АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 4 НОЯБРЬ, 1968 ВЫПУСК 4

ПРЕДЕЛЬНО РАЗРЕШАЕМАЯ ЛИНИЯ СЕРИИ БАЛЬМЕРА

Л. Н. КУРОЧКА

Поступила 30 октября 1967

Получены зависимости номера предельно разрешаемой линии серии Бальмера от электронной концентрации для случая, когда линии расширены суммарным действием эффектов Штарка и Допплера.

Для многих областей астрофизики и спектроскопии большой интерес представляет зависимость номера предельно разрешаемой линии от электронной концентрации. В последние годы благодаря созданию крупных инструментов все больше появляется наблюдательных данных о номере предельно разрешаемой линии серии Бальмера. Используя эти наблюдения, можно довольно легко определить электронную концентрацию в интересующих нас образованиях. Применяющаяся для этой цели формула Инглиса-Теллера, как показано в [1], приводит к значениям электронных концентраций, завышенным в 3—10 раз. На основании современной теории уширения линий водорода полями ионов и электронов [2—6] получена новая формула, дающая связь между электронной концентрацией n_e и номером предельно разрешаемой линии серии Бальмера m_S [1]. Она может быть записана следующим образом:

$$\lg n_e = 22.0 - 7.0 \cdot \lg (m_S + \delta). \qquad (1)$$

Здесь δ — поправка, зависящая от возможностей прибора регистрировать слабые линии, а также от его разрешающей способности. Эта поправка введена в формулу (1) в связи с тем, что эквивалентные ширины нескольких последних линий, как показано в работах [7, 1], быстро убывают с приближением к границе серии. В результате анализа характера замывания линий можно убедиться, что при малых

значениях n_e ($n_e \leqslant 10^{11}$ *см*$^{-3}$) величина $\delta \geqslant 3-4$, а с ростом электронной концентрации δ уменьшается. Кроме этого, если эмиссионные линии водорода накладываются на посторонний непрерывный спектр (звезды, Солнца, рассеянный свет неба и т. д.), то номер предельно разрешаемой линии может уменьшиться за счет снижения контрастности линий, то есть δ при этом растет.

Замывание линий, как показано в работах [1, 8], может происходить довольно эффективно и в том случае, если они расширены только эффектом Допплера. При этом справедлива следующая формула:

$$\lg (m_D + \delta) = 3.7 - \frac{1}{3} \lg \xi, \qquad (2)$$

где m_D — номер предельно разрешаемой линии, а ξ — результирующая скорость движения атомов водорода, выраженная в *см/сек*.

Так как линии водорода всегда в той или иной мере расширены эффектом Допплера, то совершенно ясно, что его необходимо учитывать при определении электронной концентрации по номеру предельно разрешаемой линии. Пользуясь формулами (1) и (2), нельзя получить новое соотношение для случая уширения линий суммарным действием эффектов Штарка и Допплера. Для решения этого вопроса были произведены вычисления контуров линий, расширенных действием ионов, электронов и эффектом Допплера [9]. Результирующий контур $T(\beta, \gamma, \beta_D)$ вычислялся с помощью формулы:

$$T(\beta, \gamma, \beta_D) = \int_{-\infty}^{+\infty} T(\beta - x, \gamma) \cdot D(x)\, dx.$$

Здесь $D(x)$ — допплеровский контур,

$$D(\beta) = \frac{1}{\beta_D \sqrt{\pi}} e^{-\left(\frac{\beta}{\beta_D}\right)^2},$$

$$\beta_D = \frac{\Delta\lambda_D}{k_{2m} F_0}, \quad k_{2m} = 8.8 \cdot 10^4 \frac{m^4}{m^2 - 4}, \quad F_0 = 12.5 \cdot 10^{-10} \cdot n_e^{2/3},$$

а $T(\beta, \gamma)$ — штарковский контур, который для каждого значения γ задавался в виде таблицы [1, 3]. Параметр γ представляет собой постоянную затухания, обусловленную ударным воздействием электронов. Согласно работам [1, 4, 5], γ для любой линии может быть вычислена следующим образом:

$$\gamma = 8.4\cdot 10^{-6}\,\frac{n_e^{1/3}\Gamma_{2m}}{T_e^{1/3}(m^2-4)}\,\lg\left(\frac{4\cdot 10^{13}T_e^2}{n_e\Gamma_{2m}}\right). \qquad (3)$$

