

## Programme de colles Physique PC\* - Semaine 13

Une colle comportera :

- une question de cours à traiter en moins de 15 minutes,
- un exercice.

Une question de cours non sue entrainera une note inférieure à la moyenne.

*Les démonstrations à savoir (questions de cours - non exhaustives - typiques pouvant être posées par l'examineur) sont marquées en rouge et introduites par le symbole ☞.*

### Capacités numériques

## Capacités numériques 8 et 9

Résolution de l'équation de diffusion par une méthode d'Euler explicite (la seule au programme).

Utilisation de Numpy.

### Électromagnétisme 2

## Champ et potentiel électrostatiques

### 1 Interaction entre deux charges fixes

#### 1.1 Loi de Coulomb

☞ Connaître l'expression de la force exercée par une particule chargée sur une autre. Connaître également le champ électrique créé par une particule chargée.

#### 1.2 Ligne de champ - Tube de champ

Définition d'une ligne de champ et d'un tube de champ.

#### 1.3 Potentiel électrostatique

☞ Connaître la relation  $\vec{E} = -\text{grad}V$  et connaître  $V$  créé par une charge ponctuelle. Énergie électrostatique d'une charge dans un potentiel électrostatique. Caractère conservatif de la force  $\vec{F} = q\vec{E}$ . Application à l'accélération d'un électron et définition de l'électron-volt.

### 2 Généralisation à une source constituée de plusieurs charges fixes

#### 2.1 Champ électrostatique créé par plusieurs charges fixes

Donné à titre de culture générale, aucun calcul de champ par sommation sur la distribution n'est au programme.

#### 2.2 Propriétés du champ électrostatique

☞ Connaître les propriétés équivalentes du champ électrostatique  $\vec{E}$ .

#### 2.3 Théorème de Gauss

Expressions locale et intégrale.

#### 2.4 Propriétés d'invariances et de symétries pour E

#### 2.5 Propriétés topographiques de E

Savoir lire une carte de lignes de champ électrique. Les équipotentielles sont perpendiculaires aux lignes de champ, les lignes de champ ne sont jamais refermées, des lignes de champ qui se resserrent correspondent à une augmentation de la norme du champ.

#### 2.6 Équation de Poisson

#### 2.7 Conducteur à l'équilibre électrostatique

Normalement hors-programme mais il est recommandé de connaître les points suivants : propriétés d'un conducteur à l'équilibre électrostatique, absence d'extremum de potentiel dans une région vide de charges, application à la cage de Faraday.

### 3 Exemples de calculs de E

#### 3.1 Boule uniformément chargée

☞ Savoir déterminer  $\vec{E}$  et  $V$  en tout point de l'espace.

#### 3.2 Modèle de noyau atomique

Ordre de grandeur de l'énergie de constitution du noyau à savoir retrouver par la dimension.

☞ Calcul exact à savoir faire en amenant depuis l'infini des couches infiniment fines infiniment lentement.

#### 3.3 Plan infini uniformément chargé en surface

☞ Savoir démontrer l'expression du champ électrostatique en tout point en dehors du plan.

#### 3.4 Condensateur plan

☞ Savoir démontrer l'expression de la capacité d'un condensateur plan (expression à connaître).

☞ Savoir calculer l'énergie d'un condensateur plan et savoir retrouver l'expression de la densité volumique d'énergie.

#### 3.5 Condensateur sphérique

☞ Savoir démontrer l'expression de la capacité d'un condensateur sphérique (expression à connaître).

Le condensateur cylindrique est laissé en travail personnel.

#### 3.6 Théorème de Coulomb

Paragraphe hors-programme : champ électrostatique au voisinage d'un conducteur à l'équilibre électrostatique.

#### 3.7 Analogie avec le champ gravitationnel

☞ Champ gravitationnel créé par une boule de masse volumique uniforme.

### 4 Dipôle électrostatique

#### 4.1 Définition

Définition générale et définition dans le cas d'un doublet de charges (lien avec la chimie). Approximation dipolaire.

#### 4.2 Potentiel électrostatique

☞ Savoir démontrer l'expression du potentiel électrostatique du dipôle.

#### 4.3 Champ électrostatique

#### 4.4 Actions subies par un dipôle placé dans un champ électrostatique extérieur

Force, couple et énergie potentielle (pour un dipôle rigide dans le dernier cas). Les résultats ont été démontrés mais la démonstration n'est pas exigible (les résultats oui par contre).

#### 4.5 Dipôles induits

Notion de polarisabilité. Expression de la polarisabilité dans le cas du modèle de Thomson.

☞ L'exercice suivant peut-être considéré comme exercice de cours.

#### Exercice :

Avant l'expérience de Rutherford, montrant que la charge positive d'un atome était localisée dans une région de l'espace de dimension très petite devant la dimension typique de l'atome, Thomson avait proposé un modèle dans lequel la charge du noyau était uniformément répartie dans une boule de rayon  $a$  correspondant au rayon de l'atome. Dans ce modèle, la charge négative était elle portée par l'électron qui pouvait se déplacer à l'intérieur de la boule. Nous allons adopter ce modèle (certes simpliste mais qui donnera un bon ordre de grandeur de la polarisabilité) pour l'atome d'Hydrogène.

