

02;07
©1995ЭФФЕКТ ПОДАВЛЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО
ДВУХФОТОННОГО РЕЗОНАНСА
ПРИ ТРЕХФОТОННОЙ ИОНИЗАЦИИ

А.И.Гомонай

Известно, что вероятности двухфотонных интеркомбинационных переходов типа $ns^2 \ ^1S_0 \rightarrow nsnd \ ^3D_2$ в щелочно-земельных атомах сравнимы или значительно ниже вероятностей соответствующих синглет — синглетных переходов типа $ns^2 \ ^1S_0 \rightarrow nsnd \ ^1D_2$ [1]. При этом величина отношения A_T/A_S (A_T и A_S — амплитуды двухфотонных резонансов соответственно с триплетными и синглетными состояниями) немонотонно зависит от главного квантового числа n . Максимальная величина этого отношения наблюдалась в случае атома бария, для которого $A_T/A_S \simeq 2$ [1].

В данной работе при исследовании двухфотонных переходов $6s^2 \ ^1S_0 \rightarrow 6s8d \ ^{1,3}D - 2$ при трехфотонной ионизации атомов иттербия впервые наблюдалась аномально большая величина отношения $A_T/A_S \simeq 26$. Иттербий как объект исследований представляет существенный интерес, поскольку по своим спектроскопическим свойствам он очень похож на щелочно-земельные атомы [2]. Разница заключается лишь в том, что наряду с так называемым “простым” спектром электронных состояний, обусловленным возбуждением только внешних s -электронов (как и в случае щелочно-земельных атомов), иттербий характеризуется также “сложным” спектром энергетических уровней, связанным с возбуждением одного из электронов внутренней f -подоболочки.

Постановка эксперимента была следующей. Линеино поляризованное излучение перестраиваемого лазера на красителях с шириной спектра излучения ~ 0.01 нм фокусировалось в пучок нейтральных атомов иттербия. Ионы, образованные в результате трехфотонной ионизации, вытягивались из области взаимодействия постоянным электрическим полем, разделялись по массе и заряду во времяпротлетном масс-спектрометре и детектировались электронным умножителем. Интенсивность лазерного излучения в области фокусировки не превышала $4 \cdot 10^7$ Вт/см². Длина волны подбиралась таким образом, чтобы реализовались промежуточно двухфотонные резонансы с возбужденными состояниями $6s8d \ ^{1,3}D_2$.

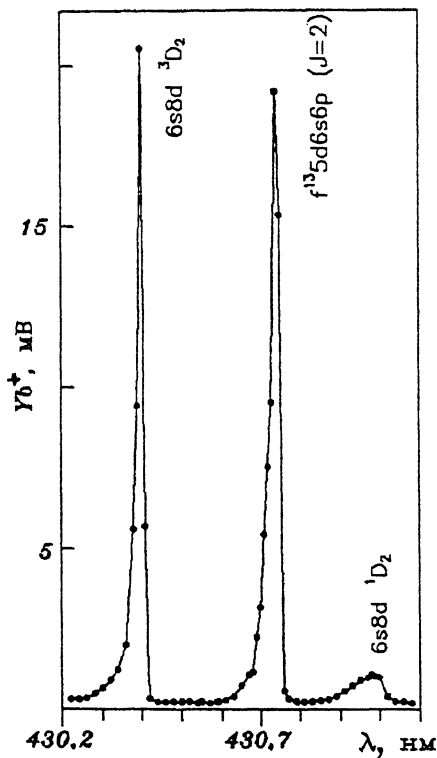


Рис. 1.

На рис. 1 приведена зависимость выхода ионов Yb^+ от длины волны лазерного излучения в области указанных двухфотонных резонансов. Кроме максимумов, соответствующих двухфотонному возбуждению состояний $6s8d\ ^{1,3}D_2$, в исследованной области длин волн наблюдался также максимум, связанный с двухфотонным возбуждением состояния $f^{13}5d6s6p(J=2)$ [3]. Из приведенной зависимости хорошо видно, что anomalously большая величина отношения $A_T/A_S = 26$ в данном случае обусловлена значительным подавлением амплитуды $A_S(6s8d\ ^1D_2)$, а не возрастанием амплитуды $A_T(6s8d\ ^3D_2)$.

