

Relatório Final

F809 – Instrumentação para

Ensino

“Introdução de Tópicos de Partículas Elementares para Ensino Médio”

NOME: Fernando Rossi Torres (R.A 001719)

ORIENTADOR: Orlando Luis Goulart Peres

Resumo do Projeto “Introdução de Tópicos de Partículas Elementares para Ensino Médio”

Este projeto se propõe a divulgar as idéias básicas na Física de Partículas Elementares. Esta tem como fundamentos a relatividade especial, a mecânica quântica e a fenomenologia das partículas elementares. A descrição da dinâmica da física de partículas é descrita em termos do formalismo da teoria quântica de campos.

No entanto, na tentativa de divulgar e simplificar, falaremos das estruturas básicas do Modelo Padrão da física de partículas elementares e de seu histórico, procurando não utilizar equações da teoria quântica de campos. Tal divulgação será feita por um “site” na Internet e por roteiros (apostilas) para professores introduzirem em sala de aula o assunto.

Índice

<i>Introdução</i>	<i>pág.1</i>
<i>1-) Atividades Exercidas</i>	<i>pág.2</i>
<i>2-) Atividades Futuras</i>	<i>pág.17</i>
<i>3-) Conclusão</i>	<i>pág.18</i>
<i>4-) Bibliografia</i>	<i>pág.19</i>

Introdução

Este relatório final se refere às atividades exercidas durante metade do mês de maio até a metade do mês de junho.

Os estudos e toda a pesquisa foram realizados no Departamento de Raios Cósmicos e Cronologia (DRCC) do Instituto de Física “Gleb Wataghin” (IFGW) na UNICAMP, sob orientação do professor doutor Orlando Luis Goulart Peres.

O projeto em consideração busca dar subsídios aos professores e alunos do ensino médio para suprir uma carência em Física de Partículas. Tal grau de ensino possui apenas uma visão sobre o próton, o elétron e o nêutron, não estando atualizado com a verdadeira realidade do que realmente o universo é formado. É fundamental e primordial que tal melhoria e aprimoramento seja feito. Daí a necessidade de se fazer o máximo de divulgação com um caráter sério para uma melhor formação e compreensão científica do aluno.

1-) Atividades Exercidas

Durante este último mês foram realizados as seguintes coisas:

- Complementação do texto que irá para o “site”, com uma linguagem simples e concisa.

Para tal foram usados a bibliografia a, b, c e d. Aqui apresentamos o texto como um todo:

“Qual o nível mais fundamental (menor tamanho) da matéria? Tal questionamento é feito pela física de partículas elementares. Mas não é só isso. Se existe uma unidade fundamental, como elas se combinam para formar a matéria e qual a física por trás dessas partículas elementares?”

A tentativa de explicar como as coisas se formam e por que se formam é antiga. Anaximenes de Miletus propunha que a matéria era formada por quatro blocos fundamentais: Água, Fogo, Terra e Ar. Na versão original da teoria, todas as formas de matéria eram obtidas pela rarefação e condensação do Ar. Somente mais tarde os três outros “elementos” foram usados para a explicação.

No entanto, a explicação acima não pode ser aceita por estar simplesmente errada. A seguir vamos descrever a evolução do entendimento de como as coisas são formadas. O formato básico está cronologicamente descrito.

1-) História das Partículas Elementares (Período Clássico – 1897 a 1932)

Talvez o início de tentar contar algo sobre o que formava a matéria remonta ao período dos atomistas gregos, como Leucipo e Demócrito. No entanto suas especulações metafísicas sobre o assunto não serão consideradas, não por não terem importância, mas não se encaixarem ao propósito deste texto.

A própria existência de mais de 100 elementos químicos diferentes, agrupados em uma ordem de certa forma lógica (destacado trabalho de Mendeleev), é uma importante evidência que átomos talvez fossem formados por algo mais fundamental.

Podemos então iniciar toda a descrição do “fundamental” pela descoberta de J.J. Thomson em 1897. Ele descobriu que raios catódicos emitidos por um filamento em alta temperatura poderiam ser defletidos por um ímã. A conclusão lógica seria que tais raios tinham carga elétrica negativa, devido ao desvio tomado pelos raios. Thomson também determinou a velocidade das partículas e a razão carga-massa. No entanto, a carga se aproximava à carga de alguns íons e a massa era muito pequena. Então ele chamou as partículas de corpúsculos e a carga de elétron. Sabemos no entanto que elétron foi o nome dado à partícula mais tarde.

