PROGRAMME DE COLLE DE PHYSIQUE

Semaine du 05/02 au 10/02

EM1 a - Distribution de charges

– Charge électrique. Retenir : **la charge électrique est une grandeur conservative**.
– Distribution de charges : charge ponctuelle, densité volumique, surfacique et linéique de charge.
– Invariance par translation, invariance par rotation, symétrie et antisymétrie d'une distribution de charges.
– Connaître les expressions des déplacements élémentaires dans les trois systèmes de coordonnées et savoir exprimer les éléments de surface ou de volume usuels en cylindrique et en sphérique.

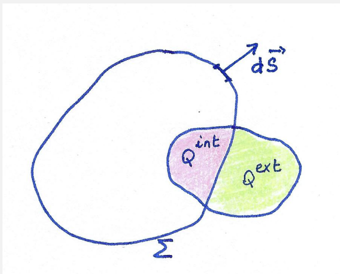
EM1 b - Champ électrostatique crée par une distribution de charge (cours + exercices)

– Loi de Coulomb. Définition du champ électrique $\vec{E}$. Connaître l'ordre de grandeur du champ disruptif de l'air.
– Champ électrique créé par une charge ponctuelle.
– Théorème de superposition. Expression du champ électrique créé par un ensemble de charges ponctuelles, et par des distributions volumique, surfacique et linéique de charges.
– Ligne de champ, tube de champ. Deux lignes de champ ne se croisent pas (sauf en des points ou le champ électrique est nul). Elles divergent des charges positives et convergent vers le charges négatives.
– Principe de Curie. Le champ électrique vérifie les mêmes propriétés de symétrie que les sources. Invariance par translation, rotation. Si M appartient à un plan de symétrie alors $\vec{E}(M)$ appartient à ce plan. Si M appartient à un plan d'antisymétrie alors $\vec{E}(M)$ est perpendiculaire à ce plan.

– Théorème de Gauss

Le flux du champ électrostatique à travers une surface fermée **orientée vers l'extérieur** est égal à la charge totale Q^{int} contenue à l'intérieur du volume divisé par ε_0.

$$\oiint_{\Sigma} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{S} = \frac{Q^{\text{int}}}{\varepsilon_0}$$



conséquence : en l'absence de charge le champ $\vec{E}$ est à flux conservatif.

– Formulation locale du théorème de Gauss : équation de Maxwell-Gauss

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

En l'absence de charge $\operatorname{div} \vec{E} = 0$, en accord avec le fait que $\vec{E}$ à flux conservatif.
– Calcul du champ électrostatique créé par un plan infini uniformément chargé. Calcul de la discontinuité du champ à la traversée de la surface chargée.
– Calcul du champ électrostatique créé par un fil infini uniformément chargé.
– Calcul du champ électrostatique créé par une sphère uniformément chargée en volume. On remarque qu'à l'extérieur de la sphère, le champ est identique au champ que créerait une charge ponctuelle égale à la charge totale de la distribution et placée en son centre.
– Calcul du champ électrostatique créé par une sphère uniformément chargée en surface. Même remarque que précédemment en ce qui concerne le champ électrostatique à l'extérieur de la sphère. Calcul de la discontinuité à la traversée de la surface chargée.
– Relation de passage du champ $\vec{E}$ à la traversée d'une surface chargée

– Analogie gravitationnelle : connaître le théorème de Gauss gravitationnel ainsi que sa formulation locale :

$$\mathrm{div}\,\vec{g} = -4\pi G\rho$$

Tout calcul du champ électrostatique doit être précédé d'un choix cohérent d'un système de coordonnées et d'une étude préalable des invariances par translation, rotation et des symétries du problème.

