

Introduction

Expérience

Principe de
l'expérience

Résultats

Simulation

Logiciel

Modèle de simulation

Résultats de
simulation

Théorie

Modèle

Potentiel-vecteur \vec{A} -
Introduction

Potentiel-vecteur \vec{A}
pour une spire de
courant $\Rightarrow \vec{B}$

Expression de la force

Modélisation de la
force

Interprétation
et
comparaison
des différents
résultats

Conclusion

Supraconductivité : étude de la lévitation magnétique par piégeage des vortex

TIPE

Bastien Bodin

Sommaire

Introduction

Expérience

Principe de l'expérience

Résultats

Simulation

Logiciel

Modèle de simulation

Résultats de simulation

Théorie

Modèle

Potentiel-vecteur \vec{A} - Introduction

Potentiel-vecteur \vec{A} pour une spire de courant $\Rightarrow \vec{B}$

Expression de la force

Modélisation de la force

Interprétation et comparaison des différents résultats

Conclusion

1 Introduction

2 Expérience

Principe de l'expérience

Résultats

3 Simulation

Logiciel

Modèle de simulation

Résultats de simulation

4 Théorie

Modèle

Potentiel-vecteur \vec{A} - Introduction

Potentiel-vecteur \vec{A} pour une spire de courant $\Rightarrow \vec{B}$

Expression de la force

Modélisation de la force

5 Interprétation et comparaison des différents résultats

6 Conclusion

Introduction

Introduction

Expérience

Principe de
l'expérience

Résultats

Simulation

Logiciel

Modèle de simulation

Résultats de
simulation

Théorie

Modèle

Potentiel-vecteur \vec{A} -
Introduction

Potentiel-vecteur \vec{A}
pour une spire de
courant $\Rightarrow \vec{B}$

Expression de la force

Modélisation de la
force

Interprétation
et
comparaison
des différents
résultats

Conclusion

Supraconductivité : toujours au stade de la recherche
Quelques applications :



Matériaux supraconducteurs : matériaux n'ayant aucune perte
de courant et expulsant le champ magnétique en dessous de T_c

Introduction

Introduction

Expérience

Principe de l'expérience

Résultats

Simulation

Logiciel

Modèle de simulation

Résultats de simulation

Théorie

Modèle

Potentiel-vecteur \vec{A} - Introduction

Potentiel-vecteur \vec{A} pour une spire de courant $\Rightarrow \vec{B}$

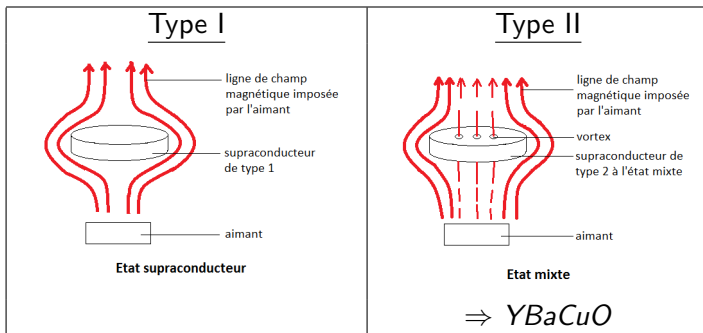
Expression de la force

Modélisation de la force

Interprétation et comparaison des différents résultats

Conclusion

Deux types de supraconducteurs :

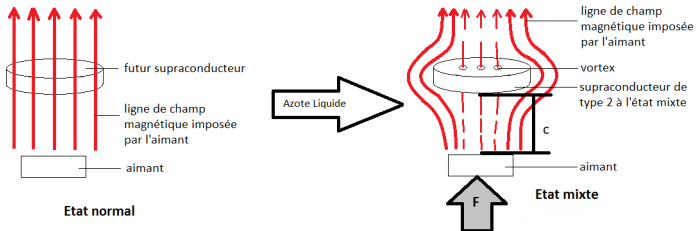


Objectif : Trouver un modèle pour exprimer la force exercée par un supraconducteur

