

## СПЕКТР ПОГЛОЩЕНИЯ ПАРОВ ИТТЕРБИЯ В ОБЛАСТИ 1700—1060 Å

*М. Г. Козлов, С. А. Коточигова и Б. Е. Крылов*

Зарегистрирован спектр поглощения паров иттербия в области 1700—1060 Å на вакуумной графитовой печи с разрешением 0.3 Å. Измерены длины волн 159 линий поглощения, из которых около 140 наблюдались впервые. Большинство линий соответствует переходам из основного  $4f^{14}6s^2S_0$ -состояния на термы конфигураций  $4f^{13}6s^2nd$ ,  $4f^{14}6pnd$  ( $ns$ ),  $4f^{14}5dnp$ ,  $4f^{13}6s5dnd$  ( $ns$ ). Определены энергии термов атома иттербия в интервале энергий от 59 000 до 93 000  $\text{см}^{-1}$ . Представлена зависимость коэффициента поглощения паров иттербия от 1700 до 1060 Å в относительных единицах.

Спектр поглощения паров иттербия исследовался в области от 4000 до 1500 Å [1-3]. Согласно сделанным в работе [2] отождествлениям этого спектра, серии, соответствующие двухэлектронным переходам внешних 6  $s$ -электронов, а также внутренних  $f$ -электронов, располагаются в более коротковолновой области. Эти серии должны сходиться к пределам, соответствующим состояниям иона иттербия  $\text{YbII } 5d^2D_{3/2, 5/2}$ ;  $6p^2P_{1/2, 3/2}$  и уровням конфигурации  $f^{13}5d6s$ . Для области спектра короче 2000 Å имеются данные, полученные методом фотоэлектронной спектроскопии [4], однако низкое энергетическое разрешение этого метода не позволяет обнаружить указанных серий.

В настоящей работе была поставлена задача регистрации спектра паров иттербия методом фотопоглощения, позволяющим наблюдать значительно большее число линий в сравнении с фотоэлектронным спектром. Для решения этой задачи была использована разработанная ранее [5] методика регистрации спектров поглощения паров металлов на большой печи Кинга, в объеме которой располагались узлы спектрального прибора: дифракционная решетка, входная щель и кассета с фотоленкой. Перед входной щелью располагался источник сплошного спектра с СВЧ возбуждением на основе континуумов инертных газов [6]. Спектр иттербия регистрировался в области 1700—1060 Å с ксеноновым, криптоновым и аргоновым источниками.

В нашей ранней работе [2] спектр поглощения паров иттербия регистрировался с водородным источником, имеющим многолинейчатый характер спектра в области короче 1700 Å. В связи с этим форма несимметричных линий поглощения, уширенных автоионизацией, определялась со значительной погрешностью. В данной работе регистрация спектра поглощения паров иттербия в области 1700—1550 Å проводилась с использованием ксенонового источника, в спектре которого практически не наблюдалось линий примесей. Вследствие этого коэффициент поглощения паров иттербия удалось получить с большей, чем в работе [2], точностью. Результат измерений приведен на рис. 1.

На рис. 2 представлен коэффициент поглощения паров иттербия, измеренный с использованием криптонового просвечивающего источника сплошного спектра. Из рис. 2 видно, что в области спектра 1550—1280 Å у иттербия в поглощении наблюдается большое число интенсивных линий,

что соответствует наличию большого числа уровней в интервале энергий от 65 000 до 78 000  $\text{см}^{-1}$ , комбинирующих с основным состоянием атома иттербия  $4f^{14}6s^2 1S_0$ . Отметим также, что среди линий поглощения на рис. 2

