

ИЗОТОПНЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ СИНТЕЗЕ ЧАСТИЦ САЖИ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ И СЛАБОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.Ф. Мышкин¹, В.А. Хан^{1,2}, М. Тихи³, А.И. Пушкарев¹, Д.А. Ижойкин⁴

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

² *Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*

³ *Карлов университет в г. Прага, г. Прага, Чешская Республика*

⁴ *Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия*

Показано, что динамика спиновых пар, протекающая в слабом постоянном магнитном поле на поверхности микро-частиц конденсированной фазы гетерогенной плазмы или на поверхности твердого тела, аналогична динамике спиновых пар радикалов в жидкости. Это обусловлено длительным взаимодействием одного из поверхностных атомов конденсированной фазы с сорбированным на этой поверхности атомом. Конверсия триплетной спиновой пары в синглетную открывает путь для перехода сорбированного атома в состав микрочастицы конденсированной фазы. Для изотопов углерода вероятность перехода сорбированного атома в состав кристаллической решетки конденсированной фазы в магнитном поле Земли на 5 порядков больше, а в поле 0.2 Тл – более чем в 80 раз больше при участии изотопа ^{13}C , чем в паре ^{12}C – ^{12}C .

Ключевые слова: низкотемпературная плазма, магнитное поле, спиновая пара, конверсия, нуклеация, изотопный эффект.

Введение

Плазменные процессы широко распространены в различных технологиях. Например, плазмо-химическое травление [1], плазменное напыление пленок [2], плазменный синтез порошков [3] и переработка сырья [4]. Возможность формирования неравновесного возбуждения компонентов плазменных систем позволяет увеличить эффективность целевого процесса [5]. В низкотемпературной плазме содержание молекул и атомов превышает 99%. Формирование целевых продуктов плазмохимических реакций, как правило, происходит с участием радикалов – частиц, имеющих неспаренные валентные электроны. В магнитном поле с индукцией менее 0.3 Тл (слабое магнитное поле) химические реакции между радикалами в жидкостях селективны по изотопам при длительном, в масштабах атомарных процессов, контакте двух радикалов. Аналогичная ситуация наблюдается в динамике спиновых пар неспаренных электронов атомов, сорбированных на поверхности твердых тел или микрочастиц с поверхностными атомами конденсированной фазы. Сорбированные атомы и атомы на поверхности твердых тел аналогичны радикалам, так как имеют неспаренные электроны.

Рассмотрим магнитный изотопный эффект [6]. В соответствии с принципом Паули спины валентных электронов, формирующих химическую связь между двумя атомами, ориентированы в противоположном направлении (синглетная пара). Из-за сохранения величины суммарного спина формирование химической связи возможно лишь при появлении синглетной пары. Это условие выполняется строго.

В постоянном магнитном поле наблюдается прецессия спинов неспаренных электронов вокруг направления магнитного поля. Для спинов неспаренных электронов двух разных атомов наблюдается биение частот прецессии. Это обуславливает периодическое появление синглетного состояния спиновой пары. Если эти атомы находятся в «клетке» и зажаты атомами жидкой фазы, то за время контакта, не превышающее периода биения, с вероятностью 1.0 формируется химическая связь. Необходимо отметить, что другими условиями для формирования химической связи являются превышение порога энергии химической реакции и быстрая релаксация энергии, выделяющейся при образовании химической связи [6].

Может показаться, из-за малости энергии магнитного взаимодействия по сравнению с энергией теплового движения атомов и молекул, что лишь в сильном магнитном поле можно достичь ощутимых изменений изотопного состава. Анализ процессов в постоянном магнитном поле 0–0.3 Тл, влияющих на скорость протекания химических реакций, приведен в работе [7]. Рассмотрение процессов, влияющих на скорость жидкофазных химических реакций, протекающих в слабом постоянном магнитном поле, позволяет распространить широко известный эффект к фазовому переходу в газовой фазе.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>