



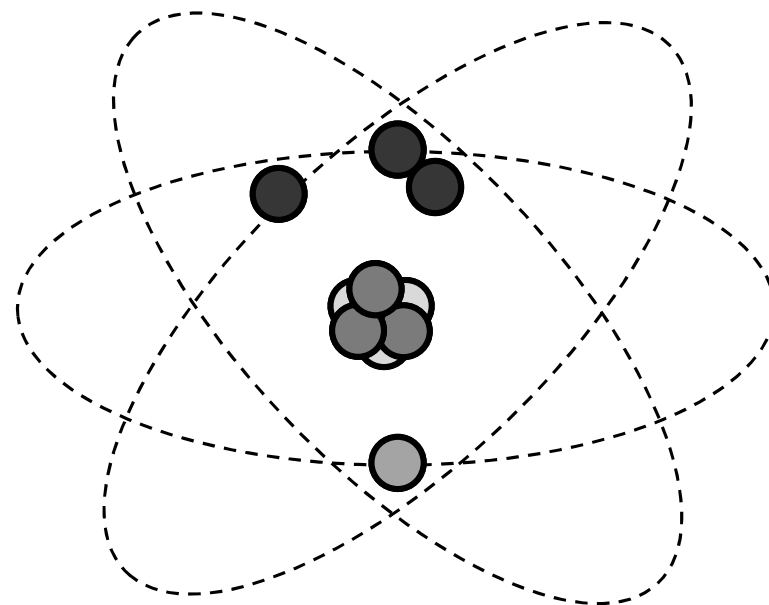
## Assuntos abordados

- Modelo atômico clássico;
- Momento magnético atômico;
- Magnetização da matéria;
- Desmagnetização natural da matéria;
- Tipos de materiais:
  - Diamagnéticos;
  - Paramagnéticos;
  - Ferromagnéticos;
  - Antiferromagnéticos
  - Ferrimagnéticos;



## Modelo atômico orbital clássico

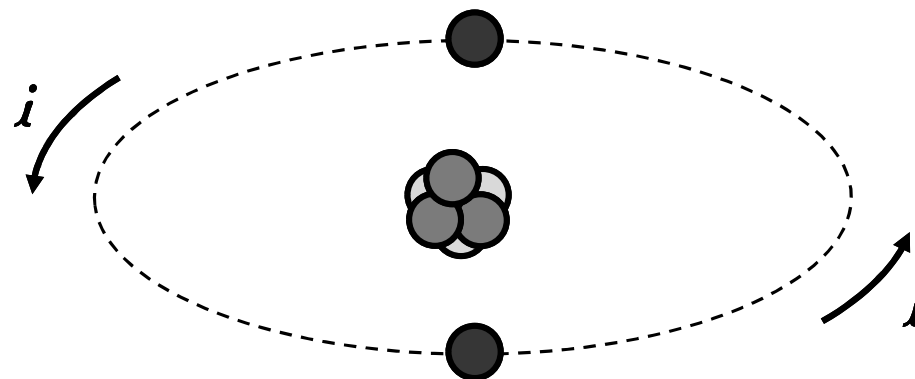
- Átomo:
  - Núcleo: prótons + neutrons;
  - Nuvem eletrônica: elétrons;
- 7 camadas de energia:
  - K, L, M, N, O, P e Q;
- 4 subcamadas:
  - s: 1 orbital;
  - p: 3 orbitais;
  - d: 5 orbitais;
  - f: 7 orbitais;
- Cada orbital: máximo 2  $e^-$ :
  - Semipreenchido x totalmente preenchido;
  - Spin's contrários;





