



Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola

Afísica é, sem dúvida, um dos mais claros e bem sucedidos exemplos de construção do conhecimento humano, mesmo quando não se está falando apenas de conhecimento científico. Conseqüentemente, para formar um cidadão pleno, consciente e participativo na sociedade, é necessário proporcionar-lhe acesso a esse conhecimento, não apenas no sentido prático do aprendizado escolar, mas também no sentido da física como visão de mundo, como cultura¹. Sua aprendizagem deve ser facilitada, e isso é feito primordialmente na escola, em particular no nível médio. No entanto, é possível verificar que este papel não está sendo cumprido.

Desde as últimas décadas, a deterioração da qualidade do ensino de física nas escolas, sobretudo da rede pública, é uma situação alarmante. Não é difícil constatar a baixa qualificação acadêmica dos professores, a desmotivação dos estudantes, a abordagem excessivamente formulística da física, enfim, uma visão do tipo “colcha de retalhos” dessa ciência, com demasiada ênfase no ensino da cinemática, a ausência da física moderna e contemporânea nos currículos escolares, apenas para citar alguns problemas nesta área específica. Transformar esta realidade não é trivial, pois ela está contextualizada em um cenário mais amplo de pouca vontade política de melhorar a educação em nosso país.

Pesquisando na área de ensino de física, temos tentado encarar certos desafios através da incorporação de resultados dessa pesquisa à formação do professor. Em particular, estamos investigando a respeito da inserção de tópicos de **física moderna e contemporânea (FMC)** em escolas de nível médio e na formação de professores. Parece que essa linha pode contribuir

para minimizar alguns problemas acima apontados. O entusiasmo dos estudantes em aprender, na própria escola, assuntos que lêem em revistas de divulgação, em jornais ou na internet, justifica definitivamente a necessidade da atualização curricular. Além disso, FMC pode ser instigante para os jovens, pois não significa somente estudar o trabalho de cientistas que viveram centenas de anos atrás, mas também assistir cientistas falando na televisão sobre seus experimentos e expectativas para o futuro. Estudar problemas conceituais existentes na FMC envolve os estudantes nos desafios filosóficos de alguns aspectos da física. O fato de que nem tudo, no mundo científico, é sabido ou entendido, modifica a idéia que os alunos em geral têm de física - um assunto que é uma “massa” de conhecimentos e fatos, um livro fechado. Ou são mostrados aos jovens os desafios a serem enfrentados pela física no futuro ou eles não serão encorajados a reconhecer essa ciência como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles².

No sentido de proporcionar uma visão de mundo mais atualizada a nossos estudantes, estamos investindo em mudanças na licenciatura em física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul já há algum tempo. O objetivo é formar professores críticos em relação ao currículo de física e com ferramentas que possibilitem o enfrentamento da questão da atualização curricular. Essa experiência de ensino envolveu, até o presente momento, estagiários da disciplina Prática de Ensino de Física e escolas da rede pública e privada de Porto Alegre, levando a quase seiscentos estudantes de ensino médio temas atuais de física. Um passo importante para a implementação dessas mudanças consistiu

.....
Fernanda Ostermann

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS

e-mail: fernanda@if.ufrgs.br
.....

.....
Cláudio J. de H. Cavalcanti

Centro Universitário La Salle, Canoas, RS

e-mail: cjhc@if.ufrgs.br
.....

Já é hora de temas mais atuais passarem a fazer parte dos currículos de física e ciências em geral. O artigo, descreve um pôster para auxiliá-lo no ensino de um dos mais instigantes temas da física contemporânea: as partículas elementares. O pôster encontra-se na última capa da revista.

na preparação de textos e materiais didáticos sobre tópicos de FMC. Dentre esses materiais, elaborou-se um pôster colorido sobre **partículas elementares e interações fundamentais** (Figura 1). Ele foi criado a partir da necessidade de suprir uma grande escassez, em nosso meio, de materiais didáticos sobre temas de FMC escritos em língua portuguesa³. A seguir, descreveremos com detalhes o conteúdo e a estrutura desse pôster.

Informações Contidas no Pôster

Na Figura 1 vemos o pôster completo, cujos setores são organizados como mostra a Figura 2. Cada setor está reproduzido e comentado ao longo do texto.