Expérience

Principe de l'expérience

Schéma :



Dynamomètre

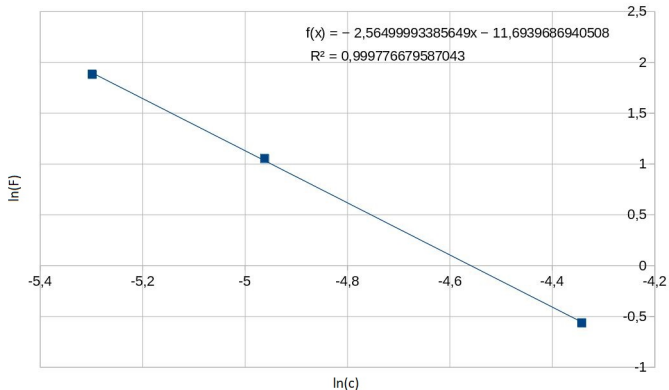


Pastille en lévitation



Courbe des résultats :

$\ln(F)$ en fonction de $\ln(c)$



Trois points uniquement : difficultés d'expérimentation

Simulation

Logiciel

Introduction

Expérience

Principe de
l'expérience

Résultats

Simulation

Logiciel

Modèle de simulation

Résultats de
simulation

Théorie

Modèle

Potentiel-vecteur \vec{A} -
Introduction

Potentiel-vecteur \vec{A}
pour une spire de
courant $\Rightarrow \vec{B}$

Expression de la force

Modélisation de la
force

Interprétation
et
comparaison
des différents
résultats

Conclusion

Logiciel utilisé : FEMM

Intérêts du logiciel :

- Logiciel libre
- Permet la modélisation de problèmes de magnétostatique plans ou axisymétriques

Inconvénients :

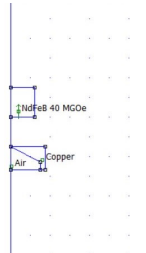
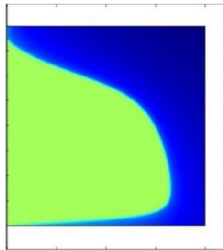
- Pas de matériaux supraconducteurs

Simulation

Modèle de simulation

Modèle :

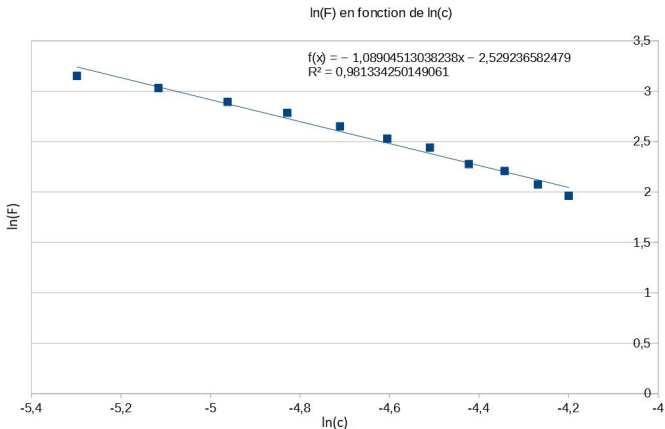
(d'après thèse Bashar GONY, 28/09/2015, Aimantation de pastilles supraconductrices)



Simulation

Résultats de simulation

Graphes :



