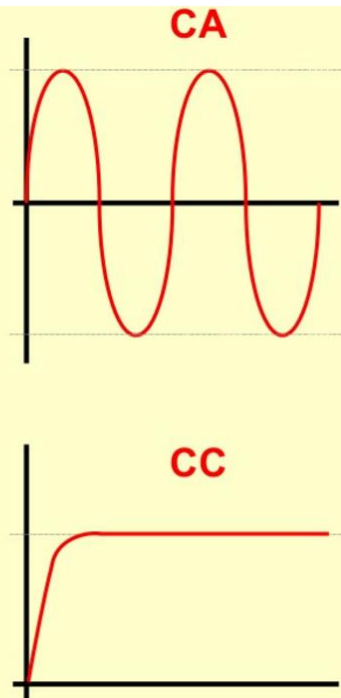


# Correntes Elétricas

| Trajeto da corrente pelo corpo                     | Tensão ( U ) e corrente ( I ) |        |
|--|-------------------------------|--------|
|  | 127 V                         | 220 V  |
| Entre as pontas dos dedos de ambas as mãos (secos) | 8 mA                          | 14 mA  |
| Entre as palmas de ambas as mãos (secas)           | 140 mA                        | 244 mA |
| Mão com ferramenta e pés calçados (secos)          | 7 mA                          | 12 mA  |
| Mão com ferramenta e pés calçados (molhados)       | 211 mA                        | 366 mA |

**Observação**  
os valores foram calculados para uma pessoa com peso acima de 50 Kg

O corpo humano é mais sensível à corrente alternada de frequência industrial (50/60 Hz) do que à corrente contínua. O limiar de sensação da corrente contínua é da ordem de 5 miliampères, enquanto que na corrente alternada é de 1 miliampère. A corrente elétrica passa a ser perigosa para o homem a partir de 9 miliampères, em se tratando de corrente alternada, e, 45 miliampères para corrente contínua.








## *Dependências:*

- *Condições orgânicas do indivíduo;*
- *Resistência elétrica do corpo;*
- *Percurso da corrente;*
- *Intensidade da corrente;*
- *Frequência;*
- *Tempo de duração;*
- *Natureza da corrente;*

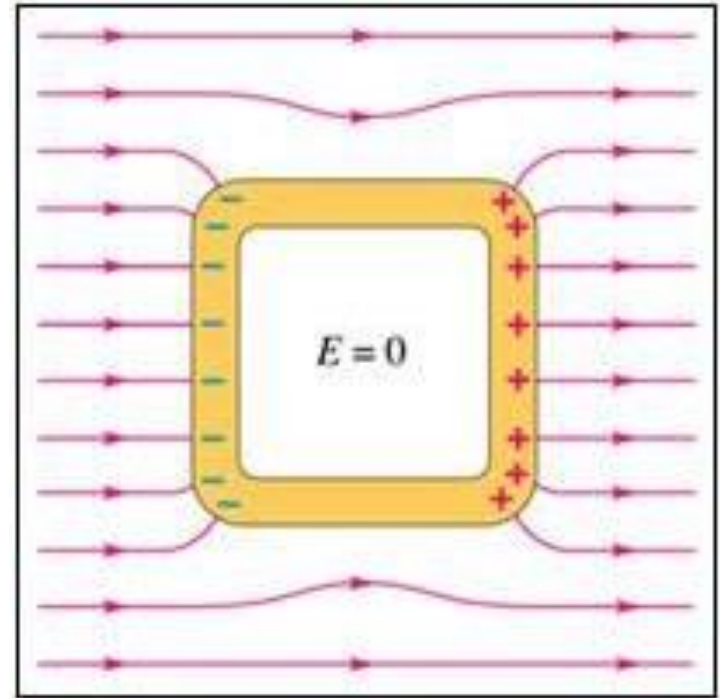
[http://www.feb.unesp.br/jcandido/higiene/artigos/5\\_eletricidade.htm](http://www.feb.unesp.br/jcandido/higiene/artigos/5_eletricidade.htm)

<http://pt.slideshare.net/exata/frente-3-cad01mdulo-03>

# Corrente Elétrica Alternada

| INTENSIDADE DA CORRENTE ALTERNADA (50 / 60 HZ) QUE PERCORRE O CORPO   | PERTURBAÇÕES POSSÍVEIS DURANTE O CHOQUE   | ESTADO POSSÍVEL              | SALVAMENTO               | RESULTADO FINAL  |
|---|---|------------------------------|--------------------------|--|
|  <p>1<br/>miliampère</p>               | NENHUMA.  | NORMAL.                      | —                        | NORMAL.  |
|  <p>1 a 9<br/>miliampère</p>           | SENSAÇÃO CADA VEZ MAIS DESAGRADÁVEL, À MEDIDA QUE A INTENSIDADE AUMENTA. CONTRAÇÃO MUSCULARES.  | NORMAL.                      | DESNECESSÁRIO.           | NORMAL.  |
|  <p>9 a 20<br/>miliampères</p>         | SENSAÇÃO DOLOROSA. CONTRAÇÕES VIOLENTAS. ASFIXIA. ANOXIA. ANOXEMIA. PERTURBAÇÕES CIRCULATÓRIA.  | MORTE APARENTE.              | RESPIRAÇÃO ARTIFICIAL.   | RESTABELECIMENTO.  |
|  <p>20 a 100<br/>miliampères</p>       | SENSAÇÃO INSUPORTÁVEL. CONTRAÇÕES VIOLENTAS. ASFIXIA. ANOXIA. ANOXEMIA. FIBRILAÇÃO VENTRICULAR. | MORTE APARENTE.              | RESPIRAÇÃO ARTIFICIAL.   | MUITAS VEZES NÃO HÁ TEMPO DE SALVAR E A <b>MORTE</b> OCORRE EM POUCOS MINUTOS. |
|  <p>Acima de 100<br/>miliampères</p> | ASFIXIA IMEDIATA. FIBRILAÇÃO VENTRICULAR. ALTERAÇÕES MUSCULARES. QUEIMADURAS.                   | MORTE POSTERIOR OU IMEDIATA. | MUITO DIFÍCIL.           | <b>MORTE.</b>  |
|  <p>Vários<br/>Ampères</p>           | ASFIXIA IMEDIATA. QUEIMADURAS GRAVES.   | MORTE POSTERIOR OU IMEDIATA. | PRATICAMENTE IMPOSSÍVEL. | <b>MORTE.</b>  |

# Gaiola de Faraday ou Blindagem Eletrostática

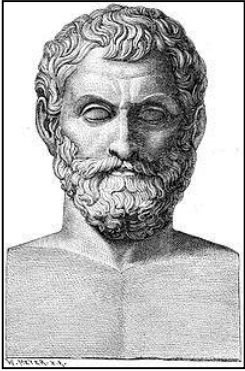


## **Magnetismo**

Parte 1



# Cronologia



- Tales de Mileto (624 - 546 a.C.)

*“Ações magnéticas são diferentes das ações elétricas.”*



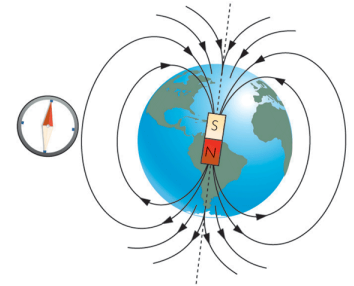
Magnetita -  $Fe_3O_4$



- William Gilbert (1544 - 1603)

*“Magnus magnes ipse est globus terrestris”*

*“1600 - De Magnete: O Planeta Terra é um imenso ímã.”*



- Alessandro Volta (1745 - 1827)

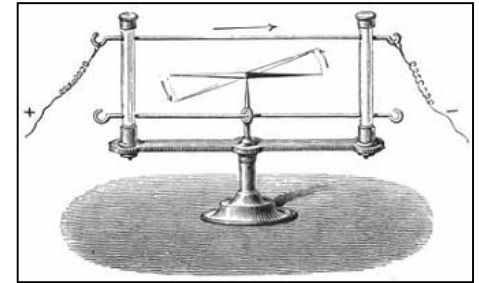
*“1800 - Pilha: geração de corrente elétrica – Cu, Zn e salmoura.”*





- Hans Christian Oersted (1777 - 1851)

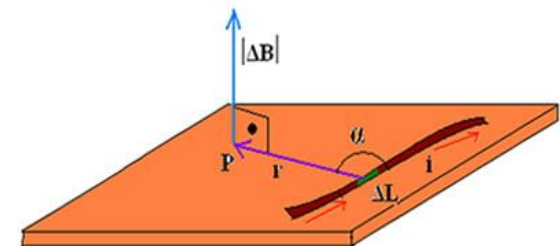
*“1820 - Deflexão da agulha de uma bússola ao circular corrente elétrica por um fio condutor.”*



- Jean Baptiste Biot (1774 - 1862)

*“1820 - Expressão matemática que relaciona corrente elétrica em um fio ao módulo do campo magnético, em uma dada posição.”*

### **Lei de Biot - Savart**



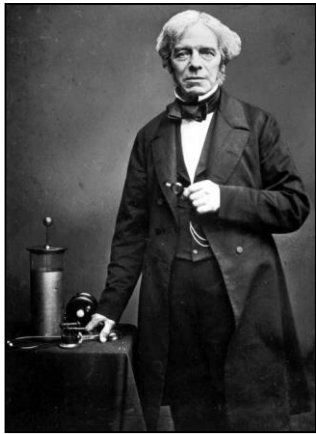
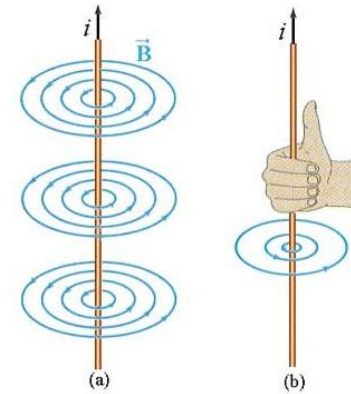
- Félix Savart (1791 - 1841)

$$|\Delta \vec{B}| = \frac{\mu_0 \cdot I}{4 \cdot \pi} \times \frac{\Delta l \cdot \text{sen} \alpha}{r^2}$$



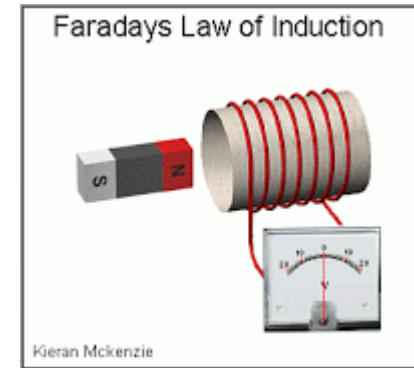
- André-Marie Ampère (1775 - 1836)

*“1822 - Correntes elétricas se atraem ou se repelem mutuamente, regra da mão direita (para o vetor Campo Magnético) e outros estudos.”*



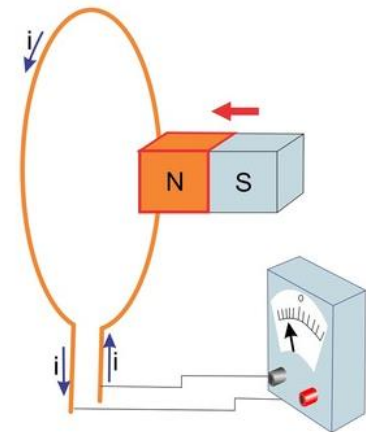
- Michael Faraday (1791 - 1867)

*“1834 - Indução Eletromagnética: Princípio de funcionamento dos transformadores.”*



- Heinrich F. E. Lenz (1804 - 1865)

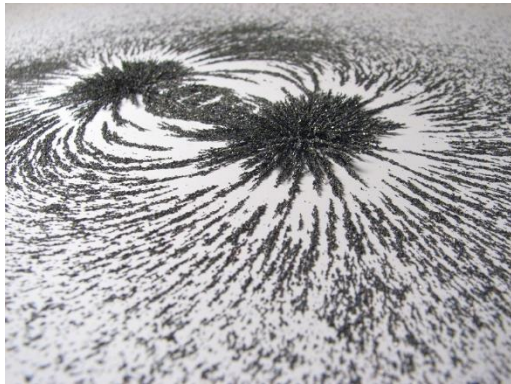
*“1834 - Regra para a orientação das correntes parasitas.”*





# Linhas de Campo Magnético

- *Representação: através de grãos de limalha de ferro*

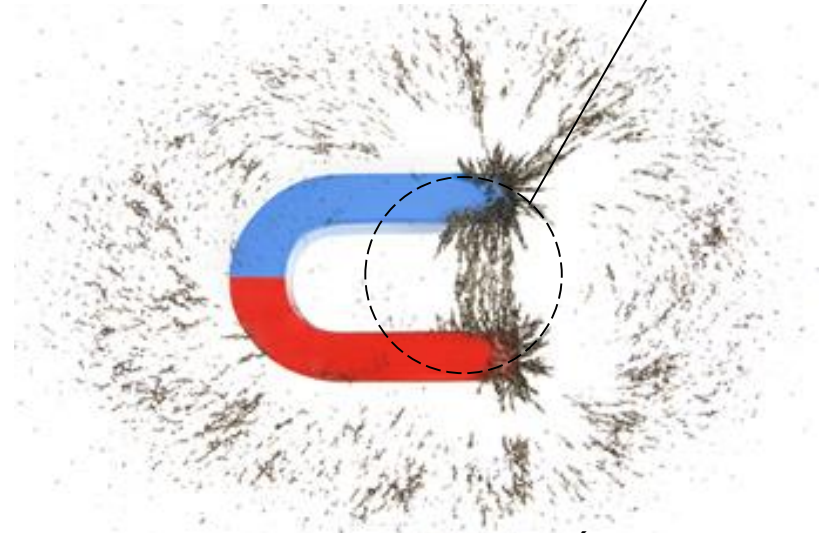


Ímã-ferradura: linhas de campo magnético

***Obs. Importante 1:*** “A limalha de ferro deve estar livre de magnetização.”

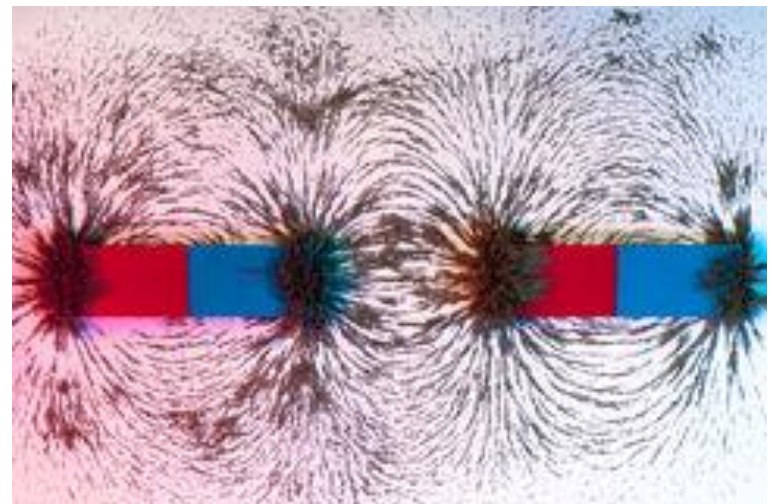
***Obs. Importante 2:*** “As linhas de campo magnético são fechadas, contínuas e não se cruzam.”

***Obs. Importante 3:*** “A proximidade entre as linhas de campo magnético resultante dá uma ideia de sua intensidade.”



Linhas paralelas e equidistantes

Ímã-ferradura



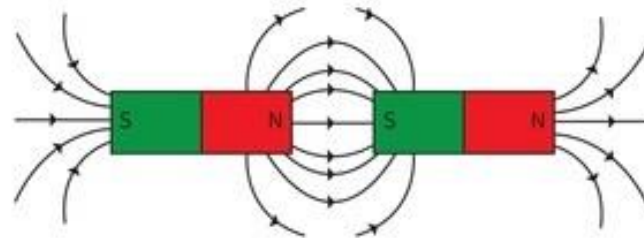
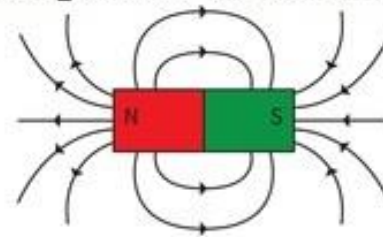


# Inseparabilidade dos polos magnéticos

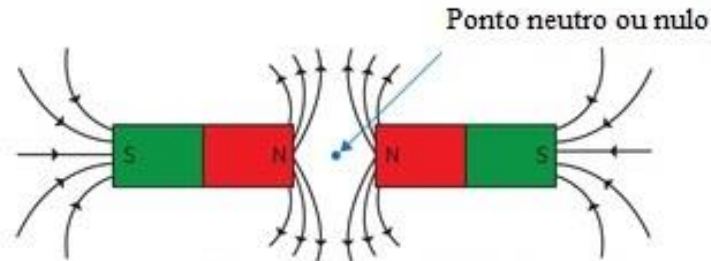


# Interações entre Ímãs

Campo magnético de um ímã em barra



Atração entre polos opostos

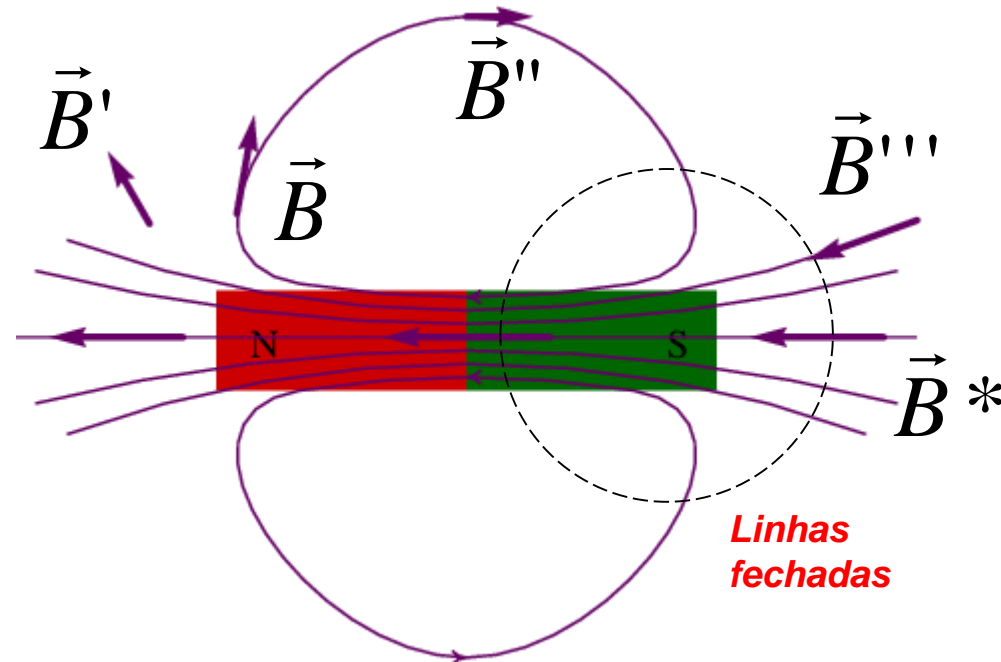
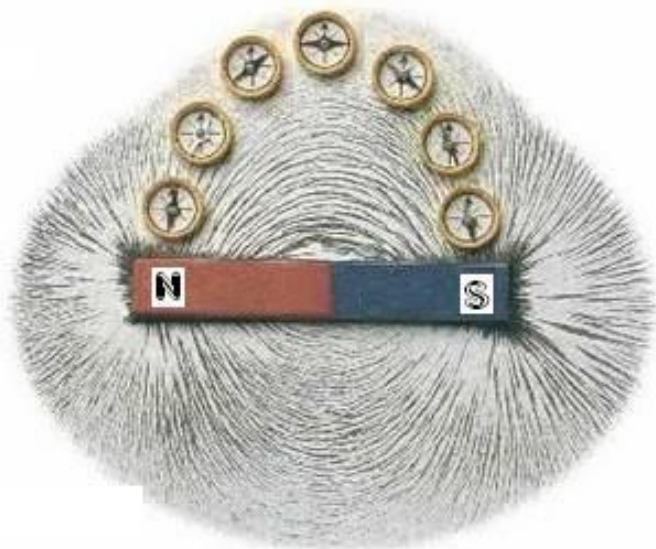
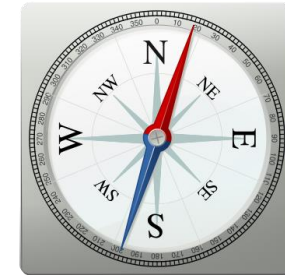


Repulsão entre polos iguais

# Vetor Campo Magnético $\rightarrow \vec{B}$

- **Convenção** para o sentido das linhas de Campo Magnético: “As linhas **externas** de campo magnético são tais que elas se orientam no sentido **polo norte**  $\rightarrow$  **polo sul magnético**.”