O esquema central do setor 1 (Figura 3) mostra quais são as partículas fundamentais existentes no universo. Primeiramente foram agrupadas as partículas que não possuem estrutura

interna (são os “blocos”, até o momento considerados indivisíveis, que constituem toda a matéria do universo): quarks, léptons e partículas mediadoras. Na natureza, os quarks se agrupam somente de duas maneiras diferentes. Esses dois tipos de agrupamento formam os sistemas chamados de hádrons, que se dividem em bárions (constituídos por três quarks) e os mésons (constituídos por um par quark-antiquark). Este esquema encaminha para as quatro tabelas existentes no setor. Na parte superior esquerda, vê-se a tabela dos seis quarks e dos seis léptons e nela estão algumas de suas propriedades (massa de repouso e carga elétrica). Essas partículas possuem spin semi-inteiro e são divididas em três gerações, sendo classificadas como férmions. As duas primeiras linhas correspondem à primeira geração, a terceira e a quarta linhas à segunda geração e as duas últimas linhas formam a terceira

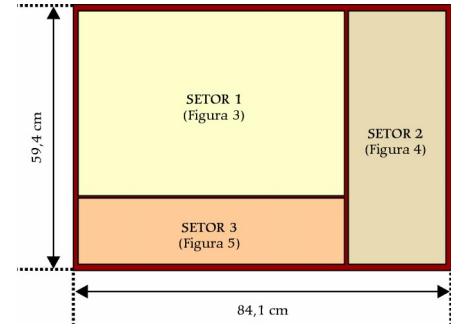


Figura 2. A estrutura do pôster segundo os seus setores.

ra geração. A primeira geração constitui a matéria estável do universo. Por exemplo, observando os elementos químicos em uma tabela periódica, constata-se que eles são compostos de quarks u e d (presentes nos prótons e nêutrons) e de elétrons.

Na física contemporânea o conceito de força dá lugar à idéia de interação via troca de partículas, chamadas partículas mediadoras. Na parte supe-

QUARKS

Quark	Massa (MeV/c ²)	Carga elétrica (e)	Spin	1ª Geração	2ª Geração	3ª Geração
u	~2.3	2/3	1/2	✓		
d	~4.7	-1/3	1/2	✓		
c	1500	2/3	1/2		✓	
s	~150	-1/3	1/2		✓	
t	~174000	2/3	1/2			✓
b	~4700	-1/3	1/2			✓

LÉPTONS

Lépton	Massa (MeV/c ²)	Carga elétrica (e)	Spin	1ª Geração	2ª Geração	3ª Geração
e	0.511	-1	1/2	✓		
μ	107	-1	1/2		✓	
τ	< 70	-1	1/2			✓
ν _e		0	1/2	✓		
ν _μ		0	1/2		✓	
ν _τ		0	1/2			✓

INTERAÇÕES FUNDAMENTAIS

Propriedades	Gravitacional	Fraca	Elétrica	Forte
Alus em	massa ou energia	sabor	carga elétrica	carga de cor
Partículas mediadoras	gráviton	W ⁺ , W ⁻ , Z ⁰	partículas eletricamente carregadas	glúons
Alcance	infinito	infinito	infinito	~10 ⁻¹⁵
Intensidade	~10 ⁻⁴⁰	~10 ⁻¹⁸	~10 ⁻²	1, 2.4, 0.8

HÁDRONS

Hádron	Composição	Massa (MeV/c ²)	Carga elétrica	Spin
n	udd	940	0	1/2
p	uud	940	0	1/2
π ⁺	uā	140	+1	0
π ⁻	ūd	140	-1	0
K ⁺	uś	494	+1	0
K ⁻	śū	494	-1	0
ρ ⁺	uū	770	+1	1
ρ ⁻	ūū	770	-1	1

MESONS

Meson	Composição	Massa (MeV/c ²)	Carga elétrica	Spin
π ⁺	uā	140	+1	0
π ⁻	ūd	140	-1	0
K ⁺	uś	494	+1	0
K ⁻	śū	494	-1	0
ρ ⁺	uū	770	+1	1
ρ ⁻	ūū	770	-1	1

Diagramas de Interação:

- $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$
- $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$
- Diagrama de interação forte entre quarks mediada por glúons.

