



Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-19-0072

Vzt'ah medzi farbou a polarizáciou v kométach: kľúče k pochopeniu mikrofyzikálnych vlastností kometárneho prachu a mechanizmov jeho úniku

Zodpovedný riešiteľ **Mgr. Oleksandra Ivanova, PhD.**

Príjemca **Astronomický ústav SAV, v. v. i.**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Astronomický ústav Slovenskej akadémie vied verejná výskumná inštitúcia

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

-

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

-

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

Publikácie v zahraničných karentovaných časopisoch:

1. IVANOVA, Oleksandra** - LUKYANYK, Igor V. - TOMKO, Dušan - MOISEEV, Alexei. Photometry and long-slit spectroscopy of the split comet C/2019 Y4 (ATLAS). In Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2021, vol. 507, no. 4, p. 5376-5389. Dostupné na:

<https://doi.org/10.1093/mnras/stab2488> Typ: ADCA

2. IVANOVA, Oleksandra - ROSENBUSH, Vera - LUKYANYK, Igor V. - KOLOKOLOVA, Ludmilla O. - KLESHCHONOK, Valerii - KISELEV, Nikolai - AFANASIEV, Viktor - KIRK, Zachary Renée. Observations of distant comet C/2011 KP36 (Spacewatch): photometry, spectroscopy, and polarimetry. In Astronomy and Astrophysics, 2021, vol. 651, article no. A29, p. 1-22. Dostupné na: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039668> Typ: ADCA

3. ROSENBUSH, Vera** - KISELEV, Nikolai** - HUSÁRIK, Marek - IVANOVA, Oleksandra** - LUKYANYK, Igor V. - KLESHCHONOK, Valerii - TOMKO, Dušan - KAŇUCHOVÁ, Zuzana - PIT, Nikolai - ANTONIUK, Kirill - KARPOV, Nikolai - SAVUSHKIN, Alexander - ZHUZHULINA, Elena. Photometry and polarimetry of comet 46P/Wirtanen in the 2018 apparition. In Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2021, vol. 503, no. 3, p. 4297-4308. Dostupné na: <https://doi.org/10.1093/mnras/stab585> Typ: ADCA

4. KISELEV, Nikolai** - ROSENBUSH, Vera - PETROV, Dmitry - LUKYANYK, Igor V. - IVANOVA, Oleksandra - PIT, Nikolai - ANTONYUK, Kirill - AFANASIEV, Viktor. Asteroid (3200) Phaethon: results of polarimetric, photometric, and spectral observations. In Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2022, vol. 514, no. 4, p. 4861-4875. Dostupné

