
FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO: ELABORAÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO, EM FORMA DE PÔSTER, SOBRE PARTÍCULAS ELEMENTARES E INTERAÇÕES FUNDAMENTAIS.

Fernanda Ostermann
Instituto de Física – UFRGS
Porto Alegre - RS
Cláudio J. de H. Cavalcanti
Centro Universitário La Salle
Canoas - RS

RESUMO

Neste trabalho, é apresentado um pôster colorido elaborado em tamanho A1 (84,1 cm × 59,4 cm) que pode ser utilizado como material didático para a incorporação, na formação inicial e continuada de professores, de um tema atual de Física: partículas elementares e interações fundamentais. Este pôster foi criado a partir da tradução e adaptação de materiais do “Contemporary Physics Education Project” (Califórnia, Estados Unidos, 1998) e do curso “Topics in Modern Physics”, organizado pelo Fermi National Accelerator Laboratory (Illinois, Estados Unidos, 1995).

I - Introdução

Parece existir consenso hoje, em nível internacional, quanto à necessidade de introduzir conteúdos de Física Contemporânea nos currículos de Física das escolas de nível médio (e.g., Jones, 1991 e 1992; Aubrecht, 1989; Stannard, 1990; Gil e Solbes, 1993; Fischler e Lichtfeldt, 1992; Arons, 1990; Cuppari et al, 1997; Lawrence, 1996). Físicos, pesquisadores em ensino de Física e professores de Física de nível médio estão participando deste movimento. Tal tendência justifica-se, entre outras razões, pela necessidade de atrair jovens para as carreiras científicas. São eles os futuros pesquisadores e professores de Física. É fundamental também despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles. Além disso, uma boa formação científica faz parte de um pleno exercício da cidadania.

Em vários países, está em andamento um intenso movimento de revisão do currículo de Física para o ensino médio, de modo a inserir nele a Física Contemporânea (e.g., Swinbank, 1992; Barlow, 1992; Solbes et al., 1987). Novos livros e outros materiais estão sendo produzidos dentro de um enfoque contemporâneo (e.g., Fermilab, 1998; Contemporary Physics Education Project, 1998; Particle Physics Group, 1997; Hewitt, 1992; Swinbank, 1997) e diversos temas têm sido propostos.

Em um estudo que realizamos 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 (técnica Delphi) - físicos, pesquisadores em ensino de Física e professores brasileiros de Física do ensino médio - vários temas foram por eles recomendados. Efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita foram alguns dos temas propostos (Ostermann e Moreira, 1998).

Em nosso país, apesar das iniciativas serem bem mais discretas, também observa-se uma certa tendência em se pensar a atualização dos programas de Física no ensino médio.

Mas, na prática, muito pouco tem sido feito nessa linha. Este trabalho, então, visa contribuir para a atualização do currículo de Física em escolas brasileiras, explorando um tema de ponta da pesquisa científica atual: *partículas elementares*.

A idéia de trabalhar com o tema “partículas elementares” surgiu, de certa forma, a partir de um curso – Topics in Modern Physics – assistido pelo primeiro dos autores, no ano de 1995, no Fermi National Accelerator Laboratory, Illinois, Estados Unidos. Durante três semanas, professores de Física do ensino médio, de diversas regiões dos Estados Unidos, foram introduzidos, a partir de seminários, palestras, discussões, visitas aos laboratórios e trabalhos em grupo, ao mundo fascinante da Física de Partículas. Vários materiais foram fornecidos e, ao final, cada professor foi fortemente estimulado a implementar as idéias aprendidas em suas aulas. Apesar de ser ampla a bibliografia e de haver alguns recursos didáticos em inglês sobre o tema, são extremamente escassos os materiais escritos em língua portuguesa, o que, do ponto de vista do ensino médio brasileiro, é um forte obstáculo para a atualização curricular. Iniciou-se então, um trabalho de preparação de materiais, em língua portuguesa, com o objetivo de proporcionar subsídios para a renovação dos currículos das escolas brasileiras de nível médio, pela via da formação do professor. Foi elaborado um texto, dirigido ao professor de ensino médio, de 60 páginas (Ostermann, 1998), em português, baseado em várias referências (e.g., Close, 1983; Schwarz, 1992; Fermilab, 1998; Williams, 1992; Physics Education, v. 27, n.2, 1992; Particle Physics Group, 1997). O texto inclui um breve histórico do desenvolvimento do conceito de átomo, as descobertas do início do século XX, leis de conservação, interações fundamentais, modelo padrão atual. Há também uma tabela que resume as partículas elementares e as interações fundamentais, exercícios e sugestões de atividades. Integrado a este texto, foi produzido um pôster colorido tamanho A1 com o resumo de toda a informação mais

