

LES EQUATIONS DE L'ELECTROMAGNETISME CLASSIQUE DANS LES MILIEUX LINEAIRE HOMOGENE ET ISOTROPE .

Matériel nécessaire ; Un aimant , une spire conductrice , instruments de mesure des tensions et intensité , des flux de champ électrique et magnétique .

LES EQUATIONS

- Induction de Maxwell-Faraday $Rot \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$. (1)

- Induction Maxwell-Ampère $Rot \vec{B} = \mu_0 (\vec{j}_c + \vec{j}_d + \vec{j}_p + \vec{j}_m)$.

Avec $\vec{j}_c = \sigma \vec{E}$, $\vec{j}_d = \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$, $\vec{j}_p = \frac{d \vec{p}}{dt}$, $\vec{j}_m = Rot \vec{m}$ et les relations constitutive du milieux

$\vec{m} = \left(\frac{1}{\mu_0} - \frac{1}{\mu} \right) \vec{B}$ (L'aimantation) et $\vec{p} = (\epsilon - \epsilon_0) \vec{E}$ (la polarisation électrique) .

Se qui donne $Rot \vec{B} = \mu_0 \sigma \vec{E} + \epsilon \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu_0 Rot \vec{m}$. On transfert l'aimantation dans le premier membre et on trouve finalement

$$Rot \vec{B} = \mu \sigma \vec{E} + \epsilon \mu \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \tag{2}$$

- Flux électrique et sources $\oiint \vec{E} \cdot \vec{ds} = \frac{q}{\epsilon} \rightarrow Div \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon}$. (3)

- Flux magnétique de l'aimant $\oiint \vec{B} \cdot \vec{ds} = \oiint (\vec{B} - \vec{B}) \cdot \vec{ds} = 0$

$$\rightarrow Div \vec{B} = 0 \tag{4}$$

- Les propriétés des opérateurs différentiel et les signes conventionel

$$Rot \vec{E} = Rot (\vec{E} + Grad \phi) \rightarrow \vec{E} \rightarrow \vec{E} + grad \phi \tag{5}$$

$$\text{Div } \vec{B} = \text{Div}(\vec{B} - \text{Rot } \vec{A}) \rightarrow \vec{B} \rightarrow \vec{B} - \text{Rot } \vec{A} \quad (6)$$

- (Le flux magnétique de l'aimant sort et revient donc la somme est nul).
- (Les vecteur de polarisation électrique et d'aimantation sont déjà comptabilisé dans (2))

- La force électromagnétique $F = q(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B})$ (7)

(Ici dans cette équation particulière les champs E et B ne sont pas forcément couplé par l'induction des équations (1) et (2)).

___ Dans la suite les chiffres en couleur bleue représente les compositions ___

On déduit les équations des champs électrique et magnétique en champ (I)

proche ou lointain $\Delta \vec{E} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \mu \sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \text{grad } \frac{\rho}{\epsilon}$ (1),(2),(3)

(Le 3ieme terme de droite est associé à une composante longitudinal électromotrice du circuit émetteur ou une réaction électrocinétique du milieu conducteur sous l'influence du courant de déplacement)

$$\Delta \vec{B} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} + \mu \sigma \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1),(2),(4)$$

$$\Delta \vec{A} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} + \mu \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (II), (6)$$

On déduit les solutions

$$\vec{E} = -\text{grad } \phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (IV) \quad (1),(5),(6) \quad \vec{B} = \text{Rot } \vec{A} \quad (V) \quad (6)$$

On déduit les équation sur les potentiel scalaire électrique ϕ et le potentiel vecteur \vec{A} .

