

**АТОМНЫЙ ПРАКТИКУМ**

**Т. В. Дилова  
Ю. В. Шестаков**

**ОСОБЕННОСТИ  
СПЕКТРОВ  
ИЗЛУЧЕНИЯ  
АТОМОВ  
ЩЕЛОЧНЫХ  
МЕТАЛЛОВ**

**Новосибирск**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Физический факультет

*Атомный практикум*

Т. В. Димова, Ю. В. Шестаков

**ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ  
АТОМОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Учебно-методическое пособие

Новосибирск  
2022

УДК 535.331:539.18(075)

ББК Г120.12-232я73-1

Д465

Рецензент:

канд. физ.-мат. наук, доцент С. Г. Сальников

**Димова, Т. В.**

Д465 Особенности спектров излучения атомов щелочных металлов : учеб.-метод. пособие / Т. В. Димова, Ю. В. Шестаков ; Новосиб. гос. ун-т. – Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2022. – 20 с. (Атомный практикум)

ISBN 978-5-4437-1390-8

В пособии объясняются особенности спектров щелочных металлов. Атомы этих металлов имеют похожее строение – вне заполненных оболочек находится один электрон в состоянии *ns*. Это приводит к тому, что спектры щелочных металлов имеют водородоподобную структуру. Приведена теория, которая объясняет сериальные закономерности для всех щелочных металлов, также излагаются причины, приводящие к появлению простых и сложных дублетов. С помощью статистических весов определяются приближенные соотношения интенсивностей переходов внутри дублетов. Приведены основная информация для конкретных атомов щелочных металлов, диаграммы Гротриана, а также список наиболее ярких линий переходов в видимом диапазоне.

Предназначено для студентов физических и естественнонаучных факультетов университетов.

УДК 535.331:539.18(075)

ББК Г120.12-232я73-1

Рекомендовано к печати кафедрой общей физики ФФ НГУ (протокол № 3 от 14.10.2021 г.)

ISBN 978-5-4437-1390-8

© Новосибирский государственный университет, 2022

# ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## Уровни энергии атомов щелочных металлов

Атомы щелочных металлов имеют всего один электрон на внешней незаполненной оболочке. Поскольку орбитальные и спиновые моменты заполненных внутренних оболочек равны нулю, то энергетические состояния и химическая активность таких атомов определяются внешним электроном, называемым *оптическим* или *валентным* [1]. Остальные  $Z - 1$  электроны образуют вместе с ядром так называемой *остов*, или *атомный остаток*. Характерный размер волновой функции внешнего электрона значительно превосходит размер остова (рис. 1), что делает атом щелочного элемента похожим на атом водорода. При этом атомный остов играет роль эффективного ядра с зарядом  $Z^*$  близким по величине к единице. Отличия от атома водорода связаны с тем, что внешний электрон может частично проникать внутрь атомного остатка, что приводит к увеличению  $Z^*$ . Потенциальная энергия электрона в поле остова имеет вид:

$$U(r) = -\frac{Ze^2}{r} + U_{\text{доп}}(r), \quad (1)$$

где первый член обусловлен кулоновским полем ядра, а второй – полем от внутренних электронов, расположенных внутри остова. Предполагая, что электроны, входящие в остов, образуют сферически симметричное электронное облако, потенциал можно записать как

$$U_{\text{доп}}(r) = \frac{\sigma(r)e^2}{r}.$$

Следовательно,

$$U(r) = -\frac{(Z - \sigma(r))e^2}{r} = -\frac{Z^*e^2}{r}. \quad (2)$$

Из вышеизложенного следует, что наблюдаемые оптические спектры излучения атомов щелочных металлов определяются переходами внешнего электрона между энергетическими уровнями, которые можно описать формулой для водородоподобного атома:

$$E_{nl} = -\frac{RyZ^{*2}}{n^2} = -\frac{Ry(Z - \sigma_{nl})^2}{n^2} = -\frac{Ry}{(n - \Delta_l)^2}, \quad (3)$$

где  $n$  – главное квантовое число, принимающее натуральное значение;  $\sigma_{nl}$  – *постоянная экранирования* заряда ядра, которая зависит как от главного квантового числа  $n$ , так и от орбитального момента  $l$ ;  $\Delta_l$  – *квантовый дефект*, или *поправка Ридберга*,  $Ry$  – константа.

Поскольку потенциальная энергия внешнего электрона (2) не соответствует строгой кулоновской зависимости  $U(r) = -\text{const}/r$ , происходит снятие вырождения энергетических уровней по  $l$ . Вероятность нахождения внешнего электрона на малых или больших расстояниях от ядра зависит от орбитального момента и для атома натрия приведена на рис. 1.



Рис. 1. Радиальное распределение плотности заряда в атоме натрия. Заштрихованная область соответствует атомному остову [1, 2]



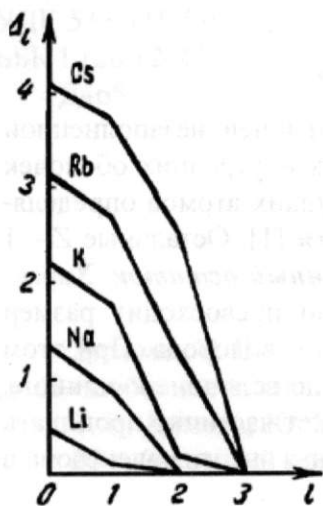


Рис. 2. Зависимость квантового дефекта  $\Delta_l$  от орбитального момента  $l$  для ряда щелочных металлов [3]

Чем больше вероятность нахождения внешнего электрона при малых расстояниях от ядра (внутри остова), тем меньше экранирование заряда ядра внутренними электронами и, как следствие, больше величина эффективного заряда  $Z^*$ . Проникающая способность внешнего электрона, находящегося в  $s$ -состоянии, существенно больше, чем у электрона в  $p$ -состоянии, а в  $p$ -состоянии больше, чем в  $d$ -состоянии и т.д. Значит, при одинаковых  $n$  уровни будут лежать тем глубже, чем меньше  $l$ .

Сравнивая два выражения (2) и (3), можно получить связь между эффективным зарядом ядра, постоянной экранирования и  $n$ :

$$Z^* = Z - \sigma_{nl} = \frac{n}{n - \Delta_l}, \quad (4)$$

$\Delta_l$  не зависит от  $n$ , но зависит от  $l$  и имеет вид:  $\Delta_l = C(me^2Z)/(\hbar^2(l+1/2))$ . Эта зависимость представлена на рис. 2. Как видно на рис. 2, атомы всех щелочных металлов в  $f$ -состоянии (при  $l=3$ ) полностью водородоподобны, т.е. имеют единственный эффективный заряд ядра (см. выражение (4)).

Зависимость эффективного заряда  $Z^*$  от  $n$  слабее, чем зависимость от  $l$ . Это приводит к тому, что при некоторых  $n$  уровни с большими значениями  $l$  расположены выше  $s$ -уровней с главным квантовым числом, равным  $n+1$ , что приводит к «перепутыванию» уровней с разным значением  $n$ . При больших  $n$  и  $l$  внешний электрон слабо проникает в атомный остов. Вот почему значение эффективного заряда  $Z^*$  близко к 1, и структура энергетических уровней приближается к водородной.

### Спектральные серии атомов щелочных металлов

Как было показано выше, спектр излучения атомов щелочных металлов обусловлен переходами внешнего электрона между энергетическими уровнями, которые определяются выражением (3), очень похожим на формулу для расчёта энергии атома водорода. Однако, в отличие от водорода, минимальное значение главного квантового числа  $n$  для атомов щелочных металлов не равно 1. Это связано с тем, что, согласно принципу Паули, состояния любых двух электронов в атоме должны отличаться значением хотя бы одного квантового числа. Так как электроны атомного остова заполняют наиболее низкие энергетические состояния с меньшими главными квантовыми числами, то для внешнего электрона остаются состояния с последующими значениями  $n = n_{min}, n_{min} + 1, n_{min} + 2, \dots$  В табл. 1 представлены значения  $n_{min}$  и основные состояния для атомов щелочных металлов.

Таблица 1

Значения наименьшего квантового числа для внешнего электрона и основные состояния для щелочных металлов

Элемент	Li	Na	K	Rb	Cs
$Z$	3	11	19	37	55
$n_{min}$	2	3	4	5	6
Основное состояние	$2^2S_{1/2}$	$3^2S_{1/2}$	$4^2S_{1/2}$	$5^2S_{1/2}$	$6^2S_{1/2}$

Состояния с определённым значением  $l$  принято обозначать латинскими буквами:

$s$	$p$	$d$	$f$	$g$	$h$	$i$	$k \dots$
$l = 0,$	$1,$	$2,$	$3,$	$4,$	$5,$	$6,$	$7 \dots$

и, соответственно, называть  $s$ -состояние,  $p$ -состояние,  $d$ -состояние и т.д. В спектроскопии строчные буквы ( $s, p, d \dots$ ) используются для обозначения состояний отдельного электрона, а заглавные ( $S, P, D \dots$ ) – для обозначения состояний атома в целом.

