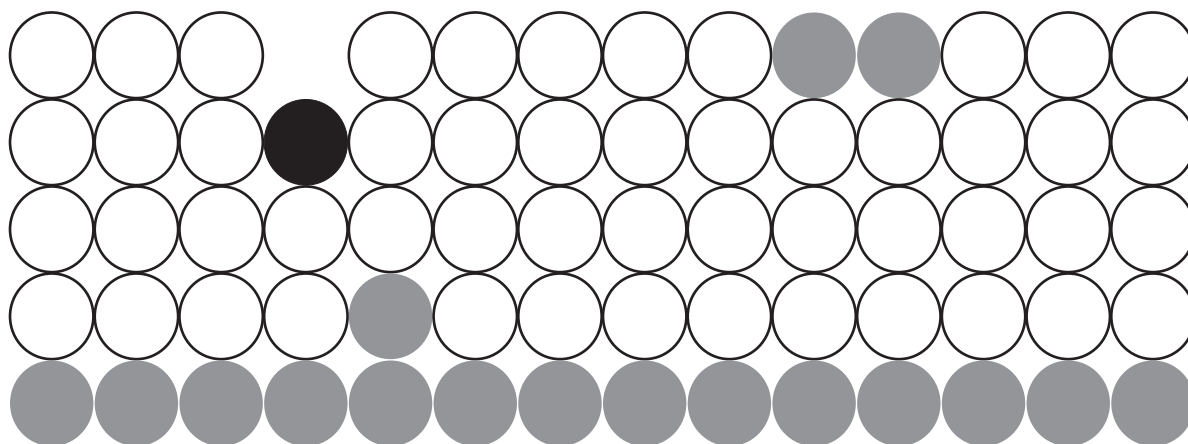


# TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

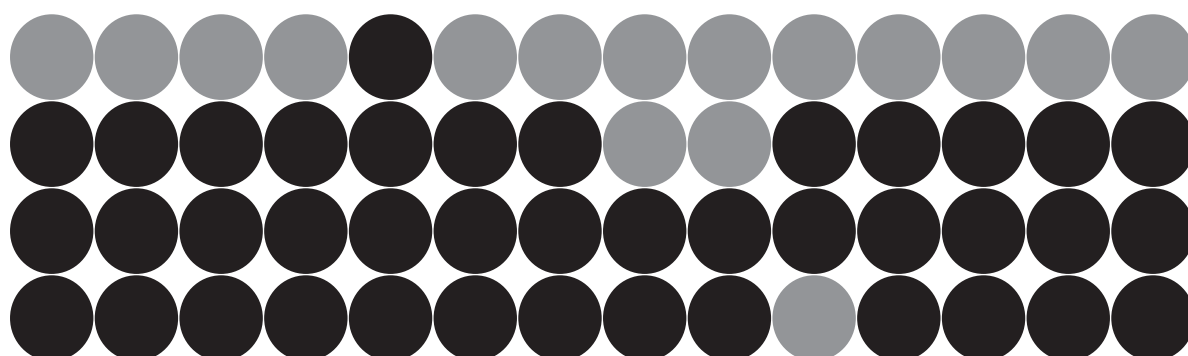
v. 23 n.6 2012

ISSN 1807-2763



TÓPICOS DE FÍSICA QUÂNTICA PARA O ENSINO MÉDIO A PARTIR  
DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA

ADRIANE GRIEBELER  
MARCO ANTONIO MOREIRA



Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Textos de Apoio ao Professor de Física, v.23 n.6, 2012.  
Instituto de Física – UFRGS  
Programa de Pós – Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

Editores: Marco Antonio Moreira  
Eliane Angela Veit

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Setor de Processamento Técnico  
Biblioteca Professora Ruth de Souza Schneider  
Instituto de Física/UFRGS

G848t Griebeler, Adriane

Tópicos de física quântica para o ensino médio a partir de  
uma unidade de ensino potencialmente significativa / Adriane  
Griebeler, Marco Antonio Moreira – Porto Alegre: UFRGS,  
Instituto de Física, 2012.

31 p.; il. (Textos de apoio ao professor de física / Marco  
Antonio Moreira, Eliane Angela Veit, ISSN 1807-2763; v. 23 , n.  
6)

1. Ensino de Física 2. Física quântica 3. Ensino médio I.  
Moreira, Marco Antonio II.Título III. Série.

PACS: 01.40.E

Impressão: Waldomiro da Silva Olivo  
Intercalação: João Batista C. da Silva

**TEXTO DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA**

v.23 nº. 6, de 2012

**TÓPICOS DE FÍSICA QUÂNTICA PARA O ENSINO MÉDIO A PARTIR DE UMA  
UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA**

ADRIANE GRIEBELER

MARCO ANTONIO MOREIRA

INSTITUTO DE FÍSICA – UFRGS



## Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. MATERIAL DE APOIO .....	7
2.1 Situação inicial:.....	8
2.2 Questionamentos iniciais:.....	8
2.3 Texto Inicial.....	10
2.4 Aprofundando o Conhecimento.....	17
2.5 Informação.....	25
2.5.1 A Criptografia Quântica .....	25
2.5.2 Misticismo Quântico .....	27
2.6 Mapa Conceitual.....	30
2.7 Diferenciando Progressivamente .....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	33
Apêndice – UEPS-FQ.....	35



## 1. INTRODUÇÃO

Inserir conteúdos de Física Quântica no Ensino Médio torna-se um desafio para os professores, tanto por uma possível falta de preparo como pela falta de incentivo. Apesar da existência de materiais didáticos disponíveis, raramente os professores sentem-se preparados para abordar tais conteúdos em sala de aula. Além disso, o atual currículo do Ensino Médio bem como o programa ENEM, não estimulam ao ensino do assunto aqui referido. No entanto, em função da importância da abordagem da Física Quântica, e também frente à propagação de versões místicas e de representações sociais, é preciso continuar tentando contribuir para que essa inserção venha a ocorrer futuramente.

O currículo da disciplina de Física do Ensino Médio (EM) tem tido dificuldades para acompanhar os avanços científicos e tecnológicos das últimas décadas. Ele se apresenta em parte desatualizado e descontextualizado. Neste sentido, busca-se uma tentativa de aproximar os conteúdos de sala de aula com a realidade, promovendo assim um maior significado para as aulas.

Os conteúdos de Física, quando apresentados de forma tradicional, podem causar desmotivação e desinteresse por parte dos alunos, principalmente quando abordados de forma apenas expositiva e monológica, sem a utilização de recursos que possam chamar a atenção e despertar o interesse de uma geração fortemente ligada à tecnologia. Chega-se, então, ao aspecto que diz respeito aos conteúdos de Física ministrados em sala de aula, onde pouquíssimo ou quase nada sobre Física Moderna e Contemporânea (FMC) é apresentado no EM. Consequentemente, são deixados de lado assuntos relevantes para o entendimento e observação do modo de vida das novas gerações. Como exemplos desses assuntos, pode-se citar a Física Quântica (FQ), mais especificamente tópicos que serão abordados neste material, como *quantização, estado, incerteza e superposição de estados*.

Acredita-se que a inserção de conteúdos de FQ no Ensino Médio se apresenta como uma necessidade frente aos avanços tecnológicos e também frente à construção e propagação de possíveis representações sociais que podem dificultar seu entendimento. Mas a sua abordagem não pode ser feita da forma tradicional. É um problema que precisa ser abordado de forma atraente e que leve o aluno a se interessar pelas aulas. Esta é a motivação deste material e, com base no exposto, é apresentada uma proposta de trabalho a fim de contribuir para a aprendizagem significativa de conceitos da FMC.

A proposta é elaborada seguindo os passos das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS (MOREIRA, 2011) onde, num primeiro momento, é feito o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos, em seguida é apresentado o conteúdo de uma forma mais geral e, a partir daí, cada assunto é abordado de forma mais específica, visando à diferenciação progressiva e à reconciliação integradora. A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para Física Quântica (UEPS-FQ) encontra-se no Apêndice deste material.





## 2. MATERIAL DE APOIO

A seguir, o conteúdo de apoio é apresentado de acordo com a sequência apresentada na UEPS-FQ.

A duração prevista para o desenvolvimento do conteúdo, em classe, é de 16 horas/aula, podendo ser adaptado conforme o tempo disponível do professor e de acordo com o conhecimento prévio dos estudantes.

### 2.1 Situação inicial:

*Letra da música “Quanta”, de Gilberto Gil:*

*(Disponível em <<http://www.ensinodefisica.net/M%FAlicas/quanta.htm>>. Acesso em agosto de 2011.)*

*Quanta do latim*

*Plural de quantum*

*Quando quase não há*

*Quantidade que se medir*

*Qualidade que se expressar*

*Fragmento infinitésimo*

*Quase que apenas mental*

*Quantum granulado no mel*

*Quantum ondulado no sal*

*Mel de urânio, sal de rádio*

*Qualquer coisa quase ideal*

*Cântico dos cânticos*

*Quântico dos quânticos*

*Canto de louvor*

*De amor ao vento*

*Vento arte do ar*

*Balançando o corpo da flor*

*Levando o veleiro pro mar*

*Vento de calor*

*De pensamento em chamas*

*Inspiração*

*Arte de criar o saber*

*Arte, descoberta, invenção*

*Teoria em grego quer dizer*

*O ser em contemplação*

*Cântico dos cânticos*

*Quântico dos quânticos*

*Sei que a arte é irmã da ciência*

*Ambas filhas de um Deus fugaz*

*Que faz num momento*

*E no mesmo momento desfaz*

*Esse vago Deus por trás do mundo*

*Por detrás do detrás*

*Cântico dos cânticos*

*Quântico dos quânticos*

## 2.2 Questionamentos iniciais:

- O que você já leu, ouviu, ou viu sobre Física Quântica?
- Onde a Física Quântica é aplicada? O que estuda?
- O que difere a Física Quântica das outras áreas da Física (Mecânica, Termodinâmica, Eletromagnetismo, etc.)?
- O que é um quantum de matéria? E um quantum de energia?
- Qual a sua opinião sobre os seguintes anúncios? Você já ouviu falar ou teve contato com algum tipo de terapia que se denomina quântica?



Figura 1 – Anúncio oferecendo tratamentos com "terapias quânticas".

# Saúde



## Física quântica para alinhar energia

**P**recisamos tomar cuidado com o que pensamos e sentimos, pois toda forma de energia tem uma vibração, que, quando negativa, cria um transtorno sobre a matéria em que é projetada. Dentro deste contexto, a terapeuta Eliane Dutra desenvolveu o alinhamento energético, que mede o nível de energia total do paciente, possibilitando o tratamento de problemas, como dores musculares, contraturas, depressão, angústia, estresse, sintomas da menopausa, excesso de peso e até dependência química, como método complementar.

