Révisions en sciences physiques

Je vous donne un planning détaillé de ce qu'il faut savoir et savoir faire.

En priorité et avant tout autre chose, il faut revoir le cours et le connaître parfaitement et savoir l'appliquer aux exercices classiques (ce sont les exercices des TD que nous avons fait ensemble) et en dernier lieu s'il reste du temps, vous refaites des bouts de DS que nous avons faits dans l'année.

C'est normal que vous ne fassiez pas tous le même nombre d'exercices pendant les révisions et que vous n'avanciez pas au même rythme. Vous n'aurez pas tous la même école et ce n'est pas un jugement de valeur. Donc il est important que vous vous fixiez un objectif raisonnable en fonction de vos capacités et que vous donniez le meilleur de vous même pour réaliser cet objectif.

MAIS je répète tant que le cours et les exercices de base ne sont pas sus ce n'est pas la peine de passer à autre chose!

Pour la modélisation, travaillez régulièrement.

I. Modélisation

Simuler la marche au hasard d'un grand nombre de particules à partir d'un centre et caractériser l'étalement de cet ensemble au cours du temps. **Voir rubrique thermodynamique chap Th3: marche au hasard**

Résoudre l'équation de diffusion thermique à une dimension avec la méthode d'Euler (utilisation de tableaux à 2D) **Voir diffusion thermique dans rubrique python**

Illustrer un effet lié au caractère non galiléen du référentiel terrestre. **Voir exercices du TD mécanique terrestre pour la déviation vers l'est.**

Simuler la propagation d'un paquet d'onde dans un milieu dispersif et visualiser le phénomène d'étalement. **Voir chap EM10: absorption et dispersion** .

Mettre en oeuvre la méthode d'Euler pour simuler la réponse d'un d'un système linéaire (voir TD dynamique en référentiel non galiléen exercice VIII).

Vous pouvez aussi regarder (si vous avez le temps) les exemples concernant le programme de sup:

Simuler l'action d'un filtre sur un signal périodique dont le spectre est fourni. **Voir filtrage dans rubrique python.**

Résoudre une équation différentielle du deuxième ordre non linéaire (méthode d'Euler et odeint) **Voir chute avec frottements dans rubrique python**

Obtenir des trajectoires d'un point matériel soumis à un champ de force centrale conservatif. **Voir forces centrales dans rubrique python**

Mettre en évidence le non isochronisme des oscillations. **Voir pendule dans rubrique python**

II. **Mécanique des fluides**

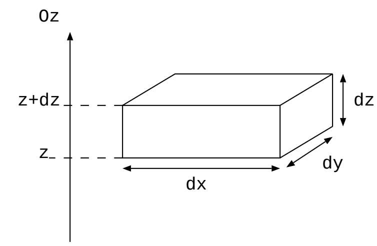
1. Savoir résoudre une équation différentielle de la forme $\dot{x} + \dfrac{x}{\tau} = C$ avec $x(t=0) = x_0$.

2. Savoir résoudre une équation différentielle de la forme $\ddot{x} - \omega_0^2 x = C$ avec $x(t=0) = x_0$ et $\dot{x}(t=0) = v_0$.

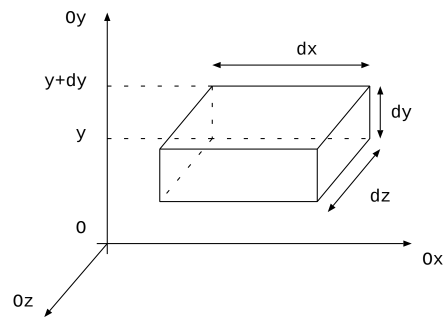
3. Savoir résoudre une équation différentielle de la forme $\ddot{x} + \dfrac{\omega_0}{Q}\dot{x} + \omega_0^2 x = \omega_0^2 x_e$ pour un régime pseudo-périodique (en ne cherchant pas à calculer les constantes d'intégration). Exprimer le décrément logarithmique $\delta = \ln(\dfrac{x(t) - x_e}{x(t+T) - x_e})$ en fonction de Q.

4. Savoir résoudre l'équation différentielle de la forme $\ddot{x} + \dfrac{\omega_0}{Q}\dot{x} + \omega_0^2 x = A\cos(\omega t)$ en régime forcé en posant $\underline{x}(t) = \underline{X}_m e^{j\omega t}$ avec $\underline{X}_m = X_m e j\phi$. Exprimer X_m et ϕ.

5. Soit une particule fluide de volume élémentaire $d\tau = dxdydz$. Exprimer la résultante des forces de pression exercées sur cette particule fluide pour $P = P(z)$. En déduire l'expression générale de la résultante des forces de pression exercée sur une particule fluide de volume $d\tau$.



6. Soit un écoulement décrit par le champ des vitesses $\overrightarrow{v} = v_x(y)\overrightarrow{e_x}$. On donne la force de viscosité exercée sur la couche de fluide de surface dS placée en y de la part du fluide au dessus d'elle: $d\overrightarrow{F_v}(y) = \eta \dfrac{\partial v_x(y)}{\partial y} dS\overrightarrow{e_x}$. Soit une particule fluide de volume élémentaire $d\tau = dxdydz$. Exprimer la résultante des forces de viscosité exercées sur cette particule fluide. En déduire l'expression générale de la résultante des forces de viscosité exercées sur le volume $d\tau$.



