

Mecânica Quântica

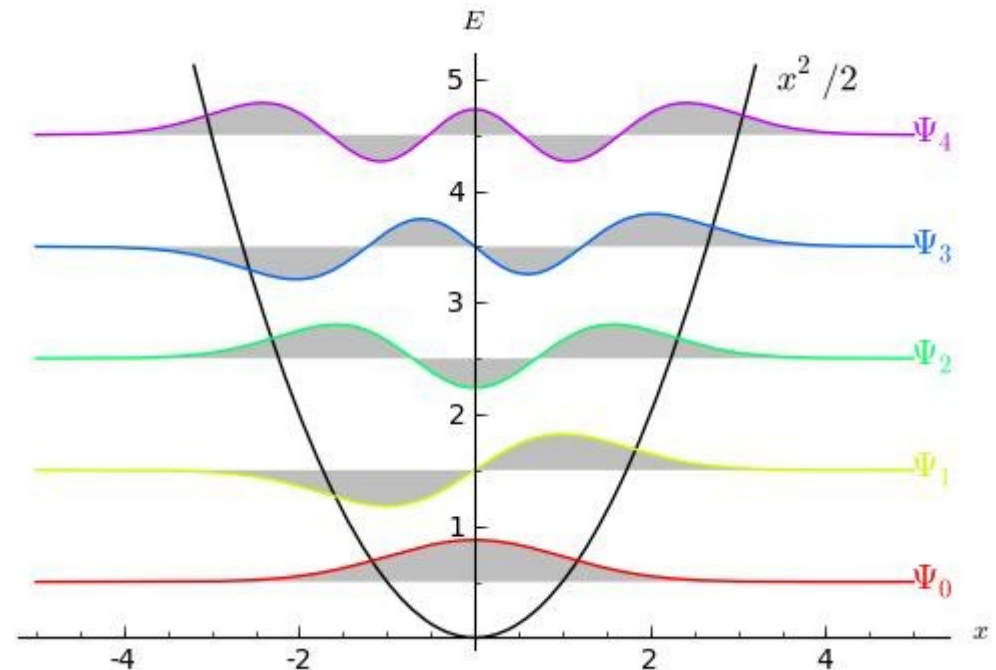
Aula 13: Experimento de Stern-Gerlach, Momento Angular Orbital

Pieter Westera

pieter.westera@ufabc.edu.br



Universidade Federal do ABC



<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/MQ.html>

Quantização do Momento Angular

O Experimento de Stern-Gerlach (1922)

A **quantização** d(a componente z d) o **momento angular** foi **corroborada** neste **experimento**:

Stern e Gerlach passaram um **feixe** de **átomos** de prata por um **campo magnético não-uniforme**, aqui vertical (eixo z).

Se os **elétrons** nos átomos têm um **momento angular** (orbital), eles devem ter um **momento magnético** também, na direção oposta do momento angular (cargas negativas em movimento).

