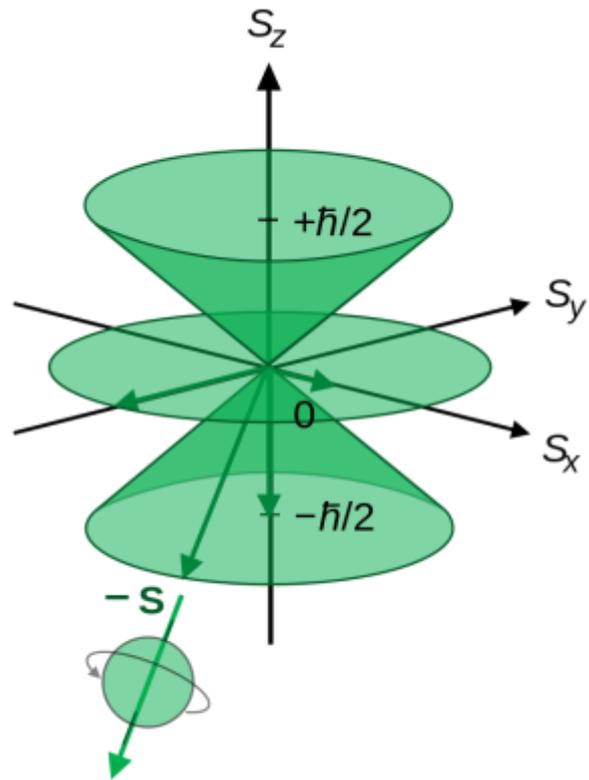


$$|\uparrow\rangle \equiv \left| +\frac{1}{2} \right\rangle$$



$$|\downarrow\rangle \equiv \left| -\frac{1}{2} \right\rangle$$

# O CONCEITO DE SPIN

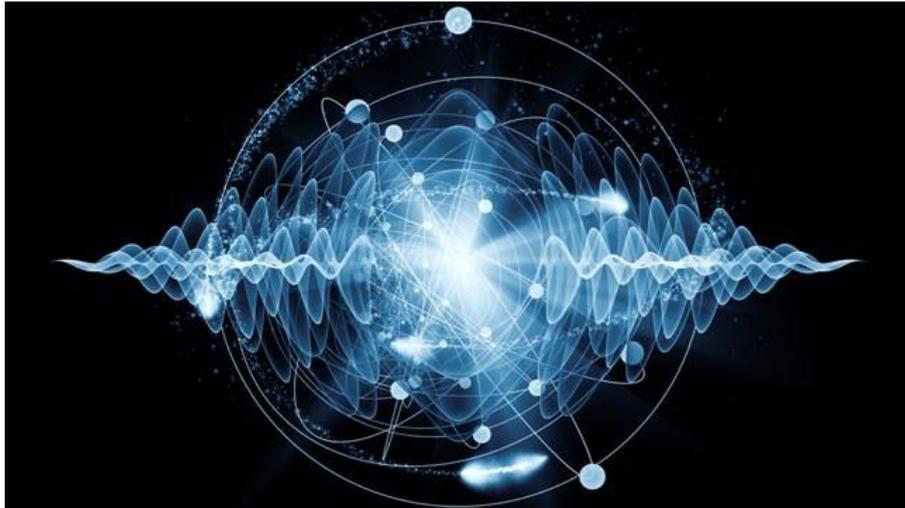
[Material do crédito trabalho](#)