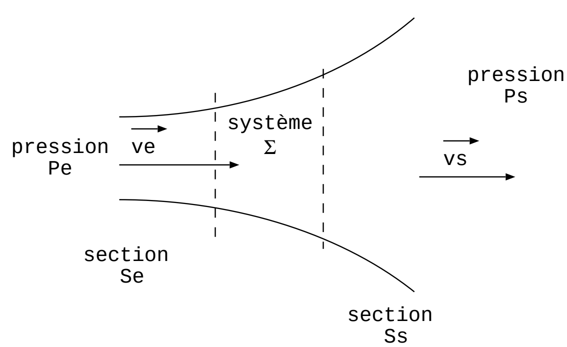
7. Ecrire l'équation de conservation de la masse et la démontrer en considérant un système élémentaire de section S compris entre x et $x + dx$ tel que le vecteur densité de courant de masse s'écrit $\overrightarrow{j} = j(x,t)\overrightarrow{e_x}$.

8. Définir le nombre de Reynolds, évaluer son ordre de grandeur et conclure.

9. Application de l'équation de Navier Stokes: exercices I (absolument), II ou III et IV (du TD dynamique des fluides)

10. Enoncer et appliquer le théorème de Bernoulli: exercices III, IV et V du TD mécanique des fluides parfaits.

11. Soit un fluide en écoulement, on définit un volume de contrôle entre deux parois fictives fixes. Ce volume de contrôle constitue le système ouvert Σ. On note δm_e et δm_s les masses entrante et sortante de Σ entre t et $t + dt$, respectivement aux vitesses $\overrightarrow{v_e}$ et $\overrightarrow{v_s}$. On se place en régime stationnaire.



11.a. Montrer, en utilisant le système ouvert Σ, que les débits massiques à l'entrée et à la sortie sont égaux.

11.b. Définir le système fermé $\Sigma^*(t)$ et $\Sigma^*(t + dt)$ et montrer que les débits massiques en entrée et en sortie sont égaux.

11.c. Exprimer $\dfrac{d\overrightarrow{p_{\Sigma^*}}}{dt}$.

11.d. Exprimer $\dfrac{dE_{m,\Sigma^*}}{dt}$.

11.e. Enoncer la loi de la quantité de mouvement et le théorème de la puissance mécanique.

11.f. Sur le système représenté, déduire de la loi de la quantité de mouvement l'expression de la force exercée par la canalisation sur le fluide supposé parfait.

11.g. Sur le système représenté, appliquer le théorème de la puissance mécanique (le fluide est supposé parfait).

12. TD hydrostatique: loi $P(z)$ dans un liquide ou dans un GP isotherme, expression de la pression dans un chariot en translation rectiligne uniformément accéléré et de la pression dans un récipient en rotation uniforme.

III. Mécanique

1. Connaître les expressions des forces d'inertie. Grands classiques: TD dynamique en référentiel non galiléen exercices IV et V.

2. Définir le poids et exprimer le champ de pesanteur en fonction de la latitude

3. Savoir écrire et appliquer la RFD dans le référentiel terrestre non galiléen: exercice III du TD dynamique terrestre.

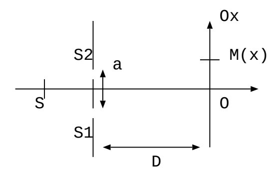
4. Forces Newtoniennes: revoir le rappel de cours. Sujet E3A 2020.

5. Mouvement de particules dans un champ E ou dans un champ B: Grands classiques : oscilloscope, spectromètre de masse et cyclotron.

IV. **Optique ondulatoire**

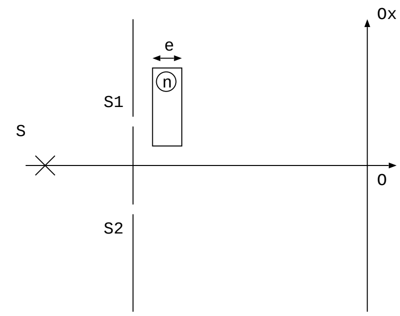
1. Si vous avez le temps: revoir la fibre optique et le prisme de sup.

2. Exprimer la différence de marche dans le dispositif d'Young. En déduire le forme des franges. Définir la notion d'interfrange. Rappeler l'expression de la différence de marche dans le dispositif d'Young et démontrer l'expression de l'interfrange.



3. Dans le dispositif d'Young, on ajoute derrière la fente S_1 une lame de verre d'indice n et d'épaisseur e. On fait l'hypothèse selon laquelle les rayons lumineux sont peu inclinés par rapport à l'axe optique donc la lame est traversée en incidence quasi normale et les rayons qui traversent la lame ne sont pas déviés.

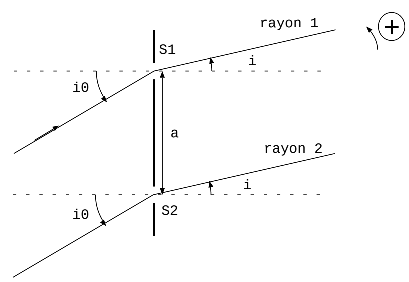
Prévoir le sens dans lequel défilent les franges en introduisant la lame. Exprimer la différence de marche $\delta_{2/1}(M)$ et en déduire l'ordre d'interférences en O. Commenter son signe.



4. Décrire et représenter le montage de Fraunhofer. Représenter les deux rayons issus de la source qui interfèrent en un point M de l'écran supposé être dans le champ d'interférences. Exprimer la différence de marche entre ces deux rayons et en déduire l'expression de l'interfrange.