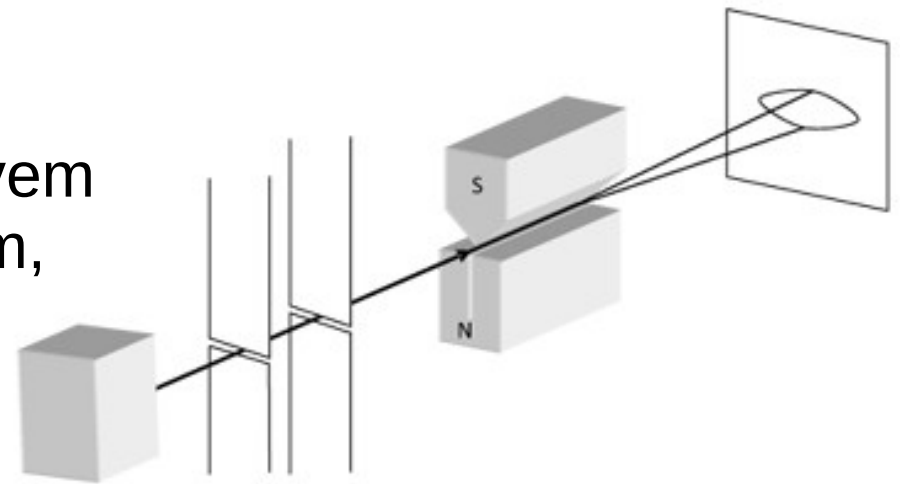
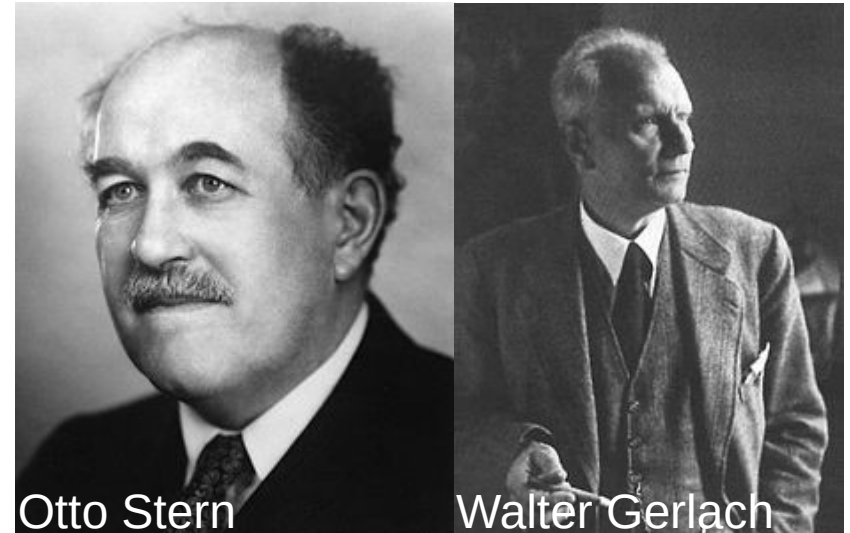


Figura 1 - Representação esquemática do experimento de Stern-Gerlach.

Quantização do Momento Angular

O Experimento de Stern-Gerlach

Os átomos devem ser **defletidos** na direção da variação do campo, a deflexão sendo proporcional à **componente** do **momento** na **direção** desta **variação**, neste caso também na direção do eixo z.

Classicamente, espera-se, que o feixe seja alargado na direção z, refletindo o espectro contínuo de valores do componente z do momento magnético e, então, do momento angular total dos elétrons.

Porém, eles observaram, que o **feixe** se **subdividiu** em um número (pequeno) de feixes, correspondendo a um número pequeno de **valores discretos** do **componente z** do **momento**.

=> A **orientação** do **momento angular** realmente é **quantizada**!

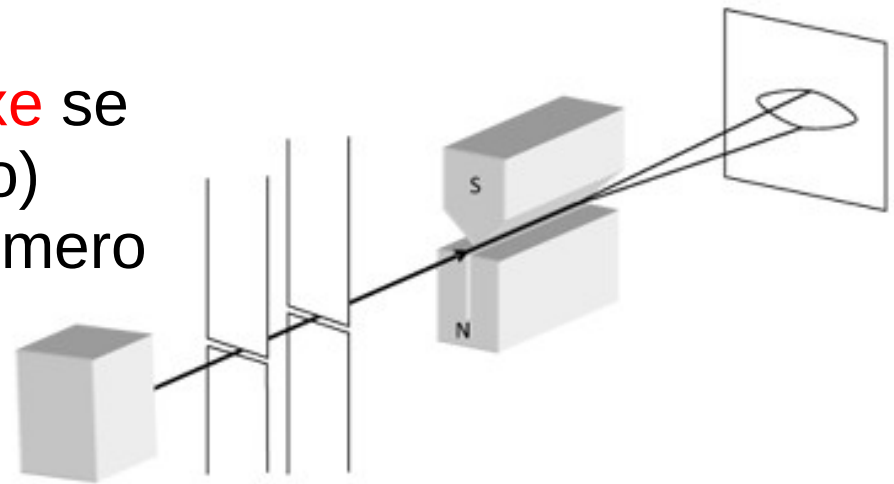


Figura 1 - Representação esquemática do experimento de Stern-Gerlach.

