

Zmienność ładunku elektrycznego cząsteczek białkowych w funkcji pH ma kluczowe znaczenie dla ich właściwości fizykochemicznych, takich jak rozpuszczalność, stabilność koloidalna czy zdolność do migracji w polu elektrycznym (elektroforeza). Istnieje jednak szczególna wartość pH, przy której całkowity ładunek cząsteczki białka wynosi zero. W tym stanie liczba ładunków dodatnich równoważy liczbę ładunków ujemnych, a cząsteczka występuje głównie w postaci jonu obojnaczego (zwitterjonu). Wartość ta nazywana jest punktem izoelektrycznym (pI) białka.

W punkcie izoelektrycznym oddziaływania elektrostatyczne pomiędzy cząsteczkami są minimalne, co prowadzi do zmniejszenia stabilności układu koloidalnego. W efekcie obserwuje się tendencję do agregacji cząsteczek białka i ich wytrącania z roztworu. Proces ten określany jest jako koagulacja i polega na przejściu układu zolu (układu koloidalnego) w żel, czyli fazę bardziej uporządkowaną i mniej zdyspergowaną. Zjawisko odwrotne, polegające na ponownym przejściu żelu w zol, nosi nazwę peptyzacji.

Położenie punktu izoelektrycznego jest charakterystyczne dla danego białka i zależy od jego składu aminokwasowego, a w szczególności od liczby i rodzaju reszt kwasowych i zasadowych. Przykładowo, dla pepsyny pI wynosi około 1,0, dla albuminy jaja kurzego około 4,6, dla kazeiny około 4,7, dla globulin mleka około 5,2, dla hemoglobiny około 6,8, natomiast dla trypsyny około 10,5. Tak duże zróżnicowanie wynika z różnej proporcji grup zdolnych do dysocjacji w poszczególnych białkach.

Warto podkreślić, że punkt izoelektryczny odnosi się do całej populacji cząsteczek w roztworze. Oznacza to, że średni ładunek układu jest równy zero, choć poszczególne cząsteczki mogą istnieć w różnych formach jonowych. W zależności od warunków można wyróżnić dwa idealizowane przypadki: układ, w którym dominują wyłącznie jony obojnacze, oraz układ, w którym występują w równych ilościach formy kationowe i anionowe. W obu sytuacjach średni ładunek układu wynosi zero.

Zależność właściwości białek od pH można rozpatrywać również w kontekście równowag kwasowo-zasadowych poszczególnych grup funkcyjnych. Przy niskich wartościach pH grupy karboksylowe pozostają w formie niezjonizowanej ($-\text{COOH}$), natomiast grupy aminowe występują głównie jako jony amoniowe ($-\text{NH}_3^+$). W miarę wzrostu pH następuje stopniowa deprotonacja

grup karboksylowych, a przy wysokim pH również grup aminowych. W efekcie całkowity ładunek cząsteczki zmienia się od dodatniego, poprzez zerowy (pI), aż do ujemnego.

Jedną z metod wyznaczania punktu izoelektrycznego białek jest analiza ich rozpuszczalności w funkcji pH. W pobliżu pI rozpuszczalność białka osiąga minimum, co wynika ze zmniejszonego odpychania elektrostatycznego między cząsteczkami i zwiększonej skłonności do agregacji. W praktyce stosuje się układy buforowe o różnym pH i obserwuje stopień wytrącania białka, co pozwala na przybliżone określenie wartości pI.

Znajomość właściwości kwasowo-zasadowych białek oraz ich punktu izoelektrycznego ma duże znaczenie praktyczne. Wykorzystuje się je m.in. w technikach rozdzielczych, takich jak elektroforeza czy chromatografia jonowymienna, a także w procesach technologicznych związanych z oczyszczaniem i izolacją białek. Ponadto kontrola pH jest kluczowa w układach biologicznych, gdzie niewielkie zmiany odczynu mogą prowadzić do istotnych zmian struktury i funkcji białek.

Efekt Tyndalla jest zjawiskiem optycznym polegającym na rozpraszaniu światła przez cząstki koloidalne obecne w ośrodku dyspersyjnym. W wyniku tego zjawiska wiązka światła przechodząca przez układ koloidalny staje się widoczna jako jasny stożek lub „smuga świetlna”.

Zjawisko to jest charakterystyczne dla:

- układów koloidalnych (np. roztworów białek, żelatyny),
- zawiesin drobnocząsteczkowych,

natomiast nie występuje w roztworach rzeczywistych, gdzie cząstki (molekuły, jony) są zbyt małe, aby skutecznie rozpraszać światło.

Rozpraszanie światła wynika z oddziaływania fali elektromagnetycznej z cząstkami o rozmiarach porównywalnych z długością fali światła (ok. 1-1000 nm).

Pole elektryczne fali świetlnej powoduje:

- polaryzację cząstek koloidalnych,
- powstanie indukowanego momentu dipolowego,

- wtórną emisję promieniowania (rozproszenie światła).

Można to zapisać schematycznie:

$$p = \alpha E$$

gdzie:

p - moment dipolowy indukowany,

α - polaryzowalność cząstki,

E - natężenie pola elektrycznego.

Intensywność rozpraszania:

Dla małych cząstek (rozpraszanie Rayleigha) intensywność światła rozproszonego można opisać zależnością:

$$I \approx \frac{1}{\lambda^4}$$

gdzie:

- I - intensywność światła rozproszonego,
- λ - długość fali światła.

Czyli krótsze fale (niebieskie) rozpraszają silniej niż dłuższe (czerwone).

Efekt Tyndalla a typ układu:

Typ układu	Rozmiar cząstek	Efekt Tyndalla
Roztwór właściwy	< 1 nm	brak
Koloid	1-1000 nm	obecny
Zawiesina	> 1000 nm	silny