Если учесть расщепление как верхнего, так и нижнего квантовых уровней атомов водорода, то, согласно [6],

$$\Gamma_{2m} = \frac{9}{4}(m^4 - 9m^2 + 12). \qquad (4)$$

Вычисление контуров $T(\beta, \gamma, \beta_D)$ производилось с помощью ЭВМ „Урал-4" для широкого набора значений γ и β_D. Полученные контуры затабулированы по аргументу β [9]. Переход от безразмерных единиц β к $\Delta\lambda$, выраженному в ангстремах, производился с помощью следующего соотношения:

$$\Delta\lambda = \beta\cdot k_{2m}\cdot F_0.$$

При рассмотрении вопроса о номере предельно разрешаемой линии использовался следующий критерий:

$$\Delta\lambda_{1/2} = \frac{1}{2}\Delta\lambda_{m,\,m+1}. \qquad (5)$$

Здесь $\Delta\lambda_{1/2}$ — полуширина линии, а $\Delta\lambda_{m,\,m+1}$ — расстояние между соседними линиями.

В результате анализа контуров $T(\beta, \gamma, \beta_D)$ удалось получить следующие аппроксимационные формулы для $\Delta\lambda_{1/2}$:

при $\beta_D \leqslant 15$ $\quad \Delta\lambda_{1/2} = k_{2m}F_0[(4+0.8\gamma)^2 + \beta_D^2]^{1/2}$,

при $\beta_D > 15$ $\quad \Delta\lambda_{1/2} = 0{,}8\cdot\gamma\cdot k_{2m}F_0 + 0.833\cdot\Delta\lambda_D$.

С помощью этих формул полуширина любой линии вычисляется с ошибкой, не превышающей 10%. Значения постоянной затухания γ могут быть взяты из работы [1] или вычислены с помощью формул (3) и (4) (учет расщепления нижнего уровня практически не сказывается на значениях полуширин линий).

В результате численного решения уравнения (5) относительно m были построены кривые, дающие зависимость номера m_{S+D} предельно разрешаемой линии серии Бальмера от $\lg n_e$ для ряда значений доплеровских ширин $\Delta\lambda_{D\alpha}$ линии H_α (см. рис. 1). Пунктирная кривая, приведенная на рисунке, построена с помощью формулы Инглиса-Теллера, которая была выведена в предположении расщепления уровней только полями ионов. Верхняя сплошная кривая соответствует формуле (1), которая получена в предположении расширения линий под

