

FÍSICA MODERNA NA FORMAÇÃO PROFISSIONAL CONTEMPORÂNEA EM ENGENHARIA

Marcilei A. Guazzelli da Silveira¹; Roberto Baginski²

Centro Universitário da FEI
Av. Humberto de Alencar Castelo Branco 3972
09850-901, São Bernardo do Campo, SP

¹Email: premsilveira@fei.edu.br

²Email: rsantos@fei.edu.br

Resumo: *A física moderna merece crédito por grande parte das tecnologias inovadoras desenvolvidas no século XX e seu conhecimento é imprescindível para a formação profissional de engenheiros prontos para enfrentar os desafios emergentes de uma economia do conhecimento no século XXI. Para enfrentar estes desafios, argumentamos que a formação profissional contemporânea em engenharia deve contemplar a compreensão dos princípios físicos necessários para as ciências modernas como, por exemplo, a nanociência, e sua aplicação na constituição de novas tecnologias. Neste trabalho, descrevemos um curso de física moderna oferecido a estudantes de engenharia química e engenharia de materiais. Discutimos o papel central desempenhado no curso por um laboratório voltado para o ensino de física moderna e mostramos como uma metodologia de trabalho científico combinada com organizadores prévios pode ser usada para ajudar os estudantes a adquirirem competências relacionadas à pesquisa e desenvolvimento importantes para suas vidas profissionais.*

Palavras-chave: *Física moderna, Engenharia química, Engenharia de materiais, Laboratório, Organizadores prévios.*

1. INTRODUÇÃO

Vivemos em um mundo dominado pela tecnologia. E cada vez mais a inovação tecnológica faz uso da física moderna. No início da década de 1990, LEDERMAN (1993) estimou que mais de 30% do produto nacional bruto dos EUA dependiam de tecnologias que são fruto da física moderna. Pode-se argumentar que esta fração deve ter aumentado desde então.

Não é difícil encontrar exemplos de produtos de engenharia derivados da física moderna. As técnicas de análise não-destrutiva de materiais por raios X, por difração de elétrons, por microscopia eletrônica, de força atômica ou de tunelamento, as técnicas de análise e imageamento por ressonância magnética eletrônica e nuclear, a magnetorresistência gigante e outros avanços em spintrônica, os lasers usados na indústria eletrônica, em telecomunicações e em medicina, os relógios atômicos e o sistema de posicionamento global, os dispositivos semicondutores e toda a gama de aplicações presentes e futuras associadas à nanotecnologia são prova do impacto que as descobertas da física moderna tiveram em nossas vidas.

CASTELLS (2000) argumenta que a disseminação das tecnologias é o fator-chave da mudança do paradigma industrial baseado na disponibilidade de energia barata para o paradigma

pós-industrial baseado na inovação tecnológica e no crescimento exponencial da capacidade de armazenamento, transmissão e processamento de informação. Este novo paradigma de produção capitalista é o que DRUCKER (1970) denominou economia do conhecimento.

Os objetivos de uma economia baseada em conhecimento e inovação são o aumento da produtividade e da renda ao mesmo tempo em que são criados ambientes de trabalho mais satisfatórios. No contexto de transformação econômica, ROMER (1994) sugere que a principal tarefa de política econômica é a criar um ambiente institucional que apóie a mudança tecnológica.

Ao contrário de outros recursos materiais, conhecimento não é uma *commodity* que pode ser empregada apenas quando necessário. Pelo contrário, argumenta JACOB (2003), é preciso entender o conhecimento como uma entidade em constante desenvolvimento que, além de nos trazer novas idéias e novos fatos, também é responsável por alterar, de tempos em tempos, nossa forma de pensar o mundo. A única forma de usufruir do conhecimento em processos produtivos é cultivando-o, estimulando uma atitude investigativa de nossos engenheiros frente ao mundo. É preciso enfatizar a distinção entre conhecimento e informação. Enquanto a informação é inerte e passiva, o conhecimento capacita à ação física ou intelectual. Deste ponto de vista, conhecimento é uma habilidade cognitiva que consiste em articular e integrar informações em uma atividade.

A atitude investigativa dos engenheiros frente ao mundo se revela no aumento de nossa dependência de conhecimento nos processos de produção. Entende-se, então, o aumento das referências a publicações de ciência básica nas patentes concedidas nos países da OECD, como diagnosticado por SMITH (2000). É a capacidade de articular e integrar a informação contida nestes trabalhos científicos que permite que os engenheiros criem tecnologia e inovem.

De acordo com LÉVY (1999), vivemos em um mundo em que, pela primeira vez na história, as competências adquiridas por uma pessoa no início de seu percurso profissional terão sido tornadas obsoletas antes do final de sua carreira. Em nosso mundo, boa parte das pessoas poderá, em um futuro próximo, vir a trabalhar em ocupações que, simplesmente, ainda não existem. Como educar o engenheiro para um futuro tão cheio de incertezas?

Neste trabalho, discutimos inovações metodológicas no ensino de uma disciplina de física moderna destinada a estudantes de engenharia química e de engenharia de materiais.

2. EDUCAÇÃO PARA A ENGENHARIA DO SÉCULO XXI

As transformações sofridas pelo mundo nas últimas décadas obrigaram a revisão dos currículos de educação superior em todas as áreas. No caso da engenharia, a aprovação das diretrizes curriculares nacionais em 2002 marcou a transição da fase de currículos mínimos para uma fase baseada no desenvolvimento de habilidades e competências. Por este motivo, as diretrizes curriculares nacionais para engenharia listam treze grupos de competências e habilidades gerais esperadas dos egressos do curso

Destaca-se, nas diretrizes curriculares, a ênfase dada ao desenvolvimento, em um contexto de engenharia, de funções cognitivas e afetivas superiores na taxonomia de Bloom (BLOOM, 1956) em lugar do simples acúmulo de informação relacionada à engenharia. O *rationale* é que a aprendizagem significativa, no sentido que AUSUBEL (2000) dá ao termo, depende do desenvolvimento de certas habilidades mentais que permitem ao engenheiro transferir conhecimento do domínio original para um novo domínio de aplicação.

