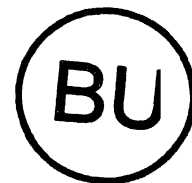


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**



TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO

**José Lucas Lopes
Prof. Dr. José André Peres Angotti
Orientador**

Monografia apresentada no Curso de Especialização
Em Ensino de Física na UFSC, como requisito
parcial para obtenção do título de
Especialista em ensino de Física

**Florianópolis (SC)
Abril - 2001**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA**

“Tópicos de Física Moderna no Ensino Médio”

**Monografia submetida ao Colegiado do
Curso de Especialização em Ensino de
Física do Centro de Ciências Físicas e
Matemáticas em cumprimento parcial para a
obtenção do título de Especialista em
Ensino de Física.**

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 27/04/2001

Dr. José André Peres Angotti - Orientador

Dr. Luiz O.Q. Peduzzi - Examinador

**Prof. Dr. Maurício Pietrocola
Coordenador CCEEF/CFM/UFSC**

José Lucas Lopes

Florianópolis, Santa Catarina, abril de 2001.

AGRADECIMENTO

Ao Prof. Dr. José A. P. Angotti o meu agradecimento pela paciência e atenção a mim dedicados no sentido de tornar possível este trabalho.

SUMÁRIO

Resumo.....	05
Apresentação.....	06
Introdução	11
Sugestões de Estudo	13
Aula 1: Teoria da Relatividade	16
Aula 2: Relatividade do Tempo	19
Aula 3: Relatividade do Comprimento	21
Aula 4: Questões Sobre Relatividade	22
Aula 5: Efeito Fotoelétrico	25
Aula 6: Como Funciona um Laser?	27
Aula 7: Questões Sobre Laser	30
Aula 8: Energia Nuclear	32
Aula 9: Energia Nuclear (continuação)	33
Aula 10: Questões Sobre Energia Nuclear	37
Aula 11: Cosmologia	39
Aula 12: Questões Sobre Cosmologia	43
Conclusão	46
Anexo I	47
Referências Bibliográficas	48

RESUMO

No início de um novo milênio nos deparamos com desenvolvimento tecnológico e científico e percebemos que todo esse desenvolvimento ainda não está presente nas nossas escolas. O desenvolvimento da tecnologia está cada vez mais inserido no dia a dia dos estudantes através dos computadores, caixas eletrônicos dos bancos e até dos supermercados.

Portanto, os vários campos abertos pela física devem ter sua presença no mundo atual do aluno de forma a leva-lo compreender o universo que o cerca.

Este trabalho tem por objetivo a inserção de tópicos de física moderna para alunos do ensino médio através de uma exposição simples e objetiva de modo a facilitar a sua compreensão. A idéia principal é de descrever um universo que o aluno já conhece e assim motiva-lo ao deparar-se com explicações científicas para fatos e fenômenos do seu dia a dia e perceber que consegue entendê-los.

Os temas propostos neste trabalho serão abordados através de textos e de uma exposição áudio-visual que visa, sobretudo, o aprofundamento das bases conceituais, minimizando o instrumental matemático para se explicar os tópicos aqui propostos.

A fita de vídeo não deverá ter apenas o caráter ilustrativo, pelo contrário, deve ser entendida e empregada de forma a complementar todos os tópicos.

APRESENTAÇÃO

POR QUE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO?

Há mais de uma década lecionando a disciplina de Física, tenho percebido o constante desinteresse dos alunos em seu aprendizado. A causa, de uma forma geral, é que a Física ensinada no ensino médio está muito distante do dia a dia dos nossos alunos. É bastante comum encontrarmos jovens com aparelhos de som em tamanho reduzido (os discman) que os acompanham, inclusive quando vão para a escola. Os meios de comunicação, como os computadores, os controles remotos dos aparelhos de TV, as leituras ópticas dos caixas de supermercados e os aparelhos de laser que são usados para cirurgias de correção visual, estão inseridos no nosso cotidiano e dos estudantes e que não são se quer citados na maioria dos livros que utilizamos em nossas aulas.

Muito já se falou sobre professores que se preparam apenas para transmitir macetes e atalhos em suas aulas de Física, visando quase que exclusivamente a aprovação dos alunos nos exames vestibulares. Parece mesmo que ensinamos Física unicamente com esse propósito, ou seria possível tornar a Física algo interessante e que desperte a curiosidade e o gosto pela Ciência em geral? Devemos, nesse momento, nos lembrar que o aluno de hoje será o profissional de amanhã e, quem sabe, um professor de Física. O que precisamos fazer é estabelecer uma ligação entre a Física e o cotidiano dos nossos alunos. A tarefa, com certeza, não é das mais fáceis, entretanto, se nos dispusermos a levar o mundo da Física para a realidade cotidiana dos nossos alunos, explicando os fatos e fenômenos do seu mundo, como, por exemplo, o funcionamento do laser do seu aparelho de CD, estaremos, certamente, caminhando na direção correta. Portanto, acredito ser de suma importância a introdução de Tópicos de Física Moderna no currículo de ensino médio.

Esta questão é consensual entre professores de física e toda a comunidade escolar. Trabalhos de pós-graduação nesse sentido tem sido desenvolvidos mais intensamente nos últimos anos, o que, de certa forma, também nos motiva na pesquisa atual.

Segundo Ostermann e Moreira (1998), em artigo publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física, vol. 16, Nº 3, dezembro 1999, em estudo que realizaram no Brasil, foi possível levantar tópicos da pesquisa atual em Física a serem incorporados ao currículo das escolas. A partir de uma metodologia de consulta a especialistas, físicos, pesquisadores em ensino de Física e professores de Física do ensino médio, vários temas foram recomendados, entre eles o Efeito fotoelétrico, a dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, laser, relatividade restrita.

O artigo Ensinando Física Moderna no Segundo Grau: Efeito fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro (Eduardo de Campos Valadares e Alysson Magalhães Moreira) publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física, vol. 15, Nº 2, agosto de 1998, apresenta sugestões, conceituais e práticas, de como introduzir tópicos de Física Moderna no ensino médio, procurando relacioná-los com o cotidiano dos alunos.

Trabalhos dessa natureza nos motivam ainda mais e nos servem como referencial para a pesquisa que ora passamos a desenvolver.

Quando da aplicação em sala de aula do tema Energia Nuclear, com alunos do 2º ano do ensino médio de uma escola particular de Criciúma, tive a oportunidade de testemunhar a satisfação dos mesmos por aquela atividade. Seus elogios por ser uma aula diferente me motivaram a seguir nessa linha, uma aula em forma de debate na qual os próprios alunos a construíram. Tal atividade foi baseada em experiência pessoal quando participava do curso Pró-Ciências Física, pela Universidade Federal de Santa Catarina. Em contato com colegas professores de física, que participaram comigo do Curso Pró Ciências, e que realizaram com seus alunos atividade idêntica sobre o mesmo tema, pude constatar da aprovação dos mesmos pela forma como foi conduzido, rendendo, ao final, um relatório com mais de cem páginas, de acordo com o relato do amigo professor. Então parece que estamos no caminho correto.

Quando saímos da rotina do quadro negro e giz e buscamos o aluno para participar ativamente da construção do seu conhecimento é que estamos ministrando uma aula produtiva. Utilizar recursos que propiciem uma “visão aberta” do tema abordado ajuda sobremaneira a sua compreensão. Neste trabalho o recurso áudio-visual deverá ser entendido como agente motivador e esclarecedor dos temas abordados.

Uma fita de vídeo com os títulos “O labirinto da luz e das trevas”, “O que é raio laser?”, “Energia Nuclear” e “Os mistérios do Universo” é parte integrante deste trabalho como recurso de multi-meio para o ensino de Física Moderna.

Uma sinopse dos vídeos é descrita a seguir:

DESCRIÇÃO DOS ASSUNTOS EM VÍDEO

- ❖ O vídeo com o título **O Labirinto da Luz e das Trevas** aborda a questão da natureza da luz. Ela é uma onda ou uma partícula? Baseado na obra *A Evolução da Física*, de Albert Einstein e Leopold Infeld, o filme narra uma discussão imaginária entre Newton, com sua teoria corpuscular, e Huygens, com a teoria ondulatória da luz. Reproduz experiência de Young em laboratório sobre a interferência das ondas. A onda eletromagnética também é apresentada. Analisa também a questão do Efeito fotoelétrico sob o ponto de vista ondulatório e corpuscular da luz.

- ❖ No vídeo **O que É Raio Laser?**, são ilustrados o princípio básico da luz laser, seu funcionamento e aplicações. O filme inicia descrevendo o laser como uma luz capaz de percorrer grandes distâncias com pouca perda de intensidade e que não existia antes de 1960. O físico americano Charles Townes descreve uma forma de amplificar ondas muito curtas. O processo do átomo emitir energia espontaneamente quando estimulado e o princípio da emissão estimulada são abordados na fita. Os tipos de laser, suas aplicações, como por exemplo no tratamento de deslocamento de retina, na medicina também são abordados.

