

**Задача (График).** В 2008 году учёными из Калифорнийского университета и национальной лаборатории Беркли был создан новый тип масс-спектрометра («атомных весов»), позволяющий избежать предварительной ионизации измеряемой частицы.

В качестве основной детали прибора была использована нанотрубка с закрепленным на электроде концом. Частоту механических колебаний такой нанотрубки можно узнать, измеряя силу тока автоэлектронной эмиссии. При осаждении на нанотрубке частичек, массу которых мы хотим измерить, частота её колебаний меняется. По изменению частоты колебаний можно затем по известным формулам определить массу частичек, поглощенных нанотрубкой.

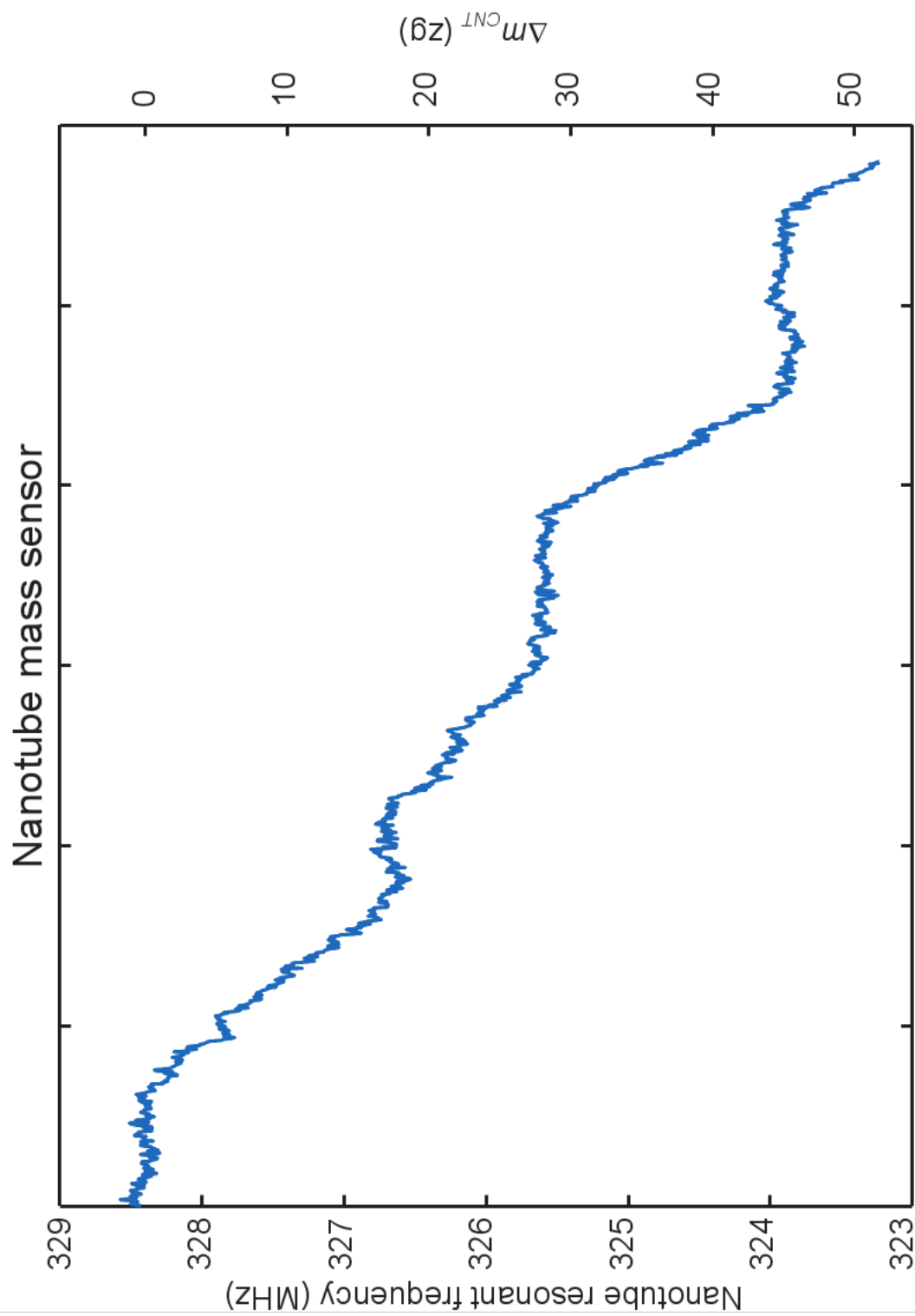
В проведенном эксперименте на некотором расстоянии от нанотрубки происходило испарение частичек золота с вольфрамовой нити. Затем эти частички осаждались на нанотрубке. При этом между нанотрубкой и нитью находилась заслонка, которая периодически закрывалась, не давая частицам золота достигать нанотрубки.

