

ТЕЗИСЫ ДИССЕРТАЦИЙ

ПРОЦЕССЫ ЭНЕРГО- И МАССООБМЕНА МЕЖДУ ГАЛАКТИКАМИ И ОКОЛОГАЛАКТИЧЕСКОЙ СРЕДОЙ

Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

Диссертация посвящена исследованию процессов обмена энергией и массой между галактиками и окружающей средой от начала формирования первых звезд во Вселенной до современной эпохи, определение физических условий и наблюдательных проявлений, характерных для этих процессов.

Главными направлениями работы являются: изучение формирования первых объектов во Вселенной, исследование влияния нестандартных источников ионизации и нагрева на тепловую и ионизационную эволюцию газа на красных смещениях $z = 10-50$; исследование нестационарных процессов ионизации и охлаждения астрофизической плазмы с целью интерпретации наблюдательных данных по абсорбционным системам в окологалактической среде; определение условий для зарождения галактических ветров.

Основные результаты работы.

- Определены условия для эффективного образования молекул HD за фронтами ударных волн в первичном газе.
- Показано, что существование нестабильных частиц темной материи в пострекомбинационной Вселенной проявляется в свойствах глобального сигнала, флуктуациях яркостной температуры и статистики абсорбционных систем (или «леса») в линии 21 см атомарного водорода.
- Указано на увеличение эффективности перемешивания тяжелых элементов в первых протогалактиках при схлопывании остатка сверхновой и на возможность образования звезд следующего поколения с металличностью выше значения «критической металличности».
- Указаны интервалы применимости равновесных функций охлаждения в фотоионизованном обогащенном тяжелыми элементами газе.
- Определены условия для появления высокой концентрации иона кислорода O VI в газе под действием галактического и внегалактического ионизирующего излучения.
- Указано, что при учете эффектов развивающихся гидродинамических неустойчивостей в оболочке сверхновой тепловая энергия падает значительно эффективней, чем следует из привычных представлений, основанных на одномерных сферически симметричных расчетах.
- Найдено масштабное соотношение между эффективностью нагрева газа сверхновыми до рентгеновских температур, темпом вспышек сверхновых и плотностью окружающей газа.

THESES REVIEW

PROCESSES OF ENERGY AND MASS INTERCHANGE BETWEEN GALAXIES AND CIRCUMGALACTIC MEDIUM

Thesis for the degree of Doctor of Sciences

The thesis is dedicated to the study of processes of energy and mass interchange between galaxies and circumgalactic medium from formation of first stars in the Universe to the modern age, determination of physical conditions and observational manifestations typical for these processes.

The main directions of the research are as follows: the study of formation of first objects in the Universe; the investigation of impact of nonstandard sources of ionization and heating to thermal and ionization evolution of gas at redshifts of $z = 10-50$; the study of non-stationary processes of ionization and cooling of the astrophysical plasma with the purpose of interpreting observational data from absorption systems in the circumgalactic medium; determination of conditions for origin of galactic winds.

The main results of the thesis are as follows:

- Conditions for effective formation of HD molecules behind the shock wave fronts in the primary gas were determined.
- It was shown that the presence of unstable particles of the dark matter in the post-recombination Universe manifests itself through properties of the global signal, fluctuations of brightness temperature and statistics of absorption systems (or “a forest”) in the line 21 cm of atomic hydrogen.
- It was pointed out that efficiency of the mixing of heavy elements in first protogalaxies at a supernova remnant collapse increases, and the formation of next-generation stars with metallicity higher than “a critical metallicity” is possible.
- Intervals of applicability of the equilibrium cooling function in the photoionized gas enriched with heavy elements were determined.
- Conditions for appearance of high concentration of oxygen ion O VI in gas under the action of galactic and extragalactic ionizing radiation were determined.
- It was shown that if effects of developing hydrodynamic instabilities in a supernova envelope are taken into account, then the thermal energy falls much more effectively than it follows from traditional beliefs based on one-dimensional spherically symmetric calculations.
- The scaling relation between efficiency of gas heating by supernovae up to X-ray temperatures, supernovae outburst rate and density of surrounding gas was found.

