

## *International Recruitment of IP Paris Schools for Engineering Cycle*

# Contenu des connaissances recommandé en Physique

### Constantes physiques

Les valeurs des constantes de Planck, de Boltzmann et d'Avogadro, la charge et la masse de l'électron, la vitesse de la lumière dans le vide, la permittivité et la perméabilité du vide, en système d'unités *SI* (deux chiffres significatifs au moins).

### Ordres de grandeur

Les ordres de grandeur du champ magnétique terrestre, du rayon de la Terre, de l'accélération de la pesanteur à la surface de la Terre, de la concentration des électrons dans un métal typique, de la longueur d'onde d'une onde électromagnétique du spectre visible, de la distance entre deux atomes dans un solide ou un liquide, du rayon de Bohr de l'état fondamental de l'atome de l'hydrogène, de la taille du noyau.

## ***Techniques de calcul indispensables et obligatoires***

Maîtrise d'un certain nombre de techniques de calcul obligatoire dont :

### Equivalents

Savoir analyser le comportement d'une quantité physique  $A(x)$  au voisinage d'une valeur particulière de la variable  $x$ . Equivalents usuels pour  $x \approx 0$  :

$$\sin x \approx x - \frac{x^3}{6}; \quad \cos x \approx 1 - \frac{x^2}{2}; \quad \tan x \approx x + \frac{x^3}{3}; \quad \cot g x \approx \frac{1}{x} - \frac{x}{3}$$

$$e^x \approx 1 + x + \frac{x^2}{2}; \quad \ln(1+x) \approx x; \quad (1+x)^\alpha \approx 1 + \alpha x + \frac{(\alpha)(\alpha-1)}{2} x^2$$

### Dérivées et primitives des fonctions d'une variable

Dérivation des fonctions élémentaires ( $x^n$ ,  $\ln x$ ,  $e^x$ ,  $\sin x$ ,  $\cos x$ ,  $\operatorname{tg} x$ ,  $\operatorname{cot} g x$ ), de même que d'une fonction composée  $f(g(x))$ .

Règle de dérivation du produit, du quotient de deux fonctions d'une variable réelle.

Primitives des fonctions élémentaires ci-dessus.

Intégration par parties.

Conditions de convergence d'une intégrale dans les cas d'intervalle d'intégration infini ou de présence de points de discontinuité.

### Fonctions de plusieurs variables. Opérateurs différentiels usuels

Différentielle totale.

Dérivées partielles par rapport à une variable d'une fonction de plusieurs variables.

Opérateur nabla  $\vec{\nabla}$ . Gradient  $\vec{\nabla} f$  d'une fonction  $f(\mathbf{r})$ .

Rotationnel  $\vec{\nabla} \times \mathbf{A}$  d'un champ vectoriel  $\mathbf{A}(\mathbf{r})$ . Divergence  $\vec{\nabla} \cdot \mathbf{A}$ . Circulation  $\int_{(C)} \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l}$ .

Laplacien  $\Delta f$  et Laplacien vectoriel  $\Delta \mathbf{A}$ .

### Intégrales multiples. Théorèmes de Stokes, de Gauss-Ostrogradski

Réduction des intégrales multiples à des intégrales simples en utilisant les propriétés de symétrie (cylindrique, sphérique) des intégrands et les surfaces (volumes) impliqués. Théorème de Stokes.

Théorème de Gauss-Ostrogradski.

### Equations différentielles

Résolution des équations différentielles du premier ordre à variables séparables.

Résolution des équations du deuxième ordre, linéaires, homogènes à coefficients constants.

Polynôme caractéristique, nombre et nature des solutions, amortissement critique.

Résolution des équations du deuxième ordre linéaires, à coefficients constants avec second membre (inhomogènes). Notions d'oscillations forcées et de résonance.

## Equations aux dérivées partielles

Solution de d'Alembert de l'équation d'onde.

Onde plane progressive monochromatique. Notions de vecteur d'onde, longueur d'onde, fréquence temporelle, période temporelle.

Grandes équations phénoménologiques (lois de Fick, de Fourier, équation de la diffusion).

Bilans (d'énergie, de masse, etc.) dans un volume élémentaire.

## Algèbre linéaire

Calcul d'un déterminant, diagonalisation d'une matrice, notions de valeurs propres et de vecteurs propres d'un opérateur linéaire.

## Trigonométrie

Définitions et propriétés courantes des fonctions trigonométriques (sinus, cosinus, tangente, cotangente).

