Доклады Академии Наук СССР
1954. Том XCIX, № 5

АСТРОНОМИЯ

А. А. НИКИТИН

ОБ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ИНТЕНСИВНОСТЯХ ЛИНИЙ Ca II В ЗВЕЗДНЫХ СПЕКТРАХ

(Представлено академиком Г. А. Шайном 12 VII 1954)

Теоретическое истолкование относительных интесивностей спектральных линий является весьма важной задачей астрофизики. Составление уравнений стационарности для энергетических уровней атомов, ответственных за появление интересующих нас линий, является одной из таких задач, которая особенно полезна при истолковании спектров эмиссии и поглощения в оптически тонких слоях. Представляет поэтому интерес рассмотреть уравнения станционарности для некоторых нижних уровней Ca II. Линии, связанные с этими уровнями, весьма интенсивны в звездных спектрах. Теоретическая интерпретация их относительных интенсивностей в ряде случаев еще далеко неполностью объясняет данные наблюдения.

Ввиду трудностей при нахождении решения в общем виде ограничимся при составлении уравнений рассмотрением уровней 4^2S — основного, 3^2D — метастабильного; все верхние уровни вместе с непрерывным состоянием примем за один общий уровень. Предположим, что населенность уровней 4^2S и 3^2D определяется следующими процессами:

а) ионизация под действием радиации звезды с коэффициентом дилюции W;

б) рекомбинации с последующими каскадными переходами на один из нижних уровней;

в) неупругие столкновения с электронами, переводящими из состояния 4^2S в 3^2D и наоборот.

Число таких переходов можно определить, зная величину поперечного сечения для указанного процесса. Она приближенно выражается формулой

$$Q(4^2S - 3^2D) = \frac{80|E_0|}{E}\pi a_0^2, \qquad (1)$$

E_0 — энергия уровня 4^2S; E — энергия падающего электрона.

г) Квадрупольные переходы типа $3^2D - 4^2S$, сопровождающиеся излучением запрещенных линий λλ 7291 и 7324. Вероятность такого перехода $A_{3,4} = 1{,}2$ по расчетам (1). Знание этой величины и дает возможность оценить Q, следуя (2).

Число переходов а) и б) легко найти, если известны коэффициенты поглощения изучаемых энергетических уровней. Для 4^2S, 4^2P, 3^2D они даны в (3). Все остальные уровни считаются водородоподобными с $z_{эфф} = 2$. Кроме того, автором была недавно получена простая формула для коэффициента поглощения с уровня 3^2D:

$$\alpha_\nu(3^2D - k^2F) = 2{,}45 \cdot 10^{-17}\,\frac{\nu_0^7}{\nu^7}. \qquad (2)$$

Обращает на себя внимание малая величина α_ν для уровня 4^2S. Она примерно равна 10^{-19}, причем в значительном интервале частот

ее величина очень мало изменяется. Необычно также быстрое, как ν^{-7}, изменение с частотой коэффициента поглощения уровня 3^2D. Особенности, отмеченные выше, приводят к тому, что число рекомбинаций на 3^2D, F_{k3d}, почти на два порядка больше, чем на уровень 4^2S. Величина F_{k3d} на основе (2) приближенно выражается формулой

$$F_{k3d} = n^+ n_e \frac{1{,}67\cdot 10^{-5}}{T_e^{3/2}} \left(\frac{1}{x_0} - \frac{5}{x_0^2}\right), \qquad (3)$$

$x_0 = h\nu_0/kT_e$; ν_0 — граничная частота ионизации с уровня 3^2D. Формулы (1), (2), (3), а также часть расчетов, проведенных в ([4]), дают возможность найти число переходов, вызываемых упомянутыми выше механизмами.

При составлении уровней стационарности для Ca II необходимо учитывать, насколько велика оптическая толщина рассматриваемой оболочки в линиях основной серии $4^2S - n^2P$. Если она будет велика, то почти все излучение в линиях этой серии будет сразу же снова поглощаться (подобно тому, как это имеет место для оболочки, состоящей из водорода).

Отмеченный эффект может привести к тому, что прямые и обратные процессы типа $n^2P - 4^2S$ в значительной мере будут друг друга компенсировать. Точный учет этого эффекта требует решения уравнения переноса в частотах головной линии $4^2S - 4^2P$ (линии H и R). В данной работе мы приближенно учтем этот эффект путем введения в уравнения станционарности множителя $\varkappa$, определяющего долю тех атомов Ca II, которые, образуясь путем рекомбинаций на верхние уровни (исключая 3^2D), каскадными переходами достигают основного уровня 4^2S.

Обозначая через n_4 и n_3 населенности уровней 4^2S и 4^2P, находим для их отношения выражение

$$\frac{n_4}{n_3} = \frac{(\lambda + A_{3,4}) \sum_{k=3}^{\infty} C_k(T_e) + W\gamma\varkappa \sum_{k>3}^{\infty} C_k(T_e)}{\beta \sum_{k=3}^{\infty} C_k(T_e) + W\alpha \left[C_3(T_e) + (1-\varkappa) \sum_{k>3}^{\infty} C_k(T_e) \right]}; \qquad (4)$$

$W\gamma$ и $W\alpha$ — вероятности ионизации с уровней 3^2D и 4^2S; λ и β — вероятности перехода с 3^2D на 4^2S и наоборот под влиянием неупругих столкновений с электронами; $C_k(T_e)$ — вероятность рекомбинации на k-й уровень Ca II (число рекомбинаций на уровень 4^2S опущено из рассмотрения, поскольку оно весьма мало по сравнению с другими величинами).

Для числовых оценок положим $T^* = 2\cdot 10^4$ и $T_e = 10^4$. Тогда получаем, что

$$\frac{n_4}{n_3} = \frac{1{,}7\cdot 10^{-6} + 8{,}5\cdot 10^{-12} n_e + 1{,}6\, W\varkappa}{1{,}4\cdot 10^{-12} n_e + 2{,}2\cdot 10^{-2}(1{,}7 - \varkappa)}. \qquad (5)$$

При электронных плотностях $n_e < 10^{11}$ отношение n_4/n_3 существенно зависит (если только W не очень мало) от величины $\varkappa$. Если $\varkappa \approx 0{,}50$, то $n_4/n_3 \approx 30$; если $\varkappa \approx 0{,}10$, то $n_4/n_3 \approx 5$, и т. д. В некоторых оболочках $n_e \approx 10^6$ и меньше, причем W также мало. Тогда в (4) необходимо учитывать все члены, в том числе и связанные с квадрупольными переходами.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
8 VII 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. А. Никитин, ДАН, **98**, № 1 (1954). [2] Н. Мотт, Г. Месси, Теория атомных столкновений, 1951, стр. 288. [3] L. G. Green, N. E. Weber, Aph. J., **111**, № 3, 587 (1950). [4] M. J. Seaton, M. N. R. A. S., **111**, № 4 (1950).