essencial nele contida. A elaboração deste pôster foi inspirada em materiais produzidos por Fermilab (1998) e Contemporary Physics Education Project (1998). O objetivo deste trabalho é divulgar este pôster, mostrando seu enorme potencial como recurso didático para o ensino de Física de Altas Energias em cursos de formação de professores. Na realidade, o pôster e o texto foram elaborados com o objetivo inicial de preparar professores do curso de Licenciatura em Física (na disciplina “Prática de Ensino de Física”) para que, posteriormente, em seus estágios supervisionados, introduzissem o tema nas escolas. Sendo assim, o pôster é bastante completo, incluindo propriedades das partículas (tal como massa de repouso, carga elétrica, spin) cuja discussão no ensino médio poderá não ser factível. Acreditamos, portanto, que seu uso mais imediato seja na formação inicial e continuada de professores de Física de nível médio. É claro que sua utilização nas escolas poderá ser feita, desde que haja um certo cuidado em selecionar informações que não levem o aluno ao mal entendimento do assunto.

II - Informações contidas no pôster

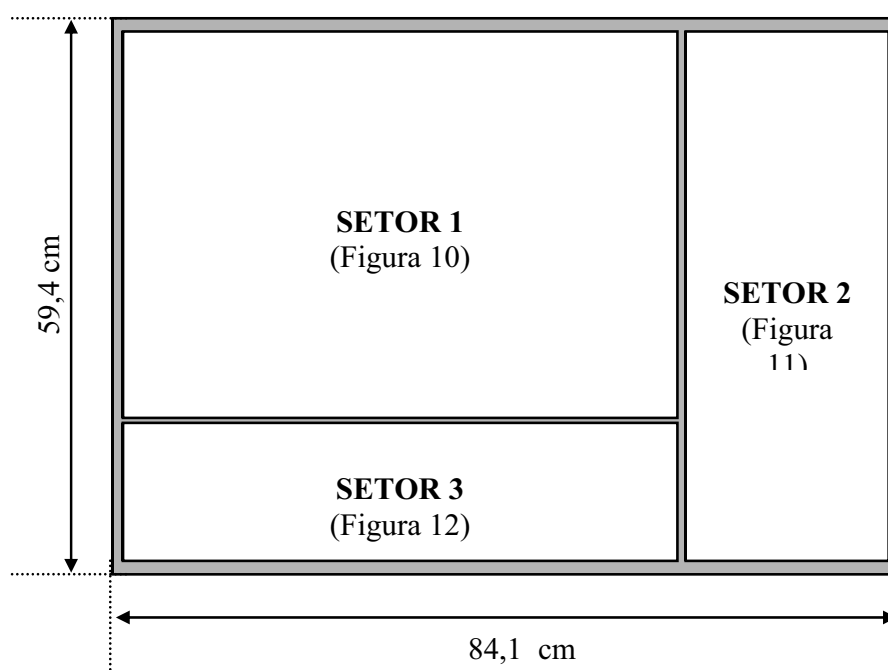


Fig. 1: A estrutura espacial do pôster segundo os seus setores. Estão indicadas suas dimensões reais. Os setores estão reproduzidos ao final do artigo, nas figuras indicadas.

As informações contidas neste pôster serão apresentadas segundo sua estrutura, que está organizada em três setores, conforme mostra a Fig.1. Cada um dos setores está reproduzido (em preto e branco), ao final do artigo.

II.1 - Setor 1

QUARKS				Férmions spin semi-inteiro		LÉPTONS		
Símbolo e nome	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica	Símbolo e nome	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica	Símbolo e nome	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica
u up	~ 5	2/3	ν_e neutrino do elétron	~ 0	0	ν_e neutrino do elétron	~ 0	0
d down	~ 10	-1/3	e elétron	0,511	-1	e elétron	0,511	-1
c charm	1500	2/3	ν_μ neutrino do múon	~ 0	0	ν_μ neutrino do múon	~ 0	0
s strange	~150	-1/3	μ múon	107	-1	μ múon	107	-1
t top	~ 174000	2/3	ν_τ neutrino do tau	< 70	0	ν_τ neutrino do tau	< 70	0
b bottom	~ 4700	-1/3	τ tau	1777	-1	τ tau	1777	-1

As três cores usadas na tabela acima correspondem às três gerações de partículas fundamentais. A cor mais clara indica a primeira geração, a intermediária a segunda e a mais escura a terceira. A primeira geração constitui a matéria estável do universo.

Fig.2: Tabela dos quarks e dos léptons.

O esquema central deste setor mostra como as partículas fundamentais podem ser classificadas. Primeiramente foram agrupadas as partículas sem estrutura interna: quarks, léptons e partículas mediadoras. Os quarks formam os hádrons, os quais 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 à esquerda (mostrada em destaque na Fig.2), 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 são classificadas como férmions, por possuírem spin semi-inteiro e são divididas em três gerações.