Formules de trigonométrie usuelles ( $\cos 2x = \cos^2 x - \sin^2 x$  ;  $\sin 2x = 2 \sin x \cos x$  ;  $\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \left[ \frac{\alpha + \beta}{2} \right] \cos \left[ \frac{\alpha - \beta}{2} \right]$  ;  $\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \left[ \frac{\alpha + \beta}{2} \right] \cos \left[ \frac{\alpha - \beta}{2} \right]$ , etc.).

Série de Fourier pour une fonction périodique suffisamment régulière.

# **I. Mécanique**

## Mécanique newtonienne

Lois de Newton : principe d'inertie, principe de l'action et de la réaction, principe fondamental de la dynamique.

Relativité galiléenne. Notions sur les repères non galiléens et les forces dites « d'inertie » (repères à accélération rectiligne et à rotation uniforme, en particulier).

Théorème du moment cinétique. Théorème de l'énergie cinétique. Théorème de l'impulsion.

Systèmes de deux particules. Mouvement à force centrale, états liés, états de diffusion.

Expression de la vitesse et de l'accélération d'un point matériel en coordonnées polaires cylindriques et sphériques.

Notion d'énergie potentielle. Indépendance du chemin pour le travail d'une force dérivant d'un potentiel.

Conservation de l'énergie mécanique d'un système matériel isolé, dans le cas des forces conservatives.

Conservation du moment cinétique dans le cas de forces centrales. Première et deuxième loi de Kepler (la loi des sections coniques et la loi des aires).

Conservation de l'impulsion, dans le cas d'un système isolé. Chocs élastiques et inélastiques.

Notion de centre de masse d'un système des masses.

Expressions de l'énergie potentielle, cinétique et de l'énergie totale d'une particule, dans le cas d'une trajectoire circulaire.

## Mécanique des solides

Solides indéformables. Solide en rotation autour d'un axe. Moment d'inertie d'un solide. Expression de l'énergie cinétique d'un solide comme somme d'un terme de translation de son centre de masse et de l'énergie cinétique des particules le constituant dans le référentiel lié au centre de masse (théorème de Koenig). Problème du pendule pesant.

## Statique et mécanique des fluides

Description d'Euler (notion de champ de vitesse) d'un fluide. Notions de densité de courant, de débit massique et de débit volumique. Bilan de masse. L'équation locale de conservation de la masse.

Définitions d'un écoulement stationnaire, d'un écoulement incompressible, d'un écoulement irrotationnel.

Écoulements parfaits : équation d'Euler, relation de Bernoulli pour les écoulements incompressibles et homogènes.

Calcul de la résultante des forces de pression s'exerçant sur un objet, en statique des fluides.

Notion de poussée d'Archimède s'exerçant sur un objet immergé dans un fluide.

## Applications de la mécanique

Force de Lorentz (force exercée sur une particule chargée par des champs électrique et magnétique constants). Trajectoire d'une particule chargée dans un champ magnétique statique et uniforme.

Oscillateurs linéaires, oscillateur harmonique amorti. Oscillations forcées, résonances.

## **II. ÉLECTROCINÉTIQUE**

Tension électrique. Lois de Kirchhoff des nœuds et des mailles. Courant électrique. Loi d'Ohm. Théorème de superposition.

Composants élémentaires des circuits, résistance, condensateur, self (bobine d'induction). Leurs impédances en régime sinusoïdal.

Régime transitoire de charge et décharge d'un condensateur.

Courants et tensions sinusoïdales. Intensité maximum, intensité efficace. Branchements en série, en parallèle.

Étude des résonances dans les circuits en régime sinusoïdal. Circuit *RLC*. Lien avec les résonances étudiées en mécanique.

## **III. ÉLECTROMAGNÉTISME**

### Electrostatique

Loi de Coulomb. Notion de champ électrique. Champ électrostatique  $\mathbf{E}$ . Circulation, flux de  $\mathbf{E}$ . Théorème de Gauss. Propriétés de symétrie de  $\mathbf{E}$ .

Potentiel électrostatique  $\phi$ , équation de Poisson.

Calcul de  $\mathbf{E}$  et de  $\phi$  dans le cas d'une distribution de charge  $\rho$  simple. Potentiel électrostatique entre les plaques d'un condensateur plan.  
Notion de dipôle, champ créé par un dipôle à grande distance de ce dernier, énergie d'interaction d'un dipôle permanent avec un champ électrique. Définition du vecteur polarisation  $\mathbf{P}$ .  
Champ électrique dans un conducteur à l'équilibre, surfaces équipotentielles.  
Champ au voisinage de la surface d'un métal.  
Loi de Coulomb entre deux charges plongées dans un diélectrique homogène, linéaire et isotrope.