5. Démontrer la formule des réseaux en transmission.

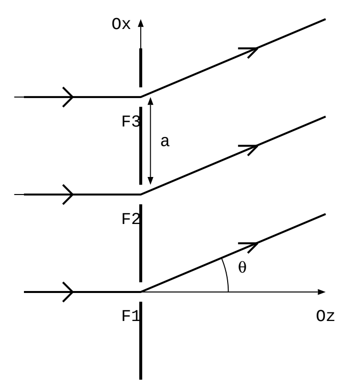
On note D_m l'angle de déviation minimale dans un réseau. Démontrer la relation $\sin(\frac{D_m}{2}) = \frac{p\lambda}{2a}$. Faire un schéma pour illustrer le minimum de déviation.



6. On note $a_1(M,t) = a_0\cos(\omega t)$ l'amplitude de l'onde reçue en M à l'instant t et passant par S_1 et $\phi_{2/1}(M) = \phi(M)$.

Exprimer l'amplitude résultante $a(M,t)$ des ondes reçues en M à l'instant t et passant par S_1, S_2,...S_N. On fait l'hypothèse que les N ondes ont la même intensité I_0 et la même amplitude a_0. Exprimer l'intensité résultante en M notée $I(M)$ en fonction de $a(M,t)$.

On admet $I(M) = I_0(\frac{\sin(\frac{N\phi}{2})}{\sin(\frac{\phi}{2})})^2$. Exprimer l'intensité des franges brillantes et $\Delta\phi$ la largeur d'une frange brillante. Commenter les résultats.



7. Dans l'expérience des trous d'Young, la source est composée de deux longueurs d'onde λ_1 et λ_2. Exprimer les valeurs de x à l'écran pour lesquelles le contraste est nul.

8. Dans l'expérience des trous d'Young, le système est éclairé par deux sources S et S' de même longueur d'onde. Sur deux schémas différentes, montrer à quoi correspondent les différences de marche $\delta_S(M) = (SS_2M) - (SS_1M)$ et $\delta_{S'}(M) = (S'S_2M) - (S'S_1M)$ et donner sans calcul leurs expressions. Exprimer les valeurs de $h = SS'$ pour lesquelles le contraste est nul.

9. Dans l'expérience des trous d'Young, le système est éclairé par une fente source monochromatique de longueur d'onde λ. On donne le critère de brouillage en M à l'écran $|p_{S_{1/2}}(M) - p_{S_0}(M)| > \frac{1}{2}$. Expliquer l'intérêt et l'inconvénient de prendre une fente source assez large et expliquer le critère de brouillage (on ne demande pas de l'appliquer).

10. Dans l'expérience des trous d'Young, le système est éclairé par une source de lumière blanche. Qu'observe-t-on au point O de l'écran sur l'axe de symétrie? On se place en un point M d'abscisse x sur l'écran pour lequel la différence de marche $\delta(M)$ est donnée. On observe dans le spectre de la lumière en ce point M des cannelures. Préciser à quoi correspondent les cannelures et calculer le nombre de cannelures et les longueurs d'onde correspondantes. Donnée: $\delta(M) = 8\ \mu m$.

11. Représenter le schéma équivalent du Michelson réglé en lame d'air et construire les rayons lumineux qui arrivent sous une incidence i en utilisant les sources secondaires. En déduire la différence de marche.

12. Le Michelson est réglé en lame d'air: qu'est-ce que cela signifie? Donner sans démonstration l'expression de l'ordre d'interférences et en déduire la forme des franges? Où sont localisées les franges? Comment éclaire-t-on le Michelson et comment observe-t-on les franges? Que voit-on à l'écran lorsque l'on augmente l'épaisseur de la lame d'air? lorsqu'on diminue l'épaisseur de la lame d'air?

13. Le Michelson est réglé en coin d'air: qu'est-ce que cela signifie? Donner la forme des franges et l'expression de l'interfrange? Où sont localisées les franges? Comment éclaire-t-on le Michelson et comment observe-t-on les franges?

14. Faire un schéma du coin d'air et des rayons qui interfèrent, en déduire l'expression de la différence de marche et de l'interfrange.

15. Lorsque le Michelson est réglé en lame d'air, exprimer le rayon de l'anneau d'ordre p dans l'approximation des petits angles.

16. Le Michelson est réglé en lame d'air et est éclairé par un doublet. Expliquer ce que l'on voit à l'écran et exprimer les épaisseurs de la lame d'air pour lesquelles il y a brouillage.

V. **Laser**

1. Soit un système à deux niveaux d'énergies E_1 et $E_2 > E_1$.

Décrire les processus d'absorption, d'émission stimulée et d'émission spontanée. On donne les coefficients d'Einstein respectifs pour ces 3 processus: B_{12}, B_{21} et A_{21}. Exprimer $\dfrac{dN_2}{dt}$ en présence de ces 3 processus.

2. Décrire les processus d'émission spontanée et d'émission stimulée et distinguer les propriétés des photons émis par ces deux processus.

3. On donne le waist d'un faisceau laser w_0. Décrire le modèle cône/cylindre du faisceau, donner les relations permettant d'obtenir la longueur de Rayleigh et l'ouverture angulaire du faisceau.

4. On place une lentille convergente sur la partie cylindrique d'un faisceau gaussien caractérisé par w_0, θ et L_R. Faire un schéma pour expliquer la transformation du faisceau et exprimer les caractéristiques w'_0, θ' et L'_R du faisceau émergent.

5. On place une lentille convergente sur la partie conique d'un faisceau gaussien caractérisé par w_0, θ et L_R. Faire un schéma pour expliquer la transformation du faisceau et exprimer les caractéristiques w'_0, θ' et L'_R du faisceau émergent.

