

# Projecto Piloto para o Ensino à Distância

Universidade do Porto

Abril de 2000

**Disciplina:** Curso de Física Geral

**Docente coordenador:** Jaime Villate, Prof. Auxiliar, Faculdade de Engenharia.

## Identificação da disciplina

Este curso não corresponde a nenhuma disciplina em particular, mas pretende servir de apoio a várias disciplinas introdutórias baseadas na física, leccionadas na Universidade do Porto e como ajuda à preparação dos candidatos ao ensino superior.

O curso está destinado aos alunos do primeiro ano do ensino universitário e aos alunos do 12º ano do ensino secundário. O programa do curso está baseado no programa da prova de física dos exames nacionais de acesso ao ensino superior, mas será desenvolvido ao nível do primeiro ano do ensino superior. Os objectivos do curso são dar uma visão geral da física, complementar os conhecimentos adquiridos pelos alunos com física nos seus currículos e ajudar na preparação dos candidatos ao ensino superior.

Nesta proposta inicial, o conteúdo foi dividido em 23 capítulos, correspondendo cada um deles a uma aula de uma hora. No desenvolvimento do curso nas suas próximas fases, será possível a sub-divisão de alguns capítulos para tentar manter a uniformidade na extensão dos capítulos, mas espera-se que a versão final não ultrapasse os 26 capítulos (equivalente a um curso de 13 semanas com 2 horas teóricas por semana).

Embora este curso tenha um carácter complementar com frequência livre e na sua primeira versão não esteja prevista a inscrição de alunos, serão propostos alguns problemas para cada capítulo, e o docente coordenador estará disponível para avaliar as resoluções enviadas pelo participantes. Será implementado também um sistema de auto-avaliação com perguntas e problemas em cada capítulo; as perguntas de auto-avaliação serão inseridas numa base de dados para permitir a criação automática de provas de auto-avaliação por capítulo ou com perguntas de vários capítulos seleccionadas aleatoriamente.

## Desenvolvimento do curso

A data prevista para a conclusão da primeira versão completa do curso é o dia 1 de Outubro de 2000. As principais tarefas no desenvolvimento do curso são as seguintes:

**Texto do curso:** Redacção do texto completo do curso, em formato Latex, seguindo o modelo definido para o programa piloto. Versões preliminares do texto serão usadas durante a implementação das fases seguintes, permitindo o desenvolvimento em paralelo das várias fases.

**Criação de páginas html:** O texto em formato Latex será transformado em várias páginas em formato html (uma por capítulo). A conversão será feita usando o programa tth e um programa em linguagem perl que está a ser desenvolvido pelo docente.

**Implementação do sistema de auto-avaliação:** Criação da base de dados de perguntas e respostas, de um sistema de criação de formulários html (com informação obtida da base de dados) para auto-avaliação, e de um programa em linguagem perl para avaliar o conteúdo dos formulários e enviar resposta em forma automática.

**Elaboração de figuras:** Várias figuras e diagramas serão usados em cada capítulo. As figuras serão criadas em linguagem postscript.

Considero mais adequado avançar com as quatro tarefas em paralelo desde o início do projecto, já que para a criação da versão html e do sistema de avaliação será preciso já ter algum texto e figuras de prova, mas a redacção do texto completo e das figuras deverá ser feita tendo em conta as restrições impostas pela versão html e a base de dados para auto-avaliação. Contudo, para garantir a evolução do projecto e a sua culminação no prazo previsto convém definir um calendário com alguns objectivos a alcançar:

**15-5-2000:** Primeira versão das páginas html geradas a partir do texto Latex com o conteúdo e resumos de todos os capítulos.

**15-6-2000:** Segunda versão html incluindo base de dados com algumas perguntas e formulários de auto-avaliação.

**15-7-2000:** Terceira versão html com a maior parte do texto, figuras e formulários de auto-avaliação completos.

**15-9-2000:** Quarta versão html; texto e sistema de avaliação completos.

**1-10-2000:** Versão final.

# Capítulo 1

## Posição e sistemas de coordenadas

### Ideias chave

- Dimensões
- Sistemas de referência
- Coordenadas

### 1.1 Perguntas abertas

- Porque é preciso definir um sistema de referência?
- Quais são os sistemas de coordenadas usados e qual é o mais útil?
- O que é um sistema a uma (duas ou três) dimensões?

### 1.2 Resumo

Para definir a posição de um objecto é preciso usar um sistema de referência; a posição é determinada por comparação com o sistema de referência. Existem vários sistemas de coordenadas que podem ser usados para definir a posição; o número de coordenadas independentes é o mesmo, independentemente do sistema de coordenadas usado, e pode ser 1, 2 ou 3 (número de dimensões do sistema).

## 1.3 Exercícios

1. Uma berlinde roda sobre uma mesa. Quantas coordenadas independentes são necessárias para definir a sua posição? Sugira um sistema de coordenadas a ser usado.