## Momento Magnético Atômico

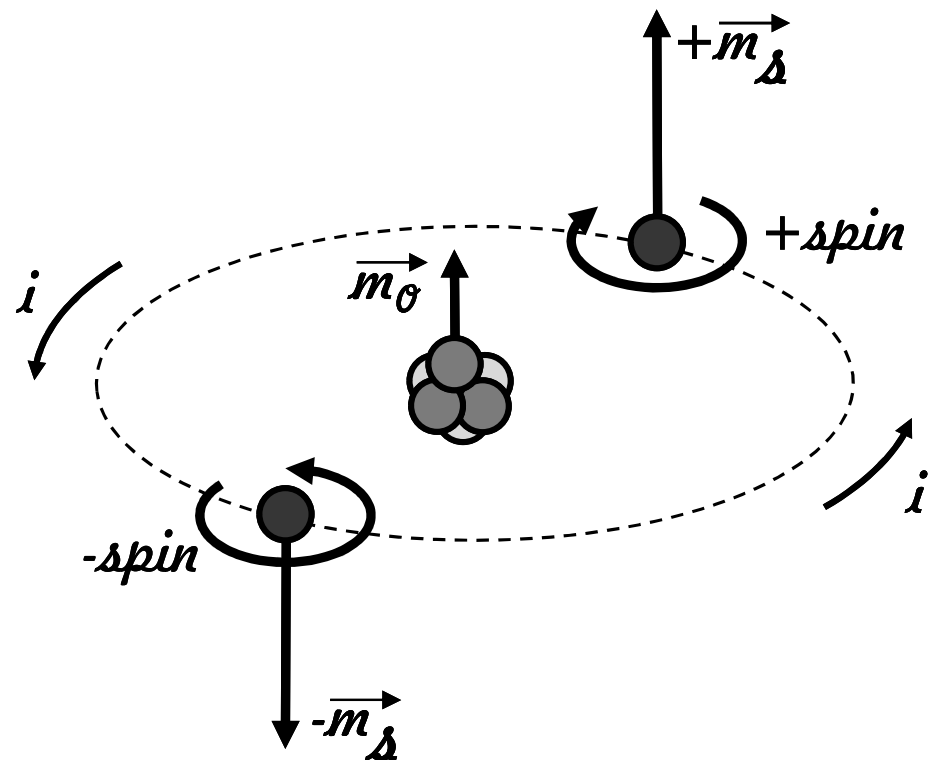
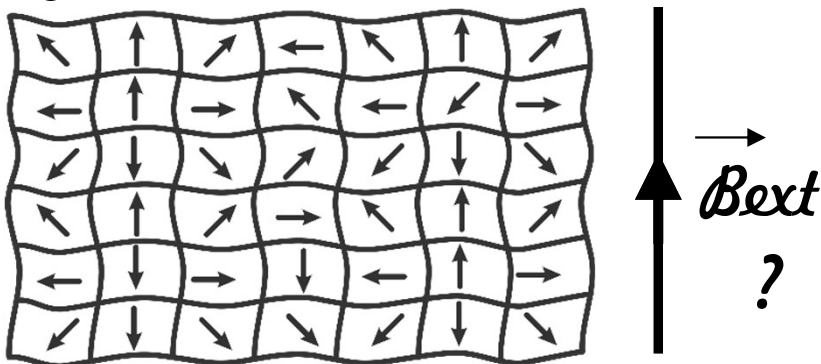
- Corrente elétrica orbital;





