Վ. Համբարձումյանի անվան Բյուրականի աստղադիտարան

Գոռ Արեգի Միքայելյան

«ԵՆԹԱԿԱՐՄԻՐ ԳԱԼԱԿՏԻԿԱՆԵՐԻ ՈՐՈՆՈՒՄ ԵՎ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ»

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Ա.03.02 – «Աստղաֆիզիկա, ռադիոաստղագիտություն» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

Բյուրական – 2026

V. Ambartsumian Byurakan Astrophysical Observatory

Gor A. Mikayelyan

"SEARCH AND STUDIES OF INFRARED GALAXIES"

SYNOPSIS

of the Thesis for the degree of candidate of physical and mathematical sciences in the specialization A.03.02 – "Astrophysics, Radio Astronomy"

Byurakan – 2026

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Վ. Համբարձումյանի անվան Բյուրականի աստղադիտարանի գիտական խորհրդում:

Գիտական ղեկավար՝
ֆ.մ.գ.թ. Արեգ Միքայելյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝
ֆ.մ.գ.դ. Գագիկ Տեր-Ղազարյան
ֆ.մ.գ.դ. Նարեկ Սահակյան

Առաջատար կազմակերպություն՝
Ռուսաստանի գիտությունների ակադեմիայի աստղագիտության ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2026թ.-ի դեկտեմբերի 3-ին ժամը 14:30-ին, Վ. Համբարձումյանի անվան Բյուրականի աստղադիտարանում, «Աստղաֆիզիկա, ռադիոաստղագիտություն» 048 մասնագիտական խորհրդի նիստում:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ Վ. Համբարձումյանի անվան Բյուրականի աստղադիտարանի գրադարանում:

Սեղմագիրը առաքված է 2026թ.-ի հոկտեմբերի 28-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար՝ ֆ.մ.գ.թ. Հայկ Աբրահամյան

The thesis is approved by the scientific council of the Byurakan Astrophysical Observatory after V. Ambartsumian.

Scientific advisor:
Candidate of Phys. Math. Sciences Areg Mickaelian

Official opponents:
Doctor of Phys. Math. Sciences Gagik Ter-Ghazaryan
Doctor of Phys. Math. Sciences Narek Sahakyan

Leading Organization:
Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences

The defense of the thesis will take place on December 3, 2026, at 14:30, at the session of the Special Council 048 “Astronomy, Radio Astronomy” of the Byurakan Astrophysical Observatory after V. Ambartsumian.

The thesis is available in the library of the Byurakan Astrophysical Observatory after V. A. Ambartsumian.

The synopsis is distributed on October 28, 2026.

Scientific secretary of the Special Council: Candidate of Phys. Math. Sciences Hayk Abrahamyan

General Description of the Thesis

Relevance of the topic

Infrared galaxies represent an important class of extragalactic objects for studying the physical processes associated with galaxy formation and evolution. A substantial fraction of the energy emitted by galaxies can be absorbed by interstellar dust at ultraviolet and optical wavelengths and subsequently re-emitted in the infrared. Consequently, infrared observations provide an essential means of identifying and studying dusty galaxies, systems with intense star formation, and galaxies hosting active galactic nuclei (AGN). The investigation of their infrared luminosities, optical spectral properties, and multiwavelength characteristics contributes to a better understanding of the relationship between star formation, nuclear activity, and the evolution of galaxies.

The Infrared Astronomical Satellite (IRAS) provides a fundamental observational basis for such investigations. Its all-sky coverage and measurements in four infrared bands have enabled the construction of extensive catalogues containing hundreds of thousands of sources. However, the identification and physical interpretation of these sources remain challenging. Positional uncertainties, the presence of multiple optical counterparts, source confusion, and the limited availability of spectroscopic information may complicate the reliable association of infrared detections with individual galaxies. Furthermore, infrared photometry alone is often insufficient to determine the dominant physical mechanism responsible for a galaxy's emission.

Optical identification and spectroscopy are therefore essential for establishing the nature of infrared sources, determining their redshifts and absolute magnitudes, and classifying their nuclear and star-forming activity. Particular attention is required for ultraluminous (ULIRGs) and hyperluminous infrared galaxies (HLIRGs), which represent the high-luminosity end of the infrared galaxy population. Their investigation provides an opportunity to examine systems with exceptionally high infrared output and to study the relative contributions of star formation and AGN activity. Reliable selection and classification of these objects require the combined use of infrared measurements, accurate positional cross-identifications, and optical spectroscopic data.

Библиотека Физического Института
N1173 29.10.2026 р.

In this context, the present Thesis addresses several interconnected problems: the spectroscopic study of Byurakan-IRAS Galaxies (BIG), the preliminary extragalactic classification of the IRAS PSC/FSC Combined Catalogue, the selection, study and classification by activity types of ULIRGs and HLIRGs, and the application of astronomical archives and digital data-processing methods. By combining infrared photometry, optical spectroscopy, catalogue cross-identification, and archival resources, the research contributes to improving the identification and characterization of infrared galaxies and provides a basis for further investigations of their physical properties and population statistics.

The objectives of the Thesis

The main objectives of the Thesis are to investigate infrared galaxies selected from IRAS PSC/FSC combined catalogue by improving the identification and classification of their optical counterparts, studying their spectroscopic and infrared properties, selecting high-luminosity infrared galaxies, and evaluating the contribution of astronomical archives and digital methods to further research.