**Pedro Henrique de Sousa Teixeira | 9300800**

Física Moderna I

Professora Márcia Rizzuto

Segundo semestre de 2018



### Considerações iniciais

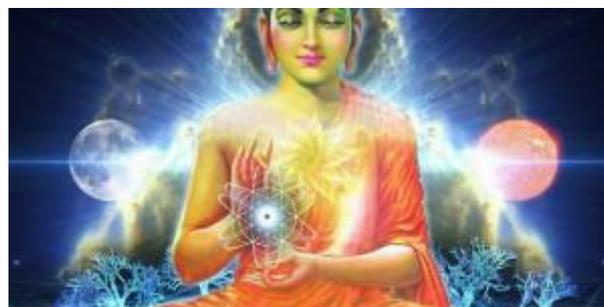
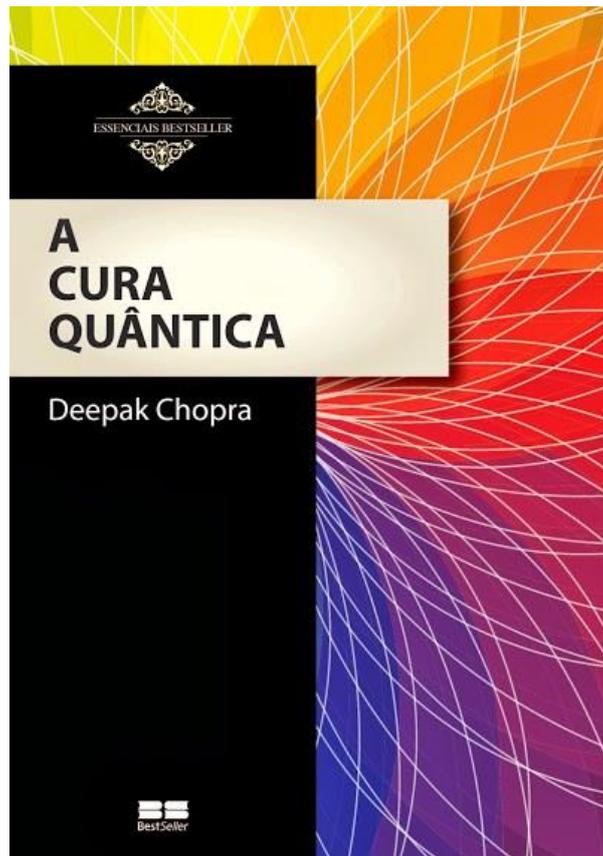
- Esta apresentação será usada para a aula do "conceito de spin";
- Espero que, com essa apresentação, fique mais fácil visualizar o conteúdo proposto;
- O spin é um conceito nada fácil de entender e nem "palpável";
- Será usado o experimento de Stern e Gerlach para tentar ilustrar esse conceito;
- A ressonância magnética nuclear será usada como tema motivador e como exemplificação da importância do spin.
- Como o conteúdo é bem complicado, tentei traduzir a linguagem para que um aluno do ensino médio compreenda. Isso resultou em ocultações de várias informações ou tirou a rigorosidade delas .
- Por tal motivo, além da minha quase ignorância no tema, fez com que este trabalho fosse muito difícil de ser feito.

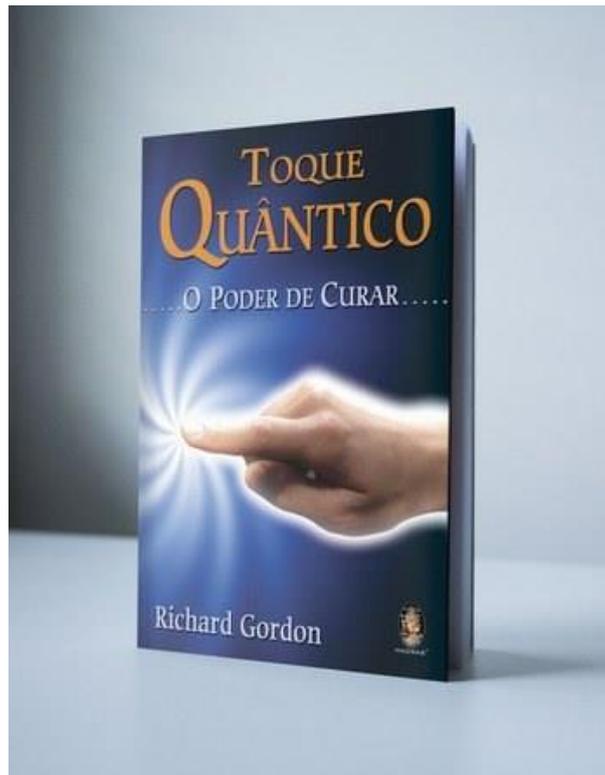
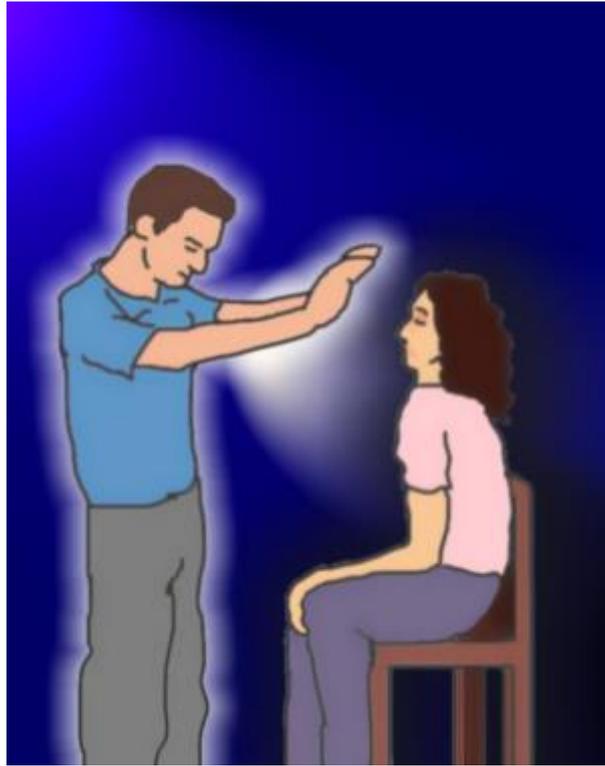
## A MECÂNICA QUÂNTICA



