

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Лукашенко Станислава Юрьевича “Особенности использования СЗМ-зондов в нанодиагностике”, представляемой на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 (Приборы и методы экспериментальной физики).

Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ, SPM) является современной (с середины 1980х), энергично развивающейся, техникой исследования поверхности. Нанометровый (вплоть до атомарного) размер острия сканирующего зонда делает прибор информативным инструментом исследования электрических, механических, магнитных, оптических свойств поверхности и объектов, расположенных на ней. С учетом этого, актуальность исследовательской работы соискателя не вызывает ни малейших сомнений.

Цели работы, сформулированные в автореферате, соответствуют современным запросам развивающейся методики.

Исследования колебаний вольфрамового и стеклянного зондов были направлены в частности на то, чтобы уточнить, какая доля колебаний кончика зонда направлена нормально к исследуемой поверхности, а какая направлена вдоль поверхности. Колебания кончика иглы в нормальном направлении могут быть использованы для работы датчика касания «игла-поверхность» в полуконтактном колебательном режиме для поддержания нежного контакта зонда с исследуемой поверхностью. За счет консервативных (ван-дер-Ваальсовых) и неконсервативных (вязких) механизмов взаимодействия кончика иглы с поверхностью упругие свойства зонда в целом изменяются, и это приводит к изменению параметров вынужденных колебаний зонда в целом, как макроскопического колебательного элемента. Изменение средней амплитуды или фазы этих вынужденных колебаний позволяет системе обратной связи подстраивать высоту поверхности по отношению к зондирующей игле. Компонента колебательного движения, лежащая в плоскости образца, рассматривается автором как паразитное явление, поскольку увеличивает фактическую область образца, так или иначе взаимодействующую с острием зонда, и таким образом снижает разрешающую способность прибора. Несмотря на то, что колебательный принцип измерения степени контакта иглы с образцом используется в АСМ с начала 1990х, в этой области до сих пор осталось некоторое количество нерешенных проблем.

Использование углеродного острия (УНВ, нано-вискера в орфографии соискателя) для увеличения аспектного отношения и повышения пространственного разрешения зондирующей иглы является вполне естественной целью исследований. Попутно с целью разработки собственно способов изготовления УНВ, автором декларируется

использование таких нано-нитей для измерения массы частиц, оказавшихся закреплёнными на их конце. Это вполне естественное развитие идеи измерения колебательных свойств нано-нити, и измерение массы нано-частиц в диапазоне $m = 10^{-14} \dots 10^{-17} \text{ г}$ может представлять самостоятельную ценность для медицинских, биологических или нано-технологических измерений. Удивительным фактом я нахожу обнаруженную автором независимость добротности такой колебательной системы от наличия или отсутствия воздуха вокруг. Весьма вероятно, переход к молекулярным масштабам размеров делает некорректным использование вязкости окружающего воздуха как характеристики окружающей среды в среднем.

Разработка методики косвенного измерения размера наноапертуры капиллярного зонда (СКМ). Попытка исследовать и оптимизировать работу капиллярного микроскопа вызывает скорее уважение. Несмотря на то, что сама методика существует с начала 1990х годов, она опирается на значительно более сложные, спорные и противоречивые модели, чем СТМ и АСМ. В упомянутых методиках простые модели туннелирования электрона через потенциальный зазор или ван-дер-Ваальсова взаимодействия одиночных атомов скорее облегчают переход к нано-масштабам объектов, в то время как рассмотрение капиллярных, электрохимических и вязкостных эффектов в наномасштабе существенно усложняет интерпретацию происходящего. Вполне достойная цель работы – внести вклад в понимание принципов работы сканирующей капиллярной микроскопии. Хотя и неблагоприятная: блистательно простых ответов у такой задачи ждать не приходится. Использованный соискателем подход (модель Нернста-Планка, уравнения Пуассона-Нернста-Планка-Навье-Стокса) представляется вполне разумным и конструктивным. Исследование пика капиллярного тока, возникающего на кривой подвода при некоторых условиях, кажется вполне разумным.

В реферате описаны весьма интересные технические приемы, использованные автором в работе. Например, описаны нано-ловушки для закрепления наночастиц на конце зонда. Это свидетельствует о высокой экспериментальной культуре автора.

Научная новизна работы подтверждается большим числом публикаций, прошедших в журналах рецензирование. Практическая ценность работы состоит в уточнении режимов механических колебаний вольфрамовой иглы, в использовании колебательных методов для измерения массы наночастиц, в изучении режимов работы капиллярного нано-зонда. Эти результаты могут быть использованы в микробиологии, химии наночастиц, металлургии.

Полагаю, судя по автореферату, что представляемая на защиту диссертационная работа «Особенности использования СЗМ-нанозондов в нанодиагностике» по

специальности 1.3.2 («Приборы и методы экспериментальной физики») соответствует требованиям к диссертационным работам, а сам автор Лукашенко Станислав Юрьевич заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук.

В/к ст.н.сотр. ФИАН им. П.Н.Лебедева РАН
д.ф.-м.н. (2006, 01.04.05 – оптика)
Проф. факультета физики НИУ ВШЭ


Казанцев Д.В.
«07» август 2025г.
