

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-16-0148****Fyzikálne vlastnosti a dynamika meteoroidov**Zodpovedný riešiteľ **RNDr. Juraj Tóth, PhD.**Príjemca **Univerzita Komenského v Bratislave - Fakulta matematiky, fyziky a informatiky**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Univerzita Komenského v Bratislave, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

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

1. Matlovič, Pavol; Tóth, Juraj; Rudawska, Regina; Kornoš, Leonard, Pisarčíková, Adriana, 2019: Spectral and orbital survey of medium-sized meteoroids. *Astronomy & Astrophysics*, Volume 629, id.A71, 19
2. Neslušan, Luboš, Hajduková, Mária, Jr., 2019, Long-period comet C/1963 A1 (Ikeya), the probable parent body of π -Hydrids, δ -Corvids, November α -Sextantids, and ϑ -Leonids, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 631, id.A112, 10 pp.
3. Hajduková, Mária, Jr., Neslušan, Luboš, 2019, Modeling of the meteoroid stream of comet C/1975 T2 and λ -Ursae Majorids, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 627, id.A73, 8 pp.
4. Tomko, Dušan, Neslušan, Luboš, 2019, Meteoroid-stream complex originating from comet 2P/Encke, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 623, id.A13, 24 pp.
5. Iwan P Williams, Tadeusz J Jopek, Regina Rudawska, Juraj Tóth, Leonard Kornoš, Minor meteor showers and the sporadic background, *Meteoroids: Sources of Meteors on Earth and Beyond*, Ryabova G. O., Asher D. J., and Campbell-Brown M. D. (eds.), Cambridge, UK: Cambridge University Press, 336 pp., ISBN 9781108426718, 2019, p. 210-234
6. HAJDUKOVÁ, Mária, Jr., STERKEN, Veerle, WIEGERT, Paul, 2019, Interstellar Meteoroids. *Meteoroids*. In *Sources of Meteors on Earth and Beyond*, Ryabova G. O., Asher D. J., and Campbell- Brown M. D. (eds.), Cambridge, UK: Cambridge University Press, 336 pp., ISBN 9781108426718, 2019, p. 235-252
7. Pavol Matlovič, Juraj Tóth, *Meteors: Light from Comets and Asteroids*, *Reviews in Frontiers of Modern Astrophysics; From Space Debris to Cosmology*, edited by Kabáth,

