

# **Meccanica Celeste**

## **Presentazione del corso**

**Federico Marinacci**

**Corso di Laurea in Astronomia**

**AA 2024/2025**

**8 novembre 2024**

# Meccanica celeste

## Contatti ed informazioni generali

### Federico Marinacci

Dipartimento di Fisica e Astronomia, ufficio 2S2  
Alma Mater Studiorum – Università di Bologna  
Via Gobetti 93/2, 40129, Bologna

**Sito web:** <https://www.unibo.it/sitoweb/federico.marinacci2>

**Email:** [federico.marinacci2@unibo.it](mailto:federico.marinacci2@unibo.it)

**Info sul corso:** potete trovare informazioni più specifiche sul corso a questo [link](#)

**Metodi didattici:** lezioni frontali con l'utilizzo prevalente della lavagna e slides di supporto rese disponibili su virtuale. Ulteriori testi e articoli di approfondimento saranno indicati a lezione.

**Modalità di esame:** Esame orale: tre domande riguardanti tre distinti argomenti tra quelli presentati a lezione. Le domande riguarderanno anche la risoluzione di problemi simili a quelli discussi in classe. La prima domanda verterà su un argomento a scelta dello studente.

# Meccanica celeste

## Di cosa si tratta?

La **Meccanica Celeste** studia la dinamica di **sistemi di N corpi** che si muovono sotto la mutua **interazione gravitazionale**. Di solito il numero di corpi presi in esame è abbastanza piccolo (da  $N = 2$  fino a  $N \sim 10 - 100$ ). Sistemi con un numero di corpi maggiore sono studiati dalla cosiddetta dinamica stellare.

Storicamente si è occupata del **moto** di pianeti, satelliti naturali, comete e asteroidi nel nostro **Sistema Solare**.

### Problemi principali:

- variazione di luminosità dei pianeti (specialmente Venere e Marte)
- variabilità della velocità angolare con cui il sole e i pianeti sembrano percorrere l'eclittica
- moto retrogrado

**Pianeta:** dal greco **planētēs** **vagante, errante**

# Meccanica celeste

## “Stranezze” nel moto dei pianeti

Moto di Marte rispetto  
alle stelle “fisse”

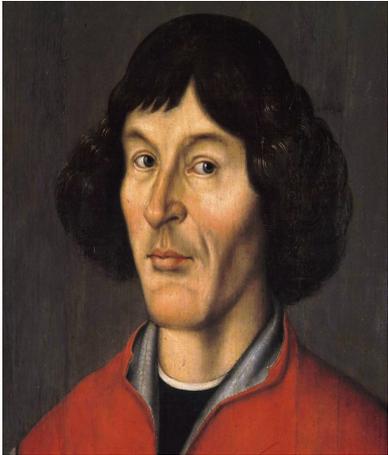
Moto  
retrogrado

Moto  
diretto

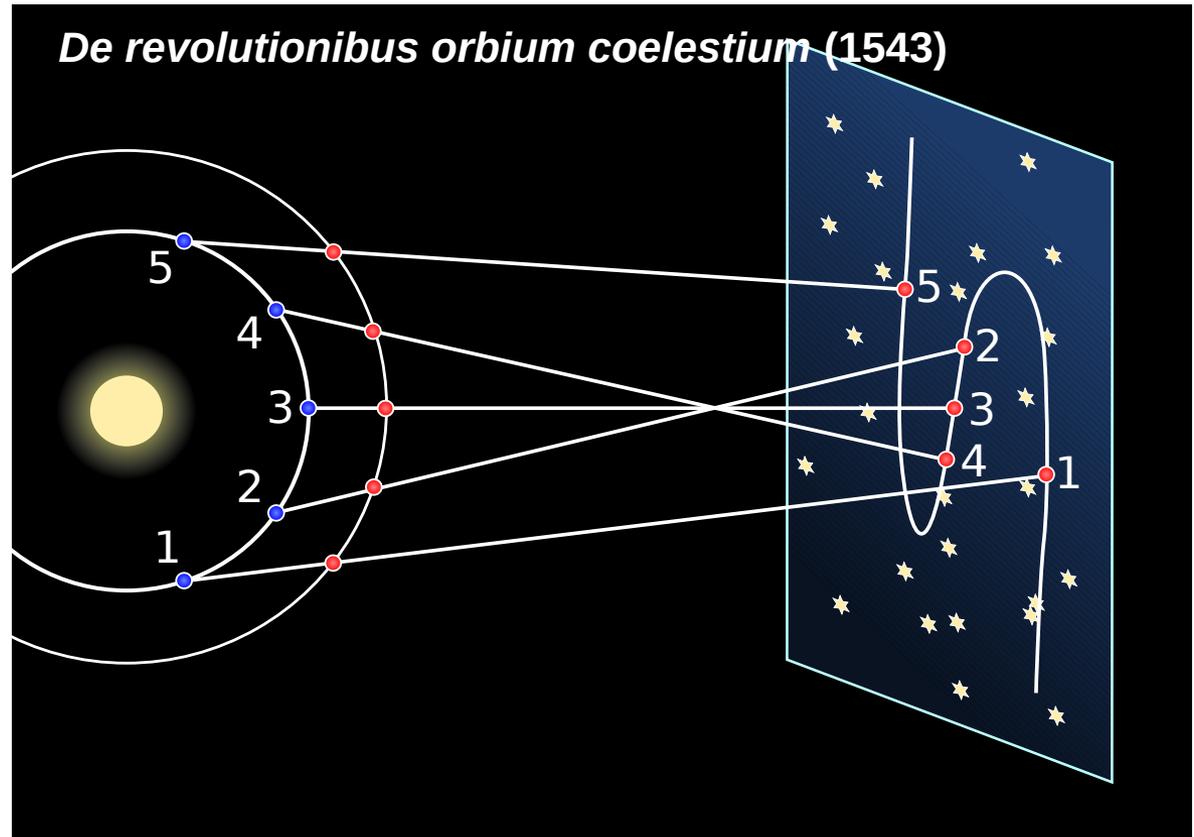
**Moto retrogrado:**  
moto da est verso ovest rispetto alle stelle “fisse”. Normalmente il moto è da ovest verso est

