

Desenvolvendo a gravitação Newtoniana

Já vimos que toda a história da gravitação começou com as tentativas de compreender o movimento dos corpos. Esse problema já fazia parte do pensamento dos antigos filósofos gregos. Muitos deles se manifestaram sobre o assunto mas somente alguns marcaram a ciência com suas idéias. O filósofo grego **Aristóteles** (~ 300 a.C.) foi um deles. Ele acreditava que para que um corpo fosse mantido em movimento uniforme era necessário que uma força constante fosse aplicada sobre ele. Além disso Aristóteles acreditava que forças só podiam ser aplicadas através do contato entre corpos. Para ele era inadmissível o conceito de força à distância.

Para Aristóteles a equação de movimento era:

$$\text{força} = \text{resistência} \times \text{movimento}$$

A partir disso Aristóteles concluiu que o vácuo não podia existir na natureza uma vez que no vácuo não haveria resistência e qualquer que fosse a força aplicada a um corpo ela sempre produziria velocidades infinitas.

As conclusões de Aristóteles estavam erradas mas como sua ciência foi considerada "oficial" por aqueles que regiam o mundo naquela época, suas idéias imperaram por quase 2000 anos, impedindo a compreensão correta dos fenômenos gravitacionais.

Os trabalhos de **Nicolau Copernico** (1473-1543) sobre o Sistema Solar foram muito importantes por mostrarem o papel que a gravitação exercia nos corpos celestes. Em seguida **Johannes Kepler** (1571-1630) nos apresentou suas leis do movimento planetário e **Galileo Galilei** (1564-1642) nos fez compreender o movimento e a queda dos corpos.



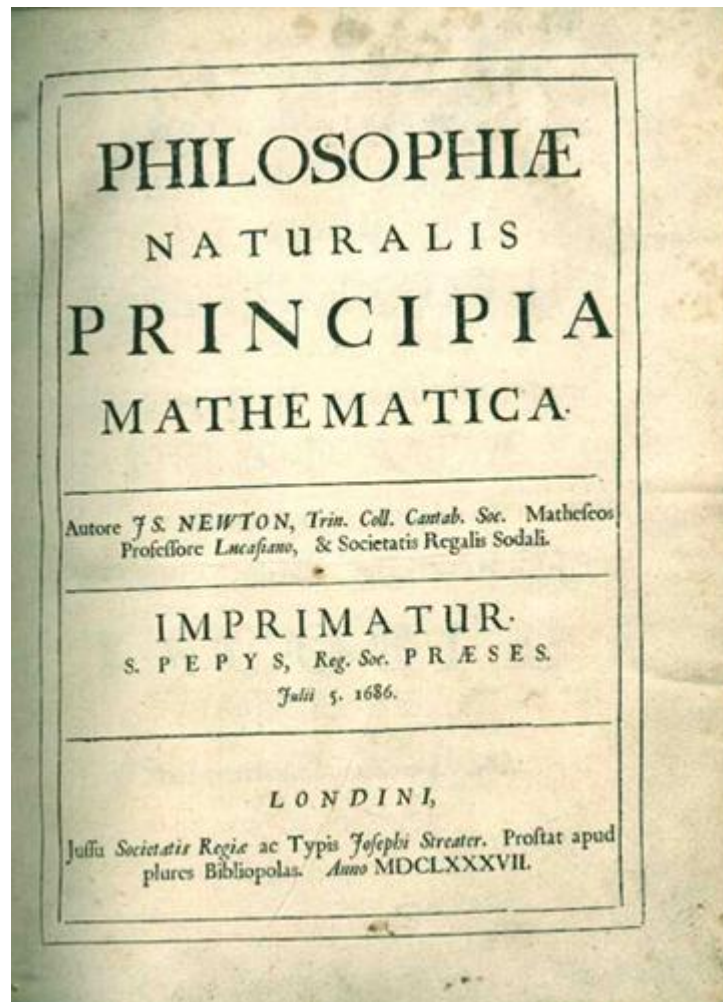
Isaac Newton (1643 - 1727)

Com base nesses conhecimentos, **Isaac Newton** apresentou em 1687 no seu famoso livro *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, ou simplesmente *Principia*, suas três leis do movimento e sua **Teoria da Gravitação Universal**.

