UFRJ
Instituto de Física

PROJETO DE INSTRUMENETAÇÃO DE FINAL DE CURSO

O QUE É IMPORTANTE SABER PARA O ENSINO DE SPIN NO NÍVEL MÉDIO

Aluno: Pedro Henrique da Silva Pimente Riedel

Orientador: Prof Dr Antonio Carlos Fontes dos Santos

Janeiro/2013

I. F. U. F. R. J.
BIBLIOTECA
REGISTR. 14/2013
DATA

Resumo

O trabalho se inicia com o propósito de demonstrar a necessidade e a precariedade encontrada na discussão e estudo do tema spin já na escola secundária. Quase a totalidade das idéias do autor quanto à inclusão do tema no segundo grau encontra embasamento em cima das propostas adotadas por lei para o ensino médio, o que pode ser verificado através da pesquisa que ressalta os principais trechos alusivos à questão. No segundo capítulo é apresentado o conteúdo sobre o tema spin, que serve ainda, como suporte para aulas que envolvam o assunto. Recheada de informações a respeito das características básicas, numa organização que visa obter o melhor entendimento possível por parte do leitor, mostrando um método de ensino pouco conhecido, mas que pode facilmente ser empregado para aperfeiçoar o aprendizado do tema. O terceiro, e último capítulo, fica sendo a conclusão do trabalho com uma revisão sobre o resultado obtido e possíveis futuros empregos com o conhecimento adquirido.

Indice

Cápitulo I: Motivação e Justificativa 3

Capítulo II : O que é importante saber 10

Cápitulo III : Conclusão 24

Capítulo I: Motivação e Justificativa

Porque ensinar spin no ensino médio?

Debates sobre a introdução do ensino de Física Moderna e Contemporânea no Nível Médio vem sendo realizados em todo o mundo por pesquisadores e professores, uma vez que o seu conhecimento é fundamental para a formação do cidadão ([Morais 2013], [Dominguini 2012], [Oliveira 2007]). Nossos professores devem estar preparados para encarar estes desafios, cada vez mais presentes em sala de aula. A pressão sobre os professores é crescente. Os vestibulares cobram conteúdos em Física Moderna; as Leis de Diretrizes e Bases (LDB) [Brasil 1996] sugerem a sua introdução no conteúdo do Ensino Médio.

O spin é geralmente introduzido no primeiro ano do nível médio na disciplina de química geral. No ensino de Química, frequentemente são utilizados conceitos de Física Moderna sem citá-la em alguma etapa do processo. Conceitos como *spin* e *níveis quânticos* são introduzidos sem nenhuma objeção quando apresentados em química. Nesta monografia é sugerido uma abordagem para a inserção do estudo de spin na disciplina de física no Nível Médio.

Quanto já não se percorreu no estudo da matéria até a abordagem do tema spin? O termo matéria significa a substância da qual todos os objetos físicos consistem, matéria é aquilo que interage. Certamente, não existe proposta de estudo que inclua spin e não passe antes pelos modelos de estrutura da matéria, bem como, não faz sentido estudar única e exclusivamente o movimento de rotação da Terra, sem a compreensão de como funciona o sistema solar no universo. Bem, o que quero dizer, é apenas que o tema proposto é específico, mas necessita a inserção de conhecimentos com a coesão intrínseca ao assunto. Logicamente, o aluno deve acompanhar passo a passo como se organizam as partes que formam o conjunto chamado de átomo. Estudando as características, funções e detalhamentos de cada um desses componentes, estará apto a desenvolver suas idéias e quem sabe um dia colaborar para atualização do sistema.

Nos dias atuais, não é comum que os estudantes já tenham uma visão empírica do mundo físico antes que a disciplina lhes seja apresentada, ainda mais improvável é encontrar um jovem que nunca tenha estudado física e tenha intuitivamente saberes dos modelos e abstrações criadas pelo mundo dos físicos. Essas idéias são tão complexas e transformadoras que é necessário aguardar o amadurecimento para introduzi-las na mente humana. Todavia, vivemos em um mundo em desenvolvimento cada vez mais acelerado e conceitos que demoravam décadas para se propagarem, hoje em questões de segundos atravessam todas as fronteiras. As novas tecnologias impulsionam a busca pelo conhecimento, é necessário o saber para conseguir um bom lugar no mercado de trabalho e status social.

Com a facilitação ao acesso à informação, gerado principalmente pela internet, há uma enorme tendência para que as pesquisas e o próprio estudo autodidata aumentem sem limites. Isto acaba exigindo transformações atualizadoras nos sistemas educacionais, que, infelizmente, são repelidas por aquelas más tendências da natureza humana, são as forças contrárias a mudanças de fluxo. Até que chega um momento, mesmo que demore séculos, em que essas transformações reveladoras se tornam impossíveis de resistir e ganham a aceitação das massas. Por certo, os professores devem ter papel ativo nesta mudança, tornando a internet uma ferramenta e forte aliada ao progresso da educação.

Como foi dito, para o estudo de spin, é realmente importante uma boa noção sobre o modelo de estrutura da matéria. Durante o meu curso noturno de licenciatura em física, ministrado na Universidade Federal do Rio de Janeiro, tive chances de assistir uma palestra extracurricular sobre física moderna, onde foi apresentado um modelo atômico mais atualizado do que o apresentado na disciplina curricular de física moderna. Tenho conhecimento que de lá para cá, houve mudanças na grade curricular de licenciatura, sendo bem provável que os dados desta palestra já estejam incluídos no discurso da matéria passada em sala de aula. Sendo assim, mesmo com a bagagem adquirida durante o curso, o contato com profissionais mais experientes e nomeados torna mais simples a filtragem de informações que são úteis à busca por conhecimento, inferindo respeito e confiabilidade ao estudo.

