

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Direcção-Geral de Inovação e de Desenvolvimento Curricular

Programa de Física

12º Ano

Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologias

Autores

Esmeralda Cardoso

Graça Ventura

José António Paixão

Manuel Fiolhais (Coordenador)

Maria da Conceição Almeida e Sousa

Rogério Nogueira

Homologação

21/10/2004

Índice Geral

1ª Parte: Introdução	3
2ª Parte: Apresentação do programa	5
Finalidades	5
Objectivos gerais	5
Visão geral dos temas/conteúdos	6
Sugestões metodológicas gerais	7
Competências a desenvolver	9
Recursos	12
Avaliação	13
3ª parte: Conteúdos e indicações metodológicas e de gestão	15
<i>Unidade I: Mecânica</i>	16
Introdução	17
Conteúdos	19
Indicações metodológicas e de gestão	22
Trabalhos laboratoriais	39
<i>Unidade II: Electricidade e magnetismo</i>	48
Introdução	49
Conteúdos	50
Indicações metodológicas e de gestão	52
Trabalhos laboratoriais	64
<i>Unidade III: Física moderna</i>	73
Introdução	74
Conteúdos	75
Indicações metodológicas e de gestão	77
4ª parte: Bibliografia	87

1ª PARTE

INTRODUÇÃO

Com a Reforma do Ensino Secundário, que entrou em vigor no ano lectivo 2004-2005, a oferta formativa deste nível de ensino passa a estar organizada em cinco áreas, entre elas os cursos científico-humanísticos. A disciplina de Física faz parte da componente de formação específica do curso científico-humanístico de Ciências e Tecnologias e insere-se naquela componente como disciplina opcional do 12º ano. A sua carga horária é de 3 aulas semanais, sendo cada aula de 90 minutos.

Neste documento apresenta-se o programa para essa disciplina. Para efeito da sua elaboração foi considerado que esta disciplina se segue à disciplina bienal de Física e Química A dos 10º e 11º anos.

À data da elaboração do programa estavam já homologados os programas da disciplina bienal de Física e Química A do Curso de Ciências e Tecnologias, que é uma disciplina opcional dos 10º e 11º anos ou dos 11º e 12º anos.

Assim, o presente programa foi construído "por agregação" aos da disciplina de Física e Química A. As suas linhas orientadoras basearam-se no que preconiza o Documento Orientador da Reforma do Ensino Secundário, como referiremos em pormenor na segunda parte, a que se juntou uma especial preocupação com o ensino experimental.

É reconhecido que o ensino na escola deve ter ligação às situações do quotidiano, e esta ideia esteve obviamente subjacente à elaboração do programa. Mas não é só às coisas práticas da vida que a física deve estar ligada: compreender os fenómenos naturais, apreender a essência do conhecimento científico e suas consequências para as sociedades é parte importante da cultura do cidadão de hoje, nomeadamente o que frequentou o ensino secundário. Ora, a compreensão do mundo que nos rodeia exige noções físicas e estas nem sempre se adquirem subordinando-as a uma qualquer aplicação tecnológica. Pelo contrário, a sua apreensão requer, quase sempre, um nível de abstracção que é preciso assumir sem complexos. Assim, a aplicação do programa pressupõe um equilíbrio entre, por um lado, a abstracção e a formalização necessárias à formulação clara de ideias, conceitos e leis e, por outro lado, a sua ilustração com situações do quotidiano e aplicações tecnológicas. A física é a base de muitas tecnologias, desde as convencionais às mais recentes e às vindouras, o que, só por si, lhe confere uma importância excepcional.

A sempre desejável contextualização quando se ensinam assuntos de física não é um fim em si mesma mas sobretudo um meio pedagógico. Ela tem obviamente de ser exercida por todos os professores na leccionação do programa. Uma perspectiva do ensino das ciências, e da física em particular, que ponha em destaque as suas relações com a tecnologia e com o ambiente, com as suas aplicações na sociedade e com os desenvolvimentos científicos é, de resto, inescapável. Deverão ser os professores a concretizar, na prática, essas contextualizações, não havendo necessidade de um programa impor normas rígidas para além desta óbvia indicação geral. Ao professor cabe a gestão das opções metodológicas, em função dos interesses e expectativas dos alunos.

Nesta perspectiva, adoptámos designações triviais para as três unidades em que o programa se divide. Mas insistimos que é fundamental a ilustração dos conteúdos que se ensinam com situações correntes ou simplesmente a sua aplicação a situações interessantes com explicação física acessível. Este programa torna obrigatória esta relação com o mundo real ao incluir, no final de cada tópico, um ou mais temas que genericamente referimos como "Física em acção".

Sendo a física uma ciência experimental, a prática laboratorial tem lugar de destaque no programa que apresentamos. Foi definido um conjunto de trabalhos laboratoriais obrigatórios, que exigem recursos modestos e cuja realização está ao alcance de todos.

Este programa de Física apresenta-se a poucos meses do início de 2005, que foi declarado Ano Mundial da Física. Passam então cem anos sobre o *annus mirabilis* da produção científica de Albert Einstein, que constituiu um marco na física moderna. Naturalmente que um programa de Física no século XXI não podia deixar de ter uma componente de física moderna, a qual, porém, não pode ser mais extensa, como se desejaria, porque muitos tópicos da física clássica devem, também, ficar consolidados ao nível do ensino secundário.

Na segunda parte deste documento apresentam-se os aspectos gerais do programa. A terceira parte, que constitui o núcleo central do documento, apresenta os conteúdos, as indicações metodológicas e de gestão do programa, assim como a descrição dos trabalhos laboratoriais. A quarta parte é uma lista de livros, artigos e sítios na Internet.

É devido um especial agradecimento às instituições que deram o principal apoio logístico à equipa que elaborou este programa: a Escola Secundária da Quinta das Flores, em Coimbra, e o Departamento de Física da Universidade de Coimbra.

2ª PARTE

APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA

Finalidades

De acordo com o Documento Orientador da Reforma do Ensino Secundário, a disciplina de Física destina-se a cursos para prosseguimento de estudos ao nível superior (de carácter universitário ou politécnico). Por isso, pretende-se com esta disciplina:

- Contribuir para a cultura do aluno, proporcionando-lhe uma melhor compreensão do mundo, o que o ajudará, ao longo da vida, na tomada de decisões de modo fundamentado.
- Promover o interesse pelo conhecimento científico e tecnológico, cuja importância na sociedade actual é indiscutível.
- Permitir ao aluno uma escolha mais informada da área científica para prosseguimento dos seus estudos.
- Oferecer um conjunto de conhecimentos científicos apropriado ao prosseguimento de estudos de nível superior.

Objectivos gerais

Pretende-se que a disciplina de Física não só consolide e amplie conhecimentos em algumas áreas da física, mas também contribua para desenvolver capacidades e atitudes nos jovens. Por isso definem-se como objectivos gerais desta disciplina:

- Promover o conhecimento de conceitos, leis e teorias físicas e sua aplicação na explicação de fenómenos naturais e de dispositivos tecnológicos.
- Realçar as relações entre ciência e tecnologia e a sua importância.
- Desenvolver capacidades de observação, experimentação, avaliação, abstracção e generalização.
- Desenvolver o raciocínio, o espírito crítico e a capacidade de resolver problemas.
- Desenvolver a imaginação e a criatividade na elaboração de trabalhos relacionados com ciência.

- Desenvolver hábitos de trabalho orientados por métodos científicos.
- Realçar a natureza do conhecimento científico, a forma como ele é construído e validado, distinguindo-o de outros tipos de conhecimento.
- Realçar o papel da física no desenvolvimento das sociedades e na qualidade de vida das populações, tendo também em conta preocupações éticas, já que esse desenvolvimento pode vir acompanhado de aspectos negativos (produção de armas, impactes ambientais nocivos, etc.).
- Contribuir, ao lado das outras disciplinas do ensino secundário, para uma educação para a cidadania.

Visão geral dos temas/conteúdos

Os conteúdos do programa estão organizados em três unidades: unidade I - Mecânica; unidade II - Electricidade e Magnetismo e unidade III - Física Moderna.

As duas primeiras unidades pretendem consolidar e ampliar tópicos de física clássica abordados em anos anteriores, introduzindo alguns aspectos mais formais compatíveis com os conhecimentos de matemática já adquiridos pelos alunos do 12º ano. Os temas abordados nestas duas unidades justificam-se pelo seu interesse intrínseco, pelas suas inúmeras aplicações no dia-a-dia e por constituírem um núcleo significativo de assuntos para quem prossegue estudos de nível superior na área das ciências e tecnologias. O aprofundamento e a formalização de alguns conceitos implica, necessariamente, alguma sobreposição com assuntos abordados na disciplina de Física e Química A.

A inclusão da unidade III justifica-se por vários motivos. Por um lado, permite dar uma visão mais realista ao aluno do que é a física neste início de século XXI, uma vez que na física do ensino secundário só abordou, até ao 12º ano, temas da física clássica. Por outro lado, o ensino da física moderna permite destacar aspectos essenciais da construção do conhecimento científico, ao apresentar e confrontar ideias e teorias científicas que revolucionaram a física e a própria ciência. Finalmente, as inúmeras aplicações da física moderna, sobretudo da mecânica quântica, que deram origem a artefactos com os quais temos contacto diário (telemóveis, computadores, leitores de CD-ROM, etc.), e que hoje propiciam níveis de bem-estar antes insuspeitáveis, justificam também a sua inclusão no programa.

Sugestões metodológicas gerais

O desenvolvimento do programa faz-se na terceira parte deste documento. Cada unidade inicia-se com uma introdução onde se apresentam, de modo genérico, os temas abordados. Segue-se um índice de conteúdos, com indicação do número de aulas destinadas a cada secção. Em cada secção apresentam-se "Objectivos", "Indicações metodológicas", "Física em acção", "Trabalhos laboratoriais" e "Sugestões de actividades".

A ligação da ciência a contextos do dia-a-dia não só motiva os alunos como facilita a compreensão de muitas ideias científicas, facilitando a transferência de conhecimentos para outros contextos. Pretende-se, por isso, que o ensino dos conteúdos deste programa tenha uma ligação directa com contextos reais. Estes não devem ser apenas explicações de fenómenos imediatamente acessíveis, mas devem igualmente contemplar cenários não disponíveis no imediato por se tratar de tecnologias recentes ou em desenvolvimento, ou mesmo questões para as quais a ciência ainda não tem resposta cabal. Os contextos históricos são também muito úteis por proporcionarem uma visão concreta do modo como a ciência avança. Cabe ao professor escolher os contextos mais adequados a um dado tema, tendo naturalmente em conta a especificidade dos seus alunos.

Se os contextos devem ser utilizados para introduzir os conceitos e as teorias físicas, é evidente que a ligação ao dia-a-dia deve igualmente aparecer durante e após a abordagem dos assuntos. Tal objectivo é concretizado com uma rubrica denominada *Física em acção*. Claro que os exemplos da *Física em acção* não têm de ser relegados para o final de cada assunto, devendo ser abordados durante o seu desenvolvimento. Podem também ser motivo para trabalhos de pesquisa. Neste caso devem ser sempre comunicados em sala de aula, fazendo o professor uma sistematização das ideias apresentadas. A flexibilidade temporal e na forma de abordagem dos tópicos da *Física em acção* não se estende aos seus conteúdos, os quais são obrigatórios. Cabe ao professor gerir essa flexibilidade.

As *indicações metodológicas* de cada secção pretendem realçar os aspectos que se consideram mais importantes no desenvolvimento a efectuar e definir o grau de aprofundamento dos conteúdos. Os exercícios devem funcionar como um meio de clarificar e mostrar a utilidade dos conceitos. A resolução de problemas deve utilizar não só contextos reais do quotidiano, como contextos imaginários que permitam desenvolver a criatividade e imaginação dos alunos, que devem ser estimulados a fazer uma análise crítica

dos seus resultados. Nos exercícios e problemas devem privilegiar-se questões de índole conceptual, retirando-se peso às questões quantitativas e eliminando-se as mais rebuscadas, as quais serão objecto de estudo no ensino superior.

As sugestões de actividades são, como o próprio nome indica, apenas sugestões. O professor pode recorrer a outras actividades que considere adequadas para o ensino de um dado tema, tendo em conta os recursos da escola e os interesses dos alunos, desde que se atinjam os objectivos preconizados.

O trabalho prático desempenha um papel crucial não só para operacionalizar ideias mas também para desenvolver competências científicas. Ele concretiza-se numa multiplicidade de formatos como actividades de resolução de exercícios e problemas, trabalhos laboratoriais e experimentais, actividades com programas computacionais e calculadoras gráficas, etc.

Realça-se aqui o bom uso das tecnologias de informação, para as quais o aluno já tem uma formação de base. O computador pode ser utilizado como uma base de dados, para actividades de pesquisa de informação, como meio de comunicação e como instrumento de laboratório na aquisição e no processamento de dados experimentais. Deve também ser estimulada a utilização crítica de simulações computacionais ou mesmo a construção de modelos físicos simples e respectiva simulação. As calculadoras gráficas, porque são um recurso de que o aluno dispõe, devem ser utilizadas na resolução de problemas que exijam análise gráfica, na aquisição automática de dados experimentais e no seu tratamento, ou em outras actividades. A calculadora gráfica pode ser um instrumento excelente na análise de situações para as quais a resolução analítica é difícil ou inexistente. Desenvolvem-se, assim, competências que ajudam a preparar o aluno para viver numa sociedade cada vez mais dominada pelas tecnologias da informação.

Os trabalhos laboratoriais, que são aqui apresentados com uma pequena introdução que pretende contextualizar ou evidenciar a sua importância, pressupõem os respectivos conhecimentos teóricos. O ensino desta disciplina deve reflectir o facto de a física ser uma ciência experimental - as teorias, por mais elegantes que sejam, estão sempre subordinadas à validação experimental. Todas as previsões que os alunos façam antes da realização de um trabalho laboratorial, assim como as observações e as inferências que retiram dessas observações, têm de estar embebidas num conhecimento teórico. Só assim os alunos saberão o que observar, como observar e como interpretar o que observam.

É também essencial que os alunos compreendam que a ciência constrói modelos para interpretar a realidade e que estes assentam em suposições que podem não ter rigorosa correspondência com a realidade (por exemplo, reduzir um sistema a uma partícula ou desprezar a força de atrito). Deve reforçar-se a ideia de que, em todas as experiências, há uma incerteza experimental e que esta proporciona um critério para controlar os resultados experimentais à luz de uma certa teoria. Por isso, nos trabalhos laboratoriais há que fazer-se um confronto entre os resultados obtidos e as previsões teóricas. A recolha de dados experimentais feita com interfaces para a sua aquisição automática facilita o seu tratamento estatístico e a visualização gráfica, e deve ser estimulada. Pretende-se ainda que os alunos continuem a desenvolver competências já adquiridas anteriormente como a determinação da incerteza associada a uma medida directa individual ou a um conjunto de medidas. Não se exige que os alunos determinem incertezas associadas a medições indirectas. O método utilizado na maioria dos trabalhos laboratoriais apresentados prevê a construção de tabelas e de gráficos de dispersão, sobre os quais os alunos devem trabalhar, utilizando a calculadora gráfica ou o computador, e aplicando conhecimentos de estatística já adquiridos em anos anteriores.

Os processos de construção da ciência devem ser explicitados sempre que o tema o propicie. Tais processos têm uma expressão significativa nos temas da unidade III, cuja introdução no programa também se fundamenta nesse objectivo. Deve ser realçado o papel das comunidades científicas na construção da ciência. A relação simbiótica da ciência com a tecnologia, em que uma "puxa" pela outra, e os problemas sociais e ambientais que os desenvolvimentos científicos e tecnológicos acarretam devem ser enfatizados quando for oportuno.

Deve promover-se nos alunos o hábito de pesquisa e a capacidade de selecção de fontes de informação, tanto na Internet como em livros, tendo o professor um papel essencial nesta orientação. Cabe ao professor ajudar a desenvolver nos alunos a análise crítica da informação recolhida e a sua sistematização.

Competência a desenvolver

Pretende-se que os alunos alarguem competências relacionadas com o conhecimento científico, as quais exigem um desenvolvimento paralelo de competências transversais. São elas:

Competências científicas

- Utilizar vocabulário científico adequado.
- Analisar cientificamente uma situação, um documento, um fenómeno ou um dispositivo experimental.
- Identificar as grandezas físicas presentes num dado fenómeno físico.
- Associar um modelo teórico a um certo fenómeno físico.
- Identificar os limites de validade de um modelo físico.
- Utilizar linguagem simbólica (esquemas, gráficos, expressões matemáticas) na interpretação de um fenómeno físico.
- Interpretar o papel de cada grandeza física num dado modelo teórico.
- Identificar a influência de uma dada grandeza num fenómeno físico, por meio de controlo de variáveis, tanto em trabalhos laboratoriais como em simulações computacionais ou na resolução de problemas.
- Construir argumentos e discutir a sua pertinência fundamentando-os cientificamente.
- Situar uma descoberta científica no contexto social e científico da época.
- Interpretar o processo dinâmico de construção dos modelos científicos e reconhecer o papel das comunidades científicas na sua validação.

Competências transversais

- Desenvolver capacidades de trabalho individual e em equipa, evidenciando rigor e honestidade intelectual.
- Efectuar pesquisas documentais quer em livros e revistas, quer em formato digital, e interpretar a informação.
- Analisar criticamente fontes diversas de informação.
- Seleccionar fontes de informação de acordo com a sua credibilidade.
- Seleccionar e organizar informação adequada face a um objectivo pretendido.
- Utilizar computadores e a calculadora gráfica como instrumentos de trabalho.
- Produzir documentos em suporte diverso, nomeadamente utilizando as novas tecnologias.
- Representar geométrica e analiticamente grandezas vectoriais e realizar as operações mais importantes com elas (adição, produto escalar, produto vectorial).
- Calcular derivadas de grandezas escalares e de grandezas vectoriais (em referenciais fixos).

- Esboçar gráficos que evidenciem relações entre grandezas partindo de um modelo teórico.
- Representar graficamente funções pré-definidas recorrendo a programas de computador ou à calculadora gráfica.
- Interpretar representações gráficas e estabelecer relações entre as grandezas intervenientes.
- Construir gráficos de dispersão a partir de listas de dados, utilizando a folha de cálculo ou a calculadora gráfica.
- Aplicar conhecimentos de estatística no tratamento de dados experimentais e na interpretação dos resultados.
- Desenvolver atitudes de questionamento face aos resultados obtidos.
- Desenvolver a capacidade de argumentação fundamentando-a sempre cientificamente.

Destacam-se a seguir as competências que se pretendem desenvolver na componente laboratorial.

Do tipo cognitivo:

- Identificar o referencial teórico no qual se baseia o método utilizado num trabalho laboratorial.
- Formular hipóteses sobre um fenómeno susceptível de ser observado em laboratório.
- Conceber um procedimento experimental capaz de validar uma dada hipótese ou estabelecer relações entre variáveis.
- Prever a influência da alteração de um dado parâmetro no fenómeno em estudo.
- Avaliar a ordem de grandeza de um resultado.
- Reconhecer a existência de uma incerteza experimental associada a uma medição.
- Construir o modelo matemático que melhor traduza um fenómeno físico.
- Interrogar-se sobre a credibilidade de um resultado experimental confrontando-o com previsões do modelo teórico.
- Discutir a precisão de resultados experimentais.
- Discutir a exactidão de um resultado experimental face a um valor teórico tabelado.
- Extrapolar interpretações baseadas em resultados experimentais para outros fenómenos com o mesmo fundamento teórico.

Do tipo processual:

- Reconhecer material de laboratório e respeitar as regras essenciais para a sua utilização.
- Interpretar e seguir um protocolo.
- Construir uma montagem laboratorial a partir de um esquema ou de uma descrição.
- Recolher dados utilizando quer material de laboratório tradicional quer um sistema automático de aquisição de dados.
- Representar em tabela e graficamente um conjunto de medidas experimentais.

Recursos

Para se atingirem os objectivos deste programa é indispensável o equipamento de laboratório indicado nos trabalhos laboratoriais ou outro que o substitua. Tal equipamento já existe na maioria das escolas (alguns componentes eventualmente novos são de baixo custo). É também desejável que a escola possua equipamento que permita concretizar as actividades sugeridas nas *Sugestões de actividades* ou outro equivalente.

O recurso à calculadora gráfica deve ser estimulado. Para o aluno trata-se de um equipamento familiar dada a sua utilização frequente na disciplina de Matemática. Uma interface de aquisição de dados ligada à calculadora possibilitará realizar alguns dos trabalhos laboratoriais com maior precisão das medidas obtidas, substituindo as funções do computador a um custo mais reduzido. O professor deverá ter ainda disponível um *view screen*, ligado à calculadora ou um projector vídeo para computador, para demonstrações ou trabalho na sala de aula com todos os alunos ao mesmo tempo.

O computador ligado a um projector é necessário quando o professor pretende recorrer a programas computacionais que facilitem a exploração de determinados conteúdos. Existem simulações computacionais de utilização livre que se podem descarregar da Internet. A utilização da Internet e de outros recursos computacionais deve ser feita em trabalhos ou pesquisas individuais ou colectivas dos alunos, em espaços próprios da escola.

Naturalmente que a biblioteca da escola deve dispor de bibliografia adequada para consulta quer dos professores, quer dos alunos, sendo crucial o empenhamento dos professores no seu apetrechamento.

Avaliação

A avaliação deve ser contínua, possuir carácter formativo, e utilizar uma diversidade de instrumentos, sendo o produto final, como se sabe, traduzido por uma classificação.

