

## О РЕЗОНАНСНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ СВЯЗАННЫХ СОСТОЯНИЙ АТОМА САМАРИЯ

О.И.Куделич, А.И.Гомонай

Институт электронной физики НАН Украины,  
Университетская, 21, Ужгород, 88000  
e-mail: dep@mail.uzhgorod.ua

Методом трехфотонной резонансно-ионизационной спектроскопии исследован спектр четных высоковозбужденных состояний атома самария, лежащих в области энергий 34400 – 35800  $\text{см}^{-1}$ .

Нелинейная резонансная ионизация – как один из методов лазерной спектроскопии – является очень удобным для исследования атомов и молекул. Существенное достоинство метода – возможность наблюдения возбужденных и автоионизационных состояний, лежащих в ВУФ области спектра, с помощью перестраиваемых лазеров видимого диапазона, а также наблюдения переходов между состояниями с одинаковой четностью [1].

В данной работе методом трехфотонной резонансно-ионизационной спектроскопии исследовался спектр четных высоковозбужденных состояний атома самария, лежащих в области энергий 34400–35800  $\text{см}^{-1}$ . В литературе имеются достаточно полные данные лишь о низколежащих нечетных состояниях этого элемента [2]. Что же касается четных высоковозбужденных состояний, то такие данные практически отсутствуют. Имеется лишь одна работа, в которой методом двухступенчатой фотоионизации исследовались четные связанные состояния атома самария, лежащие в области энергий 33300–35800  $\text{см}^{-1}$  [3].

Эксперимент заключался в следующем. Излучение импульсного перестраиваемого лазера фокусировалось в пучок атомов самария. Ионы, образующиеся в результате многофотонной ионизации, вытягивались из области взаимодействия постоянным электрическим полем, разде-

лялись по массе и заряду во времяпролетном масс-спектрометре и детектировались вторичным электронным умножителем. В качестве источника излучения использовался перестраиваемый лазер FL-2001 с накачкой второй гармоникой Nd:YAG лазера. Спектральная ширина излучения не превышала 0.2  $\text{см}^{-1}$ . Для абсолютной калибровки частоты лазерного излучения использовались Cu-Ne лампа с полым катодом и интерферометр Фабри-Перо с фотодиодом, при помощи которых формировался реперный оптогальванический спектр и эквидистантные по частоте метки – максимумы пропускания интерферометра. Это позволяло производить абсолютные измерения частот с точностью  $\pm 0.2 \text{ см}^{-1}$ . Исследования проводились при линейной поляризации излучения и напряженности поля в области пересечения пучков  $\sim 10^5 \text{ В/см}$ .

В ходе эксперимента измерялась зависимость эффективности трехфотонной ионизации атома самария от частоты лазерного излучения в диапазоне  $\omega = 17200\text{--}17900 \text{ см}^{-1}$ . При этом исследовались переходы, связанные с двухфотонным возбуждением четных связанных состояний, лежащих в области энергий 34400–35800  $\text{см}^{-1}$ . Фрагмент измеренной нами зависимости приведен на рис. 1. Стрелками отмечены максимумы, соответствующие двухфотонному возбуждению состояний, наблюдавшихся в [3].

