

# Um livro ilustrado de crianças para a teoria dos campos quânticos

Navegando na internet me deparei com este artigo sobre teoria quântica de campo que tenta explicá-la de uma maneira simples para o público não iniciado no lado físico da força. Além de ser a área que estou seguindo na pós-graduação, o texto é escrito de uma forma magnífica. Então segue aqui uma tradução na íntegra do texto. Vocês podem também conferir o texto original aqui:

<https://www.ribbonfarm.com/2015/08/20/qft/>.

Boa leitura!

## Primeiro de tudo, não entre em pânico!

Vou tentar neste post apresentar a teoria quântica de campos, que é provavelmente o mais profundo e intimidador conjunto de ideias da física teórica de pós-graduação. Mas tentarei fazer essa apresentação da maneira mais gentil e agradável possível: com fotos simplistas e basicamente sem matemática.

Para preparar o terreno para essa primeira lição da teoria quântica de campos, vamos imaginar, por um momento, que você é uma criança de cinco anos de idade. Você, a criança, está conversando com um adulto, que está lhe dando uma de suas primeiras lições em ciência. A ciência, diz o adulto, é principalmente um processo de descobrir de que coisas são feitas. Tudo no mundo é feito de peças menores, e pode ser emocionante descobrir quais são essas peças e como elas funcionam. Um carro, por exemplo, é feito de peças de metal que se encaixam de maneiras especialmente projetadas. Uma montanha é feita de camadas de rochas que foram empurradas de dentro da terra. A terra em si é feita de camadas de rocha e metal líquido cercado por água e ar.

Esta é uma ideia inebriante: tudo é feito de alguma coisa.

Então você, de cinco anos, começa a fazer perguntas audaciosas e irritantes. Por exemplo:

Do que as pessoas são feitas?

As pessoas são feitas de músculos, ossos e órgãos.

Então do que os órgãos são feitos?

Órgãos são feitos de células.

Do que são as células feitas?

As células são feitas de organelas.

Do que são as organelas feitas?

Organelas são feitas de proteínas.

Do que as proteínas são feitas?

Proteínas são feitas de aminoácidos.

Do que os aminoácidos são feitos?

Os aminoácidos são feitos de átomos.

Do que são os átomos feitos?

Os átomos são feitos de prótons, nêutrons e elétrons.

Do que os elétrons são feitos?

Elétrons são feitos do campo de elétrons.

De que é feito o campo de elétrons?

...

E, infelizmente, aqui o jogo deve chegar ao fim, oito níveis abaixo. Este é o limite rígido do nosso entendimento científico. Para o melhor da nossa capacidade atual de perceber e raciocinar, o universo é feito de campos e nada mais, e esses campos não são feitos de quaisquer componentes menores.

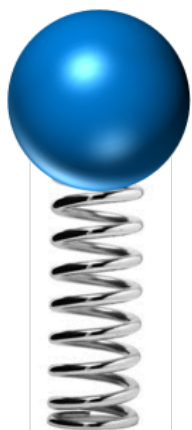
Mas não é correto dizer que os campos são a coisa mais fundamental que conhecemos na natureza. Porque sabemos algo que é ainda mais básico: conhecemos as regras que esses campos devem obedecer. Nossa compreensão de como codificar essas regras veio de uma série de verdadeiros grandes triunfos na física moderna. E o maior desses triunfos, como eu vi, foi a mecânica quântica.

Neste post eu quero tentar pintar uma imagem do que significa ter um campo que respeite as leis da mecânica quântica. Em um post anterior, apresentei a ideia de campos (e, em particular, o importantíssimo campo elétrico), fazendo uma analogia com ondulações em um lago ou a água saindo de uma mangueira. Essas imagens vão surpreendentemente longe, permitindo que se entenda como os campos funcionam, mas elas são limitadas em sua exatidão, porque as regras implícitas que os governam são completamente clássicas. Para realmente entender como a natureza funciona em seu nível mais básico, é preciso pensar em um campo com regras quânticas.