## 1.4 Glossário

**Coordenadas.** Conjunto de variáveis que definem a posição de um objecto. Podem ser distâncias ou ângulos.

**Coordenadas cartesianas.** Sistema de coordenadas que consiste em três distâncias, medidas em 3 direcções perpendiculares a partir da origem do sistema de referência.

**Coordenadas polares.** Sistema de coordenadas em duas dimensões, formado pela distância desde a origem, e um ângulo medido em relação a uma direcção fixa.

**Dimensões.** O número de dimensões de um sistema físico é o número mínimo de coordenadas necessárias para definir a posição em qualquer instante. Pode ser igual a 1, 2 ou 3 (sistema unidimensional, bidimensional ou tridimensional).

**Grau de liberdade.** Cada uma das coordenadas independentes de um sistema.

**Sistema de referência.** Sistema de eixos fixos (embora possam estar em movimento) a um objecto ou sistema de objectos.

## 1.5 Bibliografia

1. Alonso, M. e E. J. Finn. Física, Addison-Wesley, Madrid, 1999.

# Capítulo 2

## Vectores

### Ideias chave

- Vector de posição
- Módulo, direcção e sentido
- Adição de vectores
- Produto escalar entre vectores

### 2.1 Perguntas abertas

- O que é um vector? e um escalar?
- Porque é que os vectores não podem ser somados como escalares?
- Quais são as regras para somar vectores?

### 2.2 Resumo

A posição de uma partícula pode ser representada mais facilmente por meio de um vector de posição que vai desde a origem do sistema de referência, até o ponto onde se encontra a partícula. Os vectores são úteis para representar outras grandezas físicas, como por exemplo o deslocamento. Um vector tem módulo, direcção e sentido; os vectores não podem ser somados ou subtraídos como números, mas é preciso usar as regras de adição vectorial. O produto escalar entre vectores define-se como a produto da projecção de um deles sobre o outro, vezes o módulo

do vector sobre o qual foi feita a projecção; o produto escalar é útil para calcular ângulos e componentes de um vector.

## 2.3 Exercícios

1. Indique 5 grandezas físicas que sejam escalares e 5 que sejam vectores.

## 2.4 Glossário

**Deslocamento.** Vector que representa a mudança de posição de uma partícula, desde uma posição inicial, até uma posição final.

**Escalar.** Grandeza física que pode ser definida por um único número.

**Vector.** Qualquer grandeza física que, à semelhança da posição, tem módulo, direcção e sentido.

## 2.5 Bibliografia

1. Alonso, M. e E. J. Finn. Física, Addison-Wesley, Madrid, 1999.

# Capítulo 3

## Velocidade e aceleração

### Ideias chave

- Velocidade média e instantânea
- Aceleração média e instantânea
- Velocidade e aceleração escalares
- Derivação de vectores

### 3.1 Perguntas abertas

- Qual é a definição física da velocidade e da aceleração?
- Existem diferentes tipos de velocidade?
- Qual é a utilidade de calcular a velocidade e a aceleração?

### 3.2 Resumo

A velocidade escalar média é igual à distância percorrida, por unidade de tempo, durante um determinado intervalo de tempo. No limite em que o intervalo de tempo considerado for muito pequeno, obtém-se a velocidade escalar instantânea. A velocidade vectorial calcula-se dividindo o vector deslocamento pelo tempo de deslocação; se o intervalo de tempo for diminuído infinitesimalmente, obtém-se no limite um vector tangencial à trajectória (velocidade instantânea). Em forma semelhante, a aceleração vectorial é igual à variação da velocidade instantânea, por unidade de tempo. Em termos matemáticos, a velocidade instantânea é a

derivada, em ordem ao tempo, do vector de posição, e a aceleração instantânea é a derivada da velocidade instantânea, em ordem ao tempo. Para derivar vectores deriva-se cada uma das suas componentes cartesianas.

### 3.3 Exercícios

1. Considere o movimento de um carrinho numa montanha Russa; em que pontos a velocidade instantânea é horizontal?
2. Se a velocidade é a derivada do vector de posição, e a aceleração é a derivada da velocidade, porquê não definirmos outro vector igual à derivada da aceleração e assim sucessivamente?

### 3.4 Glossário

**Tangente.** Em cada ponto de uma curva, é a recta que passa por esse ponto, sem cortar a curva nos pontos vizinhos, e seguindo a direcção da curva nesse ponto.

### 3.5 Bibliografia

1. Alonso, M. e E. J. Finn. Física, Addison-Wesley, Madrid, 1999.
2. Wolfs, F. Mechanics for Science Majors, 1996  
<<http://teacher.nsrj.rochester.edu/Contents.htm>>.



# Capítulo 4

## Equações do movimento

### Ideias chave

- Equações do movimento
- Equação diferencial
- Separação de variáveis

### 4.1 Perguntas abertas

- Qual é a utilidade das equações de movimento?
- O que é uma equação diferencial e como pode ser resolvida?

