

# **DART-asteroiditörmäyksen aiheuttama mahdollinen tulevaisuuden meteoriparvi**

**Ursan Aurinkokuntatapaaminen 2025**

**Markku Nissinen 8.2.2025**

# Double Asteroid Redirection Test (DART)

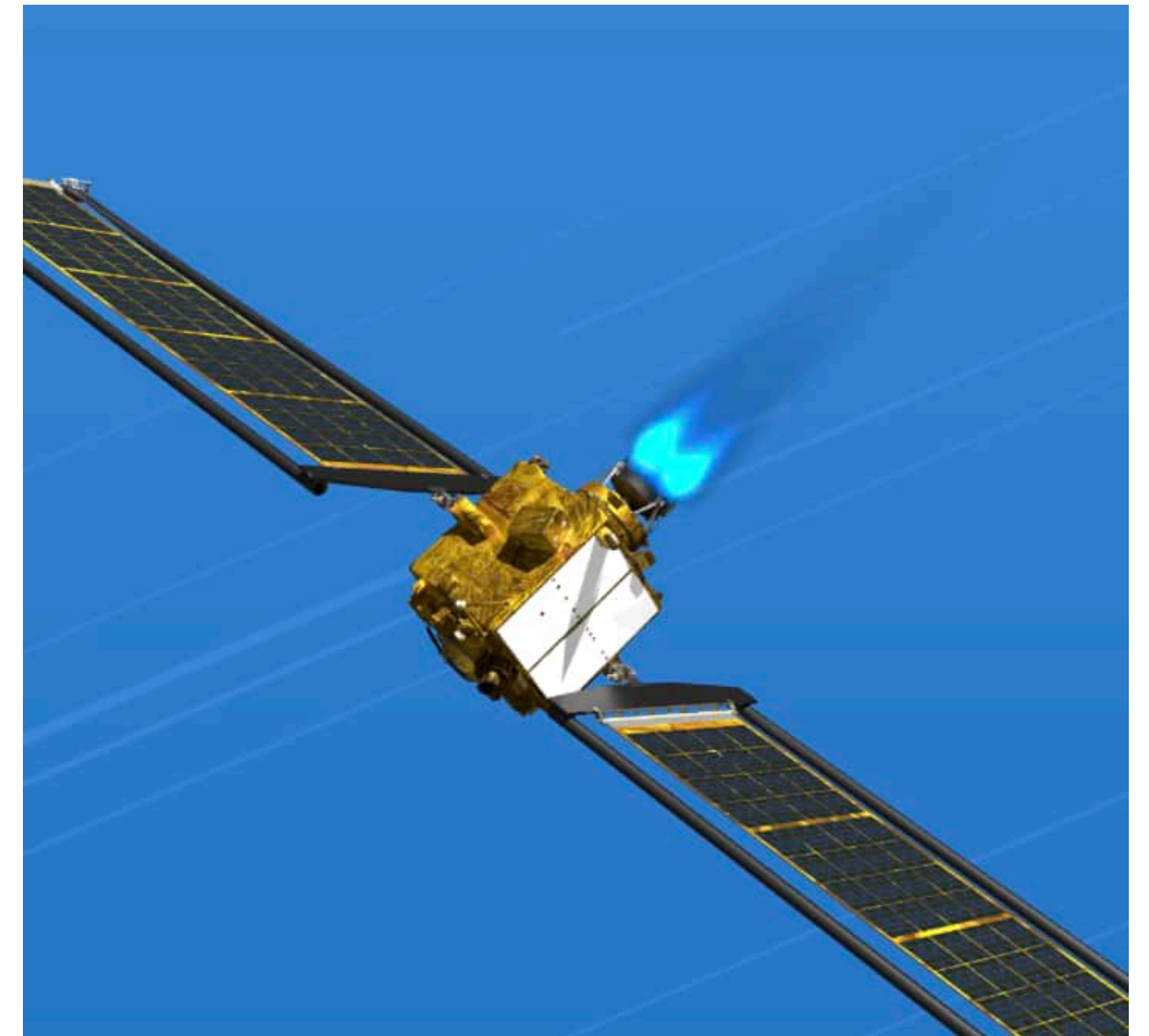
## Didymos ja sitä kiertävä pienempi asteroidi Dimorphos

- Ensimmäisen kerran muutettiin asteroidin rataa törmäyttämällä siihen luotain.
- Laukaisu 23.11.2021 Space X Falcon 9 Vandenberg.
- Törmäys pienempään Dimorphos asteroidiin 26.9.2022 23:14:24.183 UT.
- Didymoksen halkaisija on 780 m ja Dimorphoksen halkaisija on 160 m.
- Mahdollinen tulevaisuuden meteoriparvi löydetty mallintamalla LICIACube:lla tehtyjen mittausten perustella (Mars ja Maa).
- ESA Hera, Milani, Juventas ja VTT ja Kuva Space ASPECT hyperspektri-mittauslaite.

# DART

## Double Asteroid Redirection Test

- 1,2 x 1,3 x 1,1 metriä kooltaan (1,8 x 1,9 x 2,6).
- Aurinkopaneelit 8,5 metriä.
- Nopeus 6,1 km/s.
- Massa 610 kg lähdössä ja 580 kg törmäyksessä.
- Ioni moottori (xenon).
- Kuva: NASA



# DRACO

## Navigointi- ja tiedekamera

- Samankaltainen kuin New Horizons LORRI.
- 208 mm optiikan apertuuri.
- FOV 0,29 astetta.
- CMOS.
- Kameraa käytettiin myös navigointiin.
- Kuva: NASA