Применяется определенная форма записи заданного набора квантовых чисел, определяющих состояние атома: пишется заглавная латинская буква, соответствующая орбитальному квантовому числу  $L$ , внизу справа от этой буквы ставится значение квантового числа  $J$  (суммарный момент всех электронов), слева вверху значение  $2S + 1$  (так называемая мультиплетность,  $S$  – значение электронного спина). Перед латинской буквой пишется значение главного квантового числа  $n$ . Например, в табл. 1 запись основных состояний атомов имеет вид  $n^2S_{1/2}$ , что соответствует  $L=0, J=1/2, S=1/2$ .

Используя формулу (3), можно определить энергию кванта света, испускаемого при переходе с уровня  $nl$  на уровень  $n'l'$

$$h\nu = E_{nl} - E_{n'l'} = \frac{R_y Z_{n'l'}^{*2}}{n'^2} - \frac{R_y Z_{nl}^{*2}}{n^2}. \quad (5)$$

Отсюда длина волны  $\lambda$  дается следующим соотношением:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left[ \frac{Z_{n'l'}^{*2}}{n'^2} - \frac{Z_{nl}^{*2}}{n^2} \right], \quad (6)$$

где  $R = R_y / (hc)$  – постоянная Ридберга.

Если рассматривать переходы с фиксированными значениями орбитальных моментов  $l'$  и  $l$ , а также с заданным (фиксированным)  $n'$ , имеющим минимально возможное значение, но значение  $n$  будет произвольным, то можно получить хорошо выраженную спектральную серию атома щелочного металла, как в атоме водорода. При построении серий необходимо учитывать, что наибольшей интенсивностью обладают электрические дипольные переходы, а им соответствует правило отбора  $\Delta l = \pm 1$ . Это значит, что  $s$ -уровни комбинируются только с  $p$ -уровнями;  $p$ -уровни – с  $s$ -уровнями и  $d$ -уровнями;  $d$ -уровни – с  $p$ -уровнями и  $f$ -уровнями; и т.д. по возрастанию  $l$ . Основными для щелочных металлов являются четыре серии, которые приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные серии переходов для щелочных металлов и соответствующие им главные квантовые числа

Главная серия	$ks \leftarrow np, n = k, k + 1, \dots$
Резкая серия	$kp \leftarrow ns, n = k + 1, k + 2, \dots$
Диффузная серия	$kp \leftarrow nd, n = k - 1$ (кроме Li, Na), $k$ (кроме Li), $k + 1, k + 2$ ; здесь $k = 2$ для Li, 3 – для Na, 4 – для K и т.д.
Фундаментальная серия	$kd \leftarrow nf, k = 3$ для Li, Na, K, $k = 4$ – для Rb, $k = 5$ – для Cs; $n = 4, 5, \dots$ для Li, Na, K, Rb, Cs, $n = 5$ – для Fr

Соответственно формулы для расчета длин волн для приведенных переходов будут иметь следующий вид ( $k$  и  $n$  – главные квантовые числа соответствующих уровней):

Главная серия:	$\left( \frac{1}{\lambda} \right)_p = R \left[ \frac{(Z_{ks}^*)^2}{k^2} - \frac{(Z_{np}^*)^2}{n^2} \right]$
Резкая серия:	$\left( \frac{1}{\lambda} \right)_s = R \left[ \frac{(Z_{kp}^*)^2}{k^2} - \frac{(Z_{ns}^*)^2}{n^2} \right]$
Диффузная серия:	$\left( \frac{1}{\lambda} \right)_d = R \left[ \frac{(Z_{kp}^*)^2}{k^2} - \frac{(Z_{nd}^*)^2}{n^2} \right]$
Фундаментальная серия:	$\left( \frac{1}{\lambda} \right)_f = R \left[ \frac{(Z_{kd}^*)^2}{k^2} - \frac{(Z_{nf}^*)^2}{n^2} \right]$

## Тонкая структура энергетических уровней

Исследование спектров атомов при помощи приборов большой разрешающей способности показало, что некоторые линии спектра, в первом приближении вполне укладывающиеся в закон  $E_n \sim 1/n^2$ , имеют более сложную структуру и сами состоят из набора близко расположенных спектральных линий (как говорят, расщеплены на несколько компонент). Это дополнительное расщепление энергетических уровней образует так называемую *тонкую структуру* спектральных линий в излучении атомов. Такие линии со сложной внутренней структурой называются мультиплетами. Для описания данного расщепления необходимо учесть два эффекта:

– релятивистский характер связи энергии и импульса электрона, что дает следующую поправку к энергии ( $\alpha = e^2/\hbar c \approx 1/137$  называется постоянной тонкой структуры):

$$\Delta E_{nL} = -\frac{\alpha^2 R_y Z^4}{n^3} \left( \frac{1}{l+1/2} - \frac{3}{4n} \right); \quad (7)$$

– зависимость энергии от взаимной ориентации спинового ( $\vec{s}$ ) и орбитального ( $\vec{l}$ ) моментов импульса (поправка на так называемое спин-орбитальное взаимодействие), причем данная поправка зависит от полного момента импульса  $\vec{j} = \vec{l} + \vec{s}$ :

$$\Delta E_{LS} = -\frac{\alpha^2 R_y Z^4}{n^3} \frac{j(j+1) - l(l+1) - s(s+1)}{2l(l+1)(l+1/2)}. \quad (8)$$

Обе поправки являются величинами одного порядка. Их сумма, с учетом того, что спин электрона равен  $1/2$ , имеет следующий вид:

$$\Delta E_{nL} + \Delta E_{LS} = -\frac{\alpha^2 R_y Z^4}{n^3} \left( \frac{1}{j+1/2} - \frac{3}{4n} \right) \quad (9)$$

Используя выражение (3) и полученную поправку (9), получим выражение для полной энергии водородоподобного атома (для атомов щелочных металлов нужно только заменить  $Z$  на  $Z^*$  – эффективный заряд ядра-остова), учитывающую тонкое (мультиплетное) расщепление энергетических уровней:

$$E_{nJ} = -\frac{R_y Z^{*2}}{n^2} \left[ 1 + \frac{\alpha^2 Z^{*2}}{n} \left( \frac{1}{j+1/2} - \frac{3}{4n} \right) \right]. \quad (10)$$

Подробный вывод формул (7) и (8) можно найти в [2–4].

Сложение моментов  $\vec{l}$  и  $\vec{s}$  проводится по правилам квантовой механики так, что при заданных значениях  $l$  и  $s$  полный момент атома  $j$  может принимать следующий набор значений:

$$j = l + s, (l + s - 1), \dots, |l - s|. \quad (11)$$

Таким образом для щелочных металлов уровень может расщепляться на две компоненты  $j = l + 1/2$  и  $j = l - 1/2$  (кроме случая, когда  $l = 0$ , тогда  $j = 1/2$ ). На рис. 3 изображена схема мультиплетного расщепления энергетических уровней атомов щелочных металлов и возможные переходы между уровнями [3].

Полные моменты  $L$  и  $S = 1/2$  атома совпадают с орбитальным моментом и спином внешнего оптического электрона. Поэтому чётность состояния атома равна  $(-1)^l$ . Правила отбора квантовой механики по чётности запрещают переходы между уровнями с одинаковым значением  $l$ , так что возможны лишь переходы с  $\Delta l = \pm 1$ . Также переходы между уровнями должны подчиняться правилу отбора по полному моменту атома  $j$ , которое гласит, что либо  $j$  меняется на единицу, либо остаётся неизменным (но только если оба уровня не имеют  $j = 0$ )  $\Delta j = 0, \pm 1$ . Главное квантовое число  $n$  при переходе между энергетических уровней может изменяться на любую величину либо оставаться неизменным.