Por sua vez, o Instituto Euvaldo Lodi (2006) da Confederação Nacional da Indústria averiguou que uma das habilidades em que os engenheiros atuantes no mercado são mais mal avaliados diz respeito à elaboração e execução de projetos de pesquisa. O resultado pode ser entendido como uma combinação de dois fatores. Por um lado, ainda são poucas as empresas que

se dedicam de modo regular à pesquisa e desenvolvimento tecnológico e à inovação. Por outro lado, uma grande fração dos engenheiros em atividade não tem familiaridade com os temas de física moderna que são necessários, atualmente, para o desenvolvimento de pesquisa tecnológica.

Como salientado por SZAJNBERG e ZAKON (2001), princípios e aplicações de física moderna são ferramentas poderosas, capazes de atuar transversalmente nas várias áreas da engenharia, sobretudo naquelas que se relacionam diretamente com sistemas e tecnologias avançadas. É justamente a capacidade que a física moderna tem de transcender fronteiras que tornou possível a revolução nanotecnológica das últimas décadas.

2.1 A revolução nanotecnológica

Nanociência e nanotecnologia são os saberes necessários para entender a matéria em uma escala ultra-pequena (dezenas ou centenas de nanômetros) e de ser capaz de trabalhá-la para produzir os efeitos desejados. Nestas dimensões minúsculas, diversas propriedades das nanopartículas são radicalmente diferentes das observadas em escala macroscópica. Esta diferença de comportamento se deve a dois fatores: a importância dos fenômenos de superfície ou de interface e a emergência de efeitos quânticos que não se mostram em grande escala.

Como em torno de 50% dos átomos de uma nanopartícula de dimensões lineares de 3 nm estão em sua superfície, entende-se por qual motivo a eficiência de processos que ocorrem em superfícies, como os inúmeros processos catalíticos da engenharia química, pode ser dramaticamente melhorada pela introdução de nanopartículas.

Na engenharia de materiais, a situação é semelhante. Como diversas propriedades mecânicas, elétricas, magnéticas e ópticas dos materiais dependem da escala, abre-se a possibilidade de criar materiais com propriedades inteiramente novas. A descoberta dos fulerenos por KROTO et al. (1985) e dos nanotubos de carbono por IJIMA (1991) é um exemplo evidente desta possibilidade.

Nanotubos de carbono apresentam propriedades físicas e químicas novas. Eles são muito duros quando submetidos a compressão mas, ao mesmo tempo, muito flexíveis em torno de seu eixo. Nanotubos podem ser bons condutores de eletricidade; o caráter metálico ou semicondutor do material depende apenas de um parâmetro geométrico controlável durante seu crescimento, a quiralidade ou direção de enrolamento do nanotubo (SAITO et al., 1998) ou da aplicação de um campo magnético apropriado, como mostrado por MINOT et al. (2004), ZARIC et al. (2004) e COSKUN et al. (2004) em um efeito quântico no qual a energia de *gap* de um nanotubo semicondutor diminui à medida que a fase da função de onda dos elétrons aumenta 2π cada vez que um *quantum* adicional de fluxo magnético é envolto pelo nanotubo.

Nanotubos de carbono também podem ser usados para emissão de elétrons (*field-emission*) como demonstrado por DE HEER et al. (1995). No processo de *field-emission*, um campo elétrico intenso estimula os elétrons do material a tunelarem por uma barreira de energia potencial, um efeito típico da física quântica.

Além disso, FAGAN et al. (2007) mostraram que importantes propriedades ópticas dos nanotubos, como absorção de luz, fluorescência no infravermelho próximo e espalhamento Raman, são controladas pelo tamanho dos nanotubos. E tudo isso vem do fato de que os elétrons estão confinados em dimensões tão pequenas que os efeitos quânticos são dominantes.

Ainda que FEYNMAN (1959) seja creditado como o idealizador conceitual da nanotecnologia, pode-se argumentar que a invenção e disseminação de técnicas analíticas derivadas da física moderna como a microscopia de tunelamento (BINNIG; ROHRER, 1982) ou a microscopia de força atômica (BINNIG et al., 1986) é que permitiram o estudo de fenômenos em escala atômica.

Foi apenas uma questão de tempo para que EIGLER e SCHWEIZER (1990) percebessem o potencial do microscópio de força atômica (AFM) para posicionar átomos em uma superfície com grande precisão, abrindo o caminho para que a manipulação controlada da matéria em escala atômica se tornasse uma atividade mais rotineira.

Os exemplos apresentados devem ser suficientes para mostrar que habilitar os engenheiros a entender e a, principalmente, participar da revolução nanotecnológica deve ser um dos objetivos principais de um curso de engenharia química ou de materiais neste início de século XXI.

3. PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES DE FÍSICA MODERNA

A disciplina Princípios e Aplicação de Física Moderna (PAFM) é oferecida para o quarto semestre dos cursos de engenharia química e de engenharia de materiais do Centro Universitário da FEI, em São Bernardo do Campo, no ABC paulista, parte da região metropolitana de São Paulo. No ABC, o setor químico/petroquímico contribui com quase 40% da arrecadação do ICMS na região, superando até mesmo o setor metal/mecânico (SANTO ANDRÉ, 2001).

Até 2004, a FEI oferecia uma única disciplina de física moderna para os alunos de todas as modalidades de engenharia (civil, elétrica, materiais, mecânica, produção química e têxtil). Porém, à medida que o conhecimento de física moderna se tornava cada vez mais necessário ao exercício profissional do engenheiro, tornou-se evidente que era preciso criar disciplinas de física moderna orientadas às especificidades de cada área. Por este motivo, na reformulação curricular havida em 2003, optou-se por oferecer três disciplinas distintas de física moderna: Princípios e Aplicações de Física Moderna para as engenharias química e de materiais, Princípios de Física Moderna para as engenharias civil, mecânica, produção e têxtil e, finalmente, Física Moderna para Engenharia destinada aos alunos de engenharia elétrica.

A carga horária semanal de PAFM é dividida entre uma aula expositiva e uma aula de laboratório, ambas de 100 minutos de duração. Nas aulas expositivas, são abordados os temas mais relevantes de Física Moderna que estejam no contexto de aplicações voltadas, principalmente, para as áreas de engenharia química e de materiais. As aulas expositivas são ministradas com o auxílio de equipamentos multimídia e a disciplina é administrada com o auxílio do ambiente virtual de aprendizagem Moodle.