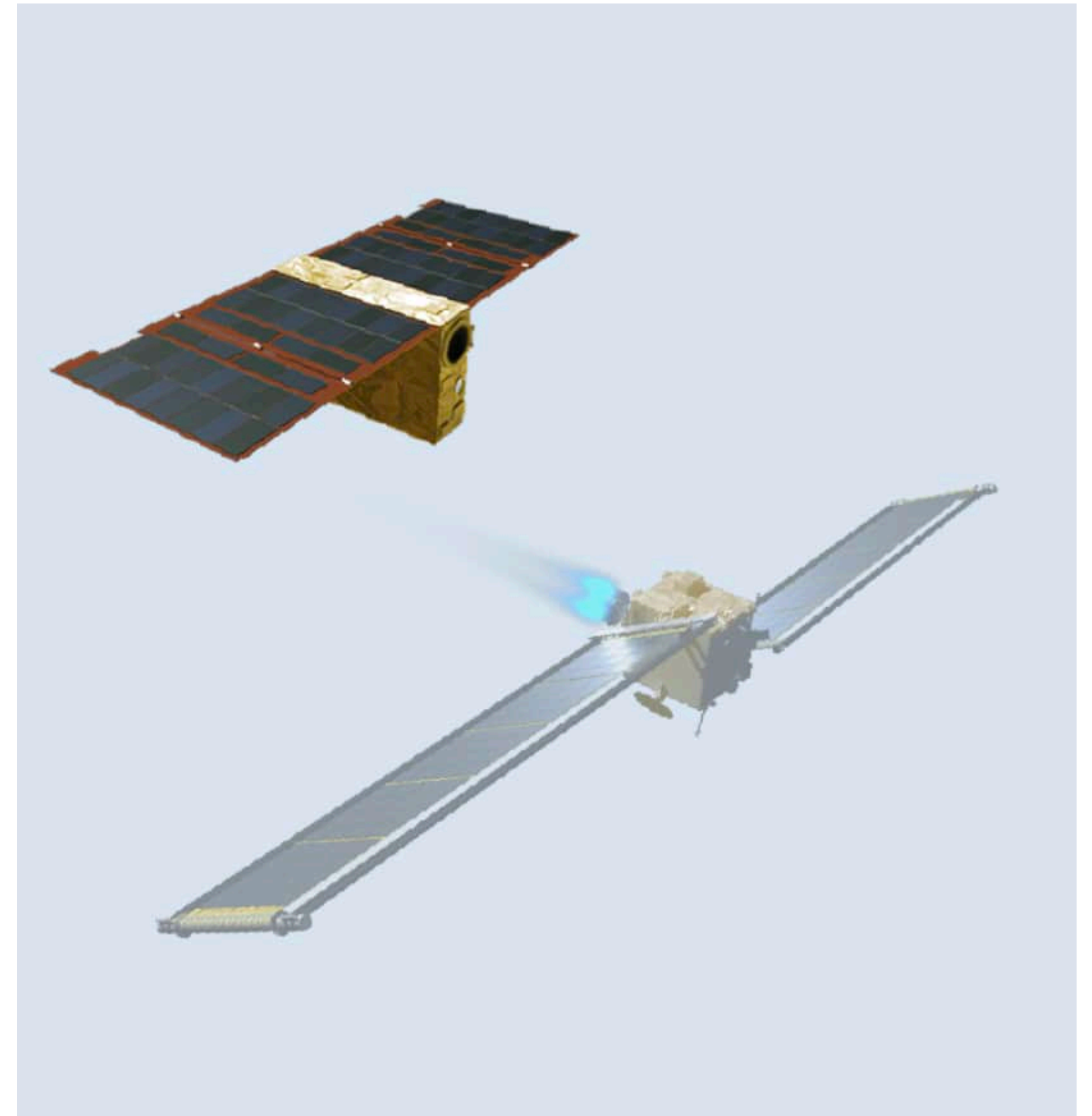




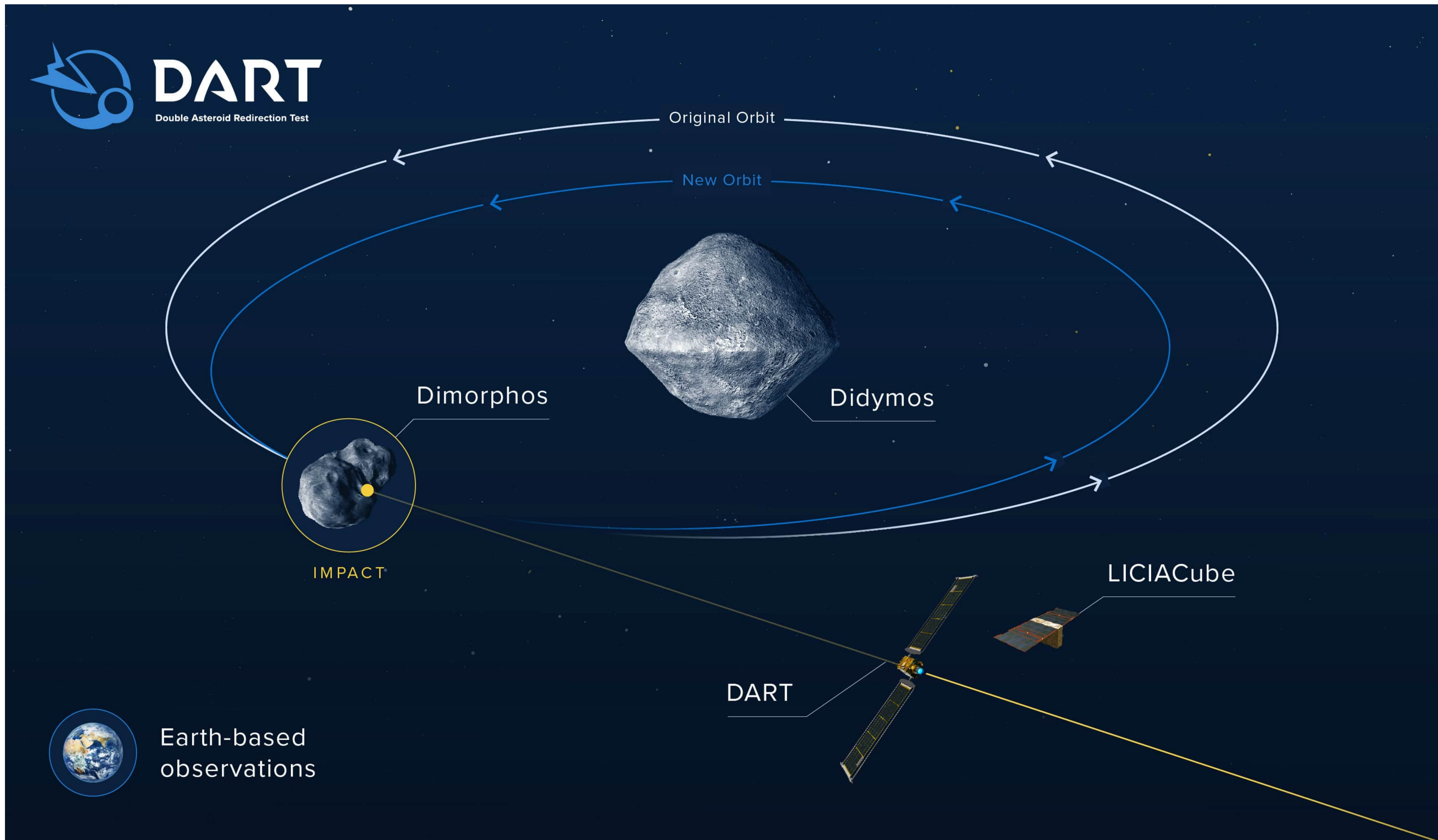
# LICIACube

## Italialainen cubesat

- Irrotettiin 15 päivää ennen törmäystä.
- Pienikenttäinen mustavalkokamera.
- Laajakenttäinen värikamera LUKE.
- Kuva: NASA



# Kuva: NASA/Johns Hopkins University APL





# Kuva: DART (NASA/Johns Hopkins APL/Ed Whitman)





# Kuva: LICIACube (NASA/Johns Hopkins APL/Ed Whitman)





# Kuva: DART laukaisu NASA/Bill Ingals





# Kuva: Pohjoinen ylhäällä (NASA/Johns Hopkins APL)





**Kuva:  
NASA**



On Sept. 26, 2022, DART impacted the asteroid moonlet Dimorphos, a small body just 530 feet (160 meters) in diameter. It orbits a larger, 2,560-foot (780-meter) asteroid called Didymos.

Credit: NASA

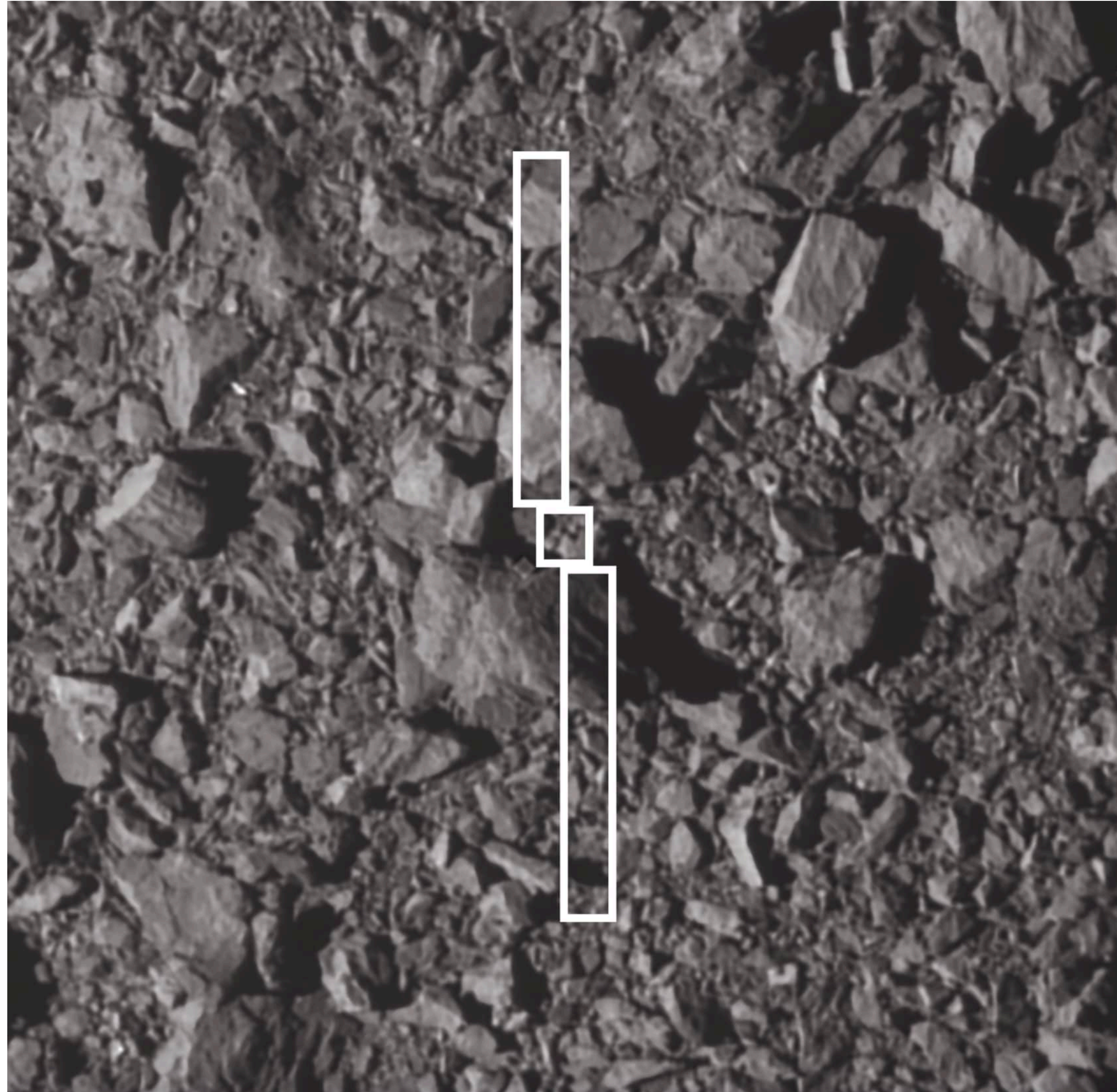


**Kuva: Kuvan koko 31 m. Pohjoinen ylhäällä (NASA/Johns Hopkins APL)**





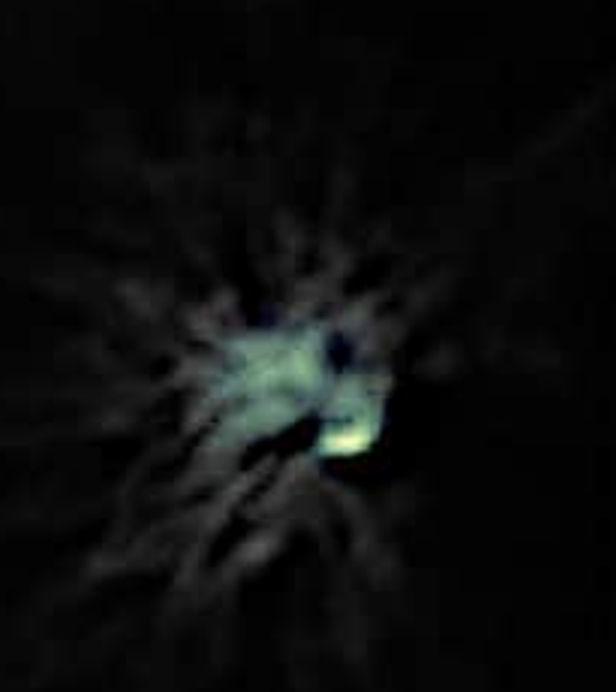
# Kuva: DART törmäys (NASA/Johns Hopkins APL)