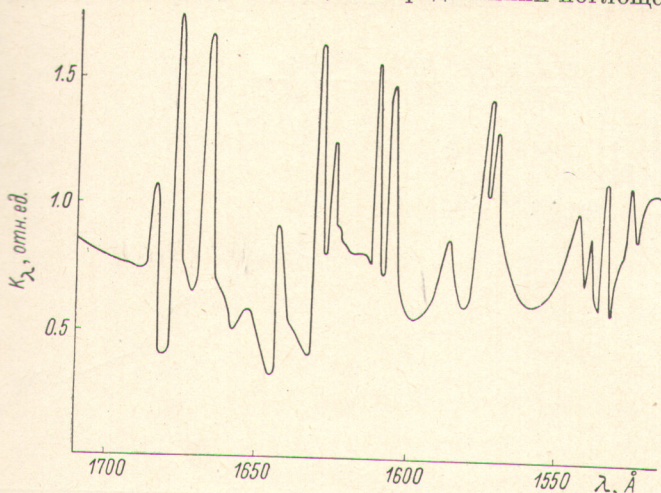


Рис. 1. Коэффициент поглощения паров иттербия в области 1700—1500  $\text{\AA}$ , полученный с использованием ксенонового просвечивающего источника.

трудно выделить какую-либо группу линий, отличающуюся от остальных интенсивностью или формой контура.

В области аргонового континуума от 1300 до 1060  $\text{\AA}$  надежно определить положение линий поглощения можно было только до 1150  $\text{\AA}$ . В более коротковолновой области в спектре аргонового источника наблюдалось

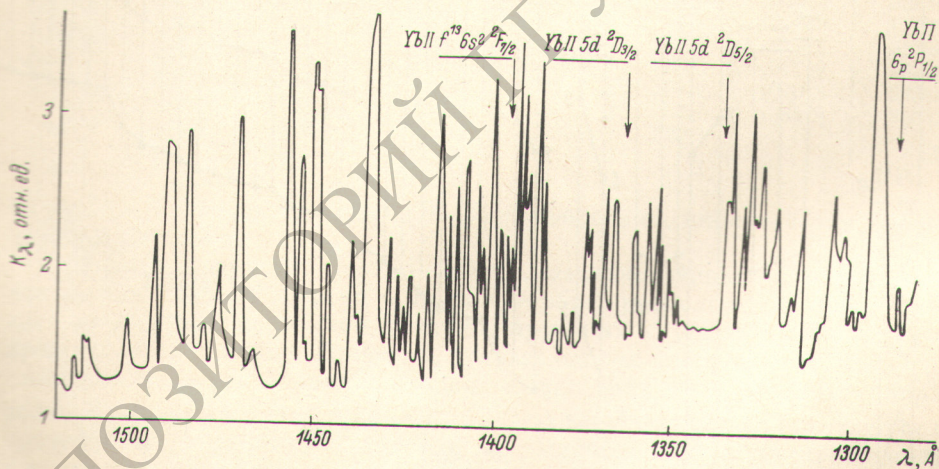


Рис. 2. Коэффициент поглощения паров иттербия от 1550 до 1280  $\text{\AA}$  в относительных единицах.

Отмечены возможные пределы сходимости серий.

большое число линий испускания и поглощения. Вследствие этого коэффициент поглощения паров иттербия (рис. 3) короче 1150  $\text{\AA}$  определялся по отдельным участкам аргонового континуума. Зависимость  $K_\lambda$  от длины волны в этой области на рис. 3 отмечена штриховой линией и отражает ход коэффициента сплошного поглощения.

Сплошное поглощение в интервале длин волн от 1700 до 1060  $\text{\AA}$  может быть обусловлено несколькими причинами. Возможно фотопоглощение, соответствующее фотоионизационному континууму иттербия, а также

рассеяние излучения. Одной из возможных причин сплошного поглощения может быть выделение газов с поверхности нагреваемого металла. С другой стороны, испарение в печи металлического иттербия может существенно