The main tasks are:

- To analyse, improve and summarise the optical identifications and spectroscopic properties of the Byurakan-IRAS Galaxy sample, including redshifts, distances, absolute magnitudes, and activity classes.
- To construct a preliminary extragalactic sample of the IRAS PSC/FSC Combined Catalogue using cross-correlations with known galaxy and quasar catalogues, optical morphology, radio data, and Gaia astrometry.
- To identify high-luminosity infrared galaxies by combining improved positional information, SDSS spectroscopy, and IRAS photometry in all four bands.
- To calculate infrared and far-infrared luminosities and investigate the spectral activity types and statistical properties of the selected ULIRGs and HLIRGs.
- To examine the role of star formation, AGN activity, composite spectra, and interacting or multiple systems in interpreting infrared emission.

- To describe the scientific infrastructure of ArVO, the BAO Plate Archive, and DFBS, and review automated methods for extracting and classifying low-dispersion spectral images.

Scientific novelty

The scientific novelty of this Thesis lies in the systematic spectroscopic analysis of the Byurakan-IRAS Galaxies (BIG), the construction and preliminary classification of an extensive extragalactic sample from the 345,163-source IRAS PSC/FSC Combined Catalogue, and the identification and classification by activity types of 114 high-luminosity infrared galaxies, comprising 107 ultraluminous infrared galaxies (ULIRGs) and 7 hyperluminous infrared galaxies (HLIRGs). Among these, 48 ULIRGs and all 7 HLIRGs are newly classified objects.

The Thesis develops and applies a multi-catalogue approach to the preliminary classification of IRAS sources, distinguishing confirmed or genuine galaxies and QSOs, galaxy candidates, star candidates, and unknown objects. This approach combines information from optical catalogues, morphological data, radio surveys, and Gaia astrometry, providing a basis for further identification and verification of infrared sources.

The Thesis also integrates infrared luminosity estimates with optical spectroscopy, redshift information, improved source positions, and spectral activity classification. The comparison of the BIG sample with the high-luminosity infrared galaxy sample provides insight into the diversity of activity types and the observational selection effects associated with optical magnitude limits, four-band IRAS photometry requirements, and the availability of SDSS spectra.

An additional methodological contribution is the investigation of automated classification of low-dispersion astronomical spectra from the Digitized First Byurakan Survey (DFBS) using supervised and unsupervised machine-learning methods. The Thesis also examines the classification of selected astronomical object subtypes and a cloud-based machine-learning service supporting spectral-image extraction, model training, evaluation, and classification. These studies demonstrate the potential of automated methods for analysing large astronomical archives and complement the Thesis's broader research on infrared galaxies and astronomical data resources.

Practical importance

The resulting catalogues and samples provide a basis for statistical studies of star-forming galaxies, AGN, ULIRGs, HLIRGs, and systems with pairs or multiple optical counterparts. The classification of the large IRAS catalogue helps prioritize objects for follow-up observations, while the spectroscopic analysis supplies physical information for selected sources. The work also emphasizes the need to preserve uncertainty labels and document selection effects when using catalogue samples for population studies. The development of large and homogenous samples is particularly important for studying the statistical properties of infrared galaxies and their evolution.

The archival component shows how digitized historical observations can complement modern surveys. The BAO Plate Archive preserves an important observational record, while DFBS provides digitized low-dispersion spectra for a very large number of objects. Automated extraction and classification can make such archives more accessible, although model accuracy depends on the training sample, class balance, image quality, and the confidence criteria used.

Basic results to be defended

1. Results of the optical identification and spectroscopic study of Byurakan-IRAS Galaxies. A spectroscopic sample comprising 257 objects was compiled and investigated using observations obtained with the 2.6-m telescope of the Byurakan Astrophysical Observatory (BAO), the 6-m telescope of the Special Astrophysical Observatory (SAO), the 1.93-m telescope of the Observatoire de Haute-Provence (OHP), and data from the Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Redshifts, distances, absolute magnitudes, and spectral activity classes were determined for the studied objects.
2. Methodology and results of constructing an extragalactic sample from the IRAS PSC/FSC Combined Catalogue. An approach for the preliminary identification of the extragalactic nature of infrared sources was developed and applied. It is based on cross-matching with catalogues of known galaxies and quasars, optical morphological information, radio-source data, and astrometric information from Gaia.
3. Selection of high-luminosity infrared galaxies and identification of new objects. A sample of 114 galaxies belonging to the ultraluminous infrared galaxy (ULIRG) and hyperluminous infrared galaxy (HLIRG) classes was selected from the IRAS PSC/FSC Combined Catalogue. Among these objects, 48 ULIRGs and 7 HLIRGs are newly classified.
4. Results of the spectroscopic classification of high-luminosity infrared galaxies. The spectral properties and activity types of the selected objects were investigated, distinguishing Seyfert galaxies, quasars, LINERs, HII galaxies, composite objects, and other spectral classes. The roles of active galactic nuclei and star-formation activity in the infrared emission of high-luminosity systems were examined.
5. Results of the investigation of pairs and multiple systems of infrared galaxies. The optical identification of infrared sources and the characteristics of interacting galaxies and multiple systems were investigated. Possible relationships between their structure, star-formation activity, and nuclear activity were considered.
6. Applications of astronomical archival data and digital methods. The potential of the Armenian Virtual Observatory (ArVO), the BAO Plate Archive, and the Digitized First Byurakan Survey (DFBS) was investigated for the identification of astronomical objects and the classification of low-dispersion spectra.