VI. **Thermodynamique**

1. Chapitre outils: savoir calculer un gradient sur une carte, savoir calculer un gradient, une divergence, un rotationnel et un laplacien en cartésiennes.

2. Faire le schéma fonctionnel d'un moteur avec le système fluide, les sources de chaleur et de travail et les sens des échanges énergétiques entre eux, donner l'expression du rendement d'un moteur et démontrer le théorème de Carnot associé.

3. Faire le schéma fonctionnel d'une PAC avec le système fluide, les sources de chaleur et de travail et les sens des échanges énergétiques entre eux, donner l'expression de l'efficacité d'une PAC et démontrer le théorème de Carnot associé.

4. Faire le schéma fonctionnel d'une machine frigorifique avec le système fluide, les sources de chaleur et de travail et les sens des échanges énergétiques entre eux, donner l'expression de l'efficacité d'une machine frigorifique et démontrer le théorème de Carnot associé.

5. Ecrire le second principe de la thermodynamique pour une transformation finie et l'appliquer au cas d'une transformation adiabatique et réversible.

6. Ecrire les hypothèses d'application et les trois lois de Laplace.

7. Décrire la détente de Joule Thomson (dispositif et hypothèses) et montrer qu'elle est isenthalpique.

8. Ecrire et démontrer le premier principe industriel.

9. Ecrire la loi de Fick et donner son sens physique. Citer l'ordre de grandeur d'un coefficient de diffusion dans un gaz, un liquide ou un solide.

10. Etablir l'équation locale de conservation du nombre de particules dans le cas d'un problème ne dépendant que d'une seule coordonnée d'espace en régime variable:

- en coordonnées cartésiennes avec $n = n(x,t)$ et $\overrightarrow{j_D} = j_D(x,t)\overrightarrow{e_x}$ (page 5 du cours)
- en coordonnées cylindriques avec $n = n(r,t)$ et $\overrightarrow{j_D} = j_D(r,t)\overrightarrow{e_r}$ (page 6 du cours)
- en coordonnées sphériques avec $n = n(r,t)$ et $\overrightarrow{j_D} = j_D(r,t)\overrightarrow{e_r}$ (page 7 du cours)

éventuellement en présence de sources internes: on note p le nombre de particules produites par unité de volume et de temps. En déduire l'équation de diffusion.

Exercices IV, V et IX du TD diffusion de particules.

11. Déduire d'une équation de diffusion par analyse dimensionnelle la relation entre les échelles caractéristiques de distance et de temps.

12. Citer l'ordre de grandeur d'un coefficient de diffusion thermique dans l'air, l'eau et dans un métal.

13. Etablir l'équation locale de conservation de l'énergie (premier principe de la thermodynamique) dans le cas d'un problème ne dépendant qu'une d'une seule coordonnée d'espace:

- en coordonnées cartésiennes avec $T = T(x,t)$ et $\overrightarrow{j_Q} = j_Q(x,t)\overrightarrow{e_x}$ (page 11 du cours)

éventuellement en présence de sources internes: on note p la puissance produite par unité de volume. En déduire l'équation de diffusion.

14. Définir la notion de résistance thermique par analogie avec l'électrocinétique. Illustrer les deux cas d'associations de résistance en série ou parallèle (page 5 du cours).

15. Régime stationnaire : établir l'expression d'un résistance thermique dans le cas d'un modèle à une dimension:

- diffusion thermique selon Ox en coordonnées cartésiennes: $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda S}$ (page 6 du cours)
- diffusion thermique selon $\overrightarrow{e_r}$ en coordonnées sphériques (page 10 du cours)
- diffusion thermique selon $\overrightarrow{e_r}$ en coordonnées cylindriques (page 9 du cours)

16. Déterminer la résistance de conducto-convection à partir de la loi de Newton donnée.

Exercices I, V, VII et IX du TD de diffusion thermique.

17. savoir appliquer les lois de Stefan et de Wien, savoir faire l'exercice de cours sur l'effet de serre.

VII. **Electromagnétisme**

1. Exprimer le champ et le potentiel électriques créés en M par une charge ponctuelle et par une distribution de charges.

2. Connaître la relation locale $\overrightarrow{E} = -\overrightarrow{\text{grad}}V$ et la relation intégrale $V(A) - V(B) = \displaystyle\int_A^B \overrightarrow{E}(M).d\overrightarrow{OM}$.

3. Identifier les plans de symétries P^+ et P^- dans une distribution de charges.

4. Exploiter les plans de symétrie pour:

- prévoir la direction du champ électrique

- prévoir la relation entre les potentiels et les champs électriques.

5. Enoncer le théorème de Gauss.

6. Déduire du théorème de Gauss, le champ électrique créé par une sphère de rayon R, de centre O et de charge $+Q$ uniformément répartie en volume. En déduire le potentiel électrique lorsque le potentiel est nul loin des charges.

7. Déduire du théorème de Gauss, le champ électrique créé par un cylindre de rayon R, de hauteur h et de charge $+Q$ uniformément répartie en volume lorsqu'on néglige les effets de bord. En déduire le potentiel électrique lorsque le potentiel est nul sur l'axe Oz.

8. Le plan Oxy est uniformément chargé en surface, on note σ la densité surfacique de charges. Montrer que le champ électrique en M s'écrit $\overrightarrow{E} = E(z)\overrightarrow{e_z}$ et établir la relation entre $\overrightarrow{E}(z)$ et $\overrightarrow{E}(-z)$. Déduire du théorème de Gauss, le champ électrique créé par ce plan. En déduire le champ électrique lorsque le potentiel est égal à V_0 en $z = 0$.