- Se quisermos estudar como funciona o movimento e as interações do **mundo macroscópico**, a **mecânica do Newton**, por exemplo, é muito boa para isso;
- Porém, quando começamos a analisar o **mundo microscópico**, ou seja, em **escalas atômicas**, as coisas começam a *bugar*;
- É observado que as coisas no mundo pequeno **não se comportam necessariamente como a do nosso mundo visível**;
- Então é necessário desenvolver e utilizar outros recursos para isso: a **mecânica quântica**;
- Justamente por não ser intuitivo e diferente do que estamos acostumados *no nosso mundo*, a **mecânica quântica é considerada complicada e de difícil absorção** por muitos.

QUAL A UTILIDADE DE ESTUDAR ISSO?

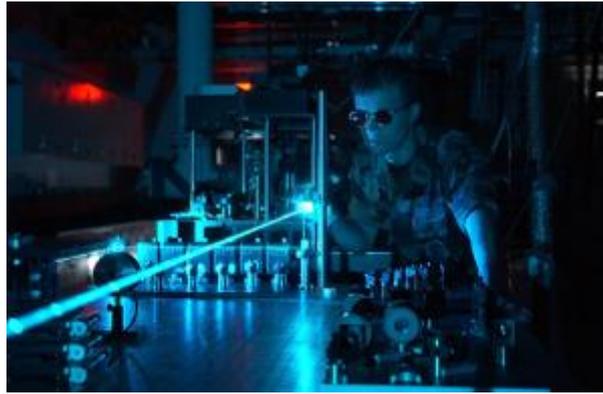




---

*Não. Essa não é a utilidade dessa área da física (pelo menos não desse jeito).*

---



Não é porque esse ramo da física trata do mundo atômico que em nada nos influencia.

O conhecimento progressivo da mecânica quântica nos permitiu um desenvolvimento cada vez maior da tecnologia, inclusive ao ponto de deixar computadores e *smartphones* cada vez mais

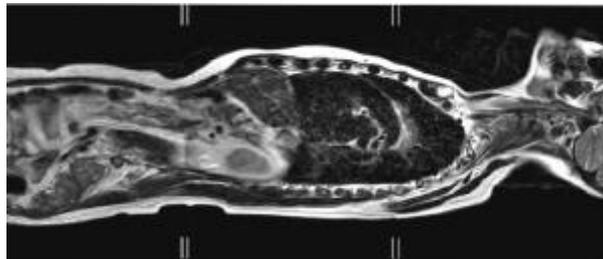
compactos e potentes. Além disso, ela está totalmente ligada ao funcionamento de *lasers* e até mesmo em aparelhos médicos como a da **Ressonância Magnética**.

## RESSONÂNCIA MAGNÉTICA E O SPIN



A ressonância magnética é um exame de imagem capaz de mostrar com definição as estruturas internas dos órgãos, sendo importante para diagnosticar vários problemas de saúde, como aneurismas, tumores, alterações nas articulações ou outras lesões nos órgãos internos.

O aparelho da ressonância magnética é como se fosse um imã gigante e utiliza o princípio do **spin** para seu funcionamento.