- Mapeamento do Campo Magnético  $\rightarrow$  **bússola**
- Vetor Campo Magnético (***direção e sentido***)



## Atividade: Representação de Linhas de Campo Magnético

1) Coloque um dos ímãs-ferradura, apoiado pela lateral, na superfície da mesa;



2) Coloque uma folha de papel sulfite **sobre** a superfície lateral do ímã-ferradura;

3) Espalhe um pouco de limalha de ferro sobre a região do papel em que se encontra o ímã;

4) Fotografe as linhas de campo magnético;



5) Posicione os dois polos do ímã para cima e repita os itens 2 a 4;

6) Coloque o ímã sobre a mesa pela lateral, posicionando seus polos frente a frente com outro ímã, a uma pequena distância entre eles ( $\pm 1$  cm) e repita os itens 2 a 4;



7) Troque os dois polos de um dos ímãs e repita os itens 2 a 4;

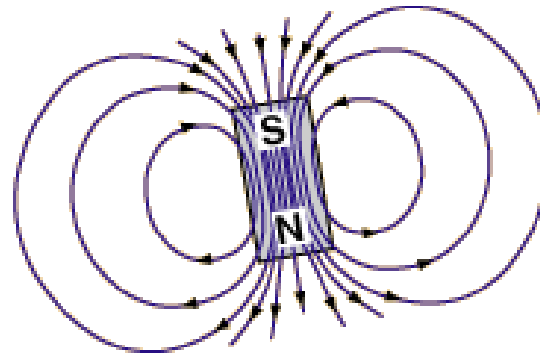


- *Campo Magnético da Terra – Teoria do Dínamo*



Walter Maurice Elsasser  
1904 - 1991

### Modelo de Gilbert



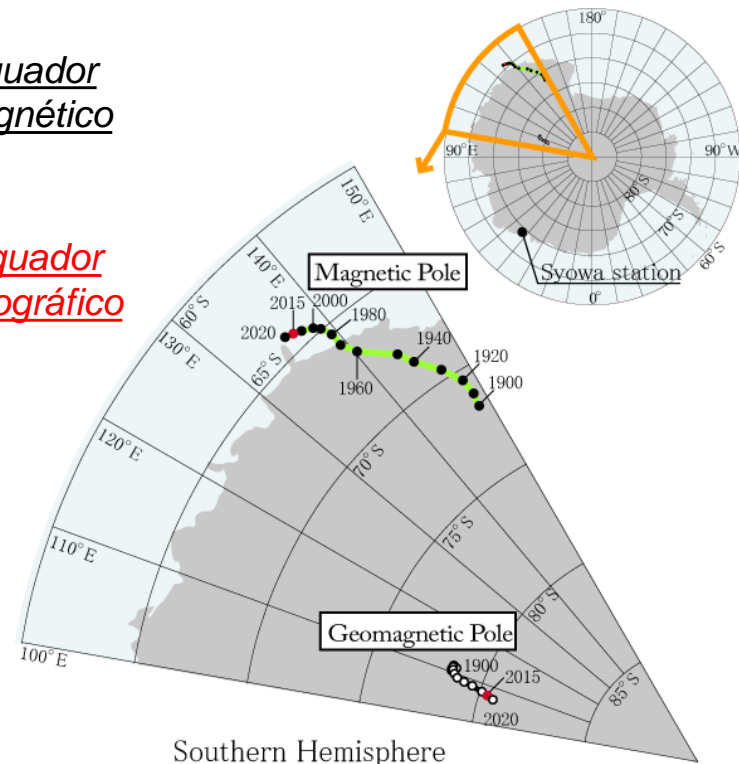
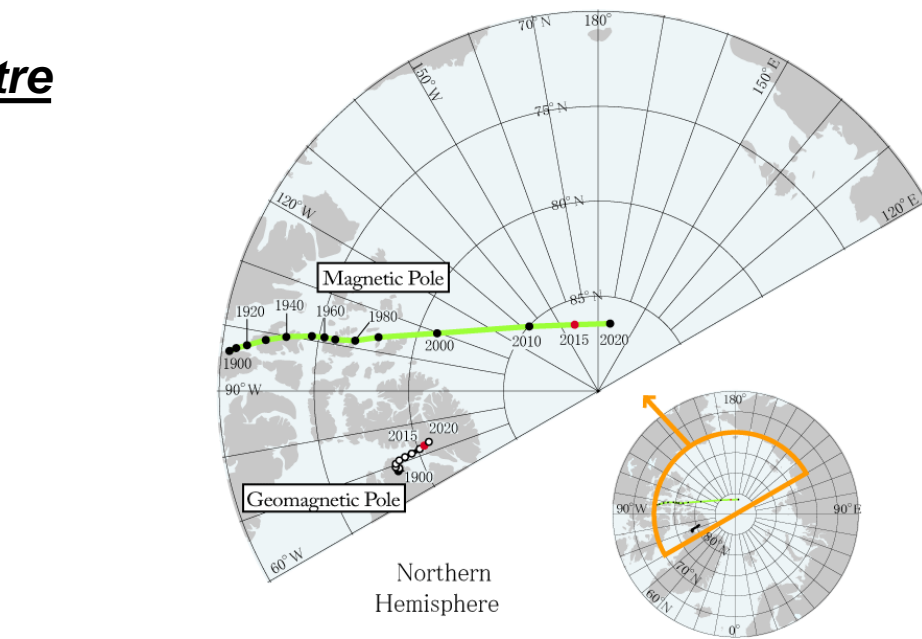
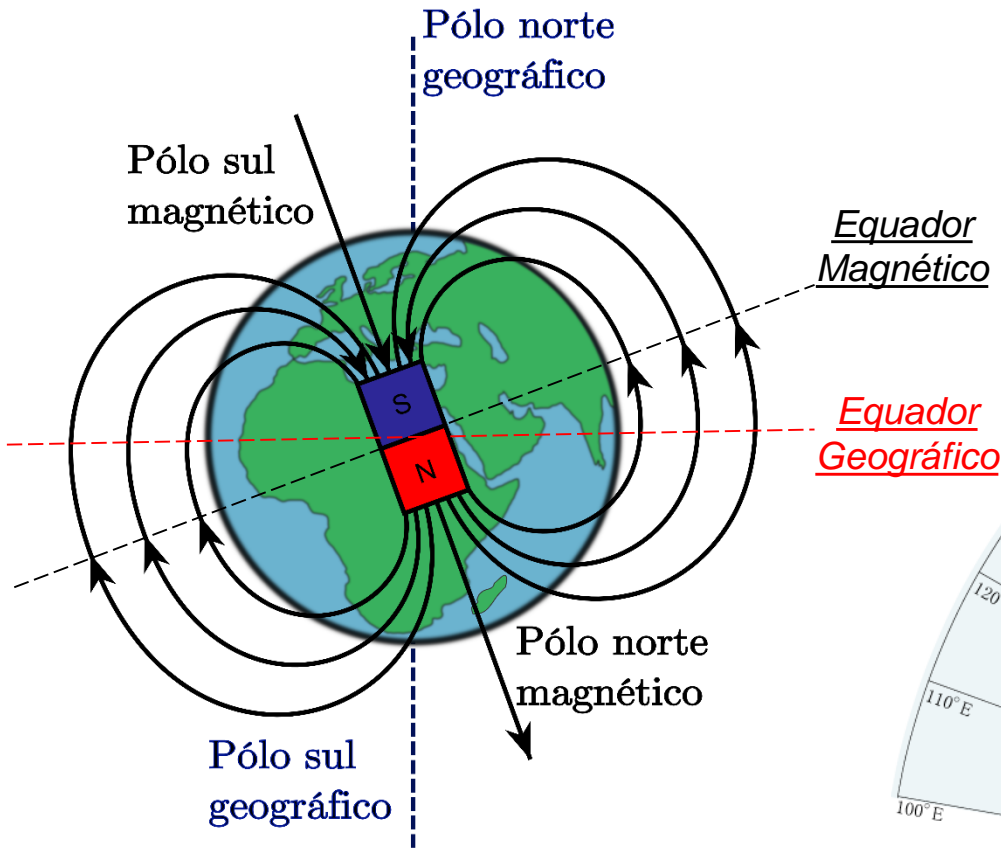
Ímã-barra



- Um meio fluido condutor (*ferro líquido*) de eletricidade (*núcleo exterior*);
- Energia cinética fornecida pela rotação planetária;
- Uma fonte interna de energia para abastecer os movimentos de convecção no interior do fluido (*núcleo interior* →  $\approx 4.000^{\circ}\text{C}$ ).

# Causas do Campo Magnético Terrestre

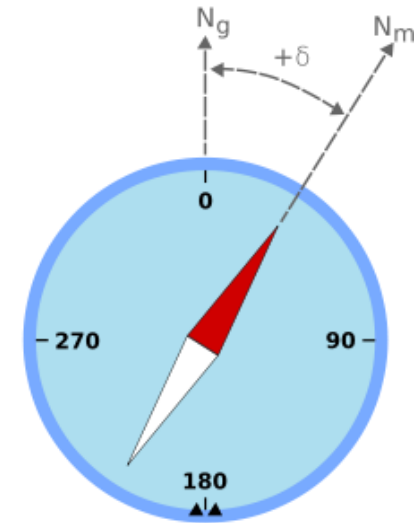
- (10%) - *Existência de rochas basálticas superficiais - ricas em ferro*
- (90%) - *Movimento do magma (manto superior) → correntes internas*



# Ângulos magnéticos notáveis

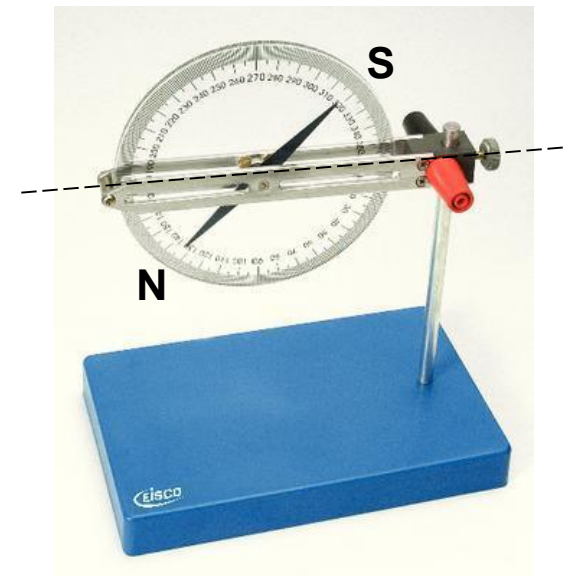
A **declinação magnética** ( $\delta$ ) de um local é a medida do ângulo formado entre a direção do norte **magnético**, apontado pela agulha de uma bússola, com relação à direção do norte verdadeiro (geográfico). Uma **declinação** positiva ou leste significa que o norte **magnético** está desviado do norte verdadeiro no sentido horário.

Em São Paulo,  $\delta$  vale, aproximadamente, **-20°**.



A **inclinação magnética** ( $\gamma$ ) de um local é o ângulo formado entre as linhas de campo magnético terrestre e uma linha horizontal. Uma **inclinação magnética** positiva indica que o campo magnético da Terra está apontando para baixo.

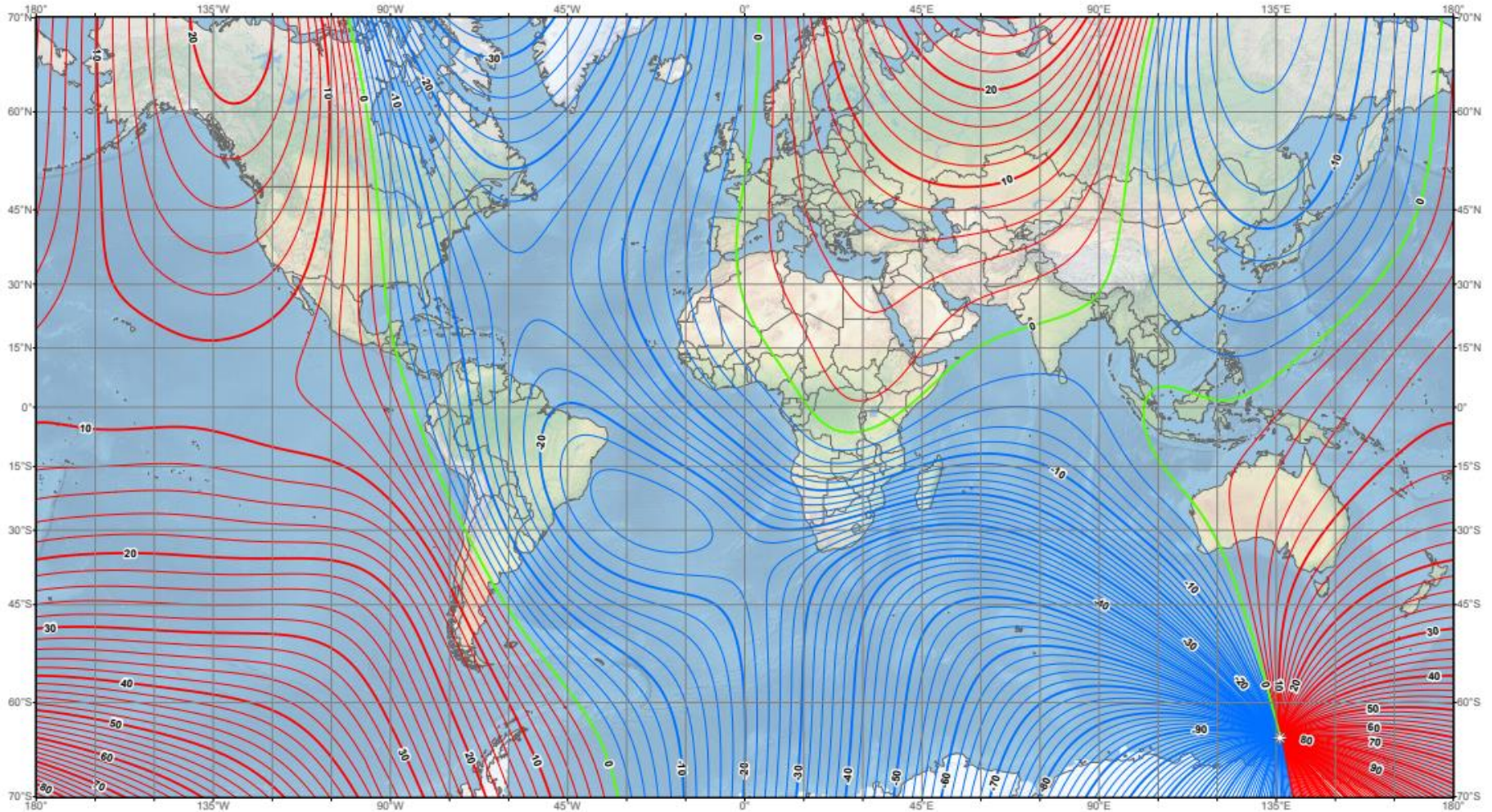
Em São Paulo,  $\gamma$  vale, aproximadamente, **-36°**.






# Declinação Magnética do Campo Magnético Terrestre em 2019 (modelo)

## US/UK World Magnetic Model - 2019.0 Main Field Declination (D)



Main Field Declination (D)  
Contour interval: 2 degrees, red contours positive (east); blue negative (west); green (agonic) zero line.  
Mercator projection.

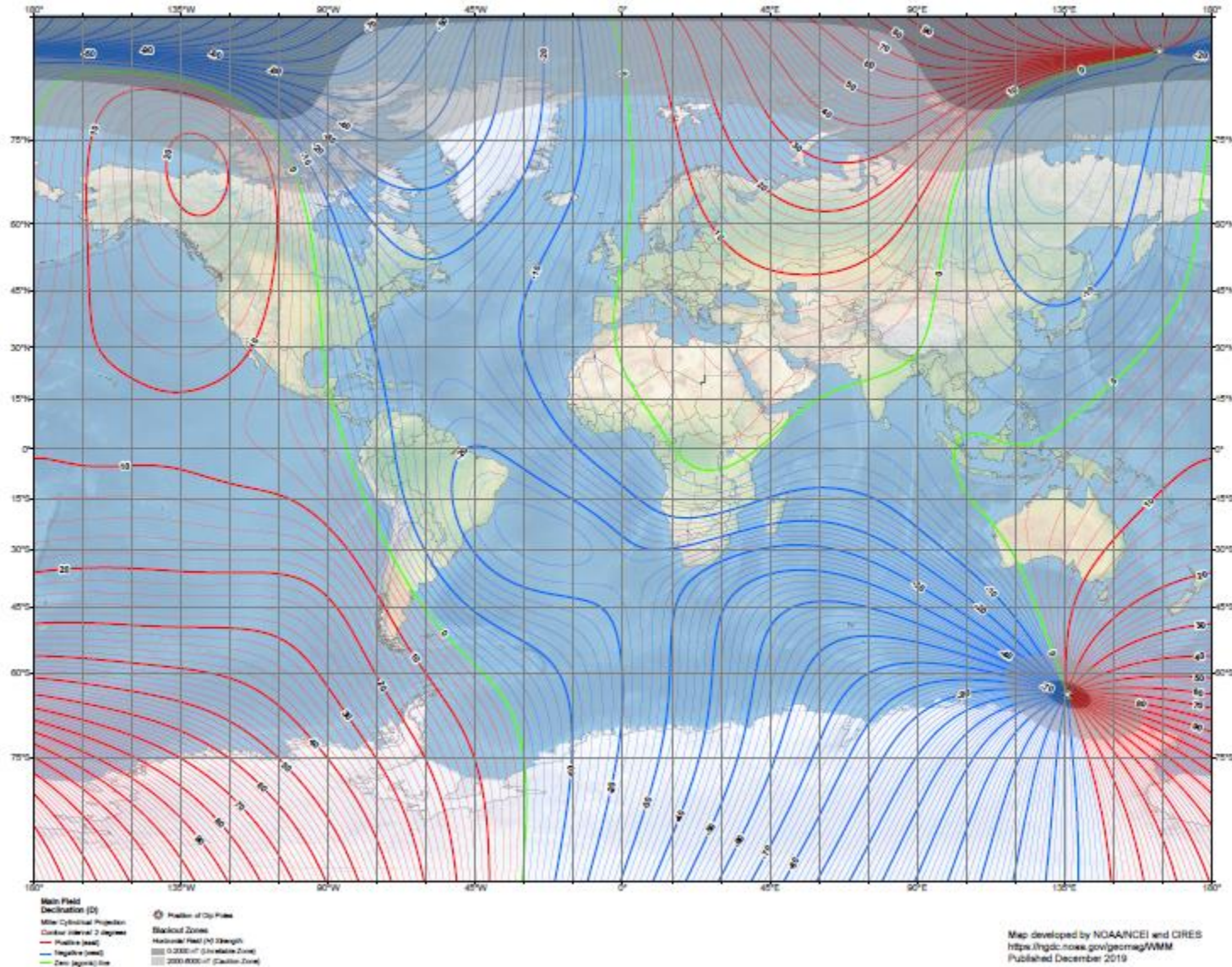
 Position of dip poles

Map developed by NOAA/NCEI and CIRES  
<https://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM>  
Published February 2019



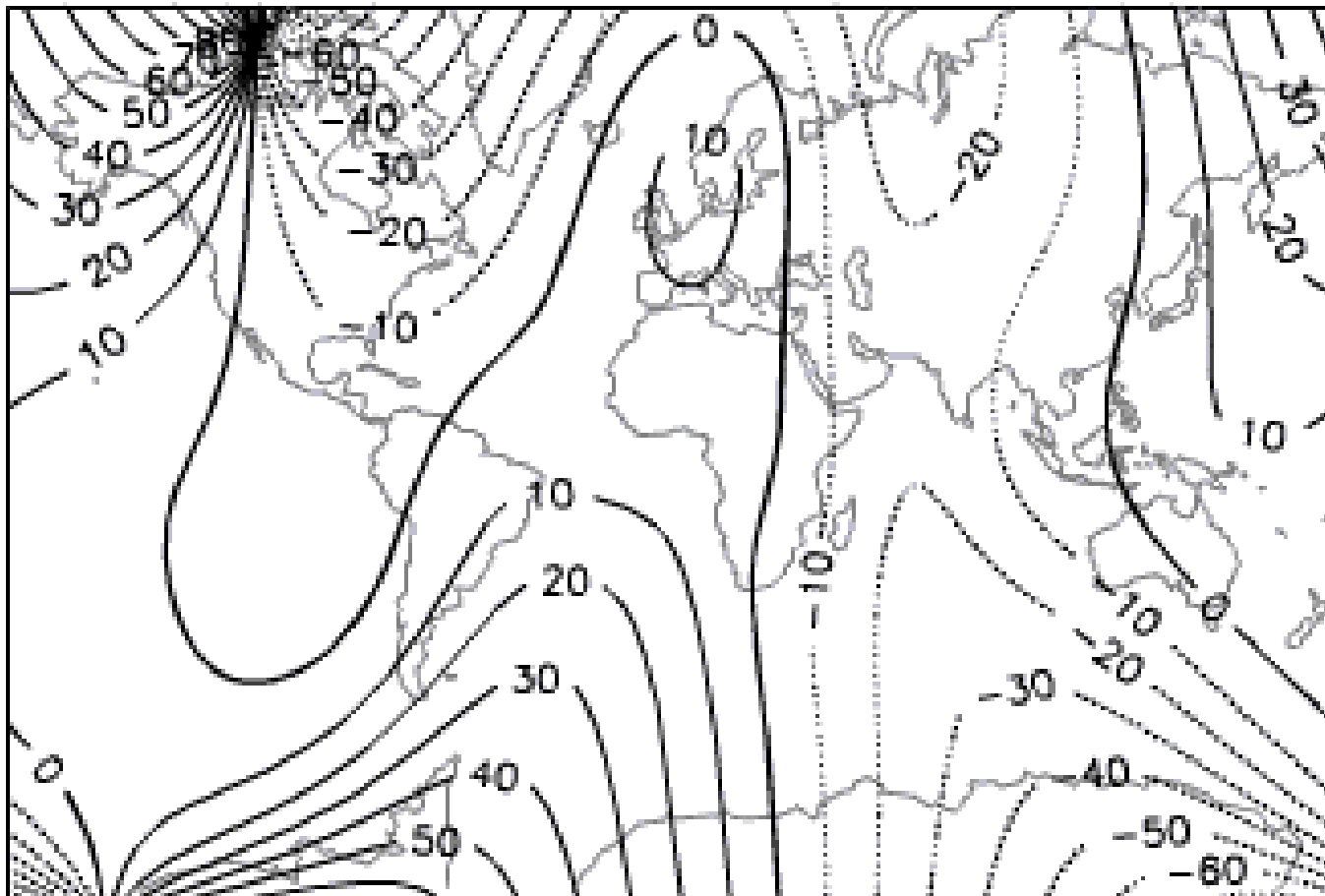
# Declinação Magnética do Campo Magnético Terrestre em 2020/24 (modelo)

US/UK World Magnetic Model - Epoch 2020.0  
Main Field Declination (D)



