

## АСМ и закон Гука

Сканирующая силовая микроскопия – один из наиболее мощных методов изучения объектов нанотехнологии. Самой распространенной разновидностью силовой микроскопии является атомно-силовая микроскопия, которая использует для изучения объектов зонд нанометровых размеров, закрепленный на «микропружине» – кантилевере. Кантилевер, в свою очередь, закрепляется на массивном жестком основании, как это изображено на рис.1. Кантилевер подчиняется закону Гука, т.е. его изгиб пропорционален силе, приложенной к зонду. Силовое взаимодействие конца зонда с изучаемым нанообъектом приводит к изгибу кантилевера, который обычно детектируется с помощью оптической системы.

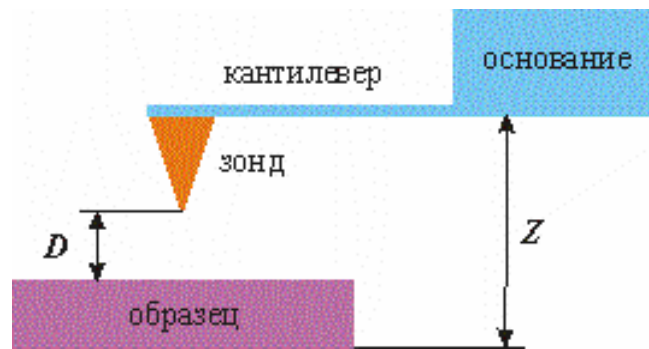


Рис.1.

Измерение сил, которые действуют на зонд атомно-силового микроскопа, когда он приближается к поверхности или удаляется от нее, является основой целого ряда методик атомно-силового микроскопии. В наиболее простом случае зависимость этой силы  $F$  от расстояния между зондом и поверхностью  $D$  (см. рис.1) выглядит так, как показано на рис.2. На участке  $AB$ , где сила становится положительной (что соответствует отталкиванию зонда от поверхности) зависимость этой силы от расстояния может быть описана функцией

$$F(D) = \frac{a}{D^{13}} + c, \text{ где } a \text{ и } c \text{ – постоянные величины.}$$

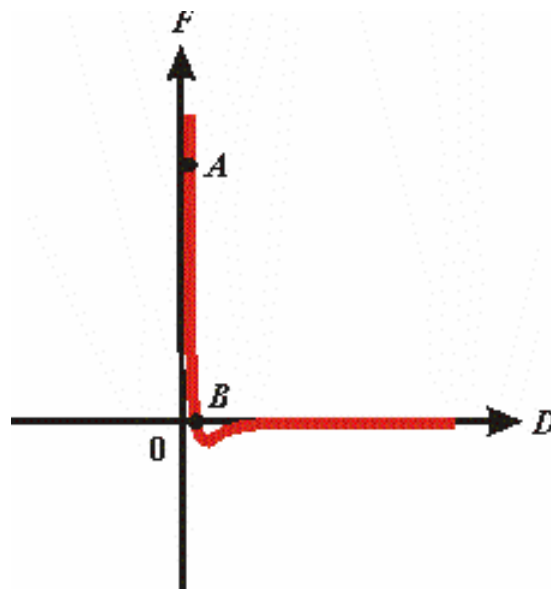


Рис.2.

При измерении сил, действующих на зонд, часто невозможно измерять расстояние  $D$  между зондом и поверхностью. Поэтому обычно контролируют расстояние  $Z$  между основанием, на котором закреплен кантилевер, и положением образца (см. рис.1), а измеряют изгиб кантилевера, пропорциональный силе, действующей на зонд. Зависимость  $F$  от  $Z$  в наиболее

простом случае, выглядит так, как изображено на рис.3. Эта зависимость на участке  $AB$  может быть описана функцией  $F(Z) = bZ + d$ , где  $b$  и  $d$  – постоянные величины.

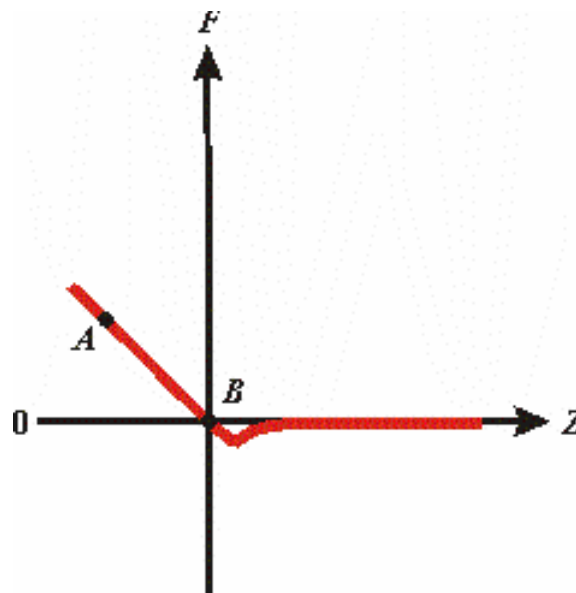


Рис.3.

1. Объясните, почему участок  $AB$  зависимости  $F(Z)$  отличается от участка  $AB$  зависимости  $F(D)$ , предполагая, что зонд и поверхность являются бесконечно твердыми. (2 балла)

2. При получении зависимости  $F(D)$  на основании экспериментально измеренной кривой  $F(Z)$  требуется установить значение расстояния  $Z$  между основанием кантилевера и образцом, соответствующее нулевому расстоянию  $D$  между зондом и поверхностью. Предложите способ, которым можно это сделать. (1 балл)

3. Предложите причину, по которой при измерении  $F(Z)$  для двух различных участков одного и того же образца одним и тем же кантилевером получились различные кривые, показанные на рис. 4. (2 балла) Зависимость силы, с которой зонд отталкивается от поверхности, от расстояния до этой поверхности считайте одинаковой на обоих участках.

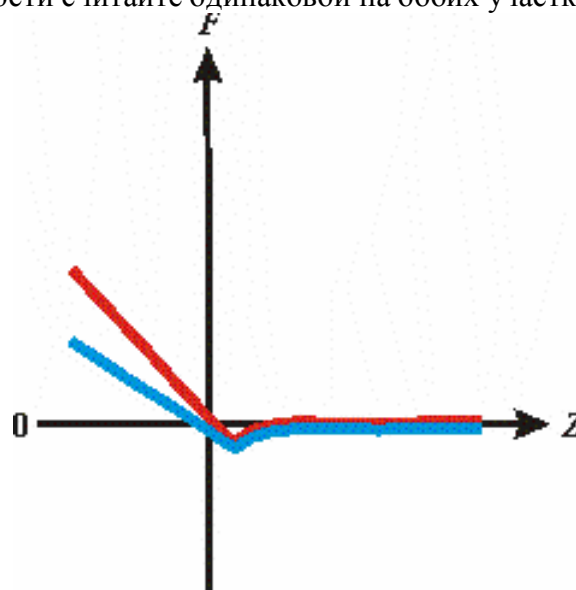


Рис.4.