As aulas de laboratório são realizadas no Laboratório de Física Moderna do Centro Universitário da FEI cuja implementação foi descrita por SILVEIRA et al. (2005). O objetivo do Laboratório de Física Moderna é familiarizar os estudantes de engenharia com fenômenos típicos da física moderna e com algumas das diversas técnicas de análise que são necessárias para a inovação, para o desenvolvimento de novas tecnologias e para o controle do processo de produção nas engenharias químicas e de materiais. É importante notar que, no laboratório, cada turma é dividida em seis grupos de três estudantes. Em cada aula, cada um dos grupos é responsável pela realização de um experimento diferente, em sistema de rodízio.

3.1. Atividades online como organizadores prévios

Uma das principais inovações metodológicas de PAFM é o uso feito das tecnologias de informação e de comunicação (TIC). Além das tarefas usuais de disponibilização de conteúdo para os alunos na forma de notas de aula, simulações e indicações de leituras e atividades, o ambiente Moodle foi usado com dois propósitos. Primeiramente, ferramentas assíncronas de comunicação como o Fórum, foram usadas para aumentar a transparência do fluxo de informações na disciplina e todos os participantes têm a possibilidade de serem percebidos como

reais também no ambiente virtual. Como a convivência em uma comunidade online exige maior reflexão por conta da falta de informação não-verbal em um ambiente de comunicação centrado em texto, esta experiência permite que os estudantes desenvolvam suas habilidades sociais e de comunicação tão necessárias ao bom desempenho de suas atividades profissionais em um mundo em que o trabalho colaborativo em rede é cada vez importante.

O segundo propósito atingido com o uso do ambiente Moodle é modelar uma estratégia de estudos para os alunos que levasse em conta as descobertas de AUSUBEL (2000) no que diz respeito à forma como se dá a aprendizagem significativa por instrução direta. A aprendizagem significativa depende da construção de significados para os novos conhecimentos adquiridos. Para aprender significativamente, o estudante deve relacionar ativamente os novos conhecimentos adquiridos àqueles presentes e já organizados em sua estrutura cognitiva.

Deste modo, ocorre uma incorporação não-arbitrária, substantiva e não-literal do conhecimento novo na estrutura cognitiva prévia (AUSUBEL, 2000). Somente deste modo, o estudante tem condições de reter o conhecimento adquirido e de transferi-lo para uso em situações que fogem ao contexto original em que foi adquirido. É esta função de transferência de conhecimento entre domínios distintos que permite que o engenheiro inove ou crie tecnologia.

Contudo, se a estrutura cognitiva do estudante não estiver, a aprendizagem será feita de forma literal e não-significativa, baseada em pura memorização. Se um conceito é aprendido de modo não-significativo, não poderá ser facilmente transferido de um contexto para outro.

Uma estrutura cognitiva inadequada pode ser remediada temporariamente com o uso de organizadores prévios. Um organizador prévio é um material que deve ser apresentado ao estudante antes do material propriamente dito e que deve conter os conceitos necessários para permitir a aprendizagem do conteúdo do curso em um nível mais geral e, portanto, mais inclusivo que o próprio material a ser aprendido. Deste modo, o aluno encontra em sua estrutura cognitiva alguns conceitos familiares nos quais pode ancorar o material a ser aprendido.

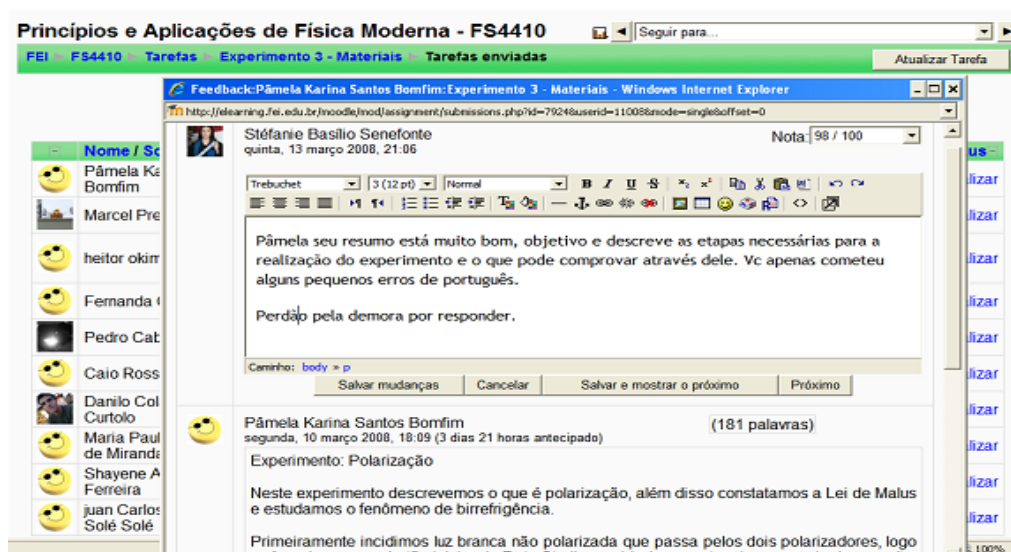


Figura 1. Atividade usada como organizador prévio e os comentários feitos pela monitora.

A abordagem de organizadores prévios adotada em PAFM consiste em solicitar que os alunos leiam os capítulos do manual de laboratório relevantes para o experimento que devem realizar e elaborem um roteiro da atividade experimental composto por objetivos e procedimento

experimental. A atividade é enviada pelo estudante por meio do ambiente Moodle e recebe comentários, como pode ser observado na Figura 1. Os comentários dão ao aluno a oportunidade de rever o roteiro proposto inicialmente, sanando possíveis equívocos conceituais ou de procedimento. Esta etapa inicial visa o preparo do aluno para a realização do experimento, fazendo com que seu aproveitamento do laboratório seja maximizado.

Esta atividade serve como um organizador prévio pois prepara a estrutura cognitiva do estudante para fazer conexões entre os conceitos já adquiridos e aqueles que devem ser adquiridos no experimento e, nas aulas expositivas, durante a instrução recebida.