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \phi = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + \mu \sigma \frac{\partial \phi}{\partial t} - \frac{\rho}{\epsilon} \quad (VI) \\ \Delta \vec{A} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} + \mu \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (VII) \end{array} \right. \quad (I),(IV)(III)$$

On déduit se que j'appel la jauge de Maxwell

(VIII)

$$D iv \vec{A} = -\epsilon \mu \frac{\partial \phi}{\partial t} - \mu \sigma \phi \quad (3),(IV)$$

On déduit la jauge de Lorentz c'est a dire sans les charge de conduction et de Coulomb en cas particulier :

Lorentz (IX)

Coulomb (X)

(XI)

$$D iv \vec{A} = -\epsilon \mu \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad D iv \vec{A} = 0 \quad \rightarrow \quad \epsilon \frac{\partial \phi}{\partial t} + \sigma \phi = 0$$

Cette équation ne dépend pas de la perméabilité magnétique .

$$\epsilon \frac{\partial \phi}{\partial t} + \sigma \phi = 0 \quad \rightarrow \quad \phi(r, t) = \phi_0(r) e^{-\frac{\sigma}{\epsilon} t} .$$

(Ses relations de jauge de Maxwell , Lorentz et Coulomb sont imposé par les équations de Maxwell selon le contexte , c'est la seule relation de jauge accepter par le systeme d'équation mais bon comme dans le cas des formule de Galilé on peut considéré que la vitesse de la lumière est invariante par changement de référentiel et choisir n'importe quelle relation de jauge pour des mouvement de laboratoire non relativiviste) .

Résumé des équations de champs

électromagnétiques classique couplé par inductions .

$$\Delta \vec{E} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \mu \sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \vec{grad} \frac{\rho}{\epsilon} \quad \vec{E} = -\vec{grad} \phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

$$\Delta \vec{B} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} + \mu \sigma \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{j}_c = \sigma \vec{E} \quad , \quad \vec{j}_d = \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad , \quad \vec{j}_p = \frac{d \vec{p}}{dt} \quad , \quad \vec{j}_m = Rot \vec{m}$$

$$\Delta \vec{\phi} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + \mu \sigma \frac{\partial \phi}{\partial t} - \frac{\rho}{\epsilon} \quad \vec{B} = Rot \vec{A} \quad \Delta \vec{A} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} + \mu \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

$$D iv \vec{A} = -\epsilon \mu \frac{\partial \phi}{\partial t} - \mu \sigma \phi \quad \text{ou} \quad D iv \vec{A} = -\epsilon \mu \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad \text{ou} \quad D iv \vec{A} = 0$$

$$\vec{m} = \left(\frac{1}{\mu_0} - \frac{1}{\mu} \right) \vec{B} = \frac{\chi_B}{\mu_0} \vec{B} \quad \vec{p} = (\epsilon - \epsilon_0) \vec{E} = \epsilon_0 \chi_E \vec{E}$$

Du point de vue du THM de Fourier pour développer les fonctions périodique en somme de sinus et cosinus ses équations donne des ondes électrique transversales lorsque la divergence électrique est nul mais sinon il y a toujours une composante longitudinal c'est a dire que le vecteur électrique n'est généralement pas orthogonal au vecteur d'onde lorsqu'il y a une densité de charge libre .

Les équations purement électrique dans les milieux polarisable et charges libres .

Il suffit de posé $\vec{B} = \vec{0}$.

$$\Delta \vec{E} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \mu \sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \text{grad} \frac{\rho}{\epsilon} \quad \vec{E} = -\text{grad} \phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

$$\text{Rot} \vec{A} = \vec{0} \rightarrow \vec{A} = -\text{grad} \zeta$$

$$\Delta \phi = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + \mu \sigma \frac{\partial \phi}{\partial t} - \frac{\rho}{\epsilon}$$

$$\text{Div} \vec{A} = -\epsilon \mu \frac{\partial \phi}{\partial t} - \mu \sigma \phi \quad \vec{m} = \vec{0} \quad \vec{p} = (\epsilon - \epsilon_0) \vec{E}$$

(dans le vide il suffit déliminé les termes qui ont la conductivité en facteur comme les densité de charge et utilisé la permittivité et la perméabilité du vide) .