# Kuva: ASI/NASA

LUKE image taken 8 seconds before close approach  
(about 3 minutes after impact)  
Distance from LICIA to target: 76 km

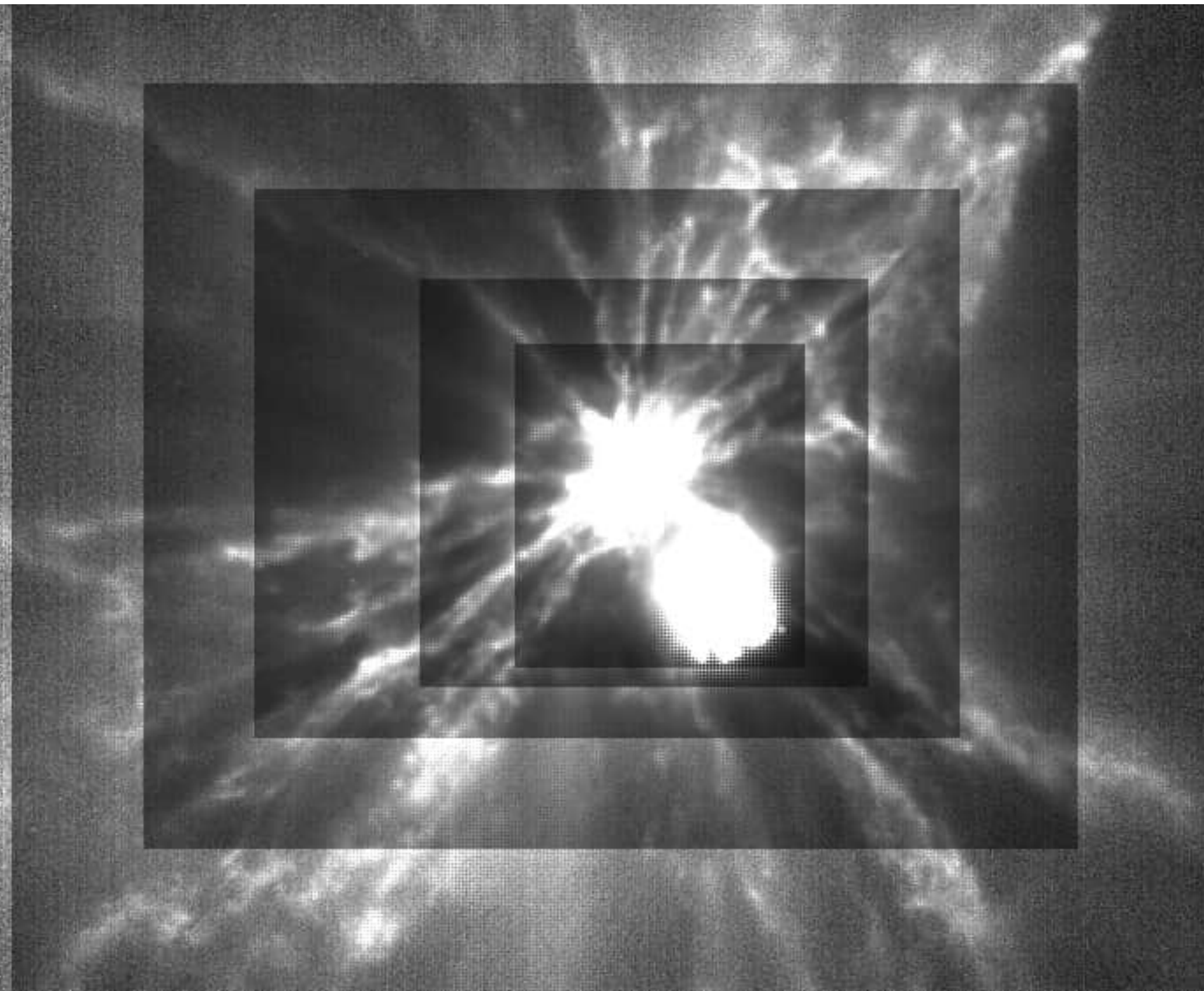


LUKE image taken 7 seconds after close approach  
(about 3 minutes after impact)  
Distance from LICIA to target: 71 km





# Kuva: LICIACube image of asteroid ejecta (ASI/NASA/APL)

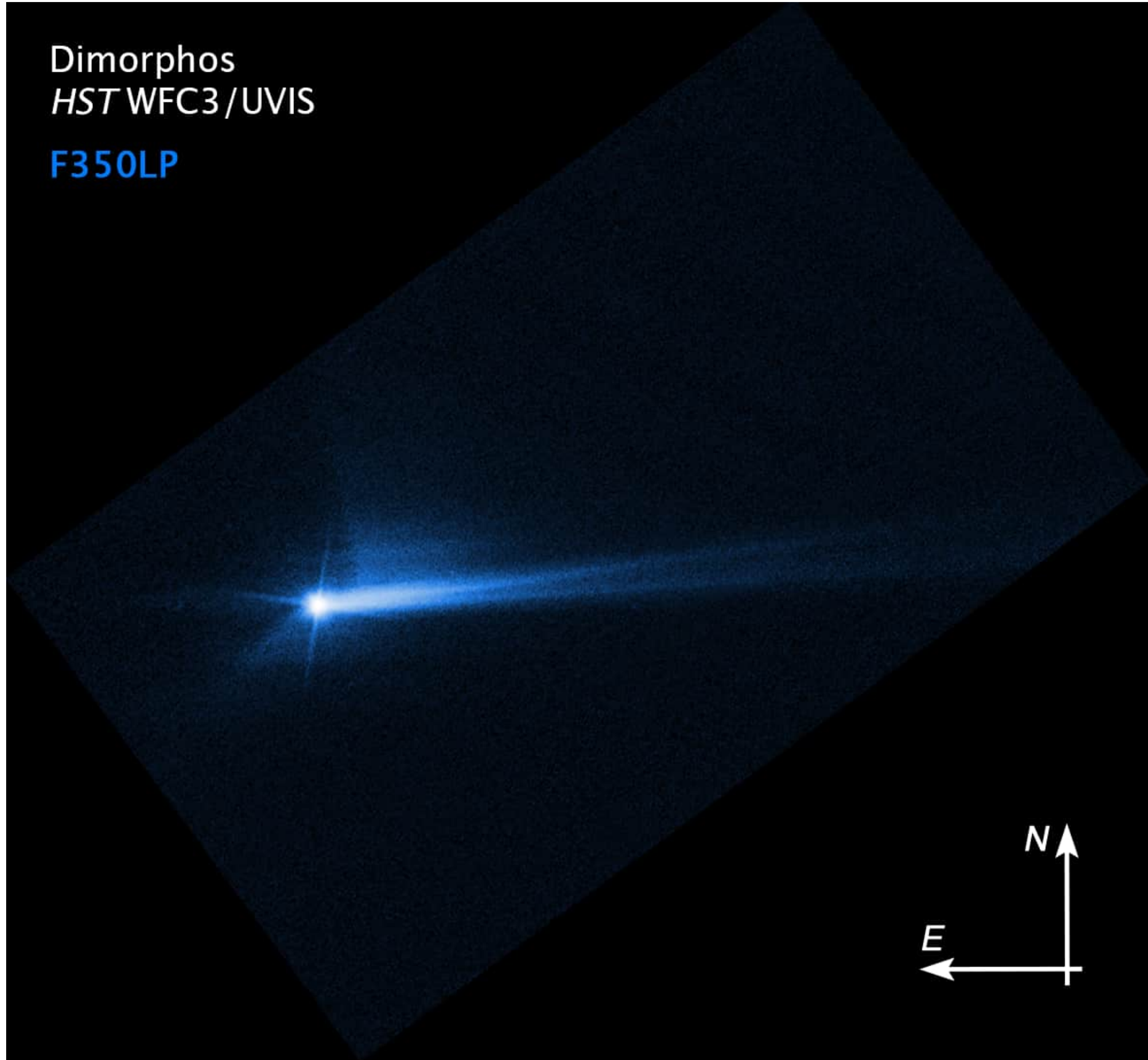




# Kuva: Hubble (NASA/ESA/STScI/Hubble)

Dimorphos  
*HST* WFC3/UVIS

F350LP





**Kuva: SOAR (CTIO/NOIRLab/SOAR/NSF/AURA/T. Kareta (Lowell Observatory), M. Knight (US Naval Academy))**





# Radan muutos

## Dimorphoksen rata muuttui törmäyksen takia melkoisen paljon

- Dimorphoksen kiertoaika 11,9 tuntia ennen törmäystä.
- Dimorphoksen kiertoaika muuttui 33 minuuttia. Alunperin oletus oli 7 minuuttia.
- Törmäyksen vuoksi sinkoutuneen materiaalin vaikutus lisäsi muutosta.
- Cheng, A.F., Agrusa, H.F., Barbee, B.W. *et al.* Momentum transfer from the DART mission kinetic impact on asteroid Dimorphos. *Nature* **616**, 457–460 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05878-z>
- Thomas, C.A., Naidu, S.P., Scheirich, P. *et al.* Orbital period change of Dimorphos due to the DART kinetic impact. *Nature* **616**, 448–451 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05805-2>