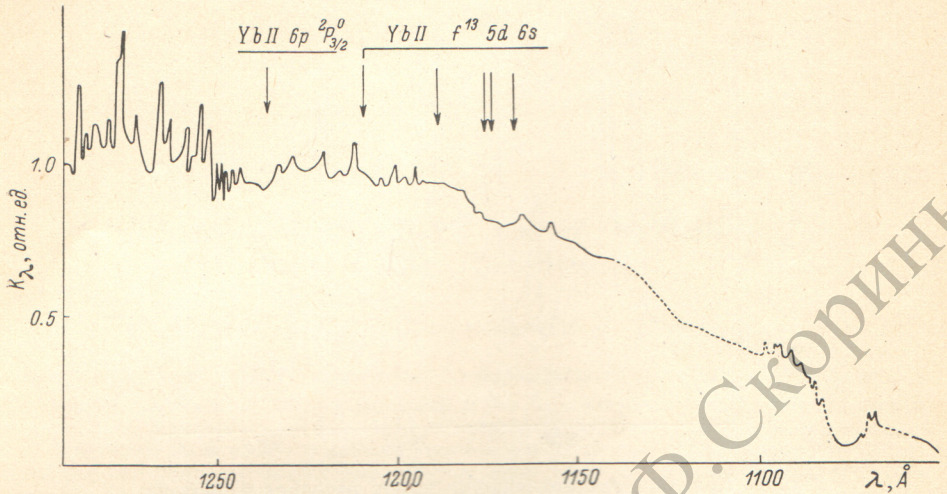


Рис. 3. Коэффициент поглощения паров иттербия, зарегистрированный с аргоновым источником света.

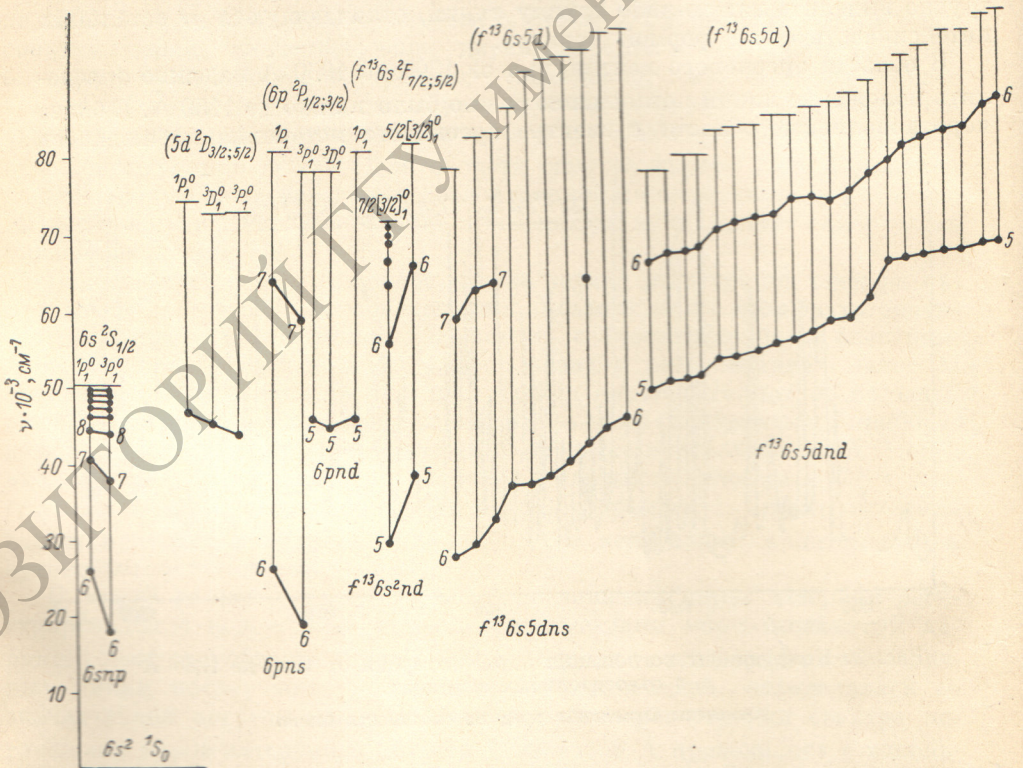


Рис. 4. Схема термов атома иттербия, комбинирующих с основным состоянием  $4f^{14}6s^2 1S_0$ .

