

# O que são materiais “frustrados”?

Constança Providência

CFisUC, Departamento de Física, Universidade de Coimbra

## Material

- um ímã
- agulha grossa
- prato com água
- rolo e fita-cola
- papel e caneta
- tesoura
- pioneses
- cortiça ou esferovite

## Magnetismo

Imagina que gostarias muito de ter uma bicicleta e um *skate* mas tens de optar por apenas um deles. Ficas indeciso entre os dois, e acabas por escolher a bicicleta mas sentes-te frustrado por não poderes ter um *skate*. Depois tens uma ideia: combinas com a tua irmã que ela escolhe o *skate* e, assim, podem alternadamente usar a bicicleta ou o *skate*. Pois, certos materiais por vezes têm de fazer opções difíceis não ficando totalmente satisfeitos com a escolha feita. Dizemos que estes materiais estão frustrados. Mas o que são mesmo materiais frustrados?

Alguns físicos dedicam-se a descobrir materiais com propriedades interessantes que nos permitam construir novos aparelhos ou melhorar os que temos, como os computadores quânticos.

Em 2021, o Prémio Nobel da Física foi atribuído a três cientistas que têm dedicado os seus trabalhos à compreensão de sistemas complexos. O físico italiano Giorgio Parisi foi um dos galardoados, justamente pelos seus estudos sobre as propriedades destes materiais complexos, isto é, materiais que não se conseguem organizar, como poderia ser mais favorável.

Sabes, certamente, que alguns materiais têm propriedades magnéticas como os ímãs que colas na porta do teu frigorífico. A agulha de uma bússola é outro exemplo. Experimenta fazer uma bússola. Precisas de uma agulha grossa sem ponta afiada, uma fatia de um rolo de cortiça ou um bocado de uma embalagem de esferovite e fita-cola. Cola a agulha à cortiça e coloca-a a boiar num prato com água, ver figura 1. Verifica que a agulha aponta na direção em que a colocas.

Agora faz o seguinte: tira a agulha da água, seca-a, e passa um ímã da cabeça para a ponta da agulha

cerca de 40 vezes. Tem cuidado em fazer o movimento correto, sempre da cabeça para a ponta. Volta a colocar a agulha na água. Consegues colocá-la na direção que queres ou ela escolhe a direção?

Acabaste de construir uma bússola: a agulha aponta aproximadamente na direção do Norte. A Terra funciona como um grande ímã e atrai a agulha da bússola que construístes.

Mas porque é que conseguiste transformar a agulha num ímã? É porque a agulha é feita de ferro, um metal com propriedades magnéticas. Cada partícula de ferro comporta-se como um pequeno ímã. Só consegues observar as propriedades magnéticas do ferro se todos estes pequenos ímãs que o formam tiverem a mesma orientação. Quando esfregas o ímã na agulha obrigas todos os pequenos ímãs a ficarem orientados na mesma direção e a agulha passa a comportar-se como um ímã!

Um desenho permite perceber facilmente o que se passa. As partículas de ferro estão colocadas nos vértices de uma rede quadrangular como a vês na Figura 2. Dizemos que é quadrangular porque a rede é feita de quadrados. As partículas de ferro localizam-se nos vértices dos quadrados.

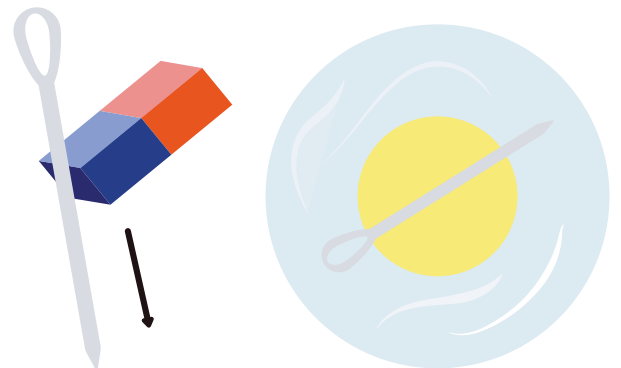


Figura 1 - Construção de uma bússola.