A técnica mistura o trabalho que ela vem desenvolvendo, com os meridianos, a Radiestesia e os princípios da física quântica. Através da mandala são revelados os desequilíbrios apresentados – tanto físicos, como mentais e emocionais – que nascem da desarmonia emocional, cuja manifestação ocorre no órgão ou na função do organismo onde há desconforto ou patologia instalada. Após esta investigação é iniciado o tratamento, para fazer com que o indivíduo novamente desfrute do seu todo com mais qualidade de vida.

A mandala é lida com os mesmos fundamentos dos meridianos, que trazem cinco elementos, correspondentes aos órgãos e emoções vinculadas. Trata-se dos mesmos princípios da Medicina Tradicional Chinesa, que regem a acupuntura, shiatsu e do-in, entre outros métodos. A avaliação é feita a partir do intercâmbio de energia que se estabelece na imposição da mão da pessoa, por meio de um pêndulo, que faz o reconhecimento do elemento, identificando o meridiano mais congestionado. O elemento madeira equivale ao fígado e vesícula, geradores da raiva, por exemplo.

“Uma pessoa que vibra negativamente, emana para os outros a energia. A gente sabe que a energia é alimentada pelo pensamento e o corpo fica mandando recado”, diz a terapeuta do Wicca Centro de Terapias Energéticas (telefones 3231-2988/3023-5545). A sessão inclui 1h30min de avaliação e 30 minutos de equilíbrio e harmonização, utilizando no alívio ou cura, reiki, florais e terapia pedras quentes. A base de tudo é a física quântica, que acredita que a partir do despertar da consciência individual, temos o poder de curar nosso corpo e emanar energia pura.

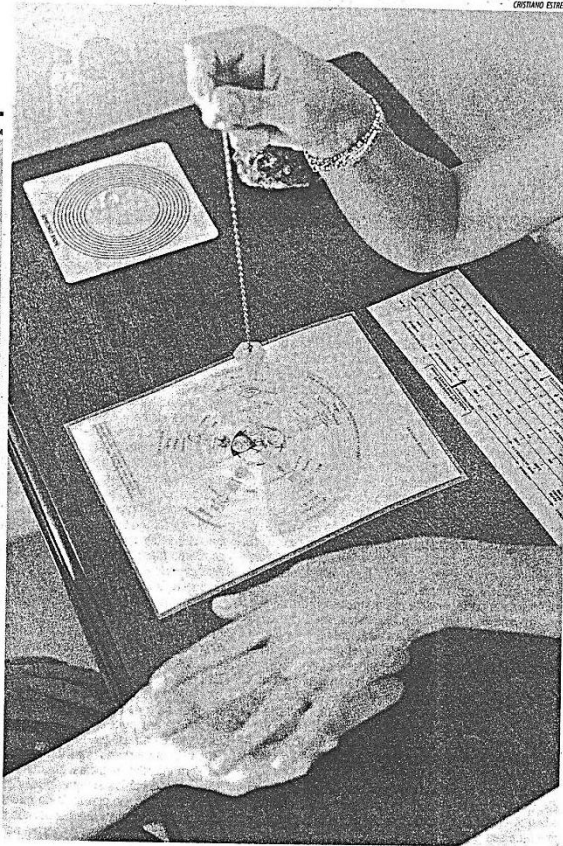


Figura 2 - Matéria publicada no Jornal Correio do Povo sobre o uso dos princípios da FQ para “alinhar energia”.

Programa de Pós-Graduação em Teologia da IFUFRGS  
Convite para o lançamento do livro

### Jesus e a Física Quântica

de Isidoro Mazzarolo

Sa, 12 de Julho de 2010  
Hora: a partir das 19 horas  
Local: Auditório Prédio 1 (100m)

Participação também da comunidade interessada pelo autor do livro.

Devido ao fato de não ser possível enviar o livro para todos os interessados, o livro será enviado para os interessados por meio de uma lista de e-mail. Para mais informações, contatar o autor do livro, Isidoro Mazzarolo, no e-mail: isidoro@teologia.ifufrgs.br ou no telefone: 3231-2988.

**COMITE**

Figura 3 - Convite para o lançamento do livro Jesus e a Física Quântica, de Isidoro Mazzarolo.

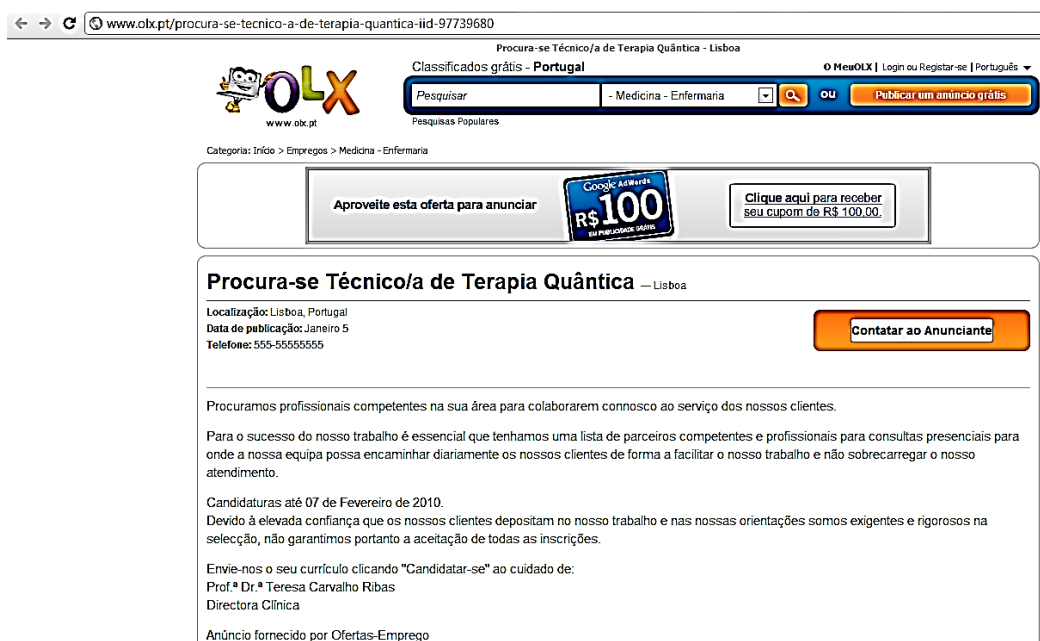


Figura 4 - PrintScrn da página do site <<http://www.olx.pt/procura-se-tecnico-a-de-terapia-quantica-iid-97739680>>. Acesso em 16/03/2011.

## 2.3 Texto Inicial

### Uma Apresentação à Física Quântica<sup>1</sup>

A Física Quântica (FQ) é a transformação mais profunda pela qual a Física passou desde a época de Newton e representa uma alteração bastante radical das ideias fundamentais desta ciência. Assim como a Física Newtoniana trouxe uma profunda mudança no campo científico e se espalhou por distintas áreas do pensamento humano, a FQ também tem influenciado diversas áreas desde que surgiu, no início do século XX. Alguns fenômenos em escala atômica não são percebidos pelos nossos sentidos mas, algumas vezes, apresentam repercussões macroscópicas. Este novo mundo não podia ser satisfatoriamente explicado pelos conceitos da Física Clássica (FC), sendo necessário desenvolver uma teoria completamente nova e diferente, a FQ.

Tudo começou quando Max Planck postulou, em 1900, que a troca de energia do interior da cavidade do corpo negro<sup>2</sup> e os elétrons da parede da cavidade ocorre de forma quantizada, ou seja, através de múltiplos inteiros de um "quantum" de energia. Era como se a energia, até então considerada como algo contínuo, se apresentasse em escala atômica, como pequenos "pacotes" indivisíveis. Esse postulado conseguiu explicar os resultados experimentais da distribuição do espectro para a radiação térmica. Cada "quantum" de energia foi definido como  $E = hf$ , onde  $f$  é a

<sup>1</sup> Texto extraído de NUNES, A. L. (2007) *Física Quântica para Todos* e parcialmente adaptado.

<sup>2</sup>Corpos negros são corpos que absorvem toda a radiação térmica que incide sobre eles e assim não refletem luz. Um exemplo seria qualquer objeto coberto por um pigmento preto opaco, assim como a fuligem. Outro exemplo seria um objeto que contém uma cavidade ligada ao meio externo por um pequeno orifício por onde a radiação vinda do meio externo penetra e sofre sucessivas reflexões internas e dificilmente consegue sair, finalmente sendo absorvida.



frequência da radiação e  $h$  é uma constante universal que ficou conhecida como constante de Planck e vale  $6,63 \times 10^{-34}$  J.s.

O postulado de quantização de Planck é inteiramente incompatível com a FC, onde a energia de uma oscilação não tem qualquer relação com a sua frequência. O próprio Planck trabalhou durante anos em busca de uma explicação que pudesse reconciliar o seu postulado com a FC. Foi um trabalho árduo, mas infrutífero, porque este foi, na verdade, o início de uma verdadeira revolução na Física.

Mais tarde, o físico dinamarquês Niels Bohr elaborou um modelo para o átomo de hidrogênio, levando em conta as regras de quantização de Planck e aspectos da FC. Esse modelo explica bem o comportamento do átomo de hidrogênio e do átomo de hélio ionizado, mas é insuficiente para átomos com mais de um elétron, mas serviu para indicar que a FQ era um caminho para explicar a estrutura atômica. De acordo com a teoria quântica, os elétrons e outras entidades subatômicas não são nem totalmente ondas e nem totalmente partículas, são uma espécie de mistura de ambas, apresentando ora o aspecto onda e ora o aspecto partícula.

Já Werner Heisenberg, físico alemão, em 1927 argumentava que a realidade fundamental em si é indeterminada. Tudo da realidade é, e continua sendo, uma questão de probabilidades. No seu Princípio da Incerteza é estabelecido que não é possível saber com precisa exatidão a posição e o momentum de uma dessas “entidades” subatômicas. Pode-se conhecer a posição com grande precisão e ter estimativas sobre o momentum ou vice-versa, como será visto posteriormente.

Assim, a Física determinista de Newton dá lugar a uma Física de probabilidades, que consegue descrever com boa aproximação o comportamento da natureza em escala atômica e subatômica. A Física Newtoniana continua sendo válida em nosso mundo macroscópico, porém os fenômenos do universo atômico e subatômico são mais bem explicados utilizando-se a FQ. Esta nova teoria apresenta uma série de implicações, tanto para a ciência em si quanto para a vida cotidiana.