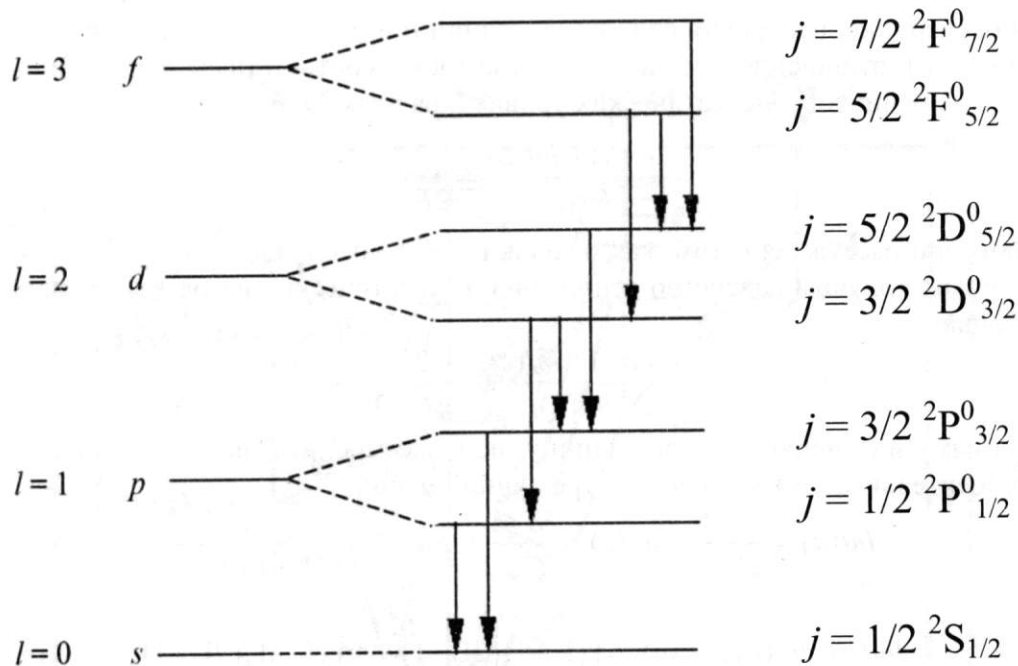


Рис. 3. Дублетная структура уровней и разрешенные переходы, определяемые правилами отбора  $\Delta l = \pm 1$  и  $\Delta j = 0, \pm 1$

Величину дублетного расщепления отдельного термина щелочного атома можно найти из соотношения (10), положив для верхнего уровня  $j = l + 1/2$ , а для нижнего  $j = l - 1/2$ . Разность между ними в  $\text{см}^{-1}$  равна:

$$\frac{\Delta\lambda^2}{\lambda^2} = -\frac{\alpha^2 R_y Z^{*4}}{n^3 l(l+1)} = 5,82 \frac{Z^{*4}}{n^3 l(l+1)} \quad (12)$$

Это выражение можно использовать для экспериментального определения эффективного заряда ядра. Следует отметить, что вычисленный таким способом эффективный заряд оказывается значительно больше эффективного заряда, вычисленного по формулам, задающим сериальные закономерности в излучении атомов щелочных металлов. Объясняется это тем, что спин-орбитальное взаимодействие сильно зависит от распределения электронной плотности вблизи ядра (рис. 3), где экранирование заряда ядра внутренними электронами минимально, что приводит к большей величине эффективного заряда  $Z^*$ .

### Правило интенсивностей спектральных линий [2]

Определим относительные интенсивности компонент тонкой структуры спектральных линий щелочных металлов. На рис. 4 представлены переходы между компонентами дублетных уровней  $n, L$  и  $n', L-1$ , которые в силу правил отборов дают три линии [2].

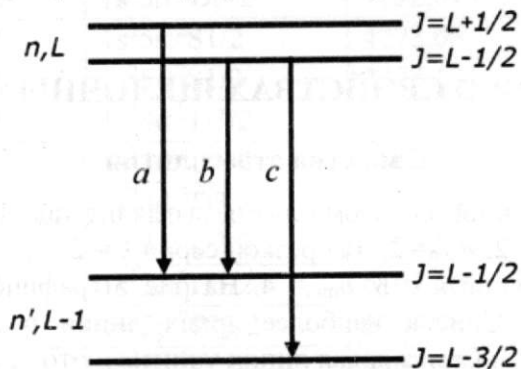


Рис. 4. Переходы между компонентами дублетных уровней атомов щелочных металлов  $n, L$  и  $n', L-1$  [2]



Если бы верхние два уровня слились, то линии  $a$  и  $b$  совпали бы и остались бы два перехода  $c$  и  $(a + b)$ , отношение интенсивностей которых соответствует отношению статистических весов двух нижних энергетических уровней, равных  $2J + 1$ :

$$\frac{Int(a) + Int(b)}{Int(c)} = \frac{2L}{2L - 2}.$$

Аналогично рассуждая о том, как относились бы интенсивности при совпадении нижних уровней, мы получим равенство отношению статистических весов двух верхних энергетических уровней:

$$\frac{Int(b) + Int(c)}{Int(a)} = \frac{2L}{2L + 2}.$$

Взяв сумму интенсивностей за единицу, получаем полный набор уравнений для определения относительных интенсивностей трех линий  $a$ ,  $b$  и  $c$ :

$$Int(a) = \frac{L+1}{2L+1}; \quad Int(c) = \frac{L-1}{2L-1}; \quad Int(b) = \frac{1}{(2L+1)(2L-1)}$$

или

$$Int(a) : Int(b) : Int(c) = [(L+1)(2L-1)] : 1 : [(L-1)(2L+1)]. \quad (13)$$

При  $L = 1$  нижний уровень не расщеплен, линия  $c$  отсутствует и  $Int(a)/Int(b) = 2$ .

Выражение (13) можно использовать для определения орбитального момента атома по измерению относительных интенсивностей его спектральных линий, соответствующих переходам между компонентами дублетных уровней. Для дублетов главной серии более интенсивной будет линия с меньшей длиной волны. А для резкой серии будет наоборот – более интенсивной будет линия с большей длиной волны. Для сложных дублетов диффузной и фундаментальной серии соотношения будут  $9 : 1 : 5$  и  $20 : 1 : 14$ , соответственно. Подобные соотношения могут приводить к тому, что переход, обозначенный на рис. 4 как « $b$ », будет сложнее наблюдаться. Надо также отметить, что данные соотношения являются приближенными и лучше всего соблюдаются для переходов с минимальными главными квантовыми числами  $n$ .

### Диаграмма Гротриана [7]

В качестве удобного графического представления переходов для конкретного атома можно использовать диаграммы Гротриана (см., например, рис. 5). По горизонтальной оси  $X$  отложены возможные состояния по квантовым числам. По вертикальной оси  $Y$  отложена энергия уровней в  $\text{см}^{-1}$  и эВ. Уровни показаны короткими горизонтальными черточками, а переходы между ними наклонными линиями с разрывами, в которых даны значения длин волн для соответствующих спектральных линий. Возможные переходы между уровнями с различными  $l$  определяются правилами отбора  $\Delta l = \pm 1$ .

## ИНФОРМАЦИЯ О СВОЙСТВАХ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

### Свойства атома лития

Электронная конфигурация для атома лития выглядит так:  $1s^2 2s^1$ . Соответственно, для переходов главной серии  $k = 2$ ,  $n_{\min} = 2$ , для резкой серии  $k = 2$ ,  $n_{\min} = 3$ , диффузной серии  $k = 2$ ,  $n_{\min} = 3$  и для фундаментальной  $k = 3$ ,  $n_{\min} = 4$ . На рис. 5 графическим образом изображены переходы для всех серий. Список наиболее ярких линий в диапазоне, доступном для измерения, приведен в табл. 3. Самая яркая линия у лития – это красный дублет, относящийся к главной серии. Поскольку расщепление дублетов очень маленькое, то приведенные в таблице интенсивности являются суммой интенсивностей данных переходов.