Equações e Fórmulas:

- $E = mc^2$
- $1 \text{ MeV} = 1.602 \times 10^{-13} \text{ J}$
- $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$
- $1 \text{ MeV} = 1.073 \times 10^{-21} \text{ kg}$

Textos Explicativos:

- Partículas Fundamentais:** Quarks e léptons são os blocos básicos da matéria. Partículas mediadoras transmitem as forças fundamentais.
- Hádrons:** Formados por quarks, são os blocos da matéria visível. Dividem-se em bárions (três quarks) e mésons (par quark-antiquark).
- Interações:** Gravitacional (todas as partículas), Fraca (sabores), Elétrica (carga elétrica), Forte (carga de cor).

Figura 1. Visão geral do pôster. Veja detalhes na última capa.



Figura 3. Conteúdo do setor 1 do pôster.

rior direita está a tabela das partículas mediadoras das interações fundamentais (eletrofraca, forte e gravitacional). Uma boa analogia para compreender esse mecanismo seria considerar dois jogadores de vôlei, onde a bola é a partícula mediadora da interação repulsiva entre eles⁴. Quando o primeiro jogador impulsiona a bola, ele sofre um recuo, por conservação de momentum linear. O segundo, ao receber e devolver a bola, também sofrerá um recuo, resultando em uma repulsão efetiva entre os dois devido à troca da bola.

Essa tabela também fornece a massa de repouso e a carga elétrica de cada uma das partículas mediadoras. Por possuírem spin inteiro, são classificadas de bósons. No espaço reservado ao gráviton existe um símbolo (um olho com um "X" superposto) denotando que ele ainda não foi observado experimentalmente.

A esfera que aparece abaixo destas duas tabelas (quarks & léptons e partículas mediadoras) é usada para representar partículas sem estrutura interna.

Na parte inferior esquerda aparece uma tabela com alguns exemplos de bárions, que são hádrons formados por três quarks. Para cada bárion é apresentado o seu correspondente antibárion (formado por três antiquarks). Toda partícula possui a sua correspon-

dente antipartícula, simbolizada por uma barra acima do símbolo da partícula. Partícula e antipartícula têm massa e spin idênticos, mas cargas opostas. Por exemplo, a antipartícula do elétron é o pósitron, que possui mesma massa de repouso, mesmo spin e carga elétrica de mesmo valor, porém com sinal positivo.

Esta tabela fornece, além das massas de repouso e das cargas elétricas, o spin e a composição de quarks para cada bárion e antibárion. Observe que a massa do próton, por exemplo, é maior que a soma das massas de seus quarks constituintes. Isto se deve à equivalência massa-energia. Parte da massa do próton deve-se à energia de confinamento dos quarks. O símbolo abaixo desta tabela ilustra que os bárions são compostos por três quarks. Estes estão unidos através da troca de glúons, simbolizados por uma espécie de "cola".

Na parte inferior direita aparece outra tabela com alguns exemplos de mésons, que são hádrons formados por um par quark-antiquark. Para cada méson é também apresentado o seu correspondente antiméson, com as massas de repouso e as cargas elétricas, o spin e a composição de quarks para cada um deles. O símbolo abaixo desta tabela é usado para mostrar que os mésons são compostos por um par

quark-antiquark. Além disso, aparecem, neste setor, várias explicações: o sistema de unidades utilizado, a relação massa-energia de Einstein, a conversão de MeV/c² em kg, uma analogia clássica do spin, a unificação das interações eletromagnética e fraca e o que são bósons e férmions.

O setor 2 (Figura 4) trata das quatro interações fundamentais da natureza:

- interação gravitacional;
- interação eletromagnética;
- interação forte;
- interação fraca.

Este setor tem na sua parte superior uma tabela que resume todas as interações fundamentais e suas propriedades principais.