- Petr; Jones, David; Skarka, Marek. ISBN: 978-3-030-38509-5. Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 23-44
8. Baláž, Martin; Tóth, Juraj; Vereš, Peter; Jedicke, Robert: ASMODEUS meteor simulation tool. *Planetary and Space Science*, Volume 190, article id. 104937, (2020)
 9. Gajdoš, Štefan; Matlovič, Pavol; Kornoš, Leonard; Galád, Adrián; Tóth, Juraj: Search for V-type meteoroids. *Planetary and Space Science*, Volume 189, article id. 104978, (2020)
 10. Gajdoš, Štefan; Tóth, Juraj; Kornoš, Leonard: October Draconids 2018 outburst by AMOS. *Planetary and Space Science*, Volume 190, article id. 104995, (2020)
 11. Hajduková, M., Jr., Hajduková, M.: History of the meteoroids conference series and its Slovak roots, *Planetary and Space Science*, Vol. 181, article id. 104827, (2020)
 12. Hajduková, Mária; Kornoš, Leonard: The influence of meteor measurement errors on the heliocentric orbits of meteoroids. *Planetary and Space Science*, Volume 190, article id. 104965, (2020)
 13. Hajduková, M. Jr., Neslušan, L.: The χ -Andromedids and January α -Ursae Majorids: A new and a probable shower associated with Comet C/1992 W1 (Oshita), *Icarus*, Vol. 351, article id. 113960, (2020)
 14. Hajdukova, Maria; Sterken, Veerle; Wiegert, Paul; Kornoš, Leonard: The challenge of identifying interstellar meteors. *Planetary and Space Science*, Volume 192, article id. 105060, (2020)
 15. Ivanova, O., Skokov, Y., Luk'yanyk, I., Tomko, D., Husárik, M., Blum, J., Egorov, O., Voziakova, O.: Activity of (6478) Gault during 2019 January 13 - March 28, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 496, p. 2636-2647, (2020)
 16. Kováčová, Martina; Nagy, Roman; Kornoš, Leonard; Tóth, Juraj: Bennu and Ryugu: Dynamical modelling of ejected particles to the Earth. *Planetary and Space Science*, Volume 185, article id. 104897, (2020)
 17. Matlovič, Pavol; de Leon, Julia; Medeiros, Hissa; Popescu, Marcel; Rizos, Juan Luis; Mansour, Jad-Alexandru: Spectral characterisation of 14 V-type candidate asteroids from the MOVIS catalogue. *Astronomy & Astrophysics*, Volume 643, id.A107, 9 pp., (2020)
 18. Matlovič, Pavol; Kornoš, Leonard; Kováčová, Martina; Tóth, Juraj; Licandro, Javier: Characterization of the June epsilon Ophiuchids meteoroid stream and the comet 300P/Catalina. *Astronomy & Astrophysics*, Volume 636, id.A122, 10 pp., (2020)
 19. Matlovič, Pavol; Tóth, Juraj; Kornoš, Leonard; Loehle, Stefan: On the sodium enhancement in spectra of slow meteors and the origin of Na-rich meteoroids. *Icarus*, Volume 347, article id. 113817, (2020)
 20. Neslušan, L., Hajduková, M., Jr.: The relationship between Comet C/1853 G1 (Schweizer) and the γ -Aquilids and 52 Herculis meteor showers, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 498, Issue 1, p. 1013-1022, (2020)
 21. Povinec, P. P.; Sýkora, I.; Macke, R. J.; Tóth, J.; Kornoš, L.; Porubčan, V.: Radionuclides in Chassigny and Nakhla meteorites of Mars origin: Implications for their pre-atmospheric sizes and cosmic-ray exposure ages. *Planetary and Space Science*, Volume 186, article id. 104914, (2020)
 22. Hajduková, Mária, Jr. - Neslušan, Luboš. Modeling the meteoroid streams of comets C/1894 G1 (Gale) and C/1936 O1 (Kaho-Kozik-Lis). In *Planetary and Space Science*, vol. 195, article no. 105152, p. 1- 13, (2021)
 23. Hajduková, Mária, Jr. - Neslušan, Luboš. Modeling the meteoroid streams of comet C/1861 G1 (Thatcher), Lyrids. In *Planetary and Space Science*, vol. 203, article no. 105246, p. 1-14, (2021)
 24. Neslušan, Luboš - Hajduková, Mária, Jr. Meteoroid stream of comet C/1961 T1 (Seki) and its relation to the December ρ -Virginids and γ -Sagittariids. In *The Astronomical Journal*, vol. 162, no. 1, article no. 20, p. 1-9, (2021)
 25. Ivanova, Oleksandra, Luk'yanyk, Igor, Tomko, Dušan and Moiseev, Alexei. Photometry and long-slit spectroscopy of the split comet C/2019 Y4 (ATLAS), *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 507, Issue 4, pp.5376-5389, (2021)
 26. Ravichandran, Ranjith, Leiser, David, Zander, Fabian, Loehle, Stefan, Matlovič, Pavol, Toth, Juraj, Ferriere, Ludovic: High frame rate emission spectroscopy for ablation tests in plasma wind tunnel. *Review of Scientific Instruments* 92, 033101 (2021)
 27. Kováčová, Martina ; Kornoš, Leonard ; Matlovič, Pavol: Possibility of transporting material from Ceres to NEO region via 8:3 MMR with Jupiter. *Mon. Not. Roy. Astron. Society*, DOI 10.1093/mnras/stab3268, v tlači

Uplatnenie výsledkov projektu

Projekt priniesol nové poznatky základného výskumu v oblasti medziplanetárnej hmoty. Mapoval meteorickú aktivitu najmä na južnej, málo preskúmanej oblohe vrátane spektroskopických pozorovaní, určoval fyzikálne vlastnosti meteoroidov a meteoritov a skúmal dynamické vzťahy medzi prúdmi meteoroidov a ich materskými telesami. Pozorovacie systémy, vlastný softvér a metodika spracovania dát budú okrem základného výskumu používané aj v oblasti kozmického výskumu a mapovania populácie kozmického odpadu.