❖ Com o tema **Energia Nuclear**, o filme inicia expondo várias formas de energia utilizadas durante a historia. A questão da fissão e fusão nuclear são abordados de maneira simples. Os processos de geração de energia elétrica através da fissão nuclear são descritos e comentados; e a produção dessa energia pela fusão nuclear, que atualmente não pode ser controlada. As tentativas para obtenção de energia elétrica através da fusão nuclear como grande sonho da física para se obter energia quase inesgotável. A questão do meio ambiente é discutida e o grande problema do lixo radioativo. As utilizações da energia nuclear na medicina também são abordadas, como por exemplo, no tratamento do câncer. Outra utilização é a conservação de alimentos, uma parte não muito divulgada da energia nuclear.

❖ O filme **Mistérios do Universo**, apresentado pelo professor Walmir Cardoso, aborda o tema da criação do universo, segundo a teoria do Big Bang. A idéia de galáxia, classificação morfológica das mesmas, a idade do universo e os aglomerados globulares são apresentados pelo professor Walmir. Os quasares, poderosas fontes de energia são explicados. Aborda a questão da teoria da formação do universo, o Big Bang. O surgimento dos quarks e anti-quarks e de toda matéria. A expansão das galáxias, a radiação cósmica de fundo remanescente da grande explosão são explicados no vídeo. A matéria escura e os Buracos Negros encerram o vídeo.

Este material, associado a textos complementares e questionários são desenvolvidos nesse trabalho, com o objetivo de apresentar a Física através de uma visão conceitual visando explorar, de forma mais intensa, os fundamentos que regem os tópicos acima propostos. A sua elaboração e desenvolvimento ocorrem de forma a possibilitar a sua aplicação imediata em sala de aula. Por isso, os tópicos propostos, Teoria da Relatividade Restrita, Efeito Fotoelétrico, Laser, Energia Nuclear e Cosmologia (Formação do Universo) são desenvolvidos em módulos com previsão inicial de uma aula

cada modulo. Assim, os tópicos serão apresentados como Aula 1, Aula 2, Aula 3... etc, num total previsto de 12 (doze) aulas.

Atualmente trabalhando com aulas de Física, fui solicitado para preparar material sobre Física Moderna para as turmas de terceiro anos (terceirão) num colégio particular de Criciúma. Há algum tempo é idéia da direção do colégio em preparar seus alunos com conteúdos de física moderna. Existe atualmente uma apostila elaborada por um colega, professor de física, com um conteúdo bastante reduzido. Este material deverá ser usado no último bimestre desse ano de 2001, e coube a mim amplia-lo, de acordo com a solicitação anteriormente citada.

Os movimentos pró-física moderna no ensino médio, a aproximação da física voltada a realidade do aluno e um trabalho para aplicação imediata em sala de aula são motivos muito fortes e que me motivaram na elaboração deste trabalho. Estou convicto que esta não é a verdade final, no sentido de motivação para o estudo da física, mas acredito realmente que, corrigindo-se as falhas que eventualmente aparecerão, complementando e ampliando-o poderemos estar conquistando nossos alunos, atraindo-os para as carreiras científicas.

INTRODUÇÃO

O que é Física Moderna?

A definição da palavra moderna quando empregado no estudo da física tem sentido diferente daquele empregado habitualmente em outras áreas. À medida que os anos passam o qualificativo “moderno” fica cada vez menos apropriado para teorias cujos fundamentos foram construídos no início do século XX.

A expressão que contrasta com física moderna é a física clássica, baseada na cinemática de Galileu e na mecânica de Newton.

O corpo conceitual formado pela mecânica quântica e pela teoria da relatividade forma o que chamamos hoje de Física Moderna.

Na teoria da relatividade especial (física moderna), Einstein previu que, para fenômenos que envolvessem altas velocidades (próximas à velocidade da luz) não se poderiam aplicar as leis da mecânica newtoniana (física clássica) pois o resultado estaria em desacordo com os fatos, mas para velocidades baixas as fórmulas de Newton funcionavam perfeitamente.

Assim, um engenheiro para projetar um tubo de TV, por exemplo, precisa utilizar a teoria da relatividade, pois os elétrons no seu interior têm velocidade muito alta.

Nosso estudo também abordará a energia nuclear e suas aplicações como a geração de energia elétrica, usos medicinais e até conservação de alimentos.

O chamado efeito fotoelétrico será abordado bem como os fundamentos e aplicações do **Laser**. No mundo moderno existem infindáveis

aplicações para a tecnologia do laser, algumas delas serão abordadas neste trabalho.

Encerra-se este trabalho com o tópico **Cosmologia**, uma abordagem do universo segundo a teoria do big bang.

Todo o trabalho será desenvolvido por meio de textos de fácil assimilação e por fitas de vídeo. Pretende-se que esses recursos ilustrem e motivem ao aluno na sua tarefa de aprender. Os questionários têm a finalidade de levar o estudante a refletir sobre o tema em questão.

Salienta-se, mais uma vez, que a proposta ora apresentada não tem o caráter de aprofundamento científico, pelo contrario, trata-se de uma proposta introdutória à Física moderna de forma que o conteúdo possa ser assimilado rapidamente pelos nossos estudantes.

SUGESTÕES DE ESTUDO

O aluno tem capacidade inesgotável de aprender. O segredo é a motivação. O aprendizado só acontece quando há motivação e sem ela é difícil para o aluno entender a matéria. O estudo dos tópicos propostos neste trabalho será desenvolvido com textos numa linguagem acessível, sem preocupação com o instrumental matemático, dividido por aulas e desta maneira procura facilitar a tarefa do aluno de aprender.

Sugere-se ao professor iniciar sua aula obedecendo aos seguintes requisitos:

- a problematização inicial deve partir do conhecimento que o aluno tem sobre o tema;
- fazer com a turma o levantamento das questões inerentes ao assunto;
- estabelecer e discutir o contraste entre concepções diferentes.

Para o aluno recomenda-se que:

- inicie cada tópico com a leitura do texto;
- procurar entender o que foi exposto e, no caso de dúvidas, discutir com os colegas e com o professor.

QUANTO AO USO DA FITA

A critério do professor ou de comum acordo com os alunos, o assunto poderá ser iniciado pela exibição do vídeo referente ao tema em questão. Entretanto, conforme sugerido anteriormente, recomenda-se que a sua exibição aconteça após a leitura dos textos.

A AVALIAÇÃO

Quanto à avaliação, o professor deve ter muito cuidado, principalmente no sentido de não “podar” as concepções do aluno, fazendo que ele passe a responder de acordo com aquilo que o professor admite como correto, não expressando o que ele realmente pensa. É tarefa do professor discernir entre as concepções espontâneas do aluno, o que ele pensa de fato, e aquelas que ele elabora apenas para agradar ao mestre. No fundo, ele continua pensando diferente daquilo que respondeu.

Propõe-se como avaliação que aluno relate, brevemente, por escrito, a forma como ele próprio entendeu o conteúdo.

Outra forma de avaliar pode ser feita utilizando-se os questionários que, depois de devidamente corrigidos e discutidos, sejam aplicados como uma prova.

Apresentação de trabalhos em sala de aula também podem ser combinados como avaliação. Estes trabalhos podem ser realizados individualmente, por duplas e até pequenos grupos.

Enfim, o professor poderá fazer valer seu bom senso e aplicar outras formas de avaliação não propostas aqui. Não estamos tratando de uma receita pronta e assim, adaptações podem ser feitas, desde que estejam de acordo com a proposta inicial do trabalho.

AULA 1: TEORIA DA RELATIVIDADE

Talvez o maior desafio da relatividade especial seja sua insistência na substituição de algumas de nossas idéias sobre espaço e tempo, adquiridas durante anos de experiência, por idéias novas.

Einstein percebeu a necessidade de substituir as leis de Galileu do movimento relativo a partir de sua experiência imaginária de acompanhar um feixe luminoso. Os dois postulados que formam a base da teoria especial da relatividade foram apresentados no artigo de 1905, intitulado “Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento”. Podemos formular estes postulados como segue:

Princípio da Relatividade: As leis da física são as mesmas em todos os referenciais inerciais.

Princípio da constância da velocidade da luz: A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor c em todos os referenciais inerciais.

O primeiro postulado declara que as leis da física são absolutas, universais e as mesmas para todos os observadores inerciais. Leis verdadeiras para um observador inercial não podem ser violadas para qualquer outro observador inercial.

O segundo postulado é muito mais difícil de aceitar porque viola o “bom senso”, que está firmemente apoiado na cinemática galileana, que aprendemos com a experiência diária.

