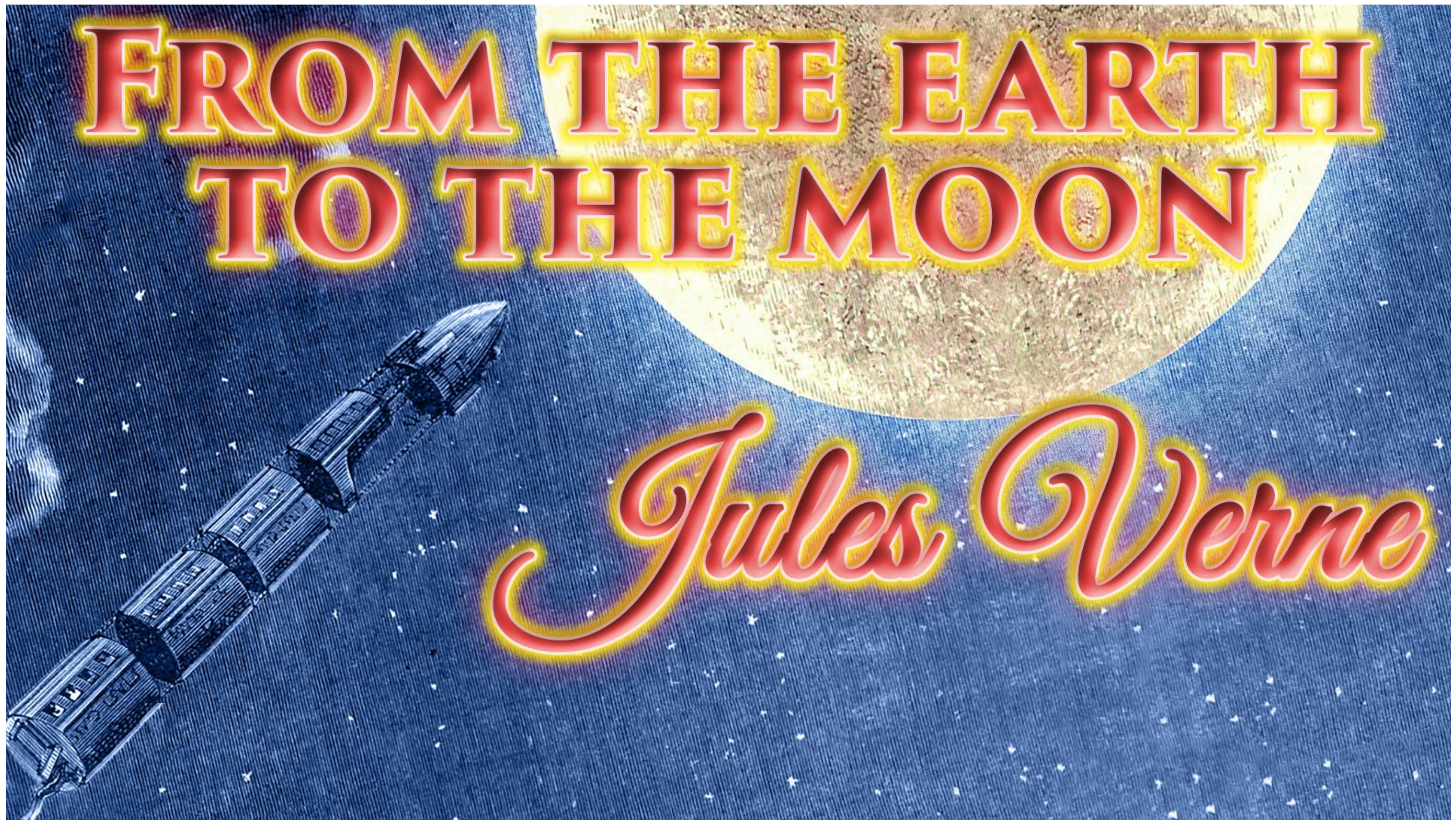
In [1]:

```
%load_ext autoreload
%autoreload 2
```

Esercizio: Dalla Terra alla Luna

Nel libro di Jule Verne "Dalle Terra alla Luna"...