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

AMOS (All-sky Meteor Orbit System), vyvinutý na AGO FMFI UK v Modre, je opticko-elektronický celooblohový videosystém na pozorovanie meteorov a ich spektier. V r. 2018 sme vybudovali dve stanice na observatóriách Havajských ostrovov. V r. 2021 sme inštalovali dva systémy v Austrálii s cieľom hlbšie pokryť južnú oblohu a iné časové pásma. Vyvinuli sme program pre automatickú detekciu meteorov. Zlepšili sme astrometrickú redukciu a výpočet dráh. Analyzovali sme zvýšenú aktivitu meteorických rojov, pre roj Júnové ϵ -Ophiuchidy sme urobili aj spektrálnu a dynamickú analýzu. Študovali sme 202 spektier meteorov z rôznych zdrojových oblastí a našli sme veľkú heterogenitu v ich zložení, pevnosti a porozity aj v rámci jedného roja. Väčšina Na-enhanced a Na-rich meteorov sa dá vysvetliť malou rýchlosťou meteoroidu v atmosfére. Navrhli sme upravenú klasifikáciu meteoroidov tak, aby tento efekt bol zohľadnený. Uskutočnili sme experimenty vo veternom plazmovom tuneli na inštitúte IRS v Stuttgarte s cieľom získať spektrá meteoritov vo vysokom rozlíšení. Odpozorovali sme nový meteorický roj Aritíd z kométy 15P/Finlay v októbri 2021. Vytvorili sme modely dynamického vývoja prúdov meteoroidov uvoľnených z niekoľkých materských komét a ukázali sme, že sa často štiepia na vlákna na odlišných dráhach. Uvoľnené častice z blízkozemských asteroidov Bennu a Ryugu môžu v atmosfére Zeme vyvolať malú rojovú aktivitu. Z trpasličej planéty Ceres sa môže uvoľnený materiál z povrchu dostať cez rezonanciu 8:3 s Jupiterom do blízkosti dráhy Zeme. Určovali sme fyzikálne vlastnosti materských telies meteoroidov, aktívneho asteroidu Gault a rozpadajúcej sa kométy C/1994 Y4.

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

AMOS (All-sky Meteor Orbit System), developed at the AGO FMFI UK in Modra, is an opto-electronic all-sky video system for observing meteors and their spectra. In 2018, we have built two stations on Hawaii and in 2021 two systems in Australia, aiming to provide coverage of the southern hemisphere night sky at different time-zones. We have developed a software for automatic detection of meteors and improved the astrometric reduction and orbit determination. We have analyzed several cases of enhanced meteor shower activities. For the June ϵ -Ophiuchids, we have performed spectral and dynamical analysis. The study of 202 meteor spectra from various dynamical sources showed high heterogeneity of their composition, material strength and porosity, even within individual streams from a single parent body. The most of Na meteor spectra can be explained by the low meteor speed corresponding to lower ablation temperatures. We have proposed a new spectral classification based on this effect. We have performed experiments in plasma wind tunnel facilities at University of Stuttgart, aiming to obtain high-resolution meteorite spectra. In October 2021, the new meteor shower of Aritids from comet 15P/Finlay were detected. We have developed models of the dynamical evolution of meteoroid streams released from several parent comets, which often split into filaments on different heliocentric orbits. The released particles from near-Earth asteroids Bennu and Ryugu can give rise to minor meteoric shower activity. The material released from Ceres can be transferred to the close vicinity of the Earth through the 8:3 mean motion resonance with Jupiter. We have determined the physical properties of meteoroid parent bodies, the active asteroid Gault and the disrupting comet C/1994 Y4.