Considere três observadores A, B e C, cada um em repouso em um referencial inercial diferente. Um pulso de luz é emitido pelo observador A, que observa a luz se propagar com velocidade c . O referencial de B afasta-se de A com velocidade $c/4$; a cinemática galileana prediz que B medirá, para a velocidade da luz emitida por A, o valor $c - c/4 = 3c/4$. O observador C está em um referencial que se aproxima de A com velocidade $c/4$; de acordo com Galileu, o observador C mede, para a velocidade da luz emitida por A, o valor $c + c/4 = 5c/4$.

O segundo postulado de Einstein, por outro lado, afirma que todos os três observadores medem a mesma velocidade c para o pulso de luz.

Em Física clássica, foi sempre suposto que os relógios em movimento ou em repouso tinham o mesmo ritmo, que as réguas em movimento ou repouso tinham o mesmo comprimento.

O nosso objetivo é indicar as idéias que formam a base de um novo ponto de vista físico e filosófico.

Albert Einstein.

Naturalmente, não é esse o comportamento dos objetos normais. Um projétil disparado de um carro em movimento tem sua velocidade relativa ao solo determinada pela soma vetorial das velocidades do projétil relativa ao carro e do carro relativa ao solo. Porém, as velocidades de ondas de luz e de partículas que se movem próximas de c não se comportam desse modo.

Em conjunto, os dois postulados tem uma outra consequência: eles implicam que é impossível acelerar uma partícula até ela atingir uma velocidade maior que c , independente da energia cinética que lhe forneçamos. Esta predição também pode ser verificada no laboratório e resulta em outra diferença entre os postulados da relatividade e os da física clássica. A física clássica não estabelece um limite superior para a velocidade que um objeto possa atingir; a relatividade impõe uma velocidade limite, que, pelo primeiro postulado, deve ser a mesma para todos os referenciais.

NATUREZA RELATIVA DA SIMULTANEIDADE

Medidas de tempo e intervalos de tempo envolvem o conceito de simultaneidade. Quando alguém diz que acordou às sete horas, quer dizer que dois eventos, o seu despertar e a passagem do ponteiro das horas pelo número sete, ocorreram simultaneamente. O problema na medida de intervalos de tempo é que, em geral, dois eventos que parecem simultâneos num referencial não parecem simultâneos num segundo referencial que se move em relação ao primeiro, mesmo se ambos forem referenciais inerciais.

Pode-se ilustrar esse ponto com a seguinte experiência imaginária, idealizada por Einstein. Considere um trem muito longo, movendo-se com velocidade constante. Dois raios atingem o trem, um em cada extremidade. Cada raio deixa uma marca no trem e outra no chão, no mesmo instante. Os pontos no chão serão chamados A e B e os correspondentes A' e B', no trem. Um observador no chão, localizado em O, no meio entre A e B, e um outro observador O', movendo-se com o trem e no meio entre A' e B'. Ambos observadores usam os sinais luminosos do raio para observar os eventos.

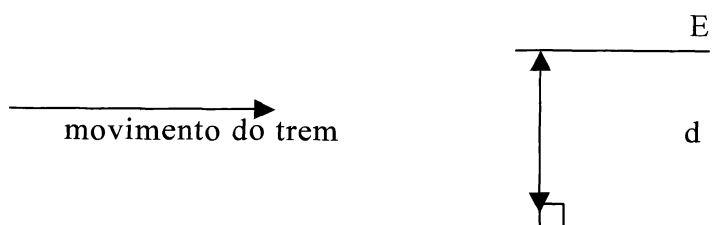
Suponha que os sinais luminosos alcancem o observador em O, simultaneamente. Ele conclui que os dois eventos ocorreram em A e B simultaneamente. Mas o observador O' está se movendo com o trem e o pulso de luz vindo de B' alcança-o antes que o vindo de A' (A' está situado na parte traseira do trem); ele conclui que o evento na frente (B') do trem ocorreu antes que o evento atrás (A') do trem. Assim, os dois eventos parecem simultâneos para um observador, mas não para o outro. Dois eventos, em diferentes pontos do espaço, são simultâneos ou não, dependendo do estado de movimento do observador.

AULA 2: RELATIVIDADE DO TEMPO

A aceitação de que a velocidade da luz no vácuo é constante para todos os referenciais levou Einstein a rediscutir idéias básicas da mecânica newtoniana. Ele mostrou que, se um referencial se move em relação ao outro, o mesmo fenômeno, visto pelos dois referenciais, tem uma duração diferente. Em outras palavras, o intervalo de tempo entre dois eventos é diferente ao ser medido a partir de referenciais que se movem um em relação ao outro.

Vamos imaginar um trem ultra-rápido, que se mova com velocidade

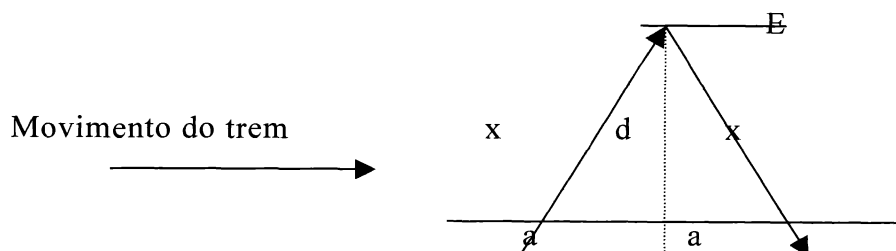
próxima da luz. Num certo instante, um passageiro dentro trem acende uma lanterna. No teto do trem há um espelho plano e horizontal que reflete a luz de volta, conforme mostra a figura abaixo.



Um relógio, colocado junto à lâmpada, mede o intervalo de tempo que a luz gasta para ir até o espelho E e retornar. Sendo d a distancia entre a lâmpada e o espelho E, o percurso de ida e volta é $2d$. Pela equação da velocidade temos:

$$2d = c \cdot \Delta t(\text{trem})$$

Para o referencial no solo, o percurso total da luz entre a partida e a volta até a lanterna é maior, como mostra a figura.



Para medir os instantes de partida e de chegada da luz na lâmpada, o observador fixo no solo usa dois relógios, também fixos no solo; um no ponto onde o movimento começou e outro no ponto onde ele terminou.

Levando em conta o princípio da Constância da velocidade da luz, podemos afirmar que a luz tem velocidade c também em relação ao solo. A distancia total percorrida pela luz é $2x$ e o intervalo de tempo correspondente, medido nos relógios do solo é Δt (solo). Então: $2x = c \cdot \Delta t$ (solo)

O trem se move com velocidade v em relação ao solo, então:

$$2 \cdot a = v \cdot \Delta t(\text{solo})$$

Aplicando Pitágoras, temos: $x^2 = a^2 + d^2$

Isolando-se d , x , a nas equações anteriores e substituindo-se na equação de Pitágoras, rearranjando os membros da equação; chega-se finalmente à conclusão: o intervalo de tempo medido no referencial do solo $\Delta t(\text{solo})$ é o produto do intervalo de tempo medido no referencial do trem por um fator que chamaremos de γ . Assim:

$$\Delta t(\text{solo}) = \gamma \cdot \Delta t(\text{trem}).$$

A dedução completa da fórmula está no anexo ao final deste trabalho. Por ora vamos aceitar o valor de $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

Para um valor de velocidade próximo da velocidade da luz γ atinge um valor próximo de 40. Isso quer dizer que, se o trem se movesse com essa velocidade, o intervalo de tempo medido por relógios fixos no solo seria quarenta vezes maior que o intervalo de tempo medido no relógio do trem.

Um relógio que se move em relação a um observador avança mais lentamente que um relógio fixo em relação a um observador.

Essa conclusão é válida para qualquer tipo de relógio, seja ele mecânico, biológico ou químico. Por exemplo, se uma pessoa se movesse num foguete com essa velocidade em relação à Terra, o tempo para ela transcorreria quatro vezes mais lentamente que para nós, que estamos na Terra.

AULA 3: RELATIVIDADE DO COMPRIMENTO

O fato de os intervalos de tempo terem valores diferentes em função do referencial adotado para medi-los acaba afetando o comportamento de outras grandezas fundamentais da Física, como o comprimento.

Isso pode ser demonstrado aplicando novamente os postulados de Einstein ao caso do trem ultra-rápido, que se move com velocidade próxima à da luz. Agora, veremos o que aconteceria quando ele atravessasse um túnel.

Vamos supor que, dentro do trem, haja um passageiro com um relógio e também dois relógios sincronizados fixos em relação ao solo, um no início e outro no final do túnel.