9. Le champ électrique créé par un plan infini de densité surfacique de charges σ uniforme a pour norme $\dfrac{\sigma}{2\epsilon_0}$. Un condensateur plan possède deux armatures placées en $z = 0$ et $z = e$ portant respectivement les charges surfaciques $+\sigma$ et $-\sigma$. On néglige les effets de bord, exprimer le champ électrique créé par le condensateur en tout point et en déduire la capacité du condensateur.

10. Utiliser les analogies entre les forces électrostatique et gravitationnelle, pour exprimer le théorème de Gauss en gravitation.

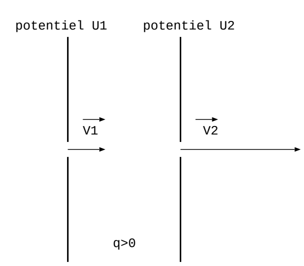
11. Soit un dipôle électrique composé d'une charge $-q$ et d'une charge $+q$ placées sur l'axe Oz respectivement en $z = -a/2$ et $z = +a/2$. Exprimer le moment dipolaire. Montrer que le potentiel électrique en M repéré par ses coordonnées sphériques s'écrit $V(M) = \dfrac{p\cos\theta}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ dans l'approximation dipolaire. En déduire le champ électrique.

On donne: $\overrightarrow{\text{grad}}V = \dfrac{\partial V}{\partial r}\overrightarrow{e_r} + \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial V}{\partial \theta}\overrightarrow{e_\theta} + \dfrac{1}{r\sin\theta}\dfrac{\partial V}{\partial \phi}\overrightarrow{e_\phi}$.

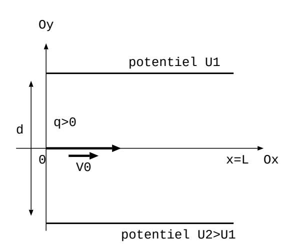
12. Soit un dipôle de moment dipolaire $\overrightarrow{p}$ placé dans un champ électrique extérieur $\overrightarrow{E}$. On note α l'angle entre le moment dipolaire et le champ électrique. Tracer la fonction donnant l'énergie potentielle en fonction de α et commenter la courbe.

On donne: $E_p = -\overrightarrow{p}.\overrightarrow{E}$.

13. On souhaite accélérer des particules de masse m et de charges q positives avec le dispositif ci-contre. Prévoir le signe de $U_2 - U_1$ et exprimer la vitesse v_2 des particules après accélération.

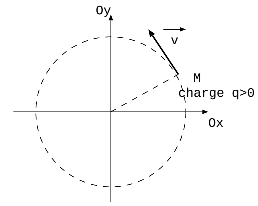


14. Les particules de masse m et de charges q positives sont déviés dans le dispositif ci-contre. Prévoir le sens de déviation et exprimer les coordonnées du point où les particules quittent la zone de champ électrique et leur vitesse en ce point.



-

15. Des particules de masse m et de charge $q > 0$ décrivent un cercle dans une zone de champ magnétique $\overrightarrow{B}$. Justifier que le mouvement est uniforme. Ajouter le champ magnétique sur le schéma et exprimer le rayon de la trajectoire.

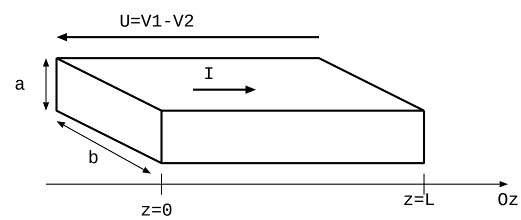


16. Le plomb est un métal dans lequel chaque atome libère deux électrons libres pour assurer la conduction du courant électrique. On donne la masse volumique du plomb: $\rho = 11,3.10^3\ kg.m^{-3}$, la masse molaire du plomb: $M = 207\ g.mol^{-1}$, la charge d'un électron: $e = 1,6.10^{-19}\ C$ et le nombre d'Avogadro: $\mathcal{N}_a = 6,02.10^{23}\ mol^{-1}$. Calculer le nombre d'électrons de conduction par unité de volume et la vitesse moyenne de ces électrons dans un fil électrique de rayon $R = 1\ mm$ et parcouru par un courant d'intensité $I = 2\ A$.

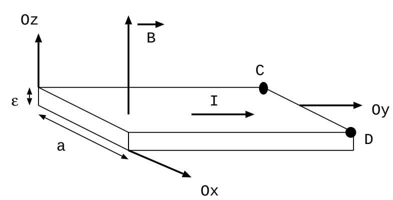
17. Dans un conducteur, les électrons libres de masse m et de charge $-e$ se déplacent sous l'action d'un champ électrique $\overrightarrow{E}$. Les interactions des électrons avec les autres électrons et les cations du métal se traduisent par une force de type frottements visqueux de la forme $\overrightarrow{f} = -\dfrac{m}{\tau}\overrightarrow{v}$. Etablir l'expression de la vitesse limite des électrons et en déduire l'expression de la conductivité électrique du métal (on introduit n^* le nombre d'électrons de conduction par unité de volume).

18. On considère un conducteur parallélépipédique de conductivité σ parcouru par un courant d'intensité I et soumis à la différence de potentiel $U = V_1 - V_2 = V(z = 0) - V(z = L)$. Déterminer l'expression de la résistance de ce conducteur en fonction des longueurs indiquées sur le schéma et de σ.

Exprimer la puissance cédée aux charges par le champ électrique. Commenter.