### **A Contribuição da Física Quântica para a Ciência**

Através do desenvolvimento da FQ houve um grande impulso em todas as áreas da ciência e o desenvolvimento tecnológico gerado por suas aplicações permitiu o desenvolvimento de instrumentos de medida mais eficazes que, por sua vez, contribuíram em diversas descobertas científicas.

Em março de 1953, no Laboratório Cavendish, na Inglaterra, Francis Crick e James Watson concluíram que a molécula do DNA tem a estrutura de uma dupla hélice, uma descoberta que daria novos rumos à ciência. A partir de então, a biologia molecular tornou-se, de fato, uma ciência que, hoje, com meio século de avanços, traz à cena a transgênese, a genômica e a possibilidade da clonagem reprodutiva. Essa descoberta foi viabilizada pelo uso da técnica de difração de raios X, que não deixa de ser um resultado de aplicações da FQ.

Um maior desenvolvimento da Química e da Ciência de Materiais foi viabilizado pela descoberta da FQ, capaz de descrever de modo satisfatório as estruturas moleculares. O uso do laser e da ressonância paramagnética de spin tem enormes aplicações na área da Medicina, tanto diagnóstica, quanto corretiva.

No campo da Arqueologia, a FQ oferece uma contribuição inestimável com diversas técnicas experimentais que, inicialmente, foram destinadas aos estudos de estruturas atômicas e subatômicas, mas hoje são dedicadas a caracterizar objetos encontrados em sítios arqueológicos e a datação desses objetos. Como exemplo, pode-se destacar o teste do Carbono 14 (C14), onde é feita a avaliação da idade do fóssil através do decaimento radioativo do C14 que está presente nos seres vivos.

A melhor compreensão da Física do Estado Sólido e das propriedades dos condutores elétricos só foi possível através da construção de modelos baseados na FQ. Isso também se aplica às propriedades magnéticas dos materiais (como os ferromagnéticos e diamagnéticos).

### **A Contribuição da Física Quântica para a Tecnologia**

Os impactos da FQ são extremamente dramáticos. O mundo não seria o que é hoje sem o enorme impulso que a FQ deu ao campo do desenvolvimento tecnológico. A eletrônica pode ser considerada a filha mais promissora da FQ. É difícil pensar em um mundo sem a eletrônica. Ela se faz presente na vida de praticamente todas as pessoas, nos computadores, satélites, televisores, sistemas bancários, semáforos, alarmes, telefonia, elevadores, aviões, etc., onde quer que se olhe. Por outro lado, as telecomunicações por fibras ópticas estão associadas à descoberta do laser.

Aplicando os conhecimentos de FQ foi possível descobrir e desenvolver os materiais semicondutores. O desenvolvimento deste tipo de materiais permitiu a substituição das válvulas por dispositivos menores e mais eficientes, como o transistor. A partir daí novas pesquisas indicaram que a miniaturização extrema de muitos circuitos elétricos poderia ser alcançada fazendo-se resistores, capacitores, transistores e diodos em uma lâmina de material semicondutor.

Outra importante aplicação tecnológica dos princípios da FQ foi o desenvolvimento da engenharia nuclear. Bombardeando urânio com nêutrons, os cientistas Otto Hahn e Fritz Strassmann, na Alemanha, tentavam obter elementos transurânicos. Foi desta forma que, em 1938, acabaram por fissionar o urânio pela primeira vez. Otto R. Frisch e Lise Meitner interpretaram as experiências de Hahn afirmando que, se um núcleo pesado sofre fissão, obtêm-se átomos de massa mediana e enorme quantidade de energia. A fissão nuclear é o mecanismo que possibilita a construção dos reatores nucleares, para geração de energia elétrica, em usinas nucleares, por exemplo, e também da bomba atômica.

### **A Contribuição da Física Quântica para a Economia**

A indústria que tem como finalidade a produção de equipamentos eletrônicos e seus subprodutos (como os softwares) está na liderança da economia mundial. Hoje, uma fração significativa do Produto Interno Bruto (PIB) dos países avançados está associada a tecnologias baseadas na FQ. O físico Leon Lederman (ganhador do Nobel de 1988) afirmou que um terço do PIB norte-americano em 2001 era proveniente dessas tecnologias.

### **A Contribuição da Física Quântica para as Artes**

A ciência e as artes sempre foram bastante entrelaçadas e com a FQ não poderia haver uma relação diferente. Aspectos conceituais aparecem na arte moderna como uma demonstração de que

a arte tem o poder de absorver um novo conhecimento, reprocessá-lo e gerar uma nova forma de expressão artística.

O movimento artístico do século XX que mais se utilizou dos revolucionários conceitos da FQ parece ter sido o surrealismo. Ele surgiu em 1924 com o “Manifesto Surrealista” que foi escrito por André Breton e Philippe Soupault. Pode-se considerar o surrealismo como uma aventura coletiva iniciada nos anos 20 e que abarcava diversos campos da arte: literatura, pintura, escultura, fotografia e cinema. A sua base estava na busca pelo inconsciente e pelo que fugisse ao racional.

O racionalismo de Newton, espelhado pelo determinismo clássico de se supor que o universo obedecia às leis mecanicistas teve a perfeita oposição na Teoria Quântica, que considerava que a matéria se comportava de acordo com uma Física de possibilidades e que fugia completamente à experiência dos sentidos. No campo da arte, o surrealismo cumpriu o mesmo papel da FQ na ciência, rompendo com a experiência dos sentidos e apresentando uma nova forma de expressão artística ilimitada de possibilidades. Isso pode ser observado em algumas pinturas apresentadas a seguir.

Na Figura 5, a pintura de Miró retrata uma grande quantidade de possibilidades. Se você foca em uma das possibilidades, as outras são excluídas.



Figura 5 – Pintura “Campo Arado” de Joan Miró.

Na Figura 6, de Magritte, é feita uma referência ao conceito da FQ de que a representação que se faça de um objeto, um cachimbo ou um elétron, é apenas uma representação. A pintura de um cachimbo não é o cachimbo e o resultado de um experimento que descreve o elétron não é o elétron.



Figura 6 – Pintura “Ceci n’est pas une pipe” de René Magritte.

Na Figura 7, há uma representação análoga à dualidade onda-partícula. Não se consegue distinguir onde começam as ondas e onde começa a casa.



Figura 7 – Pintura “The birth of idol” de René Magritte.

Na Figura 8, a pintura de Salvador busca uma analogia com a ideia de quantização da energia. A mulher formada por planetas passa a ideia do átomo como um microcosmo quantizado.





Figura 8 – Pintura “Galetea of the spheres” de Salvador Dalí.

Na Figura 9, outra pintura de Salvador Dalí retrata flores explosivas. Há um conceito de dualidade, onde não é possível distinguir se são flores ou raios luminosos. Mais uma vez é passada a ideia da dualidade onda-partícula.



Figura 9 – Pintura “Exploding flower” de Salvador Dalí.

Diversas outras obras parecem ter inspiração na FQ, com seus princípios apresentados de forma simbólica, o que costuma caracterizar as expressões artísticas. Muitas outras obras, nos diversos campos da arte, têm uma influência mais ou menos direta da FQ.

### **A Contribuição da Física Quântica para a Neurociência**

Um dos grandes mistérios que desafia o ser humano é a compreensão sobre como funciona a mente humana. O pensamento que algumas vezes é puramente lógico e racional, capaz de ser imitado pela lógica computacional, outras tantas vezes é imprevisível e incontrolável. Há momentos em que nosso pensamento divaga entre diversas possibilidades, mas se tentamos focar em algum ponto perde-se totalmente a conexão. Como pode a mente humana ser ao mesmo tempo racional e dispersa, mecânica e criativa?

A primeira evidência substancial de que existe ao menos um canal de comunicação entre o mundo da FQ e nossa percepção da realidade foi encontrada há cerca de cinquenta anos. Naquela época, biofísicos que trabalhavam com a retina, descobriram que as células nervosas do cérebro humano são sensíveis o suficiente para registrar a absorção de um único fóton e, portanto, suficientemente sensíveis para serem influenciadas pelo seu comportamento mecânico-quântico. Foi verificado que cerca de 10 milhões de neurônios dos 10 bilhões existentes no cérebro são sensíveis o suficiente para registrar fenômenos do nível quântico a qualquer momento. No entanto, a ativação de neurônios isolados não é suficiente para explicar os complexos processos associados às atividades conscientes do cérebro.

### **A Contribuição da Física Quântica para a Filosofia**

Os paradigmas da modernidade sustentam-se na filosofia de Descartes e na Física de Newton. Racionalismo e determinismo seriam as chaves para se chegar ao conhecimento científico, livre de interferências subjetivas, preconceitos e superstições. A filosofia de Descartes influenciou todo o modo de pensar ocidental. Seu “penso, logo existo”, levou à separação mente/corpo e à tendência do homem ocidental a identificar-se apenas com a mente.

Todavia, é inegável que tanto a visão cartesiana quanto a visão mecanicista do mundo mostraram-se muito úteis para o desenvolvimento da FC e da tecnologia. O modelo newtoniano continua válido para objetos que possuem grande número de átomos e, exclusivamente, para eventos com velocidades pequenas se comparadas à da luz.

A FQ afirma que não é possível separar cartesianamente, de um lado, a natureza e, de outro, a informação que se tem sobre ela. Em última instância, predomina a interação entre o observado e o observador. É dessa interação sujeito-objeto que trata o princípio da incerteza. E, sobre ele, ergue-se a visão holística do Universo: há uma íntima e indestrutível conexão entre tudo o que existe – das estrelas ao sorvete saboreado por uma criança, dos neurônios de nosso cérebro aos neutrinos no interior do Sol.

Para as abordagens clássicas da Filosofia, da Psicologia e da Psicanálise, é impossível compreender a transmissão de aspectos internos de uma pessoa para outra. Para um enfoque quântico, as relações interpessoais são vistas do mesmo modo como se reconhece a dualidade onda-partícula do átomo. A Teoria Quântica abre novas possibilidades dentro do âmbito da Filosofia, da mesma forma que a FC foi a base de muito pensamento filosófico até então.

## 2.4 Aprofundando o Conhecimento

### O MUNDO QUÂNTICO: ATÔMICO E SUBATÔMICO

A FQ é um ramo fundamental da Física com aplicações nos mais variados campos do conhecimento e, em especial, no desenvolvimento das mais modernas tecnologias.