O intervalo de tempo correspondente à travessia do túnel será denominado $\Delta t(\text{trem})$. A velocidade relativa entre o trem e o solo é v . Logo, o passageiro vê o túnel passar por ele com velocidade v . O comprimento do túnel para o referencial do trem é $L(\text{trem})$. Então $L(\text{trem}) = v \cdot \Delta t(\text{trem})$.

O intervalo de tempo medido pelos relógios fixos no solo é $\Delta t(\text{solo})$.

O trem se desloca com velocidade v em relação ao solo. O comprimento do túnel no referencial do solo é $L(\text{solo})$. A lei da velocidade é válida nos dois referenciais.

$$L(\text{solo}) = v \cdot \Delta t(\text{solo}).$$

Introduzindo o mesmo fator γ , obtemos $L(\text{solo}) = \gamma \cdot L(\text{trem})$.

Concluimos então que o comprimento do túnel medido no referencial do trem é menor do que o seu comprimento medido no referencial do solo.

As deduções de fórmula estão em anexo ao final deste trabalho.

AULA 4: QUESTÕES SOBRE A RELATIVIDADE

Agora vamos pensar um pouquinho sobre o que foi exposto nas aulas anteriores. O aluno deve responder as questões propostas neste questionário.

Questão 1: Imagine um jogo entre os jogadores A e B, visto por um observador O, estando os três em repouso no mesmo referencial inercial. B está situado entre A e O. Então A joga a bola para B com velocidade superior à velocidade da luz. Os sinais luminosos que transportam as imagens de A ao jogar a bola para B, que a pega, chegam ao observador O. Ambos os sinais tem velocidade c , que é menor do que a velocidade da bola jogada por A..

Como você explicaria esse fenômeno baseado nos fundamentos da física clássica? Qual a explicação de acordo com a física moderna?

Questão 2: De que forma a teoria da relatividade afeta a nossa visão do mundo?

Questão 3: Para descrever o movimento de um carro de fórmula 1 é necessário usar a teoria da relatividade? Explique.

Questão 4: Dois eventos ocorrem no mesmo lugar e no mesmo instante para um observador. Eles serão simultâneos para todos os outros observadores?

Questão 5: O que você imagina que seria diferente na vida cotidiana caso a velocidade da luz fosse de 10 m/s em vez de seu valor real?

Questão 6: De acordo com o famoso “paradoxo dos gêmeos”, se um deles ficar na Terra enquanto o outro decola numa espaçonave com velocidade relativista e, então voltar à Terra, um será mais velho do que o outro. Qual deles? Qual a explicação para este fato?

Questão 7: Os foguetes mais rápidos que são lançados atualmente, usados para colocar satélites em órbita, atingem velocidades próximas de 9 km/s. Qual a porcentagem da velocidade da luz que esse valor representa? Você acha que as leis de Newton podem ser usadas, com êxito, no estudo do movimento desses foguetes?

Dica: as falhas na mecânica clássica começam a ser percebidas quando as velocidades atingem cerca de 10% da velocidade da luz.

Questão 8: Um acelerador linear, com cerca de 4 km de comprimento, é capaz de acelerar um elétron até uma velocidade $v = 0,999 c$. Uma pessoa tomou conhecimento de um outro acelerador com um comprimento 7 vezes maior que o primeiro e concluiu que nesse acelerador um elétron poderia atingir a velocidade $v = 7 \times 0,999 c$.

Qual a sua opinião a respeito? Por que?

Questão 9: você acredita que, no futuro, sejam observados fenômenos que não possam ser descritos adequadamente pela teoria da relatividade? Ou você acha que os conceitos e leis introduzidos por essa teoria devam ser aceitos como verdades absolutas e imutáveis? Discuta essas idéias.

EFEITO FOTOELÉTRICO (INTRODUÇÃO)

Em nosso cotidiano adotamos a transformação da luz em sinais elétricos. Quando a luz incide numa placa de metal ela emite uma “chuva” de elétrons. Chamamos esse fenômeno de efeito fotoelétrico. No efeito fotoelétrico, quanto maior a intensidade da luz, maior o número de elétrons que deixam a superfície do metal. Inúmeros cientistas tentaram explicar esse fenômeno, partindo do pressuposto que a luz é uma onda mas ninguém conseguiu achar uma explicação.

Vamos agora discutir esta questão.

AULA 5: EFEITO FOTOELÉTRICO

Em fins do século XIX, descobriu-se que uma chapa de zinco, limpa, adquiria, quando exposta à luz ou raios ultravioletas, uma carga positiva. Como normalmente o metal contém número igual de elétrons e prótons, supõe-se que a radiação produza emissão de elétrons. Este fato ficou conhecido como **efeito fotoelétrico**.

Segundo a clássica teoria ondulatória, a energia de uma onda depende da frequência; depende apenas da intensidade dela. O intercambio de energia entre a radiação e os elétrons da superfície do metal seria, pois, mais pronunciado quando a intensidade aumentasse. Verificou-se porem, que o aumento da intensidade não causava efeito sobre a energia dos elétrons emitidos mas, apenas produzia maior numero de elétrons. Somente a elevação da frequência da radiação produzia aumento de energia.

Somente a teoria quântica poderia explicar esse efeito, aparentemente anômalo. Considerando-se a radiação como uma corrente de fótons, cuja energia é proporcional a frequência de radiação, segue-se que um aumento de frequência deveria provocar, entre elétrons e fótons, uma troca mais acentuada de energia. Quanto maior a intensidade, maior o número de fótons estaria apto a desprender maior numero de elétrons.

O efeito fotoelétrico tem aplicações praticas. Uma vez emitidos os fotoelétricos podem ser atraídos para um anodo positivamente carregado e postas a percorrer um circuito elétrico. Constituem, então, uma corrente elétrica, cujo valor depende da intensidade da radiação.

A célula fotoelétrica é um dispositivo baseado nesse principio e é usada para medir a intensidade da luz da radiação ultravioleta. O fotômetro, empregado em fotografias, baseia-se no efeito fotoelétrico da luz que incide em uma superfície de selênio de cádmio.

QUESTÕES SOBRE EFEITO FOTOELÉTRICO

Questão 1: Por que o efeito fotoelétrico não podia ser explicado pela teoria ondulatória da luz?

Questão 2: Cite situações cotidianas em que você se depara com o princípio do efeito fotoelétrico.

Questão 3: Uma parede pintada, onde só incida luz, por exemplo, com o tempo vai perdendo a intensidade da cor. Você poderia explicar esse fenômeno usando ou não o princípio do efeito fotoelétrico?

AULA 6: COMO FUNCIONA UM LASER?

Em 1917, Einstein introduziu na física um novo conceito, o de emissão estimulada. Embora o primeiro laser em operação não tivesse aparecido até 1960, as bases teóricas para a sua invenção foram estabelecidas pelo trabalho de Einstein. A importância da emissão estimulada é indicada pelo nome “laser”, que é um acrônimo para “light amplification by stimulated emission of radiation” (amplificação de luz por meio de emissão estimulada de radiação).

As fontes de luz comum são incoerentes, isto é, emitem ondas de muitos comprimentos diferentes e com as mais diversas relações de fase. Mesmo quando se usa luz com quase o mesmo comprimento de onda ainda existe uma relação fortuita de fase. O resultado é que os feixes de luz desse tipo se espalham muito rapidamente e também grande parte de energia se perde por interferência destrutiva.

Em 1954, os físicos desenvolveram um método para produzir ondas coerentes na região das micro-ondas. Esse dispositivo foi chamado maser cuja importância foi como um padrão muito exato de frequência para a medição de intervalos de tempo.

Em 1960, os princípios do maser foram ampliados para a região ótica. Um maser ótico é então chamado de laser. Desde então muitos cientistas têm se especializado nesse campo.

Como funciona um laser?

Um fóton de energia luminosa é emitido quando um elétron passa de um nível de energia mais alto para um nível mais baixo dentro de um átomo. Isso acontece quando o átomo é excitado por uma fonte de energia como a eletricidade ou calor. Os elétrons deslocam-se para um nível mais alto de energia, pela excitação, e então retornam, ao acaso, para um nível mais baixo. Porque o movimento é errático, isto é, há elétrons saltando para os mais diversos níveis, a emissão é incoerente.

Num laser, a luz monocromática é produzida por excitação dentro de uma região conhecida como cavidade ressonante. Parte da luz passará pelas paredes da cavidade e parte atingirá os espelhos paralelos colocados em ambas as

extremidades. Se a distancia entre os espelhos for adequadamente ajustada, criam-se ondas estacionárias, como as de uma corda vibrante ou de tubo de ressonância no caso das ondas sonoras. Se a cavidade ressonante também contiver átomos que possam ser levados ao nível da energia de radiação da cavidade, esta última estimulará a emissão de ondas luminosas por seus átomos. Além disso, como as energias dos fótons estimuladores e emitidos são as mesmas, as duas estarão em fase.