Quantização do Momento Angular

O Momento Magnético Orbital do Elétron

De fato, o elétron (átomo) tem um **momento magnético orbital**, **anti-paralelo** ao seu **momento angular orbital** (já que o elétron tem carga negativa), e com modulo

$$\mu_l = (e/2m_e) \cdot L = (g_l \mu_B / \hbar) \cdot L,$$

onde $\mu_B = e\hbar/2m_e =$ magnéton de Bohr, e $g_l = 1 =$ fator g orbital

Vetorial: $\boldsymbol{\mu}_l = -(g_l \mu_B / \hbar) \cdot \mathbf{L}$

Já que $L = \sqrt{l(l+1)} \cdot \hbar \Rightarrow \mu_l = (e/2m_e) \cdot L = \sqrt{l(l+1)} \cdot g_l \mu_B$

Componente z : $\mu_{l,z} = -m_l \cdot g_l \mu_B$

Quantização do Momento Angular

O Momento Magnético Orbital do Elétron

Em um **campo magnético externo** surge um **torque** $\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu}_l \times \mathbf{B}$, querendo **alinhar** o **momento magnético** com o **campo** (\Rightarrow disciplinas sobre eletromagnetismo).

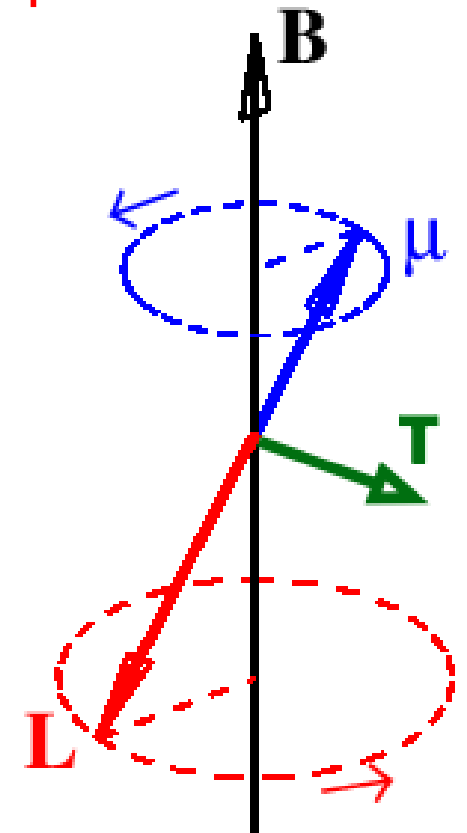
Assim, o **grau** de **alinhamento** de $\boldsymbol{\mu}_l$ com o campo é associado a um tipo de **energia potencial**:

$$\Delta E = -\boldsymbol{\mu}_l \cdot \mathbf{B}$$

A **direção** de \mathbf{B} é uma direção **destacada** e faz o papel de **eixo z**, tal que