1. Déterminer la densité volumique de charge correspondante.
2. Déterminer le champ électrique en tout point  $r < a$  à l'intérieur de l'atome.

3. En déduire la force subie par l'électron de la part de la charge positive.
4. On place maintenant l'atome dans un champ électrique extérieur  $\vec{E}_{ext}$ . Déterminer la position  $\vec{r}_{eq}$  de l'électron à l'équilibre.
5. Que vaut alors le dipôle induit par le champ électrique extérieur? En déduire la polarisabilité de l'atome d'Hydrogène dans ce modèle.

Exercices traités en exercice : Calculs de champs électrostatiques dans le cas d'une sphère creuse, capacité électrique d'une ligne bifilaire, jonction PN, sphère creuse dans une boule chargée.

### Mécanique 1

## Mécanique PCSI

Tout le programme de mécanique de PCSI : Dynamique du point en référentiel galiléen (la vitesse et l'accélération en coordonnées cylindriques doivent être connues), énergie, théorème du moment cinétique (**le calcul du moment d'une force ne doit pas poser de problème, quelle que soit la méthode envisagée**), solide en rotation autour d'un axe fixe, forces centrales.

Parmi les exercices revus en classe : brique sur une pente avec frottements solides, pendule pesant et portrait de phase, saut à l'élastique, pendule sur un plan incliné, vitesse de libération, 3e loi de Kepler dans une trajectoire circulaire, orbite elliptique de transfert, freinage d'un satellite sur une orbite quasi-circulaire.

### Électromagnétisme 3

## Conduction électrique dans un conducteur ohmique

### 1 Loi d'Ohm locale dans un conducteur ohmique

☞ Connaître les hypothèses du modèle de Drude pour un conducteur ohmique. Savoir redémontrer l'expression de la conductivité électrique et connaître la loi d'Ohm locale.

### 2 Résistance d'une portion de conducteur ohmique parallélépipédique

☞ Savoir redémontrer l'expression de la résistance et connaître son expression.

Exercice traité en TD : paratonnerre et résistance électrique du sol.

### Électromagnétisme 4

## Magnétostatique

### 1 Propriétés de symétrie de B

#### 1.1 Loi de Biot et Savart

Cette loi est hors-programme et non exigible mais donnée ici afin de montrer l'analogie (et les différences) avec le champ électrique.

#### 1.2 Propriétés de symétrie de B

### 2 Équations intégrales et locales du champ magnétostatique

#### 2.1 Conservation du flux de B

#### 2.2 Théorème d'Ampère

Ce théorème est bien sûr à connaître par cœur.

### 2.3 Linéarité des équations du champ magnétique

### 2.4 Propriétés topographiques du champ magnétostatique

## 3 Exemples de calculs de champs magnétostatiques

### 3.1 Fil rectiligne infini

☞ Connaître l'expression du champ magnétique et sa démonstration.

### 3.2 Câble rectiligne infini

☞ Savoir démontrer l'expression du champ magnétique en tout point de l'espace.

### 3.3 Solénoïde infini

☞ Savoir démontrer l'expression du champ magnétique en tout point de l'espace et connaître son expression par cœur.

☞ Savoir retrouver l'expression de l'inductance propre du solénoïde long.

☞ Savoir retrouver dans le cas du solénoïde l'expression de la densité volumique d'énergie magnétique.

## 4 Forces de Lorentz et de Laplace (révision PCSI)

### 4.1 Force de Lorentz

### 4.2 Trajectoire d'une particule chargée dans un champ électrique et magnétique uniforme

☞ Savoir étudier la trajectoire de la particule avec la projection dans la base cartésienne et dans la base de Frénet.

### 4.3 Force de Laplace

### 4.4 Sonde à effet Hall

☞ Savoir expliquer qualitativement l'effet Hall.

## 5 Dipôles magnétiques

### 5.1 Moment dipolaire magnétique

☞ Définition du dipôle magnétique et du moment dipolaire magnétique + unité à connaître.

### 5.2 Résultante et moment des forces appliquées sur le dipôle magnétique

### 5.3 Énergie potentielle d'un dipôle rigide dans B extérieur

### 5.4 Champ magnétique créé par un dipôle magnétique

### 5.5 Dipôle magnétique d'un atome d'hydrogène

☞ Retrouver le facteur gyromagnétique de l'électron dans le cas du modèle planétaire de l'atome d'hydrogène.

☞ Connaître la quantification de  $L_z$ , en déduire que la composante selon  $z$  du moment magnétique est un multiple du magnéton de Bohr.

### 5.6 Origine du ferromagnétisme

Savoir expliquer qualitativement l'origine du ferromagnétisme.

Savoir donner l'ordre de grandeur du moment magnétique volumique d'un ferromagnétique