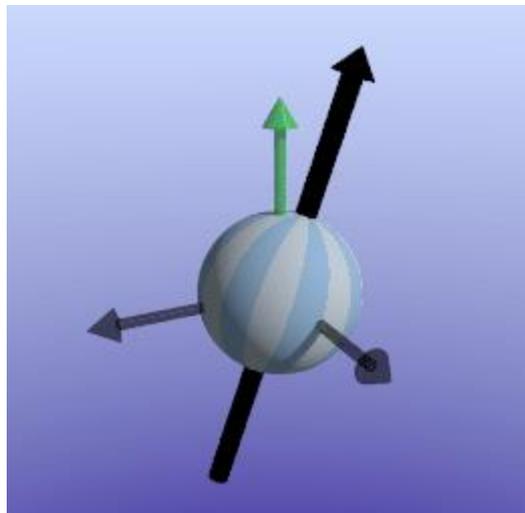
1 - Exemplo de uma ressonância magnética



<https://youtu.be/XbJhq7fXECc>

2 - Vídeo demonstrando o quão forte é o campo magnético de uma máquina de ressonância magnética.

SPIN?





O que a ressonância magnética tem haver com esse *spin*?

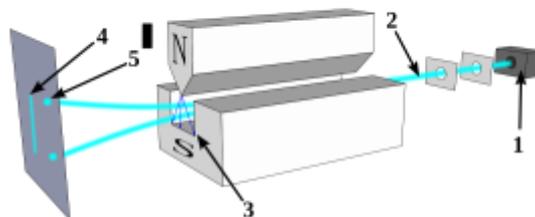
---

### O que é *spin*?

---

Para tentar entender o que é *spin*, vamos pensar no experimento que o identificou : o experimento de Stern e Gerlach.

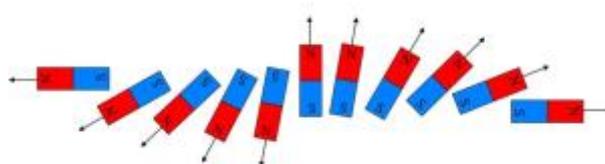
Otto Stern e Walther Gerlach, em 1922, decidiram verificar o comportamento de átomos de prata passando por um imã que gera um campo magnético não uniforme.



3 - Representação do experimento de Stern e Gerlach.

Se um **imã** pequeno retangular fosse arremessado para dentro desse aparato do experimento de Stern e Gerlach, **ele sofreria um desvio conforme fosse percorrendo seu percurso**. Isso porque seu campo magnético tentaria se alinhar com o campo magnético do imã gigante conforme ele fosse andando para frente. É que nem uma bússola que tenta alinhar seu ponteiro com o campo magnético da Terra.

**Os percursos desses ímãs seriam diferentes se eles fossem lançados com inclinações diferentes.**



4 - O ímã e seu "ponteiro", que, na física, é chamado de momento de dipolo magnético.

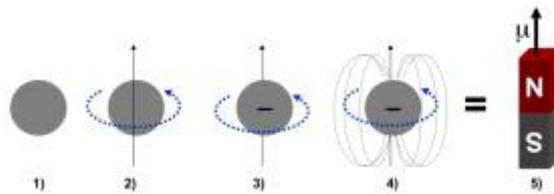
Então, num lançamento constante desses ímãs, cada um com uma inclinação diferente, **no final teríamos o anteparo todos cheios de ímãs.**

**Não haveria restrições de onde esses ímãs poderiam parar.**

Agora, pensando num elétron, vamos supor:

- Que ele seja esférico;
- Que a mecânica de Newton seja válida para ele;
- Que ele tenha um movimento de rotação.

**A rotação do elétron em torno do seu eixo geraria um campo magnético** (carga em movimento gera campo magnético) que, teoricamente, seria a mesma forma a de uma régua de ímã. Assim, podemos considerar que o elétron tem o mesmo "ponteiro" que o ímã.



5 - Uma carga, nessa hipótese, teria o mesmo momento de dipolo magnético que uma régua de ímã.

Então, dada a similaridade hipotética entre o elétron e os ímãs, se eu jogar o elétron na máquina do Stern e Gerlach eles terão percursos parecidos com os ímãs, certo?