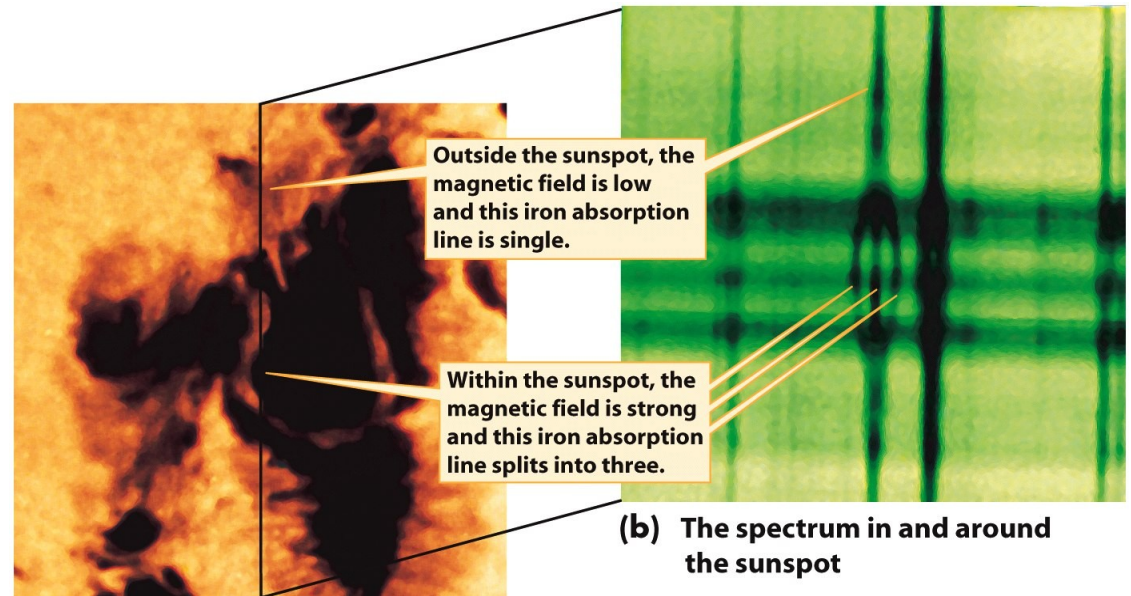
$$\Delta E = -\boldsymbol{\mu}_l \cdot \mathbf{B} = -\mu_{l,z} B = -m_l \cdot g_l \mu_B B$$

é **quantizada**.



Efeito Zeeman

=> Aplicando um **campo magnético** a um conjunto de **átomos**, os **níveis de energia** destes são **desdobrados** nos diferentes valores do **componente do momento angular paralelo ao campo**.
=> As **linhas espectrais** de átomos são **desdobradas** em **campos magnéticos**, fenômeno chamado **efeito Zeeman**.



(a) A sunspot

Figure 16-20
Universe, Eighth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

Este efeito pode **evidenciar campos magnéticos**.
Desta maneira descobriram, por exemplo, que manchas solares são associadas com campos magnéticos.

