

1. Charge électrique.

- 1.1. Charge élémentaire.
- 1.2. Propriétés de la charge électrique.
 - i) Charge positive et charge négative.
 - ii) Extensivité de la charge.
 - iii) Conservation de la charge.
 - iv) Quantification de la charge.
 - v) Invariance de la charge électrique.

2. Répartition de charges. Densités de charges.

- 2.1. Grandeur nivelée.
- 2.2. Charge volumique.
- 2.3. Charge surfacique.
- 2.4. Charge linéique.
- 2.5. Charge ponctuelle.

3. Symétries et invariances des distributions de charges.

- 3.1. Symétrie plane.
- 3.2. Antisymétrie plane.
- 3.3. Invariance par translation.
- 3.4. Invariance par rotation.
- 3.5. Distributions de symétrie cylindrique et sphérique.

4. Loi de Coulomb.

- 4.1. Force d'interaction entre charges ponctuelles statiques.
- 4.2. Comparaison des propriétés de la charge et de la masse.
- 4.3. Champ d'une charge ponctuelle.

5. Champ d'une distribution.

- 5.1. Principe de superposition.
- 5.2. Expression du champ créée par des distributions de charges.
 - i) Charges ponctuelles.
 - ii) Autres distributions.

6. Topographie du champ.

- 6.1. Lignes de champ.
 - i) Définition.
 - ii) Détermination des lignes de champ dans le cas d'une charge ponctuelle.
 - iii) Détermination expérimentale des lignes de champ.
- 6.2. Tubes de champ.

7. Influence des symétries et invariances des sources sur le champ électrostatique.

- 7.1. Cas d'une symétrie plane.
- 7.2. Cas d'une antisymétrie plane.
- 7.3. Invariance par translation.
- 7.4. Invariance par rotation.
- 7.5. Vecteur polaire.

8. Exemples de calculs de champs électrostatiques.

- 8.1. Fil infini uniformément chargé.
- 8.2. Champ sur l'axe d'un disque uniformément chargé en surface.
- 8.3. Champ au centre d'une demi-sphère uniformément chargée en surface.

EM2. Potentiel électrostatique.

1. Circulation du champ électrostatique.

- 1.1. Définition.
- 1.2. Circulation conservative du champ d'une charge ponctuelle.
- 1.3. Circulation d'un champ électrostatique.
 - i) Circulation conservative du champ.
 - ii) Continuité de la composante tangentielle du champ à la traversée d'une surface chargée.

2. Potentiel électrostatique.

- 2.1. Fonction potentiel.
- 2.2. Champ de gradient.

3. Potentiel créé par une distribution de charges.

- 3.1. Expression du potentiel.
- 3.2. Potentiel d'un disque chargé en un point de son axe.
- 3.3. Potentiel d'une sphère chargée en surface.

4. Surfaces équipotentielles et lignes de champ.

5. Energie potentielle d'interaction électrostatique.

- 5.1. Energie potentielle d'une charge placée dans un champ.
 - i) Travail de la force électrostatique.
 - ii) Energie potentielle.
- 5.2. Energie d'interaction de deux charges ponctuelles.
 - i) Travail de constitution du système de deux charges.
 - Cas particulier.
 - Cas général
 - ii) Energie potentielle d'interaction.

EM3. Théorème de Gauss. Applications.

1. Théorème de Gauss.

- 1.1. Orientation d'une surface.
- 1.2. Enoncé.
- 1.3. Conséquences.
 - i) Conservation du flux du champ.
 - ii) Théorème de l'extremum.
 - iii) Conditions aux limites pour le champ électrostatique.
Composante normale du champ.
Discontinuité du champ.

2. Détermination du champ électrostatique de quelques distributions de charge à l'aide du théorème de Gauss.

- 2.1. Principe du calcul.
- 2.2. Distribution à symétrie plane.
- 2.3. Distribution à symétrie cylindrique.
- 2.4. Distribution à symétrie sphérique.

3. Condensateur.

- 3.1. Conducteur en équilibre électrostatique.
- 3.2. Capacité.
- 3.3. Condensateur plan.
- 3.4. Energie potentielle électrostatique d'un condensateur.

4. Electrostatique et gravitation.

- 4.1. Analogies.
- 4.2. Résultats transposables.
 - i) Champ gravitationnel.
 - ii) Potentiel gravitationnel. Energie potentielle gravitationnelle.
 - iii) Théorème de Gauss.
- 4.3. Champ et potentiel produit par une distribution sphérique de masse.
- 4.4. Résultats non transposables.

EM4. Dipôle électrostatique.

1. Définitions.

- 1.1. Dipôle électrostatique.
- 1.2. Moment dipolaire.

2. Potentiel et champ créés par un dipôle.

- 2.1. Approximation dipolaire.
- 2.2. Potentiel du dipôle.
- 2.3. Champ du dipôle.
- 2.4. Topographie de \vec{E} et de V .
 - i) Surfaces équipotentielles.
 - ii) Lignes de champ.

3. Actions d'un champ électrostatique sur un dipôle.

- 3.1. Cas d'un dipôle rigide.
 - i) Cas d'un champ uniforme.
 - a) Force.
 - b) Moment.
 - ii) Cas d'un champ non uniforme.
 - a) Force.
 - b) Moment.

- 3.2. Cas d'un dipôle non rigide.