Fig.3: Tabela das partículas mediadoras.

As duas primeiras linhas correspondem à primeira geração; a terceira e a quarta, à Segunda e as duas últimas linhas formam a terceira geração. A primeira geração constitui a matéria estável do universo. Na parte superior à direita (mostrada em destaque na Fig.3), há a tabela das partículas mediadoras das interações fundamentais (eletrofraca, forte e gravitacional), que também fornece a massa de repouso e a carga elétrica de cada uma. 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 não foi ainda experimentalmente observado.

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

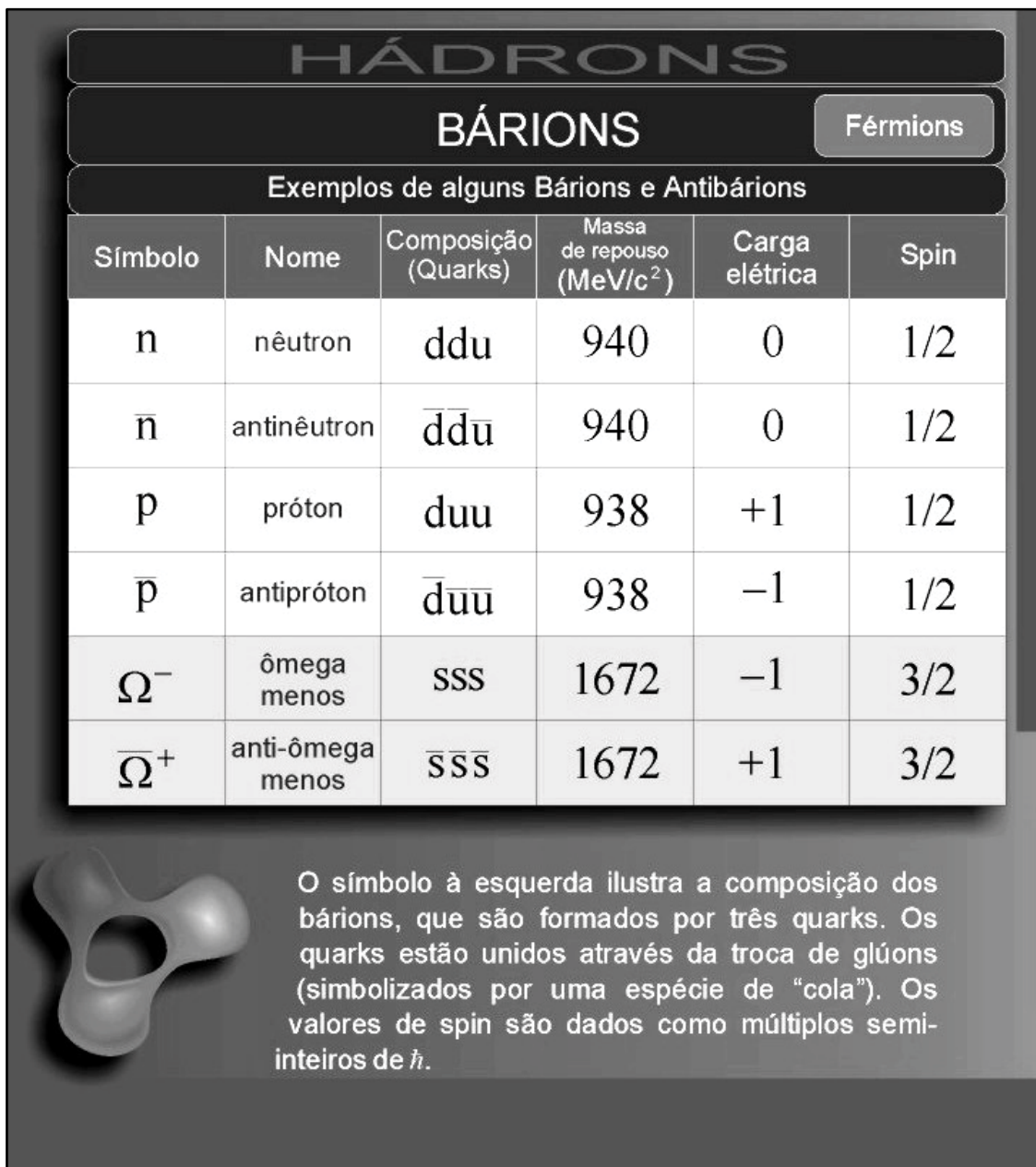


Fig.4: Tabela dos bárions.

Na parte inferior à esquerda (mostrada em destaque na Fig.4), 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 correspondente antipartícula, simbolizada por uma barra acima do símbolo da partícula. Partícula e antipartícula têm massa e spin idênticos, mas cargas opostas. 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".