Esta teoria compreende o estudo de sistemas físicos cujas dimensões são próximas ou abaixo da escala atômica (ou seja, moléculas, átomos, elétrons, prótons e outras partículas subatômicas). Os elétrons, os prótons, os nêutrons, fótons, o átomo, etc., pertencem ao mundo microscópico, por isso não obedecem às leis da FC, mas da FQ. Podem ser observadas, nessas partículas, características ondulatórias e/ou corpusculares, além de não ser possível atribuir algumas propriedades dinâmicas (posição, velocidade, momentum linear) de modo simultâneo.

#### A Quantização

A denominação FQ se deve ao fenômeno da discretização de determinadas propriedades físicas. A palavra Quântica (do Latim, quantum) se refere a uma quantidade discreta atribuída a certas quantidades físicas, como a energia de um fóton de luz.

Como já foi dito no início deste texto, o marco para o nascimento da FQ foi quando Max Planck postulou, em 1900, que a troca de energia entre a radiação emitida por um corpo aquecido e os átomos da parede deste corpo ocorria de forma quantizada, ou seja, através de múltiplos inteiros de um “quantum” de energia. Era como se a energia, até então considerada como algo contínuo, se apresentasse em escala atômica, como pequenos “pacotes” indivisíveis. Cada “quantum” de energia foi definido como  $E = hf$ , onde  $f$  é a frequência da radiação e  $h$  é uma constante universal que vale  $6,63 \cdot 10^{-34}$  Js e ficou conhecida como constante de Planck. Apesar da exatidão matemática da solução de Planck, nem mesmo ele conseguia formular uma interpretação física do fenômeno que, no fundo, significava impor saltos nos valores de energia, como se cada valor correspondesse a uma porção de energia.

A energia era, até então, pensada como algo com valor contínuo, sem saltos e muito menos, com valores mínimos. Isso é válido para o mundo macroscópico, porém para o universo atômico e subatômico esta ideia causava uma série de dificuldades em relação aos experimentos da época. A partir da ideia de quantização da energia, uma série de problemas experimentais teve solução, como o caso da distribuição da energia radiante em função do comprimento de onda de por um corpo a alta temperatura, foi explicado por Planck.

Alguns exemplos e analogias que podem ser propostos para facilitar a compreensão do fenômeno da quantização são apresentados a seguir.

- 1) Um exemplo que pode ser utilizado como analogia é o caso de um livro cuja espessura é composta de dezenas ou centenas de folhas. Considerando que ele é composto por 200 folhas, pode-se dizer que a espessura mínima que o livro poderia apresentar seria de uma folha. Se for alterada a espessura do livro, isso será feito sempre em forma de múltiplos de uma folha, nunca em frações de folha. Isto significa que a espessura do livro não é um valor

contínuo e sim discreto (ou descontínuo). E também se pode dizer que a espessura do livro é quantizada e que o quantum de espessura do livro é uma folha.

- 2) Já uma analogia à variação contínua de uma quantidade macroscópica pode ser feita usando como exemplo o derramamento de um fluido, como a água. A quantidade de água dentro de um recipiente pode variar em litros, mililitros, etc., não havendo restrições às divisões de porções do líquido ao derramá-lo. Portanto, o fluido pode variar em quantidades contínuas, enquanto a espessura do livro varia em quantidades discretas.
- 3) Também pode ser citado como exemplo de descontinuidade versus continuidade, o sistema de transporte em uma cidade. Nela existem basicamente dois tipos de transporte: o coletivo e o particular. O transporte coletivo tem suas trajetórias bem definidas, assim como os pontos de parada, sendo permitido ao passageiro desembarcar do veículo apenas em locais pré-definidos, e distantes uns dos outros, ou seja, as opções de parada são distribuídas de forma descontínua. Já para o transporte particular, a distância entre os lugares que podem ser atingidos podem mudar por passos tão pequenos quanto se quiser, podem variar de forma contínua.
- 4) Hoje, nos acostumamos a ver diariamente relações entre luz e fenômenos elétricos. Sabe-se que cada ponto da tela de TV ou da tela do computador brilha porque foi atingido por um feixe de elétrons, assim com a porta do centro comercial ou do elevador abre ao detectar a presença de uma pessoa porque, o corpo interrompe um feixe de luz infravermelha. Mas isso tudo não era tão trivial no início do século XX, quando nem se sabia que partículas de luz existiam (nessa época a luz era considerada apenas uma onda, sem sequer imaginar-se seu caráter dual) e que eram capazes de colidir com elétrons.

A solução de Planck para o problema da relação entre temperatura e cor da luz emitida pelos fornos trouxe indícios sobre o fracionamento, em valores discretos, da energia luminosa e das ondas eletromagnéticas, mas não para seu caráter corpuscular. Foi Einstein em 1905, explicando o efeito fotoelétrico, quem interpretou, pela primeira vez, a interação entre elétrons e partículas de luz. O fenômeno recebeu o nome de efeito fotoelétrico porque trata da emissão de elétrons por placas metálicas quando atingidas por luz de frequência suficientemente alta.

Utilizando a ideia de quantum, de Planck, Einstein propôs que a luz se propaga pelo espaço como pacotes, denominados fótons, contendo energia de valor múltiplo de  $hf$ . Assim, a luz de baixa frequência, como a radiação infravermelha, corresponde a fótons de baixa energia, e a luz de alta frequência, como a ultravioleta, corresponde a fótons de alta energia. Quando um material é atingido por fótons de energia suficientemente alta, a luz arranca elétrons instantaneamente. Dessa maneira, a luz que era descrita como onda, passou a ser entendida também como constituída de partículas, que podem colidir com elétrons e arrancá-los de um material.

## Objeto Quântico

*Objeto quântico* ou partícula quântica é toda partícula que possui dimensões subatômicas e cujo comportamento não pode ser completamente explicado a partir da FC.

Uma partícula quântica pode ter comportamento observado de acordo com o de uma partícula ou de acordo com uma onda, dependendo do experimento realizado. Sua energia é quantizada e deve obedecer ao Princípio da Incerteza.

Para ter uma melhor compreensão sobre as dimensões do universo e principalmente as dimensões de um objeto quântico comparadas com o universo macroscópico, a sugestão é visualizar a escala do universo acessando o site <<http://www.newgrounds.com/portal/view/525347>>. Nele é possível visualizar e comparar, através de uma escala regressiva ou progressiva, as proporções de tamanho do universo, com as de uma pessoa e com o mundo microscópico.

## O Que é um Sistema Físico?

Na Física, para realizar o estudo de algum fenômeno, é feito um recorte da realidade, o qual se denomina *sistema físico*. Dependendo do caso, o sistema refere-se a um elétron ou um próton, um átomo de hidrogênio ou um conjunto de moléculas que formam um corpo macroscópico. Assim, um sistema físico é uma representação do objeto de estudo e um fragmento concreto da realidade, que foi separado para estudo.

## A Dualidade Onda-Partícula<sup>3</sup>

Para a Física Clássica, uma partícula pode ser imaginada como uma bolinha bem pequena que se locomove pelo espaço e que em condições normais não se divide. Além dessa *indivisibilidade*, uma partícula clássica também se caracteriza por estar sempre em uma posição bem definida, e com uma velocidade precisa. Com o passar do tempo, a partícula descreve uma *trajetória* bem definida, que pode ser concebida como uma curva no espaço.

Uma onda, por outro lado, é definida pela FC como uma excitação que se propaga em um meio, como a superfície da água, por exemplo, e que tem a característica de se espalhar no espaço. O que se propaga com a onda é energia, que se identifica com o movimento oscilatório das partículas do meio. Como esse movimento das partículas pode ser tão tênue quanto se queira, podemos dizer que as ondas não possuem a característica de serem indivisíveis, mas que são *contínuas*, pelos menos em teoria. Além disso, as ondas circulares na superfície d'água claramente não descrevem uma trajetória, do tipo definido para partículas. Elas são *espalhadas* no espaço, sem se localizarem em um ponto único. Além de serem contínuas e espalhadas, as ondas exibem uma série de fenômenos típicos, como a interferência.

Dizer simplesmente que “uma coisa (sem partes) é (ao mesmo tempo) partícula e onda” é uma *contradição lógica*, pois isso implicaria que uma coisa é indivisível e divisível (contínua), que ela segue uma trajetória e não segue (é espalhada). Não podemos admitir a contradição nos fundamentos de uma teoria física.

---

<sup>3</sup> Texto parcialmente extraído e adaptado do livro *Conceitos de Física Quântica* de Osvaldo Pessoa Jr.(2003), pág. 2 e de <<http://www.fing.edu.uy/if/cursos/fismod/cederj/aula03.pdf>>.

A Teoria Quântica é obrigada a conciliar de alguma maneira “onda” e “partícula” sem cair numa contradição lógica. Para isso há um princípio quântico relacionado a este conceito: o Princípio da Complementaridade, enunciado pela primeira vez pelo físico dinamarquês Niels Bohr. Segundo ele, as características de onda e partícula são complementares e nunca se manifestam simultaneamente, ou seja, se fizermos um experimento no qual fique claramente caracterizada a natureza ondulatória de um objeto quântico, suas características de partícula não irão se manifestar e vice-versa. Por exemplo, no experimento da fenda dupla<sup>4</sup> pode-se observar o padrão de interferência obtido, que é um conceito típico de ondas. Mas se tentar determinar a trajetória do elétron, que é um conceito típico das partículas, o padrão de interferência desaparece completamente.

Assim chega-se ao que se refere como papel do observador na FQ. Ao observar<sup>5</sup> a trajetória do elétron, é destruída a sua natureza ondulatória. Na FC, o “observador” é visto como a pessoa que realiza o experimento, mas que não interfere com o objeto de medida. Porém, na FQ, o observador adquire um papel “interativo” e fundamental para a teoria. Torna-se impossível realizar uma medida sem interferir com o objeto que está sendo medido. A medição destrói a interferência quântica. Sempre que fazemos uma medição é desencadeado um processo de transposição dos fenômenos do nível quântico para o mundo da experimentação, causando o chamado “colapso da função de onda”, sendo este procedimento quem introduz a incerteza na Teoria Quântica. Assim, o efeito de observar o estado do sistema faz, como consequência, que esse estado seja alterado. Dessa forma, na FQ, a distinção entre observador e observado deixa de ser clara; deve-se considerar que o observador é também um sistema físico que interage com o objeto de medida.

### **O Conceito de Estado**

Os sistemas físicos não são estáticos, eles evoluem com o tempo. Assim, o mesmo sistema, preparado da mesma forma para a medição de alguma variável, pode dar origem a resultados experimentais diferentes dependendo do tempo em que se realiza a medida e do intervalo de tempo entre uma medida e outra. Essa ideia conduz ao conceito de “estado”. Um estado é uma quantidade matemática que determina completamente os valores das grandezas físicas (variáveis) do sistema associadas a ele num dado instante de tempo (ou as probabilidades de cada um de seus valores possíveis serem medidos, quando se trata de uma teoria probabilística). Em outras palavras, todas as informações possíveis de se conhecer em um dado sistema constituem seu estado.