Há certas competências que não podem ser avaliadas num simples teste escrito. Por isso os instrumentos de avaliação, para além de testes e trabalhos escritos e orais diversificados, devem incluir registos feitos pelo professor a partir de observações decorrentes do desenvolvimento normal das actividades em sala de aula.

Pela natureza da disciplina, a avaliação do *trabalho laboratorial*, que deve incidir sobre as competências já definidas, merece aqui maior pormenorização. Os trabalhos laboratoriais pretendem desenvolver e reforçar as competências já enunciadas e a avaliação deve traduzir o grau de desenvolvimento dessas competências.

A realização de um trabalho laboratorial pressupõe conhecimentos teóricos do assunto a abordar. Assim, o aluno já deve saber o que observar para melhor interpretar os fenómenos. Sugere-se que a execução laboratorial seja precedida da resposta a um questionário sobre os objectivos da experiência e sobre os conteúdos programáticos já abordados e que remetam directamente para o assunto da experiência (pré-relatório).

Também as competências processuais durante a realização do trabalho no laboratório devem ser avaliadas, especialmente o rigor nos procedimentos e a honestidade do aluno no registo das medidas obtidas. Devem ser procuradas as razões que expliquem o afastamento dos resultados obtidos face aos previstos teoricamente, o que pode servir para promover o gosto pela investigação.

Os aspectos comuns aos trabalhos laboratoriais – pré-relatório, execução experimental, tratamento dos dados e interpretação dos resultados com possíveis actividades de extensão – devem pesar na classificação de um trabalho laboratorial, pois são igualmente importantes.

O procedimento experimental e a análise de dados e discussão de resultados dos trabalhos laboratoriais também devem fazer parte do conteúdo dos testes escritos. Deste modo, esses trabalhos não são apenas abordados aquando da sua execução. Realça-se que este aspecto em nada desvaloriza a avaliação das competências processuais. Os alunos também se devem habituar a analisar e tratar dados que não sejam adquiridos pelos próprios e interpretar os resultados obtidos.

Haverá trabalhos laboratoriais com uma descrição mais pormenorizada de procedimentos e outros de um tipo mais investigativo. Em todos eles deverão ser elaborados gráficos e tabelas, onde o aluno deverá registar também a incerteza associada às medições directas. Recomenda-se a utilização da calculadora gráfica ou do computador tanto para construir gráficos com os dados experimentais como para efectuar regressões a esses mesmos dados. Será o aluno que deve decidir qual o gráfico mais adequado face ao objectivo pretendido, assim como o tipo de função de ajuste aos pontos experimentais. A equação da regressão escolhida permitirá estabelecer relações entre variáveis, confrontá-las com as previsões teóricas e, através do coeficiente de correlação indicado pela calculadora (ou programa de computador), concluir quanto à adequação do modelo à experiência, face à precisão dos dados experimentais.

3ª PARTE

CONTEÚDOS E INDICAÇÕES METODOLÓGICAS E DE GESTÃO

Considerando 33 semanas de aulas por ano lectivo e 3 aulas de 90 min por semana, o programa está dimensionado para 99 aulas anuais. Destas, retiram-se 21 para gestão do professor, ficando 78 aulas assim distribuídas:

UNIDADE I - Mecânica, 35 aulas

UNIDADE II - Electricidade e Magnetismo, 23 aulas

UNIDADE III - Física Moderna, 20 aulas

Na apresentação do programa indica-se, dentro de cada unidade, o número de aulas por secção, incluindo a realização dos trabalhos laboratoriais.

UNIDADE I - MECÂNICA

Conteúdos*	Total de aulas
1. Mecânica da partícula 1.1- Cinemática e dinâmica da partícula em movimentos a mais do que uma dimensão (4) 1.2- Movimentos sob a ação de uma força resultante constante (4) 1.3- Movimentos de corpos sujeitos a ligações (6)	14
2. Movimentos oscilatórios (4)	4
3. Centro de massa e momento linear de um sistema de partículas (5)	5
4. Mecânica de fluidos 4.1. Hidrostática (4) 4.2. Hidrodinâmica (4)	8
5. Gravitação (4)	4
Total de aulas	35

* Número de aulas entre parêntesis

Introdução

A Unidade I tem dois objectivos principais: permitir aos alunos consolidar noções adquiridas em anos anteriores e alargar os seus conhecimentos de forma a compreender melhor o meio físico e tecnológico.

Assim, recordar-se-ão e aprofundar-se-ão conceitos estudados anteriormente, utilizando ferramentas matemáticas acessíveis aos alunos do 12º ano.

Conceitos como o trabalho de forças, a energia (cinética, potencial, mecânica) e a Lei de conservação da energia mecânica, e a descrição do movimento de uma partícula a uma dimensão serão aqui recordados na perspectiva da sua generalização para duas e três dimensões. A velocidade e a aceleração podem agora ser definidas usando o conceito de derivada, introduzido na disciplina de Matemática.

Para descrever movimentos serão usados referenciais cartesianos fixos e o referencial ligado à partícula, onde se definem as componentes normal e tangencial dos vectores. O movimento deve ser sempre descrito num referencial exterior à partícula, servindo o referencial ligado à partícula apenas para que um observador externo use um formalismo mais simples.

Os fenómenos ondulatórios foram já abordados no 11º ano e, em particular, foi referida a forma do sinal harmónico simples. Estudam-se agora as oscilações mecânicas, dando-se mais relevo às suas aplicações do que aos seus fundamentos matemáticos.

O conceito de partícula foi já introduzido na disciplina de Física e Química A (tanto no 10º como no 11º ano), tal como o de centro de massa. A noção de centro de massa será formalizada e clarificada nesta unidade.

A dinâmica de fluidos é um tema que se aborda essencialmente numa perspectiva de ligação ao quotidiano.

O estudo da gravitação, que se iniciou no 11º ano, será agora consolidado, fundamentando-se a Lei da gravitação de Newton a partir das Leis de Kepler e introduzindo a energia de interacção gravitacional entre corpos.

Esta unidade pressupõe que os alunos tenham consolidadas noções das disciplinas de Física e Química como também da disciplina de Matemática. Os pré-requisitos, identificados nos programas de anos anteriores de Ciências Físico-Naturais e Física e Química A (10º e 11º anos), são os seguintes:

- Unidades SI de tempo, distância, velocidade, aceleração, massa, força e energia
- Posição e coordenadas cartesianas
- Trajectória
- Velocidade e aceleração
- Velocidade média e aceleração média

- Gráficos posição-tempo e gráficos velocidade-tempo para movimentos a uma dimensão
- Movimentos uniforme (rectilíneo e circular) e rectilíneo uniformemente variado
- Velocidade e velocidade angular, aceleração no movimento circular, período e frequência
- Força e forças de atrito
- Leis de Newton da dinâmica
- Energia cinética, potencial gravítica e mecânica
- Trabalho de forças constantes
- Teorema da energia cinética
- Forças conservativas e não conservativas
- Conservação de energia mecânica
- Pressão, temperatura e massa volúmica.

Relativamente às orientações curriculares de Matemática dos 10^o e 11^o anos, os pré-requisitos são os seguintes:

- Equação da recta
- Equação da parábola
- Representação de um vector através das componentes numa dada base
- Radiano, funções seno, co-seno e tangente
- Derivadas de funções.

Conteúdos (35 aulas)

1. Mecânica da partícula

(Total 14 aulas)

1.1- Cinemática e dinâmica da partícula em movimentos a mais do que uma dimensão (4 aulas)

- Referencial e vector posição
- Equações paramétricas do movimento
- Equação da trajectória
- Deslocamento, velocidade média e velocidade
- Aceleração média e aceleração
- Aceleração tangencial e aceleração normal; raio de curvatura
- Segunda Lei de Newton (referencial fixo e referencial ligado à partícula)
- Movimento circular
- *Física em acção*

1.2- Movimentos sob a acção de uma força resultante constante (4 aulas)

- Condições iniciais do movimento e tipos de trajectória
- Equações paramétricas (em coordenadas cartesianas) de movimentos sujeitos à acção de uma força resultante constante com direcção diferente da velocidade inicial
- Projécteis
- *Física em acção*

1.3 Movimentos de corpos sujeitos a ligações (6 aulas)

- Forças aplicadas e forças de ligação
- Forças de atrito; atrito estático e cinético entre sólidos
- Aplicações da Segunda Lei de Newton em corpos com ligações; considerações energéticas
- *Física em acção*

TL I.1 - Máquina de Atwood

TL I.2 - Atrito estático e cinético

2. Movimentos oscilatórios

(Total 4 aulas)

- Lei de Hooke e equação do movimento harmónico simples
- Características de um oscilador harmónico simples: período, frequência e frequência angular; alongação e amplitude

- Velocidade e aceleração de um oscilador harmónico simples
- Energia de um oscilador harmónico simples
- Movimento harmónico amortecido
- *Física em acção*

TL I.3 – Pêndulo gravítico

3. Centro de massa e momento linear de um sistema de partículas

(Total 5 aulas)

- Sistemas de partículas e corpo rígido
- Centro de massa
- Velocidade e aceleração do centro de massa
- Momento linear de uma partícula e de um sistema de partículas
- Lei fundamental da dinâmica para um sistema de partículas
- Lei de conservação de momento linear
- Colisões elásticas e inelásticas; coeficiente de restituição
- *Física em acção*

TL I.4 – Colisões

4. Mecânica de fluidos

(Total 8 aulas)

4.1- Hidrostática (4 aulas)

- Noção de fluido
- Massa volúmica, densidade relativa, pressão e força de pressão
- Lei fundamental da hidrostática
- Lei de Pascal
- Impulsão e Lei de Arquimedes
- Equilíbrio de corpos flutuantes
- *Física em acção*

4.2- Hidrodinâmica (4 aulas)

- Movimento dos fluidos em regime estacionário
- Conservação da massa e equação da continuidade
- Conservação de energia mecânica e equação de Bernoulli
- Força de resistência em fluidos; coeficiente de viscosidade de um líquido
- *Física em acção*

TL I.5 – Coeficiente de viscosidade de um líquido

5. Gravitação

(Total 4 aulas)

- Leis de Kepler
- Lei de Newton da gravitação universal
- Constante de gravitação universal e experiência de Cavendish
- Campo gravítico
- Força gravítica e peso; imponderabilidade
- Energia do campo gravítico
- Velocidade orbital; velocidade de escape
- *Física em acção*

Indicações metodológicas e de gestão

1. Mecânica da partícula

(Total 14 aulas)

1.1- Cinemática e dinâmica da partícula em movimentos a mais do que uma dimensão (4 aulas)

Objectivos

O aluno deve ser capaz de:

- Escolher um referencial cartesiano conveniente – a uma, duas ou três dimensões – para a descrição de um dado movimento.
- Definir e representar geometricamente o vector posição num dado referencial.
- Obter as equações paramétricas do movimento a partir da função $\vec{r}(t)$.
- Interpretar o movimento a mais do que uma dimensão como a composição de movimentos a uma dimensão.
- Reconhecer movimentos uniformes e uniformemente variados a uma dimensão pela dependência temporal das equações paramétricas respectivamente em t e t^2 .
- Distinguir entre trajectória e gráficos de coordenadas em função do tempo.
- Representar graficamente a trajectória a partir das respectivas equações paramétricas do movimento.
- Distinguir vector posição de vector deslocamento.
- Reconhecer que o vector posição depende do referencial adoptado, mas que o vector deslocamento é independente do referencial adoptado.
- Interpretar a velocidade como a derivada temporal do vector posição.
- Calcular velocidades e velocidades médias.
- Interpretar a aceleração como a derivada temporal do vector velocidade.
- Calcular acelerações e acelerações médias.
- Reconhecer que a velocidade pode variar em módulo e em direcção.
- Associar a componente tangencial da aceleração à variação do módulo da velocidade.
- Associar a componente normal da aceleração à variação da direcção da velocidade.
- Decompor o vector aceleração nas suas componentes tangencial e normal.
- Calcular a aceleração tangencial e a aceleração normal e exprimir a aceleração em função dessas componentes.

- Associar a maior ou menor concavidade num dado ponto de uma trajectória ao raio de curvatura nesse ponto.
- Identificar um movimento como uniforme, se a aceleração tangencial for nula, e uniformemente variado, se o seu valor for constante.
- Associar movimentos sem aceleração normal a movimentos rectilíneos e com aceleração normal a movimentos curvilíneos.
- Construir o diagrama de forças que actuam num corpo e obter a respectiva resultante.
- Exprimir a Segunda Lei de Newton num sistema de eixos cartesiano fixo.
- Exprimir a Segunda Lei de Newton num sistema de eixos ligado à partícula através das componentes normal e tangencial.
- Identificar as componentes tangencial e normal da aceleração e da força resultante em movimentos circulares.
- Interpretar a aceleração angular como a derivada temporal da velocidade angular.
- Relacionar as acelerações tangencial e angular no movimento circular.
- Concluir que um movimento com aceleração angular nula é uniforme.
- Relacionar as grandezas características num movimento circular: velocidade, velocidade angular, período, frequência, aceleração angular, aceleração normal e centrípeta, força normal e centrípeta.

Indicações metodológicas

Recordar a necessidade de um referencial para descrever movimentos e utilizar um referencial cartesiano para identificar a posição de uma partícula pelas suas coordenadas. Rever da disciplina de Matemática a representação e decomposição de vectores numa dada base e obter as respectivas componentes escalares. O professor deverá realçar a diferença entre a representação vectorial da grandeza vectorial, as suas componentes escalares (que admitem valores positivos ou negativos) e o seu módulo (que é sempre positivo), pois tais representações são, normalmente, fonte de confusão para o aluno. Tal revisão permitirá introduzir o conceito de vector posição, representá-lo geometricamente num referencial cartesiano e decompô-lo nas suas componentes escalares, de modo a chegar à sua representação analítica num referencial com vectores de base $(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$. A partir desta representação analítica, obter as equações paramétricas do movimento.

Concretizar o conceito de equação paramétrica com exemplos de movimentos a duas dimensões, analisando gráficos $x(t)$, $y(t)$, recorrendo ao computador ou à calculadora gráfica, aproveitando as competências adquiridas no 11º ano no uso destes recursos. O computador e a calculadora permitem estudar equações paramétricas de movimentos variados (com qualquer dependência temporal) numa abordagem apenas gráfica.

Estudar a equação da trajectória apenas para movimentos a duas dimensões. Para tal, utilizar a calculadora, no modo paramétrico, ou o computador, para visualizar a trajectória, especialmente quando o tratamento analítico das equações paramétricas for muito complicado.

Realçar a diferença entre o gráfico $y(x)$ e os gráficos das funções $x(t)$ e $y(t)$. A calculadora gráfica permite visualizar os gráficos posição-tempo no modo de função e o gráfico da trajectória no modo paramétrico. Os alunos podem construir modelos matemáticos de movimentos do dia-a-dia a duas dimensões, introduzi-los nas suas calculadoras gráficas e visualizar os vários tipos de gráficos, interpretando o significado de cada um deles.

Na disciplina de Matemática os alunos adquiriram a noção de derivada de uma função escalar. Generaliza-se agora o conceito de derivada para o caso vectorial (a base cartesiana fixa é uma constante para efeitos de derivação). A introdução da velocidade como derivada do vector posição exige, naturalmente, que os alunos saibam rudimentos de cálculo vectorial, nomeadamente somar vectores. Deve fazer-se uma revisão dos conceitos de deslocamento, velocidade média e aceleração média, de modo a distingui-los de posição, velocidade e aceleração, respectivamente.

Após a introdução dos conceitos de velocidade e aceleração como derivadas temporais de grandezas vectoriais, sugere-se, por ser mais fácil para os alunos, que estes trabalhem, nas actividades práticas, com as equações paramétricas do movimento e que obtenham as componentes escalares do vector velocidade a partir da derivação das anteriores; também as componentes escalares do vector aceleração poderão ser obtidas por derivação das componentes escalares da velocidade.

Antes de introduzir as componentes tangencial e normal da aceleração (\vec{a}_t e \vec{a}_n) recomenda-se uma revisão de conceitos da cinemática do 11º ano. O aluno deverá concluir que a velocidade pode variar tanto em módulo como em direcção, justificando-se a introdução das componentes \vec{a}_t e \vec{a}_n da aceleração como uma medida destas variações. As expressões das componentes normal e tangencial da aceleração ($\frac{dv}{dt} \vec{e}_t$ e $\frac{v^2}{r} \vec{e}_n$) deverão ser apresentadas sem dedução, justificando-se com argumentos físicos e explorando o seu conteúdo com exemplos.

Quanto à Segunda Lei de Newton, os alunos deverão trabalhar tanto no sistema de eixos fixo (componentes cartesianas) como no sistema de eixos ligado à partícula (componentes normal e tangencial). O professor deverá clarificar que as expressões "resultante das forças" ou "força resultante" são equivalentes. Deverá também enfatizar que a resultante das forças segundo a direcção tangencial ("força tangencial") é responsável pela variação do módulo da velocidade, e a resultante das forças segundo a direcção normal ("força normal ou centrípeta") é responsável pela variação da direcção da velocidade. Os alunos possuem, por vezes, a concepção de que a "força centrípeta" é mais uma força que actua num corpo quando este descreve um movimento, por exemplo, circular. Por isso o

professor deverá dar ênfase ao facto de que tanto a "força tangencial" como a "força normal ou centrípeta" não são novas forças aplicadas, mas apenas nomes que se dão às componentes da força resultante segundo as direcções tangencial e normal, respectivamente. O professor deverá mostrar, com exemplos concretos, que a escolha de um sistema de eixos, fixo ou ligado (coordenadas tangencial e normal), na aplicação da Segunda Lei de Newton, se baseia apenas num critério de simplicidade: as coordenadas tangencial e normal são particularmente úteis no estudo de movimentos curvilíneos, nomeadamente os circulares, quando as forças variam constantemente de direcção. Não se pretende que se abordem aqui exaustivamente exemplos de aplicação, trata-se apenas de uma primeira abordagem. A aplicação da Segunda lei de Newton nos dois sistemas (fixo e ligado à partícula) far-se-á principalmente no item "Movimentos de corpos sujeitos a ligações", em que o aluno deverá decidir qual o sistema mais conveniente para estudar cada situação.

Rever do 11º ano os conhecimentos sobre movimento circular uniforme (período, frequência, velocidade angular e a relação $v = \omega R$) e introduzir o conceito de aceleração angular como a derivada temporal da velocidade angular. Embora se tratem de grandezas vectoriais, a relação deve ser apresentada apenas na forma $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$ e, portanto, $a_t = \alpha R$ no movimento circular.

Os alunos deverão estudar movimentos circulares não uniformes do ponto de vista cinemático e dinâmico e recordar as unidades das grandezas físicas em estudo. Utilizando a calculadora gráfica, deverão introduzir a função que descreve o comportamento da aceleração tangencial, da aceleração normal e do raio de curvatura em função do tempo e interpretar os respectivos gráficos: por exemplo, em que instante há maior variação do módulo da velocidade, ou maior variação da sua direcção ou maior raio de curvatura.

Física em acção

Interpretar situações relativas à circulação e segurança rodoviárias tais como distância de segurança entre veículos, distância de travagem, etc.

Sugestões de actividades

- Utilizando, por exemplo, o *software* "Modellus", os alunos podem visualizar simultaneamente o movimento sobre a trajectória (gráfico da trajectória) e respectivos gráficos posição-tempo, e interpretar o respectivo significado.
- Utilizando uma simulação, por exemplo no "Modellus", os alunos podem visualizar o vector aceleração e as respectivas componentes tangencial e normal num movimento circular (ou outro qualquer curvilíneo) e interpretar as variações dessas componentes.

1.2- Movimentos sob a acção de uma força resultante constante (4 aulas)

Objectivos

O aluno deve ser capaz de:

- Deduzir as equações paramétricas (em coordenadas cartesianas) de um movimento sujeito a uma força resultante constante a partir da Segunda Lei de Newton e das condições iniciais.
- Reconhecer que o movimento de uma partícula sujeita a uma força resultante constante com direcção diferente da velocidade inicial pode ser decomposto num movimento uniformemente variado na direcção da força resultante e num movimento uniforme na direcção perpendicular.
- Determinar analiticamente a equação da trajectória de uma partícula sujeita a uma força resultante constante com direcção diferente da velocidade inicial a partir das equações paramétricas.
- Identificar o movimento de um projectil como um caso particular de um movimento sob acção de uma força constante quando é desprezável a resistência do ar.
- Determinar características do movimento de um projectil a partir das suas equações paramétricas.

Indicações metodológicas

Recordar do 11º ano que a trajectória de uma partícula sujeita a uma força resultante constante depende da orientação relativa da velocidade inicial e da força. Prever o tipo de trajectória (rectilínea ou curvilínea) dessa partícula a partir da orientação relativa dos vectores velocidade inicial e força resultante. Relembrar ainda que o movimento só é rectilíneo quando a força resultante tiver a mesma direcção da velocidade inicial.

Para deduzir as equações paramétricas de um movimento sujeito a uma força resultante constante (em coordenadas cartesianas), o referencial pode ser escolhido com um eixo (y) na direcção da força e outro (x) perpendicular. A partir da Segunda Lei de Newton o aluno pode obter as duas componentes da aceleração: uma nula ($a_x = 0$) e a outra constante ($a_y = F/m$). A partir das componentes escalares da aceleração, e tendo em conta que o movimento é uniforme na direcção x e uniformemente variado na direcção y (o aluno já conhece do 11º ano as leis destes movimentos), obter as componentes escalares da velocidade e da posição, incorporando as condições iniciais.

