

**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA**



SEGREDOS DA LUZ E DA MATÉRIA

**Materiais para a Exposição de
Pré-Figuração do Museu das Ciências da
Universidade de Coimbra**



António José Fontoura Leonardo

Novembro de 2005



SEGREDOS DA LUZ E DA MATÉRIA

Materiais para a Exposição de
Pré-Figuração do Museu das Ciências da
Universidade de Coimbra

Dissertação do Mestrado no Ensino da Física e da Química

*Orientador: Professor Doutor Carlos Fiolhais
Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade de Coimbra*

*Co-Orientador: Doutor Pedro Casaleiro
Universidade de Coimbra*

Novembro de 2005

Agradecimentos

Agradeço aos meus professores e colegas pelo apoio que sempre me prestaram no sentido de suprir as minhas limitações.

Realço, em particular, o colega Paulo Prata Pinto, cuja disponibilidade demonstrada em todos os momentos me foi indispensável ao longo do curso do mestrado.

Para todos, o meu obrigado.

À memória de meu Pai

ÍNDICE

Introdução	1
1. Aprender em ambiente de museu	3
1.1. O museu na infra-estrutura educativa	3
1.2. O processo de aprendizagem	4
1.3. Os contextos de aprendizagem nos museus	6
1.3.1. O contexto pessoal	6
1.3.2. O contexto sociocultural	7
1.3.3. O contexto físico	9
1.3.4. O modelo contextual da aprendizagem	9
1.4. Museu de ciência <i>versus</i> centro de ciência	12
1.5. O museu de ciência e a aprendizagem da ciência e tecnologia	15
2. Segredos da luz e da matéria	17
2.1. A descoberta dos elementos	19
2.2. Finalmente, o átomo!	30
2.3. Os elementos organizam-se em famílias	35
2.4. Ondas luz através do éter	39
2.5. Os espectros com códigos de barras dos elementos	49
2.6. Visão colorida do mundo	55
2.7. Corpúsculos de luz	62
2.8. O interior do átomo	64
2.9. Estrelas – Incubadoras dos elementos	71
2.10. Supernova: o sonho dos alquimistas	75
2.11. Novos enigmas da matéria	80
3. O Museu das Ciências e os <i>curricula</i> dos ensinos básico e secundário	82
3.1. Primeiro e segundo ciclos do ensino básico (até aos 12 anos)	82
Primeiro ciclo do ensino básico	83
Segundo ciclo do ensino básico	84

3.2. Terceiro ciclo do ensino básico (12 – 15 anos)	85
Sétimo ano de escolaridade	85
Oitavo ano de escolaridade	86
Nono ano de escolaridade	87
3.3. Ensino secundário	88
Décimo ano de escolaridade – disciplina de Física e Química	89
Décimo primeiro e décimo segundo anos de escolaridade	90
4. Conclusões	91

ANEXOS

Mapa cronológico	92
Guião da exposição “Segredos da Luz e da Matéria”	98
Planta do museu	106
Índice de ilustrações	107
Bibliografia	109

Introdução

Esta tese de Mestrado no Ensino da Física e da Química tem como objecto os conteúdos da exposição de pré-figuração do futuro Museu das Ciências da Universidade de Coimbra, a ter lugar no edifício do *Laboratório Chimico*, no Largo Marquês de Pombal, em Coimbra. Este museu abrirá ao público em Novembro de 2006 com uma exposição subordinada ao tema “*Segredos da Luz e da Matéria*”.

O presente trabalho divide-se em três capítulos. No primeiro é analisado o processo de aprendizagem em ambiente museológico, nomeadamente dos museus dedicados à ciência e tecnologia. São propostas recomendações para o planeamento e concretização da exposição, com vista a otimizar o respectivo impacte educacional.

O segundo capítulo é dedicado ao tratamento do tema “*Segredos da Luz e da Matéria*”. Apresenta-se a evolução histórica dos conceitos de luz e matéria, localizando, cronologicamente, as várias etapas que conduziram ao actual estágio do conhecimento. A leitura destes textos, em complementaridade da exposição, permitirá ao visitante integrar os conteúdos expostos numa estrutura organizada que os relaciona, desenvolvendo uma lógica de continuidade das ideias. Tentou-se expor os assuntos num gradiente de complexidade concomitante com a evolução cronológica. Há uma hierarquia de níveis de observação: os conceitos evoluem do macroscópico para o microscópico, de uma forma que se apoia na informação experimental. Exemplifica-se, assim, o funcionamento da ciência e contextualizam-se as principais ideias relacionadas com os conteúdos expositivos. Adicionalmente, inclui-se como anexo um mapa cronológico onde se integram todos os eventos históricos relatados.

No terceiro capítulo aponta-se a sobreposição de assuntos entre a exposição e os curricula dos ensinos básico e secundário. Assim, de acordo com o nível de ensino dos jovens que visitem o museu, será possível adequar o discurso dos monitores aos conhecimentos prévios dos jovens. Os módulos expositivos e a sua distribuição no espaço do museu relacionam-se com os curricula escolares. Embora o ideal seja a elaboração de roteiros específicos por cada grau de ensino, esta tarefa só será viável quando a exposição se encontrar numa fase em que haja a certeza da sua estrutura e composição, sendo possível a recolha dos materiais gráficos a incluir nos roteiros. Neste

capítulo também se apontam algumas ideias pré-concebidas dos jovens, por nível etário, juntamente com algumas estratégias a seguir na abordagem desses assuntos.

Como anexo, apresenta-se uma proposta de guião expositivo que ainda é provisória. Esta proposta foi elaborada em conjunto com o Professor Doutor Carlos Fiolhais, o Professor Doutor Paulo Gama Mota e o Doutor Pedro Casaleiro, tendo em consideração as sugestões dadas pelo Professor Doutor Michel Van Pratt, do Museu de História Natural de Paris.

1. Aprender em ambiente de museu

1.1. O museu na infra-estrutura educativa

Por infra-estrutura educativa entende-se o conjunto de todas instituições ou ferramentas, ao dispor do cidadão, que lhe permitem alargar os seus conhecimentos. Nela se baseia toda a actividade educativa de uma comunidade, uma vez que ela providencia os recursos e a informação necessários aos processos de aprendizagem. A infra-estrutura inclui as escolas de todos os níveis, bibliotecas, livros, revistas, jornais, rádio e televisão, Internet e museus. Os estabelecimentos escolares apresentam-se como locais de ensino e aprendizagem, em muitos casos de frequência obrigatória, com o objectivo de obter competências indispensáveis para a integração social, e com conteúdos e modos de ensino estabelecidos sem a intervenção directa do aluno, mas os restantes meios da infra-estrutura educativa são de escolha livre, isto é, a sua utilização depende de uma motivação e escolha pessoal do momento, local ou assunto a conhecer. No fenómeno museológico, o sujeito pode não só escolher livremente o que quer aprender, de entre os conteúdos expostos, mas também escolher, *a priori*, se quer proceder, ou não, à visita.

Um museu define-se como uma “instituição capaz de apresentar ideias ao público de forma agradável e com um formato experimental e compreensível” (Falk, 2000, p. 2). É, por isso, um local acessível a crianças e adultos que lhes permite, aprazivelmente, descobrir o passado, presente e futuro do mundo natural e da humanidade, adquirindo significado e entendimento. Apesar de os museus serem também espaços de aprendizagem, a decisão de visitar um museu relaciona-se, normalmente, com a obtenção de entretenimento. A obtenção de conhecimento surge apenas como um objectivo secundário ou acessório para a maioria dos visitantes, apesar de ser essa a razão mais frequentemente apresentada (Falk, 1992, p. 15).

Tem havido em todo o mundo um aumento do número de visitas aos museus, facto a que não é estranho à relevância que os governos têm vindo a atribuir a estas instituições. Verifica-se uma maior preocupação com a obtenção de experiências intelectualmente estimulantes e uma alteração na forma como os museus estruturam e apresentam os seus objectos e ideias. Os conteúdos expositivos tendem,

prioritariamente, a facilitar uma maior interacção com o público, procurando ir ao encontro dos seus interesses e expectativas e privilegiando módulos recreativos que contemplem objectivos educacionais. A prerrogativa recreativa não deve, porém, sobrepor-se ao objectivo educacional que é inerente a qualquer museu.

1.2. O processo de aprendizagem

A capacidade de aprender não é uma característica exclusivamente humana: ela surge com o aparecimento da vida na Terra e com a sua evolução. O registo de determinados eventos confere ao organismo a possibilidade de adequar uma melhor resposta a eventos futuros, o que pode aumentar as possibilidades de sobrevivência. A aprendizagem é um produto de milhões e milhões de anos de evolução, inculcada geneticamente em todos nós, garantindo-nos as ferramentas imprescindíveis à adaptação ao mundo à nossa volta.

O ser humano retém o conhecimento através de sínteses mentais de informação. Trata-se de um processo de construção pessoal balizado por estímulos exteriores. Acontece que as representações mentais constituem, por vezes, um entendimento incompleto, ou mesmo errado. Estas concepções são designadas por pré-concepções, concepções erradas ou concepções alternativas. Elas têm para o aprendiz uma coerência interna, apesar de poderem ser inconsistentes, e condicionam a aprendizagem de novos conhecimentos. Surgem da intuição pessoal, mas também da informação recebida por interacção social e escolar. As concepções alternativas são partilhadas por grupos de alunos, ou grupos sociais, formando um corpo de conhecimentos estável e resistente à mudança. Torna-se por isso necessário o inventário destas concepções, reconhecendo que os indivíduos não são receptáculos vazios do conhecimento e procurando que os novos conhecimentos se ancorem nos conhecimentos prévios.

A mudança conceptual necessita que haja acomodação dos novos conhecimentos nas ideias prévias ou substituição completa destas quando se apresentam incorrectas. A assimilação de um novo conceito depende de quatro condições. Em primeiro lugar, é necessário existir *insatisfação* com as concepções existentes. O sujeito deve começar por estar motivado para a mudança causada por um desequilíbrio cognitivo. Esta insatisfação pode ser gerada pela apresentação de factos que contrariem as concepções

prévias ou que não sejam por elas explicáveis. As condições seguintes implicam que a nova concepção seja *inteligível* e *plausível* para o indivíduo. Isto significa que o sujeito deve ser capaz de processar intelectualmente o novo conhecimento, de forma que este adquira significado, ao observar a sua aplicabilidade noutros contextos.

Relativamente ao processamento da informação, os acontecimentos, observações ou instruções são filtradas numa parte consciente da nossa mente – memória operativa ou de curto prazo. A informação é comparada com outra já armazenada, decidindo-se se aquela deve ser armazenada ou rejeitada. O armazenamento ocorre numa memória de longo prazo a partir de pontos nos quais o novo conhecimento se ancora. Os conteúdos preexistentes na memória de longo prazo afectam a aprendizagem dos novos conteúdos. Se o novo conhecimento não encontrar um ponto de ancoragem pode ficar desligado de qualquer conteúdo (sendo apenas memorizado), podendo por isso ser facilmente perdido. O processo de aprendizagem é proactivo, uma vez que exige esforço por parte do receptor, e está limitado pela quantidade de informação que o indivíduo pode manipular num dado tempo.

Em resultado do estudo da memória de George Miller, sabe-se que a memória operativa pode operar um número máximo de 7 (± 2) “unidades” ou “parcelas” (Miller, 1956, citado em Falk, 2000, p. 119) de informação. Significa isto que “o cérebro é capaz de manipular cerca de 7 bits de informação, a partir de todos os sentidos, num dado momento” (Falk, 2000, p. 119). Este número de parcelas não representa a mesma quantidade de informação para todas as pessoas, antes depende do desenvolvimento conceptual que o sujeito possui em determinado tema, que lhe irá permitir dividir um certo dado num menor número de parcelas. Por outras palavras, a palavra MUSEU representa um *bit* de informação para um adulto, mas para uma criança pode representar 5 *bits*: M, U, S, E, U.

A última condição na mudança conceptual relaciona-se com a *fertilidade* da nova concepção, ou seja, com a possibilidade de a aplicar a novas situações explicando com sucesso novas observações. Assim, se, futuramente, a experiência pessoal do indivíduo providenciar estímulos que tornem o conhecimento relevante e útil, este, ainda que adormecido, será recuperado e reforçado.

1.3. Os contextos de aprendizagem nos museus

A aprendizagem não é um fenómeno que possa ser isolado e estudado em laboratório. Trata-se de uma experiência complexa e multifacetada, dependente do contexto onde se integra e se desenvolve. Ao longo da sua vida, o indivíduo constrói o seu conhecimento em resultado das interações que desenvolve, no seu meio sociocultural e físico. Os novos significados distribuem-se por camadas, altamente volúveis, que interagem entre si e influenciam o surgimento de futuras camadas.

O sujeito aprende permanentemente, mas não de uma forma contínua, qualquer que seja o ambiente onde se encontra. As coisas não se descobrem num dado momento mas vão sendo compreendidas ao longo do tempo. Tal significa que o processo de aprendizagem não se restringe a momentos formais como as aulas, sessões de estudo, acções de formação, mas pode ocorrer a qualquer momento, em consequência de um determinado contexto e de estímulos recebidos. Podem distinguir-se três contextos, apesar destes não serem separáveis, que contribuem para a aprendizagem: os contextos pessoal, sociocultural e físico. O processo de aprendizagem em ambiente de museu é afectado por estes três contextos, sendo essencial tê-los em conta com vista a otimizar a sucesso educacional de uma dada exposição, isto é, o impacto pedagógico junto dos seus visitantes.

1.3.1. O contexto pessoal

Em princípio, exceptuando os casos escolares, quando uma pessoa, ou grupo de pessoas, se decide a visitar um determinado museu, essa decisão decorre de uma agenda pessoal (Falk, 1992, p. 25), isto é, pressupõe um conjunto de expectativas que o visitante espera ver satisfeitas. A agenda pessoal irá influenciar o impacto educacional da exposição, porquanto o tempo dedicado e a atenção prestada serão tanto maiores quanto mais consonante for a experiência vivida com o que era esperado.

Um primeiro aspecto a ter em conta relaciona-se com a motivação do visitante. Existe uma estreita relação entre o estado emocional e o processo cognitivo, uma vez que o sistema límbico, que regula as nossas emoções, intervém como filtro no conjunto dos elementos sensoriais que são incorporados na memória. Toda a informação sensorial recebida é confrontada com a estrutura conceptual preexistente, atestando a

sua relevância e significado. Quanto mais evidente for o seu valor emocional, mais facilmente ela será assimilada. A aprendizagem torna-se, então, uma experiência recompensadora, ocorrendo de forma natural e com menor esforço.

Outro aspecto a ter em conta é o interesse pessoal. Cada indivíduo obtém satisfação de uma actividade quando esta se insere nos seus interesses. Estes são determinados por um conjunto disperso de variáveis, em resultado das suas experiências individuais anteriores. Previsivelmente, um visitante de um museu de ciência inclui os conteúdos desse museu na sua lista de interesses pessoais. Caso contrário, é possível que o impacto de uma dada exposição desencadeie interesse pelo tema apresentado.

É imprescindível que a informação disponibilizada encontre pontos de fixação na estrutura mental do visitante, a fim de que tenha sentido (Hein, 1998, p. 164). A aprendizagem depende não apenas do conhecimento prévio, mas também de uma motivação apropriada e da combinação das acções física e mental do indivíduo. Isto implica que todo o processo depende do contexto pessoal de cada indivíduo. Na ausência de estímulos adequados ao contexto pessoal, os padrões ou associações são armazenadas de forma arbitrária e sem significado aparente, podendo ressurgir, mais tarde, em virtude de experiências subsequentes que tornam útil e relevante esse conhecimento adormecido.

Torna-se, portanto, vantajoso que os elementos expositivos permitam aos visitantes estabelecer conexões entre aquilo que já sabem ou conhecem e os novos conhecimentos. Estas possíveis conexões abrangem, normalmente, ideias ou objectos do seu quotidiano.

1.3.2. O contexto sociocultural

O homem é um ser social, o que implica que a sua aprendizagem é mediada pelo ambiente sociocultural em que se insere.

Na maioria dos casos, a opção de visitar um museu serve também como uma oportunidade de passar algum tempo com a família ou amigos. A aprendizagem é directamente influenciada pelas interacções que ocorrem entre os elementos de um dado grupo de visitantes, verificando-se que os membros mais instruídos ou informados tendem a adoptar uma postura docente relativamente aos outros. Assim, quando o grupo é confrontado com um determinado facto ou ideia, o membro que o grupo reconhece

como o mais entendido serve de intermediário na transmissão do conhecimento aos outros. Quando se trata de um grupo familiar, esta função é assumida pelos pais. Tratando-se de uma visita escolar, a tarefa é, normalmente, desempenhada pelo(s) professor(es) acompanhante(s). Esta situação pode ocasionar enviesamentos dos conteúdos apresentados, pois, na tentativa de não defraudar o crédito do grupo, o membro mais esclarecido poderá avançar com uma explicação sem esta ser a mais correcta.

Um outro aspecto do contexto sociocultural tem a ver com a emulação, ou seja, a aprendizagem obtida pela observação e imitação, também designada por aprendizagem social (Falk, 2000, p. 49). O comportamento de um dado indivíduo em ambiente de museu é directamente afectado pelo comportamento observado nos outros, sendo benéfico proporcionar experiências que permitam a intervenção conjunta dos membros de um dado grupo.

A forma mais eficaz de transmissão do conhecimento ocorre pela narrativa. Com efeito, a investigação cognitiva demonstra que, universalmente, as pessoas conseguem organizar mais eficazmente a informação quando esta lhes é apresentada sob a forma de uma história. Mesmo as crianças mais pequenas recordam as suas experiências diárias sob a forma de uma história, isto é, organizam as suas representações de uma situação numa sequência de eventos (Falk, 2000, p. 49). Muita informação foi sendo transmitida entre gerações através de um conjunto de histórias. É, por isso, vantajoso apresentar os conteúdos de uma forma narrativa, explicitando, cronologicamente, os momentos mais salientes relacionados com o tema que se pretende abordar. São vulgares concepções erradas do mundo natural, partilhadas por grupos sociais, que são semelhantes a teorias científicas em vigor em determinadas épocas históricas mas que foram depois abandonadas. É conveniente apresentar o trajecto percorrido pela ciência, realçando as razões que presidiram ao abandono de determinadas concepções. Tal pode providenciar uma melhor compreensão das teorias vigentes, aceites pela comunidade científica. Desta forma conclui-se também que o conhecimento científico não é um empreendimento acabado, mas está em constante evolução.

O contexto sociocultural em que cada indivíduo se insere deve ser tido em conta na medida em que diferentes grupos sociais partilham conhecimentos, interesses e visões do mundo similares. Certos objectivos educativos de uma dada exposição são mais adequados a determinados grupos sociais do que a outros.

1.3.3. O contexto físico

Este contexto é, talvez, aquele que levanta as maiores preocupações por parte dos profissionais responsáveis por um museu. Trata-se da parte mais visível de qualquer espaço museológico e é ele que origina os aspectos mais frequentemente recordados e persistentes por parte do visitante.

A aprendizagem está, inextricavelmente, relacionada com o ambiente onde esta ocorre. Um dos problemas da educação tem a ver com a inabilidade do aprendiz de transferir os conteúdos aprendidos num contexto físico para outros contextos ou situações. Esta particularidade resulta da necessidade de controlar o ambiente que nos rodeia, adaptando o nosso comportamento, de forma diversificada, a cada espaço físico onde nos encontramos. O espaço do museu, sendo à partida estranho, irá condicionar a atitude dos visitantes.

Para começar, o edifício que alberga o museu é um factor que pode despertar uma reacção emocional no visitante, propiciando o interesse e desencadeando um estado de espírito que facilita a transmissão dos conteúdos. Já no interior é indispensável garantir o conforto, apostando nas características que possam tornar o ambiente mais aprazível, e prolongar o tempo da visita.

A maioria dos visitantes que visitam pela primeira vez um dado museu sente-se, inicialmente, desorientados, o que interfere na atenção prestada e no seu envolvimento com os módulos em exposição. A existência de roteiros, contendo um mapa do espaço e incluindo a visão geral da exposição, facilita a apreensão dos conteúdos. Inclusivamente, o conhecimento prévio e a antecipação da experiência museológica, providenciado pelo roteiro, gerem as expectativas dos visitantes, otimizando a aprendizagem.

1.3.4. O modelo contextual da aprendizagem

Com base nos contextos atrás mencionados, sintetiza-se o processo de aprendizagem, nomeadamente em ambiente de museu, através de um modelo que congrega os três contextos (Falk, 2000, pp. 135-148). Aprender é um processo holístico, baseado num conjunto enorme de factores, interligados e inseparáveis, que intervêm no

indivíduo ao longo da sua vida. Contudo, alguns destes factores apresentam uma maior influência no impacto educacional de um museu.

De acordo com o contexto pessoal, surgem como factores importantes a motivação e as expectativas dos visitantes, o seu conhecimento prévio e interesses e a possibilidade de escolha e controlo que estes podem assumir relativamente ao que vão aprender, em consonância com as suas agendas pessoais. Por conseguinte, devem ser concretizadas as seguintes estratégias:

- Providenciar informação prévia, por exemplo sob a forma de roteiros e se possível antes da visita, abalizando o tema da exposição e preparando o visitante para o que irá viver no museu;
- Assegurar que as expectativas dos visitantes se enquadram na realidade o que vão encontrar;
- Providenciar oportunidades para que as pessoas possam estabelecer conexões entre os conteúdos expostos e os conhecimentos que já possuem;
- Apresentar o tema em camadas de complexidade e profundidade da informação, disponibilizando recursos para aqueles que desejem saber mais;
- Basear-se os conceitos prévios dos visitantes, auxiliando na correcção de concepções preexistentes;
- Reforçar o impacto emocional de determinados conteúdos, aliado aos seus objectivos educacionais específicos;
- Valorizar a aprendizagem como meio de reforçar o espírito crítico.

Relativamente ao contexto sociocultural é relevante reconhecer o processo de aprendizagem como uma actividade social e que a experiência vivida num museu depende do grupo que acompanha o indivíduo, mas também dos restantes visitantes que se encontram no museu. As atitudes assumidas são, muitas vezes, emuladas e a transmissão de informação é mediada por alguns membros do grupo e pelas interacções desenvolvidas. A dimensão social é facilitada se forem tidas em conta as seguintes recomendações:

- Recompensar, e mesmo fomentar, a interacção social entre os visitantes;
- Criar oportunidades para o diálogo, no interior dos grupos, que se poderá estender para lá do limite temporal da visita;

- Criar módulos que permitam e suscitem a colaboração entre vários indivíduos;
- Facilitar recursos diversificados, que possam ser explorados de forma individual e retransmitidos a pessoas mais leigas nos conteúdos apresentados;
- Valorizar a narrativa na apresentação da informação, utilizando histórias que apelem à vertente mais afectiva e emocional, que surjam de forma falada ou mesmo dramatizadas, como forma de transmissão dos conteúdos;
- Reconhecer e basear a exposição nas normas e valores culturais dos visitantes.

Finalmente, no que respeita ao espaço e aos conteúdos expositivos que integram o museu e que constituem o contexto físico que acolhe os visitantes, é iniludível a sua influência no sucesso educativo. Um primeiro factor relaciona-se com a orientação do visitante, no interior do museu e, apesar de as exposições apresentarem uma estrutura lógica e uma ordem predefinida, nem sempre esta é seguida ao longo da visita. O *design* e a apresentação dos conteúdos é, provavelmente, o factor mais óbvio sempre que se projecta um novo museu. Adicionalmente, o processo de aprendizagem não se esgota no contexto físico do museu, bem pelo contrário. O público abandona o museu com uma maior compreensão do tema apresentado, embora este conhecimento continue a ser incompleto. São as experiências posteriores que, semanas, meses ou anos após a visita, possibilitam o reforço e um melhor entendimento da informação assimilada. Em sequência destes factores deve-se:

- Adequar todo o cenário de forma a permitir ao visitante “navegar”, facilmente, ao longo da exposição, evitando um percurso labiríntico e confuso;
- Facilitar, de forma prévia, um roteiro ou mapa da exposição que tenderá a evitar que os visitantes se desorientem no espaço físico;
- Explicitar, de forma clara, os objectivos educativos dos vários módulos, desta forma o público sabe o que é esperado que ele aprenda;
- Evitar a sobrecarga de informação dado o limite na quantidade de informação que o cérebro humano consegue processar;

- Diversificar os estímulos providenciados, explorando toda a gama dos sentidos humanos, ou seja, intercalar/incluir estímulos visuais, com os auditivos, ou mesmo, tácteis, para tornar a experiência mais memorável;
- Incluir experiências que requerem a acção dos visitantes, tanto a nível individual como a nível de um grupo;
- Tornar o espaço confortável, com áreas de descanso, e complementar a vertente educativa com o entretenimento;
- Tentar fazer a experiência educativa, no museu ilimitada no espaço e no tempo, pelo estabelecimento de ligações entre o conteúdo museológico e aspectos do quotidiano dos visitantes, bem como dotar o público de outras ferramentas para prosseguirem, se assim o entenderem, a sua aprendizagem (por exemplo, sob a forma de livros, revistas, páginas da *Internet* ou materiais audiovisual).

1.4. Museu de Ciência versus Centro de Ciência

Os museus de ciência surgem como espaços cujas funções tradicionais incluem “a preservação de objectos com significado, o estudo dos mesmos e a sua explicação ao público; segunda esta ordem” (Owens, Clifford, citado em Gil, 1998). No entanto, historicamente, os sucessivos museus dedicados à ciência, sofreram uma evolução que, nos dias de hoje, nos permite agrupá-los em dois grupos distintos: os de primeira geração (ou simplesmente museus de ciência) e os de segunda geração (também designados por centros de ciência).

Os museus de primeira geração caracterizam-se por possuírem uma colecção de equipamento científico e tecnológico, geralmente consistindo em aparelhos ou material original, a que se juntam reproduções ou modelos, relevantes para a evolução histórica da ciência e da tecnologia, dispostos numa exibição contemplativa. Nalguns casos, o propósito destas instituições restringe-se à divulgação dos objectos expostos que têm um valor intrínseco, desprovida de qualquer contexto utilitário ou mesmo da importância histórica subjacente a esses objectos. Verifica-se que, apesar das ideias científicas que certos artefactos materializam, estas ideias apenas têm significado para aqueles que já dominam o assunto e a “mensagem cultural subjacente aos objectos.”

(Gil, 1998, p. 27) Por outro lado, a grande maioria do público tende a manifestar interesse por ciência pura ou aplicada apenas quando os conteúdos expostos se relacionam com os aparelhos ou dispositivos que usa diariamente. Pode afirmar-se que os museus de ciência de primeira geração não se diferenciam, substancialmente, de outras instituições museológicas, nomeadamente museus de arte ou de história.

Mesmo os conteúdos tecnológicos que são incluídos já não surpreendem o grande público. Esta situação é subjacente à pouca adesão do grande público, principalmente numa altura em que as grandes inovações tecnológicas, com mérito comercial evidente, granjeiam de publicidade ampla nos meios de comunicação. Desta forma, enquanto no início do século XX as descobertas tecnológicas tinham a sua apresentação nestes espaços, actualmente o produto final já é do conhecimento do visitante. Inclusivamente, a ênfase na ciência como base da tecnologia é redutora do “papel crucial que a ciência pode desempenhar no contexto cultural global do indivíduo, tão importante como a arte ou a literatura” (Gil, 1998, p. 28).

Uma evolução neste tipo de instituições consistiu no complemento dos conteúdos expostos (equipamento científico com relevância histórica) com objectos do quotidiano e informação adicional, sob a forma de modelos, diaporamas ou outros conteúdos multimédia; com o intuito de suplantar a missão de conservação da sua colecção, mas antes, torná-la protagonista de uma história que é narrada ao visitante. Esta é uma importante contribuição para a promoção da literacia científica.

A segunda geração de museus da ciência, vulgo centros de ciência, emergiu da intenção de aproximar a ciência do grande público, cativando os visitantes pela possibilidade de diversão e entretenimento associado a conteúdos de natureza científica. Diferenciam-se dos museus de ciência de primeira geração pelo planeamento da exposição orientado para a educação informal da ciência, apostando na interactividade das demonstrações apresentadas e no diálogo com os visitantes.

Contudo, a transmissão efectiva de uma real sensibilidade relativamente à ciência e a influência no modo de pensar e de agir são, muitas vezes, suplantadas pelo desejo de entreter aqueles que se deslocam a esses centros de ciência, limitando a informação prestada a algo superficial. Em consequência, os indivíduos adquirem a “sensação que a ciência é maravilhosa, porém cheia de “caixas negras”, inacessíveis ao homem ou mulher comuns” (Gil, 1998, p. 25).

A maioria dos centros de ciência recorre a uma amálgama de módulos experimentais, mais ou menos interactivos, que abrangem muitas áreas da ciência. Na tentativa de incluir todo o tipo de fenómenos capazes de suscitar admiração e curiosidade, incorre-se no erro de misturar uma grande quantidade de conceitos, de áreas como a física, a química, a biologia, a astronomia, e outras, contribuindo para o incremento da confusão. Ao invés de limitar os conteúdos a um tema mais restrito, planeando a exposição com base em objectivos educativos específicos exequíveis e, desta forma, garantir que o visitante saia um pouco mais esclarecido, aposta-se numa profusão exagerada de conteúdos que provocam uma sobrecarga de estímulos.