- Предсказана временная задержка между началом вспышки звездообразования и активацией галактического ветра, возникающего в результате коллективного действия вспышек сверхновых.

Е.О. Васильев.

**НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ
БЛАЗАРОВ В
РАДИО/ОПТИЧЕСКОМ/ГАММА
ДИАПАЗОНАХ**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертационная работа посвящена комплексно-исследованию наблюдательных характеристик блазаров и связи их излучения в различных диапазонах электромагнитного спектра.

Основные результаты работы.

- В работе исследованы наблюдательные характеристики блазаров и связи их излучения в различных диапазонах электромагнитного спектра. Представлены результаты многочастотных наблюдений на RATAN-600: измерения плотности потока и анализ радиоспектров для нескольких сотен блазаров.
- Выявлено, что состояние лацертид в радиодиапазоне влияет на величину коэффициента корреляции потока в радиодиапазоне и потока от области образования широких линий.
- Анализ излучения в радио- и гамма-диапазоне по данным RATAN-600 и Fermi-LAT выявил значимую корреляцию для обоих подклассов блазаров — лацертид и квазаров с плоским спектром — для всех рассмотренных радиочастот и двух гамма-полос. Результат говорит в пользу тесной взаимосвязи гамма- и радиоизлучения, образования их из одной популяции фотонов и служит подтверждением синхрокомптоновского механизма излучения в блазарах. Выявлено, что коэффициент корреляции излучения в радио- и гамма-диапазоне чувствителен к рассматриваемой частоте для квазаров с плоским спектром.
- Приводятся результаты оценки значения частоты максимума синхротронной компоненты спектрального распределения энергии (SED) для выборки 875 блазаров из наблюдательного списка RATAN-600. На основе этого проведена классификация блазаров по типу SED и найдено различие в распределении этого параметра для двух подклассов блазаров.
- Приводятся результаты квазисовременных наблюдений в оптическом (ЦЕЙСС-1000, САО РАН) и радиодиапазоне для шести блазаров с очень низкочастотным максимумом синхротронного излучения (VLSP). Оценено значение частоты максимума синхротронной компоненты и подтверждена классификация как VLSP для трех из них.

- The time lag between the beginning of star formation burst and activation of galactic wind arising due to collective action of supernovae outbursts was predicted.

E.O. Vasiliev.

**OBSERVATIONAL CHARACTERISTIC OF
BLAZAR EMISSION IN
RADIO/OPTICAL/GAMMA-RAY RANGES**

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy

The thesis is dedicated to comprehensive analysis of observational characteristics of blazars and a relation between their radiation in different ranges of electromagnetic spectrum.

The main results of the thesis are as follows:

- Observational characteristics of blazars and a relation between their radiation in different ranges of electromagnetic spectrum were studied. The results of RATAN-600 multifrequency observations are presented: flux density measurements and analysis of radio spectra for several hundreds of blazars.
- It was found that the state of BL Lac objects in radio range influences the coefficient of correlation between the radio flux and the flux from a wide-line formation region.
- Analysis of radio and gamma-ray emissions from RATAN-600 and Fermi-LAT data revealed a significant correlation for all considered radio frequencies and two gamma-ray bands for both blazar subclasses — BL Lac objects and flat-spectrum quasars. The result suggests that there is a strong relation between gamma-ray and radio emissions, that they arise from one photon population and it confirms synchro-Compton mechanism of radiation from blazars. It was found that for flat-spectrum quasars the correlation coefficient in radio and gamma-rays is sensitive to a considered frequency.
- Frequencies of the maximum in the synchrotron component of spectral energy distribution (SED) were estimated for a sample of 875 blazars from the RATAN-600 observational list. Thereupon, the SED-type classification of blazars was carried out and a difference in distributions of this parameter for two subclasses was found.
- The results of quasi-simultaneous observations in optical (Zeiss-1000, SAO RAS) and radio ranges for six blazars with very low-frequency maximum of synchrotron emission (VLSP) are adduced. The frequency of the maximum in the synchrotron component was estimated and the classification of three of them as VLSP was confirmed.