Em todo caso, sabemos que os livros didáticos são de fato o apoio de confiança de todo aluno da escola secundária. Neste trabalho eles entram como indicadores do que pode estar sendo visto a respeito da abordagem do tema. Muito embora saibamos que nada impede o professor de citar assuntos que sejam de seu domínio e conhecimento,

mesmo quando não estão pautados sobre o livro didático adotado pela escola. Normalmente, o tema spin é citado no discurso de distribuição eletrônica, no princípio de exclusão de Pauli e consta na maior parte dos livros de química, ex: {Feltre 1998}. Mas no campo da física é quase nula sua aparição. Na pesquisa realizada no livro [Guimarães 2008] adotado pelo Colégio de Aplicação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, o CAP UFRJ, é encontrada uma abordagem muito superficial sobre o tema spin. Praticamente um único parágrafo do conteúdo de eletromagnetismo utiliza o termo, mas não há explicações, nem detalhamentos que levam o aluno a entender do que se trata, a abordagem é tão pobre que por si mesma sequer desperta a curiosidade sobre o tema. O livro [Ramalho 1988] não toca no assunto, por exemplo, sua explicação sobre as propriedades magnéticas das substâncias se utiliza unicamente da relação dos níveis de intensidade de campo magnético existente em seu meio. Embora, haja livros didáticos que falem a respeito de spin, por exemplo: O livro [Benigno 2008] afirma: "O elétron e todas as outras partículas que compõem a matéria possuem outra característica que recebe o nome de spin, "giro" ou "rodopio" em português. Seria algo análogo a um movimento de rotação em torno de si mesmo. Esse movimento de rotação da carga elétrica criaria um campo magnético. Entretanto, a Mecânica Quântica demonstrou que essa interpretação não é correta e atualmente se admite um campo magnético intrínseco da carga.". Em geral estes temas são mais debatidos em cursos avançados de física, principalmente para os cursos nas Instituições de Ensino Superior (IES).

Então, pelo o que foi visto, podemos supor que, até então, os alunos da escola secundária, trajetória comum a todos nós, não estão estudando corretamente o que em minha opinião resume o néctar da Física. Ou seja, caso este aluno do ensino médio não escolha o curso de física na sua faculdade, perde-se a oportunidade de apresentar ao futuro Homem como é, e como funciona a estrutura elementar de tudo o que possa existir no mundo que conhecemos. Este é um fato que não deve mais ser ignorado, pois, não se trata de dificuldades intransponíveis como as encontradas no cálculo diferencial, ou, fórmulas assustadoras que rebaixam a física às penumbras das ciências. É uma mera questão de apresentação de um conteúdo já proposto e abordado em sala de aula, mas que necessita ser atualizado. Tratar do assunto após recolhidas suas informações vitais é expandir o saber, é transformar a percepção e torná-la capaz de compreender mecanismos reais que ocorrem na natureza. É prepará-la para posteriormente conjurar as manipulações feitas sobre este mesmo mecanismo, seja através da ciência, ou, da tecnologia. É, acima de tudo, ajudar a desenvolver a inteligência mental através do

reconhecimento do que se tem de mais avançado sobre a organização de uma inteligência superior.

Se, no entanto, a resposta mais correta para esta questão deve simplesmente enquadrar os requisitos impostos pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional [Brasil 1996] que está ligada a constituição brasileira, e ainda aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio [Brasil 1996] , segue abaixo uma pesquisa que destaca os pontos relacionados com a motivação de estudo ao tema proposto.

Sabemos que "A educação, dever da família e do Estado, inspirada nos princípios de liberdade e nos ideais de solidariedade humana, tem por finalidade o pleno desenvolvimento do educando, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho." (art 2° da LDB/96), e mais, "A educação básica tem por finalidades desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores. " (art. 22 da LDB/96).

> "A LDB/96, ao considerar o Ensino Médio como última e complementar etapa da Educação Básica, e a Resolução CNE/98, ao instituir as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, que organizam as áreas de conhecimento e orientam a educação à promoção de valores como a sensibilidade e a solidariedade, atributos da cidadania, apontam de que forma o aprendizado de Ciências e de Matemática, já iniciado no Ensino Fundamental, deve encontrar complementação e aprofundamento no Ensino Médio. Nessa nova etapa, em que já se pode contar com uma maior maturidade do aluno, os objetivos educacionais podem passar a ter maior ambição formativa, tanto em termos da natureza das informações tratadas, dos procedimentos e atitudes envolvidas, como em termos das habilidades, competências e dos valores desenvolvidos." [Brasil 1999]

> " Os objetivos do Ensino Médio em cada área do conhecimento devem envolver, de forma combinada, o desenvolvimento de conhecimentos práticos, contextualizados, que respondam às necessidades da vida contemporânea, e o desenvolvimento de conhecimentos mais amplos e abstratos, que correspondam a uma cultura geral e a uma visão de mundo. Para a área das Ciências da Natureza, Matemática e Tecnologias, isto é particularmente verdadeiro, pois a

crescente valorização do conhecimento e da capacidade de inovar demanda cidadãos capazes de aprender continuamente, para o que é essencial uma formação geral e não apenas um treinamento específico. Ao se denominar a área como sendo não só de Ciências e Matemática, mas também de suas Tecnologias, sinaliza-se claramente que, em cada uma de suas disciplinas, pretende-se promover competências e habilidades que sirvam para o exercício de intervenções e julgamentos práticos. Isto significa, por exemplo, o entendimento de equipamentos e de procedimentos técnicos, a obtenção e análise de informações, a avaliação de riscos e benefícios em processos tecnológicos, de um significado amplo para a cidadania e também para a vida profissional. Com esta compreensão, o aprendizado deve contribuir não só para o conhecimento técnico, mas também para uma cultura mais ampla, desenvolvendo meios para a interpretação de fatos naturais, a compreensão de procedimentos e equipamentos do cotidiano social e profissional, assim como para a articulação de uma visão do mundo natural e social. Deve propiciar a construção de compreensão dinâmica da nossa vivência material, de convívio harmônico com o mundo da informação, de entendimento histórico da vida social e produtiva, de percepção evolutiva da vida, do planeta e do cosmos, enfim, um aprendizado com caráter prático e crítico e uma participação no romance da cultura científica, ingrediente essencial da aventura humana." [Brasil 1999]

"Sendo o Ensino Médio um momento particular do desenvolvimento cognitivo dos jovens, o aprendizado de Física tem características específicas que podem favorecer uma construção rica em abstrações e generalizações, tanto de sentido prático como conceitual. Levando-se em conta o momento de transformações em que vivemos, promover a autonomia para aprender deve ser preocupação central, já que o saber de futuras profissões pode ainda estar em gestação, devendo buscar-se competências que possibilitem a independência de ação e aprendizagem futura.

Mas habilidades e competências concretizam-se em ações, objetos, assuntos, experiências que envolvem um determinado olhar sobre a realidade, ao qual denominamos Física, podendo ser desenvolvidas em tópicos diferentes, assumindo formas diferentes em cada caso, tornando-se mais ou menos adequadas dependendo do contexto em que estão sendo desenvolvidas. Forma e conteúdo são, portanto,

profundamente interdependentes e condicionados aos temas a serem trabalhados." [Brasil 1999]

"A Ótica e o Eletromagnetismo, além de fornecerem elementos para uma leitura do mundo da informação e da comunicação, poderiam, numa conceituação ampla, envolvendo a codificação e o transporte da energia, ser o espaço adequado para a introdução e discussão de modelos microscópicos. A natureza ondulatória e quântica da luz e sua interação com os meios materiais, assim como os modelos de absorção e emissão de energia pelos átomos, são alguns exemplos que também abrem espaço para uma abordagem qüântica da estrutura da matéria, em que possam ser modelados os semicondutores e outros dispositivos eletrônicos contemporâneos.