Approbation of the work

The results of the Thesis have been presented in seminars and scientific meetings, including seminars at Leiden University, Netherlands (18 June 2025) and the Byurakan Astrophysical Observatory (15 October 2026) and oral presentations at the European Astronomical Society Annual Meetings of 2020 and 2025, the conference "Non-Stable Phenomena in the Universe" (Byurakan, 2023), the symposium "Relation of Astronomy to Other Sciences, Culture and Society" (Byurakan, 2024), and "Astronomical Surveys and Big Data 3" (Byurakan, 2025).

Structure of the Thesis

The thesis consists of an introduction, six chapters, a conclusion, and a bibliography. The thesis contains 141 pages, 18 figures, 24 tables, and 102 references.

Content of the Thesis

Introduction

The Introduction establishes the scientific motivation for studying infrared galaxies and explains the limitations of interpreting IRAS sources from infrared photometry alone. It presents the objectives, scientific novelty, practical significance, structure of the work, main points to be defended, and the author's contribution to the research and co-authored publications.

Chapter 1

Infrared Galaxies and Their Astrophysical Context. The first chapter establishes the physical and observational framework for the thesis. Infrared galaxies are introduced as systems in which dust absorbs radiation at shorter wavelengths and reradiates energy in the infrared. This makes infrared surveys particularly useful for identifying dusty star-forming galaxies and systems in which nuclear activity contributes substantially to the energy output.

The chapter describes the IRAS survey and the PSC/FSC Combined Catalogue, which form the observational foundation of the thesis. It explains why the four IRAS bands – 12, 25, 60, and 100 μm – are important for estimating infrared and far-infrared luminosities, while noting that reliable source identification remains a separate and essential problem.

Infrared luminosity classes are discussed, including luminous infrared galaxies (LIRGs), ultraluminous infrared galaxies (ULIRGs), and hyperluminous infrared galaxies (HLIRGs). The Chapter explains that these classes provide a useful way to organize samples by energy output, but luminosity alone does not uniquely specify the physical process responsible for the emission.

The Chapter also considers star formation and starburst activity, active galactic nuclei, and the connection between starbursts and AGN. These processes may coexist in the same system, and their relative contributions can be difficult to establish from broadband photometry alone. Optical spectroscopy supplies diagnostic information that helps distinguish HII/star-forming galaxies, Seyfert galaxies, LINERs, composite systems, and other activity types.

Finally, the Chapter discusses interacting, pairs, and multiple infrared galaxies, along with multiwavelength data and astronomical archives. These topics

establish the motivation for the later chapters: reliable interpretation depends on matching infrared detections to the correct optical counterparts and using complementary observational evidence.

Chapter 2

Byurakan-IRAS Galaxies: Optical Identification and Spectroscopic Studies. The BIG programme provides a source-level spectroscopic component of the thesis. The revised dataset contains 257 spectra assembled from observations with the BAO 2.6-m telescope, the 6-m telescope of the Special Astrophysical Observatory, the 1.93-m telescope of the Observatoire de Haute-Provence, and the Sloan Digital Sky Survey. The combined dataset makes it possible to examine the properties of identified infrared galaxies using optical spectra and derived parameters.

The analysis includes optical identification, redshift determination, distance estimates, absolute magnitudes, and spectral activity classifications. The reported redshift interval is $0.0092 \leq z \leq 0.1997$, while the absolute magnitudes span approximately -24.46^m to -16.81^m. The chapter emphasizes that observations from different facilities do not form a fully homogeneous survey and that repeated records or multiple optical components must be considered when interpreting sample counts.

The activity analysis identifies HII/star-forming galaxies as the largest category in the BIG sample. Other types include AGN, Seyfert galaxies, LINERs, composite and mixed spectra, emission-line objects, normal galaxies, absorption-line objects, and records whose classifications remain uncertain. The classification has value both for individual source interpretation and for comparing the relative frequency of activity types across samples.

The Chapter discusses the redshift, distance, and absolute-magnitude distributions and the role of pairs and multiple systems. An IRAS positional ellipse can contain several optical objects, so the association of the infrared flux with one galaxy or a group of components may affect the inferred luminosity and physical interpretation.

Table 1. Distribution of the 257 BIG objects by activity type in the revised summary.

Activity type	Number	Percentage
HII	149	58.0
AGN	13	5.1
Sy 2	17	6.6
LINER	12	4.6
Composite	22	8.6
HII / LINER	4	1.5
HII / Sy 2	2	0.8
Norm	13	5.1
Em	21	8.2
Abs	3	1.1
Unknown	1	0.4
Total	**257**	**100.0**

The BIG study is a methodological bridge between historical individual identifications and the larger catalogue cross-correlation approach in Chapter 3. It also supplies a spectroscopic reference population against which the more selectively defined high-luminosity sample in Chapter 4 can be compared.

Chapter 3

The Extragalactic Sample of the IRAS PSC/FSC Combined Catalogue. This Chapter extends the investigation from a targeted spectroscopic sample to the IRAS PSC/FSC Combined Catalogue, which contains 345,163 sources. Its goal is to provide a preliminary classification of the catalogue population by combining independent identification evidence and organizing sources according to the reliability and nature of their available counterparts.