O movimento dos projecteis deve ser considerado como uma aplicação das leis da dinâmica, não devendo ser sobrevalorizadas as expressões relativas à altura máxima, alcance, tempo de voo, etc. O aluno deve deduzi-las a partir das equações paramétricas sempre que precise dessas expressões e não memorizar as respectivas fórmulas.

A interpretação física dos conceitos de aceleração tangencial, aceleração normal e raio de curvatura deve ser também aplicada neste contexto.

Física em acção

Explicar as trajectórias de foguetes, das chispas que saltam quando se solda, etc.

A importância dos conhecimentos de física no desporto de alta competição é indiscutível. Interpretar movimentos como o de um saltador de esqui, o de um dardo, etc.

Sugestões de actividades

- Filmar o lançamento de uma bola sobre um fundo quadriculado e visualizar o filme. Pode usar-se uma câmara digital (já existe em várias escolas). O registo do movimento em filme permite extrair dados da posição da bola em função do tempo. Estes dados podem ser inseridos numa folha de cálculo (como o Excel) ou numa calculadora gráfica, o que permite traçar os gráficos das componentes escalares da posição em função do tempo, determinando funções posição-tempo por ajuste aos dados experimentais. Este estudo permite também, e como revisão do 11º ano, medir a aceleração da gravidade.
- Visualizar e interpretar trajectórias de projecteis no programa "Modellus", gráficos representativos dos seus movimentos em cada eixo, variações das componentes tangencial e normal com o tempo, bem como variações do raio de curvatura.

1.3 Movimentos de corpos sujeitos a ligações (6 aulas)

Objectivos

O aluno deve ser capaz de:

- Identificar forças de ligação como responsáveis por restrições ao movimento.
- Distinguir as forças aplicadas das forças de ligação em sistemas simples.
- Identificar forças de atrito como forças de ligação.
- Reconhecer que as forças de atrito entre sólidos tendem a opor-se à tendência de deslizamento entre as superfícies em contacto.
- Distinguir atrito cinético de atrito estático.
- Analisar situações em que o sentido da força de atrito coincide ou não com o sentido do movimento do centro de massa do corpo e interpretá-las.

- Reconhecer que as forças de atrito entre sólidos dependem dos materiais em contacto mas não da área (aparente) das superfícies de contacto.
- Interpretar e aplicar as leis empíricas para as forças de atrito estático e cinético.
- Reconhecer que, em geral, o coeficiente de atrito cinético é inferior ao estático.
- Analisar movimentos de corpos sujeitos a ligações do ponto de vista energético e através da Segunda Lei de Newton.

Indicações metodológicas

Um corpo sobre uma mesa ou sobre um plano inclinado, ou um corpo ligado a um fio, podem ser apresentados como exemplos simples da existência de forças de ligação. O que caracteriza as forças de ligação, que muitas vezes são desconhecidas *a priori*, é a restrição que impõem ao movimento do corpo onde estão aplicadas. Assim, a força normal sobre um corpo ou a tensão de um fio dependem da cinemática do corpo, quer dizer, não há uma expressão para N ou para T ! Deve chamar-se a atenção dos alunos para o facto de, em muitas situações, o valor destas forças de ligação não ser parte do enunciado de um problema de mecânica, mas sim da sua solução.

Dos 10º e 11º anos os alunos conhecem a força de tensão, a força normal e a força de atrito entre sólidos e de um sólido no seio de um fluido. Far-se-á agora a distinção entre forças de atrito estático e cinético entre sólidos. O professor deve apresentar situações aos alunos para eles identificarem o sentido da força de atrito, em situações estáticas ou de movimento. Dar exemplos de situações em que a força de atrito tem o sentido do movimento do centro de massa, opondo-se sempre, contudo, à tendência de deslizamento entre as superfícies em contacto (por exemplo, pessoa a caminhar; não abordar situações de rolamento); realçar que, apesar de haver movimento do centro de massa, o atrito é estático porque não há deslizamento entre as superfícies. A expressão $F_e \leq \mu_e N$ deverá ser obtida por via experimental, destacando-se o facto de haver uma força de atrito estática máxima. A representação gráfica da expressão anterior ajuda a compreendê-la melhor, pois por vezes prevalece a ideia que a força de atrito estática é igual ao produto $\mu_e N$. Para o caso do atrito cinético, apresentar a expressão $F_c = \mu_c N$ como uma lei empírica. Devem apresentar-se problemas, predominantemente de índole conceptual, para avaliar a aprendizagem destes conceitos. Relembrar, do 11º ano, que um sólido que se move no seio de um fluido também está sujeito a forças de resistência ao movimento. Este estudo será feito na secção 4 desta unidade.

Resolver questões sobre movimentos de corpos em trajectórias rectilíneas e circulares que permitam pôr em evidência aspectos de índole conceptual e que possam ser abordadas por considerações energéticas e através da Segunda Lei de Newton. Para isso, rever do 10º ano a definição de trabalho de uma força constante, o teorema da energia cinética, as noções de força conservativa e não conservativa

e a Lei da conservação da energia mecânica (recordar que a energia mecânica não se conserva quando actuam sobre a partícula forças não conservativas que realizam trabalho).

Física em acção

Interpretar movimentos que se observam nos parques de diversões e respectivos parâmetros de segurança: montanha russa, roda gigante, "poço da morte", etc.

Explicar por que as curvas das estradas devem ter *relevé*.

Trabalhos laboratoriais

- TL I.1 - Máquina de Atwood
- TL I.2 - Atrito estático e cinético

Sugestão de actividade

- Utilizar uma calha circular, tipo montanha russa (*looping*), para discutir o movimento de um corpo com base em considerações energéticas.
- Explorar simulações para interpretar o efeito do atrito sobre os corpos.

2. Movimentos oscilatórios

(Total 4 aulas)

Objectivos

O aluno deverá ser capaz de:

- Reconhecer a periodicidade em movimentos oscilatórios e caracterizá-la pelo período ou pela frequência.
- Identificar um movimento harmónico simples (MHS) com o movimento oscilatório de um corpo sujeito a uma força elástica.
- Descrever o comportamento da força elástica através da Lei de Hooke.
- Reconhecer a expressão $x = A \sin(\omega t + \varphi)$ como solução da equação fundamental da dinâmica para o MHS e interpretar o seu significado.
- Relacionar a frequência angular com a constante elástica e com a massa do oscilador no MHS.
- Distinguir um parâmetro intrínseco do oscilador (frequência angular) das grandezas que dependem das condições iniciais do movimento (amplitude e fase inicial).
- Obter a velocidade por derivação da posição e a aceleração por derivação da velocidade.
- Relacionar a fase na origem com a posição e a velocidade iniciais do oscilador.

- Interpretar gráficos de elongação, velocidade e aceleração em função do tempo.
- Determinar velocidades e acelerações no movimento harmônico simples.
- Interpretar a variação da energia potencial e da energia cinética de um MHS com o tempo e com a elongação.
- Analisar o movimento harmônico simples com base na conservação da energia mecânica.
- Reconhecer que a amplitude dos osciladores reais diminui com o tempo, ou seja, estão sujeitos a amortecimento.
- Reconhecer que o pêndulo gravítico, para pequenas oscilações, é um exemplo de MHS.
- Relacionar o período de oscilação de um pêndulo gravítico com o seu comprimento e com a aceleração da gravidade.

Indicações metodológicas

Definir o movimento harmônico simples (MHS) como o de um corpo sujeito a uma força elástica e introduzir a Lei de Hooke ($F = -kx$). Escrever a Segunda Lei de Newton como $m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx$ e apresentar a expressão $x = A \sin(\omega t + \varphi)$ como solução da equação anterior. Os alunos já conhecem, do 11º ano, o movimento com dependência temporal sinusoidal e, portanto, conceitos como período, frequência, frequência angular e amplitude de oscilação devem ser-lhes familiares. Também na disciplina de Matemática do 11º ano aprenderam funções sinusoidais. Ao verificar que a função sinusoidal é solução da equação fundamental da dinâmica, obtém-se a relação $\omega = \sqrt{k/m}$.

O movimento de oscilação de um corpo ligado a uma mola pode ser demonstrado experimentalmente para toda a turma, utilizando-se um sensor de posição (sonar) ligado a uma interface de aquisição de dados ou a uma calculadora gráfica. Podem assim obter-se, em tempo real, os gráficos das grandezas cinemáticas em função do tempo e também da força, com um sensor de força, podendo então mostrar-se que a elongação e a força estão em oposição de fase e que a velocidade e a força estão desfasadas de $\pi/2$. Caso a escola não possua mesa de ar ou uma calha de atrito reduzido, o estudo pode ser realizado com um corpo suspenso de uma mola.

O aluno deverá obter as expressões da energia cinética e da energia potencial em função do tempo e concluir que a energia mecânica se conserva. Esta interpretação poderá ser reforçada através da representação gráfica na calculadora das três funções para um dado oscilador. Deverá também obter as expressões dessas energias em função da posição e interpretar as respectivas variações, assim como discutir as contribuições da energia cinética e da energia potencial para a energia total no ponto de equilíbrio e nos pontos de retorno.

O professor deve realçar que qualquer corpo sujeito a uma força do tipo elástica (proporcional ao deslocamento) executa oscilações semelhantes à do corpo ligado à mola e explorar exemplos de sistemas oscilantes. Em particular, estudar o caso do pêndulo gravítico para pequenas oscilações, deduzindo o seu período de oscilação.

Abordar as oscilações amortecidas de forma qualitativa (referir apenas a diminuição da amplitude das oscilações com o tempo), através de exemplos.

Física em acção

Será que nas estações espaciais os astronautas podem medir a sua massa como se faz na Terra? De facto os astronautas utilizam um aparelho chamado "dispositivo de medida de massa do corpo" (*body mass measurement device, BMMD*). Interpretar o seu modo de funcionamento.

Desenvolver um trabalho sobre a física do *bungee-jumping*.

Trabalhos laboratoriais

- TL I.3 - Pêndulo gravítico

3. Centro de massa e momento linear de sistemas de partículas

(Total: 5 aulas)

Objectivos

O aluno deverá ser capaz de:

- Identificar o limite de aplicabilidade do modelo da partícula.
- Distinguir, em sistemas discretos de partículas, aqueles que mantêm as suas posições relativas (corpos rígidos).
- Definir centro de massa de um sistema de partículas.
- Identificar o centro de massa de um corpo rígido em objectos com formas geométricas de elevada simetria.
- Determinar analiticamente o centro de massa de um sistema de partículas.
- Determinar experimentalmente o centro de massa de placas.
- Caracterizar a aceleração e velocidade do centro de massa conhecida a sua posição em função do tempo.
- Calcular o momento linear de uma partícula e de um sistema de partículas.
- Relacionar a resultante das forças sobre um sistema de partículas com a derivada temporal do momento linear do sistema (Segunda Lei de Newton para um sistema de partículas).

- Concluir que o momento linear de um sistema de partículas se mantém constante quando a resultante das forças exteriores for nula.
- Explicar situações do dia-a-dia com base na Lei da conservação do momento linear.
- Classificar as colisões em elásticas, inelásticas e perfeitamente inelásticas, atendendo à variação da energia cinética na colisão.
- Interpretar e aplicar o conceito de coeficiente de restituição.

Indicações metodológicas

Para introduzir o conceito de centro de massa de um sistema de partículas, deverá ser lembrado do 10º ano os limites de aplicabilidade do modelo da partícula, reflectindo-se sobre o uso de modelos na representação física da realidade. O aluno já traz, do 10º ano, a noção de centro de massa como um ponto representativo do sistema a que se atribui a massa do sistema e onde se considera aplicada a resultante das forças que actuam sobre ele. Agora, será apresentada formalmente a expressão da posição do centro de massa, devendo ser salientado o significado de média, ponderada pelas massas, dos vectores posição de cada partícula do sistema.

Para a determinação experimental do centro de massa de placas, os alunos devem usar placas uniformes e de espessura reduzida e utilizar o método da suspensão.

Resolver exercícios e problemas sobre a determinação analítica do centro de massa de sistemas discretos de partículas ou de sistemas contínuos com elevada simetria.

Deduzir, por derivação do vector posição do centro de massa, a velocidade do centro de massa, \vec{V}_{CM} . Introduzir o conceito de momento linear de uma partícula e identificar o momento linear de um sistema como a soma dos momentos lineares das suas partículas constituintes e concluir que ele é igual a $M \vec{V}_{CM}$.

Mostrar que, por derivação da velocidade do centro de massa, se chega à Lei fundamental da dinâmica para o sistema de partículas. Invocar a Terceira Lei de Newton para concluir que as forças interiores do sistema se anulam, sendo a resultante das forças igual à resultante das forças exteriores.

Referir que a forma $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ é equivalente a $\vec{F} = M \vec{a}_{CM}$. Enfatizar que as forças interiores não contribuem para a variação do momento linear do sistema e que a expressão $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$, em que \vec{F} é a resultante das forças exteriores, valida a definição de centro de massa introduzida no 10º ano.

Atendendo à expressão $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$, e dado que numa colisão a resultante das forças exteriores é nula (ou desprezável se o intervalo de tempo que dura a colisão for muito pequeno), concluir que há conservação do momento linear do sistema de corpos que colidem.

O aluno deverá trabalhar situações em que haja conservação do momento linear e analisar a variação de energia cinética em colisões a duas dimensões (colisões elásticas e inelásticas). Deverão ser discutidos com os alunos exemplos em que há conservação do momento linear e que não sejam colisões, para não criar a ideia que tal Lei só tem aplicação em colisões.

A actividade da "bola saltitona", do 10.º ano, deve ser revisitada, numa demonstração para toda a turma. Os alunos devem analisar os dados recolhidos por um sensor de posição durante a queda e ressalto da bola e determinar o valor médio da força exercida sobre ela na primeira colisão (aplicando a relação $\Delta \vec{p} = \vec{F} \Delta t$), assim como o coeficiente de restituição do par de materiais em colisão, dando significado físico aos valores obtidos.

Física em acção

Interpretar o modo de funcionamento da propulsão a reacção utilizada nos aviões a jacto.

Interpretar o efeito dos *air-bags*, a utilização de colchões nos saltos em altura ou à vara dos desportistas, a utilização de pneus velhos nas partes laterais das pistas de corridas de automóveis e o facto de os ginastas flectirem as pernas quando caem.

Trabalho laboratorial

- TL I.4 - Colisões

4. Mecânica de fluidos

(Total: 8 aulas)

4.1 Hidrostática (4 aulas)

Objectivos

O aluno deverá ser capaz de:

- Identificar e caracterizar fluidos.
- Interpretar e aplicar os conceitos de massa volúmica e densidade relativa.
- Reconhecer que num fluido incompressível a massa volúmica é constante.
- Interpretar e aplicar o conceito de pressão.
- Identificar unidades de pressão.
- Distinguir pressão média de força de pressão.
- Reconhecer que a pressão num fluido depende da profundidade.

- Caracterizar a força de pressão exercida sobre uma superfície colocada no interior de um líquido em equilíbrio.
- Caracterizar o equilíbrio hidrostático.
- Enunciar e interpretar a Lei fundamental da hidrostática.
- Utilizar e explicar o funcionamento de medidores de pressão como os manómetros e os barómetros.
- Interpretar e aplicar a Lei de Pascal.
- Interpretar o funcionamento de uma prensa hidráulica.
- Definir impulsão exercida sobre um corpo imerso num fluido.
- Interpretar e aplicar a Lei de Arquimedes.
- Identificar as condições de equilíbrio estático de um corpo flutuante.

Indicações metodológicas

Recordar do 10º ano a noção de massa volúmica. Introduzir a pressão como o módulo da força perpendicular a uma superfície por unidade de área, enfatizando que se trata de uma grandeza escalar (embora se defina a partir de uma força). Se existir uma cápsula manométrica, verificar experimentalmente a independência da pressão com a direcção e a sua dependência com a profundidade.

Deduzir a Lei fundamental da hidrostática para um líquido homogéneo, em equilíbrio.

Referir a pressão atmosférica como exemplo de pressão exercida por um fluido e explicar o funcionamento do barómetro de Torricelli e de manómetros em U.

Atendendo à existência de várias unidades de pressão de uso corrente, os alunos devem familiarizar-se com estas unidades e relacioná-las com a unidade SI.

Enunciar a Lei de Pascal a partir de situações reais. Mostrar que esta Lei está incluída na Lei fundamental da hidrostática e interpretar aplicações práticas como a prensa hidráulica. Enunciar a Lei de Arquimedes e verificá-la experimentalmente, e discutir as condições de equilíbrio estático de um corpo flutuante, tendo em conta aprendizagens anteriores.

Física em acção

Explicar a flutuabilidade dos barcos e as manobras a levar a cabo para fazer submergir ou emergir um submarino.

Sugestões de actividades

- Procurar e interpretar simulações computacionais sobre o ludião. Construir esse brinquedo.

4.2- Hidrodinâmica (4 aulas)

Objectivos

O aluno deverá ser capaz de:

- Identificar regime estacionário como aquele em que o vector velocidade do fluido em cada ponto é constante ao longo do tempo.
- Identificar linha de corrente que passa num ponto com a trajectória de uma partícula do fluido que passa nesse ponto.
- Reconhecer que duas linhas de corrente não se cruzam em nenhum ponto.
- Identificar as linhas de corrente como as linhas de um campo de velocidades.
- Interpretar o significado de caudal.
- Interpretar e aplicar a equação de continuidade.
- Interpretar a equação de Bernoulli.
- Explicar situações do dia-a-dia com base na equação de Bernoulli.
- Interpretar a dependência da força de resistência com a velocidade de um corpo no seio de um fluido.
- Reconhecer a existência de maior ou menor viscosidade num fluido.

Indicações metodológicas

Os alunos adquiriram no 11º ano a noção de campo vectorial e conhecem a sua representação por meio de linhas de campo. As linhas de corrente podem ser apresentadas como linhas do campo de velocidades.

Chamar a atenção para o facto de que a equação (ou Lei) de Bernoulli contém a Lei fundamental da hidrostática. Apresentar aos alunos situações do dia-a-dia que possam ser explicadas usando a Lei de Bernoulli. Por exemplo, demonstrar o efeito de sustentação de uma bola de ping-pong num jacto de ar, produzido por um secador de cabelo ou num funil invertido onde se sopra.

Relembrar do 11º ano o movimento do pára-quedista e explorar exemplos do dia-a-dia em que seja notória a força de resistência em fluidos. Indicar que a força de resistência em fluidos é proporcional ao módulo da velocidade do corpo para baixas velocidades e que, para altas velocidades, a dependência é com o quadrado da velocidade. Introduzir o conceito de viscosidade, dando exemplos que evidenciem que a força de resistência também depende da viscosidade.

Física em acção

Explicar, com base na Lei de Bernoulli, o funcionamento de chaminés, a sustentabilidade dos aviões e a circulação sanguínea.

Trabalho laboratorial

TL I.5 – Coeficiente de viscosidade de um líquido

Sugestões de actividades

- Verificar que a pressão de um líquido é maior nos pontos de maior secção de um cano horizontal e mais reduzida nos estrangulamentos (princípio do medidor de Venturi).
- Observar que a velocidade de saída de um líquido contido num recipiente varia com a altura do orifício de saída.
- Utilizar simulações para visualização dos efeitos da força de resistência em fluidos.

5. Gravitação

(4 aulas)

Objectivos

O aluno deverá ser capaz de:

- Enunciar e interpretar as Leis de Kepler.
- Interpretar e aplicar a Lei de Newton da gravitação universal.
- Reconhecer que os dados de Kepler, por si só, não permitem obter um valor para a constante de gravitação universal.
- Explicar a experiência de Cavendish.
- Caracterizar o campo gravítico e indicar a respectiva unidade SI.
- Traçar linhas de campo gravítico para uma massa pontual.
- Representar o módulo do campo gravítico, função $G(r)$, para uma só massa pontual.
- Reconhecer que o campo gravítico numa pequena zona à superfície da Terra se pode considerar uniforme.
- Distinguir peso de um corpo e força gravítica à superfície terrestre.
- Explicar situações de imponderabilidade.
- Indicar e aplicar a expressão da energia potencial gravítica.
- Obter a expressão da velocidade de escape a partir da conservação da energia mecânica.
- Aplicar a Lei da conservação da energia e a Segunda Lei de Newton ao movimento de satélites.

Indicações metodológicas

Os alunos conhecem do 11º ano a Lei da gravitação universal. São agora discutidos os passos que levaram Newton à sua formulação.

A propósito das Leis de Kepler, mencionar que elas foram formuladas na base dos registos de Tycho Brahe e, neste contexto, referir o contributo das observações astronómicas de Galileu para consolidar o modelo heliocêntrico.

Os alunos também conhecem da Unidade I (e do 11º ano) a dinâmica do movimento circular uniforme, o que torna imediata a explicação dos passos dados por Newton, partindo de $\vec{F} = m\vec{a}$ e das Leis de Kepler, para obter a Lei da gravitação universal, $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$. Indicar que a constante G é universal e relacioná-la com a constante de Kepler $K = \frac{R^3}{T^2}$. Referir que experimentalmente só se pode mostrar que a força varia com $1/r^2$. Descrever e discutir a experiência de Cavendish que permitiu medir, pela primeira vez, a massa da Terra.

A noção de campo foi introduzida no 11º ano e será agora recordada. Com base nos conhecimentos do 11º ano sobre linhas de campo, obter as linhas de campo gravítico produzido por uma só massa e a expressão do campo gravítico $\vec{G}(\vec{r})$.