A luz emitida pelos lasers tem uma propriedade muito importante: a coerência. Em outras palavras, a luz produzida pelos lasers é uma onda eletromagnética com uma frequência e uma fase bem definidas. Algumas aplicações dos lasers estão relacionadas com sua coerência. Assim, por exemplo, luz com uma fase bem definida pode ser colimada através de um telescópio para aplicações como rastreamento de objetos e levantamentos topográficos, ou pode ser focalizada em uma pequena região do espaço, o que permite obter grande intensidade luminosa. Além disso, a possibilidade de controlar não só a intensidade da luz mas também a sua fase proporciona uma nova fonte de informações.

Para poder emitir luz coerente, um laser deve dispor de um meio amplificador e de espelhos de realimentação. O meio amplificador pode ser um gás, um líquido (laser de corante), um cristal isolante (laser de rubi), um cristal semiconductor ou um sólido amorfo (laser de vidro).

Um laser pode ser excitado por descargas elétricas (lasers a gás), correntes elétricas (lasers semicondutores), lampejos luminosos (lasers de cristal e de vidro), ou reações químicas.

A alta intensidade da luz gerada pelos lasers tem sido aproveitada em várias aplicações no campo da medicina. Atualmente, os lasers são usados de forma rotineira para tratar o deslocamento de retina. Muitos médicos preferem usar lasers em vez de bisturis convencionais porque a luz não pode infeccionar o corte e o calor do laser ajuda a evitar hemorragias, cauterizando os vasos que formam seccionados. Usando uma fibra ótica para conduzir a luz até o estômago, os médicos podem cauterizar com lasers úlceras perfuradas. Os lasers também são usados para remover manchas de nascença e para tratar

alguns casos de câncer de pele. Na verdade, os lasers já salvaram um número incontável de vidas.

Os lasers se tornaram tão importantes para a transmissão, o armazenamento, a detecção e o processamento da informação que esta tecnologia recebeu o nome de **fotônica**. A luz dos lasers pode ser usada para transmitir informações. Um exemplo é a leitora de código de barras dos supermercados, na qual o código impresso na embalagem dos produtos é lido por um laser. A luz refletida é detectada como um sinal luminoso cujas variações correspondem às regiões claras e escuras do código de barras. O detector converte o sinal luminoso em um sinal elétrico, que é enviado a um computador. A leitura ótica de informações é uma importante aplicação dos lasers. As informações originais podem ser impressas, como acontece com o código de barras nos produtos dos supermercados, ou gravadas na forma de pequenas depressões em um disco, como nos CDs.

Os sistemas de CD e videodisco usam um disco com pequenas depressões para armazenar informações de áudio e vídeo. Esses discos são gravados por um laser de alta intensidade, modulado pelo sinal que se deseja gravar. O CD player contém um pequeno laser semiconductor cuja luz é refletida pelo disco, a menos que exista um buraco na camada refletora. O sinal resultante, que varia com a rotação do disco, é captado por um detector e convertido em um sinal digital que contém as informações originais.

Os lasers já fazem parte do nosso cotidiano e novas aplicações para eles estão sendo descobertas quase diariamente.

AULA 7 : QUESTÕES SOBRE LASER

Questão 1: No texto foram citados algumas aplicações e uso dos lasers. Você poderia citar outros exemplos? Você seria capaz de prever para que serão usados no século XXI?

Questão 2: Como você explicaria uma propriedade muito importante da luz laser chamado de coerência?

Questão 3: De acordo com o que foi visto no vídeo sobre laser como você explicaria o processo de amplificação da luz?

Questão 4: A luz laser forma um feixe quase paralelo. A intensidade deste tipo de luz diminui com o inverso do quadrado da distância à fonte?

Questão 5: Arthur Schawlow, um dos pioneiros do laser, inventou um corretor para máquinas de escrever, baseado na focalização da luz laser sobre o caractere não desejado. Você pode imaginar qual é o seu principio de funcionamento?

Questão 6: Quais as diferenças entre emissão espontânea e a emissão estimulada?

INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA ENERGIA NUCLEAR

A energia nuclear é, sem dúvida, um tema controverso e sobre o qual existem opiniões divergentes. Para muitas pessoas ela representa o medo do holocausto, o fim da raça humana, seja pela sua utilização como arma de guerra ou por acidentes, como no caso de Chernobyl, em 1986, na Ucrânia.

Mais recentemente foi registrado acidente desta natureza no Japão, felizmente sem maiores proporções, mas que serviu para aumentar a desconfiança quanto a segurança no uso do recurso nuclear.

A geração de energia elétrica, o uso na medicina e até a conservação de alimentos serão abordados como formas do bom emprego da energia nuclear. O enfoque aqui proposto tem o caráter informativo dos seus fundamentos e aplicação para fins pacíficos. Procura, dessa forma, despertar no educando uma visão crítica e coerente referente à produção e utilização de recursos energéticos e os perigos que isso representa. Não se trata, portanto, de se dizer SIM ou NÃO a energia nuclear; o objetivo maior é discutir e entendê-la.

AULA 8: ENERGIA NUCLEAR

Este tópico deverá ser abordado da seguinte forma: nos primeiros instantes da aula faz-se um levantamento das concepções do aluno sobre o tema. Não é de se estranhar o repúdio de alguns deles, principalmente se considerarmos que a idéia de energia nuclear é aquela da bomba lançada sobre as cidades japonesas durante a segunda guerra mundial.

Não obstante, acidentes envolvendo a geração de energia elétrica através da fissão nuclear, como no caso de Chernobyl, têm um peso considerável contra aceitação do assunto. Então podemos usar esses argumentos exatamente para iniciar a discussão.

Sugere-se inicialmente o levantamento do número de alunos pró e contra a energia nuclear, quais as razões e assim por diante.

É claro que a discussão pode se estender por um tempo maior do que uma aula apenas. Isto obviamente vai depender do interesse pelo assunto, da forma como ele vai ser conduzido. Deste debate deverão surgir grupos a favor e contrários, por exemplo, a geração de energia elétrica com a utilização usinas nucleares.

Um terceiro grupo, o dos indecisos, deverá completar a atividade a seguir proposta: os dois primeiros grupos deverão reunir dados que sustentem sua posição e com o objetivo de conquistar aqueles que estão indecisos.

O professor deverá conduzir, mas não interferir nas discussões. Também pode acordar um tempo para que os alunos reúnam elementos suficientes para uma defesa de causa.

AULA 9: ENERGIA NUCLEAR (VÍDEO E TEXTO)

Até o século XIX a madeira foi nossa principal fonte de energia. Por volta de 1850 o carvão tomou o lugar da madeira. Depois, a invenção do automóvel mudou novamente nossos hábitos energéticos e, é claro, a eletricidade.

A eletricidade será sempre o resultado da transformação de outra fonte de energia. A energia nuclear é uma delas. Nas centrais nucleares recupera-se a energia gerada pela fissão do núcleo dos átomos para gerar eletricidade. Mas o grande sonho dos cientistas é dominar a fusão nuclear.

A fusão é produzida quando dois núcleos atômicos se reúnem e se fundem do mesmo modo que ocorre no sol.

Albert Einstein trabalhando com as diferentes concepções existentes sobre o átomo e sobre a luz escreveu a famosa teoria da relatividade e sua equação fundamental $E = m \cdot c^2$. Por exemplo, se conseguíssemos tirar toda energia contida em 10 gramas de chumbo seria possível fazer um automóvel percorrer 250 milhões de quilômetros.

Tudo é formado de átomos. O núcleo concentra quase toda massa do átomo e está ligado por uma poderosa força de atração, a força nuclear. O que acontece se dividirmos o núcleo atômico?

O número total de partículas permanece o mesmo mas haverá liberação de um excedente de energia, a energia nuclear. Esse fenômeno chamamos de fissão nuclear.

Num reator nuclear utiliza-se a energia resultante da fissão de átomos de urânio para gerar eletricidade. Usa-se o urânio porque é o único elemento encontrado em seu estado natural que pode ser dividido. Essa fissão produz energia em forma de calor que por sua vez libera outros nêutrons que atingem outros átomos, e assim sucessivamente. É o que chamamos de reação em cadeia.

Para manter uma reação nuclear continua utiliza-se um moderador que retarda o curso dos nêutrons. Os moderadores mais utilizados são a água e

a água pesada. A água pesada contém um nêutron a mais que água comum e é um moderador extremamente eficaz.

No circuito de resfriamento a água pesada, aquecida pela reação nuclear, passa por um dispositivo térmico onde o calor é transferido para a água comum que começa a ferver. Depois o vapor é enviado a uma turbina acoplada a um alternador que, ao girar, produz eletricidade da mesma forma que uma central hidroelétrica.