Quantização do Momento Angular

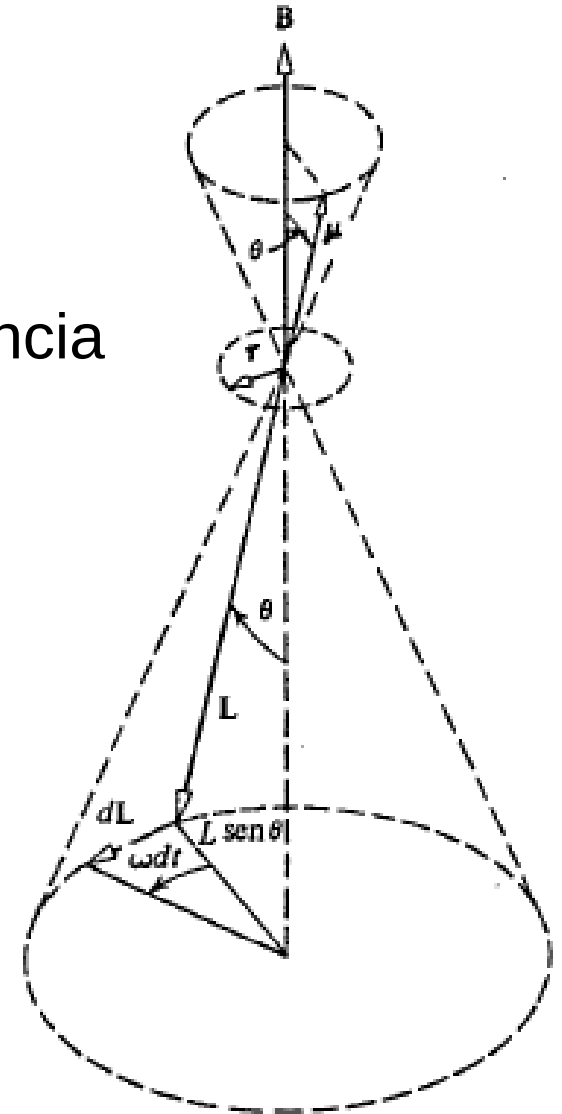
O Momento Magnético Orbital do Elétron

O torque $\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\mu}_l \times \mathbf{B}$ é perpendicular a \mathbf{B} (e $\boldsymbol{\mu}_l$), e não consegue alinhar os dois.

Em lugar disso, ele causa a **precessão** de $\boldsymbol{\mu}_l$ em torno de \mathbf{B} , com a frequência

$$\omega = g_l \mu_B B / \hbar$$

chamada **frequência de Larmor**.



Quantização do Momento Angular

O Momento Magnético Orbital do Elétron

Se o **campo \mathbf{B}** não é **homogêneo**, ele aplica, além do torque, uma **força** no dipolo.

Se z for a **direção** do **aumento** do **campo**, esta força terá valor **médio**

$$\bar{F}_z = \partial B_z / \partial z \cdot \mu_{l,z}$$

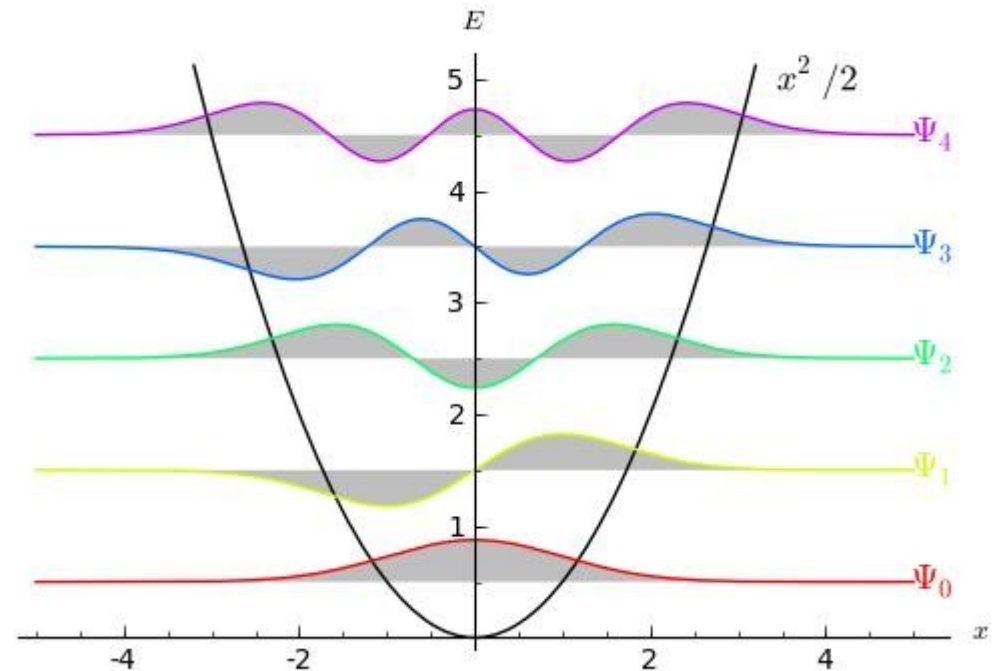
Já que $\mu_{l,z} = -m_l \cdot g_l \mu_B$, isto **explica** o **resultado** do **experimento** de **Stern-Gerlach**.

Física Quântica

FIM PARA HOJE



Universidade Federal do ABC



<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/MQ.html>