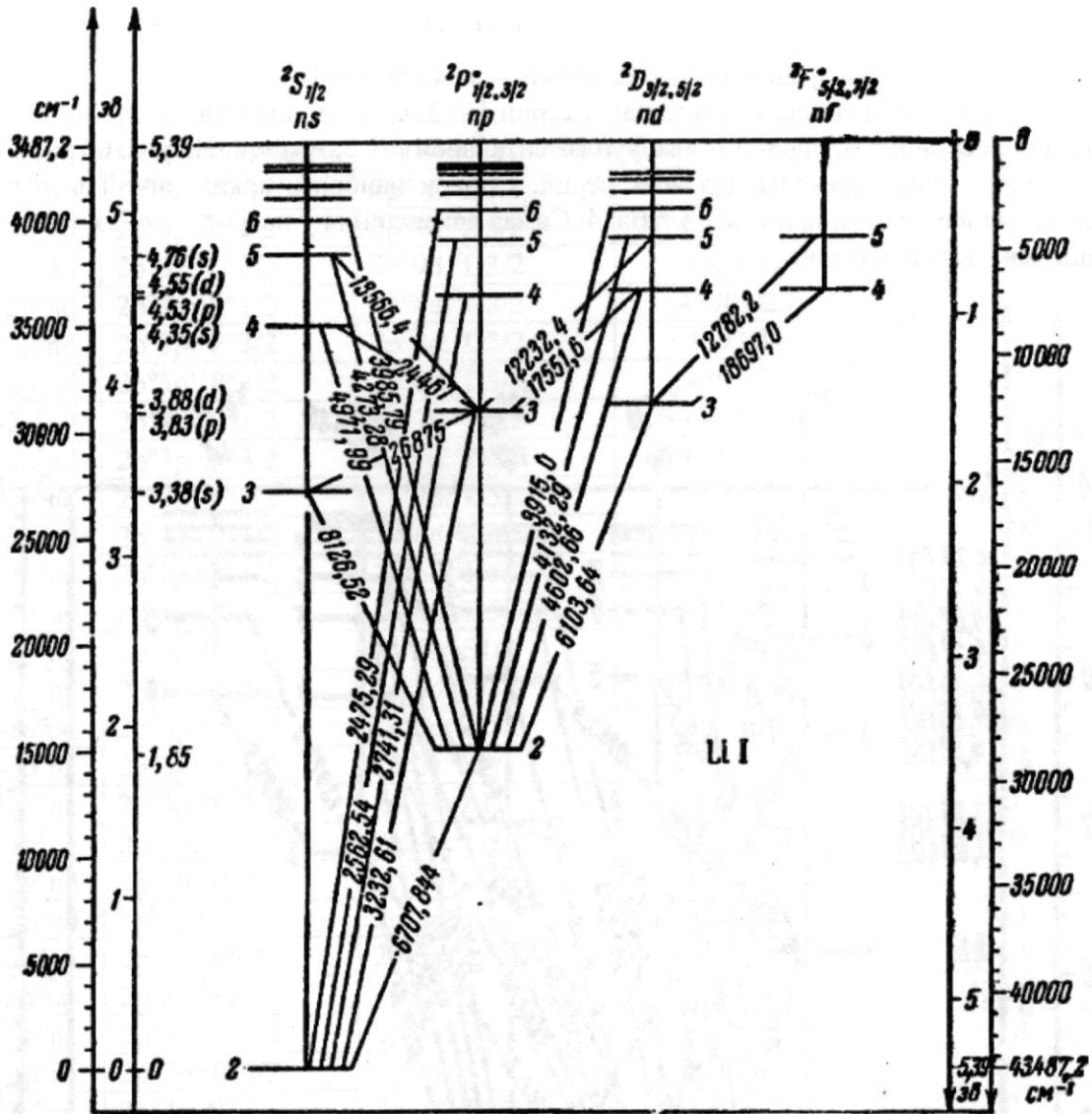


Рис. 5. Диаграмма Гроттриана для атома лития [6]

Таблица 3

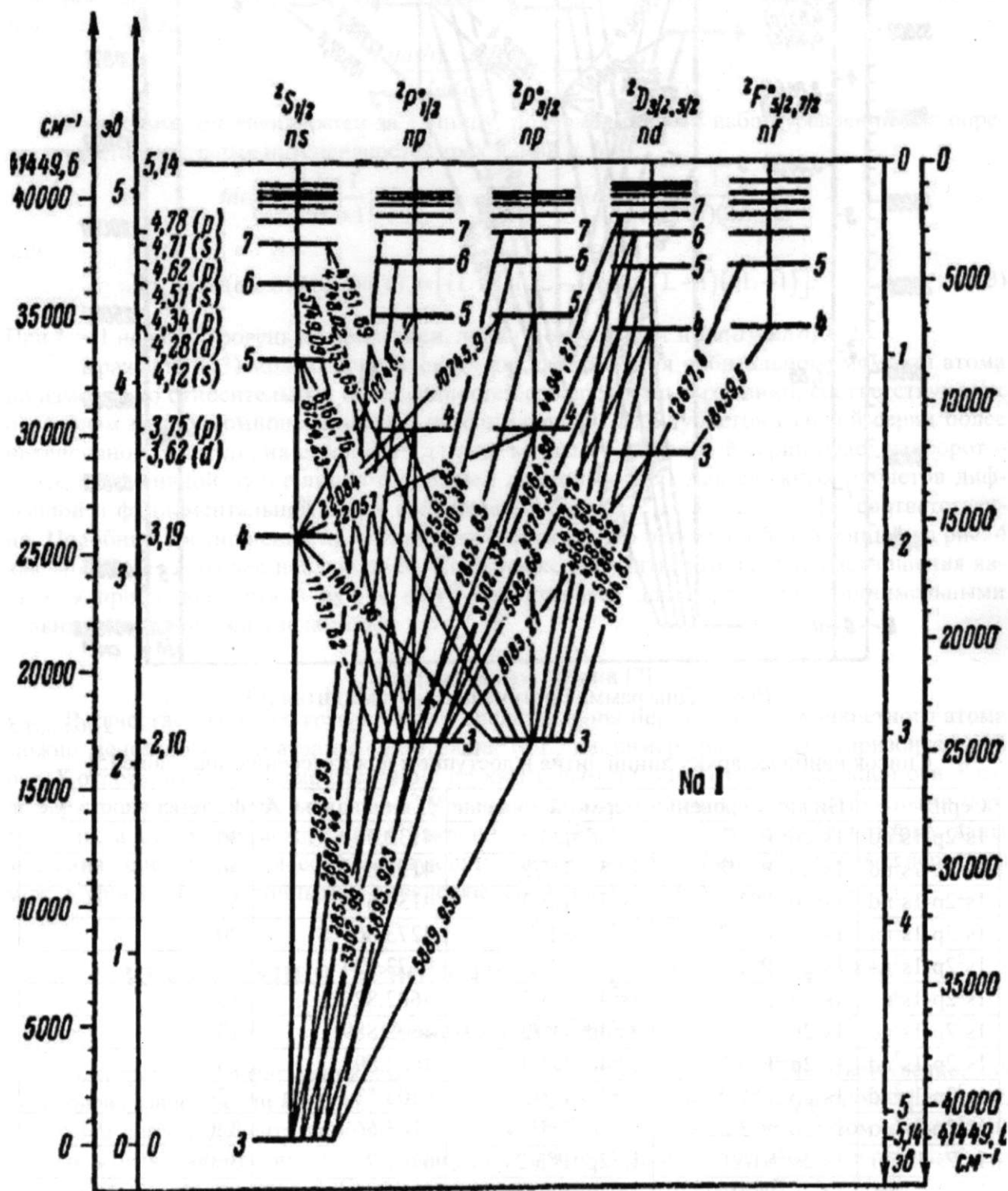
Список наиболее ярких линий лития в доступном для измерений диапазоне [5]

Серия	Нижний уровень	Верхний уровень	Длина волны, Å	Интенсивность, у.е.
$1s^2 2p-1s^2 nd$	$1s^2 2p: ^2P^{\circ} 1/2$	$1s^2 5d: ^2D 3/2$	4132,56	40
$1s^2 2p-1s^2 nd$	$1s^2 2p: ^2P^{\circ} 3/2$	$1s^2 5d: ^2D 5/2$	4132,613	40
$1s^2 2p-1s^2 nd$	$1s^2 2p: ^2P^{\circ} 3/2$	$1s^2 5d: ^2D 3/2$	4132,615	40
$1s^2 2p-1s^2 ns$	$1s^2 2p: ^2P^{\circ} 1/2$	$1s^2 5s: ^2S 1/2$	4273,06	20
$1s^2 2p-1s^2 ns$	$1s^2 2p: ^2P^{\circ} 3/2$	$1s^2 5s: ^2S 1/2$	4273,124	20
$1s^2 2p-1s^2 nd$	$1s^2 2p: ^2P^{\circ} 1/2$	$1s^2 4d: ^2D 3/2$	4602,82	13
$1s^2 2p-1s^2 nd$	$1s^2 2p: ^2P^{\circ} 3/2$	$1s^2 4d: ^2D 5/2$	4602,889	13
$1s^2 2p-1s^2 nd$	$1s^2 2p: ^2P^{\circ} 3/2$	$1s^2 4d: ^2D 3/2$	4602,893	13
$1s^2 2p-1s^2 nd$	$1s^2 2p: ^2P^{\circ} 1/2$	$1s^2 3d: ^2D 3/2$	6103,53	320
$1s^2 2p-1s^2 nd$	$1s^2 2p: ^2P^{\circ} 3/2$	$1s^2 3d: ^2D 5/2$	6103,66	320
$1s^2 2s-1s^2 np$	$1s^2 2s: ^2S 1/2$	$1s^2 2p: ^2P^{\circ} 3/2$	6707,76	3600
$1s^2 2s-1s^2 np$	$1s^2 2s: ^2S 1/2$	$1s^2 2p: ^2P^{\circ} 1/2$	6707,91	3600
$1s^2 2p-1s^2 ns$	$1s^2 2p: ^2P^{\circ} 1/2$	$1s^2 3s: ^2S 1/2$	8126,22	48
$1s^2 2p-1s^2 ns$	$1s^2 2p: ^2P^{\circ} 3/2$	$1s^2 3s: ^2S 1/2$	8126,45	48

### Свойства атома натрия

Электронная конфигурация для атома натрия выглядит так:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ .

Соответственно, для переходов главной серии  $k = 3$ ,  $n_{\min} = 3$ , для резкой серии  $k = 3$ ,  $n_{\min} = 4$ , диффузной серии  $k = 3$ ,  $n_{\min} = 3$  и для фундаментальной  $k = 3$ ,  $n_{\min} = 4$ . На рис. 6 графическим образом изображены переходы для всех серий. Список наиболее ярких линий в диапазоне, доступном для измерения, приведен в табл. 4. Самая яркая линия у натрия – это желтый дублет, относящийся к главной серии.



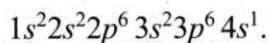
Список наиболее ярких линий натрия в доступном для измерений диапазоне [5]

Серия	Нижний уровень	Верхний уровень	Длина волны, Å	Интенсивность, у.е.
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	2p <sup>6</sup> 9d: <sup>2</sup> D3/2	4321,401	30
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 9d: <sup>2</sup> D5/2	4324,616	40
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 9d: <sup>2</sup> D3/2	4324,62	40
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	2p <sup>6</sup> 8d: <sup>2</sup> D3/2	4390,023	40
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 8d: <sup>2</sup> D3/2	4393,34	60
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 8d: <sup>2</sup> D5/2	4393,34	60
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	2p <sup>6</sup> 7d: <sup>2</sup> D3/2	4494,18	60
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 7d: <sup>2</sup> D5/2	4497,657	100
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 7d: <sup>2</sup> D3/2	4497,66	100
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	2p <sup>6</sup> 6d: <sup>2</sup> D3/2	4664,811	120
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 6d: <sup>2</sup> D3/2	4668,56	200
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 6d: <sup>2</sup> D5/2	4668,56	200
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> ns	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 7s: <sup>2</sup> S1/2	4751,82	30
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	2p <sup>6</sup> 5d: <sup>2</sup> D3/2	4978,541	200
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 5d: <sup>2</sup> D5/2	4982,81	400
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> ns	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	2p <sup>6</sup> 6s: <sup>2</sup> S1/2	5148,84	40
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> ns	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 6s: <sup>2</sup> S1/2	5153,4	80
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	2p <sup>6</sup> 4d: <sup>2</sup> D3/2	5682,63	280
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 4d: <sup>2</sup> D3/2	5688,19	70
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 4d: <sup>2</sup> D5/2	5688,205	560
2p <sup>6</sup> 3s-2p <sup>6</sup> np	2p <sup>6</sup> 3s: <sup>2</sup> S1/2	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	5889,95	80000
2p <sup>6</sup> 3s-2p <sup>6</sup> np	2p <sup>6</sup> 3s: <sup>2</sup> S1/2	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	5895,92	40000
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> ns	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	2p <sup>6</sup> 5s: <sup>2</sup> S1/2	6154,23	120
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> ns	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 5s: <sup>2</sup> S1/2	6160,75	240
2p <sup>6</sup> 4s-2p <sup>6</sup> np	2p <sup>6</sup> 4s: <sup>2</sup> S1/2	2p <sup>6</sup> 7p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	7809,78	50
2p <sup>6</sup> 4s-2p <sup>6</sup> np	2p <sup>6</sup> 4s: <sup>2</sup> S1/2	2p <sup>6</sup> 7p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	7810,24	25
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	2p <sup>6</sup> 3d: <sup>2</sup> D3/2	8183,255	4400
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 3d: <sup>2</sup> D3/2	8194,79	800
2p <sup>6</sup> 3p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 3p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 3d: <sup>2</sup> D5/2	8194,824	8800
2p <sup>6</sup> 4s-2p <sup>6</sup> np	2p <sup>6</sup> 4s: <sup>2</sup> S1/2	2p <sup>6</sup> 6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	8649,93	100
2p <sup>6</sup> 4s-2p <sup>6</sup> np	2p <sup>6</sup> 4s: <sup>2</sup> S1/2	2p <sup>6</sup> 6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	8650,89	60
2p <sup>6</sup> 3d-2p <sup>6</sup> nf	2p <sup>6</sup> 3d: <sup>2</sup> D5/2	2p <sup>6</sup> 10f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	8942,94	25
2p <sup>6</sup> 3d-2p <sup>6</sup> nf	2p <sup>6</sup> 3d: <sup>2</sup> D5/2	2p <sup>6</sup> 10f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 7/2	8942,94	25
2p <sup>6</sup> 3d-2p <sup>6</sup> nf	2p <sup>6</sup> 3d: <sup>2</sup> D5/2	2p <sup>6</sup> 9f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	9153,86	40
72p <sup>6</sup> 3d-2p <sup>6</sup> nf	2p <sup>6</sup> 3d: <sup>2</sup> D5/2	2p <sup>6</sup> 9f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 7/2	9153,86	40
2p <sup>6</sup> 3d-2p <sup>6</sup> nf	2p <sup>6</sup> 3d: <sup>2</sup> D5/2	2p <sup>6</sup> 8f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	9465,92	60
2p <sup>6</sup> 3d-2p <sup>6</sup> nf	2p <sup>6</sup> 3d: <sup>2</sup> D5/2	2p <sup>6</sup> 8f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 7/2	9465,92	60
2p <sup>6</sup> 3d-2p <sup>6</sup> nf	2p <sup>6</sup> 3d: <sup>2</sup> D5/2	2p <sup>6</sup> 7f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	9961,26	80
2p <sup>6</sup> 3d-2p <sup>6</sup> nf	2p <sup>6</sup> 3d: <sup>2</sup> D5/2	2p <sup>6</sup> 7f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 7/2	9961,26	80
2p <sup>6</sup> 4p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 8d: <sup>2</sup> D3/2	10572,27	60
2p <sup>6</sup> 4p-2p <sup>6</sup> nd	2p <sup>6</sup> 4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	2p <sup>6</sup> 8d: <sup>2</sup> D3/2	10572,27	60
2p <sup>6</sup> 4s-2p <sup>6</sup> np	2p <sup>6</sup> 4s: <sup>2</sup> S1/2	2p <sup>6</sup> 5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	10746,44	200
2p <sup>6</sup> 4s-2p <sup>6</sup> np	2p <sup>6</sup> 4s: <sup>2</sup> S1/2	2p <sup>6</sup> 5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	10749,29	80



## Свойства атома калия

Электронная конфигурация для атома калия выглядит так:



Соответственно, для переходов главной серии  $k = 4$ ,  $n_{\min} = 4$ , для резкой серии  $k = 4$ ,  $n_{\min} = 5$ , диффузной серии  $k = 4$ ,  $n_{\min} = 3$ , и для фундаментальной  $k = 3$ ,  $n_{\min} = 4$ . На рис. 7 графическим образом изображены переходы для всех серий. Список наиболее ярких линий в диапазоне, доступном для измерения, приведен в табл. 5. Самая интенсивная линия у калия — это дублет, относящийся к главной серии, с длиной волны в ближайшем инфракрасном диапазоне. Самая яркая линия в видимом диапазоне — это красный дублет, относящийся к резкой серии.