Nestas instituições, normalmente, os aspectos narrativos da história da ciência e tecnologia são, deliberadamente, omitidos e encontram-se ausentes quaisquer artefactos ou reproduções representativos da evolução científica e tecnológica.

A missão final de qualquer tipo de museu relativo à ciência é veicular o conhecimento científico e tecnológico como herança da humanidade e sublinhar a sua presença inelutável nos tempos presente e futuro. Por conseguinte, há quem defenda a necessidade de desenvolver museus de ciência de terceira geração, resultantes da síntese dos de gerações anteriores, aliando os méritos de ambos os tipos de instituições. Apoiando o tema da exposição nos momentos historicamente relevantes, permitindo a contemplação de equipamento original ou reproduções, tornará o público consciente dos benefícios (ou perigos) do progresso científico, contribuindo para uma maior compreensão das ideias subjacentes a esses artefactos. Porém, é imprescindível acompanhar estes conteúdos de informação adicional (textual, gráfica ou multimédia) que os fundamente e contextualize, bem como de referências ou objectos que sirvam de ponte ao quotidiano do visitante, revelando a continuidade, do pensamento e da utilidade, das conquistas apresentadas. A narrativa histórica permite localizar os eventos temporalmente e garante a construção intelectual de um esquema de conceitos, o que poderá garantir uma clarificação de ideias científicas de base, bem como da forma como estas se inter-relacionam.

Concomitantemente com os aspectos típicos de museus de primeira geração, pode complementar-se a exposição com alguns predicados dos centros de ciência. Com efeito, o museu deve proporcionar ao visitante recursos que lhe permitam a descoberta das ideias científicas pela utilização activa dos seus sentidos. Este objectivo é atingido com a utilização complementar, aos módulos históricos, de recursos que propiciem a

participação do público e o seu entretenimento, o que se pode conseguir, por exemplo, com a demonstração de fenómenos naturais que impliquem a acção dos espectadores. Dado o seu envolvimento físico, de uma maneira informal e divertida, o indivíduo ficará sujeito a uma experiência que lhe poderá suscitar entendimento imediato ou ulterior.

1.5. Os museus de ciência e a aprendizagem da ciência e tecnologia

Reconhece-se que todo o indivíduo que visita um museu de ciência constrói significado. A aprendizagem verificada é muito variada, limitando-se a um reforço ou recontextualização dos conhecimentos prévios já possuídos. Cada estudante que visita um museu de ciência, nalguns casos, desenvolve os seus conhecimentos de maneira consistente com as noções científicas correntes, mas noutros casos desenvolve concepções incorrectas. Na tentativa de obter significado pessoal relativamente ao que é observado, o indivíduo molda a sua estrutura conceptual de forma a ajustá-la às novas evidências. O novo modelo conceptual nem sempre se encontra de acordo com a realidade, consistindo numa mescla de toda a informação assimilada, no quadro de uma estrutura mental que proporciona entendimento.

A própria evolução da ciência, vista como um grande empreendimento humano, é semelhante à evolução do conhecimento científico individual. O progresso científico resulta de várias mudanças, nas quais um dado esquema explicativo é substituído por outro que melhor se aproxima dos resultados experimentais. Esta mudança surge também no aprendiz.

Abordando um tema mais limitado, acompanhado pela escolha de conteúdos expositivos que apelem ao conhecimento prévio dos visitantes, apresentando modelos históricos em desacordo com a realidade, explicitando os motivos que levaram ao seu abandono e justificando as vantagens das novas teorias, é possível que a aprendizagem se dê, aproximando o público do conhecimento científico. Desta forma se revela também o carácter transitório das teorias científicas, passíveis de substituição perante novos elementos.

O mérito atribuído à inclusão de experiências que possam ser manipuladas pelos visitantes é real, pois elas permitem um maior envolvimento e uma maior sensação de

controlo no indivíduo em relação ao seu processo de aprendizagem. Os conteúdos *hands-on* ou “faça você mesmo” são imprescindíveis em qualquer exposição científica. Contudo, é necessário que estas experiências sejam também *mind-on* (Hein, 1998, p. 2), isto é, também induzam o envolvimento mental do visitante, desafiando-o à resolução de um dado problema ou apreensão de uma ideia.

“O museu não é nunca uma escola” (Gil, 1998, p. 33), mas tem uma função complementar. Muitos dos seus conteúdos integram os currícula escolares e a forma atractiva com que são expostos resultam numa maior eficiência na transmissão de ideias que servirão de base a prossecução dos estudos dos alunos. Efectivamente, a interactividade, se existente, pode “estimular o interesse em ciência e tecnologia por meio do uso, espontâneo e vívido dos fenómenos naturais e da sua explicação” (Gil, 1998, p. 33).

A utilização de experiências de elevada espectacularidade pode também inverter os objectivos pedagógicos. Introduzindo uma grande quantidade de “ruído” (isto é, uma grande quantidade de estímulos sensoriais) pode afastar-se a atenção da audiência daquilo que se pretende demonstrar. A ênfase deve centrar-se em certos conteúdos educativos a transmitir e não associar as experiências científicas a exhibições de magia ou ilusionismo.

A ordenação dos vários módulos necessita de algum cuidado, no sentido de se evitar a confusão entre os vários níveis de observação. Os conceitos científicos pressupõem interpretações ao nível macroscópico, os conteúdos directamente observáveis pelos nossos sentidos, mas também a níveis microscópicos. Um cientista move-se, mentalmente, entre estes níveis, transferindo um conceito científico com alguma facilidade entre eles, mas o mesmo não se passa com um leigo. É conveniente apresentar estes níveis separadamente. A própria representação simbólica utilizada pode constituir um obstáculo à compreensão da informação apresentada.

Por fim, deve ter-se a consciência que os conceitos científicos nem sempre são intuitivos. De outra forma não se justificaria terem sido necessários vários milhares de anos para a humanidade atingir o actual estágio de compreensão do mundo. Um profissional, com muitos anos de treino, não se apercebe, muitas vezes, desta contingência, considerando que algo se apresenta muito claro quando não o é para um público comum.

2. Segredos da Luz e da Matéria

Sendo “Segredos da Luz e da Matéria” o título da exposição de pré-figuração do Museu das Ciências da Universidade de Coimbra (ver guião em anexo), efectua-se aqui uma abordagem pedagógica, em contexto histórico, desse tema.

Ao longo dos seguintes textos expõe-se a descoberta dos segredos da matéria e da luz. Os eventos relatados encontram-se ordenados num mapa cronológico (ver anexos).

- ◆ **A descoberta dos elementos** – o percurso histórico até à descoberta dos elementos químicos e o nascimento da química.
- ◆ **Finalmente, o átomo!** – a evolução do atomismo desde Demócrito, passando pela teoria atómica de Dalton, até o movimento browniano.
- ◆ **Os elementos organizam-se em famílias** – a história da Tabela Periódica dos elementos.
- ◆ **Ondas de luz através do éter** – a evolução das ideias relativas à luz até ao surgimento da teoria electromagnética.
- ◆ **Os espectros com códigos de barras dos elementos** – a forma como as técnicas espectroscópicas impulsionaram o conhecimento científico.
- ◆ **Visão colorida do mundo** – a busca dos pigmentos e a forma como vemos.
- ◆ **Corpúsculos de luz** – afinal a luz também é constituída por partículas.
- ◆ **O interior do átomo** – um vislumbre do interior do átomo e das suas partículas constituintes.

- ◆ **Estrelas – Incubadoras dos elementos** – a descoberta da síntese dos elementos nas estrelas.

- ◆ **Supernova: o sonho dos alquimistas** – a vida das estrelas e a formação do sistema solar.

- ◆ **Novos enigmas da matéria** – alguns elementos são hoje sintetizados pelo homem e novas partículas vão sendo detectadas.

2.1. A descoberta dos elementos

Pré-história da matéria

Logo que o homem pré-histórico aprendeu a fabricar artefactos rudimentares, começou a manipular os materiais que tinha à sua disposição. Desde cedo aprendeu a usar materiais para fazer roupas, para moldar ferramentas ou para se alimentar. E desenvolveu palavras para os identificar tais como “pedra”, “pele” ou “madeira”. Com a evolução da civilização, criou novos materiais, com as aplicações mais diversas, à medida que aperfeiçoava a manipulação de materiais da Natureza. Descobriu como fabricar o bronze, aprendeu a produzir vidro e corantes, etc. Apesar de conseguir preparar novos materiais, o seu entendimento da matéria era muito limitado.

600 a. C.
Em busca da substância fundamental

Vários pensadores da Antiguidade confrontaram-se com a questão fundamental da natureza da matéria, propondo as mais diversas teorias. Um desses primeiros pensadores foi Thales de Mileto (620-555 a.C.), que supunha uma única substância fundamental – a água (Ball, 2002, p. 7). Outros que lhe seguiram, avançando outras substâncias primordiais, tais como o fogo, o ar ou o *apeiron* (o “indefinido”).

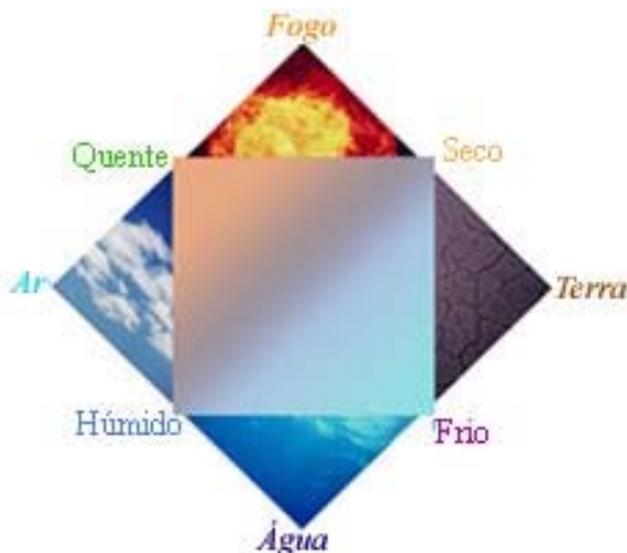


Fig. 1 - Esquema da Teoria dos Quatro Elementos

Nos vértices do quadrado maior representam-se os quatro elementos clássicos, intercalados pelas propriedades que estes partilham entre si.

400 a. C.
Teoria dos quatro elementos de Empédocles

A primeira teoria unificadora, que teria um impacto enorme surgiu com Empédocles (492-432 a.C.), filósofo grego que viveu na Sicília. Segundo ele todas as coisas seriam constituídas por quatro elementos básicos, indelévels e imutáveis: “fogo”, “terra”, “água” e “ar”. Estes permanecem eternamente,

mesclando-se uns com os outros, em proporções variadas, para formar todas as coisas. Os elementos são, ontologicamente, idênticos e relacionam-se e interagem pela acção de duas “forças”: o amor, que os aproxima (atrai), e o conflito, que os separa (repele). De acordo com o seu raciocínio, a diferença entre um animal e uma pedra seria a proporção entre fogo, terra, água e ar que os constituem (Diels, 2004).

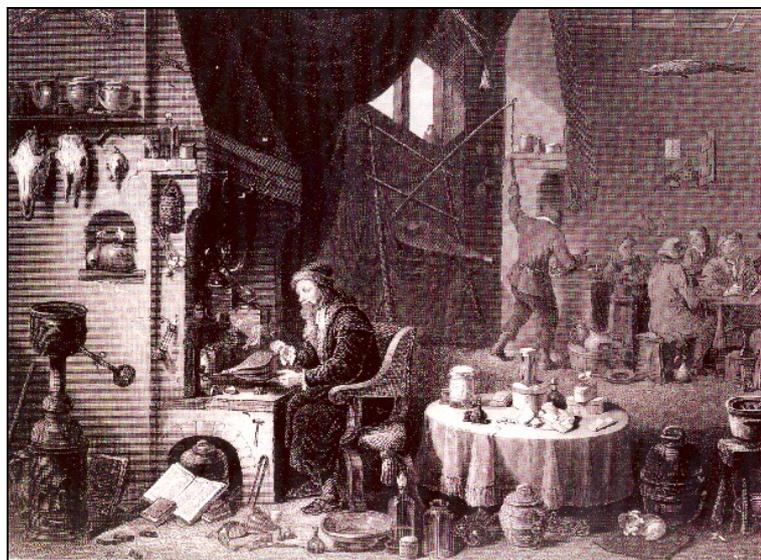
Um outro notável filósofo grego, Platão, adoptou este sistema, transmitindo-o ao seu discípulo Aristóteles. Este último considerava que, no final, apenas existiria uma substância, mas que esta se encontrava inacessível aos nossos sentidos, servindo os quatro elementos de Empédocles como intermediários entre a matéria imponderável e o mundo tangível. Aristóteles entendia que a cada elemento correspondiam duas das seguintes qualidades: quente, frio, húmido e seco. Os elementos podiam ser convertidos uns nos outros, invertendo uma das suas qualidades. A água húmida e fria transforma-se em terra seca e fria convertendo a humidade em secura. A capacidade desta teoria de reduzir questões cósmicas e ontológicas tão diversas e complexas a um esquema conceptual simples tornou-a muito popular. De tal forma que, após a queda do Império Romano e com a perfilhação das ideias aristotelianas (peripatéticas) pelo Cristianismo, a palavra de Aristóteles imbuí-se da autoridade de Deus, sendo considerado blasfemo quem a contradissesse. Por conseguinte, a teoria dos quatro elementos estabeleceu-se, ficando inquestionável até ao final do século XVII em todo o mundo ocidental.

A ciência dos metais

Porém, eram bem conhecidas um conjunto de substâncias que hoje reconhecemos como elementos, nomeadamente os metais: ouro, prata, ferro, cobre, chumbo, estanho e mercúrio. Variadas técnicas de recolha destes metais dos seus respectivos minérios e forja dos mesmos em armas, ferramentas e ornamentos foram, desde cedo, descobertas e postas em prática. Os metais eram, genericamente, considerados formas simples do elemento terra (à excepção do mercúrio líquido). Uma vez que todos apresentavam características semelhantes, tais como o brilho, a densidade ou a maleabilidade, parecia natural que não se tratassem de substâncias fundamentalmente diferentes, mas correspondessem a diferentes estados de maturação desde os mais desinteressantes, como o chumbo, até ao mais

nobre de todos – o ouro. Na realidade, não haveria uma distinção clara entre ligas metálicas e metais puros. É fácil entender, à luz desta conjuntura, a ascensão da alquimia.

Século XII:
Ascensão da
alquimia



**Fig. 2 -
Laboratório
de alquimia
da Idade
Média**

Haveria alguma forma de obter, artificialmente e a partir de metais comuns, como o chumbo, metais nobres, como a prata ou o ouro? Com este fim surgiu uma profusão de pensadores que se envolvem na busca da “pedra filosofal” que permitiria obter ouro a partir de metais menos nobres. Apesar desta ser a imagem mais visível da alquimia, ela envolvia uma dimensão mais vasta e esotérica, em que a descoberta do oculto representava o vislumbrar do espírito de Deus. O lado experimental desta busca pelo ouro, apesar de infrutífera, conduziu à descoberta de novas substâncias e ao desenvolvimento de técnicas e instrumentos para a manipulação e separação de substâncias. Inclusivamente, impulsionou o estudo e o entendimento da matéria, sendo alguns alquimistas precursores dos químicos. A descoberta e manipulação das novas substâncias levaram a novas teorias que implicaram mudanças nos quatro elementos aristotelianos.

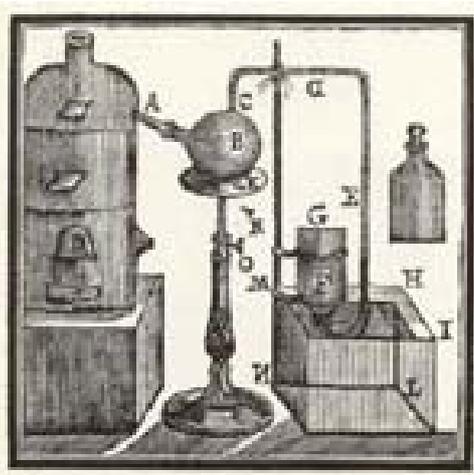
1661
Boyle e a
definição de
elemento

Robert Boyle (1627-1691) foi um destes alquimistas, convertido a químico pela força das suas experiências. No seu livro *The Sceptical Chymist* (1661) insurgiu-se contra aqueles que se dedicavam a buscas incessantes pela receita do fabrico de ouro sem o interesse altruísta da obtenção da verdade preconizado pela alquimia. Boyle verificou que, tal como a prata ou o ouro eram extraídos de amostras mais impuras, os materiais não podiam ser reduzidos aos elementos clássicos,

independentemente da forma como eram manipulados numa fornalha, ou mesmo a um dos quatro elementos, o que contradizia a constituição clássica da matéria. Concluiu que só através da experimentação seria possível isolar os elementos, definindo elemento como a substância que não poderia ser modificada noutra mais simples (Brock, 1992, pp. 54 – 63). Esta definição de Boyle foi o início do fim da teoria dos quatro elementos clássicos e redireccionou a investigação química no sentido da descoberta destes novos elementos.

Fig. 3
Esquema do
aparelho
pneumático, com
balão

Utilizado por
Vicente Coelho de
Seabra em
Coimbra.



Um passo fundamental, na evolução do conhecimento da matéria, foi dado com a descoberta do oxigénio. Na segunda metade do século XVIII, o estudo dos gases adquiriu grande relevância em resultado da invenção do vaso pneumático: este consistia de um reservatório de vidro, imerso em

água, que permitia a recolha dos gases emanados por substâncias aquecidas, por deslocamento da água no interior do vaso. A invenção deste dispositivo colector de gases pelo clérigo inglês Stephen Hales, no princípio do século XVIII, foi fulcral na ênfase do estudo de substâncias gasosas, isoladas a partir do ar, uma vez que permitia a sua manipulação e investigação (Ball, 2002, p. 34).

Século XVII:
Teoria do flogisto

Os químicos pneumáticos da altura partilhavam uma teoria para explicar as reacções químicas que envolviam gases. Defendiam a existência de um pseudo-elemento: o flogisto (da palavra “arder” em grego). O aquecimento de algumas “terras” (leia-se: minerais ou óxidos do respectivo metal) conduzia, muitas vezes, ao aparecimento de metais. Este processo podia ser invertido, transformando, novamente, o metal obtido na sua “terra” respectiva (também chamadas de “calces”, daí a designação de calcinação dos metais). A análise deste processo indicava a troca de alguma coisa durante a transformação. Uma vez que as “calces” que se poderiam encontrar na Natureza pareciam ser formas de matéria mais simples, achou-se que estas deveriam receber algo para se transformarem no metal

1774
Priestley e a
descoberta do
oxigênio

respectivo. Esse algo seria o flogisto. Esta interpretação era generalizada para qualquer combustão: sempre que um combustível, rico em flogisto, ardia, havia a sua libertação. Uma vela num recipiente fechado mantinha-se acesa enquanto o ar no seu interior não ficasse saturado de flogisto (Forrester, 2005).

Joseph Priestley (1733-1804) levou a cabo um grande número de experiências muito frutuosas com gases, tendo isolado muitos “ares”, como eles eram designados. O mercúrio era obtido a partir do mineral cinábrio (sulfureto de mercúrio), uma pedra vermelha. A combustão deste metal produzia uma cal vermelha que era usada como remédio de doenças venéreas (Brock, 1992, p. 105). Numa das suas experiências, Priestley procedeu ao aquecimento de cal vermelha (óxido de mercúrio), focando nela a luz solar com uma lente. Verificou a formação de mercúrio e recolheu o gás libertado no processo num vaso pneumático (Carpi, 2003c). Análises posteriores deste gás demonstraram que este aumentava a chama de uma vela acesa e que um rato colocado numa campânula, com apenas este gás, sobrevivia muito mais tempo que outro, numa mesma campânula, com ar comum. Ele próprio o inalou, tendo verificado que a sua respiração se tornou mais leve e fácil durante algum tempo. A este “ar bom” Priestley atribuiu a designação de “ar deflogisticado” (com base na errónea teoria do flogisto) (Stelter, 1992).

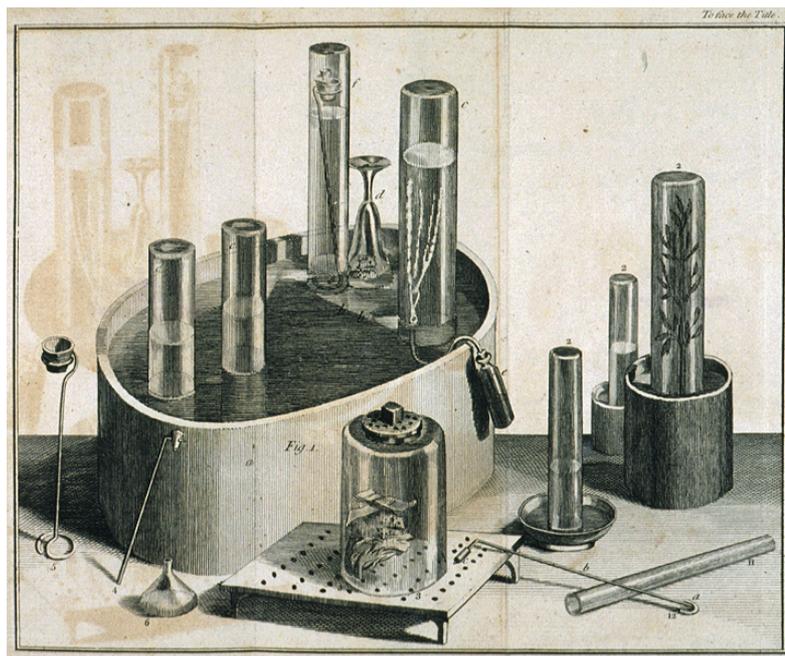


Fig. 4
Vasos
pneumáticos
de Priestley

Onde este realizou algumas experiências com plantas e até um rato sujeitos ao “ar bom” – oxigênio (1774).

1775

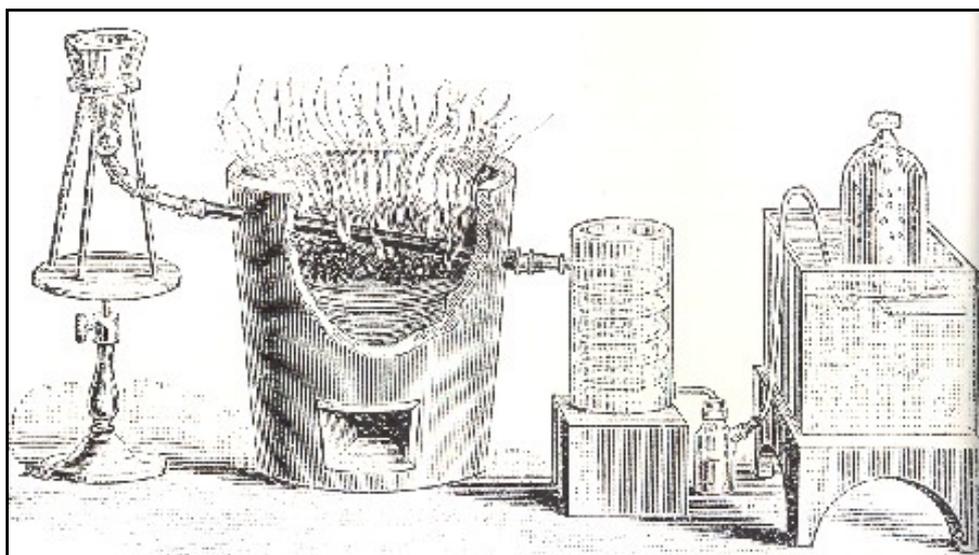
Lavoisier e uma nova teoria dos elementos

Antoine Lavoisier (1743-1794) repetiu, em Paris, estas experiências com o óxido de mercúrio, tendo concluído que todas as “calces” seriam uma combinação entre os metais e este novo gás. De forma incorrecta, Lavoisier teorizou que este gás tornava algumas substâncias ácidas, atribuindo-lhe, por isso, o nome de oxigénio (que significa em grego “gerador de ácidos”) e, apesar de a consideração se ter verificado errada, o nome ficou. Outras experiências de Lavoisier incluíram a recolha de um outro gás que se libertava na reacção entre alguns metais e ácidos. Misturando este novo gás com o oxigénio, o primeiro ardia quase de imediato, formando-se umas gotas de um líquido incolor que, após alguns testes, revelou ser água. Este gás foi então designado de hidrogénio (gerador de água), o que punha em causa a água como uma substância elementar; seria uma combinação dos elementos oxigénio e hidrogénio (Ball, 2002, p. 30).

Fig. 5

Decomposição térmica da água por Lavoisier

Pode observar-se o cano de espingarda e, à direita, o vaso colector onde é recolhido o hidrogénio.



Posteriormente, Lavoisier conseguiu decompor a água com a utilização de um cano de espingarda em brasa: dentro do cano formou-se óxido de ferro, libertando-se hidrogénio que foi recolhido (Fraser, 2004, p. 20). As investigações de Lavoisier também puseram em causa o outro elemento fluido da Antiguidade – o ar. Quando ao ar comum se retirava o oxigénio – a parte altamente respirável do ar – isolava-se um outro componente que tinha a “qualidade de matar os animais que eram forçados a respirá-lo”. Este gás, que compõe cerca de 80% do ar, foi baptizado de azoto (termo grego que significa “inimigo da vida”). Felizmente, não se trata de um veneno: por si só, o azoto não é capaz de sustentar a vida. Lavoisier depreendeu que o ar, na

realidade, é uma mistura dos elementos azoto e oxigénio, não podendo classificar-se como elemento.

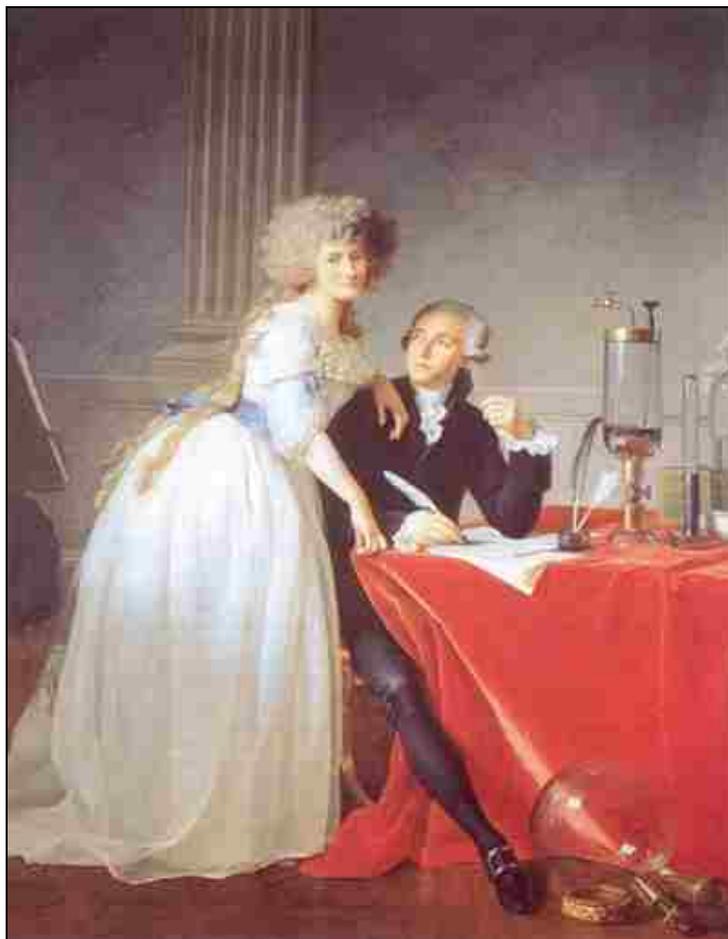


Fig. 6
Retrato de
Lavoisier e a sua
esposa, por
J. David (1788)

Na mesa pode ver-se o balão onde realizou a síntese da água.

No que concerne à teoria do flogisto, as conclusões de Lavoisier relativas ao oxigénio não só a tornavam redundante como também a contradiziam. Tendo-se demonstrado que, na calcinação de um metal, a massa das “calces” resultantes era maior do que a do metal original, apresentava-se incongruente a perda de flogisto, por parte do metal, a não ser que o flogisto tivesse massa negativa! Este processo pode ser facilmente explicado pela combinação do metal com o oxigénio, na produção do óxido do metal, e as combustões terminam, não pelo ar ficar saturado de flogisto, mas por se esgotar o oxigénio. Adicionalmente, Lavoisier demonstrou que o peso ganho na combustão corresponde ao peso perdido pelo ar no qual o material foi queimado, tendo confirmado este facto noutras reacções. Por conseguinte, Lavoisier optou inicialmente por ignorar esta teoria, associando posteriormente a noção de flogisto ao calor libertado numa reacção e alterando o seu nome para “calórico”. Inclusivamente, para Lavoisier, o

“calórico” seria mais um elemento, resquício do fogo da teoria clássica. Apesar deste erro, a descoberta de Lavoisier surge como a primeira lei em química. Segundo a Lei de Lavoisier: a massa conserva-se em todas as reacções químicas.

Antes da sua morte trágica na guilhotina durante a Revolução Francesa, Lavoisier, no seu *Tratado Elementar de Química* (1789) deixou-nos a sua definição de elemento: substância que não pode ser decomposta em substâncias mais simples através de uma reacção química. Neste livro incluiu também uma lista de trinta e três elementos até então conhecidos, onde incluiu os gases oxigénio, hidrogénio e azoto, alguns dos quais fictícios, tais como a “luz” e o “calórico”, e alguns outros, tais como a cal (óxido de cálcio) e a magnésia (óxido de magnésio), que são, de facto, compostos, mas que nessa altura não se sabia como decompô-los (Ball, 2002, p. 42).