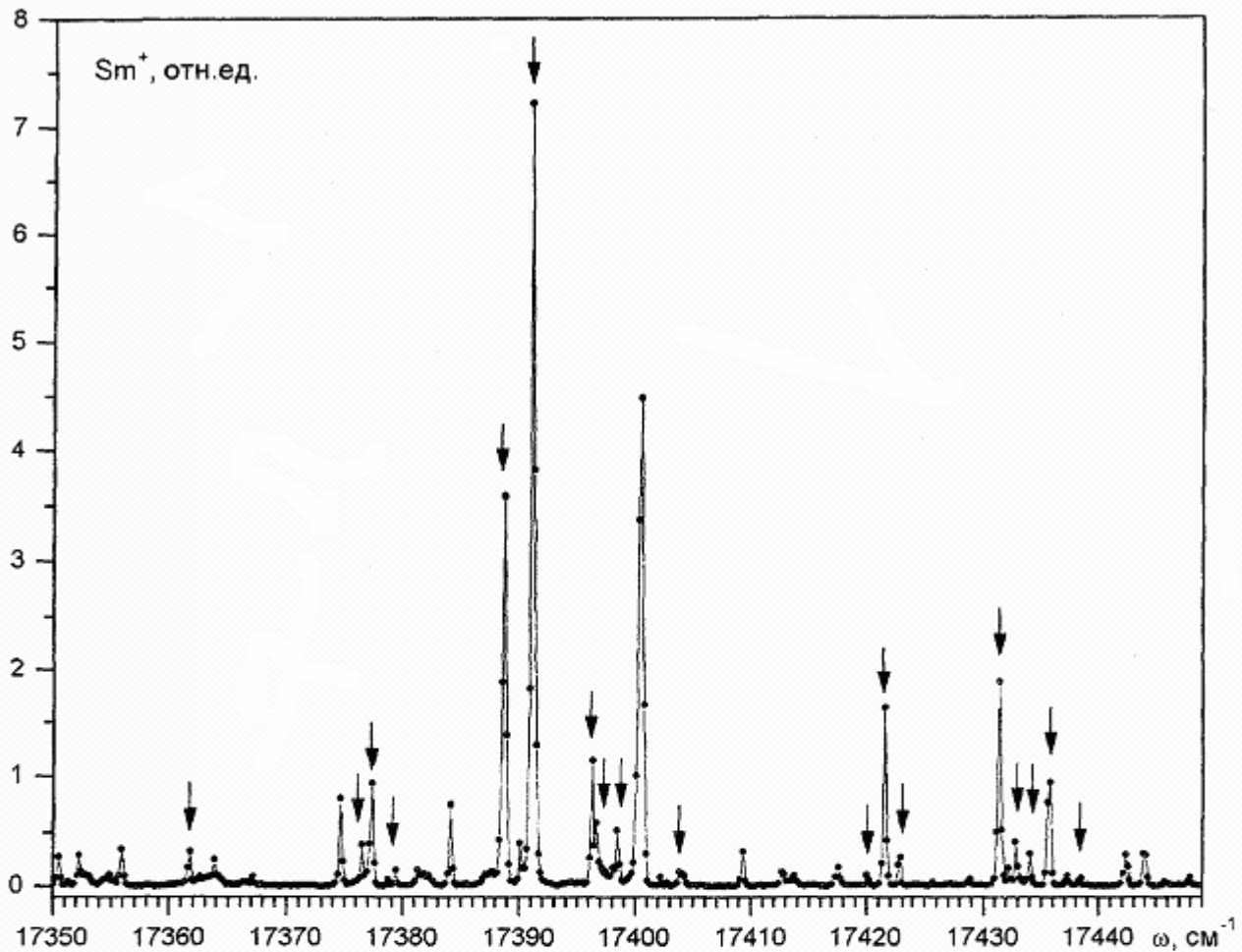
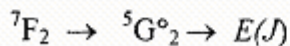


Рис. 1. Зависимость эффективности трехфотонной ионизации атома самария от частоты лазерного излучения

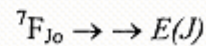
Прежде чем перейти к анализу полученных результатов, рассмотрим различие оптических схем возбуждения одних и тех же состояний  $E(J)$  ( $E$  – энергия,  $J$  – полный момент) в [3] и в нашем эксперименте. Двухступенчатое возбуждение состояний  $E(J)$  в [3] осуществлялось по схеме:



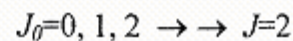
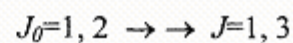
Первый лазер настраивался в резонанс с переходом  ${}^7F_2 \rightarrow {}^5G_2$ , а излучением второго лазера атом ионизировался в результате двухфотонного перехода в континуум. При этом имело место однофотонное возбуждение уровней  $E(J)$ . В этом случае, согласно правил отбора,

могли возбуждаться лишь состояния с полным моментом  $J = 1 - 3$ .

В нашем эксперименте возбуждение этих же состояний  $E(J)$  происходит в результате двухфотонных переходов с различных уровней основного терма  ${}^7F_0$ :



При этом, в соответствии с правилами отбора и с учетом минимальной частоты лазерного излучения, мы могли наблюдать следующие двухфотонные переходы:



Таблиця 1. Значення енергій  $E$  і повних моментів  $J$  четних високолежащих зв'язаних состояний атома Sm.