Um ponto a destacar da estratégia de organizadores prévios adotada é que, além de lidar com um material textual escrito em nível de abstração superior ao necessário e, portanto, estimulando as funções cognitivas superiores da taxonomia proposta por BLOOM (1956), a atividade de produzir um procedimento experimental baseado nos objetivos escolhidos leva naturalmente os alunos a realizarem um esforço intencional para a compreensão do material. Este aspecto ativo dos organizadores prévios é ainda pouco explorado na educação superior, na qual os organizadores prévios mais usados são, segundo MARZANO et al. (2001), textos expositórios ou narrativos, material gráfico ou pictórico ou organizadores baseados em leitura rápida, folheada (*skimming*) do material.

3.2 Laboratório como investigação

O Laboratório de Física Moderna, utilizado em PAFM, é composto por um conjunto de experimentos nas áreas de óptica física e mecânica quântica que vão desde experimentos em difração, interferência e polarização de luz até análise espectroscópica de materiais, efeito fotoelétrico, radiação de corpo negro e difração de raios-X. No laboratório, são utilizados equipamentos bastante sofisticados fazendo com que o Laboratório de Física Moderna do Centro Universitário da FEI seja comparável aos melhores laboratórios didáticos do Brasil. Em quase todos os experimentos, a coleta e análise de dados são realizadas por meio de processamento por computador, refletindo a intensa aplicação de tecnologias de informação. Este laboratório permite que o estudante realize experimentos bastante importantes de física moderna que mostram aplicações tecnológicas das idéias físicas que estão envolvidas na maior parte das inovações que surgiram nas últimas décadas e das novas tecnologias que surgem a cada dia.

As atividades realizadas no laboratório proporcionam aos alunos uma melhor compreensão e reflexão sobre os fenômenos físicos estudados. Pela primeira vez em seu curso, os alunos não recebem um roteiro detalhado de como executar cada um dos experimentos. Em PAFM, as atividades experimentais são guiadas por um manual de laboratório. Porém, ao contrário dos manuais usuais, o manual de PAFM é escrito de modo a exigir a participação ativa do aluno no desenrolar dos experimentos. Assim, o manual elabora os aspectos conceituais e teóricos da física relacionada aos experimentos de modo mais geral do que o necessário para a compreensão direta do experimento e não específica, em momento algum, um procedimento detalhado a ser seguido, isto é, os alunos não podem se limitar a seguir uma receita para obtenção de resultados experimentais, como é muito comum em cursos experimentais.

Como cada grupo realiza um experimento diferente, o trabalho de laboratório é dinâmico e requer uma postura mais investigativa do aluno, ativando o desenvolvimento do seu espírito crítico e científico. Para que os experimentos possam ser realizados, o aluno precisa se preparar para saber o que observar, como fazê-lo e como proceder para reduzir e analisar os dados experimentais. Esta atividade é usada como um organizador prévio, como descrito anteriormente.

Em uma etapa seguinte, cada grupo de três alunos realiza um dos seis. Ao término de cada experimento, o grupo deve entregar uma síntese contendo, principalmente, o objetivo, detalhes sobre o procedimento experimental e a análise dos dados coletados. Esta síntese é avaliada e devolvida ao aluno com as devidas correções e sugestões.

Durante o semestre, cada grupo deve escolher um experimento no qual se aprofundar pois deve apresentar, no final do período, um artigo sobre o experimento escolhido. O artigo deve seguir o padrão de um trabalho científico seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Neste caso, também pela primeira vez no curso de engenharia, o aluno compromete-se não apenas em descrever de forma clara a atividade realizada, mas também deve preocupar-se com o formato da apresentação do relatório. Como o aluno já teve um primeiro contato com todas as seis atividades do laboratório, para a realização do trabalho final, cada grupo de alunos deve estar capacitado a apresentar uma proposta de experimento, possivelmente contendo práticas inovadoras. Desta forma, com relativa liberdade, cada grupo é incentivado a colocar em prática seu interesse investigativo e sua iniciativa de concretização do experimento com a finalidade de atingir o objetivo a que se propôs.

Um dos resultados mais representativos do trabalho de aprendizado realizado nesta disciplina, foi notar a procura dos alunos que cursam a disciplina, para a execução das atividades práticas no laboratório, inclusive fora do horário de suas aulas. Esta procura, na maior parte das vezes, visava a repetição de um determinado experimento, ou em busca de melhores resultados, ou para testarem alguma idéia prática inovadora. Esta atitude reflete um dos objetivos do curso, que é o de incentivar o espírito crítico e investigativo do aluno.

Vale a pena ressaltar que, embora os cursos de engenharia civil, elétrica, mecânica, produção e têxtil não tenham laboratório de física moderna em sua grade curricular, alunos desses cursos procuram o laboratório, cada vez mais freqüentemente, para conhecerem e utilizarem os equipamentos com o intuito de compreenderem melhor um determinado conceito físico. Alguns alunos procuram orientações para a utilização dos equipamentos do laboratório em trabalhos de pesquisa e trabalhos de conclusão de curso. A utilização dos recursos do laboratório foi intensificada visto a grande abrangência de aplicações que cada experimento pode proporcionar. Um exemplo digno de nota é o de um recente trabalho de conclusão de curso de engenharia mecânica, envolvendo o desenvolvimento de um espectrofotômetro portátil, capaz de diferenciar açós. Uma outra atividade é a utilização dos equipamentos do laboratório em projetos de iniciação científica. Neste caso, podemos citar, como exemplo, o estudo do fenômeno conhecido como apagador quântico, realizado por um aluno de engenharia elétrica. Para o desenvolvimento deste projeto o aluno utiliza tanto os equipamentos destinados aos experimentos de difração e interferência e o de polarização da luz, como também executa a coleta e análise de dados por meio de processamento por computador.

3.3 Experimentos

Níveis de energia e os espectros atômicos

A espectroscopia é uma técnica baseada no comportamento quântico da matéria capaz de identificar os elementos químicos presentes em um gás pela análise do conjunto de comprimentos de onda presentes na luz emitida pela substância. Para separar a luz segundo os seus comprimentos de onda, pode ser utilizado um prisma ou algum outro meio dispersor como uma rede de difração. Estes dispositivos separam o raio luminoso inicial em várias linhas espectrais com um comprimento de onda definido. Podemos associar a cada cor um único comprimento de onda λ , correspondendo a uma única freqüência f ($f=c/\lambda$, sendo c a velocidade da luz no vácuo).