Variação da declinação do Campo Magnético Terrestre entre 1590 e 1990

1590  
Declination (degrees east)



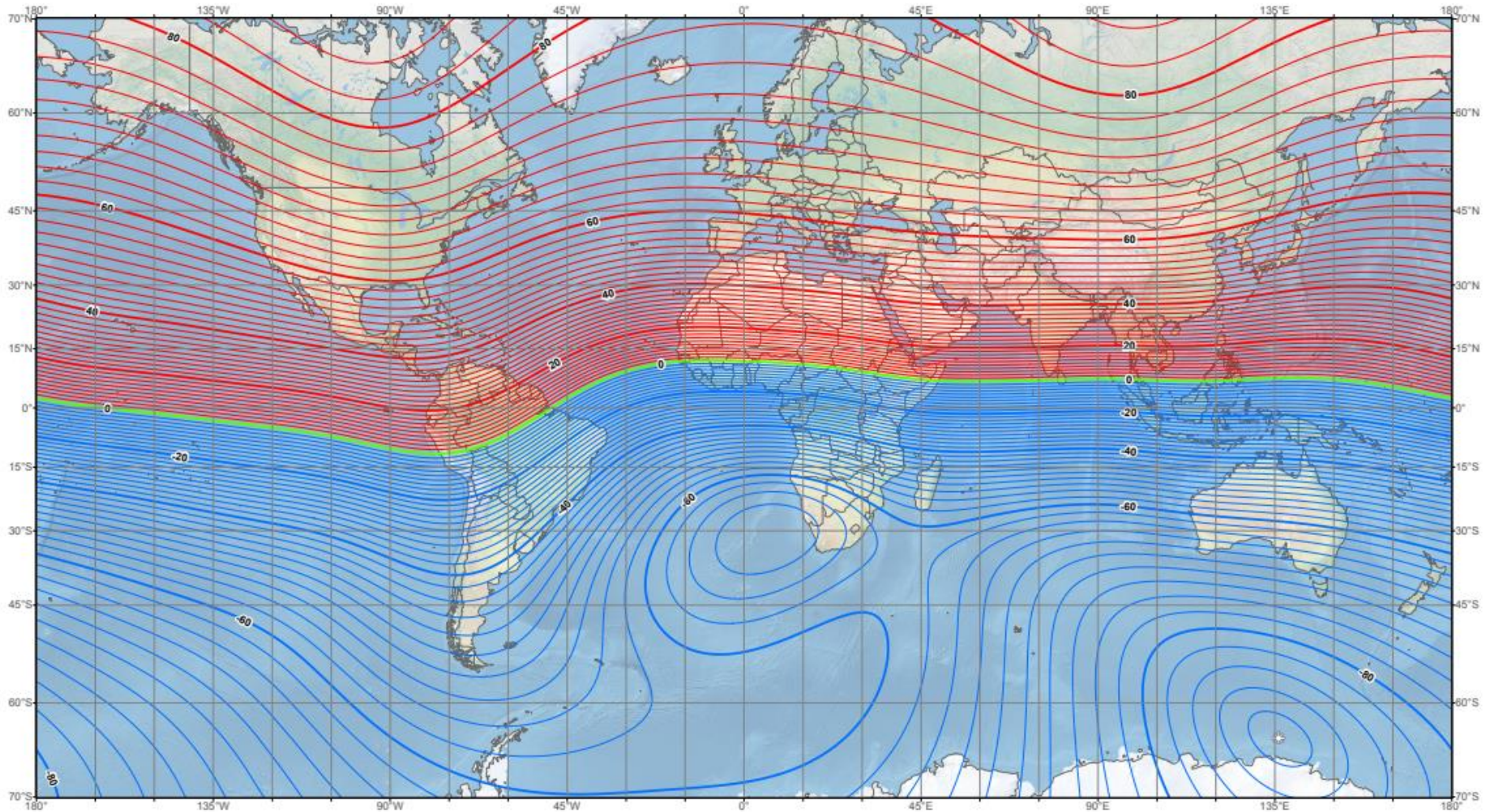
<http://geomag.usgs.gov>

Model by A. Jackson, A. R. T. Jonkers, M. R. Walker,  
Phil. Trans. R. Soc. London A (2000), 358, 957-990.



# Inclinação Magnética do Campo Magnético Terrestre em 2019 (modelo)

## US/UK World Magnetic Model - 2019.0 Main Field Inclination (I)



Main Field Inclination (I)  
Contour Interval: 2 degrees, red contours positive (east); blue negative (west); green (agonic) zero line.  
Mercator projection.

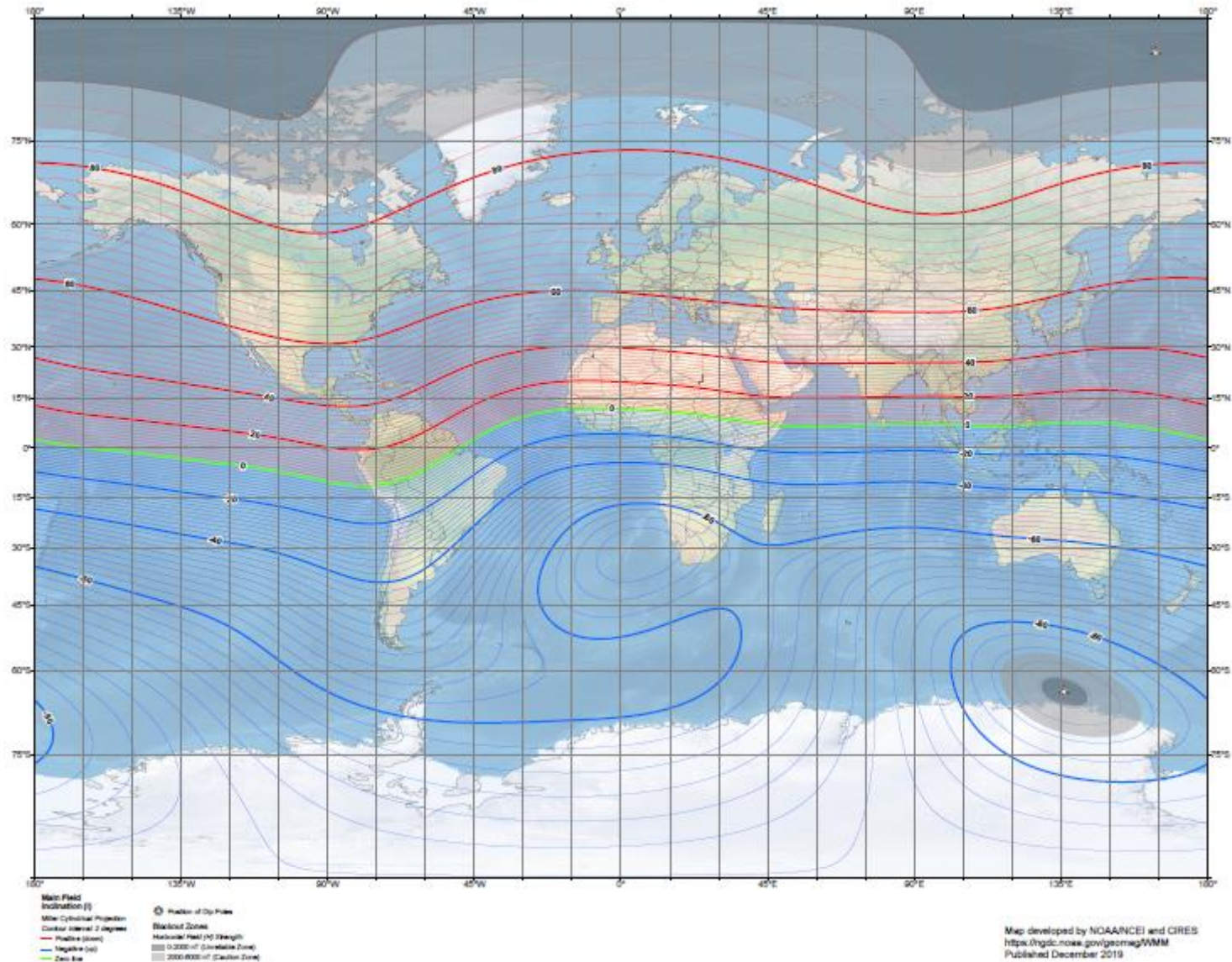
☼ Position of dip poles

Map developed by NOAA/NCEI and CIRES  
<https://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM>  
Published February 2019



# Inclinação Magnética do Campo Magnético Terrestre em 2019/24 (modelo)

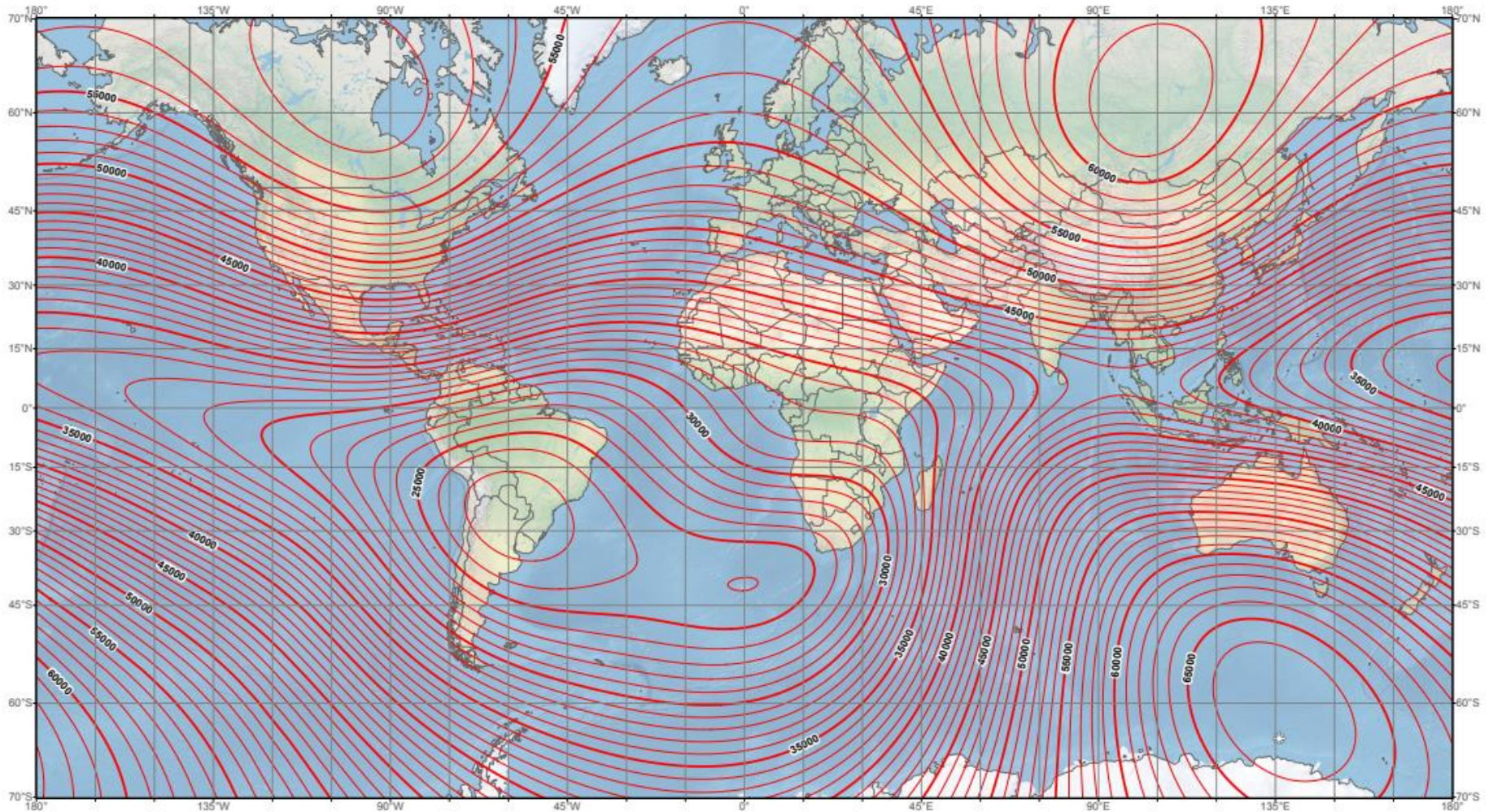
US/UK World Magnetic Model - Epoch 2020.0  
Main Field Inclination (I)





# Intensidade do Campo Magnético Terrestre em 2019 (modelo)

## US/UK World Magnetic Model - 2019.0 Main Field Total Intensity (F)



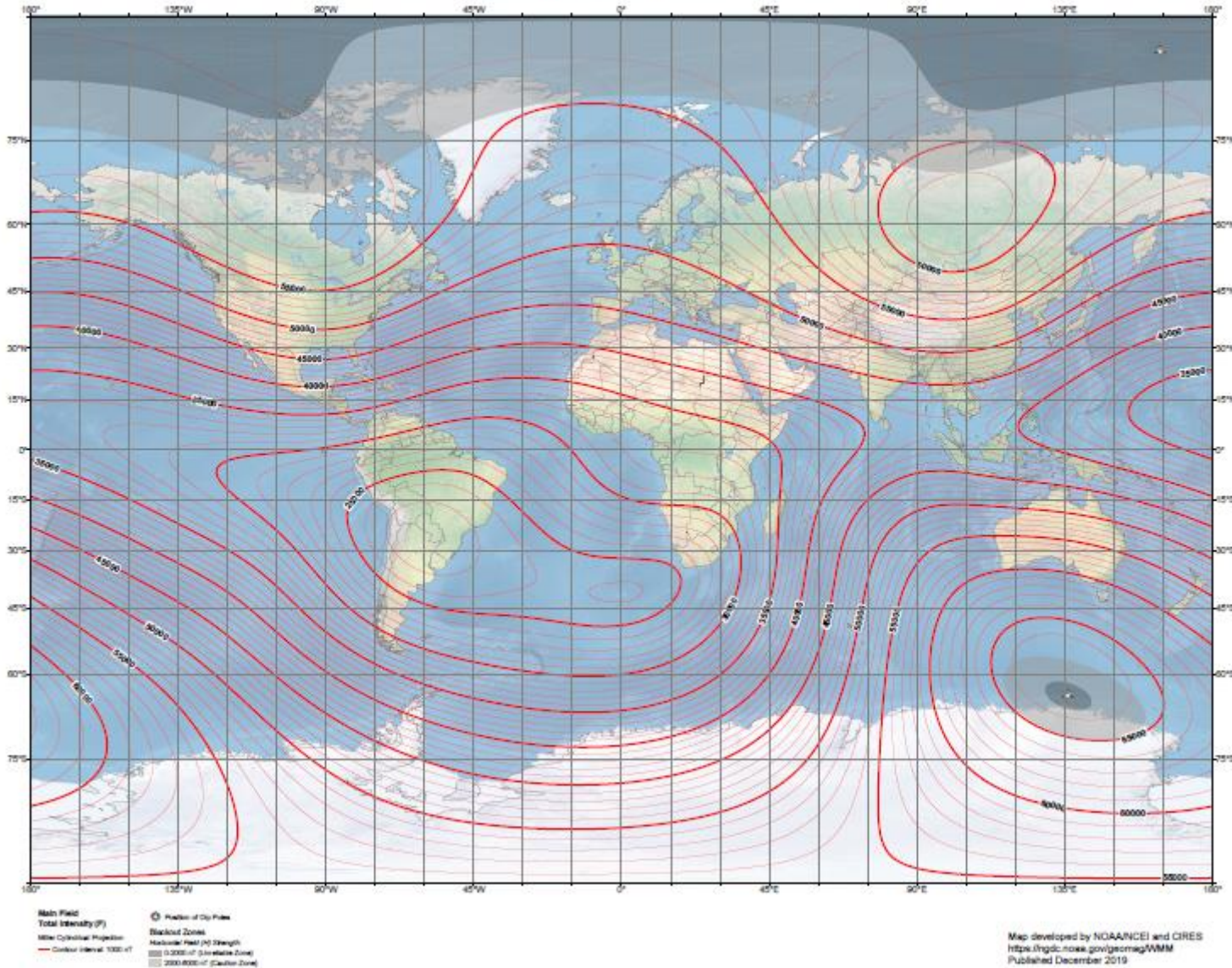
Main Field Total Intensity (F)  
Contour interval: 1000 nT.  
Mercator projection.  
☉: Position of dip poles

Map developed by NOAA/NCEI and CIRES  
<https://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM>  
Published February 2019

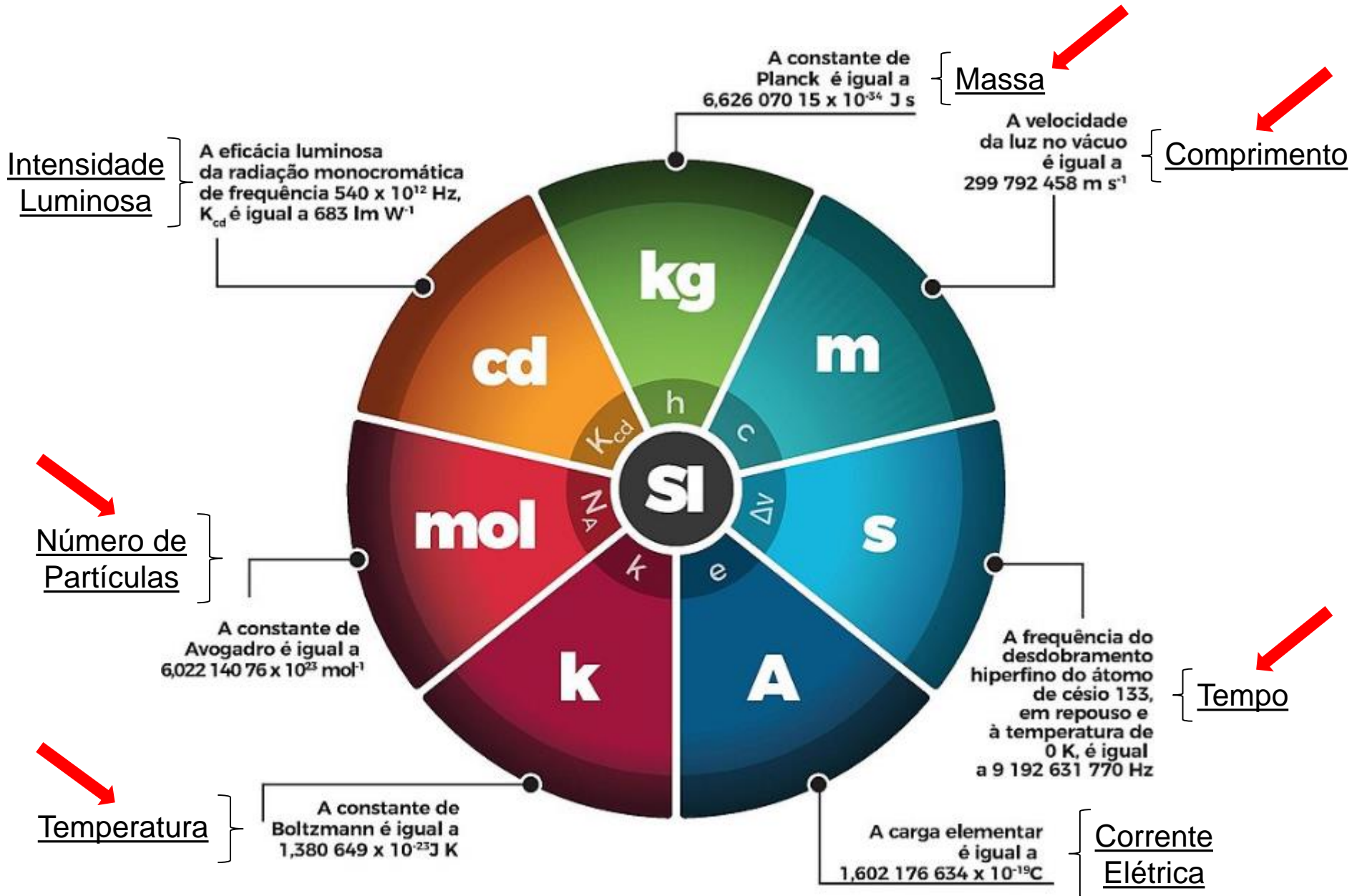


# Intensidade do Campo Magnético Terrestre em 2019/24 (modelo)

US/UK World Magnetic Model - Epoch 2020.0  
Main Field Total Intensity (F)

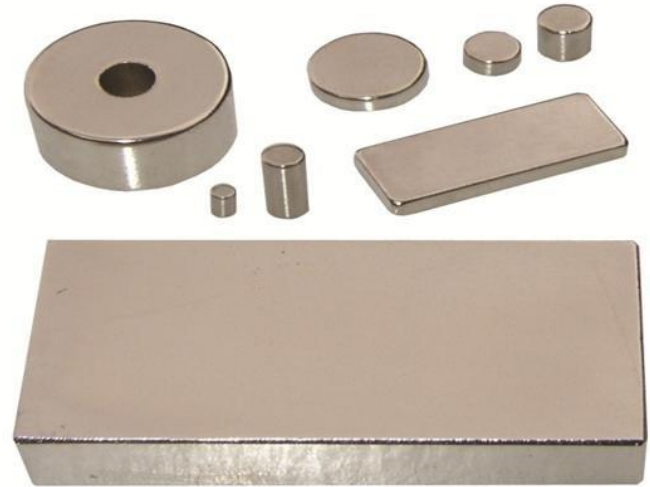


# Grandezas Físicas Fundamentais



## Valores usuais de intensidade de campos magnéticos

| Localização ou Fonte                      | Valor (T)          |
|---|--------------------|
| Espaço interestelar                       | $10^{-10}$         |
| Proximidades da superfície da terra       | $5 \times 10^{-5}$ |
| Ímã de geladeira                          | $10^{-2}$          |
| Proximidades da superfície do sol         | $10^{-2}$          |
| Magnetos científicos                      | 2 – 4              |
| Proximidades de um <a href="#">pulsar</a> | $10^8$             |
| Proximidades do núcleo atômico            | $10^{12}$          |



Ímãs de Neodímio ( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ )

$$1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$$

| Grau do Ímã | Diâmetro do Ímã | Altura do Ímã | Campo Magnético Aproximado no centro do Ímã | Força de Atração Aproximada do Ímã |
|-------------|-----------------|---------------|---|------------------------------------|
| -           | <i>mm</i>       | <i>mm</i>     | <i>Gauss</i>                                | <i>Kg</i>                          |
| N35         | 5               | 1,5           | 3.100                                       | 1                                  |
| N42         | 5               | 1,5           | 3.400                                       | 1,2                                |
| N35         | 12              | 2             | 2.000                                       | 1,4                                |
| N35         | 22              | 10            | 4.200                                       | 14                                 |
| N35         | 60              | 10            | 2.000                                       | 38                                 |