# **Mahdollinen tulevaisuuden meteoriparvi**



**OPEN ACCESS**



CrossMark

# Delivery of DART Impact Ejecta to Mars and Earth: Opportunity for Meteor Observations

Eloy Peña-Asensio<sup>1,2,3</sup> , Michael Küppers<sup>4</sup> , Josep M. Trigo-Rodríguez<sup>3,5</sup> , and Albert Rimola<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Department of Aerospace Science and Technology, Politecnico di Milano, Via La Masa 34, Milano, 20156, Lombardia, Italy; [eloy.pena@polimi.it](mailto:eloy.pena@polimi.it)

<sup>2</sup> Departament de Química, Universitat Autònoma de Barcelona 08193 Bellaterra, Catalonia, Spain

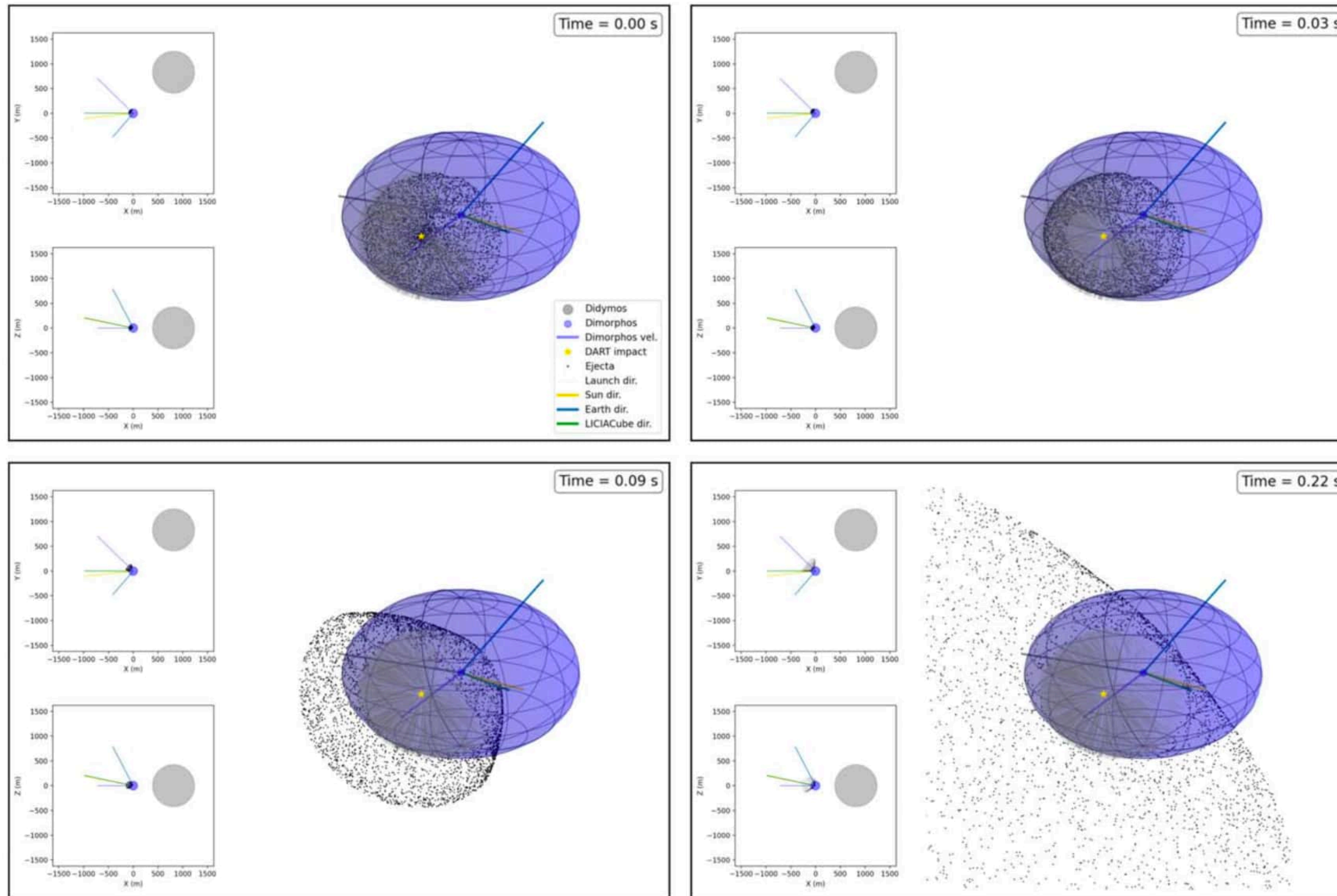
<sup>3</sup> Institut de Ciències de l'Espai (ICE, CSIC) Campus UAB, C/ de Can Magrans s/n, 08193 Cerdanyola del Vallès, Catalonia, Spain

<sup>4</sup> European Space Agency, European Space Astronomy Centre, Camino bajo del Castillo S/N Urbanización Villafranca del Castillo, 28692 Villanueva de la Cañada, Madrid, Spain

<sup>5</sup> Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC) 08034 Barcelona, Catalonia, Spain

*Received 2023 September 5; revised 2024 July 21; accepted 2024 August 1; published 2024 September 24*





**Figure 1.** Early snapshots of the ejecta evolution centered on Dimorphos. The four panels show the progression of the ejecta at different time intervals. Vectors are included to illustrate the geometry of the initial conditions, as well as X–Y and X–Z projected views.