Em abordagens dessa natureza, o início do aprendizado dos fenômenos elétricos deveria já tratar de sua presença predominante em correntes elétricas, e não a partir de tratamentos abstratos de distribuições de carga, campo e potencial eletrostáticos. Modelos de condução elétrica para condutores e isolantes poderiam ser desenvolvidos e caberia reconhecer a natureza eletromagnética dos fenômenos desde cedo, para não restringir a atenção apenas aos sistemas resistivos, o que tradicionalmente corresponde a deixar de estudar motores e geradores. Além dos aspectos eletromecânicos, poder-se-ia estender a discussão de forma a tratar também elementos da eletrônica das telecomunicações e da informação, abrindo espaço para a compreensão do rádio, da televisão e dos computadores." [Brasil 1999]

"Assim, o aprendizado de Física deve estimular os jovens a acompanhar as notícias científicas, orientando-os para a identificação sobre o assunto que está sendo tratado e promovendo meios para a interpretação de seus significados. Notícias como uma missão espacial, uma possível colisão de um asteróide com a Terra, um novo método para extrair água do subsolo, uma nova técnica de diagnóstico médico envolvendo princípios físicos, o desenvolvimento da comunicação via satélite, a telefonia celular, são alguns exemplos de informações presentes nos jornais e programas de televisão que deveriam também ser tratados em sala de aula.

O caráter altamente estruturado do conhecimento físico requer uma competência específica para lidar com o todo, sendo indispensável desenvolver a capacidade de elaborar sínteses, através de esquemas articuladores dos diferentes conceitos, propriedades ou processos, através da própria linguagem da Física.

A Física percebida enquanto construção histórica, como atividade social humana, emerge da cultura e leva à compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais, tendo se sucedido ao longo dos tempos, como o modelo geocêntrico, substituído pelo heliocêntrico, a teoria do calórico pelo conceito de calor como energia, ou a sucessão dos vários modelos explicativos para a luz. O surgimento de teorias físicas mantém uma relação complexa com o contexto social em que ocorreram." [Brasil 1999]

Como vemos nestes parágrafos, é de comum opinião a necessidade de abertura do espaço em sala de aula aos novos conhecimentos da física quântica. Suas idéias misturam conceitos da física newtoniana com os da física ondulatória e mantém uma forma que anda causando certa sensação de que os mistérios desta área não foram totalmente desvendados. Talvez realmente faltem alguns pontos de conexão entre a teoria e a prática, ou em nossas próprias percepções, ou ainda, necessitamos de novas experiências, de qualquer jeito tudo indica que mais um tempo é necessário para total aceitação das massas nesse recente ramo da física.

Um desses pontos turvos está justamente na interpretação do spin sobre a visão da física quântica, mas antes de colocarmos o assunto de lado devemos discutir o tema. É difícil encontrar um apoio sólido no estudo de spin, porque se notam divergências entre livros e artigos com publicações sobre o tema. Mas o fundamental fica sendo o fato que ao estudá-lo, ao levá-lo a sala de aula alertando sobre suas fragilidades, estaremos provendo a oportunidade de conhecimento e destacando as necessidades de atualizações e solidificação do assunto. No próximo capítulo estará ilustrada uma abordagem do tema para o nível médio. Com tudo o que foi dito até aqui, fica claro que não é do interesse aprofundar-se no tema pelos prismas do cálculo, através de matemática pesada que fugisse da compreensão a maior parte das pessoas. Tão pouco confrontar de forma preconceituosa as inovadoras idéias da física quântica. A intenção é apresentar os conhecimentos atuais e dar certa orientação ao aluno que começa a entrever os aspectos turbulentos da matéria, analisar a origem e as propriedades do spin.

Capítulo II : O que é importante saber

O quê é o spin ? (sua ontologia)

A ciência é por si só uma representação de padrões identificados (conservação da energia, momento, etc...) e manipulados pela comunidade constituída por aqueles que a praticam. Esta visão é consistente com a prática antiga de utilizar representações reconhecidas como um modelo para o entendimento da estrutura conceitual de um domínio relevante. Um ponto fundamental para uma representação articulada do spin é saber o que tipo de coisa o spin é (sua ontologia).

Um modelo cognitivo incorpora estruturas de nosso pensamento sobre como conceitualizamos abstrações em geral. Neste capítulo, sugerimos as ontologias possíveis de modo a estruturar o pensamento sobre o spin no ensino de física, além de discutir as vantagens e limitações desta ontologia, que é uma peça fundamental da nossa abordagem de ensino.

Numa perspectiva cognitiva, todas as abstrações são compreendidas como experiências motores e sensoriais básicas tais como massa, movimento e repouso. A utilização de analogias e metáforas é um ato natural, não consciente e permeia a nossa fala. Frequentemente expressamos conceitualizações de eventos, atividades, emoções, ideias, etc.... como sendo entidades. Pesquisas em cognição demonstram que a categorização ontológica é a chave para a compreensão de conceitos de grandezas físicas [Sherr 2012]. O ato de invocar analogias que implicam na ontologia da grandeza sob estudo é ponto fundamental para o ensino de física. A ontologia inerente a uma analogia é utilizada como uma alavanca cognitiva que contribui para o desenvolvimento conceitual.

O principal obstáculo para o ensino de conceitos fundamentais, como spin, por exemplo, é que não há nada mais fundamental que possa ser utilizado para descrevê-los. "Se tivermos que dar uma descrição detalhada sobre uma pessoa, é muito fácil. Podemos dar a sua altura aproximada, a cor da sua pele, seus olhos, cabelos, roupa, e assim por diante. Você supõe que as pessoas sabem o que é altura de uma pessoa, cor de pele, etc. Porém, é difícil descrever coisas mais simples, fundamentais. A dificuldade aumenta quando temos que descrever, por exemplo, o que é um elétron. Podemos dizer

bastante coisa a seu respeito, sua carga, sua massa, mas não podemos realmente dizer o que é um elétron. O máximo que podemos fazer é criar modelos dualistas sobre o seu comportamento, ora como onda, ora como partícula, para tentar descrever com o que o elétron se parece. Estas analogias são formadas por nossos valores. O conhecimento científico surge quando testamos estes modelos com experimentos. Então, coisas fundamentais como o elétron, podem apenas ser descritas em termos de representações mentais, analogias, conceitos matemáticos, tais como linhas de força e equipotenciais. Isto ajuda bastante as pessoas a utilizarem de modo prático estas coisas que de fato não compreendemos. No entanto, o fato de não sabermos exatamente o que é um elétron não impossibilitou de utilizarmos em rádio, televisão, eletricidade em geral [Nunes 2011].