- na:<https://doi.org/10.1093/mnras/stac1559> Typ: ADCA
5. LEJOLY, C. – et al., Radial distribution of the dust comae of comets 45P/Honda–Mrkos–Pajdušáková and 46P/Wirtanen. In *The Planetary Science Journal*, 2022, vol. 3, no. 1, article no. 17, p. 1-15. Dostupné na: <https://doi.org/10.3847/PSJ/ac4501> Typ: ADMB
6. VOITKO, Anhelina - ZUBKO, Evgenij** - IVANOVA, Oleksandra - LUKYANYK, Igor V. - KOCHERGIN, Anton - HUSÁRIK, Marek - VIDEEN, Gorden. Color variations of comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1 in 2018. In *Icarus*, 2022, vol. 388, article no. 115236, p. 1- 16. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2022.115236> Typ: ADCA
7. IVANOVA, Oleksandra - ROSENBUSH, Vera - LUKYANYK, Igor - MARKKANEN, Johannes - KLESHCHONOK, Valery - KOLOKOLOVA, Ludmilla O. - HUSÁRIK, Marek - KISELEV, Nikolai - ANDREEV, Maksim V. - AFANASIEV, Viktor. Quasi-simultaneous photometric, polarimetric, and spectral observations of distant comet C/2014 B1 (Schwartz). In *Astronomy and Astrophysics*, 2023, vol. 672, article no. A76, p. 1-18. Dostupné na: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202244686> Typ: ADCA
8. IVANOVA, Oleksandra** - LICANDRO, Javier** - MORENO, Fernando** - LUKYANYK, Igor - MARKKANEN, Johannes - TOMKO, Dušan - HUSÁRIK, Marek - CABRERA-LAVERS, Antonio - POPESCU, Marcel - SHABLOVINSKAYA, Elena - SHUBINA, Olena. Long-lasting activity of asteroid (248370) 2005 QN₁₇₃. In *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2023, vol. 525, no. 1, p. 402-414. Dostupné na: <https://doi.org/10.1093/mnras/stad2294> Typ: ADCA
9. SHUBINA, Olena** - KLESHCHONOK, Valery - IVANOVA, Oleksandra - LUKYANYK, Igor - BARANSKY, Alexander. Photometry of comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1 in 2012-2019. In *Icarus*, 2023, vol. 391, article no. 115340, p. 1-9. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2022.115340> Typ: ADCA
10. SHUBINA, Olena** - IVANOVA, Oleksandra - PETROV, Dmitry - LUKYANYK, Igor - ROSENBUSH, Vera - KISELEV, Nikolai. Pre-perihelion observations of long-period comet C/2013 X1 (PANSTARRS). In *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2024, vol. 528, no. 4, p. 7027-7036. (Dostupné na: <https://doi.org/10.1093/mnras/stae441> Typ: ADCA
11. TROIANSKYI, Volodymyr** - GODUNOVA, Vira - SEREBRYANSKIY, Aleksander - AIMANOVA, Gauhar - FRANCO, Lorenzo - MARCHINI, Alessandro - BACCI, Paolo - MAESTRIPIERI, Martina - BEREZIN, Dmytro - IVANOVA, Oleksandra - MAIGUROVA, Nadiia - PANKO, Elena - TARADII, Volodymyr - KHLAMOV, Sergii. Optical observations of the potentially hazardous asteroid (4660) Nereus at opposition 2021. In *Icarus*, 2024, vol. 420, article no. 116146, p. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2024.116146> Typ: ADCA
12. VOITKO, Anhelina** - ZUBKO, Evgenij - IVANOVA, Oleksandra - HUSÁRIK, Marek - VIDEEN, Gorden. Dust color variations of comet C/2016 M1 (PanSTARRS). In *Icarus*, 2024, vol. 411, art. no. 115967, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2024.115967> ADCA
13. MCGLASSON, Riley A. – et al.. Radar and lightcurve observations and a physical model of potentially hazardous asteroid 1981 Midas. In *The Planetary Science Journal*, 2022, vol. 3, no. 2, article no. 35, p. 1-17. <https://doi.org/10.3847/PSJ/ac4963> Typ: ADMB
14. VARA-LUBIANO, M. – et al., The multichord stellar occultation on 2019 October 22 by the trans-Neptunian object (84922) 2003 VS₂. In *Astronomy and Astrophysics*, 2022, vol. 663, article no. A121, p. 1-17. Dostupné na: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202141842> Typ: ADCA
15. DEVOGELE, Maxime – et al. Surface heterogeneity, physical, and shape model of near-Earth asteroid (52768) 1998 OR₂. In *The Planetary Science Journal*, 2024, vol. 5, no. 2, article no. 44, p. 1-23. Dostupné na: <https://doi.org/10.3847/PSJ/ad1f70> Typ: ADMA
16. CHABOT, Nancy L. - t. al. Photometry of the Didymos system across the DART impact apparition. In *The Planetary Science Journal*, 2024, vol. 5, no. 2, article no. 35, p. 1-28. Dostupné na: <https://doi.org/10.3847/PSJ/ad0e74> Typ: ADMA
17. NESLUŠAN, Luboš** - TOMKO, Dušan. The impact hazard of near-Sun comets. In *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2022, vol. 512, no. 3, p. 3414-3421. (2021: 5.235 - IF, Q1 - JCR, 1.678 - SJR, Q1 - SJR, karentované - CCC). Dostupné na: <https://doi.org/10.1093/mnras/stac727> Typ: ADCA
18. NESLUŠAN, Luboš** - TOMKO, Dušan. Long-period dynamical evolution of the meteoroid stream originating in comet 21P/Giacobini-Zinner. In *Icarus*, 2023, vol. 392, article

no. 115375, p. 1-12.

Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2022.115375> Typ: ADCA

19. TOMKO, Dušan** - NESLUŠAN, Luboš. Prediction of the collisions of meteoroids originating in comet 21P/Giacobini-Zinner with the Mercury, Venus, and Mars. In *Icarus*, 2023, vol. 405, article no. 115694, p. 1-13. Dostupné na:

<https://doi.org/10.1016/j.icarus.2023.115694> Typ: ADCA

20. HERCZKU, Péter** - MIFSUD, Duncan V.** - IOPPOLO, Sergio - JUHÁSZ, Zoltán - KAŇUCHOVÁ, Zuzana - KOVÁCS, Sándor T. S. - TRASPAS MUIÑA, Alejandra - HAILEY, Perry A. - RAJTA, István - VAJDA, István - MASON, Nigel - MCCULLOUGH, Robert W. - PARIPÁS, Béla - SULIK, Béla. The Ice Chamber for Astrophysics-Astrochemistry (ICA): A new experimental facility for ion impact studies of astrophysical ice analogs. In *Review of Scientific Instruments*, 2021, vol. 92, no. 8, article no. 084501, p. 1-12. Dostupné na:

<https://doi.org/10.1063/5.0050930> Typ: ADCA

21. MIFSUD, Duncan V. – et al. Electron irradiation and thermal chemistry studies of interstellar and planetary ice analogues at the ICA astrochemistry facility. In *European Physical Journal D*, 2021, vol. 75, no. 6, article no. 182, p. 1-9. Dostupné na:

<https://doi.org/10.1140/epjd/s10053-021-00192-7> Typ: ADCA

22. MIFSUD, Duncan V.** - KAŇUCHOVÁ, Zuzana - HERCZKU, Péter - IOPPOLO, Sergio - JUHÁSZ, Zoltán - KOVÁCS, Sándor T. S. - MASON, Nigel - MCCULLOUGH, Robert W. - SULIK, Béla. Sulfur ice astrochemistry: A review of laboratory studies. In *Space Science Reviews*, 2021, vol. 217, no. 1, article no. 14, p. 1-34. Dostupné na:

<https://doi.org/10.1007/s11214-021-00792-0> Typ: ADCA

23. MIFSUD, Duncan V.** - KAŇUCHOVÁ, Zuzana** - IOPPOLO, Sergio** - HERCZKU, Péter - TRASPAS MUIÑA, Alejandra - FIELD, T. A. - HAILEY, Perry A. - JUHÁSZ, Zoltán - KOVÁCS, Sándor T. S. - MASON, Nigel - MCCULLOUGH, Robert W. - PAVITHRAA, S. - RAHUL, K. K. - PARIPÁS, Béla - SULIK, Béla - CHOU, S.-L. - LO, J.-I. - DAS, Ankan - CHENG, B.-M. - RAJASEKHAR, B. N. - BHARDWAJ, A. - SVARAMAN, Bhalamurugan**. Mid-IR and VUV spectroscopic characterisation of thermally processed and electron irradiated CO₂ astrophysical ice analogues. In *Journal of Molecular Spectroscopy*, 2022, vol. 385, article no. 111599, p. 1-12. Dostupné na:

<https://doi.org/10.1016/j.jms.2022.111599> Typ: ADCA

24. MIFSUD, Duncan V.** - HAILEY, Perry A. - HERCZKU, Péter - JUHÁSZ, Zoltán - KOVÁCS, Sándor T. S. - SULIK, Béla - IOPPOLO, Sergio - KAŇUCHOVÁ, Zuzana - MCCULLOUGH, Robert W. - PARIPÁS, Béla - MASON, Nigel. Laboratory experiments on the

radiation astrochemistry of water ice phases. In *European Physical Journal D*, 2022, vol. 76, no. 5, article no. 87, p. 1-15. Dostupné na:

<https://doi.org/10.1140/epjd/s10053-022-00416-4> Typ: ADCA

25. MIFSUD, Duncan V.** - HAILEY, Perry A. - HERCZKU, Péter - SULIK, Béla - JUHÁSZ, Zoltán - KOVÁCS, Sándor T. S. - KAŇUCHOVÁ, Zuzana - IOPPOLO, Sergio - MCCULLOUGH, Robert W. - PARIPÁS, Béla - MASON, Nigel. Comparative electron irradiations of

amorphous and crystalline astrophysical ice analogues. In *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2022, vol. 24, no. 18, p. 10974-10984. Dostupné

na: <https://doi.org/10.1039/d2cp00886f> Typ: ADCA

26. MIFSUD, Duncan V.** - KAŇUCHOVÁ, Zuzana** - IOPPOLO, Sergio** - HERCZKU, Péter** - TRASPAS MUIÑA, Alejandra - SULIK, Béla - RAHUL, K. K. - KOVÁCS, Sándor T. S. - HAILEY, Perry A. - MCCULLOUGH, Robert W. - MASON, Nigel** - JUHÁSZ, Zoltán**. Ozone production in electron irradiated CO₂: O₂ ices. In *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2022, vol. 24, no. 30, p. 18169-18178. Dostupné

na: <https://doi.org/10.1039/d2cp01535h> Typ: ADCA

27. MIFSUD, Duncan V.** - HERCZKU, Péter** - RÁCZ, Richárd - RAHUL, K. K. - KOVÁCS, Sándor T. S. - JUHÁSZ, Zoltán - SULIK, Béla - BIRI, Sándor - MCCULLOUGH, Robert W. - KAŇUCHOVÁ, Zuzana - IOPPOLO, Sergio - HAILEY, Perry A. - MASON, Nigel**.

Energetic electron irradiations of amorphous and crystalline sulphur-bearing astrochemical ices. In *Frontiers in Chemistry*, 2022, vol. 10, article no. 1003163, p. 1-12.

Dostupné na: <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.1003163> Typ: ADCA

28. MIGLIORINI, A.** - KAŇUCHOVÁ, Zuzana - IOPPOLO, Sergio** - BARBIERI, M. -

JONES, N. C. - HOFFMANN, S. V. - STRAZZULLA, Giovanni - TOSI, F. - PICCIONI, Giuseppe. On the origin of molecular oxygen on the surface of Ganymede. In *Icarus*, 2022, vol.

383, article no. 115074, p. 1-11. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2022.115074> Typ: ADCA

29. MIFSUD, Duncan V.** - KAŇUCHOVÁ, Zuzana** - HERCZKU, Péter - JUHÁSZ, Zoltán - KOVÁCS, Sándor T. S. - LAKATOS, G. - RAHUL, K. K. - RÁCZ, Richárd - SULIK, Béla - BIRI, Sándor - RAJTA, István - VAJDA, István - IOPPOLO, Sergio - MCCULLOUGH, Robert W. - MASON, Nigel. Sulfur ion implantations into condensed CO₂: Implications for Europa. In *Geophysical Research Letters*, 2022, vol. 49, no. 24, art. no. 100698, p. 1-9. Dostupné na: <https://doi.org/10.1029/2022GL100698> Typ: ADCA

30. MIFSUD, Duncan V.** - HERCZKU, Péter - RAHUL, K. K. - RAMACHANDRAN, Ragav - SUNDARARAJAN, Pavithra - KOVÁCS, Sándor T. S. - SULIK, Béla - JUHÁSZ, Zoltán - RÁCZ, Richárd - BIRI, Sándor - KAŇUCHOVÁ, Zuzana - MCCULLOUGH, Robert W. - SIVARAMAN, Bhalamurugan - IOPPOLO, Sergio - MASON, Nigel**. A systematic mid-infrared spectroscopic study of thermally processed SO₂ ices. In *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2023, vol. 25, p. 26278-26288.