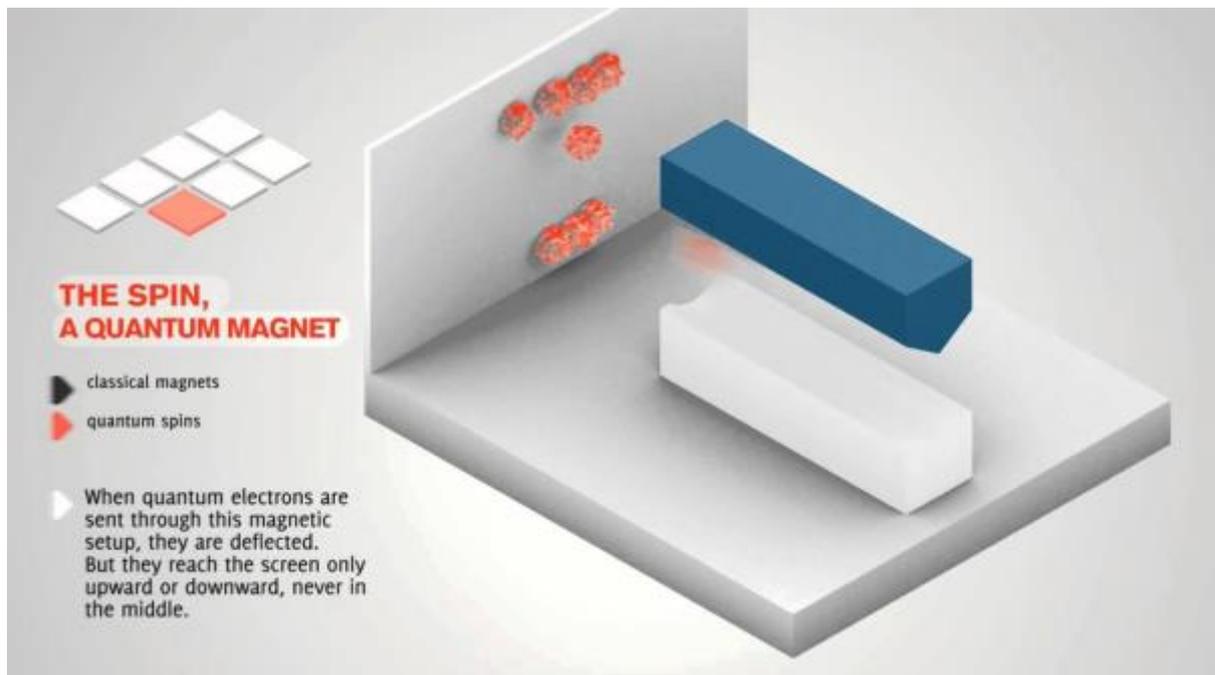
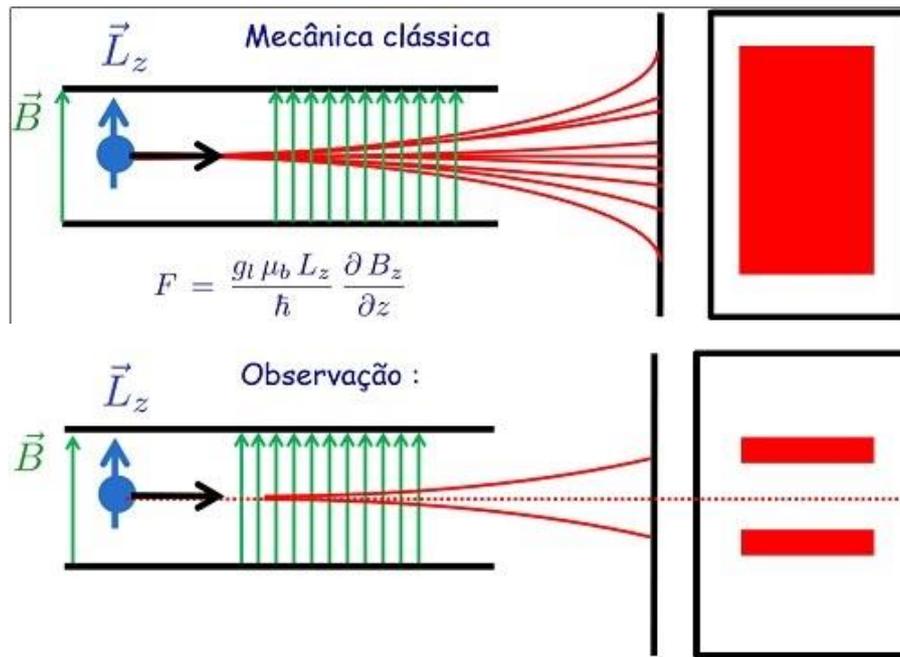
---

**Não.**

---

Ao jogar os elétron no campo magnético externo do experimento, **foi observado que os átomos foram divididos de forma clara entre os polos norte e sul.** Estes resultados experimentais revelaram que, ao contrário de barra de ímãs comuns, **os elétrons poderiam exibir somente duas orientações possíveis: a favor do campo magnético ou contra ele.**

O porquê disso? Por causa do **spin**.



