

УДК 539.184.56

Н.О.Васецкая (5 курс, каф. ЭФ), М.А.Кулов (асп., каф. ЭФ),
 В.К.Иванов, д.ф.-м.н., проф., В.А.Харченко, к.ф.-м.н., н.с.

РЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В РАДИАЦИОННОМ ОЖЕ-РАСПАДЕ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ

В последние годы обнаружена особенность спектра электромагнитного излучения комет: оказывается, кометы являются сильным источником в рентгеновском и жестком ультрафиолетовом диапазоне длин волн ($\lambda = 0.01 \div 10$ нм) (см. [1-5] и ссылки там). В 1997 году наблюдения за кометой Нyaikutake обнаружили высокую светимость ($\sim 10^9$ W) в рентгеновском и жестком ультрафиолетовом диапазоне [1]. Дальнейшие исследования спектров других комет показали, что излучение высокоэнергетичных квантов является, по-видимому, характерным для всех активных комет [2-5].

Существует несколько предполагаемых механизмов испускания квантов высокой энергии кометами, но основную роль во всех механизмах играет взаимодействие солнечного ветра с веществом кометы [4]. Солнечный ветер представляет собой поток атомов и ионов, основную часть которого составляют водород (92% по объему) и гелий (8%), а тяжелые элементы ($\sim 0.1\%$) представлены многозарядными ионами углерода, азота и кислорода, имеющими не более двух электронов в основном состоянии. При достижении атмосферы кометы, состоящей из смеси газообразных H_2O , CO , CH_4 , H_2CO , NH_3 и пыли [4, 5], солнечный ветер значительно снижает свою скорость за счет столкновений.

Таблица 1. Вероятности и скорости распада возбужденных состояний в ионах O^{6+**} , O^{5+**} , O^{4+**} .

| | | | | | |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|
| O^{4+} | $W_{\Gamma\gamma} (10^{-6})$ | $A^{рад.} (10^{12} c^{-1})$ | O^{5+} | $W_{\Gamma\gamma} (10^{-6})$ | $A^{рад.} (10^{12} c^{-1})$ |
| 4s² | 0.241931·2 | 0.01·2 | 4s² | 0.327966·2 | 0.0135·2 |
| 4s4p | 0.325974 | 0.0347 | 4s4p | 0.517112 | 0.0214 |
| 4s4d | 0.308934 | 0.0128 | 4s4d | 0.498483 | 0.0206 |
| 4s4f | 0.176649 | 0.00731 | 4s4f | 0.237363 | 0.00981 |
| 4p² | 0.529496·2 | 0.0219·2 | 4p² | 1.13953·2 | 0.0471·2 |
| 4p4d | 1.47085 | 0.0608 | 4p4d | 0.453737 | 0.0876 |
| 4p4f | 0.547796 | 0.026 | 4p4f | 2.92791 | 0.211 |
| 4d² | 2.22424·2 | 0.0919·2 | 4d² | 4.05781·2 | 0.168·2 |
| 4d4f | 1.96109 | 0.0811 | 4d4f | 3.62254 | 0.149 |
| 4f² | 1.26004·2 | 0.0208·2 | 4f² | 2.35780·2 | 0.0974·2 |
| | | | | | |
| O^{6+} | $W_{\Gamma\gamma} (10^{-6})$ | $A^{рад.} (10^{12} c^{-1})$ | O^{6+} | $W_{\Gamma\gamma} (10^{-6})$ | $A^{рад.} (10^{12} c^{-1})$ |
| 4s² | 0.407274·2 | 0.0168·2 | 4p4d | 8.90033 | 0.3679 |
| 4s4p | 2.82396 | 0.1167 | 4p4f | 4.57086 | 0.189 |
| 4s4d | 0.750940 | 0.0310 | 4d² | 6.77089·2 | 0.2799·2 |
| 4s4f | 0.346192 | 0.01431 | 4d4f | 6.13083 | 0.2535 |
| 4p² | 11.5349·2 | 0.4769·2 | 4f² | 4.05864·2 | 0.1678·2 |

Учет различных параметров (температуры солнечного ветра, состава и температуры атмосферы комет, интенсивности излучения, положения зоны реакции) показал, что из всех механизмов образования γ -квантов наиболее вероятные источники рентгеновского излучения — процесс перезарядки многократных ионов и рассеяние излучения солнца на микрогранулах пыли [3, 5]. Кроме того, описание распада многократного возбуждения сильно заряженного иона важно и в некоторых других процессах [6]. В данной работе теоретически исследованы механизмы распада дважды возбужденных состояний в серии ионов O^{6+**} , O^{5+**} , O^{4+**} . Рассмотрены вероятности и энергии переходов при распаде возбужденных состояний $4l/4l'$ в случае радиационной стабилизации.

При решении данной задачи используется подход, основанный на применении квантовой теории многих тел. В качестве исходного базиса используются одночастичные волновые функции, полученные в приближении Хартри-Фока. Результаты расчета вероятностей радиационного распада всех возможных состояний $4l/4l'$ для серии ионов O^{6+**} , O^{5+**} , O^{4+**} приведены в табл. 1.

Наибольшей скоростью распада обладает состояние $4d^2$. Основной вклад в скорость вносит переход $4d^2(S) \rightarrow 2p4d(P)$. Наиболее стабильным состоянием является $4s4f$. Это связано с тем, что электрон $4f$ может перейти только в состояние $3d$, а амплитуды перехода электрона $4s$ в состояния np меньше, чем амплитуды для $4d$ электрона, например. Полученные результаты для O^{6+**} находятся в хорошем соответствии с другими теоретическими результатами [7]. В данный момент проводятся вычисления с для более сложных многочастичных процессов распада.

Работа поддержана грантом Федерального агентства по образованию (№А04-2.9-466).

ЛИТЕРАТУРА:

1. C.M.Lisse et al, Icarus 141, 316-330 (1999).
2. C.M.Lisse et al, Science 292, 1343 (2001).
3. V.A.Krasnopolsky, Ikarus 160, 437 (2002).
4. T.E.Cravens, Science 296, 1042 (2002).
5. P.Beiersdorfer et al, Science 300, 1558 (2003).
6. P.Moretto-Capelle, D.Bordenave-Montesquieu, A.Bordenave-Montesquieu, J.Phys.B 33, L735 (2000).
7. H.W.van der Hart, N.Vaeck, J.E.Hansen, J.Phys.B 27, 3489 (1994).