A partir de sua descoberta, Thomson descreveu o modelo atômico chamado vulgarmente de “Pudim de Passas”: o átomo, não mais a unidade fundamental, seria formado por elétrons suspensos numa “pasta” positiva e pesada.

Durante o período de 1909 a 1911, usando fontes radioativas emissoras de partículas alfa, Ernest Rutherford e seu grupo mediram quão longe iam as partículas alfa ao serem defletidas por colisões com os átomos de uma folha metálica de ouro. Eles então descreveram que algumas partículas atravessavam a folha de ouro com pouca deflexão e outras eram defletidas em um grande ângulo formado com a linha da trajetória inicial. Mas algumas, surpreendentemente não atravessavam a folha. Simplesmente, eram “rebatidas”. A explicação dada foi: sendo as partículas alfa – íons ++ do hélio movendo-se rapidamente – positivas, ao passarem muito próximas de algo que deveria ser muito pequeno, muito duro, muito pesado e com carga positiva, eram “refletidas”. Então, ele concluiu que a carga positiva, e praticamente toda a massa,

estava concentrada no centro, ocupando apenas uma fração pequena do volume do átomo. O núcleo do átomo de hidrogênio foi chamado de próton por Rutherford.

Em 1914, Niel Bohr propôs o modelo para o átomo de hidrogênio. Tal átomo era constituído por um único elétron circundando um próton, analogamente a um planeta circulando o sol em uma órbita bem definida. Tanto o próton e o elétron se atraíam por terem cargas elétricas opostas. Bohr calculou o espectro do átomo de hidrogênio e se aproximou bastante dos dados experimentais.

Mais tarde, Chadwick descobriu o nêutron em 1932, uma partícula idêntica ao próton, só que neutra. Tal descoberta possibilitou o entendimento de átomos com maior massa que o hidrogênio. Tal partícula se encontraria também no núcleo atômico.

Podemos então definir este período como Era Clássica (1897-1932). A matéria então era formada por prótons, elétrons e nêutrons. O átomo era uma análogo do sistema solar, com interações elétricas ao invés de gravitacionais.

2-) Fótons

Em 1900, Planck tentava explicar o espectro de corpo negro para as radiações eletromagnéticas emitidas por um objeto quente. Achava-se que a energia total irradiada deveria ser infinita (“catástrofe do ultravioleta”). Planck quantizou a radiação eletromagnética em pequenos “pacotes” de energia:

$$E = h\nu \quad (I)$$

E é a energia do “pacote”, h a constante de Planck ($6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s) e ν a frequência da radiação eletromagnética. Planck achava que tal fenômeno era relacionado com a fonte quente.

Einstein, em 1905, renegou a idéia de que a quantização estava relacionado com o mecanismo de emissão. Com a fórmula de Planck, Einstein explicou o efeito fotoelétrico, em que radiação eletromagnética ao atingir um metal pode retirar elétrons da superfície ligados por uma função trabalho (ϕ). Pela conservação de energia, o elétron emerge com energia:

$$E \leq h\nu + \phi \quad (II)$$

A energia máxima do elétron é independente da intensidade da luz e depende da frequência. Mais intenso o feixe, mais elétrons emitidos, mas com energias iguais.

Em resumo, Einstein afirmou que a luz é por natureza quantizada. Em 1916, Millikan confirmou as idéias de Einstein.

Em 1923, A. H. Compton descreveu o fenômeno de espalhamento da luz (λ) quando ela encontra uma partícula em repouso. Tal fenômeno só podia ser explicado através da natureza corpuscular da luz. O comprimento de onda da luz (λ') sofria uma redução de valor após colidir com a partícula-alvo e também mudava de direção em um ângulo θ :

$$\lambda' = \lambda + \lambda_c(1 - \cos\theta) \quad (III)$$

λ_c é o comprimento de onda Compton. Para tal equação foram usadas as leis de conservação de momento e energia.

Por estes dois experimentos observou-se que a luz se comporta como partícula numa escala subatômica. Tal partícula foi chamada de fóton (γ).

3-) Mésons (1934 – 1947)

Uma pergunta constantemente feita é como o núcleo não se desintegra já que temos a repulsão eletrostática entre os prótons. O que permite a união de prótons e

nêutrons no núcleo é a força forte. Não sentimos no cotidiano normal esta força porque ela é de alcance muito pequeno, do tamanho de um núcleo aproximadamente.