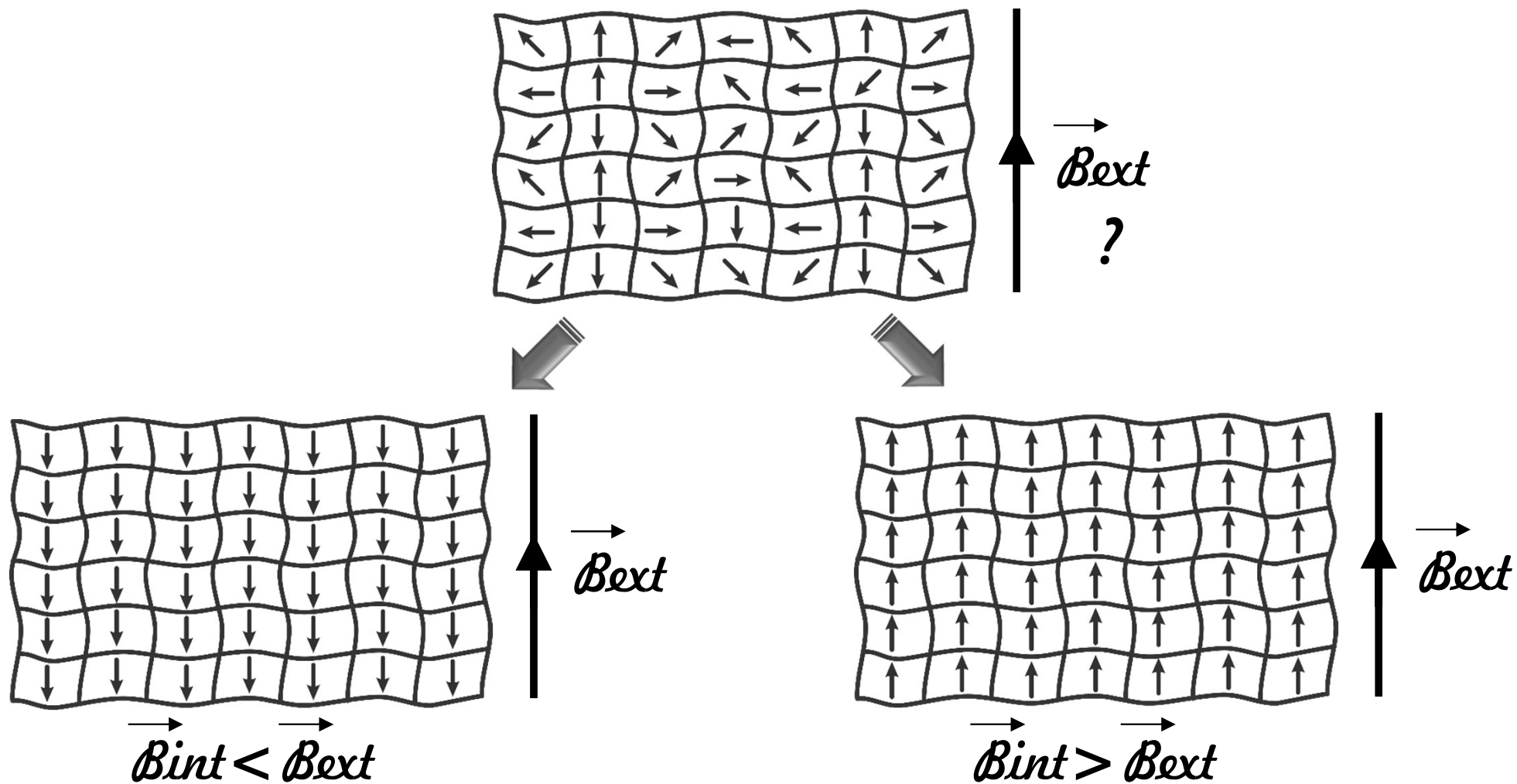
# Momento Magnético Atômico

- Corrente elétrica orbital:
  - Momento magnético orbital;
- Corrente elétrica de spin:
  - Momento magnético de spin;
  - Orbital semipreenchido:  $\neq 0$ ;
  - Orbital totalmente preenchido:  $= 0$ ;
- Momento magnético atômico:
  - $\vec{m}_a = \Sigma \vec{m}_o + \Sigma \vec{m}_s$
  - Aglomeração da matéria:





## Reação da Matéria a Campo Magnético Externo





## Reação da Matéria a Campo Magnético Externo

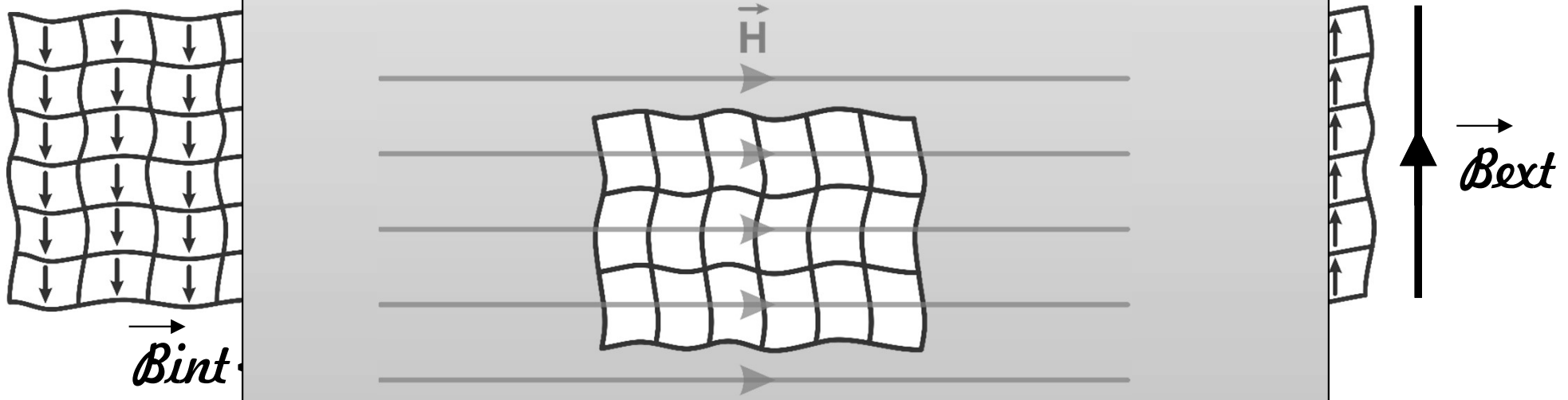
$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H} \equiv \mu_r \cdot \mu_o \cdot \vec{H} \therefore \mu_r = \frac{\mu}{\mu_o}$$