# Meccanica celeste

## “Stranezze” nel moto dei pianeti



Niccolò  
Copernico  
(1473-1543)



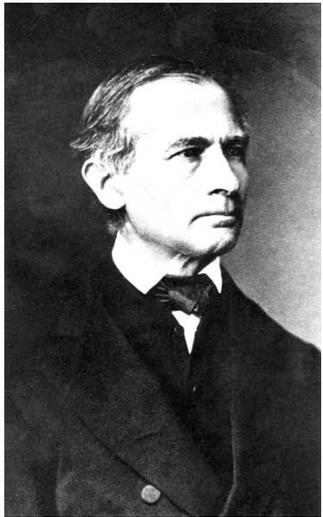
**Il moto retrogrado in realtà è apparente ed è spiegabile  
in termini delle posizioni relative dei pianeti**

# Meccanica celeste

## “Stranezze” nel moto dei pianeti



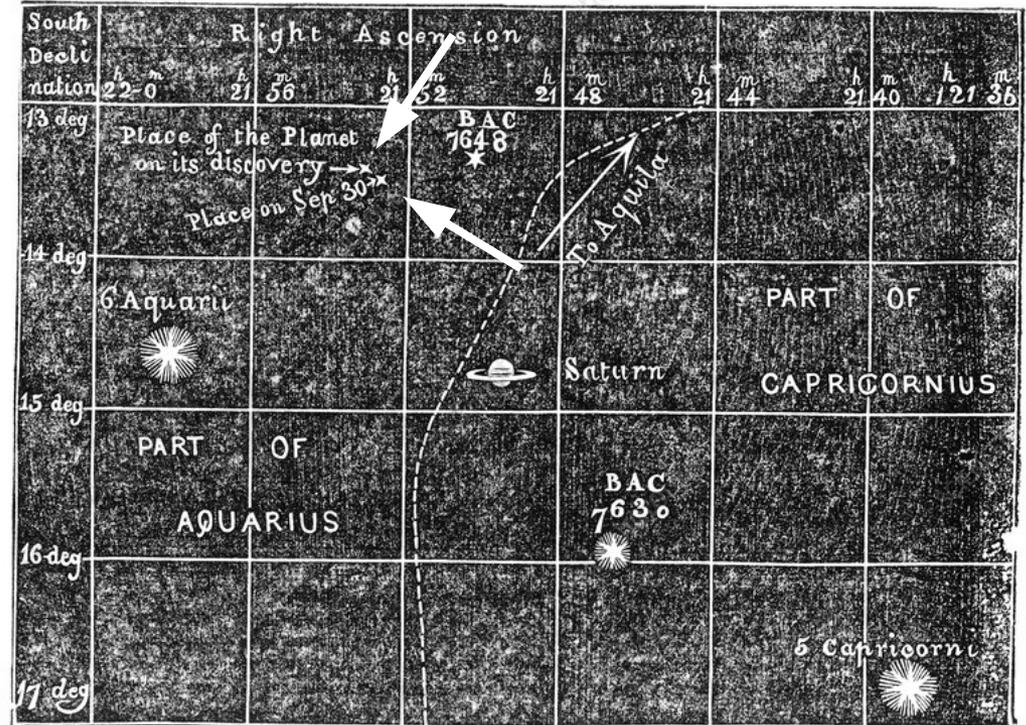
**Urbain Le Verrier  
(1811-1877)**



**Johann Gottfried  
Galle (1812-1910)**



**Heinrich Louis  
d'Arrest (1822-1875)**



## Scoperta di Nettuno (1846)

Conferma della teoria della gravitazione di Newton

# Meccanica celeste

Di cosa si occupa?