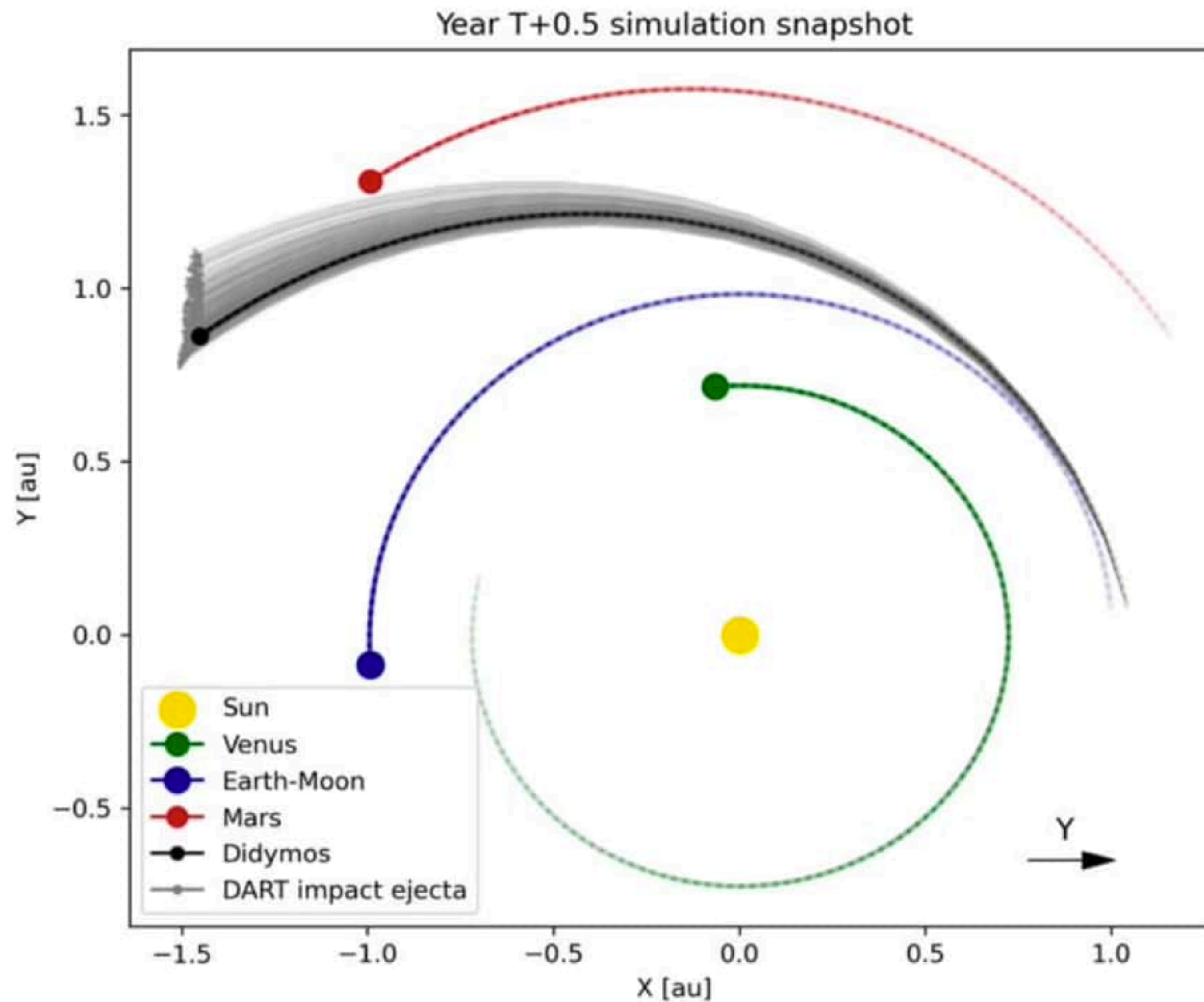


**Table 2**  
Ejecta Fate Statistics for 100 yr Simulation

Simulation	10 cm (%)	0.5 cm (%)	30 $\mu\text{m}$ (%)	$v_{ej,min}$ ( $\text{m s}^{-1}$ )	Time $v_{ej,min}$ (yr)	$v_{e,s}$ ( $\text{m s}^{-1}$ )	Time $v_{e,s}$ (yr)	ipm
To Mars Hill Sphere								
Upper	0.181	0.182	0.151	455.382	12.747	782.478	7.117	1.691
Nominal	0.194	0.199	0.178	449.201	27.779	772.765	7.117	1.222
Lower	0.271	0.276	0.196	438.610	14.624	781.505	7.116	1.481
Fast-rnd	0.370	0.358	0.357	1000.133	61.609	1217.262	5.244	2.119
To Earth–Moon Hill Sphere								
Upper	0	0	0	0	0	0	0	0
Nominal	0	0	0	0	0	0	0	0
Lower	0	0	0	0	0	0	0	0
Fast-rnd	0.248	0.252	0.231	1518.371	32.103	1807.255	7.103	1.015

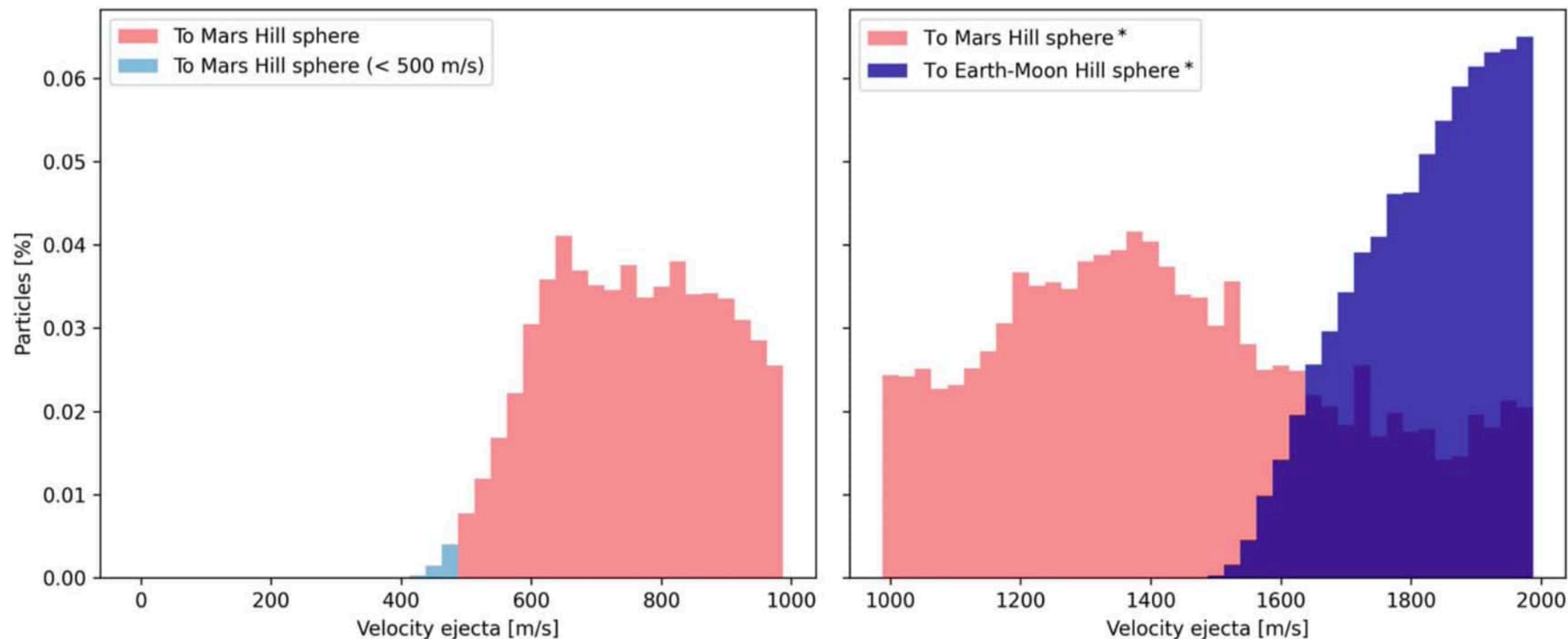
**Note.** The table presents the percentage of ejecta particles (10 cm, 0.5 cm, and 30  $\mu\text{m}$ ) reaching the Hill spheres of Mars and the Earth–Moon system, along with their minimum ejection velocities ( $v_{ej,min}$ ), the delivery times corresponding to these velocities, the earliest delivery and slowest ejection velocities ( $v_{e,s}$ ), and the delivery times for the earliest delivery and slowest ejection velocities. The main simulation is grouped by the different cone configurations (upper, nominal, lower). General values are given for the secondary simulation (fast-rnd). ipm: Mars/Earth direct impacts per million of simulated particles.





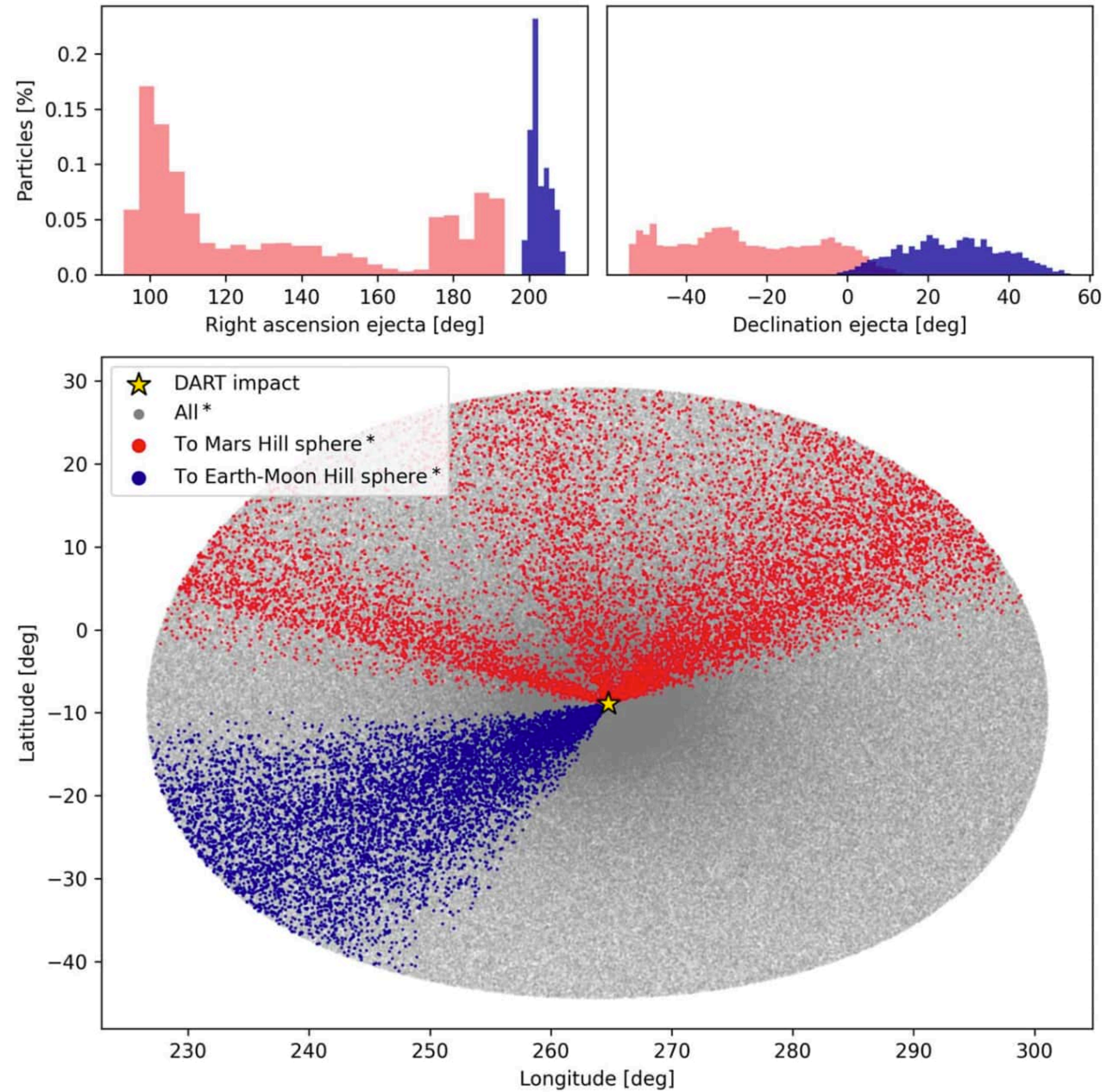
**Figure 2.** Illustrative snapshots of the main simulation at 0.5 yr postimpact.