O nascimento da
Química

A descoberta do oxigénio marcou o nascimento de uma nova perspectiva da matéria, retirando-lhe a simplicidade, aparente e quase poética, associada a apenas quatro elementos, interconvertíveis pela alteração das suas qualidades e interagindo pela acção de ‘forças’ como o amor e o conflito. Pelo contrário, a matéria é mais complexa, constituída, não por quatro, mas por muitos mais elementos, que surgem naturalmente após sucessivas decomposições de substâncias compostas. A identificação de novos elementos torna-se uma preocupação da nova ciência – a Química, alargando-se, rapidamente, a lista inicial de Lavoisier e corrigindo-se as suas incorrecções.

A nova *Chímica*
em Portugal

Alguns portugueses desempenharam um papel notável no desenvolvimento das novas ideias. Além de físico e químico, João Jacinto de Magalhães (1722-1790) notabilizou-se como projectista e construtor de instrumentos científicos. Estabeleceu-se em Londres no ano de 1762 e, a partir desta cidade, viajava com frequência para França e Holanda, o que lhe permitiu manter contacto com os maiores cientistas da época, nomeadamente Volta e Lavoisier. Devido à sua excelente reputação nos meios científicos europeus, as suas comunicações e periódicos despertavam muito interesse, sendo reconhecido como o divulgador do trabalho de Priestley junto da comunidade científica francesa num momento crucial

como o relatado anteriormente. As novas teorias de Lavoisier foram defendidas em Portugal, em particular, por Vicente Coelho de Seabra (1764-1804). Este cientista trabalhou no *Laboratório Chímico* da Universidade de Coimbra, criado pela Reforma Pombalina em 1772, tendo aí realizado muitas experiências da moderna teoria química, trabalho que culminou com a publicação do livro *Elementos de Chimica*, em 1790 (Paixão, 2004). A experiência da síntese da água foi realizada pela primeira vez em Portugal, no *Laboratório Chímico*, por Domingos Vandelli (1730-1816), um médico e botânico italiano que o Marquês de Pombal convidara para professor da Universidade de Coimbra.

1779
Ingenhousz
descobre a
fotossíntese

Priestley verificou, em 1771, que as plantas tinham a capacidade de restaurar o ar, tendo mesmo afirmado que “o prejuízo continuado da atmosfera pela respiração de um grande número de animais... é, pelo menos em parte, reparado pela criação vegetal.” (Stelter, 1992) Seria o fisiólogo holandês Jan Ingenhousz (1730-1799) a prosseguir com essa descoberta. Com as suas experiências, em 1779, demonstrou que as plantas verdes libertavam oxigénio quando iluminadas, consumindo dióxido de carbono, ocorrendo o inverso quando colocadas em ambiente escuro (Brock, 1992, p. 114). Este foi o primeiro passo no estudo do modo como as plantas utilizam a energia luminosa para produzir alimento, processo designado por fotossíntese.

1800
Invenção da pilha
de Volta

Nas últimas décadas do século XVIII, assistiu-se a descobertas cruciais no âmbito da electricidade. Após a invenção do electroscópio por Jean Antoine Nollet (1700-1770) em 1748 – um dispositivo, detector de carga electrostática, constituído por duas folhas finas de ouro que se afastam quando carregadas electricamente, o médico italiano Luigi Galvani (1737-1798) observou a electricidade pelas contracções que esta provocava nos músculos das pernas de uma rã esfolada, quando em contacto com um metal. O electroscópio foi utilizado por Allessandro Volta (1745-1827), um físico italiano, nas suas experiências com contactos bimetálicos para a indução de carga eléctrica. Estas experiências culminariam na invenção da pilha de Volta – primeiro dispositivo que produzia corrente eléctrica, consistindo em discos de cobre e zinco (ou outros metais) intercalados por “almofadas” de pano humedecido com soluções ácidas.



Fig. 7 - Pilha de Volta

Exemplar do Museu de Física da Universidade de Coimbra.

Nicholson
descobre a
electrólise da água

William Nicholson (1753-1815), químico inglês, e o cirurgião londrino Anthony Carlisle, com base numa receita de Volta de 1800, replicaram as experiências deste último. Na tentativa de estabelecer a ligação entre a pilha e o electroscópio, e de forma a manter o contacto, Nicholson verteu uma gota de água no disco metálico cimeiro e inseriu nela o arame condutor. Foi surpreendido pela formação de um gás que rapidamente identificou como hidrogénio. Decidiu verificar este fenómeno introduzindo os fios metálicos da pilha de Volta num pequeno tubo contendo água e, para seu espanto, observou que o outro constituinte da água, o oxigénio, não surgia no mesmo local do hidrogénio, mas sim junto do outro arame metálico, a alguns centímetros de distância (Russel, 2003). Tinha descoberto a electrólise da água: a água era decomposta nos seus elementos constituintes por acção eléctrica. A electrólise foi uma técnica seguida para a decomposição de outros compostos, nomeadamente por Humphry Davy (1778-1829), em 1808, que conseguiu isolar o cálcio e o magnésio, a partir da cal e magnésia, através da sua electrólise, separando estes metais do oxigénio (Ball, 2002, p. 177).

Porém, o acumular de novos elementos reivindicava uma nova teoria que os congregasse numa estrutura unificadora. Era essencial descobrir o que diferencia cada elemento, bem como explicar como eles se combinam na formação de novas substâncias, com propriedades radicalmente diferentes, e por que razões se verificam, em cada substância composta, determinadas proporções entre os vários elementos que a compõem. A redescoberta de uma ideia da Antiguidade veio mudar a forma como vemos o mundo...

2.2. Finalmente, o átomo!

400 a. C.:
Leucipo,
Demócrito e a
teoria atomista

Cerca de 440 a.C., na Grécia Antiga, um contemporâneo de Empédocles, o filósofo da teoria dos quatro elementos, de seu nome Leucipo, defendia uma perspectiva diferente da matéria. Esta figura misteriosa, da qual se conhece muito pouco e que se julga ser natural da cidade de Mileto, terá proposto que toda a matéria se compunha de ínfimas partículas, invisíveis para nós devido ao seu reduzido tamanho, feitas de uma mesma substância primária, com tamanhos e formas diversas nos diferentes materiais.

Um seu discípulo, Demócrito (460-370 a.C.), atribuiu a estas partículas o nome de *atomos*, uma palavra grega que significa indivisível, pois descrevia-os como indestrutíveis e compactos. Dado serem indestrutíveis seriam, também, eternos e imutáveis. Os átomos encontravam-se animados de movimentos, “tais como os grãos de poeira iluminados por um raio de Sol quando não há vento” (Knierim, 2005), colidindo uns com os outros, o que ocasionaria desvios ou até, na condição de as suas formas se complementarem, poderiam interligar-se, originando agregados e formando as substâncias que percebemos com os nossos sentidos. Estas partículas seriam rodeadas de nada, ou seja, movimentar-se-iam no vazio. Seria de prever que uma teoria assaz revolucionária gerasse forte oposição, principalmente preconizada pelos defensores de teorias concorrentes. Inclusivamente, o aspecto relativo ao vazio seria ridicularizado, porquanto o nada era considerado impraticável (os elementos deveriam preencher todo o espaço). A teoria atomista era desconfortável uma vez que se tudo, incluindo a existência humana, era o produto de meras colisões entre átomos, a crença num destino comandado pelos deuses estaria ameaçada. O próprio Platão terá exprimido o desejo de que todos os livros contendo a nova teoria fossem queimados (Knierim, 2005).

Obviamente que, quando a doutrina cristã adoptou as ideias de Aristóteles, atribuindo-lhes um carácter dogmático, a teoria atomista foi vista como heresia. Por consequência, a teoria de Leucipo e Demócrito foi ignorada durante mais de dois milénios. Nos séculos XVII e XVIII, novos

1643
Torricelli
verifica que o ar
tem peso

acontecimentos fizeram reviver esta teoria.

Um primeiro facto terá sido a descoberta protagonizada por um matemático italiano pupilo de Galileo – Evangelista Torricelli (1608-1647) – que em 1643 verificou que o peso do ar era capaz de sustentar uma coluna de mercúrio com a altura de 760 mm. A ideia do ar, uma matéria que não conseguimos ver ou sentir, ter peso, implicaria uma constituição física peculiar (Carpi, 2003c). Daniel Bernoulli (1700-1782), um matemático suíço, propôs que o ar era constituído por pequenas partículas, invisíveis devido ao seu pouco tamanho, ocupando o espaço vazio de forma pouco densa e em constante agitação, de tal forma que o movimento de um corpo as afastaria com facilidade, tornando difícil o seu reconhecimento pelo tacto.

Bernoulli avança
a existência de
partículas no ar

1800
Dalton propõe a
teoria atómica

Esta imagem terá influenciado um meteorologista inglês, treinado no registo do tempo atmosférico do condado de Cúmbria, na Inglaterra. Através das suas observações do nevoeiro matinal, John Dalton (1766-1844) concluiu que a água poderia existir como vapor misturado no ar, sem haver uma combinação química, e ocupando o mesmo espaço. Adicionalmente, reconheceu também a solubilização dos gases em água como uma mistura. Contudo os sólidos, tal como o gelo, não podiam ocupar o mesmo espaço de outros. Então como se explicaria o estranho comportamento da água, consoante se encontre no estado sólido, líquido ou gasoso? Uma explicação seria que a água, tal como toda a matéria, seria constituída por pequenas partículas, de tamanhos variados. Quando um gás se difunde noutra ou se dissolve em água, as partículas mais pequenas escapam-se entre os buracos formados pelas maiores (Brock, 1992, pp. 133 – 135). Apresenta então a sua teoria atómica com base nos seguintes pressupostos:

1. Toda a matéria é constituída por partículas indivisíveis que mantêm a sua individualidade em todas as transformações químicas. Fazendo justiça a Demócrito atribui-lhes o nome de átomos e representa-os através de pequenas esferas em variados estados de movimento.

2. Os átomos de um dado elemento são idênticos, mas diferentes elementos têm átomos que diferem em tamanho e peso, isto é, todos os átomos de hidrogénio são iguais mas diferentes dos átomos de todos os outros elementos. Um átomo (ou átomos) de um determinado elemento é caracterizado pelo seu peso atómico específico.

3. As reacções químicas envolvem a recombinação de átomos, e não a sua destruição. Por conseguinte, substâncias compostas são formadas por átomos de elementos diferentes, ligados entre si, ocorrendo em proporções numéricas inteiras específicas de cada substância. Por exemplo, no caso da água, Dalton admitiu que era constituída por átomos do elemento hidrogénio combinados com átomos do elemento oxigénio, numa proporção de um para um. Hoje sabemos que essa proporção é de dois átomos de hidrogénio para um de oxigénio (Carpi, 2003c).

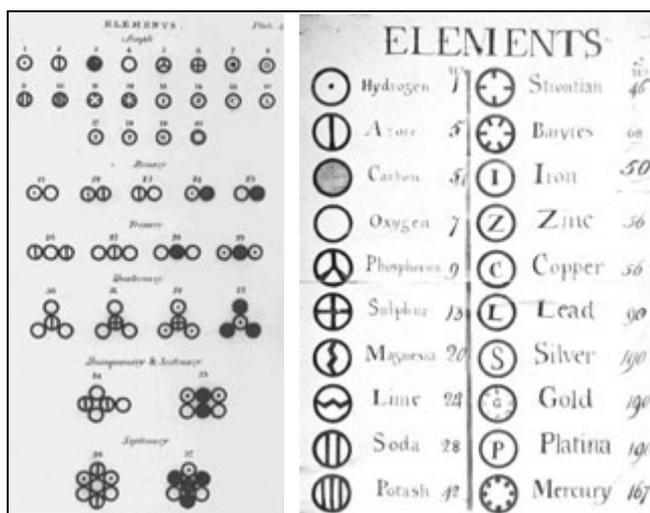


Fig. 8
Os elementos de Dalton
À esquerda a representação simbólica de algumas moléculas e à direita os símbolos utilizados por Dalton para alguns elementos (1806-1807).

1788
Proust e as proporções constantes dos elementos

Berzelius e os símbolos químicos dos elementos

A ideia de que todos os compostos tinham uma fórmula química, em resultado de as reacções químicas entre os elementos ocorrerem sempre com base em proporções simples e constantes entre eles, foi inicialmente proposta pelo químico francês Joseph Proust (1754-1826) em 1788. A teoria de Dalton apresenta uma explicação cabal dessa situação e, no seu livro *Um Novo Sistema de Filosofia Química*, em 1808, Dalton representa os átomos por pequenos círculos, diferenciando-os, elemento a elemento, por pontos, traços e letras no interior dos círculos, incluindo também desenhos de agregados destes átomos – moléculas – de acordo com as proporções evidenciadas nas substâncias respectivas. Posteriormente, o químico sueco Barão Jacob Berzelius (1779-1848) veio propor que, em vez de símbolos hieróglifos, se utilizassem letras na representação dos elementos, nomeadamente pela primeira letra maiúscula do nome ou, nos casos de redundância, uma letra maiúscula seguida de uma minúscula, insistindo na utilização sistemática do nome original em latim, sempre que este já existisse. Desta forma o oxigénio representa-se por O, o hidrogénio por H, o cobre por Cu (*cuprum*) ou o ouro

Século XIX:
Resistências à
teoria atômica

por Au (*aurum*). Nos compostos, além dos símbolos químicos dos elementos constituintes, a multiplicidade entre eles seria representada por números em índice inferior, por exemplo a água apresenta a fórmula química H₂O, que significa a proporção de 2:1 entre os elementos hidrogénio e oxigénio que a compõem.

Uma teoria revolucionária como o atomismo esbarrou com a forte oposição de uma grande parte da comunidade científica da época. Sustentava-se, na altura, que a ciência deveria ser despojada da metafísica, demarcando-se da religião, o que implicava basear-se todo conhecimento apenas em factos directamente adquiridos através dos sentidos humanos. Dadas as suas pequeníssimas dimensões, os átomos não eram directamente observáveis em nenhuma experiência científica, pelo que não poderiam ser considerados reais. Um químico francês, Marcellin Berthelot, terá afirmado em 1884 não admitir o atomismo porque “não queria ver a química degenerar em religião. Não quero que se acredite na existência real dos átomos, como os cristãos crêem na presença real de Jesus Cristo na hóstia consagrada.” (Formosinho, 1999)

Modelo cinético-
-molecular

O surgimento do modelo cinético-molecular dos gases, baseado na suposição avançada por Daniel Bernoulli, explicava as propriedades macroscópicas dos gases como resultado do movimento e choques das suas partículas – moléculas. Com base neste modelo, os físicos James Clerk Maxwell (1831-1879) e Ludwig Boltzmann (1844-1906) demonstraram que os estados macroscópicos de um gás são o resultado estatístico de todos os microestados apresentados pelas partículas que o constituem, tendo em conta a sua natureza discreta, o que evidenciava a teoria atômica. No entanto, apesar de a hipótese atômica se revelar unificadora e teoricamente congruente com todo o conhecimento da matéria, a sua aceitação pela comunidade científica só ocorreu em 1908, devido à prova irrefutável da realidade física dos átomos com base no movimento browniano.

1827
Brown observa o
movimento de
partículas de
pólen num
líquido

Em 1827, o botânico escocês Robert Brown (1773-1858), quando investigava o processo de fertilização da *Clarkia pulchella*, uma espécie de flor que tinha sido recentemente descoberta, reparou no “movimento rápido e oscilatório”, no campo visual do seu microscópico, dos grãos de pólen suspensos em água. Inicialmente, suspeitou que essa actividade tivesse

1905-1908
Einstein e Perrin
comprovam o
atomismo

origem biológica, devido à animação das células sexuais da planta. Porém, essa actividade também era observada no pólen de plantas mortas há mais de um século, que apresentavam o mesmo movimento errático (Bigg, 2005). Estudos posteriores revelaram o mesmo fenómeno com outras partículas orgânicas e até com ciscos de vidro, granito e carvão em suspensão em água. A justificação para o movimento perpétuo e irregular de todas as partículas suspensas em solução surgiu com os físicos Albert Einstein (1879-1955) e Jean-Baptiste Perrin (1870-1942). Com base no modelo cinético-molecular da matéria, a energia cinética média (agitação média) das partículas que a constituem está relacionada com a temperatura, podendo interpretar-se o movimento browniano como o resultado da colisão entre as partículas invisíveis do líquido com as partículas maiores em suspensão que eram observadas no microscópio. Em 1905, Einstein propôs uma teoria quantitativa do movimento browniano, avançando que o movimento durante um certo intervalo de tempo da partícula em suspensão, numa determinada direcção, era obtido com base nas diferenças no número de colisões a que esta era sujeita pelas partículas invisíveis do líquido (Bigg, 2005). Poucos anos depois (1908), Perrin foi bem sucedido na verificação experimental da teoria quantitativa de Einstein. Estabeleceu-se, finalmente, a evidência dos átomos ou moléculas, confirmando-se a teoria atómica da matéria.

Hoje vemos os
átomos

Hoje conseguimos ver os átomos através de técnicas especiais de microscopia (Castilho, 2003).

2.3. Os elementos organizam-se em famílias

<p>Século XIX: Os átomos elementares mostram diferentes pesos atômicos</p>	<p>No século XIX, e com base na teoria atômica de Dalton, a diferença estrutural entre os elementos relacionava-se com as diferenças apresentadas pelo respectivo peso atômico. Por conseguinte, a determinação precisa do peso atômico revestia-se de grande importância dado que as dificuldades na obtenção dos seus valores limitavam a utilidade e a própria aceitação da teoria atômica. Devido à impossibilidade de pesar átomos individuais, recorreu-se a um sistema comparativo. A escolha óbvia foi relacionar o peso atômico dos elementos com o do hidrogénio, uma vez que se apresentava como o gás menos denso logo o elemento mais leve, atribuindo a este elemento o peso atômico de um. Inicialmente não foi fácil encontrar uma forma de comparação macroscópica para inferir diferenças a nível microscópico.</p>
<p>1860 O princípio de Avogadro e a determinação dos pesos atômicos</p>	<p>O químico e físico italiano Amadeo Avogadro (1776-1856) avançou o princípio segundo o qual volumes iguais de gases, mesmo diferentes, contêm, a uma dada pressão e temperatura, o mesmo número de partículas. Com base neste princípio, comparando o peso de volumes gasosos iguais de dois elementos diferentes, sendo um deles o hidrogénio, obtinha-se o peso atômico relativo do mais pesado. Adicionalmente, Avogadro distinguiu entre átomo, a parte mais pequena de um elemento que não é transformada nas reacções químicas, e molécula, a parte mais pequena de qualquer substância. Supôs que as moléculas de uma substância elementar podiam conter mais do que um átomo do elemento em causa; por exemplo, a molécula de hidrogénio contém dois átomos de hidrogénio e o mesmo se passa com os gases oxigénio, azoto ou cloro. A teoria de Avogadro foi inicialmente ignorada, sendo apenas adoptada após a sua morte, em 1860. A partir deste momento generalizou-se o cálculo dos pesos atômicos relativos dos elementos até então conhecidos, por comparação do seu peso, em fase gasosa, com o peso de um volume igual do gás hidrogénio (Forrester, 2005).</p>
<p>Em busca de uma tabela</p>	<p>A descoberta de elementos e o estabelecimento de uma técnica fiável na obtenção de pesos atômicos fomentou a necessidade de um sistema de classificação que os ordenasse conceptualmente. Em 1829, Wolfgang</p>

Döbereiner (1780-1849), na Alemanha, observou que muitos elementos podiam ser reunidos em grupos de três (“tríades”) (Ball, 2002, p. 100), de acordo com as suas propriedades químicas, sendo o peso atômico de um deles igual à média dos pesos atômicos dos restantes (por exemplo o lítio, o sódio e o potássio formavam um destes grupos). Posteriormente, outros elementos foram acrescentados, formando grupos de quatro e detectaram-se relações entre alguns grupos, o que sugeria que os elementos se organizavam em famílias (as semelhanças eram confirmadas pela lei da homologia de Boisbaudran).

As primeiras tentativas de ordenação dos elementos basearam-se nos pesos atômicos, determinados a partir de 1860. John Newlands (1837-1898) publicou, em 1864, um conjunto de trabalhos em que ordenava os elementos por ordem crescente de pesos atômicos, antevendo que cada elemento partilhava propriedades com outro situado oito lugares acima, na lista, ou dezasseis, comparando esta situação com a escala musical, em que uma dada nota musical se repete de oito em oito notas, e designando esta regularidade por “lei das oitavas” (Witkovski, 1996, p. 84). Newlands não teve muitos adeptos, pois a maioria dos cientistas entendia estas relações como meras coincidências. Lothar Meyer (1830-1895) publicou, no mesmo ano que Newlands, uma tabela em que os símbolos químicos dos elementos estavam ordenados de acordo com a razão em que estes se combinavam entre si. Este conceito de valência surge por se ter notado que, por exemplo, um átomo de carbono tendia a unir-se com outros numa proporção de um para quatro, isto é, no metano um átomo de carbono liga-se a quatro átomos de hidrogénio e estes átomos de hidrogénio podiam ser substituídos por quatro átomos de cloro, ou seja, o elemento carbono tem uma valência de quatro, enquanto os elementos hidrogénio e cloro têm valência um. A tabela de Meyer reunia os elementos de igual valência, revelando que as semelhanças nas propriedades químicas se relacionavam com uma valência comum (Ball, 2002, p. 111). Estas tentativas indicavam uma periodicidade nas propriedades apresentadas pelos elementos, provavelmente relacionada com a estrutura dos seus átomos.

Conceito de valência

1869
Tabela Periódica de Mendeleiev

Um jovem químico da Universidade de São Petersburgo teve, então, a ideia de ordenar e alinhar os cerca de sessenta elementos, conhecidos à época, segundo massas atômicas crescentes e com os respectivos símbolos químicos,

mudando para uma nova linha quando completava cada conjunto de sete elementos. Dimitri Mendeleiev (1834-1907) agrupou na mesma coluna as famílias de elementos já disponíveis, inovando a representação uma vez que, na impossibilidade de encaixar numa certa posição um dos elementos conhecidos, deixou essa casa vazia admitindo que esta pertencia a um elemento ainda não descoberto. Apresentou a sua tabela, em 1869, com várias casas vazias, de elementos em falta e com vários pontos de interrogação junto dos valores de pesos atómicos que considerava incorrectos, tendo em conta a periodicidade prevista na tabela (Witkovski, 1996, pp. 83-86). Utilizou as tendências evidenciadas na tabela para prever as propriedades físicas e químicas de elementos hipotéticos, vendo as suas previsões confirmadas, anos mais tarde com a descoberta do gálio (1874) por Lecoq de Boisbaudran (era o *eka-aluminium* de Mendeleiev por se situar abaixo do alumínio na tabela), e o escândio e o germânio alguns anos depois (Brock, 1992, p. 319). Baseando-se na periodicidade da sua tabela, Dimitri Mendeleiev conhecia melhor as propriedades desses novos elementos do que os seus descobridores; também as suas suposições relativas aos valores de alguns pesos atómicos se verificaram correctas, à medida que estes valores foram corrigidos experimentalmente.

Fig. 9
A primeira Tabela
Periódica de
Mendeleiev (1869)

Podem observar-se pontos de interrogação em locais de elementos ainda não descobertos, ou junto de pesos atómicos que Mendeleiev considerava incorrectos.

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.					
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.					
		Ti = 50	Zr = 90	? = 180.	
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182.	
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.	
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.	
		Fe = 56	Rn = 104,4	Ir = 198.	
		Ni = 59	Pi = 106,6	O = 199.	
		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200.	
H = 1	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Am = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204.
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

Д. Менделѣевъ

A descoberta dos gases raros – hélio, néon, árgon, etc – no princípio do século XX veio acrescentar mais uma coluna à tabela periódica, a oitava, corroborando a sua relevância pela naturalidade com que se integravam estes novos elementos. A Tabela Periódica dos elementos sofreu várias modificações relativamente à original de Mendeleiev, mas mantém hoje a sua essência. Por si só, a tabela não aponta as razões para as regularidades observadas nos elementos, apenas as explicita.

2.4. Ondas luz através do éter

<p>A pré-história da luz</p>	<p>A luz sempre foi um fenómeno misterioso. Inúmeras foram as tentativas de a explicar. Também Empédocles, que postulou a teoria dos quatro elementos, formulou uma teoria para a luz. Segundo ele, a deusa Afrodite, quando criou o olho humano a partir dos quatro elementos, ateou o fogo no olho de forma que este o emitisse em direcção aos objectos, tornando a visão possível. Claro que, se assim fosse, poderíamos ver, perfeitamente, num quarto escuro tal como num quarto iluminado, pelo que Empédocles admitiu a possibilidade de ocorrer alguma interacção entre os raios dos olhos e os de outra fonte de luz, como o Sol (O'Connor, 2002a).</p>
<p>300 a. C.: Euclides e a Óptica Geométrica</p>	<p>Cerca de dois séculos depois, em 300 a. C., Euclides, matemático grego que vivia na cidade de Alexandria, estudou a luz com base na geometria. No seu livro <i>Optica</i> defendeu que a luz se propagava em linha recta e descreveu as leis da reflexão, apresentando-as matematicamente. Relativamente à visão, considerava-a resultado da emissão de um raio, pelo olho, que seria reflectido pelos objectos. Uma vez que esse raio tinha velocidade infinita, vemos de imediato mal abrimos os olhos (O'Connor, 2002a).</p>
<p>1000 Alhazen e uma nova teoria da luz</p>	<p>Por volta do ano de 140., Cláudio Ptolomeu, habituado às observações astronómicas e autor do modelo geocêntrico do sistema solar (no que a Terra se encontrava no centro do Universo), verificou, graças a medidas das posições de estrelas, que a luz sofria um desvio na entrada na atmosfera terrestre (era refractada) e que o ângulo de refacção variava com ângulo de incidência (O'Connor, 2002a).</p> <p>O grande desenvolvimento no estudo da luz surgiu com o persa Ibn-al-Haitham (também conhecido por Alhazen), natural da cidade de Bassorá, que viveu por volta do ano 1000. Defendeu que a visão era devida, apenas, à entrada de luz nos nossos olhos proveniente de fontes exteriores. Logo, a nossa visão de um objecto deve-se à reflexão dos raios solares, que ele julgava serem constituídos por um fluxo de pequenas partículas viajando ao longo de linhas rectas, serem reflectidos pelo objecto na direcção dos nossos olhos. Como argumento, recorreu à câmara escura (“obscura”), que se</p>

Fig. 10
Câmara óptica
(1788)

Exemplar do
Museu de Física
da Universidade
de Coimbra



compunha de uma caixa ou quarto escurecido e que apenas tinha um pequeno orifício para a luz entrar. Se o orifício fosse suficientemente pequeno, produzia-se uma imagem invertida na parede oposta (Leggat, 2001). Ibn al-Haitham entendia que a luz se movia a uma velocidade muito grande, mas finita, e que apresentava diferentes valores, de acordo com o meio transparente em que se propagava, observando-se a

sua refração, na mudança de meio óptico, devido à alteração da velocidade. Estudou espelhos esféricos e parabólicos, explicando a amplificação de uma lente com base na refração da luz. Infelizmente, os estudiosos europeus só conheceram o trabalho de al-Haitham depois do século XVI, não beneficiando destes conhecimentos. Durante toda a Idade Média, ainda se mantinham na Europa os pressupostos de Empédocles, Euclides e Ptolomeu.

Séculos XIII -
XVII
Na Europa
estuda-se a luz

No século XIII, o inglês Robert Grosseteste (1170-1253) debruçou-se sobre a natureza da luz e avançou teorias pouco meritórias sobre a cor. Inculcou, porém, a importância do estudo da luz no seu aluno Roger Bacon (1214-1292). Bacon acreditava que a luz tinha uma velocidade finita, estudou as lentes convexas, advogando o seu uso na correção de defeitos de visão. Terá construído uma câmara escura para observar eclipses solares. Os trabalhos de estudiosos subsequentes incidiram no aperfeiçoamento de lentes e culminaram, já no século XVII, com a descoberta e fabrico de telescópios e microscópios (O'Connor, 2002a).

Em 1621, Willebrord Snell (1580-1626) descobriu a relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de refração da luz, verificando que o quociente dos senos destes ângulos era constante. Ao longo deste século, outros se interessaram pelo estudo da luz, como Galileu, Descartes, Fermat, Cavalieri, James Gregory (que descobriu a dispersão da luz ao atravessar uma

pena). No entanto, o grande avanço viria com Isaac Newton (1642-1727). Este físico inglês é bem conhecido pelas suas descobertas relativas ao movimento e à gravidade, mas uma experiência que levou a cabo em 1666 modificou a nossa forma de ver a luz.

Durante milhares de anos as pessoas maravilharam-se por um fenómeno que ocorria quando a chuva era iluminada pela luz do Sol. O arco-íris era uma fonte de fascínio. Estas cores também surgiam em peças de vidro, bolas de sabão e, já no século XVII, ocorriam de forma incómoda na orla das lentes dos telescópios, na forma de aberrações cromáticas. O fenómeno mantinha-se, porém, inexplicável apesar das tentativas infrutíferas de vários estudiosos para o decifrar.