## Problemi principali della meccanica celeste:

- Stabilità del sistema solare
- Sistemi caotici
- Risonanze orbitali e risonanze spin-orbita (tidal locking)
- Dinamica degli asteroidi e degli oggetti di Kuiper
- Determinazione delle orbite dei pianeti extrasolari
- Applicazioni aeronautiche
- Sistemi a N corpi (per  $N \gg 1$  si parla di dinamica stellare)

Problemi affrontati con **tecniche analitiche** sotto opportune semplificazioni (ad es. teoria delle perturbazioni) o con **tecniche numeriche** di integrazione di sistemi di equazioni differenziali ordinarie.

# Meccanica celeste

## Di cosa ci occuperemo nel corso?

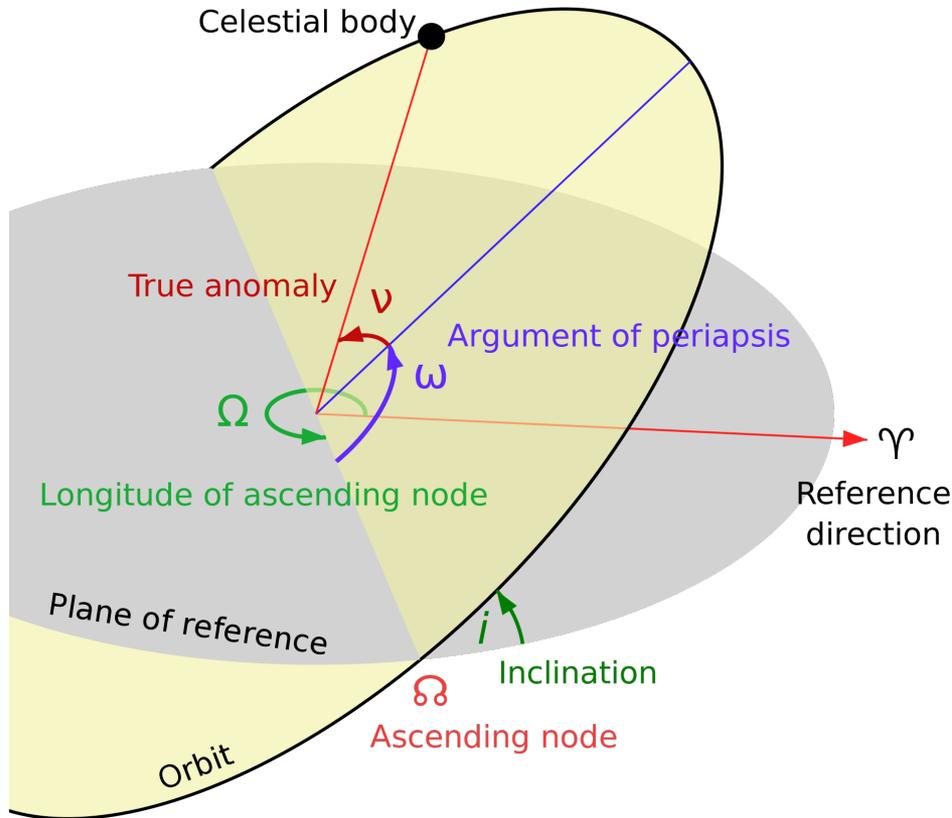
- Fondamenti di **meccanica newtoniana, lagrangiana e hamiltoniana**
- Il **problema dei due corpi** gravitazionale
- Il **problema dei tre corpi** gravitazionale
- Introduzione alla **teoria delle perturbazioni**
- Cenni di **integrazione numerica** delle orbite