Yukawa em 1934 propôs a seguinte explicação para a força forte: próton e nêutron se atraem por um certo tipo de campo quantizado. O mediador teria uma massa 300 vezes maior que a massa do elétron e 6 vezes a massa do próton. Yukawa chamou tal mediador de méson. [Da mesma forma que elétron é chamado de lépton (“light-weight”), próton e nêutron são chamados de bárions (“heavy-weight”).

Com o estudo dos raios cósmicos – partículas energéticas, originadas no Sol e outras fontes longes do sistema solar, que viajam próximas à velocidade da luz e que podem penetrar na atmosfera terrestre colidindo com o oxigênio e núcleos de nitrogênio, dando origem a raios cósmicos secundários – descobriu-se que eles eram partículas de massa intermediária. Tal fato era uma possível evidência que Yukawa estava correto.

Muitos problemas, no entanto, existiam: os raios cósmicos pareciam ter tempo de vida errado e também pareciam ser mais leves que Yukawa tinha previsto e, além disso, para diferentes medidas de massa não havia consistência. Em 1946, descobriu-se que os raios cósmicos interagem fracamente com núcleos atômicos.

Em 1947, duas partículas de massa intermediária foram descobertas: o pion (π) e o muon (μ). O verdadeiro méson de Yukawa é o π , produzido na alta atmosfera, desintegrando-se rapidamente antes de chegar ao solo. Um dos produtos é o muon. Este na realidade pertence a família dos léptons, sendo uma versão mais pesada do elétron.

4-) Antipartículas (1930 – 1956)

A fórmula $E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$, em que E é energia da partícula relativística, p é o momento linear, m sua massa e c a velocidade da luz, admite duas possíveis soluções:

energia positiva e energia negativa. Como explicar a energia negativa? Dirac, utilizando-se do princípio de exclusão de Pauli, postulou que estados de energia negativa são todos preenchidos por um infinito “mar” de elétrons perfeitamente uniforme. Um “orifício no mar” seria uma partícula com energia positiva e carga positiva. Em 1931, Anderson descobriu o pósitron, idêntico ao elétron só que com carga positiva.

A equação de Dirac possui um dualismo: para cada tipo de partícula temos uma correspondente antipartícula. Uma antipartícula tem a mesma massa da partícula mas carga elétrica oposta. A notação padrão para antipartículas é uma barra em cima da letra correspondente a partícula. Existem algumas situações em que a partícula é igual a antipartícula. Nestes casos, como os fótons e neutrinos, temos as partículas Majorana. Quando a partícula é diferente da antipartícula, no caso do elétron e o correspondente pósitron, chamamos de partículas de Dirac.

O nêutron, por exemplo, é diferente do antinêutron. Ocorre uma mudança no número bariônico. O nêutron possui uma estrutura de carga (positiva no centro e nas bordas e negativa no meio) e um dipolo magnético. No antinêutron tais coisa se invertem.

Na física de partículas podemos seguir o que chamamos de “crossing symmetry”, mas sempre respeitando a conservação de energia. Exemplificando, temos o espalhamento Compton e a aniquilação elétron-pósitron:

$$\gamma + e^- \rightarrow \gamma + e^- \quad (IV)$$

$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma \quad (V)$$

e^- é o elétron e e^+ é o pósitron. Temos então uma simetria entre matéria e antimatéria.

5-) Neutrinos (1930 – 1962)

Por volta de 1930 havia um problema para se explicar o decaimento beta. Num decaimento beta, um núcleo radioativo A é transformado num núcleo B mais leve emitindo um elétron:



Por conservação de carga, B deve ter uma carga positiva a mais que A. Sabemos que realmente existe uma conversão de um nêutron do A em um próton do B. Pela conservação de energia e de momento, sabendo que A está inicialmente em repouso e B e e⁻ saem em direções opostas, a energia do elétron é dada por:

$$E = (m_A^2 - m_B^2 + m_e^2)c^2/2m_A \quad (VII)$$

m_A é a massa do núcleo A, m_B é a massa do núcleo B e m_e é a massa do elétron. O problema é que a energia acima é a máxima energia do elétron, isto é, quando se faz o experimento, a energia dos elétrons emitidos varia muito. A primeira conclusão que muitos físicos tiraram na época é que o princípio de conservação de energia é válido para alguns casos e não para uma generalidade.