<https://youtu.be/rq4Fnaq4V-E>

## MAS AFINAL, O QUE É SPIN?

O experimento de Stern e Gerlach mostrou a existência do spin, mas não o que de fato ele é.

Mas e as considerações que foram feitas por eles para explicar o spin do elétron como sendo o movimento de rotação em torno do seu eixo? Isso não seria já a definição de spin?

**Bem, hoje sabemos que não.**



Eis o porquê:

- Não podemos afirmar que o elétron é uma esfera. É mais coerente assumir, inclusive, que o **elétron seja um ponto**.
- Mesmo se o elétron fosse uma esfera, para que a rotação dele gerasse o resultado visto no experimento, **seria necessário que sua velocidade fosse extremamente grande, mais do que a velocidade da luz**;
- Se o spin fosse o movimento de rotação **haveria uma emissão de radiação constante**, já que esse tipo de movimento é acelerado (o eletromagnetismo afirma isso). **Isso não é observado**.

Além disso, há outros detalhes sobre o spin:

- O movimento do vetor que o representa faz um "**movimento de precessão**" entorno da linha de campo magnético, se não ele violaria o princípio da incerteza;
- **Ele só pode assumir certos valores**, como o do elétron, que pode ser  $+1/2$  ou  $-1/2$ ;
- **Ele gera forças**, assim como cargas elétricas;
- **Toda a partícula elementar possui spin**;

Então...

## NÃO SABEMOS O QUE É SPIN

Portanto, é mais fácil dizer que o spin é uma **propriedade intrínseca** das partículas elementares, do mesmo modo que a **massa e a carga elétrica**.

Ele está lá, ele é importante, sabemos como ele funciona mas **não sabemos de fato o que ele é**.

Se você acha que entendeu alguma coisa sobre mecânica quântica,  
então é porque você não entendeu nada.

(Richard Feynman)

kdfrases

6 - citado em "Armageddon now: the end of the world A to Z" - Página 337, Jim Willis, Barbara Willis - Visible Ink Press, 2005, ISBN 0780809238<sup>1</sup>, 9780780809239 - 450 páginas

## QUAL A RELAÇÃO DA RESSONÂNCIA MAGNÉTICA COM O SPIN?



A funcionamento de uma máquina de ressonância magnética e sua imagem produzida é **bem complexa** e envolve muitos **fatores físicos**.

Para se ter uma ideia, apesar do fenômeno físico da Ressonância Magnética Nuclear ter sido descrito em 1946 por Block e Purcell, as primeiras imagens do corpo humano só foram possíveis cerca de trinta anos após, com os trabalhos de diversos cientistas no mundo todo. devido sua complexidade.

---

<sup>1</sup>[https://pt.wikiquote.org/wiki/Especial:Fontes\\_de\\_livros/0780809238](https://pt.wikiquote.org/wiki/Especial:Fontes_de_livros/0780809238)

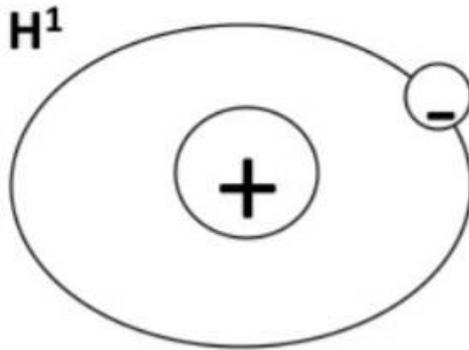
---

*Mas eis um resumo:*

---

O fenômeno da Ressonância Magnética está totalmente ligado na a interação de um campo magnético externo com os núcleos dos átomos.

Como já dito, todas as partículas possuem um spin intrínsecos e, assim como no experimento de Stern e Gerlach, **esse spin interagem com o campo magnético.**



*7 - Átomo de hidrogênio*

Vamos usar como exemplo o hidrogênio, que só possui **um próton no núcleo** e está bastante presente na composição do corpo humano.