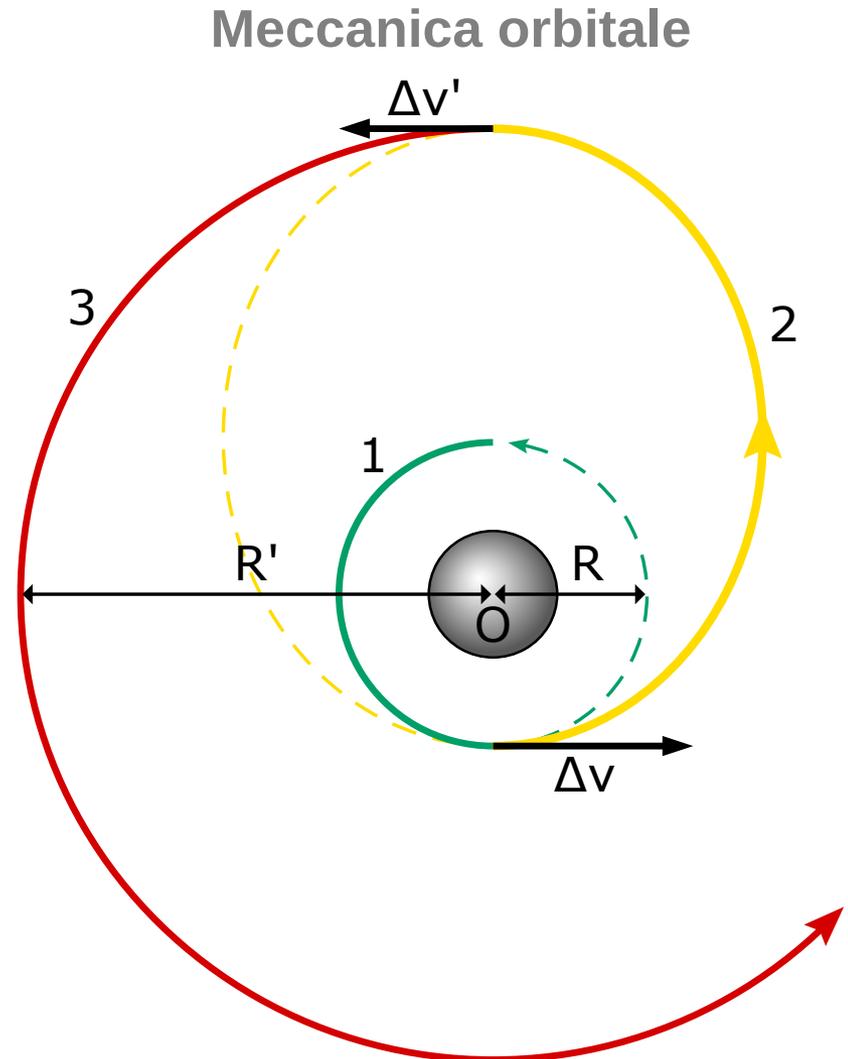
Comprensione della **struttura** ed **evoluzione** dinamica del **sistema solare** e di **sistemi a N corpi**

# Meccanica celeste

## Problema dei due corpi



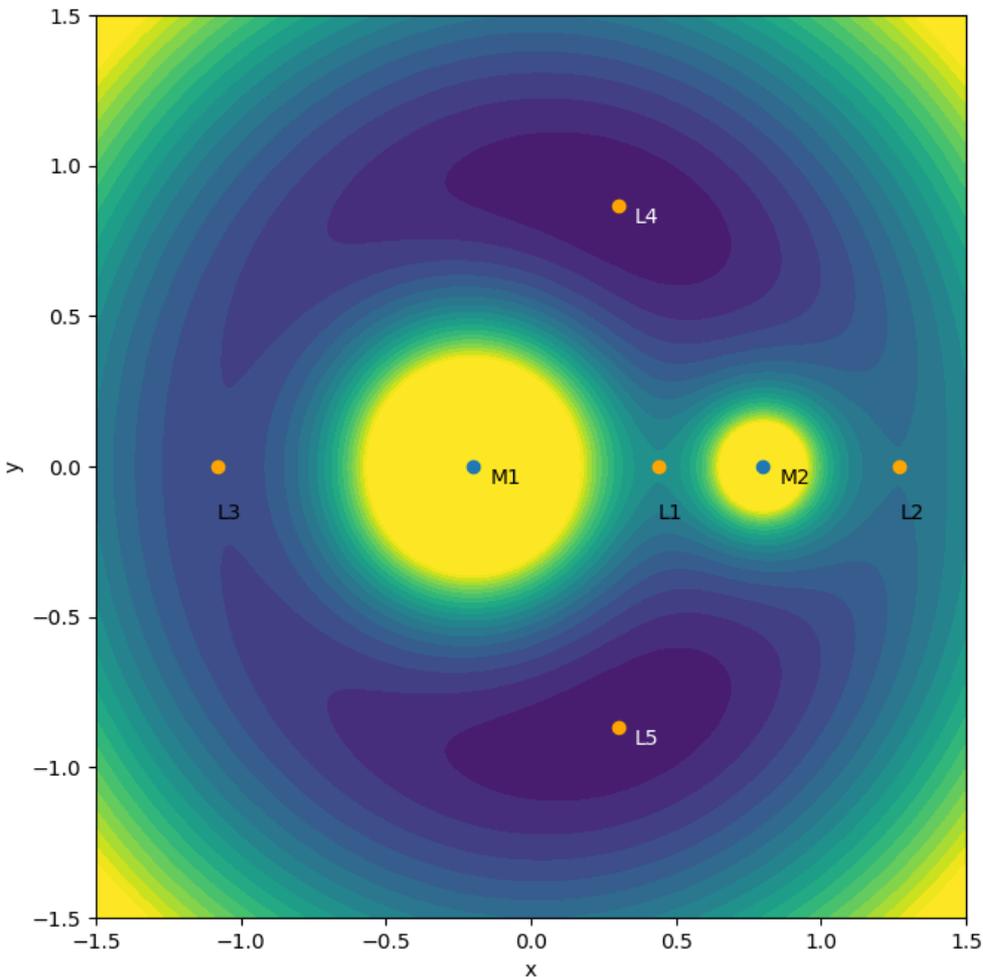
Analisi dettagliata del problema di Keplero (orbite ellittiche, paraboliche e iperboliche)