В скобках — конфигурации иона иттербия, уровни которого служат возможными пределами сходимости наблюдаемых линий поглощения.

улучшить вакуум в объеме, и в области полос поглощения кислорода спектр, снятый с парами металла, может оказаться интенсивнее спектра сравнения. Учитывая эти обстоятельства, сплошное поглощение

$\lambda, \text{Å}$	$E, \text{cm}^{-1}$	$\lambda, \text{Å}$	$E, \text{cm}^{-1}$	$\lambda, \text{Å}$	$E, \text{cm}^{-1}$	$\lambda, \text{Å}$	$E, \text{cm}^{-1}$
1684.6	59362	1428.6	70000	1369.5	73019	1287.4	77676
1678.4	59582	1428.0	70026	1367.6	73119	1285.5	77791
1668.2	59945	1426.8	70085	1365.7	73225	1283.3	77927
1629.7	61361	1425.2	70166	1361.7	73437	1280.3	78106
1625.8	61509	1423.7	70238	1359.7	73548	1279.2	78171
1614.0	61959	1423.0	70273	1357.0	73694	1276.1	78367
1611.1	62070	1421.8	70332	1355.3	73782	1272.5	78584
1606.6	62243	1418.8	70484	1354.5	73830	1265.6	79015
1588.7	62944	1416.8	70581	1353.8	73865	1263.0	79178
1573.6	63548	1416.0	70622	1352.9	73915	1261.1	79295
1571.3	63642	1414.7	70684	1351.3	74001	1256.8	79565
1547.5	64619	1413.0	70770	1350.3	74055	1254.7	79698
1539.6	64953	1412.2	70812	1349.6	74096	1252.8	79819
1535.5	65125	1410.7	70887	1348.4	74160	1250.3	79978
1529.1	65398	1408.6	70991	1347.6	74205	1248.3	80111
1515.0	66005	1407.9	71027	1347.1	74233	1246.9	80292
1512.3	66123	1406.1	71121	1345.8	74304	1245.7	80276
1499.7	66680	1405.3	71158	1344.7	74366	1244.3	80364
1491.4	67050	1402.9	71280	1336.6	74815	1229.9	81311
1489.3	67147	1401.6	71348	1334.7	74924	1225.5	81602
1488.1	67199	1399.1	71474	1331.1	75129	1223.4	81737
1487.4	67233	1396.9	71587	1330.0	75190	1211.9	82516
1482.3	67462	1394.2	71727	1326.9	75363	1204.9	82998
1478.3	67647	1393.0	71787	1326.5	75386	1197.5	83509
1472.8	67898	1392.2	71831	1324.5	75499	1194.5	83717
1469.1	68070	1390.5	71917	1323.3	75570	1167.2	85677
1467.5	68145	1389.6	71964	1321.9	75646	1156.1	86496
1454.4	68758	1389.0	71996	1319.1	75810	1098.1	91068
1453.2	68815	1387.8	72057	1317.9	75879	1096.5	91203
1451.3	68905	1385.0	72205	1316.9	75939	1094.6	91361
1447.3	69097	1383.4	72287	1315.7	76008	1090.5	91698
1446.4	69135	1382.0	72361	1314.0	76104	1089.9	91750
1443.4	69281	1381.1	72406	1311.9	76227	1085.3	92141
1442.4	69329	1380.1	72461	1310.3	76320	1079.5	92636
1441.1	69390	1377.9	72574	1308.7	76412	1078.9	92690
1436.8	69600	1375.9	72679	1307.1	76506	1072.7	93226
1435.0	69686	1373.9	72788	1298.4	77020	1071.9	93291
1433.9	69741	1372.8	72843	1297.4	77079	1070.8	93388
1431.0	69880	1371.8	72898	1294.4	77257	1068.9	93552
1429.0	69977	1370.5	72964	1293.4	77313		

на рис. 1—3 следует считать лишь качественной оценкой сечения фотоионизации иттербия.