# E o que é que pode conferir ótimas propriedades magnéticas a um átomo?

## Mecânica Quântica (Números Quânticos)

**Principal** (distância média ao núcleo → estabilidade)  $n \rightarrow 1, 2, 3, \dots$

**Momento Angular** (forma dos orbitais)  $\rightarrow \ell = (n - 1) \rightarrow s (0), p (1), d (2), f (3) \dots$

**Momento Magnético** (orientação espacial)  $\rightarrow N_o = (2\ell + 1) \rightarrow m_\ell \rightarrow -\ell$  a  $+\ell$ , sempre incluindo 0

**Spin** (rotação do elétron)  $\rightarrow \pm 1/2$

## Princípio da Exclusão de Pauli (1925)

**“Em um átomo, dois elétrons não podem ter os mesmos números quânticos.”**



Wolfgang E. Pauli  
1900 - 1958  
**Nobel de 1.945**



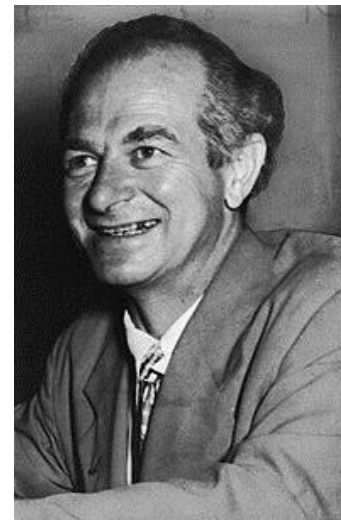
Friedrich Hund  
1896 - 1997

## Regra de Hund

**“O arranjo mais estável dos elétrons nas subcamadas é aquele que contém o maior número de elétrons desemparelhados com spins paralelos.”**

**Diagrama de Linus Pauling (1925)**

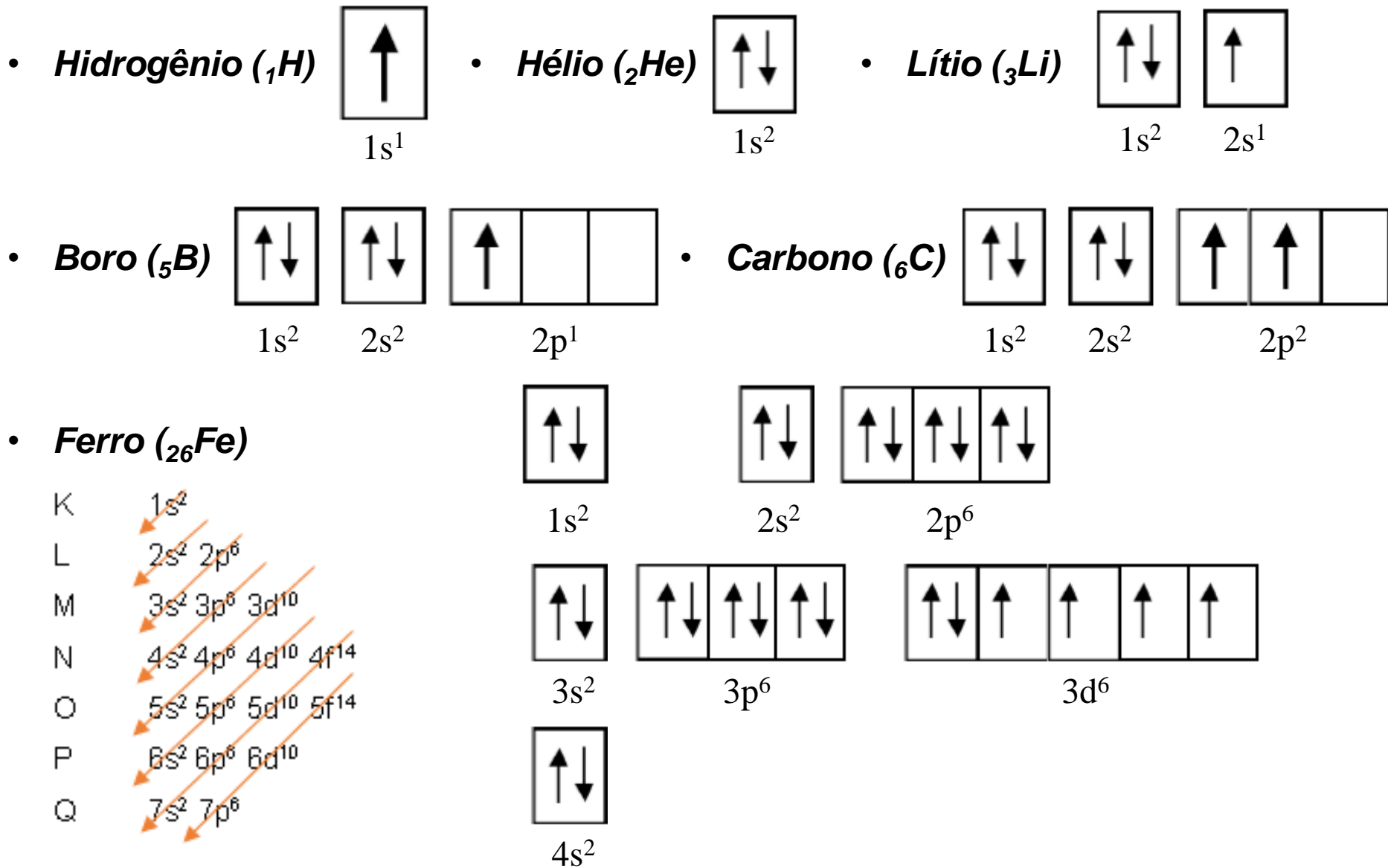
é uma representação da distribuição de elétrons pelas camadas eletrônicas, ou seja, ele tem como base os subníveis de energia **s**, **p**, **d** e **f** para a organização dos elétrons em ordem crescente de energia.



Linus C. Pauling  
1901 - 1994  
**Nobel de 1.954**

| Camadas ou níveis | Subníveis (s, p, d ou f)  | Número máximo de elétrons por nível |
|-------------------|---|-------------------------------------|
| K                 | 1s <sup>2</sup>   | 2                                   |
| L                 | 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>                                   | 8                                   |
| M                 | 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 3d <sup>10</sup>                  | 18                                  |
| N                 | 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup> 4d <sup>10</sup> 4f <sup>14</sup> | 32                                  |
| O                 | 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup> 5d <sup>10</sup> 5f <sup>14</sup> | 32                                  |
| P                 | 6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup> 6d <sup>10</sup>                  | 18                                  |
| Q                 | 7s <sup>2</sup>   | 2                                   |

# Exemplos



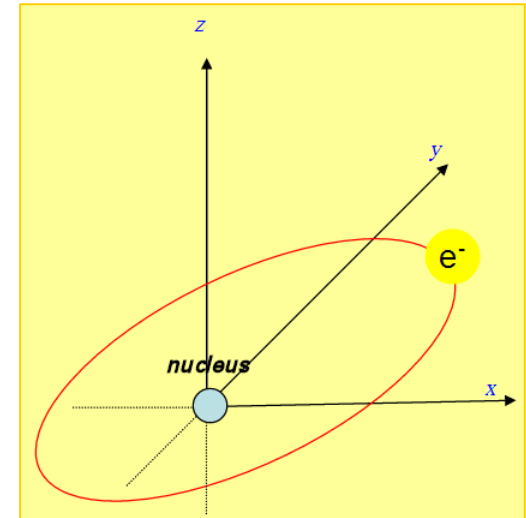
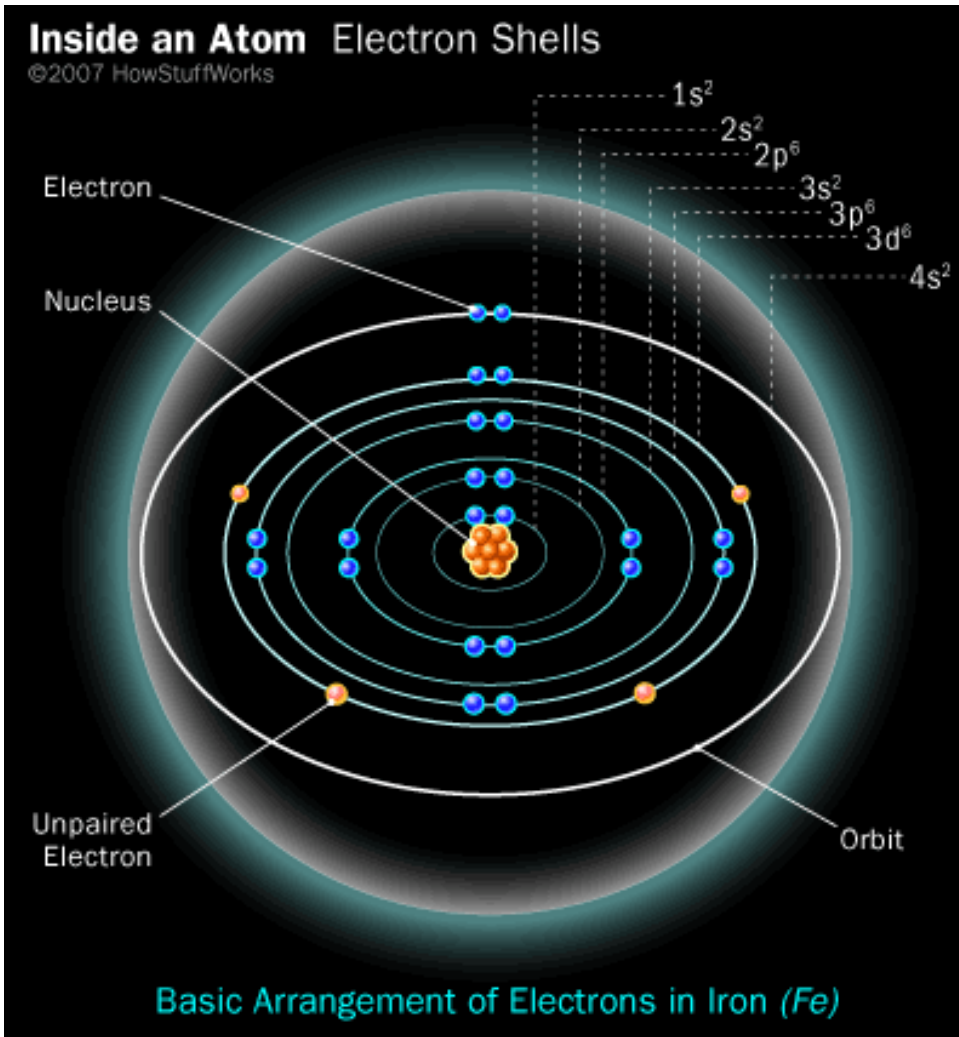


# Exemplos

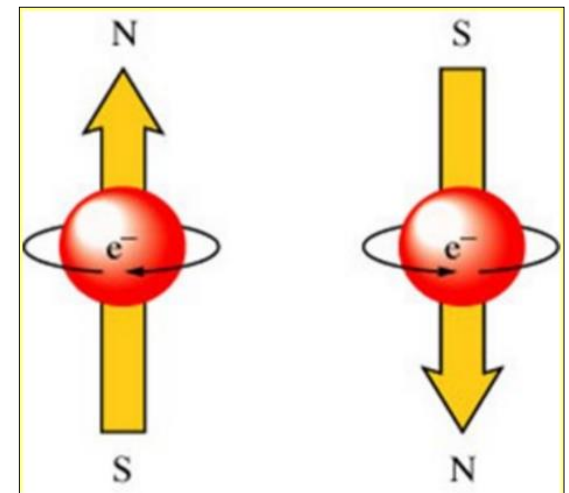
- **Organize as camadas eletrônicas para os seguintes átomos, de acordo com as regras da Mecânica Quântica:**
  - **Vanádio ( $_{23}\text{V}$ )**
  - **Cromo ( $_{24}\text{Cr}$ )**
  - **Manganês ( $_{25}\text{Mn}$ )**
  - **Cobalto ( $_{27}\text{Co}$ )**
  - **Níquel ( $_{28}\text{Ni}$ )**

# Interpretação microscópica do magnetismo

${}^{56}_{26}\text{Fe}$



Movimento de **revolução**  
do elétron em torno do  
núcleo atômico

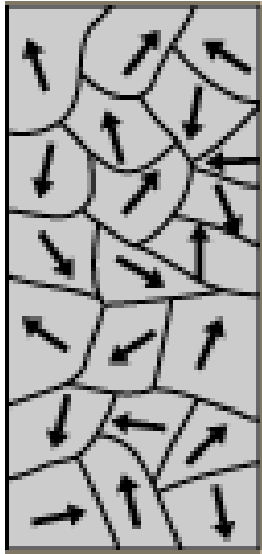


Movimento de **rotação** do  
elétron em sua órbita

# Domínios Magnéticos

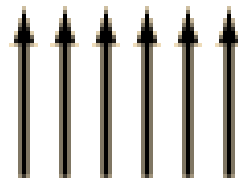
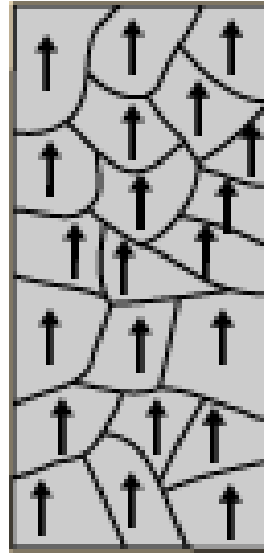
$$T_{\text{Curie Fe}} = 770^{\circ}\text{C}$$

Barra de ferro, inicialmente desmagnetizada, é aproximada de um ímã.

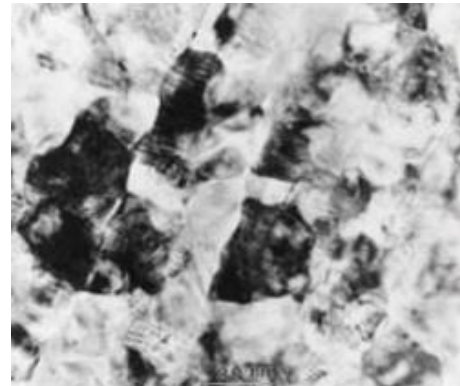
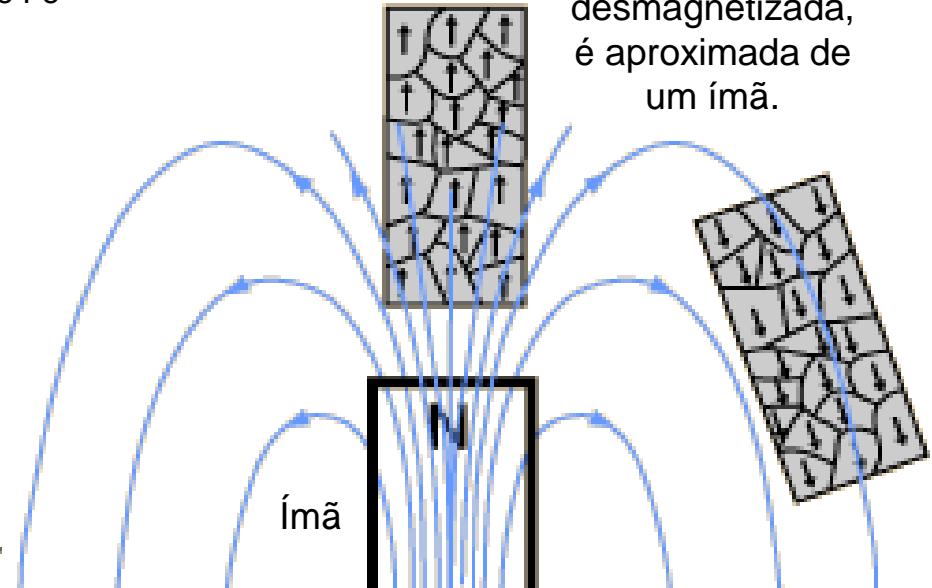


Material ferroso

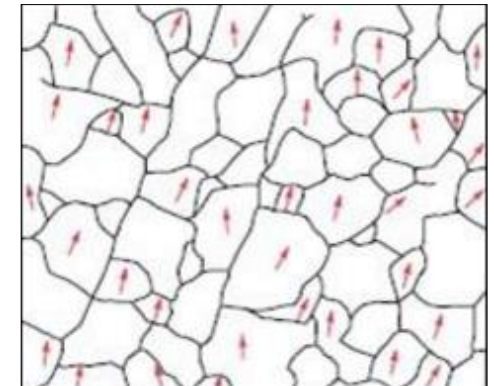
Áreas ou **domínios** orientados aleatoriamente



Aplicação de campo magnético externo → orientação **preferencial** dos domínios magnéticos

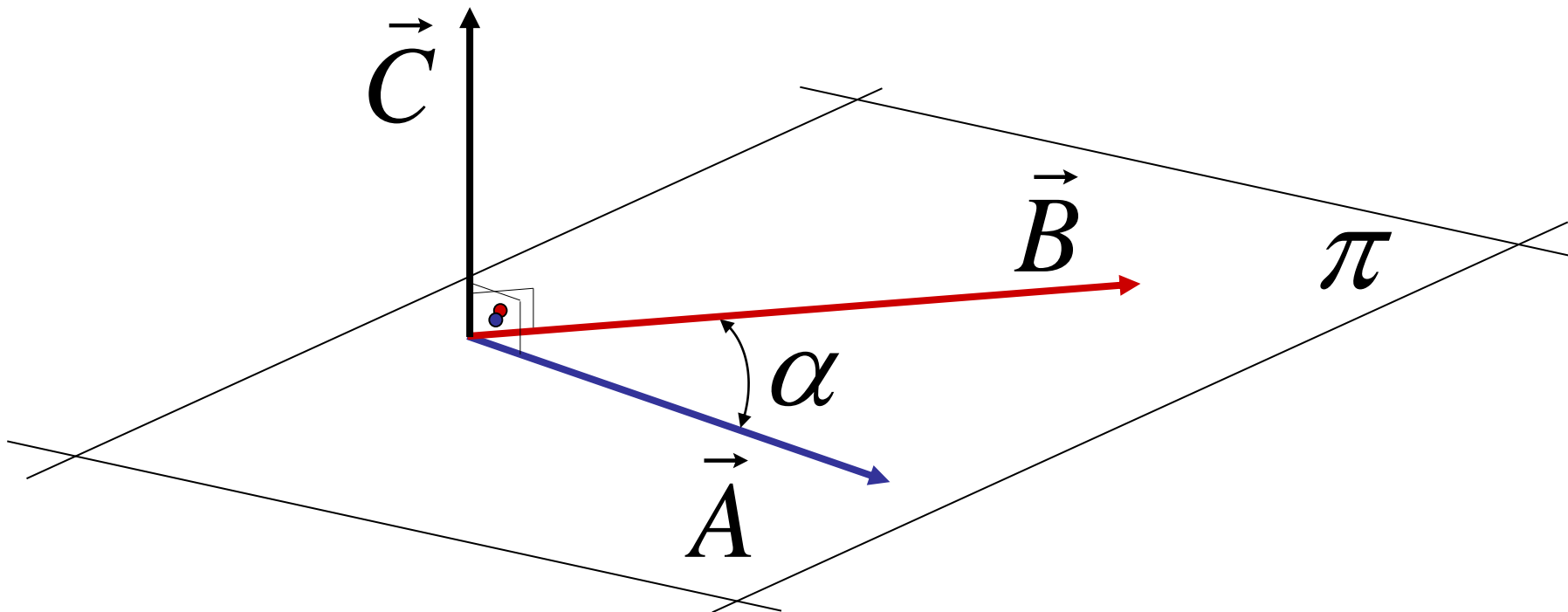


Cristalografia





Uma outra operação vetorial → o **Produto Vetorial**



Representação

$$\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B}$$

Módulo →

$$|\vec{C}| = |\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \cdot \text{sen} \alpha$$

Direção →

Perpendicular ao plano  $\pi$

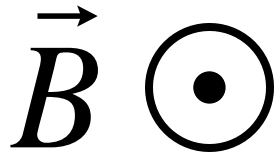
Sentido →

Regra da mão direita

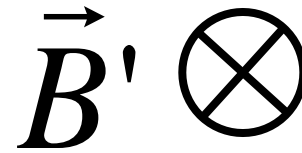
## **Não se esqueça de assistir aos seguintes vídeos:**

- <https://www.youtube.com/watch?v=h0dYRTYiKDY> - Magnetismo, campo magnético e ímãs
- <https://www.youtube.com/watch?v=jkFYAUEIo-k> - Produto Vetorial
- <https://www.youtube.com/watch?v=6M3Nhz2g1OE> - Exercícios sobre regra da mão direita

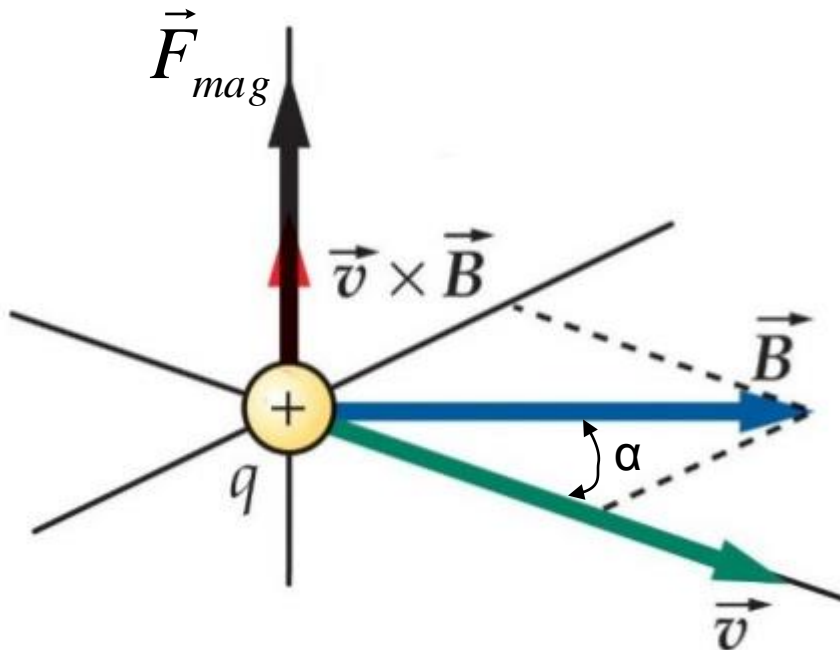
- Força magnética sobre uma carga elétrica  $q$  em movimento no interior de uma região com campo magnético:



Representação de um vetor **saindo** do plano



Representação de um vetor **entrando** no plano



$$\vec{F}_{mag} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

Módulo:  $F_{mag} = q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen} \alpha$   
 $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$

Direção: Perpendicular ao plano definido pelos vetores  $v$  e  $B$

Sentido: Regra da mão direita e **sinal** da carga elétrica

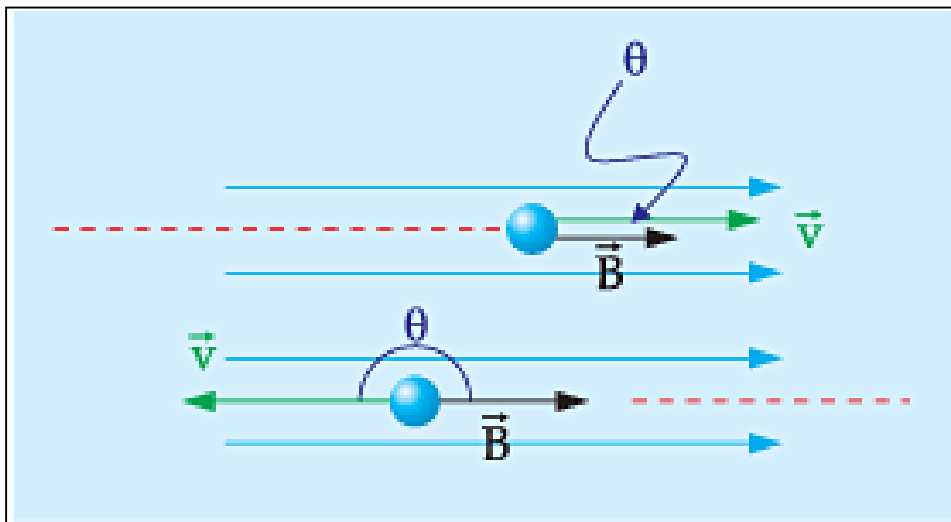


**Unidades (SI):**

$$\left. \begin{array}{l} [q] = [C \rightarrow \text{coulomb}] \\ [v] = [m/s] \\ [B] = [T \rightarrow \text{tesla}] \end{array} \right\} [F_{mag}] = [N \rightarrow \text{newton}]$$

**Situações particulares:**

- Carga elétrica lançada em Campo Magnético Uniforme:



$$v = 0 \therefore F_{mag} = 0$$

$$v \neq 0$$

$$\alpha = 0^\circ(180^\circ) \therefore F_{mag} = 0$$

**Movimento Retilíneo Uniforme**

- Carga elétrica lançada em Campo Magnético Uniforme com  $\alpha = 90^\circ$

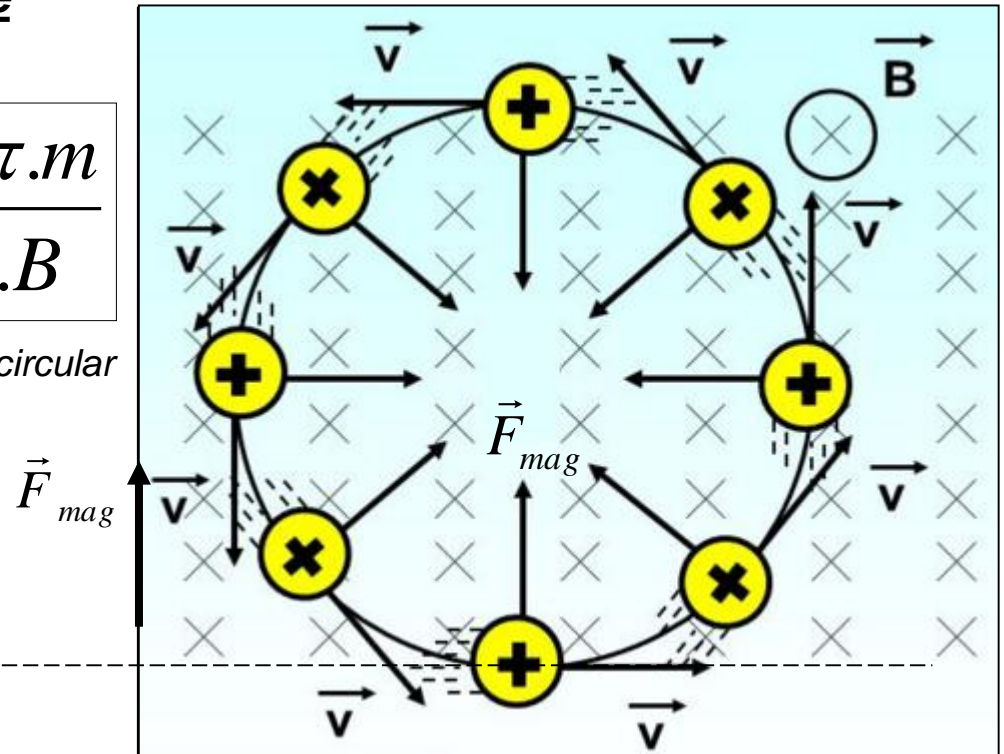
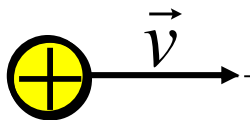
$$\vec{R}_{cp} = \vec{F}_{mag} \longrightarrow m \cdot \frac{v^2}{R} = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha \quad \boxed{R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}}$$

Raio da trajetória circular

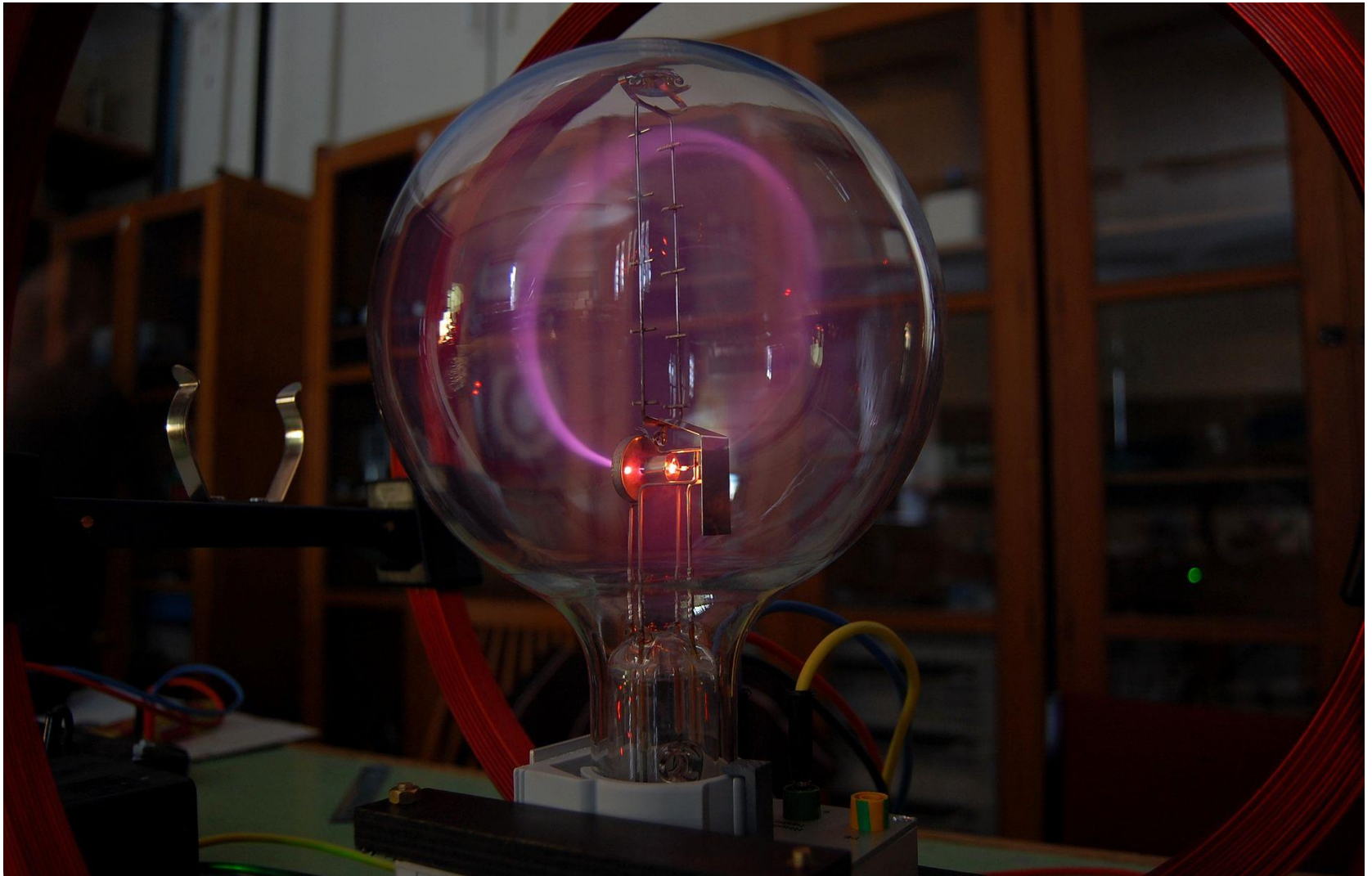
### Movimento Circular Uniforme

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T} \longrightarrow \boxed{T = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{q \cdot B}}$$

Período do movimento circular



Movimento circular de um feixe de elétrons emitidos termoionicamente, em gás a baixa pressão (*Argônio*)



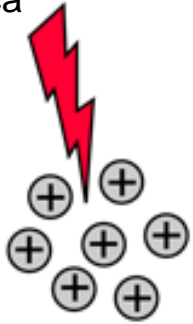
[https://pt.wikipedia.org/wiki/Magnetismo#A\\_Terra\\_.\\_C3.A9\\_um\\_grande\\_.\\_C3.ADm.C3.A3](https://pt.wikipedia.org/wiki/Magnetismo#A_Terra_._C3.A9_um_grande_._C3.ADm.C3.A3)

[https://www3.ifsc.usp.br/~lavfis/images/BDApostilas/Apem/Razaoem\\_1.pdf](https://www3.ifsc.usp.br/~lavfis/images/BDApostilas/Apem/Razaoem_1.pdf)

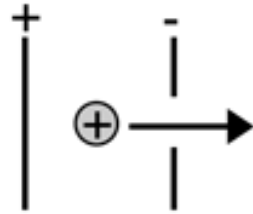


# Espectrômetro de Massa

Descarga elétrica

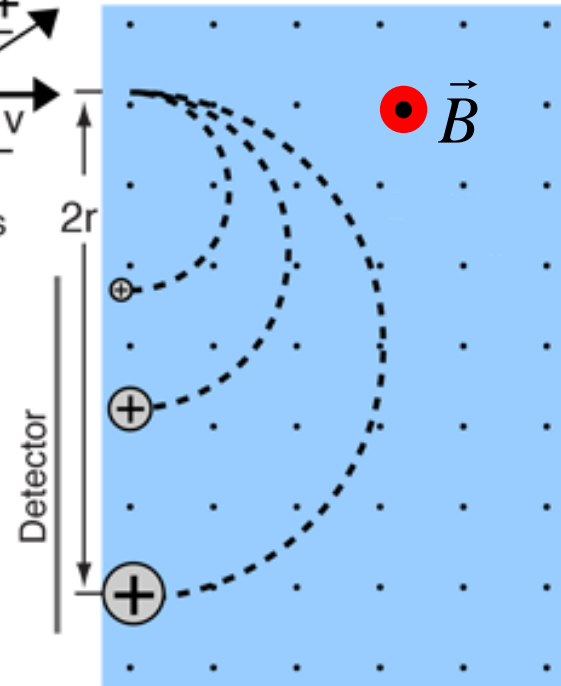
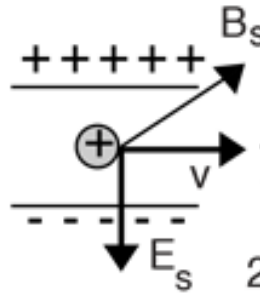


Ionização de átomos ou moléculas



Aplicação de tensão aceleradora

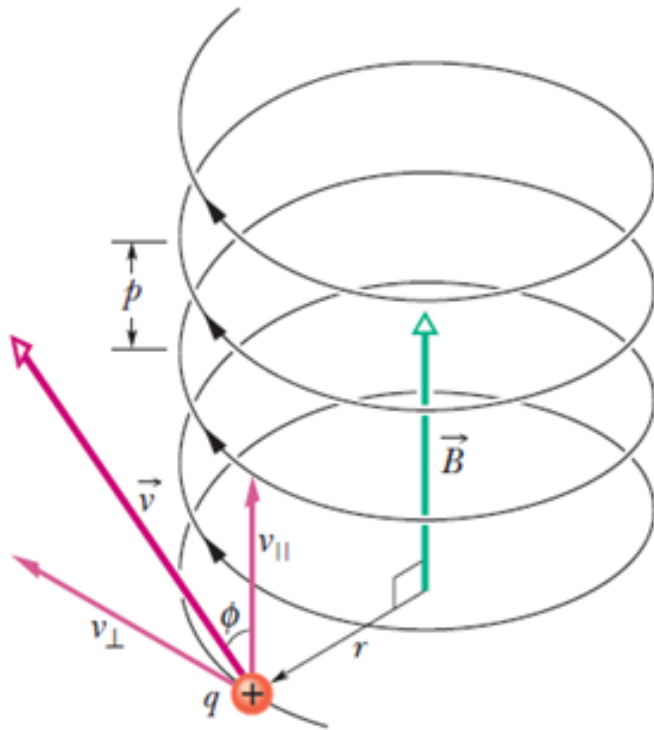
Seletor de velocidades



$$r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

Após a ionização, aceleração e a seleção pela velocidade, os íons se movem em uma região do espectrômetro de massa onde o raio do caminho e, portanto, a posição sobre o detector é uma função da massa da partícula.

- Carga elétrica lançada em Campo Magnético Uniforme com  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$



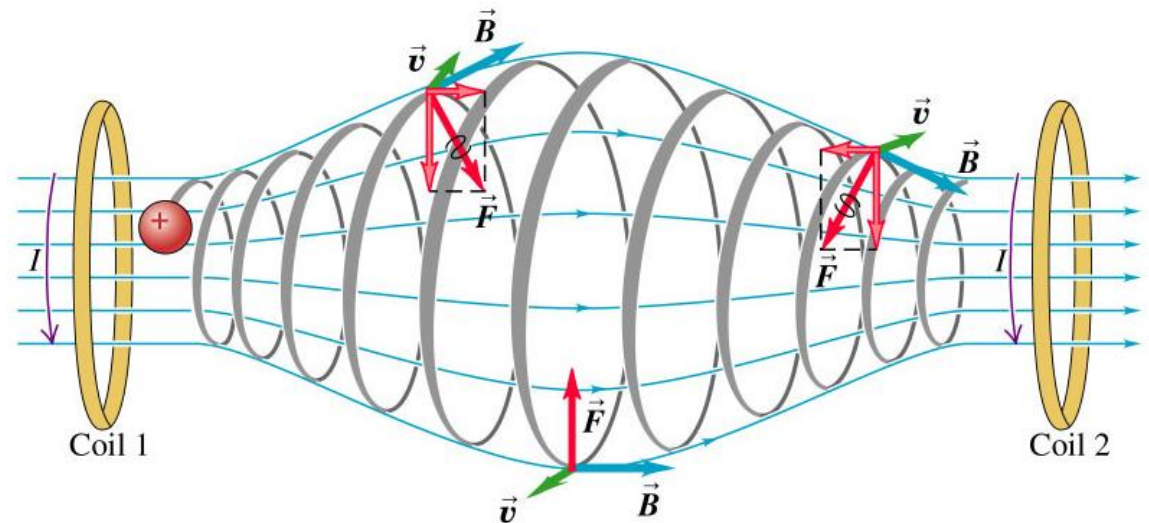
**A composição dos movimentos paralelo e perpendicular ao Campo Magnético, faz surgir um movimento resultante com trajetória helicoidal.**

**Determinação do passo ( $p$ ) da hélice:**

$$p = v_{||} \cdot T \longrightarrow p = v \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{q \cdot B} \cdot \cos \phi$$

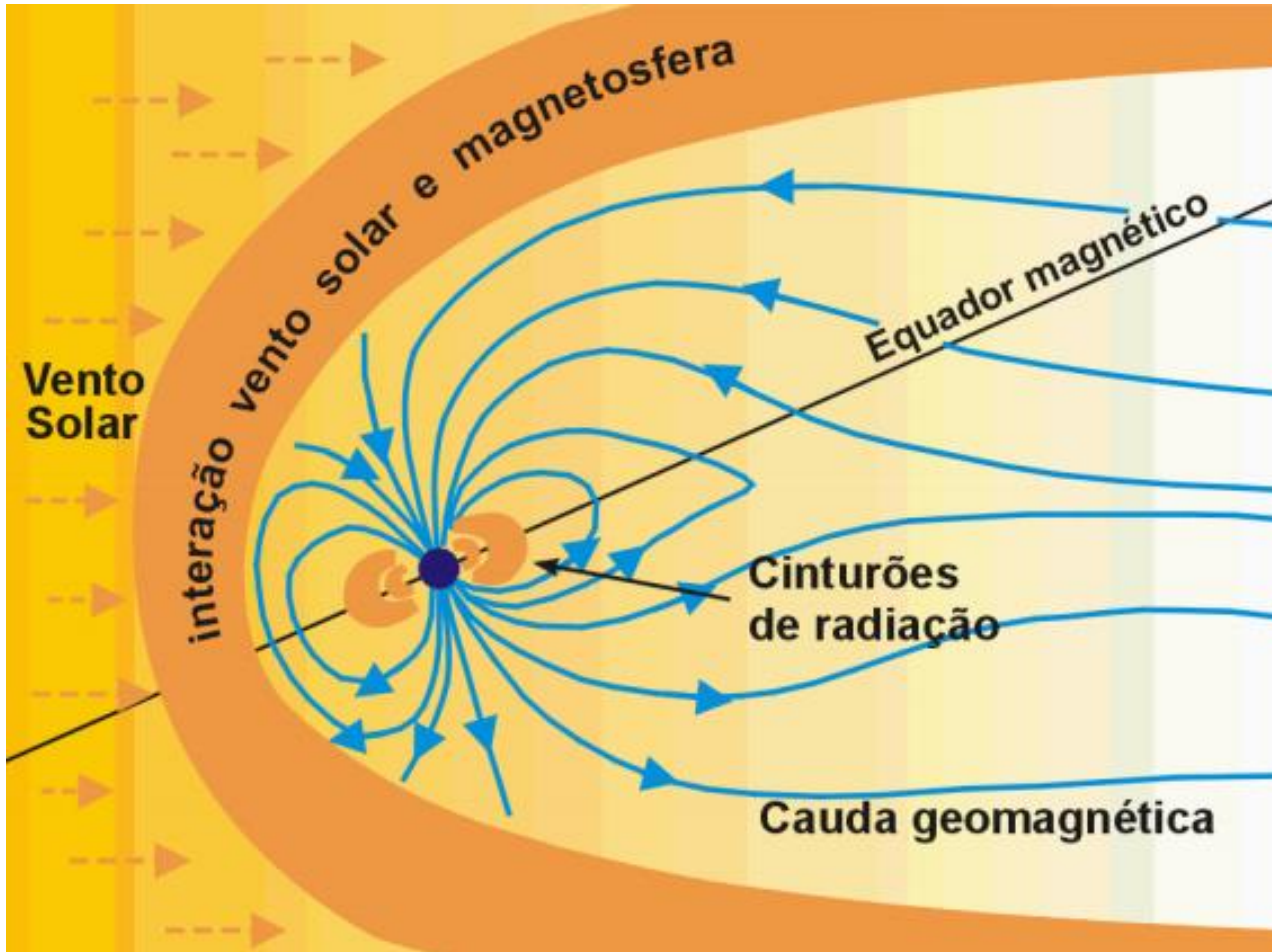
### Garrafa Magnética

**Processo para confinamento de partículas eletrizadas, aplicando Campo Magnético variável.**



# Magnetosfera

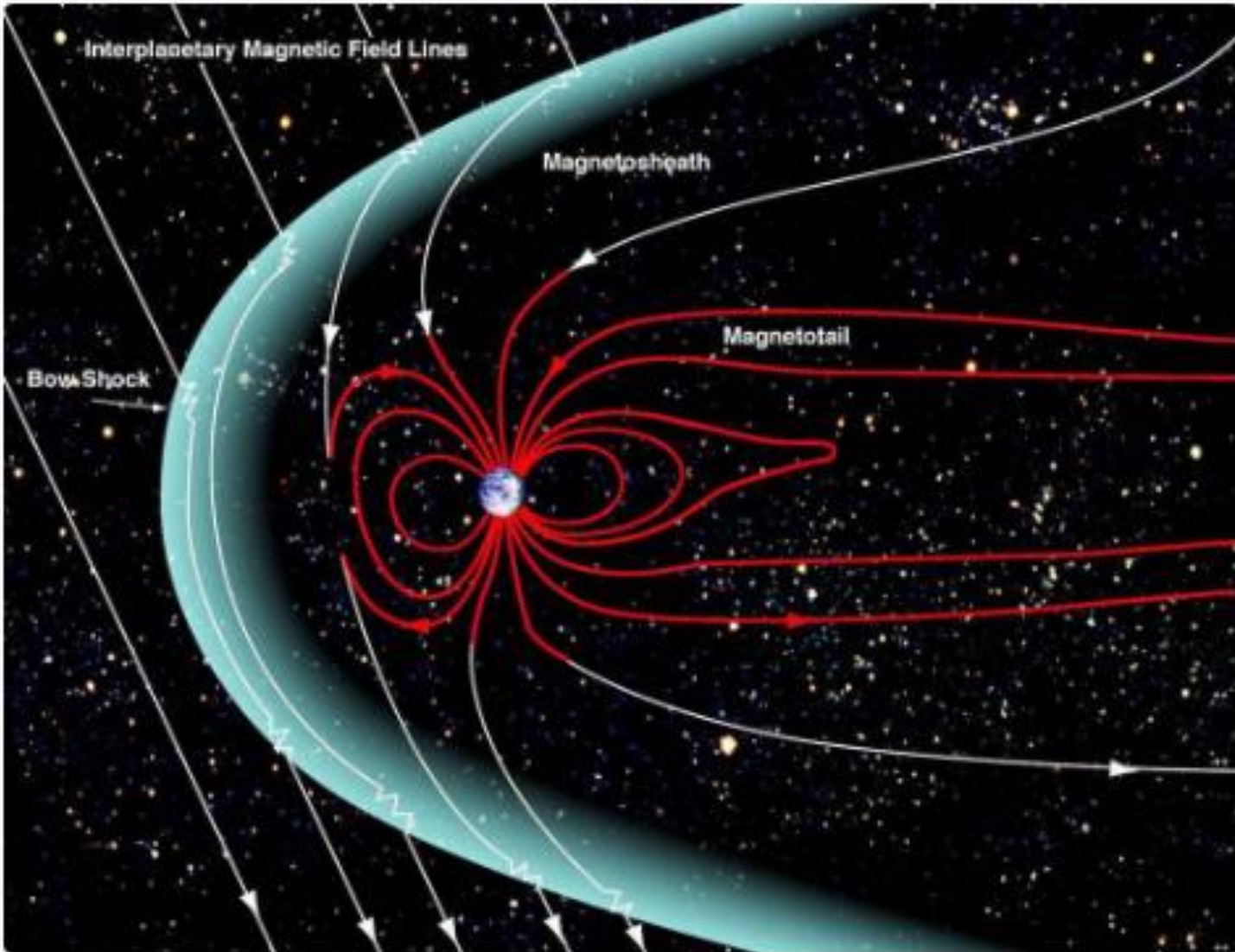
A **magnetosfera** é a região do espaço em torno da Terra, onde o campo magnético dominante é o campo magnético da Terra, em vez do campo magnético do espaço interplanetário. A **magnetosfera** é formada pela interação do vento solar com o campo magnético da Terra.