*vácuo:*  $\vec{m}_a = 0 \rightarrow \mu_r = 1$

*matéria:*  $\vec{m}_a \neq 0 \rightarrow \mu_r \neq 1$

\* *antiparalelismo:* subtração  $\rightarrow 0 < \mu_r < 1$

\* *paralelismo:* adição  $\rightarrow \mu_r > 1$





## Reação da Matéria a Campo Magnético Externo

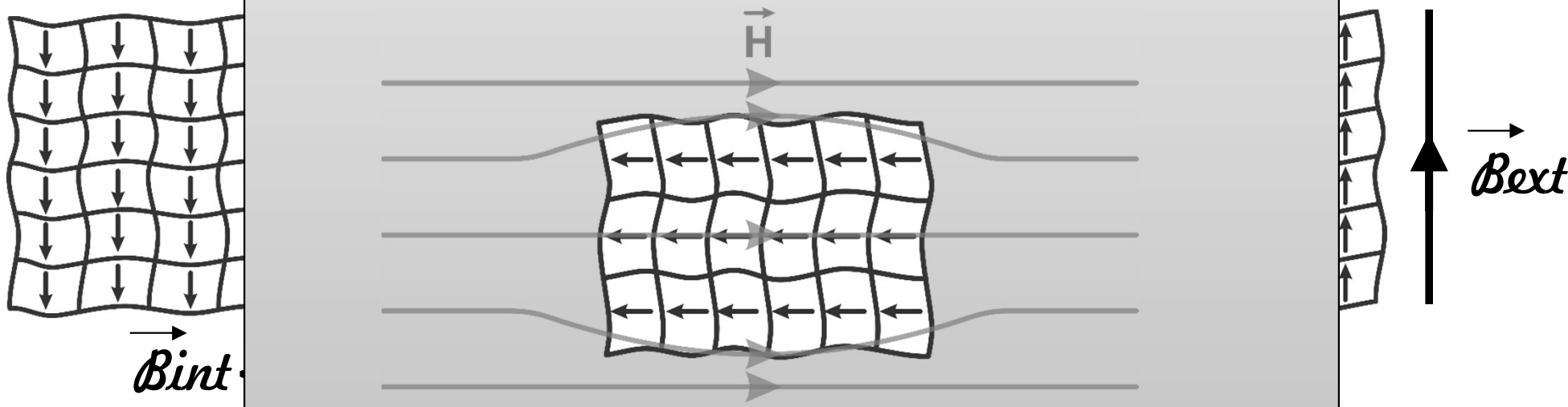
$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H} \equiv \mu_r \cdot \mu_o \cdot \vec{H} \therefore \mu_r = \frac{\mu}{\mu_o}$$

*vácuo:*  $\vec{m}_a = 0 \rightarrow \mu_r = 1$

*matéria:*  $\vec{m}_a \neq 0 \rightarrow \mu_r \neq 1$

\* *antiparalelismo:* subtração  $\rightarrow 0 < \mu_r < 1$

\* *paralelismo:* adição  $\rightarrow \mu_r > 1$





## Reação da Matéria a Campo Magnético Externo

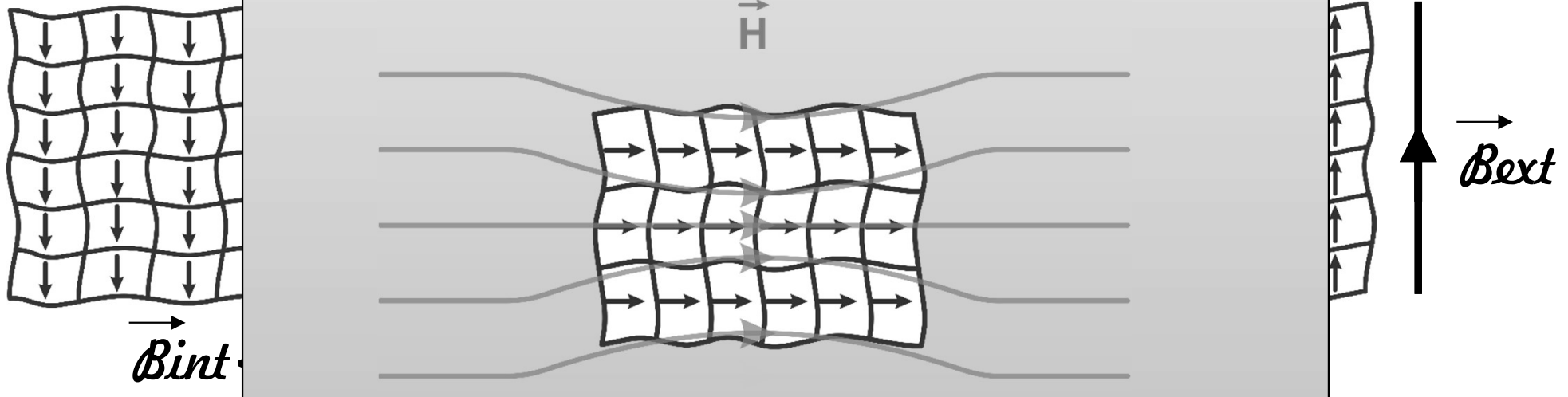
$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H} \equiv \mu_r \cdot \mu_o \cdot \vec{H} \therefore \mu_r = \frac{\mu}{\mu_o}$$