### 4.2 Resumo

A velocidade e aceleração escalares, em qualquer ponto da trajectória de uma partícula, estão relacionadas com o tempo e a posição ao longo da trajectória por meio de um sistema de três equações diferenciais. Uma equação diferencial de primeira ordem é uma relação entre uma **variável dependente**, uma **variável independente** e a derivada da variável dependente em ordem à variável independente. Em algumas equações diferenciais de primeira ordem as variáveis dependente e independente podem ser separadas e a equação pode ser integrada para determinar a variável dependente em função da variável independente. Para resolver uma equação diferencial de primeira ordem, é preciso saber uma **condição inicial**; no caso das equações de movimento as condições iniciais são a posição, velocidade e aceleração num instante inicial.

### 4.3 Exercícios

1. Quantas são as equações de movimento para um sistema com dois graus de liberdade?

### 4.4 Glossário

**Condição inicial.** Valor da variável dependente quando a variável independente tem um valor dado. Exemplo: “A temperatura às 8 horas foi de 15 graus”; se considerarmos as 8 horas como o valor inicial do tempo, a condição inicial é que a temperatura inicial é igual a 15 graus.

**Variável dependente.** Variável que é derivada, numa equação diferencial.

**Variável independente.** Variável em função da qual é calculada a derivada, numa equação diferencial.

### 4.5 Bibliografia

1. Beer, F. P. e E. R. Johnston. Mecânica Vectorial para Engenheiros, McGraw-Hill, Sexta edic., Lisboa, 1998.

# Capítulo 5

## Acelerações tangencial e normal

### Ideias chave

- Direcções tangencial e normal
- Curvatura

### 5.1 Perguntas abertas

- Como se define e calcula a curvatura de uma trajectória?
- Qual é a relação entre a velocidade escalar e aceleração escalar?

### 5.2 Resumo

Um sistema de referência muito útil para estudar o movimento de uma partícula é o sistema fixo à partícula, com um eixo na direcção tangencial e outro eixo na direcção normal. Neste sistema de coordenadas, a velocidade tem unicamente componente tangencial e a aceleração tem componentes tangencial e normal. A aceleração normal em cada ponto da trajectória é directamente proporcional ao quadrado da velocidade escalar, e inversamente proporcional ao raio de curvatura nesse ponto.

### 5.3 Exercícios

1. Explique porque a aceleração normal sempre aponta na sentido do centro de curvatura e nunca no sentido oposto.

## **5.4 Glossário**

**Curvatura.** Em cada ponto de uma curva, a curvatura define-se como o inverso do raio de curvatura.

## **5.5 Bibliografia**

1. Alonso, M. e E. J. Finn. Física, Addison-Wesley, Madrid, 1999.

# Capítulo 6

## Forças sobre uma partícula

### Ideias chave

- Inércia
- Massa
- Segunda lei de Newton
- Forças de acção e reacção

### 6.1 Perguntas abertas

- Quais são as leis de Newton e para que servem?
- Quais são as causas do movimento?

### 6.2 Resumo

Se a resultante de todas as forças externas a actuarem sobre uma partícula for nula, a partícula permanece num estado de repouso ou de movimento uniforme e rectilíneo (primeira lei de Newton). Quando a força externa resultante não for nula, a partícula será acelerada com uma aceleração igual à força resultante dividida pela massa da partícula (segunda lei de Newton). Se um objecto A exerce uma força sobre outro objecto B, o objecto B por sua vez exercerá uma força igual e oposta sobre o objecto A (terceira lei de Newton)

### **6.3 Exercícios**

1. Como podem ser determinadas as causas do movimento de uma partícula a partir da observação da sua trajetória?

### **6.4 Glossário**

**Inércia.** Tendência da matéria a permanecer em repouso o com velocidade constante.

### **6.5 Bibliografia**

1. Tipler, P. Física, Editora Guanabara, segunda edic., Rio de Janeiro, 1990.

# Capítulo 7

## Forças sobre um corpo rígido

### Ideias chave

- Vector deslizante
- Momento de uma força
- Binário
- Força-binário equivalente

### 7.1 Perguntas abertas

- Como podem ser somadas forças que actuam em diferentes pontos de um objecto?
- Em que ponto actua a força resultante sobre um objecto?

### 7.2 Resumo

As forças sobre um corpo rígido são exemplos de vectores deslizantes: podem ser deslocados ao longo da sua linha de acção e o seu efeito é o mesmo. As forças externas sobre um objecto rígido produzem deslocamentos e rotações. O momento de uma força expressa o seu efeito de rotação em torno a um ponto fixo. Duas forças iguais e opostas mas actuando em linhas de acção paralelas produzem um binário. Um sistema de forças co-planares podem ser substituídas por uma força-momento resultante equivalente; a força resultante pode ser deslocada para um ponto onde o binário resultante seja nulo.

### **7.3 Exercícios**

1. Explique a diferença entre um binário e o momento de uma força.

### **7.4 Glossário**

**Binário.** Efeito de rotação produzido por duas forças iguais e opostas mas actuando em linhas de acção paralelas

### **7.5 Bibliografia**

1. Beer, F. P. e E. R. Johnston. Mecânica Vectorial para Engenheiros, McGraw-Hill, Sexta edic., Lisboa, 1998.



# Capítulo 8

## Quantidade de movimento e centro de massa

### Ideias chave

- Quantidade de movimento
- Centro de massa
- Forças distribuídas

### 8.1 Perguntas abertas

- Que leis governam o movimento de um sistema de partículas?
- Como trabalhar com forças que actuam sobre um número infinito de pontos de um volume ou superfície?