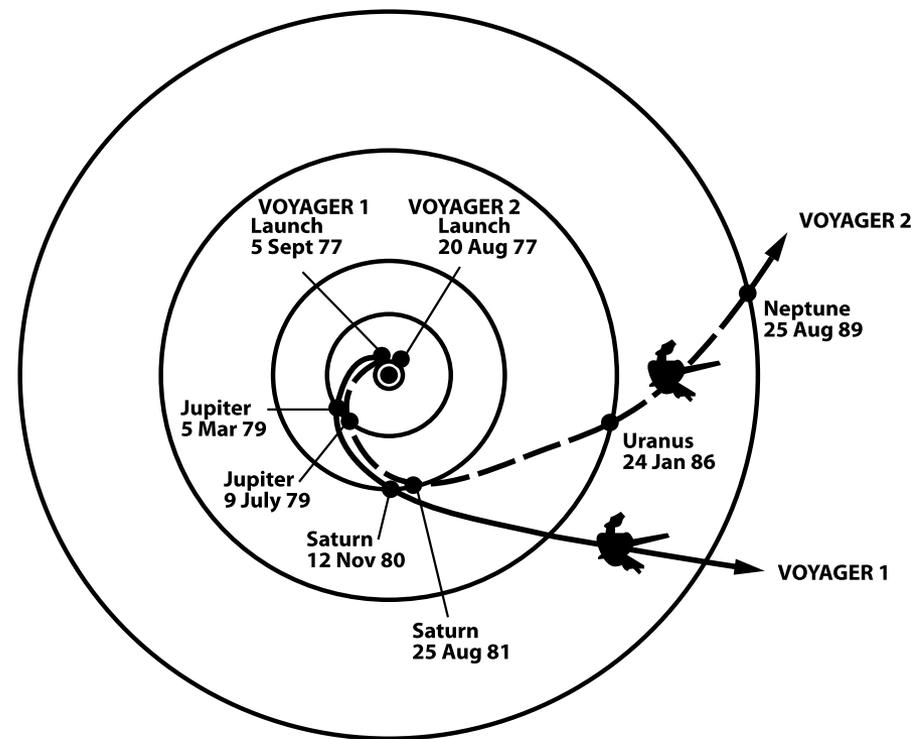
# Meccanica celeste

## Problema dei tre corpi

Posizione e stabilità dei  
punti Lagrangiani



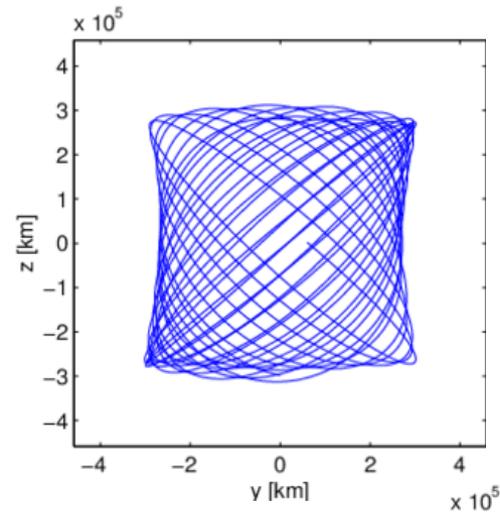
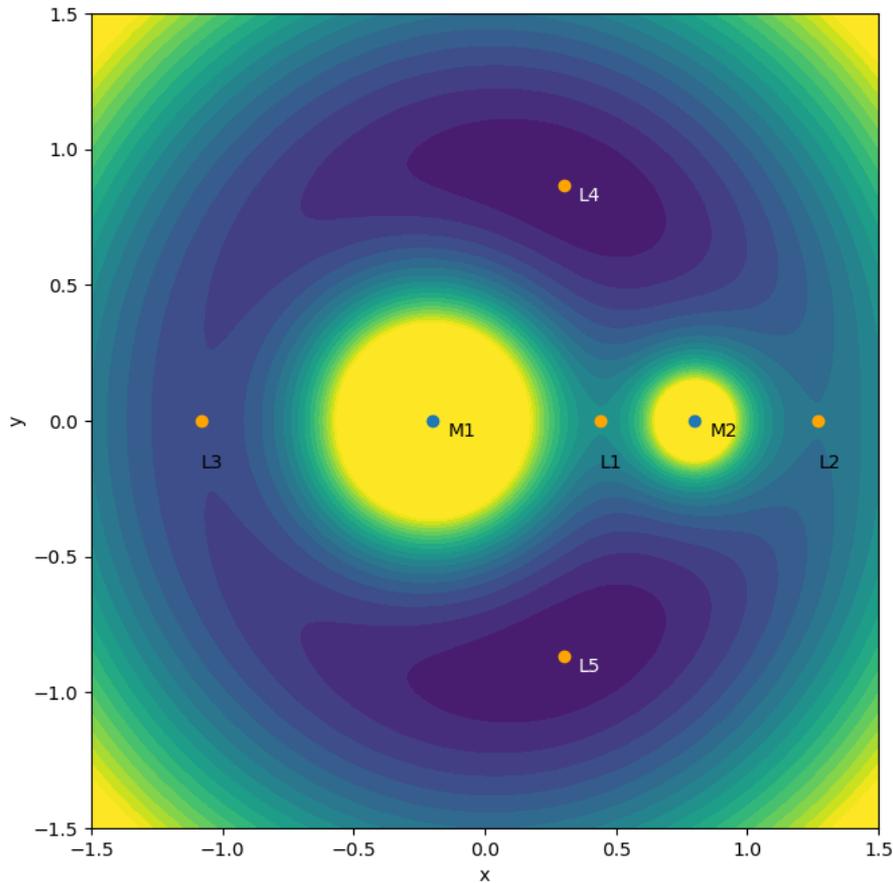
Effetto fionda