19. Un ruban d'argent de largeur $a = 1\ cm$, d'épaisseur $\epsilon = 0,1\ mm$ est parcouru par un courant $I = 15\ A$. Ce sont les électrons libres (un électron par atome d'argent) qui assurent la conduction du courant. Ce ruban est placé dans un champ magnétique uniforme $B = 2\ T$, normale au plan du ruban. On mesure la différence de potentiel $V_H = V(C) - V(D) = 32\ \mu V$.



19.a. En régime permanent les électrons se déplacent dans la direction Oy. Montrer que la vitesse des électrons de conduction s'écrit: $v = \dfrac{I}{nea\epsilon}$ où n est nombre d'électrons libres par unité de volume.

19.b. Déterminer le mouvement des électrons sous l'action de la force magnétique. En déduire les signes des charges apparues sur les surfaces en $x = 0$ et en $x = a$, en déduire le signe de V_H.

19.c. Que vaut la résultante des forces selon Ox? En déduire que $V_H = \dfrac{IB}{ne\epsilon}$. Calculer n et le comparer au nombre n' d'atomes d'argent par unité de volume du ruban. On donne : masse molaire de l'argent: $M = 107,9\ g.mol^{-1}$, la masse volumique de l'argent: $\rho = 10,5.10^3\ kg.m^{-3}$, la charge d'un électron: $-e = 1,6.10^{-19}\ C$, le nombre d'Avogadro: $\mathcal{N}_a = 6,02.10^{23}\ mol^{-1}$.

20. Utiliser les propriétés de symétrie et les invariances des courants pour prévoir la direction et les variables du champ magnétique pour des courants donnés.

21. Prévoir le sens et la direction et exprimer la force de Laplace exercée sur un circuit parcouru par un courant I et placé dans un champ magnétique.

22. Utiliser le théorème d'Ampère pour exprimer le champ magnétique créé par un câble d'axe Oz, de longueur L et de rayon R parcouru par un vecteur densité de courant $\overrightarrow{j} = j\overrightarrow{e_z}$ uniforme. On néglige les effets de bord.

23. Soit un solénoïde de longueur L, de rayon R et comportant N tours de fil parcouru par une intensité I. On néglige les effets de bord. Déduire du théorème d'Ampère:

- que le champ magnétique intérieur est uniforme

- que le champ magnétique extérieur est uniforme

- l'expression du champ magnétique intérieur en admettant que le champ extérieur est nul.

24. Dans le modèle de Bohr, l'électron de l'atome d'hydrogène décrit une orbite circulaire autour du noyau. On note R, le rayon de l'orbite, V la vitesse de l'électron, $-e$ la charge et m la masse de l'électron. Données: $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}\ H.m^{-1}$, $e = 1,6.10^{-19}\ C$, $m = 9,0.10^{-31}\ kg$, $\hbar = 1,0.10^{-34}\ J.s.$

Représenter la trajectoire de l'électron et exprimer en fonction des données:

- $\overrightarrow{L}_O$, son moment cinétique par rapport au noyau placé en O à l'origine du repère.

- le moment magnétique orbital $\overrightarrow{M}$ de l'électron.

Dans le modèle de Bohr, le moment cinétique de l'électron est quantifié: $L_O = n\hbar$. En déduit que le moment magnétique associé à l'électron est quantifié. On appelle magnéton de Bohr noté μ_B, le moment magnétique pour $n = 1$, exprimer et calculer μ_B (on donne $\hbar = 10^{-34}\ J.s$).

Pour le fer, on donne sa masse volumique $\rho = 7,9.10^3\ kg.m^{-3}$ et sa masse molaire $M = 55,8\ g/mol$. On suppose que chaque atome de fer porte un magnéton de Bohr μ_B. Calculer le moment magnétique maximal d'un barreau de fer de longueur $L = 10\ cm$, de largeur $l = 1\ cm$ et d'épaisseur $e = 0,5\ cm$.

25. Ecrire et nommer les équations de Maxwell sous forme locale.

26. Démontrer les équations de Maxwell sous forme intégrale.

27. Exprimer l'énergie électrique et l'énergie magnétique contenues dans un volume.

28. Exprimer la puissance cédée par le champ électrique aux charges contenues dans un volume.

29. Exprimer le vecteur de Poynting et la puissance rayonnée à travers une surface.

30. En notation complexe, le champ em s'écrit: $\underline{\overrightarrow{E}} = \overrightarrow{E_0} e^{i(\omega t - \overrightarrow{k}.\overrightarrow{OM})}$ et $\underline{\overrightarrow{B}} = \overrightarrow{B_0} e^{i(\omega t - \overrightarrow{k}.\overrightarrow{OM})}$.

30.a. Montrer que les champs électrique et magnétique sont transverses.

30.b. Etablir la relation donnant $\underline{\overrightarrow{E}}$ en fonction de $\underline{\overrightarrow{B}}$, et la relation donnant $\underline{\overrightarrow{B}}$ en fonction de $\underline{\overrightarrow{E}}$.

31. En notation réelle, on donne le champ électrique $\overrightarrow{E} = E_0\overrightarrow{e_x}\cos(\omega t - kz)$. Exprimer le champ magnétique, le vecteur de Poynting et sa valeur moyenne ainsi que la densité volumique d'énergie em et sa valeur moyenne.

32. En notation réelle, on donne le champ électrique $\overrightarrow{E} = E_0\overrightarrow{e_x}\cos(\omega t)\cos(ky)$. Exprimer le champ magnétique, le vecteur de Poynting et sa valeur moyenne

33. Démontrer la loi de Malus: $I_e = I_i \cos^2\alpha$ avec I_i l'intensité de l'onde après un premier polariseur, I_e l'intensité après le second polariseur et α l'angle entre les axes de transmission des polariseurs.