На графике изображена зависимость полученной в ходе эксперимента частоты колебаний нанотрубки от времени, прошедшего с начала эксперимента. На правой шкале изображено вычисленное по частоте колебаний изменение массы нанотрубки.

(а, 2) Отметьте на графике периоды времени, когда заслонка была закрыта.

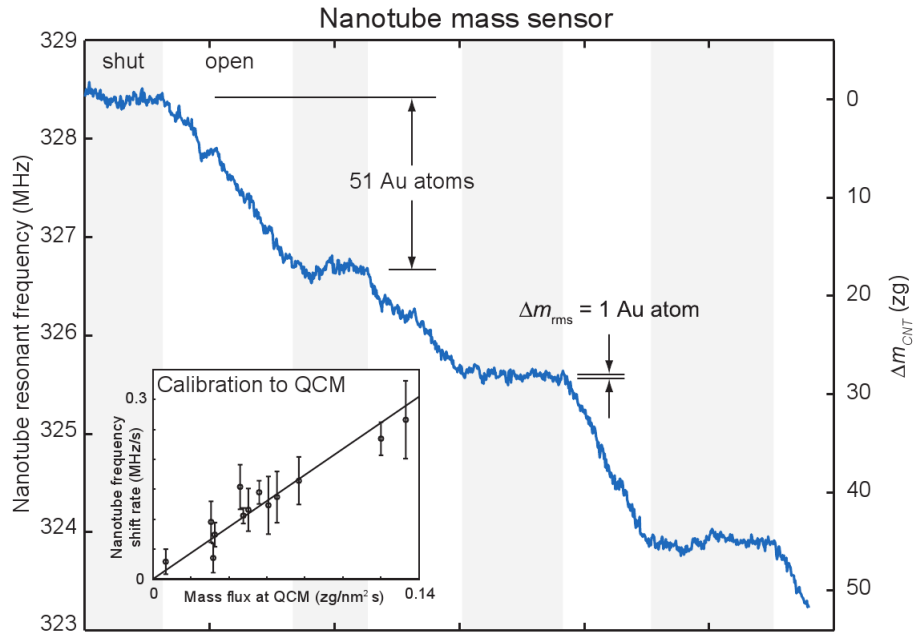
(б, 4) На графике видно, что частота нанотрубки колеблется со временем даже тогда, когда поглощения частичек золота не происходит. Этот эффект в данном случае назвали массовым шумом. Оцените погрешность атомных весов, вызванную атомным шумом.

(в, 2) Установите, сколько атомов золота поглотила нанотрубка (массу атома золота можно посмотреть в таблице).



**Решение.** Оригинал статьи можно найти по адресу <http://arxiv.org/abs/0809.2126>.

(а) Приведём оригинальный рисунок из статьи



Серыми полосками отмечены участки времени, когда заслонка была закрыта. Их можно определить по тому, что кривая идёт почти горизонтально.

(б) Для решения этого пункта надо измерить разброс значений функции в выбранных зонах, а масштаб отмечен справа. Разброс получается равным 3,27 цг. Следовательно, отклонение от среднего значения в два раза меньше, и составляет 1,63 цг.

(в) Здесь надо измерить разность между значением поглощённой массы в начале эксперимента и в его конце. Она равна 52,8 цг. Так как масса атома золота составляет 0,327 цг, получим 161,5 атомов золота. Заметим, что так как точность прибора 1,63 цг, что соответствует 5 атомам золота, то этот ответ получен с точностью до 5 атомов.