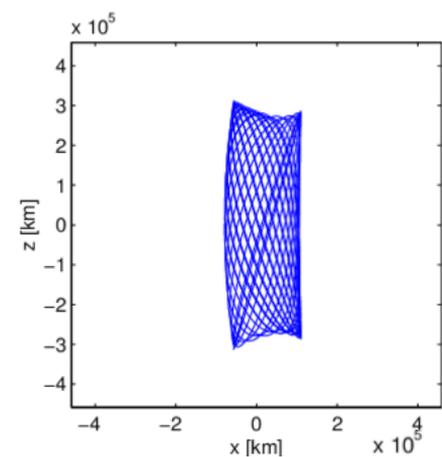
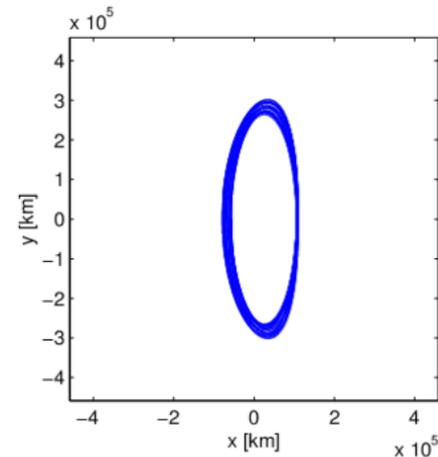
# Meccanica celeste