$p^+, e^-, \nu, \text{íons}$   
400 a 800 km/s  
5 partículas/cm<sup>3</sup>

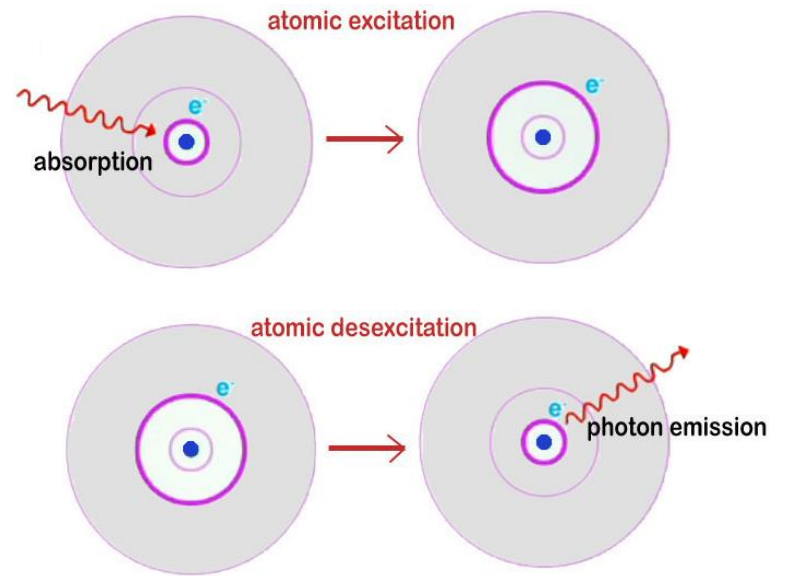
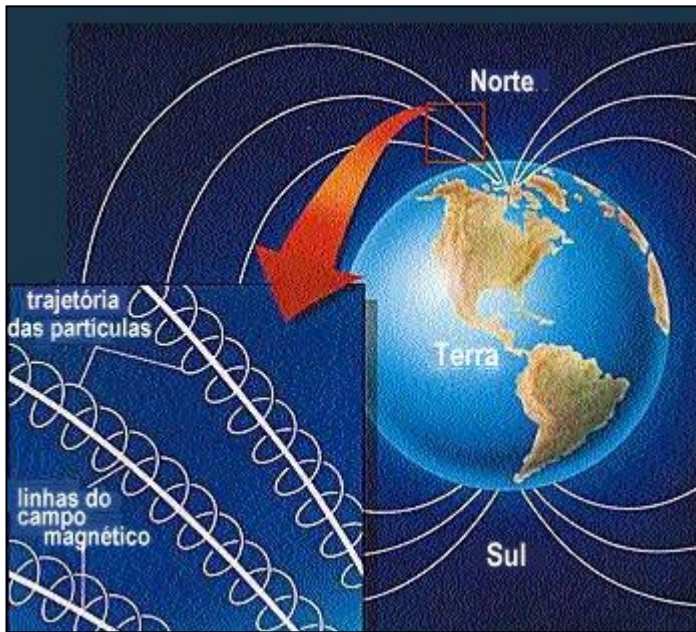


# Magnetosfera da Terra



A magnetosfera da Terra (Imagem: Reprodução/NASA/Goddard/Aaron Kaase)

# Auroras Austral e Boreal



## Aurora Austral



Dumont d'Urville 66° 39.77' S 140° 00.08' E 06/03/2016  
Antarctica

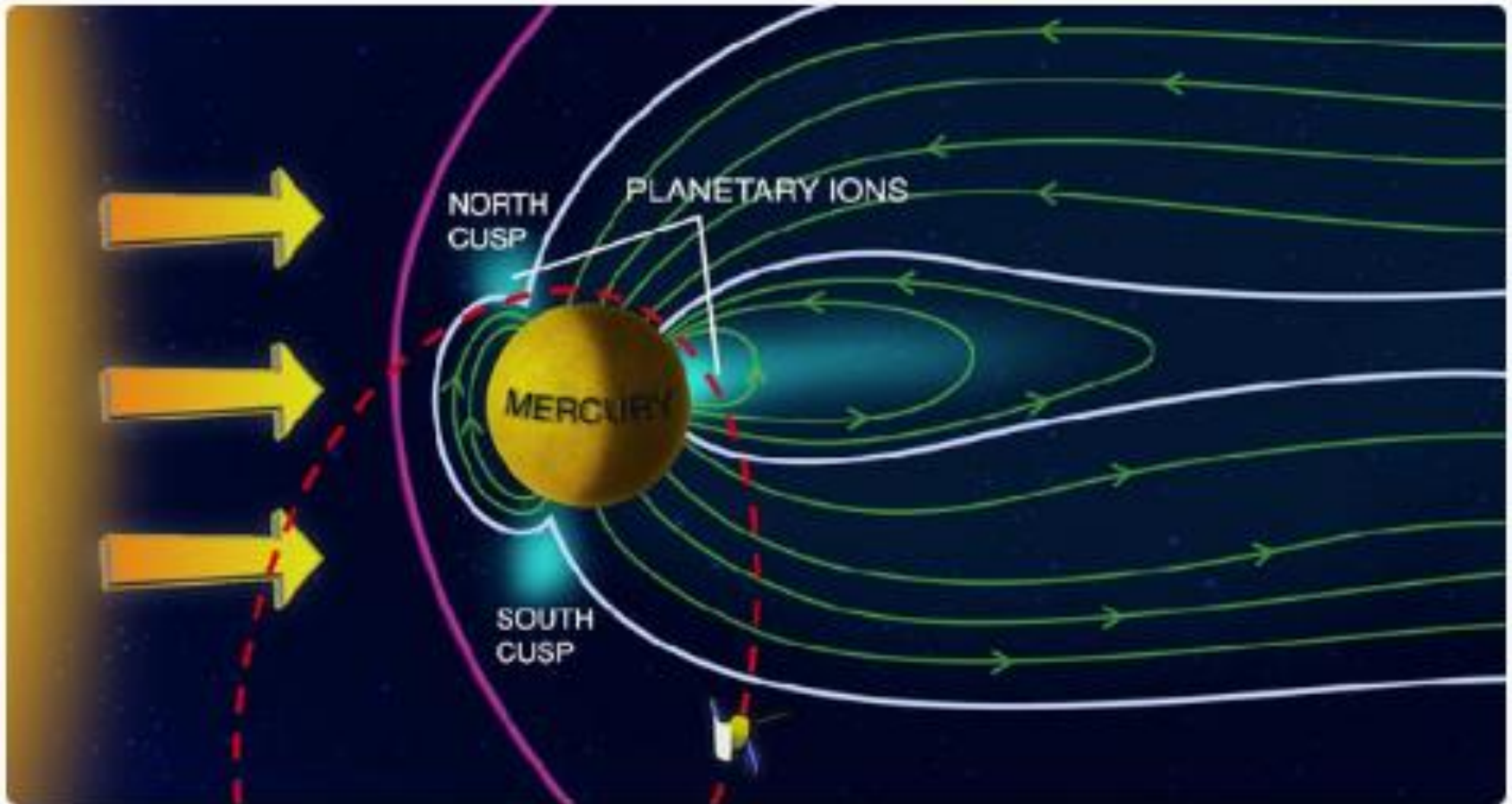
## Aurora Boreal



Norway's Steinvikholmen Castle\_

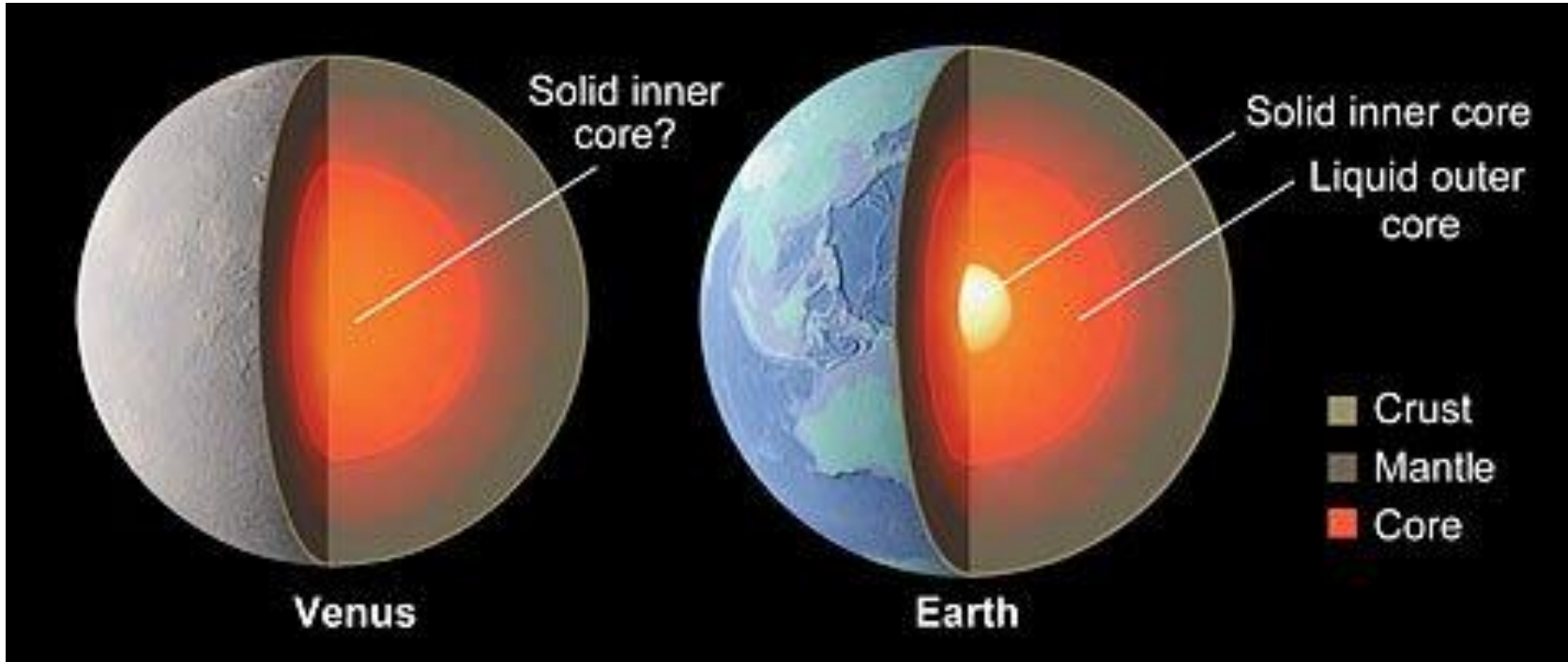


## Magnetosfera de Mercúrio



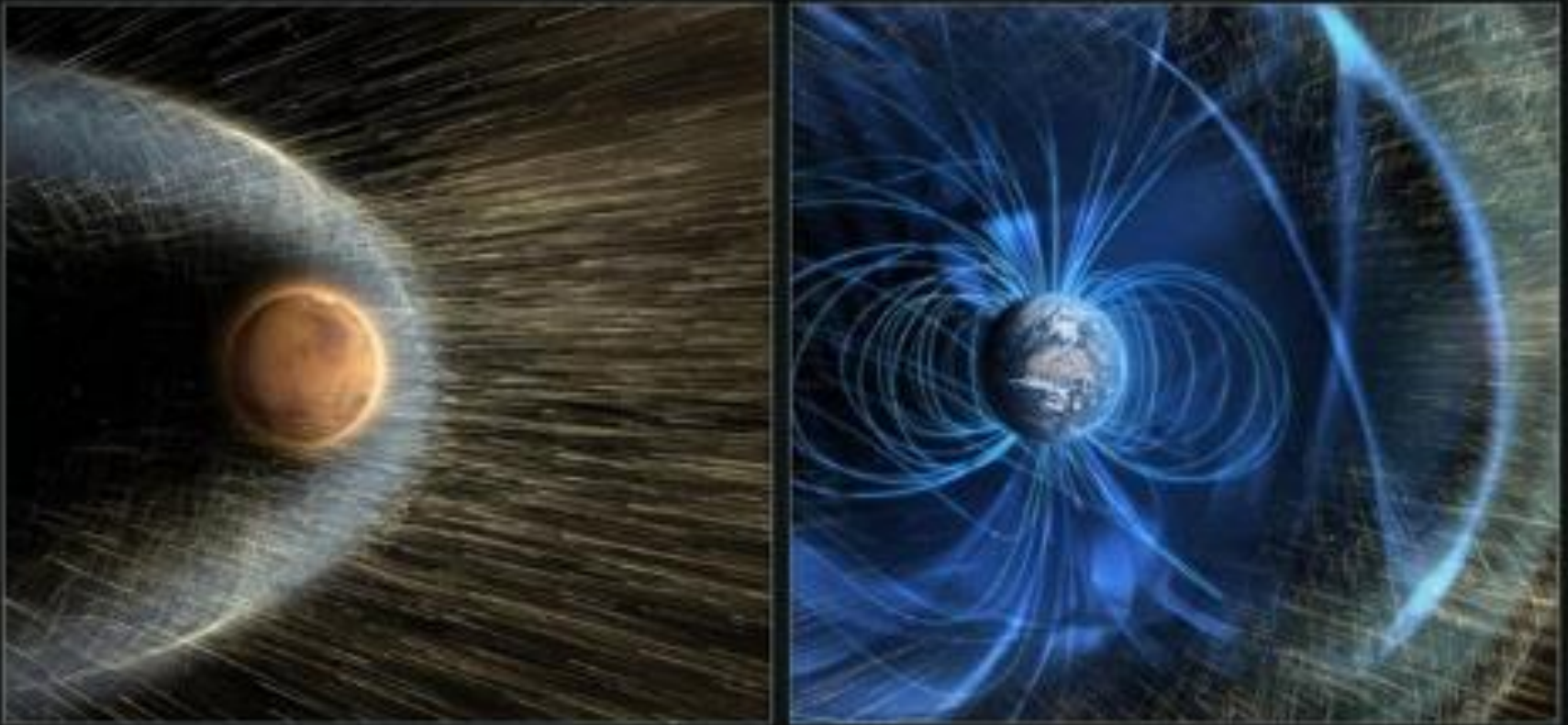
Esquema que mostra a magnetosfera e o fluxo do plasma como observado pela sonda Messenger (Imagem: Reprodução/Courtesy of Science/AAAS)

# Magnetosfera de Vênus



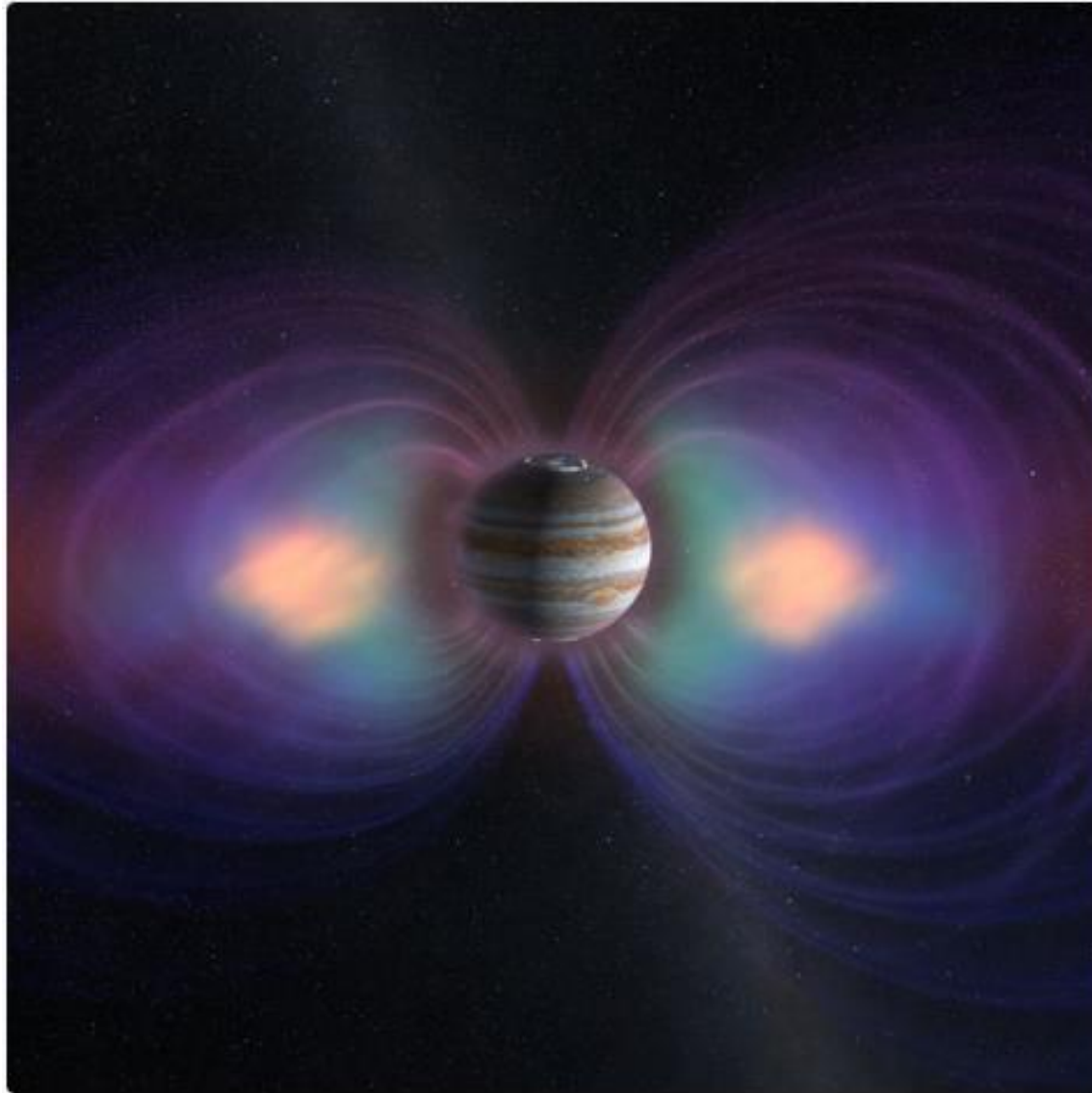


## *Magnetosfera de Marte*



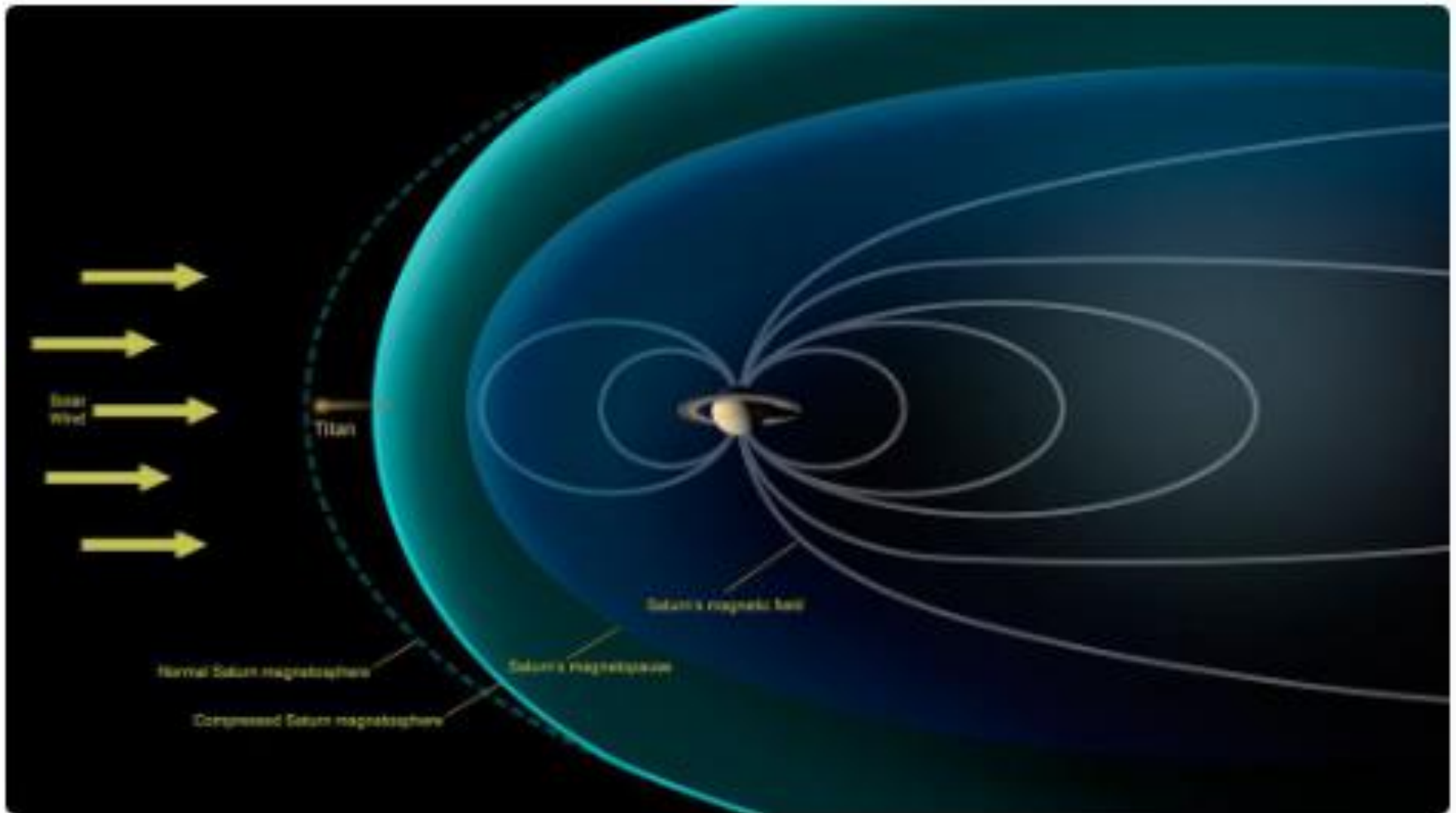
Na ausência de um campo magnético, Marte acaba perdendo sua atmosfera de modo que não acontece com a Terra (Imagem: Reprodução/NASA/GSFC)