Vamos representar cada partícula de ferro por uma seta, como se fosse um pequeno ímã. A Figura 2 (centro) representa o material da

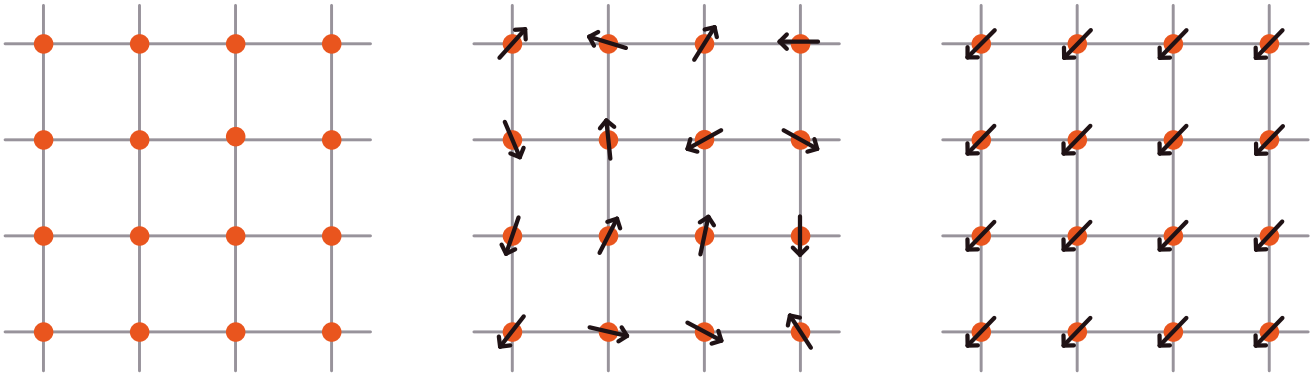


Figura 2 - Rede quadrangular (esquerda): orientação das partículas da agulha antes de se passar o magnete (centro) e depois de se passar o magnete (direita)

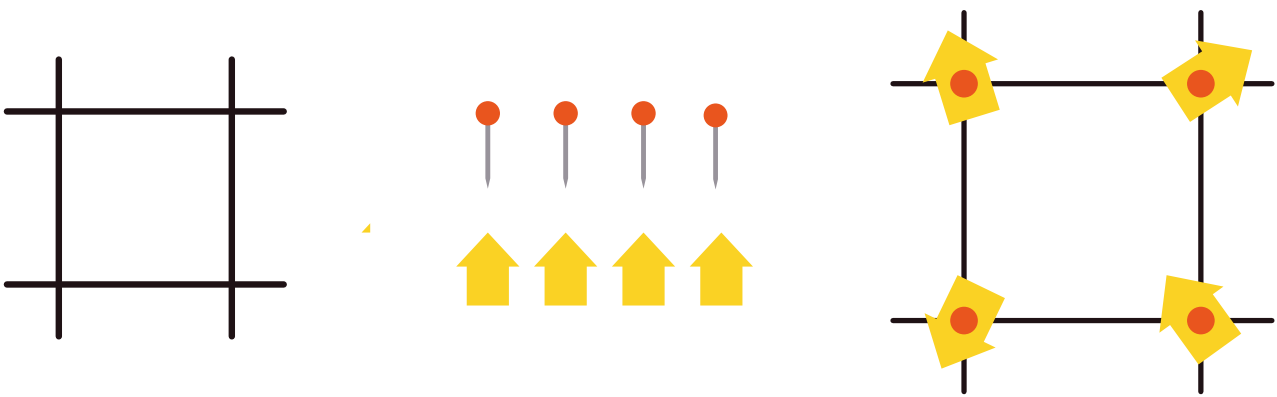


Figura 3 - Material para construir um modelo (esquerda) e modelo de material não orientado (direita)

agulha antes de teres passado o magnete: as setas apontam em qualquer direção. Depois de passares o magnete, o material da agulha passa a ter a maior parte das partículas de ferro orientadas na mesma direção como na Figura 2 (direita).

Faz o teu modelo do ferro. Precisas de uma placa de cortiça ou esferovite, quatro pioneses, papel e uma tesoura. Corta quatro setas que vão representar as partículas de ferro. Coloca em cima da placa de cortiça uma folha de papel e desenha um elemento da rede quadrangular como mostra a Figura 3. Prende aos vértices do quadrado as setas com pioneses. Orienta as setas de modo a representares o material antes de passar o magnete e depois de passar o magnete.

No ferro, as partículas preferem ficar todas a apontar na mesma direção. Mas há materiais em que as partículas preferem que os vizinhos apontem no sentido oposto como o crómio, que, tal como o ferro, também é um metal. Neste metal, as partículas orientam-se de modo que a vizinha aponta no sentido oposto como na Figura 4. Usa o teu modelo para representares o crómio, tendo o cuidado de colocar as setas vizinhas a apontar em sentidos opostos.