The methodological design uses cross-correlations with catalogues of known galaxies and quasars, optical morphology, radio information, and Gaia astrometry. The Chapter discusses the choice of search radius and positional uncertainty, and it explains that the different catalogues trace distinct populations. A match to a known galaxy or active nucleus can provide strong evidence, while a possible optical galaxy counterpart or radio association may indicate a candidate requiring further inspection.

Table 2. Cross-correlations with catalogues of previously known extragalactic objects.

Catalogue	Number of objects	Search radius	Single associations
Catalogued Galaxies and Quasars observed in the IRAS Survey, Version 2	11,444	10 arcsec	5,377
NGC 2000.0	13,226	2 arcmin	4,006
Third Reference Catalogue of Bright Galaxies (RC3)	23,011	2 arcmin	7,956
Catalogue of quasars and active nuclei, 13th edition	168,940	10 arcsec	1,271
Roma BZCAT, 5th edition	3,561	10 arcsec	40
Large Quasar Astrometric Catalogue, 5th release (LQAC-5)	592,809	3 arcsec	1,364
SDSS quasar catalogue, DR16Q	750,414	3 arcsec	111
QSO selection from SDSS and WISE	1,604,577	3 arcsec	180

Table 3. Cross-correlations used to identify galaxy candidates.

Catalogue	Number of objects	Selection criteria	Search radius	Single associations
SDSS DR16	1,231,051,050	Extended objects treated as galaxy candidates	3 arcsec	46,396
HyperLEDA	983,261	Galaxy catalogue / PGC2003 candidates	1 arcmin	33,309
APM-North	166,466,987	Ellipticity > 0.5 used as a galaxy-candidate criterion	3 arcsec	37,232
Gaia DR3 Part 2, Extragalactic	11,491,504	Extended sources	3 arcsec	21,599

Optical morphology is used to identify galaxy candidates, and radio information serves as an independent extragalactic criterion. Gaia-based information helps reject stellar counterparts where appropriate. Because the input catalogues overlap and the positional precision varies, the resulting classification is hierarchical and preliminary rather than a definitive classification of all IRAS entries.

At the reported stage, 12,057 sources were classified as confirmed or genuine galaxies/QSOs, 68,940 as galaxy candidates, 183,168 as star candidates, and 80,998 as unknown. These groups provide a structured starting point for further work. Candidate and unknown sources require validation, and catalogue matches should not be interpreted as independent sources when they refer to the same astronomical object.

Table 4. Preliminary classification of the IRAS PSC/FSC Combined Catalogue.

Object category	Number of sources	Fraction of full catalogue
Confirmed galaxies or QSOs	12,057	3.5%
Galaxy candidates	68,940	20.0%
Star candidates	183,168	53.1%
Unknown sources	80,998	23.5%
Total	**345,163**	**100.0%**

The Chapter also establishes the parent-population context for the ULIRG/HLIRG sample. It highlights the need to refine infrared positions and combine infrared photometry with optical spectroscopy before assigning reliable luminosities and activity types.

Chapter 4

High-Luminosity Infrared Galaxies: ULIRGs and HLIRGs. The fourth Chapter investigates the high-luminosity end of the IRAS-selected population. The study combines the broad catalogue framework developed in Chapter 3 with accurate infrared positions, optical counterpart identification, SDSS spectroscopic information, and IRAS photometry. The selection is designed to support luminosity calculations and spectral classification for a defined set of objects.

The sample construction begins with sources that have unique SDSS spectroscopic counterparts. Of 6,346 sources with unique SDSS spectroscopic counterparts, 6,270 had measurements in all four IRAS bands required by the adopted luminosity calculation. The study then applies the infrared-luminosity threshold and the adopted SDSS spectroscopic magnitude criterion to select the final sample. Infrared and far-infrared luminosities have been calculated using the relations below:

$$L_{ir} = 5.6 \times 10^5 R^2 (13.56 f_{12} + 5.26 f_{25} + 2.54 f_{60} + f_{100}) L_{\odot}$$

$$L_{fir} = 5.6 \times 10^5 R^2 (2.58 f_{60} + f_{100}) L_{\odot}$$

The resulting sample contains 114 high-luminosity infrared galaxies: 107 ULIRGs and 7 HLIRGs. Among these, 48 ULIRGs were newly identified, and all seven objects were newly recognized as HLIRGs within the selected sample.