# *Magnetosfera de Júpiter*



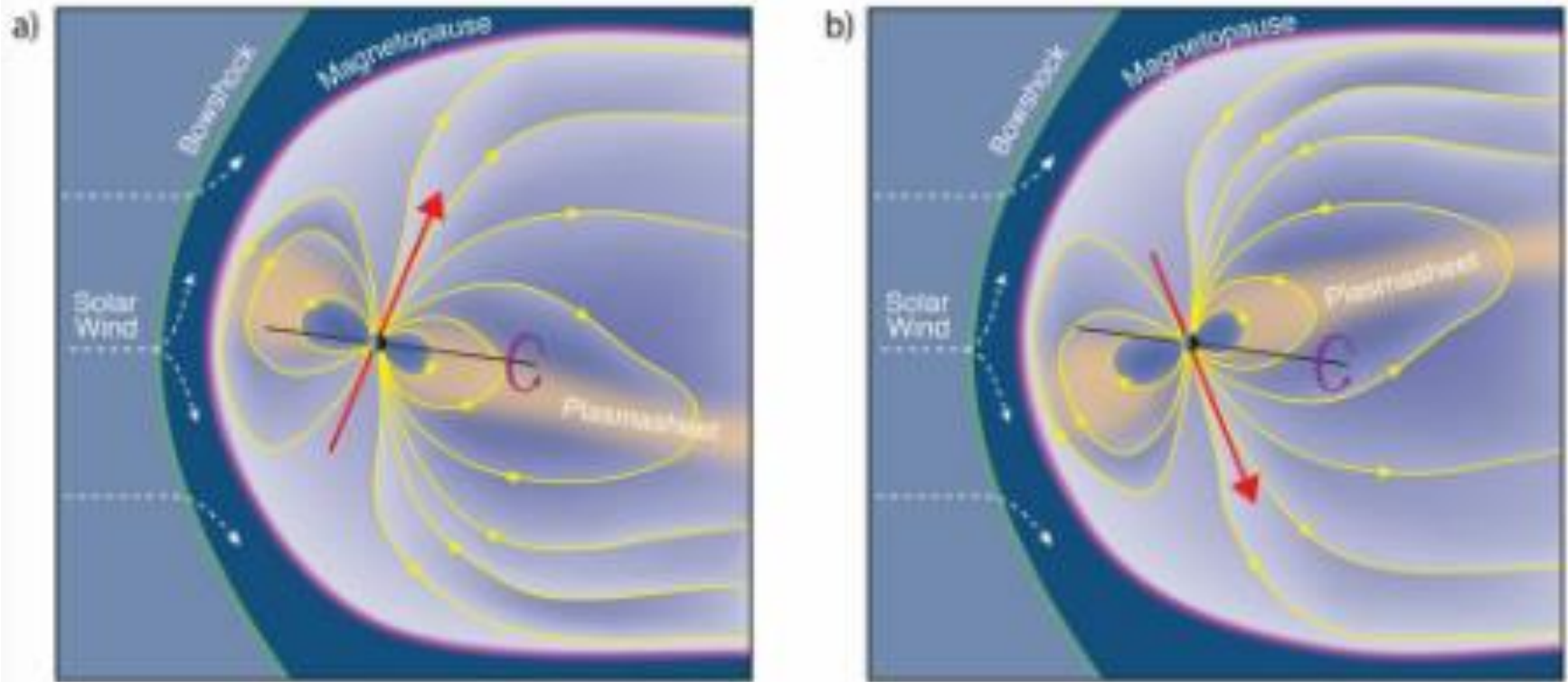
A magnetosfera joviana (Imagem: Reprodução/NASA)

# Magnetosfera de Saturno



Representação da magnetosfera de Saturno bastante comprimida quando foi observada pela sonda Cassini (Imagem: Reprodução/NASA/JPL-Caltech)

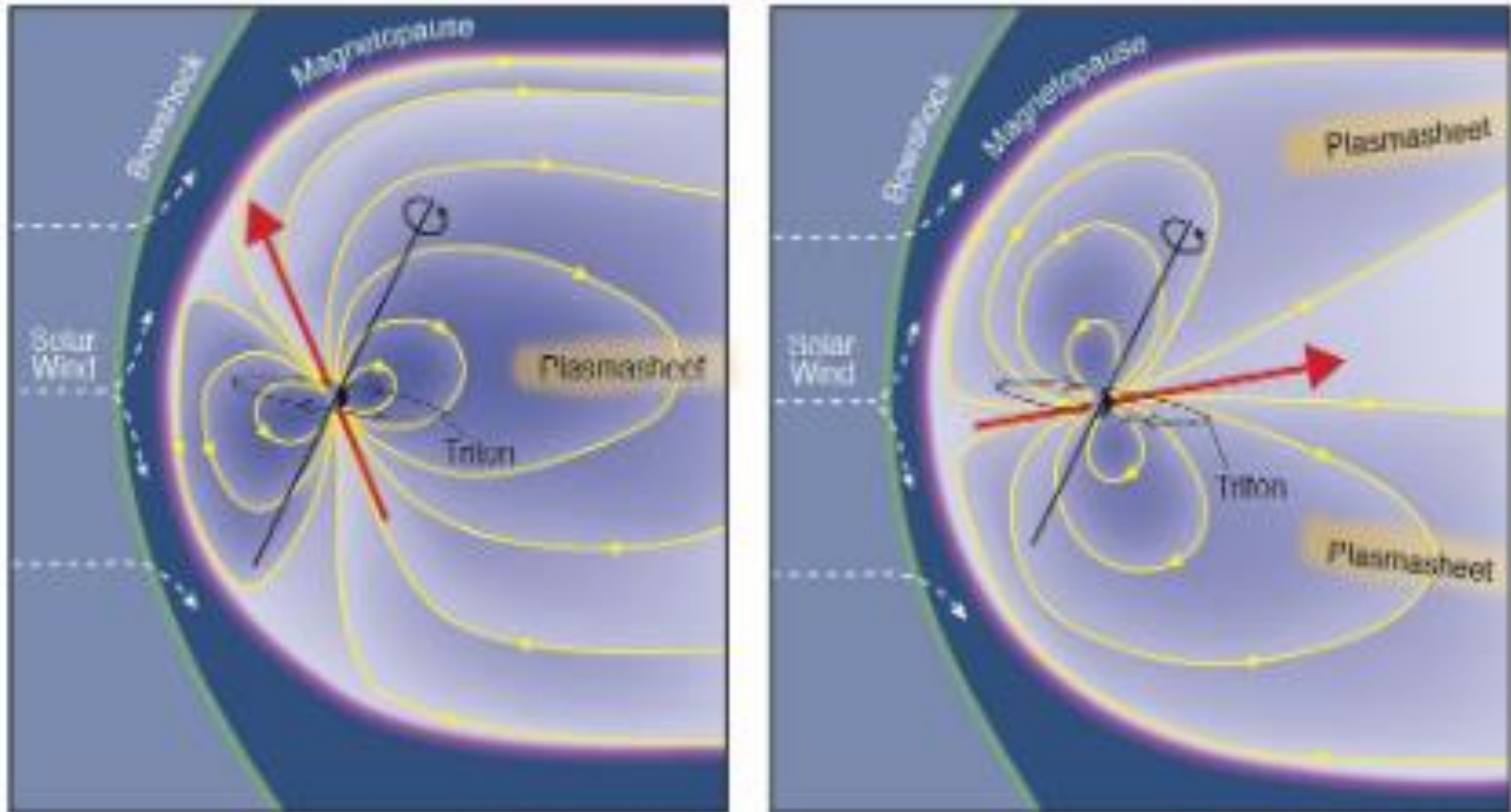
# Magnetosfera de Urano



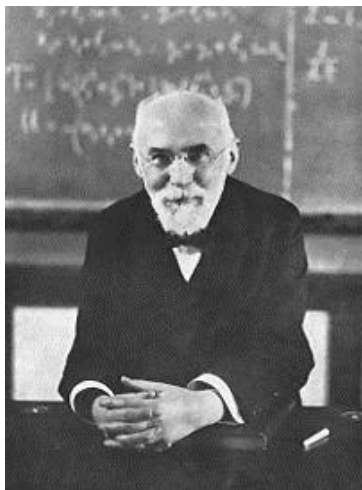
Representação da magnetosfera de Urano (Imagem: Reprodução/Fran Bagenal & Steve Bartlett)



## *Magnetosfera de Netuno*



Representação da magnetosfera netuniana na era Voyager (Imagem: Reprodução/Fran Bagenal & Steve Bartlett)



Hendrik A. Lorentz  
1853 - 1928  
Nobel de **1.902**  
“*Eletromagnetismo*”

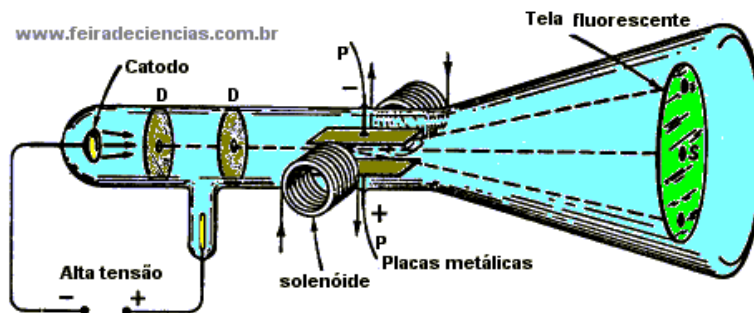
- Caso geral: presença de campos **elétrico** e **magnético**

## Força de Lorentz

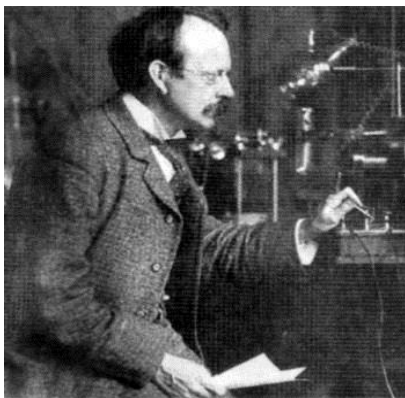
$$\vec{F}_{total} = \vec{F}_{elétrica} + \vec{F}_{magnética}$$

$$\vec{F}_{total} = q \cdot \vec{E} + q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

## Determinação de $q/m$ do elétron



$$\frac{q}{m} = -1,759 \cdot 10^{+11} C/kg$$



Joseph J. Thomson  
1856 - 1940  
Nobel de **1.906**  
“*Condução elétrica em gases*”

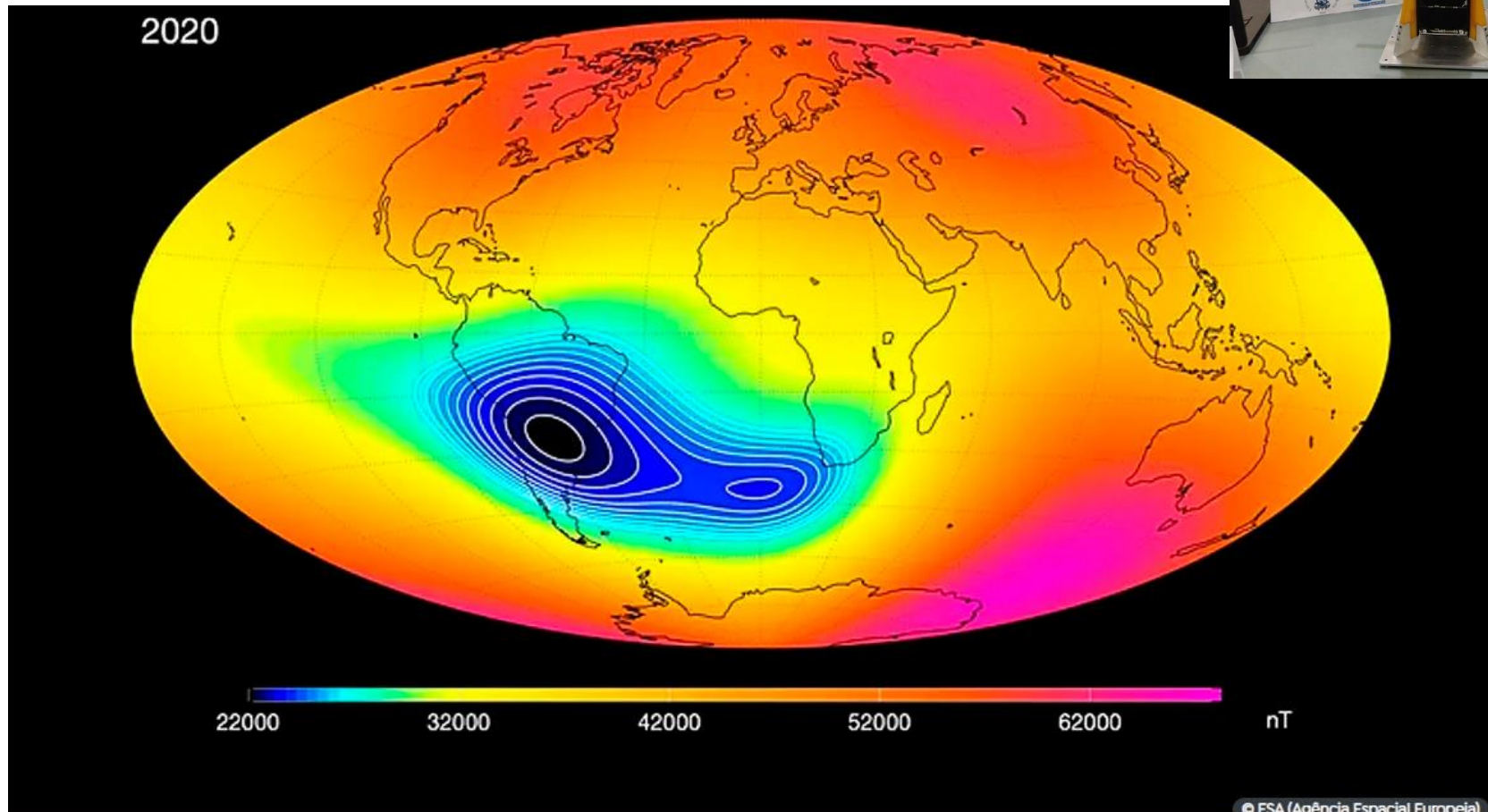
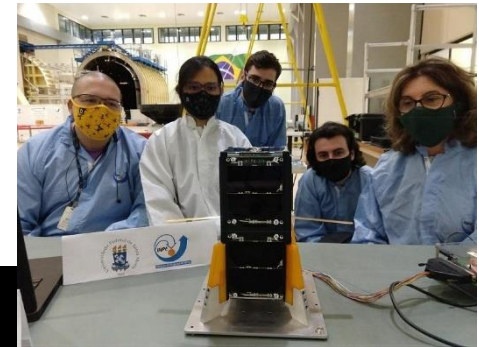
## Definição do “tesla (T)”

Uma partícula carregando a carga elétrica ( $Q$ ) de 1 coulomb, em movimento com velocidade ( $V$ ) de 1 metro por segundo perpendicular ao campo magnético e sentindo uma força magnética ( $F_M$ ) de 1 newton está submetida a um campo magnético ( $B$ ) de 1 tesla.

# Anomalia Magnética do Atlântico Sul

Efeitos: avarias causadas pela incidência de radiação cósmica, p.e., em satélites e em equipamentos de comunicação e geoposicionamento, além de sistemas eletroeletrônicos.

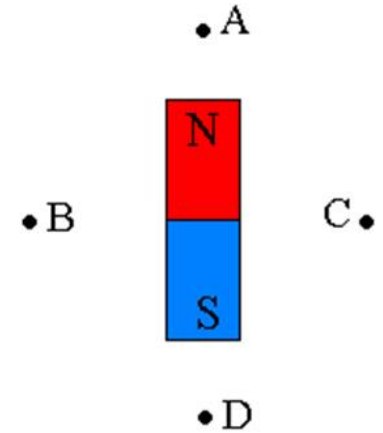
**Nanossatélite NanoSatC-Br2**  
INPE/COESU/MCTI/UFSM/2021



# Exercícios

1) (UFRS) Uma pequena bússola é colocada próxima de um ímã permanente. Em quais posições assinaladas na figura a extremidade norte da agulha apontará para o alto da página?

- a) somente em A ou D
- b) somente em B ou C
- c) somente em A, B ou D
- d) somente em B, C ou D
- e) em A, B, C ou D



2) Veja a figura ao lado:



Nela temos uma barra magnetizada aproximando de uma pequena bola de metal. Diante dessa situação podemos concluir que a bola de ferro:

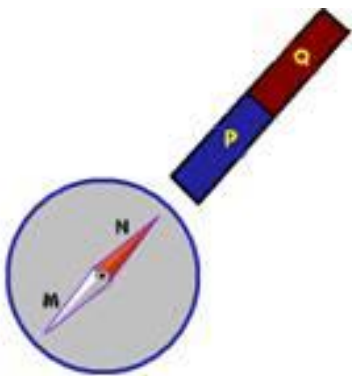
- a) será atraída pelo polo norte e repelida pelo polo sul.
- b) será atraída pelo polo sul e repelida pelo polo norte.
- c) será atraída por qualquer um dos polos da barra.
- d) será repelida por qualquer um dos polos da barra.
- e) será repelida pela parte mediana da barra magnetizada.



3) (PUC-MG) Uma bússola pode ajudar uma pessoa a se orientar devido à existência, no planeta Terra, de:

- a) um mineral chamado magnetita
- b) ondas eletromagnéticas
- c) um campo polar
- d) um campo magnético
- e) um anel magnético

4) (UFB) Uma bússola tem sua agulha magnética orientada com um polo (M) indicando Roraima e o outro (N) indicando o Paraná. A seguir, aproxima-se a agulha magnética dessa bússola bem perto da extremidade de um ímã, cujos polos são (P) e (Q), até que o equilíbrio estável seja atingido (ver figura).



- a) Quais são os polos magnéticos M e N da agulha magnética da bússola?
- b) Quais são os polos P e Q do ímã?

5) (UFPA) A Terra é considerada um ímã gigantesco, que tem as seguintes características:

- a) O polo Norte geográfico está exatamente sobre o polo sul magnético, e o Sul geográfico está na mesma posição que o norte magnético.
- b) O polo Norte geográfico está exatamente sobre o polo norte magnético, e o Sul geográfico está na mesma posição que o sul magnético.
- c) O polo norte magnético está próximo do polo Sul geográfico, e o polo sul magnético está próximo do polo Norte geográfico.
- d) O polo norte magnético está próximo do polo Norte geográfico, e o polo sul magnético está próximo do polo Sul geográfico.
- e) O polo Norte geográfico está defasado de um ângulo de  $45^\circ$  do polo sul magnético, e o polo Sul geográfico está defasado de  $45^\circ$  do polo norte magnético.

6) (PUC-MG) A figura mostra o nascer do Sol. Dos pontos A, B, C e D, qual deles indica o Sul geográfico?



7) (UEMG-MG) Observe as afirmativas a seguir:

- I. Numa bússola, o polo norte é o polo da agulha que aponta para o norte geográfico da Terra.
- II. Polo de um ímã é a região desse ímã onde o magnetismo é mais intenso
- III. Ao se cortar um ímã, obtêm-se dois ímãs com um único polo cada um.

Estão corretas:

a) todas

b) I e II

c) II e III

d) apenas

III e) apenas II

8) (UFRGS) A figura mostra um pedaço de ferro nas proximidades de um dos pólos de um ímã permanente.



Selecione a alternativa que completa corretamente as lacunas nas seguintes afirmações sobre essa situação.

A extremidade L do pedaço de ferro é ..... pelo polo K do ímã.