Enquanto a fissão ocorre com a divisão do núcleo atômico, a fusão nuclear é o resultado da união de dois núcleos. Entretanto, após décadas de pesquisas, os cientistas não reuniram condições necessárias para a realização da fusão nuclear controlada.

A fusão nuclear é obtida através de átomos pesados de hidrogênio, o deutério e o trítio, que possuem, respectivamente, um e dois nêutrons, partículas inexistentes no hidrogênio comum. Para atingir a fusão o primeiro passo é transformar o deutério e o trítio em plasma. O plasma, um dos estados possíveis da matéria, é uma massa gasosa muito quente obtido pela passagem de uma corrente elétrica, como ocorre nos tubos de néon. No plasma o núcleo dos átomos e seus elétrons estão separados. Como os núcleos do deutério e do trítio têm a mesma carga elétrica, eles tendem a se repelir. Se aquecermos o plasma eletricamente a temperaturas da ordem de 100 milhões de graus, os núcleos se fundem. Esta fusão produz um núcleo de Hélio e um nêutron livre, liberando energia.

Nenhuma matéria sólida conhecida poderia resistir a tanto calor, por isso os cientistas pensaram em confinar a fusão no interior de um campo magnético. Reatores experimentais, os TOKAMAKs, foram desenvolvidos para estudar a eficácia desses confinamentos. Esses reatores poderão, eventualmente, conter uma reação de fusão. Só então será possível a utilização da fusão nuclear como fonte de energia.

Os nêutrons liberados da fusão poderão escapar do campo magnético, pois não são carregados eletricamente, e vão reaquecer uma camada de metal líquido, que transformado em vapor, alimentará as turbinas elétricas.

Acredita-se que a fusão nuclear poderia ser 10 vezes mais eficaz que a fissão. Outra vantagem é que a fonte de combustível é quase inesgotável, já que o trítio e o deutério podem ser extraídos da água. A energia obtida pela fusão do hidrogênio contido num litro de água equivale à mesma energia produzida pela combustão de 300 litros de gasolina.

Os resíduos resultantes da fusão teriam curto período radioativo, algumas dezenas de anos mas os resíduos provenientes da fissão duram milhares de anos. O problema dos resíduos radioativos é muito sério, alguns elementos podem manter a radioatividade por séculos e até milênios. Normalmente os resíduos são colocados em espessos invólucros de concreto e aço e enterrados profundamente no solo ou no fundo dos oceanos na esperança de que eles resistam ao tempo. Mas também existe a reciclagem, uma parte dos resíduos é recuperada na medicina e até na alimentação.

Graças aos avanços da tecnologia, hoje é possível tornar os elementos artificialmente radioativos e são largamente utilizados para fins médicos, como, por exemplo, o cobalto 60 cuja desintegração radioativa emite raios gama que são empregados no tratamento do câncer. Quando os raios gama dos aparelhos de cobalto atingem o núcleo de uma célula eles dividem as moléculas de DNA que não pode mais se reproduzir.

A observação do interior do corpo humano é possível graças as técnicas de cintilografia ou mapeamento. Sabemos, por exemplo, que o cérebro acumula certas substâncias químicas. Se uma dessas substâncias, previamente marcada por um isótopo radioativo, for injetada na corrente sanguínea do paciente ela se alojará no cérebro. O órgão ficará visível graças a uma câmera sensível as radiações podendo tirar até 128 fotografias que são passadas a um computador a fim de se obter uma imagem tridimensional do órgão, facilitando o trabalho médico. Esse método de investigação não apresenta riscos ao paciente uma vez que a radiação é muito fraca e é rapidamente eliminada pela urina e pelas fezes.

Graças à irradiação é possível se obter frutas e legumes frescos por vários dias, aves sem nenhuma bactéria patogênica e alimentos com menos conservantes. Usada a mais de 25 anos na esterilização de produtos medicinais,

a irradiação começa a se difundir para fins de salubridade e conservação alimentar.

Num centro de irradiação os alimentos são colocados numa câmara de paredes de concreto com 2 centímetros de espessura. É no interior dessa câmara que se encontra a fonte de irradiação.

A irradiação consiste em expor os alimentos a uma fonte radioativa como o cobalto 60, que emite raios gama atingindo os microorganismos como as bactérias desorganizando completamente a sua estrutura interna. Ao destruir os microorganismos indesejáveis, a irradiação interrompe o processo de degradação dos alimentos prolongando o seu período de conservação.

A irradiação, no entanto, destrói grande parte dos elementos essenciais dos alimentos como, por exemplo, as vitaminas A, C e D. Mas o cozimento, os conservantes e o congelamento destroem igualmente diversos elementos nutritivos.

AULA 10: QUESTÕES SOBRE ENERGIA NUCLEAR

Questão 1: Qual a sua opinião sobre a utilização da fissão nuclear para geração de energia elétrica.

Questão 2: Você acredita que, talvez por falha humana, uma usina nuclear possa causar um acidente comparável ao de uma bomba atômica?

Questão 3: Qual a diferença entre fissão e fusão nuclear?

Questão 4: Você conhece ou sugere alguma fonte de energia que não justifique a utilização da energia nuclear?

Questão 5: Você acredita que a energia nuclear, mesmo quando usada para fins pacíficos, causa danos a vida humana?

Questão 6: No futuro, na sua opinião, a energia nuclear continuará sendo usada ou a ciência descobrirá outra fonte de energia alternativa?

INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA COSMOLOGIA

Desde a Grécia antiga, o homem vem ensaiando uma representação do universo a partir dos fenômenos observáveis. Admitiam os gregos que o universo se compunha de esferas concêntricas, com a Terra no centro. As rotações dessas esferas explicavam o movimento diurno e os movimentos dos planetas em relação às estrelas. Na esfera exterior estavam fixadas as estrelas. Ali terminavam as fronteiras do universo.

No início do século XVII o limite do universo se expandiu. A via-láctea passou a ser a nova fronteira. No século XX o conhecimento do universo expandiu-se consideravelmente. Os grandes telescópios registram distâncias fabulosas. Constroem-se hoje modelos teóricos do universo que permitem explicar todos os fenômenos que se conhecem através das observações ópticas ou radioastronômicas.

O universo hoje não tem fronteiras e tão grande quanto ele é a curiosidade do homem na busca incansável para compreender os seus mistérios. Parte dessa curiosidade é o que veremos nas aulas seguintes.

AULA 11: COSMOLOGIA

Desde os primórdios da história registrada, os seres humanos tem especulado acerca da origem e do futuro do Universo, um ramo da ciência que hoje em dia é chamado de cosmologia. Até o século XIX, estas especulações eram realizadas principalmente pelos filósofos e teólogos, pois não havia evidência experimental de qualquer espécie que pudesse formar a base de alguma teoria científica. Neste século, duas importantes descobertas experimentais, a expansão do universo e a radiação cósmica de fundo, apontaram o caminho em direção a uma teoria coerente que é agora aceita por quase todos os físicos.

Os objetos mais distantes que podemos “ver” são os quasares, a distâncias da ordem de até 13×10^9 anos-luz. Ao olharmos para o espaço sideral, também estamos olhando para o passado. Então, se observamos um quasar a esta distância estamos vendo como ele era a 13×10^9 anos atrás, quando os fótons que estamos recebendo agora iniciaram a sua longa e demorada viagem até nós. Uma vez que o Big Bang, que representa a criação do universo, ocorreu há cerca de 15×10^9 anos, estamos olhando para um passado próximo dos tempos iniciais do universo.

Se observarmos as galáxias distantes, além das nossas vizinhas mais próximas, descobriremos um fato assombroso – as galáxias estão todas se afastando de nós.

Em 1929, Edwin P. Hubble estabeleceu uma relação entre a velocidade v de afastamento de uma galáxia e a distância d da galáxia em relação a nós, mostrando que as duas grandezas eram proporcionais uma à outra. Isto é, $v = H.d$ (Lei de Hubble), onde H é a constante de Hubble e em o valor $H \cong 17 \times 10^{-3}$ m/s.anos-luz.

O valor da constante de Hubble é um tanto impreciso em virtude da dificuldade de medição das distâncias das galáxias remotas. Essas distâncias são estabelecidas por um complicado encadeamento de medidas e de hipóteses, que

começam com as medidas das estrelas vizinhas mais próximas através de um processo chamado de paralaxe.

A interpretação que fazemos da Lei de Hubble é a de que o universo está em expansão, de uma forma muito semelhante à que ocorre quando as passas de um bolo se afastam, umas das outras, à medida que o bolo cresce. Observadores em outras galáxias verificariam que as galáxias distantes deles também estariam se afastando de acordo com a lei de Hubble. Considerando a analogia em referência, todas as passas do bolo são equivalentes.

