

# Da Física Clássica à Física Moderna

## Uma Breve Introdução

Armando Teixeira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Luso Academia  
The L Project

Thomson Group International

# Índice

- 1 Introdução
- 2 Mecânica
  - Conceitos Básicos e Definições Preliminares
- 3 Axiomas de Newton

# Introdução

- O objectivo destes apontamentos é servirem de apoio a quem queira aprender um bocado de Física Moderna de uma forma descontraída, mas séria.
- Uma vez que neste apontamentos os leitores não encontrarão exercícios resolvidos, para além de alguns **simples** exemplos, e que nem tudo o que será dito nas sessões constará destes apontamentos a presença nas sessões é fortemente recomendada.
- Como se tal não bastasse, nem tudo que será escrito nestes apontamentos será dito nas sessões. Assim a relação entre os apontamentos e as sessões é de complementaridade.

# Introdução

- Os temas que iremos tratar ao longo deste curso serão (quase) sempre introduzidos da mesma maneira: definições de conceitos iniciais, exposição dos axiomas que regulam o comportamento das entidades definidas e os resultados que se seguem após o enunciado dos axiomas.
- Sei bem que esta não é a maneira corrente de ensinar muitos destes tópicos a um nível introdutório, mas escolhi assim fazê-lo porque tal permite brevidade de exposição dos temas tratados e porque me parece que as teorias assim retratadas são manifestamente mais elegantes.
- Espero que o que se ganhe em tempo e elegância não seja *compensado* por uma correspondente perda em pedagogia.
- Aos leitores mais interessados recomenda-se a leitura do livro de A. Einstein e L. Infeld *A Evolução da Física*.

## Desiderata

- A Física é, acima de tudo, uma ciência exacta e experimental.
- Assim sendo, o seu objectivo deve ser a codificação de um conjunto de dados experimentais por meio de modelos que permitam uma interpretação dos fenómenos
- Um facto extraordinário é podemos utilizar esse mesmo modelo para prevermos uma nova classe de fenómenos.
- O confronto destas previsões com resultados experimentais permitirá concluir qual o domínio de validade da teoria construída.
- Vamos então codificar os dados experimentais e construir um modelo que nos permita explicar e entender uma parte do mundo que temos à nossa volta.

## Considerações Iniciais

- Podemos dizer, sem estarmos muito longe da verdade, que a Física fundamental moderna tem na sua essência três concepções fundamentais:
  - 1 O conceito de campo.
  - 2 A Relatividade.
  - 3 A Física Quântica
- O conceito de campo é comum à praticamente todo o nosso curso por isso vamos já defini-lo:

### Definição

Campo é um objecto matemático que tem um valor definido num dado conjunto de pontos do espaço.

## Considerações Iniciais

### Definição

Um campo diz-se vectorial quando os seus valores são grandezas vectoriais.

### Definição

Um campo diz-se escalar quando os seus valores são grandezas escalares.

- As equações de campo que vamos descrever representam sempre interacções lineares.
- Assim podemos considerar cada interacção proveniente de um campo como sendo independente das outras interacções e a resultante é simplesmente a soma de todas as interacções.

## Considerações Iniciais

- Associada ao conceito de campo temos o conceito de energia potencial. Esta energia deve-se à interacção da partícula com o campo  $\vec{A}$  e em geral é proporcional a  $\int_a^b \vec{A} \cdot d\vec{s}$  onde  $d\vec{s}$  é o vector deslocamento infinitesimal.



# Introdução

- A Mecânica Newtoniana é a primeira teoria Física que vamos estudar.
- Surgiu no século XVII, ganhou maturidade nos séculos XVIII e XIX e rejuvenesceu no século XX.
- Este primeiro capítulo será uma introdução muito breve e superficial dos seus triunfos e resultados, mas ainda assim esperamos demonstrar alguma da sua extrema elegância e profundidade.

# Conceitos Básicos e Definições Preliminares

Todas as grandezas **mecânicas** podem ser expressas em unidades que derivam das unidades das três grandezas seguintes:

- Comprimento que se representa pela letra  $L$ .
- Tempo que se representa pela letra  $T$ .
- Massa que se representa pela letra  $M$ .  
Na Mecânica Clássica a massa de um corpo é uma indicação da sua resistência a alterar o seu estado de movimento. Esta característica tem o nome de inércia.
- As unidades que utilizamos para expressar estas grandezas não têm nada de essencial e são puramente convencionais.
- Neste curso iremos utilizar o Sistema Internacional e vem que  $[L] = m$ ,  $[T] = s$  e  $[M] = \text{Kg}$ .

# Conceitos Básicos e Definições Preliminares

## Definição

Um referencial é um conjunto de eixos, que permite representar os graus de liberdade do sistema em estudo, e um ponto arbitrário que serve como origem.

## Definição

Um referencial diz-se inercial: quando possui as seguintes propriedades:

- Espaço é homogéneo (todos os pontos são equivalentes) e isotrópico (não existem direcções privilegiadas).
- Tempo é homogéneo (todos os instantes de tempo são equivalentes).

# Conceitos Básicos e Definições Preliminares

## Definição

Posição é o lugar geométrico que a partícula ocupa num dado instante de tempo num referencial.

## Definição

Trajectória é o lugar geométrico das sucessivas posições que a partícula ocupa num intervalo de tempo.

## Definição

Deslocamento é a diferença entre a posição final e a posição inicial de uma partícula. Normalmente representamos o deslocamento através do símbolo  $\Delta\vec{x}$ .

