika. Zamknij pokrywę wirówki.
5. Pod kontrolą osoby prowadzącej włącz wirówkę do sieci i ustaw pokrętło wyłącznika czasowego na żądany czas pracy ($\tau$ = 3 do 5 min), **obracając pokrętłem w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara**.
6. Włącz obroty wirówki i pokrętłem regulatora obrotów ustaw prędkość obrotów na **n**= 3000 obr/min. Odczytaj dokładność pomiaru prędkości **Δn =_____**

**UWAGA!!! Obroty wirówki zwiększać powoli, aby uniknąć przeciążenia silnika.**

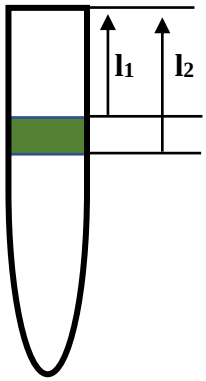
7. Zmierz stoperem czas $\tau$ od momentu włączenia wirówki do jej samoczynnego zatrzymania po upływie nastawionego czasu pracy. $\tau$ = _____
8. Korzystając z relacji $\omega = 2\pi \mathbf{n}/60$ oblicz prędkość kątową $\omega$ = _____
9. Po zatrzymaniu wirówki wyjmij ostrożnie probówkę z glukozą i zamocuj ją w uchwycie statywu.
10. Za pomocą suwmiarki zmierz odległość powierzchni swobodnej zawiesiny chloroplastów, $\mathbf{l_1}$, i pasma granicznego $\mathbf{l_2}$ od górnej krawędzi probówki (Rys. 1).

$\mathbf{l_1}$ = _____ [cm] $\mathbf{l_2}$ = _____ [cm]

Zapisz dokładność suwmiarki **Δl** = _____

11. Przyjmując, że odległość krawędzi probówek od osi obrotu w czasie wirowania przy poziomym ustawieniu probówek wynosi **r** = 3 cm, wyznacz promienie obrotu $\mathbf{x_1}$ i $\mathbf{x_2}$:

$\mathbf{x_1}$ = 3 + $\mathbf{l_1}$= _____ [cm] $\mathbf{x_2}$ = 3 + $\mathbf{l_2}$= _____ [cm]




Rys.1. Położenia $l_1$, $l_2$, które należy odczytać za pomocą suwmiarki.

12. Oblicz wartość przyspieszenia odśrodkowego **k** jako wielokrotność przyspieszenia ziemskiego na powierzchni swobodnej zawiesiny $k_1$ i w punkcie odpowiadającym położeniu pasma granicznego $k_2$:

$k_1 = \omega^2 x_1 / 9.81 =$ $k_2 = \omega^2 x_2 / 9.81 =$

13. Korzystając z poniższego równania oraz przeprowadzonych pomiarów obliczyć średnicę **d** sedymentujących cząstek. Wynik podaj w metrach.

$$d = \sqrt{\frac{18\eta\, ln(x_2/x_1)}{(\rho - \rho_0)\omega^2\tau}}$$

Do obliczeń wykorzystaj dane: gęstość roztworu glukozy $\rho$ = 1500 [kg/m$^3$ ]; gęstość roztworu chloroplastów $\rho_0$ = 1200 [kg/m$^3$]; lepkość roztworu glukozy $\eta$ = 0,006 [Ns/m$^2$].

**<u>Obliczanie błędu pomiarowego i zestawienie wyników.</u>**

1. Oblicz błąd pomiaru średnicy d cząstki metodą różniczki logarytmicznej przyjmując podstawienie $\mathbf{ln\,(x_2/x_1) = X}$ .
   Otrzymujemy wyrażenie $\Delta d/d = ½( \Delta X/X + 2\, \Delta\omega/\omega + \Delta\tau/\tau)$
   skąd po obliczeniach otrzymujemy końcowy wzór na błąd względny średnicy d:

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{1}{ln(\frac{x_2}{x_1})}\right)\frac{(x_1 - x_2)}{x_1 * x_2}\Delta x + 2\frac{\Delta n}{n} + \frac{\Delta\tau}{\tau}\right]$$

gdzie $\Delta x = \Delta l$; $\Delta n$ i $\Delta\tau$ to dokładności pomiaru odpowiednich wielkości; przyjmij $\Delta\tau$ = 0.1 s.

2. Po zaokrągleniu błędu pomiarowego zapisz, korzystając z notacji naukowej, zestawienie wyniku obliczonej średnicy sedymentacyjnej cząstek w postaci $(d \pm \Delta d)10^x$ *[jedn.SI]*.

**d =**