

PRĘDKOŚĆ 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 wiążą 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 η 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 Δl przebytej ze stałą prędkością przez jon od czasu Δt .
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 wewnętrznej, 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 MnO_4^-

Literatura

1. Cz. Bobrowski, „Fizyka – krótki kurs”, WNT, Warszawa 1993.
2. S. Miękiś, 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.