- ...Il veicolo con i protagonisti viene "sparato" verso la Luna

Esercizio: Dalla Terra alla Luna

Durante il viaggio, la navicella è soggetta a forze gravitazionali

Esse sono regolate dalla legge di gravitazione di Newton:

$$F_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12} \| r_{12} \|}$$

- F_{12} è la forza esercitata dal corpo 2 sul corpo 1
- G è la costante di gravitazione
- m_1 ed m_2 sono le masse del corpo 1 e 2
- r_{12} è la distanza dal corpo 1 al corpo 2, i.e.

$$r_{12} = x_1 - x_2$$

- x_1 e x_2 sono le posizioni (scalari) di 1 e 2 (la forma vettoriale è diversa)

Esercizio: Dalla Terra alla Luna

Si desidera modellare il moto della navicella

- Assumiamo per semplicità che la Terra e la Luna siano in fisse
- Quindi la nave viaggerà lungo una traiettoria verticale
- Il moto sarà regolato dell'equazione differenziale:

$$\ddot{x} = \frac{1}{m_s}(F_{se} + F_{sm})$$

- m_s è la massa della navicella
- F_{se} è l'attrazione esercitata dalla Terra sulla navicella
- F_{sm} è l'attrazione esercitata dalla Luna sulla navicella

Esercizio: Dalla Terra alla Luna

Nel complesso, il sistema è descritto dell'ODE

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{v} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v \\ \frac{1}{m_s}(F_{se} + F_{sm}) \end{pmatrix}$$

Con:

$$\begin{aligned} F_{se} &= -G\frac{m_s m_e}{x|x|} \\ F_{sm} &= -G\frac{m_s m_m}{(x-D)|x-D|} \end{aligned}$$

Dove D è la distanza tra il centro della Terra e della Luna

Esercizio: Dalla Terra alla Luna

Prima di tutto, procediamo a caricare i dati del problema

Potete farlo usando la cella seguente:

In [2]:
```
G = 6.67408e-11 # Costante di gravitazione universale
ME = 5.972e24 # Massa della Terra
MM = 7.34767309e22 # Massa della Luna
MS = 800 # Massa del "satellite"
D = 384400e3 # Distanza Terra-Luna

rE = 6371e3 # Raggio della Terra
rM = 1737e3 # Raggio della Luna
v0a = 11000
v0b = 11100
```

Esercizio: Dalla Terra alla Luna

Nel modulo `sol.moonshot` si definisca una classe:

```
class Dstate:
    def __init__(self, G, ME, MM, MS, D):
        ...

    def __call__(self, X, t):
        ...
```

...Che rappresenti la funzione che definisce l'ODE

- Il metodo `__call__` deve calcolare le derivate
- ...E restiuirle sotto forma di `numpy.array`

Nella cella seguente:

- Si utilizzi la classe per calcolare il gradiente
- ...Per lo stato $(r_E, v_{0,a}) = (6371e3, 11000)$ ed il tempo iniziale $t_0 = 0$

Esercizio: Dalla Terra alla Luna

Nel modulo `sol.moonshot` si definisca una funzione:

```
def simulate(f, X0, t)
```

...Che si simuli il comportamento della navicella:

- La funzione deve restituire una tupla contenente (nell'ordine):
  - La matrice con gli stati visitati
  - Il vettore con i valori del tempo
- La funzione deve anche disegnare un grafico utilizzando

`base.util.plot_state_evolution`

Si utilizzi la funzione per determinare il comportamento della navicella

- Per un periodo di 3.5 giorni
- ...A partire dallo stato iniziale $(r_E, v_{0,a}) = (6371e3, 11000)$

```
In [4]: X0 = np.array([rE, v0a])
```

Esercizio: Dalla Terra alla Luna

Si utilizzi di nuovo `simulate` per simulare il comportamento della navicella

- Per un periodo di 3.03 giorni
- ...A partire dallo stato iniziale $(r_E, v_{0,b}) = (6371e3, 11100)$

In [5]:
```
X0 = np.array([rE, v0b])
t2 = np.linspace(0, 3600 * 24 * 3.03, 3600 * 24 * 4)
```

Esercizio: Dalla Terra alla Luna

Nel modulo `sol.moonshot` si definisca una funzione:

```
def goal_reached(X, D, rM)
```

- Che restituisca:
  - Il valore `True` se la quota massima raggiunta è superiore a $D - r_M$
  - Il valore `False` altrimenti

Si stampino a video il risultato per le due simulazione precedenti

```
In [ ]:
```