Основной результат данной работы, заключающийся в определении положения уровней энергии в атоме иттербия, расположенных выше первого потенциала ионизации и комбинирующих с основным состоянием, представлен в таблице. Приведен полный список наблюдаемых линий поглощения и энергии термов, найденные как величины, обратные длинам волн. Данные для линий в области 1700—1550 Å несколько отличаются от приведенных в работе [2], так как предыдущие измерения проводились с использованием многолинейчатого водородного спектра в качестве просвечивающего источника. Погрешность в измерении длин волн определялась постоянной шириной входной щели спектрального прибора и составляла 0.3 Å. Соответственно энергии термов определены с точностью  $\pm 5 \text{ cm}^{-1}$ .

В нашей работе [2] было проведено отождествление некоторых уровней энергии иттербия на основе соответствия между их расположением и расположением возможных пределов сходимости серий, которое определяется расстоянием между уровнями первого иона иттербия. Имеющиеся литературные данные позволяют построить схему термов иттербия, комбинирующих с основным  $4f^{14}6s^2 1S_0$ -состоянием (рис. 4). Пределы сходимости серий, указанные на схеме термов, отмечены на рис. 1—3. Отождествлениям работы [2] способствовало различие в интенсивности линий и в формах контуров. Из рис. 2 и 3 видно, что вблизи пределов серий интенсивности

выравниваются и форма контуров не имеет существенных отличий. Это обстоятельство затрудняет точную идентификацию уровней энергии. Из анализа полученных результатов следует, что наблюдаемый в области 1550—1060 Å спектр поглощения паров иттербия обусловлен переходами двух электронов  $6s^2$  оболочки типа  $6s^2 \rightarrow 5dnp$  и  $6s^2 \rightarrow 6pns$  ( $nd$ ). Эти серии сходятся к состояниям иона  ${}^2D_{3/2; 5/2}$ ,  ${}^2P_{1/2; 3/2}$ . Очень интенсивными оказываются переходы из  $4f^{14}$  подоболочки  $4f^{14}6s^2 \rightarrow 4f^{13}6s^2nd$ , сходящиеся к пределам  $\text{JbII } {}^2F_{5/2; 7/2}$ , а также серии  $4f^{14}6s^2 \rightarrow 4f^{13}6s^2dnd(ns)$ , сходящиеся к многочисленным пределам, соответствующим подуровням конфигурации  $4f^{13}6s^2d$  иона иттербия. Более точная идентификация термов иттербия, лежащих выше  $70\,000\text{ см}^{-1}$ , может быть сделана лишь на основе тщательного анализа характера взаимодействия конфигураций иттербия  $6pns$ ,  $6pnd$ ,  $5dnp$ ,  $4f^{13}6s^2nd$ ,  $4f^{13}6s^2dnd$  как между собой, так и с фотоионизационными континуумами, следующими за всеми нижерасположенными по энергии пределами ионизации.

#### Литература

- [1] М. Г. Козлов, С. А. Коточигова, В. Н. Николаев. *Опт. и спектр.*, 41, 10, 1976.
- [2] М. Г. Козлов, С. А. Коточигова. *Опт. и спектр.*, 42, 3, 1977.
- [3] В. А. Комаровский, Н. П. Пенкин. *Опт. и спектр.*, 26, 882, 1969.
- [4] A. C. Rapp, F. A. Elder. *J. Chem. Phys.*, 49, 2665, 1968.
- [5] М. Г. Козлов, Б. Е. Крылов, В. Н. Николаев. *Ж. прикл. спектр.*, 19, 1136, 1973.
- [6] М. Г. Козлов, В. Н. Николаев, К. К. Сидорин, В. К. Сидорин, Г. П. Старцев. *Оптико-механич. промышл.*, № 10, 36, 1972.

Поступило в Редакцию 8 декабря 1976 г.