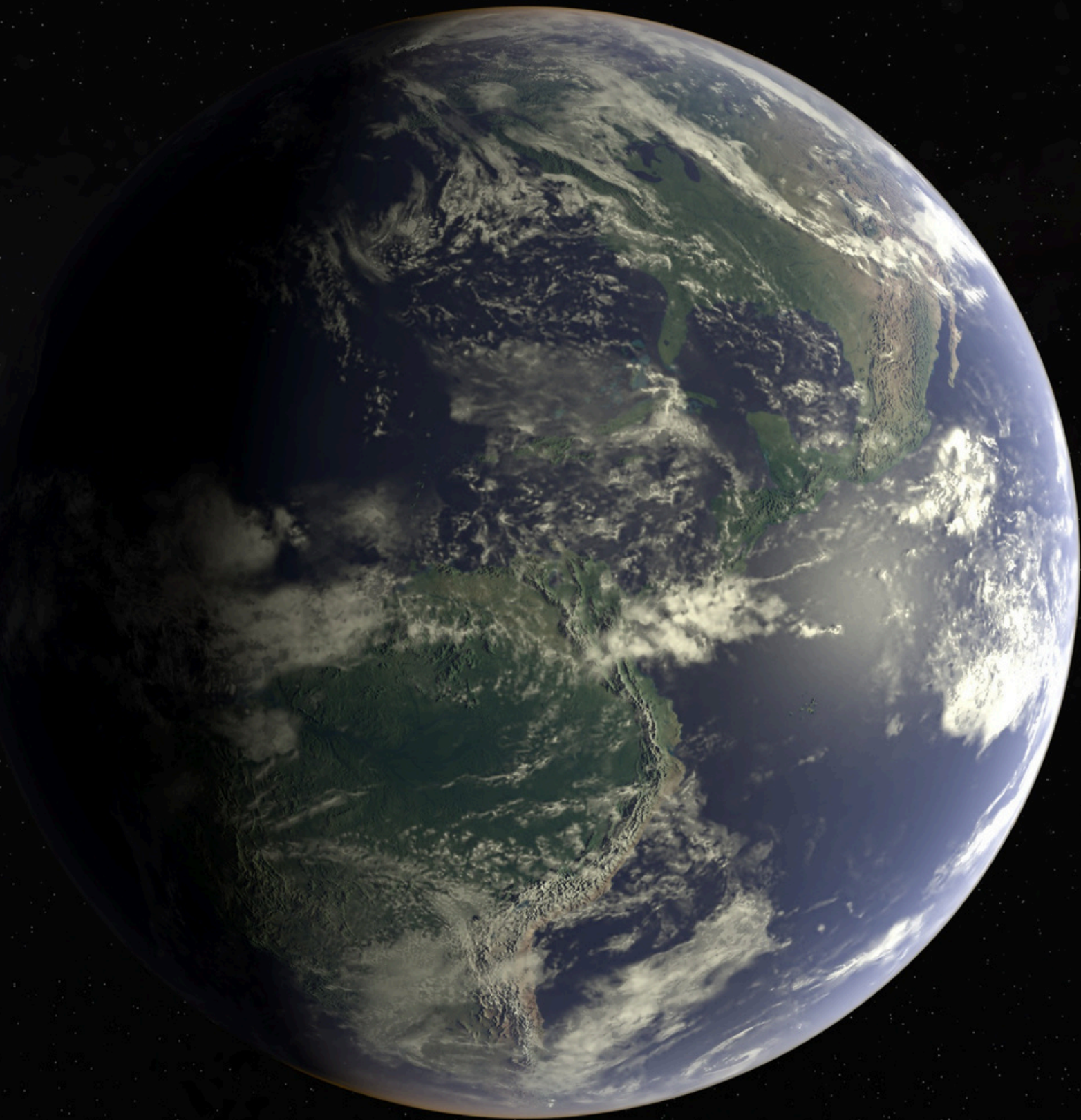


КОСМІЧНИЙ КВИТОК: ЯК АСТРОНОМІЧНІ ЗАКОНИ ФОРМУЮТЬ ВАРТІСТЬ КОСМІЧНИХ ПОЛЬОТІВ

РОБОТУ ВИКОНАЛА:
КРИВЕЦЬКА-МАРФІАН ВІКТОРІЯ ІВАНІВНА,
СТУДЕНТКА 1 КУРСУ ГАЛИЦЬКОГО ФАХОВОГО КОЛЕДЖУ
ІМЕНІ В'ЯЧЕСЛАВА ЧОРНОВОЛА

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:
РАПІНДА НАТАЛІЯ МИХАЙЛІВНА
ВИКЛАДАЧ ФІЗИКИ ТА АСТРОНОМІЇ ГАЛИЦЬКОГО
ФАХОВОГО
КОЛЕДЖУ ІМЕНІ В'ЯЧЕСЛАВА ЧОРНОВОЛА

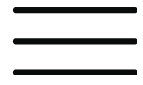


АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

- Космічний туризм розвивається
- Парадокс цін - від сотень тисяч до десятків мільйонів
- Фізичні межі

ПРОБЛЕМА

- Нелінійне зростання вартості космічних польотів при збільшенні швидкості.



Мета дослідження:

встановити взаємозв'язок між фізичними параметрами космічного польоту та його економічною вартістю

Завдання дослідження:

- проаналізувати основні рівні, для подорожі;
- визначити роль космічних швидкостей;
- провести енергетичні розрахунки та встановити їхній вплив на вартість квитків

Об'єкт дослідження:

процес здійснення комерційних космічних польотів

Предмет дослідження:

вплив астрономічних законів на формування собівартості космічних рейсів.