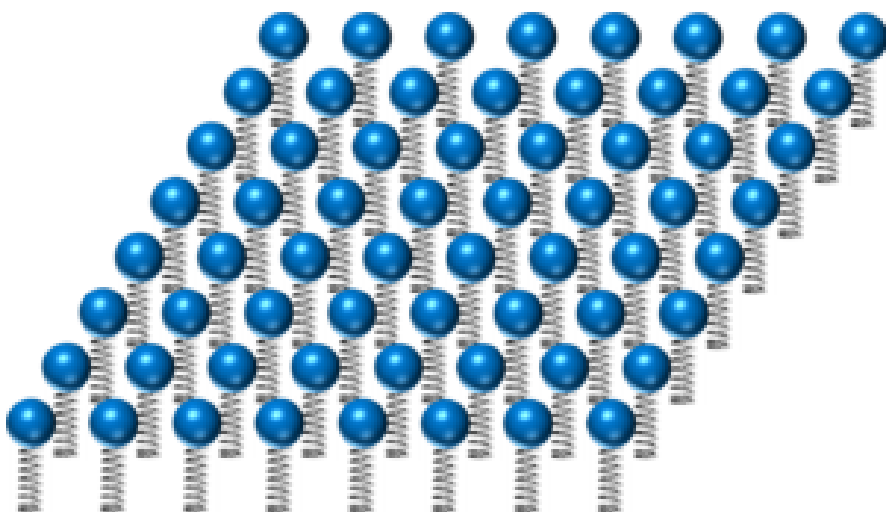
\*\*\*

O primeiro passo para criar uma imagem de um campo é decidir como imaginar de que o campo é feito. Tenha em mente, claro, que a imagem é principalmente apenas um dispositivo artístico. Os verdadeiros campos fundamentais da natureza não são realmente feitos de coisas físicas (até onde podemos dizer); coisas físicas são feitas deles. Mas, como é comum na ciência, a analogia é surpreendentemente instrutiva.

Então vamos imaginar, para começar, uma bola no final de uma mola. Igual a:



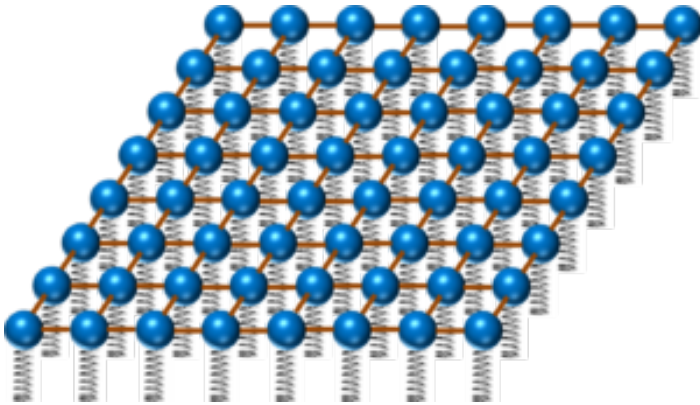
Este é o objeto a partir do qual nosso campo quântico será construído. Especificamente, o campo será composto de uma matriz infinita preenchendo todo o espaço dessas bolas e molas.



Para manter as coisas simples, vamos supor que, por alguma razão, todas as molas estão limitadas a balançar apenas para cima e para baixo, sem torcer ou dobrar de um lado para o outro. Nesse caso, a matriz de molas pode ser chamada, usando o jargão da física, para o campo escalar. A palavra “escalar” significa apenas um único número, ao contrário de um conjunto ou uma matriz de vários números. Apenas um campo escalar é um campo cujo valor em um determinado ponto no espaço e no tempo é apenas um único número. Nesse caso, esse número é a altura da bola no ponto em questão. (Você pode perceber que o que descrevi no post anterior foi um campo vetorial, uma vez que o campo em qualquer ponto foi caracterizado por uma velocidade, que tem magnitude e direção).

Na foto acima, o conjunto de bolas e molas é bastante desinteressante: cada bola é estacionária ou oscila para cima e para baixo independentemente de todas as outras. A fim de tornar este conjunto

em um campo genuíno, é necessário introduzir algum tipo de acoplamento entre as bolas. Então, vamos imaginar adicionando pequenos elásticos entre eles:



Agora temos algo que podemos legitimamente chamar de campo. (Meu livro de teoria de campo quântica chama isso de “colchão”.) Se você perturbar esse campo – digamos, tocando nele em um local específico –, então ele desencadeará uma onda de oscilações de bola e mola que se propagam pelo campo. Essas ondas são, na verdade, as partículas da teoria de campo. Em outras palavras, quando dizemos que há uma partícula no campo, queremos dizer que há uma onda de oscilações se propagando através dela.