Discutir que peso e força gravítica são muitas vezes apresentadas como uma mesma força, o que é legítimo em numerosas situações. Tendo em conta o movimento circular uniforme de rotação da Terra, os alunos devem concluir que a resultante das forças que actuam num corpo em repouso à sua superfície (força gravítica e reacção do suporte) é centrípeta. O peso é a força que anula a força de reacção. A força gravítica pode ser decomposta no peso e na referida força centrípeta; discutir também as variações destas forças com a latitude. O significado intuitivo de peso remete, no entanto, para a força que um corpo exerce no suporte. Nesta acepção operacional de peso, reconhecer que uma situação de imponderabilidade é aquela em que não há força sobre o suporte, embora haja força gravítica. Explorar situações de imponderabilidade.

Relativamente à expressão da energia potencial gravítica, $E_p = -GMm/r$, não se devem utilizar métodos que, por vezes, são invocados para a "dedução" daquela expressão, como o recurso à média geométrica do campo. A expressão deve simplesmente ser apresentada, justificando a sua plausibilidade com argumentos físicos. Indicar que a expressão $E_p = mgh$ se obtém a partir da expressão geral da energia potencial gravítica $E_p = -GMm/r$ para regiões em que o campo gravítico se pode considerar constante. O aluno deve reconhecer em que situações pode aplicar a expressão

$E_p = mgh$ e reconhecer que a expressão habitual da energia potencial gravítica pressupõe a escolha $E_p = 0$ a uma distância infinita.

O aluno deve recordar, do 10º ano, que as forças gravíticas são conservativas e, por isso, pode aplicar-se a conservação da energia mecânica no campo gravítico. Expressões como a da velocidade orbital e da velocidade de escape não devem ser memorizadas mas deduzidas partindo das Leis de Newton ou da Lei da conservação da energia mecânica no campo gravítico.

Física em acção

Explicar o lançamento e as trajectórias de satélites.

Relacionar as marés com a Lei da gravitação universal e explicá-las qualitativamente.

Explicar a existência ou não de atmosfera nos planetas com base na velocidade de escape.

Sugestões de actividades

- Analisar tabelas com dados astronómicos relativos a movimentos de planetas e algumas das suas características como a velocidade de escape.
- Explorar simulações de movimentos planetários (por exemplo, o programa Kepler do "Softciências") e interpretar as observações feitas.

Trabalhos laboratoriais

TL I.1 – Máquina de Atwood

A máquina de Atwood - sistema de corpos ligados - teve grande importância no estudo da cinemática pois permitia obter movimentos com aceleração constante cujo valor podia variar continuamente entre 0 e g . Este dispositivo pode ser visto como uma "máquina de dilatação do tempo" pois com ela os graves continuam a cair, mas tão lentamente quanto se queira...

Pretende-se que os alunos investiguem de que modo se podem obter acelerações muito pequenas (próximas de 0) ou muito grandes (próximas de g), fazendo variar a massa dos corpos em movimento.

Objectivos

- . Identificar as forças que actuam sobre um sistema de corpos ligados por um fio.
- . Identificar as situações em que a massa do fio e da roldana são desprezáveis.
- . Reconhecer que o movimento do sistema é uniformemente variado.
- . Relacionar a velocidade e a aceleração dos corpos ligados.
- . Aplicar a Segunda Lei de Newton ao sistema de corpos ligados.
- . Relacionar a aceleração do sistema de corpos ligados com a massa total do sistema e com a diferença entre as massas dos dois corpos.
- . Aplicar a Lei de conservação de energia a um sistema de corpos ligados.

Material e equipamento (por grupo de trabalho)

- . calculadora gráfica ou computador e *software* de aquisição de dados
- . interface de aquisição de dados
- . roldana com fotosensor
(em alternativa a um sistema automático de aquisição de dados, usar uma roldana vulgar, um cronómetro e fita métrica)
- . fio inextensível
- . massas marcadas (100 g, 50 g, 20 g, 10 g, 5 g).

Sugestões de realização e de avaliação

Pretende-se que os alunos desenvolvam uma actividade de investigação e, por isso, o procedimento deve ser concebido pelos alunos face ao problema colocado. Dois corpos, de massas diferentes, são

ligados por um fio de massa desprezável que passa na gola de uma roldana com muito pouco atrito. Variando as massas dos corpos, de tal modo que se mantenha constante

- . a massa total do sistema (1ª experiência)
- . a diferença entre as massas (2ª experiência),

verificar-se-á a relação entre a aceleração, a massa total e a diferença de massas dos corpos ligados na máquina de Atwood. Para medir a aceleração, e caso não esteja disponível um sistema automático de aquisição de dados, pode medir-se, com um vulgar cronómetro, o tempo que o conjunto das massas demora a percorrer uma certa distância (medida com uma fita métrica). A partir da lei do movimento uniformemente variado, determinar a aceleração (fazer três medições para cada caso e determinar a sua média aritmética para minimizar incertezas experimentais).

Os alunos deverão:

- . Fazer previsões teóricas face ao problema em estudo.
- . Conceber um procedimento experimental.
- . Apresentar em tabela os dados recolhidos.
- . Elaborar e interpretar gráficos que permitam dar resposta ao problema.
- . Analisar os resultados obtidos e confrontá-los com previsões teóricas, apresentando possíveis justificações para eventuais diferenças.
- . Calcular variações de energia mecânica do sistema e confrontá-las com previsões teóricas apresentando explicações para eventuais diferenças.
- . Confrontar resultados com os de outros grupos de alunos e sistematizar conclusões.

TL I.2 - ATRITO ESTÁTICO E CINÉTICO

Por que será mais fácil empurrar um caixote depois de ele entrar em movimento do que quando está parado? Esta é uma questão que poderá servir para introduzir o estudo experimental das forças de atrito estático e cinético.

No 10º ano de escolaridade os alunos já realizaram um trabalho laboratorial onde determinaram a força de atrito cinético. Pretende-se, agora, que estudem mais aprofundadamente quer as forças de atrito cinético quer estático, determinando os factores de que dependem e relacionando entre si os coeficientes de atrito estático e cinético.

Objectivos

- . Identificar as forças que actuam num corpo, quer quando ele é solicitado a mover-se mas continua em repouso, quer após entrar em movimento.

- . Relacionar as forças de atrito estático e cinético com:
 - a força de compressão entre o corpo e a superfície de apoio, para o mesmo par de superfícies em contacto;
 - a área (aparente) da superfície de contacto, para o mesmo corpo e material da superfície de apoio;
 - os materiais das superfícies em contacto, para o mesmo corpo e área das superfícies de contacto.
- . Verificar, experimentalmente, que o coeficiente de atrito cinético é inferior ao estático.

Material e equipamento (por grupo de trabalho)

- . blocos paralelepípedicos com faces revestidas de diferentes materiais, e com o mesmo revestimento em faces de áreas diferentes
- . massas marcadas (ou copos com areia fina, caso seja necessário)
- . roldana com pouco atrito
- . suporte para colocação das massas marcadas
- . fita métrica
- . cronómetro
- em alternativa
- . sensor de movimento ou fotosensores ligado a um sistema de aquisição de dados (calculadora gráfica ou computador).

Sugestões de realização e de avaliação

Pretende-se que os alunos desenvolvam um trabalho semi-orientado e, por isso, o procedimento deve ser concebido pelos alunos, face aos objectivos do trabalho e material apresentado pelo professor. Este, por sua vez, deverá dar aos alunos as várias alternativas de montagem experimental (ver sugestões à frente), de modo a haver uma maior validação das conclusões.

Atrito estático

Coloca-se num plano horizontal o corpo em estudo (bloco), ligado por um fio, que passa numa roldana com pouco atrito, a um suporte suspenso, preso na outra extremidade do fio, onde vão sendo colocadas massas marcadas. Determina-se o valor da massa suspensa para as condições de iminência de movimento, fazendo variar:

- a massa do corpo, colocando sobrecargas sobre ele,
- a área da superfície de contacto,
- o material das superfícies em contacto,

mantendo constantes as outras variáveis. Outra possibilidade é puxar o bloco com um sensor de força e determinar a força mínima que põe o bloco em movimento.

Em alternativa, pode determinar-se o coeficiente de atrito estático a partir do ângulo de escorregamento do bloco num plano inclinado.

Atrito cinético

Com um dispositivo semelhante, medir a aceleração do bloco quando ele está em movimento, usando fita métrica e cronómetro, sensor de posição ou fotosensores. A partir da aceleração medida, determinar o coeficiente de atrito cinético.

Os alunos deverão:

- . Fazer previsões teóricas face ao problema em estudo.
- . Conceber procedimentos experimentais face ao material que lhes é apresentado.
- . Apresentar tabelas com os dados adquiridos.
- . Elaborar e interpretar gráficos que permitam estabelecer relações entre as variáveis.
- . Determinar coeficientes de atrito.
- . Comparar os coeficientes de atrito estático e cinético.
- . Comparar e analisar os resultados obtidos com as leis conhecidas para o atrito.
- . Justificar por que é mais fácil manter um corpo em movimento do que retirá-lo do repouso.

TL I.3 – PÊNULO GRAVÍTICO

Durante muitos anos o pêndulo foi o "coração" dos relógios. Foi Galileu quem começou por estudar o pêndulo, imaginando-o como um possível relógio. Nesta actividade estuda-se o movimento do pêndulo simples, analisam-se as características que o tornam um bom instrumento para medir o tempo e, indirectamente, a aceleração da gravidade. Mas servirá o relógio de pêndulo da mesma maneira na Terra e na Lua?

Objectivos

- . Identificar as forças que actuam no pêndulo gravítico.
- . Identificar as componentes normal e tangencial da força resultante, bem como as expressões das respectivas componentes normal e tangencial da aceleração.
- . Identificar o movimento de um pêndulo com oscilações de pequena amplitude como um movimento harmónico simples.
- . Concluir que o período do movimento de um pêndulo depende da amplitude de oscilação mas é praticamente independente desta se ela for pequena.
- . Estabelecer uma relação entre o período do movimento de um pêndulo e o seu comprimento em oscilações de pequena amplitude.

- . Concluir que o período de um pêndulo com oscilações de pequena amplitude é independente da sua massa.
- . Expressar o período de um pêndulo com oscilações de pequena amplitude em função da aceleração da gravidade e do comprimento do fio.
- . Determinar experimentalmente a aceleração da gravidade.

Material e equipamento (por grupo de trabalho)

- . esfera metálica
- . fio
- . craveira
- . fita métrica
- . cronómetro mecânico ou cronómetro digital associado a um fotosensor.

Sugestões de realização e de avaliação

Pretende-se que os alunos executem um trabalho laboratorial orientado por algumas indicações de procedimento tendo em vista os objectivos indicados.

Um corpo, pendurado de um fio, é posto a oscilar. Os alunos devem verificar que o período do movimento depende da amplitude mas que se mantém praticamente constante para oscilações de pequena amplitude ($\alpha < 10^\circ$). O período pode medir-se a partir do tempo de 10 oscilações com um cronómetro, ou, em alternativa, usando um fotosensor ligado a um cronómetro digital, calculadora gráfica ou computador. Em seguida, e para pequenas oscilações, os alunos devem concluir que o período não depende da massa do pêndulo mas depende do seu comprimento. Fazendo a representação gráfica do período em função do comprimento, verificam que não há uma relação linear. A expressão

$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ sugere que o quadrado do período varia linearmente com o comprimento l . Assim, a

representação gráfica de T^2 em função de l permite determinar g a partir do declive da recta que melhor se ajusta aos dados experimentais.

Os alunos deverão:

- . Fazer previsões teóricas face ao problema em estudo.
- . Apresentar tabelas com os dados adquiridos.
- . Retirar conclusões a partir dos dados da tabela.
- . Elaborar e interpretar o gráfico que relaciona o período com o comprimento do pêndulo.

- . Decidir qual o gráfico que lineariza a curva que estabelece a relação entre o período e o comprimento do pêndulo e determinar, por regressão linear, a equação da recta de ajuste.
- . Determinar o valor de g .
- . Comparar o valor de g determinado experimentalmente com o valor teórico, calcular a respectiva incerteza percentual e discutir a exactidão do resultado.
- . Dar resposta às questões: "Servirá o relógio de pêndulo da mesma maneira na Terra e na Lua?"; "Que acontecerá a um relógio de pêndulo, cujo fio seja metálico, num dia de muito calor?" .

TL I.4 – COLISÕES

As colisões estão presentes no dia-a-dia e em todas as escalas espaciais: as estrelas e as galáxias podem chocar, assim como as partículas elementares nos aceleradores de partículas. É, aliás, do resultado destas colisões que extraímos grande parte da informação sobre os constituintes da matéria. Nas colisões há conservação do momento linear. Pretende-se com este trabalho que o aluno verifique experimentalmente a conservação do momento linear em colisões, a variação de energia cinética em colisões inelásticas e determine um coeficiente de restituição.

Objectivos

- . Distinguir colisões elásticas, inelásticas e perfeitamente inelásticas.
- . Identificar as forças que actuam nos corpos antes, durante e após a colisão.
- . Aplicar a Terceira Lei de Newton ao sistema durante a colisão.
- . Reconhecer que o momento linear de um sistema de dois corpos se mantém constante quando a resultante das forças exteriores é nula.
- . Reconhecer que há variação da energia cinética numa colisão perfeitamente inelástica.
- . Calcular o coeficiente de restituição numa colisão.

Material e equipamento (por grupo de trabalho)

- . 2 carrinhos com rodas com pouco atrito
- . calha ou calha de ar
- . 2 células fotoelétricas ou 2 sensores de posição (sonar)
- . relógio digital (ou computador ou calculadora gráfica e respectivo *software*).

Sugestões de realização e de avaliação

Pretende-se que os alunos concebam, na primeira parte do trabalho laboratorial, um procedimento que permita verificar a conservação do momento linear e medir a variação da energia cinética do sistema na

colisão. Numa segunda parte, conducente à determinação do coeficiente de restituição, deve ser sugerido um procedimento ao aluno.

1ª parte

Um carrinho, colocado sobre uma calha na horizontal, passa por uma primeira célula fotoelétrica, indo colidir com outro, parado entre a primeira célula e uma segunda célula fotoelétrica, numa colisão perfeitamente inelástica. Determina-se o momento linear do sistema antes e após a colisão e a energia cinética do sistema antes e após a colisão. Verificar se há ou não conservação das grandezas referidas quando se faz variar a massa dos carrinhos.

2ª parte

Com a calha na horizontal, lança-se um carrinho com uma ponteira elástica (ou magnete), que vai chocar com a extremidade da calha onde se colocou também uma ponteira elástica (ou magnete). Com uma célula fotoelétrica pode medir-se a velocidade antes e após a colisão. Faz-se a experiência para vários lançamentos, de modo a construir um gráfico que relacione essas duas velocidades e permita calcular o coeficiente de restituição.

Os alunos deverão:

- . Apresentar tabelas com os dados adquiridos.
- . Analisar a relação entre as energias cinéticas, antes e após a colisão, e entre os momentos lineares, antes e após a colisão.
- . Confrontar os resultados experimentais com os previstos teoricamente e interpretar eventuais discrepâncias.
- . Elaborar e interpretar o gráfico que relaciona as velocidades antes e após a colisão e determinar, por regressão linear, a equação da recta de ajuste.
- . Determinar o coeficiente de restituição.

TL I.5 - COEFICIENTE DE VISCOSIDADE DE UM LÍQUIDO

A viscosidade dos líquidos é uma propriedade que os pode tornar mais ou menos adequados para certos fins. Os óleos lubrificantes utilizados em automóveis, por exemplo, estão disponíveis com várias viscosidades e a escolha do óleo mais adequado depende das temperaturas habituais do local onde o veículo circula. Neste trabalho determina-se o coeficiente de viscosidade de um líquido, a partir da velocidade terminal de um corpo em queda no seu seio.

Objectivos

- . Identificar as forças que actuam num corpo que cai, sob a acção da gravidade, no seio de um fluido viscoso e aplicar a Segunda Lei de Newton.
- . Medir massas volúmicas.
- . Determinar a velocidade terminal de um corpo que cai no seio de um fluido viscoso.
- . Determinar o coeficiente de viscosidade de um líquido.

Material e equipamento (por grupo de trabalho)

- . proveta de 1 L cheia com glicerina
- . craveira
- . esferas de metal de diferentes diâmetros (p. e. de rolamentos, com diâmetros entre 2 e 3 mm)
- . cronómetro
- . balança.

Sugestões de realização e de avaliação

Pretende-se que os alunos executem um trabalho laboratorial orientado por algumas indicações de procedimento e informação sobre as expressões da força de viscosidade para corpos esféricos que se movem em fluidos.

Quando um corpo cai, com baixa velocidade, no interior de um fluido, a força de resistência ao movimento é proporcional e oposta à velocidade ($\vec{F} = -k\eta\vec{v}$). Nesta expressão k depende da forma do corpo (para uma esfera de raio r , $k = 6\pi r$) e η é o coeficiente de viscosidade do fluido. Analisando as forças que actuam sobre a esfera e aplicando a Segunda Lei de Newton, conclui-se que a velocidade terminal é dada por

$$v_t = \frac{2(\rho_m - \rho_g)g}{9\eta} r^2,$$

onde ρ_m e ρ_g são as massas volúmicas do metal e da glicerina, respectivamente.

Os alunos deverão começar por determinar experimentalmente a massa volúmica da glicerina e do metal de que são feitas as esferas. Medindo o tempo que as esferas (de raios diferentes) demoram a passar entre duas marcas na proveta, determinam-se as suas velocidades terminais. A partir do gráfico da velocidade terminal em função do quadrado do raio da esfera, determina-se o coeficiente de viscosidade da glicerina. Deverá medir-se a temperatura da glicerina para, posteriormente, se poder comparar o valor determinado com valores tabelados.

Sugestões úteis

Em substituição da glicerina, pode ser usado um detergente líquido viscoso (detergente da loiça). A glicerina é higroscópica e a sua viscosidade diminui com o teor de água incorporada. O diâmetro da proveta utilizada na experiência deve ser muito superior ao das esferas, caso contrário o coeficiente de viscosidade virá afectada por um erro resultante do diâmetro finito do tubo (a lei de Stokes assume uma extensão infinita do fluido).

Os alunos deverão:

- . Deduzir a expressão da velocidade terminal a partir da Segunda Lei de Newton.
- . Determinar experimentalmente os valores das massas volúmicas do fluido e das esferas utilizadas.
- . Determinar a velocidade terminal e apresentar tabelas com os dados adquiridos.
- . Justificar a escolha da posição das marcas na proveta para determinação da velocidade terminal.
- . Verificar qual o raio mais adequado das esferas para se atingir mais rapidamente a velocidade terminal e dar uma explicação para o facto.
- . Decidir qual o gráfico que lineariza a relação entre a velocidade terminal e o raio das esferas.
- . Elaborar o gráfico da velocidade terminal em função do quadrado do raio das esferas e determinar, por regressão linear, a equação da recta de ajuste.
- . Determinar o valor do coeficiente de viscosidade e compará-lo com o determinado pelos outros grupos.
- . Comparar o valor obtido com coeficientes de viscosidade de outros óleos, interpretando as diferenças nos valores e fundamentando a sua escolha para a função em que cada fluido é normalmente utilizado.

UNIDADE II - ELECTRICIDADE E MAGNETISMO

Conteúdos*	Total de aulas
1. Campo e potencial eléctrico 1.1 Lei de Coulomb e campo eléctrico (5) 1.2 Energia e potencial eléctrico (5)	10
2. Circuitos eléctricos 2.1 Corrente eléctrica (2) 2.2 Trocas de energia num circuito eléctrico (2) 2.3 Equações dos circuitos eléctricos (4)	8
3. Acção de campos magnéticos sobre cargas em movimento e correntes	5
Total de aulas	23

* Número de aulas entre parêntesis

Introdução

Esta unidade inicia-se com as interacções entre cargas eléctricas (Lei de Coulomb), cuja dependência com a distância em $1/r^2$ é conhecida experimentalmente com a precisão de 1 parte em 10^{16} !

Apresentam-se noções simples de electrostática e estudam-se interacções eléctricas e magnéticas, recorrendo-se ao conceito de campo. O conceito, que foi introduzido no 11º ano e referido na unidade I a propósito das interacções gravíticas, é útil para explicar muitos fenómenos eléctricos e magnéticos. Em física, a noção de campo é unificadora na descrição das interacções.

Em analogia com a energia de interacção gravítica, apresenta-se a energia de interacção electrostática e, com base nesta, introduz-se a noção de potencial e a de condensador como um dispositivo capaz de armazenar energia electrostática.

Passa-se depois ao estudo da corrente eléctrica em regime estacionário, assunto da maior importância prática e que é aqui apresentado pela primeira vez neste ciclo de escolaridade, numa perspectiva de consolidação e desenvolvimento de conceitos já abordados anteriormente. São estudados circuitos eléctricos simples com gerador e receptor, a Lei de Ohm generalizada e as trocas de energia num circuito eléctrico. É ainda abordado, de forma breve, o regime não estacionário, estudando a carga e descarga de um condensador (circuito RC).

A unidade termina com um estudo dos fenómenos magnéticos, assunto já abordado no 11º ano e que é aqui consolidado. Estudam-se sistemas físicos onde intervêm forças eléctricas e magnéticas em simultâneo e realça-se a importância do electromagnetismo em aplicações tecnológicas.

A Lei de Ohm e o efeito de Joule, estudados em anos anteriores, aparecem enquadrados nos conteúdos desta unidade. Os alunos devem manusear frequentemente aparelhos de medida (voltímetros, amperímetros, ohmímetros, etc.) que se utilizam em numerosas actividades profissionais.

