

## **Fizika pagrįstas atvirkštinis neuroninis vaizdavimas asteroidų paviršių rekonstrukcijai iš negausių stebėjimų**

Doc. dr. Donatas Narbutis

Mažųjų Saulės sistemos kūnų (asteroidų, kometų) atkūrimas iš praskriejimo misijų duomenų yra blogai apibrėžtas atvirkštinis uždavinys dėl ribotų stebėjimo kampų ir ekstremalių apšvietimo sąlygų. Įprasti metodai nepajėgia atskirti paviršiaus bruožų nuo greitai kintančių šešėlių, todėl gaunami fiziškai nesuderinti modeliai. Nors nuo 2021 m. sparčiai tobulėjant neuroninio atvaizdavimo metodams atsirado pirmieji jų taikymai kosmoso tyrimuose, vis dar trūksta visiškai diferencijuojamo, fizika pagrįsto metodo netaisyklingų besisukančių asteroidų interpretavimui.

Tyrimas siekia išspręsti šį neapibrėžtumą kuriant fizika pagrįstą atvirkštinio atvaizdavimo sistemą, integruojančią paviršiaus formos modeliavimą, šviesos sklidimą ir šešėlių kritimą. Sistema gebės atkurti ir interpretuoti iš erdvėlaivių gautus besisukančių asteroidų vaizdus. Metodologija sukurta taip, kad būtų pritaikoma negausiems vaizdų duomenų rinkiniams iš ankstesnių asteroidų praskriejimo misijų bei būsimos ESA Hera (2026 m.) asteroido tyrimo po smūgio misijos.

Projektas sujungia mašininį mokymąsi ir astrofiziką, šviesos sąveikos dėsnius įterpiančios tiesiogiai į neuroninio atvaizdavimo procesą. Pagrindinis indėlis – šešėlių nuoseklumo prielaida, traktuojanti dinaminčius šešėlius kaip griežtą geometrinį apribojimą. Tai leidžia kartu optimizuoti formos ir medžiagų savybes, užtikrinant fiziškai pagrįstą ir interpretuojamą atkūrimą net esant kritiškai negausiems stebėjimams.

### **Physics-based neural inverse rendering for asteroid surface reconstruction from sparse observations**

Reconstruction of small Solar System bodies (asteroids, comets) from fly-by missions is an ill-posed inverse problem due to sparse observational angles and extreme illumination conditions. Standard methods fail to disentangle surface features from shadows, leading to physically inconsistent models. Since the rapid advancement of neural rendering techniques in 2021 for natural environments, initial applications to space exploration have emerged; however, a fully differentiable physics-based method for interpreting rotating, irregular asteroids is still lacking.

This research aims to resolve the ambiguity by developing a physics-informed inverse rendering framework, integrating surface-shape modeling, light propagation, and shadow casting, capable of reconstructing and interpreting images of rotating asteroids obtained from spacecraft. The methodology is designed to be applicable to sparse imaging datasets from previous asteroid fly-by missions and forthcoming ESA Hera (2026) asteroid post-impact survey.

To achieve this, the project will combine machine learning and astrophysics by embedding physical light interaction laws directly into the neural rendering pipeline. A key contribution is the introduction of a shadow consistency prior, which treats dynamic shadows as a strict geometric constraint rather than noise. This enables the joint optimization of shape and material properties, providing a physically grounded and interpretable reconstruction even when observational data is critically sparse.