As grandezas físicas (ou variáveis) são as propriedades mensuráveis do sistema. As variáveis dinâmicas são assim denominadas porque são grandezas que variam no decorrer do tempo. Por exemplo, no sistema Terra-Sol, as variáveis dinâmicas são a posição da Terra, o momentum angular do sistema e a energia do sistema.

Cada sistema ocupa um estado num instante no tempo e as leis da Física devem ser capazes de descrever como um dado sistema parte de um estado e chega a outro. Estado é definido como a configuração, num dado instante de tempo, de todas as variáveis dinâmicas do sistema.

---

<sup>4</sup> O experimento e sua explicação podem ser visualizados em <<http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>>.

<sup>5</sup> Observar no sentido de medir e não de estar presente. O observador não é uma pessoa em si. Pode ser uma máquina, um computador, um instrumento, etc.

Muitas variáveis que ficam bem determinadas na FC são substituídas por distribuições de probabilidades na FQ, que é uma teoria intrinsecamente probabilística (isto é, dispõe-se apenas de probabilidades, não por uma simplificação ou ignorância, mas porque isso é tudo que a teoria é capaz de fornecer).

Em geral, estados evoluem com o tempo em virtude de ações exercidas sobre o sistema. Na Mecânica Clássica, a equação fundamental que rege essa evolução é a segunda lei de Newton,  $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ . Essa evolução temporal é completamente determinista, ou seja, dado um estado inicial, (posição inicial,  $r_0$  e momentum inicial,  $p_0$ ), e as forças que agem sobre o sistema, a equação permite o cálculo do estado num outro instante  $t$  qualquer, ( $r_t$ ,  $p_t$ ). Já estados quânticos são representados por funções das coordenadas espaciais (ou do momentum) e do tempo:  $\Psi(r, t)$ , ou  $\Psi(p, t)$ . Tais funções são conhecidas como funções de estado, ou funções de onda.

Assim, no formalismo da FQ, o estado de um sistema num dado instante de tempo pode ser representado de duas formas principais:

1. o estado é representado por uma função complexa das posições ou dos *momenta* de cada partícula que compõe o sistema. Essa representação é chamada função de onda;
2. também é possível representar o estado por um vetor num espaço vetorial complexo.<sup>6</sup>

Esta representação do estado quântico é chamada vetor de estado. Devido à notação introduzida por Paul Dirac, tais vetores são usualmente chamados kets (sing.: ket). Resumindo, tanto as "funções de onda" quanto os "vetores de estado" (ou kets) representam os estados de um dado sistema físico de forma completa e equivalente e as leis da FQ descrevem como vetores de estado e funções de onda evoluem no tempo. Representando esquematicamente, tem-se

$$|\Psi\rangle = C_+|+\rangle + C_-|-\rangle$$

onde  $|\Psi\rangle$  é uma representação simbólica do estado do sistema, denominada vetor de estado;  $C_+$  representa, neste caso, a amplitude de probabilidade de encontrar a variável do sistema com valor positivo e  $C_-$  representa a amplitude de probabilidade de encontrar a variável do sistema com valor negativo. Tais amplitudes, em geral, assumem valores complexos, enquanto as probabilidades são reais.

Estes objetos matemáticos abstratos (kets e funções de onda) permitem o cálculo da probabilidade de se obter resultados específicos em um experimento concreto. Por exemplo, o formalismo da Mecânica Quântica permite que se calcule a probabilidade de encontrar um elétron em uma região particular em torno do núcleo.

### **O Princípio da Incerteza de Heisenberg**

Para a FQ, um sistema físico é definido por uma função de estado (ou função de onda) e tudo o que se pode saber sobre o sistema num dado instante está contido na função de onda. Essa função está relacionada com a evolução no tempo das probabilidades da partícula assumir qualquer estado

---

<sup>6</sup> O espaço dos números reais é muito limitado para trabalhar MQ, devem-se usar números complexos.

quântico. Em outras palavras, a função de onda não mede a posição de uma partícula, mas sim a sua probabilidade de assumir um certo estado energético em um dado instante.

Werner Heisenberg, em 1927, formulou o princípio conhecido como Princípio da Incerteza de Heisenberg, que consiste num enunciado que estabelece que é impossível conhecer simultaneamente, com precisão arbitrária (isto é, tão grande quanto desejamos), a posição e a quantidade de movimento de uma partícula ou, então, a energia da partícula e o intervalo de tempo de sua medição.

Isso equivale a dizer o seguinte: quando se tem uma grande precisão na determinação do valor da quantidade de movimento, é baixa a precisão obtida no cálculo do valor da posição, e vice-versa. O mesmo ocorre com a relação energia-tempo: se a precisão na medida de um deles é alta, a precisão para o outro é automaticamente baixa.

Essa proposição foi mais uma evidência de que a FC e seu caráter determinista não se aplica nos domínios dos elementos estruturantes da matéria. E, dito de outra forma (com  $h$  representando a constante de Planck), essas relações podem ser expressas matematicamente:

- 1)  $\Delta x \cdot \Delta p \geq h/4\pi$ , onde  $\Delta x$  representa a incerteza na posição e  $\Delta p$  a incerteza na quantidade de movimento;
- 2)  $\Delta E \cdot \Delta t \geq h/4\pi$ , onde  $\Delta E$  representa a incerteza na energia e  $\Delta t$  a incerteza no intervalo de tempo.

Ou seja, como  $h$  é constante, se  $\Delta x$  aumenta, proporcionalmente  $\Delta p$  diminui (e vice-versa) e se  $\Delta E$  aumenta, proporcionalmente  $\Delta t$  diminui (e vice-versa).

Como consequência imediata do Princípio da Incerteza, se não for possível determinar com precisão os valores de posição e de quantidade de movimento de uma partícula, então não é possível prever as condições iniciais, nem fazer as previsões clássicas do comportamento futuro da partícula. Assim, para partículas atômicas, o determinismo da FC é abandonado em função da necessidade de utilização das interpretações probabilísticas.

Na FC, se forem conhecidas as forças que atuam sobre uma partícula e se for sabido quanto vale a sua posição e a sua quantidade de movimento num certo instante  $t_0$ , pode-se calcular a posição e a quantidade de movimento da partícula para qualquer instante posterior  $t > t_0$  com a precisão que se quiser. Tudo depende apenas da precisão dos instrumentos de medida e do cuidado com que eles são operados.

Por exemplo, suponhamos que se queira determinar a posição e a quantidade de movimento de um automóvel de 1200 kg que viaja numa estrada a 90 km/h usando um radar que emite radiação eletromagnética (fótons). A radiação é refletida pelo automóvel e retorna para o radar que, ao medir o tempo de ida e volta em intervalos sucessivos, pode estimar a posição e a velocidade do automóvel com muita precisão. Melhorando o radar, poderemos hipoteticamente fazer medidas cada vez mais precisas. Sabe-se que a quantidade de movimento do automóvel se altera quando um fóton colide com ele, mas, pela grande massa do veículo, o efeito é desprezível.

Mas, e se forem tomados objetos bem menores e com muito menos massa que um automóvel? Consideremos, por exemplo, um elétron com massa de  $9,1 \cdot 10^{-31}$  kg e com a mesma velocidade do automóvel (25 m/s). Suponhamos que vamos usar o mesmo radar para efetuar as medidas, só que agora para o elétron. Para a FQ, o efeito dos fótons encontrando o elétron não será



mais desprezível. No efeito fotoelétrico, por exemplo, ocorre a emissão de elétrons de uma superfície devido à incidência de luz (fótons) sobre ela. Ao efetuar o experimento do radar com o elétron, estão sendo alterados os valores medidos. Então, o conceito de medida sofreu uma alteração drástica na FQ: não se pode medir uma partícula sem interferir com ela. De fato existem valores determinados para a posição e velocidade (ou quantidade de movimento), mas não é possível obtê-los isoladamente com precisão tão grande quanto se queira, em decorrência de sua ligação intrínseca: uma depende da outra, invariavelmente.

Assim, o princípio expõe uma limitação estabelecida pela natureza das informações que se pode obter através das medidas que podem ser realizadas. Essa limitação não pode ser superada nem com o uso de instrumentos de medida perfeitos nem com o aperfeiçoamento do método e das habilidades do operador. É inerente ao próprio experimento.

### **Superposição Linear de Estados**

O estado do sistema pode ser dado pela configuração das variáveis dinâmicas relevantes ao problema, contudo, pode-se formar estados a partir da superposição de estados.

Para explicar a superposição de estados vamos fazer uso do paradoxo do gato de Schödinger. O problema é uma experiência imaginária que envolve o destino de um gato preso em uma caixa.

Coloca-se um gato numa caixa de aço juntamente com o seguinte engenho: um contador Geiger, no qual põe-se uma pequena quantidade de uma substância radioativa tão pequena que, no final de uma hora, talvez algum átomo tenha decaído, ou talvez não, com iguais probabilidades de acontecer uma coisa ou outra; se um átomo decair, ocorre uma descarga no tubo do contador Geiger que vai acionar um mecanismo preso a um martelo. Este martelo vai quebrar uma pequena ampola que contém cianeto suficiente para matar o gato. Isto tudo só ocorre se um átomo decair. Se deixarmos o sistema entregue a si próprio durante uma hora, pode-se dizer que o gato estará vivo, desde que nenhum átomo tenha decaído. O primeiro átomo que decair liquida o gato.

Assim, parece claro que o gato deverá estar vivo ou morto. Por outro lado, de acordo com as regras da FQ, o sistema total no interior da caixa está numa superposição de dois estados, um dos quais com um gato vivo e o outro com um gato morto. A Figura 10 ilustra a experiência.

Pode-se presumir que o próprio gato sabe se está vivo ou morto, contudo, conclui-se que o bichano permanece num estado de vida suspenso de duas possibilidades até que alguém espie para dentro da caixa e verifique o que ocorreu: ou o gato salta para fora, todo contente, ou está morto.

O paradoxo se agrava quando o gato é substituído por uma pessoa, pois aí a pessoa dentro da caixa estará sempre consciente do seu estado de saúde, ou o contrário. Se o experimentador abrir a caixa e descobrir que o sujeito ainda está vivo, poderá perguntar para a pessoa como ela se sentiu antes da abertura da caixa. Claro que ela vai responder que sempre se sentiu 100% viva. Contudo, isso entra em conflito com a FQ, que insistirá que a pessoa esteve num estado de superposição entre a vida e a morte até o momento em que o conteúdo da caixa foi inspecionado.