Dostupné na: <https://doi.org/10.1039/d3cp03196a> Typ: ADCA

31. MIFSUD, Duncan V.** - HERCZKU, Péter - SULIK, Béla - JUHÁSZ, Zoltán - VAJDA, István - RAJTA, István - IOPPOLO, Sergio - MASON, Nigel - STRAZZULLA, Giovanni - KAŇUCHOVÁ, Zuzana**. Proton and electron irradiations of CH₄:H₂O mixed ices. In *Atoms*,

2023, vol. 11, no. 2, article no. 19, p. 1-13. Dostupné na:

<https://doi.org/10.3390/atoms11020019> Typ: ADMA

32. MIFSUD, Duncan V.** - KAŇUCHOVÁ, Zuzana** - HERCZKU, Péter - JUHÁSZ, Zoltán - KOVÁCS, Sándor T. S. - LAKATOS, Gergő - RAHUL, K. K. - RÁCZ, Richárd - SULIK, Béla - BIRI, Sándor - RAJTA, István - VAJDA, István - IOPPOLO, Sergio - MCCULLOUGH, Robert W. - MASON, Nigel**. Sulphur ion implantation into O₂, CO, and CO₂ ices: Implications for the formation of sulphur-bearing molecules in the Kuiper Belt. In *Icarus*, 2024, vol. 411, article no. 115926, p. 1-12. Dostupné na:

<https://doi.org/10.1016/j.icarus.2023.115926> Typ: ADCA

Najvýznamnejšie príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách:

1. Ivanova, O., The Scattering Properties of Dust in Distant Comets. Dust Workshop Reloaded, Braunschweig, Germany, 1-3 November, 2021.

2. Voitko, A., Ivanova, O., Husárik, M. Monitoring of morphology and color of the comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1. International Conference "Astronomy and Space Physics", Kyiv, Ukraine, 25-28 May, 2021.

3. Voitko, A., Short-term variations of color in a cometary coma. International research summer school „Asteroid Photometry“, Molėtai Astronomical Observatory, Lithuania, 16 –27 August, 2021.

4. Kokhirova, G.I., Ivanova, O.V., Rakhmatullaeva, F.Dzh. Identification of the Nature of Asteroid Don Quixote from Observations in the Sanglokh Observatory. Lunar and Planetary Science Conference, USA, 15–19 March, 2021.

5. Ivanova O., Spectrophotopolarimetry as a tool for characterizing active small bodies surfaces, atmospheres, and dust particles. Pro-Am Comet Community (Hybrid) Workshop, June 9 – 12, 2022, Prague, Czech Republic.

6. Shubina O., Ivanova O., Complex study of hyperbolic comet C/2013 X1 (PANSTARRS). European Planetary Science Congress, September 18–24, 2022, Granada, Spain.

7. Voitko A., Ivanova O., Search for short-term color variations of five distant comets. European Planetary Science Congress, September 18–24, 2022, Granada, Spain.

8. Husárik M., Ivanova O., Photometric results of two PHAs: (52768) 1998 OR₂ and (99942) Apophis. European Planetary Science Congress, September 18–24, 2022, Granada, Spain.

9. Shubina O., Kleshchonok V., Ivanova O., Luk'yanyk I., Baransky A., Monitoring observations of comet 29P/Schwassmann–Wachmann 1 during 2012–2019. 22-nd Gamow International Astronomical Conference "Astronomy and beyond: astrophysics, cosmology and gravitation, astroparticle physics, radio astronomy and astrobiology", August 22 – 26, 2022, Odessa, Ukraine, P. 18.