Théorie

Modèle

Introduction

Expérience

Principe de l'expérience

Résultats

Simulation

Logiciel

Modèle de simulation

Résultats de simulation

Théorie

Modèle

Potentiel-vecteur \vec{A} - Introduction

Potentiel-vecteur \vec{A} pour une spire de courant $\Rightarrow \vec{B}$

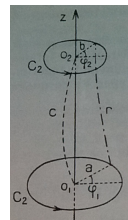
Expression de la force

Modélisation de la force

Interprétation et comparaison des différents résultats

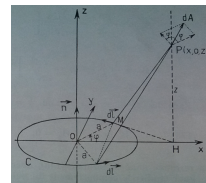
Conclusion

Modèle le plus adapté aux connaissances



actuelles : deux spires coaxiales

Calculs préliminaires : Potentiel-vecteur



et champ magnétique pour une spire

Théorie

Potentiel-vecteur \vec{A} - Introduction

Introduction

Expérience

Principe de l'expérience

Résultats

Simulation

Logiciel

Modèle de simulation

Résultats de simulation

Théorie

Modèle

Potentiel-vecteur \vec{A} - Introduction

Potentiel-vecteur \vec{A} pour une spire de courant $\Rightarrow \vec{B}$

Expression de la force

Modélisation de la force

Interprétation et comparaison des différents résultats

Conclusion

- Justification de l'existence d'un potentiel-vecteur :
 $\text{div} \vec{B} = 0 \Rightarrow \vec{B}$ est à flux conservatif $\Rightarrow \exists \vec{A}, \vec{B} = \text{rot} \vec{A}$
- Formule pour calculer \vec{A} :

$$\vec{A}(M) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{\text{points } P} \frac{\vec{j}(P)}{PM} d\tau$$

soit, pour des courants filiformes,

$$\vec{A}(M) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{\text{points } P} \frac{d\vec{l}(P)}{PM}$$

Théorie

Potentiel-vecteur \vec{A} pour une spire de courant $\Rightarrow \vec{B}$

- Étude des symétries : \vec{A} est tangent à un contour de centre O
- Calcul de \vec{A} :
On part de :

$$\vec{A}(M) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{\text{points } P} \frac{d\vec{l}(P)}{PM}$$

On pose :

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2} \quad ; \quad k = \sqrt{\frac{4a\rho}{(a + \rho)^2 + z^2}}$$

et

$$J_1 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\psi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \psi}} \quad ; \quad J_2 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \psi} d\psi$$

Introduction

Expérience

Principe de l'expérience

Résultats

Simulation

Logiciel

Modèle de simulation

Résultats de simulation

Théorie

Modèle

Potentiel-vecteur \vec{A} - Introduction

Potentiel-vecteur \vec{A} pour une spire de courant $\Rightarrow \vec{B}$

Expression de la force

Modélisation de la force

Interprétation et comparaison des différents résultats

Conclusion

Théorie

Potentiel-vecteur \vec{A} pour une spire de courant $\Rightarrow \vec{B}$

Comme \vec{A} est tangent au contour, on trouve :

$$A_\varphi = \frac{\mu_0 I}{k\pi} \sqrt{\frac{a}{\rho}} \left[\left(1 - \frac{k^2}{2}\right) J_1 - J_2 \right]$$

Donc

$$B_\rho = -\frac{\partial A_\varphi}{\partial z} = \frac{\mu_0 I k z}{4\pi \rho \sqrt{a\rho}} \left[-J_1 + \frac{a^2 + \rho^2 + z^2}{(a - \rho)^2 + z^2} \cdot J_2 \right] \quad (1)$$

$$B_\varphi = 0 \quad (2)$$

$$B_z = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} (\rho A_\varphi) = \frac{\mu_0 I k}{4\pi \sqrt{a\rho}} \left[J_1 + \frac{a^2 - \rho^2 - z^2}{(a - \rho)^2 + z^2} \cdot J_2 \right] \quad (3)$$

Seule l'équation (1) nous sera utile, puisque nous cherchons une force selon \vec{u}_z

Théorie

Expression de la force

Introduction

Expérience

Principe de
l'expérience

Résultats

Simulation

Logiciel

Modèle de simulation

Résultats de
simulation

Théorie

Modèle

Potentiel-vecteur \vec{A} -
Introduction

Potentiel-vecteur \vec{A}
pour une spire de
courant $\Rightarrow \vec{B}$

Expression de la force

Modélisation de la
force

Interprétation
et
comparaison
des différents
résultats

Conclusion

On recherche la composante de la force selon \vec{u}_z
 \Rightarrow Force de Laplace