Результаты анализа спектральных свойств источников могут быть использованы в дальнейших экспериментальных и теоретических исследованиях природы объектов и механизмов их излучения. Интерактивный каталог измерений объектов типа BL Lacertae является полезным инструментом в изучении эволюции синхротронных радиоспектров, кривых блеска и переменности этого типа блазаров.

Т.В. Муфхаров.

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ РЕГИСТРАЦИИ РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РАДИОТЕЛЕСКОПА РАТАН-600

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

В работе представлены результаты, полученные автором в области повышения чувствительности и долговременной стабильности работы радиометров континуума при проведении радиоастрономических наблюдений на РАТАН-600. Совершенствование автором средств и методов регистрации радиоастрономических данных привело к лучшему пониманию причин нестабильностей показаний радиоастрономического приемника (радиометра). Показано, что современный неохлаждаемый радиометр может быть построен по схеме «радиометра полной мощности». Радиометр при этом демонстрирует на практике расчетную чувствительность на масштабах времени до 10 с, что как раз соответствует времени прохождения точечных радиоисточников через неподвижную диаграмму направленности радиотелескопа РАТАН-600. На масштабах времени до 100 с такой радиометр имеет чувствительность выше, чем у модуляционного радиометра.

Основное внимание автор уделил борьбе с избыточными шумами в радиометре: внешними (импульсные радиопомехи) и внутренними (шум вида $1/f$, который в литературе связывается с флуктуациями усиления в радиометре). Построение систем импульсного помехоподавления на РАТАН-600 позволило более чем на 10 лет продлить наблюдения в дециметровых диапазонах на длинах волн 13, 30 и 50 см. В результате борьбы с шумом вида $1/f$ в системе регистрации, низкочастотной и высокочастотной частях схемы радиометра автором получен «идеальный» (для масштабов времени до 10 с) радиометр полной мощности с предельно низким на сегодняшний день шумом вида $1/f$. Данный результат получен впервые.

П.Г. Цыбулев.

The results of analysis of spectral properties of the sources can be used in further experimental and theoretical study of the nature of objects and mechanisms of their emission. The interactive catalog of measurements of BL Lac objects is a useful instrument in the study of synchrotron radio spectra evolution, light curves and variability of blazars of this type.

T. V. Mufkharov.

DEVELOPMENT OF RADIO ASTRONOMICAL DATA RECORDING SYSTEMS AND RATAN-600 RADIO TELESCOPE SENSITIVITY ENHANCEMENT

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy

The thesis presents the results obtained by the author in enhancement of sensitivity and long-term stability of operation of continuum radiometers during radio astronomical observations with RATAN-600. Improvement of means and methods of radio astronomical data recording made by the author led to a better understanding of causes of instability in readings of a radio astronomical receiver (radiometer). It was shown that a modern noncooled radiometer can be constructed according to the layout of “a full-capacity radiometer”. In so doing, the radiometer demonstrates in practice the design sensitivity on time scales up to 10 s, which corresponds strictly to the passage time of point-like radio sources through the fixed RATAN-600 directional diagram. On time scales up to 100 s, the sensitivity of such a radiometer is higher than that of a switching radiometer.

The author placed special emphasis on fight against excessive noises in radiometer: external (pulsed radio interference) and internal (the noise of the type of $1/f$ which is connected in literature with fluctuations of radiometer amplification) noises. The construction of pulse interference suppression systems at RATAN-600 allowed us prolonging observations in the decimeter wavelength ranges at wavelengths of 13, 30 and 50 cm for more than 10 years. As a result of fight against the noise of the type of $1/f$ in the recording system, low-frequency and high-frequency parts of radiometer layout, the author obtained an “ideal” (for time scales up to 10 s) full-capacity radiometer with currently limit low noise of the type of $1/f$. Such a result is obtained for the first time.

P. G. Tsybulev.