### 8.2 Resumo

Uma forma mais geral da segunda lei de Newton é que a força externa resultante sobre um sistema de partículas é igual à variação da quantidade de movimento total do sistema. A trajectória do centro de massa de qualquer sistema é a mesma trajectória que se obteria considerando a força resultante a actuar sobre uma partícula com massa igual à massa total do sistema e na posição do centro de massa. Quando a força resultante sobre um sistema é nula, a quantidade de movimento total é constante e o centro de massa permanece em repouso ou em movimento uniforme rectilíneo. O peso é uma força distribuída com resultante

a actuar sobre o centro de gravidade; se a atracção gravitacional for constante, o centro de gravidade e o centro de massa serão o mesmo.

### 8.3 Exercícios

1. A massa da Terra é 81,47 vezes maior que a massa da Lua, e a distância da Terra à Lua é 60,28 vezes maior que o raio da Terra. A que distância do centro da Terra (medido em raios terrestres) se encontra o centro de massa do sistema Terra-Lua?

### 8.4 Glossário

**Centro de gravidade.** Ponto onde actua a força resultante da atracção gravítica sobre um objecto.

**Centro de massa.** Ponto onde a massa total de um sistema pode ser concentrada, para calcular o movimento produzido pela força resultante.

**Quantidade de movimento.** Vector obtido multiplicando a massa de uma partícula pela sua velocidade.

### 8.5 Bibliografia

1. Alonso, M. e E. J. Finn. Física, Addison-Wesley, Madrid, 1999.

# Capítulo 9

## Movimento num campo uniforme

### Ideias chave

- Movimento uniforme
- Movimento uniformemente acelerado
- Trajectória parabólica

### 9.1 Perguntas abertas

- Que tipo de trajectória seguem os projecteis perto da superfície da Terra?
- Como se calcula a altura máxima e o alcance de um projectil?

### 9.2 Resumo

Quando a aceleração é nula, o movimento é rectilíneo e com velocidade escalar constante. Dentro de um campo uniforme, a aceleração é constante em módulo, direcção e sentido; a velocidade na direcção do campo aumenta ou diminui (segundo o seu sentido) a uma taxa constante e igual à aceleração escalar; na direcção normal ao campo a velocidade permanece constante; o resultado é um movimento parabólico com o eixo da parábola paralelo à direcção do campo.

### 9.3 Exercícios

1. Uma bola é lançada horizontalmente desde uma determinada altura inicial. No mesmo instante outra bola idêntica é deixada cair livremente desde a

mesma altura. Qual das duas bolas chega primeiro ao chão?

## **9.4 Glossário**

**Campo de força.** Região do espaço onde actuam forças sobre qualquer partícula que lá for colocada. Um exemplo é o campo gravitacional que produz uma força (peso) sobre qualquer objecto.

## **9.5 Bibliografia**

1. Tipler, P. Física, Editora Guanabara, segunda edic., Rio de Janeiro, 1990.

# Capítulo 10

## Forças de atrito

### Ideias chave

- Reacção normal
- Atrito estático e cinético
- Coeficiente de atrito
- Ângulos de atrito

### 10.1 Perguntas abertas

- De que factores depende a força de atrito entre duas superfícies?
- Qual é o ponto de aplicação da reacção normal resultante entre duas superfícies?

### 10.2 Resumo

A força de contacto entre dois objectos pode ser convenientemente separada em duas componentes normal e tangencial à superfície de contacto. A componente normal é a reacção normal e a componente tangencial é designada de força de atrito. A reacção normal é uma resposta igual e oposta às forças que tentam juntar os dois objectos em contacto. O módulo da força de atrito estático (quando não existe movimento) pode ter qualquer valor entre 0 e o produto entre o módulo da reacção normal e um coeficiente de atrito estático. A força de atrito cinético (quando existe derrapagem entre as superfícies em contacto) tem módulo igual ao

produto entre o módulo da reacção normal e um coeficiente de atrito cinético. A força de atrito cinético é sempre oposta à direcção do movimento. Os coeficientes de atrito dependem unicamente do tipo de superfícies em contacto; o coeficiente de atrito estático é maior que o coeficiente de atrito cinético.

### 10.3 Exercícios

1. Verdadeiro ou falso?: O módulo da força de atrito estático é sempre maior que o módulo da força de atrito cinético.

### 10.4 Glossário

**Reacção normal.** Componente perpendicular a uma superfície, da força que esta produz oposta à sua penetração.

**Coefficiente de atrito.** Relação entre o módulo da força de atrito (ou o seu valor máximo no caso do atrito estático) e o módulo da reacção normal.