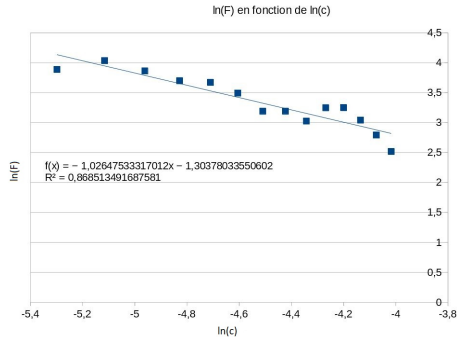
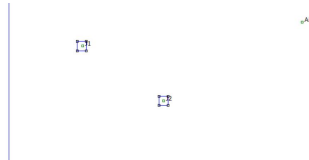
$$F_z = I_2 \int_{C_2} [\vec{dl} \wedge \vec{B}]_z = -2\pi I_2 B_\rho$$

$$F_z = -\frac{\mu_0 I_1 I_2 c}{[(a+b)^2 + c^2]^{1/2}} \left[-J_1 + \frac{a^2 + b^2 + c^2}{(a-b)^2 + c^2} J_2 \right]$$

Théorie

Modélisation de la force

Schéma et résultats :



Interprétation et comparaison des différents résultats

Introduction

Expérience

Principe de l'expérience

Résultats

Simulation

Logiciel

Modèle de simulation

Résultats de simulation

Théorie

Modèle

Potentiel-vecteur \vec{A} - Introduction

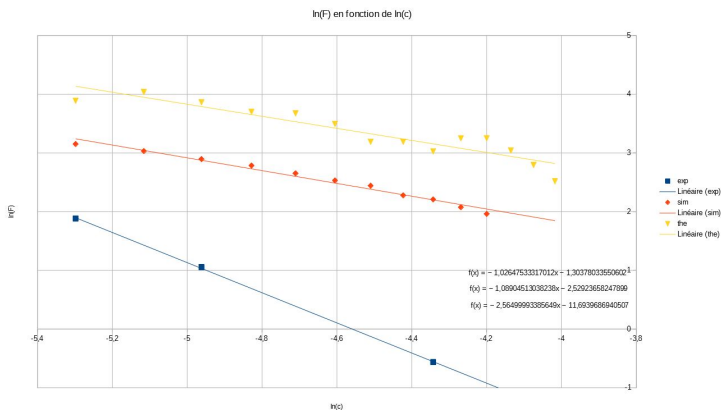
Potentiel-vecteur \vec{A} pour une spire de courant $\Rightarrow \vec{B}$

Expression de la force

Modélisation de la force

Interprétation et comparaison des différents résultats

Conclusion



- Deux modèle en $\frac{1}{x}$: Simulation et théorie
- Modèle expérimental en $\frac{1}{x^3}$

Conclusion

Introduction

Expérience

Principe de
l'expérience

Résultats

Simulation

Logiciel

Modèle de simulation

Résultats de
simulation

Théorie

Modèle

Potentiel-vecteur \vec{A} -
Introduction

Potentiel-vecteur \vec{A}
pour une spire de
courant $\Rightarrow \vec{B}$

Expression de la force

Modélisation de la
force

Interprétation
et
comparaison
des différents
résultats

Conclusion

\Rightarrow Modèles théorique et simulés cohérents entre eux.

\Rightarrow Pas cohérents avec l'expérience

A partir de ce modèle : déduction de quel supraconducteur il faut pour soulever/supporter une masse m connue.

Possibilité d'amélioration :

- modèle de connaissances plus précis (hors de portée à l'heure actuelle)
- Utilisation d'un meilleur logiciel (incluant les supraconducteurs)