4. Energie potentielle d'interaction. Cas d'un dipôle rigide.

- 4.1. Travail d'un opérateur.
- 4.2. Energie potentielle d'interaction entre un dipôle rigide et un champ appliqué.

5. Intérêt du concept de dipôle.

EM5. Mouvements d'une particule chargée dans un champ électromagnétique. Milieux conducteurs

1. Force de Lorentz.

- 1.1. Expression.
- 1.2. Propriétés.

2. Particule chargée dans un champ électrique uniforme et permanent.

- 2.1. Equation du mouvement.
- 2.2. Cas où \vec{v}_o est colinéaire à \vec{E} .
- 2.3. Cas où \vec{v}_o est normal à \vec{E} . Déviation de la trajectoire.

3. Particule chargée dans champ magnétique uniforme et permanent.

- 3.1. Mise en équation. Précession de la vitesse.
- 3.2. Equations différentielles du mouvement.
- 3.3. Cas particulier d'une vitesse orthogonale au champ: mouvement cyclotron.
 - i) Mouvement plan.
 - ii) Résolution des équations différentielles.
 - iii) Résolution des équations différentielles : Méthode de la variable complexe.
 - iv) Déviation magnétique de la trajectoire d'une particule chargée.
- 3.4. Cas général : mouvement hélicoïdal.

4. Actions simultanées d'un champ électrique et d'un champ magnétique.

- 4.1. Champs électrique et magnétique parallèles.
- 4.2. Champs électrique et magnétique perpendiculaires : filtre de Wien.

5. Milieux conducteurs.

- 5.1. Vecteur densité de courant \vec{j} . Loi d'Ohm locale.
 - i) Milieux conducteurs.
 - ii) Modèle de P.K. Drude.
 - iii) Vecteur densité de courant. Loi d'Ohm locale.
 - iv) Résistivité.
- 5.2. Conductivité et résistivité des métaux.
 - i) Modèle collisionnel.
 - ii) Limites de validité du modèle.
- 5.3. Résistance électrique d'un conducteur filiforme.

6. Modèle classique de l'effet Hall.

- 6.1. Description.
- 6.2. Modèle classique de l'effet Hall.
- 6.3. Limites du modèle.
- 6.4. Utilisation de l'effet Hall.

7. Force de Laplace.

- 7.1. Champ de Hall et force de Laplace.
- 7.2. Cas d'un conducteur filiforme.

EM6. Champ magnétique.

1. Distributions de courants.

1.1. Courants volumiques.

- i) Vecteur densité volumique de courants.
- ii) Lignes et tubes de courant.
- iii) Flux conservatif de \vec{j} en régime permanent.

1.2. Courants surfaciques. Vecteur densité surfacique de courants.

1.3. Courants filiformes.

2. Symétries des distributions de courants.

2.1. Symétrie et antisymétrie planes.

2.2. Invariances par translation et rotation.

2.3. Symétries cylindrique et sphérique.

3. Définition du champ magnétostatique. Cadre de l'étude.

4. Loi de Biot et Savart. Cas des circuits filiformes.

4.1. Enoncé.

4.2. Exemple : Champ magnétique en un point de l'axe d'une spire circulaire.

5. Topographie du champ.

5.1. Lignes de champ. Visualisation d'un spectre magnétique.

5.2. Points de champ nul. Points singuliers.

6. Propriétés de symétrie du champ magnétique.

6.1. Invariances d'une distribution de courants et du champ correspondant.

6.2. Direction de \vec{B} en un point d'un plan de symétrie ou d'antisymétrie d'une distribution.

6.3. Exemple : Champ magnétique créé par un fil « infini ».

6.4. Exemple : Champ sur l'axe d'un solénoïde. Limite du solénoïde infini.

EM7. Circulation du champ magnétique : Théorème d'Ampère. Flux du champ magnétique.

1. Circulation du champ d'un fil « infini ».

- 1.1. Circulation élémentaire.
- 1.2. Circulation du champ sur un contour fermé enlaçant le fil.
- 1.3. Circulation du champ sur un contour fermé n'enlaçant pas le fil.
- 1.4. Lien avec le courant électrique traversant le contour.

2. Théorème d'Ampère.

- 2.1. Énoncé.
- 2.2. Condition aux limites : cas de la composante tangentielle.
- 2.3. Calcul du champ magnétique à l'aide du théorème d'Ampère.
 - i) Cas d'une nappe de courant plane.
 - ii) Cas d'une distribution de courants axisymétriques : le tore.
 - iii) Cas d'un fil rectiligne infini.

3. Flux du champ magnétique.

- 3.1. Cas d'une spire plane.
- 3.2. Caractère conservatif du flux magnétique.
- 3.3. Continuité de la composante normale du champ magnétique.

EM8. Dipôle magnétique.

- 1. Moment magnétique.**
 - 1.1. Moment magnétique d'un circuit filiforme.
 - 1.2. Cas d'une spire circulaire.
 - 1.3. Moment magnétique d'une distribution de courants.
- 2. Dipôle magnétique. Approximation dipolaire.**
- 3. Champ magnétique créé par un dipôle.**
 - 3.1. Analogies avec le dipôle électrostatique.
 - 3.2. Application au calcul du champ magnétique.
 - 3.3. Différences entre doublet et spire.
- 4. Intérêt du concept de dipôle magnétique.**