Chamando o polo sul do ímã de S e o norte de N, uma possível distribuição dos polos nas extremidades K, L e M é, respectivamente, .....

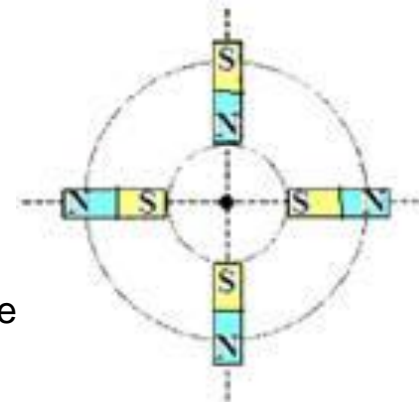
- a) atraída – N, N e S
- b) atraída – N, S e N
- c) repelida – N, S e N
- d) repelida – S, S e N
- e) repelida – S, N e S

9) (UNIFESP-SP) Um bonequinho está preso, por um ímã a ela colado, à porta vertical de uma geladeira.

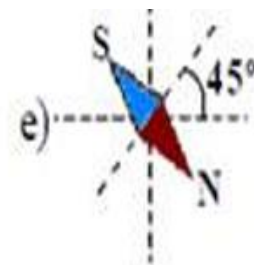
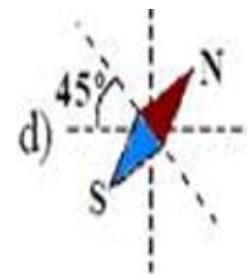
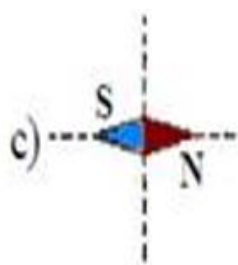
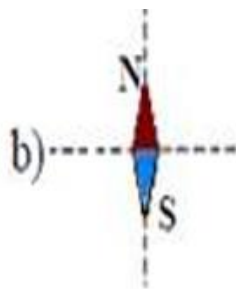
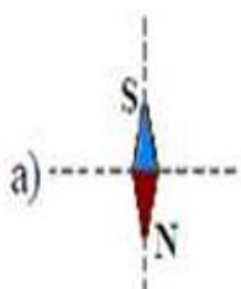
- a) Desenhe esquematicamente esse bonequinho no caderno de respostas, representando e nomeando as forças que atuam sobre ele.
- b) Sendo  $m = 20\text{g}$  a massa total da bonequinho com o ímã e  $\mu = 0,50$  o coeficiente de atrito estático entre o ímã e a porta da geladeira, qual deve ser o menor valor da força magnética entre o ímã e a geladeira para que o bonequinho não caia? Dado:  $g = 10\text{m/s}^2$ .



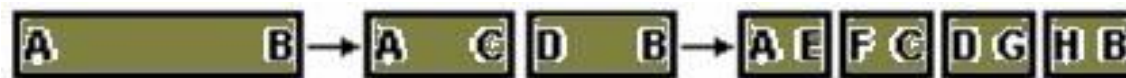
10) (FUVEST-SP) Quatro ímãs iguais em forma de barra, com as polaridades indicadas, estão apoiados sobre uma mesa horizontal, como na figura, vistos de cima. Uma pequena bússola é também colocada na mesa, no ponto central P, equidistante dos ímãs, indicando a direção e o sentido do campo magnético dos ímãs em P.



Não levando em conta o efeito do campo magnético terrestre, a figura que melhor representa a orientação da agulha da bússola é:



11) (CEFET-MG) Um ímã AB em forma de barra é partido ao meio, e os pedaços resultantes também são divididos em duas partes iguais, conforme a seguinte figura.



Pendurando-se os quatro pedaços, eles se orientam na direção Norte-Sul geográfico. Os polos que apontam para o mesmo sentido são

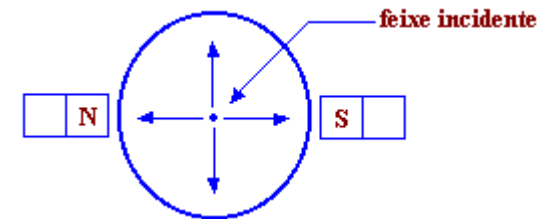
- a) E, C, G, B.
- b) E, F, G, H.
- c) A, F, G, B.
- d) A, C, D, B.



12) Uma carga elétrica puntiforme de  $1,0 \cdot 10^{-5}\text{C}$  passa com velocidade  $2,5 \text{ m/s}$  na direção perpendicular a um campo magnético e fica sujeita a uma força de intensidade  $5,0 \cdot 10^{-4}\text{N}$ .

- Determine a intensidade deste campo.
- Faça um esquema representando as grandezas vetoriais envolvidas.

13) (U. F. UBERLÂNDIA – MG) A figura mostra a tela de um osciloscópio onde um feixe de elétrons, que provém perpendicularmente da página para seus olhos, incide no centro da tela. Aproximando-se lateralmente da tela dois ímãs iguais com seus respectivos pólos mostrados, verificar-se-á que o feixe:



- será desviado para cima ↑
- será desviado para baixo ↓
- será desviado para a esquerda ←
- será desviado para a direita →
- não será desviado.

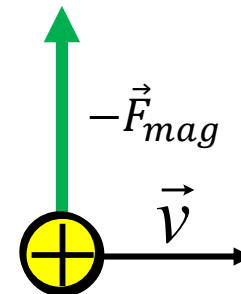
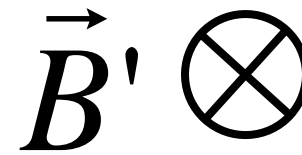
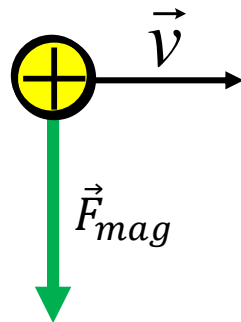
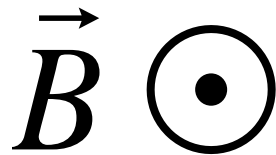
## Resolução do exercício 12:

$$\left. \begin{aligned} q &= +1,0 \cdot 10^{-5} \text{ C} \\ v &= 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ F_{mag} &= 5 \cdot 10^{-4} \text{ N} \end{aligned} \right\}$$

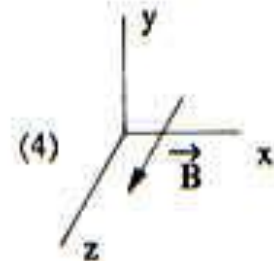
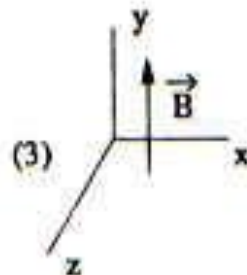
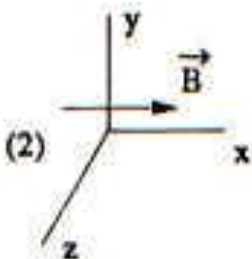
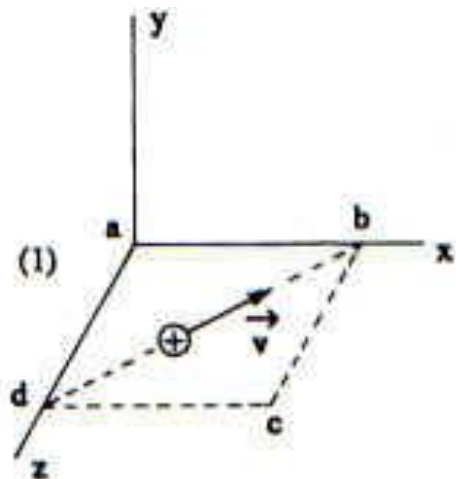
$$F_{mag} = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$$
$$5 \cdot 10^{-4} = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot B \cdot \sin 90^\circ$$

$$B = 2 \cdot 10^{+1} \text{ teslas} \rightarrow \boxed{B = 2 \cdot 10^{+1} \text{ T}}$$

$$\boxed{\vec{F}_{mag} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}}$$



- 14) (UNESP) Uma partícula com carga elétrica positiva desloca-se no plano  $Z - X$  na direção  $d - b$ , que é diagonal do quadrado  $a, b, c, d$  indicado na figura (1). É possível aplicar na região do movimento da carga um campo magnético uniforme nas direções dos eixos (um de cada vez), como é mostrado nas figuras (2), (3) e (4).



Em quais casos a força sobre a partícula será no sentido negativo do eixo Y?

- a) Somente no caso 2.
- b) Nos casos 2 e 4.
- c) Somente no caso 3.
- d) Nos casos 3 e 4.
- e) Somente no caso 4.

15) (UFRS) No interior de um acelerador de partículas existe um campo magnético muito mais intenso que o campo magnético terrestre, orientado de tal maneira que um elétron lançado horizontalmente do sul para o norte, através do acelerador é desviado para o oeste. O campo magnético do acelerador aponta:

- a) do norte para o sul
- b) do leste para o oeste
- c) do oeste para o leste
- d) de cima para baixo
- e) de baixo para cima

16) (PUC) Um elétron num tubo de raios catódicos está se movendo paralelamente ao eixo do tubo com velocidade  $10^7$  m/s. Aplicando-se um campo de indução magnética de 2T, paralelo ao eixo do tubo, a força magnética que atua sobre o elétron vale:

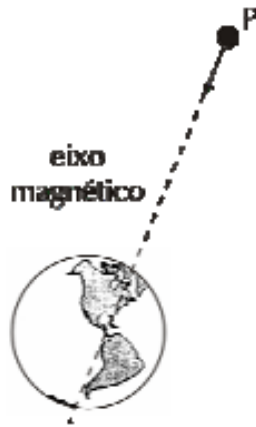
- a)  $3,2 \cdot 10^{-12}$  N
- b) nula
- c)  $1,6 \cdot 10^{-12}$  N
- d)  $1,6 \cdot 10^{-26}$  N
- e)  $3,2 \cdot 10^{-26}$  N

17) (UEL-PR) Uma partícula eletrizada, em movimento retilíneo uniforme e horizontal, penetra na região onde existe um campo magnético uniforme vertical. Ao penetrar no campo magnético, o seu movimento será

- a) circular uniforme.
- b) circular variado.
- c) retilíneo retardado.
- d) retilíneo acelerado.
- e) ainda retilíneo uniforme.



- 18) (FUVEST-SP) Raios cósmicos são partículas de grande velocidade, proveniente do espaço, que atingem a Terra em todas as direções. Sua origem é, atualmente, objeto de estudos. A Terra possui um campo magnético semelhante ao criado por um ímã em forma de barra cilíndrica, cujo eixo coincide com o eixo magnético da Terra. Uma partícula cósmica P com carga elétrica positiva, quando ainda longe da Terra, aproxima-se percorrendo uma reta que coincide com o eixo magnético da Terra, como mostra a figura abaixo.



Desprezando a atração gravitacional, podemos afirmar que a partícula, ao se aproximar da Terra:

- aumenta sua velocidade e não se desvia de sua trajetória retilínea.
- diminui sua velocidade e não se desvia de sua trajetória retilínea.
- tem sua trajetória desviada para Leste.
- tem sua trajetória desviada para Oeste.
- não altera sua velocidade nem se desvia de sua trajetória retilínea.

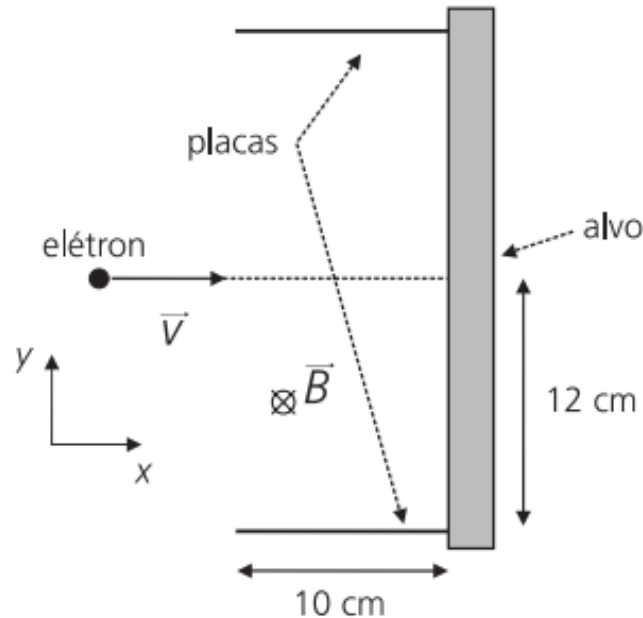
- 19) (ITA-SP) A agulha de uma bússola está apontando corretamente na direção norte-sul. Um elétron se aproxima a partir do norte com velocidade  $v$ , segundo a linha definida pela agulha. Neste caso
- a velocidade do elétron deve estar necessariamente aumentando em módulo.
  - a velocidade do elétron estará certamente diminuindo em módulo.
  - o elétron estará se desviando para leste.
  - o elétron se desviará para oeste.
  - nada do que foi dito anteriormente é verdadeiro.

- 20) (ITA-SP) Uma partícula com carga  $q$  e massa  $M$  move-se ao longo de uma reta com velocidade  $v$  constante numa região onde estão presentes um campo elétrico de  $500 \text{ V/m}$  e um campo de indução magnética de  $0,10 \text{ T}$ . Sabe-se que ambos os campos e a direção de movimento da partícula são mutuamente perpendiculares. A velocidade da partícula é:

- $500 \text{ m/s}$
- constante para quaisquer valores dos campos elétrico e magnético
- $5,0 \times 10^3 \text{ m/s}$
- $5,0 \times 10 \text{ m/s}$
- faltam dados para o cálculo

21) A utilização de campos elétrico e magnético cruzados é importante para viabilizar o uso da técnica híbrida de tomografia de ressonância magnética e de raios X.

A figura abaixo mostra parte de um tubo de raios X, onde um elétron, movendo-se com velocidade  $v = 5,0 \times 10^5$  m/s ao longo da direção  $x$ , penetra na região entre as placas onde há um campo magnético uniforme,  $\vec{B}$ , dirigido perpendicularmente para dentro do plano do papel. A massa do elétron é  $m_e = 9 \times 10^{-31}$  kg e a sua carga elétrica é  $q = -1,6 \times 10^{-19}$  C. O módulo da força magnética que age sobre o elétron é dado por  $F = qvB \sin\theta$ , onde  $\theta$  é o ângulo entre a velocidade e o campo magnético.

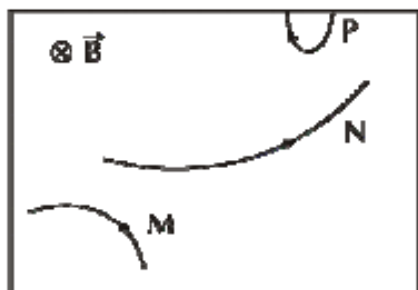


a) Sendo o módulo do campo magnético  $B = 0,010$  T, qual é o módulo do campo elétrico que deve ser aplicado na região entre as placas para que o elétron se mantenha em movimento retilíneo uniforme?

b) Numa outra situação, na ausência de campo elétrico, qual é o máximo valor de  $B$  para que o elétron ainda atinja o alvo?

O comprimento das placas é de 10 cm.

- 22) (UFMG) Na figura a seguir, três partículas carregadas M, N e P penetram numa região onde existe um campo magnético uniforme  $B$  (vetor), movendo-se em uma direção perpendicular a esse campo. As setas indicam o sentido do movimento de cada partícula.



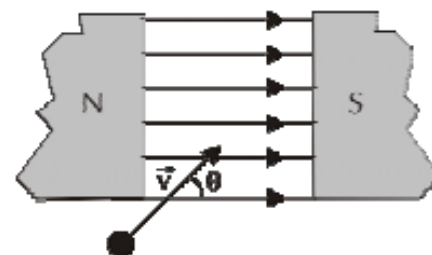
A respeito das cargas das partículas, pode-se afirmar que:

- M, N e P são positivas.
- N e P são positivas.
- somente M é positiva.
- somente N é positiva.
- somente P é positiva.

- 23) (MACKENZIE-SP) Partículas de carga  $q$  e massa  $m$  são aceleradas, a partir do repouso, por uma diferença de potencial  $U$  e penetram numa região de indução magnética  $B$ , perpendicular à velocidade  $\vec{v}$  das partículas. Sendo o raio das órbitas circulares igual a  $R$  e desprezando as perdas, assinale a alternativa correta:

- $m/q = U/R^2B$
- $q/m = R^2B^2/2U$
- $q/m = 4U/RB^2$
- $q/m = 2U/R^2B^2$
- $m/q = 3U/R^2B$

- 24) (UECE) Admita que um próton, dotado de velocidade  $\vec{v}$ , penetra em um campo magnético uniforme, conforme mostra a figura a seguir.



A direção do vetor  $\vec{v}$  forma um ângulo  $\theta$  com as linhas de indução do campo magnético. A trajetória do próton no interior do campo magnético é uma:

- reta
- circunferência
- parábola
- hélice

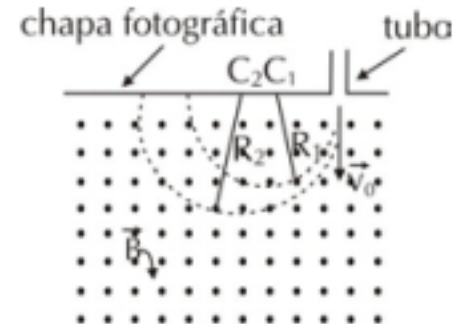
- 25) (UNITAU-SP) Um feixe de raios catódicos, que nada mais é que um feixe de elétrons, está preso a um campo magnético girando numa circunferência de raio  $R = 2,0\text{cm}$ . Se a intensidade do campo é de  $4,5 \times 10^{-3}\text{T}$  e sua carga é  $1,6 \times 10^{-19}\text{C}$  e  $m = 9,11 \times 10^{-31}\text{kg}$ , podemos dizer que a velocidade dos elétrons, no feixe, vale:

- $2,0 \times 10^3\text{ m/s}$
- $1,6 \times 10^4\text{ m/s}$
- $1,6 \times 10^5\text{ m/s}$
- $1,6 \times 10^6\text{ m/s}$
- $1,6 \times 10^7\text{ m/s}$

- 26) (UFRJ) A figura ilustra o princípio de funcionamento do espectrômetro de massa, utilizado para estudar isótopos de um elemento.



Laboratório de Espectrometria de Massa de Macromoléculas (LEMM) – PUC - RJ



Íons de dois isótopos de um mesmo elemento, um de massa  $m_1$  e outro de massa  $m_2$ , passam por um tubo onde há um seletor de velocidades. Assim, apenas os que têm velocidade  $\vec{v}_0$  conseguem penetrar numa região onde há

um campo magnético uniforme  $\vec{B}$ , normal ao plano da figura e apontando para fora. Sob a ação do campo magnético, os íons descrevem semicírculos e vão se chocar com uma chapa fotográfica, sensibilizando-a. As marcas na chapa permitem calcular os raios  $R_1$  e  $R_2$  dos respectivos semicírculos.

Suponha que, ao se ionizar, cada átomo tenha adquirido a mesma carga  $q$ .

- Determine o sinal da carga  $q$ . Justifique sua resposta.
- Calcule a razão  $m_2/m_1$  em função de  $R_1$  e  $R_2$ .



# Referências

- <http://educacao.globo.com/fisica/assunto/eletromagnetismo/inducacao.html>
- [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ley\\_de\\_Faraday\\_\(GIE\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ley_de_Faraday_(GIE))
- <http://campos-magneticos.webnode.com/lei-de-amp%C3%A8re/>
- [http://alessandrosantos.com.br/emanuel/usp/fisica3/notas\\_de\\_aula/node72.html](http://alessandrosantos.com.br/emanuel/usp/fisica3/notas_de_aula/node72.html) (convenção ímã)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Earth%27s\\_magnetic\\_field](https://en.wikipedia.org/wiki/Earth%27s_magnetic_field)
- <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/mod08/m.html>
- [https://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria\\_do\\_d%C3%ADnamo](https://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria_do_d%C3%ADnamo)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Walter\\_M.\\_Elsasser](https://en.wikipedia.org/wiki/Walter_M._Elsasser)
- <http://interna.coceducacao.com.br/ebook/pages/9898.htm>
- <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/poles/polesexp.html>
- [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth\\_Magnetic\\_Field\\_Declination\\_from\\_1590\\_to\\_1990.gif](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth_Magnetic_Field_Declination_from_1590_to_1990.gif)
- [http://www.astro.iag.usp.br/~jorge/aga205\\_2011/06\\_DecMagne\\_JM.pdf](http://www.astro.iag.usp.br/~jorge/aga205_2011/06_DecMagne_JM.pdf) (declinação)
- <http://fisicaevestibular.com.br/novo/electricidade/eletromagnetismo/exercicios-imas-e-campo-magnetico/>
- <http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>
- <http://earthsky.org/earth/what-causes-the-aurora-borealis-or-northern-lights>
- <http://www.aurora-service.net/aurora-gallery/> (aurora austral)
- <http://www.fis.puc-rio.br/labespecmassa.php>
- <http://www.italpro.com.br/page/magnetismo.html>
- <http://www.iag.usp.br/~agg110/moddata/GEOMAGNETISMO/campo-geomagnetico-externo.pdf> (Van Allen)
- <http://slideplayer.com.br/slide/3385442/>
- [http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13\\_38.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_38.asp) (domínios magnéticos)
- [http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Angela%20Regina%20Mattos%20de%20Castro\\_D.pdf](http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Angela%20Regina%20Mattos%20de%20Castro_D.pdf)
- <http://science.howstuffworks.com/magnet3.htm>
- [https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/data/WMM2015/WMM2015v2\\_I\\_MERC.pdf](https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/data/WMM2015/WMM2015v2_I_MERC.pdf)
- [https://pt.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_\(unidade\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Tesla_(unidade))
- [https://pt.wikipedia.org/wiki/For%C3%A7a\\_de\\_Lorentz](https://pt.wikipedia.org/wiki/For%C3%A7a_de_Lorentz)
- <https://canaltech.com.br/espaco/todo-planeta-tem-campo-magnetico-conheca-as-magnetosferas-do-sistema-solar-176159/>