1666
Newton e a
dispersão da luz
branca

Permitindo a entrada de luz do Sol através de um pequeno orifício, dotado de uma lente convergente, Newton fez incidir um raio luminoso num prisma de vidro triangular, observando a formação, num alvo, de uma imagem oblonga do Sol que apresentava vários halos sucessivos coloridos. Este fenómeno, designado por dispersão da luz branca, era interpretado como a corrupção da luz branca pura (a sua passagem por um meio adulterador produzia as várias cores). Uma obstrução menor produzia o vermelho e uma obstrução maior o azul. Prosseguindo a sua experiência, Isaac Newton intercalou no percurso dos raios coloridos um segundo prisma, numa posição invertida relativamente ao primeiro, observando a emergência de um raio de luz branca. Concluiu, então que, na passagem no primeiro prisma, a luz branca se decompunha no conjunto de cores observado, voltando a surgir no segundo prisma devido à recombinação das cores. Isolando raios singulares das cores obtidas, verificou que não era possível voltar a decompô-los (Hentschel, 2002, pp. 25–32). Reconheceu que a luz branca não é pura, mas sim uma mistura de luz de cores diferentes.

Ao conjunto de cores observadas Newton atribuiu o nome de “espectro”, palavra mais relacionada com espíritos, mas também utilizada para referir as imagens produzidas na “câmara obscura”. Dividiu, então, o espectro em sete cores primárias: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta, numa analogia com a escala musical de sete notas, uma representação que se manteve ao longo dos anos apesar de o espectro consistir de um número infinito de cores (Hentschel, 2002, pp. 25 – 32).

Isaac Newton teorizou que a luz era constituída por pequenos corpúsculos, correspondendo a cada cor um tipo específico destas partículas que estimulavam o olho humano no sentido de visualizar uma determinada cor, opondo-se à maioria dos estudiosos de então que se inclinavam para a natureza ondulatória da luz.

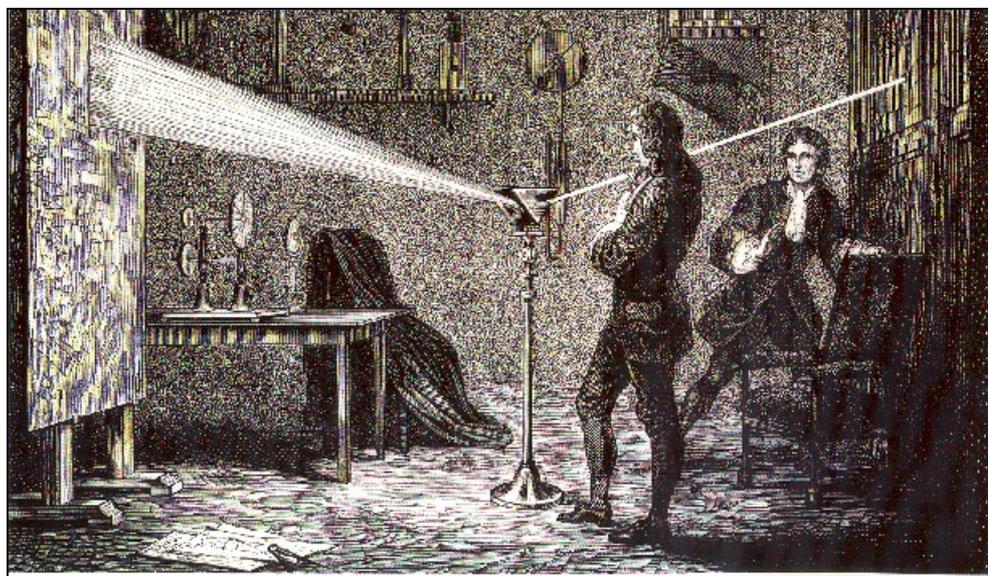


Fig. 11 - Experiência da dispersão da luz do Sol por Newton (1666)

De um orifício à direita entra um raio luminoso que atravessa o prisma, ao centro, originando um espectro colorido no alvo, à esquerda (gravura do século XVII).

Huygens e a
teoria
ondulatória da
luz

Um desses estudiosos foi o holandês Christiaan Huygens (1629-1695), que estabeleceu que uma esfera de luz se comportava como se cada ponto da frente da onda fosse uma nova fonte de radiação, com a mesma frequência. Alguns aspectos alimentaram a controvérsia: se a luz fosse uma onda deveria “encurvar” sempre que atravessasse um orifício, devido à difração (propriedade evidenciada pelas ondas mecânicas: nomeadamente ouvimos o som produzido para lá de uma esquina de um prédio porque as ondas sonoras são difractadas pelo obstáculo, mas não conseguimos ver o que ou quem produziu esses sons) e, sendo uma onda, necessitaria de um meio material para se propagar (por exemplo, o som não se propaga no vazio: uma campainha encerrada numa campânula de vidro deixa de ouvir-se se retirarmos o ar do seu interior). Huygens tentou justificar este último facto avançando com hipótese de o vácuo ser preenchido por éter, um fluido muito rarefeito indetectável pelos nossos sentidos, sendo a luz causada pela propagação de vibrações do éter originadas pelas pulsações de um corpo

1676
Römer calcula a
velocidade da luz

luminoso, estabelecendo que a velocidade da luz seria menor noutros meios ópticos transparentes como o ar, a água ou o vidro (menos “impregnados” de éter) (O’Connor, 1997a).

Em 1676, o dinamarquês Olaf Römer (1644-1710) deduziu que a velocidade da luz era finita, tendo calculado o seu valor com base na diferença da duração dos eclipses das luas de Jupiter, consoante este planeta se encontrasse do mesmo lado que a Terra, em relação ao Sol, ou em lados contrários, obtendo o valor de 225 mil quilómetros por segundo.

1801
Young observa a
difracção da luz

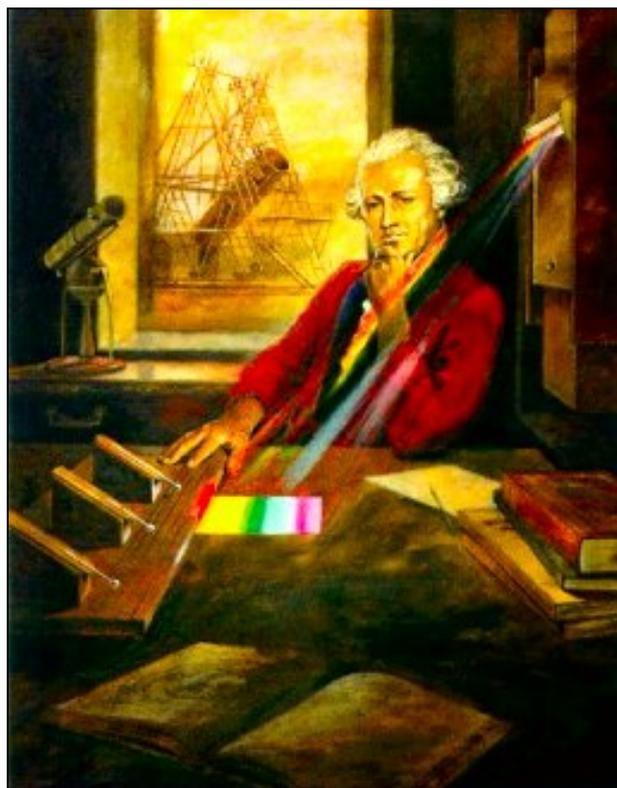
Relativamente à difracção, Thomas Young (1773-1829), utilizando uma tira de papel muito fina, colocada no caminho de um estreito feixe de luz solar proveniente de um pequeno orifício com diâmetro ligeiramente superior à espessura do papel, dividiu o feixe de luz, originando dois raios de luz separados de cada lado da tira de papel. Estes raios, projectados num alvo, ao invés de originarem dois pontos iluminados, produziram um padrão de zonas claras e escuras (Scheider, 1986). Young interpretou estes resultados supondo o encurvamento dos raios luminosos devido à tira de papel, cuja espessura era da ordem de grandeza do comprimento de onda da luz, ocorrendo a formação de franjas graças à interferência entre os raios. Da mesma forma que duas ondas, numa tina de água, interferem quando se encontram, somando-se quando duas cristas se sobrepõem e anulando-se quando uma crista de uma onda encontra um vale da outra, também os raios de luz se anulavam nas zonas escuras e se somavam nas claras. Com base nas suas experiências com a utilização de redes de difracção (pequenas placas com fendas estreitas, muito próximas e igualmente distanciadas, descobertas pelo astrónomo americano David Rittenhouse em 1786, e inicialmente fabricadas com fios de cabelo colocados paralelamente) (Jarrel, 2000), e nos padrões de interferência produzidos, Young calculou os comprimentos de onda (distância entre duas cristas sucessivas de uma onda) da luz de várias cores (Jordan, 1998b).

A ideia segundo a qual dois raios luminosos se podiam anular, dando origem à escuridão, é contra-intuitiva, pelo que a interpretação de Young não colheu muitos defensores. Apenas quando Augustin Fresnel (1788-1827), em 1819, apresentou um estudo que abonava, matematicamente, em favor da teoria ondulatória da luz, em particular os fenómenos da difracção e interferência, esta se acabou por estabelecer na comunidade científica.

1800
Herschel
descobre os raios
infravermelhos

Fig. 12 - Herschel e a descoberta da radiação infravermelha

Na mesa pode ver-se o conjunto de três termómetros que Herschel utilizou para detectar a radiação infravermelha



William Herschel (1738-1822) foi um astrónomo e músico muito conhecido. Apesar de ter nascido em Hannover, na Alemanha, mudou-se para a Inglaterra e aí construiu telescópios para observar o céu, tendo catalogado estrelas duplas e nebulosas. Tornou-se famoso pela sua descoberta do planeta Urano, em 1781. Em 1800 fez uma outra descoberta dramática quando estudava o calor que passava através de filtros coloridos por ele utilizados na observação do Sol: apercebeu-se que as quantidades de calor transmitidas eram diferentes para filtros de cores diferentes. Posteriormente, analisou o espectro solar medindo a “temperatura de cada cor”, colocando três termómetros ao longo do espectro produzido por um prisma de vidro e verificando que as temperaturas aumentavam da zona do violeta para a zona do vermelho. Após reparar neste padrão, decidiu medir a temperatura na zona invisível do espectro, para lá do vermelho, notando que nesta região se verificavam os maiores aumentos de temperatura. Esta situação indicava a existência de uma luz invisível responsável pelos efeitos térmicos, à qual Herschel deu o nome de “radiação calorífica”. Atestou que esta nova radiação era reflectida, refractada, absorvida e transmitida de maneira similar à luz visível, sendo diferente apenas por não ser visualizada pelos nossos olhos. Esta forma de luz que surge a partir do vermelho (com maior comprimento de

1801
Ritter descobre a
radiação
ultravioleta

onda) é hoje conhecida por radiação infravermelha (Hentschel, 2002, pp. 61-62).

Quando em 1801, Wilhelm Ritter (1776-1810) descobriu o efeito químico da luz invisível, para lá do violeta, em sais de prata, interpretou a sua descoberta como uma evidência da simetria da Natureza. Se, do lado do vermelho, existe uma radiação calorífica, então esta nova radiação, que desencadeava reacções químicas, foi designada, inicialmente, por radiação química. Actualmente designa-se por radiação ultravioleta (Hentschel, 2002, p. 64).

Hoje parece-nos compreensível que estas novas radiações sejam extensões naturais do espectro visível para lá do vermelho e violeta. No entanto, devido à diferença entre os efeitos óptico, térmico e químico, os referidos pioneiros postularam que a radiação emitida por um corpo luminoso era uma mistura de raios visíveis, caloríficos e químicos. O espectro solar gerado por um prisma era uma sobreposição das três componentes: um espectro visível central, entre as cores vermelho e violeta, com um máximo de intensidade no verde/amarelo; um espectro químico com um máximo para além do violeta e um espectro térmico com intensidade crescente a partir do violeta e atingindo um máximo após o vermelho. Evidentemente, não havia uma separação clara entre estes três domínios, variando apenas em magnitude os efeitos apresentados por uma determinada radiação.

1850
Foucault
determina um
valor mais
preciso da
velocidade da luz

O físico francês Léon Foucault (1819-1868), em 1850, calculou a velocidade da luz sem recorrer a métodos astronómicos, obtendo o valor de cerca de 300 mil quilómetros por segundo. Determinou, também, a velocidade da luz no ar e na água, mostrando que a velocidade era menor nestes meios, comprovando o pressuposto na teoria ondulatória de Huygens. Faltava, porém, uma representação física deste fenómeno.

1845
Faraday
relaciona a luz
com o campo
magnético

Michael Faraday (1791-1867) estudou os fenómenos eléctricos e magnéticos, concluindo que estavam intimamente relacionados. Verificou também que um campo magnético afectava o plano de polarização de um raio de luz. Apesar de ser um experimentador muito competente, Faraday não possuía conhecimentos matemáticos que lhe permitissem inferir relações precisas a partir das suas observações.

Com base nas ideias de Faraday, o físico escocês James Clerk Maxwell

1862
Maxwell e a
teoria
electromagnética
da luz

(1831-1879), desenvolveu a sua teoria electromagnética. Em 1862, a partir de quatro equações matemáticas, estabeleceu que a variação num campo eléctrico está sempre relacionada com a variação de um campo magnético, determinando a velocidade de propagação destas variações no vazio. Maxwell concluiu que as ondas electromagnéticas e a luz coincidiam pois se propagavam à mesma velocidade. Ou seja, a luz consistia afinal em campos electromagnéticos oscilantes que se transmitiam através do “éter” (O’Connor, 1997b).

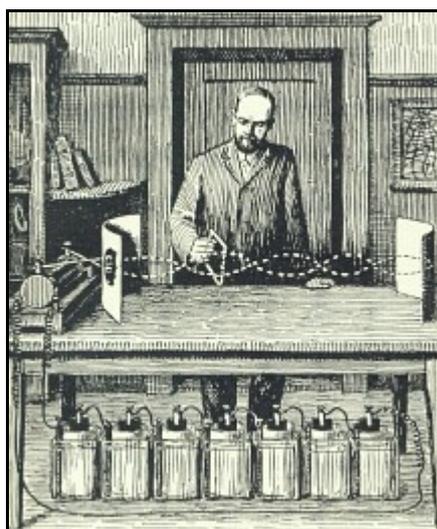


Fig. 13 - Hertz no seu laboratório

O objecto que se encontra na mão de Hertz servia para detectar as ondas de rádio.

Hertz descobre
as ondas de rádio

Alguns anos mais tarde, entre 1885 e 1889, Heinrich Hertz (1857-1894), utilizando um circuito eléctrico para produzir faíscas num pequeno interruptor, verificou que estas originam ondas electromagnéticas, transmitidas pelo ar e detectáveis, num circuito semelhante, a alguns metros de distância (Katz, 2004). Estas ondas hertzianas (também designadas por ondas de rádio) eram apenas mais um tipo de luz, pertencente ao espectro electromagnético, mas com comprimentos de onda muito superiores ao das radiações visível e infravermelha.

1895
Roentgen e os
raios X

A radiação X foi descoberta em 1895 por Wilhelm Konrad Roentgen (1845-1923), quando este, usando um tubo de vidro com eléctrodos positivo e negativo nas extremidades e tendo removido todo o ar do interior do tubo, aplicou uma alta tensão; observou um brilho fluorescente em cristais que se encontravam na sua mesa perto do tubo. Decidiu envolver o tubo com cartão preto e, mesmo nestas condições, era gerada fluorescência esverdeada em materiais colocados a dois metros do tubo. Roentgen reconheceu que um novo tipo de radiação estava a ser emitida do tubo uma radiação que era capaz

de atravessar o cartão negro. Tendo prosseguido o estudo da nova radiação, a qual designou por X, averiguou que objectos de espessuras diferentes, interpostos no percurso destes raios, apresentavam uma transparência variável.



Fig. 14 - Radiografia da mão da esposa de Roentgen (1895)

Os raios X são absorvidos pelos ossos e o anel mas atravessam o tecido humano.

A sua experiência mais célebre foi quando imobilizou, por momentos, a mão da sua esposa entre a fonte dos raios X e uma placa fotográfica, obtendo, após a revelação, uma imagem que revelava os ossos da mão e o seu anel, rodeados pela penumbra devida ao tecido humano (Goodman, 1993). A aplicação prática da sua descoberta foi quase imediata, tendo já toda a gente, em algum momento, experimentado a sua utilidade.



Fig. 15 - Jornal "O Século" de 1 de Março de 1896

Podem ver-se algumas imagens das primeiras radiografias realizadas em Portugal

1896
As primeiras radiografia em Portugal

Cerca de um mês após a descoberta de Roentgen, em Fevereiro de 1896, fizeram-se em Portugal – no Gabinete de Física Experimental da Universidade de Coimbra – as primeiras experiências com raios X, sendo radiografado: um dedo de um cadáver, uma mão viva, uma caixa de pesos e

uma sardinha. Estas experiências foram relatadas, com destaque, no jornal *O Século* de 1 de Março de 1896 (Martins, 2003).

Julgava-se, então, que tudo o que havia para saber, relativamente à luz, tinha sido descoberto. O espectro electromagnético compunha-se da radiação visível, limitada pela radiação vermelha e violeta, além do violeta a radiação ultravioleta e a radiação X (para comprimentos de onda menores) e aquém do vermelho a radiação infravermelha, as microondas e as ondas de rádio (para comprimentos de onda maiores). A descrição da luz, com base nas equações de Maxwell, apenas levantava algumas especulações no que diz respeito ao conceito de éter, o hipotético meio de propagação das ondas electromagnéticas. No entanto, o aparecimento da teoria quântica viria contribuir para melhorar a nossa compreensão da luz.

2.5. Os espectros com códigos de barras dos elementos

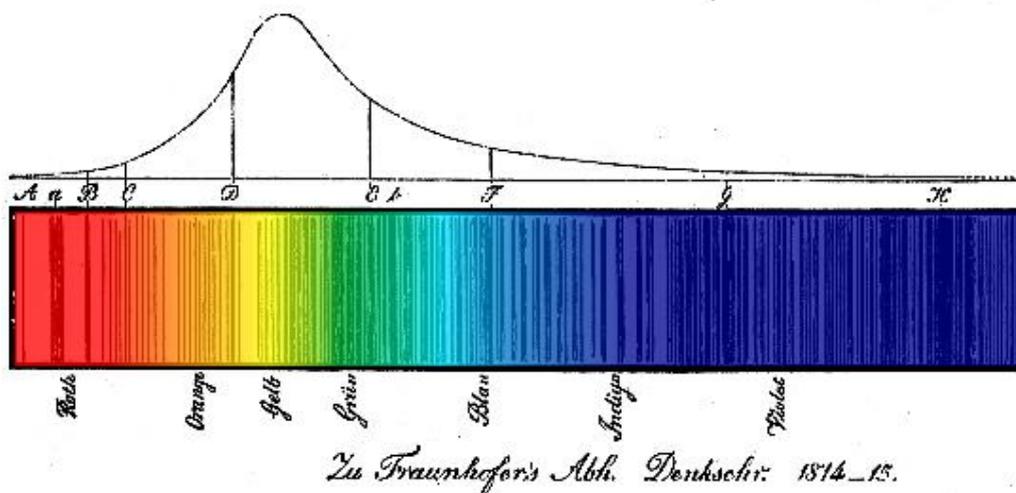
1802
Wolloston e as
riscas do
espectro solar

A experiência de Newton da decomposição da luz fomentou um grande interesse pelo espectro colorido. O procedimento foi aperfeiçoado, em 1802, pelo físico William Wolloston (1766-1828) que utilizou uma fenda estreita, em vez da abertura circular, o que produziu uma banda de linhas visíveis espectrais com a forma da fenda, e um prisma de vidro mais apurado (Thomas, 1991). Wolloston observou que este espectro contínuo e linear da luz do Sol era interrompido por um conjunto de linhas escuras, paralelas à banda, interpretando-as como divisões naturais entre zonas de cores. Duas riscas marcariam as fronteiras do vermelho, outra separaria o azul do violeta, mas as restantes não se situavam, claramente, entre zonas de cores diferentes (Hentschel, 2002, p. 32).

Fig. 16

Espectro solar com as linhas de Fraunhofer

Desenho a lápis de Fraunhofer, de 1814, representando o espectro solar (versão colorida). As letras indicam as linhas escuras mais proeminentes. No topo surge uma curva que indica as intensidades relativas das cores espectrais.



1812
Fraunhofer
inventa o
espectroscópio

Uma década mais tarde, o oculista alemão Joseph Fraunhofer (1787-1826), colocando uma lente convexa entre a fenda e o prisma, obteve uma imagem da série espectral mais definida e estudou estas linhas escuras em mais pormenor. Para obter medidas mais precisas, Fraunhofer aplicou um telescópio para visualizar o espectro. Estava construído o primeiro espectroscópio com capacidade de analisar fontes de luz menos intensas e mais difusas. As linhas escuras solares mais proeminentes foram identificadas por letras maiúsculas de A a H e, além destas, muitas outras linhas foram identificadas, tendo Fraunhofer contado algumas centenas. Examinou também a luz proveniente de

Redes de difracção de Rittenhouse

outras estrelas brilhantes, verificando que os padrões de riscas negras eram diferentes das do espectro solar (Hentschel, 2002, p. 34).

Um problema relacionava-se com a dificuldade de obter a posição relativa e a estrutura interna destas linhas devido a um defeito inerente no espectro prismático. Dado o aumento de refrangibilidade, as radiações na zona do violeta, mais desviadas pelo prisma, apresentavam uma separação maior que as situadas na zona do vermelho, cujo percurso prismático era menor. Esta “diluição” gradual do espectro produzido por um prisma impedia a determinação do comprimento de onda associado a cada radiação. Em 1823, Joseph Fraunhofer demonstrou, matematicamente, que a utilização de uma rede de linhas (rede de difracção de Rittenhouse) originava um espectro em virtude das interferências entre os raios luminosos desviados pela rede, por difracção dos mesmos. A banda colorida obtida com este método posicionava as radiações de forma proporcional ao respectivo comprimento de onda, mas o fabrico destas redes de difracção (prendendo arames finos igualmente distanciados ou rasurando linhas paralelas com um diamante numa película de ouro sobre uma placa de vidro) (Hentschel, 2002, p. 55) era muito primitivo, de modo que os espectros obtidos eram pouco precisos, não sendo exequível a sua utilização em espectroscopia estelar, ou espectros menos intensos. No entanto, possibilitou a determinação dos comprimentos de onda das linhas solares mais fortes, futuramente designadas por linhas de Fraunhofer. A utilização de redes de difracção generalizar-se-ia com avanços técnicos no seu fabrico já no século XX. A catalogação das linhas escuras do espectro solar prosseguiu, impulsionando o aperfeiçoamento das técnicas espectroscópicas, tendo o seu número atingido 3000 em 1862. Demoraria algum tempo até surgir uma explicação satisfatória destas linhas.

1822
John Herschel observa os espectros de riscas em chamas coloridas

Com a maior popularidade da espectroscopia, a atenção de muitos cientistas transferiu-se para fontes de luz terrestres. Utilizando o espectroscópio de Fraunhofer, o astrónomo britânico John Herschel (1792-1871), filho de William Herschel, reparou, em 1822, que as chamas coloridas, obtidas na combustão de determinadas substâncias, emitem padrões bem definidos de linhas espectrais. Inferiu também a possibilidade de identificar as substâncias, mesmo em quantidades diminutas, pela observação do espectro produzido pela sua chama. Quando se assiste a um espectáculo pirotécnico, as

Meados do século XIX: Bunsen e Kirchhoff revolucionam a espectroscopia

chamas coloridas observadas resultam da combustão de determinados elementos (O'Connor, 1999).

Apesar de estarem criadas as bases da análise espectral, esta só viria a estabelecer-se pela frutuosa colaboração entre o químico Robert Bunsen (1811-1899) e o físico Gustav Kirchhoff (1824-1887). Em meados do século XIX, Bunsen inventou um queimador de gás que produzia uma chama incolor que assegurava temperaturas superiores a 1800 °C. Esta elevada temperatura do bico de Bunsen permitia a combustão de muitas substâncias e a chama incolor do bico não afectava o espectro, de uma certa substância analisada, originado pela chama. Estes dois professores de Heidelberg desenvolveram um espectroscópio com um dispositivo adicional que projectava, por reflexão, no prisma, uma escala que se sobrepunha ao espectro observado. A escala funcionava como referência para o espectro, permitindo obter a posição das linhas observadas. Apesar da arbitrariedade da escala, ela permitia a comparação de espectros diferentes (Hentschel, 2002, pp. 49-55).



Fig. 17
Espectroscópio
de Kirchhoff-
Bunsen

Exemplar do Museu do Colégio de San Estalísno de Kostka em Espanha. No canto inferior esquerdo podem ver-se alguns tubos espectrais contendo gases rarefeitos.

Os dados recolhidos com a utilização do seu espectroscópio permitiram a Kirchhoff teorizar que uma qualquer substância capaz de emitir num comprimento de onda particular também absorveria a luz desse comprimento de onda. Concluiu, então, que as linhas escuras do espectro solar resultavam da absorção por parte de gases existentes no Sol. Quando excitados, deveriam emitir nestes comprimentos de onda; no entanto, devido ao seu arrefecimento nas camadas mais exteriores da estrela, verificava-se a absorção destas radiações e a sua ‘exclusão’ do espectro solar. Considerando que cada átomo e

cada molécula produzia um único e característico espectro de riscas ou bandas, por comparação do espectro solar, nomeadamente as suas linhas escuras, com os espectros obtidos na Terra, provenientes das chamas de variadíssimos elementos, foi possível identificar os elementos existentes no Sol e, inclusivamente, deduzir as respectivas quantidades. O potencial da análise espectroscópica não se esgotava no Sol, porquanto a análise de qualquer espectro estelar ou de qualquer outro corpo celeste que emita luz permite aplicar os mesmos pressupostos e identificar os elementos presentes nesse astro.



Fig. 18 Espectroscópio de Steinheil

Exemplar da colecção astronómica do Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra. Fabricado em 1870 por Carl August Steinheil (1801-1870), o mesmo fabricante dos espectroscópios de Kirchhoff-Bunsen, natural de Munique, na Alemanha.

Huggins e a espectroscopia estelar

No que diz respeito à espectroscopia estelar é de salientar o trabalho de William Huggins (1824-1910), que iniciou a pesquisa espectroscópica em astronomia, recolhendo e analisando os espectros obtidos de várias estrelas e nebulosas. Comparando estes espectros deduziu que a constituição física de algumas estrelas era semelhante à do Sol (Hentschel, 2002, p. 334).

A espectroscopia descobre novos elementos

Também a descoberta de novos elementos foi impulsionada. Kirchhoff e Bunsen identificaram novos metais alcalinos, o céσιο e o rubídio, visualizando novas linhas coloridas em bandas espectrais. Os seus nomes resultaram das cores observadas no espectro (do latim *cesium* - azul esverdeado e *rubidus* –

Lockyer e as
estrelas

vermelho). Anos mais tarde, o astrónomo francês Jules Janssen (1824-1907), em visita à Índia, observou um eclipse total do Sol. Munido de um espectroscópio, observou uma nova linha na zona amarela no espectro solar (Thomas, 1991). O astrónomo inglês Norman Lockyer (1836-1920) atribuiu esta linha a um novo elemento, ainda não observado na Terra, que ficou conhecido por hélio (do latim *helios*, que significa Sol). Lockyer prosseguiu os seus estudos do espectro solar que lhe revelaram ser o Sol uma mistura de elementos químicos, o que lhe causou alguma admiração pois não conseguia explicar a respectiva proveniência. Em 1887 desenvolveu uma teoria segundo a qual a matéria estelar, nas estrelas mais quentes (azuis ou brancas), seria decomposta nas partículas constituintes dos átomos. Posteriormente, à medida que as estrelas arrefeciam, as partículas remanescentes recombinavam-se para formar os novos elementos (Ball, 2002, pp. 91–92).

1880
A banda de
chuva

O primeiro grande sucesso comercial de pequenos espectroscópios de bolso, produzidos por Janssen, surgiu durante a década de 1880. Notou-se que o espectro solar apresentava variações, consoante as condições climáticas, especificamente, junto à linha D (do sódio) surgia uma banda devida à dispersão da luz pelas gotículas de água em suspensão. Esta banda foi então designada por “banda de chuva” uma vez que ela era observada pouco antes da ocorrência de aguaceiros, especulando-se então que os espectroscópios poderiam prever a precipitação atmosférica. A popularidade dos espectroscópios para prever o tempo estimulou o seu comércio. Todavia, a simplicidade destes espectroscópios baratos, aliada à inexperiência dos utilizadores, tornaram muito difícil a observação da banda de chuva e a interpretação do seu aspecto. A aplicação meteorológica da espectroscopia foi fugaz, desaparecendo praticamente estes aparelhos do mercado antes de 1890 (Hentschel, 2002, pp. 104-110).

A utilização do bico de Bunsen para examinar o espectro de emissão visível dos elementos apresentava ainda limitações, uma vez que a chama não conseguia vaporizar determinados elementos. A invenção da lâmpada de arco eléctrico, com temperaturas superiores a 5000 °C, expandiu o número de espectros elementares que poderiam ser observados (Hieftje, 2000).