### Magnétostatique

Champ magnétostatique  $\mathbf{B}$ . Propriétés de symétrie de  $\mathbf{B}$ .  
Champ créé par un circuit filiforme parcouru par un courant (loi de Biot - Savart), les deux équations de Maxwell (la divergence de  $\mathbf{B}$  et le théorème d'Ampère), potentiel vecteur  $\mathbf{A}$ .  
Non-unicité du potentiel électrostatique  $\phi$  et du potentiel vecteur  $\mathbf{A}$ , unicité des champs électrique  $\mathbf{E}$  et magnétique  $\mathbf{B}$ .  
Circulation de  $\mathbf{B}$ . Lien entre la circulation de  $\mathbf{B}$  et les courants enlacés (théorème du courant total).  
Calcul de  $\mathbf{B}$  créée par des fils rectilignes et des spires circulaires. Champ sur l'axe d'une spire circulaire et d'un solénoïde de section circulaire. Loi de Laplace.  
Dipôle magnétique et moment magnétique  $\mathbf{M}$ . Expression de l'énergie d'interaction d'un moment magnétique avec un champ magnétique  $\mathbf{B}$ .  
Flux de  $\mathbf{B}$ . Phénomène de l'induction électromagnétique, loi de Faraday, règle de Lenz.

### Ondes électromagnétiques

Onde électromagnétiques dans le vide.  
Equations de Maxwell dans le vide. Ondes planes progressives harmoniques comme solutions des équations de Maxwell dans le vide. Fréquence, longueur d'onde, vecteur d'onde. Notion de vitesse de phase.  
Transversalité des champs électrique et magnétique.  
Etat de polarisation d'une onde électromagnétique. Polarisation rectiligne, circulaire.  
Densité volumique d'énergie électromagnétique, vecteur de Poynting.  
Notion de paquet d'onde. Vitesse de groupe.

Onde électromagnétique dans un milieu matériel (linéaire et isotrope).  
Champs  $\mathbf{E}$  et  $\mathbf{B}$  macroscopiques. Relations constitutives en complément des équations de Maxwell.  
Constante diélectrique complexe  $\varepsilon(\omega)$  dépendant de la fréquence.  
Notions d'indice de réfraction complexe, de dispersion et d'absorption.  
Modèles microscopiques décrivant la polarisation matérielle du milieu : modèle de Drude, modèle de l'électron élastiquement lié (modèle de Lorentz).

## IV. OPTIQUE

### Optique géométrique

Notion de rayon lumineux. Réflexion-réfraction par un miroir plan. Lois de Snell-Descartes. Angle limite. Phénomène de réflexion totale. Miroir sphérique, lentille, relations de conjugaison et de grandissement.

### Optique ondulatoire

Réflexion-réfraction d'une onde plane progressive sinusoïdale polarisée rectilignement à l'interface entre deux diélectriques. Démonstration des lois de Snell-Descartes. Notion de chemin optique. Interférences non localisées entre deux ondes totalement cohérentes. Interféromètre de Michelson. Lames minces. Cavity de Fabry-Pérot. Diffraction à l'infini. Principe de Huyghens-Fresnel. Diffraction par une fente rectangulaire. Diffraction à l'infini par deux fentes (fentes d'Young), par un réseau de fentes.

## V. THERMODYNAMIQUE

Fonctions d'état : énergie interne, entropie, enthalpie, énergie libre, enthalpie libre ainsi que leurs différentielles.

Variables extensives, intensives, équilibre thermodynamique.

Capacités thermiques à volume constant et à pression constante.

### Gaz parfait

Modèle du gaz parfait monoatomique. Distribution de Maxwell-Boltzmann des vitesses pour un gaz parfait monoatomique. Théorème d'équipartition.

Chocs sur une paroi. Relation entre pression et vitesse quadratique moyenne.

Gaz parfaits dans un champ de force dérivant de l'énergie potentielle  $V(\mathbf{r})$ . Loi du nivellement barométrique.

Les limites du modèle de gaz parfait. Les gaz réels. Le gaz de van der Waals.

### Premier et second principes de la thermodynamique

Premier principe. Energie interne  $U$ . Transferts de chaleur. Travail échangé par un système. Travail des forces de pression. Enthalpie et détente de Joule-Thomson. Enthalpie d'un gaz parfait.

Second principe. Entropie  $S$ . Bilans entropiques. Evolutions réversibles et irréversibles. Définition thermodynamique de la température.

Entropie pour un gaz parfait, pour une phase condensée et indilatable.

Machines thermiques. Cycle ditherme. Rendements. Théorème de Carnot.

Corps pur en équilibre. Point triple, point critique, enthalpie et entropie de changement d'états. Formule de Clapeyron.

Energie libre et enthalpie libre : définitions et différentielles. Potentiel chimique. Cas du gaz parfait. Equilibre entre deux phases. Généralisation, règle des phases de Gibbs.