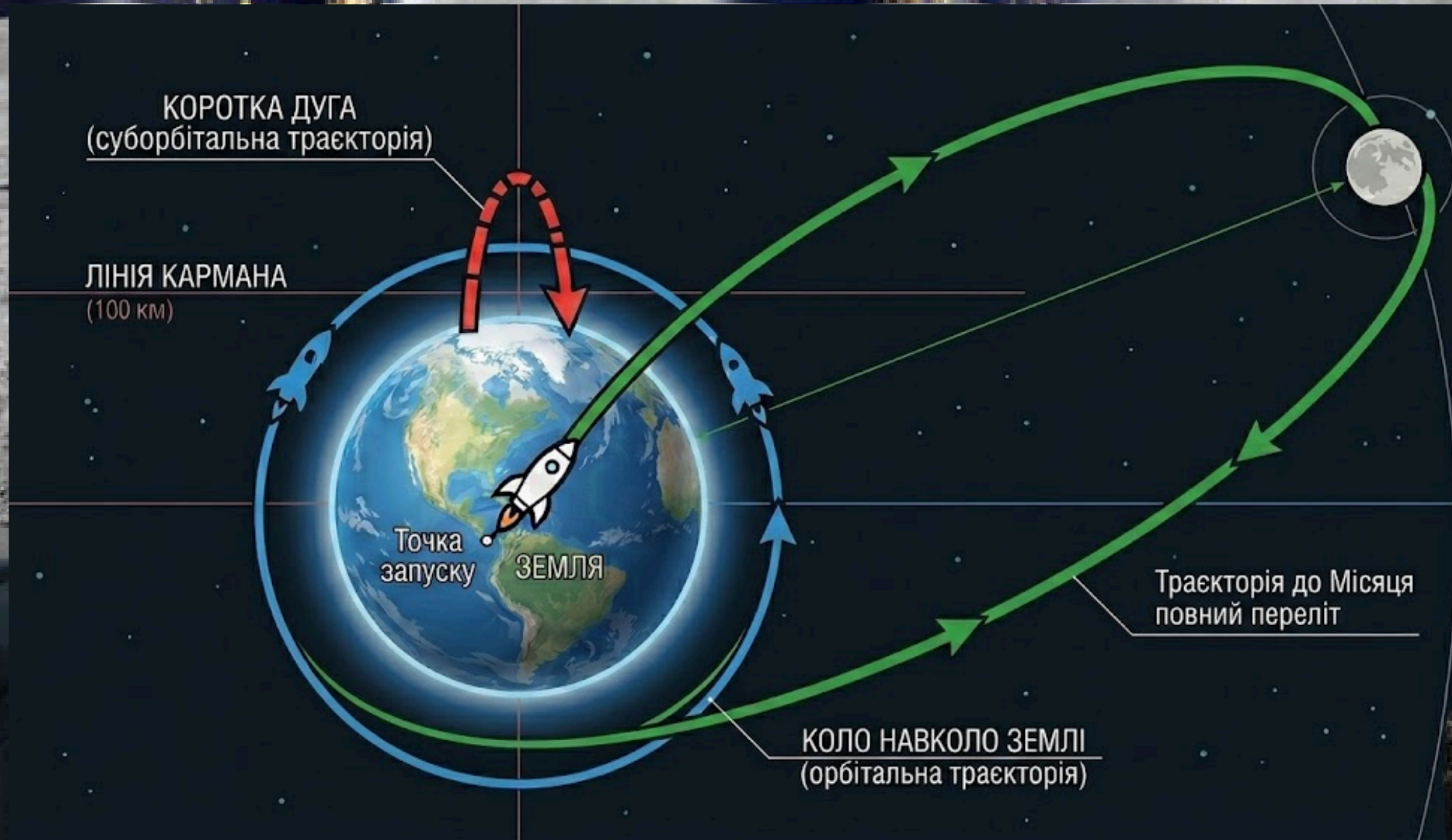




КОСМІЧНИЙ ТУРИЗМ СЬОГОДНІ

Існують різні “класи” польотів:

- Суборбітальний - дешевший
- Орбітальний - дорожчий



Суборбітальні польоти (економ-клас)

Короткий «стрибок» на висоту 80-100 км. Корабель не виходить на орбіту, а просто піднімається вгору і падає назад.

Швидкість ≈ 3 км/с

Короткий час: від 10 хв до 90 хв





Орбітальні польоти (економ-клас)

Повноцінний політ на висоту 400+ км. Такі місії тривають кілька днів, а підготовка туристів займає місяці

Швидкість $\approx 7,9$ км/с

Компанія	Тип польоту	Тривалість	Висота	Орієнтовна ціна (USD)
Virgin Galactic	Суборбітальний	90 хвилин	80-100 км	450,000-600,000
Blue Origin	Суборбітальний	11 хвилин	100 км	250,000-500,000
SpaceX	Орбітальний	Кілька днів	400+ км	55,000,000+

Таблиця: Аналіз вартості та параметрів комерційних польотів у космос

≡ КОСМІЧНІ ШВИДКОСТІ

Ключ до космосу: не висота, а швидкість.

- Перша космічна (7,9 км/с): необхідна для виходу на стабільну орбіту.
- Друга космічна (11,2 км/с): подолання земної гравітації для міжпланетних місій





КІНЕТИЧНА ЕНЕРГІЯ ВИЗНАЧАЄТЬСЯ ЗА ФОРМУЛОЮ:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

E - кінетична енергія (витрати енергії на політ)

m - маса апарата

v - швидкість

[E] = 1 Джоуль (Дж)

КВАДРАТИЧНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ЕНЕРГІЇ ВІД ШВИДКОСТІ
ОЗНАЧАЄ, ЩО НАВІТЬ НЕВЕЛИКЕ ЗБІЛЬШЕННЯ
ШВИДКОСТІ ПРИЗВОДИТЬ ДО РІЗКОГО ЗРОСТАННЯ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ, А ОТЖЕ — І ВАРТОСТІ
КОСМІЧНОГО ПОЛЬОТУ.