As experiências espectroscópicas demonstraram que os átomos de um dado elemento apenas emitiam ou absorviam em comprimentos de onda

característicos, que se traduziam nas riscas coloridas observadas nos espectros. Uma preocupação generalizada prendia-se com a busca de uma relação entre estas riscas, ou seja, entre os comprimentos de onda emitidos (ou absorvidos). Os espectros elementares estariam relacionados com a estrutura interna dos átomos.

1884
Balmer e
Rydberg obtêm
expressões para
o espectro do
hidrogénio

O espectro visível do hidrogénio quando foi publicado em 1884, suscitou o interesse de um matemático suíço, Johann Balmer (1825-1898). Este professor liceal, habituado a ensinar as leis da perspectiva, analisou os valores dos comprimentos de onda da série visível do espectro do hidrogénio, estabelecendo uma relação matemática entre eles. Verificou, então, que estes comprimentos de onda poderiam ser obtidos com base numa expressão quando duas incógnitas eram substituídas por números inteiros. Em 1889, uma expressão parecida foi deduzida pelo físico sueco Johannes Rydberg (1854-1919) (Hentschel, 2002, pp. 293–304). Esta descoberta revelar-se-ia imprescindível ao surgimento dos modelos atômicos.

Boisbaudran e a
lei da
homologia

Uma outra descoberta teria grande impacto na organização dos elementos. A busca de padrões nas séries espectrais revelou semelhanças entre espectros de elementos diferentes. Lecoq de Boisbaudran (1838-1912), um espectroscopista francês, debruçou-se sobre este assunto, reconhecendo similaridades nos espectros de metais alcalinos e de metais alcalino-terrosos. Descreveu estes elementos como “homólogos” definindo-os como “possuindo uma afinidade dependente da sua estrutura ou constituição” (Hentschel, 2002, p. 313), dando fundamento à “lei da homologia” dos elementos de uma mesma família.

2.6. Visão colorida do mundo

Os pigmentos	<p>O mundo sempre exerceu um fascínio visual sobre o homem. Este fascínio conduziu ao sentido estético que culminou com a criação da arte. A profusão de cores que se podem observar, bem como todas as matizes que estas formam no mundo natural, é objecto da nossa sedução desde as idades mais jovens. Sempre que contemplamos o pôr do sol, um arco-íris ou mesmo uma flor, somos arrebatados pela combinação das cores que estes fenómenos apresentam.</p>
	<p>A necessidade de traduzir, numa qualquer superfície, uma cena ou paisagem com que nos deparamos no dia-a-dia, ou expressar uma imagem de forma a torná-la acessível àqueles que nos rodeiam, sempre impulsionou a procura de materiais que permitissem fazê-lo. O homem começou a pintar imagens naturais ou imaginadas há mais de 30 mil anos, utilizando materiais que os pintores pré-históricos retiravam da terra e misturavam com água, originando tons acastanhados. O sangue, de animais ou mesmo do próprio pintor, também servia de matéria-prima. No Neolítico, os primeiros pigmentos foram obtidos a partir de óxidos de ferro, apresentando tons avermelhados ou alaranjados. Os tons negros, à base de carvão, obtinham-se, facilmente, a partir de pequenos ramos queimados.</p>
	<p>O encanto por objectos ou roupas coloridas desencadeou uma demanda de novos pigmentos que se tornaram materiais muito apreciados. Com o passar dos séculos foram descobertos novos pigmentos naturais. Na Idade Média era já possível pintar ou tingir roupas em tons de vermelho, azul, verde, violeta e amarelo, produzidos por trituração de minerais como a hematite (óxido de ferro), a malaquite (carbonato básico de cobre), o zarcão (óxido de chumbo), a azurite (carbonato ácido de cobre), etc. Era possível também obter pigmentos a partir de plantas ou animais (Szalajda, 1999).</p>
1704 Descoberta do azul da Prússia	<p>O azul da Prússia foi, em 1704, o primeiro pigmento a ser sintetizado artificialmente. Foi descoberto por acidente quando o químico berlinense Heinrich Diesbach, ao realizar uma experiência sobre a oxidação do ferro numa mistura contendo sangue, foi surpreendido pela deposição de um sólido azul (Szalajda, 1999). A sua aplicação foi quase imediata. Seguiram-se muitos outros</p>

que foram substituindo os pigmentos clássicos, uma vez que os novos pigmentos sintéticos tinham melhor qualidade e eram menos dispendiosos.

Tintureiros e pintores medievais conheciam muitas plantas que serviam de fontes de uma variada paleta de cores, dependendo da estação do ano em que eram colhidas mas também da mistura efectuada. Alguns extractos de determinadas plantas poderiam originar pigmentos de cores diferentes: por exemplo, o suco violeta dos lírios tornava-se verde pela combinação com alumínio; o líquen *Rocella* poderia originar um pigmento púrpura em água, mas tornava-se azul pela adição de urina fermentada (alcalina ou básica), ou vermelho se acidificado com vinagre (Brock, 1992, p.178).

1644
Descoberta
dos
indicadores
colorimétricos
de ácido-base

Tendo conhecimento destas técnicas, Robert Boyle advogou o uso destes preparados coloridos na identificação das propriedades ácidas e básicas. No seu livro de 1644, *Experimental History of Colours*, apontou para a possibilidade de estes extractos serem ‘indicadores’ de acidez ou alcalinidade em substâncias desconhecidas. Neste livro ele apresentou a sua descoberta: uma substância vegetal azul, xarope de violetas, mudava a sua cor para vermelho, na presença de ácidos, ou para verde, misturada com bases. Este teste conferia uma definição prática do comportamento ácido-base, nomeadamente: um ácido seria uma substância que tornava vermelho o xarope de violetas. Esta definição incluía também o ponto de neutralidade (Brock, 1992, p. 62).

Boyle terá tido a ideia de utilização de pequenas tiras de papel, impregnadas de indicadores que, quando em contacto com a solução a analisar, alteravam a sua cor em função do seu carácter ácido, básico ou neutro. Hoje dispomos de uma grande variedade de indicadores colorimétricos ácido-base, tais como o tornesol, obtido a partir da *Rocella*, e alguns dos quais sintéticos, como a fenolftaleína e o laranja de metileno (Brock, 1992, p. 184). São utilizados na determinação quantitativa do pH (escala que mede a acidez ou basicidade do meio) ou em métodos analíticos de determinação da concentração (quantidade da substância dissolvida) de soluções ácidas e básicas – titulações ácido-base.

A forma como conseguimos ver começou a ser desvendada, no princípio do século XVII, por Johannes Kepler (1571-1630). Em 1604 este astrónomo avançou com a primeira explicação correcta para o funcionamento do olho humano. Segundo Kepler, a visão ocorre pela formação de uma imagem

A visão e o funcionamento do olho humano

invertida na superfície posterior do olho, onde existe uma membrana designada por retina. Com base neste argumento explicou os problemas de visão: miopia e hipermetropia, relacionando-os com a deficiente formação da imagem na retina (O'Connor, 2002a).

Dado que não vemos o mundo ao contrário, esta explicação não parecia muito convincente e causou muito embaraço e cepticismo. Não era inteligível, na altura, como o nosso cérebro podia corrigir essa situação. René Descartes (1596--1650) confirmou a hipótese de Kepler quando levou a cabo uma experiência com um olho de boi. Tendo extraído a retina do olho verificou a formação de uma imagem invertida (O'Connor, 2002a). Esta situação ocorre devido à presença, na parte anterior do olho, de um orifício para a entrada de luz – a pupila. Este orifício encontra-se protegido pela córnea e possui uma pequena lente, constituída por proteínas transparentes, que ajusta a sua forma para permitir a focagem da imagem na retina. Esta lente é designada por cristalino e funciona como a objectiva de uma máquina fotográfica, sendo a retina análoga à película fotográfica.

A imagem é detectada na retina devido à presença de células foto-receptoras, que transmitem a informação recebida ao cérebro pelos nervos ópticos. O nosso cérebro corrige a inversão da imagem. O globo ocular encontra-se repleto de um líquido transparente – humor vítreo – que confere ao olho a sua forma esférica.

Esta explicação é insuficiente no que diz respeito à sensação de cor. Além de vermos a forma dos objectos que nos rodeiam, atribuímos-lhes também características cromáticas. Contudo, nem todos vemos as mesmas cores. John Dalton, tal como o seu pai e irmãos, tinha dificuldade em distinguir ou identificar algumas cores. Descobriu, então, que sofria de um problema que afecta a capacidade da visão das cores, que ficou conhecido por daltonismo. A anomalia é hereditária, afectando quase 10% dos indivíduos do sexo masculino, e apresenta vários tipos. Relaciona-se com desordens verificadas ao nível das células foto-receptoras da retina.

Na retina humana existem dois tipos diferentes de células: os bastonetes e os cones. Ambos os tipos possuem pigmentos visuais que mudam de forma quando atingidos pela luz. No caso dos bastonetes, o pigmento é excitado por qualquer tipo de luz, ou seja qualquer cor, de forma similar, funcionando bem

Mistura
aditiva das
cores

mesmo com pouca luz. Estas células são usadas para ver a preto e branco.

Quanto aos cones, estes dividem-se em três espécies e cada uma delas comporta um pigmento diferente. Cada pigmento é mais sensível à luz com um comprimento de onda específico, respectivamente luz azul, verde e vermelha. Consequentemente, quando a retina recebe radiações azul, verde e vermelha, com igual intensidade, as três espécies de cones são igualmente estimuladas, produzindo-se no cérebro a sensação do branco. À medida que os cones são estimulados em proporções diferentes destas três cores primárias, o nosso sistema visual “constrói” as diferentes cores que vemos.

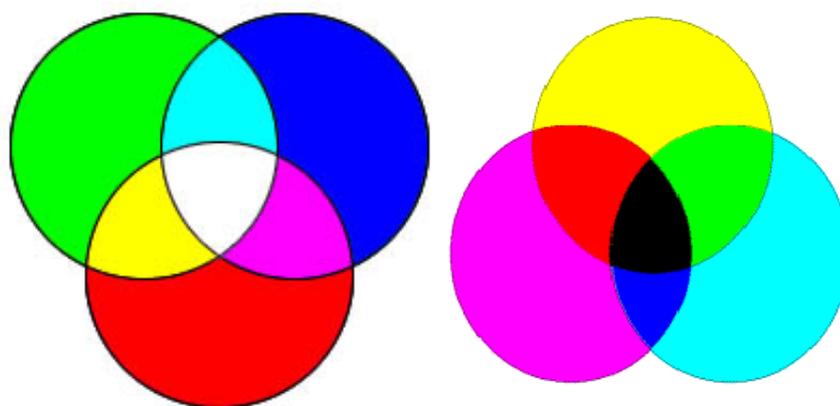


Fig. 19 - Mistura aditiva (radiações) e mistura subtractiva (pigmentos)

À esquerda: pela mistura das radiações verde e azul obtém-se o azul ciânico, pela mistura das radiações azul e vermelha obtém-se a magenta, pela mistura das radiações vermelha e verde obtém-se o amarelo e a mistura das três radiações origina o branco (ao centro).

À direita: a mistura de pigmentos pode considerar-se um processo inverso à mistura de radiações, como se pode verificar pelas cores produzidas.

Com efeito, os televisores e os projectores presentes nas nossas casas baseiam-se no método aditivo de cores. As mais pequenas parcelas da imagem produzida no ecrã resultam da mistura das três cores primárias. Por exemplo: a ausência de vermelho produz o azul ciânico (verde + azul); a ausência de azul produz o amarelo (verde + vermelho) e a ausência do verde produz a magenta (azul + vermelho). O preto não é uma cor, mas sim a ausência de luz, enquanto a cor branca se pode obter com a mistura das três cores primárias.

Daltonismo

As pessoas daltónicas não possuem uma (ou mais) das espécies de cones, o que condiciona a sua percepção das cores. No caso mais extremo, em que os cones se encontram ausentes da retina (ou danificados), a pessoa não distingue qualquer cor, vendo apenas tonalidades do cinzento (tal como num televisor a preto e branco). Quando apenas uma das espécies de cones se encontra

danificada a pessoa fica incapaz de distinguir determinadas cores. A situação mais vulgar é confundir as cores verde e vermelho.

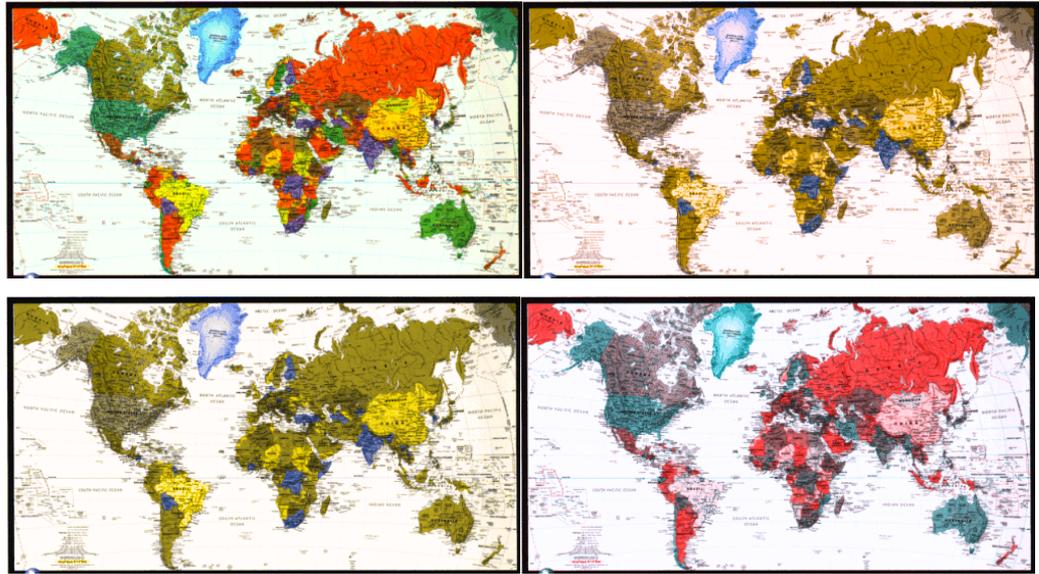


Fig. 20 – Daltonismo

O mundo colorido visto pelo olho normal (em cima à esquerda) e por pessoas daltónicas (as restantes). Uma pessoa com este problema não detectará diferença entre o quadro no canto superior esquerdo e um, ou mais, dos restantes.

A cor dos
objectos

A cor dos objectos que nos rodeiam depende da luz que neles incide e da luz que por eles é difundida. Quando um objecto, irradiado por luz branca, se apresenta branco, isso significa que ele difunde a totalidade da luz incidente. Porém, determinadas substâncias absorvem luz em zonas específicas do espectro visível. Em consequência, estas substâncias apenas difundem as restantes radiações visíveis não absorvidas. Desta forma, a luz que atinge os nossos olhos, ‘reflectida’ por uma substância dessas, não estimula, de igual forma, as três espécies dos cones da retina. Consoante as radiações absorvidas e difundidas pelas substâncias que compõem um objecto, este exhibe uma cor determinada. Assim, se uma substância absorve as radiações na zona do azul do espectro visível, quando iluminada por luz branca apenas irá difundir luz nas zonas verde e vermelha, apresentando a cor amarela. Se absorver a totalidade do espectro visível com a excepção do vermelho, então esta será a cor difundida, apresentando a cor vermelha.

Mistura
subtractiva de
pigmentos

Quando se procede à mistura de tintas ou pigmentos verifica-se a situação inversa da mistura de luz colorida. Na realidade, quando se adicionam pigmentos “subtraem-se” as cores difundidas. Quando um feixe de luz branca (vermelho + verde + azul) atravessa um filtro azul cianico, apenas o azul e o verde são

transmitidos, sendo o vermelho absorvido. Um filtro amarelo transmite o vermelho e o verde e absorve o azul. Se ambos os filtros forem sobrepostos apenas o verde é transmitido. De forma parecida, quando se adiciona um pigmento azul cianico a um pigmento amarelo, a mistura apenas difunde o verde, sendo esta a cor exibida. A adição de pigmentos de cores variadas irá resultar numa mistura que absorve a totalidade da radiação visível incidente, apresentando-se preta. As cores primárias do método substractivo são o amarelo, o azul cianico e a magenta.

1603
Descoberta da fosforescência

Algumas substâncias apresentam comportamentos invulgares quando iluminadas. Em 1603, o sapateiro e alquimista bolonhês Vincenzo Casciarolo preparou, acidentalmente, um material que brilhava após ter sido exposto à luz (Toyokuni, 2001). Ficou conhecido por pedra bolonhesa mas era o que modernamente se chama fósforo branco. Esta substância tem a particularidade de persistir na emissão de luz, durante um tempo apreciável, após ter sido iluminada e de seguida colocada no escuro. Outras substâncias, além do fósforo branco, apresentam esta propriedade dita de fosforescência. Uma das suas aplicações encontra-se nos mostradores de certos relógios analógicos.

1646
Descoberta da fluorescência

Alguns anos mais tarde, em 1646, o jesuíta alemão Athanasius Kircher (1602-1680), tendo preparado uma infusão aquosa do extracto de madeira da árvore *Lignum nephriticum*, observou que esta difundia a cor azul mas, quando atravessada por um feixe de luz, transmitia a cor amarela (Toyokuni, 2001). Este fenómeno, observado em muitas substâncias como a clorofila ou a fluoresceína, resulta destas substâncias emitirem luz visível diferente daquela com que são iluminadas. Dado ter sido observado em muitos compostos à base de flúor foi designado por fluorescência. Diferencia-se da fosforescência por cessar imediatamente quando a substância deixa de ser iluminada. Os materiais fluorescentes são amplamente utilizados, quer nos coletes de segurança e na sinalização das estradas, quer mesmo na autenticação de notas ou bilhetes.

1960
Invenção do laser

Os fenómenos que consistem na emissão de luz pela matéria são, genericamente, designados por luminescência e incluem, para além da fosforescência e fluorescência, a incandescência que ocorre quando um objecto é aquecido a temperaturas elevadas.

A emissão de luz pela matéria pode, também, ser estimulada pela radiação incidente, uma situação descrita pela primeira vez, em bases teóricas, por

Einstein em 1917. Este fenómeno conduziu à invenção do laser, patenteado em 1960 pelos americanos Charles Townes (nascido em 1915) e Arthur Shawlow (1921-1999), investigadores dos laboratórios Bell. A palavra laser é um acrónimo de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (amplificação da luz por emissão estimulada de radiação). O primeiro destes dispositivos foi construído por Theodore Maiman (nascido em 1927) a partir de um cristal de rubi, um mineral que contendo partículas de crómio que lhe conferem a cor vermelha. Quando as partículas de crómio são excitadas por uma lâmpada de clarão (parecida com o *flash* das máquinas fotográficas) emitem luz vermelha monocromática (com apenas um comprimento de onda). No interior do cristal, cujas extremidades são espelhadas, esta radiação é amplificada, originando um raio muito intenso e coerente (Atkins, 1994, p. 600). Actualmente dispomos de lasers com uma grande variedade de cores, inclusivamente nos comprimentos de onda do infravermelho e das microondas (maser). Os ponteiros vulgares de laser utilizam uma mistura de hélio e néon, dado que o rubi seria muito dispendioso. Estes dispositivos apresentam um gama muito larga de aplicações, quer no âmbito da investigação quer no nosso quotidiano: leitores de CD ou DVD, sensores ópticos, hologramas (fotografia tridimensional) e mesmo cirurgia de precisão.

2.7. Corpúsculos de luz

1900
Planck e a
radiação do
corpo negro

Quando se julgava que a teoria ondulatória da luz providenciava uma explicação completa do fenómeno luminoso, uma nova descoberta veio complicar o cenário e reabilitar a teoria corpuscular da luz de Newton. Max Planck (1858-1947) apresentou em 1900 uma proposta extraordinária que solucionava, matematicamente, um problema relativo à radiação emitida por corpos aquecidos.

É bem sabido que corpos aquecidos ao rubro emitem luz. A luz emitida depende da temperatura do corpo, nomeadamente um metal, à medida que é aquecido, começa por se tornar rubro (emitindo vermelho), passado algum tempo começa a adquirir tons laranja, depois mais amarelados e, para temperaturas muito elevadas, pode apresentar-se branco incandescente, imediatamente antes de fundir. Com base numa relação entre o comprimento de onda, correspondente ao máximo de energia radiada, e a temperatura do corpo, foi possível determinar a temperatura à superfície do Sol. No entanto, não se conseguia obter uma expressão matemática que reproduzisse a curva de intensidades da radiação emitida por um “corpo negro” (corpo capaz de absorver ou emitir em todos os comprimentos de onda). Aplicando as leis da mecânica estatística, obtinham-se valores muito aproximados aos experimentais para comprimentos de onda maiores. Porém estas leis falhavam, sucessivamente, para comprimentos de onda menores (ultravioleta, raios X e radiação gama), sendo conhecida esta situação como “catástrofe do ultravioleta” (Jordan, 1998a).

Teoria dos
quanta

A inovação de Planck foi introduzir uma limitação aos valores de energia associados a uma determinada frequência. A energia transportada numa onda electromagnética de uma dada frequência apresenta um valor mínimo, surgindo os sucessivos valores superiores como múltiplos inteiros deste “quantum” energético. Por outras palavras, a energia emitida por uma partícula vibrante não é contínua ou infinitamente divisível, mas uma quantidade discreta composta por um número inteiro de pequenos pacotes energéticos. Esta asserção ficou conhecida por teoria dos “quanta” (plural de

Einstein e os
fotões

“quantum”). Planck não atribuiu uma interpretação física a esta situação, considerando-a apenas um truque matemático (Jordan, 1998a). Seria a intuição de Einstein a traduzir estes pacotes de energia por pequenas partículas de luz, às quais foi dado o nome de fotões.

A nova representação actual da luz baseia-se nesta dualidade onda-partícula. A luz viaja como uma onda, mas é emitida e absorvida como uma partícula (O'Connor, 2002b).

2.8. O interior do átomo

1859
Plücker e os
raios catódicos

Os misteriosos raios catódicos foram objecto de muitas demonstrações científicas dos meados do século XIX. Utilizando um tubo de vidro, com arames incrustados nas suas extremidades, bombeando o ar do interior do tubo e aplicando uma alta tensão nos arames metálicos, o interior do tubo brilhava. Estes aparelhos foram os precursores das lâmpadas de néon.

1897
Thomson
descobre o
electrão

Em 1859, Julius Plücker (1801-68), um físico alemão, conseguiu com uma bomba melhorada reduzir o ar no interior do tubo e observou raios provenientes do cátodo (pólo negativo) que atingiam o vidro, produzindo um brilho fluorescente (Thomas, 1991). Experiências posteriores demonstraram que estes raios transportavam carga eléctrica, sendo desviados por ímanes (campos magnéticos). Joseph John Thomson (1856-1940), no laboratório Cavendish da Universidade de Cambridge, em 1897, efectuando várias experiências com estes tubos de vidro, postulou que estes raios catódicos eram constituídos por partículas, carregadas negativamente, de massa muito inferior ao átomo de hidrogénio. Estes corpúsculos foram designados de electrões. Thomson aventou que seriam partículas constituintes dos átomos, e determinou a relação entre a sua carga eléctrica individual e a sua massa (Richards, 2000).

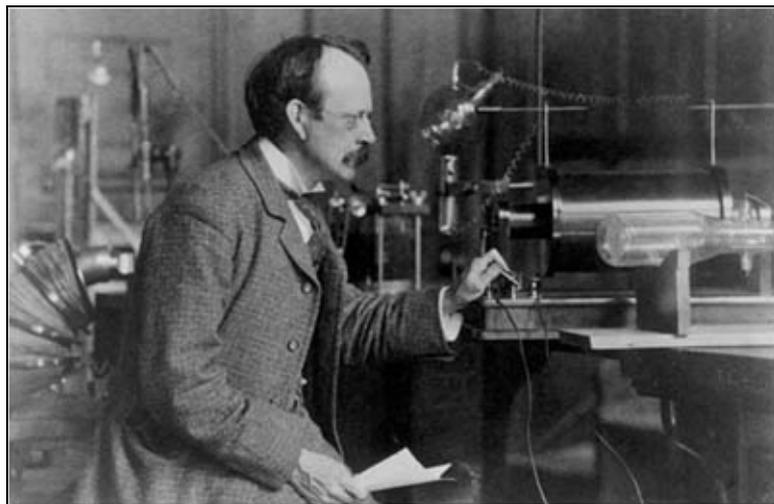


Fig. 21 - Thomson e o seu tubo de raios catódicos (1897)

No tubo que se encontra à sua direita, quando sujeito a alta tensão, Thomson observou um raio com um brilho fluorescente que era desviado por um íman.

A ideia de que os electrões seriam partículas subatómicas causou algum cepticismo dado que colidia com a imagem de um átomo indivisível e imutável de Dalton. Inclusivamente, os átomos eram electricamente neutros, o que implicaria que, no seu interior, além dos electrões deveria existir algo mais, carregado positivamente, para que a carga total se anulasse. Thomson propôs um modelo atómico em que milhares destes corpúsculos, carregados negativamente, se encontravam envolvidos numa nuvem de massa com carga positiva simétrica, no interior dos átomos.

Becquerel, o
casal Curie e a
radioactividade

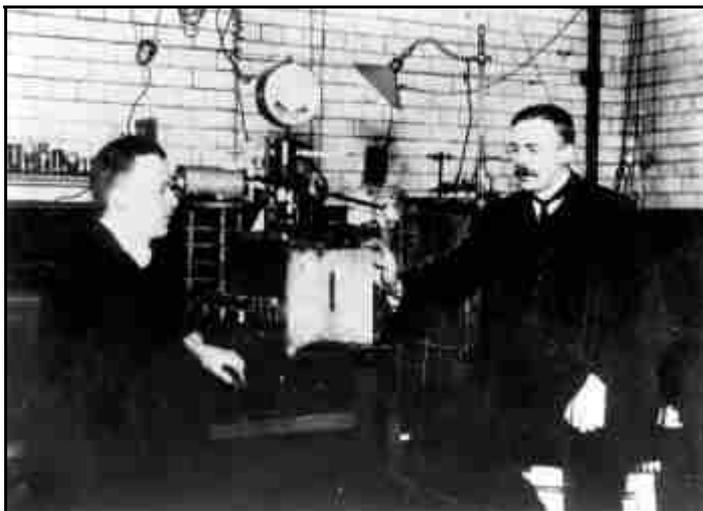
De forma fortuita, um novo tipo de radiação foi descoberta no final do século XIX. Henri Becquerel (1852-1908), que estudava minerais de urânio, tendo guardado numa gaveta, durante alguns dias, uma amostra deste material, embrulhada numa película fotográfica, verificou que a película apresentava imagens resultantes da emissão espontânea de uma radiação similar aos raios de Roentgen (Bassalo, 1998). O casal Pierre e Marie Curie, alguns anos depois, após ter isolado os elementos polónio e rádio, descobriu que estes também emitiam esta nova radiação natural, designando-a por radioactividade. Distinguiram-se três espécies diferentes de radioactividade: raios α (alfa), carregados positivamente e mais difíceis de desviar que os raios catódicos (logo, constituídos por partículas de carga positiva e de massa muito maior do que a dos electrões); raios β (beta), carregados negativamente e muito parecidos com os raios catódicos, mas propagando-se com velocidades superiores a estes (logo, constituídos por electrões emitidos a velocidades mais próximas da velocidade da luz); e raios γ (gama), que não apresentavam massa nem carga (logo, seriam mais um tipo de ondas electromagnéticas, tal como a luz, mas com um comprimento de onda inferior aos raios X) (Born, 1969, pp. 34–35).

1911
Rutherford e o
núcleo atómico

Quando o físico nascido na Nova Zelândia, Ernest Rutherford (1871-1937), um experimentador brilhante, decidiu pesquisar a estrutura atómica, optou por fazê-lo com base no metal ouro, em virtude de este poder ser reduzido a películas muito finas quase transparentes. Tendo identificado, em 1898, os raios α e β , Rutherford decidiu utilizar os primeiros para sondar o que se encontrava no interior do átomo, deduzindo que as partículas α se tratavam de núcleos de hélio (Campbell, 2002).

Fig. 22
Rutherford no seu
laboratório (1912)

Ernest Rutherford e
Hans Geiger junto
de um contador de
partículas alfa em
Manchester



A experiência levada a cabo pelos seus assistentes, Hans Geiger e Ernest Mardsen, consistia na emissão de radiação α em direcção à película fina de ouro, cuja espessura corresponderia a apenas alguns átomos de ouro, distribuindo detectores das partículas α , desenvolvidos por Geiger, em redor do alvo. Dado terem massa superior ao electrão, as partículas α não seriam, sensivelmente, desviadas pelos electrões, mas apenas por quaisquer outras partículas mais pesadas. Os resultados obtidos foram espantosos, a grande maioria das partículas α emitidas atravessavam a película de ouro, sem nenhuma deflexão, o que indicaria uma transparência absoluta do meio material. Contudo, algumas destas partículas eram fortemente desviadas, verificando-se, nalguns casos, que eram retransmitidas em sentido contrário, o que indicava terem encontrado um obstáculo muito compacto, o que levou Rutherford a comparar esta situação com o disparar de um canhão, contra um folha de papel, voltando a bala para trás para atingir o atirador (Ball, 2002, pp. 92–94).