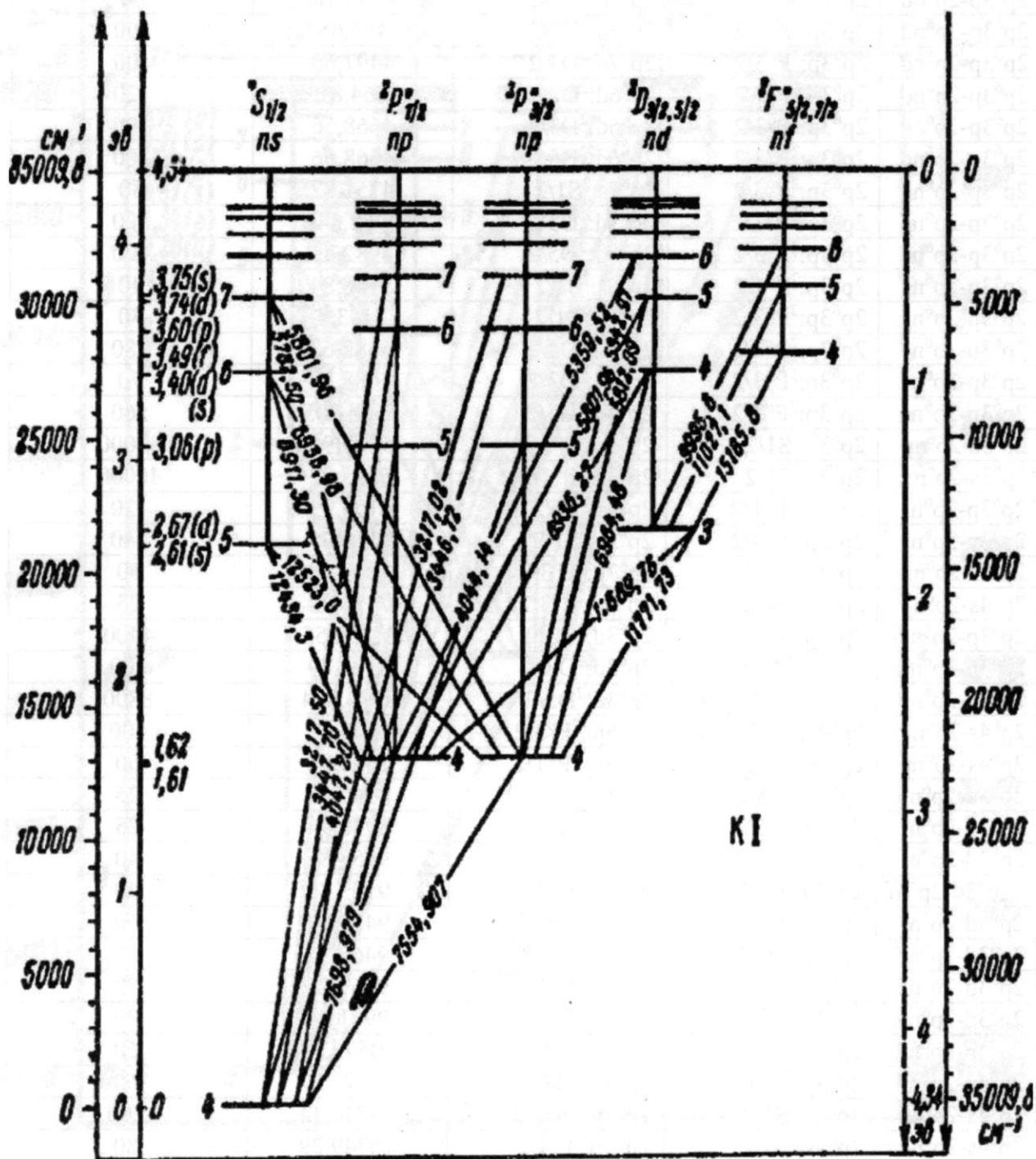


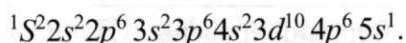
Рис. 7. Диаграмма Гротриана для атома калия [6]

Список наиболее ярких линий калия в доступном для измерений диапазоне [5]

Серия	Нижний уровень	Верхний уровень	Длина волны, Å	Интенсивность, у.е.
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> nd	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)10d: <sup>2</sup> D5/2	4804,335	8
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> nd	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)9d: <sup>2</sup> D3/2	4856,088	8
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> ns	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)1 <sup>1</sup> S: <sup>2</sup> S1/2	4863,476	8
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> nd	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)9d: <sup>2</sup> D5/2	4869,754	9
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> ns	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)10s: <sup>2</sup> S1/2	4942,005	8
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> nd	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8d: <sup>2</sup> D3/2	4950,814	9
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> ns	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)10s: <sup>2</sup> S1/2	4956,143	9
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> nd	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8d: <sup>2</sup> D5/2	4965,027	10
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> ns	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)9s: <sup>2</sup> S1/2	5084,23	10
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> nd	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7d: <sup>2</sup> D3/2	5097,17	11
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> ns	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)9s: <sup>2</sup> S1/2	5099,195	11
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> nd	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7d: <sup>2</sup> D5/2	5112,249	12
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> ns	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8s: <sup>2</sup> S1/2	5323,27	12
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> ns	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8s: <sup>2</sup> S1/2	5339,682	13
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> nd	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6d: <sup>2</sup> D3/2	5342,97	12
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> nd	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6d: <sup>2</sup> D5/2	5359,57	14
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> ns	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7s: <sup>2</sup> S1/2	5782,4	16
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> ns	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7s: <sup>2</sup> S1/2	5801,759	17
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> nd	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D3/2	5812,15	15
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> nd	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D5/2	5831,883	17
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> ns	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6s: <sup>2</sup> S1/2	6911,07	19
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> nd	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4d: <sup>2</sup> D3/2	6936,28	12
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> ns	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6s: <sup>2</sup> S1/2	6938,754	20
3p <sup>6</sup> 4p-3p <sup>6</sup> nd	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4d: <sup>2</sup> D5/2	6964,681	12
3p <sup>6</sup> 4s-3p <sup>6</sup> np	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4s: <sup>2</sup> S1/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	7664,91	25
3p <sup>6</sup> 4s-3p <sup>6</sup> np	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4s: <sup>2</sup> S1/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	7698,974	24
3p <sup>6</sup> 3d-3p <sup>6</sup> nf	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)3d: <sup>2</sup> D5/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)9f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	8250,16	9
3p <sup>6</sup> 3d-3p <sup>6</sup> nf	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)3d: <sup>2</sup> D5/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)9f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 7/2	8250,16	9
3p <sup>6</sup> 3d-3p <sup>6</sup> nf	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)3d: <sup>2</sup> D3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)9f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	8251,74	8
3p <sup>6</sup> 3d-3p <sup>6</sup> nf	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)3d: <sup>2</sup> D5/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	8503,44	11
3p <sup>6</sup> 3d-3p <sup>6</sup> nf	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)3d: <sup>2</sup> D5/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 7/2	8503,44	11
3p <sup>6</sup> 3d-3p <sup>6</sup> nf	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)3d: <sup>2</sup> D3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	8505,11	10
3p <sup>6</sup> 3d-3p <sup>6</sup> nf	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)3d: <sup>2</sup> D5/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	8902,18	13
3p <sup>6</sup> 3d-3p <sup>6</sup> nf	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)3d: <sup>2</sup> D5/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 7/2	8902,18	13
3p <sup>6</sup> 3d-3p <sup>6</sup> nf	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)3d: <sup>2</sup> D3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	8904,01	12
3p <sup>6</sup> 3d-3p <sup>6</sup> nf	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)3d: <sup>2</sup> D5/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	9595,69	15
3p <sup>6</sup> 3d-3p <sup>6</sup> nf	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)3d: <sup>2</sup> D5/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 7/2	9595,69	15
3p <sup>6</sup> 3d-3p <sup>6</sup> nf	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)3d: <sup>2</sup> D3/2	3p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	9597,81	14

## Свойства атома рубидия

Электронная конфигурация для атома рубидия выглядит так:



Соответственно, для переходов главной серии  $k = 5$ ,  $n_{\min} = 5$ , для резкой серии  $k = 5$ ,  $n_{\min} = 6$ , диффузной серии  $k = 5$ ,  $n_{\min} = 4$ , и для фундаментальной  $k = 4$ ,  $n_{\min} = 4$ . На рис. 8 графическим образом изображены переходы для всех серий. Список наиболее ярких линий в диапазоне, доступном для измерения, приведен в табл. 6. Самая интенсивная линия, как и у калия, находится в инфракрасном диапазоне и относится к главной серии. В видимом диапазоне самой яркой линией является синий дублет, также относящийся к главной серии.