Spin é uma palavra do idioma inglês, sua tradução para o português tem o significado de girar, rodar. A principal associação do termo no estudo de física se dá através da idéia clássica de que os elétrons que orbitam ao redor do núcleo atômico, comportar-se-iam como se também estivessem realizando movimento rotacional em torno do seu próprio eixo. Porém, o spin é fundamentalmente não clássico. Imaginar o spin segundo um modelo clássico como se o elétron fosse uma minúscula esfera girante serve apenas como uma analogia. As respostas a essas questões estão no âmago da mecânica quântica. Podemos dizer que, no mundo microscópico, os aspectos corpusculares e ondulatórios da matéria e energia são complementares, ou seja, um sistema quântico pode tanto exibir aspectos corpusculares ou aspectos ondulatórios, dependendo de como realizamos o nosso experimento, mas não ambos ao mesmo tempo. Portanto, não é possível montar uma experiência onde os dois aspectos possam ser revelados ao mesmo tempo. Essa explicação foi proposta pelo dinamarquês Niels Bohr (1885-1962) em 1928 e ficou conhecida como o princípio da complementaridade.

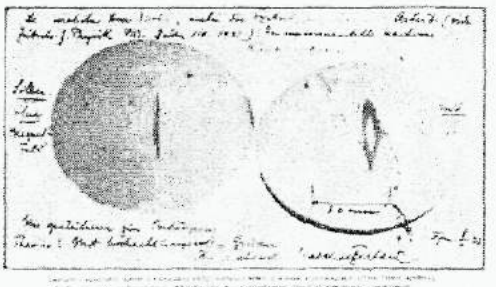
A respeito da utilização de analogias no ensino, vale citar o professor Peter Fensham: "Anos atrás, uma professora primária me contou sobre uma grande série de lições que ela teve. A classe tinha visitado piscinas naturais à beira-mar, e quando ela perguntou-lhes sobre as suas observações eles falaram sobre: era como uma fábrica, era como uma igreja, era como um jardim, era como a nossa cozinha na hora do almoço, etc. Cada analogia dos estudantes poderia ser elaborada, e essas analogias ofereceu-lhe estudantes fortemente engajados e uma plataforma excelente para desenvolver seu aprendizado sobre diversidade biológica e interdependência. Na vida cotidiana, aprendemos muitas coisas, comparando e contrastando. O uso de analogias e metáforas é importante na própria ciência e sua utilização no ensino ciência parece uma extensão

natural, mas livros com sua própria lógica limitada, não ajudam aos professores ou aos alunos."

O spin é uma rotação em torno de um eixo?

A idéia do spin do elétron foi introduzida por Compton: "Posso concluir então que o próprio elétron, girando em torno de si como um pequeno giroscópio, é provavelmente a última partícula magnética" [Eisberg 1988]. No entanto, o crédito do conceito de spin é geralmente atribuído a Goudsmit e Uhlenbeck, que em 1925 estavam estudando as linhas do espectro ótico do átomo de hidrogênio e outros átomos alcalinos, resolviam explicar os desdobramentos das linhas espectrais, quando os átomos são colocados num campo magnético (efeito Zeeman). Eles buscavam compreender porque as linhas eram compostas de pares muito próximas (estrutura fina).

A experiência de constatação da existência do spin é conhecida como o experimento de Stern-Gelarch, que verificou a possibilidade do elétron estar girando em apenas dois sentidos, up ou down, onde, em concordância com os resultados obtidos, o eixo do giro é sempre paralelo ao eixo do movimento orbital. Abaixo podemos ver o resultado do experimento, o eixo do movimento orbital e os sentidos do spin.



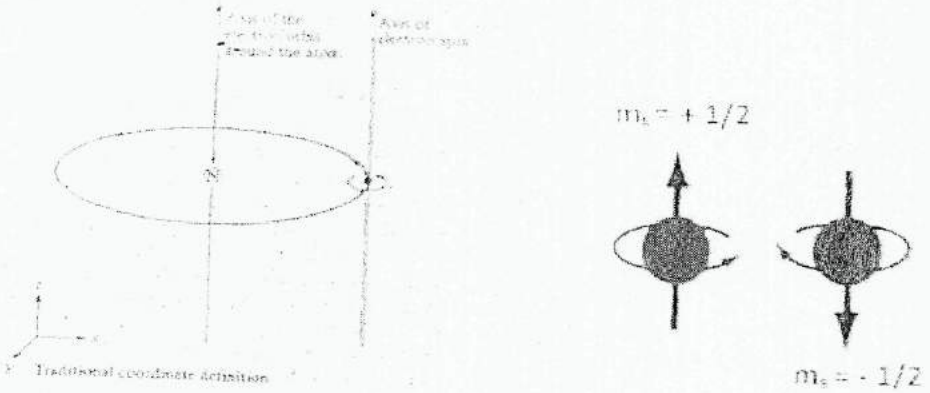


Fig. 2.1 – Resultados, direção e sentido do *spin*
http://images.google.com.br

Notemos com clareza nesta figura a visualização de dois momentos angulares distintos, um referente ao movimento de translação, o momento angular orbital, e outro referente ao movimento de rotação, o spin.

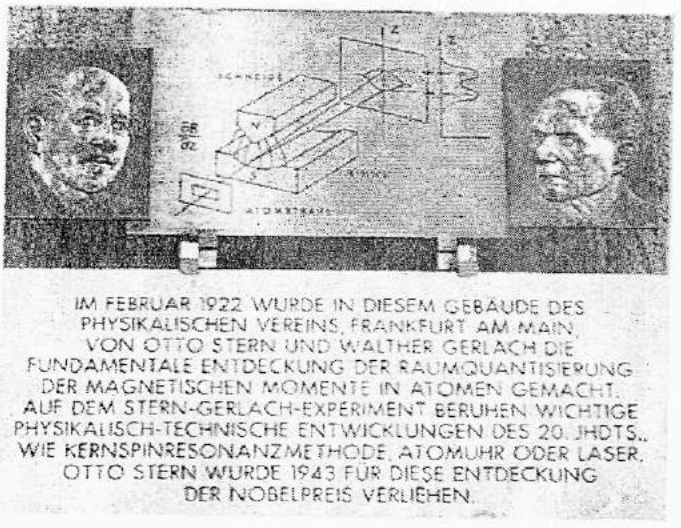


Fig. 2.2 – experimento Stern-Gerlach
http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/fisica-sem-misterio/imagens/sterngerlach.jpg/image_preview

Otto Stern e Walther Gerlach, são os nomes dos físicos responsáveis pela experiência realizada em 1922, com o propósito de comprovar a quantização do momento angular. Seu aparato consiste na interação de campos magnéticos. De um material de amostra é gerado um feixe de suas partículas a serem analisadas. O feixe é enviado por dentro de um campo magnético não-homogêneo, no final do percurso é notada a deflexão do feixe em relação ao seu sentido original.