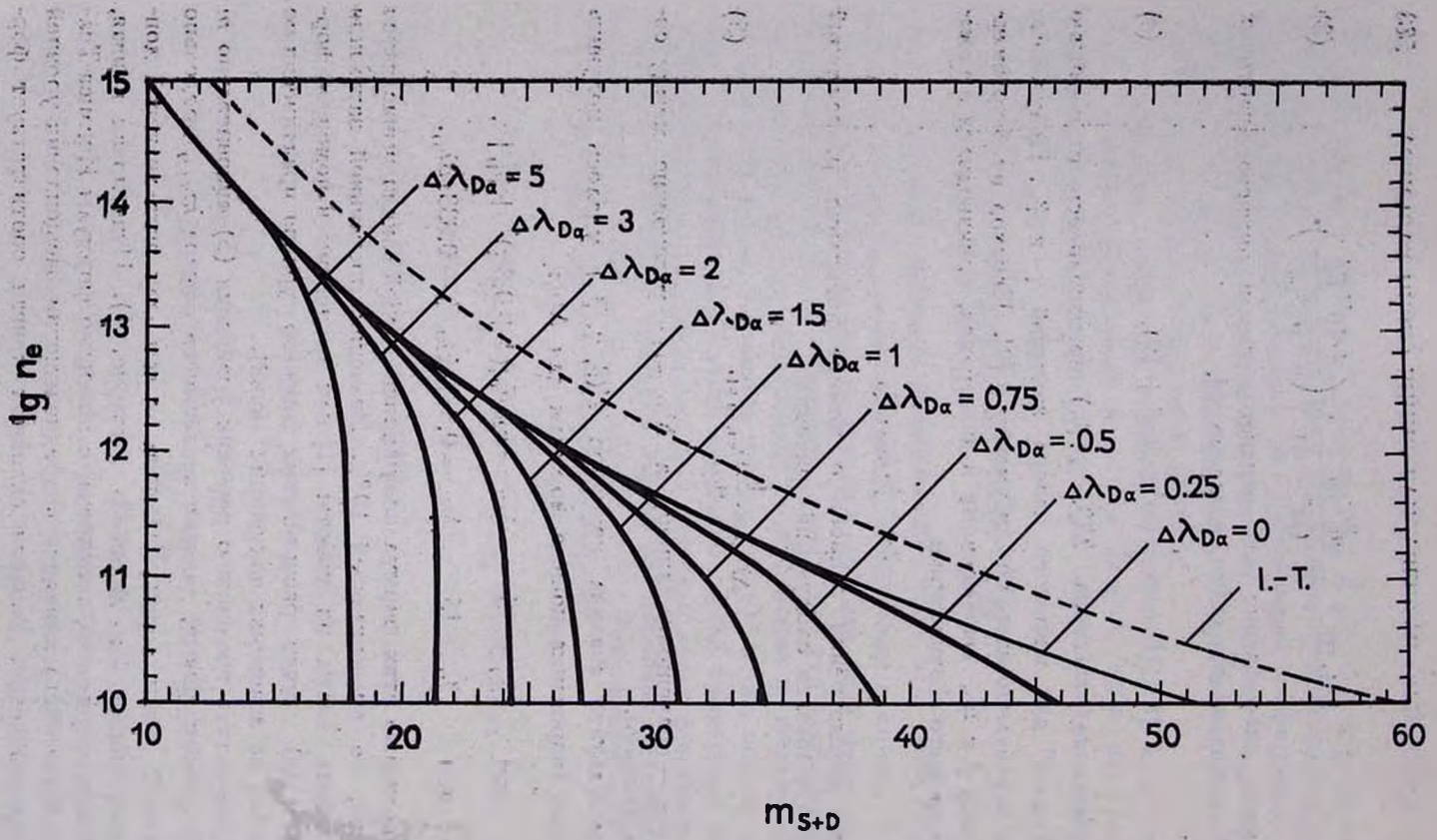

Рис. 1. Зависимости номера предельно разрешаемой линии m_{S+D} от lg n_e для различных значений допплеровской ширины линии $H_\alpha(\Delta\lambda_{D\alpha}$ в Å). Пунктирная кривая соответствует формуле Инглиса-Теллера.

действием ионов и электронов (эффект Допплера не учитывался). Участок этой кривой ($n_e \leqslant 10^{11}$ $см^{-3}$), проведенный тонкой линией, представляет лишь теоретический интерес, так как при таких малых значениях n_e существенную роль в расширении спектральных линий играет эффект Допплера. Как видно из рисунка, с ростом допплеровских ширин линий зависимость m_{S+D} от $\lg n_e$ все значительней отличается от исходной. При этом ход кривых становится все более крутым. Вертикальный участок кривой соответствует случаю, когда номер предельно разрешаемой линии не зависит от электронной концентрации, а полностью определяется действием эффекта Допплера. Далее, с ростом n_e, кривые становятся более пологими, что соответствует увеличению роли эффекта Штарка в расширении линий. Верхняя кривая соответствует случаю, когда уширение линий определяется только эффектом Штарка.

Таким образом, пользуясь кривыми, приведенными на рисунке, можно определять электронную концентрацию по номеру предельно разрешаемой линии серии Бальмера для довольно широкого диапазона значений n_e и $\Delta\lambda_D$. Так как зависимость штарковской полуширины линий от электронной температуры очень слаба (см. [1]), то, как показывает анализ, приведенные на рис. 1 кривые, полученные при $T_e = 10\,000°$, остаются практически без изменения для всех интересующих нас значений T_e.

Принимая во внимание, что электронная концентрация, определявшаяся с помощью формулы Инглиса-Теллера (и других формул), оказывается завышенной [1], а также и то, что зависимость m_{S+D} от $\lg n_e$ существенно изменяется с увеличением роли эффекта Допплера в расширении линий, приходим к выводу, что полученные ранее значения n_e необходимо пересмотреть в свете новых данных.

Астрономическая обсерватория
Киевского университета

THE LIMITING RESOLVED LINE OF BALMER SERIES

L. N. KUROCHKA

The dependence of the number of the last resolved line of Balmer series on the electron density for the case when the line is broadened by the combined action of Stark and Doppler effects is obtained.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Л. Н. Курочка*, Астрон. ж., 44, 368, 1967.
2. *H. R. Griem, A. C. Kolb, K. Y. Shen*, Phys. Rev., 116, 4, 1959.
3. *H. R. Griem*, Ap. J., 132, 361, 1960.
4. *Л. А. Минаева, И. И. Собельман*, Астрон. цирк., № 383, 1966.
5. *Л. А. Минаева, Р. Л. Сороченко, И. И. Собельман*, Астрон. ж., 44, 995, 1967.
6. *Л. А. Минаева*, Астрон. ж., 45, 578, 1968.
7. *Г. С. Иванов-Холодный, Г. М. Никольский*, Астрон. ж., 38, 455, 1961.
8. *Л. Н. Курочка*, Астрофизика, 2, 131, 1966.
9. *Л. Н. Курочка*, Изв. КрАО, 38, 96, 1968.