**Força de atrito.** Força entre duas superfícies, oposta ao deslizamento das superfícies.

### 10.5 Bibliografia

1. Beer, F. P. e E. R. Johnston. Mecânica Vectorial para Engenheiros, McGraw-Hill, Sexta edic., Lisboa, 1998.

# Capítulo 11

## Equilíbrio estático

### Ideias chave

- Equilíbrio
- Condições do equilíbrio

### 11.1 Perguntas abertas

- Quais são as condições para garantir que um sistema permaneça em equilíbrio estático?

### 11.2 Resumo

Um objecto em repouso encontra-se em equilíbrio estático; a força-binário resultante é necessariamente igual a zero. As seis condições de equilíbrio estático são que a soma das forças externas na direcção de cada eixo seja nula, e que as três componentes do momento resultante de todas as forças externas, em relação a qualquer ponto, sejam nulas. Em duas dimensões as condições de equilíbrio são três: as duas componentes da força externa resultante devem ser nulas, e o momento total das forças externas deve ser nulo.

### 11.3 Exercícios

1. Demonstre que em qualquer sistema com três forças externas, em equilíbrio estático, as três forças são necessariamente concorrentes.

## 11.4 Glossário

**Diagrama de corpo livre.** Diagrama que indica todas as forças externas a actuar sobre um objecto.

## 11.5 Bibliografia

1. Selby, Martha. Statics. 24 de Julho de 1996  
<<http://www.eng.iastate.edu/efmd/statics.htm>>.
2. Beer, F. P. e E. R. Johnston. Mecânica Vectorial para Engenheiros, McGraw-Hill, Sexta edic., Lisboa, 1998.



# Capítulo 12

## Fluidos em equilíbrio estático

### Ideias chave

- Pressão
- Massa volúmica
- Impulsão
- Lei de Arquimedes

### 12.1 Perguntas abertas

- O que caracteriza um fluido?
- Como varia a pressão dentro de um fluido em equilíbrio?

### 12.2 Resumo

Um fluido (líquido ou gás) é um sistema não-rígido que assume a forma do recipiente que o contém. Em condições estáticas o equilíbrio de forças sobre um elemento do fluido é semelhante ao equilíbrio das forças sobre um corpo rígido. As forças que actuam sobre um elemento de fluido são a força distribuída de contacto com o fluido circundante e o peso do elemento de fluido; o equilíbrio de estas forças determina a existência de uma força de flutuação (impulsão) e a diminuição da pressão em função da altura dentro do fluido.

## 12.3 Exercícios

1. Um cubo de gelo flutua dentro de um copo com água; quando o gelo derreter, subirá o nível de água no copo? Explique.

## 12.4 Glossário

**Impulsão.** Força de flutuação exercida por um fluido sobre um objecto.

**Massa volúmica.** Massa por unidade de volume. Também designada de densidade.

## 12.5 Bibliografia

1. Halliday e Resnick, Physics, John Wiley & Sons, New York, 1961.

# Capítulo 13

## Trabalho e energia

### Ideias chave

- Trabalho mecânico
- Energia cinética
- Potência
- Impulso

### 13.1 Perguntas abertas

- Existem métodos mais simples de calcular o movimento de um sistema sem ter que integrar as equações de movimento?

### 13.2 Resumo

A equação de movimento que relaciona a aceleração com a velocidade e a posição pode ser integrada, dando origem ao teorema do trabalho e energia cinética: o trabalho realizado pela força resultante é igual ao aumento da energia cinética. A equação de movimento que relaciona a aceleração com a velocidade e o tempo pode ser integrada dando origem ao teorema do impulso e a quantidade de movimento: o impulso da força resultante durante um intervalo de tempo é igual ao aumento da quantidade de movimento.

### 13.3 Exercícios

1. Um homem segura um saco de 60 kg no seu ombro, numa posição estática. Diga se o homem: está realizar algum trabalho? está a dispende energia para segurar o saco? considera que as suas respostas são consistentes? explique.

### 13.4 Glossário

**Energia cinética ( $E_c$ ).** Produto do quadrado da velocidade escalar, vezes metade da massa.

**Impulso.** Integral da força, em função do tempo, durante um intervalo de tempo.

**Trabalho.** Integral de linha de uma força, ao longo de uma trajectória.

### 13.5 Bibliografia

1. Alonso, M. e E. J. Finn. Física, Addison-Wesley, Madrid, 1999.
2. Tipler, P. Física, Editora Guanabara, segunda edic., Rio de Janeiro, 1990.

# Capítulo 14

## Conservação da energia

### Ideias chave

- Força conservativa
- Energia potencial
- Energia mecânica

### 14.1 Perguntas abertas

- Em que casos existe conservação da energia mecânica?
- Qual é a utilidade prática do princípio de conservação da energia mecânica?

### 14.2 Resumo

Em alguns casos (forças conservativas) o trabalho de uma força pode ser calculado facilmente em função de uma energia potencial. A energia mecânica de um sistema define-se como a soma da energia cinética total, mais todas as energias potenciais do sistema. O aumento da energia potencial de qualquer sistema mecânico é igual ao trabalho realizado pelas forças não-conservativas; nos casos em que todas as forças que realizam trabalho sejam conservativas a energia mecânica permanecerá constante.