Os pré-requisitos, identificados nas orientações curriculares de anos anteriores em Ciências Físico-Naturais e Física e Química A (10º e 11º anos) são os seguintes:

- Noção de campo e linhas de campos de forças
- Forças entre cargas e entre magnetes
- Circuitos eléctricos
- Correntes induzidas.

Conteúdos (23 aulas)

1. Campo e potencial eléctrico

(Total 10 aulas)

1.1- Lei de Coulomb e campo eléctrico (5 aulas)

- Carga eléctrica e sua conservação
- Condutores e isoladores
- Electrização por contacto e por influência
- Polarização de um isolador
- Interações entre cargas e Lei de Coulomb; permitividade do vazio
- Semelhança das leis de Coulomb e da gravitação de Newton
- Campo eléctrico
- Condutor em equilíbrio electrostático
- Campo eléctrico no interior e à superfície de um condutor em equilíbrio electrostático
- Poder das pontas
- *Física em acção*

1.2- Energia e potencial eléctrico (5 aulas)

- Energia no campo eléctrico
- Potencial eléctrico
- Superfícies equipotenciais
- Energia eléctrica armazenada: condensador
- *Física em acção*

TL II.1 - Campo eléctrico e superfícies equipotenciais

TL II.2 - Capacidade de um condensador plano

2. Circuitos eléctricos

(Total 8 aulas)

2.1- Corrente eléctrica (2 aulas)

- Mecanismo de produção de corrente eléctrica
- Intensidade de corrente e diferença de potencial
- Resistência de um condutor e resistividade
- Lei de Ohm
- *Física em acção*

TL II.3 – Construção e calibração de um termómetro de fio de cobre

2.2- Trocas de energia num circuito eléctrico (2 aulas)

- Lei de Joule
- Força electromotriz e potência de um gerador
- Resistência interna de um gerador e potência útil de um gerador
- Diferença de potencial nos terminais de um gerador
- Força contraelectromotriz de um receptor
- Resistência interna de um receptor e potência útil de um receptor
- Diferença de potencial nos terminais de um receptor
- *Física em acção*

TL II.4 – Características de um gerador e de um receptor

2.3- Equações dos circuitos eléctricos (4 aulas)

- Circuito simples com gerador e receptor – Lei de Ohm generalizada
- Associação de resistências
- Carga e descarga de um circuito *RC*
- *Física em acção*

TL II.5 – Construção de um relógio logarítmico

3. Acção de campos magnéticos sobre cargas em movimento e correntes

(Total 5 aulas)

- Origens do campo magnético
- Espectros de campos magnéticos produzidos por correntes e ímanes
- Acção de campos magnéticos sobre cargas em movimento
- Acção simultânea de campos magnéticos e eléctricos sobre cargas em movimento
- Espectrómetro de massa e ciclotrão
- Experiência de Thomson e relação *e/m* do electrão
- Acção de campos magnéticos sobre correntes eléctricas
- Campo magnético terrestre
- *Física em acção*

Indicações metodológicas e de gestão

1. Campo e potencial eléctrico

(Total 10 aulas)

1.1- Interação electrostática e campo eléctrico (5 aulas)

Objectivos

O aluno deverá ser capaz de:

- Reconhecer que a carga eléctrica se conserva.
- Distinguir materiais condutores de isoladores.
- Explicar a electrização por contacto e por influência.
- Definir dipolo eléctrico.
- Explicar a formação de dipolos eléctricos em materiais isoladores.
- Reconhecer os factores de que depende a força entre duas cargas.
- Enunciar e aplicar a Lei de Coulomb.
- Reconhecer a mesma dependência das forças electrostática e gravitacional com o inverso do quadrado da distância.
- Identificar a permitividade do vazio na expressão da Lei de Coulomb e reconhecer que o seu valor é obtido por via experimental.
- Definir campo eléctrico a partir da força de Coulomb e da carga eléctrica e indicar a respectiva unidade SI.
- Interpretar e aplicar a expressão do campo eléctrico criado por uma carga pontual.
- Representar graficamente o módulo do campo eléctrico num ponto, criado por uma carga pontual, em função da distância à carga.
- Reconhecer que o campo eléctrico num ponto resulta da contribuição das várias cargas presentes.
- Determinar o campo eléctrico resultante da contribuição de várias cargas pontuais.
- Identificar um campo eléctrico uniforme.
- Indicar como se pode produzir experimentalmente um campo eléctrico uniforme.
- Prever o comportamento de um dipolo eléctrico num campo eléctrico uniforme.
- Descrever e interpretar a experiência de Millikan.
- Associar equilíbrio electrostático à ausência de movimentos orientados de cargas.
- Caracterizar a distribuição de cargas num condutor em equilíbrio electrostático.

- Caracterizar o campo eléctrico no interior e na superfície exterior de um condutor carregado em equilíbrio electrostático.
- Associar um campo eléctrico mais intenso à superfície de um condutor em equilíbrio electrostático a uma maior distribuição de carga por unidade de área.
- Explicar o "efeito das pontas".

Indicações metodológicas

Começar por introduzir o conceito de carga eléctrica e salientar que a sua conservação corresponde a uma lei de conservação com a mesma importância de outras leis de conservação como a da energia e momento linear. Rever propriedades eléctricas da matéria, fazendo a distinção entre isoladores e condutores e introduzir os mecanismos de electrização quer em condutores quer em isoladores. Realçar a importância da formação de dipolos eléctricos quer ao nível molecular quer em fenómenos do dia-a-dia.

Recordar, do 11º ano, que o campo eléctrico se manifesta pela sua acção sobre cargas eléctricas, o qual pode ser criado por cargas eléctricas e representado por linhas de campo.

Relembrar a interacção entre corpos carregados e apresentar a Lei de Coulomb. Evidenciar que as interacções electrostática e gravítica apresentam dependências espaciais iguais. Este facto levou os físicos a pensar que as forças pudessem ter origem semelhante, o que fez nascer a ideia de unificação. Muitos físicos acreditam, de facto, que todas as forças da Natureza podem ser unificadas. A propósito de unificação, deve recordar-se do 11º ano que Maxwell *unificou* a electricidade e o magnetismo, que Newton *unificou* a mecânica celeste com a mecânica na Terra e que Einstein procurou, embora sem êxito, *unificar* a gravitação com o electromagnetismo. A busca dessa unificação continua, faltando, curiosamente, unificar as duas forças que apresentam dependências espaciais semelhantes!

Os alunos já trazem do 11º ano o conceito de campo eléctrico, o qual é agora formalizado. Discutir a dependência com a distância r do campo produzido por uma carga pontual e só depois enunciar o princípio de sobreposição em electrostática que é necessário para abordar situações mais gerais de distribuições de carga. Neste caso as linhas de campo podem ser obtidas por simulações computacionais.

Recordar também do 11º ano a noção de campo uniforme e descrever e interpretar a experiência de Millikan, o que pode ser feito recorrendo a simulações computacionais (há uma dessas simulações no "Softciências"). Realçar, a propósito da experiência de Millikan, a quantização da carga eléctrica (esta referência deve ser reforçada na Unidade III).

Indicar que nos condutores (metais) alguns dos electrões estão debilmente ligados aos núcleos atómicos e podem movimentar-se com alguma facilidade no interior do sólido – são os electrões de condução ou electrões livres. Com base nesta ideia, explorar o conceito de condutor em equilíbrio

electrostático e caracterizar o campo eléctrico nestes condutores. Explorar situações do quotidiano relacionadas com condutores em equilíbrio electrostático.

Física em acção

Explicar por que razão se apanham choques ao sair dos automóveis, sobretudo em dias secos. E por que motivo, depois de um avião aterrar... tem de ser "ligado à terra"!

Explicar o fenómeno das trovoadas e a forma e funcionamento dos pára-raios.

Explicar como é que a "gaiola de Faraday" pode constituir uma blindagem electrostática.

Sugestões de actividades

- Observar "espectros" de campos eléctricos.
- Realizar uma experiência que mostre que a força electrostática varia com r^{-2} (usar, por exemplo, a balança de Coulomb).
- Usar simulações computacionais para obter linhas de campo eléctrico.
- Demonstrar experimentalmente que num condutor electricamente carregado a carga eléctrica só se distribui à superfície e que o valor do campo eléctrico é muito elevado nas regiões do espaço à volta das zonas de maior convexidade (é necessário um electrómetro).
- Demonstrar o efeito das pontas usando o torniquete eléctrico.

1.2- Energia e potencial eléctrico (5 aulas)

Objectivos

O aluno deverá ser capaz de:

- Reconhecer que as forças eléctricas são conservativas.
- Reconhecer que o potencial é uma função escalar que permite caracterizar os campos vectoriais conservativos em cada ponto.
- Indicar e aplicar a expressão da energia potencial electrostática de duas cargas pontuais.
- Definir e aplicar a expressão do potencial eléctrico criado por uma carga pontual.
- Reconhecer que o potencial eléctrico num ponto resulta da contribuição das várias cargas presentes.
- Determinar o potencial eléctrico resultante da contribuição de várias cargas pontuais.
- Relacionar o trabalho realizado por forças do campo entre dois pontos quaisquer com a diferença de potencial entre esses pontos.
- Estabelecer a relação entre o electrão-volt e o Joule.

- Definir superfícies equipotenciais e caracterizar a direcção e o sentido do campo relativamente a essas superfícies.
- Reconhecer que as superfícies equipotenciais fornecem a mesma informação que as linhas de campo quanto à caracterização do campo numa certa região do espaço.
- Relacionar o campo eléctrico e o potencial eléctrico, no caso do campo uniforme.
- Descrever movimentos de cargas eléctricas num campo eléctrico uniforme.
- Identificar o condensador como um dispositivo que armazena energia.
- Definir capacidade de um condensador e indicar a unidade SI.
- Identificar os factores de que depende a capacidade de um condensador plano e a energia nele armazenada.
- Identificar aplicações dos condensadores no dia-a-dia.

Indicações metodológicas

Apresentada na unidade I a energia potencial gravítica, apresenta-se, por analogia, a energia potencial electrostática. Realçar que a energia potencial electrostática, que apenas deverá ser apresentada para duas cargas pontuais, pode ser positiva ou negativa (fazendo a escolha habitual do zero da energia), correspondendo às situações de repulsão ou de atracção entre as cargas. Este caso é distinto do que se encontrou no caso da interacção gravítica, em que a energia é sempre negativa (fazendo a escolha habitual do zero da energia).

Reforçar a ideia de que as linhas de campo ou as superfícies equipotenciais fornecem a mesma informação. A relação entre o potencial e o campo eléctrico deve ser introduzida na forma $|\vec{E}| = \left| \frac{\Delta V}{\Delta d} \right|$, mas deve ser indicado que o campo eléctrico aponta no sentido dos potenciais decrescentes (é útil a analogia entre as linhas equipotenciais e as curvas de nível num mapa topográfico), sendo o campo eléctrico perpendicular às superfícies equipotenciais.

O estudo do movimento de cargas em campos eléctricos uniformes deve ser feito aplicando os conhecimentos adquiridos na unidade I (movimentos sob a acção de uma força resultante constante).

Introduzir o conceito de condensador como um dispositivo que permite armazenar energia potencial eléctrica podendo esta manifestar-se como uma corrente eléctrica para fazer funcionar, por exemplo, um pequeno motor eléctrico ou uma lâmpada. Identificar um condensador como um conjunto de dois condutores que sofrem influência electrostática mútua e definir capacidade de um condensador. Exemplificar com o condensador plano e indicar a expressão da sua capacidade e da energia armazenada.

Física em acção

Efectuar uma pesquisa sobre ultra-condensadores (condensadores de capacidades elevadíssimas - milhares de farads) e indicar as suas potencialidades ao nível tecnológico (por exemplo, como fontes de alimentação para motores eléctricos - já há automóveis eléctricos a funcionar com esta nova tecnologia).

Sugestões de actividades

- Usar simulações computacionais para obter superfícies equipotenciais e linhas de campo.
- Carregar um condensador de *elevada capacidade* e descarregá-lo através de uma lâmpada ou pequeno motor (demonstração). Abrir um condensador de poliéster para investigar a sua constituição interna.

Trabalho laboratorial

- TL II.1 - Campo eléctrico e superfícies equipotenciais
- TL II.2 - Capacidade de um condensador plano

2. Circuitos eléctricos

(Total 8 aulas)

2.1 Corrente eléctrica (2 aulas)

Objectivos

O aluno deverá ser capaz de:

- Interpretar a corrente eléctrica como um movimento orientado de cargas.
- Concluir que só há corrente eléctrica num circuito quando nos seus terminais existir uma diferença de potencial.
- Explicar o mecanismo da corrente eléctrica em condutores metálicos, distinguindo velocidade de arrastamento dos electrões da velocidade de propagação do sinal (campo eléctrico) ao longo do condutor.
- Distinguir corrente contínua de corrente alternada.
- Definir intensidade de corrente em regime estacionário, diferença de potencial e resistência de um condutor.
- Interpretar e aplicar a Lei de Ohm.
- Indicar as características de que depende a resistência de um condutor.
- Distinguir resistência de resistividade.

- Reconhecer a dependência da resistividade da maioria dos condutores com a temperatura.

Indicações metodológicas

Rever o conceito de corrente eléctrica como um movimento orientado de cargas, que só existe se houver uma diferença de potencial. Referir que as cargas móveis podem ser electrões (como acontece nos sólidos metálicos) mas também iões (por exemplo num gás ionizado ou num electrólito) ou outras partículas carregadas. Explicar o mecanismo da corrente nos condutores metálicos, distinguindo claramente a velocidade de arrastamento dos electrões da velocidade com que se propaga o campo eléctrico aplicado (ilustrar com o exemplo clássico do interruptor). Rever do 11º ano as correntes eléctricas contínuas e alternadas. Rever as noções de intensidade de corrente em regime estacionário, diferença de potencial e resistência de um condutor. Informar que se convencionou que o sentido da corrente eléctrica é o da região de potencial mais elevado para a de potencial mais baixo, independentemente do sentido real com que se deslocam os portadores de carga. Verificar que, para o caso dos portadores de carga num condutor metálico (electrões), o sentido convencional é oposto ao sentido real das partículas carregadas.

Distinguir entre resistência e resistividade, enfatizando que a resistência é uma característica de um dado condutor e depende do material que o constitui e da sua forma, enquanto a resistividade traduz uma característica do material condutor.

Informar que a resistência de um condutor depende, em geral, da temperatura. Numa gama larga de temperaturas, a resistividade dos metais varia linearmente com a temperatura mas, noutro tipo de materiais, como os semicondutores, a resistividade é mais sensível à temperatura, variando de forma exponencial.

Esclarecer que a relação $R = U / I$ é a definição de resistência válida para qualquer condutor. Se a resistência R permanecer constante a uma dada temperatura, independentemente da intensidade da corrente que percorre o condutor, a função $I = I(U)$ é linear e a expressão $R = U / I = \text{constante}$ chama-se Lei de Ohm. Se a resistência depender da intensidade da corrente, essa relação não é linear.

Física em acção

Pesquisar o comportamento de materiais com resistência variável cuja aplicação na indústria electrónica é cada vez maior.

Há materiais que não apresentam resistência eléctrica – são os chamados supercondutores. Até há pouco só era conhecida a supercondutividade a baixas temperaturas (próximas de 0 K). Nas últimas duas décadas foram descobertos novos materiais com propriedades de supercondutores a alta temperatura (~100 K) que poderão vir a revolucionar muitos domínios tecnológicos (transportes, informática, etc.). Fazer uma investigação sobre o comportamento destes materiais e suas aplicações.

Trabalho laboratorial

- TL II.3 - Construção e calibração de um termómetro de fio de cobre

Sugestões de actividades

- Verificar experimentalmente a Lei de Ohm para um condutor óhmico (resistência de carbono ou de cobre).
- Obter a curva $I(U)$ para uma lâmpada de incandescência e para um díodo.

2.2 Trocas de energia num circuito eléctrico (2 aulas)

Objectivos

O aluno deverá ser capaz de:

- Associar o gerador a um elemento do circuito que transfere energia para o circuito.
- Associar o receptor a um elemento do circuito para onde é transferida energia.
- Explicar o efeito de Joule com base em considerações energéticas.
- Aplicar a Lei de Joule.
- Interpretar o significado de força electromotriz de um gerador.
- Definir potência de um gerador.
- Reconhecer a existência de resistência interna num gerador e determinar a potência que ele pode disponibilizar para o circuito.
- Determinar a diferença de potencial nos terminais de um gerador.
- Interpretar o significado de força contraelectromotriz de um receptor.
- Reconhecer a existência de resistência interna num receptor e concluir que a potência transferida para o receptor é superior àquela que ele pode disponibilizar.
- Determinar a diferença de potencial nos terminais de um receptor.

Indicações metodológicas

Deve realçar-se que num circuito há um elemento que disponibiliza energia, o gerador, e os elementos que a recebem, os receptores. O efeito de Joule deverá ser explicado a partir de considerações energéticas. Pressupondo o valor constante da velocidade de arrastamento dos electrões, concluir que o excesso de energia transferida pelo gerador para o circuito vai aumentar a sua energia interna, manifestada no aquecimento dos vários componentes do circuito, incluindo o próprio gerador. A esse aquecimento chama-se efeito de Joule. A respectiva expressão deduz-se a partir de considerações

energéticas. Para o caso de o receptor ser uma resistência pura, deduzir a potência dissipada por efeito de Joule, $P = RI^2$. Apresentar exemplos de receptores não puramente resistivos, onde a energia disponibilizada pelo gerador faz não só aumentar a energia interna (manifestada pelo aquecimento), como também se manifesta noutras formas: é o exemplo de um motor e de um voltâmetro.

Discutir o funcionamento de um gerador eléctrico do tipo pilha voltaica, enfatizando que, ao contrário do que possa sugerir o termo "gerador", este não "gera" carga, mas antes transfere energia para o circuito, fazendo circular a carga eléctrica móvel no circuito eléctrico. O gerador não só cria como mantém a diferença de potencial num circuito, obrigando as cargas eléctricas a terem um movimento orientado (corrente eléctrica). Definir força electromotriz de um gerador como a energia que este transfere para as cargas eléctricas por unidade de carga transportada através dos seus terminais. Realçar que o termo "força electromotriz", ε , não se refere a uma força mas sim a uma energia por unidade de carga e, por isso, é uma diferença de potencial eléctrico. Inferir a respectiva unidade SI.

Mostrar, a partir de considerações energéticas, que a potência disponível num gerador difere do valor ideal, $P = \varepsilon I$, devido à existência de uma resistência interna r : $P_u = \varepsilon I - rI^2$. A partir desta relação, deduzir a expressão da queda de tensão U entre os terminais de um gerador de força electromotriz ε e resistência interna r quando atravessado pela corrente I : $U = \varepsilon - rI$.

Calcular o trabalho eléctrico na transferência da carga, ΔQ , entre os terminais de um receptor entre os quais existe uma diferença de potencial, U , mostrando que a potência transferida para o receptor é $P = UI$. Definir força contraelectromotriz como a razão entre a energia obtida no receptor (dar como exemplo um motor) num certo intervalo de tempo e a carga eléctrica que o atravessa nesse intervalo de tempo. A partir da definição, e atendendo a considerações energéticas, deduzir a expressão da queda de tensão nos terminais de um receptor de força contraelectromotriz ε' e resistência interna r' : $U = \varepsilon' + r'I$.

Física em acção

As chamadas células de combustível constituem uma nova classe de geradores electroquímicos que praticamente não comportam riscos ambientais. Indicar as características destes geradores e a sua utilidade prática. Observar um gerador destes em funcionamento.

Trabalho laboratorial

- TL II.4 - Características de um gerador e de um receptor

2.3 Equações dos circuitos eléctricos (4 aulas)

Objectivos

O aluno deverá ser capaz de:

- Aplicar a Lei de Ohm generalizada a um circuito simples com gerador e receptor.
- Determinar resistências equivalentes.
- Identificar as curvas características de carga e descarga de um circuito RC.

Indicações metodológicas

A partir da conservação da energia num circuito de uma só malha contendo um gerador e um receptor não ideais, deduzir a equação do circuito $\mathcal{E} - \mathcal{E}' = IR_{\text{total}}$, considerando os casos de um receptor com e sem força contraelectromotriz.

Deduzir a expressão da diferença de potencial entre dois pontos de um circuito com receptores e geradores em série. De seguida, discutir a associação de resistências em série e em paralelo, deduzindo as expressões das resistências equivalentes. Resolver exercícios e problemas sobre determinação de resistências equivalentes e aplicação da Lei de Ohm generalizada a circuitos que se possam reduzir a uma só malha.

Exemplificar uma corrente não estacionária com a carga e descarga de um condensador. Apresentar a expressão da dependência temporal da carga de um condensador que descarrega através de uma resistência, $Q = Q_0 e^{-t/\tau}$, com $\tau = RC$ (constante de tempo), dando argumentos de ordem física. Mostrar que num circuito RC a diferença de potencial no condensador (Q/C) é igual à diferença de potencial na resistência $\left(RI = R \frac{dQ}{dt} \right)$. A verificação da expressão $\frac{Q}{C} = R \frac{dQ}{dt}$ justifica a forma da função $Q = Q(t)$.

Física em acção

No projecto de electricidade de uma habitação constam os vários circuitos (iluminação, máquinas de lavar, alarme, tomadas, etc.), os dispositivos de segurança, a potência prevista, etc. Averiguar os escalões de potência que a companhia fornecedora de electricidade disponibiliza e respectivos custos. Discutir como se toma a decisão relativa à potência a contratar para casas com diferentes níveis de equipamento com base no custo e no tipo de utilização expectável dos receptores.