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГІЇ (НА 1 КГ МАСИ)

- Суборбітальний політ (3 км/с): $\approx 4,5$ млн Дж
- Орбітальний політ (7,9 км/с): ≈ 31 млн Дж

Відповідь: енергія зростає приблизно у 7 разів

ЩО ОЗНАЧАЄ ЦЯ ЕНЕРГІЯ?

- 31 млн Дж на 1 кг \rightarrow це приблизно як спалити ~ 1 літр бензину
- ракета масою 100 тонн \rightarrow це вже десятки тисяч літрів палива

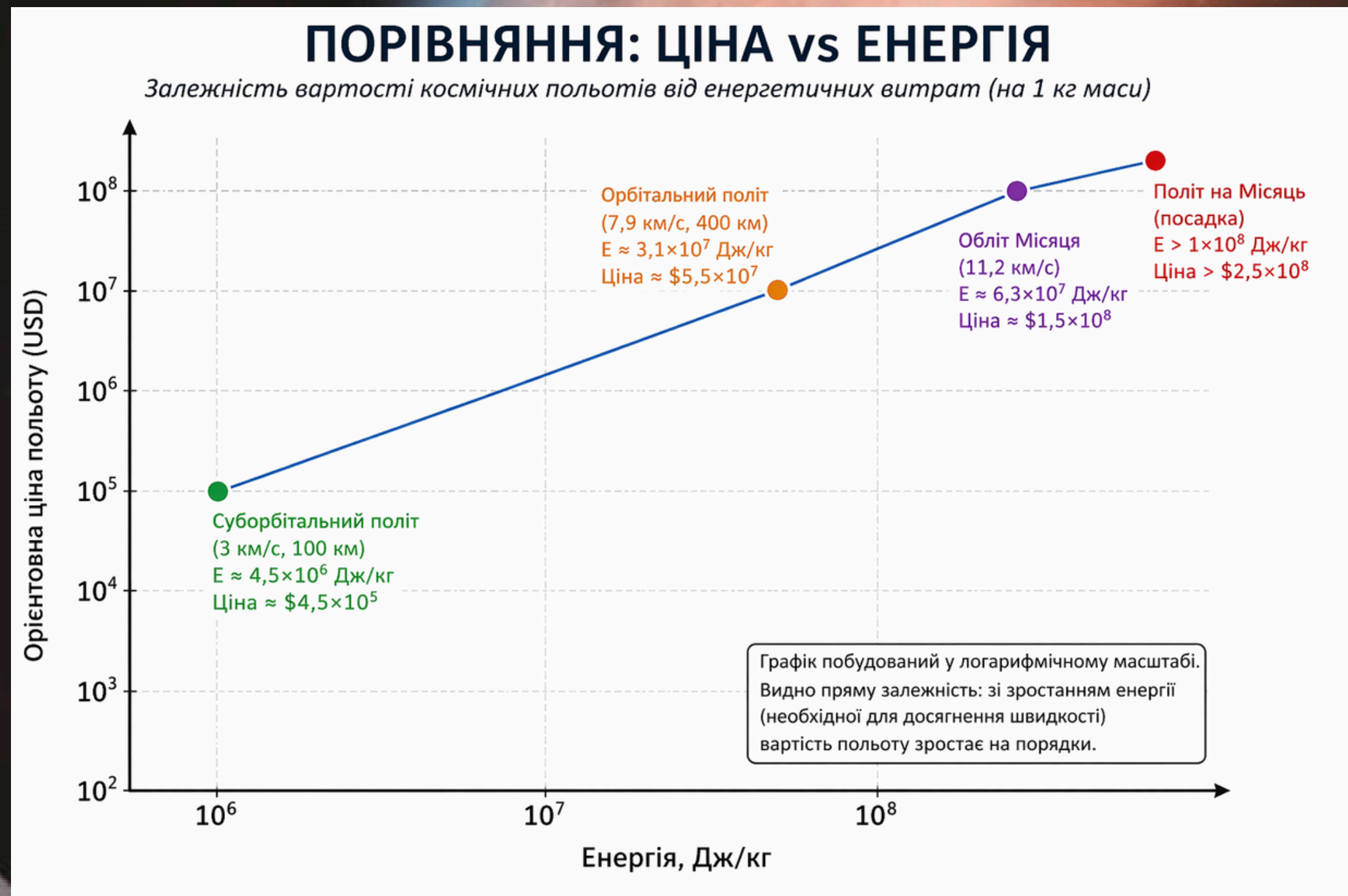
Навіть 1 кг на орбіту потребує величезної енергії — саме тому космос дорогий