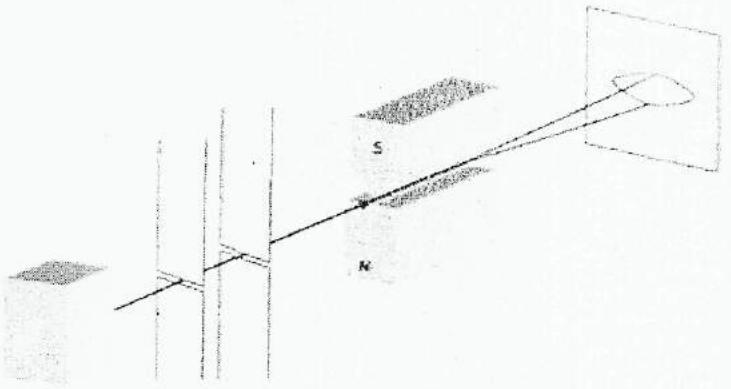
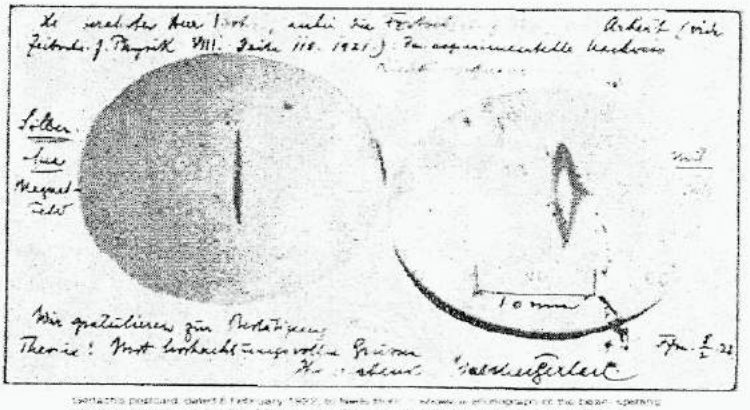


Figura 1 - Representação esquemática do experimento de Stern-Gerlach.

Fig. 2.3 – experimento Stern-Gerlach
http://images.google.com.br

Foi verificado que, utilizando materiais de amostra que possuissem todos os elétrons emparelhados o feixe permanece inalterado. No entanto, se o material possuísse elétrons desemparelhados, o feixe aparecia acima, ou, abaixo do original, conforme mostrado na figura abaixo. Com isso, conclui-se que o elétron desemparelhado, que é o responsável pela magnetização das partículas, somente possui duas orientações, spin up e spin down.



Postcard dated 8 February 1922 to Niels Bohr, showing photographs of the beam splitting with the message in translation: "Attached is the experimental proof of directional quantization. We congratulate you on the confirmation of your theory." (Physics Today December 2003)

Figura 3 - Postal enviado por Walther Gerlach a Niels Bohr em 8 de fevereiro de 1922, que mostra uma fotografia que revela a prata depositada na placa de vidro, após uma revelação (fotográfica), para os casos sem campo (esquerda) e com campo magnético (direita). Gerlach escreve: "Anexo está a prova experimental da quantização direcional. Nós felicitamos você pela confirmação de sua teoria".[15]

Fig. 2.4 – Resultado experimento Stern-Gerlach

http://images.google.com.br

Uma carga girando em torno de si mesma, como, por exemplo, um elétron girando em torno do seu eixo, cria um dipolo magnético, ou seja, teremos um pólo norte e um pólo sul como se a partícula fosse um imã.

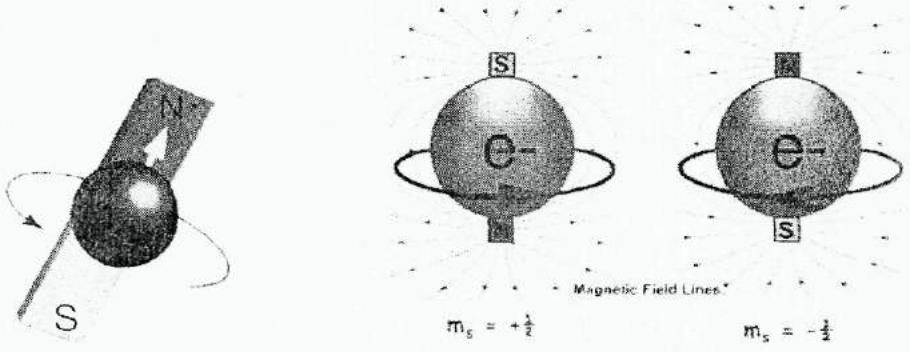


Fig. 2.5 – orientação magnética
http://images.google.com.br

O spin normalmente é chamado de momento angular intrínseco, podemos ver também a denominação momento magnético de spin, ou seja, momento magnético devido ao momento angular intrínseco. O significado do termo intrínseco, aqui, abrange a idéia de o spin ser uma propriedade natural de todas as partículas elementares, um atributo da matéria, assim como sua massa e sua carga.

Para construção de uma análise efetiva do experimento, é obrigatório levar em consideração a contribuição do spin no momento magnético total gerado, que então é formado pela interação do campo não-homogêneo com os campos de orbital e de spin, enquanto a partícula está submersa no campo não-homogênio. Sendo assim, os cálculos matemáticos ficam coerentes com os resultados dos testes experimentais.

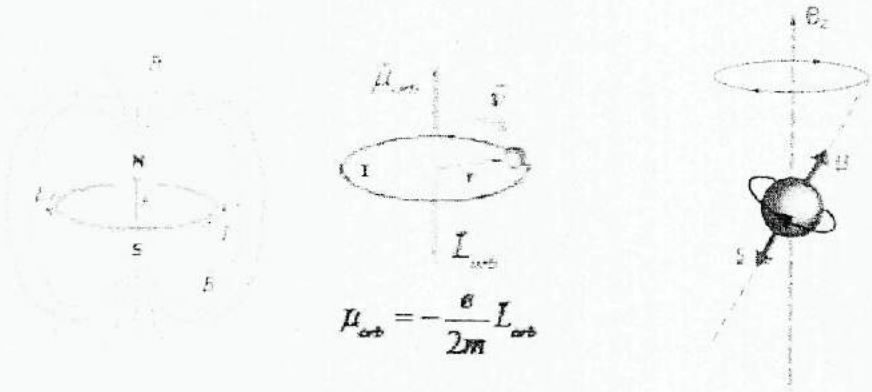


Fig. 2.6 – interação
http://images.google.com.br

A figura mostra a contribuição do momento de orbital, gerado pelo movimento de translação do elétron, e do momento de spin, que forma a precessão.