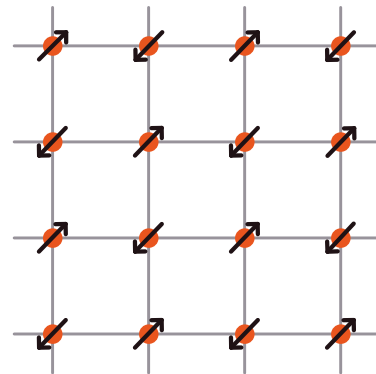


Figura 4 - Representação da rede do crómio.

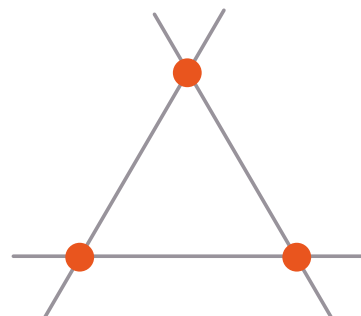


Figura 5 - Rede triangular.

Repete o exercício mas supondo um material do tipo do crómio: a orientação preferida da vizinha é a oposta. Vês algum problema?

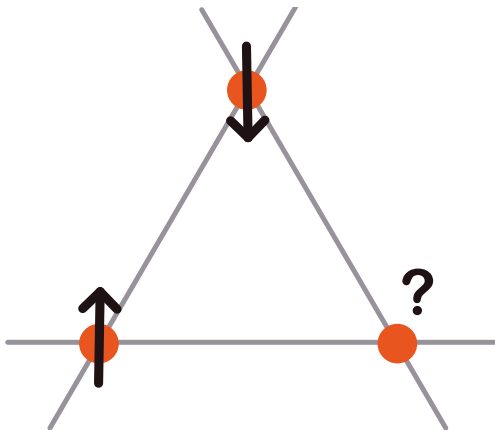


Figura 6 - Rede triangular de uma material que se orienta como o crómio.

Usa o teu modelo com uma rede triangular e setas presas aos vértices com pioneses. Qual será uma possível orientação das setas de modo a minimizar o problema da orientação? Chamamos frustração à existência destas situações de conflito, nas quais as partículas não conseguem orientar-se como gostariam: na rede triangular uma das setas tem um vizinho com a orientação oposta e outro com a mesma orientação. Não consegue encontrar uma solução em que ambos os vizinhos têm a orientação oposta sem afetar as outras partículas da rede. Há várias possibilidades que minimizam de um modo equivalente estas situações de conflito: nestas configurações cada uma das setas roda um pouco relativamente à situação ideal. A combinação destas diferentes posições dá origem a estruturas muito complexas.

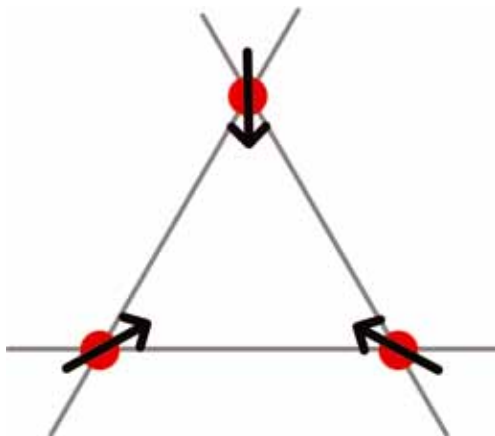


Figura 7 - Orientação possível de uma rede triangular frustrada.

Como desafio, deixo-te a estrutura de um material representado na Figura 8, onde identificas estrelas de seis pontas. Sabendo que as partículas desse material gostam de se orientar de modo que os vizinhos apontam em direções opostas, que proposta fazes para uma possível orientação das partículas na rede representada?

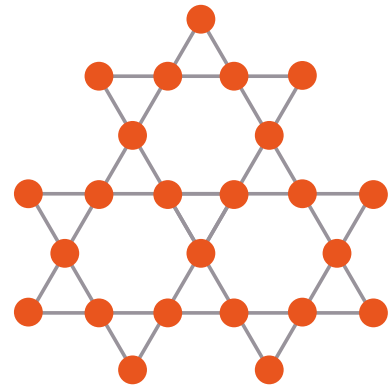


Figura 8 - Rede triangular de uma material que se orienta como o crómio.

### Agradecimentos

Agradeço à Rita Wolters os desenhos todos da sua autoria. Agradeço à Lucília Brito os comentários sempre tão pertinentes.

### Bibliografia

- [1] Ciência a brincar, Constança Providência, Helena Alberto, Carlos Fiolhais, Editorial Bizâncio, 1999.
- [2] Ciência a brincar, Constança Providência, Helena Alberto, Carlos Fiolhais, Editorial Bizâncio, 1999.