Interação Gravitacional

Quaisquer corpos que possuem massa atraem-se mutuamente. Esta

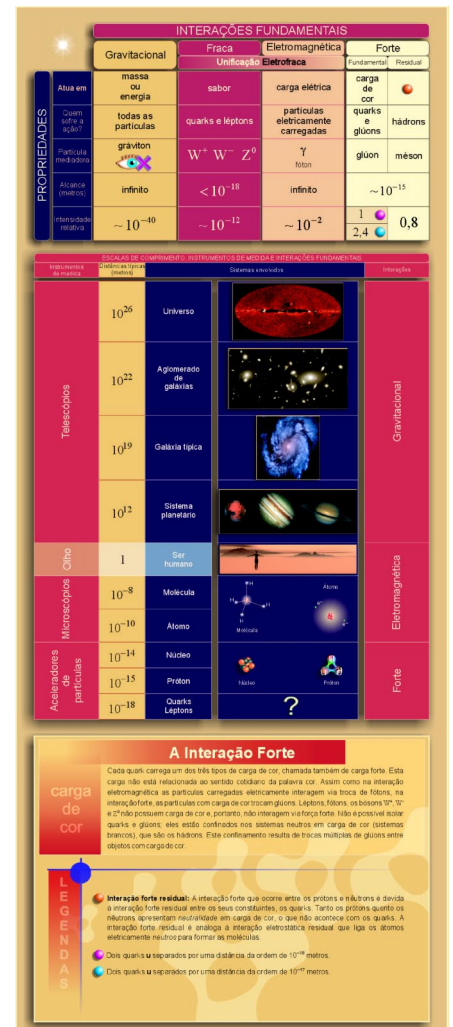


Figura 4. Conteúdo do setor 2 do pôster.

é a chamada interação gravitacional, que diminui de intensidade quanto maior for a distância entre os corpos. É ela que rege o movimento dos corpos celestes no universo. Já no campo da física de altas energias esta interação não será importante quando a energia cinética da partícula for muito maior que sua energia potencial gravitacional, o que normalmente acontece.

A interação gravitacional é uma interação atrativa de longo alcance (estende-se até o infinito). Sua partícula mediadora é o gráviton (ainda não detectado experimentalmente)

Mas é claro que todos os objetos com massa experimentam a interação gravitacional, mesmo quando esta é muito fraca. A partícula mediadora da interação gravitacional é chamada de gráviton, que nunca foi detectada experimentalmente. A interação gravitacional é uma interação atrativa de longo alcance (matematicamente, infinito). Na tabela superior do setor 2, vê-se suas propriedades principais. Esta interação afeta massa ou energia, todas as partículas experimentam esta interação, sua partícula mediadora é o gráviton (na tabela está indicado por um símbolo o fato desta partícula ainda não ter sido detectada experimentalmente) e seu alcance é infinito. Na última linha desta tabela é dada a intensidade relativa, tomando-se como unidade a interação forte fundamental, no caso em que dois quarks u estão separados por uma distância da ordem de 10^{-18} metros. A interação forte fundamental é 10^{40} vezes mais forte do que a interação gravitacional, aparecendo o fator 10^{-40} para a sua intensidade relativa.

Interação Eletromagnética

Na interação eletromagnética está envolvida a carga elétrica que os corpos possuem. Partículas carregadas, tais como o elétron e o próton, experimentam uma interação eletromagnética atrativa, pois possuem cargas de sinais contrários.

A interação eletromagnética pode ser atrativa ou repulsiva, de longo alcance. Sua partícula mediadora é o fóton

Partículas com cargas de sinais iguais se repelem. Já as partículas neutras (como o nêutron e o neutrino), não

interagem eletromagneticamente. É por meio da interação eletromagnética que os elétrons e o núcleo estão unidos formando os átomos. Como no caso da interação gravitacional, a interação eletromagnética é de longo alcance. Sua intensidade depende da carga das partículas e torna-se cada vez mais fraca à medida que a distância entre as partículas aumenta. A

partícula mediadora desta interação é o fóton. A primeira evidência experimental de sua "existência" foi em 1905, quando Einstein explicou o efeito fotoelétrico, atribuindo à luz propriedades corpusculares, através da hipótese de que sua energia é armazenada em pequenos pacotes (ou *quanta*) de energia: os fótons. Todas as propriedades acima descritas estão sintetizadas na tabela superior do setor 2. A sua intensidade em relação à interação

A interação forte fundamental é uma interação atrativa, de curto alcance, que atua na carga de cor dos quarks. Sua partícula mediadora é o glúon

forte fundamental aparece na última linha e é dada pelo fator 10^{-2} . Isso indica que a interação eletromagnética é tipicamente 100 vezes menos intensa do que a interação forte fundamental, no caso tomado como padrão.