10. Mifsud, D. V. Kaňuchová, Z. Ioppolo, S. Herczku, P. Traspas Muiña, A. Sulik, B. Rahul, K. K. Kovács, S. T. S. Hailey, P. A. Mccullough, R. W. Mason, N. Juhász, Z., Ozone

- production in electron irradiated CO₂:O₂ ices. Collision Physics and Chemistry and their Applications, 30th October – 4th November, 2022, Valletta, Malta.
11. Ivanova.O., Active asteroid (248370) 2005 QN173: Results of polarimetric, photometric, and spectral observations. International symposium on Dust & Parent bodies (IDP2023), 27 February -1 March, 2023, Tokyo, Japan (oral, online).
 12. Ivanova.O., Polarimetry of some distant comets beyond the water sublimation zone. The Rosetta Dust Workshop, 7-10 Mar 2023, Paris, France (oral).
 13. Ivanova. O., Comet 67P gas release from ground-based observation in 2016-2021 apparition. OSIRIS/67P Gas Workshop, 26-27 April, 2023, Göttingen, Germany (oral).
 14. Ivanova.O., The scattering properties of centaur 174P/Echeclus. 20th Electromagnetic and Light Scattering Conference", 15-19, May 2023, Granada, Spain (oral)
 15. Kulis, K.V., Ivanova, O.V., Luk'yanyk, I.V., Quasi-simultaneous photometric, polarimetric, and spectral observations of comet 108P/Ciffreo. Active small bodies in the Solar System over a wide range of heliocentric distances, Stará Lesná, Slovakia from 5th – 8th September 2023 (poster).
 16. ShubinaA O., Ivanova O., Dust properties and their variations in comet C/2013 X1 (PanSTARRS). 20th Electromagnetic and Light Scattering Conference. 15-19, May 2023, Granada, Spain (oral).
 17. Voitko A., Ryzhko, YA., Ivanova O., Husarik, M., Comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1 during its activity outburst in 2020. Active small bodies in the Solar System over a wide range of heliocentric distances. 5-8 September 2023, Stará Lesná, Slovakia, (Poster).
 18. Voitko A., Ivanova O., Photometric observations of Comet C/2020 V2 (ZTF). Observing techniques, instrumentation and science for metre-class telescopes III. 11-15 September 2023, Tatranská Lomnica, Slovak Republic (Oral).
 19. Ivanova.O., The Phenomenon of comet-like activity on asteroids. CATS 2023: Comets, Asteroids, exoplanetary Transits, and variable Stars, 1-2 July, 2023 (online)
 20. Tomko D., Long-period dynamical evolution of the meteoroid stream originating in comet 21P/Giacobini-Zinner. International Conference "Astronomy and Space Physics", May 23 – 26, 2023, Kyiv, Ukraine (online, oral)
 21. Voitko A., Photometry objects C/2017 T2 (PanSTARRS) and C/2016 N4 (MASTER). MPH seminár venovaný výskumu planétok, komét, meteorov a meteoritov, Modra, 20.05-23.05.2024