A interpretação dos resultados, deduzida em 1911 por Rutherford, implicava que os átomos eram praticamente vazios, com a excepção de um núcleo central muito denso, que concentrava toda a massa do átomo, e que estava carregado positivamente. Comparando o tamanho do átomo com um estádio de futebol, o núcleo teria o tamanho de uma bola de pingue-pongue e os electrões de pequenas partículas de poeira. O paralelismo entre o átomo e o nosso sistema solar foi imediato: o núcleo corresponderia ao Sol e os electrões orbitando em redor do núcleo, aos planetas.

No mesmo ano da apresentação dos resultados de Rutherford, uma outra

A gota de
Millikan e a
carga do electrão

descoberta viria a colocar novas peças ao puzzle atómico. Robert Millikan (1868-1953) estudou o comportamento de gotículas de óleo, electrostaticamente carregadas, no interior de um condensador eléctrico. Com base na sua experiência, conseguiu determinar que a carga apresentada pelas gotículas correspondia sempre a valores múltiplos inteiros de e . A carga de um electrão seria então $-e$ (note-se o sinal negativo) (Richards, 2000). Consequentemente, o núcleo atómico deveria conter partículas cuja carga eléctrica, positiva, teria o valor simétrico ($+e$). Estas partículas nucleares, de massa muito superior aos electrões, foram baptizadas de protões por Rutherford (Ball, 2002, p. 95) (do grego *protos*, que significa primeiro). Estabelecia-se um novo modelo atómico com um núcleo, contendo protões, e electrões dispostos no espaço vazio em redor, em número igual ao dos protões para permitir uma carga total neutra, diferenciando-se os elementos por este número. Por exemplo, os átomos de hidrogénio eram caracterizados por um protão e um electrão, crescendo este número atómico ao longo da tabela periódica, ou seja, os átomos de hélio com número atómico igual a dois (dois protões e dois electrões), de lítio com número atómico igual a três, e por aí adiante.

O modelo
atómico de Bohr

Ficava por explicar a maneira com que se dispunham os electrões nos átomos. Tendo em conta os espectros de emissão dos vários elementos, apenas linhas específicas (ou comprimentos de onda) de luz podem ser vistas. O fenómeno espectral implica que os átomos não emitem energia de forma contínua, isto é, a energia emitida encontra-se quantizada. O dinamarquês Niels Bohr (1885-1962) sugeriu que os electrões, nos átomos, tinham estados de energia estacionários, não podendo tomar valores de energia intermédios. Por analogia, quando subimos uma escada, as sucessivas alturas que vamos ocupando dependem das alturas individuais dos degraus, não nos sendo possível ocupar uma altura intermédia entre dois degraus. Algo de parecido ocorre com a energia apresentada por um electrão no interior do átomo, quando o átomo é excitado, absorvendo energia, o seu electrão salta para um “degrau” mais energético. O átomo pode emitir radiação sempre que o electrão “salte” para um degrau inferior, e a energia do fóton emitido irá corresponder, exactamente, à diferença das energias do degrau inicial e do degrau final, isto é, à diferença entre os níveis energéticos superior e inferior.

Abordando, especificamente, o átomo de hidrogénio, que apenas contém um electrão, Bohr explicou os números inteiros da expressão de Balmer, relacionando-os com os níveis energéticos ocupados pelo electrão. Por exemplo, o comprimento de onda obtido com os números inteiros três e dois irá corresponder ao fóton emitido pelo átomo de hidrogénio, excitado, quando o seu electrão observa uma transição descendente do terceiro nível energético permitido para o segundo. Verifica-se que a série de Balmer (riscas visíveis observadas no espectro de emissão do hidrogénio) estão em conformidade com todas as transições possíveis do electrão de níveis superiores para o segundo nível energético (Pleytez, 2003). Através da expressão de Balmer, Bohr determinou os valores dos níveis energéticos do átomo de hidrogénio.

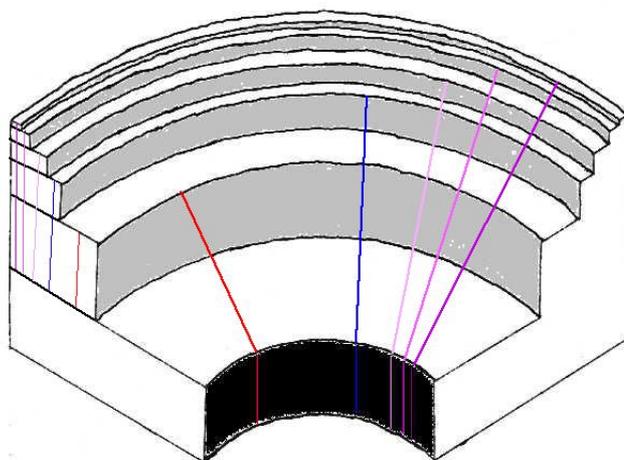


Fig. 23
Modelo atômico de Bohr

A altura dos degraus corresponde aos níveis de energia permitidos para o electrão do átomo de hidrogénio, as transições electrónicas representadas (linhas coloridas) originam o espectro de emissão observado na face do primeiro degrau.

Estes níveis energéticos também ocorrem em átomos com mais do que um electrão (polieletrónicos). Porém, as suas energias serão diferentes das do hidrogénio, resultando em espectros de emissão diferentes. A teoria quântica foi usada para descobrir como os electrões se “arrumam” no átomo. Enquanto no átomo de hidrogénio, no estado de energia mínima, o seu electrão ocupará o primeiro nível energético, para átomos polieletrónicos, com mais de dois electrões, os restantes deixam de “caber” neste nível, sendo obrigados a ocupar níveis superiores. Observa-se, então, que os electrões, nestes átomos, se distribuem por camadas. A primeira pode conter até dois electrões, a segunda até oito, e a seguinte até dezoito. Este padrão é visível na Tabela Periódica em que, na primeira linha surgem dois elementos, nas segunda e terceira linhas oito elementos e na quarta linha dezoito. As propriedades químicas dos elementos derivam do número de electrões existentes na última camada ocupada dos respectivos átomos, os electrões de

valência, pois são aqueles que participam, directamente, na formação de ligações químicas.

No que diz respeito ao núcleo atómico faltava ainda descobrir uma outra partícula nuclear. O núcleo de hidrogénio, o mais pequeno, apresenta apenas um protão e o núcleo de hélio apresenta o dobro de carga positiva, ou seja, dois protões.

1815
Prout afirma que
tudo é feito de
hidrogénio

Uma teoria avançada em 1815 pelo químico William Prout (1785-1850) avançava que todos os elementos eram feitos a partir do hidrogénio (Born, 1969, p. 42). A hipótese de Prout alicerçava-se na regularidade aparente dos pesos atómicos, em que, numa primeira análise, se apresentavam como múltiplos inteiros do peso do hidrogénio. Contudo, o cloro tinha um peso atómico de 35,5, o que deitava por terra o pressuposto de Prout. No século XIX, a obtenção do peso atómico era feita a partir da comparação entre quantidades macroscópicas das substâncias elementares.

A partir da descoberta dos raios catódicos foi possível desenvolver uma nova técnica espectroscópica, utilizando partículas carregadas positivamente (raios anódicos), que permitia obter a massa dessas partículas individuais (Thomas (1991)). A espectroscopia de massa veio possibilitar a obtenção de pesos atómicos dos átomos dos elementos, determinando-se que o elemento cloro apresentava duas espécies de átomos com massas de 35 e 37, respectivamente, de forma semelhante, elementos de massas relativas cujos valores não fossem números inteiros, apresentariam igualmente, átomos de espécies diferentes. Esta técnica espectroscópica permitiu confirmar que a radiação α era composta por núcleos de hélio, determinando-se a sua massa.

1932
A descoberta do
neutrão por
Chadwick

No caso do núcleo de hélio, apesar de ter o dobro da carga, tinha uma massa quatro vezes superior à do hidrogénio. Ernest Rutherford sugeriu a existência de uma outra partícula nuclear, com a mesma massa do protão, mas sem carga eléctrica. Esta partícula foi descoberta por um discípulo seu, James Chadwick (1891-1974), em 1932, que a designou de neutrão (Ball, 2002, p. 95). Estava, então, desvendado o mistério de átomos do mesmo elemento, com o mesmo número de protões, mas com massas diferentes (diferente número de neutrões). Estes átomos são designados por isótopos e, por exemplo, o elemento cloro apresenta o isótopo 35 (17 protões e 18 neutrões) e o isótopo 37 (17 protões e 20 neutrões). O próprio elemento hidrogénio tem

uma massa atómica de 1,008, devido à escassa percentagem de ocorrência do seu isótopo natural, o deutério, cujo núcleo tem um protão associado a um neutrão.

Sintetizando, o modelo atómico de Bohr, inclui um núcleo (constituído por protões e neutrões), com uma enorme densidade, rodeado por electrões que orbitam, em torno dele, distribuídos por camadas. Apesar de ser muito intuitiva, esta representação é incorrecta. Não é possível obter a posição do electrão com precisão, apenas se pode definir uma probabilidade da sua presença num determinado local. Tal como os fotões, o electrão tem comportamento de onda e partícula, não sendo parecido com qualquer planeta em órbita do Sol. Daí que os electrões não descrevam órbitas definidas, sendo mais comparáveis a uma nuvem de abelhas em torno de uma colmeia. Por conseguinte, a sua localização é definida por zonas em que a probabilidade de encontrar um dado electrão é elevada: as chamadas orbitais. Estas orbitais, com variadas formas, nomeadamente esféricas ou lobulares, correspondem aos sucessivos níveis energéticos. Como exemplo, o primeiro nível no hidrogénio corresponde a uma orbital esférica e o segundo a uma orbital esférica e três lobulares. Para átomos polieletrónicos, cada orbital acolhe, no máximo, dois electrões, sendo ocupadas por ordem crescente de energia. A estrutura electrónica dos átomos determina o seu comportamento químico.

Nuvem de
electrões

2.9. Estrelas – Incubadoras dos elementos

O desenvolvimento das técnicas espectroscópicas, aplicadas à luz recebida das estrelas, permitiu identificar a sua composição, de tal forma que hoje conhecemos melhor a constituição de estrelas distantes do que a da constituição interior do nosso próprio planeta.



Fig. 24 Espectrógrafo estelar

Exemplar do Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra, fabricado em 1923. Com este aparelho, que presentemente não se encontra em funcionamento, era possível obter os espectros das estrelas.

Canon cataloga as estrelas em classes espectrais

De acordo com o espectro apresentado, as estrelas foram classificadas em várias classes espectrais, seguindo-se a sua catalogação. De referir o trabalho de Jump Canon (1863-1941), que classificou, até ao final da sua vida, um total aproximado de 400 000 espectros estelares. Mostrando um “olho arguto e uma extraordinária memória visual” (Hentschel, 2002, pp. 354– 355) levou a cabo esta função sem qualquer referência ou entendimento teórico que justificasse os espectros visualizados. As similaridades espectrais relacionam-se com uma composição elemental parecida, isto é, as estrelas de uma dada classe apresentariam, na sua constituição, os mesmos elementos. Porém, não se apresentava nenhuma explicação plausível para a ocorrência de elementos mais pesados do que o hidrogénio e o hélio, putativamente

Radioactividade e a transmutação elementar

formados na altura do nascimento do Universo – o *Big Bang*.

A descoberta da emissão espontânea de núcleos de hélio (radiação α), por parte de substâncias radioactivas, implica que os núcleos atómicos desses elementos se convertessem noutros elementos diferentes, devido à consequente diminuição do número de protões (número atómico). Um decaimento alfa retira ao núcleo dois protões e dois neutrões, causando a transmutação desse elemento noutro situado duas colunas antes na Tabela Periódica. No caso da radiação β , que são electrões provenientes de um núcleo atómico, a libertação de uma partícula negativa sugere que um neutrão desse núcleo se transmute num protão, aumentando o número atómico. Revela-se, então, a possibilidade de transformar os elementos: o sonho dos alquimistas. O facto de os elementos radioactivos decaírem, espontaneamente, noutros elementos mais leves mostra que os seus núcleos são instáveis. Através da cisão de núcleos pesados, como o urânio, libertam-se grandes quantidades de energia, o que deu origem à bomba atómica e às centrais de energia nuclear.

Fissão e fusão nucleares

Se, por um lado, a transmutação de elementos pesados em elementos mais leves liberta energia, descobriu-se que a fusão de núcleos muito leves, como a fusão do hidrogénio em hélio, liberta muito mais energia. A explicação prende-se com a estabilidade dos núcleos. O elemento que apresenta o núcleo mais estável é o ferro (26 protões), ou seja, qualquer processo de transmutação que termine num núcleo de ferro (ou que se aproxime deste), liberta, teoricamente, energia, seja a partir de elementos mais pesados ou mais leves. Por conseguinte, a conversão de urânio em chumbo liberta energia (reduzindo-se o número atómico de 92 para 46), mas a fusão de elementos mais leves, aumentando o número atómico, conduz à libertação de energias maiores, pois o salto energético é maior. Todavia, a fusão nuclear só se verifica a temperaturas muito elevadas, idênticas às que ocorrem nas fornalhas estelares, e em condições muito específicas.

Bethe e o mecanismo da fusão do hidrogénio

O hidrogénio é o combustível solar. Em 1930 torna-se claro que a imensa energia encerrada no núcleo atómico possibilita a subsistência das estrelas. O físico norte-americano de origem alemã Hans Bethe (1906-2005) propôs um mecanismo para a fusão do hidrogénio, a temperaturas muito elevadas (Weisstein, 2004). Num primeiro passo, dois núcleos de hidrogénio

(dois prótons) colidem, dando origem a um núcleo de deutério (isótopo do hidrogénio com um próton e um neutrão) e um positrão (partícula idêntica ao electrão, mas com carga positiva). Seguidamente, o núcleo de deutério combina-se com outro próton, formando um núcleo de hélio-3 (isótopo do hélio com dois prótons e um neutrão). Finalmente, dois núcleos de hélio-3 combinam-se, formando um núcleo de hélio-4 e libertando dois prótons (núcleos de hidrogénio). São estas as reacções nucleares que ocorrem, presentemente, no coração do Sol, libertando a radiação que nos ilumina e aquece. Bethe, alguns anos mais tarde, mostrou que a conversão de hidrogénio a hélio seria ajudada (catalisada) pela presença de pequenas quantidades de núcleos de carbono. Não conseguiu, porém, explicar a ocorrência deste elemento.

O tecnécio e a produção de elementos nas estrelas

A sugestão de Norman Lockyer (que os elementos são produzidos nas estrelas) afirma-se através da descoberta de Paul Merrill (1887-1961). Em 1952, Merrill identificou o espectro do elemento tecnécio num certo tipo de estrelas (gigantes vermelhas) (Clarke, 1999). O tecnécio não apresenta isótopos estáveis, pelo que não existe na crosta terrestre, dado que a duração dos núcleos deste elemento é inferior a alguns milhões de anos. Durante a longa evolução do sistema solar este elemento terá, simplesmente, desaparecido da Terra. A sua existência nas estrelas comprova que a síntese nuclear não terá ocorrido apenas nos instantes iniciais do Universo, mas se verifica actualmente.

Hoyle confirma o carbono como catalisador da síntese nuclear

Estabelecida a fusão de hidrogénio em hélio, por Bethe, urgia explicar o aparecimento de núcleos de carbono, essenciais para o cumprimento das fases seguintes na formação de elementos mais pesados (Ball, 2002, p. 134). Infelizmente, parecia impossível fundir prótons e núcleos de hélio, e a fusão de três partículas alfa num núcleo estável de carbono mostrava, teoricamente, uma probabilidade tão pequena que não reproduzia a quantidade deste elemento, tal como é observada, no Universo. É aqui que Fred Hoyle (1915-2001) contribuiu para a teoria da síntese dos elementos nas estrelas. Este físico defendia um estado estacionário para o Universo, não acreditando num instante criador. Numa tentativa de ridicularizar a teoria de um nascimento universal, alicerçado numa explosão primordial, apelida este momento de *Big Bang*, nome pelo qual é hoje, mundialmente, referenciado (Mestel, 2002).

Para corroborar a sua hipótese da matéria ser, continuamente, criada, incidiu a sua atenção no carbono. Tendo calculado que a temperatura no interior de uma estrela pudesse atingir os 100 milhões de graus Celsius, previu que, dada a agitação térmica das partículas no interior da atmosfera estelar a estas temperaturas, deveria ocorrer um estado excitado do núcleo de carbono-12 (Clarke, 1999). Estando desvendado o elo do carbono, explicava-se a formação de oxigénio e néon, pela fusão entre núcleos de carbono e hélio, a formação magnésio, pela fusão entre dois núcleos de carbono, e assim sucessivamente, até ao ferro. Com a explosão da estrela – supernova – a colisão entre núcleos, ejetados com velocidades muito elevadas, permitem as reacções nucleares que conduzem à formação dos elementos mais pesados do que o ferro.

De forma ingrata para Hoyle, a síntese nuclear estelar viria a consolidar a Teoria do *Big Bang*. Estima-se, hoje, que cada átomo do nosso corpo tenha pertencido a várias estrelas, desde o princípio do Universo (Clarke, 1999). Apenas o hidrogénio, existente nas moléculas de água, se formou nos instantes seguintes do *Big Bang*.

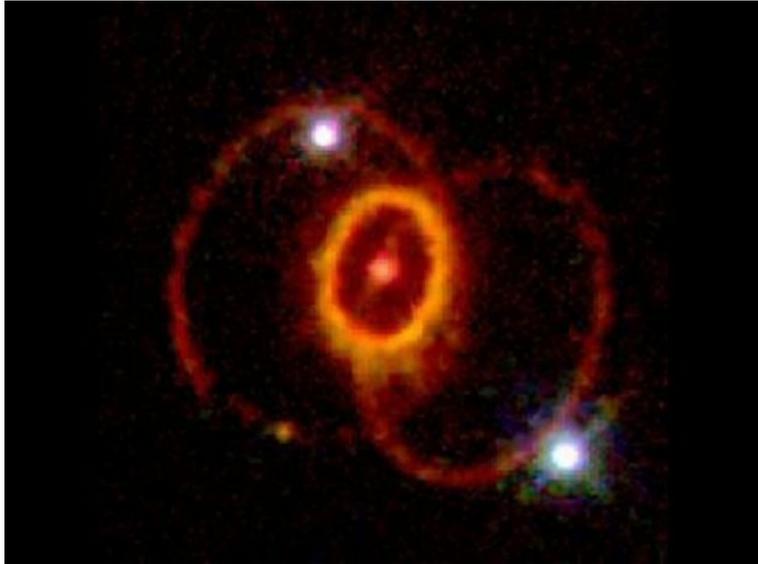
2.10. Supernova: o sonho dos alquimistas

<p>O homem sempre olhou as estrelas</p>	<p>Desde os primórdios da Humanidade que um objecto de curiosidade dos nossos antepassados se encontra bem acima das suas próprias cabeças. Durante a noite era inevitável olhar para o céu, observando a miríade de pontos luminosos, com brilhos diferentes, que pululam a cúpula celeste. A aparência de todos estes pontos, bem como a semelhança com o Sol, que apenas surgia de dia e ofuscava todos os outros, seria gerador de muitas dúvidas: Qual é a sua constituição? Como tinham sido produzidos? Porque estavam naqueles locais?</p>
<p>Estrelas fugazes</p>	<p>A observação das estrelas no firmamento criou a ideia de que estas teriam existido, de forma permanente e imutável, durante toda a eternidade. No entanto, vários acontecimentos contrariavam esta impressão. Um deles ocorreu no ano de 1054: escritos diversos provenientes da China e Japão, relatam o surgimento de uma estrela, nunca antes vista, na constelação Touro. Esta nova estrela depressa se tornou mais brilhante do que qualquer outra, sendo inclusivamente visível durante o dia. Contudo, após cerca de vinte meses de duração, tal como surgiu voltou a perder-se na obscuridade, deixando de ser avistada (Sagan, 1994, pp. 268–269).</p>
<p>Ciclo estelar</p>	<p>Além do registo de 1054 existem vários registos destas estrelas efémeras que surgiram na Via Láctea, nomeadamente pelos chineses (532 a.C. e 393, 1006, 1181 d.C.) e pelos astrónomos europeus Tycho Brahe e Johannes Kepler (1572 e 1604).</p> <p>Estes acontecimentos comprovaram que as estrelas não eram imutáveis, apresentando ciclos de vida. As estrelas que explodem, como a de 1054, são designadas por supernovas.</p> <p>Na realidade uma supernova corresponde ao fim do ciclo de vida de uma estrela, quando se verifica o seu colapso seguido de explosão. Mas nem todas as estrelas terminam a sua vida de uma forma tão dramática. Todavia, este acontecimento reveste-se de importância extrema para nós, em virtude de se criar a matéria que constitui o nosso planeta e nós próprios.</p>

Fig. 25

Supernova 1987A captada pelo telescópio Hubble

Na imagem pode ver-se a explosão estelar designada por supernova 1987A. Os anéis poderão ser causados por radiação de elevada energia que atravessa uma nuvem de gases e poeira, como a luz de um farol através das nuvens. No centro pode observar-se o que resta da estrela.



As estrelas não são pedras grandes ao rubro, como julgava Anaxágoras na Grécia Antiga (Sagan, 1994, p. 231), mas sim esferas gigantes de hidrogénio e hélio. Estes elementos foram formados nos instantes iniciais da formação do Universo – o *Big Bang*. Devido à forte atracção gravitacional, a temperatura no núcleo estelar é muito elevada, ultrapassando os dez milhões de graus Celsius, o que origina colisões muito violentas entre os núcleos de hidrogénio. Nestas condições ocorre a fusão do hidrogénio em hélio, uma reacção termonuclear libertadora de muita energia, que contraria o colapso gravitacional. À medida que a estrela brilha, esta perde energia, compensando a perda pela “combustão” de mais hidrogénio. A duração desta fase estelar depende da massa total da estrela, quanto maior ela for mais rapidamente consome o hidrogénio (o Sol encontra-se, mais ou menos, a meio da sua vida, podendo manter-se nestas condições por mais 4,5 mil milhões de anos). Com a acumulação de hélio no centro da estrela, a temperatura e a densidade do seu núcleo aumentam e, quando se esgotar o hidrogénio, o núcleo da estrela começa a contrair-se, o que gera grandes quantidades de energia que são absorvidas pelas camadas mais exteriores, levando à expansão destas. Verifica-se, então, que a estrela aumenta de tamanho e diminui a sua densidade global enquanto o seu núcleo se contrai. A temperatura à superfície diminui e a estrela transforma-se numa gigante vermelha (Reeves, 1981, pp. 76-79).

Gigantes
vermelhas

Entretanto, no coração da estrela a temperatura sobe vertiginosamente, ultrapassando os cem milhões de graus Celsius, o que é o ponto de partida

para uma nova fase estelar. Embora a fusão do hélio se apresente inicialmente difícil, o aparecimento de um terceiro elemento – o carbono - vai permitir um novo processo de obtenção de energia: a fusão do hélio e carbono em oxigénio. A estrela adquire um novo fôlego e no seu centro acumulam-se o carbono e o oxigénio. Numa camada superior, aquecida pela contracção nuclear, o hidrogénio remanescente continua a transformar-se em hélio, pois à superfície, nada se modificou. Cedo se esgotará o hélio no núcleo estelar o que leva a uma nova contracção pois a energia libertada não é suficiente para contrabalançar a atracção gravitacional (Reeves, 1981, pp.76–79).

A massa da estrela é um factor preponderante. Numa estrela com massa idêntica ao do Sol, a formação de um centro de carbono e oxigénio marca o fim da produção de novos elementos. Após a sua dilatação numa gigante vermelha, parte da sua atmosfera é expelida para o espaço numa ou mais conchas de gás concêntricas, à medida que o restante do seu núcleo, devido à contracção gravitacional, se converte numa anã branca, que brilha devido à sua elevada temperatura. Resta apenas uma pequena estrela quente, de densidade muito elevada, a princípio envolvida na sua nebulosa (nuvem de gás e poeiras interestelares), resultante do material ejectado, que arrefece com extrema lentidão até se converter numa massa fria e sem luz – uma anã negra.

Para estrelas com dez vezes, ou mais, a massa do Sol, a capacidade de produzir novos elementos não termina no oxigénio. A sua fase inicial, até atingir um cerne de carbono e oxigénio, é muito parecida com as estrelas de menor massa, embora muito mais rápida. Porém, a partir desse momento, a sua evolução torna-se distinta. Devido à massa elevada, o peso das camadas superiores reforça a contracção do núcleo de carbono e oxigénio, retomando o aumento da temperatura para valores muito mais elevados que irão permitir a fusão do carbono, gerando novos elementos, tais como o néon, o sódio, o magnésio, o alumínio e o silício (e em quantidades menores o fósforo e o enxofre), libertando mais energia. Após esta fase, os novos aumentos de temperatura tornam possíveis as fusões do néon e silício. Assim, vão sendo produzidos, sucessivamente, os elementos mais pesados, adquirindo a estrela uma estrutura em camadas, tal como uma cebola, com temperaturas decrescentes no sentido da superfície (Santos, 1988).

Ocorrem vários processos de fusão contudo, a formação do ferro pela

Supergigantes
vermelhas e
supernova

fusão do silício marca um limite na fornalha nuclear. Enquanto todos os processos de fusão até ao ferro libertam energia, a produção de elementos mais pesados consome energia (nas centrais nucleares a energia é obtida, não pela fusão mas pela cisão de núcleos de urânio – cisão ou fissão nuclear), pelo que, quando a estrela atinge um núcleo de ferro, verifica uma situação de ruptura. O colapso é inevitável. A súbita paragem na libertação de energia, no coração da estrela, gera uma onda de choque que se propaga às regiões exteriores, provocando a explosão da estrela (supernova) (Santos, 1988).

A onda de choque gerada irá permitir variadíssimas reacções nucleares, algumas das quais originam os elementos mais pesados que o ferro, tais como a prata, o estanho, o ouro, o chumbo, o urânio e outros (Santos, 1988). Todo este material é ejectado para o espaço interestelar, completando-se o sonho dos alquimistas. O que resta da estrela, na sequência da explosão da supernova, implode devido à atracção gravitacional, resultando, em geral, numa estrutura com densidade elevadíssima designada por estrela de neutrões (ou pulsar). Para estrelas de massa muito elevada, nada impedirá o colapso gravitacional final, formando-se um buraco negro. Como resultado da elevadíssima gravidade, nada permite travar o processo de colapso, formando-se um objecto que absorve tudo, até mesmo a luz e cujo volume tende para zero e a densidade para valores infinitamente grandes.

O formação do sistema solar terá sido desencadeada pela ‘explosão’ de uma estrela. A onda de choque proveniente de uma supernova, transportando todos os novos elementos recentemente sintetizados, perturba uma nuvem interestelar de gases e poeiras (nebulosa). Esta perturbação conduz ao colapso gravitacional da nebulosa. A contracção da nebulosa é acompanhada por um aumento de temperatura e por uma aceleração da sua rotação, de tal forma que no centro se acumulam os gases que irão dar origem a uma protoestrela que evoluirá para a formação do Sol. A contracção do proto-Sol deixa para trás um disco de material que se agrega, devido a forças gravíticas, a partir do qual se forma o sistema planetário. O surgimento dos planetas depende da estabilização das poeiras em órbitas definidas em torno do Sol. Estas poeiras são constituídas por pequenos grãos de matéria condensada que, quando colidem, fundem-se, promovendo o seu crescimento. A ocorrência continuada destas colisões conduz à formação de objectos maiores (planetesimais) e, em

Origem do sistema solar

última análise, dos planetas constituintes do sistema solar. Com a formação do Sol advêm ventos solares que lançam no espaço os restos não agregados da nebulosa (Bradley *et al.*, 1996, pp. 890 – 899).

Toda a matéria que forma o nosso planeta teve origem numa estrela. Os blocos com os quais se constituem as moléculas que sustentam a vida foram formados na fornalha nuclear estelar. É por isso que nos podemos considerar feitos de “pó das estrelas” (Sagan, 1994).

2.11. Novos enigmas da matéria

Os aceleradores de partículas e síntese de novos elementos na Terra

Apesar de não ser possível obter, na Terra, as temperaturas da fornalha estelar, a síntese de novos elementos assumiu-se como um empreendimento científico ao longo do século XX. Para tal, desenvolveram-se aceleradores de partículas. Provocando a colisão entre certos núcleos e outros núcleos (ou partículas) originam-se núcleos mais pesados e, conseqüentemente, novos elementos. O primeiro elemento artificial a ser produzido foi o já referido tecnécio, pelo bombardeamento de núcleos de molibdénio (número atómico 42) com núcleos de deutério (um protão e um neutrão). Em 1939, o novo elemento recebe o nome de *tecnícium*, cuja palavra grega significa “artificial” (Krebbs, 1998, p. 104). Nas décadas seguintes, muitos outros foram sintetizados, alargando a Tabela Periódica para além dos cerca de 90 elementos naturais já conhecidos. De realçar o trabalho do químico Glenn Seaborg (1912-1999) que com a sua equipa na Universidade de Berkeley, Califórnia, liderou, tecnologicamente, a obtenção dos elementos sintéticos até meados da década de 1950. Em 1941, pelo disparo de neutrões de alta energia, a parte de um reactor nuclear, em direcção a átomos de mercúrio (número atómico 80), dois físicos norte-americanos conseguiram “desbastar” uma pequena parte do núcleo de alguns átomos, convertendo-os em ouro (número atómico 79) (Ball, 2002, p. 67). Tinham encontrado a moderna pedra filosofal. Actualmente, vários laboratórios competem na síntese de elementos de número atómico superior a 114.

