

Рубидиевые стандарты частоты Stanford Research Systems. Теоретический обзор.

9 апреля 2020

Рубидий представляет собой щелочной металл похожий на литий, натрий, калий и цезий. Есть два естественных изотопа рубидия, Rb85 и Rb87, которые имеют относительное содержание 72% и 28% соответственно. Металл имеет температуру плавления 39 ° С.

Щелочные металлы ведут себя аналогичным образом: они имеют один электрон за пределами инертного ядра. Большинство химических, электронных и спектроскопических свойств этих элементов определяются этим внешним электроном. Глубокое красное свечение низкой мощности рубидиевой газоразрядной лампы обусловлено переходами резонансных линий внешнего электрона, так как он излучает красный фотон и падает обратно в основное состояние.

Основное состояние Rb87 расщепляется очень малой энергией из-за относительной ориентации магнитных спинов электрона и ядра. Расщепление соответствует энергии фотона с (СВЧ) частотой 6,8346826128 ГГц. Именно эта частота сверхтонкого перехода будет использоваться для стабилизации выхода 10 МГц в PRS10.

Для того, чтобы увидеть, как это может быть сделано, на Рис. 1 показан типичное ядерное устройство, которое использует газоразрядную лампу, изотопный фильтр, и резонансную ячейку. Мы видим, что количество света, которое проходит через резонансную ячейку на фотодетектор, может быть уменьшено, когда резонансная ячейка подвергается воздействию микроволнового излучения на частоте сверхтонкого перехода.

Для упрощения изложения мы будем предполагать, что свет от Rb87 в газоразрядной лампе состоит только из двух линий, соответствующих переходу из одного возбужденного состояния в разделенное основное состояние. Ячейка фильтра содержит пары Rb85, которые также имеют разделенное основное состояние, а также изотопный сдвиг (по отношению к Rb87). Существует важное совпадение: одна из линий из разряда Rb87 соответствует одному из переходов в Rb85. Это позволит уменьшить интенсивность этой линии при прохождении света разряда Rb87 через пары Rb85.

Обычно атомы в основном состоянии будут равномерно распределены между расщепленных состояний, так как расщепление много меньше тепловой энергии атомов в паре. Это распределение изменяется отфильтрованным светом разряда, с помощью процесса, называемого «оптической накачкой».

Предположим, что фильтр может полностью удалить одну из двух линий разряда. Остальной свет может поглощаться атомами Rb87 в резонансной ячейке, которые находятся в нижнем состоянии, перемещая их в верхнее состояние. Когда они распадаются из верхнего состояния, они переходят с одинаковой вероятностью в любое основное состояние. По мере продолжения, населенность будет перемещаться из нижнего основного состояния в верхнее основное состояние, циркулируя через верхнее состояние. Поскольку населенность в нижнем основном состоянии уменьшается, количество света, которое достигает фотодетектора, будет возрастать, так как количество атомов, которые могут поглощать излучение уменьшается.