Électrostatique du vide	
Description et effets électriques d'une accumulation de charges statiques	Définir et utiliser une fonction densité volumique, surfacique ou linéique de charges. Définir le champ électrostatique à l'aide de la force électrostatique ressentie par une charge ponctuelle d'essai placée dans le champ électrostatique d'une autre distribution. Citer quelques ordres de grandeurs de champs électriques. Énoncer le principe de Curie. Repérer les symétries et invariances d'une distribution. Définir la notion de ligne de champ électrostatique et prévoir la topographie des lignes de champ associées à une charge ponctuelle, un cylindrique infini, un plan infini uniformément chargés et une sphère chargée uniformément.
Équation de Maxwell-Gauss, théorème de Gauss	Énoncer l'expression du champ créé par une charge ponctuelle. Énoncer le théorème de Gauss et le relier à l'équation de Maxwell-Gauss. Utiliser le théorème de Gauss pour calculer un champ électrostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie (plan, cylindre, sphère).

EM2 - Potentiel électrostatique. Conducteur à l'équilibre électrostatique (cours + exercices)

– Circulation du champ électrostatique : on constate que la circulation du champ électrostatique créé par une charge ponctuelle est conservative. Le théorème de superposition permet de généraliser cette propriété à un champ créé par une distribution de charges quelconque.
– La loi de Maxwell-Faraday $\overrightarrow{\mathrm{rot}}\,\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ devient, dans le cas **statique** :

$$\overrightarrow{\mathrm{rot}}\,\vec{E} = \vec{0}$$

Cette loi traduit localement le fait que $\vec{E}$ soit à circulation conservative. On peut alors poser

$$\vec{E} = -\overrightarrow{\mathrm{grad}}\,V$$

on a ainsi

$$\int_A^B \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{\ell} = V(A) - V(B)$$

Connaître l'expression de $\vec{E} = -\overrightarrow{\mathrm{grad}}\,V$ dans quelques géométries simples :

- Géométrie 1D axiale : $V = V(x)$ $\vec{E}(x) = -\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}x}\vec{u}_x$
- Géométrie 1D radiale cylindrique : $V = V(r)$ $\vec{E}(r) = -\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}r}\vec{u}_r$
- Géométrie 1D radiale sphérique : $V = V(r)$ $\vec{E}(r) = -\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}r}\vec{u}_r$

– Expression du potentiel électrostatique crée par une charge ponctuelle, puis par une distribution volumique, surfacique ou linéique de charges de dimension finie (avec $V = 0$ à l'infini).

– $\overrightarrow{\mathrm{rot}}\,\vec{E} = \vec{0} \Rightarrow$ les lignes de champs ne se referment pas sur elles-mêmes.
– $\vec{E} = -\overrightarrow{\mathrm{grad}}\,V \Rightarrow$ les lignes de champs sont perpendiculaires aux surfaces isopotentielles et orientées vers les valeurs du potentiel décroissantes.

– Le potentiel $V(M)$ possède les mêmes symétries que la distribution de charges qui le crée.

– Calcul du potentiel crée par

• un plan infini uniformément chargé
• un fil infini uniformément chargé
• une sphère uniformément chargée en volume
• une sphère uniformément chargée en surface

– Savoir que l'énergie potentielle d'une charge q placée dans un champ électrostatique dérivant du potentiel V vaut :

$$E_p = qV$$

– Conducteur à l'équilibre électrostatique :
• dans un conducteur à l'équilibre électrostatique $\vec{E} = \vec{0}$, $\rho = 0$. Si le conducteur est chargé alors les charges se répartissent à la surface du conducteur.
• $V = cte$ dans tout le volume du conducteur. Les lignes de champ électrique sont donc normales à la surface et le champ électrostatique infiniment près de la surface vaut

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\vec{n} \quad \text{(Théorème de Coulomb)}$$

– Cavité dans un conducteur : cage de Faraday
– Capacité d'un conducteur seul dans l'espace. Cas d'un conducteur sphérique. Effet de pointe.
– Condensateur : influence totale entre deux conducteurs. Capacité d'un condensateur.
– Calcul de la capacité d'un condensateur sphérique et d'un condensateur cylindrique assimilé à un cylindre infini.
– Calcul de la capacité d'un condensateur plan (si on néglige les effets de bord) :

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{e}$$

– La relation $\mathcal{E} = \frac{1}{2}CU^2$, ainsi que la relation $U = Ee$, permet d'établir dans ce cas particulier l'expression de la densité volumique d'énergie électrostatique :

$$e_m = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$$