Na experiência, entendemos que se a partícula viaja em um campo homogêneo, as forças exercidas em direções opostas do dipolo se cancelam e o movimento da partícula fica inalterado, como no caso de total emparelhamento de elétrons. Se a partícula viaja através de um campo não-homogêneo, então a força em um dipolo será ligeiramente maior que a força oposta no outro extremo. Isso faz com que a partícula seja defletida no campo magnético não-homogêneo.

Concluindo, o spin de uma partícula se comporta experimentalmente como um momento angular intrínseco, soma-se como momento angular, é conservado como parte do momento angular, é descrito como momento angular e tem um nome sinônimo de momento angular. Apesar de tudo isso, professores e livros didáticos em todo o mundo afirmam que o spin não é uma rotação em torno de um eixo. Um dos argumentos contra a idéia de uma rotação em torno de um eixo é que qualquer objeto girando deve ter spin inteiro. Como metade de um spin inteiro não é possível na física clássica, argumenta-se que o momento angular intrínseco não é devido à rotação. Elétrons têm spin 1/2 e possuem carga e como todas as partículas carregadas com spin, o elétron tem um momento magnético. Um momento magnético é esperado para qualquer carga que gira, no entanto, sabemos que o nêutron, que possue carga nula, possue spin 1/2. Em outras palavras, a rotação de 1/2 se comporta como rotação. No entanto, assumindo uma partícula que consiste de uma distribuição de cargas contínua em movimento de rotação resultará num valor errado para o momento magnético. Nos primórdios do século XX,

quando físicos ainda estavam pensando em termos clássicos, eles concluíram que partículas de spin 1/2 não pode ser rotativo. [Sherr 2012]

Spin e a distribuição eletrônica em átomos

Nesta seção, revisaremos os conceitos da distribuição eletrônica, entendendo como e com quais propriedades os elétrons se mantêm ligados ao núcleo atômico.

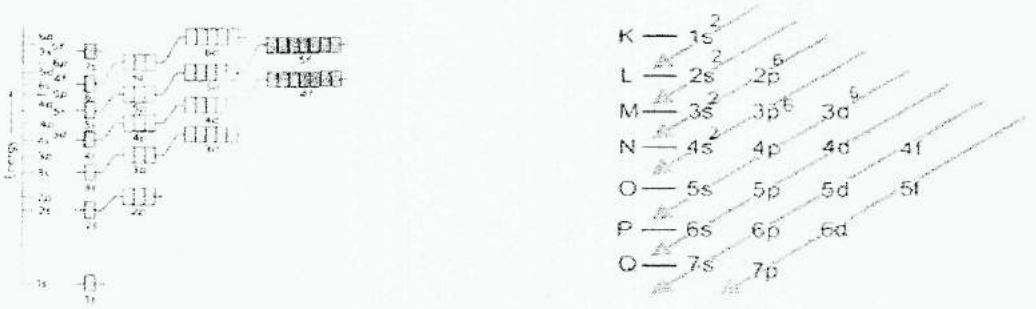


Fig. 2.10 – distribuição eletrônica
http://images.google.com.br

Ao estudarmos a tabela periódica, especificamente a distribuição eletrônica, notamos que os elétrons são integrados ao átomo em seqüência gradual de uma unidade. Estes elétrons são distribuídos em níveis e subníveis energéticos. Cada subnível comporta um número variável de orbitais. Pelo princípio de exclusão de Pauli sabemos que um orbital comporta no máximo dois elétrons com spins contrários. De acordo com o número de elétrons do átomo primeiro se preenchem os orbitais pelo spin up, e após, inicia-se a formação dos pares pelo preenchimento do spin down, regra de Hund. Os orbitais que possuem o par, up e down, são ditos que possuem os elétrons emparelhados e os orbitais com apenas o spin up, são ditos como contendo um elétron desemparelhado. [Feltre 1998].

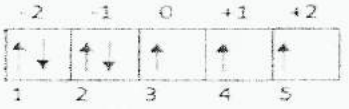


Fig. 2.11 – multiplicidade
http://images.google.com.br

O spin, no caso dos elétrons, quando combinado com o momento angular que essas partículas possuem ao redor do átomo, é responsável pelas propriedades

magnéticas da matéria. A interação entre o spin e o momento angular é que faz com que surja o magnetismo da matéria.

Nota-se que o material que possui elétrons desemparelhados é classificado como material paramagnético, pois, devido a estes elétrons, sofre fraca atração magnética. No paramagnetismo puro, estes elétrons não interagem uns com os outros e são orientados aleatoriamente na ausência de um campo externo. Ex: Sódio, magnésio e cálcio.

Nota-se que o material que possui todos os elétrons emparelhados é classificado como material diamagnético, pois, não sofre atração magnética. Ex: Mercúrio, ouro e bismuto.

Nota-se que um material classificado como ferromagnético é o que sofre forte atração magnética, pois, possuem a propriedade de organizar todos os seus elétrons, alinhando os spins em um único sentido. Ex: Ferro, níquel e cobalto.

Materiais magnéticos têm uma infinidade de aplicações – dos imãs de geladeira para fixarmos os recados que não queremos esquecer aos imãs utilizados em motores elétricos, passando pelos materiais utilizados para a gravação magnética de informação nos discos rígidos dos computadores.

O efeito Zeeman

O efeito Zeeman consiste no deslocamento das linhas espectrais de um sistema (átomos, moléculas, defeito, impurezas em cristais, etc.) em vários componentes pela ação de um campo magnético. Esse efeito, descoberto pelo físico holandês Pieter Zeeman, em 1896, é utilizado principalmente na determinação da multiplicidade dos termos espectrais (números quânticos dos níveis de energia). Além disso, o desdobramento dos níveis de energia pela ação de um campo magnético constitui a base das técnicas de ressonância magnética. Podemos distinguir dois efeitos:

1. O efeito Zeeman normal, exibido por átomos sem spin ($S = 0$), onde cada linha espectral é desdobrada em 3 componentes se o espectro for observado perpendicular à direção do campo magnético, ou em 2 componentes se ele for observado paralelamente ao campo. Estas componentes são polarizadas, e mesmo assim que a linha original não seja polarizada. Este efeito pode ser explicado com base em um modelo semi-clássico introduzindo a quantização do momento angular.