Pauli sugeriu que havia outra partícula sendo emitida no decaimento beta. Tal partícula neutra, para conservar a carga, foi chamada de nêutron (não o mesmo de Chadwick). Fermi em 1931 em sua teoria sobre o decaimento beta incorporou a partícula de Pauli. Tal partícula seria extremamente leve. Se ela é zero ou não, guardo a resposta para mais tarde! Mudado o nome por Fermi, a partícula passou a se chamar neutrino. No decaimento beta mais especificamente, quem é liberado é o antineutrino. O decaimento beta pode ser dado por:



ν é um antineutrino, n um nêutron, p⁺ um próton e e⁻ um elétron.*

Até 1950 não se tinha evidência experimental direta sobre os neutrinos. A razão para isso é que o neutrino interage muito fracamente com a matéria. O experimento que marcou a real existência dos neutrinos foi no reator nuclear Savannah River na Carolina do Sul. Cowan e Reines fizeram um grande tanque de água e viram a reação “inversa” do decaimento beta:



O fluxo de antineutrinos foi calculado em 5.10^{13} partículas por centímetro quadrado por segundo. Mas apenas se tinha dois a três eventos por hora.

Mas a pergunta a ser feita é se o neutrino é igual ao antineutrino. Davis e Harmer, usando os resultados de Cowan e Reines, tomaram por conclusão que o neutrino é diferente do antineutrino. Será? Uma das possíveis reações inversas para o decaimento beta seria:



Em 1935, Konopinski e Mahmoud introduziram uma maneira muito simples para verificar a real validade de uma reação: o número leptônico. $L = 1$ para o elétron, neutrino e muon, e $L = -1$ para suas respectivas antipartículas. $L = 0$ para todas as outras partículas. Logo, em uma reação o número leptônico teria que se conservar. Exatamente como na reação (X).

A diferença portanto de um neutrino para um antineutrino seria o número leptônico. O neutrino também difere pela helicidade: é de “mão esquerda”, enquanto que o antineutrino é de “mão direita”.

A reação abaixo (XI) é possível de acordo com a conservação do número leptônico e com a conservação de carga.

$$\mu^- \rightarrow e^- + \gamma \quad (XI)$$

No entanto, experimentalmente ela não ocorre. Mas as reações abaixo ocorrem:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \nu + \nu^* \quad (XII)$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu + \nu^* \quad (XIII)$$

Para consertar tal inconsistência a conservação do número leptônico foi quebrada em duas leis separadas: a conservação do número muônico e a conservação do número eletrônico. $L_\mu = +1$ para μ^- e para o ν_μ e $L_\mu = -1$ para o μ^+ e para ν_μ^* (números muônicos) e $L_e = +1$ para o e^- e para o ν_e e $L_e = -1$ para suas respectivas antipartículas. Tal formulação pode explicar as reações (XI), (XII) e (XIII).

Veja que agora criamos dois tipos de neutrinos: um associado ao elétron (ν_e) e outro associado ao muon (ν_μ).

Em 1962, a família dos léptons, partículas que não participam de interações do tipo forte, podia ser representada pela tabela abaixo:

	Número Eletrônico	Número Leptônico	Número Muônico
Léptons			
Elétron	1	1	0
neutrino do elétron	1	1	0
Muon	0	1	1
neutrino do muon	0	1	1
Antiléptons			

Pósitron	-1	-1	0
antineutrino do elétron	-1	-1	0
Antimuon	0	-1	-1
antineutrino do muon	0	-1	-1

Os hádrons – mésons e bárions coletivamente – participam das interações fortes.

6-) Partículas Estranhas

No final de 1947, foi descoberto o kaon (K^0), que decai pela seguinte reação:



Os kaons se comportam como pions mais pesados, então a família dos mésons os incluiu. Mais mésons foram descobertos: η , ω , ρ ..

Em 1950, foi descoberto o Λ (família dos bárions - Σ , Δ , Ξ) através da seguinte reação:



Foi criado também o número bariônico para tentar explicar a estabilidade do próton. $A = +1$ para todos os bárions e $A = -1$ para os antibárions. Tal número deveria ser conservado em qualquer processo, como no caso da reação (VIII). Para os mésons, não há conservação.