*vácuo:*  $\vec{m}_a = 0 \rightarrow \mu_r = 1$

*matéria:*  $\vec{m}_a \neq 0 \rightarrow \mu_r \neq 1$

\* *antiparalelismo:* subtração  $\rightarrow 0 < \mu_r < 1$

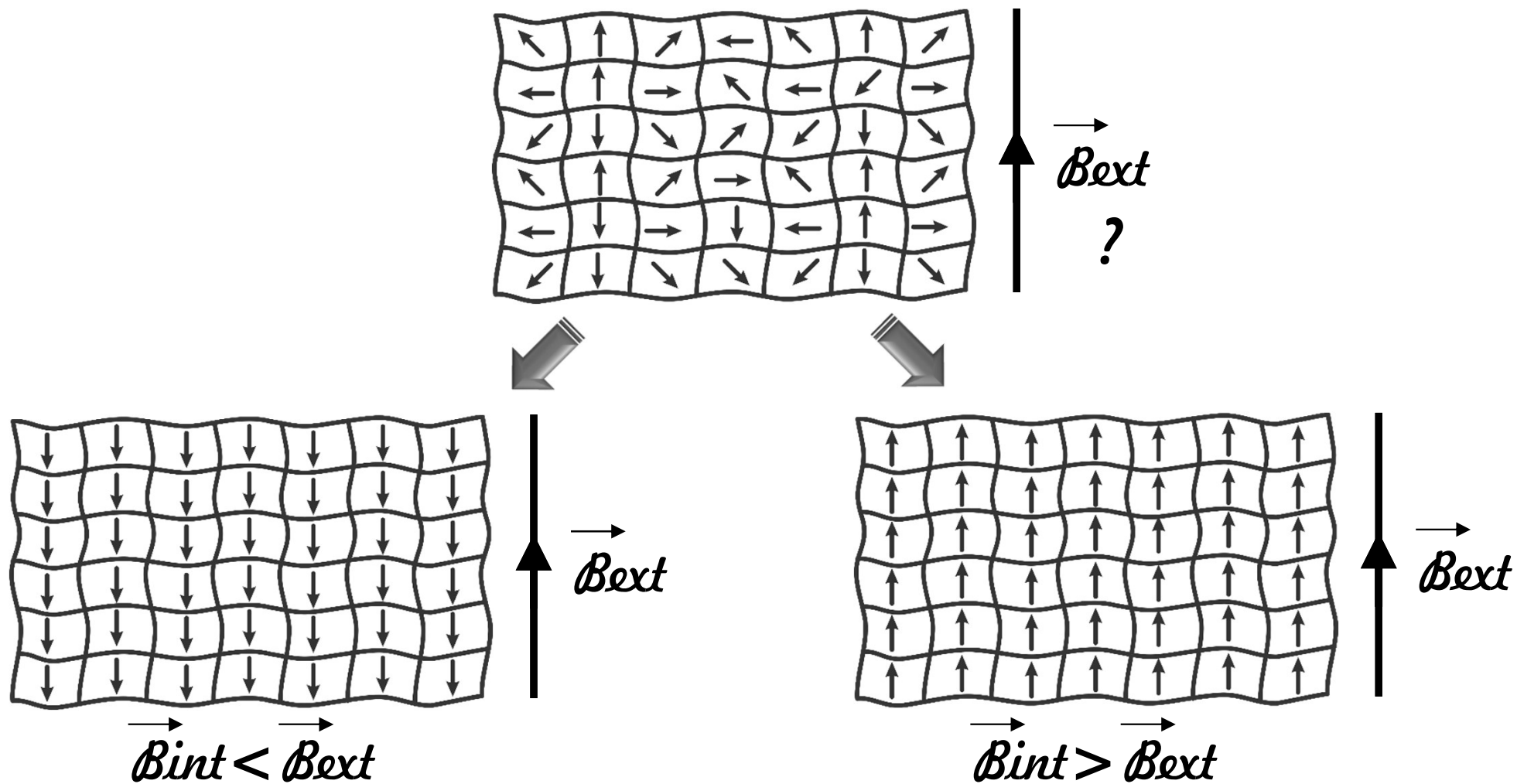
\* *paralelismo:* adição  $\rightarrow \mu_r > 1$





