

LP30 : Rayonnement dipolaire électrique

Rapport du jury : Le sens physique des approximations réalisées, ainsi que les propriétés de symétrie des champs électrique et magnétique rayonnés, doivent être discutés. Cette leçon peut également être l'occasion de réfléchir à la stabilité de la matière. La leçon ne doit pas se réduire à une suite de calculs.

Remarques :

Faire des interprétations physique à chaque étapes de l'étude, il est important relier les expressions que l'on obtient aux cas connus (électrostatique, dipôle statique) pour en montrer la cohérence. Insister sur l'anisotropie du phénomène (cas assez inhabituel). Ne pas dire que c'est la charge qui dépend du temps (chose très bizarre) mais bien le moment dipolaire qui dépend du temps (il oscille).

Bibliographie :

[1] Faroux-Renault - Electromagnétisme 2 : chap 12

[2] Pérez - Electromagnétisme : chap 20

[3]http://www.agregationphysique.fr/images/Annales/Documents/LeconsPhys/CRs_2018-2019/LP30_rayonnement_dipolaire.pdf : leçon très clair!!!

[4]http://sertella.free.fr/cours_psi_physique/ondes/ondes%20chapitre%2006.pdf : diffusion Rayleigh

Niveau : CPGE

P-R:

- Equation de Maxwell dans le vide
- Vecteur de Poynting
- Jauge de Lorentz
- Potentiels retardés
- Structure des ondes planes

Introduction :

Dans le chapitre précédent nous avons étudié la propagation d'ondes électromagnétiques dans le vide sans nous préoccuper de leur production à partir de charges en mouvement. On va alors s'intéresser au cas simple et à la fois important : le dipôle de Hertz. [2] Pourquoi ce modèle est intéressant? Modèle le plus simple permettant d'expliquer le l'émission d'un champ EM. Il permet de modéliser plusieurs trucs (atome, antenne...). On s'intéresse au rayonnement dipolaire électrique qui domine face au rayonnement dipolaire magnétique. Il permet aussi d'expliquer plusieurs phénomène comme pourquoi le ciel est-il bleu ? Nous allons poser les bases du formalisme permettant de donner une première explication à cette couleur si caractéristique.

I - Modèle du dipôle oscillant

1) Position du problème [2]

- Modèle du dipôle à 2 charges

-Définition du moment dipolaire du système + oscillant $\mathbf{p}(t)=q\mathbf{r}(t)$ → charges en mouvements (*ce qui permet le rayonnement EM*).

2) Approximation dipolaire [2]

-Taille du dipôle negl devant la distance d'observation.

-Exemple : Cas d'un atome : L'étalement spatial maximal d'un atome est de l'ordre de l'Angström ($a \sim 10^{-10}\text{m}$), il faut donc que la distance d'observation du système soit de l'ordre de la centaine de nanomètre pour que l'approximation dipolaire soit satisfaisante.

3) Approximation dipolaire non relativiste [1] et [2]

-Il faut que la vitesse de variation du système soit largement inférieure à la vitesse de transmission de l'information jusqu'au point d'observation. Cela revient donc à $v \ll c$.

-Exemple précédent: Dans le cas d'un atome qui émet un rayonnement, l'approximation est valide puisque l'extension spatiale a est toujours de l'ordre de l'angström et les rayonnements émis par la matière ont des longueurs d'onde d'une centaine de nanomètres environ (UV).

REMARQUE: On utilise les approximations car les expressions des potentiels retardés dépend du mouvement particulier de la charge, calculs très difficiles à mettre en place.

II - Rayonnement du dipôle oscillant

1) Expression des potentiels retardés [1] et [2]

-Potentiel retardé en un point d'observation (V et A) dans le cas de la jauge de Lorentz. [1] (A ne pas démontrer !! Démo dans [1] chap 6). Utilisation jauge de Lorentz car adapté pour décrire la propagation EM dynamique et permet de simplifier les équations.

-Calcul de A avec les simplifications à l'aide des approximations car sinon difficile à calculer. [1]

-Calcul de V avec les approximations à l'aide de l'expression de la jauge de Lorentz (Calcul [2])

-Remarque [2] : On peut remarquer que cette expression est conforme au cas statique que l'on connaît, un moment dipolaire stationnaire ne crée pas de potentiel vecteur A, mais purement électrique.