**Figure 3.** Distribution of ejecta velocities and their delivery outcomes. The left panel shows the percentage of particles reaching the Mars Hill sphere, with a focus on particle ejecta velocities at velocities below  $500 \text{ m s}^{-1}$ . The right panel displays the ejecta velocity distribution of delivered particles for the fast-rnd denoted by an asterisk.





**Figure 6.** Ejecta direction in the J2000 reference frame centered on Dimorphos that produces delivery to the Mars and Earth-Moon Hill spheres for the fast-rnd simulation, with top left showing the R.A. and top right the decl. The bottom panel displays the ejecta launch locations of delivered particles in the Dimorphos body-fixed frame for the fast-rnd simulation. The asterisk denotes the fast-rnd simulation for clarity.



# Meteoroideja Marsiin ja Maahan

- Marsiin 13 vuodessa lähtönopeudella 450 m/s.
- Marsiin 7 vuodessa lähtönopeudella 770 m/s.
- Maahan 7 vuodessa lähtönopeudella 1500 m/s.
- Senttimetrien kokoluokan meteroidit mahdollisia Maahankin.
- Suurimmat partikkelit ainoastaan tennispallon suuruisia. Ei vaaraa.
- Ensimmäinen ihmisen tekemä meteriparvi.



# Meteoroidien lähtösuunnat Marsiin ja Maahan

- Pohjoispuolelta lähtevät partikkelit todennäköisemmin Marsiin.
- Lounaispuolelta lähtevät partikkelit todennäköisemmin Maahan.

# Mahdollisen meteoriparven ominaisuuksia

- Väri voi olla erilainen, johtuen partikkelien koostumuksesta.
- Huomattavan hitaasti liikkuvia meteroideja.
- Pääasiassa nähtävissä lähinnä eteläiseltä pallonpuoliskolta.
- Todennäköisesti toukokuisin nähtävissä.
- Seitsemän vuotta törmäyksestä on kulunut syyskuussa 2029.



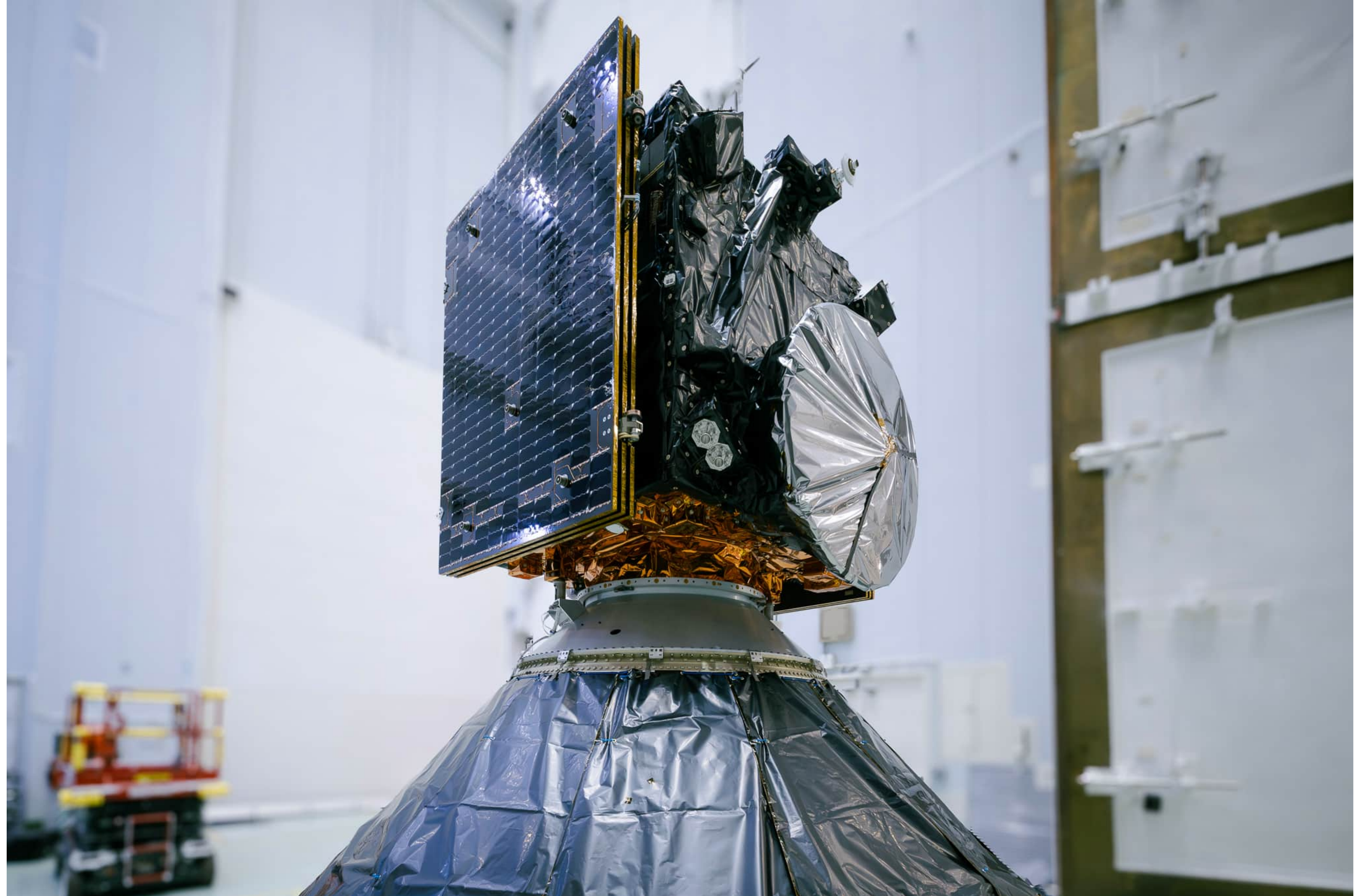
# ESA - HERA

## Tarkempaa tutkimista siitä, että mitä tapahtui törmäyksessä

- Tutkitaan yhä tarkemmin, mitä DART-asteroiditörmäyksessä tapahtui.
- Laukaisu tapahtui lokakuussa 2024.
- Saapuminen odotettavissa joulukuussa 2026.



# Kuva: ESA- HERA (SpaceX)

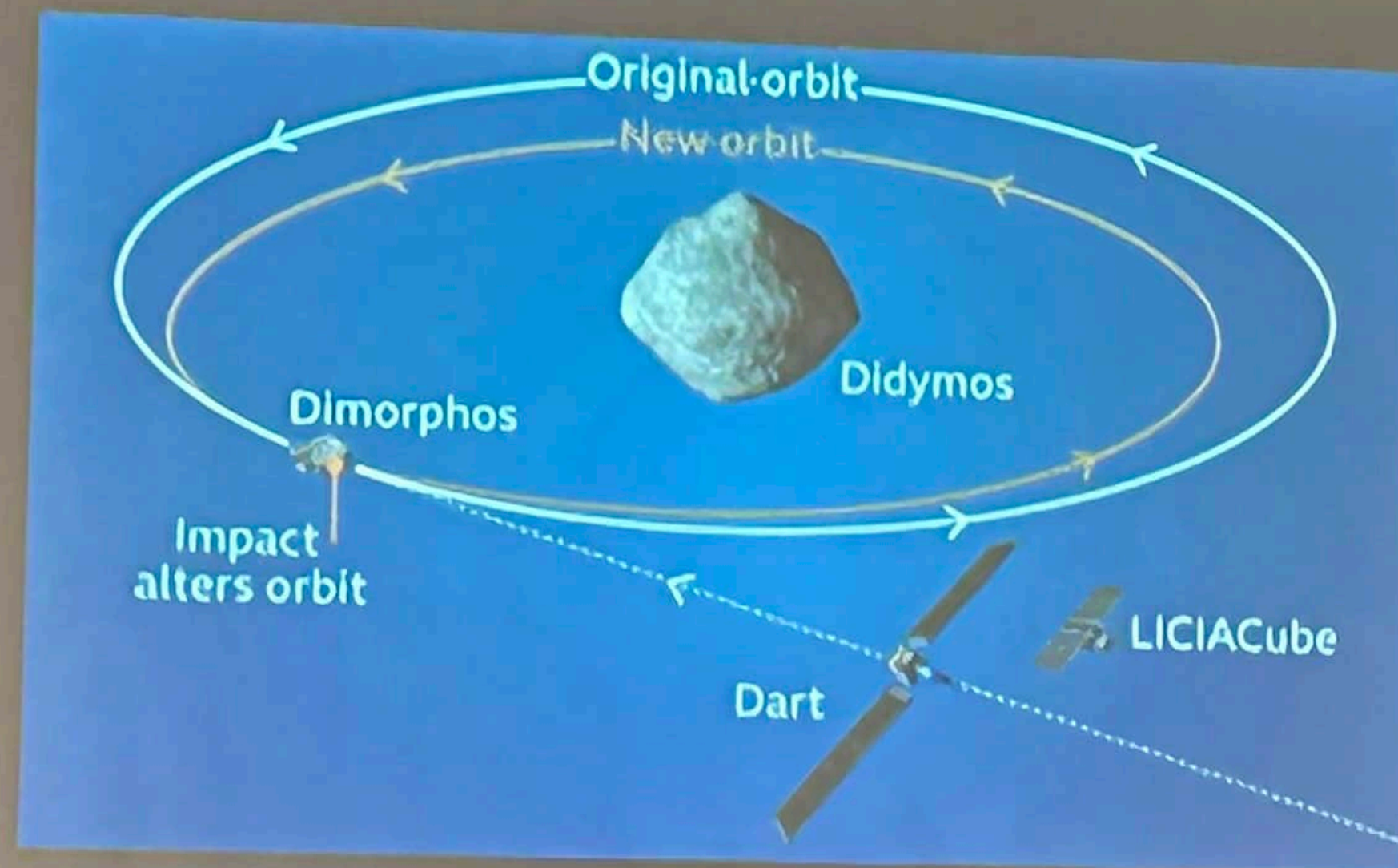




# Kuva: Tomas Kohout pitämässä esitystä Winter Satellite Workshop

## Hera mission to the binary asteroid Didymos

2022 DART impact on Dimorphos



Hera is an planetary defense mission (S2P)