Interação Forte

Na tabela superior do setor 2 vê-se que a interação forte se subdivide em duas: a interação forte fundamental e a interação forte residual. A interação forte fundamental ocorre entre os quarks, que compõem, por exemplo, os prótons e nêutrons do núcleo. Esta interação atua em carga de cor, uma propriedade que somente os quarks apresentam. Cada quark

carrega um dos três tipos de carga de cor (vermelho, verde e azul), chamada também de carga forte. Esta carga não está relacionada ao

sentido cotidiano da palavra cor. Essa nomenclatura foi utilizada apenas para designar uma propriedade quan-

tica dos quarks.

Assim como na interação eletromagnética, partículas carregadas eletricamente interagem via troca de fótons; na interação forte fundamental, partículas com carga de cor interagem via troca de glúons. Léptons, fótons e bósons W^+ , W^- e Z^0 não possuem carga de cor, não interagindo portanto via interação forte. Não é possível isolar quarks e glúons; eles estão confinados nos sistemas neutros em carga de cor (sistemas brancos), que são os hádrons. Este confinamento resulta de trocas múltiplas de glúons entre objetos com carga de cor. Na parte referente à interação forte fundamental da tabela superior do setor 2, vê-se que a intensidade relativa dessa interação tem dois casos: o caso em que dois quarks u estão separados por uma distância de 10^{-18} metros (ca-

so padrão, em relação ao qual são calculadas todas as intensidades) e o caso em que dois quarks u estão separados por uma distância de 10^{-17}

metros, ou seja, dez vezes mais afastados. No segundo caso, a interação é 2,4 vezes mais intensa do que no primeiro, como mostra a tabela superior do setor 2.

A interação forte residual atua sobre todos os hádrons e se dá via troca de mésons. No caso mais conhecido, é uma interação atrativa que age entre os núcleons (o nome coletivo para prótons e nêutrons). É atrativa para todas as combinações de prótons e nêutrons, ou seja, um núcleon atrai outro núcleon. Ela se deve à interação forte residual entre os constituintes dos núcleons, os quarks. Tanto os prótons quanto os nêutrons apresentam neutralidade em carga de cor, o que não acontece com os quarks. A interação forte residual é análoga à interação eletrostática residual, que liga os átomos eletricamente neutros para formar as moléculas.

Quando confinados no núcleo, prótons e nêutrons estão em média muito próximos entre si. Portanto, a interação eletromagnética repulsiva entre os prótons é muito intensa e ten-

de a romper o núcleo (fissão). A interação forte residual garante a estabilidade do núcleo (por ser mais intensa do que a interação eletromagnética repulsiva nessas distâncias), impedindo o seu rompimento. Esta interação é de curto alcance, pois está restrita a dimensões de 10^{-15} metros, como mostra a tabela.

A interação forte residual é uma interação atrativa, de curto alcance, e atua sobre todos os hádrons. Sua partícula mediadora é o méson

Interação Fraca

A interação fraca é assim chamada porque é fraca em intensidade se comparada à interação forte, tendo uma intensidade relativa da ordem de 10^{-12} . Esta é a interação responsável pelo decaimento β . Os neutrinos são afetados apenas pela interação fraca, já que, se possuem massa, ela é muito pequena (logo praticamente não interagem gravitacionalmente). Além disso, não possuem carga elétrica (o que exclui a interação eletromagnética). Sempre que um neutrino estiver envolvido em uma reação, é sinal de que esta é governada pela interação fraca. As partículas mediadoras desta interação são: W^+ , W^- e Z^0 . Estes mediadores são muito massivos e, ao contrário das outras partículas mediadoras (gráviton, fóton e glúon), que possuem massa de repouso nula, estes têm massa quase cem vezes maior que a massa do próton,

A interação fraca é de curto alcance, e atua sobre os quarks e léptons. Suas partículas mediadoras são o W^+ , o W^- e a Z^0

o que implica que a interação fraca tem um raio de ação limitado, da ordem de 10^{-18} metros.

A tabela superior do setor 2 mostra que quarks e léptons são os que sofrem este tipo de interação, que têm a propriedade de mudar o sabor (tipo de lépton ou quark) das partículas, sendo responsável por qualquer processo de transmutação de uma partícula em outra. A partir daí, pode-se entender a sua importância na evolução da matéria e do universo como um todo, pois é através dessa transmutação que se pode explicar a diversidade de elementos químicos que são observados. O quadro inferior do setor 2 fornece algumas explicações da

tabela superior.