ПОРІВНЯННЯ

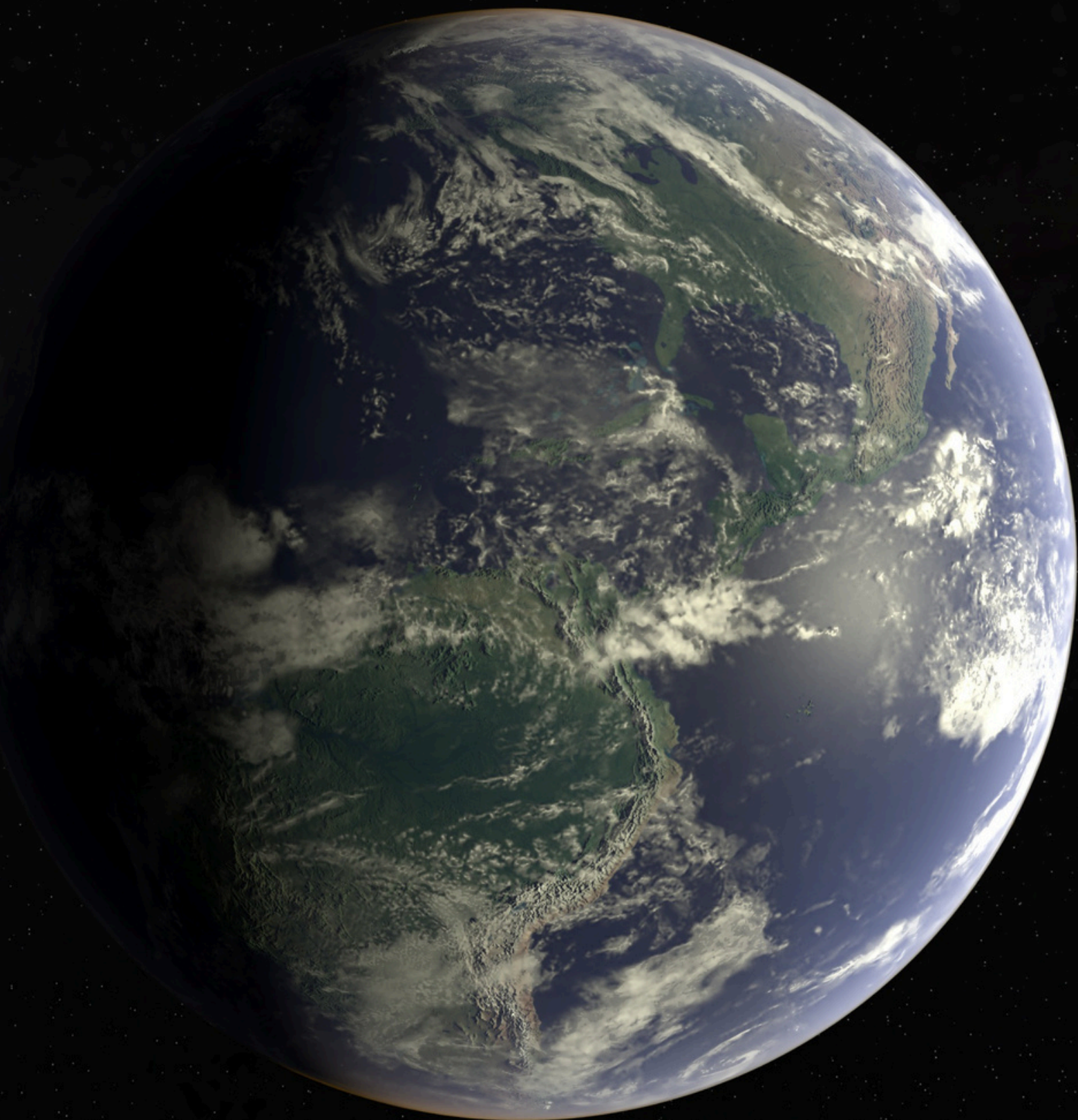


- з графіка видно квадратичну залежність
- експериментально підтверджено формулу



Пряма залежність: у 7 разів більше енергії = у 7 разів більше палива та потужніші двигуни.

Фізичний закон робить орбітальні подорожі дорожчими



Повністю знизити вартість неможливо, оскільки вона визначається фундаментальними законами гравітації та квадратичною залежністю енергії від швидкості.

НАСЛІДКИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РОЗРИВУ

- Паливний фактор: у ~ 7 разів більше енергії \rightarrow значно більше палива та потужніші двигуни
- Масштабування: більші ракети \rightarrow складніша інженерія та дорожчі матеріали
- Економіка: зростання витрат на безпеку, страхування та підготовку екіпажу

ТА ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ВАРТОСТІ

- багаторазові ракетні системи
- ефективніші двигуни
- легкі композитні матеріали



ВЛАСНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

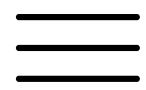
- розраховано кінетичну енергію для суборбітальної (3 км/с) та орбітальної (7,9 км/с) швидкостей;
- встановлено, що збільшення швидкості у $\sim 2,6$ разів призводить до зростання енергії приблизно у 7 разів;
- підтверджено квадратичну залежність енергії від швидкості;
- на основі розрахунків пояснено різке зростання вартості космічних польотів.



ВИСНОВКИ