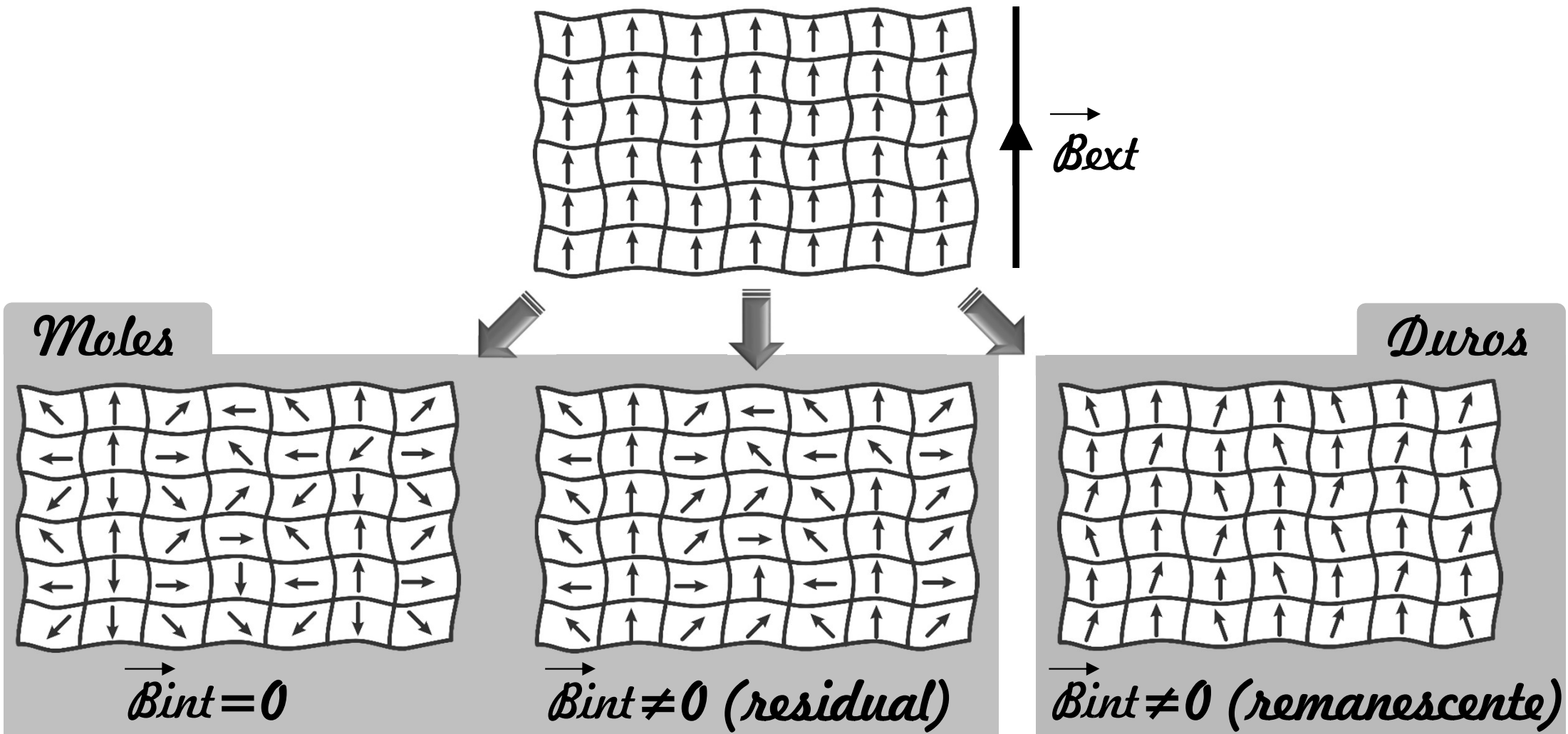


## Reação da Matéria a Campo Magnético Externo





# Reação à Remoção do Campo Magnético Externo





## Tipos de Materiais Moles

- Diamagnéticos:

- Momento magnético atômico natural nulo;

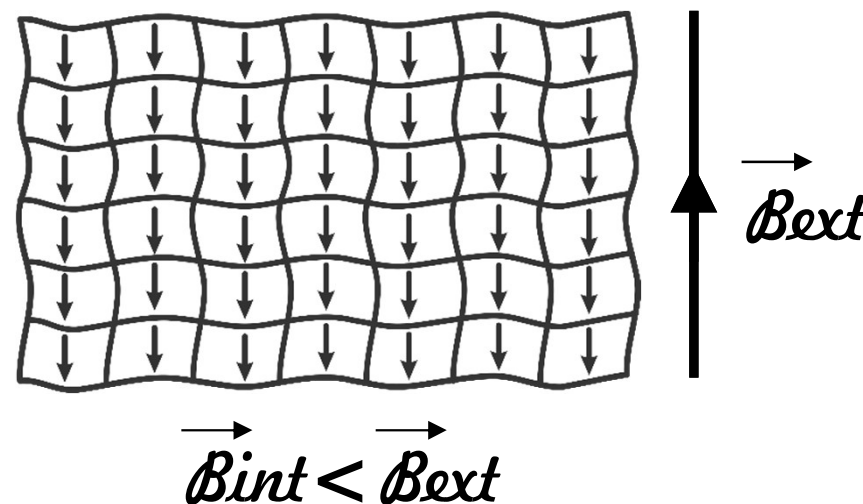
- Imposição do campo externo:

- Redução do momento magnético orbital;
- $\vec{m}_a \neq 0$ ;
- Antiparalelismo;

- $\mu \approx \mu_o \therefore \mu_r \approx 1$ ;

- Exemplos:

- Ouro:  $\mu_r=0,99986$ ;
- Prata:  $\mu_r=0,99998$ ;
- Água:  $\mu_r=0,99999$ ;

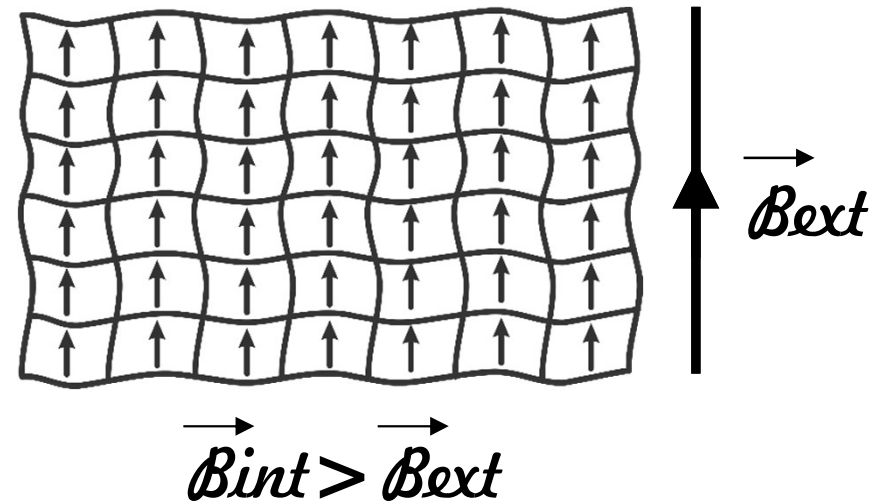




## Tipos de Materiais Moles

- Paramagnéticos:

- Momento magnético atômico fraco;
- Paralelismo;
- $\mu \approx \mu_0 \therefore \mu_r \approx 1$ ;
- Exemplos:
  - Ar:  $\mu_r = 1,0000004$ ;
  - Alumínio:  $\mu_r = 1,00002$ ;
  - Platina:  $\mu_r = 1,003$ ;

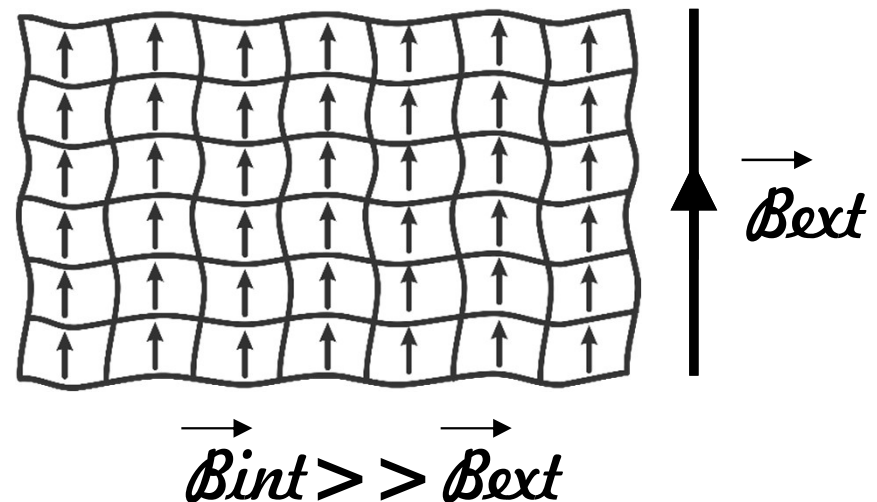




## Tipos de Materiais Moles

- Ferromagnéticos:

- Momento Magnético Atômico Elevado;
  - Spin não compensado;
- Aglomeração em domínios:
  - Alta densidade de átomos;
  - Alinhamento magnético;
- Momento magnético macroscópico nulo;
- Paralelismo;
- Exemplos:
  - Cobalto:  $\mu_r=250$ ;
  - Níquel:  $\mu_r=600$ ;
  - Ferro (99,8%):  $\mu_r=5.000$ ;
  - Ferro (99,96%):  $\mu_r=280.000$ ;