HÁDRONS

MÉSONS

Bósons

Exemplos de alguns Mésons e Antimésons

Símbolo	Nome	Composição (Quarks)	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica	Spin
π^+	pi mais	$u\bar{d}$	140	+1	0
π^-	pi menos	$d\bar{u}$	140	-1	0
K^+	K mais	$u\bar{s}$	494	+1	0
K^-	K menos	$s\bar{u}$	494	-1	0
ρ^+	rho mais	$u\bar{d}$	770	+1	1
ρ^-	rho menos	$d\bar{u}$	770	-1	1



O símbolo à esquerda ilustra a composição dos mésons, que são formados por um quark e um antiquark. Assim como nos bárions, os quarks estão unidos através da troca de glúons. Os valores de spin são dados como múltiplos inteiros de \hbar .

Fig.5: Tabela dos mésons.

Na parte inferior à direita (reproduzida em destaque na Fig.5), 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 (tal como mostra a Fig.6): o sistema de unidades utilizado, a relação massa-energia de Einstein, a conversão de MeV/c^2 em kg, uma analogia clássica do spin, a unificação das interações eletromagnética e fraca, o que são bósons e férmions.

O spin é uma propriedade que uma partícula pode ter, assim como a carga elétrica e a massa. A analogia clássica mais utilizada para o spin é a do movimento de rotação da partícula em torno de seu próprio eixo. O seu valor é dado em termos de múltiplos inteiros (bósons) ou semi-inteiros (férmions) da constante de Planck ($\hbar = 1,0546 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$).

A carga elétrica é dada em unidades da carga do próton. $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

A unidade de energia é o elétron-volt. Essa é a energia ganha por um elétron quando o mesmo é submetido a uma diferença de potencial de 1 Volt. Pela relatividade, existe uma equivalência entre massa e energia. Por esse motivo, a massa é dada em unidades de energia.

MeV/c^2 , onde $1MeV = 10^6 \text{ eV}$
 $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

$E = mc^2$
 $1MeV/c^2 \cong 1,78 \times 10^{-30} \text{ kg}$

Embora não esteja incluído no modelo padrão de partículas fundamentais e interações, o gráviton foi incluído na tabela de partículas mediadoras. Nessa tabela, o símbolo que aparece no espaço do gráviton é usado para indicar que o mesmo ainda não foi observado experimentalmente.

As interações eletromagnética e fraca foram unificadas na chamada interação eletrofraca.

Partículas cujo spin é múltiplo inteiro (0, 1, 2,...) de \hbar são classificadas como bósons. Partículas cujo spin é múltiplo semi-inteiro (1/2, 3/2, 5/2,...) de \hbar são classificadas como férmions.

Fig.6: Textos do setor 1.

O setor 2 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. Esta tabela está em destaque na Fig.7.

II.2 - Setor 2





		INTERAÇÕES				
		Gravitacional	Fraca	Eletromagnética	Forte	
			Unificação	Eletrofraca	Fundamental	Residual
PROPRIEDADES	Atua em	massa ou energia	sabor	carga elétrica	carga de cor	
	Quem sofre a ação?	todas as partículas	quarks e léptons	partículas eletricamente carregadas	quarks e glúons	hádrons
	Partícula mediadora	gráviton 	$W^+ W^- Z^0$	γ fóton	glúon	méson
	Alcance (metros)	infinito	$< 10^{-18}$	infinito	$\sim 10^{-15}$	
	Intensidade relativa	$\sim 10^{-40}$	$\sim 10^{-12}$	$\sim 10^{-2}$	1  2,4 	0,8

Fig.7: Tabela das propriedades das interações fundamentais.

Interação gravitacional

Quaisquer corpos que possuam massa atraem-se mutuamente. Esta é a chamada interação gravitacional, que diminui de intensidade quanto maior for a distância entre os corpos. Esta é a interação que rege todos os movimentos 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. 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, mas esta 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. Todas as partículas experimentam esta interação que afeta massa ou energia. A 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 (Fig.7), 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. Partículas com cargas de sinais iguais se repelem. Já as partículas neutras (como o nêutron e o neutrino) não interagem eletromagneticamente. É via 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, proporcional à carga das partículas e torna-se cada vez mais fraca à medida que a distância interpartículas aumenta. Já que o nêutron e o neutrino não têm carga elétrica, eles não são afetados pela interação eletromagnética. A partícula mediadora desta interação é o fóton (γ). 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 da Fig.7. A sua intensidade em relação à interação 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 (figura 7), 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. 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 os 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 (caso 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 figura 7.

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 tende 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.

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 massa¹, 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, o que implica que a interação fraca tem um raio de ação limitado, da ordem de 10^{-18} metros.

A tabela da Fig.7 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.