As novas partículas subatómicas

Os enigmas da matéria não foram ainda, totalmente, desvendados. Pelo contrário, à medida que o nosso conhecimento “penetra” nas estruturas cada vez mais pequenas, novos mistérios se vão revelando. Na década de trinta, do século XX, os protões, os neutrões e os electrões supunham-se partículas elementares que formavam todos os átomos. Além destas, os fotões explicavam as interacções electromagnéticas. Considerando o princípio de conservação da energia, quando um neutrão se converte num protão, com a emissão de um electrão (decaimento beta), a energia do neutrão deveria igualar a energia do protão mais a energia do electrão. No entanto, esta

igualdade não se verificava, o que levou o físico italiano Enrico Fermi (1901-1954) a propor a existência de uma nova partícula, sem carga, de forma a contrabalançar, energeticamente, o processo. Fermi chamou a esta partícula “neutrino”, de neutro por não apresentar carga e ino de pequeno, significando sem massa ou de massa desprezável (Barroso, 1998). O neutrino é uma partícula muito difícil de detectar pois, praticamente, não interage com a matéria. Esta partícula só seria detectada na década de 1950, apesar do Sol a produzir em quantidades astronómicas.

Com a utilização de aceleradores de partículas – dispositivos que permitem comunicar velocidades muito elevadas a partículas carregadas – tornou-se possível estudar melhor a estrutura da matéria. Partículas subatómicas aceleradas são guiadas num trajecto de colisão com outras, o que possibilita o aparecimento de novas partículas. Algumas destas novas partículas são, também, observadas na radiação cósmica, proveniente do espaço. Detectam-se os seus rastos em câmaras de vapor de água (câmaras húmidas).

Uma revolução na física nuclear surgiu finalmente com a proposta feita em 1929 pelo físico norte-americano Murray Gell-Mann (nascido em 1929) em 1964. Repetindo a experiência de Rutherford, mas utilizando electrões bombardeados em direcção a protões e neutrões, descobriu-se que estes últimos são, eles próprios, constituídos por partículas que hoje se julgam elementares – os quarks (Barroso, 1998). Os quarks parecem condenados a uma “prisão perpétua” no interior de protões e neutrões, em conjuntos de três, tendo sido impossível (até hoje!) isolá-los.

A história prossegue e o futuro nos trará, com certeza, novas revelações sobre a matéria...

1964
Gell-Mann
propõe a
existência dos
quarks

3. O Museu das Ciências e os *curricula* dos ensinos básico e secundário

Através do estudo de públicos é possível prever, com algum pormenor, o público visitante de um dado museu, nomeadamente um museu de ciência. Esta tarefa faz-se no sentido de corresponder às expectativas dos visitantes, identificar públicos potenciais e afinar técnicas de atracção destes através do “marketing”. Uma percentagem significativa desse público será composta de jovens, em idade escolar, muitas vezes integrados em visita de estudo.

Considerando que uma função primordial de um museu da ciência é estimular a curiosidade dos jovens, atraindo o seu interesse para o estudo da ciência pela promoção de experiências emocional e intelectualmente envolventes, é imprescindível adequar os conteúdos de forma a facilitar a sua apreensão por estes visitantes. Em consequência, é determinante avaliar o nível de conhecimento científico já possuído, de acordo com o nível etário e o grau de ensino, estabelecendo que módulos expositivos irão ao encontro de assuntos já abordados na escola e quais os módulos que sustentarão assuntos novos para o estudante.

Além de alimentar a curiosidade é também indispensável contribuir para uma melhor compreensão das ideias expostas e evitar, tanto quanto possível, o surgimento e a persistência de concepções erradas.

Com vista a garantir estes objectivos, recorre-se a uma revisão dos programas curriculares dos ensinos básico e secundário, salientando os conteúdos leccionados que apresentem relevância no âmbito do tema da exposição.

3.1. Primeiro e segundo ciclos do ensino básico (até aos 12 anos)

As crianças até à idade de doze anos, na maioria dos casos, não interpretam a luz como uma entidade física, mas confundem-na com os seus efeitos. Muitas vezes identificam a luz com a sua fonte ou com o brilho apresentado pelos objectos iluminados. Por exemplo, a formação de uma sombra é explicada pela ocultação de uma

fonte luminosa, ou mesmo devida a “luz escura”, nada se referindo relativamente à propagação da luz no ar ou a sua difusão pelos objectos. Em alguns casos são capazes de representar a luz mediante linhas rectas, não estabelecendo qualquer relação entre essas linhas e o movimento da luz (Driver, Guesne *et al.*, 1885, pp. 10-32).

Esta concepção alternativa impede qualquer compreensão da reflexão difusa da luz pelos objectos rugosos, ou mesmo da reflexão especular. O mesmo se verifica relativamente à refacção da luz, dado que esta propriedade apenas pode ser entendida como resultado do desvio sofrido pelos raios luminosos.

No que diz respeito à visão é habitual surgirem concepções incorrectas. A criança não distingue, conceptualmente, um objecto luminoso de um objecto iluminado. Apesar de poder referir que o objecto luminoso envia luz para os nossos olhos, o mesmo já não é reconhecido para o objecto iluminado, acreditando a criança que o olho não é apenas um receptor mas também um agente activo. Revelam, muitas vezes, semelhanças com as concepções históricas em que os olhos possuem um “fogo visual” que se apropria das formas e características de um objecto (Driver, Guesne *et al.*, 1885, 10-32).

Primeiro ciclo do ensino básico

A organização curricular do 1.º ciclo do ensino básico prevê a abordagem do tema luz no 3.º ano (Estudo do Meio – Bloco 5 – À descoberta dos materiais e objectos), complementada com a realização de algumas experiências, tais como:

- *“Identificar fontes luminosas.*
- *Observar a passagem da luz através de objectos transparentes (lentes, prismas, água...).*
- *Observar a intersecção da luz pelos objectos opacos – sombras.*
- *Realizar jogos de luz e sombra e sombras chinesas.*
- *Observar e experimentar a reflexão da luz em superfícies polidas (espelhos...)”¹*

Relativamente ao conceito de cor, este praticamente não é abordado, com a excepção de, em alguns casos, ser realizada a dispersão da luz solar, com a utilização de um copo de água. Embora a expressão plástica inclua a mistura de pigmentos, esta

¹ Organização Curricular e Programa do 1.º Ciclo do Ensino Básico

componente não é complementada por qualquer explicação científica do método aditivo.

No que concerne ao conceito de matéria, este apenas se revela ao aluno sob o ponto de vista dos materiais e as suas utilizações e propriedades, não havendo distinção entre mistura e substância ou composto e elemento. São realizadas experiências com a água e o ar, incluindo no 4.º ano a identificação do oxigénio através de combustões.

No 3.º ano os alunos aprendem também alguma astronomia relevante para o tema da exposição (Estudo do Meio – Bloco 3 – À descoberta do ambiente natural), nomeadamente:

- *“Reconhecer o Sol como fonte de luz e calor.*
- *Distinguir estrelas de planetas”.*²

Segundo ciclo do ensino básico

Dos conteúdos da disciplina de Ciências da Natureza, do 5.º e 6.º anos de escolaridade, são relevantes os relacionados com o surgimento da vida, a constituição do ar e importância dos gases atmosféricos e como se alimentam as plantas.

Apesar de não se falar na experiência de Spallanzani, aborda-se a célula como constituinte dos seres vivos (5.º ano) e a reprodução humana e vegetal (6.º ano). A importância do ar para os seres vivos é estudada no 5.º ano. A fotossíntese, nas plantas, é explicada, de forma simples, no 6.º ano, sublinhando-se a função capital deste processo na biosfera.

Com base neste cenário, será limitado o entendimento de alguns conteúdos do museu por parte de uma criança deste nível etário. Porém é possível adequar alguns assuntos a fenómenos que a criança já conhece.

O recurso a um banco de óptica, para exemplificar a propagação rectilínea e as propriedades de reflexão e refacção, é eficaz para combater as concepções alternativas acima indicadas. Apesar de o fenómeno do arco-íris não estar incluído nos conteúdos programáticos, este apresenta-se como um excelente ponto de partida para explicar o conceito de cor às crianças, nomeadamente que a luz branca é uma mistura de cores, podendo também incluir a propagação da luz solar na atmosfera e a sua refacção.

² Organização Curricular e Programa do 1.º Ciclo do Ensino Básico

Serve, então, de analogia à experiência da dispersão da luz e da formação do espectro visível.

A experiência de decomposição da água é capaz de suscitar muita curiosidade, nomeadamente se for conseguida alguma interactividade. Uma vez que a água é um tema amplamente abordado na escola, a sua transformação em dois gases causará alguma estranheza que pode ser aproveitada para entusiasmar a criança.

É importante não esquecer que muitas crianças se apresentam muito mais informadas e até familiarizadas com temas insuspeitos. Justifica-se esta situação pelo conhecimento que é apreendido em programas televisivos, Internet, ou no contacto com os pais e amigos.

3.2. Terceiro ciclo do ensino básico (12 – 15 anos)

Esta etapa na vida de um aluno é muito importante pois a partir dos 12/13 anos verifica-se um salto intelectual. O capacidade de abstracção aumenta, o que lhe permite compreender, com mais facilidade, algumas ideias que, anteriormente, não tinha possibilidade de manipular mentalmente.

Sétimo ano de escolaridade

É neste ano que os alunos têm um primeiro contacto com as ciências Física e Química. Como se trata de um ano de transição, os conteúdos programáticos da disciplina de Ciências Físico-Químicas incluem um tema que, habitualmente, é muito atractivo para os alunos: a Terra no Espaço.

O conceito de luz não é, especificamente, abordado. Menciona-se, apenas, que a luz apresenta velocidade finita, utilizando-se o seu valor no estabelecimento de distâncias astronómicas – ano-luz, e retoma-se o tema das sombras na explicação dos eclipses e fases da Lua.

No que diz respeito à matéria, inserido no tema “Terra em Transformação”, apresenta-se a diferença entre mistura e substância, abordam-se as propriedades físico-químicas das substâncias e, com base nelas, indicam-se processos e técnicas de separação de misturas.

Oitavo ano de escolaridade

Para um aluno deste ano, a visita à exposição será, particularmente, importante, dado que o programa da disciplina de Ciências Físico-Químicas, com o tema geral “Sustentabilidade na Terra”, inclui um capítulo relativo à Luz e Visão:

“Propriedades e aplicações da luz

Pretende-se que os alunos compreendam as propriedades e o comportamento da luz, bem como as suas aplicações. A luz é fundamental quer para nos permitir ver tudo aquilo que nos cerca quer para nos comunicar informação.

- *Pedir aos alunos que identifiquem sinais luminosos e que pesquisem como são produzidos, o tipo de informação que transmitem, quem os controla e a quem se dirigem (por ex. semáforos, farol, anúncios luminosos).*
- *Realizar experiências de modo a estudar a reflexão (usando diferentes tipos de espelhos) e a refração da luz (usando diferentes tipos de lentes e lâmina de faces paralelas).*
- *A pesquisa sobre a constituição do olho humano, as doenças de visão e o modo de as prevenir, assim como a evolução da tecnologia associada a este campo da saúde constitui um assunto importante a ser explorado pelos alunos.*
- *Incentivar os alunos a pesquisar a utilização das fibras ópticas (por ex., em medicina e nas telecomunicações) e proporcionar-lhes a oportunidade de realizar experiências.*
- *Realizar a experiência da dispersão da luz, identificar as cores do espectro e relacionar com o arco-íris. Encorajar os alunos a efectuar investigações usando filtros de diversas cores para interpretar a cor dos objectos com base na absorção e reflexão da radiação incidente.*
- *É importante que os alunos observem ondas e distingam entre transferência de energia por ondas mecânicas (do mar, sonoras, sísmicas) de transferência de energia por ondas electromagnéticas (rádio, luz visível, radiação ultravioleta).*

- *As ondas que fazem a televisão funcionar transportam energia e informação desde a central de transmissão até nossas casas.*
- *Para estudar as características das ondas (comprimento de onda, amplitude, frequência, período e velocidade das ondas) utilizar uma corda ou a tina de ondas.*
- *Usar uma mola para distinguir ondas longitudinais de ondas transversais.*”³

É também neste ano que os alunos têm um primeiro contacto com o tema Reacções Químicas, inicialmente sob um ponto de vista macroscópico, que culmina com a apresentação da teoria corpuscular da matéria e com a noção de substância elementar e composta, numa perspectiva histórica:

- *“Numa primeira abordagem, pretende-se que os alunos compreendam que a matéria tem estrutura, da qual dependem as suas propriedades. Sugere-se a pesquisa de como a estrutura da matéria tem sido entendida ao longo do tempo e a procura de evidências que suportam a teoria corpuscular da matéria. Inferir o pequeníssimo tamanho dos corpúsculos constituintes da matéria e alertar para a impossibilidade dos nossos sentidos permitirem a sua observação. É oportuno referir a diferença entre átomo e molécula.”*⁴

Nono ano de escolaridade

O tema geral da disciplina de Ciências Físico Naturais para este ano é “Viver melhor na Terra”. Os conteúdos relevantes para a exposição, incluídos no programa curricular, são os relativos à noção de elemento químico. A apresentação deste conceito inclui uma introdução aos ciclos estelares e à síntese nuclear nas estrelas. Segue-se a diferenciação entre átomos de elementos diferentes, em termos das suas partículas subatómicas e massa. Estabelece-se a organização dos elementos químicos numa Tabela Periódica segundo uma perspectiva histórica.

³ *Orientações Curriculares. Ciências Físicas e Naturais. 3.º Ciclo do Ensino Básico*

⁴ *Idem*

“Classificação dos materiais

A contribuição da Química para a qualidade de vida é inquestionável, quer na explicação das propriedades dos materiais que nos rodeiam, quer na produção de novos materiais e substâncias.

Propriedades dos materiais e tabela periódica dos elementos

- *Pretende-se realçar a diversidade de materiais existentes na Terra e a necessidade dos químicos encontrarem um modo de os organizar, atendendo às suas propriedades”⁵*

Recorre-se à apresentação da estrutura atómica segundo o modelo de Bohr, porém, não são referidos estados excitados nem transições electrónicas. (Apenas se refere o modelo de nuvem electrónica no estudo da ligação química).

Todos os jovens com mais de 16 anos, ou adultos, que tenham concluído o ensino obrigatório, podem considerar-se um grupo mais ou menos homogéneo no que respeita ao conhecimento de base e a familiaridade com os conteúdos expostos no museu. A partir deste ponto a diferenciação verificada irá depender das escolhas individuais que ocorreram a partir do 9.º ano de escolaridade.

3.3. Ensino secundário

A partir da idade dos dezasseis anos, a capacidade intelectual do jovem é muito similar à de um adulto. Todavia, é habitual estes jovens possuírem concepções relativas nos temas da luz e da matéria que, nalguns casos, se confundem com as encontradas em crianças mais jovens, principalmente quando a estes assuntos não foi dada grande importância, ou na sua análise foi despendido pouco tempo.

Muitas vezes, a percepção de que uma dada ideia preconcebida se encontra incorrecta serve de estímulo, condicionando a atenção do jovem num determinado assunto. Esta pode ser uma função desempenhada pelo museu.

⁵ *Orientações Curriculares. Ciências Físicas e Naturais. 3.º Ciclo.*

Décimo ano de escolaridade – disciplina de Física e Química

A vertente de química da disciplina de Física e Química A inclui alguns conteúdos relevantes para o tema da exposição, principalmente no que diz respeito à espectroscopia e às estrelas.

De acordo com o programa da disciplina, realçam-se os seguintes conteúdos específicos:

“Unidade 1: Das Estrelas ao Átomo

1.1 Arquitectura do Universo

- (...)
- *Agglomerados de estrelas, nebulosas, poeiras interestelares, buracos negros e sistemas solares.*
- *Processo de formação de alguns elementos químicos no Universo – As estrelas como «autênticas fábricas» nucleares.*
- (...)

1.2 Espectros, radiações e energia

- *Emissão de radiação pelas estrelas – espectro de riscas de absorção.*
- *Espectro electromagnético – radiações e energia.*
- *Relação das cores do espectro visível com a energia de radiação.*
- (...)
- *Aplicações tecnológicas da interacção radiação-matéria*

1.3 Átomo de hidrogénio e estrutura atómica

- *Espectro do átomo de hidrogénio.*
- *Quantização de energia*
- (...)

1.4 Tabela Periódica – organização dos elementos químicos

- *Breve história da Tabela Periódica.”⁶*

Na vertente de Física surgem como conteúdos relevantes os seguintes:

“Unidade 1 – Do Sol ao Aquecimento

⁶ Programa de Física e Química A. 10.º Ano do Ensino Secundário

1. *Energia – do Sol para a Terra*

- (...)
- *Emissão e absorção de radiação. Lei de Stefan-Boltzman. Deslocamento de Wien*
- (...)
- *A radiação solar na produção de energia eléctrica – painel fotovoltaico.*
- (...)⁷

Os alunos de cursos tecnológicos, tais como Construção Civil e Edificação, Electrotecnia e Electrónica e Informática, frequentam, no 10.º ano, a disciplina de Física e Química B, cujo programa é diferente. Neste caso, o programa não inclui os itens acima indicados. No entanto, a vertente de química engloba o estudo de tintas e vernizes. Inclui, também, a composição e produção de pigmentos sintéticos, com uma introdução histórica do tema.

Décimo primeiro e décimo segundo anos de escolaridade

Os programas da disciplina de Física e Química, do 11.º ano, e das disciplinas de Química e Física, do 12.º ano, não apresentam conteúdos comuns com aqueles previstos para a exposição do Museu de Ciência.

⁷ Programa de Física e Química A. 10.º Ano

4. Conclusões

A aprendizagem em ambiente de museu ocorre, tipicamente, a uma escala mais larga, que diz respeito a um conhecimento muito geral dos conteúdos expostos e a uma escala mais estreita, constituída por um conjunto de pormenores e pequenos fragmentos de informação. A experiência museológica fornece sempre algum grau de instrução a virtualmente todos os participantes, mas nem sempre é o previsto pelos profissionais que o projectaram (Falk, 2000, p. 173). Independentemente do assunto ou da forma como este é exibido, o que os visitantes aprendem é sempre pessoal e único.

Conseguir a adesão e a afluência do público ao museu não garante os seus objectivos pedagógicos. É preciso “seduzir o visitante com o familiar e quotidiano, com o que já se conhece, incitando-o a explorar mais aprofundadamente” (Hein, 1998, p. 176) os novos assuntos. Além disso, o visitante deve ser desafiado intelectualmente, criando um pequeno desconforto, suficiente para estimular o seu interesse, mas não excessivo que o desmotive. Por outras palavras, o nível de complexidade deve ajustar-se aos contextos pessoais e socioculturais do público-alvo.

O planeamento de um espaço museológico deve respeitar os seus objectivos educacionais, podendo optar-se por um museu de ciência de primeira geração ou um centro de ciência. Sendo mais ambicioso, e existindo um rico acervo de material científico e tecnológico, a opção pode incidir num ponto intermédio, procurando combinar as características de um museu histórico com a interactividade e a proximidade de um centro de ciência.

A equipa de monitores que contacta directamente com os visitantes desempenha um papel fundamental no impacte educacional da instituição. Estes devem posicionar-se estrategicamente, sem impor a sua presença, mas mostrando-se disponíveis para esclarecer qualquer dúvida ou questão (Gil, 1998, p. 36). A postura discreta não implica que estes não possam participar, activamente, nalgumas demonstrações em curso na exposição. A formação destes monitores é também um factor essencial ao sucesso, não apenas nos conteúdos científicos, mas também nos comportamentos a adoptar e na forma de relacionamento com o público.

Todas estas ideias devem ser aplicadas à exposição de pré-figuração do Museu das Ciências da Universidade de Coimbra, a realizar no *Laboratório Chimico*.

O tema – *Segredos da Luz e da Matéria* - da exposição é muito vasto e, obviamente, não será possível apresentar ou reproduzir, no espaço físico da exposição, todas as ideias que se relacionam a luz e a matéria. Porém, é importante providenciar suficientes recursos para permitam aos visitantes realizar uma exploração pessoal. O enquadramento histórico dessas ideias contextualiza todo o conhecimento e serve de base à sua compreensão. A apresentação das implicações práticas de algumas descobertas confere-lhes importância e significado. Estas duas vertentes – perspectiva histórica e aplicações tecnológicas – são, por isso, imprescindíveis em qualquer exposição de carácter científico. Neste trabalho apresentaram-se alguns textos úteis para compreender a exposição. Os vários eventos históricos que contribuíram para o desvendamento dos segredos da luz e da matéria podem ser visualizados num mapa cronológico que se inclui como anexo.

Uma parte importante dos visitantes da exposição será formada por alunos do ensino básico e secundário. No que concerne aos *curricula* dos ensinos básico e secundário, verifica-se que os anos mais adequados para os respectivos alunos visitarem a exposição são o 8.º ano de escolaridade e o 10.º ano (alunos inscritos na disciplina de Física e Química).

No caso do 8.º ano, estes alunos abordam, na disciplina de Ciências Físico-Químicas, em pormenor, os temas luz e visão, tratados em vários módulos da exposição, o que lhes permitirá visualizar determinadas experiências, comentadas nas aulas, aprofundando desta forma o conhecimento nestas áreas.

Para o 10.º ano, os alunos da disciplina de Física e Química (A) estão familiarizados com os conteúdos relativos à espectroscopia e radiação emitida pelo Sol e outras estrelas.

Uma exposição científica com um conteúdo histórico é relevante para qualquer estudante de agrupamentos científicos em virtude de dar a conhecer alguns marcos que sustentam o nosso actual desenvolvimento científico. O papel desempenhado pela experimentação deve ser realçado, de forma inequívoca, em exposições desse tipo de modo a incentivar os jovens a terem na ciência e na vida uma atitude prática. A exposição que foi alvo deste trabalho envolve precisamente esses dois aspectos.

ANEXOS

Mapa cronológico

No mapa que se segue encontram-se dispostos, cronologicamente, os eventos históricos (relatados no capítulo **2. Segredos da luz e da matéria**) que mais contribuíram para o desvendar dos segredos da matéria e da luz.

Matéria	Luz
<p>~ 600 a. C. – Thales de Mileto supõe a água como única substância fundamental</p>	
<p>~ 400 a. C. – Empédocles e a teoria dos quatro elementos. Leucipo e Demócrito defendem a teoria atomista da matéria.</p>	<p>~ 300 a. C. – Euclides e a propagação rectilínea da luz.</p> <p>~140 – Ptolomeu e a refacção da luz.</p>
<p>1054 – Escritos chineses e japoneses relatam o surgimento de uma nova estrela.</p>	<p>~965-1020 – Ibn-al-Hitham e a câmara obscura.</p>
<p>Séculos XII a XV – A ascensão da alquimia.</p>	<p>~ 1220 - Robert Grosseteste e o estudo da luz na Europa.</p> <p>~ 1267 – Roger Bacon advoga uso de lentes na correcção de defeitos de visão.</p>
<p>Século XVII – Teoria do flogisto.</p>	<p>1603 – Vincenzo Casciorolo observa a fosforescência da “pedra de Bolonha”.</p>
	<p>1604 – Johannes Kepler apresenta a primeira explicação da visão.</p> <p>1609 – Galileu Galilei constrói um telescópio para observação astronómica.</p>
	<p>1621 – Willebrord Snell descobre a relação entre os ângulos de incidência e refacção da luz.</p>

<p>1643 – Evangelista Torricelli verifica que o ar tem peso.</p>	<p>1644 – Robert Boyle e os indicadores colorimétricos de ácido-base.</p>
<p>1661 – Robert Boyle e a definição de elemento.</p>	<p>1646 – Athanasius Kircher descobre a fluorescência.</p>
<p>~ 1700 – Stephen Hales inventa um dispositivo colector de gases.</p>	<p>1666 – Isaac Newton e a dispersão da luz branca.</p>
<p>1774 – Joseph Priestley descobre o oxigénio.</p>	<p>1676 – Olaf Römer calcula a velocidade da luz.</p>
<p>1779 – Jan Ingenhousz descobre a fotossíntese.</p>	<p>1678 – Christiaan Huyghens propõe a teoria ondulatória da luz.</p>
<p>1788 – Joseph Proust e as proporções constantes dos elementos.</p>	<p>1704 – Diesbach descobre o azul da Prússia.</p>
<p>1789 – Antoine Lavoisier lança os alicerces da química com a publicação do seu Tratado Elementar.</p>	<p>1786 – David Rittenhouse inventa a rede de difracção.</p>
<p>1800 – John Dalton propõe a teoria atómica da matéria. Alessandro Volta inventa a pilha de Volta e William Nicholson descobre a electrólise da água.</p>	<p>1800 – William Herschel descobre os raios infravermelhos.</p>
<p>1808 – Humphry Davy isola os elementos cálcio e magnésio por electrólise.</p>	<p>1801 – Wilhelm Ritter descobre a radiação ultravioleta. Thomas Young observa a difracção da luz.</p>
<p></p>	<p>1802 – William Wollaston e as riscas do espectro solar.</p>
<p></p>	<p>1812 – Joseph Fraunhofer inventa o espectroscópio.</p>

1815 – William Prout avança a teoria que todos os elementos são feitos de hidrogénio.

~ **1820** – Jacob Berzelius propõe os símbolos químicos dos elementos.

1827 – Robert Brown observa o movimento browniano.

1829 – Wolfgang Döbereiner observa que os elementos podiam ser reunidos em grupos de três.

1859 – Julius Plücker inventa os tubos de raios catódicos.

1860 – A teoria de Amadeu Avogadro é utilizada na determinação dos pesos atómicos

1864 – John Newlands publica uma primeira ordenação dos elementos químicos. Lothar Meyer agrupa os elementos de acordo com a sua valência.

1866 – Maxwell e Boltzmann formulam o modelo cinético-molecular dos gases.

1869 – Dimitri Mendeleiev e a Tabela Periódica dos elementos.

1874 – Lecoq de Boisbaudran descobre o elemento gálio, confirmando as previsões de Mendeleiev.

1822 – John Herschel observa os espectros de riscas em chamas coloridas

1845 – Michael Faraday relaciona a luz com o campo magnético.

1850 – Léon Foucault determina um valor mais preciso para a velocidade da luz.

~**1860** – Bunsen e Kirchhoff revolucionam a espectroscopia.

1862 – James C. Maxwell desenvolve a teoria electromagnética da luz.

1869 – Jansen e Lockyer descobrem o elemento hélio no Sol.

1884 – Johann Balmer obtém uma expressão matemática para o espectro do hidrogénio.

1885-1889 – Heinrich Hertz descobre as ondas de rádio.

1895 – Wilhelm K. Roentgen descobre os raios X.

<p>1897 – J. J. Thomson descobre o electrão</p> <p>1905-1907 – Einstein e Perrin comprovam o atomismo com base no movimento browniano.</p> <p>1911 – Ernest Rutherford descobre o núcleo atómico. Robert Milikan determina a carga do electrão.</p> <p>1913 – Niels Bohr apresenta o seu modelo atómico, distribuindo os electrões por níveis de energia.</p> <p>1930 – Hans Bethe descobre o mecanismo de fusão do hidrogénio.</p> <p>1932 – James Chadwick descobre o neutrão.</p> <p>1939 – É produzido o tecnécio, o primeiro elemento sintetizado pelo homem.</p> <p>1952 – Paul Merrill identifica o espectro do tecnécio num certo tipo de estrelas.</p> <p>1957 – Fred Hoyle (em conjunto com outros cientistas) confirma o carbono como catalisador da síntese nuclear.</p> <p>1959 – É provada a existência de neutrinos, proposta por Enrico Fermi.</p> <p>1964 – Murray Gell-Mann propõe a existência de quarks.</p>	<p>1896 – Henri Bequerel e o casal Curie descobrem a radioactividade. Primeiras radiografias em Portugal.</p> <p>1897 – William Huggins e a espectroscopia estelar.</p> <p>1900 – Max Planck e a teoria dos quanta.</p> <p>1905 – Einstein explica o efeito fotoeléctrico com base nos fotões.</p> <p>1917 – Einstein descreve o processo de emissão estimulada de luz.</p> <p>1960 – Theodore Maiman constrói o primeiro <i>laser</i></p>
---	--

Guião da exposição “Segredos da Luz e da Matéria”

(colaboração de Carlos Fiolhais, Paulo Gama Mota, Pedro Casaleiro e Michel von Pratt)

O futuro Museu das Ciências da Universidade de Coimbra pretende ser um espaço onde a evocação do passado e o contacto com a realidade presente permitam ao visitante aperceber-se dos grandes desenvolvimentos da ciência verificados até aos dias de hoje e da importância desses desenvolvimentos para a sociedade. Para isso aproveitará as ricas colecções de objectos científicos que existem na Universidade de Coimbra.

O Museu de Ciências terá uma prefiguração no *Laboratório Chímico*. Criado pela Reforma Pombalina de 1772, o *Laboratório Chímico* da Universidade de Coimbra foi pioneiro no ensino e na investigação científica em Portugal, uma vez que foi o grande edifício construído para essa reforma, tornando-se assim o primeiro laboratório científico construído em Portugal para esse fim (foi também um dos primeiros no mundo).