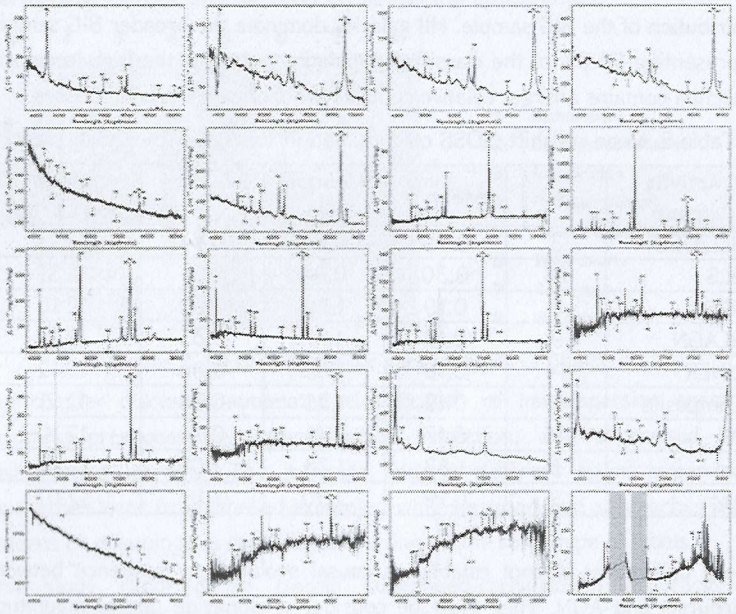


Figure 1. Typical examples of each activity type (from left to right and from top to bottom): *S1.0, NLS1.0, S1.2, NLS1.2, S1.5, NLS1.5, S1.8, S2.0, LINER, HII, S1.9/HII, S1.9/LINER, LINER/HII, NLAGN, QSO, NLQSO, BL Lac, Em, Abs, Unkn.*

Spectroscopic activity classifications were assigned to 113 of the 114 high-luminosity objects. One source remained unclassified because its spectral quality was insufficient. The identified categories include HII galaxies, broad- and narrow-line Seyferts, LINERs, composite systems, narrow-line AGN, BLL/QSO objects, and other emission- and absorption-line types.

The distribution demonstrates that high infrared luminosity does not correspond to a single optical activity mechanism. Star-forming systems remain an important class, while AGN-related systems collectively contribute substantially. Some spectra are composite or uncertain, emphasizing that the physical interpretation of a galaxy may require more than a single classification label.

The Chapter compares mean properties by activity type and examines the relationship between starburst and AGN activity. It also compares the classifications with information available in NED and with the activity distribution of the BIG sample. HII galaxies dominate the broader BIG sample, representing 58.0% of the classified population, whereas the high-luminosity selection contains a larger relative contribution from AGN-related classes.

Table 5. Mean redshift, SDSS colours, and IR luminosity by activity class.

Activity group	N	Mean z	Mean u-g	Mean g-r	Mean $\log(L_{IR}/L_{\odot})$
BLL/QSO	3	0.89	0.60	0.44	13.14
BLS	28	0.30	0.34	0.31	12.37
NLS	6	0.19	1.20	0.90	12.10
NLAGN	9	0.17	1.41	0.85	12.14
LINER	14	0.16	1.60	0.86	12.12
Composite	11	0.19	1.23	0.78	12.21
HII	36	0.17	1.31	0.74	12.19
Em	3	1.83	1.78	1.01	12.86
Abs	3	0.19	2.20	1.18	12.07

These differences do not establish a causal evolutionary sequence between starbursts and AGN. They must be considered alongside optical magnitude limits, the availability of SDSS spectroscopy, the four-band IRAS requirement, and other selection effects. The sample is intended to characterize selected high-luminosity objects, not to provide an unbiased census of all infrared galaxies.

Chapter 5

Armenian Virtual Observatory and BAO Plate Archive: Data Infrastructure and Methodological Applications. The fifth Chapter describes the astronomical data infrastructure relevant to the thesis, focusing on the Armenian Virtual Observatory (ArVO), the Byurakan Astrophysical Observatory Plate Archive, and the Digitized First Byurakan Survey (DFBS). These resources provide access to historical observations and digital spectral data that can complement modern all-sky surveys and targeted spectroscopy.

The DFBS is a major digitized resource derived from the First Byurakan Survey, it is based on 1,874 plates and covers approximately 20 million objects, with about 40 million extracted spectra. Low-dispersion spectral images contain information that can be used for object recognition and preliminary classification, but automated processing must account for image quality, overlapping sources, and the diversity of spectral appearances.

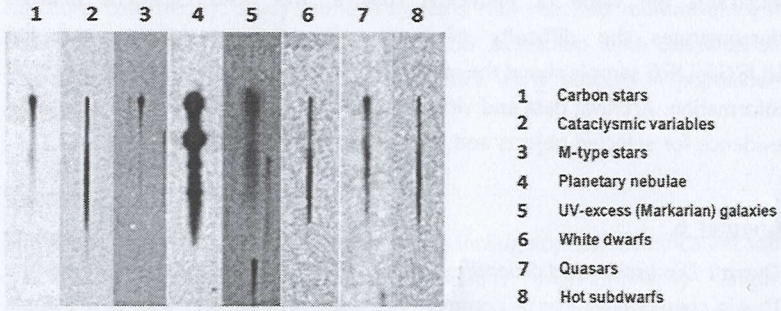


Figure 2. DFBS spectra for various types of objects.

The chapter discusses automated classification of low-dispersion spectra, including preprocessing, spectral-image extraction, and supervised and unsupervised learning. The methods address different tasks: supervised approaches learn from labelled examples, while unsupervised approaches seek patterns or groupings in data without relying on the same type of labels.

First study reported an overall supervised-classification accuracy of approximately 87% for its evaluated object classes. A separate study reported 96% accuracy for its tested sub-object task. These results refer to different experiments and datasets and should not be interpreted as a direct like-for-like comparison.

The Chapter further presents a cloud-based machine-learning service for astronomical sub-object classification. The workflow includes spectral-image extraction, preprocessing, neural-network-based classification, and the use of computational resources to support large-scale processing. The revised extraction and CNN architecture, transfer learning, and service design are discussed as methodological developments for working with archival spectra.