¹ Resultados recentes, obtidos no Super Kamiokande (Japão), indicam a possibilidade de se atribuir massa não nula aos neutrinos.

Tabela das propriedades das interações:

carga de cor

Cada quark carrega um dos três tipos de carga de cor, chamada também de carga forte. Esta carga não está relacionada ao sentido cotidiano da palavra cor. Assim como na interação eletromagnética partículas carregadas eletricamente interagem via troca de fótons, na interação forte, partículas com carga de cor trocam glúons. Léptons, fótons, os bósons W^+ , W^- e Z^0 não possuem carga de cor e, portanto, não interagem via força 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.

LEGENDAS

- **Interação forte residual:** A interação forte que ocorre entre os prótons e nêutrons é devida à interação forte residual entre os seus constituintes, 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.
- Dois quarks **u** separados por uma distância da ordem de 10^{-18} metros.
- Dois quarks **u** separados por uma distância da ordem de 10^{-17} metros.

Fig.8: Explicações relativas à tabela da Fig.7.

O quadro inferior do setor 2 fornece algumas explicações da tabela superior (Fig.8).

As distâncias típicas envolvidas nas interações fundamentais

A tabela central do setor 2 (reproduzida na Fig.9) tem o título “Escala de comprimento, instrumentos de medida e interações fundamentais” e contém informações sobre as distâncias típicas de cada interação, seus respectivos instrumentos 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).

ESCALAS DE COMPRIMENTO, INSTRUMENTOS DE MEDIDA E INTERAÇÕES FUNDAMENTAIS			
Instrumentos de medida	Distâncias típicas (metros)	Sistemas envolvidos	Interações
Telescópios	10^{26}	Universo	Gravitacional
	10^{22}	Aglomerado de galáxias	
	10^{19}	Galáxia típica	
	10^{12}	Sistema planetário	
Olho	1	Ser humano	Eletromagnética
Microscópios	10^{-8}	Molécula	
	10^{-10}	Átomo	
Aceleradores de partículas	10^{-14}	Núcleo	Forte
	10^{-15}	Próton	
	10^{-18}	Quarks Léptons	

Fig.9: Interações fundamentais com suas escalas de comprimento e seus instrumentos de medida.

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 são os aceleradores de partículas.

II.3 - Setor 3

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

III - Conclusões

Neste artigo, o objetivo foi difundir 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. Este trabalho trata de uma área do ensino médio de Física que ainda apresenta pouca tradição didática em nosso país. A problemática da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio e na formação inicial e continuada de professores vêm sendo amplamente discutida pela comunidade de pesquisadores em ensino de Física. No entanto, a literatura existente sobre o tema é, em geral, dirigida à simples apresentação (supostamente acessível ao professor) de tópicos modernos ou ao levantamento de justificativas que apoiem a asserção de que é preciso renovar os conteúdos escolares de Física. 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 a de que este tema possa ser gradativamente introduzido nas escolas. Espera-se assim, que o pôster apresentado, uma vez integrado à formação inicial e continuada de professores, possa facilitar a inserção desta área fascinante da Física, cujo potencial motivador para os alunos de nível médio é inegável.

IV – Visão geral do Pôster

PARTÍCULAS FUNDAMENTAIS

QUARKS

LÉPTONS

QUARKS

LÉPTONS

HÁDRONS

BÁRIONS

MÉSONS

PARTÍCULAS MEDIADORAS

Interação Eletrofraca

Interação Forte

Interação Eletromagnética

Interação Fraca

Interação Eletrofraca

QUARKS

Simbolo e nome	Massa (MeV/c ²)	Carga elétrica	Simbolo e nome	Massa (MeV/c ²)	Carga elétrica
u	~ 5	2/3	ν_e neutrino do elétron	~ 0	0
d	~ 10	-1/3	e	0,511	-1
c	1500	2/3	ν_μ neutrino do múon	~ 0	0
s	~ 150	-1/3	μ múon	107	-1
t	~ 174000	2/3	ν_τ neutrino do tau	< 70	0
b	~ 4700	-1/3	τ tau	1777	-1

As três cores listadas na tabela acima correspondem às três gerações de partículas fundamentais. A cor mais clara indica a primeira geração, a intermediária a segunda e a mais escura a terceira. A primeira geração constitui a matéria estável do universo.

O spin é uma propriedade que uma partícula pode ter, assim como a carga elétrica e a massa. A analogia clássica mais utilizada para o spin é o movimento de rotação da partícula em torno de seu próprio eixo. O Pauli ($\hbar = 1,054 \times 10^{-34}$ J s).

A carga elétrica é dada em unidades de carga do próton. $1 \text{ e} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

A unidade de energia é o elétron-volt. Essa é a energia ganha por um elétron quando o mesmo é submetido a uma diferença de potencial de 1 Volt. Pela relatividade, existe uma equivalência entre massa e energia. Por esse motivo, a massa é dada em unidades de energia.

