

Rozhledy matematicko-fyzikální

Věra Krajčová; Jan Veselý

Proč umělé družice nepadají na Zemi. Anebo padají?

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 99 (2024), No. 4, 65–68

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/152712>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2024

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



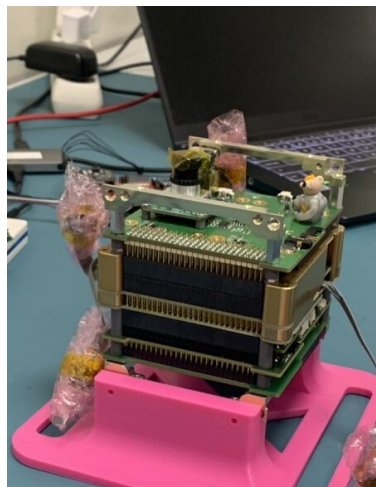
This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ*:
The Czech Digital Mathematics Library <http://dml.cz>

Proč umělé družice nepadají na Zemi. Anebo padají?

Věra Krajčová, Jan Veselý

FJFI ČVUT v Praze – Planetárium Praha

Možná jste nedávno zaznamenali v médiích článek o tom, že družice pražského planetária Planetum 1 shořela v atmosféře. A to i se skleněným Hurvínkem, který jí „pilotoval“. Družice typu cubesat byla vypuštěna na oběžnou dráhu 25. května 2022 raketou Falcon 9 z Floridy a obíhala Zemi, a to z počátku ve výšce přes 520 km rychlostí přes 27 000 kilometrů za hodinu. Původně se předpokládalo, že bude družice „žít“ až deset let, ale díky zvýšené sluneční aktivitě v posledních letech, došlo k rychlejšímu zpomalování družice, a tím i k urychlení jejího zániku v atmosféře.

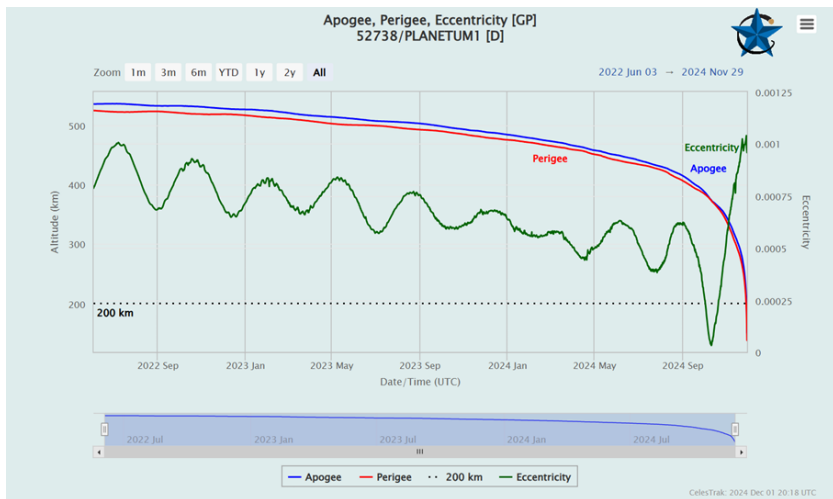


Obr. 1: Družice Planetum 1. Zdroj: <https://www.planetum.cz/druzice-planetum1/fotogalerie/>

Totíž když je sluneční aktivita vysoká, zvyšuje se intenzita solárního větru, což vede k expanzi zemské atmosféry, především její ionosféry. Tato expanze způsobuje větší tření mezi atmosférou a družicemi, které

obíhají na nízkých orbitách. Větší odpor atmosféry zpomaluje družice a způsobuje, že jejich oběžná rychlost klesá.

Dva roky po startu v květnu 2024 Planetum 1 klesla na výšku 450 km. Do konce října klesla o dalších 100 km a v pátek 29. listopadu okolo 13 hod. shořela v atmosféře někde nad Malajsií. Resp. klesla pod 150 km, což se pokládá za definitivní konec družice. Protože družice už nějakou dobu nevysílala radiový signál, není možné určit její konec přesně.



Obr. 2: Vývoj parametrů orbity družice Planetum 1. Modře je vyznačena výška apogea, červeně výška perigea a zeleně excentricita (obrázek ze dne 1. 12. 2024). Zdroj: <https://celestrak.org/NORAD/elements/graph-altitude.php?CATNR=52738>

Mezinárodní vesmírná stanice ISS (*International Space Station*) je také družicí Země. Obíhá ve výšce přibližně 400 km. K tomu, aby se nezřítla na povrch Země, se musí pohybovat dostatečně velkou tečnou rychlostí.