Cada linha espectral está relacionada à transição entre os níveis de energia que definem os estados quânticos em que o átomo pode ser encontrado. A luz é emitida quando um elétron excitado decai de um estado de maior energia E_i para outro estado de menor energia E_f . A análise das raia ou linhas espectrais emitidas por um determinado elemento permite determinar o conjunto de níveis de energia do átomo pois a energia hf do fóton emitido na transição é igual à diferença de energia $E_i - E_f$ entre os níveis envolvidos. Aqui, $h=6,626 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$ é a constante de quantização da mecânica quântica, conhecida como constante de Planck e introduzida em 1900 em seus estudos de radiação térmica ou radiação de corpo negro.

No Laboratório de Física Moderna, é utilizado um espectrômetro com o qual é possível analisar as radiações eletromagnéticas correspondentes a cada comprimento de onda emitido por um determinado elemento. São utilizadas lâmpadas de gás de mercúrio (Hg), hidrogênio (H), Hélio (He) e Neônio (Ne). O espectro de cada elemento é obtido com medidas de intensidade relativa de luz em função do ângulo de observação (vide Figura 2). Os comprimentos de onda das linhas espectrais podem ser determinados a partir da medida do ângulo do máximo central de cada linha espectral. Para que seja possível separar os vários comprimentos de onda (cores) e suas respectivas frequências, é utilizada uma rede de difração. Desta maneira podemos calcular as energias correspondentes a cada linha espectral, comparar com os valores conhecidos da literatura e esquematizar o esquema de níveis de energia para cada elemento analisado.

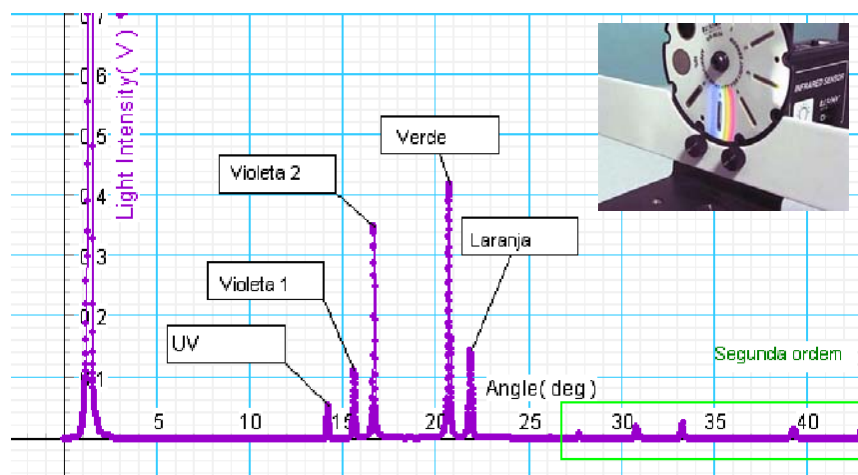


Figura 2. Espectro de emissão do mercúrio. No destaque, as raia espectrais sobre o detector.

A aplicação da espectroscopia atômica foi intensificada principalmente na ocasião da Segunda Guerra Mundial, quando foram desenvolvidos métodos capazes de produzir borracha sintética a partir de polímeros derivados de petróleo. Na atualidade, a técnica de espectroscopia é vastamente utilizada em todas as áreas da ciência, sobretudo objetivando a identificação dos elementos químicos que compõem uma determinada amostra de material, que pode se encontrar em qualquer estado físico. Esta flexibilidade confere às técnicas espectroscópicas uma grande aplicabilidade nas áreas de engenharia química e de materiais. É por meio desta técnica que também se faz o estudo da composição de nebulosas e estrelas na área de astrofísica auxiliando nos estudos da formação do Universo.

Fótons e o efeito fotoelétrico

Em 1905, Einstein propôs que a luz deveria se comportar como se fosse constituída por inúmeros pacotes, denominados *quanta* de luz, cada qual de energia hf . Atualmente, os *quanta* de luz são mais conhecidos por fótons. A idéia de Einstein permite entender como um elétron é liberado de um material iluminado por luz de características apropriadas, o chamado efeito fotoelétrico.. No modelo de Einstein, um elétron do material iluminado pode absorver a energia hf de um fóton e pode ser liberado com energia cinética máxima $K_{\text{máx}} = hf - \phi$, após sobrepujar uma barreira de energia potencial ϕ , correspondente à energia de ligação do elétron ao material. Em um material metálico, a energia ϕ é denominada função trabalho.

A emissão fotoelétrica acontece mesmo com intensidades luminosas muito baixas mas apenas se a luz tiver frequência f superior a uma certa frequência de corte f_c característica do material. Se a frequência f da luz for inferior a f_c , não haverá emissão de elétrons mesmo para intensidades luminosas bastante altas. Estas características tornam o efeito fotoelétrico incompatível com uma descrição clássica ondulatória da luz, sendo necessária uma interpretação quântica da luz para sua compreensão. Atualmente, o efeito fotoelétrico é a chave para o funcionamento de um grande número de dispositivos optoeletrônicos que vão desde simples sensores de luz em postes de iluminação até sofisticadas câmeras digitais.

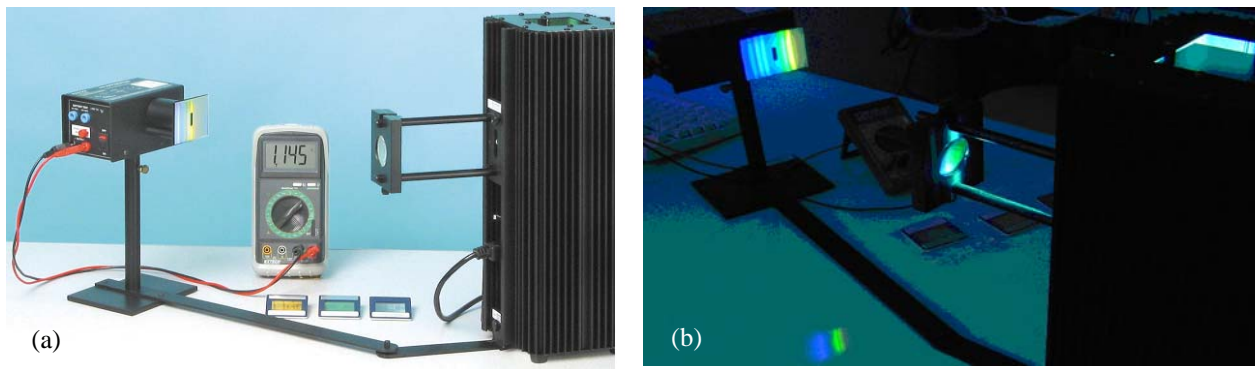


Figura 3. (a) Equipamento de efeito fotoelétrico. (b) Linhas espectrais da lâmpada de mercúrio.