### 14.3 Exercícios

1. Considere um sistema isolado (não existem forças externas). A energia mecânica total pode aumentar? diminuir?

### 14.4 Glossário

**Energia potencial ( $E_p$ ).** Função que depende unicamente da posição e que permite calcular o trabalho realizado por uma força.

**Força conservativa.** Força cujo trabalho entre dois pontos quaisquer não depende da trajetória usada, mas apenas das posições dos pontos inicial e final.

### 14.5 Bibliografia

1. Alonso, M. e E. J. Finn. Física, Addison-Wesley, Madrid, 1999.
2. Tipler, P. Física, Editora Guanabara, segunda edic., Rio de Janeiro, 1990.

# Capítulo 15

## Translação e rotação

### Ideias chave

- Translação
- Rotação
- Centro instantâneo de rotação
- Velocidade e aceleração angular

### 15.1 Perguntas abertas

- Como são classificados os diferentes tipos de movimento de um corpo rígido?
- Quais são as equações do movimento de um corpo rígido?

### 15.2 Resumo

O movimento plano de um corpo rígido pode ser considerado como a sobreposição de um movimento de translação e um movimento de rotação com um eixo fixo. Em qualquer instante, o movimento plano de um sólido pode ser considerado como uma rotação, sem translação, à volta de um eixo que passa pelo centro instantâneo de rotação.

### 15.3 Exercícios

1. Considere o movimento da Terra na sua órbita no sistema solar. É um movimento plano? pode ser considerado como a sobreposição de movimentos de translação e rotação?

### 15.4 Glossário

**Aceleração angular.** Derivada da velocidade angular.

**Velocidade angular.** Num movimento de rotação, a derivada do ângulo de rotação em função do tempo.

**Centro instantâneo de rotação.** O centro instantâneo de rotação de um objecto é um ponto tal que o raio traçado desde ele até qualquer ponto sobre o objecto, é perpendicular à velocidade instantânea nesse ponto. Em cada instante o movimento do objecto pode ser considerado como uma rotação pura à volta do centro instantâneo de rotação

### 15.5 Bibliografia

1. Beer, F. P. e E. R. Johnston. Mecânica Vectorial para Engenheiros, McGraw-Hill, Sexta edic., Lisboa, 1998.



# Capítulo 16

## Momento de inércia

### Ideias chave

- Momento resultante
- Momento de inércia
- Eixos de simetria

### 16.1 Perguntas abertas

- Quais são os efeitos da força-binário resultante sobre um objecto?

### 16.2 Resumo

A aceleração do movimento de translação é igual à força resultante dividida pela massa do objecto, e a aceleração angular da rotação com eixo fixo é igual ao momento resultante, em relação ao centro de massa, dividido pelo momento de inércia. O momento de inércia de um objecto tem unidades de massa vezes distância ao quadrado e depende da forma como estiver distribuída a massa à volta do eixo de rotação.

### 16.3 Exercícios

1. Discuta qual será a melhor forma de distribuir a massa num cilindro, para obter o maior momento de inércia possível, em relação ao eixo do cilindro. O cilindro da alínea anterior rodará mais rápido ou mais lento do que um

cilindro uniforme, com a mesma massa e raio, quando largados num plano inclinado?

## 16.4 Glossário

**Momento de inércia.** Soma do produto da massa de todas as partes de um objeto, multiplicadas pelo quadrado da distância a um eixo de rotação.

## 16.5 Bibliografia

1. Alonso, M. e E. J. Finn. Física, Addison-Wesley, Madrid, 1999.
2. Tipler, P. Física, Editora Guanabara, segunda edic., Rio de Janeiro, 1990.

# Capítulo 17

## Movimento num campo central

### Ideias chave

- Força central
- Momento angular

### 17.1 Perguntas abertas

- Como é o movimento de um projectil que é atraído (repelido) para um ponto central?

### 17.2 Resumo

Uma força central é uma força que em qualquer ponto do espaço aponta para um ponto central (com sentido atractivo ou repulsivo) e o seu módulo em diferentes pontos depende unicamente da distância até o centro. O momento angular, produto vectorial do vector de posição e a quantidade de movimento, de uma partícula dentro de um campo central permanece constante, quando medido a partir do centro do campo. Um campo central é também um campo conservativo. A trajectória de uma partícula dentro de um campo central é uma secção cónica com foco no centro da força.

### 17.3 Exercícios

1. Discuta quais das secções cónicas podem corresponder à trajectória de uma partícula dentro de um campo central repulsivo.

## 17.4 Glossário

**Momento angular.** Produto vectorial entre o vector de posição e a quantidade de movimento.

**Secções cónicas.** Curvas obtidas pela intersecção de um plano com um cone: círculo, elipse, hipérbole e parábola.

## 17.5 Bibliografia

1. Alonso, M. e E. J. Finn. Física, Addison-Wesley, Madrid, 1999.

# Capítulo 18

## Campo gravitacional

### Ideias chave

- Lei da gravitação universal
- Aceleração da gravidade
- Leis de Kepler

### 18.1 Perguntas abertas

- Que relação existe entre o movimento da Lua à volta da Terra e a queda livre de um objecto na superfície terrestre?