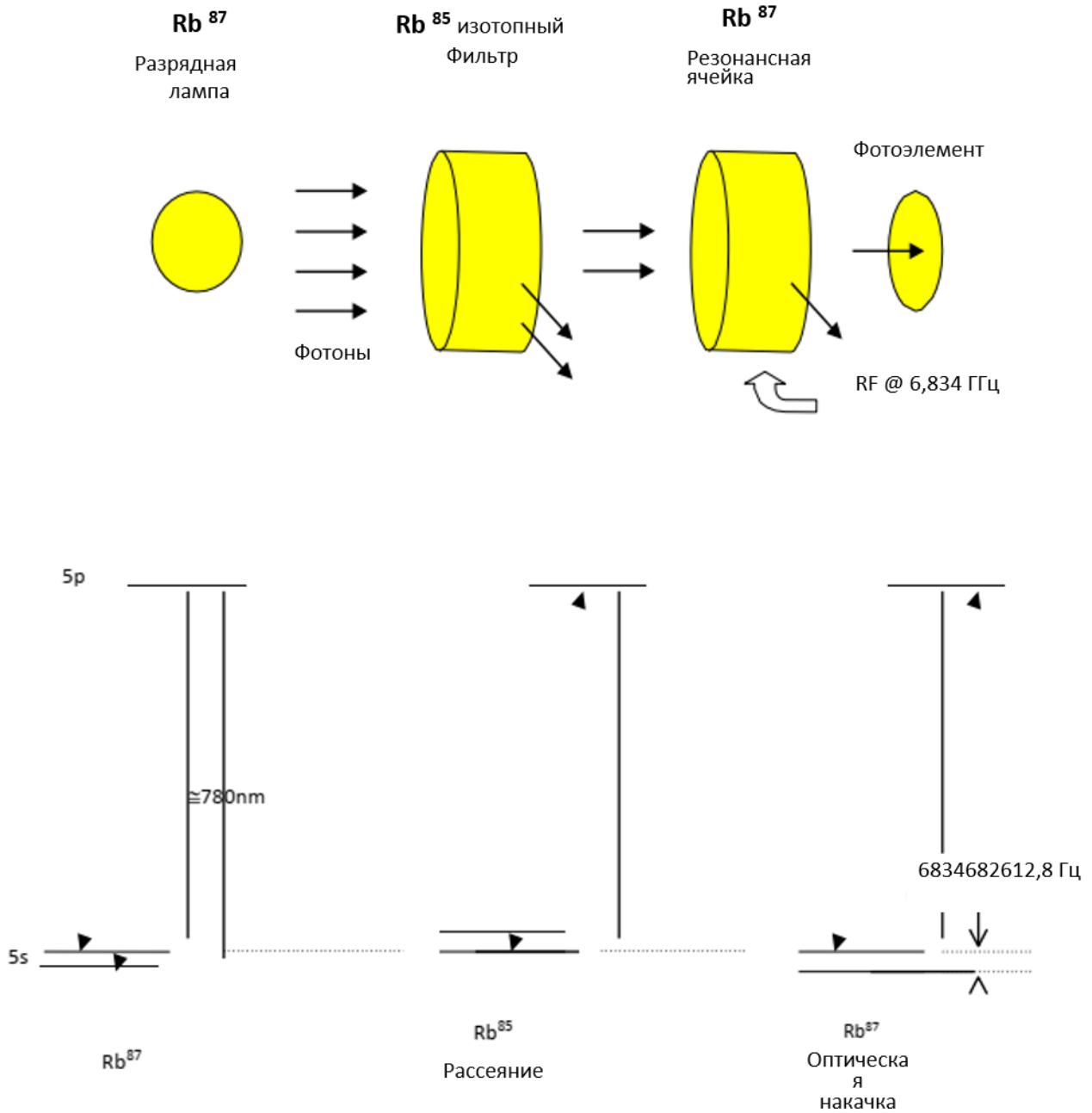


Рисунок 1. Гипотетическое рубидиевое ядерное устройство

PRS10 использует топологию «интегрированного фильтра»: вместо отдельной ячейки фильтра, резонансная ячейка содержит смесь двух изотопов рубидия, наряду с буферным газом. Лампа также содержит смесь изотопов. Изотопные смеси, буферные газы и рабочие условия выбираются таким образом, чтобы свести к минимуму температурные коэффициенты и сдвиги интенсивности видимой частоты сверхтонкого перехода.

Очевидно, частота перехода будет смещена примерно на 3 кГц от частоты естественного перехода с помощью буферного газа и спектрального профиля газоразрядной лампы. Частота перехода незначительно отличается для каждого блока, в зависимости от давления заполнения и т.д. Частота перехода также настраивается в диапазоне нескольких герц с помощью магнитного поля, которое может быть различным.

В PRS10 рубидиевое ядерное устройство действует как очень стабильный частотный детектор для частоты около 6,834 ГГц. С помощью микроволнового синтезатора частот, с опорной частотой 10 МГц ОСХО, сигнал 10 МГц может быть стабилизирован на частоту сверхтонкого перехода рубидия.