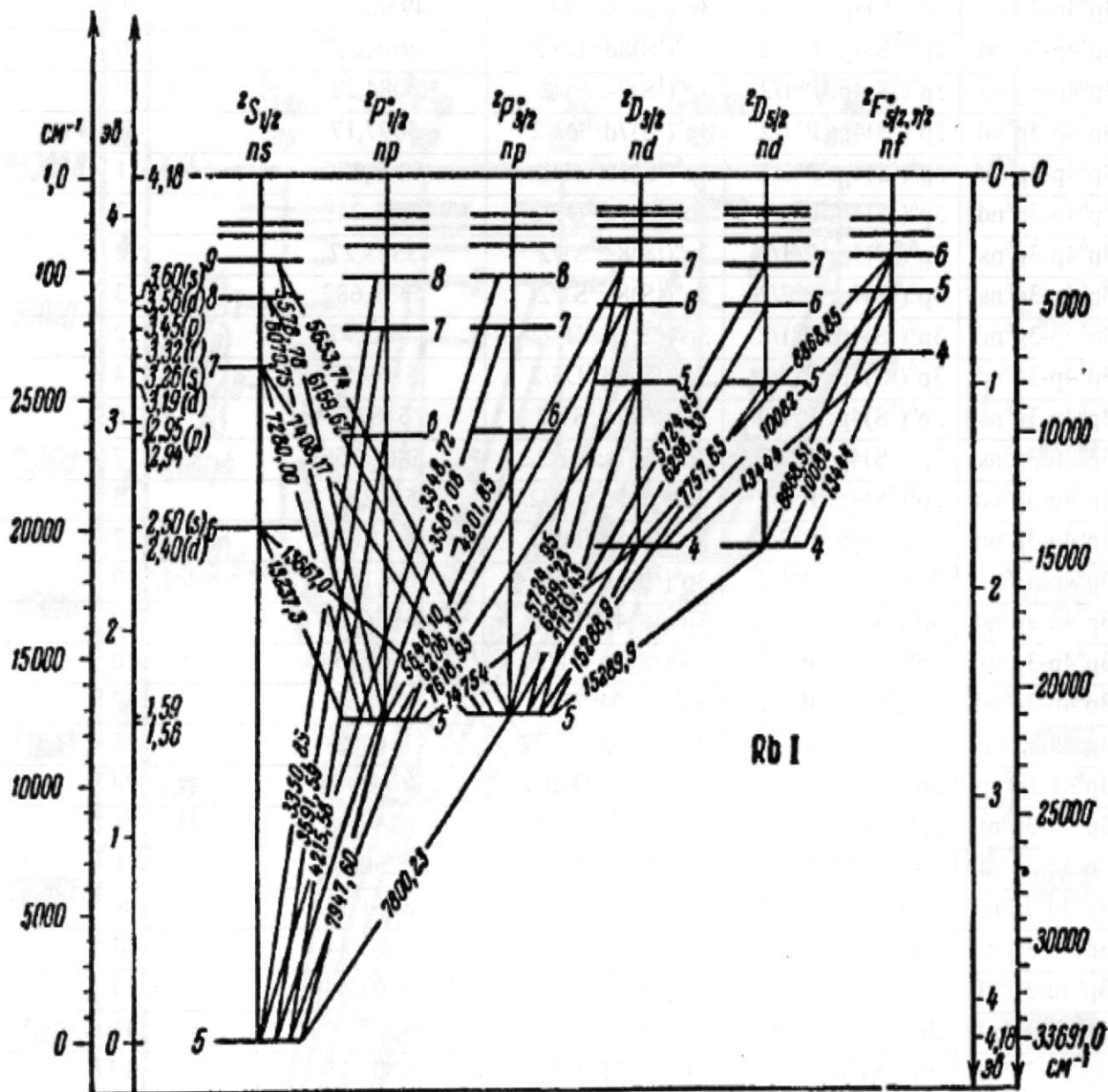


Рис. 8. Диаграмма Гротриана для атома рубидия [6]

Список наиболее ярких линий рубидия в доступном для измерений диапазоне [5]

Серия	Нижний уровень	Верхний уровень	Длина волны, Å	Интенсивность, у.е.
4p <sup>6</sup> 5s-4p <sup>6</sup> np	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5s: <sup>2</sup> S1/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	4201,805	1000
4p <sup>6</sup> 5s-4p <sup>6</sup> np	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5s: <sup>2</sup> S1/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	4215,54	500
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> nd	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)10d: <sup>2</sup> D5/2	5150,134	10
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> nd	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)9d: <sup>2</sup> D3/2	5195,274	15
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> nd	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)9d: <sup>2</sup> D5/2	5260,031	20
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> nd	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8d: <sup>2</sup> D3/2	5362,6	40
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> nd	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8d: <sup>2</sup> D5/2	5431,528	75
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> ns	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)9s: <sup>2</sup> S1/2	5578,78	6
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> nd	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7d: <sup>2</sup> D3/2	5647,78	40
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> ns	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)9s: <sup>2</sup> S1/2	5653,74	20
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> nd	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7d: <sup>2</sup> D5/2	5724,12	60
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> ns	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8s: <sup>2</sup> S1/2	6070,75	75
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> ns	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8s: <sup>2</sup> S1/2	6159,62	30
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> nd	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6d: <sup>2</sup> D3/2	6206,31	75
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> nd	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6d: <sup>2</sup> D5/2	6298,33	120
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> ns	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7s: <sup>2</sup> S1/2	7280	100
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> ns	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7s: <sup>2</sup> S1/2	7408,17	150
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> nd	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D3/2	7618,93	200
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> nd	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D5/2	7757,65	300
4p <sup>6</sup> 5p-4p <sup>6</sup> nd	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D3/2	7759,43	60
4p <sup>6</sup> 5s-4p <sup>6</sup> np	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5s: <sup>2</sup> S1/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	7800,27	90000
4p <sup>6</sup> 5s-4p <sup>6</sup> np	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5s: <sup>2</sup> S1/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	7947,6	45000
4p <sup>6</sup> 4d-4p <sup>6</sup> nf	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4d: <sup>2</sup> D5/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 7/2	8271,41	40
4p <sup>6</sup> 4d-4p <sup>6</sup> nf	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4d: <sup>2</sup> D3/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	8271,71	30
4p <sup>6</sup> 4d-4p <sup>6</sup> nf	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4d: <sup>2</sup> D5/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 7/2	8868,51	40
4p <sup>6</sup> 4d-4p <sup>6</sup> nf	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4d: <sup>2</sup> D3/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	8868,85	30
4p <sup>6</sup> 4d-4p <sup>6</sup> np	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4d: <sup>2</sup> D5/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	9522,5	30
4p <sup>6</sup> 4d-4p <sup>6</sup> np	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4d: <sup>2</sup> D3/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	9540	20
4p <sup>6</sup> 4d-4p <sup>6</sup> nf	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4d: <sup>2</sup> D5/2	4p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 7/2	10075,28	35



### Свойства атома цезия

Электронная конфигурация для атома цезия выглядит так:

$$1S^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^1.$$

Соответственно, для переходов главной серии  $k = 6$ ,  $n_{\min} = 6$ , для резкой серии  $k = 6$ ,  $n_{\min} = 7$ , диффузной серии  $k = 6$ ,  $n_{\min} = 5$  и для фундаментальной  $k = 5$ ,  $n_{\min} = 4$ . На рис. 9 графическим образом изображены переходы для всех серий. Список наиболее ярких линий в диапазоне, доступном для измерения, приведен в табл. 7. Самая интенсивная линия цезия находится в инфракрасном диапазоне и относится к серии  $5p^6 5d-5p^6 np$ . В видимом диапазоне самой яркой линией является голубой дублет, относящийся к главной серии.