34. Pour un champ électrique donné savoir identifier la polarisation: rectiligne, circulaire ou elliptique, gauche ou droite.

35. On donne $\underline{\overrightarrow{E}} = E_0\overrightarrow{e_y}e^{i(\omega t - \underline{k}x)}$ et $\underline{k}^2 = -i\mu_0\gamma\omega$. En déduire l'expression du champ électrique en notation réelle. Commenter et exprimer l'épaisseur de peau.

36. Exercices II et IV du TD dispersion-absorption.

37. Soit un dioptre d'équation $z = 0$ qui sépare le milieu d'indice n_1 pour $z < 0$ du milieu d'indice n_2 pour $z > 0$. On note $\overrightarrow{E_i} = E_0\overrightarrow{e_x}\cos(\omega t - k_1 z)$, $\overrightarrow{E_r} = rE_0\overrightarrow{e_x}\cos(\omega t + k_1 z)$ et $\overrightarrow{E_t} = E_0\tau\overrightarrow{e_x}\cos(\omega t - k_2 z)$, les champs électriques des ondes incidente, réfléchie et transmise. Exprimer les champs magnétiques et les vecteurs de Poynting des ondes incidente, réfléchie et transmise. Exprimer les coefficients r et τ, ainsi que les coefficients de transmission et de réflexion en énergie, en fonction de n_1 et n_2.

38. Induction: exercices de cours.

VIII. **Mécanique quantique**

1. Savoir calculer une longueur d'onde de De Broglie et conclure sur la manifestation ou non du comportement ondulatoire de la particule.

2. Décrire l'expérience des fentes d'Young qui a montré la nature ondulatoire des particules et utiliser le principe de superposition des fonctions d'onde pour l'interprétation.

3. Etude d'un état stationnaire:

3.a. Donner la définition d'un état stationnaire.

3.b. On donne la fonction d'onde d'un état stationnaire $\underline{\psi}(x,t) = \underline{\phi}(x)e^{-iEt/\hbar}$. Déduire de l'équation de Schrödinger donnée, l'équation différentielle vérifiée par $\phi(x)$.

3.c. Dans le cas où $E > U$. Est-ce un état accessible du point de vue de la mécanique classique? Du point de vue de la mécanique quantique, exprimer $\phi(x)$ puis $\underline{\psi}(x,t)$ et interpréter.

3.d. Dans le cas où $E < U$. Est-ce un état accessible du point de vue de la mécanique classique? Du point de vue de la mécanique quantique, exprimer $\phi(x)$ puis $\underline{\psi}(x,t)$ et interpréter.

4. Savoir en quoi consiste la normalisation d'une fonction d'onde.

5. Savoir écrire les équations de continuité de $\phi(x)$.

6. Savoir utiliser l'expression du vecteur densité de courant de probabilité.

7. Enoncer le principe d'incertitude d'Heisenberg en précisant sa signification.

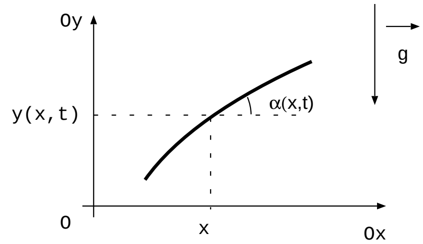
8. Déterminer la fonction d'onde d'un état stationnaire d'une particule libre en déduire la relation de dispersion, les vitesses de phase et de groupe.

9. Particule dans un puits infini: déterminer les fonctions d'onde et l'expression des énergies dans le puits.

10. Décrire l'effet tunnel et citer une application.

IX. **Ondes**

1. On étudie les ondes transversales sur une corde de masse linéïque μ tendue sous l'action de la force de norme T_0. On note $y(x,t)$ la position d'un point de la corde d'abscisse x à l'instant t. On note $\alpha(x,t)$ l'angle que fait la corde par rapport à l'horizontale au point d'abscisse x et à l'instant t. On note $\overrightarrow{T_d}(x,t)$ la force de tension exercée sur le point de la corde placée à l'abscisse x de la part de la corde à sa droite. On néglige le poids. On se place dans l'approximation des petits mouvements transverses.



1.a. Représenter le système élémentaire de corde compris entre x et $x+dx$ et les forces qui s'exercent sur ce système.

1.b. Etablir la relation entre $\alpha(x,t)$ et une dérivée partielle de $y(x,t)$.

1.c. Montrer que la norme de la tension est uniforme sur toute la corde.

1.d. Etablir l'équation de propagation vérifiée par $y(x,t)$.

1.e. Exprimer la célérité des ondes pour une corde de piano cylindrique de masse volumique $\rho = 8000\ kg/m^3$, de rayon a et tendue sous T_0.

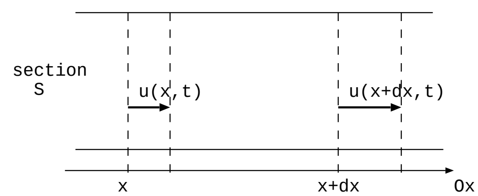
2. Soit une corde de masse linéïque μ et de tension T_0 fixe à ses deux extrémités en $x = 0$ et $x = L$. En régime libre on donne $y(x,t) = y_0 \sin(\omega t)\sin(kx+\phi)$.

De quel type d'onde s'agit-il? Justifier ce choix.