# Conceitos Básicos e Definições Preliminares

Sabemos pela experiência que os corpos se deslocam percorrendo deslocamentos diferentes em intervalos de tempo diferentes. O conceito que relaciona a variação da posição de uma partícula com o intervalo de tempo necessário para essa variação ocorrer é chamado de velocidade. Mas em física convém sermos mais rigorosos e definirmos dois tipos diferentes de velocidade.

## Definição

Velocidade média: grandeza vectorial que permite calcular a taxa de variação da posição para um dado intervalo de tempo.

$$\vec{v}_m = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} \quad (1)$$

# Conceitos Básicos e Definições Preliminares

## Definição

Velocidade instantânea: grandeza vectorial que permite calcular a variação da posição para um dado instante de tempo.

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} = \frac{d\vec{x}}{dt} \quad (2)$$

# Conceitos Básicos e Definições Preliminares

Podemos fazer as seguintes definições:

## Definição

Aceleração média: grandeza vectorial que permite calcular a taxa de variação da velocidade para um dado intervalo de tempo.

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (3)$$

## Definição

Aceleração instantânea: grandeza vectorial que permite calcular a variação da velocidade para um dado instante de tempo.

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (4)$$

# Conceitos Básicos e Definições Preliminares

## Definição

Energia cinética: energia associada ao movimento de uma partícula e define-se:

$$K = \frac{1}{2} m \vec{v} \cdot \vec{v} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m \left( \frac{d\vec{x}}{dt} \right)^2 \quad (5)$$

## Definição

Momento linear: grandeza vectorial associada ao movimento de uma partícula e directamente proporcional à sua massa e velocidade.

$$\vec{p} = m \vec{v} = m \frac{d\vec{x}}{dt} \quad (6)$$



# Conceitos Básicos e Definições Preliminares

Vemos então o porquê da afirmação da energia cinética conter menos informação sobre o movimento da partícula do que o movimento linear. Pela sua definição a energia cinética não nos dá informação sobre a direcção da velocidade da partícula enquanto que o momento linear nos diz tanto a direcção e a magnitude da velocidade.

Em termos mais prosaicos: o momento linear diz para onde vai a partícula e com que velocidade vai. A energia cinética apenas nos diz com que velocidade vai a partícula.

# Conceitos Básicos e Definições Preliminares

## Definição

O estado mecânico de uma partícula é especificado através da determinação simultânea e de precisão infinita das suas coordenadas e do seu momento linear.

# Axiomas de Newton

Até ao momento temos os intervenientes da nossa peça mas ainda não temos as regras que deverão guiar as suas interacções. Estas *regras* são dadas pelos três axiomas de Newton.

## Axioma

Existe **um** referencial inercial onde o momento linear de uma partícula livre mantém sempre o mesmo valor.

Este enunciado não é o que habitualmente se apresenta como a "Primeira Lei de Newton". Convém então dar uma explicação do porquê da forma deste enunciado.

# Axiomas de Newton

- Anteriormente definimos um referencial inercial, mas a definição que demos é de carácter puramente *matemático*.
- Nada neste mundo implica a existência da estrutura matemática que definimos e a função da "Primeira Lei de Newton" é exactamente estipular a existência de um tal referencial no mundo em que habitamos.
- A justificação, desta arrojada hipótese, é, o espectacular acerto entre as previsões que a teoria de Newton faz e os resultados obtidos em experiências.
- Outro pormenor interessante é que o Axioma 1 apenas exige a existência de um referencial inercial, mas podemos concluir que existe um número infinito de referenciais inercias.

# Axiomas de Newton

- Sabemos que num referencial inercial o espaço é homogéneo e isotrópico e que o tempo é homogéneo.
- Assim sendo o ponto que escolhemos como origem nada tem de especial e podemos efectuar uma translação para um outro ponto qualquer e passar a considerar esse novo ponto como sendo a origem de um novo referencial inercial.
- Para além disso podemos rodar todos os nossos eixos em simultâneo e obter novos eixos. Estes novos eixos apenas se distinguem dos antigos por terem novas direcções.
- Uma vez que o espaço é isotrópico tal facto não acarreta nada de novo e assim este novo referencial continua a ser inercial.

# Axiomas de Newton

- Outra transformação que podemos fazer é obter um referencial que se mova com velocidade constante relativamente ao primeiro referencial. Novamente esta situação nada tem de novo e os referenciais continuam a ser equivalentes.
- Uma vez que o tempo é homogéneo o instante de tempo que se convencionou ser 0 nada tem de especial.
- Ou seja um referencial que se obtém de um referencial inercial, alterando o que se considera como sendo o instante inicial, também é um referencial inercial.
- Para finalizar temos ainda que dizer que qualquer composição destas transformações também produz um referencial inercial.

# Axiomas de Newton

## Axioma

Se o momento linear de uma partícula varia num referencial inercial diz-se que essa partícula foi actuada por uma força,  $\vec{F}$ , que se calcula utilizando a seguinte expressão:  $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ .

Este axioma reduz-se a  $\vec{F} = m\vec{a}$  quando a massa da partícula é constante.

## Axioma

Quando dois objectos interagem entre si a força  $\vec{F}_{12}$  (força que o objecto 1 exerce sobre o objecto 2) tem a mesma direcção, é igual em intensidade à força  $\vec{F}_{21}$  (força que o objecto 2 exerce sobre o objecto 1), mas tem o sentido oposto.  $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$