Trabalho laboratorial

- TL II.5 - Construção de um relógio logarítmico

3. Acção de campos magnéticos sobre cargas em movimento e correntes

(Total 5 aulas)

Objectivos

O aluno deverá ser capaz de:

- Representar as linhas de campo magnético criadas por um íman em barra ou por uma corrente eléctrica que atravessa um fio rectilíneo longo, uma espira ou um solenóide.
- Caracterizar a direcção e o sentido do campo magnético a partir das linhas de campo.
- Reconhecer a acção de um campo magnético sobre cargas em movimento.
- Caracterizar a força magnética que actua sobre uma carga eléctrica móvel num campo magnético uniforme.
- Reconhecer que a força magnética que actua sobre uma carga eléctrica, ao contrário da força eléctrica, depende do movimento dessa carga.
- Concluir que a energia de uma partícula não é alterada pela actuação da força magnética.
- Justificar os tipos de movimentos de uma carga eléctrica móvel num campo magnético uniforme.
- Reconhecer a acção combinada de um campo eléctrico e magnético sobre uma carga eléctrica móvel.
- Caracterizar a força que actua sobre uma carga eléctrica móvel sob a acção conjunta de um campo eléctrico uniforme e um campo magnético uniforme através da Lei de Lorentz $\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$.
- Interpretar o funcionamento do ciclotrão e do espectrómetro de massa.
- Reconhecer a importância histórica da experiência de Thomson e fundamentar a determinação da razão e/m do electrão.
- Reconhecer a acção de campos magnéticos sobre correntes eléctricas.
- Caracterizar a força magnética que actua sobre uma corrente eléctrica imersa num campo magnético uniforme.
- Identificar características do campo magnético terrestre e a sua origem.

Indicações metodológicas

Começar por rever os conhecimentos adquiridos no 11º ano sobre campo magnético, mostrando "espectros" do campo magnético. Os alunos já sabem interpretar a representação do campo magnético

através das suas linhas, mas não sabem indicar o sentido das mesmas. Pretende-se, agora, que sejam capazes não só de representar as linhas de campo criadas por um íman em barra mas também a forma e o sentido de um campo criado por uma corrente eléctrica estacionária (condutor filiforme longo, espira circular e solenóide), utilizando a regra do saca-rolhas de Maxwell (ou do observador de Ampère ou outra). Não deve ser introduzida a expressão do campo magnético produzido por uma carga em movimento uniforme ou a Lei de Biot-Savart.

É recomendável que os alunos observem a acção do campo magnético sobre cargas em movimento (ver sugestões de actividades).

Para caracterizar a força magnética, o professor deverá introduzir o conceito de produto vectorial. Os alunos deverão relembrar que a energia da partícula não é alterada pela acção da força magnética, pois esta nunca realiza trabalho por ser sempre perpendicular à velocidade.

Deverão ser os alunos a deduzir o tipo de movimento de uma carga eléctrica móvel sujeita a um campo magnético uniforme, a partir dos conhecimentos adquiridos em mecânica, para o caso da força ser paralela ou perpendicular à velocidade inicial. O professor deverá conduzir o aluno a fazer a previsão da trajectória helicoidal no caso da força não ser nem paralela nem perpendicular à velocidade inicial.

O movimento de partículas carregadas sob a acção simultânea de campos eléctricos e magnéticos uniformes deve ser realçado em aplicações como o ciclotrão e o espectrómetro de massa, e na importância histórica da experiência de Thomson na determinação da razão e/m do electrão.

A Lei de Laplace da acção de campos magnéticos sobre correntes deverá também ser introduzida a partir de uma demonstração experimental. Justificar a Lei de Laplace a partir da expressão da força sobre uma carga, racionalizando a equivalência formal entre $I\Delta\vec{l}$ e $q\vec{v}$.

Para o estudo do campo magnético terrestre sugere-se que os alunos façam previamente um trabalho de pesquisa e que se sistematizem, em sala de aula, as ideias apresentadas. Deve ser realçada a ideia de que este estudo contribui para o conhecimento geofísico do subsolo. Por exemplo, a detecção de anomalias no campo magnético pode ser usada para localizar jazidas minerais. Quanto à origem do campo magnético terrestre, deve realçar-se que se trata de um assunto ainda não completamente esclarecido e que, por isso, é tema de investigação actual em geofísica. Supõe-se que o magnetismo terrestre seja devido a correntes eléctricas no núcleo terrestre. Podem ocorrer alterações súbitas e importantes do campo magnético terrestre (tempestades magnéticas) durante períodos de intensa actividade solar (manchas solares), estando relacionadas com o fenómeno das auroras boreais. Referir ainda que, à escala geológica, ocorreram alterações importantes do campo magnético terrestre, incluindo inversões dos pólos, e que outros corpos celestes possuem também um campo magnético.

Referir o importante papel do campo magnético terrestre na protecção contra a chuva de partículas cósmicas.

Física em acção

A indústria de produção de materiais magnéticos está em grande expansão devido às suas inúmeras aplicações. Têm sido criados novos materiais para fabricar ímanes de pequena dimensão capazes de produzir campos magnéticos muito intensos. Averiguar o impacte desta tecnologia na miniaturização de dispositivos que usam magnetes (exemplo, mini-auscultadores de leitores de MP3).

Os campos magnéticos fortes têm aplicações práticas importantes na levitação magnética (de comboios e até de seres vivos... como sapos!). Investigar o fundamento físico do seu funcionamento.

A acção combinada de campos eléctricos e magnéticos está na base do funcionamento dos aceleradores de partículas. Estas máquinas já não são exclusivamente utilizadas na investigação em física. Pesquisar aplicações na indústria e na medicina e explicar o funcionamento destes aceleradores.

Explicar o fenómeno das auroras boreais em conexão com o campo magnético terrestre e as tempestades solares.

Sugestões de actividades

- Observar "espectros" do campo magnético nas vizinhanças de uma corrente eléctrica que percorre um condutor filiforme longo, uma espira circular e um solenóide (recordar do 11º ano).
- Observar, numa ampola de Crookes, num osciloscópio ou numa televisão, a deflexão de um feixe de electrões por acção de um campo magnético.
- Observar as trajectórias, circular e helicoidal, de um feixe de electrões em movimento com velocidade constante, numa região de campo magnético uniforme criada por um par de bobinas de Helmholtz.
- Demonstrar experimentalmente a Lei de Laplace, usando um magnete em forma de U e um condutor suspenso entre os pólos do magnete.
- Utilizar *software* para simular trajectórias de partículas carregadas sob a acção simultânea de campos eléctricos e magnéticos.
- Fazer um trabalho de pesquisa sobre o campo magnético terrestre.

Trabalhos laboratoriais

TL II.1 – CAMPO ELÉCTRICO E SUPERFÍCIES EQUIPOTENCIAIS

As cargas eléctricas criam campos eléctricos cuja forma está relacionada com o valor dessas cargas e com a sua distribuição espacial. Neste trabalho pretende-se estudar algumas características de um campo eléctrico criado por duas placas planas e paralelas, dando resposta às seguintes questões: Como medir o potencial eléctrico num ponto entre as placas? Qual a forma das superfícies equipotenciais e como verificar experimentalmente essa forma? Como varia a diferença de potencial entre duas linhas equipotenciais com a distância que as separa? Qual o módulo do campo eléctrico criado pelas placas?

Objectivos

- . Identificar o tipo de campo eléctrico criado por duas placas planas e paralelas.
- . Identificar o sentido das linhas de campo.
- . Medir o potencial num ponto.
- . Investigar a forma das superfícies equipotenciais.
- . Relacionar o sentido do campo com o sentido da variação do potencial.
- . Verificar se a diferença de potencial entre duas superfícies equipotenciais é ou não independente da placa de referência utilizada para a medir.
- . Calcular o módulo do campo eléctrico criado entre as duas placas planas e paralelas.

Material e equipamento (por grupo de trabalho)

- . tina em material transparente (p. e. acrílico)
- . duas placas de cobre com as dimensões aproximadas do lado menor da tina
- . gerador de c.c. (p. e. de 0-6V)
- . multímetro ou voltímetro de zero ao centro
- . fios de ligação
- . ponta de prova
- . crocodilos
- . solução condutora (por exemplo, sulfato de cobre)
- . folhas de papel milimétrico: uma (ou mais, de acordo com as dimensões da tina) colocada sob a tina e outra para servir de documento de registo dos valores obtidos.

Sugestões de realização e de avaliação

Pretende-se que os alunos desenvolvam uma actividade de investigação e, por isso, o procedimento deve ser concebido pelos alunos, orientado quer pelo material apresentado pelo professor quer pelas questões orientadoras propostas (ou ainda outras que o professor considere relevantes face aos objectivos do trabalho).

Criar um campo eléctrico no interior da tina, que deve conter uma solução condutora (por exemplo, sulfato de cobre), com aproximadamente 1 cm de altura, ligando o gerador às placas de cobre. Desenhar o fundo da tina no papel milimétrico que serve de documento de registo e assinalar a posição dos eléctrodos e a respectiva polaridade. Com a ponta de prova, colocada verticalmente em relação ao fundo da tina, medir o potencial em pontos relevantes. Medir igualmente a diferença de potencial entre a placa de referência e diferentes pontos ao longo de uma mesma linha perpendicular às placas. Repetir as medições mudando a polaridade das placas.

Sugere-se que cada grupo de alunos faça estas medições sobre diferentes linhas de campo para as poderem comparar e melhor validar as conclusões finais.

Os alunos deverão:

- . Fazer previsões teóricas face ao problema em estudo.
- . Conceber um procedimento experimental.
- . Apresentar em tabela os dados recolhidos e extrair conclusões da sua análise face às questões colocadas.
- . Confrontar os resultados com previsões teóricas.
- . Elaborar e interpretar o gráfico que traduz a variação da diferença de potencial com a distância entre linhas equipotenciais.
- . Determinar o módulo do campo eléctrico.
- . Confrontar os resultados com os de outros grupos e sistematizar conclusões.

TL II.2 – CONDENSADOR PLANO

Os condensadores têm inúmeras aplicações. Há condensadores de várias formas e tamanhos e são estas características geométricas que determinam a sua capacidade. Neste trabalho pretende-se verificar a dependência da capacidade do condensador plano com as suas características geométricas e com o meio dieléctrico entre as armaduras.

Objectivos

- . Identificar um condensador como um componente de um circuito eléctrico capaz de armazenar e restituir energia eléctrica quando inserido num circuito.
- . Relacionar a capacidade de um condensador plano com:
 - a distância entre as armaduras;
 - o dieléctrico.

Material e equipamento (por grupo de trabalho)

- . condensador plano com distância variável entre as armaduras
- . régua
- . 1 folha de mica, 1 placa de material acrílico, 1 folha de papel encerado
- . capacímetro (escala de 200 pF) ou multímetro com leitura de capacidade em alternativa ao capacímetro:
- . fonte de alimentação contínua de baixa tensão e electrómetro

Sugestões de realização e de avaliação

Pretende-se que os alunos, perante o material apresentado, concebam um procedimento adequado face aos objectivos do trabalho.

O condensador pode ser improvisado com duas placas circulares revestidas com papel de alumínio, com o diâmetro aproximado de 20 cm. Como suporte, utilizar dois tubos de material isolante, colados a cada uma das placas e a uma base também isolante. A medição da distância entre as placas é simplificada se as placas puderem ser montadas num banco de óptica com escala milimétrica. É preferível que o banco de óptica seja de material plástico, para evitar os efeitos de "cargas imagem".

Um condensador plano é inicialmente carregado com uma fonte de alimentação contínua. Utilizando um capacímetro, relacionar os valores da capacidade com a distância entre as armaduras e o tipo de material colocado entre estas.

Os alunos deverão:

- . Fazer previsões teóricas.
- . Conceber um procedimento experimental.
- . Apresentar em tabela os dados recolhidos.
- . Elaborar e interpretar gráficos da capacidade do condensador em função da distância entre as armaduras (ou do seu inverso).
- . Confrontar os resultados obtidos com as previsões teóricas.

. Relacionar a capacidade do condensador com o tipo de dielétrico e escolher, de entre os utilizados, o que maximiza a capacidade do condensador.

TL II.3 – CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE UM TERMÓMETRO DE FIO DE COBRE

Há vários tipos de termómetros, todos eles baseados na variação de uma propriedade física com a temperatura. Idealmente, essa propriedade termométrica deverá variar linearmente com a temperatura, pelo menos no intervalo de temperaturas onde se pretenda utilizar o termómetro. Neste trabalho pretende-se analisar o fundamento físico da medição da temperatura por um termómetro de resistência.

Objectivos

- . Determinar a resistividade de um condutor metálico (fio de cobre).
- . Concluir que a resistividade do cobre varia linearmente com a temperatura.
- . Determinar o coeficiente de temperatura do cobre.
- . Calibrar um termómetro de resistência.

Material e equipamento (por grupo de trabalho)

- . bobina de fio fino de cobre envernizado ($R \sim 60 - 100 \Omega$)
 - . copo de vidro
 - . termómetro (0 - 100 °C, precisão 0,1 °C)
 - . água e gelo
 - . disco eléctrico
 - . fios de ligação
 - . crocodilos
 - . pilha de 9 V (ou fonte de alimentação)
 - . reóstato de 50 Ω
 - . voltímetro (0 - 10 V) e amperímetro (200 mA)
- ou
- . multímetro digital com função de ohmímetro (0 - 100 Ohm).

Sugestões de realização e de avaliação

Pretende-se que os alunos concebam um procedimento adequado face aos objectivos do trabalho. Para a construção da bobina, pode usar-se fio de cobre envernizado, de pequeno diâmetro, enrolado num pequeno tubo metálico, de preferência também de cobre. O fio de calibração AWG 32 (diâmetro

0,20 mm) dá bons resultados, sendo necessário enrolar cerca de 5 m deste fio para construir uma bobina com a resistência adequada.

Medir a resistência da bobina de fio de cobre em função da temperatura, colocando-a inicialmente no copo com água gelada e aquecendo gradualmente a água até esta entrar em ebulição. Os alunos deverão procurar estimar a sensibilidade do termómetro de cobre, ou seja, qual a menor variação de temperatura que conseguem medir com o dispositivo experimental de que dispõem.

Fazer as medições necessárias para determinar a resistividade do material para os valores de temperatura registados.

Os alunos deverão:

- . Conceber um procedimento experimental.
- . Estimar a sensibilidade do termómetro de cobre.
- . Apresentar em tabela os dados recolhidos.
- . Determinar o valor da resistividade para diferentes temperaturas.
- . Elaborar e interpretar o gráfico da resistividade em função da temperatura.
- . Determinar o coeficiente de temperatura do material a partir da equação da recta de ajuste aos pontos experimentais no gráfico da resistividade em função da temperatura.
- . Confrontar o valor obtido para o coeficiente de temperatura do cobre com o valor tabelado, determinar a incerteza percentual e discutir a exactidão do resultado.
- . Converter uma escala de valores obtidos num multímetro numa escala de temperaturas.
- . Utilizar o termómetro calibrado para medir a temperatura de outros líquidos.
- . Investigar quais são os termómetros de resistência mais utilizados.

TL II.4 – CARACTERÍSTICAS DE UM GERADOR E DE UM RECEPTOR

É difícil apontar uma actividade humana onde não esteja presente uma fonte de tensão! Em geral, a tensão indicada na fonte não é a que se mede nos seus terminais quando um gerador alimenta um circuito. Neste trabalho pretende-se determinar as características de um gerador e de um receptor e investigar as condições em que a potência fornecida por um gerador é máxima.

Objectivos

- . Aplicar a lei de Ohm generalizada.
- . Determinar a força electromotriz e a resistência interna de um gerador.
- . Verificar as condições em que a potência fornecida por um gerador é máxima.

. Determinar a força contra-electromotriz e a resistência interna de um receptor.

Material e equipamento (por grupo de trabalho)

- . pilha de 9 V
- . amperímetro (0 - 100 mA) e voltímetro (0 - 10 V) ou dois multímetros digitais
- . fios de ligação
- . interruptor
- . crocodilos
- . resistências várias com valores entre $2,2 \text{ k}\Omega$ e 5Ω (ou caixa de resistências)
- . reóstato
- . pequeno motor eléctrico (DC) de 9 V.

Sugestões de realização e de avaliação

Pretende-se que os alunos concebam um procedimento adequado face aos objectivos do trabalho. O professor deverá dar a indicação, na determinação do máximo de potência fornecida pela pilha, de que devem realizar medições com resistências próximas do valor da resistência interna da pilha e com valores superiores.

Montar um circuito com a pilha e uma resistência exterior. Medir a diferença de potencial nos terminais da pilha e a respectiva intensidade de corrente para diferentes valores da resistência exterior. Traçar o gráfico que relaciona estas grandezas, de modo a determinar as características do gerador. Como a resistência interna de uma pilha aumenta com o seu uso, sugere-se que metade da turma utilize pilhas novas e outra metade pilhas usadas. Os alunos devem comparar os resultados obtidos. Dependendo da potência máxima admitida pelas resistências (ou caixa de resistências), pode ser necessário utilizar uma resistência limitadora associada em série com o gerador, de modo a controlar a intensidade máxima da corrente no circuito, pois, se esta for demasiado grande, verifica-se que a linha obtida no gráfico $U(I)$ deixa de ser linear, decrescendo rapidamente a diferença de potencial, o que "gasta" a pilha e a torna irrecuperável.

Para obter mais dados numa zona de pequenas resistências, poderá ser preferível utilizar um reóstato. Determinar, com os dados adquiridos (U e I), os valores da resistência exterior e a potência fornecida pela pilha. Da representação gráfica da potência em função da resistência exterior determina-se o valor para o qual a potência dissipada na resistência exterior é máxima. Os alunos só poderão retirar conclusões a partir da representação gráfica se os valores da resistência exterior contemplarem também o valor da resistência interna do gerador (que é muito pequena), uma vez que a potência é máxima quando a resistência interna do gerador igualar a resistência externa. Nestas

circunstâncias, a pilha ficará bastante "gasta", o que se pode verificar medindo a diferença de potencial nos seus terminais no final da experiência, em circuito aberto. Esta medição dará o valor da força electromotriz: como a resistência interna da pilha é muito inferior à do voltímetro, é uma boa aproximação o valor lido directamente nos terminais do voltímetro para a força electromotriz da pilha.

Numa experiência semelhante, determinar as características de um pequeno motor eléctrico.

Os alunos deverão:

- . Conceber um procedimento experimental.
- . Apresentar em tabela os dados recolhidos.
- . Elaborar e interpretar gráficos, com base na lei de Ohm generalizada, que permitam determinar as características do gerador e do receptor.
- . Comparar as características de uma pilha nova e de uma pilha velha e extrair conclusões.
- . Determinar em que condições é máxima a potência fornecida por um gerador a partir duma interpretação gráfica.
- . Medir directamente uma força electromotriz e justificar o procedimento.
- . Concluir em que condições uma pilha se "gasta" mais rapidamente.

TL II.5 – CONSTRUÇÃO DE UM RELÓGIO LOGARÍTMICO

Há circuitos eléctricos que requerem correntes muito elevadas que não podem ser facilmente fornecidas directamente por uma fonte de tensão (o circuito de um *flash* de máquina fotográfica, o de um *pace-maker*, etc.). Neste caso carrega-se primeiro um condensador, o qual descarrega depois alimentando o circuito. O desenvolvimento de condensadores de elevada capacidade e reduzida dimensão levará mesmo, a médio prazo, à sua utilização em automóveis eléctricos. Um condensador levará mais ou menos tempo a descarregar através de uma resistência, de acordo com a "constante de tempo" do circuito *RC*. Neste trabalho estuda-se quantitativamente esta descarga, construindo um relógio logarítmico.

Objectivos

- . Determinar a resistência interna de um multímetro no modo voltímetro.
- . Determinar a capacidade de um condensador a partir do estudo da sua curva de descarga.
- . Reconhecer o processo de descarga de um condensador como um processo de medir o tempo.

Material e equipamento (por grupo)

- . condensador de poliéster de 10 μF

- . multímetro digital
- . cronómetro
- . fios de ligação
- . resistência de $10\text{ M}\Omega$
- . pilha de 9 V (ou fonte de alimentação).

Sugestões de realização e de avaliação

Pretende-se que os alunos executem um trabalho laboratorial orientado por indicações de procedimento tendo em vista os objectivos indicados. Deverá dar-se ao aluno a expressão da tensão em função do tempo relativa à descarga do condensador: $U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$.

Na primeira parte do trabalho os alunos deverão determinar a resistência interna de um multímetro digital no modo de voltímetro. Para o efeito, começar por medir directamente a força electromotriz da pilha. De seguida, ligar em série o multímetro e a resistência calibrada de $10\text{ M}\Omega$ à pilha de 9 V. Nesta situação, o voltímetro actua como divisor de tensão, e a queda de tensão nos terminais do multímetro é cerca de metade da tensão da pilha. A partir deste valor, calcular a resistência interna do multímetro no modo de voltímetro.

Na segunda parte do trabalho, traça-se a curva de descarga do condensador quando ligado directamente ao multímetro. Ligar, em paralelo, o condensador, o multímetro (modo voltímetro) e a pilha de 9 V. Desligar a pilha e registar, de 30 em 30 s, a tensão medida pelo multímetro à medida que o condensador descarrega. Representar graficamente o logaritmo da tensão em função do tempo, $\ln U(t)$, e verificar que a linha que se ajusta ao conjunto de pontos é uma recta (pode igualmente verificar-se que a curva de ajuste a $U(t)$, usando uma calculadora gráfica ou um computador, é uma exponencial). A partir do declive da recta de ajuste, e usando o valor da resistência interna do multímetro determinada anteriormente, determinar a capacidade do condensador (a análise dos dados pode ser feita no computador ou numa calculadora gráfica).