Essas partículas (as oscilações do campo) têm um número de propriedades que provavelmente são familiares desde os dias em que você pensou em partículas como pequenos pontos zunindo pelo espaço vazio. Por exemplo, eles têm uma velocidade de propagação bem definida, que está relacionada ao peso de cada uma das bolas e ao aperto das molas e bandas elásticas. Esta velocidade característica é o nosso análogo da “velocidade da luz”. (Mais genericamente, as propriedades das molas e massas definem a relação entre a energia cinética da partícula e sua velocidade de propagação, como a  $KE = \frac{1}{2}mv^2$  da sua classe de física do ensino médio.) As propriedades das molas também definem a maneira como as partículas interagem um com o outro. Se duas ondas de partículas se encontrarem, elas podem se dispersar da mesma maneira que as partículas normais.

(Nota técnica: o grau de dispersão das partículas em nosso campo depende de quão “ideais” são as molas. Se as molas são perfeitamente descritas pela lei de Hooke, que diz que a força restauradora atuando sobre uma dada bola é linear proporcional ao deslocamento da mola a partir do equilíbrio, então não haverá interação alguma. Para um campo feito de tais molas perfeitas, duas ondas de partículas que se colidirão entre si irão apenas atravessar uma à outra. Porém qualquer derivação da lei de Hooke, de modo que as molas ficam mais rígidas à medida que são esticadas ou comprimidas, então as partículas se dispersam quando se encontram.)

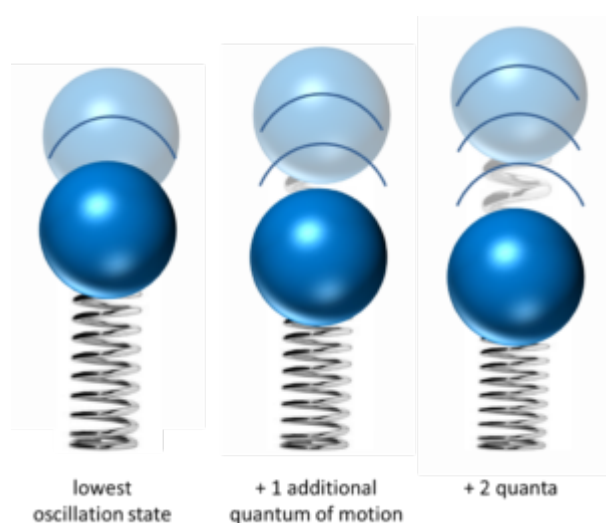
Finalmente, as partículas do nosso campo exibem claramente a “dualidade onda-partícula” de uma maneira que é fácil de ver sem qualquer esforço filosófico. Isto é, nossas partículas, por definição, são ondas, e podem fazer coisas como interferir destrutivamente umas com as outras ou difratar através de uma dupla fenda.

Tudo isso é muito encorajador, mas neste ponto nosso campo fictício carece de uma característica muito importante do universo real: a descrição da matéria. No mundo real, toda a matéria vem em unidades discretas: elétrons simples, fótons únicos, quarks individuais, etc. Mas você pode perceber que, para o campo de molas desenhado acima, pode-se fazer uma excitação com magnitude completamente arbitrária, tocando no campo. tão gentilmente ou tão violentamente quanto se queira. Como consequência, nosso campo (clássico) não tem nenhum conceito de um pedaço mínimo de matéria, ou de uma partícula menor, e, como tal, não pode ser uma analogia muito boa aos campos reais da natureza.

\*\*\*

Para resolver esse problema, precisamos considerar que os constituintes individuais do campo – as bolas montadas em molas – estão sujeitos às leis da mecânica quântica.

Uma contabilidade completa das leis da mecânica quântica pode levar algum tempo, mas para a presente discussão pictórica, tudo o que você realmente precisa saber é que uma bola quântica em uma mola tem duas regras que ela deve seguir. 1) Ele nunca pode parar de se mover, mas deve estar em constante estado de subida e descida. 2) A amplitude do movimento de balanço só pode levar alguns valores discretos.