| $E, \text{cm}^{-1}$ | $J$ | $E, \text{cm}^{-1}[3]$ | $E, \text{cm}^{-1}$ | $J$ | $E, \text{cm}^{-1}[3]$ |
|---------------------|-----|------------------------|---------------------|-----|------------------------|
|                     |     | 34421.1                |                     |     |                        |
|                     |     | 34438.5                |                     |     |                        |
|                     |     | 34517.4                |                     |     |                        |
|                     |     | 34522.5                |                     |     |                        |
| 34531.1             | 2   | 34531.3                |                     |     |                        |
|                     |     | 34538.7                |                     |     |                        |
| 34561.9             | 2   | 34562.1                |                     |     |                        |
|                     |     | 34571.8                |                     |     |                        |
|                     |     | 34584.5                |                     |     |                        |
| 34590.3             | 2   | 34590.6                |                     |     |                        |
|                     |     | 34601.1                |                     |     |                        |
|                     |     | 34657.6                |                     |     |                        |
|                     |     | 34660.2                |                     |     |                        |
|                     |     | 34699.3                |                     |     |                        |
| 34713.1             | 1,3 | 34713.2                |                     |     |                        |
| 34723.4             | 2   | 34723.5                |                     |     |                        |
| 34736.5             | 1,3 | 34736.7                |                     |     |                        |
| 34774.8             | 1,3 | 34775.0                |                     |     |                        |
| 34796.1             | 2   | 34796.3                |                     |     |                        |
| 34804.5             | 2   |                        |                     |     |                        |
| 34812.0             | 1,3 | 34812.1                |                     |     |                        |
| 34827.5             | 2   |                        |                     |     |                        |
| 34834.9             | 2   |                        |                     |     |                        |
| 34851.5             | 2   |                        |                     |     |                        |
| 34865.6             | 2   | 34865.6                |                     |     |                        |
| 34887.8             | 2   |                        |                     |     |                        |
| 34921.6             | 2   | 34921.5                |                     |     |                        |
| 34932.7             | 1,3 | 34932.8                |                     |     |                        |
| 34937.0             | 2   |                        |                     |     |                        |
| 34964.6             | 2   |                        |                     |     |                        |
| 34969.9             | 1,3 | 34969.7                |                     |     |                        |
| 34973.6             | 2   |                        |                     |     |                        |
| 35045.6             | 1,3 | 35045.7                |                     |     |                        |
| 35047.2             | 2   | 35047.0                |                     |     |                        |
| 35070.0             | 2   | 35070.0                |                     |     |                        |
| 35072.8             | 2   | 35073.0                |                     |     |                        |
|                     |     | 35084.6                |                     |     |                        |
| 35089.5             | 1,3 | 35089.7                |                     |     |                        |
| 35098.2             | 2   |                        |                     |     |                        |
| 35100.9             | 1,3 | 35100.9                |                     |     |                        |
| 35120.0             | 2   |                        |                     |     |                        |
| 35135.6             | 1,3 | 35135.6                |                     |     |                        |
| 35138.1             | 2   | 35138.2                |                     |     |                        |
| 35155.2             | 2   | 35155.3                |                     |     |                        |
| 35160.4             | 2   |                        |                     |     |                        |
| 35163.9             | 1,3 | 35164.0                |                     |     |                        |
|                     |     |                        | 35169.5             | 1,3 | 35169.8                |
|                     |     |                        | 35177.1             | 2   |                        |
|                     |     |                        | 35198.7             | 2   |                        |
|                     |     |                        | 35222.2             | 2   | 35222.3                |
|                     |     |                        | 35226.0             | 1,3 | 35226.1                |
|                     |     |                        |                     |     | 35237.2                |
|                     |     |                        | 35242.9             | 2   | 35243.0                |
|                     |     |                        |                     |     | 35259.4                |
|                     |     |                        | 35301.9             | 2   |                        |
|                     |     |                        | 35315.1             | 3   |                        |
|                     |     |                        |                     |     | 35343.0                |
|                     |     |                        |                     |     | 35348.8                |
|                     |     |                        | 35371.0             | 1,3 | 35371.1                |
|                     |     |                        | 35414.0             | 1,3 | 35414.1                |
|                     |     |                        | 35422.0             | 1,3 |                        |
|                     |     |                        | 35444.4             | 1,3 | 35444.4                |
|                     |     |                        | 35451.4             | 1,3 |                        |
|                     |     |                        | 35461.2             | 2   | 35461.3                |
|                     |     |                        | 35484.6             | 1,3 |                        |
|                     |     |                        | 35487.5             | 2   | 35487.5                |
|                     |     |                        | 35491.4             | 1,3 | 35491.4                |
|                     |     |                        | 35514.8             | 1,3 |                        |
|                     |     |                        | 35535.3             | 1,3 |                        |
|                     |     |                        | 35544.9             | 1,3 |                        |
|                     |     |                        |                     |     | 35545.5                |
|                     |     |                        |                     |     | 35547.9                |
|                     |     |                        | 35565.0             | 0   |                        |
|                     |     |                        | 35566.1             | 1,3 |                        |
|                     |     |                        | 35569.3             | 2   | 35569.7                |
|                     |     |                        | 35576.3             | 1,3 |                        |
|                     |     |                        | 35592.1             | 2   |                        |
|                     |     |                        | 35594.1             | 2   | 35594.4                |
|                     |     |                        | 35605.2             | 2   | 35605.6                |
|                     |     |                        | 35612.6             | 4   |                        |
|                     |     |                        | 35652.0             | 1,3 | 35652.3                |
|                     |     |                        | 35669.2             | 1,3 |                        |
|                     |     |                        | 35674.4             | 1,3 |                        |
|                     |     |                        | 35679.6             | 1,3 | 35679.9                |
|                     |     |                        | 35700.0             | 1,3 |                        |
|                     |     |                        |                     |     | 35731.0                |
|                     |     |                        | 35731.8             | 2   |                        |
|                     |     |                        | 35747.0             | 2   | 35747.2                |
|                     |     |                        |                     |     | 35749.0                |
|                     |     |                        | 35768.9             | 2   |                        |
|                     |     |                        | 35779.3             | 1,3 | 35779.5                |