2. O efeito Zeeman anômalo, exibido por átomos com um spin efetivo ($S \neq 0$), onde a estrutura de linhas resultantes é mais complicada que já cada linha pode desdobrar-se em muitos componentes. Este efeito somente pode ser explicado utilizando o formalismo da mecânica quântica levando em conta o spin do elétron.

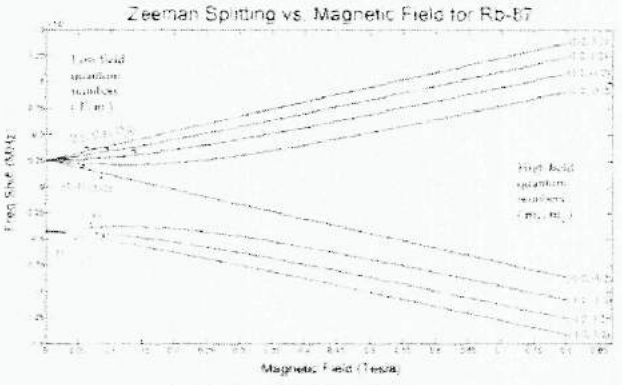


Fig. 2.7 – Efeito Zeeman
http://en.wikipedia.org/wiki/Zeeman_effect

spin-flip

Sabemos que um elétron ao saltar de uma camada de maior nível de energia (menos estável), para uma de menor nível de energia (mais estável) emite um fóton. Este mesmo fenômeno de emissão do fóton pode ocorrer com a inversão do spin do elétron, sem mudança de camada. Este processo é conhecido como spin-flip.

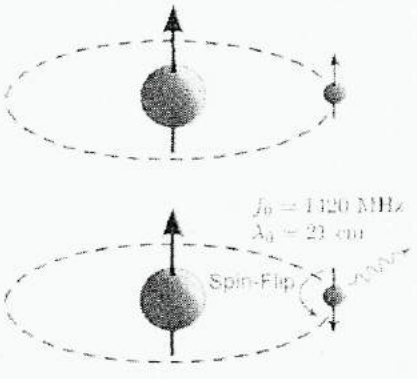


Fig. 2.8 – spin-flip
http://la-mecanica-cuantica.blogspot.com.br/2009/08/el-experimento-stern-gerlach.html

Os exemplos de ocorrência deste processo estão relacionados a estudos que remetem a origem de galáxias no universo.

Fig. 2.9 – galáxia
http://la-mecanica-quantica.blogspot.com.br/2009/08/el-experimento-stern-gerlach.html

Por quê espadas de laser não podem existir?

Os sistemas físicos são feitos de dois tipos de partículas: bósons e férmions. Bósons possuem spin inteiro e férmions possuem spin semi-inteiro. Experimentos mostram que a luz é feita de partículas elementares que se comportam como bósons, os fótons. Eles têm spin inteiro. Dois ou mais bósons, como dois fótons, podem compartilhar o mesmo estado. Férmions têm princípio de exclusão de spin semi-inteiro. Isto é, Eles obedecem ao princípio de exclusão de Pauli: dois férmions não podem estar no mesmo estado. O princípio de exclusão explica (parcialmente) a estrutura do tamanho de átomos, bem como o comportamento químico dos átomos. Junto com a repulsão eletrostática dos elétrons, o princípio de exclusão explica a incompressibilidade da matéria e da sua falta de impenetrabilidade. Apesar da indistinguibilidade de partículas, o quantum de ação também implica que as cópias exatas de objetos macroscópicos não pode ser produzido, porque os estados quânticos para objetos macroscópicos não podem ser copiados. Finalmente, a ligação entre rotação e rotação implica que antipartículas devem existir. Isto também implica que a rotação é intrinsecamente um fenômeno tridimensional.

Quando uma espada se aproxima perigosamente, podemos pará-la com uma segunda espada. No entanto, quando um feixe de laser se aproxima, é impossível afastá-lo com um segundo feixe, apesar dos filmes de ficção científica mostrar isso. Bater dois

feixes de laser um contra o outro, é impossível. Isto porque os fótons, ao contrário dos elétrons, são partículas com spin inteiro (bósons) e, portanto, o Princípio de Exclusão de Pauli não se aplica a fótons. Os elétrons nas espadas metálicas são férmions (partículas com spin semi-inteiro) e obedecem ao princípio de exclusão de Pauli. Férmions fazem a matéria impenetrável. Dois bósons podem estar no mesmo estado; bósons permitem a interpenetração da matéria. A matéria é impenetrável porque no nível fundamental é composta de férmions (prótons, elétrons, nêutrons, etc..). A radiação é composta por bósons; feixes de luz podem atravessar um ao outro. A distinção entre férmions e bósons, explica que os objetos podem ser tocados enquanto as imagens não podem.

Ensinando com analogias

Quando os professores utilizam palavras como "é como se", "similarmente", "comparando com" estão utilizando analogias de modo a ajudar aos alunos a compreenderem os conceitos. De modo a aplicar corretamente as analogias, evitando confusão, muitos autores [Nunes 2011 e referências] sugerem a utilização do método "Teaching With Analogies" ou TWA (Ensinando através de analogias), introduzido por Glynn e colaboradores [Nunes 2011]. No método TWA, ocorre um mapeamento entre o conceito análogo e o conceito alvo (o que se deseja ensinar). O propósito do método é transferir idéias de um conceito familiar (conceito análogo) para um conceito novo (o alvo) através do mapeamento de suas analogias. O modelo TWA consiste de seis operações: 1) introduzir o conceito alvo; 2) rever o conceito análogo; 3) identificar as características relevantes do alvo e de seu análogo; 4) mapear as similaridades entre o alvo e o análogo; 5) indicar as limitações da analogia; 6) conclusões.

Para exemplificar o método TWA, veremos os níveis de energia de um elétron em um átomo e sua analogia com estacionamento de veículos.

(1) Conceito alvo:

Ao estudarmos a tabela periódica, especificamente a distribuição eletrônica, notamos que os elétrons são integrados ao átomo em seqüência gradual de uma unidade. Estes elétrons são distribuídos em níveis e subníveis energéticos. Cada subnível comporta um número variável de orbitais. [Feltre 1998].