A lei de Hubble ajusta-se bem à hipótese do Big Bang. O que estamos vendo é a expansão dos fragmentos da explosão primordial.

Em 1965, Arno Penzians e Robert Wilson estavam testando um delicado receptor de microondas usado em pesquisas de comunicações. Descobriram então um fraco ruído que permanecia imutável em intensidade, qualquer que fosse a direção da antena. Ficou claro que Penzians e Wilson estavam observando uma radiação de fundo em microondas, gerada no universo primitivo e que enchia todo o espaço quase uniformemente.

Essa radiação originou-se cerca de 300000 anos depois do Big Bang, quando o universo subitamente tornou-se transparente à radiação eletromagnética. Naquela época a radiação presente corresponderia, talvez, a uma temperatura de 10^5 Kelvins. À medida que o universo se expandiu, a temperatura foi caindo, até os 2,7 K dos dias de hoje, assim como se reduz a temperatura de um gás que se expande adiabaticamente.

Durante muitos anos, Vera Rubin e sua equipe, mediram as velocidades de rotação de galáxias distantes. As conclusões a que chegaram são surpreendentes: a velocidade orbital dos corpos na borda externa visível de uma galáxia em rotação é mais ou menos a mesma que a dos corpos que estão nas proximidades do centro galáctico.

Não é isso o que se observa no sistema solar. A velocidade orbital de Plutão (o planeta mais distante do sol) é apenas um décimo da de Mercúrio (o planeta mais próximo do sol).

A única explicação para a descoberta de Rubin, coerente com a mecânica newtoniana, é a de existir muito mais matéria numa galáxia típica em rotação do que podemos, na realidade, observar. Na realidade, a porção visível de uma galáxia representa apenas cerca de 5 a 10% da massa total da galáxia.

Você não deve imaginar o Big Bang como uma grande bomba pirotécnica e que, pelo menos em princípio, seria possível ficar de lado e observá-lo. Não há como “ficar de lado”, pois o Big Bang representa o início do próprio espaço-tempo. Do ponto de vista do universo atual, não há ponto do espaço sobre o qual se possa dizer, “o Big Bang aconteceu aqui”. O Big Bang aconteceu em todo o espaço.

Alem disso, não há tempo “antes do Big Bang”, pois o tempo principiou com esse evento. Vamos ver o que ocorreu em alguns intervalos de tempo sucessivos ao da criação do tempo.

Entre zero (Big Bang) e 10^{-43} s. Neste diminuto porém importante período pouca coisa conhecemos, pois as leis da física, como as conhecemos, não valiam. No instante

10^{-43} s, a temperatura do universo é de cerca de 10^{23} K e o universo se expande rapidamente.

Entre 10^{-43} s e 10^{-35} s. Durante este período, as forças forte, fraca e eletromagnética atuam como uma única força descrita pela Teoria da Grande Unificação. A gravitação atua separadamente, como nos dias de hoje.

Entre 10^{-35} s e 10^{-10} s. A força forte se “congela” deixando a força eletrofraca continuar a atuar, como força unificada.

Entre 10^{-10} s e 10^{-5} s. Todas as quatro forças aparecem separadamente, como nos dias de hoje. O universo é constituído por uma “sopa” quente de quarks, léptons e fótons.

Entre 10^{-5} s e 3 min. Os quarks se unem para formar mésons e bárions. A matéria e a antimatéria se aniquilam, desaparecendo a antimatéria e deixando um ligeiro excesso de matéria com a qual se forma o nosso presente universo.

Entre 3 min e 10^5 anos. Os prótons e nêutrons se juntam para formar os núclídeos leves com as abundâncias que encontramos hoje. O universo é constituído por plasma de núcleos e elétrons.

Entre 10^5 anos e hoje. No principio deste período, os elétrons podiam orbitar em torno dos prótons, a fim de formar átomos de hidrogênio, sem serem imediatamente expulsos das órbitas pelos fótons presentes. A luz que foi emitida durante a formação desses átomos é a radiação de fundo em microondas que foi detectada por Penzians e Wilson em 1965. Então, a radiação libertada pelos átomos durante esses tempos antigos nos dá uma imagem de como era o universo quando tinha cerca de 10^5 anos de idade.

Medidas feitas depois de 1965 sugeriram que a radiação de fundo em microondas é uniforme em todas as direções, o que significa que toda matéria (partículas e átomos) no universo estava distribuída uniformemente, quando o universo tinha 10^5 anos. Essa descoberta é intrigante, pois a matéria, no universo atual, não está distribuída uniformemente, mas se agrupa em galáxias, em aglomerados de galáxias e em superaglomerados galácticos. Existem também grandes vazios, com relativamente pouca matéria, e regiões tão cheias de matéria que são denominadas paredes. Se a teoria do Big Bang, sobre o inicio do universo, for mesmo aproximadamente correta, as sementes desta distribuição não-uniforme de matéria devem ter existido antes de o universo ter 10^5 anos e devem manifestar-se, hoje, por uma distribuição não-uniforme da radiação de fundo.

Em 1992, as medições feitas pelo satélite Explorador do Fundo Cósmica, da NASA, revelaram que a radiação de fundo não é, de fato, perfeitamente uniforme.

AULA 12: QUESTÕES SOBRE COSMOLOGIA

Questão 1: Você teria outra teoria para explicar a formação do universo ou você concorda com a teoria do Big Bang?

Questão 2: Qual a importância do estudo da cosmologia? Você acha que isto, de alguma forma, tem a ver com o nosso cotidiano?

Questão 3: O que é um Quasar?

Questão 4: Como você explicaria a radiação cósmica de fundo?

Questão 5: Quando se formaram as primeiras galáxias?

Questão 6: O que você entende por matéria escura?

Questão 7: Você já ouviu falar sobre Buracos Negros? Qual a idéia que você faz sobre isto?

Questão 8: Existe algo mais antigo do que o próprio universo?

Questão 9: Na sua opinião, podemos encontrar nas estrelas respostas para melhorar nossa qualidade de vida? Como?

A APLICAÇÃO PRELIMINAR DO PROJETO

Nesse instante devo deixar claro que este trabalho se apresenta como uma proposta, não tendo sido aplicado efetivamente em sala de aula. Desta forma, não há dados suficientes para um julgamento criterioso e conclusivo de sua aplicabilidade. Entretanto, a curiosidade no sentido de saber como ele seria recebido por meus alunos levou-me a fazer uma aplicação experimental do mesmo, conforme passo a relatar:

Atividade semelhante àquela proposta na aula 8 foi realizada numa escola privada de Criciúma com alunos da segunda série do ensino médio. A sua aplicação ocorreu na metade do último bimestre e desenvolveu-se conforme o relato a seguir.

Lançou-se a idéia de um debate em sala de aula com o tema energia nuclear. A proposta foi bem aceita pela turma e então se formaram três grupos: os que defenderiam, composto por oito alunos; o contrário, composto por doze alunos, e os que fariam parte de um júri, composto por dez alunos.

O grupo favorável à energia nuclear deveria reunir argumentos que sustentassem a sua posição, o mesmo ocorrendo com os contrários. O grupo pertencente ao júri teria a incumbência de julgar e apresentar, por escrito, o seu parecer. O debate ocorreria na semana seguinte no horário de aula.

Os dois grupos, favoráveis e contras, muniram-se de revistas, fitas de vídeo, artigos retirados da internet, livros que usaram para defender sua posição. Os debates foram acirrados mas de forma ordeira. A atividade levou o tempo de duas aulas e só foi concluído na aula seguinte quando o grupo do júri deu, individualmente, seus pareceres. O resultado final foi: a favor 2 votos, contra oito votos.

Os votos favoráveis (dois) foram justificados da seguinte maneira: a energia nuclear é mais barata que outras formas de energia, não há necessidade da desapropriação de áreas de terra para formação de lago, no caso das usinas hidrelétricas e nem de áreas devastadas na exploração de carvão, no

caso das usinas termoelétricas. Vale a pena ressaltar que a atividade foi realizada em Criciúma, conhecido centro de exploração mineral.

Os votos contrários (oito) foram justificados assim: o perigo constante de vazamento de radiação, acidentes como no caso de Chernobyl e principalmente a questão do lixo radioativo. Acreditam não valer a pena correr tantos riscos. O fato de essa energia poder ser utilizada militarmente também foi citado.

A avaliação do projeto, segundo os alunos, foi muito boa por que eles participaram de uma aula diferente e que foi construída por eles mesmos.

Conversando com colegas, professores de física, e que realizaram atividade semelhante, fui informado que o desenvolvimento e o resultado obtidos foi bem parecido com os que relatei acima. Essa idéia é reflexa de experiência nesse sentido que participei quando do curso Pró-Ciências, pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Outro tópico deste trabalho, aplicado em sala de aula foi Cosmologia. Este tópico foi abordado na primeira semana de aula de fevereiro de 2001, nos dia 21 e 22, num total de 3 (três) aulas. O tópico foi escolhido pelos próprios alunos e serviu como experiência a ser relata a seguir.