Grande parte das partículas citadas eram produzidas de maneira semelhante nos aceleradores de partículas: numa escala de 10^{-23} segundos. Elas também possuem um decaimento relativamente lento: 10^{-10} segundos. As partículas estranhas são produzidas

pela força forte, mas decaem pela força fraca. Para tentar explicar os fenômenos relacionados a estas partículas foi criado o conceito de estranheza. Esta é conservada em interações fortes, mas não nas fracas. Por exemplo: $S = +1$ para os K 's e $S = -1$ para Σ e Λ .

O importante é que a estranheza explica vários processos de interações fortes para os hádrons. Como léptons e fótons não “sentem” a força forte, não atribuímos estranheza a eles.

7-) Quarks

Em 1964, Gell-Mann e Zweig propuseram que todos os hádrons eram compostos por partículas mais elementares ainda: os quarks.

Existem seis diferentes tipos de sabores de quarks, três com carga elétrica $2/3$ (up, charm e top) e três com carga elétrica $-1/3$ (down, strange, bottom). Cada sabor de quark podem ocorrer em três diferentes cores (azul, verde e vermelho).

A diferença entre os quarks e os léptons é que a força forte não ocorre entre léptons, mas sim entre quarks. Tal força os confina em partículas como prótons e nêutrons – bárions e mésons. Os quarks também são afetados por forças eletromagnéticas, já que eles possuem cargas elétricas.

Nenhuma partícula observável possui uma cor observável, isto é, eles possuem “cor neutra”. Existem duas maneira de se fazer combinações de cor tipo neutra. Os dois tipos de combinação são chamadas de “mésons” e “bárions”, os “hádrons” em geral:

a-) Combinação quark-antiquark é chamada de méson (qq^). Cores oposta se atraem. Quando cada cor e anticor está presente com igual probabilidade num estado quântico, temos uma cor neutra.*

b-) Combinações de três quarks são chamados de bárions. Três combinações de antiquarks formam um antibárion. A cor final também deve ser neutra. Cada quark terá uma cor diferente.

Tal formulação explica o porquê da não existência de quarks isolados e de partículas com dois, quatro ou mais quarks. Apenas combinações que resultam na ausência de cor podem formar bárions, mésons e antibárions.

8-) Modelo Padrão

Toda a matéria é feita de três tipos de partículas elementares: léptons, quarks e mediadores (interações fundamentais). Existem 6 léptons, classificados de acordo com a carga (Q), o número eletrônico (L_e), o número muônico (L_μ) e o número taônico (L_τ). Logicamente existem 6 antiléptons com sinais reversos.

Existem 6 sabores de quarks. Cada qual podem ter três cores. Podemos classificá-los através da carga e de letras idênticas aos seus sabores (U,D,S,T,B,C). Para cada quark temos um antiquark associado com sinais reversos.

Para toda interação temos um mediador: o fóton para a força eletromagnética, dois W 's e Z (bósons intermediários) para a força fraca e o gráviton para a força gravitacional. A interação entre dois quarks se dá através dos gluons. Estes carregam cor e não existem isoladamente.

Resumindo: existem 12 léptons, 36 quarks, 12 mediadores (o gráviton não está incluído no Modelo Padrão). Se a partícula de Higgs existe realmente, temos pelo menos 61 partículas elementares. Sem citar também as antipartículas. Vamos agora ver como elas interagem entre si.

<i>lépton</i>	<i>Q</i>	<i>L_e</i>	<i>L_μ</i>	<i>L_τ</i>
---------------	-----------------------	-------------------------	---------------------------	----------------------------

e	-1	1	0	0
ν_e	0	1	0	0
μ	-1	0	1	0
ν_μ	0	0	1	0
τ	-1	0	0	1
ν_τ	0	0	0	1

<i>quark</i>	Q	D	U	S	C	B	T
d	$-1/3$	1	0	0	0	0	0
u	$2/3$	0	1	0	0	0	0
s	$-1/3$	0	0	1	0	0	0
c	$2/3$	0	0	0	1	0	0
b	$-1/3$	0	0	0	0	1	0
t	$2/3$	0	0	0	0	0	1

9-) Interações fundamentais

Vamos resumir as interações fundamentais numa tabela:

<i>Força</i>	<i>Ordem de Grandeza</i>	<i>Teoria</i>	<i>Mediador</i>
<i>Forte</i>	10	<i>Cromodinâmica</i>	<i>Gluon</i>
<i>Eletromagnética</i>	10^{-2}	<i>Eletrodinâmica</i>	<i>Fóton</i>
<i>Fraca</i>	10^{-13}	<i>“Flavordynamics”</i>	<i>W e Z</i>
<i>Gravitacional</i>	10^{-42}	<i>Geometrodinâmica</i>	<i>Graviton</i>

O fóton é um dos bósons fundamentais. Este não carrega carga e é portanto sua própria partícula. Fótons tem massa zero e sempre se movem a velocidade da luz. Ele participa das interações eletromagnéticas, isto é, em que há partículas eletricamente carregadas. Tais partículas trocam fótons que são absorvidos ou emitidos.