O trabalho pode ser explorado noutras vertentes, por exemplo medindo a intensidade da corrente durante o processo de descarga do condensador, estudando o processo de carga, etc.

Os alunos deverão:

- . Fazer montagens experimentais e realizar a experiência a partir de um procedimento dado.
- . Apresentar em tabela os dados recolhidos.
- . Determinar a resistência de um multímetro no modo de voltímetro.
- . Elaborar e interpretar o gráfico correspondente à descarga de um condensador.

- . Determinar a capacidade do condensador a partir da equação da linha de ajuste aos pontos experimentais.
- . Determinar ao fim de quanto tempo é que a diferença de potencial decresce para metade do valor inicial e para um quarto do valor inicial.
- . Justificar que a descarga de um condensador pode funcionar como relógio logarítmico.

UNIDADE III - FÍSICA MODERNA

Conteúdos*	aulas
1. Relatividade	
1.1 Relatividade galileana (3)	7
1.2 Relatividade einsteiniana (4)	
2. Introdução à física quântica (7)	7
3. Núcleos atômicos e radioatividade (6)	6
Total de aulas	20

* Número de aulas entre parêntesis

Introdução

O objectivo desta unidade é introduzir as bases da física moderna, apresentando os principais resultados que estiveram na origem da revolução operada na física no início do século XX. Esta unidade ilustra bem o modo como se constrói a ciência: novos conceitos ou teorias são introduzidos para resolver problemas científicos não explicáveis pelas teorias vigentes. A contextualização histórica é um aspecto a ter em conta na apresentação dos vários conceitos e teorias ao longo desta unidade.

Esta unidade inicia-se com a apresentação da teoria da relatividade que assenta em conceitos da mecânica newtoniana, designadamente referencial de inércia, invariância, equivalência entre observadores inerciais e Princípio da Relatividade de Galileu. Devem ser postos em evidência os aspectos comuns e os aspectos inovadores da teoria de Einstein relativamente à de Galileu.

Descrevem-se depois as origens da teoria quântica. A quantização da energia exemplifica-se na interacção da radiação com a matéria. Deve ser destacada a importância das aplicações tecnológicas de base quântica na sociedade de hoje.

O estudo da radioactividade justifica-se pelo seu interesse e pela sua actualidade. Discute-se a instabilidade dos núcleos e a equivalência massa-energia de Einstein nas reacções nucleares.

Para esta unidade há pré-requisitos importantes, pelo que alguns temas abordados em anos anteriores devem ser revisitados sempre que seja oportuno. Os pré-requisitos, identificados nas orientações curriculares de Física e Química A dos 10º e 11º anos, são os seguintes:

- Espectro da radiação térmica
- Efeito fotoeléctrico
- Produção de radiação electromagnética
- Carácter ondulatório da luz
- Modelos atómicos
- Espectros atómicos
- Interacções fundamentais na Natureza.

Conteúdos (20 aulas)

1. Teoria da Relatividade

(Total 7 aulas)

1.1 - Relatividade galileana (3 aulas)

- Referenciais de inércia e referenciais acelerados
- Validade das Leis de Newton
- Transformação de Galileu
- Invariância e relatividade de uma grandeza física
- Invariância das Leis da mecânica: Princípio da Relatividade de Galileu
- *Física em acção*

1.2 - Relatividade einsteiniana (4 aulas)

- Origens da relatividade restrita
- Postulados da relatividade restrita
- Simultaneidade de acontecimentos, dilatação do tempo e contracção do espaço
- Relação entre massa e energia
- Origens da relatividade geral
- Princípio da Equivalência
- *Física em acção*

2. Introdução à física quântica

(Total 7 aulas)

- A quantização da energia de Planck
- A teoria dos fotões de Einstein
- Dualidade onda-corpúsculo para a luz
- Radiação ionizante e não ionizante
- Interação da radiação com a matéria: efeito fotoeléctrico, efeito de Compton, produção e aniquilação de pares
- Raios X
- Dualidade onda-corpúsculo para a matéria. Relação de De Broglie
- Princípio de Incerteza e Mecânica Quântica
- *Física em acção*

3. Núcleos atómicos e radioactividade

(Total 6 aulas)

- Energia de ligação nuclear e estabilidade dos núcleos
- Processos de estabilização dos núcleos: decaimento radioactivo
- Propriedades das emissões radioactivas (alfa, beta e gama)
- Lei do decaimento radioactivo
- Período de decaimento (tempo médio de vida)
- Actividade de uma amostra radioactiva
- Fontes naturais e artificiais de radioactividade
- Efeitos biológicos da radioactividade
- Dose de radiação absorvida e dose equivalente biológica
- Detectores de radiação ionizante
- Aplicações da radiação ionizante
- Reacções nucleares: fusão nuclear e cisão nuclear
- *Física em acção*

Indicações metodológicas e de gestão

1. Relatividade

(Total 7 aulas)

1.1- Relatividade galileana (3 aulas)

Objectivos

O aluno deverá ser capaz de:

- Definir referencial de inércia, ou inercial, como aquele em que se verifica a Lei da inércia.
- Distinguir referencial inercial de referencial não inercial.
- Reconhecer que as Leis da mecânica newtoniana só são válidas nos referenciais de inércia.
- Identificar em que condições um referencial ligado à Terra pode ser considerado inercial.
- Reconhecer que a descrição de um movimento depende do referencial.
- Identificar as condições iniciais de um movimento num referencial ligado à Terra e num referencial que se move com velocidade constante em relação a ele e escrever as respectivas equações paramétricas.
- Reconhecer que as equações paramétricas de um movimento têm a mesma forma em diferentes referenciais de inércia.
- Reconhecer que a *forma* da trajectória de um movimento depende do referencial de inércia onde é feita a sua descrição.
- Indicar e interpretar a expressão da Transformação de Galileu.
- Inferir a regra da adição de velocidades a partir da Transformação de Galileu.
- Interpretar o conceito de grandeza física invariante.
- Reconhecer que as grandezas físicas massa, comprimento e tempo são invariantes no quadro da mecânica newtoniana.
- Enunciar o Princípio da Relatividade de Galileu.
- Relacionar o Princípio da Relatividade de Galileu com a invariância das Leis da mecânica.
- Relacionar o Princípio da Relatividade de Galileu com a indistinguibilidade entre repouso e movimento rectilíneo e uniforme.
- Relacionar o Princípio da Relatividade de Galileu com a inexistência de referenciais privilegiados e a equivalência dos vários observadores inerciais.
- Distinguir entre conservação e invariância de uma grandeza física.

Indicações metodológicas

Para introduzir a noção de referencial de inércia e distingui-lo do referencial não inercial (ou acelerado) pode estudar-se o movimento de um objecto num referencial em repouso, e depois num referencial com velocidade constante em relação a este. Nestes referenciais verifica-se a Lei da inércia, o que não acontece se o referencial móvel for acelerado em relação ao fixo. Justificar, neste contexto, a designação de referencial de inércia. A partir de exemplos concretos, reconhecer que as Leis de Newton só são válidas nestes referenciais. Inferir que os referenciais ligados à Terra podem ser considerados, em muitos casos, inerciais.

Para evidenciar o papel das condições iniciais nas expressões analíticas que descrevem um movimento, pode partir-se de exemplos de movimento de projecteis, escrevendo as expressões das equações paramétricas para um observador ligado à Terra e para um referencial inercial em movimento relativamente à Terra, tendo em conta as condições iniciais do movimento em cada um deles. Como a Lei fundamental da dinâmica tem a mesma forma em qualquer referencial inercial, as expressões gerais das equações paramétricas são as mesmas. Como as condições iniciais dependem do referencial, também a forma concreta das equações paramétricas depende do referencial, ou seja, a trajectória depende do referencial (aplicar os conhecimentos de cinemática desenvolvidos na unidade I).

Deduzir, a partir da soma geométrica de vectores, a relação entre os vectores posição de uma partícula em dois referenciais inerciais distintos. Esta expressão, que se escreve $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{r}'$, juntamente com $t = t'$, que traduz que o tempo "flui" da mesma maneira para observadores ligados aos dois referenciais, constitui a chamada Transformação de Galileu. Deduzir, a partir da expressão anterior, a adição de velocidades de Galileu: $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{v}'$. Aplicar esta expressão a situações muito simples do dia-a-dia.

Definir uma grandeza física como invariante quando ela toma o mesmo valor em todos os referenciais de inércia (apresentar a massa, um intervalo de tempo ou um comprimento como exemplos de invariantes). Outras grandezas, como a velocidade, a energia cinética, etc., dependem do referencial de inércia e, por isso, não são invariantes. Diz-se que o seu valor é *relativo* pois depende do referencial. Sublinhar que há grandezas que se conservam (como a energia mecânica, em sistemas não dissipativos), isto é, mantêm o mesmo valor num dado referencial, mas esse valor muda quando a descrição é feita noutro referencial inercial. Ou seja, estas grandezas conservam-se mas não são invariantes.

Enunciar o Princípio da Relatividade de Galileu e extrair os seus vários significados: a invariância das leis em referencias de inércia, a indistinguibilidade entre repouso e movimento rectilíneo e uniforme, a não existência de referenciais privilegiados e a equivalência dos pontos de vista dos vários observadores inerciais.

Conceitos como o de invariância das leis físicas e o de grandezas físicas invariantes são importantes para a compreensão da relatividade restrita.

Física em acção

Explicar, com base na relatividade galileana, situações como o movimento em passadeiras e escadas rolantes, as marcas da chuva nas janelas laterais de automóveis e comboios, a influência do vento no rumo dos aviões e das correntes no rumo dos barcos.

Sugestões de actividades

- Leitura e discussão de excertos do *Diálogo* de Galileu Galilei.
- Visualizar trajectórias de corpos ligados a referenciais inerciais distintos utilizando simulações (por exemplo, construindo os respectivos modelos e animações no programa "Modellus" ou utilizando o programa "Movimento Relativo", do "Softciências", ambos disponíveis na Internet).

1.2- Relatividade einsteiniana (4 aulas)

Objectivos

O aluno deverá ser capaz de:

- Reconhecer que o facto de as leis do electromagnetismo não serem as mesmas em todos os referenciais de inércia esteve na origem da relatividade restrita.
- Identificar a relatividade restrita como uma teoria que se deve aplicar a movimentos com velocidades elevadas (próximas da da luz).
- Enunciar e interpretar os postulados da relatividade restrita.
- Reconhecer o carácter relativo da noção de simultaneidade para observadores ligados a referenciais que se movem com velocidades próximas da da luz.
- Definir intervalo de tempo próprio.
- Reconhecer o efeito de dilatação temporal e aplicar a respectiva expressão.
- Definir comprimento próprio.
- Reconhecer o efeito de contracção espacial e aplicar a respectiva expressão.
- Reconhecer que a teoria newtoniana é um caso particular da relatividade restrita no limite das baixas velocidades ($v \ll c$).
- Indicar evidências experimentais da relatividade restrita.
- Indicar e interpretar a expressão que relaciona a massa e a energia.

- Reconhecer a insuficiência da teoria da gravitação de Newton e o aparecimento da teoria da relatividade geral.
- Reconhecer que as interações gravíticas são interpretadas, na relatividade geral, como uma deformação do espaço-tempo.
- Indicar que a relatividade geral descreve fenómenos em referenciais acelerados.
- Enunciar e interpretar o Princípio da Equivalência.

Indicações metodológicas

Introduzir a teoria da relatividade restrita numa perspectiva histórica. Face à não invariância das leis do electromagnetismo quanto a Transformações de Galileu, ao contrário do que sucedia com a mecânica de Newton, algo teria de mudar: o electromagnetismo, a mecânica ou ambas as teorias clássicas. Mudou a mecânica e manteve-se o electromagnetismo, trazendo a nova teoria aspectos inovadores relativamente à física clássica. Apresentar e analisar os postulados de modo a fazer-se o confronto com a teoria clássica (o Princípio da Relatividade de Einstein vale para toda a física, contendo o Princípio da Relatividade de Galileu que se aplica à mecânica clássica). Concluir que o valor finito da velocidade da luz implica que não haja propagação instantânea, o que é admitido na expressão da adição de velocidades de Galileu. A invariância da velocidade da luz impõe uma reformulação das noções de comprimento e de intervalo de tempo, tal como aparecem na mecânica clássica. A partir de experiências conceptuais, mostrar a não simultaneidade de acontecimentos em diferentes referenciais inerciais. Obter as expressões da dilatação temporal e da contracção espacial a partir das experiências pensadas de Einstein. Frisar que na teoria newtoniana os valores dos comprimentos e dos intervalos de tempo são invariantes mas as velocidades tomam valores diferentes de acordo com o referencial de inércia a que se reportam. Em relatividade restrita a velocidade da luz é um invariante, mas os valores de comprimentos e de intervalos de tempo dependem do referencial inercial.

Indicar provas experimentais da teoria da relatividade restrita e resolver questões quantitativas sobre contracção espacial e dilatação temporal.

A relação de equivalência entre massa e energia, $E = mc^2$, descoberta por Einstein, é apresentada sem, evidentemente, fazer a sua dedução. Trata-se de uma das relações mais mediáticas da física. Tomar exemplos do dia-a-dia para mostrar que o equivalente em massa de 1 J é um número muito pequeno. Contudo, nas reacções nucleares, a estudar mais à frente, aquela relação desempenha papel essencial.

Também a relatividade geral deve ser referida no contexto histórico. Na teoria da gravitação de Newton a interacção propaga-se à distância, instantaneamente. Einstein reconheceu esta dificuldade e, na teoria da relatividade geral, o campo gravitacional é substituído por uma deformação do espaço-

tempo quadridimensional na vizinhança de um corpo. Pode visualizar-se este efeito recorrendo a uma membrana elástica esticada sobre a qual se colocam objectos pesados.

O Princípio da Equivalência pode ser introduzido através de um paralelismo com o Princípio da Relatividade: deste último conclui-se que um observador não consegue distinguir se está ligado a um referencial em repouso ou em movimento rectilíneo uniforme. O Princípio de Equivalência indica que é impossível a um observador saber se está num campo gravítico com aceleração da gravidade, \vec{g} , ou ligado a um referencial acelerado cuja aceleração seja $\vec{a} = -\vec{g}$. Exprime-se, assim, a indistinguibilidade entre um campo gravitacional e um referencial acelerado.

Indicar que a relatividade geral tem importantes implicações em cosmologia.

Física em acção

Averiguar a importância das correcções relativistas no funcionamento de sistemas de posicionamento à superfície da Terra, tais como o *Global Positioning System (GPS)*.

Sugestão de actividade

- Pesquisar as implicações da teoria da relatividade em cosmologia.

2. Introdução à física quântica

(Total 7 aulas)

Objectivos

O aluno deverá ser capaz de:

- Reconhecer a insuficiência das teorias clássicas na explicação da radiação do corpo negro.
- Associar o Postulado de Planck à emissão e absorção de energia em quantidades discretas pelos constituintes de corpos a uma certa temperatura.
- Enunciar e aplicar a relação de Planck.
- Indicar as teorias clássicas da luz e reconhecer o papel predominante da teoria ondulatória.
- Indicar fenómenos que evidenciem propriedades ondulatórias da luz.
- Relacionar a insuficiência da teoria ondulatória da luz na explicação do efeito fotoelétrico com a formulação da teoria dos fótons de Einstein.
- Associar a teoria dos fótons à natureza corpuscular da radiação electromagnética, cuja energia é definida pela relação de Planck.
- Associar o comportamento corpuscular da luz ao efeito fotoelétrico e o comportamento ondulatório a fenómenos de difracção e interferência.

- Interpretar a dualidade onda-partícula para a luz.
- Reconhecer que a radiação interage com a matéria, podendo ser mais ou menos absorvida por esta.
- Definir radiação ionizante.
- Distinguir radiação electromagnética ionizante da não ionizante.
- Indicar efeitos da interacção da radiação não ionizante com a matéria.
- Caracterizar qualitativamente a interacção da radiação com a matéria no efeito fotoelétrico, no efeito de Compton e na produção e aniquilação de pares de partículas.
- Explicar o efeito fotoelétrico com base na teoria dos fotões de Einstein.
- Interpretar e aplicar a expressão do efeito fotoelétrico.
- Indicar aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico.
- Indicar a importância dos efeitos da interacção da radiação com a matéria na obtenção de imagens para diagnósticos na medicina.
- Identificar os raios X como radiação ionizante.
- Identificar que um mecanismo de produção de raios X se baseia no processo inverso do efeito fotoelétrico.
- Indicar aplicações dos raios X.
- Interpretar os espectros atómicos com base na emissão e absorção de fotões e reconhecer a contribuição de Bohr nesta interpretação.
- Associar o comportamento ondulatório da matéria a fenómenos de difracção e interferência.
- Interpretar a dualidade onda-partícula para a matéria.
- Indicar e interpretar a relação de De Broglie.
- Reconhecer que a dualidade onda-partícula fundamenta o Princípio de Incerteza.
- Enunciar e interpretar o Princípio de Incerteza.
- Reconhecer que foi o carácter dual da luz e da matéria que esteve na base da física quântica – a teoria física que descreve o comportamento da matéria à escala atómica e subatómica.

Indicações metodológicas

Recordar dos 10º e 11º anos o espectro de emissão térmica do corpo negro e o processo geral de emissão de radiação electromagnética. A quantização da energia e a relação de Planck é introduzida como um postulado que permitiu ultrapassar a incapacidade das teorias clássicas na explicação do espectro da radiação térmica. Obter a ordem de grandeza do "quantum" de energia (por exemplo, para uma radiação visível) e compará-la com a das energias envolvidas no nosso dia-a-dia. Associar a enorme diferença entre estes valores à nossa incapacidade para avaliar a descontinuidade da energia a nível macroscópico.

Recordar o efeito fotoelétrico estudado no 10º ano, ainda sem aprofundamento, e referir que o modelo ondulatório da luz (introduzido no 11º ano) foi incapaz de o explicar. Neste contexto, referir a evolução histórica das teorias clássicas corpuscular e ondulatória sobre luz e rever os fenómenos de natureza ondulatória já estudados no 11º ano, em particular o fenómeno de difracção, complementando-o com a referência a fenómenos de interferência (exemplificar com a experiência da dupla fenda de Young). Realçar a incapacidade da teoria ondulatória em explicar o efeito fotoelétrico e o surgimento de uma nova teoria corpuscular – a teoria dos fotões de Einstein. Evidenciar que este novo modelo corpuscular para a luz, num quadro não clássico, foi validado experimentalmente por Millikan (que recebeu o prémio Nobel por esta investigação e pela determinação da carga do electrão) e veio reforçar o Postulado de Planck. Concluir que a explicação do espectro do corpo negro e do efeito fotoelétrico consagrou a teoria corpuscular da luz em coexistência com a ondulatória. A luz tem, de facto, natureza dual, manifestando o carácter ondulatório em certas experiências e o corpuscular noutras.

Relembrar do 11º ano que a luz, ao incidir sobre uma superfície, sofre um processo de absorção que depende da sua frequência e do material onde incide. Após definir radiação ionizante e não ionizante e sua localização no conjunto das radiações electromagnéticas, estudar o efeito da interacção de radiação não ionizante (microondas, infravermelhos, luz visível e ultravioleta de baixa frequência) com a matéria. Mostrar que a interacção de fotões de maior energia com a matéria origina diferentes processos – efeito fotoelétrico, efeito (espalhamento) de Compton, produção de pares de partículas – e que a probabilidade de ocorrência desses fenómenos depende da radiação electromagnética incidente e do material absorvedor.

Mostrar que a teoria dos fotões explica os referidos fenómenos. Caracterizar o efeito fotoelétrico, escrevendo a respectiva expressão e aplicando-a na resolução de exercícios e problemas. Descrever o processo clássico de produção dos raios X e concluir que se trata de radiação ionizante. Indicar aplicações dos fenómenos estudados e realçar a sua importância na medicina, nomeadamente em áreas de diagnóstico ou tratamento.

Relembrar os modelos atómicos do 10º ano e aplicar a relação entre energia e frequência de Planck e Einstein na explicação dos espectros atómicos, realçando o papel de Bohr (não se pretende que se desenvolva o formalismo matemático baseado nos postulados de Bohr para apresentar o seu modelo).

Introduzir a dualidade onda-corpúsculo para a matéria, referindo que o êxito do modelo atómico de Bohr na explicação dos espectros atómicos levou Louis De Broglie a propor a natureza dual da matéria.

Analisar a experiência da difracção de feixes de electrões de Davisson e Germer, por analogia com a experiência de Young para a luz, e concluir que ela permitiu validar experimentalmente a hipótese da natureza ondulatória da matéria proposta por De Broglie. O Postulado de De Broglie é o equivalente para a matéria da relação de Planck e Einstein para a radiação. Na relação de De Broglie intervém o

comprimento de onda (que remete para a natureza ondulatória) e o momento linear (que remete para a natureza corpuscular) de uma partícula. De modo a evidenciar que o carácter ondulatório da matéria é indetectável para objectos do dia-a-dia, determinar o comprimento de onda associado a um objecto macroscópico em movimento e a um electrão (com uma energia de alguns KeV) e comparar os valores. Referir que foi a natureza dual da matéria que esteve na origem da formulação do Princípio de Incerteza, para o qual não existe um análogo clássico. Enunciar o Princípio de Incerteza e explicitar o seu significado. Esse princípio tem relevância na descrição de fenómenos à escala atómica, sendo essa descrição do âmbito da mecânica quântica. Deve realçar-se que os modelos formulados no início do século XX estiveram na base desta nova área da física, que se aplica a fenómenos microscópicos onde as teorias clássicas falhavam. A teoria quântica foi motor do desenvolvimento tecnológico ao longo do século XX e continua a sê-lo no nosso século.