Quando iniciamos a aula percebi que a teoria do Big Bang, por exemplo, já era familiar aos alunos. Alguns citaram o fato de já terem estudado o assunto nas aulas de geografia. Perguntei então se eles poderiam descrever a teoria, o que, alias, todos o fizeram. Entretanto, não tinham explicação para a radiação de fundo e buracos negros, por exemplo. Sobre buracos negros dois alunos responderam tratar-se de uma região no espaço que tragava toda forma de energia.

Foi distribuído um texto sobre cosmologia e a seguir responder o questionário proposto na aula 11 deste trabalho. Na aula seguinte foi passado o vídeo com o título Mistérios do Universo.

A avaliação da atividade pelos alunos foi que o conteúdo era muito fácil, alguns disseram que se a disciplina de física fosse dada sempre assim eles só tirariam nota 10 nas provas.

CONCLUSÃO

Das experiências anteriormente descritas, ainda que experimentalmente, pode-se concluir que o aluno é parte interessada na mudança do estudo da física, principalmente quando ele está diretamente ligado na construção do seu próprio conhecimento. Entretanto, percebe-se que apenas discutir a parte conceitual da física e ilustrar as aulas com o recurso do vídeo não são suficientes para se obter do aluno um máximo de aproveitamento. O aluno quer participar também apresentando sugestões e ser informado de forma convincente. Fazer o aluno trocar a sua concepção por conceitos novos nem sempre é uma tarefa fácil.

As atividades executadas em sala de aula relatadas aqui, foram enfocadas de maneira a propiciar a discussão, respeitando sempre a concepção prévia do aluno.

Procurou-se passar os conteúdos através do debate, da troca de informação e do respeito às opiniões contrárias.

Sabemos que a preocupação com as provas funciona, invariavelmente, como agente inibidor do aluno, que passa a se comportar de forma não natural. Quando retiramos essa obrigação a sua capacidade cognitiva aumenta consideravelmente.

Outro ponto refere-se a parte matemática empregada no estudo da física que tende a amedrontar o aluno, preocupando-o muito mais com os aspectos algébricos do que a sua fundamentação teórica.

Resumindo, a simples introdução da física moderna no ensino médio não fará que os nossos alunos se interessem mais em estudá-la, é necessário que o aluno seja inserido como parte integrante do seu estudo.

Este trabalho não se propõe e com certeza não é a verdade absoluta na construção de uma nova metodologia para se ensinar uma disciplina tão fascinante e, ao mesmo tempo, tão cheia de desafios, quanto à Física. Mas, certamente, é um passo na direção certa, corrigindo-se as falhas que o futuro poderá apontar.

ANEXO I

DEDUÇÃO DO VALOR DE γ :

$$2d = c\Delta t_t \text{ (I)}$$

$$2X = c\Delta t_s \text{ (II)}$$

$$2a = v\Delta t_s \text{ (III)}$$

$$X^2 = d^2 + a^2 \text{ (IV)}$$

Isolando-se d , X , a nas equações I, II e III obtemos:

$$D = c\Delta t_t / 2$$

$$X = c\Delta t_s / 2$$

$$A = v\Delta t_s / 2$$

Substituindo os valores obtidos na equação IV temos:

$$(c\Delta t_s/2)^2 = (c\Delta t_t/2)^2 + (v\Delta t_s/2)^2$$

$$c^2\Delta t_s^2 = c^2\Delta t_t^2 + v\Delta t_s^2$$

Rearranjando os membros da equação:

$$\Delta t_s^2 \cdot (c^2 - v^2) = \Delta t_t^2 \cdot c^2$$

$$\Delta t_s^2 / \Delta t_t^2 = c^2 / c^2 - v^2$$

Dividindo o numerador e o denominador do segundo membro por c^2 :

$$\Delta t_s^2 / \Delta t_t^2 = 1 / (v/c)^2$$

Portanto:

$$\Delta t_s / \Delta t_t = 1 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Damos o nome γ ao fator $1 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$

Então:

$$\Delta t_s = \gamma \cdot \Delta t_t$$

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HALLIDAY, D., RESNICK, R. WALKER, J., *Fundamentos de Física, vol. 4 (Ótica e Física Moderna, 4.ed., LTC, 1995.*

WILLIAMS, John E., METCALFE, H. Clark, TRINKLEIN, Frederick E., LEFLER, Ralph W., MELLO, Luiz Jorge da Silva, *Física Moderna Curso Programado, vol. 2, Renes, 1970.*

ISAACS, Alan e PITT, Valerie, *FÍSICA (Série Prisma),* Edições Melhoramentos, Editora da Universidade de São Paulo, 1976.

SEARS, Francis., ZEMANSKY, Mark W., YOUNG, Hugh D., *Física, vol.4, Ondas Eletromagnéticas, Óptica, Física Atômica,* Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1981.

EISBERG, Robert M., LERNER, Lawrence S., *Física – Fundamentos e Aplicações, vol.4,* São Paulo, MacGraw-Hill do Brasil, 1983.

LEUTE, Richard., *Física em Resumo,* São Paulo, EPU, 1977.

TIPLER, Paul A., *Física,* Rio de Janeiro, Guanabara dois, 1978.

BLACKWOOD, Oswald H., HERRON, Wilmer B., KELLY, Williams C., *Física na Escola Secundária,* Fundo de Cultura, 1958.

SCHAUM, Daniel, *Física Geral,* São Paulo, MacGraw-Hill do Brasil, 1973.

LANDAU, L., RUMER, Y., *O que é Teoria da Relatividade?,* São Paulo, Hemus, s.d.

NETO, Luciano Del Giudice., *Física, vol.3*, FTD, s.d.

CHIQUETO, Marcos., VALENTIM, Barbara e PAGLIARI, Estéfano., *Aprendendo Física, vol.3, Eletromagnetismo e Introdução à Física Moderna*, Scipione, 1996.

ALVETTI, Marco A . Simas., DELIZOICOV, Demetrio., *Ensino de Física Moderna e contemporânea e a revista Ciência Hoje*, in VI-EPEF, Florianópolis/SC, 1998.

ANGOTTI, J.A.P., *Combustões: conceitos unificadores e princípios de conservação*. In Atas do X SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física, Londrina(PR), 1993.

ANGOTTI, J.A. P., *Ensino de Ciências e complexidade*. In Atas em CD-Rom do II ENPEC – Encontro Nacional de Ensino de Ciências, Valinhos(SP), 1999.

ANGOTTI, J. A . P., *Fragmentos e totalidade no conhecimento científico e no ensino de ciências*. Tese de doutoramento.São Paulo, USP/FEUSP, 1991.

AUTH, M. A ., ANGOTTI, J. A .P., *Ciência e Tecnologia: implicações sociais e o papel da educação*. In *Ciência e Educação*, vol. 07, nº 1, 2001.

CAMARGO, Antonio José. *A Introdução da Física Moderna no 2º grau: obstáculos e possibilidades*. Florianópolis/SC, Dissertação de Mestrado, UFSC/CED, 1996.

CAVALCANTE, M. A ., JARDIM, V., ALMEIDA BARROS, J. A ., *Inserção de Física Moderna no Ensino Médio: difração de um feixe laser.*, in *Caderno Catarinense de ensino de Física*. Universidade federal de Santa Catarina(UFSC), vol 16, nº 2, 1999.

OSTERMANN, F., CAVALCANTI, C.J.de H., *Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais*, in caderno Catarinense de Ensino de Física. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), vol 16, nº3, 1999.

VALADARES, E. de C., MOREIRA, A.M., *Ensinando física moderna no 2º grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro*, in Caderno Catarinense de Ensino de Física. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), vol 15, nº 2, 1998.

DELIZOICOV, D., ANGOTTI, J.A .P., *Física, Coleção Magistério – 2º grau – 2ª edição*. São Paulo, Cortez, 1991.

PEDUZZI, L. O., *As concepções espontâneas, a resolução de problemas, a história e a filosofia da ciência em um curso de mecânica*. Tese de Doutorado. UFSC/CED, 1998.

TERRAZAN, E. A ., *A inserção da física moderna no ensino médio*. Tese de Doutorado, USP, FEUSP, 1994.

BRITANNICA, Encyclopaedia Britannica Educational Corporation. *Energia Nuclear, Magnetismo e Raio Laser – nº 3175 – O que é Raio Laser (vídeo)*. Barsa vídeo Divulgação Cultural Ltda. São Paulo.

GLOBO MULTIMÍDIA – CD-ROM: *Como as coisas Funcionam 2.0*. Editora Globo. São Paulo, 1997.