Tem-se, assim, que o dispositivo com veneno é um meio de ampliar uma superposição quântica de estados a uma escala macroscópica, onde parece implícita a coexistência de dois gatos, um morto e outro vivo. Ou seja, não apenas existiria uma possibilidade de o gato estar vivo e uma possibilidade de o gato estar morto, mas também que as duas situações (estar vivo e estar morto) coexistiriam.



Figura 10 – O paradoxo do gato de Schödinger.

Figura disponível em <<http://garciantunes.blogspot.com/2010/08/o-gato-de-schrodinger.html>>.

Na Figura 11 é representada a função de estado do sistema, onde  $|\Psi\rangle_{\text{GATO NA CAIXA}}$  é a representação simbólica do estado do sistema;  $\frac{1}{\sqrt{2}}\Psi_{\text{GATO VIVO}}$  representa, neste caso, que há 50% de probabilidade de encontrar o gato vivo e  $\frac{1}{\sqrt{2}}\Psi_{\text{GATO MORTO}}$  representa que há 50% de probabilidade de encontrar o gato morto.



$$\Psi_{\text{GATO NA CAIXA}} = \frac{1}{\sqrt{2}}\Psi_{\text{VIVO}} + \frac{1}{\sqrt{2}}\Psi_{\text{MORTO}}$$

Figura 11 – Superposição de estados representada pela experiência conceitual do gato de Schrödinger. Figura adaptada de <<http://thenerdiestshirts.com/images/zoom/physics-shirt-schro-lolcat-light.gif>>.

## 2.5 Informação

### 2.5.1 A Criptografia Quântica<sup>7</sup>

Outro importante exemplo de aplicação de alguns princípios da FQ, desenvolvido e utilizado a partir da década de 70, é a Criptografia Quântica. A área da *Criptografia* abrange os processos de proteção da transmissão de informação, buscando restringir o acesso ao conteúdo transmitido apenas para aqueles que de direito. A criptografia consiste, via de regra, na codificação de uma mensagem com o auxílio de uma *chave* (secreta ou pública) e o destinatário somente conseguirá decodificar e ler a mensagem, se possuir a chave ou se souber como a construir. O objetivo do processo é a segurança da informação, de tal modo que, se e quando a mensagem for interceptada, não seja possível acessar e identificar seu conteúdo original de forma inteligível.

Conforme a Figura 12, por exemplo, temos uma mensagem a ser enviada: “Mecânica Quântica”. Após passar por um processo de criptografia, seu conteúdo fica alterado e somente quem possuir a chave de decodificação correta poderá acessar seu real conteúdo.



Figura 12 - Apresentação simplificada de um processo criptográfico.

Com o avanço da tecnologia os mecanismos de transmissão de informação progrediram de forma espetacular, sendo a Internet a principal responsável pelo vertiginoso aumento de comunicação escrita entre dois ou mais sistemas ou entes. Aumentando o número de usuários destes meios e melhorando a qualidade e rapidez da transmissão, tornou-se também absolutamente necessário melhorar os sistemas de proteção associados ao processo de transmissão.

Os algoritmos de criptografia usados atualmente para preservação do sigilo na transmissão de mensagens via computadores utilizam sequências aleatórias dos dígitos 0 e 1, como chaves, cujo conteúdo pretende ser de conhecimento exclusivo do emissor (Alice) e do receptor (Bob). As chaves são veiculadas pelos canais clássicos de comunicação, sendo passíveis de quebra de sigilo.

As chaves usuais dividem-se em chaves *privadas* e chaves *públicas*. Chaves privadas são aquelas partilhadas por Alice e Bob e estabelecidas previamente ao envio de mensagens. Evidentemente este tipo de chave não se adapta a comunicações entre empresas e (individualmente) seus clientes. Além disto, para que a chave seja segura, deve usar um grande conjunto de dígitos, mas em geral o tamanho do conjunto que caracteriza a mensagem é muito maior, o que significa que parte da mensagem é enviada sem criptografia, favorecendo a violação de sigilo, sem que Alice e Bob a percebam de imediato.

---

<sup>7</sup> Texto extraído de *Princípios Fundamentais da Mecânica Quântica no Ensino Médio*. Autores: Carlos R. Rocha & Victoria E. Herscovitz.

Empresas e seus clientes recorrem a algoritmos de chave pública, em que a chave usada para codificar a mensagem é diferente da usada para decifrá-la. Neste caso, o uso de fatoração de números muito grandes é frequente.

Nos dois casos citados, a segurança do processo está relacionada à complexidade da sequência de números usada e o conseqüente intervalo de tempo necessário para a descoberta da mesma. Contudo tais códigos podem ser desvendados em intervalos de tempo viáveis, se a velocidade de processamento da informação aumentar. No caso de um computador quântico, por exemplo, que utiliza princípios como o da superposição linear de estados, poder-se-ia reduzir um intervalo de tempo de bilhões de anos para fatorar certo número em um computador comum, a um período de tempo de alguns minutos. Na tabela a seguir, podemos comparar algumas previsões para o tempo de fatoração de números em computadores clássicos e em computadores quânticos.

Tabela 1: Previsão para o tempo de fatoração de números por computadores clássicos e por computadores quânticos.

Tamanho do número (em bits)	Tempo de fatoração (computador clássico)	Tempo de fatoração (computador quântico)
512	4 dias	34 segundos
1024	10 mil anos	4,5 minutos
2048	10 mil bilhões de anos	36 minutos
4096	$10^{26}$ anos	4,8 horas

Há, porém, uma nova possibilidade de evitar-se a quebra de sigilo do algoritmo criptográfico, que surge da utilização dos primeiros princípios da FQ. Este novo método de criptografia é denominado de *Criptografia Quântica*. Os processos de criptografia quântica são incondicionalmente seguros contra ataques de monitoramento passivo, porque sua segurança está baseada nas distribuições probabilísticas de resultados de medidas e no colapso do vetor de estado pelo ato de medida.

Os protocolos de criptografia quântica recorrem, principalmente, a fótons polarizados. Mesmo com computadores poderosíssimos, fica impossível a decodificação total dos dados. As tentativas de interceptação da mensagem são detectadas, não existindo previamente (antes da medida) um dado resultado.

Existem diversas propostas de protocolos de criptografia quântica. É comum adotar as iniciais do(s) nome(s) do(s) autor(es) e o ano em que foram propostos, para a nomenclatura dos protocolos. Dentre os protocolos encontrados na literatura, podemos citar o *BB84*, o *E91*, o *BBM92* e o *B92*.

Para tentar esclarecer sobre as aplicações da FQ, quais fenômenos por ela explicados, será utilizado o artigo "A vida em um mundo quântico" publicado na revista *Scientific American Brasil*, em julho de 2011.

### 2.5.2 Misticismo Quântico<sup>8</sup>

A FQ se consolidou em 1926 como a teoria que descreve átomos, moléculas, suas interações mútuas e suas interações com diferentes formas de radiação. O domínio de aplicação desta teoria geralmente é a escala sub-nanométrica, ou seja, abaixo de um nanômetro ( $10^{-9}$  m), que é a escala típica de uma pequena molécula. Pode-se dizer que a teoria quântica está por trás de todos os fenômenos de nosso cotidiano, já que, afinal, tudo é composto de átomos.

No entanto, existe a dificuldade em se estender a teoria quântica para o domínio macroscópico (do nosso cotidiano), pois o agrupamento de um grande número de átomos tende a “borrar” ou apagar os efeitos quânticos mais delicados (processo chamado “descoerência”), resultando num comportamento tipicamente “clássico”, ou seja, de acordo com a FC pré-quântica. Para se explicar o funcionamento de uma bicicleta, por exemplo, não é necessário usar a teoria quântica, mesmo que se possa argumentar que, em princípio, uma descrição quântica da bicicleta seja possível. Assim, podemos dizer que a FQ não é “necessária”, não é “essencial”, para se explicar uma bicicleta, no sentido de que a FC fornece uma explicação suficientemente boa para este meio de locomoção.

E com relação à nossa consciência, à nossa mente (o que incluiria o inconsciente), à nossa “alma” (usaremos esses termos de maneira intercambiável)? Será que nossa consciência pode ser explicada apenas a partir da biofísicoquímica? E, em caso positivo, será que a ciência clássica seria suficiente, ou seria necessária a FQ? Uma ampla classe de visões de mundo argumentam que há uma conexão essencial entre FQ e consciência. Essas visões não se limitam à tese de que a FQ é essencial para se explicar a consciência, mas incluem outros tipos de relações entre mente e quântica (além da mais óbvia, de que a teoria quântica foi criada por mentes), num amplo panorama que é costumeiramente chamado de “misticismo quântico”.

O misticismo quântico, que na última década se disseminou tão fortemente na mídia e em boa parte da sociedade, em linhas gerais, consiste de interpretações da Teoria Quântica que se inserem na tradição do naturalismo animista (com seu idealismo transformador; considera que a natureza é imbuída de uma espécie de alma, semelhante à alma humana, ou uma espécie de sentido, finalidade ou racionalidade, semelhantes aos nossos), ou que adotam um idealismo subjetivista (a realidade, de alguma forma, depende da mente do sujeito), ou ainda que partem de elementos religiosos. Trata-se de uma atitude que atribui uma conexão íntima entre a consciência humana (ou a espiritualidade) e os fenômenos quânticos.

A origem do termo “*misticismo quântico*” parece ter surgido das comparações entre a FQ e o misticismo oriental, que foram exploradas por Fritjof Capra no livro *O Tao da Física*, mas que já tinham sido sugeridas antes por alguns fundadores da FQ.

Na década de 1970, a física norte-americana enfrentava dificuldades financeiras devidas à crise do petróleo. Com vários recém-doutores em física desempregados, alguns se voltavam para o estudo dos fundamentos teóricos da Física e alguns para a possível conexão entre a Física e os poderes da mente.

---

<sup>8</sup> Texto adaptado de dois artigos de Osvaldo Pessoa Jr. Fontes: *O Fenômeno Cultural do Misticismo Quântico (2010)*. Publicado no livro: *Teoria Quântica: Estudos Históricos e Implicações Culturais*. Editora da UEP: Campina Grande. e *Origens hippie do misticismo quântico*. Disponível em [http://www2.uol.com.br/vyaestelar/misticismo\\_quantico.htm](http://www2.uol.com.br/vyaestelar/misticismo_quantico.htm). Acesso em 23/08/2011.