A tabela central do setor 2 tem o título *Escalas de comprimento, instrumentos de medida e interações fundamentais* e contém informações sobre as distâncias típicas de cada interação, seus respectivos ins-

trumentos de medida e os sistemas envolvidos nessas escalas de comprimento. O domínio mais vasto é o da interação gravitacional, que engloba desde os limites conhecidos do universo (que envolve distâncias da ordem de 10^{26} metros), aglomerados de galáxias (distâncias da ordem de 10^{22} metros) e galáxias típicas (distâncias da ordem de 10^{19} metros) até sistemas planetários (distâncias típicas de 10^{12} metros). Essa interação é a principal responsável pela estabilidade desse tipo de sistema. Isso porém não quer dizer que as restantes não estejam presentes nele. Os telescópios (óticos ou radiotelescópios) são os instrumentos de medida mais usados na observação dos sistemas envolvidos na interação gravitacional. A interação gravitacional também engloba o dia-a-dia dos seres vivos, porém não é a preponderante nesse tipo de sistema. Neste caso, entramos no domínio da interação eletromagnética, responsável pela estabilidade das moléculas e átomos e por

qualquer “contato” dos seres vivos entre si e com a matéria, visível ou não. O instrumento de medida principal, nesse sistema, é o olho e as distâncias típicas envolvidas são da ordem de 1 metro. Nessa tabela, é exatamente nesse ponto que começa o domínio da

interação eletromagnética, passando pela molécula (distâncias da ordem de 10^{-8} metros) e indo até o átomo (distâncias da ordem de 10^{-10} metros), onde os elétrons se unem ao núcleo graças a essa interação. Neste caso, o instrumento de medida mais adequado é o microscópio (ótico e eletrônico). No domínio subatômico, a força eletromagnética (embora intensa) deixa de ser a responsável pela estabilidade dos sistemas. No caso dos prótons e nêutrons, que compõem os núcleos, ela é sobrepujada pela interação forte (residual), que mantém o núcleo coeso, apesar da forte repulsão eletromagnética entre os prótons. O domínio da interação forte começa na formação dos núcleos (distâncias típicas da ordem de 10^{-15} metros) e vai até os quarks, confinados dentro dos hádrons (distâncias típicas de 10^{-18} metros). Sistemas que possuem um “tamanho” da ordem de 10^{-18} metros são os quarks e os léptons. No entanto, apenas os quarks experimentam essa interação. Os instrumentos de medida (indireta) relativos a essa interação mais comumente utilizados são os aceleradores de partículas.

No setor 3 (Figura 5), aparecem três quadros que ilustram (da esquerda para a direita) a estrutura atômica segundo o modelo atualmente aceito, o decaimento beta do nêutron e a aniquilação de um par quark-antiquark. Vê-se, no quadro do modelo atômico atual (onde está representado um átomo de hélio), que o próton e o nêutron, que compõem o núcleo, são bárions, ou seja, cada um deles é composto por três quarks. O próton tem dois quarks u e um quark d. Já o nêutron, dois quarks d e um u. Os elétrons, conforme mostra a figura, não têm estrutura interna. As dimensões no átomo são as seguintes: os elétrons

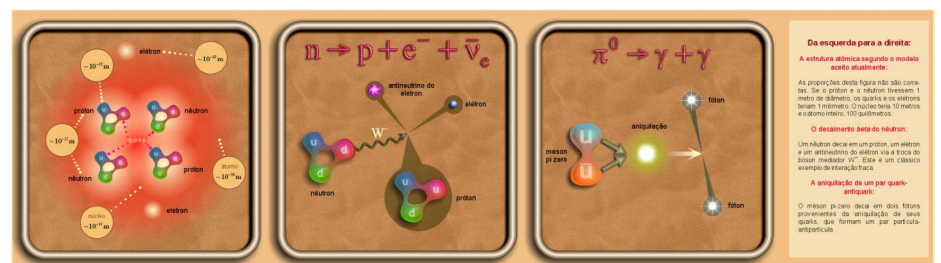


Figura 5. O setor 3 do pôster.

e os quarks (as partículas sem estrutura interna) têm um “tamanho” de 10^{-18} metros; o próton e o nêutron, 10^{-15} metros; o núcleo, 10^{-14} metros e o átomo, 10^{-10} metros. As proporções desta figura não são corretas. Se o próton e o nêutron tivessem 1 metro de diâmetro, os quarks e os elétrons teriam 1 milímetro. O núcleo teria 10 metros e o átomo inteiro, 100 quilômetros.