В таблице приведены данные о четных связанных состояниях атома Sm ( $E = 34400\text{--}35800\text{ см}^{-1}$ ), возбуждение которых наблюдалось в нашем эксперименте, а также в работе [3]. Как видно, значения энергий состояний  $E(J)$ , полученные двумя различными методами, хорошо согласуются между собой. Однако, сравнение результатов обоих экспериментов свидетельствует о том, что не все состояния, возбуждение которых наблюдалось в [3], возбуждаются в нашем случае. Вместе с тем, мы наблюдали возбуждение состояний, данные о которых в [3] отсутствуют. Причиной этого, по всей видимости, является различие в оптических схемах возбуждения состояний  $E(J)$ . С учетом интеркомбинационных переходов, в [3], кроме квинтетных термов, могли возбуждаться также триплетные и септетные термы ( $^5L^o \rightarrow ^{3,5,7}L$ ). В нашем же эксперименте, кроме септетных, достаточно эффективно могут возбуждаться квинтетные и нонетные термы ( $^7L \rightarrow ^{5,7,9}L$ ). Это означает, что состояния, возбуждение которых наблюдалось в [3] и не наблюда-

лось в данной работе, являются триплетными. И наоборот, в нашем случае наблюдалось возбуждение нонетных термов, которые не могли возбуждаться в [3].

Следует также отметить, что возбуждение состояний с энергиями  $E = 34421.1\text{--}34660.2\text{ см}^{-1}$  в нашем случае могло осуществляться лишь в результате двухфотонных переходов с уровня  $^7F_0$  основного терма, что связано с минимальной частотой используемого излучения  $\omega = 17200\text{ см}^{-1}$ . В соответствии с правилами отбора при этом могут возбуждаться состояния с  $J=2$  и не могут – с  $J=1, 3$ . Поэтому, ненаблюдение таких переходов может быть связано с тем, что полный момент этих состояний  $J=2$ . Кроме этого, мы наблюдали возбуждение состояний с  $J=0$  ( $E = 35565.0\text{ см}^{-1}$ ) и с  $J=4$  ( $E = 35612.6\text{ см}^{-1}$ ), которые, в силу правил отбора, не возбуждались в работе [3].

В заключение отметим, что кроме приведенных в таблице, мы наблюдали также большое количество более высоколежащих ( $E > 35800\text{ см}^{-1}$ ) четных состояний, которые не могли наблюдаться в [3].

### Литература

1. В.С.Летохов, В.П.Чеботаев, *Нелинейная лазерная спектроскопия сверхвысокого разрешения* (Наука, Москва, 1990).
2. W.C.Martin, R.Zalubas, L.Hagan, *Energy Levels the Rare-Earth Elements* (NBS, Washington, 1978).
3. А.Д.Зюзиков, *Лазерная резонансная фотоионизационная спектроскопия возбужденных и автоионизационных состояний атома самария*. Препринт ИСАН-21 (Институт спектроскопии АН СССР, Троицк, 1988).

## ON THE RESONANCE EXCITATION OF THE BOUND STATES OF SAMARIUM ATOM

O.I.Kudelich, A.I.Gomonai

Institute of Electron Physics, Ukr. Nat. Acad. Sci.,  
Universytetska St. 21, Uzhhorod, 88000  
e-mail: iep@iep.uzhgorod.ua

Using three-photon resonance-ionization spectroscopy method the spectrum of the even highly-excited bound states of samarium atom lying in the  $34400\text{--}35800\text{ см}^{-1}$  energy range has been investigated.