A cultura norte-americana no início da década de 70 foi marcada pelos desdobramentos do movimento hippie, que surgiu especialmente no norte da Califórnia, com a disseminação do uso de drogas psicodélicas e a vivência de novos valores culturais. Um aspecto desse movimento contestatário foi uma rejeição da ciência tradicional e revalorização de tradições místicas antigas, incluindo a parapsicologia.

Nos anos 70, vários físicos começaram a trabalhar na conexão entre FQ e misticismo. Em Londres, David Bohm, interessou-se pelos poderes de Uri Geller (mágico ilusionista israelita que, entre outras coisas, entortava colheres afirmando que fazia isso com o poder da mente). Paralelamente, começou a dialogar com o misticismo oriental.

Vários livros de divulgação do misticismo quântico surgiram. O mais conhecido talvez seja *O Tao da Física*, do físico austríaco Fritjof Capra, publicado em 1975. O livro traça paralelos entre a física moderna e o misticismo oriental. Ao ganhar projeção, Capra passou a conduzir seus próprios workshops. Em 1990, seu irmão Bernt Capra dirigiu o filme *O Ponto de Mutação* (Mindwalk), inspirado em suas ideias.

Dois autores brasileiros, Frei Betto e Leonardo Boff, publicaram em 1994 o livro *Mística e Espiritualidade*, em que exploram a experiência mística de “*re-ligação*” com a divindade, que se daria num nível prévio a qualquer elaboração conceitual. Nesse livro, Frei Betto discute a FQ. Segundo ele, “*quando, hoje, o cientista analisa a matéria, descobre duas coisas fantásticas: primeiro que, no seu ponto mais ínfimo, matéria é simultaneamente espírito e matéria*”. Trata-se da tese conhecida como “*panpsiquismo*”, de que todas as coisas têm espírito ou consciência.

Está claro que a afirmação de Betto é exagerada: a FQ não implica que toda matéria seja espiritualizada. Trata-se de uma interpretação particular que pode até ser conciliada com a FQ, mas está longe de ser uma conclusão da ciência moderna. A base para esta afirmação de Betto é a não localidade quântica, que ele não consegue explicar bem, mas nos remete aos livros de Capra.

A segunda descoberta mencionada por Betto é o Princípio da Incerteza. Em sua discussão, duas teses são associadas a este princípio: o indeterminismo (a quebra da causalidade) e o subjetivismo, segundo o qual “a subjetividade humana interfere no movimento de alguma coisa que deveria independê-la”. Conclui com a tese de Capra de que “*os orientais já tinham pressentido o princípio de indeterminação três mil anos antes de Cristo. O que mais intriga os cientistas ateus, antirreligiosos, é o fato de as religiões orientais já o terem pressentido*.” Está claro que este comentário não é aceito pelos físicos de partículas. Sempre poderemos traçar semelhanças entre visões de mundo, mas se houvesse algum conhecimento de microfísica contido nas cosmologias antigas, elas deveriam poder ser usadas para fazer novas descobertas na Física. Mas, como comentou John Bell, “*iremos todos sentar aos pés do Maharishi se ele nos disser onde o bóson de Higgs pode ser encontrado*” (citado na coletânea de Grim, p. 310).

### **Diferentes atitudes frente ao misticismo quântico**

Analisaremos a seguir algumas atitudes que são tomadas por cientistas e humanistas com relação ao misticismo quântico.

- 1) Em primeiro lugar, há os adeptos do misticismo quântico, que constituem uma pequena minoria dentre os cientistas naturais, e talvez uma minoria um pouco maior nas humanidades. Este grupo é constituído, em sua maioria, por pessoas com predisposição a uma visão de mundo mística, que não entendem exatamente do que trata a FQ, mas confiam ou acreditam nos livros de divulgação que leram. Há também um pequeno grupo de estudiosos que conhece bem a FQ, e defende as teses místicas quânticas com melhor fundamentação, como Henry Stapp (2007) e Nick Herbert.
- 2) Um segundo grupo não compartilha das teses do misticismo quântico, mas respeita-o, assim como respeita as teses da parapsicologia e as crenças populares. Há os pós-modernistas, que negam que haja verdades únicas, e questionam o direito que nossa cultura teria de impor verdades sobre outras culturas. Há os agnósticos, que consideram que há um valor de verdade único e bem definido para certas afirmações (ou seja, elas são ou verdadeiras, ou falsas), como a existência de transmissão de pensamento, mas evitam tomar uma posição definida até que as questões sejam examinadas exaustivamente pela ciência. Há também os que acreditam em mistérios que estão para além da ciência, mesmo que discordem da maioria das afirmações da parapsicologia e das religiões oficiais (Calligaris, 2006). Dentre estes, muitos já tiveram relatos ou experiências que consideram confiáveis de premonições e outros fenômenos semelhantes, mas não chegam a defender explicitamente uma visão mística.
- 3) A atitude mais comum, por parte dos cientistas, é simplesmente ignorar a onda de misticismo quântico, talvez ridicularizando-a em conversas particulares, mas sem um esforço de criticá-lo publicamente.
- 4) Dentre os que acham o misticismo quântico descabido, assim como a parapsicologia e outras artes místicas, há um pequeno grupo que se auto-denomina “céticos”, e que para distinguir do ceticismo filosófico é às vezes chamado de “ceticismo científico”. Esse grupo é bastante ativo no projeto de desmascarar fraudadores e pseudocientistas, e publicam seus resultados principalmente nas revistas *Skeptical Inquirer* e *Skeptic*, além de sites na internet. Procuram tráfegar no terreno da racionalidade, argumentando que as atitudes pseudocientíficas são irracionais sem, no entanto, estender esta crítica para posições religiosas.
- 5) Por fim, segundo Pessoa, (2006) apresenta uma atitude ao mesmo tempo mais pluralista e mais dogmática. A atitude pluralista, no caso da FQ, é admitir que há dezenas de interpretações, e que qualquer uma que não seja refutável e autocontraditória deve ser admitida como uma possibilidade. Ou seja, interpretações idealistas, mesmo as que se referem a uma física da alma e outros conceitos contra intuitivos, não careceriam de racionalidade. Elas são baseadas em atos de fé. Seguindo esta linha de pensamento, posso afirmar para um colega místico: “Tenho fé na inexistência de Deus. Tenho fé no materialismo.” E enquanto o interlocutor manifesta seu espanto, já que o filme “Quem Somos

Nós?” afirma claramente a veracidade deste efeito (Arntz et al., 2007), posso informar a ele a grande quantidade de dinheiro que o místico japonês ganha em seus workshops em cruzeiros marítimos. Enfim, “se você é místico, então você deve estudar a FQ, pois isso trará novas perspectivas para seu misticismo; porém, a FQ não implica misticismo, ao contrário do sugerido no filme “Quem Somos Nós?”. Dentro desta última abordagem, pode-se formular um dilema para o místico ou para o religioso, cuja solução envolverá uma reflexão sobre o estatuto da visão científica do mundo. O dilema do místico é o seguinte: deve-se aceitar a existência de fenômenos que vão contra o que prevê a ciência estabelecida, ou deve-se aceitar apenas a existência de entidades e processos que não entram em contradição com a ciência? A primeira opção pode ser chamada de misticismo “desafiador” da ciência, e o segundo de misticismo “conciliador” com a ciência. Por exemplo, alguém que acredite em Deus e em outros mistérios, mas que aceita a evolução humana, está adotando uma postura conciliadora com a ciência. Neste caso, o texto da Bíblia deve ser interpretado de maneira figurada, e não de maneira literal. Já os chamados “criacionistas” adotam uma postura desafiadora da ciência. A tese defendida pelo físico indiano Goswami de que existe transmissão instantânea de pensamento também é desafiadora. Apesar de Goswami citar diversos experimentos que teriam verificado tal fenômeno, pouquíssimos cientistas consideram que esta aposta de Goswami possa gerar mais luz do que a dos holofotes. A tese de Jahn & Dunne, de que o pensamento do observador conseguiria influenciar o resultado de um experimento quântico, viola menos teses fundamentais da Física, mas é também uma atitude desafiadora, já que tem consequências experimentais testáveis que estão em desacordo com as previsões das visões materialistas da ciência, e que não foram reproduzidas por cientistas que trabalham em laboratórios considerados respeitáveis.

## **2.6 Mapa Conceitual**

Para a construção de um mapa conceitual sobre os conceitos trabalhados deverá ser feita uma breve explanação sobre o assunto mapeamento conceitual, envolvendo sua estrutura, sequenciação e hierquização. Para tal poderá ser utilizando um material elaborado a partir do artigo “Mapas Conceituais e Aprendizagem significativa” que está disponível em <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>. Também deverão ser apresentados alguns exemplos de mapas conceituais, sobre assuntos diversos, para ajudar os alunos na realização da tarefa.

## **2.7 Diferenciando Progressivamente**

A seguir são apresentadas novas situações problema, relativas aos conceitos de quantização, objeto quântico, princípio da incerteza, estado, e superposição de estados, principalmente em forma de figuras e desenhos. O objetivo é interpretar as figuras, fazendo uma breve descrição sobre cada uma, conforme os conceitos apresentados.





Figura 13 – Disponível em <<http://estacaofisica.blogspot.com/search?updated-max=2009-05-01T21:29:00-07:00&max-results=7>>. Acesso em 23/08/2011.



Figura 14 – Adaptada de <<http://algol.fis.uc.pt/quark/viewtopic.php?f=7&t=257>>. Acesso em 23/08/2011.



Figura 15 – Pode ser acessada em <<http://estadoquantico.blogspot.com/2010/07/imagens-do-cabecalho-gato-de.html>>. Acesso em 23/08/2011.

A tradução da Figura 16 é: “Instituto de Física Quântica. Ele se encontra aqui ou aqui.”

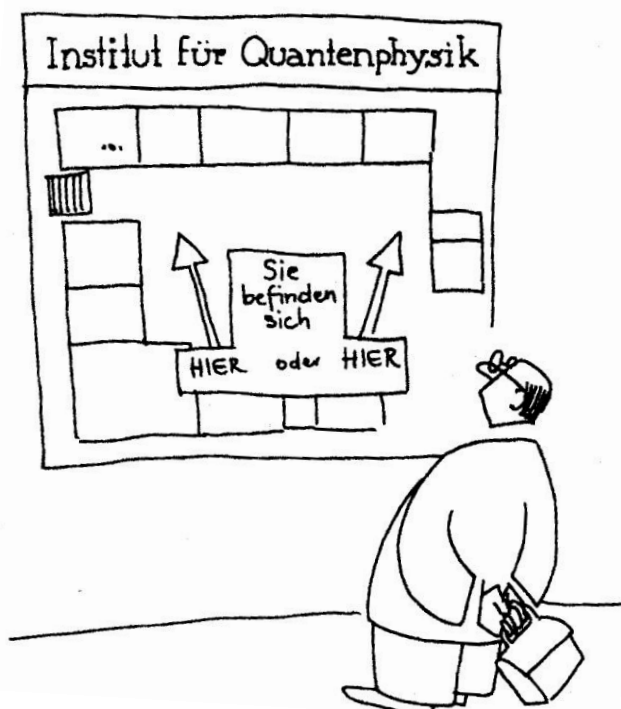


Figura 16 –Disponível em <[http://2.bp.blogspot.com/\\_xmiZpXVby5Q/TIaM6qDXEUI/AAAAAAAAA\\_I/qYgU\\_nCUI7w/s1600/Institut.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_xmiZpXVby5Q/TIaM6qDXEUI/AAAAAAAAA_I/qYgU_nCUI7w/s1600/Institut.jpg)>. Acesso em 23/08/2011.