No quadro do centro (decaimento beta do nêutron), vê-se que um nêutron decai em um próton, um elétron e um antineutrino do elétron via a troca do bóson mediador W^- . Este é um clássico exemplo de interação fraca.

No quadro bem à direita, está representada a aniquilação de um par quark-antiquark. O méson pi-zero

decai em dois fótons provenientes da aniquilação de seus quarks, que formam um par partícula-antipartícula. O texto que aparece nesse setor está,

A concepção da física como uma ciência estruturada pode ser discutida com os alunos a partir da percepção de que todos os “infinitos” tipos de força abordados no ensino médio recaem basicamente em quatro interações fundamentais

em grande parte, reproduzido acima. Trata-se da explicação das três figuras apresentadas nesta parte do pôster.

Conclusões

O objetivo deste trabalho foi divulgar um material

didático, em forma de pôster, que possa contribuir para a atualização do currículo de física em escolas brasileiras, através da inserção de um tópico contemporâneo: partículas elementares e interações fundamentais. Trata-se de uma área do ensino médio de física que ainda apresenta pouca tradição didática em nosso país. A contribuição do trabalho aqui

relatado foi a de criar um recurso didático (em português), à luz de materiais desenvolvidos no exterior. A idéia é que este tema possa ser gradativamente introduzido nas escolas, através, por exemplo, de uma visão mais atual da estrutura da matéria, na qual o modelo de átomo não se reduza ao que é normalmente ensinado nas aulas de química. A concepção da física como uma ciência altamente estruturada pode ser discutida com os alunos a partir da percepção de que todos os “infinitos” tipos de força abordados no ensino médio recaem basicamente em quatro interações fundamentais. Como exemplo, pode-se classificar a força de atrito, a força normal, o empuxo ou a tensão em uma corda como manifestações da interação eletromagnética.

Espera-se que o pôster apresentado, uma vez integrado à formação inicial e continuada de professores, possa facilitar a inserção desta área fascinante da física nos currículos escolares.

Referências Bibliográficas

1. Menezes, L.C. Uma física para o novo ensino médio. *Física na escola*, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 6-8, out. 2000.
2. Ostermann, F. *Tópicos de física contemporânea em escolas de nível médio e na formação de professores de física*. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Física - UFRGS, 2000. Tese.
3. Ostermann, F.; Cavalcanti, C.J.H. Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 16, n. 3,

p. 267-286, dez. 1999.

4. Particle Data Group. *A aventura das partículas*. <http://www.aventuradasparticulas.ift.unesp.br>. 17 abr. 2001.

Leia Mais

Ostermann, F. Um texto para professores do ensino médio sobre partículas elementares. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 415-436, set. 1999.

Ostermann, F.; Moreira, M.A. Física Contemporânea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. *Enseñanza de las Ciencias*,

Barcelona, v. 18, n. 3, p. 391-404, nov. 2000.

Wilson, B. Particle physics at A-level - a teacher's viewpoint. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 64-65, Mar. 1992.

Na Internet

Fermi National Accelerator Laboratory. <http://www.fnal.gov/> 17 abr. 2001.

Contemporary Physics Education Project. <http://www.cpepweb.org/> 17 abr. 2001.

4. Particle Data Group. *A aventura das partículas*. <http://www.aventuradasparticulas.ift.unesp.br>. 17 abr. 2001.



Desvendando a Física!

Força ‘Inteligente’?

Considere uma massa M presa na extremidade de uma corda que gira com velocidade v em um círculo de raio R . A corda faz um ângulo θ com a vertical. Como todo estudante sabe, a tensão T na corda é dada por

$$T = Mg/\cos\theta$$

e o ângulo θ é dado por

$$\theta = \text{tg}^{-1}(v^2/Rg),$$

onde g é a aceleração da gravidade. Quando a velocidade cresce, o ângulo também aumenta. Como a corda ‘sabe’ que deve variar a tensão?

- a) Devido ao estiramento das ligações químicas?
- b) Pela ação da força gravitacional?

As forças de atrito estático entre duas superfícies também são ‘inteligentes’. Podem variar de zero até um valor máximo. Você conhece outras forças ‘inteligentes’? Cartas ao Editor.