Les équations purement magnétique dans les milieux polarisable et charge libre

Il suffit de posé $\vec{E} = \vec{0}$.

$$\text{grad} \phi + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = \vec{0} \quad \Delta \vec{B} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} + \mu \sigma \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{B} = \text{Rot} \vec{A} \quad \Delta \phi = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + \mu \sigma \frac{\partial \phi}{\partial t} - \frac{\rho}{\epsilon}$$

$$\text{Div} \vec{A} = -\epsilon \mu \frac{\partial \phi}{\partial t} - \mu \sigma \phi \quad \vec{m} = \left(\frac{1}{\mu_0} - \frac{1}{\mu} \right) \vec{B}$$

(dans le vide il suffit déliminé les termes qui ont la conductivité en facteur , les densité de charge de conduction et utilisé la permittivité et la perméabilité du

vide) .

$$\vec{\text{grad}} \phi + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = \vec{0} \quad \Delta \vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

$$\vec{B} = \text{Rot } \vec{A} \quad \Delta \vec{\phi} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}$$

$$\text{Div } \vec{A} = -\epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad \vec{m} = \vec{0}$$

Les équations hors champ électromagnétique dans les milieux

Il suffit de poser $\sigma = 0$, $\vec{E} = \vec{0}$ et $\vec{B} = \vec{0}$

On déduit les ondes de potentiel vecteur et scalaire

$$\vec{\text{grad}} \phi + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = \vec{0} \quad \Delta \vec{\phi} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}$$

$$\Delta \vec{A} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} \quad \text{Div } \vec{A} = -\epsilon \mu \frac{\partial \phi}{\partial t} - \mu \sigma \phi$$

$$\text{Rot } \vec{A} = \vec{0} \rightarrow \vec{A} = -\vec{\text{grad}} \zeta \rightarrow \phi = \frac{\partial \zeta}{\partial t}$$

Il ny a plus aucun courant ni champ réel , juste des ondes de potentiel scalaire et vecteur virtuel dans le milieux qui peuvent quand même créer des effets réel comme l'effet Aharanov Bohm qui décale tout le spectre d'interférence de sparticules a travers les fentes de Young avec un gradient

de potentiel électrique $\vec{E}' = -\vec{\text{grad}} \phi = \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$. Puisque On peut

rajouter un potentiel scalaire magnétique . Pour avoir des équations d'ondes de potentiel vecteur et scalaire hors champ EM dans le vide il suffit d'utilisé la permittivité et la perméabilité du vide .

On déduit des équations d'ondes de potentiel vecteur et scalaire dans le vide indépendamment des phénomènes de Vanderwals

$$\vec{\text{grad}} \phi + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = \vec{0} \quad \Delta \phi = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}$$

$$\text{Rot } \vec{A} = \vec{0} \rightarrow \vec{A} = -\vec{\text{grad}} \zeta \rightarrow \phi = \frac{\partial \zeta}{\partial t}$$

$$\Delta \vec{A} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} \quad \text{Div } \vec{A} = -\epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

Le memristor ?

Remarque (source : Captéra informatique) → Un memristor est un dispositif qui limite le flux d'électricité dans un circuit. Les memristors conservent une mémoire sans être branchés à une alimentation électrique, ils se souviennent de la charge qui les traversait même éteints. Cela signifie qu'ils ne sont pas volatils et peuvent stocker des données pour toujours en utilisant uniquement leur mémoire. Cette caractéristique fait d'eux un composant important dans le domaine de l'ingénierie électrique. Les memristors peuvent également restaurer les disques durs et améliorer la sécurité en cas de pannes de courant dans les data centers.

Je pense qu'il y peut avoir un lien entre les memristors et l'effet tunnel . J'ai questionné ChatGpt la dessus :

Bonjour , il y a t'il un lien entre les memristor et l'effet tunnel ?

Réponse :

bien que ces deux concepts soient distincts. Permettez-moi de vous expliquer brièvement chacun d'entre eux et ensuite de mettre en évidence leur relation.