Física em acção

Discutir a aplicação da natureza dual da matéria no microscópio electrónico.

Sugestão de actividade

- Pesquisar aplicações dos tópicos da física moderna descritos nesta secção em dispositivos utilizados no dia-a-dia.

3. Núcleos atómicos e radioactividade

(6 aulas)

Objectivos

O aluno deverá ser capaz de:

- Reconhecer, através da equivalência entre massa e energia, que a massa total de um núcleo é inferior à soma das massas dos seus nucleões.
- Associar a um núcleo uma dada energia de ligação.
- Reconhecer a existência de núcleos instáveis que se transformam espontaneamente e relacioná-la com a energia de ligação desses núcleos.
- Associar a emissão de partículas alfa, beta ou de radiação gama a processos de decaimento radioactivo.
- Reconhecer a existência de radiação ionizante do tipo electromagnético e corpuscular.
- Caracterizar os vários tipos de emissão radioactiva, seja na forma de radiação ou corpuscular.
- Reconhecer a conservação da carga total e do número de nucleões numa reacção nuclear.

- Indicar e aplicar a lei exponencial de decaimento radioactivo.
- Definir tempo médio de vida de uma amostra radioactiva e relacioná-la com a constante de decaimento.
- Associar a actividade de uma amostra radioactiva à rapidez de desintegração e indicar a unidade SI.
- Definir dose de radiação absorvida e respectiva unidade SI.
- Definir dose equivalente biológica e respectiva unidade SI.
- Identificar fontes naturais e artificiais de radiação ionizante.
- Indicar detectores de radiação ionizante.
- Indicar efeitos da radiação ionizante nos seres vivos.
- Avaliar as vantagens e desvantagens da utilização de radiação ionizante.
- Descrever e interpretar o processo de fusão nuclear.
- Descrever e interpretar o processo de cisão nuclear.
- Referir vantagens e desvantagens das aplicações da energia nuclear.

Indicações metodológicas

Começar por referir que o núcleo atómico deve a sua estabilidade às forças nucleares fortes. Há, porém, alguns núcleos que são instáveis. O fenómeno da radioactividade resulta da existência de núcleos que não são estáveis e que se transformam noutros, resultando núcleos mais estáveis. Definir energia de ligação nuclear e relacionar essa energia com a massa. A análise da variação da energia de ligação nuclear com o número de massa deverá dar indicações da maior ou menor estabilidade dos núcleos. A descoberta da radioactividade natural deve ser mencionada, assim como os trabalhos posteriores em radioactividade artificial. Chamar a atenção dos alunos de que o termo *radiação ionizante* é usado não só para certas ondas electromagnéticas como também para emissões radioactivas na forma de partículas. A caracterização das emissões radioactivas alfa, beta e gama (natureza, massa, carga, velocidade, poder ionizante e poder penetrante) deve ainda incluir a escrita de equações nucleares. O professor pode, numa demonstração para toda a turma, medir a radiação natural de fundo ou de fontes radioactivas com um contador de Geiger-Müller. No caso de fontes radioactivas existentes no laboratório, pode variar-se a distância entre o detector e a fonte e verificar o efeito no detector, e interpor entre elas placas de vidro, metal ou papel e investigar o poder de penetração da radiação.

Realçar a importância do período de decaimento (ou tempo médio de vida ou período de semi-desintegração) na datação de objectos antigos e no tipo de núcleos radioactivos utilizados nas aplicações em diagnóstico e terapia em medicina. Apresentar a lei de decaimento como uma lei de natureza estatística.

Dar ênfase aos efeitos das radiações ionizantes sobre os seres vivos, às suas aplicações, avaliando as vantagens e desvantagens da utilização das mesmas.

Descrever reacções nucleares, recordando o que a propósito já é conhecido do 10º ano.

Física em acção

Explicar qualitativamente técnicas de imagiologia médica tais como o PET e as que utilizam marcadores radioactivos.

Investigar os motivos de perigosidade para a saúde pública da acumulação de radão em edifícios.

Sugestões de actividades

- Observar numa câmara de nevoeiro (câmara de Wilson), ou dispositivo que a possa improvisar, a passagem das partículas alfa num meio saturado de vapor.
- Analisar em trabalho de grupo o impacto social da utilização de tecnologias nucleares, avaliando-se riscos e benefícios.

4ª PARTE

BIBLIOGRAFIA

Para além de uma lista de livros e de artigos em revistas sobre ensino da física, organizada em cinco grupos, indica-se um conjunto de sítios na Internet (todos os URLs estavam activos à data da elaboração deste programa).

Bibliografia específica de física

- Aguilar, J., Senent, F. (1980). *Cuestiones de Física*. Madrid: Editorial Reverté, S. A.
Livro com questões muito interessantes sobre física geral e respectivas resoluções
- Aido A., Ponte, M., Martins, M., Bastos, M., Pereira, M., Leitão, M., Carvalho, R. (1981). *Física para o 12º ano de escolaridade (via ensino)*, Vols.I e II. Lisboa: Livraria Sá da Costa Editora.
Livros escolares
- Alonso M., Finn, E. J. (1999). *Física*. Madrid: Addison-Wesley Iberoamericana España, S. A.
Livro de física geral
- Benson, H. (1995). *University Physics - Revised Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
Livro de física geral
- Bloomfield, L. A. (2001). *How Things Work - The Physics of Everyday Life* (2nd Ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
Livro com explicações de variados fenómenos quotidianos ou tecnologias
- De Jong, E., Armitage, F., Brown, M., Butler, P. & Hayes, J.(1992). *Physics in Context - Physics One*. Sidney: Heinemann Educational Australia.
Livro de física geral particularmente rico em contextos
- De Jong, E., Armitage, F., Brown, M., Butler, P. & Hayes, J. (1992). *Physics in Context - Physics Two*. Sidney: Heinemann Educational Australia.
Livro de física geral particularmente rico em contextos
- Dias de Deus, J. (1998). *Viagens no Espaço-Tempo*. Lisboa: Gradiva.
Livro sobre relatividade restrita
- Dias de Deus, J., Pimenta., M., Noronha, A., Peña, T., Brogueira. P. (2000). *Introdução à Física*. Lisboa: McGrawHill.
Livro de física geral
- Durán, J. (2003). *Biofísica - Fundamentos e Aplicações*. S. Paulo: Prentice Hall.

Livro de física geral com aplicações no domínio da Biofísica

- Fishbane, P. M., Gasiorowicz S., Thornton S. T. (1996). *Physics for Scientists and Engineers*. Upper Saddle River: Prentice-Hall, Inc.

Livro de física geral

- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2001). *Fundamentals of Physics* (6th Ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.

Livro de física geral (edição também em língua portuguesa)

- Hecht, E. (1998). *Physics* (2nd Ed). California: Brooks/Cole Publishing Company.

Livro de física geral

- Hewitt, P. G. (2002). *Física Conceitual* (9^a Ed.). S. Paulo: Artmed Editora.

Livro de física geral traduzido para língua portuguesa, especialmente indicado para pesquisas pelos alunos

- Lambert, A. (1990). *Questions on Everyday Physics*. London: Blackie and Son, Ltd.

Livro de física geral

- Ohanian, H. C. (1994). *Principles of Physics*. New York: W.W. Norton & Company.

Livro de física geral

- Parker, K., Parry, M. (1997). *Physics for Sport. Supported Learning in Physics Project*. Heinemann.

Livro de mecânica com explicações no contexto do desporto

- Serway, R., Beichner, R. (2000). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (5th Ed.). Fort Worth: Saunders College Publishing.

Livro de física geral (edição também em língua portuguesa)

- Tipler, P. (2000). *Física para cientistas e engenheiros*, Vol. 1, 2 e 3. (4^a Ed.). Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.

Livros de física geral

- Tipler, P., Llewellyn, R. (2001). *Física Moderna* (3^a Ed.). Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.

Livro que aborda exclusivamente assuntos de física moderna

- Ventura, G., Ruivo, C. (1994). *Movimento Relativo - Manual de utilização*. Softciências: Departamento de Física, Universidade de Coimbra.

Disponível em <http://nautilus.fis.uc.pt/softc/programas/soft10.htm>.

Manual de utilização do *software* "Movimento Relativo" contendo introdução teórica sobre relatividade galileana

Bibliografia sobre trabalho laboratorial e experimental

- Abreu, M. C., Matias, L., Peralta, L. F. (1994). *Física Experimental - Uma introdução*. Lisboa: Editorial Presença.

- Albuquerque, W., Yoe, H., Tobelem, R., Pinto, E. (1980). *Manual de Laboratório de Física*. São Paulo: McGraw- Hill do Brasil.
- Araújo, S., Abib, M. L. (2003). Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25(2). Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/>
- Bernard, C., Epp, C. (1995). *Laboratory experiments in College Physics*. John Wiley & Sons, Inc.
- Cox, A., Junkin W. (2002). Enhanced student learning in the introductory physics laboratory. *Physics Education*, 37(1), 37-44.
- Sequeira, M., Dourado, L., Vilaça, M., Silva, J., Afonso, A., Batista, J. (org.) (2000). *Trabalho Prático e Experimental na Educação em Ciências*. Braga: Universidade do Minho.
- Volz, D. (2000). *Physics Science with Calculators*. Vernier Software & Technology.

Bibliografia em revistas sobre ensino da física

Unidade I - Mecânica

- Agawal, D. C. (2000). Terminal velocity of skydivers. *Physics Education*, 35(4), 281-283.
- Aurora, T. S., Tabares, C. (1995). Microgravity and the human body. *Physics Education*, 30(3), 143-150.
- Bierman, J., Kincanon, E. (2003). Reconsidering Archimedes' Principle. *Physics Teacher*, 41(6), 340-344.
- Gluck, P. (2003). Air Resistance on Falling Balls and Balloons. *Physics Teacher*, 41(3), 178-180.
- Goff, J. (2004). A Fun General Education Physics Course: Physics of Sports. *Physics Teacher*, 42(5), 280-283.
- Graf, E. H. (2004). Just What Did Archimedes Say About Buoyancy?. *Physics Teacher*, 42(5), 296-299.
- Greenspoon, S. (2001). A consistent vector approach to teaching introductory mechanics. *Physics Education*, 36(1), 58-60.
- Haugland, O. A. (2001). Physics Measurements for Sports. *Physics Teacher*, 39(6), 350-353.
- Silva, A. (1998). Uma Modelização Didáctica das Marés. *Gazeta de Física*, 21(3), 2-8.
- Teodoro, V. (2004). Playing Newtonian games with Modellus. *Physics Education*, 39(5), 421-428.
- Valiyov, B., Yegorenkov, V. (2000). Do fluids always push up objects immersed in them?. *Physics Education*, 35(4), 284-286.
- Veit, E., Mors, P., Teodoro, V. (2002). Ilustrando a Segunda Lei de Newton no Século XXI. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24(2), 176-184. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/>

Unidade II - Electricidade e Magnetismo

- Brown, R. (2003). Series and Parallel Resistors and Capacitors. *Physics Teacher*, 41(8), 483-485.
- Carvalho, R. (1997). Como se Mediu a Carga do Electrão. *Gazeta de Física*, 20(1), 6-9.
- Engelhardt, P., Beichner, R. (2004). Student's understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72, 98-115. Disponível em: <http://www.ncsu.edu/per/>
- Livelybrooks, D. (2003). "Feel" the Difference Between Series and Parallel Circuits. *Physics Teacher*, 41(2), 102-103.
- Magalhães, M., Santos, W., Dias, P. (2002). Uma Proposta para Ensinar os Conceitos de Campo Eléctrico e Magnético: uma Aplicação da História da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24(4), 489-496. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/>
- Solano, F., Gil, J., Pérez, A. L., Suero, M. I. (2002). Persistencia de Preconcepciones sobre los Circuitos Eléctricos de Corriente Continua. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24(4), 460-470. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/>

Unidade III - Física Moderna

- Baierlein, R. (1991). Teaching $E=mc^2$: An Exploration of Some Issues. *Physics Teacher*, 29(3), 170-175.
- Belloni, M., Christian, W., Dancy, M. (2004). Teaching Special Relativity Using Physlets. *Physics Teacher*, 42(5), 284-290.
- Castellani, O. (2001). Discussão dos Conceitos de Massa Inercial e Massa Gravitacional. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23(3), 356-359. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/>
- Crawford, P. (1995). O Significado da Relatividade no Final do Século. *Colóquio Ciências*, 16, 3-26. Disponível em: http://cosmo.fis.fc.ul.pt/~crawford/artigos/cc_sr.pd
- Fisher, N. (2001). Space science 2001: some problems with artificial gravity. *Physics Education*, 36(3), 193-201.
- Gil, D., Solbes, J. (1993). The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *Int. J. Sci. Educ.*, 15(3), 255-260.
- Hecht, E. (2000). From the Postulates of Relativity to the law of Inertia. *Physics Teacher*, 38(8), 497-498.
- Hecht, E. (2003). An Historico-Critical Account of Potencial Energy: Is PE Really Real?. *Physics Teacher*, 41(8), 486-493.
- Jones, G. (2000). Concern about post-16 A-level. *Physics Teacher*, 35(4), 250-252.
- Kirsh, Y., Meidav, M. (1987). The Michelson - Morley experiment and the teaching of special relativity. *Physics Education*, 22(5), 270-273.

- Lemos, N. (2001). $E=mc^2$: origem e significado. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23(1), 3-9. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/>
- Mackintosh, R. (2001). Telling the world about nuclear physics. *Physics Education*, 36(1), 35-39.
- Niaz, M., Rodríguez, M. A. (2002). Improving learning by discussing controversies in 20th century physics. *Physics Education*, 37(1), 59-63.
- Palfreyman, N. (1994). Relativity on a single sheet. *Physics Education*, 29(4), 217-221.
- Salgueiro, L., Ferreira, J. M. (1996). Os Primeiros Anos da Descoberta da Radioactividade. *Gazeta de Física*, 19(2), 7-10.
- Scherr, R. E., Shaffer, P. S., Vokos, S. (2001). Student understanding of time in special relativity: Simultaneity and reference frame. *American Journal of Physics*, Suppl. 69(7), S24-S35.
- Scherr, R. E., Shaffer, P. S., Vokos, S. (2002). The challenge of changing deeply held students beliefs about the relativity of simultaneity. *American Journal of Physics*, 70(12), 1238-1248.
- Valadares, J. (1993). O conceito físico de massa. *Gazeta de Física*, 16(1), 9-14.
- Valadares, J. (1993). O conceito físico de massa. *Gazeta de Física*, 16(4), 13-19.

Bibliografia geral

- Almeida, G. (2002). *Sistema Internacional de Unidades* (3^o Ed.). Lisboa: Plátano.
- Barrios, C. S. et al. (2002). *Física 12^o grado*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.
- Dias de Deus, J., Peña, T. (1998). *Inovações nos planos curriculares dos ensinios básico e secundário: critérios de elaboração dos programas de física*. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Física.
- Galvão et al. (2001). *Ciências Físicas e Naturais, orientações curriculares - 3^o ciclo*. Lisboa: Departamento de Ensino Básico, Ministério da Educação.
- Martins, I. et al. (componente de Química), e Bello, A. et al. (componente de Física) (2001). *Programa de Física e Química A - 10^o ano*. Lisboa: Departamento do Ensino Secundário, Ministério da Educação.
- Martins, I. et al. (componente de Química) e Bello, A. et al. (componente de Física) (2003). *Programa de Física e Química A - 11^o ano*. Lisboa: Departamento do Ensino Secundário, Ministério da Educação.
- Ministère de l'Éducation Nationale de la Recherche et de la Technologie (1999). *Programmes des Lycées*. Bulletin Officiel de L'Éducation Nationale, 6.
- Ministério da Educação (1996). *Física 12^o ano - Programa*. Lisboa: Departamento do Ensino Secundário.
- Ministério da Educação (1996). *Física 12^o ano - Orientações de Gestão do Programa*. Lisboa: Departamento do Ensino Secundário.
- Real Decreto 938/2001, BOE 215, 7 Setembro 2001, 33795 (« Currículo del Bacharelato» - Espanha).

- Roldão, M. C. (1999). *Gestão curricular - fundamentos e práticas*. Lisboa: Ministério da Educação/DEB. Disponível em:
http://www.deb.min-edu.pt/curriculo/Reorganizacao_Curricular/reorgcurricular_publicacoes.asp

Bibliografia de divulgação científica

- Balibar, F. (1988). *Einstein: uma leitura de Galileu e Newton*. Lisboa: Edições 70.
- Berkès, I. (1992). *A Física do Quotidiano*. Lisboa: Gradiva.
Livro apropriado para leitura pelos alunos
- Bodanis, D. (2001). *E=mc² - A Biografia da Equação mais Famosa do Mundo*. Lisboa: Gradiva.
- Ehrlich, R. (1991). *Virar o mundo do avesso*. Lisboa: Gradiva.
Livro apropriado para leitura pelos alunos
- Feynman, R. (1989). *O que é uma lei física?*. Lisboa: Gradiva.
- Fiolhais, C. (1991). *Física Divertida*. Lisboa: Gradiva.
Livro apropriado para leitura pelos alunos
- Gamow, J. (1990). *As aventuras do Sr. Tompkins*. Lisboa: Gradiva.
Livro apropriado para leitura pelos alunos
- Lévi-Leblond, J. M. (1991). *A Electricidade e o Magnetismo em Perguntas*. Lisboa: Gradiva.
Livro apropriado para leitura pelos alunos
- Lévi-Leblond, J. M. (1991). *A Mecânica em Perguntas*. Lisboa: Gradiva.
Livro apropriado para leitura pelos alunos
- Pagels, H. (1982). *O Código Cósmico*. Lisboa: Gradiva.
- Pais, A. (1996). *Einstein viveu aqui*. Lisboa: Gradiva.
- Schwartz, J., McGuinness, M. (1988). *Einstein para Principiantes*. Lisboa: Publicações Dom Quixote.
Livro apropriado para leitura pelos alunos
- Stannard, R. (1991). *O tempo e o espaço do tio Alberto*. Lisboa: Edições 70.
Livro apropriado para leitura pelos alunos
- Stannard, R. (1992). *Os buracos negros e o tio Alberto*. Lisboa: Edições 70.
Livro apropriado para leitura pelos alunos
- Varela, J. (1996). *O Século dos Quanta*. Lisboa: Gradiva.
- Walker, J. (1990). *O Grande Circo da Física*. Lisboa: Gradiva.
Livro apropriado para leitura pelos alunos

Sítios na Internet

<http://nautilus.fis.uc.pt/ccsoftc/mocho/fisica/index.html>

(contém recursos para o ensino da física, incluindo os programas do "Softciências")

<http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/>

(contém o programa "Modellus" e recursos a ele associados)

<http://www.feiradeciencias.com.br/>

(aborda diversos temas de física, clássica e moderna, incluindo propostas de actividades práticas e experimentais)

<http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica/index.html>

(contém diversos temas de física e *applets* de laboratório virtual)

<http://www.ufsm.br/gef/inicio>

(aborda vários temas desde os fluidos à física moderna)

<http://www.maloka.org/f2000/index.html>

(sítio espanhol com temas e simulações de física)

<http://cienciaemcasa.cienciaviva.pt/index.html>

(sítio português com propostas de actividades experimentais simples)

http://www.physics.org/physics_life/Web/physics_life/life.asp

(contém informação simples sobre o funcionamento de aparelhos do nosso quotidiano)

<http://www.advantageathletics.com/jumps/clinger.html>

(contém óptimas imagens de atletas em acção)

<http://www.howstuffworks.com/category.htm?cat=Space>

(sítio onde se explica como funciona quase tudo)

http://www.atletas.net/competicoes/recordes/1_1

(contém *records* mundiais de atletismo)

http://lsda.jsc.nasa.gov/scripts/cf/hardw.cfm?hardware_id=61

(*body mass measurement device*)

<http://gallery.spaceref.com/us-spaceflight/STS040/10064307.html>

(*body mass measurement device* - com imagens do dispositivo)

<http://www.nsbri.org/HumanPhysSpace/focus5/sf-musclemass.html>

(*body mass measurement device* - imagens e descrição)

http://www.pa.uky.edu/~moshe/phy231/lecture_notes/bungee_forces.html

(explicação física do *bungee-jumping*)

http://www.io.com/~o_m/ssh_skylab_trainer_inside.html

(o interior da *Skylab*)

<http://astro.if.ufrgs.br/fordif/node3.htm>

(contém explicação simples das marés e animação do movimento da Lua em torno da Terra)

<http://www.icnirp.de/publications.htm>

(sítio da Comissão Internacional para a Protecção de Radiações Não Ionizantes (ICNIRP))

<http://www.lx.it.pt/monit/>

(contém informação sobre efeitos biológicos da radiação electromagnética)

<http://www.cienciaviva.pt/projectos/physics2003/palestrapavconhecimento.pdf>

(contém palestra sobre radioactividade)

<http://www.itn.pt/>

(contém informação sobre o radão)

<http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl>

(contém boa informação para alunos sobre física moderna)

Sítios na Internet só com simulações em física

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/~hwang/>

<http://www.walter-fendt.de/ph11br/>

<http://www.surendranath.org/Applets.html>

Sítios na Internet sobretudo para professores

<http://www.physicsweb.org/bestof>

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm>

(sítio espanhol com um curso interactivo de física)