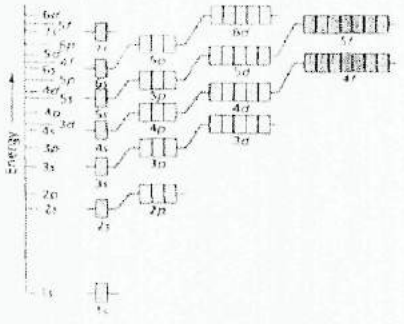


Fig. 2.10 – distribuição eletrônica
http://images.google.com.br

(2) rever o conceito análogo:

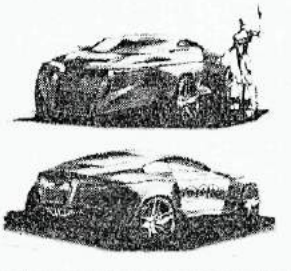
Um diagrama dos níveis de energia de um elétron em um átomo (Fig. 2.10) é análogo à estrutura de um estacionamento de vários andares. No primeiro andar, o mais caro, há poucos lugares, mas se você for para andares superiores, há progressivamente mais lugares disponíveis. Como é mais cômodo estacionar no primeiro andar, pois torna-se mais fácil entrar e sair do estacionamento, os andares inferiores são preenchidos primeiro.

(3) identificar as características relevantes do alvo e de seu análogo:

Elétrons em um átomo são análogos a carros da mesma marca e modelo em um estacionamento. Possuem a mesma massa e carga. A energia potencial de um carro no estacionamento depende do andar no qual o carro foi estacionado. Quanto mais alto o andar, maior a energia potencial do automóvel. Similarmente, a energia de um elétron é uma função do orbital que ele ocupa.

(4) mapear as similaridades entre o alvo e o análogo:

A tabela a seguir ilustra um mapeamento possível entre o conceito alvo e o conceito análogo.

conceito alvo	Conceito análogo
Posição dos elétrons	Posição na garagem
Spin (up ou down) ↑↓	Sentido no qual o carro foi estacionado (de frente ou de ré) 
Atração eletrostática do elétron pelo núcleo	Energia potencial (mgh)
Energia do elétron	Energia do carro
Número quântico principal	Andar no qual o carro foi estacionado

(5) indicar as limitações da analogia:

Ao indicarmos um estacionamento como padrão de referência é possível que se induza a idéia de que os elétrons estejam estáticos em suas posições; com a analogia a carros permanece a teoria clássica de elétrons como pontos materiais.

(6) conclusões:

Através do modelo análogo, é bem possível que o aluno gere mais facilmente um quadro visual que lhe permita a cognição dos novos conceitos apresentados. Todos os termos utilizados para descrever o estacionamento de veículos em um prédio de andares já são conhecidos e estão bem vinculados com os novos termos que remetem a níveis de energia.

Capítulo III: Conclusões

Passamos em revista os fundamentos da teoria sobre spin, entretanto, sem abordar os métodos matemáticos, que se dão através de conceitos de vetores e pela evolução das equações da física quântica que são aprofundadas no nível superior. Este estudo tem como um dos seus objetivos instigar a curiosidade do aluno secundarista e motivá-lo a um estudo mais elaborado deste, e dos demais temas interligados ao assunto. Quem sabe despertando o lado científico de jovens estudantes.

Mesmo entre aqueles que não desejarem seguir o estudo de física no ensino superior, fica elucidado questões que favorecem a compreensão de novas tecnologias, tais como, a eletrônica e a tão usual ressonância magnética que entre seus princípios básicos de funcionamento manipula as propriedades do spin. Em estudos mais avançados, vemos a manipulação do spin na recém criada computação quântica que pretende revolucionar a tecnologia computacional nas próximas décadas, reduzindo relevantemente os tempos de processamento de dados e os gastos de energia. Vimos também, como este conceito pode explicar propriedades físicas da matéria, como no caso da impenetrabilidade das espadas.

Este roteiro serve como um suporte para aulas que tratem de spin e demonstra a capacidade de organização de informações que neste caso, como em outros, aparecem

dispersas e contendo incoerências que dificultam, em muito, a solidificação do estudo no processo de aprendizagem. Mostra um método de ensino baseado em analogias, o TWA, que facilita o aprendizado de novos conceitos.

É necessário ressaltar que nada do que foi apresentado é visto como verdade absoluta, e alguns passos necessitam de mais clareza e aprofundamento. A importância deste estudo está na evolução que suas idéias trazem ao nosso cotidiano, através do conhecimento e de novas tecnologias. E ainda, a esperança de novas descobertas. Que *Deus* nos abençoe, hoje e sempre.

Referências

[Benigno 2008] Claudio Xavier da Silva e Benigno Barreto Filho, Física Aula por Aula, Vol.3 1 ed. Editora FTD, São Paulo (2008)

[Cavalcante 1999] M. A. Cavalcante, Rev. Bras. Ens. Fís. **21**, 550 (19990.

[Dominguini 2012] L. Dominguini, Rev Bras. Ens. Fís. **34**, 2502 (2012).

[Eisberg 1988] R. Eisberg e R. Resnick, Física Quântica, 4ª edição, Editora Campus, Rio de Janeiro (1988)

[Feltre 1998] Ricardo Feltre, os fundamentos da química, 2ª edição, Editora Moderna, São Paulo (1998)

[Guimarães ano] Luiz Alberto Guimarães, física no ensino médio, edição X, Editora XX, Cidade, ano

[Brasil 1996] Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional de 1996

[Morais 2013] A. Morais e A. Guerra, Rev Bras. Ens. Fís. **35**, 1502 (2013).

[Nunes 2011] Leandro Nery Nunes, Ensinando sobre o potencial elétrico utilizando máquinas eletrostáticas de baixo custo e planilha de dados. Dissertação de Mestrado, IF-UFRJ. 2011.

[Oliveira 2007] F. F. Oliveira, D. M. Vianna, R. S. Gerbassi, Rev Bras. Ens. Fís. 29, 447 (2007).

[Brasil 1999] Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio de 1999

[Ramalho 1988] Francisco Ramalho Junior, os fundamentos da física, 3ª edição. Editora Moderna, São Paulo (1988)

[Sherr 2012] Rachel E. Scherr, Hunter G. Close, Sarah B. McKagan,† and Stamatis Vokos. Phys. Rev. Sp. Top. Phys. Ed. Res. 8, 020114 (2012).

[Schiller 2013] C. Schiller, Motion Mountain, http://motionmountain.net/index.html

Sites consultados:

Wikipédia, a enciclopédia livre

http://la-mecanica-cuantica.blogspot.com.br/2009/08/el-experimento-stern-gerlach.html

http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/332604.pdf

http://www.youtube.com/watch?v=W98GtnwG3Io

http://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/spinMeio/eqsSM/spinap.pdf

http://www.qmc.ufsc.br

http://plato.if.usp.br

w3.ualg.pt/~arodrig/Documentos/InfPagina/fancap3.DOC

http://www.profpc.com.br/números_quânticos.htm

http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/fisica-sem-misterio/o-spin-que-move-o-mundo

http://images.google.com.br