ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ СЕРИИ ПЕРЕХОДОВ МЕТАНОЛА $J_1 - J_0A^{-+}$ В МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДЕ

С. В. Салий, А. М. Соболев

*Астрономическая обсерватория
Уральского федерального университета*

Для 22 нижних переходов метанола серии $J_1 - J_0A^{-+}$ (с $J \leq 22$) построены зависимости оптических толщин и яркостных температур от физических параметров: кинетической температуры (T_k) и концентрации (n_{H_2}) молекулярного водорода, удельной лучевой концентрации ($N_m/\Delta V$) и обилия (N_m/N_{H_2}) метанола. Показано, что все переходы серии в условиях, характерных для областей звездообразования ($T_k > 15$ K, $N_m/\Delta V > 10^8$ см⁻³с, $N_m/N_{H_2} > 10^{-8}$, n_{H_2} от 10^3 до 10^9 см⁻³), имеют состояния возбуждения не ниже квазитепловых. При $T_k = 150\text{--}600$ K, $N_m/\Delta V = 3 \times 10^8\text{--}3 \times 10^{12}$, $n_{H_2} = 10^3\text{--}10^9$ см⁻³ и $N_m/N_{H_2} = 3 \times 10^{-8}\text{--}3 \times 10^{-6}$ в переходах серии отмечается наличие инверсии населенностей уровней, что может приводить к незначительному мазерному усилению.

STUDY OF EXCITATION STATES OF METHANOL TRANSITION SERIES $J_1 - J_0A^{-+}$ IN THE INTERSTELLAR MEDIUM

S. V. Salii, A. M. Sobolev

Astronomical observatory of Ural Federal University

For 22 lowest transitions of the methanol series $J_1 - J_0A^{-+}$ (with $J \leq 22$) dependences are constructed of the optical depth and brightness temperature on physical parameters: kinetic temperature (T_k) and number density of molecular hydrogen (n_{H_2}), specific column density ($N_m/\Delta V$) and fractional abundance (N_m/N_{H_2}) of methanol. It was shown that all transitions of the series under conditions characteristic of star formation regions ($T_k > 15$ K, $N_m/\Delta V > 10^8$ cm⁻³s, $N_m/N_{H_2} > 10^{-8}$, n_{H_2} from 10^3 to 10^9 cm⁻³) have excitation states not lower than quasi-thermal. With $T_k = 150\text{--}600$ K, $N_m/\Delta V = 3 \times 10^8\text{--}3 \times 10^{12}$, $n_{H_2} = 10^3\text{--}10^9$ cm⁻³ and $N_m/N_{H_2} = 3 \times 10^{-8}\text{--}3 \times 10^{-6}$ in transitions of the series can occur inversion of level populations leading to weak maser amplification.

Метанол — это одна из широко наблюдаемых молекул в областях звездообразования. В ряде переходов в определенных условиях возникает инверсия населенностей уровней, что приводит к мазерному усилению. Известно большое количество мазерных переходов, однако мазерное усиление может проявляться и на неизвестном ранее переходе. Например, в объекте S255IR было обнаружено мазерное излучение в линии, соответствующей переходу $14_1 - 14_0 A^{-+}$ [1]. Открытие новых мазерных переходов расширяет возможности диагностики вещества в окрестности молодых звездных объектов.

На основе базы населенностей энергетических уровней метанола [2] построены зависимости модельных оптических толщин и яркостных температур линий, соответствующих переходам серии $J_1 - J_0 A^{-+}$ с $J \leq 22$, от физических параметров.

Получено, что все переходы серии в условиях, характерных для областей звездообразования, имеют состояния возбуждения не ниже квазитепловых, при этом при $T_k = 150-600$ K, $N_m/\Delta V = 3 \times 10^8 - 3 \times 10^{12}$, $n_{H_2} = 10^3 - 10^9$ см $^{-3}$ и $N_m/N_{H_2} = 3 \times 10^{-8} - 3 \times 10^{-6}$ модельные населенности уровней могут быть инвертированы (см. рисунок), что свидетельствует о возможности небольшого мазерного усиления в указанных интервалах физических параметров.

Диапазоны физических параметров с $\tau < 0$ для перехода $14_1 - 14_0 A^{-+}$

Работа поддержана грантом РФФИ (18-12-00193).

Библиографические ссылки

1. Zinchenko I., Liu S. Y., Su Y. N., Sobolev A. M. Detection of a new methanol maser line with ALMA // *Astron. Astrophys.* — 2017. — Vol. 606. — P. L6. 1709.08889.
2. Salii S., Parfenov S., Sobolev A. Updated Base of Methanol Energy Level Populations // *Modern Star Astronomy.* — 2018. — Vol. 1. — P. 276–279.