Uplatnenie výsledkov projektu

Riešený projekt je projektom základného výskumu a preto štandardným spôsobom implementácie jeho výsledkov je ich publikovanie vo vedeckých časopisoch a ich prezentácia na vedeckých konferenciách. Výsledky nášho výskumu boli publikované v 32 recenzovaných vedeckých článkoch. Prezentovaných bolo 60 prednášok na medzinárodných konferenciách. Vedecké výsledky boli implementované do vzdelávacieho procesu a použité pre vedecko-populárne prednášky pre učiteľov a študentov. Podpísané boli 4 medzinárodné spolupráce s univerzitami a vedeckými inštitúciami. V rámci projektu bola vedená a úspešne obhájená 1 magisterská práca a na riešení projektu sa spolupodieľala študentka PhD štúdia, ktorej školiteľkou bola členka projektového tímu. V rámci projektu boli tiež zorganizované 3 medzinárodné konferencie.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Prvýkrát sa uskutočnilo systematické vyhľadávanie rýchlych zmien farebného indexu a stupňa lineárnej polarizácie minimálne v 17 kométach v rôznych heliocentrických vzdialenostiach. Prvýkrát sa tiež uskutočnilo systematické vyhľadávanie rýchlych zmien farebného indexu v kométach, ktoré sú aktívne vo veľkých heliocentrických vzdialenostiach, a zaznamenané boli aj variácie farby a polarizácie v aktívnom asteroide. Archívne aj nové dáta boli analyzované z hľadiska rýchlosti zmien farebného indexu a/alebo stupňa lineárnej polarizácie v kometárnej kome a chvoste. Len časť komét vykazovala farebné variácie. Na základe vytvorených máp priestorového rozloženia povrchovej jasnosti, farby a polarizácie komy komét 29P/Schwassmann-Wachmann 1, C/2013 X1 (PANSTARRS), C/2014 B1 (Schwartz), C/2011 KP36 (Spacewatch), aktívneho asteroidu (248370) 2005 QN173 a iných boli určené ich optické, fyzikálne a chemické charakteristiky. Z výsledkov 8-ročných monitorovacích pozorovaní „kométy-kentaúra“ 29P bolo zistené, že podľa rýchlosti

produkcie prachu a dynamických vlastností patrí tento objekt do triedy kentaurov, jeho obežná perióda je 57 ± 2 dní, a má 4 aktívne oblasti na povrchu jadra blízko rovníka, ktoré vytvárajú 4 výtrysky v kome. Prvýkrát boli vytvorené mapy rozloženia polarizácie v kome a chvoste aktívneho asteroidu (248370) 2005 QN173. Na základe pozorovaní bolo preukázané, že regolit na povrchu potenciálne nebezpečného asteroidu (3200) Phaethon predstavuje zmes forsteritových (90%) častíc a častíc amorfného uhlíka (10%). Tieto výsledky ukázali, že existuje vzájomný vzťah medzi pozorovanými zmenami farby a mikrofyzikálnymi charakteristikami kometárneho prachu. Skúmala sa tiež možná korelácia rýchlych variácií farby a polarizácie s inými charakteristickými vlastnosťami komét, ako je ich orbitálny pohyb, chemické zloženie ľadov a tepelné emisie. Výskum tiež odhalil, že najväčší vplyv na zmenu farby prachu v kométach má chemické zloženie a veľkosť častíc. Tento poznatok zlepšuje naše chápanie mechanizmov spôsobujúcich rýchle zmeny v kométach, a tým sa kvalitatívne rozšírili naše vedomosti o krátkodobých procesoch sprevádzajúcich vývoj komét. Výsledky tohto systematického výskumu predstavujú významný krok vpred v oblasti kometárnej astronómie, pretože umožňujú lepšie pochopiť dynamické a fyzikálne vlastnosti komét v rôznych fázach ich vývoja. Výsledky získané na základe kvázi-simultánných fotometrických, spektroskopických a polarimetrických pozorovaní aktívnych malých telies (kométy, aktívne asteroidy, kentaury), výrazne prevyšujú podobné štúdie iných (zahraničných) autorov, pretože ide doposiaľ o najkomplexnejšie pozorovania. Výstupom uskutočnených výskumov je kombinácia výsledkov pozorovaní vybraných malých telies s ich spracovaním, analýzou a numerickým modelovaním, ktoré sa vykonávajú vlastným softvérom, čo v konečnom dôsledku vedie k okamžitému porovnaniu našich výsledkov so štúdiami iných (zahraničných) tímov. Niektoré naše výstupy nemajú svetové analógy. Napríklad, simultánne numerické modelovanie priestorového rozloženia jasnosti, farby a polarizácie v kometárnej kome poskytuje spoľahlivé fyzikálne, chemické a dynamické charakteristiky prachových častíc, vrátane ich zloženia, veľkosti (rozloženie veľkostí) a rýchlosti šírenia v kome, a pre aktívne asteroidy aj parametre jadra, rýchlosti a množstvo vyvrhnutého prachu z jadra a tiež určenie možného začiatku aktivity. Na základe fotometrie tieňa jadra kométy bola po prvýkrát vyvinutá metóda priameho určenia objemového rozloženia prachových častíc v okolí jadra kométy, zatiaľ čo existujúce metódy umožňujú určiť len povrchové rozloženie prachu a až následným modelovaním získať objemové rozloženie, ktoré nie je také presné ako priame merania. Nami upravený geometrický model na štúdium morfológických štruktúr v komách aktívnych objektov poskytuje lokalizáciu aktívnych oblastí na povrchu jadra kométy alebo aktívneho asteroidu.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