Прежде чем перейти к рассмотрению возможных причин существенного подавления амплитуды максимума, соответствующего возбуждению синглетного $6s8d\ ^1D_2$ состояния, отметим следующее. Во-первых, идентификация состояний $6s8d\ ^{1,3}D_2$ и $f^{13}5d6s6p(J=2)$ [3,4], приведенная на рис. 1, в настоящее время не вызывает сомнений. Поэтому связать максимум на длине волны 430.98 нм с интерком-

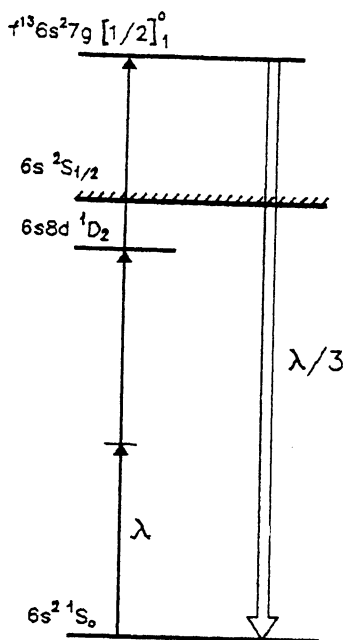


Рис. 2.

бинационным двухфотонным переходом $6s^2 \ ^1S_0 \rightarrow 6s8d \ ^3D_2$ и этим объяснить его малую амплитуду не представляется возможным. Во-вторых, подавление рассмотренного максимума нельзя также объяснить возмущением уровня $6s8d \ ^1D_2$, обусловленным эффектом взаимодействия конфигураций. Это подтверждается результатами расчетов [3,4].

Анализируя наблюдаемый эффект, необходимо учитывать, что однозарядные ионы Yb^+ образуются в результате поглощения трех фотонов. При этом в области наблюдаемых максимумов имеет место двухфотонное возбуждение соответствующих связанных состояний и их последующая однофотонная ионизация. Проведенный анализ показал, что в действительности на длине волны 430.98 нм реализуется не двухфотонный промежуточный резонанс с синглетным $6s8d \ ^1D_2$ состоянием, а последовательный резонанс: указанный двухфотонный, а также трехфотонный резонанс с автоионизационным $f^{13}6s^2 7g [1/2]_1^0$ состоянием [5]. Расстройка между этими резонансными переходами сравнима с шириной линии лазерного излучения. Указанное автоионизационное состояние, по всей видимости, эффективно

распадается не в электронном канале с образованием иона Yb^+ , а в радиационном — с испусканием фотона утроенной частоты ($\lambda/3$) и образованием атома иттербия в основном $6s^2 \ ^1S_0$ состоянии (см. рис. 2). Это приводит к значительному уменьшению числа образуемых ионов Yb^+ и, как следствие, к подавлению амплитуды рассматриваемого максимума. Вероятность двухфотонного $6s^2 \ ^1S_0 \rightarrow 6s8d \ ^1D_2$ перехода при этом может быть сравнимой и даже превышать вероятность соответствующего двухфотонного интеркомбинационного перехода $6s^2 \ ^1S_0 \rightarrow 6s8d \ ^3D_2$.

Таким образом, малая амплитуда максимума на длине волны 430.98 нм не связана с уменьшением вероятности двухфотонного возбуждения синглетного $6s8d \ ^1D_2$ состояния, а есть следствие трехфотонного возбуждения автоионизационного $f^{13}6s^27g[1/2]_1^0$ состояния и его последующего радиационного распада. При этом развал указанного автоионизационного состояния происходит не спонтанно, а под действием лазерного поля. Другими словами, на длине волны 430.98 нм имеет место преобразование падающего излучения в его третью гармонику. Этот процесс в данном случае является конкурирующим по отношению к трехфотонной ионизации.

В заключение следует отметить, что эффективный радиационный развал многофотонно возбужденных автоионизационных состояний в лазерном поле может быть одной из основных причин не проявления таких состояний в виде четких максимумов в зависимостях выхода однозарядных ионов от длины волны лазерного излучения в большинстве экспериментов по многофотонной ионизации щелочноземельных атомов [6].

Автор выражает благодарность И.П. Запесочному за полезное обсуждение результатов настоящей работы.

Список литературы

- [1] Алимов Д.Т., Бондарь И.И., Ильков Ф.А. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1988. Т. 52. В. 6. С. 1124–1128.
- [2] Козлов М.Г. Спектры поглощения паров металлов в вакуумном ультрафиолете. М.: Наука, 1981. 263 с.
- [3] Wyart J.F., Camus P. // Phys. Scripta. 1979. V. 20. N 1. P. 43–59.
- [4] Aymar A., Debarre A., Robaux O. // J. Phys. B. 1980. V. 13. N 6. P. 1089–1109.
- [5] Baig M., Ahmad S., Griesmann U., Connerade J., Bhatti S., Ahmad N. // J. Phys. B. 1992. V. 25. P. 321–341.
- [6] Делоне Н.Б., Федоров М.В. // УФН. 1989. Т. 158. В. 2. С. 215–253.

Институт
электронной физики
НАН Украины
Ужгород

Поступило в Редакцию
13 марта 1995 г.