Newton modificou a equação de movimento de Aristóteles, que dominou o cenário da física durante tanto tempo, propondo uma nova equação de movimento:

$$\text{força} = \text{massa} \times \text{aceleração}$$

No seu *Principia* Newton estabeleceu axiomas capazes de descrever como os corpos interagiam por meio da força gravitacional.



Leonhard Euler (1707-1783)

No entanto, a teoria da gravitação proposta por Newton era apenas o começo de uma longa história de pesquisas. Ainda faltava muito para que o trabalho apresentado por Newton pudesse ser realmente considerado uma "teoria completa". E muitos pesquisadores, do mais alto nível, se dedicaram à tarefa de completá-la.

A forma analítica definitiva dos axiomas propostos por Isaac Newton foi elaborada pelo grande matemático alemão Leonhard Euler. Esses axiomas também foram trabalhados por três grandes nomes da ciência, o matemático italiano Giuseppe



Joseph-Louis Lagrange (1736-1813)

Lodovico Lagrangia (que ao se naturalizar francês adotou o nome Joseph-Louis **Lagrange**), o matemático irlandês William Rowan **Hamilton** e o matemático alemão Carl Gustav Jacob **Jacobi**.

Esses grandes cientistas transformaram os axiomas do movimento criados por Newton em métodos gerais e muito poderosos. Graças ao trabalho deles os físicos passaram a empregar novas quantidades analíticas em suas análises dos problemas de movimentos. Surgiu nessa época o conceito de *potencial*, grandeza física intimamente associada às forças mas que não faz parte da nossa experiência diária.

Dizemos que uma força é *conservativa* se o trabalho realizado por ela sobre uma partícula que se move entre dois pontos depende somente desses dois pontos e não de qual o tipo ou tamanho da trajetória percorrida. Toda força conservativa aplicada a um corpo é igual ao negativo da variação da energia potencial desse corpo ao longo de um deslocamento.



William Rowan Hamilton (1805-1865)

Os importantíssimos trabalhos desses cientistas se condensaram nas chamadas **equações de Euler-Lagrange**, publicadas em 1788, e na **teoria de Hamilton-Jacobi**, poderosos instrumentos conhecidos por todos que estudam a mecânica clássica.



Carl Gustav Jacob Jacobi (1804-1851)

As equações de Euler-Lagrange são o meio mais econômico de escrevermos as equações de movimento de um corpo pois, além de envolverem o número mínimo de coordenadas, elas lidam apenas com duas funções escalares, energia cinética (T) e energia potencial (V), em vez das forças e acelerações vetoriais que caracterizam a abordagem feita anteriormente por Newton.

Como as equações de Euler-Lagrange podem ser deduzidas a partir da segunda lei de Newton, que só vale em referenciais inerciais, as funções T e V também têm que ser expressas em relação a um mesmo referencial inercial.

As equações de Euler-Lagrange utilizam um termo dado por $L = T - V$.

Esse L é a chamada *lagrangiana*. Todos os "campos" existentes na natureza são descritos por uma lagrangiana. É muito comum vermos os campos existentes na natureza, tais como o campo eletromagnético, o campo eletrofraco e até mesmo do campo gravitacional, serem representados por suas lagrangianas.

A teoria de Hamilton-Jacobi é um método que nos permite realizar um certo tipo de transformação, chamado *transformação canônica*, que é capaz de simplificar drasticamente as equações de movimento de um dado sistema.



Alexis Claude Clairaut (1713-1765)



Pierre-Simon Laplace (1749-1827)

Dois grandes físicos franceses, **Alexis Clairaut** e **Pierre-Simon Laplace**, publicaram vários trabalhos mostrando que a teoria da gravitação universal proposta por Isaac Newton estava correta.

Laplace se interessou pelo problema da estabilidade do Sistema Solar no seu *Traité du Mécanique Céleste* publicado em 1799. Na verdade o chamado "problema de três corpos" foi intensamente estudado no século XIX mas só foi entendido muito mais tarde.