### 18.2 Resumo

Kepler descobriu, observando o movimento orbital de Marte, 3 leis que descrevem o movimento dos planetas: a forma elíptica das órbitas, a lei das áreas e a proporcionalidade entre os quadrados dos períodos e o cubo da distância média ao Sol. A lei da gravitação universal de Newton explica as leis de Kepler como uma consequência da força gravitacional; o estudo do movimento planetário e a sua relação com o movimento de projecteis na superfície da Terra são as bases da formulação Newtoniana da mecânica, que constitui a base da física clássica.

### 18.3 Exercícios

1. Se um objecto, dentro do campo gravitacional da Terra tiver uma energia mecânica positiva, a sua energia cinética não poderá ser nula, já que a energia potencial gravítica é sempre negativa e existe conservação da energia mecânica. Isto implica que a energia cinética mínima que deverá ter uma sonda espacial para conseguir fugir ao campo gravitacional de Terra é igual à sua energia potencial. Calcule a velocidade de escape (velocidade mínima para fugir ao campo gravitacional) na superfície da Terra.

### 18.4 Glossário

**Velocidade de escape.** Velocidade mínima que deverá ter um objecto para que a sua órbita num campo gravitacional seja uma trajectória aberta.

### 18.5 Bibliografia

1. Alonso, M. e E. J. Finn. Física, Addison-Wesley, Madrid, 1999.
2. Tipler, P. Física, Editora Guanabara, segunda edic., Rio de Janeiro, 1990.

# Capítulo 19

## Força electrostática

### Ideias chave

- Carga eléctrica
- Lei de Coulomb
- Distribuições contínuas de carga

### 19.1 Perguntas abertas

- Quais são as forças que mantêm juntos os átomos de um objecto?
- O que é que distingue os átomos de diferentes elementos químicos?

### 19.2 Resumo

Alguns objectos podem ser electrizados por atrito, dando origem a forças electrostáticas. A origem das forças electrostáticas é a carga eléctrica, que é uma propriedade intrínseca da matéria. Existem dois tipos de cargas, que têm sido designadas de positiva e negativa; a força electrostática entre objectos com cargas semelhantes é repulsiva, e entre objectos com cargas diferentes é atractiva. A força electrostática entre partículas pontuais é uma força central, e portanto conservativa, e depende das cargas das partículas e da distância entre elas, segundo a lei de Coulomb. Uma distribuição contínua de carga pode ser aproximada por uma sucessão de cargas pontuais e o princípio de sobreposição pode ser usado para calcular a força electrostática resultante.

### 19.3 Exercícios

1. Explique em que consistem as leis da conservação e da quantização da carga.

### 19.4 Glossário

**Condutor.** Objecto que permite a transferência de cargas eléctricas.

**Electrão.** Partícula com carga elementar negativa e massa muito menor que a massa do protão, que pode ser transferida entre átomos.

**Isolante.** Objecto que não permite a transferência de cargas eléctricas.

**Neutrão.** Partícula sem carga e com massa semelhante à do protão, existente dentro dos núcleos atómicos.

**Número atómico.** Número de protões dentro dos núcleos dos átomos de um elemento químico; a maior parte das propriedades de um elemento químico estão determinadas pelo seu número atómico.

**Protão.** Partícula com carga elementar positiva existente nos núcleos atómicos e com massa semelhante à massa do átomo de hidrogénio.

### 19.5 Bibliografia

1. Villate, J. E. Electromagnetismo, McGraw-Hill, Lisboa, 1999.



# Capítulo 20

## Campo eléctrico

### Ideias chave

- Linhas de campo
- Fluxo eléctrico
- Ângulo sólido
- Lei de Gauss

### 20.1 Perguntas abertas

- Como se define o campo eléctrico?

### 20.2 Resumo

A interacção a distância entre duas partículas com carga pode ser explicada por meio do conceito de campo. De facto o campo eléctrico não é um simples mecanismo matemático para explicar a acção a distância, mas tem realidade física independente das cargas eléctricas. O campo eléctrico pode ser representado graficamente por meio das linhas de campo eléctrico. A lei de Gauss é outra forma de enunciar a lei de Coulomb, em termos do fluxo eléctrico, que pode ser mais útil em alguns sistemas com simetrias (planos, cilindros e esferas). A lei de Gauss também é útil para estudar as propriedades do campo eléctrico nos condutores em equilíbrio electrostático.

## 20.3 Exercícios

1. Demonstre que num condutor em equilíbrio electrostático qualquer linha de campo eléctrico só pode tocar ao condutor em um único ponto.

## 20.4 Glossário

**Ângulo sólido.** Volume delimitado pelo movimento de uma recta ao longo de uma curva fechada, enquanto um outro ponto da recta (vértice) permanece fixo.