### Objectives

- Characterize asteroid response to kinetic impact
- Measure extent of DART impact
- Quantify role of ejecta on kinetic energy transfer efficiency

### Status

- In flight
- March 2025 – Mars and Deimos fly-by
- December 2026 – Arrival to Didymos / Dimorphos

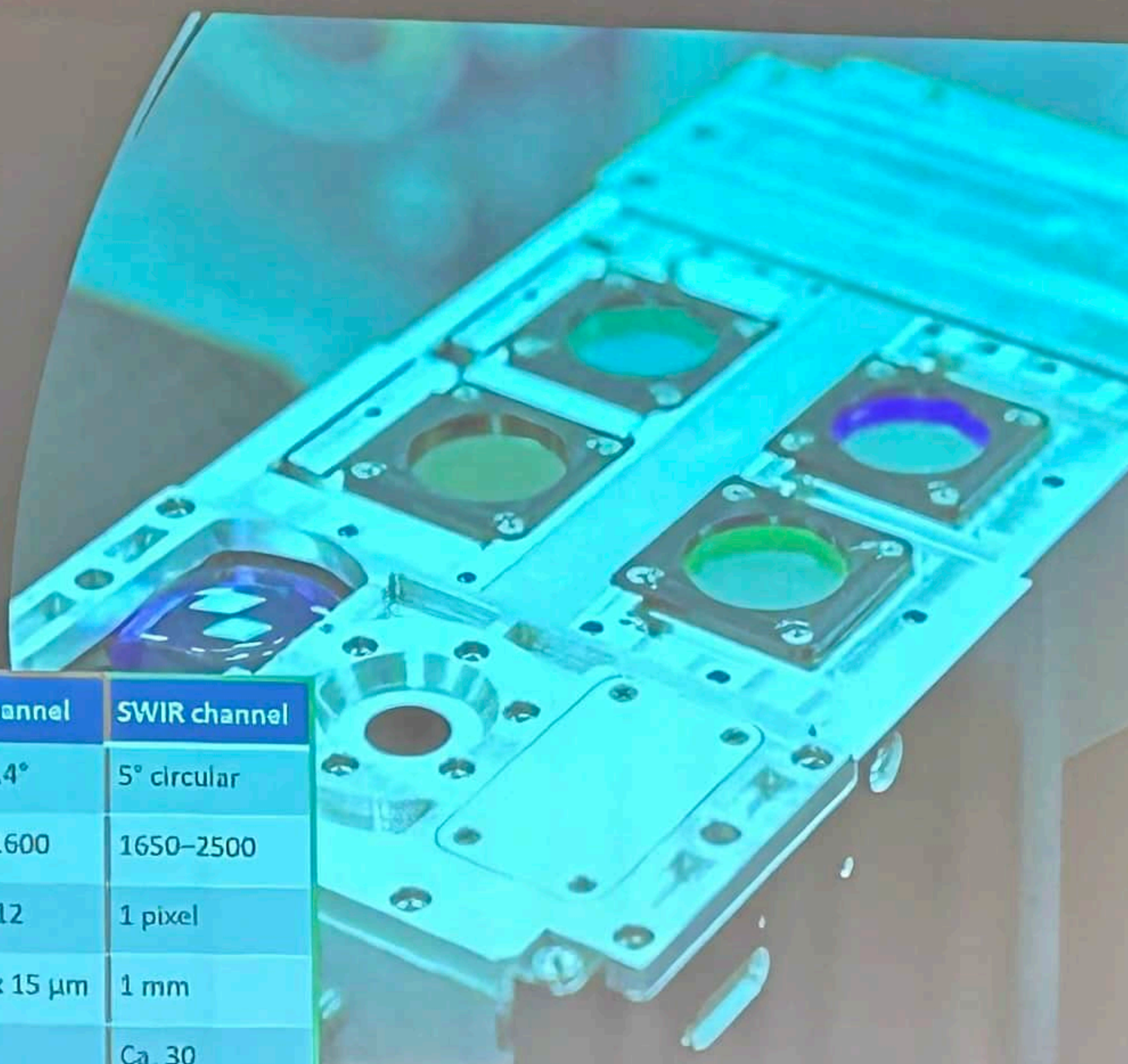




# Kuva: Tomas Kohout pitämässä esitystä Winter Satellite Workshop

## ASPECT hyperspectral camera

ASPECT hyperspectral imager developed by FI-CZ  
Spectral range 650 – 2500 nm - 4 channels  
Based on tunable Fabry-Pérot Interferometer FPI



Parameter	VIS channel	NIR1 channel	NIR2 channel	SWIR channel
Field of View [deg]	10° x 10°	6.7° x 5.4°	6.7° x 5.4°	5° circular
Spectral range [nm]	650–900	850–1275	1225–1600	1650–2500
Image size [pixels]	1024 x 1024	640 x 512	640 x 512	1 pixel
Pixel size [μm]	5.5 μm x 5.5 μm	15 μm x 15 μm	15 μm x 15 μm	1 mm
No. spectral bands	Ca. 14	Ca. 14	Ca. 14	Ca. 30
IM [nm]	< 20 nm	< 40 nm	< 40 nm	< 40 nm