No experimento, os estudantes determinam a diferença de potencial elétrico V que deve ser aplicada para frear até mesmo os elétrons mais energéticos emitidos pela superfície iluminada por luz de frequência f . A luz utilizada no laboratório provém de uma lâmpada de mercúrio e é separada em suas diversas cores por uma rede de difração. Este procedimento possibilita que sejam feitas medidas do potencial de freamento de elétrons liberados com energias correspondentes às frequências de cada raia espectral do mercúrio, como pode ser observado na Figura 3. Isto é suficiente para determinar a razão h/e entre a constante de Planck h e a carga eletrônica e bem como a função trabalho ϕ do material.

Raios X

Raios X podem ser produzidos quando elétrons são acelerados em direção a um alvo metálico em um tubo de raios X. O choque do feixe de elétrons com o alvo produz dois tipos de raios X. Um deles constitui o espectro contínuo, ou *bremsstrahlung*, e resulta da desaceleração contínua do elétron durante a penetração no alvo. O outro tipo é o raio X característico do material do alvo. Cada espectro de raios X é a superposição de um espectro contínuo e de uma série de linhas espectrais características do alvo. Quando o elétron acelerado incide no material

do alvo, ele pode expulsar um elétron orbital. A órbita da qual o elétron será expulso, depende da energia do elétron incidente e dos níveis de energia do átomo do alvo. Quando um fóton com energia suficiente, gerado pela frenagem de elétrons, atinge um elétron da camada K do material do alvo (camada mais interna), este elétron sairá desta camada e, quando isto ocorre, elétrons de outras camadas tendem a ocupar o nível de energia deixado por este elétron. Ao saltar de uma camada mais externa para uma mais interna, o elétron emite um fóton com frequência dada por $f = (E_i - E_f)/h$ onde E_i é a energia de ligação da camada onde o elétron estava inicialmente e E_f é a energia de ligação da camada para a qual o elétron saltou. As transições que ocorrem entre as camadas L e K geram uma linha discreta no espectro que é chamada de K_α , e as transições entre as camadas M e K geram uma outra linha chamada K_β , como pode ser observado na Figura 4.

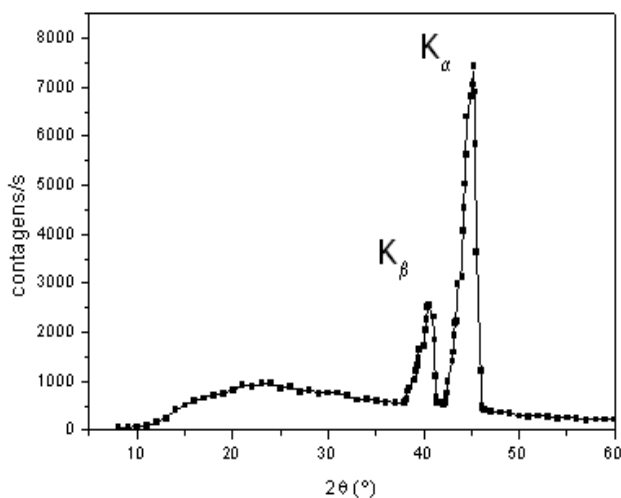


Figura 4. Espectro de raios-X em função do ângulo 2θ obtido com uma tensão de 30kV.

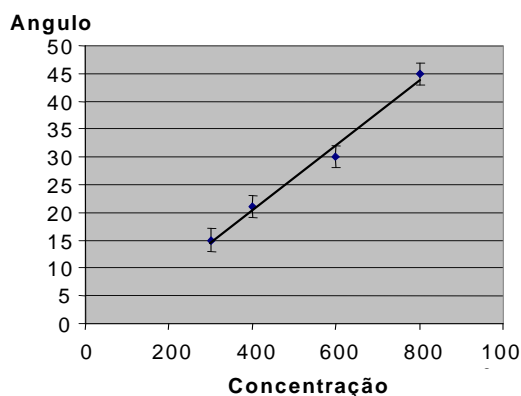
Como o comprimento de onda típico dos raios X é quase sempre menor do que os diâmetros atômicos, técnicas de difração de raios X são usadas para analisar a estrutura da matéria. Uma simulação realizada no Laboratório de Física Moderna possibilita que os alunos determinem o material emissor de raios X analisando um espectro de emissão semelhante ao apresentado na Figura 4, assim como permite identificar o cristal utilizado para difratar os raios X. Uma outra abordagem realizada nesta simulação de raios-X é o estudo do fenômeno de absorvância da radiação, sendo este muito utilizado em equipamentos de análise química de materiais. Aplicando um potencial para acelerar um elétron e obtendo o valor do comprimento de onda mínimo, também é possível determinar o valor da constante de Planck experimentalmente e comprovar a validade da expressão quântica da energia do fóton. O uso dos raios X possibilitou um grande impulso nas técnicas de diagnóstico, por conta de seu poder de penetrar com relativa facilidade nos mais diversos materiais. Na indústria, principalmente relacionada à engenharia, podemos citar a irradiação de alimentos por raios X para prolongar o período de conservação, a análise de estruturas na construção civil, a determinação de trincas internas ao concreto. Nas ciências dos materiais, auxilia a entender como os átomos e moléculas estão ligados, o que tem ajudado muito o desenvolvimento de novos materiais.

Polarização

A polarização da luz é um fenômeno ondulatório associado à transversalidade das ondas eletromagnéticas, isto é, com o fato de que os campos elétrico e magnético de uma onda eletromagnética oscilam em direções perpendiculares à direção de propagação da onda. A direção de oscilação do campo elétrico define a polarização da onda eletromagnética. Neste experimento, cuja montagem é mostrada na Figura 5, os estudantes estudam o efeito de uma seqüência de filtros polarizadores sobre um feixe de luz inicialmente não-polarizada, na qual a direção de oscilação do campo elétrico varia aleatoriamente.