**Equilíbrio electrostático.** Estado no qual não existe movimento de cargas eléctricas dentro do objecto.

**Fluxo eléctrico.** Produto entre a componente do campo eléctrico perpendicular a uma superfície e a área da superfície.

**Superfície gaussiana.** Superfície fechada tal que o fluxo eléctrico seja igual ao produto do campo em algum ponto da superfície, vezes a sua área total.

## 20.5 Bibliografia

1. Villate, J. E. Electromagnetismo, McGraw-Hill, Lisboa, 1999.

# Capítulo 21

## Potencial electrostático

### Ideias chave

- Potencial electrostático
- Superfícies equipotenciais
- Gradiente

### 21.1 Perguntas abertas

- Quais são as consequências de o campo electrostático ser conservativo?
- O que é um Volt?

### 21.2 Resumo

Como a força electrostática é conservativa, o seu integral de linha em qualquer trajectória pode ser calculado através da diferença de energia potencial. Em forma análoga, o integral de linha do campo eléctrico calcula-se através da diferença de potencial, sendo o potencial definido como a energia potencial de uma carga unitária. O campo eléctrico num ponto pode ser calculado directamente a partir do potencial, por meio de um operador vectorial designado de gradiente. O potencial electrostático de um sistema pode ser visualizado mais facilmente por meio das superfícies equipotenciais, que são superfícies perpendiculares às linhas de campo eléctrico.

## 21.3 Exercícios

1. Que pode concluir acerca dos pontos onde o potencial electrostático é máximo ou mínimo?

## 21.4 Glossário

**Gradiente.** O gradiente de uma função de muitas variáveis é um vector na direcção e sentido em que a função aumenta mais rapidamente, e o seu módulo é igual à taxa de aumento nessa direcção.

**Superfície equipotencial.** Superfície contínua formada por todos os pontos onde o potencial tem o mesmo valor.

## 21.5 Bibliografia

1. Villate, J. E. Electromagnetismo, McGraw-Hill, Lisboa, 1999.

# Capítulo 22

## Corrente eléctrica

### Ideias chave

- Corrente eléctrica
- Resistência
- Lei de Ohm
- Fonte de força electromotriz

### 22.1 Perguntas abertas

- Em que consiste a corrente eléctrica?
- Qual é a relação que existe entre diferença de potencial e corrente eléctrica?

### 22.2 Resumo

Uma fonte de força electromotriz pode produzir um movimento contínuo de cargas eléctricas dentro de um condutor. A corrente eléctrica é igual ao fluxo de carga através da secção transversal de um condutor. A resistência entre dois pontos de um condutor define-se como a relação entre uma diferença de potencial produzida por uma fonte ligada entre os pontos e a corrente eléctrica obtida. Em alguns condutores a resistência é constante, independente da diferença de potencial (lei de Ohm). A resistência dos condutores aumenta com a temperatura e existem materiais super-condutores, que a temperaturas muito baixas apresentam uma resistência nula. Parte da energia mecânica transportada pelas cargas em movimento dentro de um condutor com corrente é dissipada em calor (efeito Joule);

a potência dissipada em calor é igual ao produto entre a corrente e a diferença de potencial.

### 22.3 Exercícios

1. Se a velocidade média dos electrões de condução dentro de um fio com corrente é tão baixa, como é que a electricidade propaga-se instantaneamente no fio?

### 22.4 Glossário

**Semi-condutor.** Substância que, à semelhança dos condutores, pode transportar corrente eléctrica, mas os portadores de carga podem ter carga positiva ou negativa e o seu número não é constante.

**Super-condutor.** Substância que apresenta resistência eléctrica nula a temperaturas menores que uma determinada temperatura crítica.

### 22.5 Bibliografia

1. Villate, J. E. Electromagnetismo, McGraw-Hill, Lisboa, 1999.

# Capítulo 23

## Campo magnético

### Ideias chave

- Força magnética
- Linhas de indução magnética
- Campo magnético

### 23.1 Perguntas abertas

- Qual é o princípio físico do funcionamento da bússola?

### 23.2 Resumo

A força entre ímanes é chamada força magnética e pode ser representada por meio de linhas de indução magnética; em forma análoga à força eléctrica, a força magnética pode ser atractiva ou repulsiva e podem ser identificados dois tipos de pólos magnéticos designados de pólo norte e pólo sul; mas os pólos magnéticos não podem ser isolados: por cada pólo magnético norte existente num objecto, existe sempre um pólo sul. Em termos das linhas de indução magnética isto implica linhas fechadas. Um íman também produz forças sobre partículas com carga eléctrica, em movimento, que podem ser usadas para definir o campo magnético. Uma corrente eléctrica também produz um campo magnético.

### **23.3 Exercícios**

1. Explique as diferenças e semelhanças entre as forças electrostática e magnética.

### **23.4 Glossário**

**Bobina.** Fio condutor enrolado várias vezes.

**Espira.** Fio condutor em forma de curva fechada.

**Solenóide.** Fio enrolado em forma de hélice.

### **23.5 Bibliografia**

1. Villate, J. E. Electromagnetismo, McGraw-Hill, Lisboa, 1999.