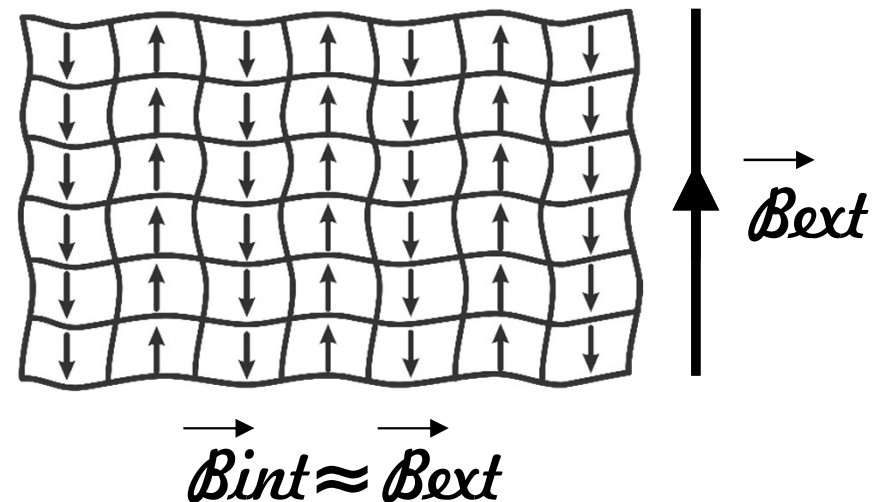




## Tipos de Materiais Moles

- Antiferromagnéticos:

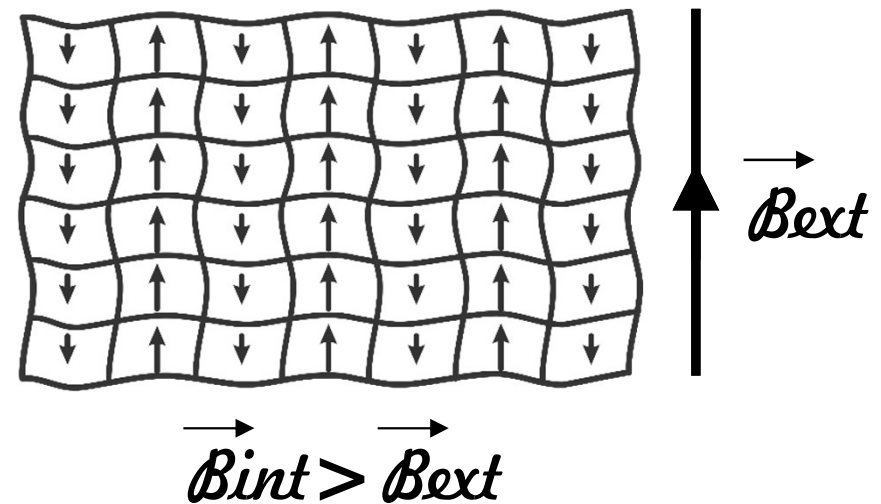
- Momento Magnético Atômico Elevado;
- Paralelismo e Antiparalelismo;
- Momento magnético macroscópico nulo;
- Comportamento observado apenas em baixas temperaturas;
- Exemplos:
  - Cloreto de Cobalto:  $\mu_r \approx 1$ ;
  - Óxido de Níquel:  $\mu_r \approx 1$ ;
  - Sulfeto de Ferro:  $\mu_r \approx 1$ ;





## Tipos de Materiais Moles

- Ferrimagnéticos:
  - Similares aos antiferromagnéticos;
    - Diferença de ordem de grandeza entre os paralelos e os antiparalelos;
  - Momento magnético macroscópico não nulo;
  - Exemplos:
    - Óxido de Ferro :  $\mu_r \approx 1000$ ;
    - Ferrite de Níquel-Zinco:  $\mu_r \approx 1000$ ;
    - Ferrite de Níquel:  $\mu_r \approx 1000$ ;





## Aplicações em Dispositivos Magnéticos

- Aplicações típicas:
  - Materiais ferromagnéticos ( $<1\text{kHz}$ ): Máquinas elétricas, transformadores, indutores acoplados e indutores:
    - Aço silício;
    - Aço silício grão orientado;
  - Materiais ferrimagnéticos ( $>1\text{kHz}$ ): indutores, indutores acoplados, indutores, transformadores de pulso e filtros de EMI:
    - Ferrite de Manganês-Zinco;
    - Ferrite de Níquel-Zinco;