Déterminer la valeur numérique de ϕ et les fréquences propres de cette corde.

Vérifier le résultat en utilisant un raisonnement qualitatif utilisant des schémas.

3. On étudie la propagation d'ondes selon Ox dans un solide de masse volumique ρ et de module d'Young E. On note $u(x,t)$ le déplacement à l'instant t de la section S de solide placée en x. On note $\overrightarrow{F_d}(x,t)$, la force exercée sur la surface S de solide en x à l'instant t par le solide à sa droite. La force suit la loi de Hooke: $\overrightarrow{F_d}(x,t) = ES\dfrac{\partial u}{\partial x}(x,t)\overrightarrow{e_x}$.



3.a. Préciser l'unité du module d'Young. Que dire de deux matériaux de modules d'Young différents tels que $E_1 > E_2$?

3.b. Exprimer l'allongement relatif du système élémentaire de section S compris entre x et $x+dx$ en fonction d'une dérivée partielle de $u(x,t)$.

3.c. Etablir l'équation de propagation vérifiée par $u(x,t)$.

3.d. Donner un ordre de grandeur de la célérité des ondes sonores dans un solide.

4. On note P_0 et μ_0, la pression et la masse volumique du fluide à l'équilibre.

On note $P(x,t) = P_0 + p(x,t)$, $\rho(x,t) = \rho_0 + \mu(x,t)$ et $\overrightarrow{v} = v(x,t)\overrightarrow{e_x}$, la pression, la masse volumique du fluide et la vitesse de la tranche de fluide en x à l'instant t en présence d'une onde qui se propage selon $+Ox$. On néglige la pesanteur.

4.a. Rappeler en quoi consiste l'approximation acoustique.

4.b. Justifier l'hypothèse selon laquelle les transformations du fluide sont isentropiques en présence de l'onde. Ecrire la relation entre χ_S, $\mu(x,t)$, ρ_0 et $p(x,t)$.

4.c. Le fluide est supposé sans viscosité et on néglige le poids. Ecrire l'équation d'Euler et en déduire l'équation mécanique reliant $p(x,t)$ et $v(x,t)$ dans l'approximation acoustique.

4.d. Ecrire l'équation de conservation de la masse. En déduire la relation entre $\mu(x,t)$ et $v(x,t)$ dans l'approximation acoustique.

4.e. Déduire des équations, l'équation de propagation vérifiée par $p(x,t)$. Généraliser cette équation à 3 dimensions.

4.f. Exprimer la célérité des ondes acoustiques dans gaz parfait de température T, de masse molaire M et de coefficient γ. AN pour l'air.

5. On note P_0 et μ_0, la pression et la masse volumique du fluide à l'équilibre.

On note $P(x,t) = P_0 + p(x,t)$, $\rho(x,t) = \rho_0 + \mu(x,t)$ et $\overrightarrow{v} = v(x,t)\overrightarrow{e_x}$, la pression, la masse volumique du fluide et la vitesse de la tranche de fluide en x à l'instant t en présence d'une onde qui se propage selon $+Ox$.

5.a. Définir par analogie avec la loi d'Ohm électrique la notion d'impédance acoustique.

5.b. Ecrire l'équation d'Euler et la simplifier dans l'approximation acoustique.

5.c. Soit une onde de surpression de la forme $p(x,t) = p_0 \cos(\omega t - kx)$. Préciser la nature de cette onde et déduire de la relation obtenue à partir de l'équation d'Euler, l'expression de l'onde de vitesse $v(x,t)$ et l'expression de l'impédance acoustique de cette onde. Que deviennent $p(x,t)$ et Z, quand on change le sens de propagation de l'onde?

6. Définir l'intensité acoustique et l'exprimer pour une $OPPH^+$ en fonction de p_0 (amplitude de la surpression), ρ_0 et c. Que devient l'expression de l'intensité acoustique pour une $OPPH^-$? pour une OS? AN: calculer p_0 pour une $OPPH$ d'intensité $I = 10^{-5}\ W.m^{-2}$ se propageant dans l'air à la température $T = 300\ K$ à la pression $P_0 = 10^5\ Pa$.

7. L'intensité en décibel est définie par $I_{dB} = I_0 \log(\frac{|I|}{I_0})$ avec $I_0 = 10^{-12}\ W.m^{-2}$. Une chorale de 10 choristes se produit. Chaque choriste émet une intensité sonore de 50 dB. Calculer l'intensité sonore du choeur en dB.

8. On note $P(x,t) = P_0 + p(x,t)$, $\rho(x,t) = \rho_0 + \mu(x,t)$ et $\overrightarrow{v} = v(x,t)\overrightarrow{e_x}$, la pression, la masse volumique du fluide et la vitesse de la tranche de fluide en x à l'instant t en présence d'une onde qui se propage selon $+Ox$. On néglige la pesanteur et on se place dans l'approximation acoustique.

8.a. Le fluide est supposé sans viscosité et on néglige le poids. Ecrire l'équation d'Euler et en déduire l'équation mécanique reliant $p(x,t)$ et $v(x,t)$.

8.b. On étudie une onde de surpression donnée par $p(x,t) = p_0 \cos(\omega t)\cos(kx + \phi)$. Déterminer l'onde de vitesse associée. Que dire de ces ondes?

8.c. Déterminer de façon qualitative (avec des schémas représentant les ondes de vitesse et de surpression), les fréquences propres d'un tuyau sonore de longueur L : soit ouvert à ses deux extrémités, soit ouvert à une extrémité et fermé à l'autre.

9. Exercices VII, VIII et IX du TD ondes sonores.