(a)



(b)

Figura 5. (a) Montagem do experimento de polarização. (b) Variação da orientação do eixo de polarização da luz em função da concentração de sacarose.

O resultado, conhecido como lei de Malus, é corrigido para levar em conta as imperfeições de filtros polarizadores reais. Além disso, os estudantes também analisam a atividade óptica de uma solução de sacarose em água. A atividade óptica é uma característica de certos materiais transparentes capazes de girar a direção de polarização de um feixe de luz. Este efeito é de extrema importância na área de engenharia sendo a base de funcionamento de vários equipamentos de análise química de materiais e, especificamente, na medida de concentração utilizada na indústria sucro-alcooleira. Em sistemas ópticos de telecomunicação de longa distância, a capacidade da transmissão de informação é limitada pelo efeito de dispersão de polarização (PMD), sendo portanto um parâmetro de grande importância nos sistemas modernos de comunicações ópticas.

Interferência e difração

Este experimento, realizado no Laboratório de Física Moderna, visa o estudo dos fenômenos ondulatórios de difração e interferência bem como constata sua compatibilidade com a natureza corpuscular da luz, evidenciando a existência da dualidade onda-partícula. O equipamento do laboratório permite estudar vários tipos e tamanhos de fendas simples e duplas, possibilitando determinar a abertura da fenda e também a distância entre duas ou mais fendas. Quando ocorre a difração de luz pela sua passagem através de uma fenda, os ângulos para que ocorram mínimos no padrão de difração estão relacionados com o comprimento de onda incidente e com o tamanho da fenda. Assim, para duas fendas de largura a e separadas de uma distância d , ocorre difração em cada uma delas. Além disso, ocorre interferência na passagem de luz pelas duas fendas como pode ser observado na Figura 6.

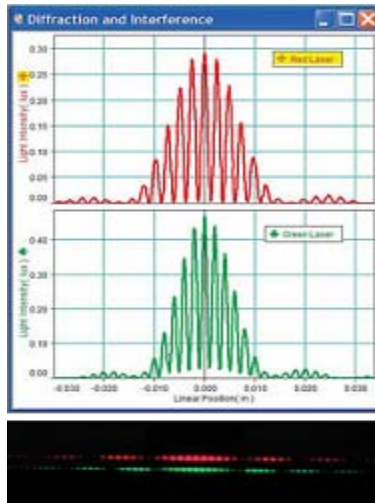


Figura 6. Padrões de difração de luz de dois comprimentos de onda ao incidir sobre duas fendas.

A compreensão dos fenômenos de difração e de interferência é importante para um número incontável de aplicações em todos os ramos da engenharia que vão desde o conhecimento básico do comportamento ondulatório das ondas eletromagnéticas até o conhecimento de técnicas e equipamentos baseados nestes princípios como a difração de raios X, muito utilizada na análise de superfície e defeitos em materiais, do estudo da resistência de materiais pelo padrão da luz difratada, os microscópios eletrônicos de transmissão através dos quais pode-se realizar a difração de elétrons em cada fase, determinando a estrutura cristalina. Com este experimento, também é possível inferir algumas consequências do princípio da incerteza de Heisenberg, central à física quântica, que afirma que o produto da incerteza na medida do momento de uma partícula pela incerteza em sua posição é sempre maior ou igual a $h/4\pi$. No laboratório é possível notar que quanto maior a abertura da fenda pela qual a luz difrata, equivalente à incerteza na posição, menor é a largura do máximo central de difração, associada com a incerteza na determinação do momento dos fótons.

Radiação de corpo negro

Radiação térmica é a radiação emitida por um corpo quando este é aquecido. Todo corpo emite essa radiação para o meio que o cerca, e dele absorve. A matéria em estado condensado emite um espectro contínuo de radiação que depende principalmente de sua temperatura. Em temperaturas usuais a maioria dos corpos é visível pela luz que refletem, mas em temperaturas altas os corpos têm luminosidade própria. Geralmente, o espectro de radiação térmica emitida por um corpo aquecido, depende de sua composição química. Porém, todo corpo aquecido que emite espectros de radiação térmica de caráter universal é chamado de corpo negro, ou seja, corpos cujas superfícies absorvem toda a radiação térmica incidente sobre eles. Corpos negros à mesma temperatura emitem radiação térmica com o mesmo espectro. A distribuição espectral da radiação de corpo negro, mostrada na Figura 7 para três temperaturas distintas, é especificada por uma grandeza chamada radiância espectral, que é a energia da radiação emitida por unidade de tempo em radiação, por unidade de área de uma superfície a temperatura absoluta T . A integral da radiância espectral (emitância espectral) sobre todas as frequências f é a energia total emitida por um corpo negro, por unidade de tempo e por unidade de área a uma temperatura T .

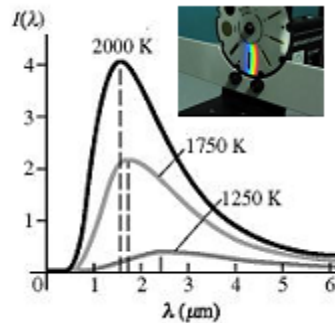


Figura 7. Espectro de corpo negro para três temperaturas diferentes.

Neste experimento, o corpo negro é uma lâmpada de filamento de tungstênio envolta por uma blindagem negra, contendo uma abertura por onde a radiação é emitida. O espectro da lâmpada incandescente pode ser obtido pela varredura da luz espalhada, usando um espectrômetro de prisma, capaz de medir a intensidade relativa da luminosidade em função do ângulo de espalhamento. Utilizando-se um sensor de luz, acoplado a um sensor de rotação, é possível registrar as intensidades luminosas referentes aos comprimentos de onda de 300 nm até 2500 nm. Os comprimentos de onda, correspondentes a cada ângulo de espalhamento, são calculados usando as equações que regem a difração da luz. Construindo-se um gráfico da intensidade luminosa relativa em função do comprimento de onda, é possível obter uma curva característica da luminosidade de um corpo negro. Este experimento também permite que seja feita uma determinação do valor da constante de Planck.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, mostramos os aspectos mais relevantes da aprendizagem de física moderna na engenharia, sobretudo, nas áreas de engenharia química e de materiais. Especificamente, discutimos a importância de atividades experimentais realizadas no laboratório na disciplina de Princípios e Aplicações de Física Moderna. As práticas inovadoras do curso, como a utilização de organizadores prévios, a utilização dos recursos de tecnologia de informação e comunicação na construção do conhecimento e, principalmente, o caráter investigativo do laboratório, peça-chave na aquisição de competências de pesquisa e desenvolvimento por parte dos estudantes de engenharia. Como parte deste processo, os alunos têm a oportunidade de elaborar um trabalho científico, que sintetiza diversos aspectos de sua aprendizagem e serve como forma de avaliar o desenvolvimento de competências e a realização dos objetivos educacionais propostos para o curso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL, D.P. **The Acquisition and Retention of Knowledge**. New York: Kluwer, 2000.