Os conteúdos da exposição de prefiguração do Museu de Ciências aproveitam o grande laboratório de Química, do lado direito de entrada, continuando para as duas divisões contíguas. No lado esquerdo da entrada será preservado o anfiteatro onde haverá projecção de filmes, conferências e sessões de demonstração assim como uma sala para exposições temporárias. Procurando numa lógica multidisciplinar ligar a química, com a física, a astronomia, a matemática, a biologia, a medicina e a geologia, a exposição intitular-se-á “*Segredos da matéria e da luz*”.

Nessa exposição procurar-se-á realçar o método experimental, mostrando como ele era cultivado no final do século XVIII, e mostrar como ele foi usado para descobrir os segredos da matéria, nomeadamente o isolamento de elementos que marcou o início da Química. Além disso, mostra-se como os progressos da Física nos séculos XIX e XX permitiram, por meio da luz, identificar os elementos na Terra e no espaço e ilustram-se várias propriedades da luz, que é afinal o nosso principal meio para conhecer o mundo. Finalmente, mostra-se como a luz está hoje, em várias tecnologias, mais presente nas nossas vidas.

Grande Laboratório de Química (Sala 1)

Esta sala (ver planta no final) e o seu conteúdo assinalam a memória do lugar. Aproveitando a imponência do local e o valor histórico que ele representa, ideias que serão transmitidas ao visitante, recria-se neste espaço o ambiente de um laboratório do final do século XVIII e início do século XIX. Pretende-se transportar o visitante para este período, que assistiu a um grande desenvolvimento da experimentação científica (surgida nos séculos XVI e XVII) e à construção de grandes laboratórios para o ensino e a investigação experimental. O edifício é ele próprio o exemplo real dessa empreitada em Portugal.

De forma a realçar a experimentação como base do trabalho científico, apresenta-se um conjunto de experiências históricas, realizadas nos séculos XVIII e XIX, que foram cruciais para a evolução da ciência, em várias áreas. As montagens reproduzem experiências científicas da época, com instrumentos antigos, mas, em geral, recriam-nas com instrumentos e metodologias modernas.

Montagens:

1. Experiência de Priestley da descoberta do oxigénio, realizada em 1774 (decomposição térmica do óxido de mercúrio para a obtenção do oxigénio), que foi fundamental para comprovar que o ar não era um elemento, tal como defendia a teoria clássica.
2. Experiência de decomposição térmica da água por Lavoisier, realizada em 1777, comprovando que a água é uma substância composta pelos elementos oxigénio e hidrogénio.
3. Experiência de Vicente Seabra – professor de Química em Coimbra e primeiro defensor das ideias de Lavoisier em Portugal.
4. Experiência das duas máquinas volantes por Domingos Vandelli no interior e eventualmente no exterior do *Laboratorio Chímico*.
5. Experiência de Spallanzani para demonstrar que a teoria da geração espontânea estava errada, realizada em 1765/1776.

6. Experiências conduzidas por Ingenhousz, em 1779, para compreender que as plantas produzem oxigénio quando à luz do dia e dióxido de carbono à noite, o que quase conduziu à descoberta da fotossíntese.
7. Experiência de Nicholson da electrólise da água, realizada em 1800, que foi a primeira reacção química por acção eléctrica (pilha de Volta).

Luz e Matéria (Sala 2)

O tema “Segredos da matéria e da luz” desenvolve-se nestas salas numa perspectiva não só científica como pedagógica e social, apelando à curiosidade do visitante pela abordagem de conteúdos familiares da vida corrente e que exemplifiquem a omnipresença da ciência.

De facto, a luz é um tema visualmente forte, facilmente relacionável com o quotidiano das pessoas e emocionalmente envolvente. Os vários módulos integram vários aspectos da luz e da forma como esta se relaciona com a matéria.

Apesar de não haver a pretensão de cingir os visitantes a um percurso pré-estabelecido, dado que estes irão explorar de forma independente e pessoal a exposição, esta organiza-se por núcleos à volta de um módulo. Cada núcleo/módulo é constituído por um conjunto de experiências e painéis explicativos. Surgem módulos que tratam assuntos como: a natureza e as propriedades da luz (física), a decomposição da luz por espectroscopia (física), o Sol e as estrelas (astronomia), os instrumentos ópticos (física e matemática), a visão humana e a cor (biologia e medicina), a cor e os pigmentos (química, geologia, engenharia). Todos estes módulos, embora possam ser vistos independentemente, remetem para os seguintes, uma vez que os vários assuntos estão encadeados.

No fundo desta sala será feita uma grande projecção de um espectro de luz decomposta, que será o ícone da exposição.

Núcleos/Módulos Expositivos

O que é a luz?

Os códigos de barras dos elementos

A luz do Sol

Óptica

Cor e visão

A cor e os pigmentos

1. O que é a luz?

Pela experiência de decomposição da luz realizada por Newton, em 1666, e reproduzida de forma moderna na sala, verifica-se que a luz branca se pode decompor num conjunto de radiações coloridas. Este módulo pretende demonstrar que a luz visível é apenas uma pequena parte de um conjunto mais alargado de radiações, algumas invisíveis aos nossos olhos. No conjunto formam o espectro electromagnético, cujas partes se distinguem pela frequência das ondas.

Conteúdos:

- Espectro da luz visível
- Experiência de Herschel sobre a radiação infravermelha, com a utilização de termómetros digitais sensíveis (ao lado da parte visível do espectro há uma radiação visível que aquece).
- Produção de raios X com base no material antigo do Departamento de Física (bobina de Ruhmkorf, elementos de Bunsen e tubo de Crookes); chamar-se-á a atenção para o facto da experiência de Roentgen dos raios X ter sido realizada em Coimbra um escasso mês depois.
- Painel com todo o espectro electromagnético

2. Os códigos de barras dos elementos

Os diferentes elementos, quando sujeitos a excitação, emitem espectros descontínuos. Verifica-se que apenas se observam determinadas riscas, em locais precisos do espectro de emissão, que funcionam como “impressões digitais” dos elementos. Este facto é explicitado com um modelo tridimensional do átomo de hidrogénio, em que os níveis de energia, permitidos ao electrão, representam degraus de um pequeno hemiciclo (modelo de Bohr). O mesmo se verifica para os restantes

elementos. Através do estudo de espectros identificam-se os elementos presentes numa dada amostra de matéria, na Terra ou nas estrelas.

Conteúdos:

- Espectroscópios e tubos de Geissler (precursores dos modernos tubos de néon) contendo gases para visualização dos respectivos espectros
- Pequeno hemicírculo com degraus, representando os níveis de energia do átomo de hidrogénio, segundo Bohr, com a representação do respectivo espectro de emissão.
- Tabela periódica electrónica com os espectros representativos dos elementos químicos.
- Painel com espectros das estrelas (com a respectiva identificação dos elementos químicos presentes) e a história da descoberta do hélio (este gás raro existente na Terra foi em primeiro lugar descoberto no Sol)

3. A luz do Sol

Pretende dar-se a conhecer alguns aspectos relativos ao Sol, nomeadamente com a utilização de recursos cedidos pelo Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra.

Conteúdos:

- Painel com a constituição do Sol e com o espectro aonde se realçam as linhas negras (linhas de Fraunhofer).
- Modelo do Sol (projector)
- Fotoheliógrafo
- Fotografias relativas à actividade solar – manchas solares
- Esfera de Francisco Costa Lobo, um professor da Universidade de Coimbra do início do século XX
- Imagens da actividade solar fornecidas pela sonda SOHO.

4. Óptica geométrica

Estabelecendo que a luz se propaga em linha recta e tem as propriedades de reflexão e refacção, é possível explicar o funcionamento de vários instrumentos ópticos, para além de exemplificar vários aspectos da geometria

Conteúdos:

- Mesa de óptica para a exemplificação da reflexão e refacção da luz em lentes e espelhos.
- Painéis com o funcionamento dos instrumentos ópticos: lupa, microscópio e telescópio newtoniano.
- Exibição de instrumentos antigos (telescópios, microscópios, lupas, espectroscópios)

5. Cor e visão

Este núcleo apresenta o modo como nós vemos o mundo. A partir de um modelo do olho humano, e por comparação com uma máquina fotográfica, explica-se como as imagens são projectadas na retina ocular. A percepção das cores é resultado da excitação de células existentes na retina – os cones – que quando se encontram inexistentes ou danificadas resultam no daltonismo (percepção deficiente das cores), do nome do químico John Dalton. A sensação do branco é produzida por uma excitação equivalente dos três tipos de cones, o que é exemplificado por um disco de Newton (círculo contendo secções verde, azul e vermelha). A utilização de focos de cores verde, azul e vermelha permite exemplificar o método aditivo (radiação).

Conteúdos:

- Modelo tridimensional do olho humano com painel mostrando a comparação com uma máquina fotográfica.
- Testes colorimétricos do daltonismo.
- Disco de Newton e/ou focos coloridos (verde, azul e vermelho).
- Persistência da cor, ponto cego, visão binocular e estereogramas, cinema 3D, etc.

6. A cor e os pigmentos

A cor exerce um fascínio particular em todos nós. Esse fascínio conduziu à procura de substâncias coloridas que permitissem “preencher” o mundo artificial com cores. Neste módulo apresentam-se alguns pigmentos históricos, bem como os minerais ou plantas donde foram e são extraídos. Hoje já se sintetiza a grande maioria dos pigmentos utilizados, existindo uma gama praticamente infinita de cores. Pela mistura de pigmentos percorre-se o sentido contrário do método aditivo, eliminando cores difundidas, o que conduz ao método substractivo (pigmentos) cujas cores primárias são o amarelo, o azul ciânico e a magenta. As substâncias coradas têm aplicações práticas como, por exemplo, indicadores ácido-base na química.

Conteúdos:

- Amostras dos pigmentos históricos e dos minerais e plantas donde são extraídos.
- Exemplificação do método substractivo utilizando filtros coloridos
- Indicadores colorimétricos: fenolftaleína, tornesol, azul de metileno
- Azul dos jeans, malva (Perkins) e pigmentos sintéticos
- Pigmentos e cores estruturais nas penas de aves
- Filme em zoom da asa da borboleta

Luz e Sociedade (Sala 3)

Nesta sala mais pequena, exploram-se algumas das mais recentes aplicações tecnológicas com base na luz. Evidencia-se a importância e o impacto de algumas descobertas científicas relacionadas com a luz no nosso quotidiano. A luz está por todo o lado!

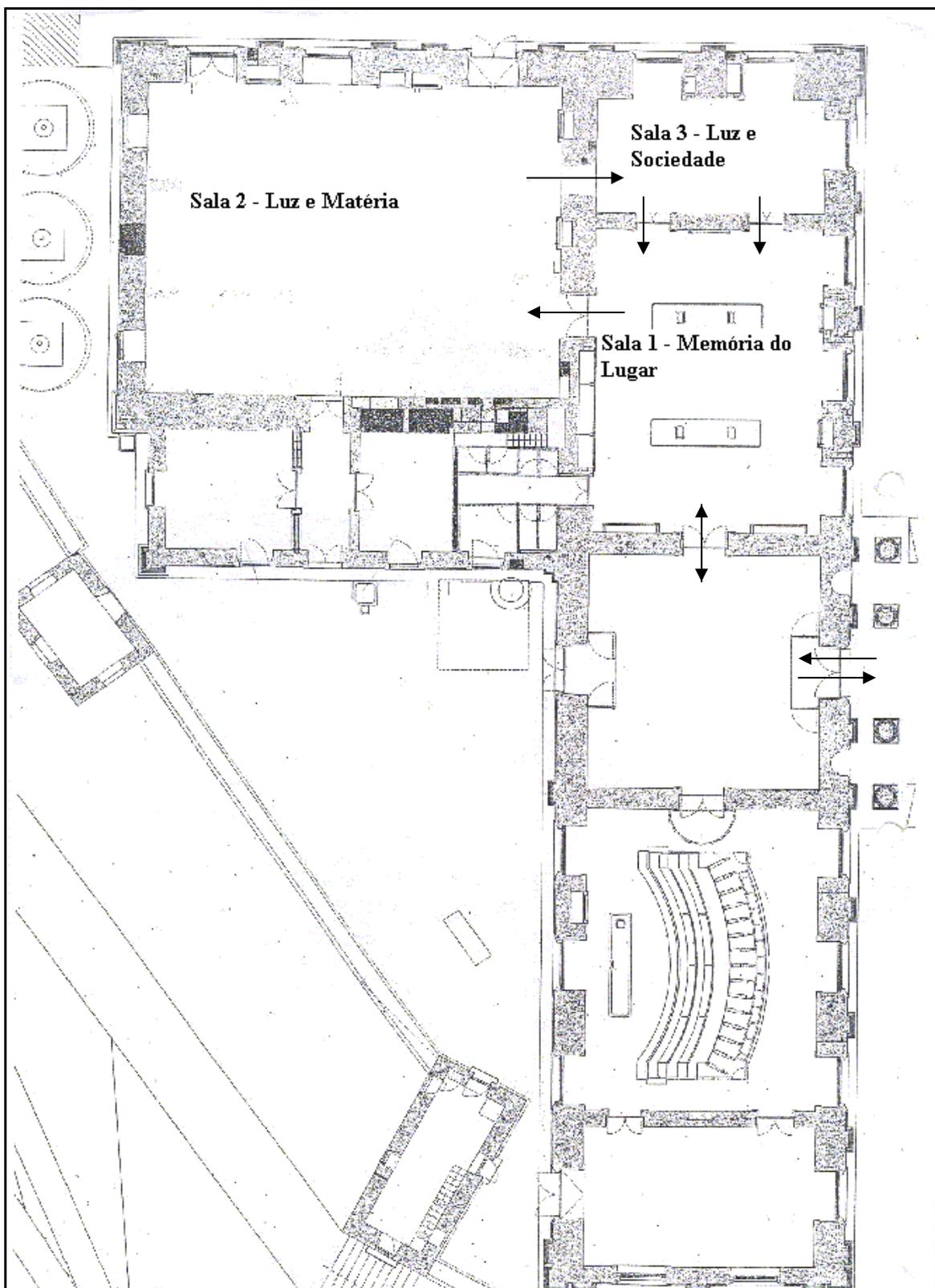
Conteúdos

- Iluminação: lâmpadas de incandescência, fluorescentes e tubos de néon.
(Uma lâmpada incandescente ligada a um reóstato permite verificar que, à medida que se aumenta a intensidade eléctrica no filamento de tungsténio, com o

consequente aumento de temperatura, este emite sucessivamente luz vermelha, laranja amarela e branca).

- Materiais fosforescentes e fluorescentes e suas aplicações (experiências com a clorofila, a fluoresceína e o luminol)
- Raios laser: difracção destes raios e holografia. Fibras ópticas e TV por cabo
- Cristais e a polarização da luz (lentes polaróide)
- Novas técnicas da imagiologia médica.

Planta do museu



Índice de ilustrações

Capa: Imagem da Fachada do Laboratório Chímico
(Paixão, 2004)

- Fig. 1: Esquema da Teoria dos Quatro Elementos 19
(Carpi, 2003c, modificado por José Leonardo)
- Fig. 2: Laboratório de Alquimia da Idade Média 21
(Fraser, 1994, p. 16 – original de Mary Evans Picture Library)
- Fig. 3: Esquema do aparelho pneumático de Vicente Coelho de Seabra 22
(Seabra, V.C., 1985, *Elementos de Chimica*. Reprodução fac similada da edição impressa em Coimbra em 1790. Coimbra: Universidade de Coimbra)
- Fig. 4: Vasos pneumáticos de Priestley 23
(<http://www.chemheritage.org/EducacionalServices/chemach/fore/jp.html>, original de Priestley, Joseph, 1774., *Experiments and Observations on Different Kinds of Air.*)
- Fig. 5: Decomposição térmica da água por Lavoisier 24
(Fraser, 1994, p. 20 – original de Hulton Deutsch Collection)
- Fig. 6: Retrato de Lavoisier e a sua esposa, por J.L. David (1788) 25
(Paixão, 2004 – original no Metropolitan Museum of New York, USA)
- Fig. 7: Pilha de Volta 28
(Museu de Física da Universidade de Coimbra – <http://www1.fis.uc.pt/museu>)
- Fig. 8: Os elementos de Dalton 32
(Carpi, 2003c – original do Science Museum de Londres)
- Fig. 9: A Tabela Periódica de Mendeleiev (1869) 37
(Ball, 2002, p. 103)
- Fig. 10: Câmara Óptica 40
(Museu de Física da Universidade de Coimbra – <http://www1.fis.uc.pt/museu>)
- Fig. 11 - Experiência da dispersão da luz do Sol por Newton 42
(Fraser, 1994, p. 18 – original de Ann Ronan/Image Select)
- Fig. 12 - Herschel e a descoberta da radiação infravermelha 44
(Thaller *et al.*, 2004 – original de NASA/IPAC)
- Fig. 13 - Hertz no seu laboratório 46
(Katz, 2004)

Fig. 14 - Radiografia da mão da esposa de Roentgen (Goodman, 1993 – colecção de Radiology Centennial, Inc copyrighted in 1993)	47
Fig. 15 - Jornal “O Século” de 1 de Março de 1896 (Martins, 2003)	47
Fig. 16: Espectro solar com as linhas de Fraunhofer (Hentschel, 2002, p. 35, original de Joseph Fraunhofer de 1814)	49
Fig. 17: Espectroscópio de Kirchhoff-Bunsen (Museu do Colégio de San Estalísnao de Kostka - http://sek.fundacionloyola.org)	51
Fig. 18: Espectroscópio de Steinheil (Colecção do Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra - http://www.astro.mat.uc.pt/obsv/collection/t1055esp.htm)	52
Fig. 19 - Mistura aditiva (radiações) e mistura subtractiva (pigmentos)	58
Fig. 20: Daltonismo (o mapa colorido visto por pessoas daltónicas) (original de Terrace L. Wagonner da Colorblind Homepage http://colorvisiontesting.com)	59
Fig. 21: Thomson e o seu tubo de raios catódicos (Richards, 2000 – original do Science Museum de Londres)	64
Fig. 22: Rutherford no seu laboratório (original do Science Museum em Londres - http://www.sciencemuseum.org.uk/on-line/electron/section3/1911a.asp)	66
Fig. 23: Modelo atómico de Bohr	68
Fig. 24: Espectrógrafo estelar (Colecção do Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra - http://www.astro.mat.uc.pt/obsv/collection/t1856esp.htm)	71
Fig. 24: Supernova captada pelo telescópio Hubble (http://www.inspi.net/best-of-hubble-telescope/images)	76
Planta do museu: espaço da exposição no <i>Laboratório Chímico</i>	106

Bibliografia

- **ATKINS, P. W.** (1994). *Physical Chemistry*. Fifth Edition. Oxford: Oxford University Press
- **BALL, Philip** (2002). *The ingredients, a guided tour of the elements*. New York: Oxford University Press
- **BALL, W. W. Rouse** (1908). *A Short Account of the History of Mathematics – Christian Huygens*.
http://www.maths.tcd.ie/pub/HistMath/People/Huyghens/RouseBall/RB_Huygens.html
- **BARROSO, Augusto** (1988). De que são feitas as coisas? *Colóquio Ciências*, Fundação Calouste Gulbenquian, n.º 2, pp. 3-18
- **BASSALO, José Maria Filardo.** (1998). Nascimento da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 21, no.2, Junho, 1999, pp. 304-310
- **BIGG, Charlotte** (2005). *Brownian Motion and Microphysical Reality c. 1900*. Max Planck Institute for the History of Science.
http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/projects/NWGII_BiggBMcorr
- **BORN, Max** (1969). *Física Atômica*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian
- **BRADLEY, W. Carroll e DALE, A. Ostie** (1996). The Formation of the Solar System. *An Introduction to Modern Astrophysics*. Addison Wesley Publishing Company
- **BROCK, William H.** (1992). *The Chemical Tree. A history of chemistry*. New York: W. W. Norton Company Lda.
- **CAIN, Jeanette** (2002). *Max Planck – 1858-1947*.
<http://www.light-science.com/maxplanck.html>
- **CAMPBELL, John** (2002). *Rutherford – A Brief Biography*.
<http://www.rutherford.org.nz/biography.htm>
- **CARPI, Anthony** (2003a). *Atomic Theory I - The Early days*. Visionlearning Vol. CHE-1 (2).
http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=50

-
- **CARPI**, Anthony (2003b). *Atomic Theory II – Ions, Isotopes and electron Shells*. Visionlearning Vol. CHE-1 (3),
http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=51
 - **CARPI**, Anthony (2003c). *Matter – Atoms from Democritus to Dalton*. Visionlearning Vol. CHE-1 (1),
http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=49
 - **CARPI**, Anthony (2004). *Matter: States of Matter*. Visionlearning Vol. CHE-3 (1),
http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=120
 - **CASTILHO**, Caio Mário Castro (2003). Quando e Como o Homem Começou a “Ver” os Átomos! *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Vol. 25, no. 4, Dezembro, 2003, pp. 364-373
 - **CLARKE**, N. M. (1999). *Life, Bent Chains, and the Anthropic Principle*. Nuclear Physics Group. University of Birmingham.
<http://www.np.ph.bham.ac.uk/research/anthropic.htm>
 - **DIELS**, Hermann (2004). *Empedocles*. Atlantic Baptist University
<http://www.abu.nb.ca/Courses/GrPhil/Empedocles.htm>
 - **DRIVER**, Rosalind, GUESNE, Edith e TIBERGHIE, Andrée (1985). *Children’s Ideas in Science*. Filadelfia: Open University Press.
 - **FALK**, John H. e DIERKING, Linn D. (1992). *The Museum Experience*. Washington: Whalesback Books.
 - **FALK**, John H. e DIERKING Linn D. (2000). *Learning from Museums. Visitor Experiences and the Making of Meaning*. Walnut Creek: AltaMira Press
 - **FORMOSINHO**, Sebastião (1999). *O Brotar da Criação - Um olhar dinâmico pela ciência, a filosofia e a teologia*. Lisboa: Universidade Católica Editora.
 - **FORRESTER**, Rochelle (2005). *The History of Chemistry: from flogiston theory to the periodic table*.
<http://homepages.paradise.net.nz/rochelle.f/The-History-of-Chemistry.html>
 - **FRASER**, G., LILLESTOL, E. e SELLEVAG, I. (1994). *À Descoberta do Infinito. Os Mistérios do Universo*. Lisboa: Bertrand Editora.
 - **GIL**, Fernando Bragança (1998). *Museums of Science and Technology. Museums of Science or Science Centers: Two Opposite Realities?*. Ferreira, MAA & Rodrigues, JF, Lisboa: Fundação Oriente

-
- **GOODMAN**, Phillip C. (1993). *A Century of Radiology*. Roentgen and the Discovery of X-rays. Radiology Centennial, Inc.
http://www.xray.hmc.psu.edu/rci/ss1/ss1_2.html
 - **HEIN**, George H. (1998). *Learning in the Museum*. Londres: Routledge
 - **HENTSCHEL**, Klaus (2002). *Mapping the Spectrum. Techniques of visual representation in research and teaching*. New York: Oxford University Press.
 - **HIEFTJE**, Gary M. (2000). Atomic Emission Spectroscopy – It Lasts and Lasts and Lasts. *Journal of Chemical Education*, Vol. 77, No. 5, Maio de 2000, pp. 577-583.
 - **JARREL**, Richard F. (2000). A Brief History of Atomic Emission Spectrochemical Analysis. *Journal of Chemical Education*, Vol. 77, No. 5, Maio de 2000, pp. 573-576
 - **JORDAN**, Robin G. (1998a). *Brief Biography of Max Planck*. Florida Atlantic University.
http://courses.science.fau.edu/~rjordan/bios/planck/Planck_bio.htm
 - **JORDAN**, Robin G. (1998b). *Brief Biography of Thomas Young*. Florida Atlantic University.
http://www.fau.edu/~jordanrg/bios/Young/Young_bio.htm
 - **KATZ**, Eugenii (2004). *Heinrich Rudolf Hertz*. The Hebrew University of Jerusalem
<http://chem.ch.huji.ac.il/~eugeniiik/history/hertz.htm>
 - **KNIERIM**, Thomas (2005). *Leucipus and Democritus*. The Big View.
<http://www.thebigview.com/greeks/democritus.html>
 - **KREBS**, Robert E. (1998). *The history and use of our earth's chemical elements*. Westport: Greenwood Press.
 - **LEGGAT**, Robert (2001). *Camera Obscura*.
<http://www.rleggat.com/photohistory/history/cameraob.htm>
 - **MARTINS**, Décio Ruivo (2003). As Ciências Físicas em Coimbra de 1850 a 1900. *Ciência em Portugal, Personagens e Episódios*. Centro Virtual Camões.
<http://www.instituto-camoes.pt/cvc/ciencia/e48.html>
 - **MESTEL**, Leon (2002). Sir Fred Hoyle, FRS (1915-2001). *Interdisciplinary Science Reviews*, Vol. 27, nº. 1, pp. 5-9
 - **O'CONNOR**, J. J. e **ROBERTSON**, E. F. (1997a). *Christian Huygens*. School of Mathematics and Statistics, University of St. Andrews, Scotland.
<http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathematicians/Huygens.html>

-
- **O'CONNOR**, J. J. e **ROBERTSON**, E. F. (1997b). *James Clerk Maxwell*. School of Mathematics and Statistics, University of St. Andrews, Scotland.
<http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathematicians/Maxwell.html>
 - **O'CONNOR**, J. J. e **ROBERTSON**, E. F. (1999). *John Frederick William Herschel*. School of Mathematics and Statistics, University of St. Andrews, Scotland.
<http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathematicians/Herschel.html>
 - **O'CONNOR**, J. J. e **ROBERTSON**, E. F. (2002a). *Light trough the Ages: Ancient Greece to Maxwell*. School of Mathematics and Statistics, University of St. Andrews, Scotland.
http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Light_1.html
 - **O'CONNOR**, J. J. e **ROBERTSON**, E. F. (2002a). *Light trough the Ages: Relativity and quantum era*. School of Mathematics and Statistics, University of St. Andrews, Scotland.
http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Light_2.html
 - **O'CONNOR**, J. J. e **ROBERTSON**, E. F. (2003). *Niels Henrik David Bohr*. School of Mathematics and Statistics, University of St. Andrews, Scotland.
<http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathematicians/Bohr.html>
 - *Organização Curricular e Programas do 1.º Ciclo do Ensino Básico*. Departamento do Ensino Básico. Editorial do Ministério da Educação.
 - *Orientações Curriculares. Ciências Físicas e Naturais. EB 3.º Ciclo*. Departamento da Educação Básica do Ministério da Educação.
www.iie.min-edu.pt/curriculo/programas
 - **PAIXÃO**, Maria de Fátima (2004). Participação portuguesa na construção da Nova Química no Século XVIII. *Ciência em Portugal, Personagens e Episódios*. Centro Virtual Camões.
<http://www.instituto-camoes.pt/cvc/ciencia/e55.html>
 - **PLEYTEZ**, V. (2003). *Resenha do Livro – Bohr: O Arquiteto do Átomo, por M. C. Abdalla, Odyseus, São Paulo, 2003*. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, nº.2, Junho 2003, pp. 250-255
 - *Programa de Ciências da Natureza, EB 2.º ciclo*. Departamento da Educação Básica do Ministério da Educação. www.iie.min-edu.pt/curriculo/programas
 - *Programa de Física e Química A. 10.º Ano*. Departamento do Ensino Secundário do Ministério da Educação. Porto Editora

-
- **REEVES**, Hubert (1981). *Um pouco mais de azul. A evolução cósmica*. Lisboa: Gradiva, pp. 71-87
 - **RICHARDS**, Peter (2000). *A Brief History of the Electron*.
<http://www.egglescliffe.org.uk/physics/particles/electron/electron.html>
 - **RUSSELL**, Colin (2003). *William Nicholson*.
<http://chem.ch.huji.ac.il/~eugeniik/history/nicholson.html>
 - **SAGAN**, Carl (1994). *Cosmos*. Lisboa: Gradiva
 - **SANTOS**, Filipe Duarte (1988). Formação, Evolução e Colapso de uma Estrela. *Colóquio Ciências*, n.º 1, 1998, pp. 3- 17
 - **SCHEIDER**, Walter (1986). Do the “Double Slit” Experiment the Way it Was Originally Done. *The Physics Teacher*, n.º. 24, pp. 217-219
 - **STELTER**, Eric e SUAREZ, Susana (1992). *Joseph Priestley*.
<http://www.woodrow.org/teachers/chemistry/institutes/1992/Priestley.html>
 - **SZALAJDA**, Mara F. (1999). *Artist’ Pigments 1780-1880: History and Uses*.
<http://www.lilinks.com/mara/history.html>
 - **THALLER**, Michelle *et al.* (2004). *Herschel Discovers Infrared Light*. Cool Cosmos, California Institute of Technology. http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/Classroom_activities/herschel_...
 - **THOMAS**, Nicholas C. (1991). The Early History of Spectroscopy. *Journal of Chemical Education*, Vol. 68, No. 8, Agosto de 1991, pp. 631-634
 - **TOYKUNI**, Tatsushi (1999). *Brief History of Fluorescent Probes*. UCLA (Lecture of Pharmacology)
<http://laxmi.nuc.ucla.edu:8248/M24899/synprob/part1/history.html>
 - **WEISSTEIN**, Eric W. (2004). *Bethe, Hans Albrecht*.
<http://scienceworld.wolfram.com/biography/BetheHans.html>
 - **WITKOWSKI**, N. e ORTOLI, S. (1996). *A banheira de Arquimedes. Pequena Mitologia da Ciência*. Porto: Edições ASA, pp. 82-86