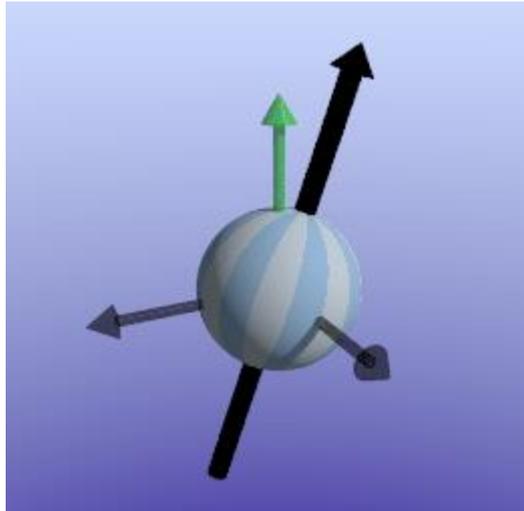
Colocando um átomo de hidrogênio num campo magnético externo, o **spin do próton dele tentará se alinhar com as linhas de campo, assim como faria uma bússola com o campo magnético da terra.**

---

*Mas não exatamente igual a uma bússola.*

---

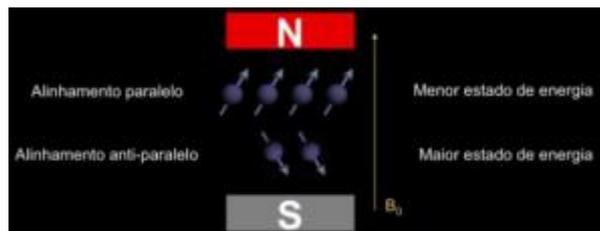
O spin do próton tenderá ficar alinhado ao campo magnético externo, mas não conseguirá. **O spin irá fazer o movimento de precessão.**



8 - Exemplo de precessão do spin.

Há duas formas de alinhamento dos spins dos prótons num campo magnético:

- O **alinhamento paralelo**, referente ao spin com o movimento de precessão "pra cima";
- O **alinhamento anti-paralelo**, referente ao spin com o movimento de precessão "pra baixo".



9 - Prótons de hidrogênio sob a ação do campo magnético externo aplicado. Os prótons se distribuem em dois níveis de energia, sendo que um pequeno número maior de prótons se alinha paralelamente.

O interessante é o seguinte: **estatisticamente**, em 1 milhão de prótons, há 5 prótons alinhados paralelamente **a mais** do que os alinhados anti-paralelamente.

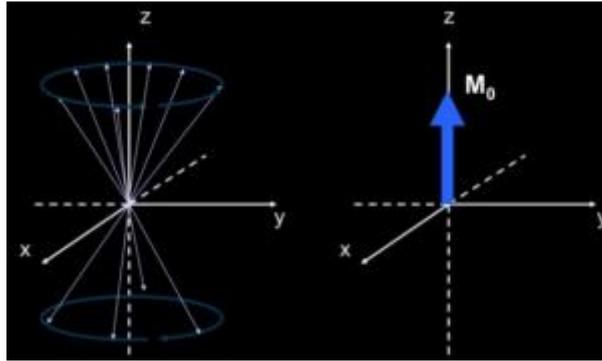
---

*E é com essa diferença que se pode trabalhar com a ressonância magnética.*

---

Dentro do campo magnético externo, os spin dos prótons que estão paralelos se "**cancelariam**" com os spin anti-paralelos (como uma **soma de vetor**). Os spin a mais alinhados paralelamente seriam o que sobram. Se **somar essa sobra**, resulta no vetor que chamamos de **MAGNETIZAÇÃO**.

Analisando um pedaço pequeno de um corpo feito de hidrogênio, a vetor magnetização desse pedaço seria mais ou menos assim:



10 - Direita: spins alinhados paralelamente e antiparalelamente ao campo magnético externo aplicado (eixo z) realizando movimento de precessão. Vetor magnetização resultante ( $M_0$ ) de um elemento de volume do tecido.