Na stanici působí gravitační síla. Kdybychom jí neudělili žádnou tečnou rychlost, ISS by prostě volným pádem spadla na Zem. Stanice se pohybuje po mírně eliptické trajektorii, kterou pro jednoduchost budeme považovat za kruhovou. Gravitace představuje dostředivou sílu

$$F_g = F_d$$

tedy

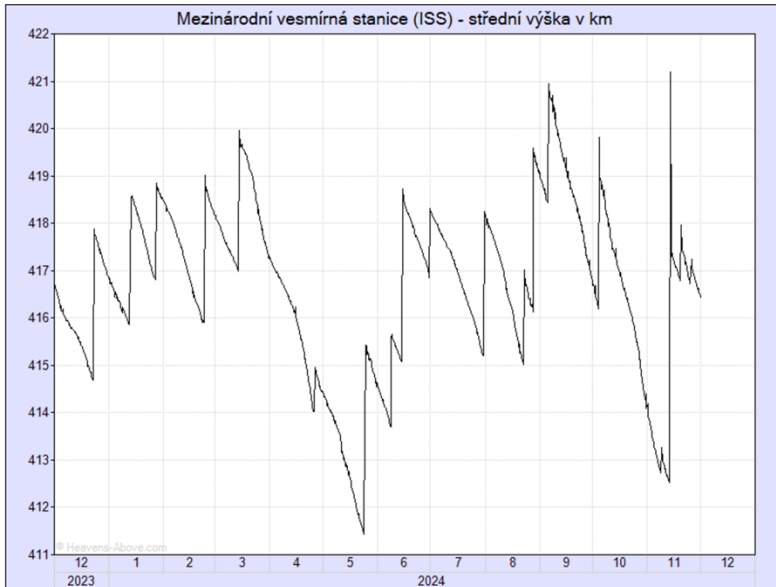
$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r},$$

kde $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ je gravitační konstanta, $M = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ je hmotnost Země, r je vzdálenost ISS od středu Země (uvažujeme střední poloměr Země 6371 km plus 400 km nad Zemí, což je 6771 km) a m je hmotnost ISS (kterou ale k výpočtu znát nemusíme, protože se na obou stranách rovnice vykrátí). Z tohoto vztahu si vyjádříme rychlost

$$v = \sqrt{G \frac{M}{r}}$$

a dosadíme

$$v = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{5,972 \cdot 10^{24}}{6771 \cdot 10^3}} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \doteq 7670 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$



Obr. 3: Orbitální výška vesmírné stanice ISS (obrázek ze dne 1. 12. 2024).

Zdroj: <https://heavens-above.com/IssHeight.aspx?lat=0&lng=0&loc=Unspecified&alt=0&tz=UCT>

Kdyby se stanice pohybovala těsně při povrchu Země, měla by její kruhová rychlost velikost 7,9 km/s. Tuto hodnotu nazýváme 1. kosmickou rychlostí. ISS tedy obíhá po své orbitě 400 km nad Zemí rychlostí 7,7 km/s. Kdyby nebyl vzduch, trajektorie ISS by se sama od sebe neměnila. Protože v této výšce přece jen nějaké částice vzduchu jsou, ISS se o ně brzdí a každý den klesá o cca 100 m. Proto je třeba, aby si stanice svoji rychlost a tím i výšku nad Zemí v průměru dvakrát do měsíce raketovými manévry zkorigovala. Kdy k tomuto „pšouknutí“ asi dojde, můžeme odvodit z grafu, který znázorňuje orbitální výšku ISS v průběhu roku.

Dané kruhové rychlosti odpovídá i doba oběhu družice okolo Země. Pro rovnoměrný pohyb pro kružnici platí

$$v = \frac{2\pi r}{T},$$

kde T je právě oběžná doba, respektive perioda. Odtud

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

a po dosazení

$$T = \frac{2\pi \cdot 6\,771 \cdot 10^3}{7\,670} \text{ s} \doteq 5\,545 \text{ s.}$$

ISS tedy vykoná jeden oběh okolo Země za 92 minut. Astronauti žijící na stanici zažijí každý den 16 východů a západů slunce, protože ale tráví většinu času v prostoru bez oken, většinu z nich nevidí!

Jak je to s Hurvínkem a ISS už víme, ale co Měsíc? Pokud vás to zajímá, podívejte se například na rozhovor Jana Šlégra z Přírodovědecké fakulty Univerzity Hradec Králové pro Český rozhlas <https://hradec.rozhlas.cz/otaceni-zeme-se-zpomaluje-protoze-mesic-se-od-nas-vzdaluje-rychlosti-jakou-8154065>.

Literatura

- [1] https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/International_Space_Station/Where_is_the_International_Space_Station
- [2] https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/International_Space_Station/Where_is_the_International_Space_Station