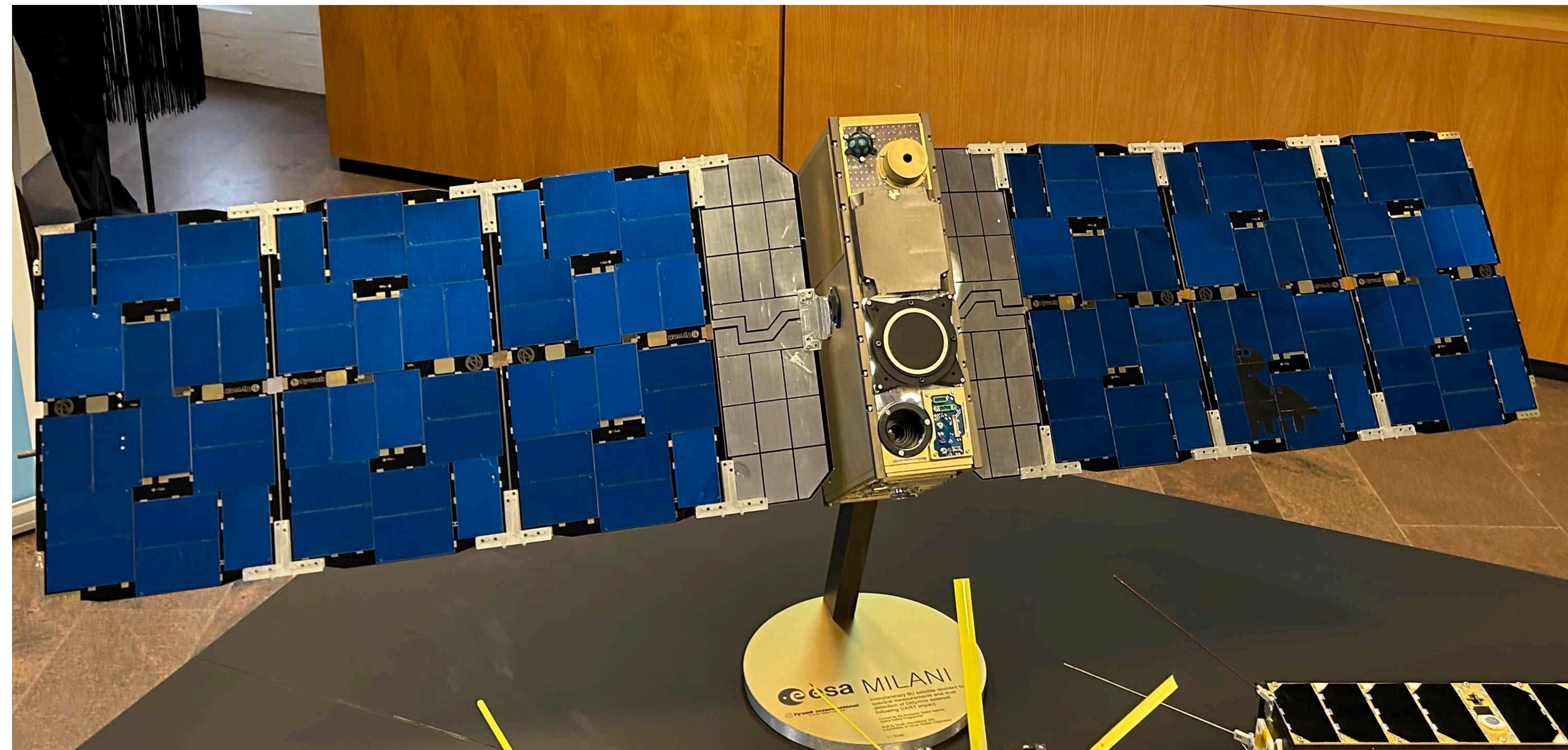


# Kuva: ESA- MILANI (allekirjoittanut kuvassa mittakaavana)



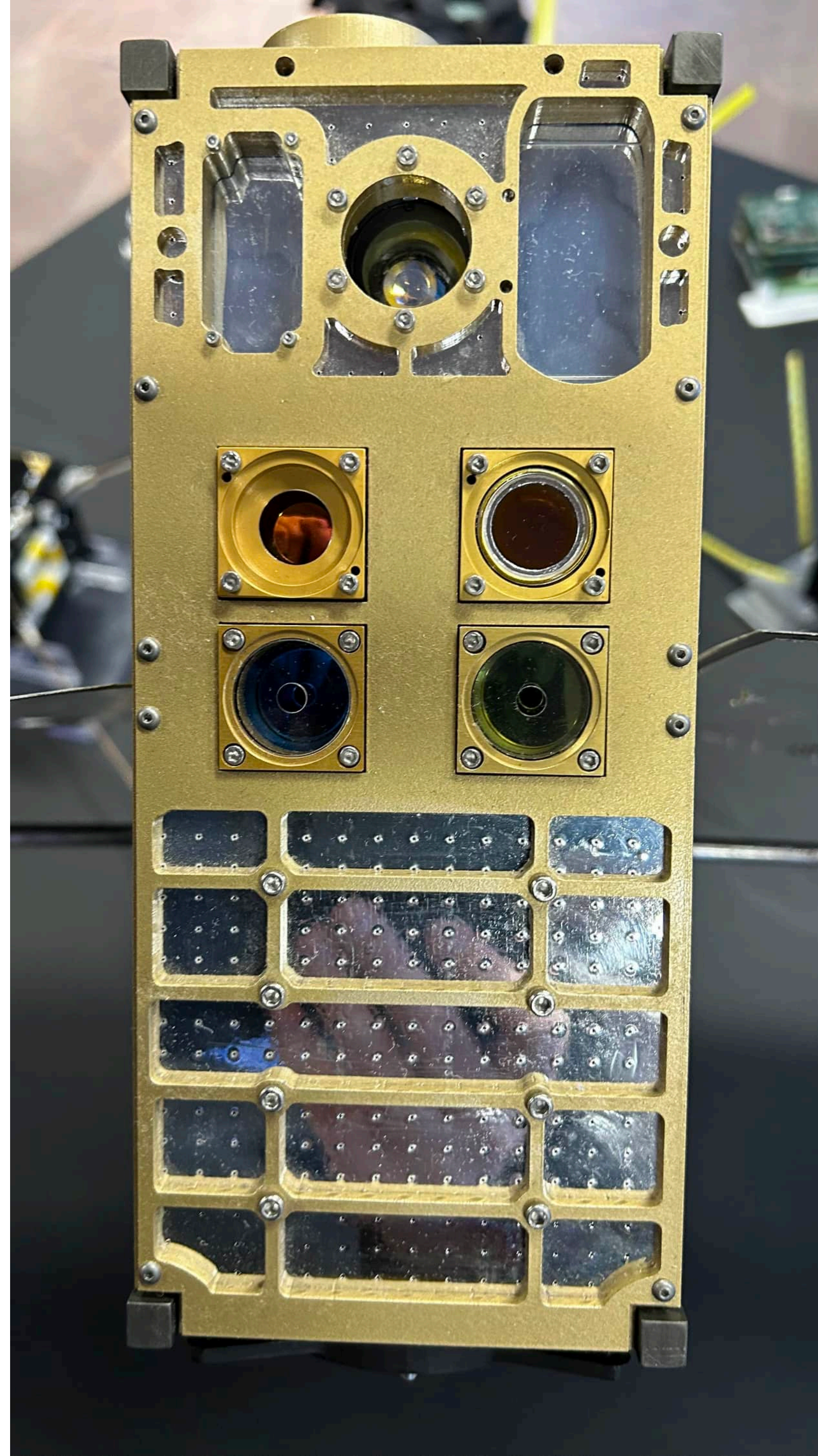


# Kuva: ESA- MILANI (Markku Nissinen)



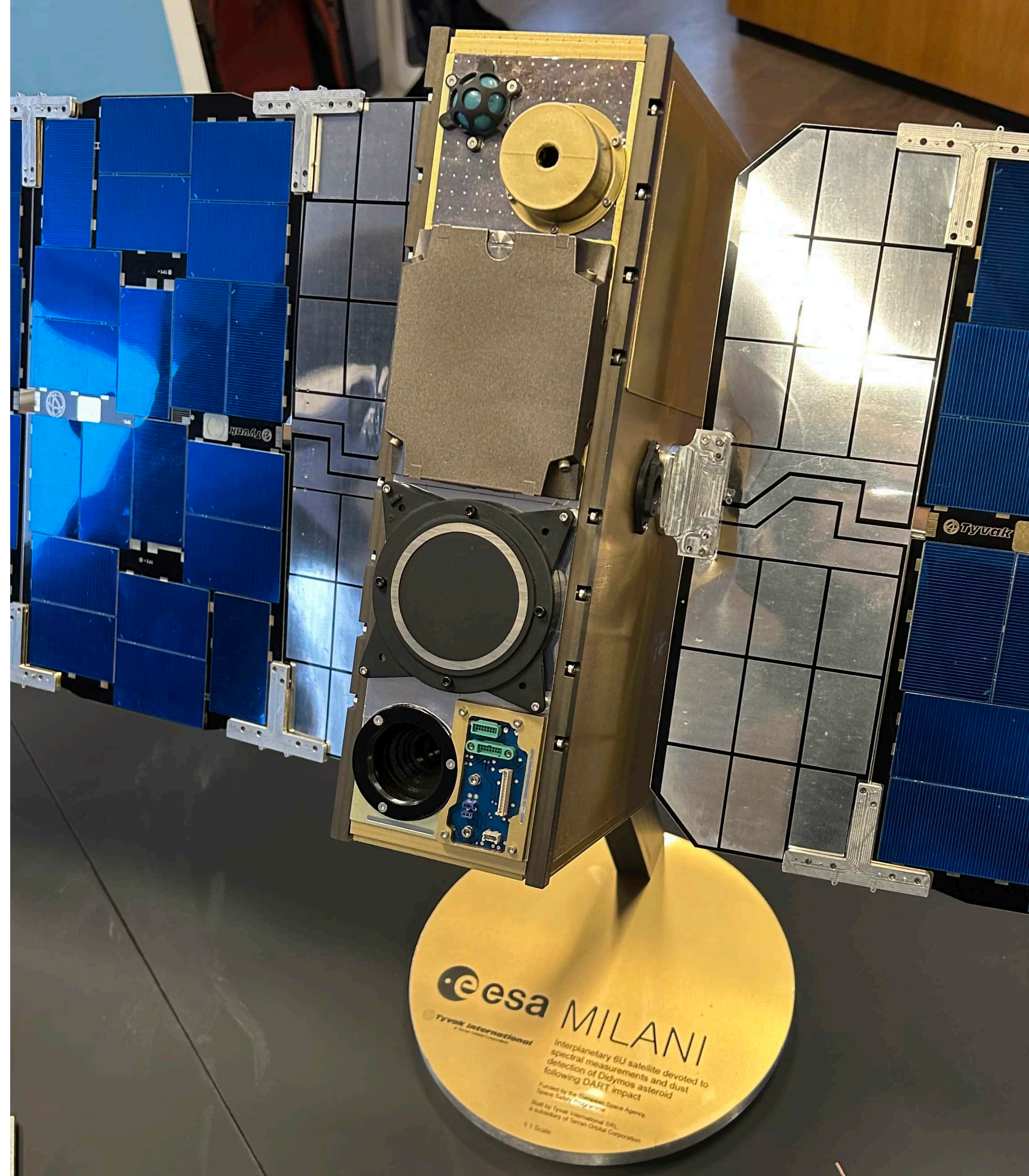


**Kuva: ESA- MILANI ASPECT  
(Markku Nissinen)**





# Kuva: ESA- MILANI (Markku Nissinen)





# Referenssit

- Delivery of DART Impact Ejecta to Mars and Earth: Opportunity for Meteor Observations, Eloy Peña-Asensio et al. (The Planetary Science Journal, 5:206 (13pp), 2024 September)
- Thomas, C.A., Naidu, S.P., Scheirich, P. *et al.* Orbital period change of Dimorphos due to the DART kinetic impact. *Nature* **616**, 448–451 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05805-2>
- Cheng, A.F., Agrusa, H.F., Barbee, B.W. *et al.* Momentum transfer from the DART mission kinetic impact on asteroid Dimorphos. *Nature* **616**, 457–460 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05878-z>
- Hera and Comet Interceptor - missions with Finnish hyperspectral payload. Tomas Kohout, ASPECT payload team, MIRMIS payload team, Winter Satellite Workshop 2025, Aalto University, Dipoli. (23.1.2025)