

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛУПРОНИЦАЕМЫХ МЕМБРАН ЧЕРЕЗ ПРОСЛОЙКУ ЭЛЕКТРОЛИТА

С.Р. Мадуар^{1,2}, О.И. Виноградова^{1,2}

¹ *Лаборатория физико-химии модифицированных поверхностей ИФХЭ РАН,
119071, Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4; e-mail: salmaid@ya.ru*

² *МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет*

В данной работе теоретически рассмотрена задача об электростатическом взаимодействии мембран через прослойку раствора электролита. Такие задачи важны как для понимания биологических процессов, связанных с мембранным потенциалом, так и для дизайна а также управления устойчивостью суспензий синтетических объектов, таких как полиэлектролитные микрокапсулы.

Мембраны предполагались бесконечно тонкими, полупроницаемыми плоскостями. Пространство между ними заполнено разбавленным раствором электролита, а пространство вне их заполнено чистым растворителем. В системе реализуется случай так называемого Доннановского равновесия, а около мембраны образуется двойной электрический слой. При сближении мембран происходит перекрытие двойных электрических слоев и, как следствие, появляется дополнительная сила, действующая на поверхности.

Изучение системы проводили, с одной стороны, теоретически с помощью уравнения Пуассона-Больцмана с граничным условием электронейтральности мембран. В ходе теоретического анализа получены профили распределения концентраций в системе и распределение потенциала. На основе этих данных изучались зависимости расклинивающего давления от расстояния между мембранами. С другой стороны, теоретические результаты проверялись с помощью компьютерного моделирования методом молекулярной динамики. Использовали примитивную модель электролита с явно заданными ионами. Взаимодействие мембраны с одним типом ионов описывалось с помощью отталкивающего потенциала Леннарда-Джонса, а для другого типа ионов мембрана представлялась невидимой. Расклинивающее давление рассчитывалось как сумма всех сил, действующих со стороны ионов на поверхность мембраны, на единицу площади.

В результате теоретического анализа выведены приближенные асимптотические выражения для зависимости мембранного потенциала от ширины щели между мембранами. Расклинивающее давление, рассчитанное в компьютерном эксперименте, находится в качественном и количественном согласии с теорией и с простыми приближенными формулами.

Нами показано, что даже между нейтральными мембранами в растворе может существовать дальнедействующая сила отталкивания электростатического характера. При этом обнаружено два режима взаимодействия: при больших расстояниях сила спадает по экспоненциальному закону, а при малых – по степенному закону со степенью, близкой к единице. Последнее качественно отличает мембраны от классических заряженных поверхностей, рассмотренных ранее, где степень равна двум.

Наличие отталкивания между двумя мембранами объясняет стабильность растворов целого ряда биосинтетических систем, таких как полиэлектролитные микрокапсулы, липосомы и др.