## Problema dei tre corpi

Orbite attorno ai punti  
lagrangiani



Orbite di  
Lissajous



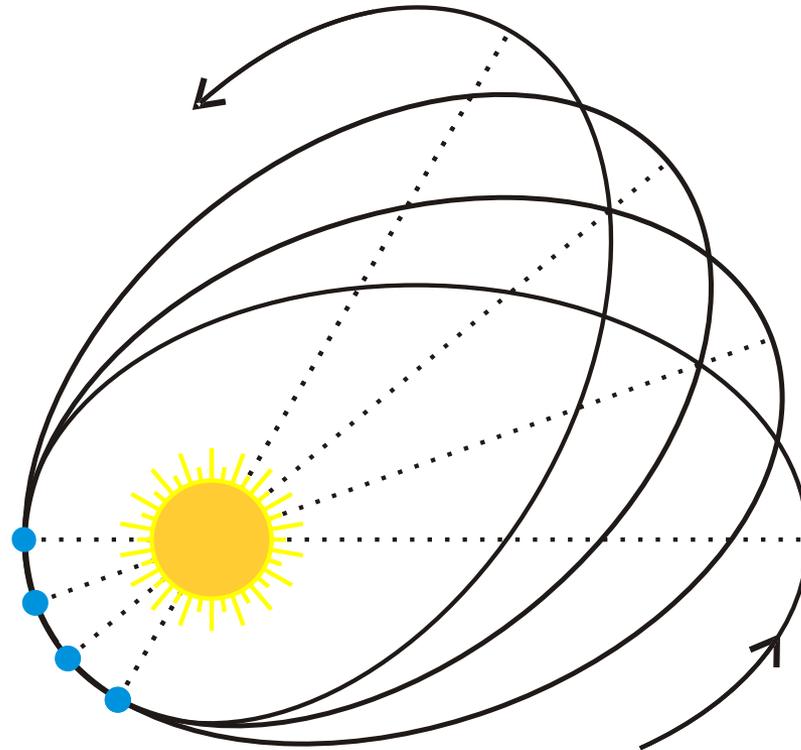
# Meccanica celeste

## Teoria delle perturbazioni

### Precessione del perielio di Mercurio



**Pierre-Simon Laplace**  
(1749-1827)

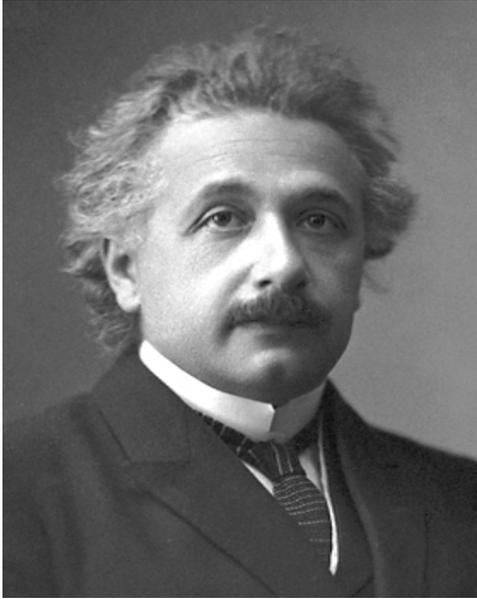


Analisi degli effetti delle perturbazioni gravitazionali  
in sistemi a  $N \geq 2$  corpi