1. **Memristor** : Un memristor est un dispositif électronique à deux bornes dont la résistance dépend de la charge électrique qui y a été précédemment appliquée. C'est le quatrième type de circuit fondamental après les résistances, les condensateurs et les inductances. Les memristors ont été théorisés pour la

première fois en 1971 par Leon Chua, et ont été expérimentalement réalisés en 2008. L'une des caractéristiques principales d'un memristor est sa capacité à "mémoriser" la quantité de charge qui l'a traversé dans le temps, ce qui lui confère une résistance qui varie avec le temps.

2. **Effet tunnel** : L'effet tunnel est un phénomène quantique dans lequel une particule, comme un électron, peut traverser une barrière de potentiel classiquement insurmontable. Cela se produit en raison de la nature probabiliste des particules quantiques. L'effet tunnel est largement utilisé dans divers domaines, y compris en microélectronique pour la conception de dispositifs tels que les diodes tunnel et les transistors à effet tunnel.

Le lien entre les memristors et l'effet tunnel réside dans le fait que l'effet tunnel peut être exploité pour contrôler les propriétés des memristors. Par exemple, les memristors peuvent être construits en utilisant des matériaux qui affichent un comportement d'effet tunnel contrôlé. Dans ce cas, la variation de la résistance du memristor peut être due à des phénomènes d'effet tunnel se produisant dans le matériau constitutif du memristor.

En résumé, bien que les memristors et l'effet tunnel soient deux concepts distincts, l'effet tunnel peut être utilisé pour moduler les propriétés des memristors, ce qui fait qu'ils sont étroitement liés dans certains contextes de recherche et d'application.

Equation d'onde quantique des potentiels hors champ électromagnétique en interaction dans les milieux .

Lorsque els champs électromagnétique E, B ne donnent pas assez d'information il faut chercher dans les équations des potentiels qui peuvent aussi être étudiier du point de la mécanique quantique . Dans el cas des ondes de potentiel hors champ électromagnétique il y a probablement des interaction possible par les fonction d'onde solution de l'équation de Shrodinger . Dans se cas une communication peut s'établir à l'aide des effets Aharonov-Bhom et Aharonov-Bhom-Casher qui n'ont pas besoin des champs E et B pour existé dans le cadre plus général de l'électrodynamique quantique non relativiste . *l'effet Aharonov-Bohm pour une particule de masse m et de charge q soumis au champ magnétique d'une bobine d'axe Oz et l'effet Aharonov-Casher associé à une particule neutre de masse m portant un moment magnétique soumis à un champ électrique sur le plan Oxy .*

L'équation de l'énergie s'écrit :

$$E(\vec{r}, \vec{p}, t) = \frac{(\vec{p} - q\vec{A})^2}{2m} + q\phi = \frac{\vec{P}^2(\vec{r}, \vec{p}, t)}{2m} + q\phi(\vec{r}, \vec{p}, t)$$

avec $A(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \iiint \frac{j(r')}{r-r'} d^3 r'$ la position r' est celle de la densité de courant et r celle où est mesuré le potentiel vecteur. ϕ est le potentiel scalaire électrique.

On a la quantité de mouvement $\vec{P} = \vec{p} - q\vec{A}$ et on déduit l'opérateur \hat{P}^2 .

$$\hat{P}^2 = -\hbar^2 \Delta - qi\hbar(\nabla \cdot \hat{A} + \hat{A} \cdot \nabla) + q^2 \hat{A}^2$$

Pour l'opérateur A l'expression reste la même c'est à dire

$$\hat{A}(r) = A(r)$$

$$\hat{A}(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \iiint \frac{j(r')}{r-r'} d^3 r'$$

Même chose pour l'opérateur du potentiel électrique $\hat{\phi} = \phi$
 Dans tout les cas de figure se problème des interactions hors champ électromagnétique est un dossier en lui-même qui fait partie de la recherche fondamentale.

<https://patents.google.com/patent/US8165531B2/en>

<http://www.phys.ens.fr/~cct/college-de-france/1993-94/23-11-93/23-11-93.pdf>

<https://unpeudephysique.tumblr.com/post/174687002717/sym%C3%A9trie-de-jauge-et-th%C3%A9orie-%C3%A9lectromagn%C3%A9tique>