BINNIG, G.; QUATE, C.; GERBER, Ch. Atomic force microscope. **Physical Review Letters** v.56, p.930, 1986.

BINNIG, G.; ROHRER, H. Scanning tunneling microscopy. **Helvetica Physica Acta** v.55, p.726, 1982.

BLOOM, B.S. **Taxonomy of Educational Objectives: the cognitive domain**. New York: David McKay, 1956.

COSKUN, U.C. et al. A. *h/e* magnetic flux modulation of the energy gap in nanotube quantum dots. **Science** v.304, p.1132, 2004.

DE HEER, W.A.; CHÂTELAIN, A.; UGARTE, D. A carbon nanotube field-emission electron source. **Science** v.270, p.1179, 1995.

DRUCKER, P.F. **Uma Era de Descontinuidade: Orientações para uma Sociedade em Mudança**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1970.

EIGLER, D.M; SCHWEIZER, E.K. Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope. **Nature** v.344, p.524, 1990.

FAGAN, J.A. et al. Length-dependent optical effects in single-wall carbon nanotubes. **Journal of the American Chemical Society** v.29,n.34, p.10607, 2007.

FEYNMAN, R.P. There's plenty of room at the bottom. Pasadena, CA, 1959. Disponível em: <<http://www.its.caltech.edu/~feynman/plenty.html>>. Acesso em: 23 mai. 2008.

IJIMA, S. Helical microtubes of graphitic carbon. **Nature** v.354, p.56, 1991.

INSTITUTO Euvaldo Lodi. **Inova Engenharia: propostas para a modernização da educação em engenharia no Brasil**. Brasília: IEL..NC/SENAI/DN, 2006. Disponível em: <<http://implantacao.cni.org.br/portal/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A9015D01461113401146A2EEB8A7138>>. Acesso em: 15 mai. 2008.

JACOB, M. Viewpoint: physics in a knowledge-based economy. **CERN Courier** v.43, n.5, jun. 2003. Disponível em:<<http://cerncourier.com/cws/article/cern/28870>>. Acesso em: 20 mai. 2008.

KROTO, H.W. et al. C60: Buckminsterfullerene. **Nature** v.318, p.162, 1985.

LEDERMAN, L. **The God Particle: if the Universe is the answer, what is the question?** New York: Houghton Mifflin, 1993.

LÉVY, P. **Cibercultura**. São Paulo: Editora 34, 1999.

MARZANO, R.J.; PICKERING, D.J.; POLLOCK, J.E. **Classroom Instruction that Works: research-based strategies for increasing student achievement**. Alexandria, VA: ASCD, 2001.

MINOT, E.D. et al. Determination of electron orbital magnetic moments in carbon nanotubes. **Nature** v.428, p.536, 2004.

PASCO. **Physics – University Atomic Spectra**. Disponível em:

< <http://store.pasco.com/pascostore/basket/groups.cfm?&DID=9&groupID=645&start=1>>
Acesso em: 5 jun. 2008.

ROMER, P. Beyond Classical and Keynesian Macroeconomic Policies. **Policy Options** jul.-ago. 1994. Disponível em:
<http://www.gsb.stanford.edu/research/faculty/news_releases/Romer.Paul/London_Speech.html>
Acesso em: 20 mai. 2008.

SAITO, R.; DRESSELHAUS, G.; DRESSELHAUS, M.S. **Physical properties of carbon nanotubes**. London: Imperial College Press, 1998.

SANTO ANDRÉ. **O desenvolvimento econômico em Santo André**. Santo André, 2001.
Disponível em:
<<http://www.santoandre.sp.gov.br/bnews3/images/multimedia/programas/Proposta%20Des.%20Economico.doc>>. Acesso em: 5 mai. 2008.

SILVEIRA, M.A.G.; BAGINSKI, R.; BARBETA, V.B. Laboratório de Física Moderna do Centro Universitário da FEI. **Pesquisa e Tecnologia FEI** n.27, p.46, out. 2005.
SMITH, K. **What is the 'knowledge economy'? Knowledge-intensive industries and distributed knowledge bases**. Brussels: European Commission, 2000. Disponível em:
<http://in3.dem.ist.utl.pt/master/stpolicy04/files04/paper7_2.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2008.

SZAJNBERG, M.; ZAKON, A. A ampliação e a readequação do ensino da física para a engenharia do terceiro milênio. IN: ENCONTRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 7., 2001. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em:
<<http://www.pp.ufu.br/arquivos/30.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2008.

ZARIC, S. et al. Optical Signatures of the Aharonov-Bohm Phase in Single-Walled Carbon. **Nanotubes. Science** v.304, p.1129, 2004.

MODERN PHYSICS IN ENGINEERING CONTEMPORARY PROFESSIONAL FORMATION

Abstract: *Modern physics deserves credit for most of the innovative technologies developed in the 20th century and knowing it is indispensable for the professional formation of an engineer prompt to face the emergent challenges of a 21th century knowledge-based economy. In order to face these challenges, we argue that a contemporary professional formation in engineering should comprise the understanding of those physics elements needed in the modern sciences as, for instance, nanoscience, and its application in the making of new technologies. In this paper, we describe a modern physics course offered to chemical engineering and materials engineering students. We discuss the central role played in the course by a laboratory facility dedicated to the teaching of modern physics, and show how a scientific work methodology combined with advance organizers may be used to help students acquire a set of research and development capabilities important for their professional lifes.*

Keywords: *Modern physics, Chemical engineering, Materials engineering, Laboratory, Advance organizers.*