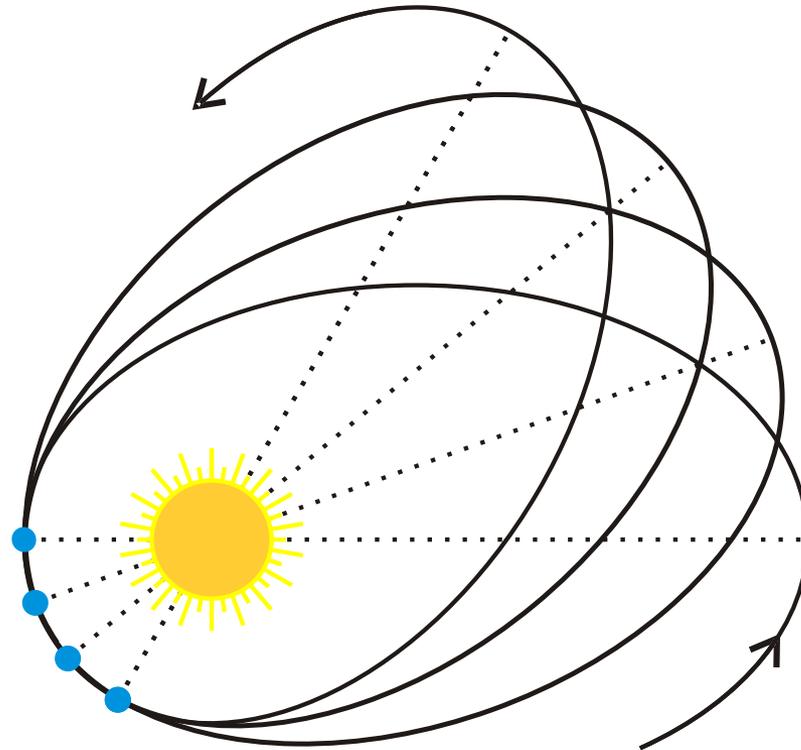
# Meccanica celeste

## Teoria delle perturbazioni

### Precessione del perielio di Mercurio



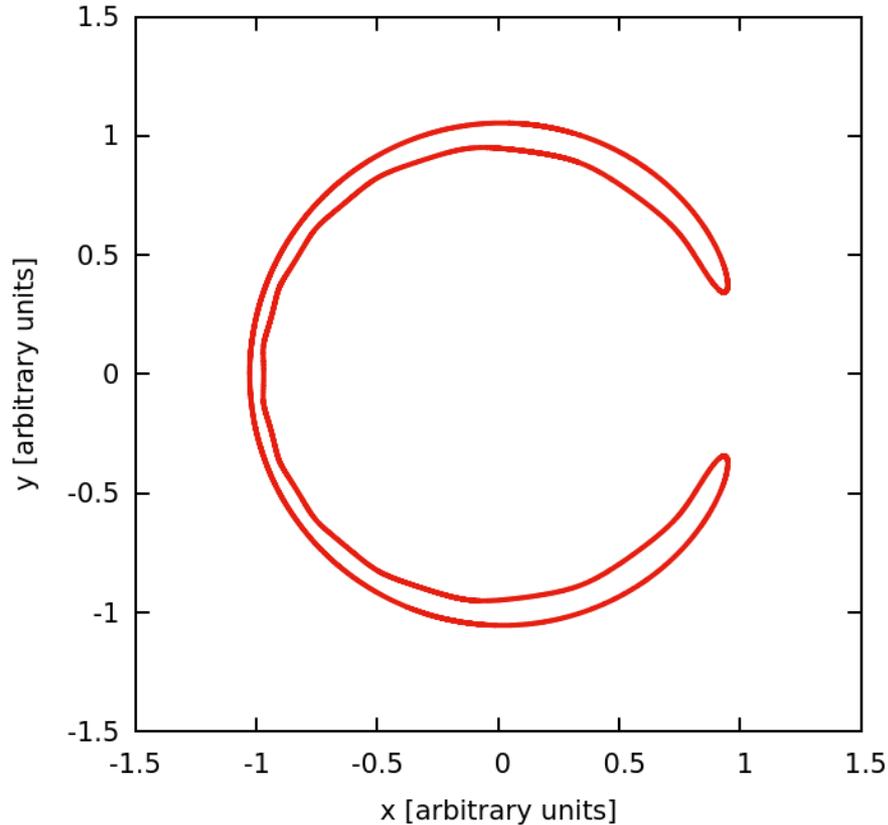
**Albert Einstein**  
**(1879-1955)**



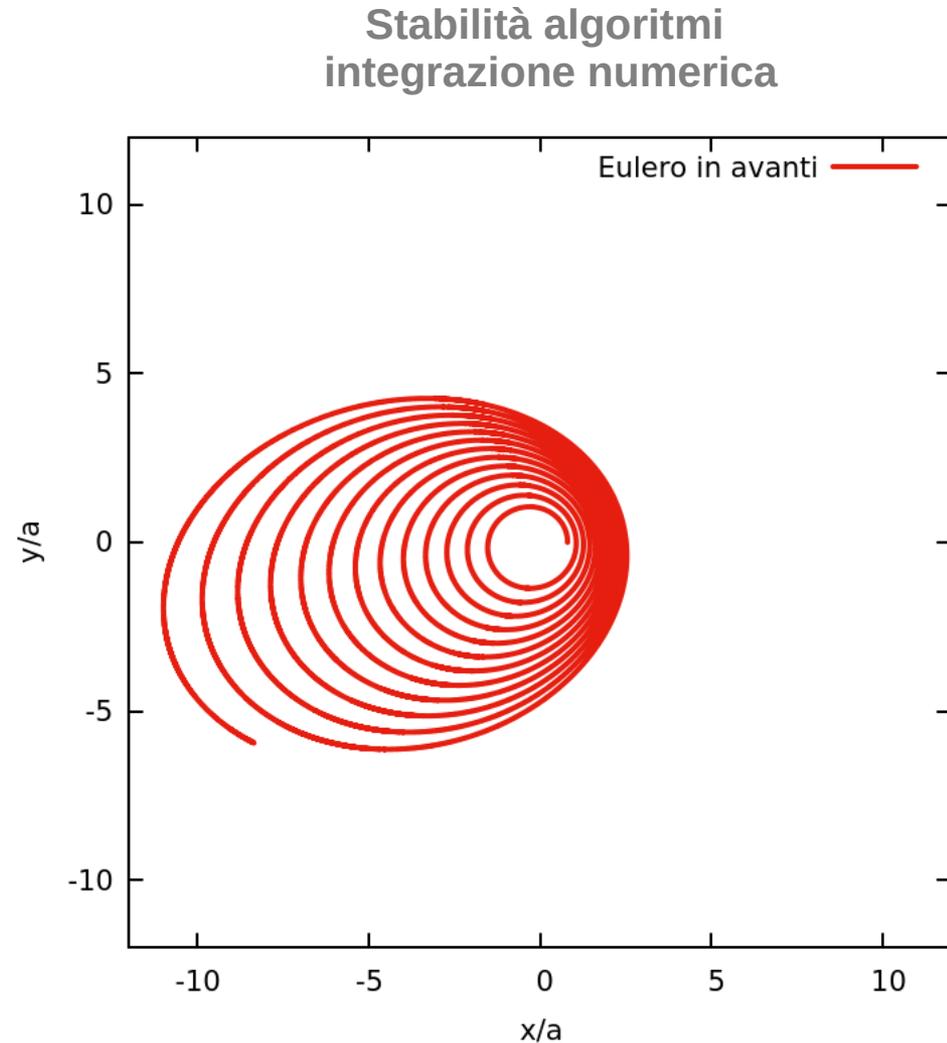
Analisi degli effetti delle perturbazioni gravitazionali  
in sistemi a  $N \geq 2$  corpi

# Meccanica celeste

## Integrazione numerica delle orbite



Integrazione numerica  
problema dei 3 corpi



**Domande?**