

ЛАЗЕРНОЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ЕДИНИЧНЫХ АТОМОВ

*В.И.Балыкин, В.С.Летохов, В.И.Мишин,
В.А.Семчишен*

Используя методику получения и выделения сигнала флуоресценции от одиночного атома, проведены измерения потока атомов натрия. Минимально обнаружимый поток 10 атомов/сек, что соответствует 10^{-4} атомам в зоне регистрации.

1. В настоящей работе впервые сообщается о достижении близкой к предельной чувствительности детектирования атомов оптическим методом, соответствующей обнаружению атомов натрия в атомном пучке интенсивностью 10 атомов в секунду. Это соответствует среднему количеству атомов в зоне регистрации 10^{-4} . Эксперимент основан на хорошо известном методе резонансной флуоресценции [1–4] с использованием новой методики получения и выделения сигнала флуоресценции от одиночного атома. Методика заключается в приеме сигнала флуоресценции от двух независимых фотодетекторов и регистрации совпадений от них для дискриминации актов рассеяния на одиночных атомах на фоне рассеянного света.

2. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Атомы натрия возбуждались лазером на красителе непрерывного действия М375 Спектра-Физикс, в резонатор которого для сужения линии генерации был вставлен эталон Фабри – Перо в виде плоскопараллельной стеклянной пластины толщиной 2 мм. Ширина линии генерации составляла $0,16$ см $^{-1}$. По сигналу флуоресценции от контрольной кюветы (15) на рис. 1 длина волны излучения лазера настраивалась на линию D_1 натрия. Излучение лазера направлялось в кювету (3), в которую вмонтирована печь с натрием (16). Температура печи в нашем эксперименте менялась от 45 до 90°C . Атомный пучок натрия пересекал луч лазера диаметром $0,57$ мм под углом 8° . Кювета была сконструирована так, чтобы максимально устранить рассеянный свет лазера. Кювета откачивалась до давления 10^{-4} тор. Сигнал резонансной флуоресценции регист-

рировался одновременно двумя фотоумножителями ФЭУ-79 (4). Скорость счета фотонов, регистрируемых фотоумножителями, измерялась частотомерами как от каждого канала в отдельности, так и после схемы совпадений. Уровень дискриминации выбирался так, чтобы регистрировались только одно- и многофотозлектронные импульсы.

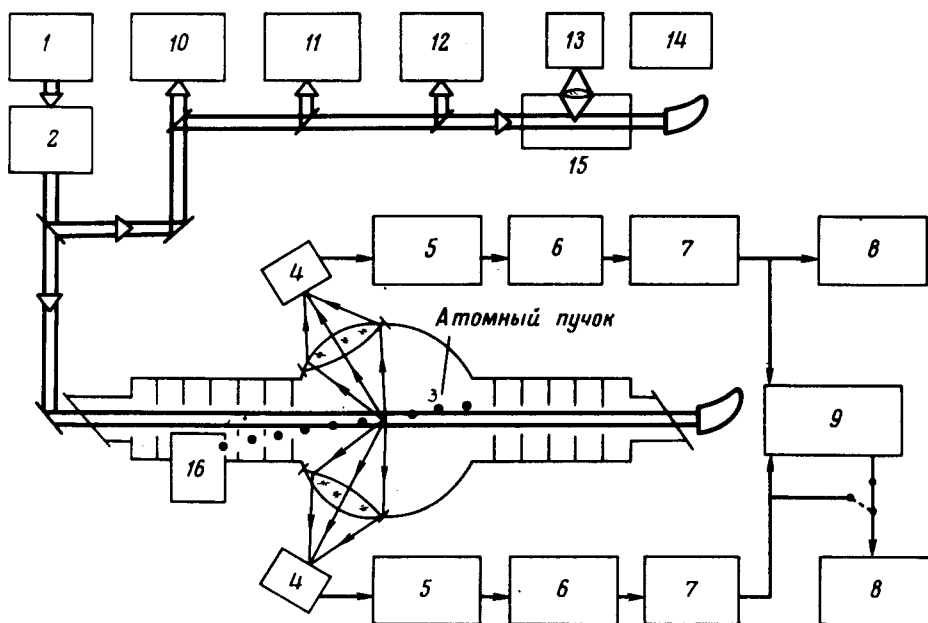


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1 – Ar II лазер; 2 – лазер на красителе непрерывного действия; 3 – кювета; 4, 13 – ФЭУ; 5 – усилитель; 6 – дискриминатор; 7 – формирователь импульсов; 8 – частотомер; 9 – схема совпадений; 10 – спектрометр; 11 – интерферометр Фабри – Перо; 12 – измеритель мощности; 14 – осциллограф; 15 – контрольная кювета с парами натрия; 16 – печь

3. На рис. 2 показано изменение скорости счета импульсов в одном канале (верхняя кривая) и после схемы совпадений при увеличении интенсивности лазерного излучения. Поток атомов при этом был постоянным.

Скорость счета импульсов от атомов натрия как в одном канале, так и после схемы совпадений получалась после вычитания скорости счета импульсов от рассеянного на кювете лазерного излучения и темного фона фотоумножителя (в этом случае частота лазера отстраивалась от резонансной). Как видно из рис. 2 при интенсивности лазерного излучения более 20 вт/см^2 , что превышает интенсивность насыщения перехода D_1 атома натрия, скорость счета импульсов в одном канале и после схемы совпадений становится одинаковой. Таким образом, за время пролета атома через луч (20 мксек) одновременно появлялся сигнал на двух фотоумножителях. В режиме, когда частота появления сигнала мала, это соответствует регистрации излучения от одного атома.