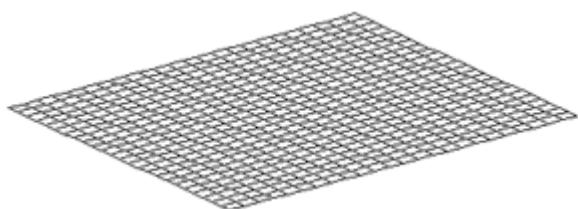
Esta quantização da oscilação da bola tem duas consequências importantes. A primeira consequência é que, se você quiser colocar energia no campo, você deve colocar pelo menos um quantum. Ou seja, você deve dar ao campo energia suficiente para chutar pelo menos uma bola e uma mola para um estado de oscilação mais alta. Distúrbios de luz arbitrariamente do campo não são mais permitidos. Ao contrário do caso clássico, uma derivação extremamente leve no campo produzirá literalmente ondas de propagação zero. O campo simplesmente não aceitará energias abaixo de um certo limite. Uma vez que você toca no campo com força suficiente, no entanto, uma partícula é criada e essa partícula pode se propagar de maneira estável através do campo.

Essa unidade de energia discreta que o campo pode aceitar é o que chamamos de energia de massa

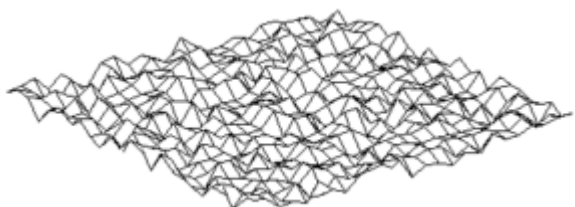
restante das partículas em um campo. É a quantidade fundamental de energia que deve ser adicionada ao campo para criar uma partícula. Isto é, na verdade, como pensar na famosa equação de Einstein,  $E=mc^2$ , em um contexto de teoria de campo. Quando dizemos que uma partícula fundamental é pesada (grande massa  $m$ ), significa que muita energia tem que ser colocada no campo para criá-la. Uma partícula de luz, por outro lado, requer apenas um pouco de energia.

A propósito, é por isso que os físicos constroem enormes aceleradores de partículas sempre que querem estudar partículas pesadas exóticas. Se você quer criar algo pesado como o bóson de Higgs, você precisa atingir o campo de Higgs com uma explosão suficientemente grande (e suficientemente concentrada) de energia para dar ao campo o quantum necessário de energia.)

A outra grande implicação de impor regras quânticas ao movimento de bola e mola é que ele muda drasticamente o significado do espaço vazio. Normalmente, o espaço vazio, ou vácuo, é definido como o estado em que não há partículas ao redor. Para um campo clássico, esse seria o estado em que todas as bolas e molas são estacionárias e o campo é plano. Algo assim:



em um campo quântico, as bolas e molas nunca podem ser estacionárias: elas estão sempre em movimento, mesmo quando ninguém adicionou energia suficiente ao campo para criar uma partícula. Isso significa que o que chamamos de vácuo é na verdade uma superfície barulhenta e densamente energética:



Esse movimento aleatório (chamado de flutuações de vácuo) tem um número de influências fascinantes e eminentemente perceptíveis nas partículas que se propagam através do vácuo. Para citar alguns, isso dá origem ao efeito Casimir (uma atração entre superfícies paralelas, causada por flutuações de vácuo que os empurram juntos) e o deslocamento de Cordeiro (uma mudança na energia das órbitas atômicas, causada pelo elétron sendo atingido pelo vácuo ).

No jargão da teoria de campo, os físicos costumam dizer que “partículas virtuais” podem surgir momentânea e espontaneamente do vácuo e depois desaparecer novamente, mesmo quando ninguém colocou energia suficiente no campo para criar uma partícula real. Mas o que eles realmente querem dizer é que o próprio vácuo tem flutuações aleatórias e indeléveis, e às vezes sua influência pode ser sentida pela forma como eles “chutam” partículas reais.

Isso, em essência, é um campo quântico: o material de que tudo é feito. É um mar fervente de flutuações aleatórias, em cima do qual você pode criar ondas de propagação quantificadas que chamamos de partículas.

Eu só queria, como um pensador principalmente visual, que a introdução usual à teoria quântica de campos não se parecesse tanto com isso. Porque por trás das equações de Teoria Quântica de Campos há realmente uma enorme quantidade de imaginação, e uma grande maravilha.

Link para o texto original em inglês: [A Children's Picture-book Introduction to Quantum Field Theory](#)