The results demonstrate that automated methods can assist in processing very large astronomical archives, but they also reveal important limitations. Classification performance depends on the coverage and quality of training examples, class imbalance, the quality of the digitized images, and the confidence thresholds used to accept a prediction. Reported accuracy values apply to the evaluated tasks and cannot automatically be generalized to all DFBS objects.

The relevance to infrared-galaxy research is methodological. The BIG study illustrates the value of individual spectra; the IRAS catalogue analysis demonstrates the difficulty of large-scale cross-correlations; and the ULIRG/HLIRG sample shows the need for reliable source matching and spectral information. Archival data and virtual-observatory tools can provide additional evidence for selected objects and help build reproducible workflows.

Chapter 6

Overall Discussion and Scientific Synthesis. The sixth Chapter integrates the Thesis components into a common research programme. The BIG sample supplies detailed source-level spectroscopy; the 345,163-source IRAS PSC/FSC Combined Catalogue provides a broad but preliminary classification framework; the ULIRG/HLIRG study isolates a high-luminosity subset; and ArVO, the BAO Plate Archive, and DFBS provide archival resources and automated methods.

The Chapter emphasizes that an infrared detection identifies a source of energy but does not by itself establish the nature of the emitting object, its distance, its dominant emission mechanism, or whether multiple optical components contribute to the measured flux. Reliable interpretation requires the coordinated use of positional, photometric, spectroscopic, and contextual information.

The BIG sample and the high-luminosity sample have different selection functions. The former combines observations from several facilities and includes repeated records and systems with multiple optical components. The latter requires SDSS spectroscopy, photometry in all four IRAS bands, and an optical magnitude criterion. Their activity distributions therefore should not be compared as though they were drawn from a single homogeneous, volume-limited survey.

The catalogue-scale classification likewise remains preliminary. The candidate and unknown groups require verification, and overlapping matches must be treated carefully. For high-luminosity galaxies, optical spectral quality limits fine classification for some objects, while the distinction between starburst and AGN contributions cannot always be resolved from available data.

The Chapter identifies future priorities: improve ambiguous counterpart associations, validate candidate and unknown sources, document selection functions consistently, study multiple systems with resolved multiwavelength observations, and evaluate automated DFBS extraction and classification against independently classified spectra before using outputs in population statistics.

Conclusion

The Thesis investigates IRAS-selected galaxies through optical identification and spectroscopy, catalogue-scale cross-correlations, high-luminosity sample construction, and archival-data methods. The revised BIG spectroscopic dataset contains 257 spectra; the preliminary classification organizes 345,163 IRAS sources into confirmed or genuine galaxies/QSOs, galaxy candidates, star candidates, and unknown sources; and the high-luminosity sample comprises 107 ULIRGs and 7 HLIRGs.

The results show that infrared luminosity alone does not determine whether star formation or AGN activity dominates. Multiple systems complicate counterpart identification, while sample-selection requirements shape the observed activity distributions. The Thesis provides a basis for further studies, provided that catalogue classifications, uncertain spectra, and selection effects are treated explicitly.

Publications in the topic of the Thesis

- **G.A. Mikayelyan**, A.M. Mickaelian, H.V. Abrahamyan, G.M. Paronyan, "Discovery of New Bright ULIRGs from the IRAS PSC/FSC Combined Catalogue", *Communications of the Byurakan Astrophysical Observatory*, vol. 65, pp. 13–20, 2018.
- **G.A. Mikayelyan**, A.M. Mickaelian, H.V. Abrahamyan, G.M. Paronyan, M.V. Gyulzadyan, "Spectral Classification of Ultrabright IR Galaxies from the IRAS PSC/FSC Combined Catalog", *Astrophysics*, vol. 62, pp. 452–466, 2019.
- **G.A. Mikayelyan**, A.M. Mickaelian, H.V. Abrahamyan, G.M. Paronyan, M.V. Gyulzadyan, "Observations and Study of Byurakan-IRAS Galaxies: Summary", *Communications of the Byurakan Astrophysical Observatory*, vol. 66, pp. 31–40, 2019.
- H. Astsatryan, G. Gevorgyan, A. Knyazyan, A. Mickaelian, **G. Mikayelyan**, "Astronomical Objects Classification Based on the Digitized First Byurakan Survey Low-Dispersion Spectra", *Astronomy and Computing*, vol. 34, id 100442, 2021.
- **G.A. Mikayelyan**, A.M. Mickaelian, H.V. Abrahamyan, G.M. Paronyan, "Building the Largest Sample of IR Galaxies: Preliminary Results", *Communications of the Byurakan Astrophysical Observatory*, vol. 70, pp. 321–327, 2023.
- H. Astsatryan, S. Babayan, A. Mickaelian, **G. Mikayelyan**, M. Astsatryan, "Cloud-Based Machine Learning Service for Astronomical Sub-Object Classification: Case Study on the First Byurakan Survey Spectra", *Data Science Journal*, vol. 23 (1), id 6, 14 pp., 2024.
- **G.A. Mikayelyan**, "Recent Results of Studies of IR Galaxies", *Communications of the Byurakan Astrophysical Observatory*, vol. 72, pp. 409–415, 2025.