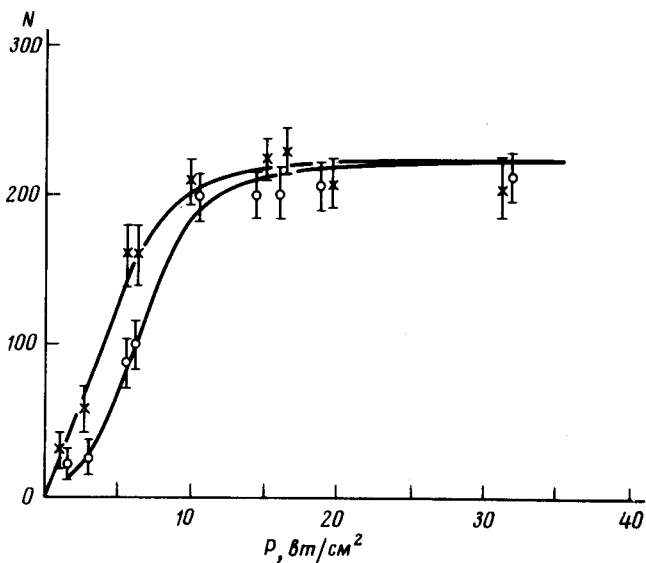


Рис. 2. Зависимость скорости счета импульсов от атомов натрия при изменении интенсивности лазерного излучения: + — в одном канале, o — после схемы совпадений

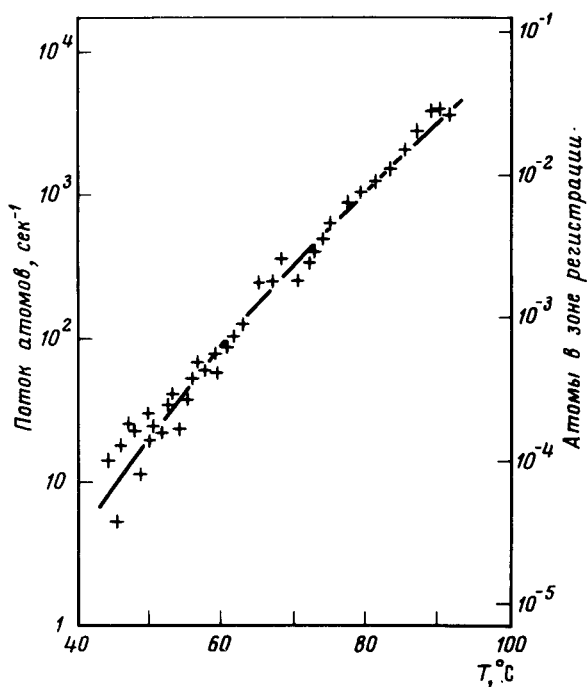


Рис. 3. Зависимость потока взаимодействующих атомов натрия от температуры печи; правая шкала — число атомов натрия в зоне регистрации

Поэтому каждый взаимодействующий с излучением атом учитывается системой регистрации. В случае изображенном на рис. 1 поток таких атомов составил 210 атомов/сек. Ошибка определялась флуктуациями рассеянного на кювете света.

В эксперименте исследовалась зависимость скорости счета импульсов после схемы совпадений при интенсивности лазерного излучения 20 Вт/см² (в этом случае скорость счета импульсов равна потоку взаимодействующих атомов) от температуры печи. Зависимость представлена на рис. 3. На вертикальной оси, слева, отложен поток взаимодействующих с излучением атомов натрия, справа число таких атомов в зоне регистрации. Минимально обнаружимый поток атомов через области регистрации составил ~ 10 атомов/сек, а минимальное детектируемое количество атомов в области взаимодействия примерно 10^{-4} атомов. Время регистрации потока было 10 сек. Поток фоновых импульсов — 500 в секунду. Порог обнаружения атомов в наших экспериментах определялся флуктуациями рассеянного на кювете лазерного излучения.

4. Увеличение эффективности сбора резонансно рассеянных фотонов, повышение квантового выхода фотоумножителя на длине волны регистрации, позволит получать импульсы от атома с амплитудой большей, чем амплитуда импульсов засветки и это позволит при использовании разработанной нами методики регистрировать пролет одного атома через луч лазера.

Благодаря высокой чувствительности, метод можно использовать для поиска сверхплотных ядер [5] по смещению линии поглощения единичных атомов, для исследования структуры ядер изотопов, получаемых на ускорителях [6], для экспериментов по поиску сверхтяжелых элементов и других атомных и ядерных систем, доступных в ограниченном и сверхмалом количестве.

Институт спектроскопии
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
16 августа 1977 г.

Литература

- [1] W.M.Fairbank, Jr., T.W.Hänsch, A.L.Schawlow. JOSA, 65, 199, 1975.
- [2] В.И.Балыкин, В.С.Летохов, В.И.Мишин, В.А.Семчишен. Письма в ЖЭТФ, 24, 475, 1976.
- [3] В.С.Летохов. УФН, 118, 199, 1976.
- [4] V.S.Letokhov. Laser Spectroscopy, Akademic-Verlag, Berlin, 1977.
- [5] В.А.Карнаухов, С.М.Поликанов. Письма в ЖЭТФ, 25, 328, 1977.
- [6] Cern Courier, 17, N 1/2, 15. 1977.