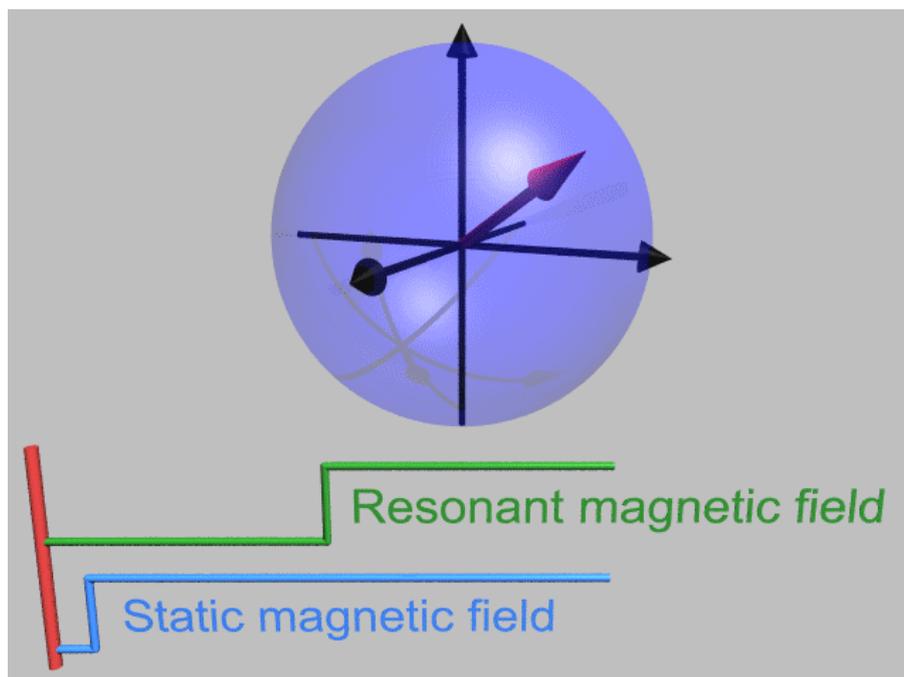
Após a aplicação de um campo magnético externo que estará ativo o tempo todo, é lançado um **pulso de radiofrequência nos prótons**.

**Esse pulso atua como um outro campo magnético só que com curta duração.**

---

*O objetivo desse pulso, que geralmente é lançado a  $90^\circ$  do outro campo magnético, é **interagir com o vetor magnetização e alterar sua direção de precessão**.*

---



11 - Como o spin se comporta com a atuação de um campo magnético externo e um pulso de radiofrequência.

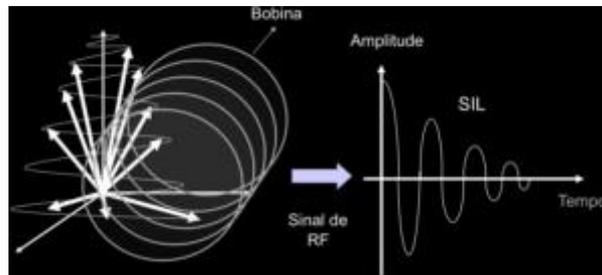
Essa mudança de precessão é como se fosse um **ganho de energia para o próton**.

Assim que pulso de radiofrequência parar de agir, o **vetor magnetização** tenderá a voltar pra sua precessão anterior, tentando se alinhar com o primeiro campo magnético externo.

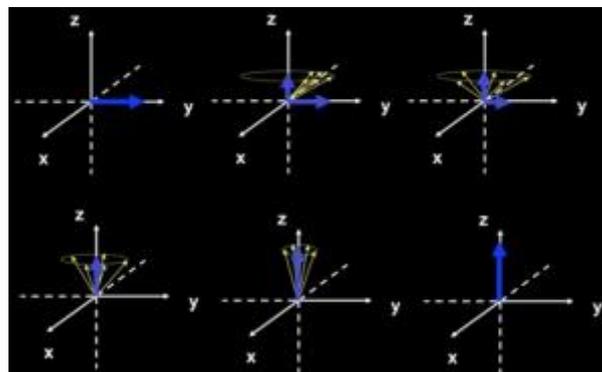
---

Então, ele **liberará a energia que recebeu em forma de um sinal, chamado de sinal de indução livre.**

---



12 - Sinal de Indução Livre (SIL) gerado pelo retorno da magnetização para o alinhamento após a aplicação de um pulso de radiofrequência de  $90^\circ$ .



13 - Retorno do vetor magnetização ao equilíbrio após a aplicação de um pulso de radiofrequência de  $90^\circ$ .

---

*Isso que é a ressonância magnética nuclear.*

---

Ao liberar esse sinal, os aparelhos da máquina de ressonância magnética o **captarão e irão interpretá-lo** para, no final, **formar as imagens.**

Isso só é possível porque cada pedaço de tecido, formado por quantidades e qualidades diferentes de átomos, que resulta num vetor magnetização diferente, **liberam os sinais, ou decaem, com durações de tempo diferentes.**

---

*É assim que a máquina irá diferenciar os tecidos nas imagens.*

---