$E = mc^2$
 $1 \text{ MeV}/c^2 \text{ onde } 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$
 $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$
 $1 \text{ MeV}/c^2 \approx 1,78 \times 10^{-27} \text{ kg}$

LÉPTONS

Simbolo e nome	Massa (MeV/c ²)	Carga elétrica	Simbolo e nome	Massa (MeV/c ²)	Carga elétrica
u	~ 5	2/3	ν_e neutrino do elétron	~ 0	0
d	~ 10	-1/3	e	0,511	-1
c	1500	2/3	ν_μ neutrino do múon	~ 0	0
s	~ 150	-1/3	μ múon	107	-1
t	~ 174000	2/3	ν_τ neutrino do tau	< 70	0
b	~ 4700	-1/3	τ tau	1777	-1

HÁDRONS

BÁRIONS						Férmions					
Simbolo	Nome	Composição (quarks)	Massa (MeV/c ²)	Carga elétrica	Spin	Simbolo	Nome	Composição (quarks)	Massa (MeV/c ²)	Carga elétrica	Spin
n	neutron	udd	940	0	1/2	n	neutron	udd	940	0	1/2
\bar{n}	antineutron	$\bar{d}\bar{d}\bar{u}$	940	0	1/2	p	próton	uud	938	+1	1/2
p	próton	uud	938	+1	1/2	\bar{p}	antipróton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	938	-1	1/2
\bar{p}	antipróton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	938	-1	1/2	Ω^-	ômega menos	sss	1672	-1	3/2
Ω^-	ômega menos	sss	1672	-1	3/2	$\bar{\Omega}^+$	anti-ômega menos	$\bar{s}\bar{s}\bar{s}$	1672	+1	3/2
$\bar{\Omega}^+$	anti-ômega menos	$\bar{s}\bar{s}\bar{s}$	1672	+1	3/2						

MÉSONS

MÉSONS						Bósons					
Simbolo	Nome	Composição (quarks)	Massa (MeV/c ²)	Carga elétrica	Spin	Simbolo	Nome	Composição (quarks)	Massa (MeV/c ²)	Carga elétrica	Spin
π^+	pi mais	u \bar{d}	140	+1	0	π^-	pi menos	$\bar{u}d$	140	-1	0
π^-	pi menos	$\bar{u}d$	140	-1	0	K^+	K mais	u \bar{s}	494	+1	0
K^+	K mais	u \bar{s}	494	+1	0	K^-	K menos	s \bar{u}	494	-1	0
K^-	K menos	s \bar{u}	494	-1	0	p^+	rho mais	$u\bar{d}$	770	+1	1
p^+	rho mais	$u\bar{d}$	770	+1	1	p^-	rho menos	$\bar{u}d$	770	-1	1
p^-	rho menos	$\bar{u}d$	770	-1	1						

BÁRIONS

Exemplos de alguns Bárions e Antibárions

MÉSONS

Exemplos de alguns Mésons e Antimésons

HÁDRONS

Exemplos de alguns Mésons e Antibárions

O esquema ao lado mostra, como as partículas podem ser classificadas. São partículas, sem estrutura interna, aquelas não constituídas por quarks, os próprios quarks, os léptons e as partículas mediadoras. Os quarks formam os hádrons, os quais se dividem em bárions (constituídos por três quarks) e mésons (constituídos por um quark e por um antiquark).

Toda partícula tem uma correspondente antipartícula, denotada por uma barra acima do símbolo da partícula. Por exemplo, os antibárions são formados por três antiquarks, como mostra a tabela de bárions. Partícula e antipartícula têm massa e spin idênticos, mas cargas opostas.

Alguns mésons neutros são a sua própria antipartícula, como por exemplo, o méson pi-zero. Alguns bósons neutros, como o fóton, também apresentam essa peculiaridade.

Embora não esteja incluído no modelo padrão de partículas, fundamentais e interações, o gráviton foi incluído na tabela de partículas mediadoras. Nessa tabela, o símbolo que aparece no espaço do gráviton é usado para indicar que o mesmo ainda não foi observado experimentalmente.

As interações eletromagnética e fraca foram unificadas na chamada interação eletrofraca.

Partículas cujo spin é múltiplo inteiro (0, 1, 2, ...) de \hbar são classificadas como bósons. Partículas cujo spin é múltiplo semi-inteiro (1/2, 3/2, 5/2, ...) de \hbar são classificadas como férmions.

A esfera verde à esquerda é usada para representar partículas que não são formadas por quarks. Considere-se atualmente que estas partículas não têm estrutura interna.