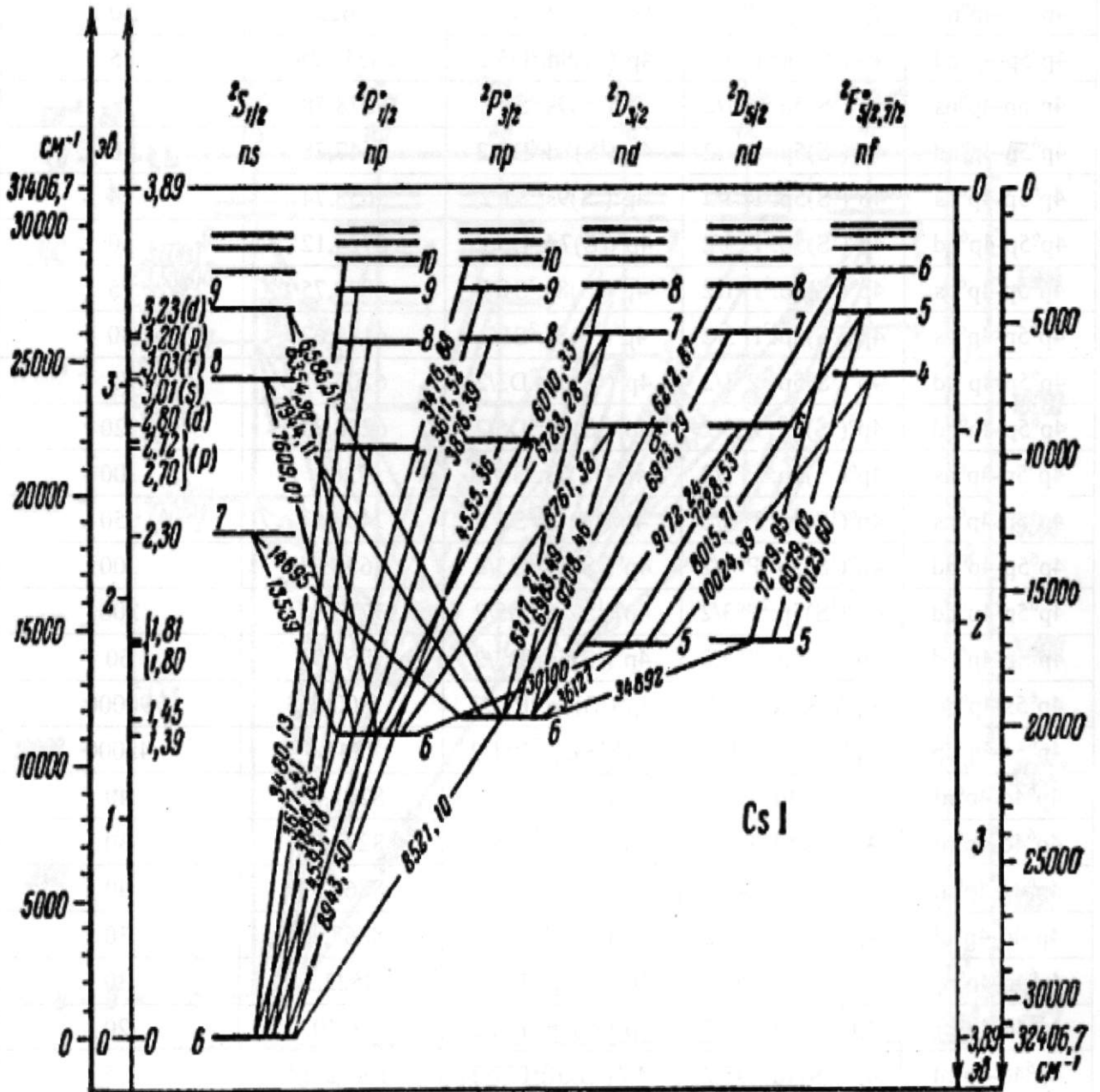


Рис. 9. Диаграмма Гротриана для атома цезия [6]

Список наиболее ярких линий цезия в доступном для измерений диапазоне [5]

Серия	Нижний уровень	Верхний уровень	Длина волны, Å	Интенсивность, у.е.
5p <sup>6</sup> 6s-5p <sup>6</sup> np	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6s: <sup>2</sup> S1/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	4555,28	2000
5p <sup>6</sup> 6s-5p <sup>6</sup> np	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6s: <sup>2</sup> S1/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	4593,17	1000
5p <sup>6</sup> 6p-5p <sup>6</sup> nd	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8d: <sup>2</sup> D3/2	6010,49	50
5p <sup>6</sup> 6p-5p <sup>6</sup> ns	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)10s: <sup>2</sup> S1/2	6034,09	35
5p <sup>6</sup> 6p-5p <sup>6</sup> nd	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8d: <sup>2</sup> D5/2	6213,1	100
5p <sup>6</sup> 6p-5p <sup>6</sup> ns	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)9s: <sup>2</sup> S1/2	6354,55	200
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> nf	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D3/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	6586,02	35
5p <sup>6</sup> 6p-5p <sup>6</sup> ns	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)9s: <sup>2</sup> S1/2	6586,51	500
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> nf	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D5/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 7/2	6628,66	35
5p <sup>6</sup> 6p-5p <sup>6</sup> nd	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7d: <sup>2</sup> D3/2	6723,29	500
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> np	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D5/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)11p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	6743,97	31
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> nf	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D3/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	6824,65	200
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> nf	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D5/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 7/2	6870,46	200
5p <sup>6</sup> 6p-5p <sup>6</sup> nd	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7d: <sup>2</sup> D5/2	6973,3	500
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> np	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D3/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)10p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	7026,68	100
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> np	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D5/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)10p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	7061,78	130
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> nf	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D3/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	7228,54	500
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> nf	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D5/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	7279,9	100
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> nf	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D5/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 7/2	7279,96	500
5p <sup>6</sup> 6p-5p <sup>6</sup> ns	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8s: <sup>2</sup> S1/2	7608,9	500
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> np	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D3/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)9p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	7609,57	530
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> np	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D5/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)9p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	7640,33	720
5p <sup>6</sup> 6p-5p <sup>6</sup> ns	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8s: <sup>2</sup> S1/2	7943,88	800
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> nf	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D3/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	8015,72	200
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> nf	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D5/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	8078,92	100
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> nf	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D5/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 7/2	8079,03	1000
5p <sup>6</sup> 6s-5p <sup>6</sup> np	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6s: <sup>2</sup> S1/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	8521,15	4000
5p <sup>6</sup> 6p-5p <sup>6</sup> nd	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6d: <sup>2</sup> D3/2	8761,41	500
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> np	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D3/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	8853,2	680
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> np	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D3/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	8918,5	3600
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> np	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D5/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)8p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	8930,38	5200
5p <sup>6</sup> 6s-5p <sup>6</sup> np	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6s: <sup>2</sup> S1/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	8943,48	2000
5p <sup>6</sup> 6p-5p <sup>6</sup> nd	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6d: <sup>2</sup> D5/2	9172,32	1000
5p <sup>6</sup> 6p-5p <sup>6</sup> nd	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)6d: <sup>2</sup> D3/2	9208,54	200
5p <sup>6</sup> 7s-5p <sup>6</sup> np	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7s: <sup>2</sup> S1/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)10p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 3/2	9783,83	130
5p <sup>6</sup> 7s-5p <sup>6</sup> np	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)7s: <sup>2</sup> S1/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)10p: <sup>2</sup> P <sup>o</sup> 1/2	9809,62	34
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> nf	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D3/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	10024,36	1000
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> nf	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D5/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 5/2	10123,4	200
5p <sup>6</sup> 5d-5p <sup>6</sup> nf	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)5d: <sup>2</sup> D5/2	5p <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> S)4f: <sup>2</sup> F <sup>o</sup> 7/2	10123,6	1200

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдов А.С. Квантовая механика. М.: Наука, 1973.
2. Фриш С.Э. Оптические спектры атомов. М.; Л.: Физматгиз, 1963.
3. Собельман И.И. Введение в теорию атомных спектров. М.: Наука, 1977.
4. Дирак П.А.М. Релятивистское волновое уравнение электрона // Успехи физ. наук. 1979. Т. 128, вып. 4. С. 681–691.
5. Kazakov V. V., Kazakov V. G., Kovalev V. S., et al. Electronic structure of atoms: atomic spectroscopy information system // Physica Scripta. 2017. Vol. 92. Issue 10. DOI: 10.1088/1402-4896/aa822e Режим доступа: <http://grotrian.nsu.ru/ru>. Дата обращения 06.04.2022.
6. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М: Эдиториал УРСС, 2001.
7. Казаков В.В., Казаков В. Г., Мешков О.И. и др. Вопросы систематизации, хранения и отображения информации о спектрах атомных систем: учеб. пособие. Новосибирск: НГУ, 2018.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Теоретическая часть .....	3
Уровни энергии атомов щелочных металлов .....	3
Спектральные серии атомов щелочных металлов.....	4
Тонкая структура энергетических уровней.....	6
Правило интенсивностей спектральных линий [2] .....	7
Диаграмма Гротриана [7].....	8
Информация о свойствах щелочных металлов 8	
Свойства атома лития.....	8
Свойства атома натрия.....	10
Свойства атома калия.....	12
Свойства атома рубидия .....	14
Свойства атома цезия .....	16
Список литературы .....	18



Учебное издание

**Димова** Татьяна Владимировна  
**Шестаков** Юрий Владимирович

**ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ АТОМОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Учебно-методическое пособие

Редактор С. В. Исакова  
Верстка О. А. Тенекеджи  
Обложка Е. В. Неклюдовой

Подписано в печать 25.11.2022 г.  
Формат 60×84/8. Уч.-изд. л. 2,5. Усл. печ. л. 2,3.  
Тираж 50 экз. Заказ № 254  
Издательско-полиграфический центр НГУ  
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2.

**АТОМНЫЙ ПРАКТИКУМ**

ISBN 978-5-4437-1390-8



9 785443 713908