2) Expression des champs rayonnés.

-calcul du champ B ([3] symétrie et invariance + calcul)

-Remarque : Il est important de remarquer que le champ rayonné ne dépend que de dérivées temporelles du moment dipolaire. Ce qui signifie donc que dans le cas statique, aucun champ magnétique n'est rayonné.

-Dédution de E ([3])

-Remarque : On retrouve les équations du dipôle statique si on annule les termes qui dépendent des dérivées du moment dipolaire.

3) Etude du champ de rayonnement à grande distance [1] et [3]

- $r \gg \lambda$: analyse des différentes zones [1] → p'' prépondérant : champs de rayonnement.

-Rappeler B et E dans cette nouvelle approximation.[1]

-Discussion : [1] on retrouve un résultat bien connu de la structure des ondes planes + les champs rayonnés sont nuls sur l'axe du dipôle et maximaux dans le plan médian orthogonal à l'axe du dipôle.

- Calcul du vecteur de Poynting [1] et [2]
- Montrer graphe en 2D et 3D du rayonnement → mise en évidence de l'anisotropie du rayonnement.
- Discussion : Rayonnement nul suivant l'axe du dipôle et maximal dans le plan médial orthogonal à l'axe du dipôle, le rayonnement dipolaire est anisotrope !
- Calcul de la puissance rayonnée [1] et [2] : intégration du vecteur de Poynting sur l'ensemble de la surface de rayonnement.
- Discussion : [1] TOUT CHARGE ACCÉLÉRÉE PRODUIT UN RAYONNEMENT ÉLECTROMAGNÉTIQUE.
- Cas d'un dipôle sinusoïdal pour faire liaison avec partie III [1]

III - Application - Diffusion rayleigh : pourquoi le ciel est bleu?

[1] et [4]

Expérience possible : avec un verre de lait pour montrer la diffusion de Rayleigh :

http://tpe-couleurduciel-2009.over-blog.com/pages/II_Le_ciel_bleu_selon_la_loi_de_Rayleigh-2523694.html

→ Il ne faut sûrement pas détailler trop les calculs (à voir en fonction du temps).

- Mise en équation d'un électron autour d'un noyau : Modèle élastiquement lié : avec force de rappel, force de frottement et force EM → PFD → résolution on obtient r .
- Moment dipolaire
- Puissance électromagnétique moyenne.
- Graphe puissance moyenne en fonction w : avec les trois types de diffusion.
- Cas diffusion de Rayleigh ($w \ll w_0$) : explication [2]
- Obtention nouvelle puissance EM avec dépendance en $1/\lambda^4$ → bleu davantage diffuser → Couleur du ciel.
- Couleur rouge du soleil couchant : Le soir, au coucher du Soleil (ou le matin à son lever), la lumière parcourt un plus long trajet dans l'atmosphère que lorsque le Soleil est à la verticale. La diffusion de la lumière est alors importante : le Soleil est beaucoup moins lumineux. Sa lumière traverse une épaisse couche d'air qui diffuse au maximum les photons de courte longueur d'onde (les bleues) et dépouille donc sa lumière de celles-ci. Cet air agit comme un filtre, plus il est épais, plus il arrête les couleurs. Quand elle nous parvient, elle nous paraît rouge.
- Un nuage, constitué de gouttelettes d'eau en suspension, diffuse à peu près également toutes les parties du spectre : il apparaît blanc. Les particules d'eau sont plus grosses que celle de l'air, ce n'est plus la diffusion de Rayleigh.

Possibilités cas Antenne demi-onde : [2]

Conclusion

Pour conclure sur ce sujet, nous pouvons rappeler quelques éléments importants. Premièrement, les champs rayonnés à grande distance sont directement reliés à l'accélération de la charge. De manière plus générale, un moment dipolaire accéléré génère un champ électrique et un champ magnétique à grande distance. La densité d'énergie électromagnétique rayonnée est anisotrope (voir diagramme de rayonnement). Le

rayonnement dipolaire électrique a des applications importantes, il a notamment permis de larges progrès dans les télécommunications, cette théorie est également utilisée dans l'étude des rayonnement synchrotron et cyclotron (qui permettent l'étude de la matière). Et comme on a pu le voir, il permet également d'expliquer la couleur bleue du ciel.