O símbolo à esquerda ilustra a composição dos bárions e dos mésons. Os quarks estão unidos através da troca de glúons. Os quarks (simbolizados por uma espécie de "coxa"). Os valores de spin são dados como múltiplos inteiros de \hbar .

Fig.10: Setor 1 do pôster.

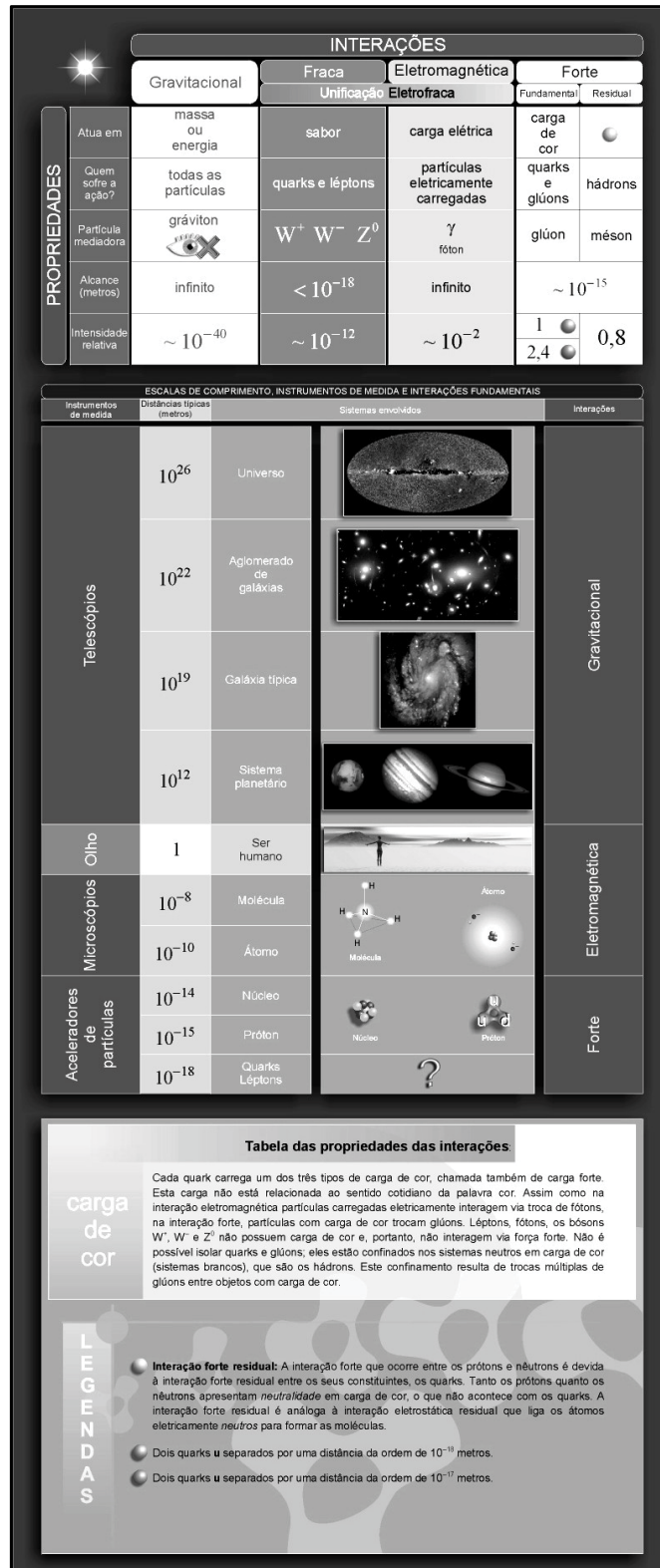


Fig.11: Setor 2 do pôster.