Figura 17 – Disponível em <<http://www.oesquema.com.br/conector/tag/principio-da-incerteza>>. Acesso em 23/08/2011

Após a visualização de cada figura, o grande grupo é incentivado a buscar o conceito físico que está implícito. Assim, se está buscando a diferenciação progressiva dos conceitos apresentados anteriormente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação e do Desporto, 2000.

BRASIL. **PCN+ do Ensino Médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação e do Desporto, 2002.

EINSTEIN, A. INFELD, L. **A Evolução da Física**. Editora Zahar: Rio de Janeiro, RJ. 2008.

**Ensino de Física on-line**. e-física. Disponível em <<http://efisica.if.usp.br/>>. Último acesso em 11 de julho de 2011.

CARUSO, F. e OGURI, V. **Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2006.

Discovery. **Documentário Tudo sobre Incerteza – Mecânica Quântica**. Partes 1 a 6. 2007. Parte 1 disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=O1dHym14W5Q&NR=1>>. Acesso em 08 março de 2012.

KANTOR, C. A. ET ALL. **Física, 3º ano: Ensino Médio**. Editora PD: São Paulo, SP. 1ª Ed, (Coleção Quanta Física). 2010.

MOREIRA, M. A. Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa. **Cadernos do Aplicação**, v. 11, n. 2, p. 143-156. 1998. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>>. Acesso em 11 de julho de 2011.

MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista / Meaningful Learning Review**, v. 1, n. 2, p.43-63. 2011. Disponível em <[http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo\\_ID10/v1\\_n2\\_a2011.pdf](http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf)>. Acesso em 08 março de 2012.

NUNES, A. L. Física Quântica para Todos. **Atas do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física. 2007**. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0071-1.pdf>>. Acesso em 12 de abril de 2011.

PESSOA JR. O. **Conceitos de Física Quântica**. Editora Livraria da Física: São Paulo, SP. 2003.

PESSOA JR. O. O Fenômeno Cultural do Misticismo Quântico. Do livro **Teoria Quântica: Estudos Históricos e Implicações Culturais**. Editora da UEP: Campina Grande. 2010.

PESSOA JR. O. **Origens hippie do misticismo quântico**. Disponível em [http://www2.uol.com.br/vyaestelar/misticismo\\_quantico.htm](http://www2.uol.com.br/vyaestelar/misticismo_quantico.htm). Acesso em 23/08/2011.

**The Scale of the Universe**. Disponível em <<http://www.newgrounds.com/portal/view/525347>>. Acesso em 13 de julho de 2011.

ROCHA, C. R. **Sobre o ensino do conceito de estado em cursos introdutórios em mecânica quântica**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 179p. 2009.

VEDRAL. V. A vida em um mundo quântico. **Scientific American Brasil**. Ed. 110, julho de 2011.



## APÊNDICE – UEPS-FQ

### PROPOSTA DE UEPS PARA ENSINO DE TÓPICOS DE FÍSICA QUÂNTICA

**Objetivo:** facilitar a aquisição de significados de conceitos básicos de Física Quântica no Ensino Médio: quantização, incerteza, objeto quântico, estado, superposição de estados.

#### Sequência:

1. **Situação inicial:** os alunos serão incentivados a elaborar um **mapa mental** sobre a Física Quântica (FQ). No mapa mental o sujeito tem total liberdade para fazer associações entre seus conhecimentos, suas representações, suas cognições (Buzan & Buzan, 1994). Assim, os alunos ficarão à vontade para fazer relações da FQ com outros ramos da Física e/ou com o seu cotidiano. Os mapas mentais serão entregues à professora. A seguir, para refletir sobre o assunto, os alunos receberão a letra e ouvirão a música *Quanta*, de Gilberto Gil. A atividade ocupará uma aula.

#### 2. Questionamentos iniciais:

- a) O que você já leu, ouviu, ou viu sobre Física Quântica?
- b) Onde a Física Quântica é aplicada? O que estuda?
- c) O que difere a Física Quântica das outras áreas da Física (Mecânica, Termodinâmica, Eletromagnetismo, etc.)?
- d) O que é um quantum de matéria? E um quantum de energia?
- e) Qual a sua opinião sobre os seguintes anúncios? (Recortes de revistas ou sites que anunciem “cursos ou terapias quânticas”, trazidos pela professora) Você já ouviu falar ou teve contato com algum tipo de terapia que se denomina quântica?

Todas as questões/situações deverão ser discutidas em grande grupo, sob a mediação da professora, com a intenção de ouvir a opinião do grupo, estimular a curiosidade sobre o assunto, sem a necessidade de chegar a uma resposta final.

A seguir será distribuída uma cópia individual do artigo *Física Quântica para Todos* (texto parcialmente adaptado de Nunes, 2007) que está disponível no material de apoio organizado pela professora. Será dado um tempo para que os alunos leiam o texto e depois se reúnam em pequenos grupos para discussão do mesmo e dele façam um resumo ou um diagrama, ou um desenho, em atividade colaborativa. O produto dessa atividade deverá ser entregue à professora. O desenvolvimento desta etapa ocupará três aulas.

3. **Aprofundando conhecimentos:** serão trabalhados os conceitos de *quantização, objeto quântico, incerteza, estado e superposição de estados*, de acordo com as orientações do material de apoio. Estes conteúdos serão apresentados através de textos e também em slides, sendo estimuladas discussões no grande grupo. Ao final da introdução dos novos

4. conteúdos, serão retomados os anúncios, questionando os alunos sobre a validade das proposições anunciadas e sua visão sobre até que ponto estas apropriações são legitimadas pela Física. A etapa será desenvolvida em quatro aulas.
5. **Nova situação:** os conceitos serão novamente apresentados na forma de vídeos, com duração de uma aula. Para tal o escolhido foi o documentário sobre Mecânica Quântica, produzido pela Discovery. O primeiro dos seis vídeos pode ser acessado em <<http://www.youtube.com/watch?v=O1dHym14W5Q&NR=1>>. Os outros cinco vídeos aparecem como uma sequência deste primeiro. Logo após, os alunos irão se reunir em pequenos grupos quando serão solicitados a construir um **mapa conceitual** para os conceitos quânticos trabalhados. Para isso, será feita uma exposição inicial sobre como construir um mapa conceitual e serão apresentados alguns exemplos. Após, os mapas serão trocados entre os grupos para que sejam feitas comparações e sugestões e alguns serão apresentados ao grande grupo. Todos os mapas deverão ser entregues à professora para avaliação. Esta atividade ocupará três aulas.
6. **Comparando mapas:** na aula seguinte será desenvolvida uma atividade envolvendo os **mapas mentais** elaborados da primeira aula e os **mapas conceituais** da aula anterior. Será feita uma comparação qualitativa entre esses mapas, buscando aspectos que envolvam concepções místicas ou representações sociais, sobre a Física Quântica, possivelmente apresentados nos mapas mentais construídos na primeira aula e sua provável ausência nos mapas conceituais. Tal aspecto será utilizado para abordar novamente o assunto e explicar aos alunos que a Física Quântica não pode ser usada para dar embasamento científico para assuntos apresentados nos anúncios trazidos pela professora no início da unidade. Esta etapa terá duração de duas aulas.
7. **Diferenciando progressivamente:** serão apresentadas novas situações problema, relativas aos conceitos de *quantização, objeto quântico, incerteza, estado e superposição de estados*, principalmente em forma de imagens, como a do Gato de Schrödinger que pode ser acessada em <<http://averomundo-jcm.blogspot.com/2009/10/gatos-e-virus.html>> e também será iniciada a confecção de um pequeno jornal da turma contendo pequenos artigos, charges, quadrinhos ou figuras sobre os assuntos abordados. O jornal será exposto no colégio para a leitura de toda comunidade escolar. Atividade a ser desenvolvida em três aulas.
8. **Avaliação individual:** será realizada uma avaliação individual através de questões abertas envolvendo os conceitos-foco da unidade. A atividade ocupará uma aula.
9. **Aula final e avaliação da UEPS em sala de aula:** análise das respostas às questões propostas na avaliação individual e das discussões realizadas nas etapas anteriores. Comentários finais integradores sobre o assunto abordado. Avaliação oral por parte dos

alunos sobre as estratégias de ensino utilizadas e sobre seu aprendizado. A atividade ocupará uma aula. As manifestações dos alunos serão gravadas em áudio, se houver anuência dos mesmos.

**10. Avaliação da UEPS:** análise qualitativa, de parte da professora, sobre as evidências que percebeu, ou não, de aprendizagem significativa dos conceitos da unidade, na avaliação individual e na observação participante, bem como da avaliação da UEPS feita em sala de aula pelos alunos na última aula.

**11. Total de horas-aula:** 16

### Referências:

MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista / Meaningful Learning Review**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 43-63. 2011. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo\\_ID10/v1\\_n2\\_a2011.pdf](http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf)>. Acesso: 08 mar. 2012.

BUZAN, T. E BUZAN, B. **The mind map book**. New York, NY: Dutton Books. 320p. 1994.

ONTORIA, A., DE LUQUE, A. E GÓMEZ, J.P.R. **Aprender com mapas mentais**. São Paulo: Madras. 168p. 2004.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>. Acesso: 11 de jul. 2011.

NUNES, A. L. Física Quântica para Todos. In: **Simpósio Nacional de Ensino de Física**, XVII, 2007, São Luis. Anais eletrônicos. São Paulo: SBF, 2007. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0071-1.pdf>>. Acesso em 12 de abril de 2011.

DISCOVERY. Documentário **Tudo sobre Incerteza – Mecânica Quântica** – Partes 1 a 6. 2007. Parte 1 disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=O1dHym14W5Q&NR=1>>. Acesso em: 08 mar. 2012.