Os gluons são os mediadores da interação por força forte. Como foi comentado, eles também são divididos em cores diferentes. Existem 8 deles. Temos também os antigluons. A interação forte ocorre sempre quando temos partículas com cor (quarks e gluons). Gluons, assim como os quarks, estão confinados e não podem ser vistos separadamente. Um quark pode mudar de cor quando absorve ou emite um gluon. A cor do hádron envolvido na interação se mantém neutra.

Os W's e o Z são os bósons intermediários da interação por força fraca. Na interação fraca, partículas fundamentais podem mudar de sabor. W's mediam todos os processos em que um quark ou um lépton muda de tipo e também de carga. O bóson Z não faz isto.”

- Foram também coletadas fotos na Internet para dar uma melhor aparência à página. Estas serão omitidas aqui para não deixar este relatório ainda mais longo;
- A própria “confecção” do “site” começou a ser feita no formato .html usando o “Microsoft Word”;
- O projeto incluía a realização de apostilas para que os professores baseassem suas aulas de Partículas Elementares. Acredita-se que este não é o melhor meio de inserir os conceitos aos alunos, pois promove uma formação incompleta e com pouca precisão. Portanto, ao invés de apostilas foram feitos dois arquivos em “Microsoft Power Point” para serem apresentados em sala de aula pelos professores. O primeiro arquivo

compreende uma introdução histórica até chegar ao modelo atômico de Bohr. Para isto as mesmas referências foram usadas e mais também as apresentações do curso de “História da Física” dado pelo professor Roberto de Andrade Martins. O segundo arquivo apresenta os conceitos mais básicos de Física de Partículas e as interações mais fundamentais – Modelo Padrão. Acredita-se que com apresentações mais modernas, os alunos se interessem mais pelo assunto e haja um dinamismo maior.

- Claramente, junto a este relatório, estará também a página na Internet e também as apresentações para os professores ensinarem.

2-) Atividades Futuras

Até o dia da apresentação serão feitas algumas coisas:

- Inserção na página de um texto sobre produção e detecção de partículas;
- Inserção sobre as interações fundamentais na segunda “apresentação”;
- Discutir a possibilidade de colocar as apresentações em “Power Point” na própria página. É possível que isto seja feito, mas acho que tais apresentações merecem ser testadas, para ver se estão suficientemente boas e se necessitam de algum conserto.
- Ajustes estruturais na página também podem ser sugeridos e feitos;

3-) Conclusão

Embora o trabalho não seja inovador, já que existem muitas páginas sobre Física de Partículas na rede, pode ser considerado de relativa importância. Ele propicia ao aluno tentar transpor um assunto tratado academicamente de maneira tão formal para uma linguagem mais dinâmica e acessível ao público mais leigo. Tal situação é fundamental pois no futuro o profissional de Física terá que ensinar, preocupando-se principalmente com uma formação concreta e não efêmera.

Os momentos para introduzir tais assuntos tratados neste projeto e trabalho no ensino médio podem ser dois:

- Ao se estar falando de modelos atômicos em Química – especialmente na parte final do curso de atomística em Química.
- Ao se começar a falar de eletricidade em Física.

A grande dificuldade em realizar o projeto se deve ao curto tempo. Por isto, com mais tempo seria possível realizar algo mais denso, preciso e uniforme. A grande preocupação está principalmente em conectar todas as coisas. Com mais tempo, os assuntos ficariam mais interligados e mais bem esclarecidos.

De qualquer forma o aprendizado foi positivo e acho que o objetivo foi alcançado com relativo sucesso.

4-) Bibliografia

- a-) D. Griffiths; Introduction to Elementary Particles; 1987; John Wiley & Sons;
- b-) F. Halzen e A.D. Martin; Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics; 1984; John Wiley & Sons;
- c-) R. M. Barnett, H. Mühry e H.R. Quinn; The Charm of Strange Quarks; 2000; Springer-Verlag New York;
- d-) F. Ostermann; Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 21, no. 3, 1999, 415.