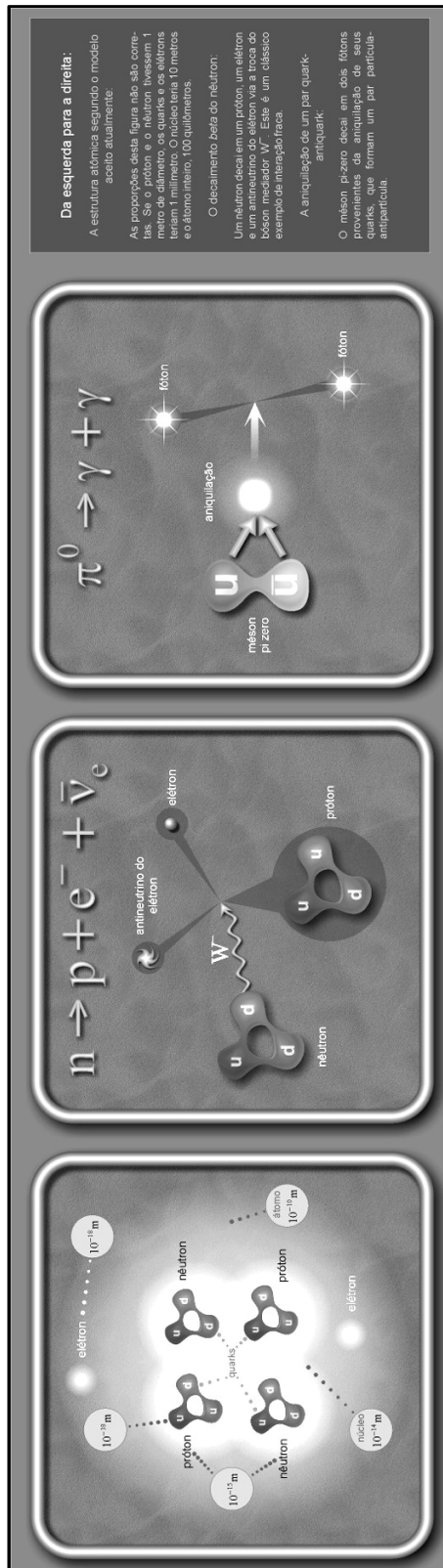


Fig.12: Setor 3 do pôster.

V - Referências bibliográficas

- 1 ARONS, A. B. A guide to introductory physics teaching, New York: John Wiley, 1990.
- 2 AUBRECHT, G. J. Redesigning courses and textbooks for the twenty-first century. *American Journal of Physics*, Woodbury, v. 57, n. 4, p. 352-359, Apr. 1989.
- 3 BARLOW, R. Particle physics: from school to university. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 92-95, Mar. 1992.
- 4 CLOSE, F. *The cosmic onion: quarks and the nature of the universe*. London: Heinemann Educational Books, 1983.
- 5 CONTEMPORARY PHYSICS EDUCATION PROJECT. Disponível na Internet. <http://www-pdg.lbl.gov/cpep.html> . 23 dez.1998.
- 6 CUPPARI, A., RINAUDO, G., ROBUTTI, O., VIOLINO, P. Gradual introduction of some aspects of quantum mechanics in a high school curriculum. *Physics Education*, Bristol, v. 32, n. 5, p. 302-308, Sept. 1997.
- 7 FERMILAB. Discovering the nature of nature. Disponível na Internet. <http://www.fnal.gov/Fermilab> . 23 dez. 1998.
- 8 FISCHLER, H., LICHTFELDT, M. Modern physics and students' conceptions *International Journal of Science Education*, London, v. 14, n. 2, p. 181-190, Apr./June 1992.
- 9 GIL, D. P., SOLBES, J. The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, London, v. 15, n. 3, p. 255-260, May/June 1993.
- 10 HEWITT, P. G. *Conceptual physics - The high school physics program*. 2. ed. São Francisco: Addison-Wesley, 1992.
- 11 JONES, D. G. C. Teaching modern physics -microconceptions of the photon that can damage understanding. *Physics Education*, Bristol, v. 26, n.2, p. 93-98, Mar. 1991.
- 12 JONES, D. G. C. Cosmology and particle physics. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 76-80, Mar. 1992.

- 13 LAWRENCE, I. Quantum physics in school. *Physics Education*, Bristol, v. 31, n.5, p. 278-286, Sept. 1996.
- 14 OSTERMANN, F. Um texto para professores do ensino médio sobre partículas elementares. Aceito para publicação na Revista Brasileira de Ensino de Física, 1998.
- 15 OSTERMANN, F, MOREIRA, M. . Tópicos de física contemporânea na escola média brasileira: um estudo com a técnica Delphi. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 6., 1998, Florianópolis. *Atas*. Florianópolis: Imprensa UFSC, 1998. 19p. [Seção de Comunicações Orais] 1 CD-Rom.
- 16 PARTICLE PHYSICS GROUP 97 *Particle physics*. London: Particle Physics and Astronomy Research Council, 1997.
- 17 SCHWARZ, C. *A tour of the subatomic zoo: a guide to particle physics*. New York: American Institute of Physics, 1992.
- 18 SOLBES, J., CALATAYUD, M. L., CLIMENT, J. B., NAVARRO, J. Diseño de un currículum para la introducción del modelo atómico cuántico. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 5, p. 209-210, sept. 1987. n. extra.
- 19 STANNARD, R. Modern physics for the young. *Physics Education*, Bristol, v. 25, n. 3, p. 133, May 1990.
- 20 SWINBANK, E. Particle Physics: a new course for schools and colleges. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 87-91, Mar. 1992.
- 21 SWINBANK, E. Developing resources for astrophysics at A-level: The trump astrophysics project. *Physics Education*, Bristol, v.32, n.1, p. 40-45, Jan. 1997.
- 22 WILLIAMS, W. S. C. *Nuclear and particle physics*. New York: Oxford University Press, 1992.