

## PREDKOŚĆ MIGRACJI JONÓW

**Uwaga! Jest to tylko zarys teorii wymaganej w celu przeprowadzenia ćwiczenia. Materiał teoretyczny można odnaleźć w przytoczonej bibliografii.**

Na każdy ładunek elektryczny w polu elektrycznym działa siła elektryczna  $F_{el}$  o wartości:

$$F_{el} = qE, \quad (1)$$

Gdzie  $q$  oznacza wartość ładunku elektrycznego oraz  $E$  oznacza wartość natężenia pola elektrycznego. W przypadku jonów wartość ładunku elektrycznego wyraża równanie:

$$q = z \cdot e, \quad (2)$$

gdzie  $z$  oznacza wartościowość jonu oraz  $e$  oznacza wartość ładunku elementarnego. Natężenia  $E$  pola elektrycznego i potencjał  $U$  tego pola wiąże zależność:

$$E = \frac{U}{d}, \quad (3)$$

Gdzie  $d$  oznacza odległość punktu o potencjale  $U$  od źródła wytwarzającego pole elektryczne. Pod wpływem siły elektrycznej ładunek elektryczny w próżni porusza się ruchem przyspieszonym, natomiast w ośrodku ruch ładunku jest hamowany przez siłę  $F_{op}$  oporu lepkości ośrodka. Dla niewielkich prędkości siła ta jest proporcjonalna do prędkości  $v$ :

$$F_{op} = \mu \cdot v \quad (4)$$

Dla obiektów kulistych o promieniu  $R$  poruszających się w ośrodku o lepkości  $\eta$  współczynnik proporcjonalności  $\mu = 6\pi\eta R$ . Po podstawieniu do wzoru (4) podanej postaci tego współczynnika otrzymuje się wzór Stokesa dla omawianego przypadku:

$$F_{op} = 6\pi\eta R \cdot v \quad (5)$$

Wobec tego, zgodnie z I zasadą dynamiki jon w roztworze wodnym porusza się ze stałą prędkością  $v$  nazywaną prędkością unoszenia jeżeli  $F_{el} = F_{op}$ . Oczywiście prędkość unoszenia jonu jest proporcjonalna do natężenia  $E$  pola elektrycznego:

$$v = u \cdot E \quad (6)$$

Współczynnik proporcjonalności  $u$  nazywany jest ruchliwością jonu, czyli szybkość z jaką jon porusza się pod wpływem pola elektrycznego o jednostkowym natężeniu,  $V \cdot cm^{-1}$ . Z uwagi na to, że ruchliwość jonu zależy m. in. od stężenia roztworu wprowadzono pojęcie ruchliwości granicznej ( $u_0$ ), dla roztworów nieskończenie rozcieńczonych. Graniczna wartość ruchliwości jonu pozwala na obliczenie hydrodynamicznego promienia  $R$  jonu w roztworze wodnym. Jon porusza się ze stałą prędkością jeżeli  $F_{el} = F_{op}$ , czyli

$$z \cdot e \cdot E = 6\pi\eta R \cdot v, \quad \text{skąd} \quad R = \frac{z \cdot e}{6\pi\eta u_0} \quad (7)$$

1. Wartość prędkości  $v$  unoszenia jonu w roztworze wodnym wyznacza się na podstawie wykresu zależności odległości  $\Delta l$  przebytej ze stałą prędkością przez jon od czasu  $\Delta t$ .
2. Wartość ruchliwości oblicza się na podstawie wzoru:

$$u = \frac{\Delta l}{\Delta t} \frac{d}{U}, \quad (8)$$

gdzie  $d$  jest odległością między elektrodami,  $U$  jest napięciem przyłożonym do elektrod. Wzór (7) wynika z przekształcenia wzoru (6).

3. Wartość ruchliwości granicznej  $u_0$  wyznacza się na podstawie wykresu zależności ruchliwości jonu od stężenia roztworu, dla stężenia roztworu  $c \rightarrow 0$ .
4. Wartość promienia hydrodynamicznego  $R$  oblicza się ze wzoru (7).

### **Wymagane wiadomości teoretyczne**

1. Ruch jednostajny prostoliniowy:
  - a. definicja ruchu jednostajnego prostoliniowego, parametry ruchu i ich jednostki
  - b. wykresy drogi i prędkości w zależności od czasu
  - c. wyznaczanie wartości prędkości średniej na podstawie wykresu
  - d. przeliczanie jednostek prędkości średniej, np.  $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$  na  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$
2. Opis ruchu w cieczy obiektu w kształcie kuli, ze stałą prędkością:
  - a. siła oporu (siła tarcia wewnętrznego, siła lepkości)
  - b. wzór Stokesa dla omawianego przypadku
3. Natężenie ( $E$ ) pola elektrycznego i potencjał ( $U$ ) pola elektrycznego, definicja i jednostki tych wielkości fizycznych. Związek między natężeniem i potencjałem pola elektrycznego.
4. Ruch jonów w polu elektrycznym:
  - a. siła elektryczna działająca na jon w polu elektrycznym, podać wzór
  - b. wyjaśnienie różnicy między średnią prędkością migracji jonu oraz ruchliwością jonu
  - c. definicja granicznej ruchliwości ( $u_0$ ) jonu
  - d. metoda wyznaczania granicznej wartości ruchliwości ( $u_0$ ) danego jonu
  - e. wyprowadzenie niezbędnego do obliczeń wzoru na hydrodynamiczny (efektywny) promień jonu  $\text{MnO}_4^-$

### **Literatura**

1. Cz. Bobrowski, „Fizyka – krótki kurs”, WNT, Warszawa 1993.
2. S. Mięgisz, A. Hendrich, „Wybrane zagadnienia z biofizyki” Volumed, Wrocław 1998, Wstęp do rozdziału 4.
3. „Ćwiczenia laboratoryjne z biofizyki”, Skrypt dla studentów medycyny, Akademia Medyczna we Wrocławiu, Wrocław 2002.