- У ході дослідження встановлено, що ключовим фактором, який визначає вартість космічних польотів, є необхідність досягнення високих швидкостей, а не лише висоти польоту.
- На основі проведених розрахунків доведено, що збільшення швидкості руху приблизно у 2,6 раза (від суборбітальної до орбітальної) призводить до зростання енергетичних витрат приблизно у 7 разів, що підтверджує квадратичну залежність енергії від швидкості.
- Встановлено, що саме ця фізична закономірність спричиняє різке зростання витрат палива, ускладнення конструкції ракет і, як наслідок, значне підвищення вартості космічних польотів.
- Таким чином, економіка космічного туризму є безпосереднім наслідком дії фундаментальних законів механіки, що обмежують можливості суттєвого здешевлення космічних технологій.

**ОТЖЕ, КОСМОС ДОРОГИЙ НЕ ТОМУ, ЩО ЦЕ ТЕХНОЛОГІЧНО
СКЛАДНО, А ТОМУ, ЩО ЦЕ ФІЗИЧНО НЕМИНУЧЕ.**



СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сиротюк В.Д. Астрономія : (рівень стандарту, за навч. програмою авт. кол. під керівництвом Яцківа Я. С.) : підруч. для 11-го кл. закл. заг. серед. освіти / Володимир Сиротюк, Юрій Мирошніченко. — Київ : Генеза, 2019. — 160 с.
2. Скільки коштує полетіти в космос: детальний гід на 2025 рік URL: <https://engage.org.ua/skilky-koshtuye-poletity-v-kosmos-detalnyj-gid-na-2025-rik/>
3. Ілон Маск представив першого космічного туриста. Хто він? URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-45557654>