Ամփոփագիր

Ատենախոսությունը նվիրված է IRAS տիեզերական շրջահայության տվյալներով ընտրված ենթակարմիր գալակտիկաների որոնմանը և ուսումնասիրությանը: Աշխատանքում համադրված են օպտիկական նույնացումը, սպեկտրաչափական հետազոտությունները, ենթակարմիր լուսատվության որոշումը, IRAS PSC/FSC միացյալ կատալոգի նախնական արտագալակտիկական դասակարգումը և աստղագիտական պահոցների կիրառումը: Հետազոտության հիմնական նպատակն է բարձրացնել IRAS աղբյուրների օպտիկական համապատասխանությունների նույնացման հուսալիությունը, ուսումնասիրել գալակտիկաների սպեկտրային հատկությունները և առանձնացնել բարձր լուսատվությամբ ենթակարմիր գալակտիկաներ:

Առաջին գլխում ներկայացված են ենթակարմիր աստղագիտության ֆիզիկական հիմքերը, IRAS շրջահայությունը և դրա կատալոգները, ենթակարմիր լուսատվության դասերը՝ LIRG, ULIRG և HLIRG, աստղառաջացման ու աստղառաջացման բռնկումների երևույթները, ակտիվ գալակտիկական միջուկները և աստղառաջացման ու ակտիվ միջուկների կապը: Քննարկվում են նաև փոխազդող, կրկնակի և բազմակի համակարգերը, օպտիկական սպեկտրաչափությունը, բազմալիքային տվյալները և աստղագիտական պահոցները: Այս հարցերը հիմք են ստեղծում IRAS աղբյուրների ֆիզիկական մեկնաբանման համար:

Երկրորդ գլխում ուսումնասիրվում է Բյուրական-IRAS գալակտիկաների (BIG) վերանայված ընտրանքը, որը ներառում է 257 սպեկտր: Օգտագործվել են Բյուրականի աստղադիտարանի 2.6 մ աստղադիտակի, ՌԴ Հատուկ աստղադիտարանի 6 մ աստղադիտակի, Ֆրանսիայի Վերին Պրովանսի աստղադիտարանի 1.93 մ աստղադիտակի և Sloan Digital Sky Survey-ի տվյալները: Որոշվել և վերլուծվել են կարմիր շեղումները, հեռավորությունները, բացարձակ աստղային մեծությունները և սպեկտրային ակտիվության դասերը: Ընտրանքի կարմիր շեղումների միջակայքն է $0.0092 \leq z \leq 0.1997$, իսկ բացարձակ աստղային մեծությունները՝ մոտավորապես -24.46^m-ից -16.81^m:

BIG ընտրանքում ամենամեծ խումբը կազմում են HII՝ աստղառաջացումով գալակտիկաները: Ներկայացված են նաև ակտիվ գալակտիկական միջուկներ, Սեյֆերտյան գալակտիկաներ, LINER-ներ, բաղադրյալ սպեկտրներ, առաքման գծերով, նորմալ, կլանման գծերով և անորոշ դասակարգմամբ օբյեկտներ: Ուսումնասիրվել են նաև կրկնակի և բազմակի համակարգերը, որոնք կարևոր են, քանի որ ենթակարմիր աղբյուրին կարող են համապատասխանել մի քանի օպտիկական բաղադրիչներ:

Երրորդ գլխում ներկայացված է IRAS PSC/FSC միացյալ կատալոգի 345,163 աղբյուրների նախնական դասակարգումը: Կիրառվել են հայտնի գալակտիկաների և ակտիվ օբյեկտների կատալոգների հետ համադրումը, օպտիկական ձևաբանությունը, ռադիոտվյալները և Gaia-ի աստղաչափական տվյալները: Նախնական փուլում 12,057 աղբյուր դասակարգվել է որպես հաստատված կամ իրական գալակտիկա/քվազար, 68,940-ը՝ որպես գալակտիկայի թեկնածու, 183,168-ը՝ որպես աստղի թեկնածու, իսկ 80,998 աղբյուր մնացել է անհայտ: Այս դասակարգումը վերջնական չէ և պահանջում է հետագա ստուգում:

Չորրորդ գլխում ընտրվել է բարձր լուսատվությամբ ենթակարմիր գալակտիկաների 114 օբյեկտից բաղկացած ընտրանք՝ 107 ULIRG և 7 HLIRG: Ընտրությունը հիմնված է SDSS-ի օպտիկական սպեկտրաչափական տվյալների, IRAS-ի չորս տիրույթներում լուսաչափության և լուսատվության չափանիշների վրա: Ուսումնասիրության մեջ 48 ULIRG ներկայացվել է որպես նոր բացահայտված, իսկ ընտրանքի բոլոր յոթ օբյեկտները նորահայտ են եղել HLIRG դասում: Սպեկտրային դասակարգում է տրվել 114 օբյեկտներից 113-ին. մեկի սպեկտրը բավարար որակ չի ունեցել:

Ընտրանքում առկա են աստղառաջացմամբ պայմանավորված գալակտիկաներ, Սեյֆերտյան գալակտիկաներ, LINER-ներ, բաղադրյալ սպեկտրով գալակտիկաներ, և այլ դասեր: Դասերի հարաբերակցությունը պետք է մեկնաբանել՝ հաշվի առնելով ընտրանքի չափանիշները, սպեկտրների որակը և դիտողական սահմանափակումները:

Հինգերորդ գլխում դիտարկվում է ցածր դիսպերսիայով սպեկտրների ավտոմատ դասակարգումը՝ ներառյալ նախնական մշակումը, սպեկտրների պատկերների առանձնացումը և վերահսկվող ու չվերահսկվող մեքենայական ուսուցմամբ մեթոդների կիրառումը: Այս մեթոդներն ուղղված են տարբեր խնդիրների լուծմանը: Հրապարակված փորձերում ստացվել են տարբեր ճշտություններ՝ տարբեր տվյալաշարերի և խնդիրների համար. դրանք ուղղակիորեն համեմատելի չեն:

Վեցերորդ գլուխը համադրում է ստացված արդյունքները և ներկայացնում հետագա քայլերը՝ անորոշ համապատասխանությունների ստուգում, թեկնածու աղբյուրների հաստատում, ընտրանքի սահմանափակումների հստակ փաստագրում և բազմակի համակարգերի բազմաալիքային ուսումնասիրություն: Ընդհանուր առմամբ, ատենախոսությունը ցույց է տալիս, որ IRAS աղբյուրների հուսալի մեկնաբանման համար անհրաժեշտ է համատեղել դիրքային, ֆոտոմետրիկ, և սպեկտրաչափական տվյալները:

Резюме

Диссертация посвящена поиску и исследованию инфракрасных галактик, отобранных по данным космического обзора IRAS. Работа объединяет оптическую идентификацию, спектроскопические исследования, определение инфракрасной светимости, предварительную внегалактическую классификацию объединенного каталога IRAS PSC/FSC и использование астрономических архивов. Основная цель состоит в повышении надежности отождествления оптических соответствий источников IRAS, изучении спектральных свойств галактик и выделении высокосветимых инфракрасных объектов.

В **первой главе** изложены физические основы инфракрасной астрономии, обзор IRAS и его каталоги, классы светимости LIRG, ULIRG и HLIRG, процессы звездообразования и вспышечного звездообразования, активные ядра галактик и связь между звездообразованием и активностью ядра. Рассматриваются взаимодействующие, пары и кратные системы, оптическая спектроскопия, многоволновые данные и астрономические архивы.

Во **второй главе** исследована пересмотренная спектроскопическая выборка галактик Byurakan-IRAS (BIG), включающая 257 спектров. Использованы данные 2,6-метрового телескопа Бюраканской астрофизической обсерватории, 6-метрового телескопа Специальной астрофизической обсерватории, 1,93-метрового телескопа Обсерватории Верхнего Прованса и Sloan Digital Sky Survey. Определены красные смещения, расстояния, абсолютные звездные величины и спектральные классы активности. Диапазон красных смещений составляет $0{,}0092 \le z \le 0{,}1997$, а абсолютные звездные величины – приблизительно от $-24{,}46^m$ до $-16{,}81^m$.

В выборке BIG наиболее многочисленны галактики HII, связанные со звездообразованием. Также представлены активные ядра, сейфертовские галактики, LINER, составные спектры, объекты с эмиссионными и абсорбционными линиями, нормальные галактики и источники с неопределенной классификацией. Пары и кратные системы важны потому, что одному инфракрасному источнику могут соответствовать несколько оптических компонентов.

В **третьей главе** представлена предварительная классификация 345 163 источников объединенного каталога IRAS PSC/FSC. Использованы перекрестные отождествления с каталогами известных галактик и активных объектов, оптическая морфология, радиоданные и астрометрия Gaia. На предварительном этапе 12 057 источников отнесены к подтвержденным или реальным галактикам/квазарам, 68 940 — к

кандидатам в галактики, 183 168 — к кандидатам в звезды, а 80 998 остались неизвестными. Классификация требует дальнейшей проверки.

В **четвертой главе** сформирована выборка из 114 высокосветимых инфракрасных галактик: 107 ULIRG и 7 HLIRG. Отбор основан на наличии оптической спектроскопии, данных SDSS, фотометрии IRAS во всех четырех диапазонах и критериях светимости. В исследовании 48 ULIRG представлены как вновь выявленные, а все семь объектов были впервые распознаны как HLIRG в рамках выбранной выборки, хотя два ранее классифицировались как ULIRG. Спектральные классы установлены для 113 объектов; спектр одного источника имел недостаточное качество.

Результаты показывают, что высокая инфракрасная светимость не только связана с механизмом активности. В выборке представлены галактики со звездообразованием, сейфертовские галактики, LINER, композитные системы, активные ядра с узкими линиями и другие классы. Их относительные доли необходимо интерпретировать с учетом критериев отбора, качества спектров и наблюдательных ограничений.

В **пятой главе** рассмотрены Армянская виртуальная обсерватория (ArVO), архив фотопластинок Бюраканской астрофизической обсерватории и Digitized First Byurakan Survey (DFBS). Обсуждаются цифровая обработка спектров низкой дисперсии, выделение спектральных изображений, обучение с учителем и без учителя, а также облачный сервис машинного обучения. Опубликованные эксперименты сообщают разные показатели точности для разных задач и наборов данных, поэтому их нельзя напрямую сравнивать.

Шестая глава объединяет результаты и определяет дальнейшие направления: проверку неоднозначных соответствий, подтверждение кандидатов, документирование ограничений выборок и многоволновое исследование множественных систем. В целом диссертация показывает, что надежная интерпретация источников IRAS требует совместного использования позиционной, фотометрической, спектроскопической и контекстной информации.

Գոռ Միքայելյան / Gor Mikayelyan / Гор Микаелян