For the first time, a systematic search for rapid changes in the color index and degree of linear polarization in at least 17 comets at various heliocentric distances has been conducted. A systematic search for rapid changes in the color index in comets active at large heliocentric distances was also carried out for the first time, and variations in color and polarization in an active asteroid were recorded. Archival and new data on comets were analyzed in terms of the rate of changes in the color index and/or the degree of linear polarization in the cometary coma and tail. Only some comets showed color variations. Based on the created maps of the spatial distribution of surface brightness, color, and polarization of the comae of comets 29P/Schwassmann-Wachmann 1, C/2013 X1 (PANSTARRS), C/2014 B1 (Schwartz), and the active asteroid (248370) 2005 QN173, their optical, physical, and chemical characteristics were determined. From the results of 8 years of monitoring observations of the centaur-comet 29P, it was found that, according to the dust production rate and dynamic properties, this object belongs to the class of centaurs, its orbital period is 57 ± 2 days, and it has 4 active regions on the nucleus near the equator, creating 4 jets in the coma. For the first time, polarization maps of the coma and tail of the active asteroid (248370) 2005 QN173 were created. Based on observational data, it was proven that the regolith on the surface of the potentially hazardous asteroid (3200) Phaethon is a mixture of forsterite (90%) and amorphous carbon (10%) particles. These results showed that there is an interrelationship between the observed changes in color and the microphysical characteristics of cometary dust. The possible correlation of rapid variations in color and polarization with other characteristic properties of comets, such as their orbital motion, chemical composition of ices, and thermal emissions, was also studied.

The research also revealed that the greatest influence on the color change of dust in comets is the chemical composition and size of the particles. This understanding improves our knowledge of the mechanisms causing rapid changes in comets, thus qualitatively expanding our understanding of the short-term processes accompanying comet evolution. The results of this systematic study represent a significant step forward in the field of cometary astronomy, as they enable a better understanding of the dynamic and physical properties of comets at various stages of their evolution. The results obtained from quasi-simultaneous photometric, spectral, and polarimetric observations of active small bodies (comets, active asteroids, centaurs) significantly surpass similar studies by foreign authors, as such comprehensive observations are conducted only by the authors of this project. The basis of the conducted research is the dynamic combination of the results of observations of selected small bodies with their processing, analysis, and numerical modeling, which are carried out using proprietary software, immediately distinguishing our results from the studies of the same objects by foreign colleagues. Some of our developments have no global analogs. For example, simultaneous numerical modeling of the spatial distribution of brightness, color, and polarization in the cometary coma provides reliable physical, chemical, and dynamic characteristics of dust particles, including their composition, size (size distribution), and propagation speed in the coma, and for active asteroids, also the parameters of the nucleus, the speed and mass of dust ejected from the nucleus, and the possible time of the onset of activity. Based on photometry of the shadow from the comet's nucleus, a method for directly determining the volumetric distribution of dust particles in the near-nucleus region of the comet was developed for the first time, whereas existing methods allow only surface distribution of dust to be determined, with volumetric distribution obtained through subsequent modeling, which is not as accurate as direct measurements. The geometric model modified by the authors for studying morphological structures in the comae of active objects provides the localization of active areas on the surface of the comet's nucleus or active asteroid.